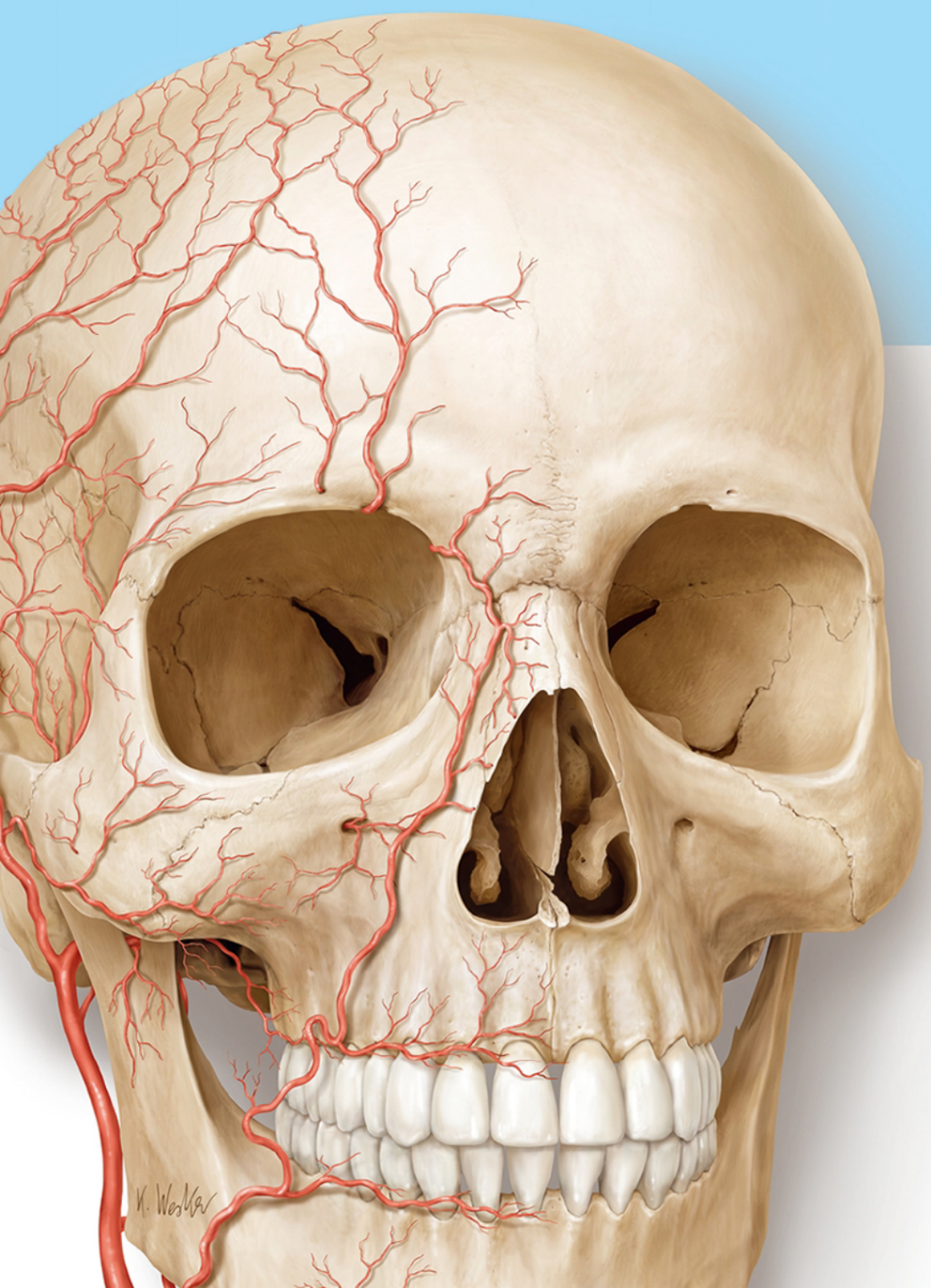
Kopf, Hals und Neuroanatomie

PROMETHEUS

LernAtlas der Anatomie

Michael Schünke
Erik Schulte
Udo Schumacher

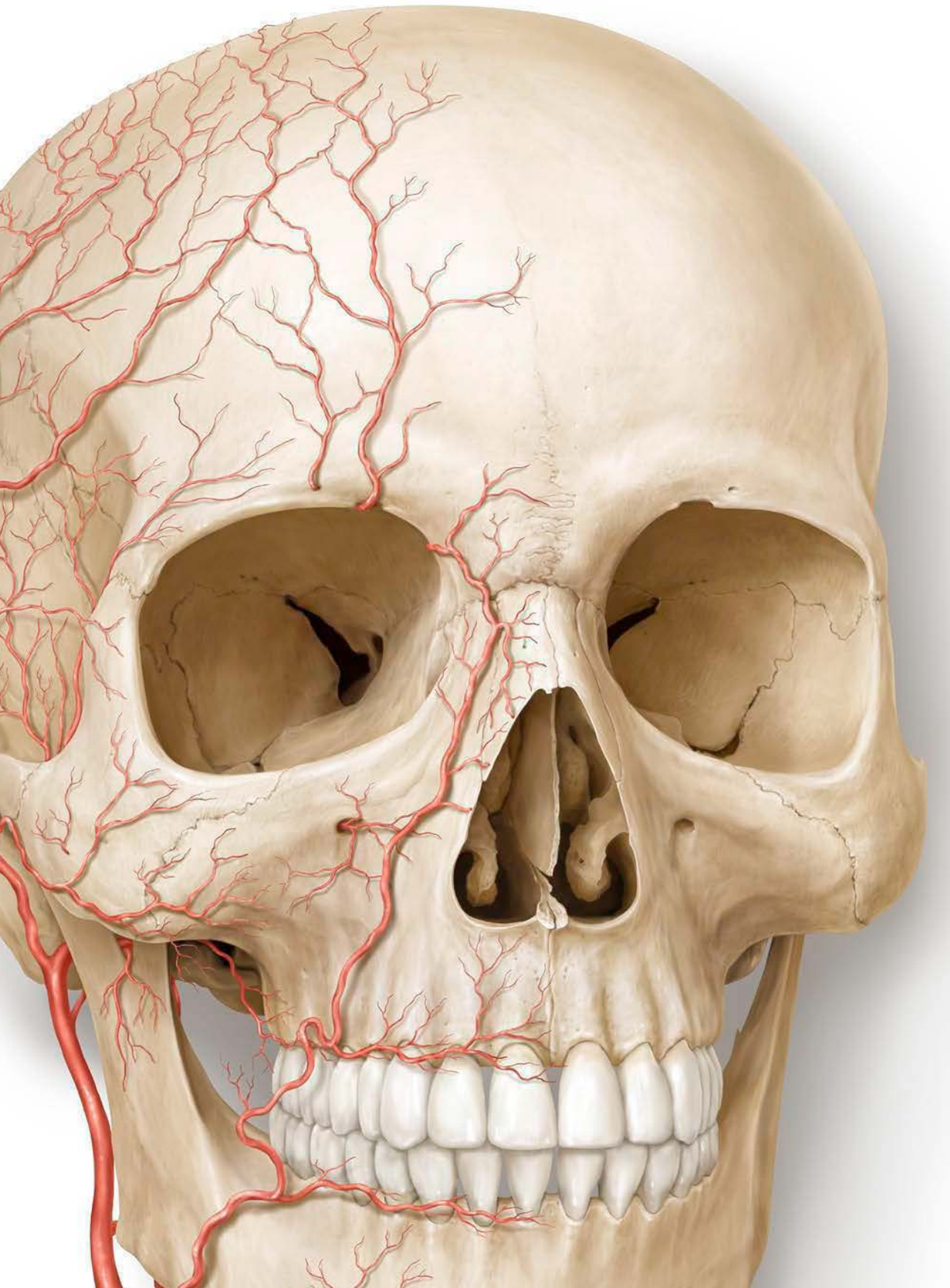
Markus Voll
Karl Wesker



4. Auflage

Thieme





Kopf, Hals und
Neuroanatomie

PROMETHEUS

LernAtlas der Anatomie

Michael Schünke
Erik Schulte
Udo Schumacher

Illustrationen von
Markus Voll
Karl Wesker

4., überarbeitete und
erweiterte Auflage

1789 Illustrationen
123 Tabellen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart · New York

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet
über http://dnb.ddb.de abrufbar.

Professor
Dr. med. Dr. rer. nat. Michael Schünke
Anatomisches Institut der
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Otto-Hahn-Platz 8
24118 Kiel

Professor
Dr. med. Erik Schulte
Universitätsmedizin der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Institut für Funktionelle und Klinische Anatomie
55099 Mainz

Professor
Dr. med. Udo Schumacher, FRCPath, FSB, DSc
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Institut für Anatomie II
Experimentelle Morphologie
Martinistraße 52
20246 Hamburg

Grafiker

Markus Voll, München (Homepage: www.markus-voll.de)
Karl Wesker, Berlin (Homepage: www.karlwesker.de)

© 2006, 2015 Georg Thieme Verlag
Rüdigerstraße 14
D-70469 Stuttgart
Telefon: +49/0711/8931-0
Unsere Homepage: www.thieme.de
Prometheus-Homepage: www.thieme.de/prometheus

Printed in Germany

Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe
Satz und Layout: Gay & Sender, Bremen (www.gayundsender.de)
Druck: Appl, Wemding

ISBN 978-3-13-139544-3 1 2 3 4 5 6

1. deutsche Auflage 2005
1. spanische Auflage 2005
1. italienische Auflage 2005
1. englische Auflage 2006
1. niederländische Auflage 2007
1. griechische Auflage 2007
1. portugiesische Auflage 2007
1. polnische Auflage 2008
1. koreanische Auflage 2008
1. französische Auflage 2009
1. japanische Auflage 2009
1. türkische Auflage 2009
2. deutsche Auflage 2009
2. spanische Auflage 2010
2. niederländische Auflage 2010
2. englische Auflage 2010
3. deutsche Auflage 2012
2. portugiesische (Brasilien) Auflage 2013
2. japanische Auflage 2014
3. spanische Auflage 2014

Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe **dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes** entspricht.
Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten,** durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden **nicht** besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handele.
Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Mit PROMETHEUS die Lust auf Neuroanatomie (neu) entdecken!

1990 hat der damalige Präsident der Vereinigten Staaten von Amerika, George H. W. Bush die „Decade of the Brain“ ausgerufen (s. Presidential Proclamation 6158). Ausgangspunkt war der Wunsch, Abläufe im menschlichen Gehirn besser zu verstehen und auf diese Weise Erkenntnisse zu gewinnen, warum es zu Krankheiten wie der Alzheimer-Demenz oder zum Morbus Parkinson kommen kann, warum manche Menschen drogenabhängig werden und wie sich diverse Gifte auf das Gehirn auswirken und – nicht zuletzt – wie Nerven- und Immunsystem bei der Entstehung von Aids zusammenspielen.

Auch heute, gut 15 Jahre nachdem die „Decade of the Brain“ vorbei ist, sind viele dieser Fragen nicht beantwortet, ist die praktische Umsetzung zahlreicher Erkenntnisse aus der neurowissenschaftlichen Forschung nicht gelungen: Alle Alzheimertherapieansätze konnten in klinischen Studien nicht überzeugen, multiple Sklerose wird immer noch nicht gut verstanden, die Behandlung von Hirntumoren stagniert seit Jahrzehnten und auch die Schäden bei Schlaganfall und Querschnittslähmungen lassen sich immer noch nicht zufriedenstellend therapieren.

Dies bringt die klassische Neuroanatomie verstärkt wieder auf den Plan. Bleibt sie doch das Grundgerüst für das Verständnis der Klinik – obwohl sie angesichts der rasant aufstrebenden Neurowissenschaften in den letzten Jahrzehnten mancherorts schon als veraltet angesehen wurde.

PROMETHEUS stellt sich in den Dienst dieser klassischen Neuroanatomie, selbstverständlich nicht, um darin in einer Art „Nabelschau“ zu verharren. Vielmehr sind Autoren wie Verlag dankbar für die vielen guten Vorschläge und Anmerkungen, die von Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, an uns herangetragen werden, nicht nur für den Bereich Neuroanatomie, sondern natürlich auch für den 2. großen Abschnitt dieses Buches, „Kopf und Hals“. Nur so bleibt ein Buch wie PROMETHEUS über die Jahre hinweg lebendig, nur so können wir immer wieder Lücken schließen, die zwangsläufig bleiben müssen.

Als Autoren arbeiten wir permanent daran, neue Erkenntnisse einzuarbeiten und Verbindungen zum studentischen und klinischen Alltag herzustellen, z. B. sind in der 4. Auflage neue Lerneinheiten zu den Schädelknochen hinzugekommen, so dass nun alle Knochen individuell abgebildet sind. Die Lerneinheit zur Topografie der geöffneten Mundhöhle dürfte – auch durch die Schönheit ihrer Bilder – besonders die Zahnmediziner begeistern. Wir glauben, dass wir jetzt auch für den Präparierkurs für Zahnmediziner ein ausgewogenes Konzept anbieten.

Nicht zuletzt haben wir den Wunsch und die Hoffnung, dass das Lesen des PROMETHEUS bei dem einen oder anderen Leser die Lust entfacht, sich einem der zahlreichen Gebiete der Neuroanatomie auch als Forscher zu nähern. Nur eine neue Generation von Ärzten mit vielleicht zunächst unkonventionellen Ideen kann zum Fortschritt führen. „Habe Mut Dich deines eigenen Verstandes zu bedienen!“, um einen häufig zitierten Satz von Immanuel Kant zu bemühen, dazu möchten wir ermuntern

Michael Schünke, Erik Schulte, Udo Schumacher,
Markus Voll und Karl Wesker
Kiel, Mainz, Hamburg, München und Berlin im August 2015

Warum PROMETHEUS?

In der griechischen Mythologie ist Prometheus der Titanensohn, der sich Menschen nach seinen eigenen Vorstellungen erschafft. Damit beschwört er den Zorn des Göttervaters Zeus herauf. Zeus muss jedoch der Sage nach wehrlos mit ansehen, wie Prometheus den Menschen das Feuer und damit Erleuchtung bringt – auch im übertragenen Sinne.
Prometheus bedeutet im Griechischen auch „der Vorausdenkende", so dass unser Atlas neue Wege gehen muss, um seinem Namen gerecht zu werden. Diese neuen Wege wurden bereits bei der Konzeption des Buches beschritten. Sie basieren auf Umfragen und Interviews des Verlages mit Studenten und Dozenten im deutschen Sprachraum sowie in den USA. Ausgangspunkt war die Frage, wie denn der „ideale" Anatomie-Atlas aussehen müsste. Ideal für Studierende, die mit dem Atlas lernen sollen, die Informationsfülle des Faches Anatomie innerhalb eines sehr gedrängten Stundenplans zu bewältigen und sich dabei dauerhaft solide Kenntnisse zu erarbeiten.
Dass gute Kenntnisse im Fach Anatomie für qualifiziertes ärztliches Handeln eine unverzichtbare Voraussetzung sind, wird schon von Studienanfängern sofort erkannt. Und diese Einschätzung verstärkt sich mit fortschreitendem Studium. Genauso unstrittig ist aber, dass gerade die Anatomie – und hier besonders die Makroskopische Anatomie – den Lernenden wie kaum ein anderes medizinisches Fach vor die Schwierigkeit stellt, sich in einer erdrückenden Fülle von Namen und Fakten zu orientieren. Dies gilt umso mehr, als Anatomie ganz zu Beginn des Studiums gelehrt und gelernt werden muss, zu einem Zeitpunkt also, an dem die Studierenden meist noch nicht genügend Erfahrungen mit sinnvollen Lerntechniken gemacht haben. Sie können daher zwangsläufig Wichtiges noch nicht von weniger Wichtigem trennen und schließlich auch noch kaum Verknüpfungen zu anderen Fächern, wie etwa der Physiologie, aufbauen.
Vor diesem Hintergrund war es eine zentrale Zielsetzung bei der Konzeption des LernAtlas, eine wohlstrukturierte „Lernumgebung" für den Studierenden zu schaffen. Eine Lernumgebung, die auf die genannten Schwierigkeiten gezielt Rücksicht nimmt und durch ihren Aufbau gleichzeitig Lernhilfe ist. Diesem Ziel diente zum einen die sorgfältige Auswahl der Themen, bei der „Vollständigkeit" allein kein ausreichendes Kriterium sein konnte. Vielmehr wurde geprüft, inwieweit ein Thema entweder dem erforderlichen Grundverständnis des Faches Anatomie dient oder aber bereits sinnvolle Verbindungen zur klinischen Tätigkeit des späteren Arztes knüpft. Selbstverständlich spielte die Prüfungsrelevanz eines Themas in diesem Zusammenhang ebenfalls eine bedeutende Rolle, so dass sich unterschiedliche Gewichtungen von Themen ergaben.
Ein zweites Anliegen war es, den Studierenden nicht einfach eine wenig oder gar nicht kommentierte Bilderfolge vorzulegen. Vielmehr wurden alle Bildinformationen in engen Zusammenhang mit einem erklärenden Text gestellt. Auch wenn die Bilder teilweise „einfach für sich sprechen", schafft der beigefügte Text zusätzliches Verständnis durch Erklärung der Bilder, durch Lernhinweise, fachübergreifende und in die Klinik verweisende Bezüge und vieles mehr. Dabei wird der Leser mit Hilfe des Textes schrittweise durch die Bilder geführt, um so ein tiefergehendes Verständnis auch komplexer Zusammenhänge zu erwerben. Der Grundsatz „Vom Einfachen zum Komplizierten" war dabei ein Leitmotiv.
Als hilfreich erwies sich die Tatsache, dass die Makroskopische Anatomie in vielen Bereichen – vielleicht mit Ausnahme einiger neuroanatomischer Befunde – als ein „abgeschlossenes" Fach gilt. Neues im Sinne einer wirklichen inhaltlichen Innovation ist eher die Ausnahme. Die Regel ist ein in vielen Bereichen etabliertes Fachwissen, das lediglich im Licht sich wandelnder klinischer Anforderungen neue Facetten bekommt. So ist die Schnittanatomie seit über 80 Jahren unter Anatomen bekannt, aber kaum genutzt worden. Eine enorme Renaissance erlebte sie mit modernen Bildgebungsverfahren wie CT und NMR, deren Bilder ohne ein profundes Verständnis der Schnittbildanatomie überhaupt nicht interpretiert werden können. „Neu" im wirklich innovativen Charakter des Wortes konnte also nicht die Anatomie selbst sein. Neu – und auch modern im Sinne von zeitgemäß – sollte aber die Art und Weise der didaktischen Aufarbeitung sein.
Damit war im Grunde das prinzipielle Vorgehen bei der Erstellung des LernAtlas festgelegt: Ein Lernthema wird formuliert und erhält eine Lernumgebung aus Bildern, Legenden und Tabellen; auf benachbarte Themen, die ebenfalls in diesem Buch abgehandelt werden, wird verwiesen. Da also am Anfang die Formulierung des Lernthemas stand und nicht ein Bild oder ein Präparat als Bildvorlage, mussten alle Bilder komplett neu konzipiert und erstellt werden, was allein acht Jahre dauerte. Dabei stand nicht die 1 : 1-Wiedergabe eines Präparates im Vordergrund, vielmehr sollte das Bild selbst bereits einen anatomischen Befund didaktisch sinnvoll und lerntechnisch hilfreich deuten, um dem Lernenden das Arbeiten mit dem komplexen Bildinhalt zu erleichtern.
Es war unser Ziel, mit PROMETHEUS einen LernAtlas zu schaffen, der die Studierenden bei ihrer Arbeit im Fach Anatomie im Sinne einer didaktischen Führung unterstützt, ihre Begeisterung für dieses so spannende Thema noch verstärkt, der dem ganz am Anfang Stehenden ein Zuversicht gebender, lehrreicher Wegweiser durch die Anatomie ist und dem erfahrenen Studenten als zuverlässige Informationsquelle, dem Arzt als vertrautes Nachschlagewerk dient.

„Wenn Du das Mögliche erreichen willst, musst Du das Unmögliche versuchen" (Rabindranath Tagore).

Michael Schünke, Erik Schulte, Udo Schumacher,
Markus Voll und Karl Wesker
Kiel, Mainz, Hamburg, München und Berlin im August 2005

Danke …

möchten wir zuallererst und zum wiederholten Male unseren Familien sagen. Ihnen widmen wir PROMETHEUS.

Seit der 1. Band PROMETHEUS 2005 erschienen ist, haben wir zahlreiche Hinweise und Ergänzungsvorschläge erhalten. Wir möchten diese Seite nutzen, um allen, die im Laufe der Jahre in irgendeiner Weise geholfen haben, PROMETHEUS zu verbessern, unseren herzlichen Dank auszusprechen.

Im Einzelnen sind dies:
Frau Dr. rer. nat. Kirsten Hattermann, Frau Dr. med. dent. Runhild Lucius, Frau Prof. Dr. Renate Lüllmann-Rauch, Herr Prof. Dr. Jobst Sievers, Herr Dr. med. dent. Ali Therany, Herr Prof. Dr. Thilo Wedel (alle Anatomisches Institut der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel) sowie Herr Dr. med. dent. Christian Friedrichs (Praxis für Zahnerhaltung und Endodontie, Kiel), Herr Prof. Dr. Reinhart Gossrau (Charité Berlin, Institut für Anatomie), Herr Prof. Dr. Paul Peter Lunkenheimer (Westfälische Wilhelms-Universität Münster), Herr Privat-Dozent Dr. Thomas Müller (Institut für Funktionelle und Klinische Anatomie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz), Herr Dr. Kai-Hinrich Olms, Fußchirurgie Bad Schwartau, Herr Dipl.-phys. cand. med. Daniel Paech (Abteilung Neuroradiologie der Universitätsklinik Heidelberg), Herr OA Dr. Thilo Schwalenberg (Urologische Klinik des Universitätsklinikums Leipzig), Frau Prof. Dr. em. Katharina Spanel-Borowski (Universität Leipzig), Herr Prof. Dr. Christoph Viebahn (Georg-August-Universität Göttingen).
Für aufwändige Korrekturarbeiten danken wir Frau Dipl.-Biologin Gabriele Schünke, Herrn Dr. med. Jakob Fay sowie Frau cand. med. Claudia Dücker, cand. med. Simin Rassouli, cand. med. Heike Teichmann, cand. med. Susanne Tippmann und cand. med. dent. Sylvia Zilles, insbesondere für die Mithilfe bei den Beschriftungen Frau Dr. Julia Jörns-Kuhnke.

Ein ganz besonderer Dank geht an unsere beiden Layouter Stephanie Gay und Bert Sender. Ihre Fähigkeit, Bilder und Text so anzuordnen, dass jede Doppelseite einfach eine „klare Sache“ ist, trägt ganz entscheidend zur didaktischen und optischen Qualität unseres LernAtlas bei.

PROMETHEUS wäre ohne den Verlag nicht zustande gekommen. Da es aber immer Menschen und nicht Institutionen sind, die ein solches Projekt möglich machen, soll von unserer Seite besonders denen gedankt werden, die dieses Projekt von Verlagsseite aus betreut haben.

Das „Unmögliche möglich gemacht“ hat dabei Herr Dr. Jürgen Lüthje, Programmplaner des Thieme-Verlages. Er hat es nicht nur geschafft, die Wünsche der Autoren und Grafiker mit den Zwängen der Realität sinnvoll zu vereinen. Er hat vielmehr über die Jahre der gemeinsamen Arbeit ein Team aus fünf Personen geschlossen bei einem Projekt gehalten, dessen Ziel uns von Anfang an bekannt war, dessen ausladende Dimension sich uns aber erst während der Arbeit im vollen Umfang erschloss. Sein Verdienst ist es in hohem Maße, dass der gemeinsame Wunsch, dieses Ziel zu erreichen, trotz aller Hürden, die überwunden werden mussten, nie erlosch. Bewundernswerte Geduld und die Fähigkeit zum Ausgleich von seiner Seite gerade auch in Problemsituationen kennzeichneten die zahllosen Gespräche mit ihm. Daher gebührt ihm unser aufrichtig und zutiefst empfundener Dank.

Frau Sabine Bartl wurde im besten Sinne des Wortes zum Prüfstein für die Autoren. Sie hat – als Geisteswissenschaftlerin, nicht als Medizinerin – alle Texte gelesen und im Zusammenhang mit den Bildern darauf hin geprüft, ob einem (Noch-)Nicht-Mediziner – denn dies ist der Student ganz am Anfang noch – die Logik der Darstellung wirklich gut ersichtlich wird. Gedankensprünge, die den Autoren, die das Fach aus einer anderen Perspektive sehen müssen, wohl zwangsläufig unterliefen, hat sie sofort entdeckt und die Neubearbeitung des Textes mit zahllosen Vorschlägen unterstützt. Aufgrund Ihrer Anregungen wurden auch Themen umformuliert und neu gestaltet. Ihr sind nicht nur die Autoren zu Dank verpflichtet: auch der Leser, dem sich nun ein Sachverhalt gut erschließt, profitiert von ihrem didaktischen Talent.

Herr Martin Spencker, Verlagsleiter Studium und Lehre bei Thieme, war, als der für das Projekt aus Verlagssicht Hauptverantwortliche, die letzte Instanz in der Koordination zwischen Verlag einerseits und Autoren und Grafikern andererseits. Seiner Fähigkeit, bei Problemen und Unklarheiten schnell und unkonventionell Entscheidungen zu treffen, verdankt das Projekt enorm viel. Seine Offenheit gegenüber allen Anliegen der Autoren und Grafiker, die Transparenz und Fairness bei allen Diskussionen gaben dem Projekt immer wieder Schwung und klare Rahmenbedingungen für eine offene und partnerschaftliche Kooperation. Auch ihm schulden wir großen Dank.

Ganz ausnahmslos war die Zusammenarbeit mit allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Thieme Verlages zu jedem Zeitpunkt angenehm und freundschaftlich. Aus Platzgründen können wir hier leider nicht alle Personen namentlich aufführen, die in irgendeiner Weise an der Fertigstellung von PROMETHEUS beteiligt waren. Wir beschränken uns daher auf einige Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, die mit diesem Buch besonders intensiv verbunden sind. In diesem Zusammenhang möchten wir uns bedanken bei Antje Bühl, die als Projektassistentin von Anfang an mit dabei war und als „guter Geist im Hintergrund“ zahlreiche Arbeiten übernommen hat, wie z. B. wiederholtes Korrekturlesen der Layouts und Mithilfe beim Erfassen der Beschriftungen, bei Rainer Zepf und Martin Waletzko für akribische Durchsicht der Layouts und Unterstützung in allen technischen Fragen; bei Susanne Tochtermann-Wenzel und Manfred Lehnert stellvertretend für alle, die mit der Produktion des Buches beschäftigt waren und dafür gesorgt haben, dass PROMETHEUS termingerecht gedruckt, gebunden und auf seinem gesamten Entstehungsweg mit bestem herstellerischem Know-how begleitet wurde; bei Almut Leopold für das ausgezeichnete Register; bei Marie-Luise Kürschner, Nina Jentschke und Valentina Zoffreo für die ansprechende Gestaltung des Umschlags sowie bei Dr. Thomas Krimmer, Kerstin Ambaum, Liesa Arendt, Birgit Carlsen, Stephanie Eilmann und Anne Döbler stellvertretend für alle, die PROMETHEUS im Hinblick auf Marketing, Verkauf und Öffentlichkeitsarbeit betreuen oder betreut haben.

Die Autoren

Inhaltsverzeichnis

Kopf und Hals

1 Übersicht

1.1 Regionen und tastbare Knochenpunkte 2
1.2 Kopf und Hals als Ganzes und Halsfaszien 4
1.3 Klinische Anatomie 6
1.4 Embryologie des Gesichts 8
1.5 Embryologie des Halses 10

2 Knochen, Bänder und Gelenke

2.1 Schädel (Cranium) von lateral 12
2.2 Schädel von frontal 14
2.3 Schädel von dorsal und Schädelnähte 16
2.4 Schädeldach (Calvaria) von außen und innen 18
2.5 Schädelbasis von außen (Basis cranii externa) 20
2.6 Schädelbasis von innen (Basis cranii interna) 22
2.7 Hinterhauptsbein (Os occipitale) und Siebbein (Os ethmoidale) 24
2.8 Stirnbein (Os frontale) und Scheitelbein (Os parietale) 26
2.9 Schläfenbein (Os temporale) 28
2.10 Oberkiefer (Maxilla) 30
2.11 Jochbein (Os zygomaticum), Nasenbein (Os nasale), Pflugscharbein (Vomer) und Gaumenbein (Os palatinum) . . . 32
2.12 Keilbein (Os sphenoidale) 34
2.13 Augenhöhle (Orbita): Knochen und Öffnungen für Leitungsbahnen 36
2.14 Orbitae und Nachbarstrukturen 38
2.15 Nase (Nasus): Nasenskelett 40
2.16 Nasennebenhöhlen (Sinus paranasales) 42
2.17 Harter Gaumen (Palatum durum) 44
2.18 Unterkiefer (Mandibula) und Zungenbein (Os hyoideum) . . . 46
2.19 Zähne (Dentes) in situ 48
2.20 Terminologie, Zahnschema und Zahnmerkmale 50
2.21 Stellung der Zähne im Gebiss: Orientierung im Gesichtsschädel und Okklusion der Zähne 52
2.22 Morphologie der bleibenden Zähne (Dentes permanentes) . . 54
2.23 Zahnhalteapparat (Parodontium) 56
2.24 Milchzähne (Dentes decidui) 58
2.25 Zahnentwicklung (Odontogenese) 60
2.26 Röntgendiagnostik der Zähne 62
2.27 Lokalanästhesie der Zähne 64
2.28 Kiefergelenk (Articulatio temporomandibularis) 66
2.29 Biomechanik des Kiefergelenks 68
2.30 Knochen der Halswirbelsäule 70
2.31 Bandapparat der Halswirbelsäule 72
2.32 Oberes und unteres Kopfgelenk 74
2.33 Unkovertebralgelenke 76

3 Systematik der Muskulatur

3.1 Mimische Muskulatur: Überblick 78
3.2 Funktion 80
3.3 Kaumuskeln: Überblick und oberflächliche Muskeln 82
3.4 tiefe Muskeln 84
3.5 Muskelursprünge und -ansätze am Schädel 86
3.6 Halsmuskeln: Überblick und oberflächliche Muskeln 88
3.7 Supra- und infrahyoidale Muskeln 90
3.8 Prävertebrale und seitliche (tiefe) Muskeln 92

4 Systematik der Leitungsbahnen

4.1 Systematik der arteriellen Versorgung an Kopf und Hals 94
4.2 A. carotis interna und Systematik der Äste der A. carotis externa 96
4.3 Vordere und hintere Äste sowie medialer Ast der A. carotis externa 98
4.4 Endäste der A. carotis externa 100
4.5 Äste der A. carotis interna, die extrazerebrale Strukturen versorgen 102
4.6 Oberflächliche Kopf- und Halsvenen 104
4.7 Tiefe Kopfvenen und Venen des Hinterhaupts 106
4.8 Venen am Hals 108
4.9 Lymphknotenstationen an Kopf und Hals 110
4.10 Übersicht über die Hirnnerven 112
4.11 Hirnnervenkerne und mit Hirnnerven assoziierte Ganglien 114
4.12 Nervus olfactorius (I) und Nervus opticus (II) 116
4.13 Augenmuskelnerven: Nervus oculomotorius (III), Nervus trochlearis (IV) und Nervus abducens (VI) 118
4.14 Nervus trigeminus (V): Kern- und Versorgungsgebiete 120
4.15 Verlauf der drei Hauptäste 122
4.16 Nervus facialis (VII): Kern- und Versorgungsgebiete sowie viszeroefferente Fasern 124
4.17 Verlauf im Felsenbein; parasympathische viszeroefferente sowie viszeroafferente Fasern 126
4.18 Nervus vestibulocochlearis (VIII) 128
4.19 Nervus glossopharyngeus (IX) 130
4.20 Nervus vagus (X) 132
4.21 Nervus accessorius (XI) und Nervus hypoglossus (XII) 134
4.22 Synopsis der Durchtrittsstellen für Leitungsbahnen an der Schädelbasis 136

a., Prometheus: Kopf, Hals und Neuroanatomie (ISBN 9783131395443) © 2015 Georg Thieme Verlag KG

4.23 Übersicht über das Nervensystem am Hals und Versorgung durch Spinalnervenäste 138
4.24 Hirnnerven und vegetatives Nervensystem am Hals 140

5 Organe und ihre Leitungsbahnen

5.1 Ohr (Auris): Übersicht und Blutversorgung des äußeren Ohrs (Auris externa) 142
5.2 Äußeres Ohr: Ohrmuschel (Auricula), äußerer Gehörgang (Meatus acusticus externus) und Trommelfell (Membrana tympanica) 144
5.3 Mittelohr (Auris media): Paukenhöhle (Cavitas tympani) und Ohrtrompete (Tuba auditiva) 146
5.4 Gehörknöchelchenkette 148
5.5 Innenohr (Auris interna): Übersicht 150
5.6 Hörorgan 152
5.7 Gleichgewichtsorgan 154
5.8 Blutversorgung des Felsenbeins 156
5.9 Auge: Regio orbitalis, Augenlider (Palpebrae) und Bindehaut (Tunica conjunctiva) 158
5.10 Tränenapparat 160
5.11 Augapfel (Bulbus oculi) 162
5.12 Brechende Medien des Auges: Linse (Lens cristallina) und Hornhaut (Cornea) 164
5.13 Iris und Kammerwinkel 166
5.14 Netzhaut (Retina) 168
5.15 Blutversorgung des Augapfels 170
5.16 Äußere Augenmuskeln 172
5.17 Einteilung und Leitungsbahnen der Augenhöhle (Orbita) . . 174
5.18 Topografie der Orbita 176
5.19 Topografie des Sinus cavernosus 178
5.20 Nase (Nasus): Übersicht und Schleimhautrelief 180
5.21 Gefäß- und Nervenversorgung der Nasenhaupthöhle 182
5.22 Histologie und klinische Anatomie der Nasenhöhlen 184
5.23 Mundhöhle (Cavitas oris): Übersicht; harter und weicher Gaumen 186
5.24 Zunge (Lingua): Muskeln und Schleimhaut 188
5.25 Leitungsbahnen und Lymphdrainage 190
5.26 Topografie der geöffneten Mundhöhle 192
5.27 Mundboden (Diaphragma oris) 194
5.28 Das lymphatische Gewebe des Rachenrings 196
5.29 Rachen (Pharynx): Muskeln 198
5.30 Schleimhautrelief und Verbindungen zur Schädelbasis . . 200
5.31 Topografie und Innervation 202
5.32 Spatium peripharyngeum und seine klinische Bedeutung 204
5.33 Leitungsbahnen im Spatium peripharyngeum (oberflächliche Schicht) 206
5.34 Leitungsbahnen im Spatium peripharyngeum (tiefe Schicht) 208
5.35 Kopfspeicheldrüsen 210
5.36 Kehlkopf (Larynx): Lage, Form und Kehlkopfknorpel 212
5.37 Innenrelief und Systematik der Leitungsbahnen 214
5.38 Muskeln 216
5.39 Topografie und klinische Anatomie 218
5.40 Endotracheale Intubation 220
5.41 Schilddrüse (Glandula thyroidea) und Nebenschilddrüsen (Glandulae parathyroideae) 222
5.42 Topografie und Bildgebung der Schilddrüse 224

6 Topografie

6.1 Vordere Gesichtsregion 226
6.2 Hals von ventral: oberflächliche Schichten 228
6.3 tiefe Schichten 230
6.4 Oberflächliche Schicht des seitlichen Kopfes 232
6.5 Mittlere und tiefe Schicht des seitlichen Kopfes 234
6.6 Fossa infratemporalis (Unterschläfengrube) 236
6.7 Fossa pterygopalatina (Flügel-Gaumen-Grube) 238
6.8 Laterales Halsdreieck 240
6.9 Übergang in die obere Thoraxapertur, Karotisdreieck und tiefe seitliche Halsregion 242
6.10 Hintere Halsregion und Hinterhauptsregion 244

7 Schnittbilder

7.1 Frontalschnitte: Höhe Orbitavorderrand und Retrobulbärraum 246
7.2 Höhe Spitze der Orbitapyramide und Hypophyse 248
7.3 Horizontalschnitte: Höhe Orbitae, obere und mittlere „Etage“ 250
7.4 Höhe Sinus sphenoidalis und Conchae nasales mediae . . . 252
7.5 Höhe Nasopharynx und Articulatio atlantoaxialis mediana 254
7.6 Höhe Wirbelkörper C V–VI 256
7.7 Höhe Übergang Th II/I zu C VI/VII 258
7.8 Sagittalschnitte: Mediansagittalschnitt mit Nasenseptum sowie in Höhe der medialen Orbitawand 260
7.9 Höhe inneres Drittel und Mitte der Orbita 262

a., Prometheus: Kopf, Hals und Neuroanatomie (ISBN 9783131395443) © 2015 Georg Thieme Verlag KG

Neuroanatomie

1 Einführung in die Neuroanatomie

1.1 Einteilung und Grundfunktionen des Nervensystems 266
1.2 Zellen, Signalübertragung und morphologischer Aufbau des Nervensystems 268
1.3 Übersicht über das Nervensystem als Ganzes: Morphologie und räumliche Orientierung 270
1.4 Embryonalentwicklung des Nervensystems 272
1.5 Nervensystem in situ 274
1.6 Übersicht über das Gehirn: Telencephalon und Diencephalon 276
1.7 Truncus encephali und Cerebellum 278
1.8 Übersicht über das Rückenmark 280
1.9 Blutversorgung von Gehirn und Rückenmark 282
1.10 Somotosensibilität 284
1.11 Somatomotorik 286
1.12 Sinnesorgane 288
1.13 Prinzipien der neurologischen Untersuchung 290

2 Histologie von Nerven- und Gliazellen

2.1 Das Neuron und seine Verschaltung 292
2.2 Neuroglia und Myelin 294

3 Vegetatives Nervensystem

3.1 Organisation von Sympathikus und Parasympathikus 296
3.2 Wirkung des vegetativen Nervensystems auf einzelne Organe und zentrale Verschaltungen des Sympathikus ...298
3.3 Parasympathikus: Übersicht und Verschaltungen 300
3.4 Eingeweideschmerzen 302
3.5 Eingeweidenervensystem 304

4 Hirn- und Rückenmarkshäute

4.1 Hirnhäute 306
4.2 Hirnhäute und Durasepten 308
4.3 Hirn- und Rückenmarkshäute und ihre Räume 310

5 Liquorräume

5.1 Übersicht 312
5.2 Liquorzirkulation und Zisternen 314
5.3 Zirkumventrikuläre Organe und Gewebeschranken im Gehirn 316
5.4 Projektion von Liquorräumen und weiteren wichtigen Hirnstrukturen auf den Schädel 318

6 Telencephalon (Groß- oder Endhirn)

6.1 Entwicklung und äußere Struktur 320
6.2 Gyri und Sulci des Telencephalon: konvexe Hirnoberfläche und Endhirnbasis 322
6.3 mediale Hirnoberfläche und Insula 324
6.4 Histologischer Aufbau und funktionelle Organisation der Großhirnrinde 326
6.5 Rindenfelder im Neocortex 328
6.6 Allocortex: Übersicht 330
6.7 Hippocampus und Corpus amygdaloideum 332
6.8 Die weiße Substanz 334
6.9 Nuclei basales (Basalkerne) 336

7 Diencephalon (Zwischenhirn)

7.1 Übersicht und Entwicklung 338
7.2 Äußere Struktur 340
7.3 Innenstruktur: Etagengliederung und Schnittserie 342
7.4 Thalamus: Kerngebiete 344
7.5 Projektionen der Thalamuskerne 346
7.6 Hypothalamus 348
7.7 Hirnanhangsdrüse (Hypophyse, Glandula pituitaria) 350
7.8 Epi- und Subthalamus 352

8 Truncus encephali (Hirnstamm)

8.1 Gliederung und äußere Struktur 354
8.2 Hirnnervenkerne, Nucleus ruber und Substantia nigra 356
8.3 Formatio reticularis 358
8.4 Ab- und aufsteigende Bahnen 360
8.5 Querschnitte durch den Hirnstamm: Mittelhirn (Mesencephalon) und Brücke (Pons).....362
8.6 Medulla oblongata 364

9 Cerebellum (Kleinhirn)

9.1 Äußere Struktur 366
9.2 Innere Struktur 368
9.3 Kleinhirnstiele und -bahnen 370
9.4 Vereinfachte funktionelle Anatomie und Läsionen des Kleinhirns 372

a., Prometheus: Kopf, Hals und Neuroanatomie (ISBN 9783131395443) © 2015 Georg Thieme Verlag KG

10 Blutgefäße des Gehirns

10.1 Zuführende Arterien und Circulus arteriosus 374
10.2 Oberflächlicher Verlauf der Großhirnarterien 376
10.3 Versorgungsgebiete der drei großen Arterien im Großhirn (Arteriae cerebri anterior, media und posterior) 378
10.4 Arterien von Hirnstamm und Kleinhirn 380
10.5 Sinus durae matris: Vorkommen und Aufbau 382
10.6 Zuflüsse und akzessorische Abflüsse 384
10.7 Oberflächliche und tiefe Venen des Gehirns 386
10.8 Tiefe Venen des Gehirns: Venen von Hirnstamm und Kleinhirn 388
10.9 Intrakranielle Blutungen 390
10.10 Zerebrale Durchblutungsstörungen 392

11 Rückenmark (Medulla spinalis) und seine Blutgefäße

11.1 Übersicht: Segmentaler Bau des Rückenmarks (Medulla spinalis) . . 394
11.2 Gliederung der Rückenmarkssegmente 396
11.3 Graue Substanz (Substantia grisea): Innere Gliederung 398
11.4 Reflexbogen und Eigenapparat des Rückenmarks 400
11.5 Aufsteigende Bahnen im Vorderstrang: Tractus spinothalamici 402
11.6 Aufsteigende Bahnen im Hinterstrang: Fasciculus gracilis und Fasciculus cuneatus 404
11.7 Aufsteigende Bahnen im Seitenstrang: Tractus spinocerebellares 406
11.8 Absteigende Bahnen: Tractus corticospinales anterior und lateralis 408
11.9 Extrapyramidale und vegetative Bahnen 410
11.10 Synopsis der auf- und absteigenden Bahnsysteme im Rückenmark 412
11.11 Arterielle Versorgung 414
11.12 Venöse Drainage 416
11.13 Topografie 418

12 Das Gehirn im Schnittbild

12.1 Frontalschnitte I und II 420
12.2 Frontalschnitte III und IV 422
12.3 Frontalschnitte V und VI 424
12.4 Frontalschnitte VII und VIII 426
12.5 Frontalschnitte IX und X 428
12.6 Frontalschnitte XI und XII 430
12.7 Horizontalschnitte I und II 432
12.8 Horizontalschnitte III und IV 434
12.9 Horizontalschnitte V und VI 436
12.10 Sagittalschnitte I – III 438
12.11 Sagittalschnitte IV – VI 440
12.12 Sagittalschnitte VII und VIII 442

13 Funktionelle Systeme und klinische Bezüge

13.1 Sensorisches System: Synopse der Bahnsysteme 444
13.2 Prinzipien der Reizverarbeitung 446
13.3 Läsionen 448
13.4 Schmerz 450
13.5 Schmerzbahnen des Kopfes und zentrales schmerzhemmendes System 452
13.6 Motorisches System: Übersicht und Prinzip 454
13.7 Pyramidenbahn (Tractus pyramidalis) 456
13.8 Motorische Kerngebiete 458
13.9 Extrapyramidal-motorisches System und Läsionen des motorischen Systems 460
13.10 Radikuläre Läsionen: Überblick und sensible Schäden 462
13.11 Motorische Schäden 464
13.12 Armplexusläsion 466
13.13 Beinplexusläsion 468
13.14 Läsionen des Rückenmarks und der peripheren Nerven: Sensible Ausfälle 470
13.15 Motorische Ausfälle 472
13.16 Bestimmung der Höhe einer spinalen Läsion 474
13.17 Visuelles System: Genikulärer Anteil 476
13.18 Läsionen des genikulären Anteils und nicht genikuläre Projektionen 478
13.19 Reflexe 480
13.20 Koordination der Augenbewegungen 482
13.21 Hörbahn 484
13.22 Vestibuläres System 486
13.23 Geschmackssinn 488
13.24 Geruchssinn 490
13.25 Limbisches System 492
13.26 Kortexgliederung, Assoziationsgebiete 494
13.27 Hemisphärendominanz 496
13.28 Korrelation klinischer Symptome mit neuroanatomischen Befunden 498

a., Prometheus: Kopf, Hals und Neuroanatomie (ISBN 9783131395443) © 2015 Georg Thieme Verlag KG

ZNS: Glossar und Synopsen

1 Glossar

1.1 Substantia grisea (graue Substanz) 502
1.2 Substantia alba (weiße Substanz) 504
1.3 Sensibilität und Motorik; Übersicht Rückenmark und Rückenmarksbahnen 506

2 Synopsen

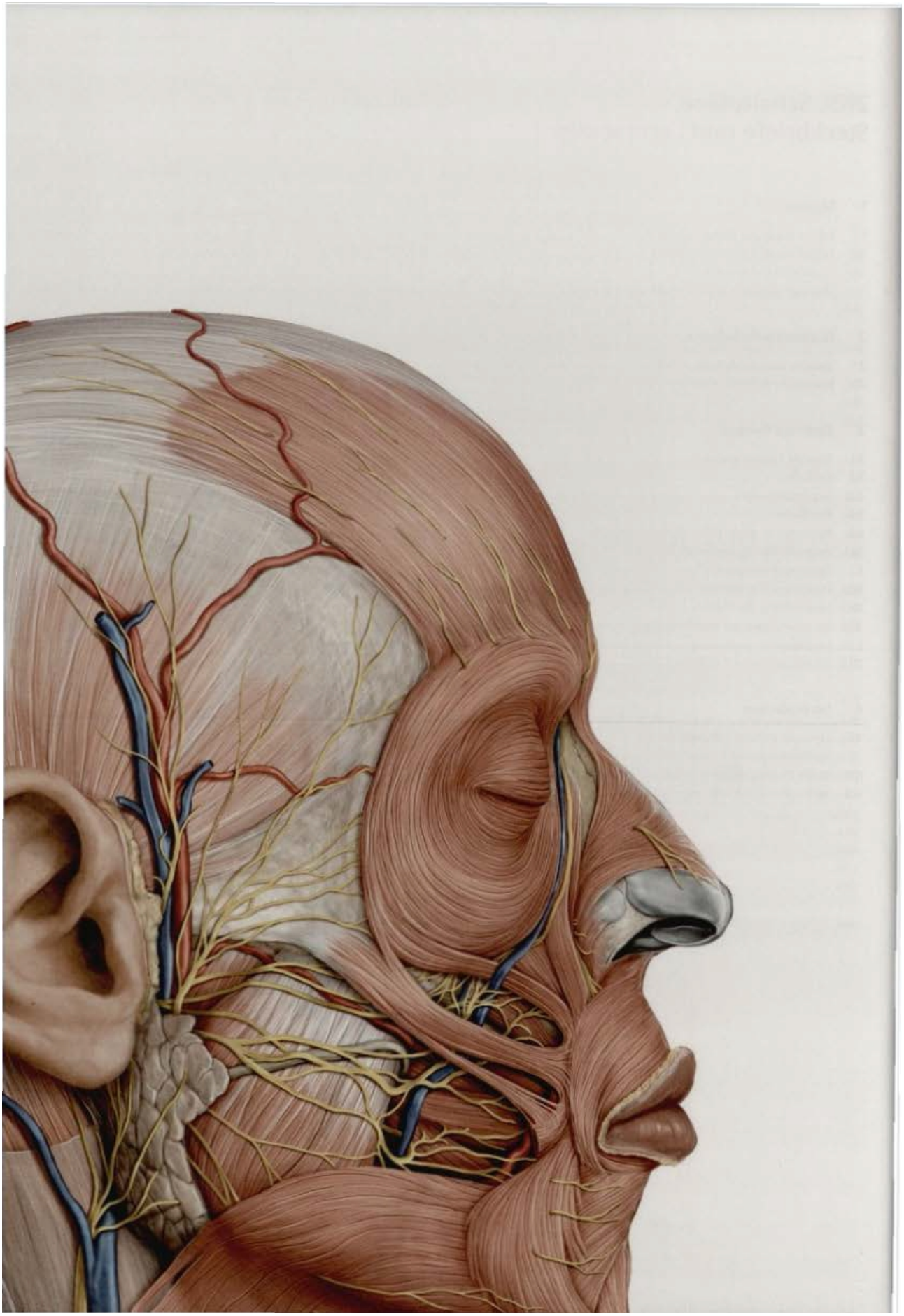
2.1 Leitungsbahnen der Nase 508
2.2 Gefäße der Orbita 510
2.3 Nerven der Orbita 512
2.4 Sensible Bahnen im Rückenmark 514
2.5 Motorische Bahnen im Rückenmark 516
2.6 Sensible Trigeminusbahn 518
2.7 Hörbahn 520
2.8 Geschmacksbahn 522
2.9 Riechbahn 524
2.10 Kontrolle der motorischen Hirnnervenkerne 526
2.11 Kontrolle der Augenmotorik 528
2.12 Bahnen im Hirnstamm 530
2.13 Projektionen der Retina 532
2.14 Vegetative und sensible Ganglien am Kopf 534
2.15 Verschaltung der Motorik 536
2.16 Verschaltungen des Kleinhirns (Cerebellum) 538
2.17 Funktionelle Cortexareale 540
2.18 Assoziations- und Projektionsbahnen 542
2.19 Obere und untere Olive sowie die vier Lemnisken 544
2.20 Links-rechts-Verschaltungen im ZNS: Kommissuren und Kreuzungen 546
2.21 Kerne im Diencephalon und Kerngebiete des Thalamus . . . 548
2.22 Kerne der Hirnnerven und vegetative Kerne 550

Anhang

Literaturverzeichnis 555

Sachverzeichnis 557

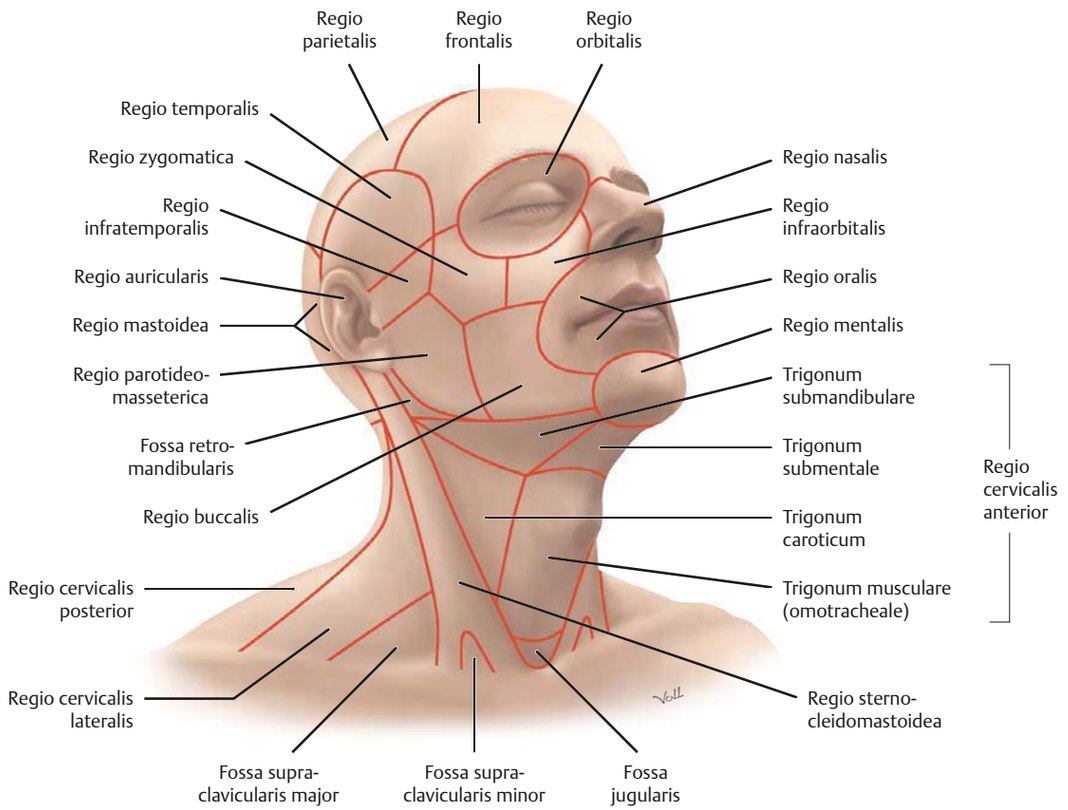
a., Prometheus: Kopf, Hals und Neuroanatomie (ISBN 9783131395443) © 2015 Georg Thieme Verlag KG



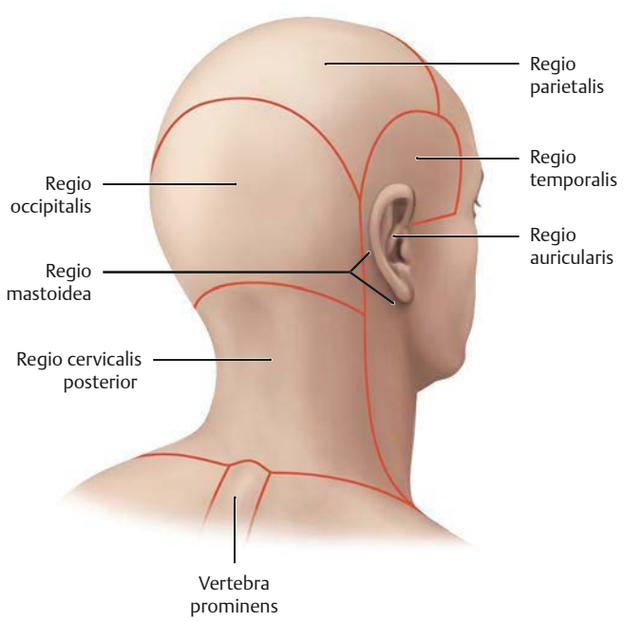
Kopf und Hals

1 Übersicht 2
2 Knochen, Bänder und Gelenke 12
3 Systematik der Muskulatur. 78
4 Systematik der Leitungsbahnen. 94
5 Organe und ihre Leitungsbahnen 142
6 Topografie. 226
7 Schnittbilder 246

1.1 Regionen und tastbare Knochenpunkte



A Regionen von Kopf und Hals
Ansicht von ventral-rechts.

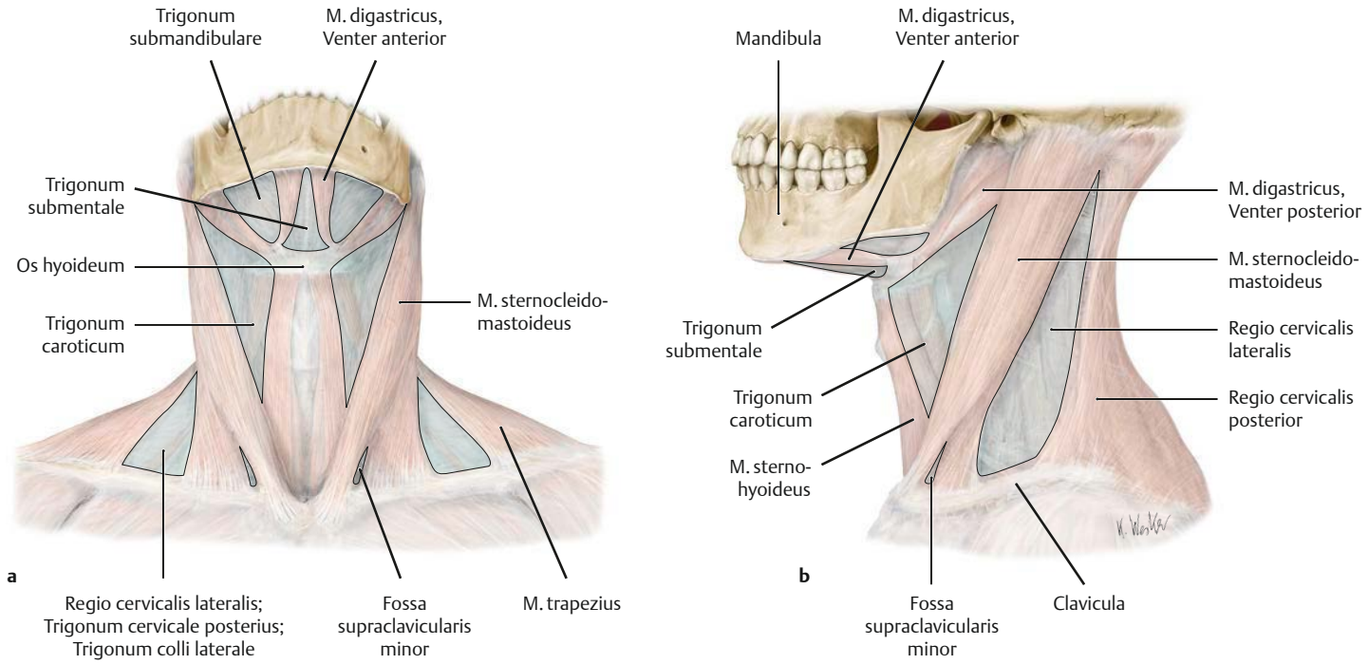


B Regionen von Kopf und Hals
Ansicht von dorsal-rechts.

C Regionen von Kopf und Hals (Regiones capitis und cervicales)

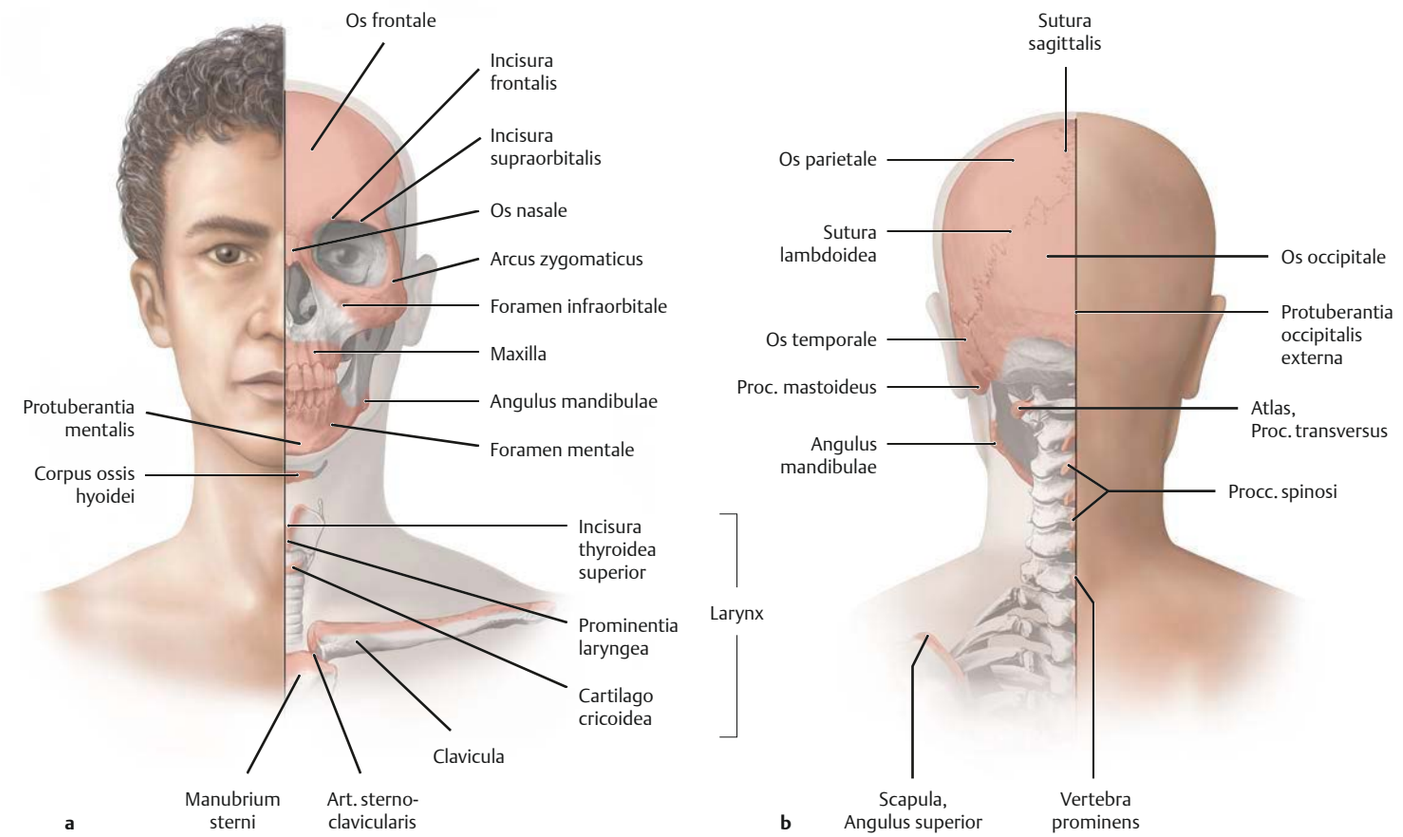
Kopfregionen (Regiones capitis)	Halsregionen (Regiones cervicales)
• Regio frontalis • Regio parietalis • Regio occipitalis • Regio temporalis • Regio auricularis • Regio mastoidea • Regio facialis – Regio orbitalis – Regio infraorbitalis – Regio buccalis – Regio parotideomasseterica – Regio zygomatica – Regio nasalis – Regio oralis – Regio mentalis	• Regio cervicalis anterior – Trigonum submandibulare – Trigonum caroticum – Trigonum musculare (omotracheale) – Trigonum submentale • Regio sternocleidomastoidea – Fossa supraclavicularis minor • Regio cervicalis lateralis – Trigonum omoclaviculare (Fossa supraclavicularis major) • Regio cervicalis posterior

Die Regionen von Kopf und Hals haben auch klinisch Bedeutung, da viele Hautläsionen in beiden Regionen mit bloßem Auge zu erkennen sind und ihre Lokalisation exakt beschrieben werden muss. Dies ist besonders bei Hautkrebs wichtig, da die Lymphe, über die der Tumor seine Zellen streuen kann, je nach Lokalisation in unterschiedliche Lymphknotenstationen abfließt.



D Regionen des Halses in ein Muskelpräparat eingezeichnet
a Ansicht von ventral bei leicht dorsalflektiertem Kopf; **b** Ansicht von links.

Da die hier dargestellten Muskeln leicht sicht- und tastbar sind, eignen sie sich besonders als Orientierungspunkte für eine topografische Einteilung des Halses.



E Tastbare Knochenpunkte an Kopf und Hals
a Ansicht von frontal; **b** Ansicht von dorsal.

1.2 Kopf und Hals als Ganzes und Halsfaszien

Kopf und Hals bilden anatomisch und funktionell eine Einheit, wobei der Hals den Kopf mit dem Rumpf verbindet. Deshalb enthält der Hals besonders viele Leitungsbahnen, an welche die Halseingeweide sozusagen im Nebenschluss angelagert sind. Während im Kopfbereich außer den Organfaszien (z. B. um die Ohrspeicheldrüse) keine allgemeinen Faszien vorhanden sind, wird der Hals durch mehrere Faszien in Räume unterteilt. Sie sind hier der Besprechung von Organen und Leitungsbahnen vorangestellt, da die folgenden Kapitel immer wieder auf die Lage der Strukturen innerhalb dieser Faszien Bezug nehmen.

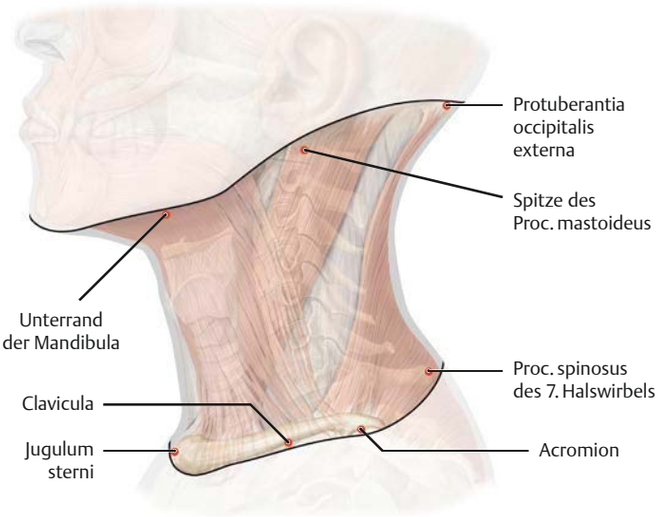
A Gliederung des Kopf- und Halskapitels

Übersicht	• Regionen und tastbare Knochenpunkte • Kopf und Hals als Ganzes und Halsfaszien • Klinische Anatomie von Kopf und Hals • Embryologie Gesicht • Embryologie Hals
Knochen	• Schädelknochen • Zähne • Halswirbelsäule • Bandapparat • Gelenke
Muskulatur	• mimische Muskulatur • Kaumuskeln • Halsmuskeln
Systematik der Leitungsbahnen	• Arterien • Venen • Lymphknotenstationen • Nerven
Organe und ihre Leitungsbahnen	• Ohr • Auge • Nase • Mundhöhle • Rachen • Kopfspeicheldrüsen • Kehlkopf • Schilddrüse und Nebenschilddrüsen
Topografische Anatomie	• vordere Gesichtsregion • Hals von ventral, oberflächliche Schichten • Hals von ventral, tiefe Schichten • oberflächliche Schicht des seitlichen Kopfes • mittlere und tiefe Schicht des seitlichen Kopfes • Fossa infratemporalis (Unterschläfengrube) • Fossa pterygopalatina (Flügel-Gaumen-Grube) • laterales Halsdreieck • Übergang in die obere Thoraxapertur, Karotisdreieck und tiefe seitliche Halsregion • hintere Halsregion und Hinterhauptsregion • Kopf und Hals im Schnittbild

B Halsfaszie (Fascia cervicalis)

Man unterscheidet eine Muskelfaszie mit drei Blättern sowie eine Leitungsbahnen- und eine Eingeweidefaszie:

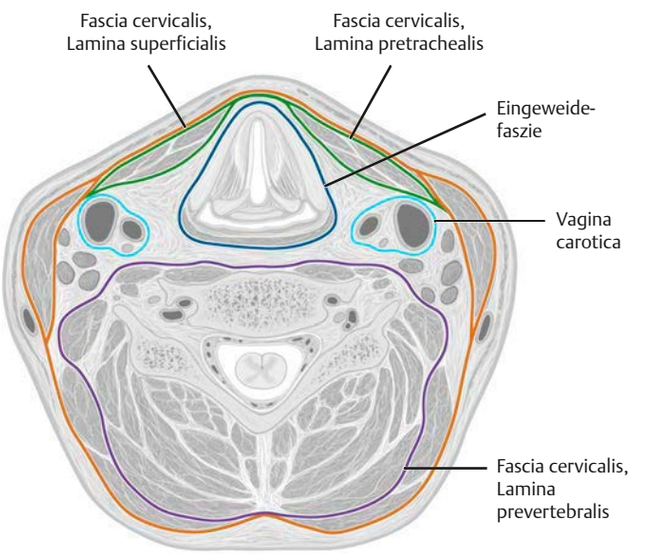
1. Lamina superficialis: umhüllt den ganzen Hals und liegt dem M. trapezius und dem M. levator scapulae außen an, sie umscheidet den M. sternocleidomastoideus
2. Lamina pretrachealis: umscheidet die infrahyoidalen Muskeln
3. Lamina prevertebralis: umscheidet die Mm. scaleni, die prävertebrale Muskulatur und die autochthone Rückenmuskulatur
4. Vagina carotica: umscheidet die Gefäß-Nerven-Straße
5. Eingeweidefaszie: umscheidet Larynx, Trachea, Pharynx, Oesophagus und Gl. thyroidea



C Grenzflächen des Halses

Ansicht von links. Folgende tastbare Strukturen bilden die Grenzflächen des Halses:

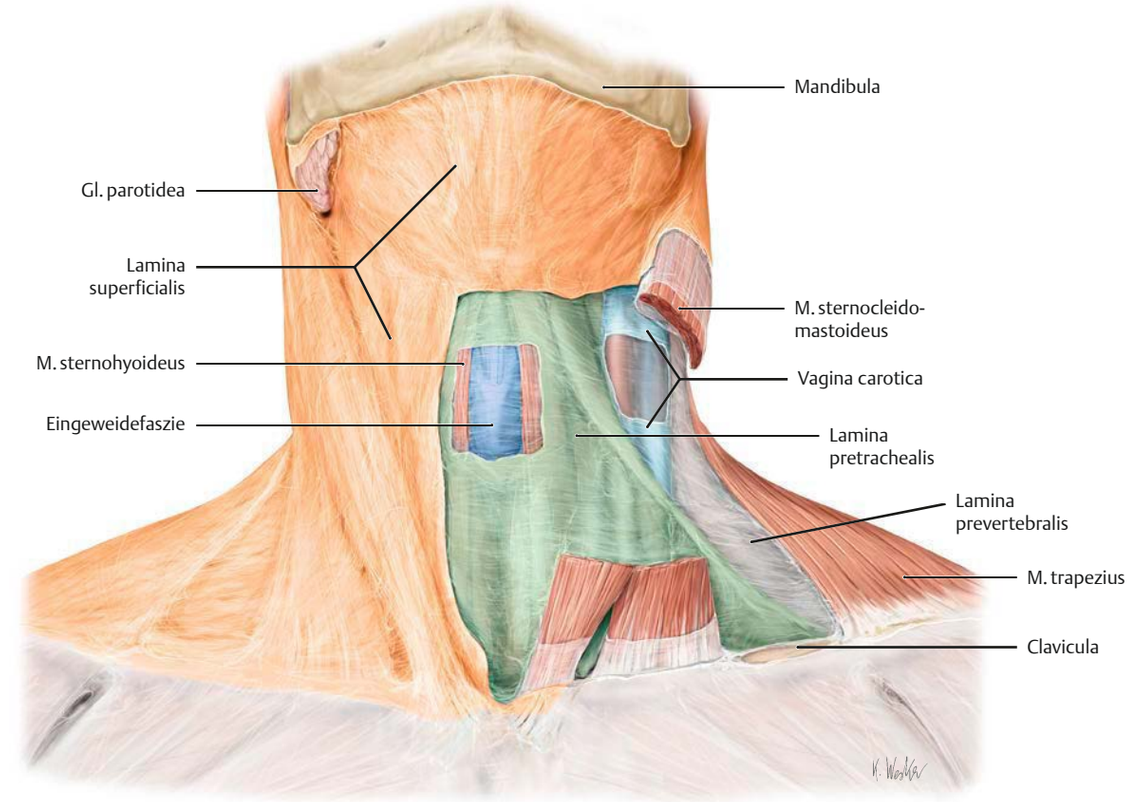
- kranial: Unterrand der Mandibula, Spitze des Proc. mastoideus und Protuberantia occipitalis externa;
- kaudal: Jugulum sterni, Clavicula, Acromion und Proc. spinosus des 7. Halswirbels.



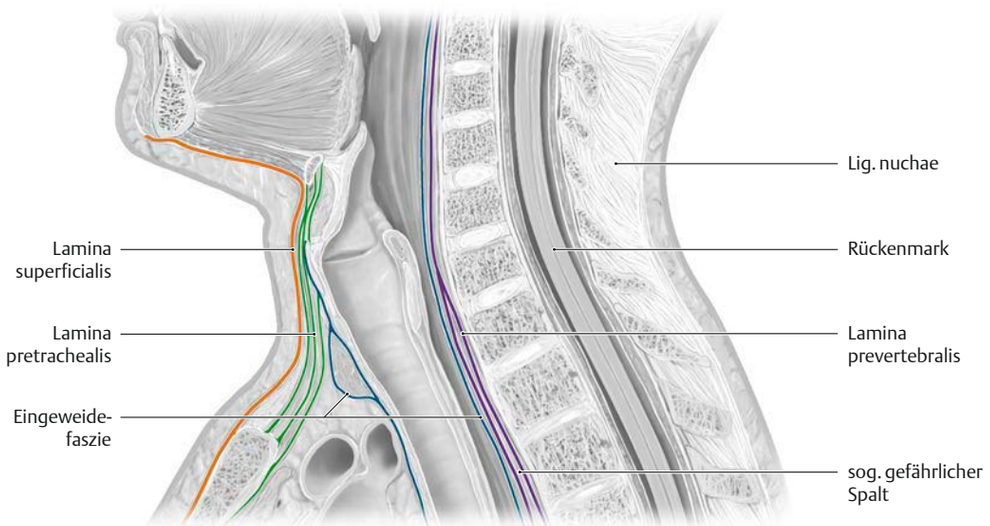
D Faszienverhältnisse am Hals; Querschnitt in Höhe des 5. Halswirbels

Die gesamte Ausdehnung der Halsfaszie ist orientierend am besten in einem Querschnitt zu erkennen:

- Die *Muskelfaszie* spaltet sich in drei Blätter auf:
  - Lamina superficialis (orange),
  - Lamina pretrachealis (grün) und
  - Lamina prevertebralis (violett);
- darüber hinaus gibt es eine *Leitungsbahnenfaszie:* Vagina carotica (hellblau) und
- eine *Eingeweidefaszie* (dunkelblau).



a



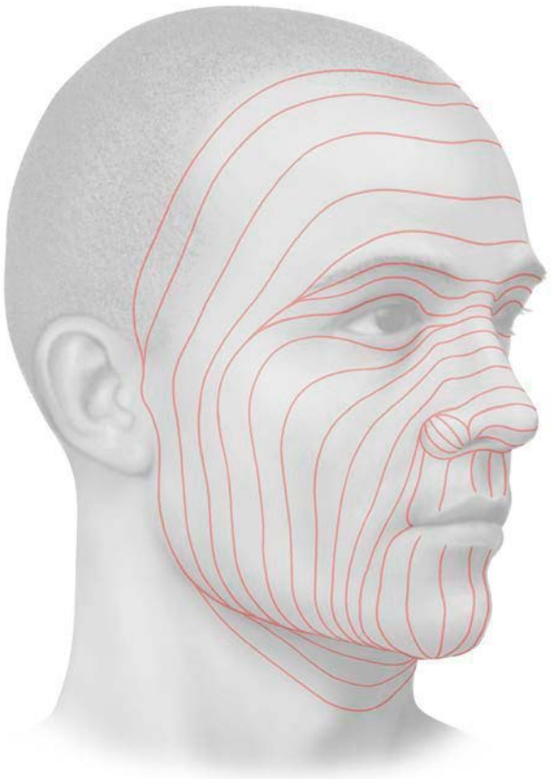
b

E Faszienverhältnisse am Hals

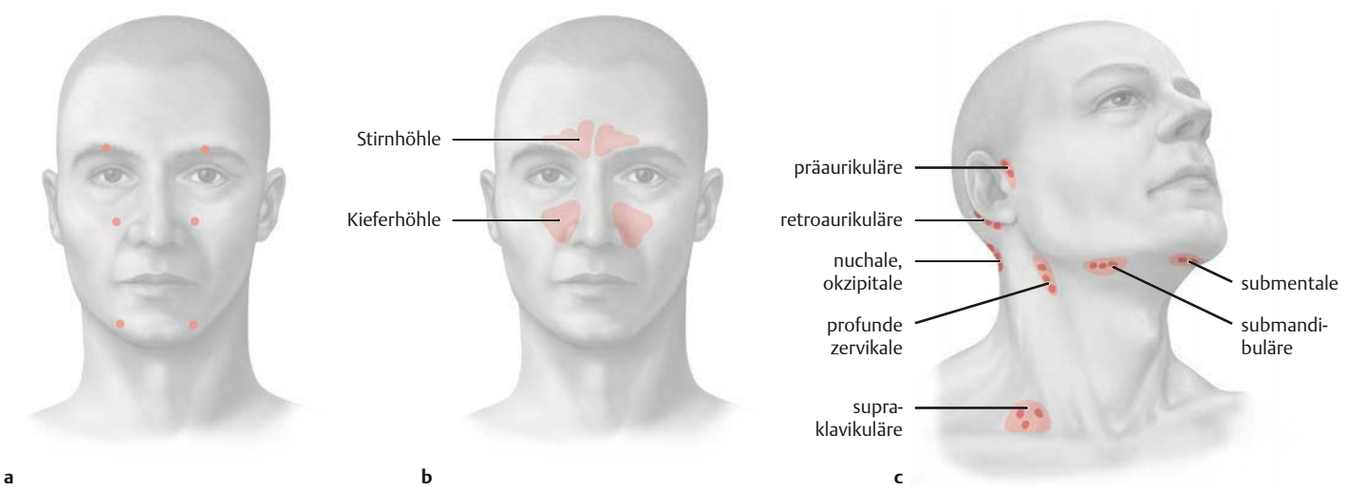
a Ansicht von ventral. Der sehr variabel ausgebildete Hautmuskel des Halses, das Platysma, liegt oberhalb (epifaszial) der oberflächlichen Halsfaszie, er wurde beiderseits in Höhe des Unterrandes der Mandibula entfernt. Die Halsfaszien bilden ein bindegewebiges Blatt um die Muskulatur, die Leitungsbahnen und die Halseingeweide (zur näheren Unterteilung s. **B**). Auf diese Weise unterteilen sie den Hals in Räume, von denen einige, durch die die Leitungsbahnen ziehen, nach kaudal und kranial hin offen sind. Unter dem oberflächlichen Blatt der Halsfaszie, der *Lamina superficialis,* das mitte-links gefenstert wurde, liegt das mittlere Blatt, die *Lamina pretrachealis.* Unterhalb der Lamina pretrachealis wird in einem Fenster die *Eingeweidefaszie* sichtbar. Die Leitungsbahnen sind von einer weiteren Faszie umgeben, der *Vagina carotica.* Dorsal links wird das tiefe Blatt der Halsfaszie, die *Lamina prevertebralis* sichtbar. Diese, durch die Faszien begrenzten Bindegewebsschläuche des Halses haben klinisch insofern Bedeutung, als sie z. T. begrenzende Leitstrukturen darstellen, in denen sich Entzündungen ausbreiten können, wobei die Entzündung (zumindest initial) auf diesen bestimmten Bindegewebsraum begrenzt bleiben kann.

b Ansicht von links. Mediansagittalschnitt: In dieser Darstellung erkennt man, dass das tiefe Blatt der Halsfaszie, die Lamina prevertebralis, median direkt auf der Wirbelsäule aufliegt und gespalten ist. Bei einer Knochentuberkulose der Halswirbelsäule z. B. kann sich hier ein Senkungsabszess entlang der Faszie ausbilden (sog. gefährlicher Spalt, Retropharyngealabszess). Lateral und dorsal umscheidet diese Faszie Muskulatur (s. **D**). Die weiter lateral gelegene Vagina carotica ist in diesem medianen Schnitt nicht mit anzutreffen.

1.3 Klinische Anatomie



A Spalt- oder Spannungslinien am Kopf
Ansicht von schräg vorne.
Haut und Subkutis stehen unter Spannung, weshalb ein Stich mit einer kleinen runden Nadel zu einem kleinen länglichen Spalt in der Haut führt. Dieser Spalt richtet sich nach den Spannungslinien im Bereich des Einstichs aus. Um eine rasche Wundheilung und wenig auffällige Narbenbildung zu gewährleisten, müssen Schnitte im Kopfbereich daher entlang dieser Spannungslinien ausgerichtet werden. Diese Schnittführung ist gerade im Bereich des Kopfes wichtig, da dort Narben besonders gut zu sehen sind.

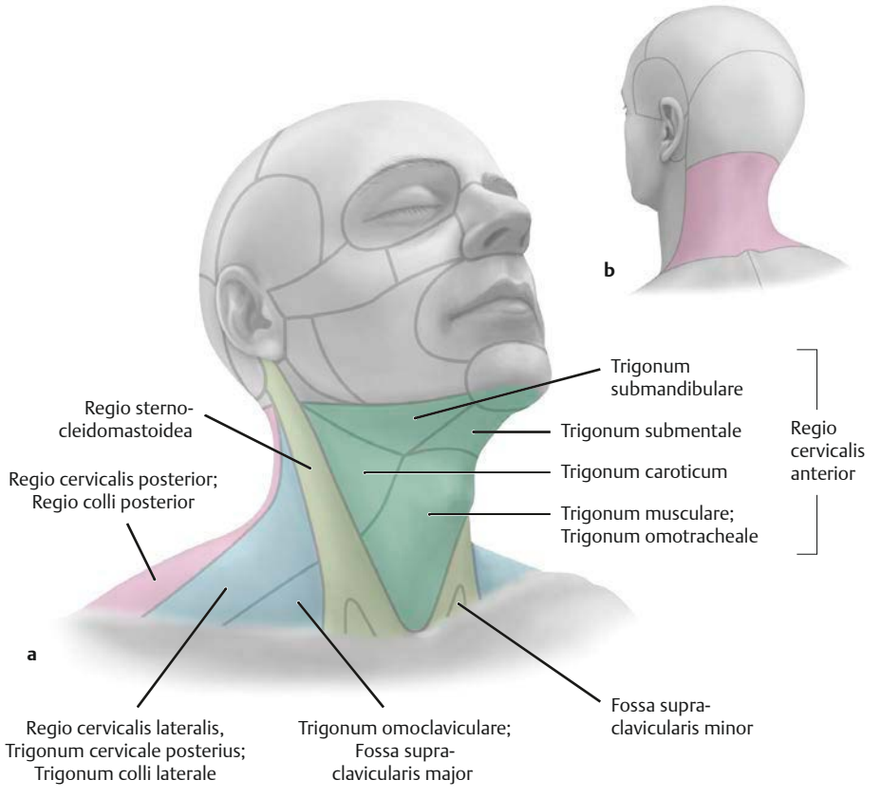


B Projektionen klinisch wichtiger Strukturen auf den Kopf
Ansicht von frontal (**a** u. **b**) und von schräg rechts (**c**).

a Austrittspunkte des sensiblen N. trigeminus: Sie sind für die klinische Prüfung der Sensibilität des Kopfes von Bedeutung. Wenn der Druck der Fingerkuppe an diesen Austrittspunkten Schmerzen auslöst, ist der entsprechende Trigeminusast gereizt.

b Hautareale über den Nasennebenhöhlen: Sie sind bei Entzündungen der Nebenhöhlen, die sehr häufig vorkommen, (druck)schmerzempfindlich.

c Abführende Lymphknotenstationen am Übergang von Kopf zu Hals: Die wichtigsten dieser Lymphknotenstationen sind hier benannt. Wenn die Lymphknoten vergrößert sind, liegt z. B. eine Entzündung oder ein Tumor im Einflussgebiet dieses Lymphknotens vor. Bei der klinischen Untersuchung des Kopfes sind die abführenden Lymphknotenstationen daher abzutasten.



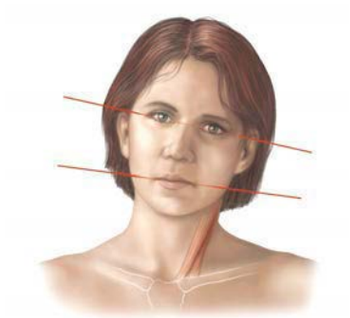
Regio cervicalis anterior
- Trigonum submandibulare
  - submandibuläre Lymphknoten
  - Gl. submandibularis
  - N. hypoglossus
  - Gl. parotis (dorsal)
- Trigonum caroticum
  - Karotisbifurkation
  - Glomus caroticum
  - N. hypoglossus
- Trigonum musculare
  - Gl. thyroidea
  - Larynx
  - Trachea
  - Oesophagus
- Trigonum submentale
  - submentale Lymphknoten

Regio sternocleidomastoidea
- M. sternocleidomastoideus
- A. carotis
- V. jugularis interna
- N. vagus
- juguläre Lymphknoten

Regio cervicalis lateralis
- laterale Lymphknoten
- N. accessorius
- Plexus cervicalis
- Plexus brachialis

Regio cervicalis posterior
- Nackenmuskeln
- Trigonum arteriae vertebralis

C Zuordnung anatomisch wichtiger Strukturen zu den topografischen Feldern und Regionen des Halses (nach Anschütz)
a Ansicht von schräg rechts; **b** Ansicht von dorsal-links.
Bestimmte tiefer gelegene Strukturen des Halses projizieren auf verschiedene Regionen. Umgekehrt kann bei pathologischen Veränderungen in einer Region auf die zugrundeliegende anatomische Struktur rückgeschlossen werden. So sind z. B. Glomustumoren im Trigonum caroticum lokalisiert.



D Muskulärer Schiefhals (Torticollis muscularis) links (nach Anschütz)
Schiefhals und Struma (s. **E**) können alleine durch die Inspektion diagnostiziert werden (Blickdiagnose). Beim Schiefhals ist der M. sternocleidomastoideus – meist aufgrund intrauteriner Fehllage – verkürzt. Dadurch halten die Betroffenen den Kopf zur erkrankten Seite geneigt und leicht zur Gegenseite gedreht. Ohne Therapie (Krankengymnastik/Operation) führt der Schiefhals sekundär zu schiefem Wachstum von Wirbelsäule und Gesichtsschädel. Die Schädelasymmetrie äußert sich u. a. durch die Konvergenz der Gesichtsebenen auf der erkrankten Seite (s. Linien).

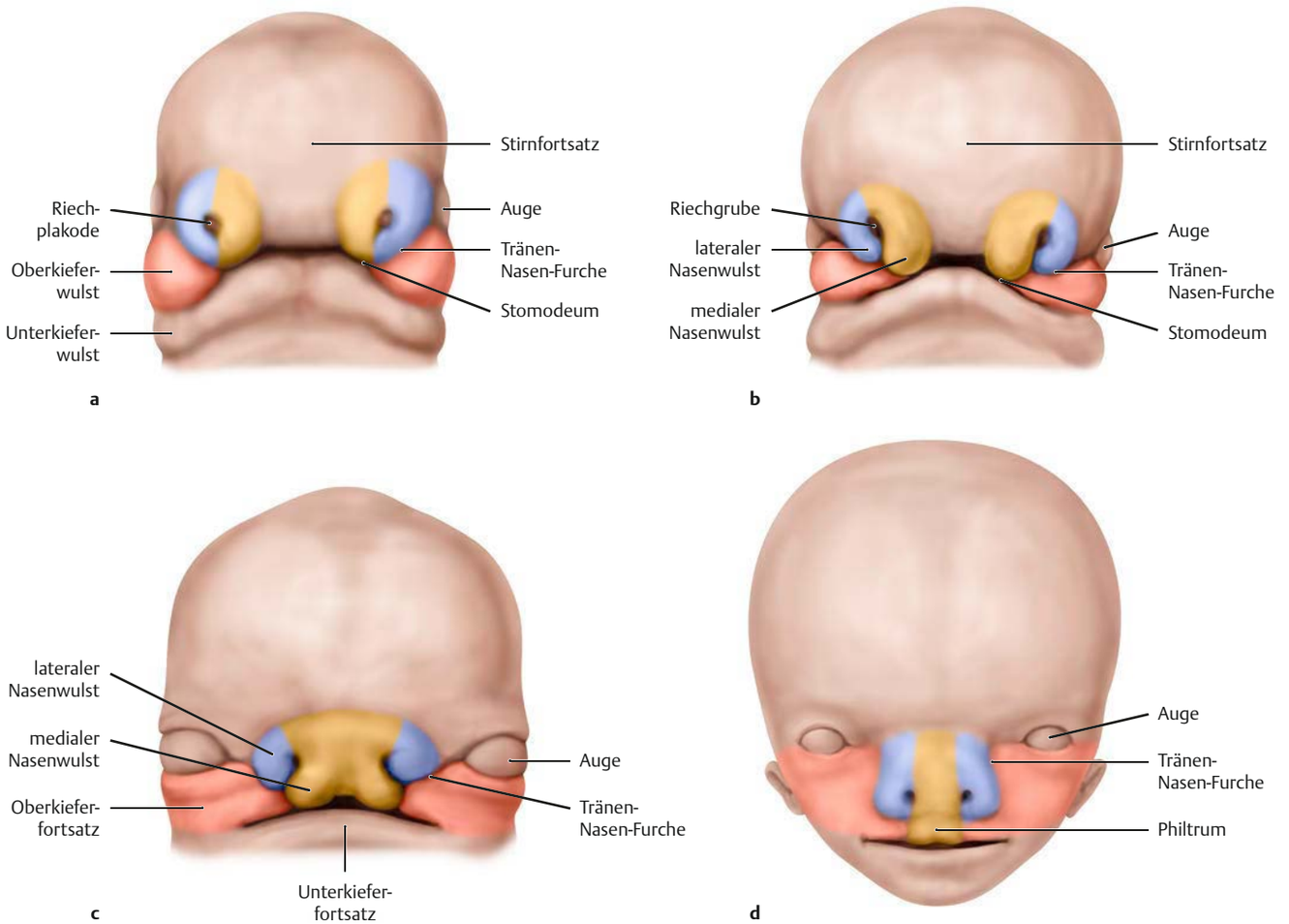


E Retrosternale Struma (nach Hegglin)
Eine Struma, die von den unteren Polen (s. S. 224) der Schilddrüse ausgeht, kann bis in die obere Thoraxapertur reichen und dort die Halsvenen komprimieren. Die Folge ist eine venöse Stauung mit Venenerweiterung an Kopf und Hals (sog. kongestionierter Hals).



F Abschätzung des zentralen Venendrucks am Hals in halbaufrechter Körperhaltung
Normalerweise sind die Halsvenen im Sitzen kollabiert. Liegt allerdings eine Rechtsherzinsuffizienz vor, so staut sich das Blut vor dem rechten Herzen, was zu einem Rückstau des Blutes in die Vv. jugulares führt. Die Höhe des Rückstaus wird durch eine Pulsation in der V. jugularis externa erkenntlich (sog. Venenpuls, Ende der oberen blauen Markierung). Je höher dieser Punkt liegt, desto mehr Blut wird rückgestaut. Folglich kann man an diesem Punkt die Schwere der Rechtsherzinsuffizienz bestimmen.

1.4 Embryologie des Gesichts



A Gesichtswülste und deren Verschmelzung (nach Sadler)
Ansichten von frontal. Um die Entstehung der klinisch wichtigen Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten (**c**) zu verstehen, muss man die Entwicklung des Gesichts kennen.

a Fünf Wochen alter Embryo. Das Oberflächenektoderm des 1. Schlundbogens hat sich zum Stomodeum eingefaltet, das später Anschluss an das endodermale Epithel der Mundhöhle gewinnt. Die Kontur des Gesichts entwickelt sich aus Gesichtswülsten, deren Gewebe aus dem 1. Schlundbogen oder aus Neuralleistenmesenchym stammt. Kaudal des Stomodeums liegen die Unterkieferwülste, lateral die Oberkieferwülste, daran anschließend lateraler und medialer Nasenwulst. Beide medialen Nasenwülste grenzen an den Stirnfortsatz an.

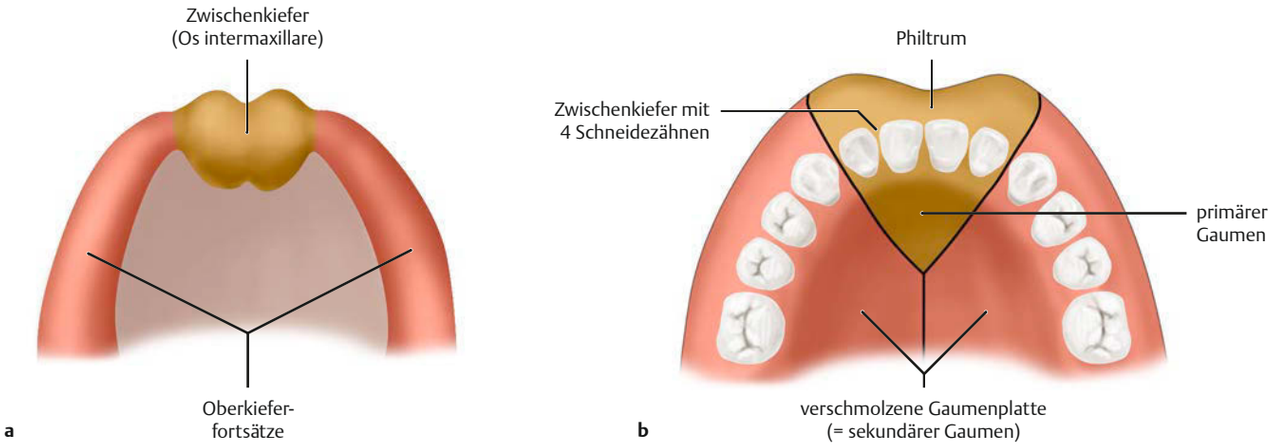
b Beim sechs Wochen alten Embryo grenzen sich durch Furchung die Nasenwülste vom Oberkieferwulst ab.

c Beim sieben Wochen alten Embryo sind die medialen Nasenwülste in der Mittellinie miteinander und an ihren lateralen Rändern mit den Oberkieferwülsten verschmolzen.

d Beim zehn Wochen alten Embryo sind die Wanderungsbewegungen abgeschlossen.

B Derivate der Gesichtswülste (nach Sadler)

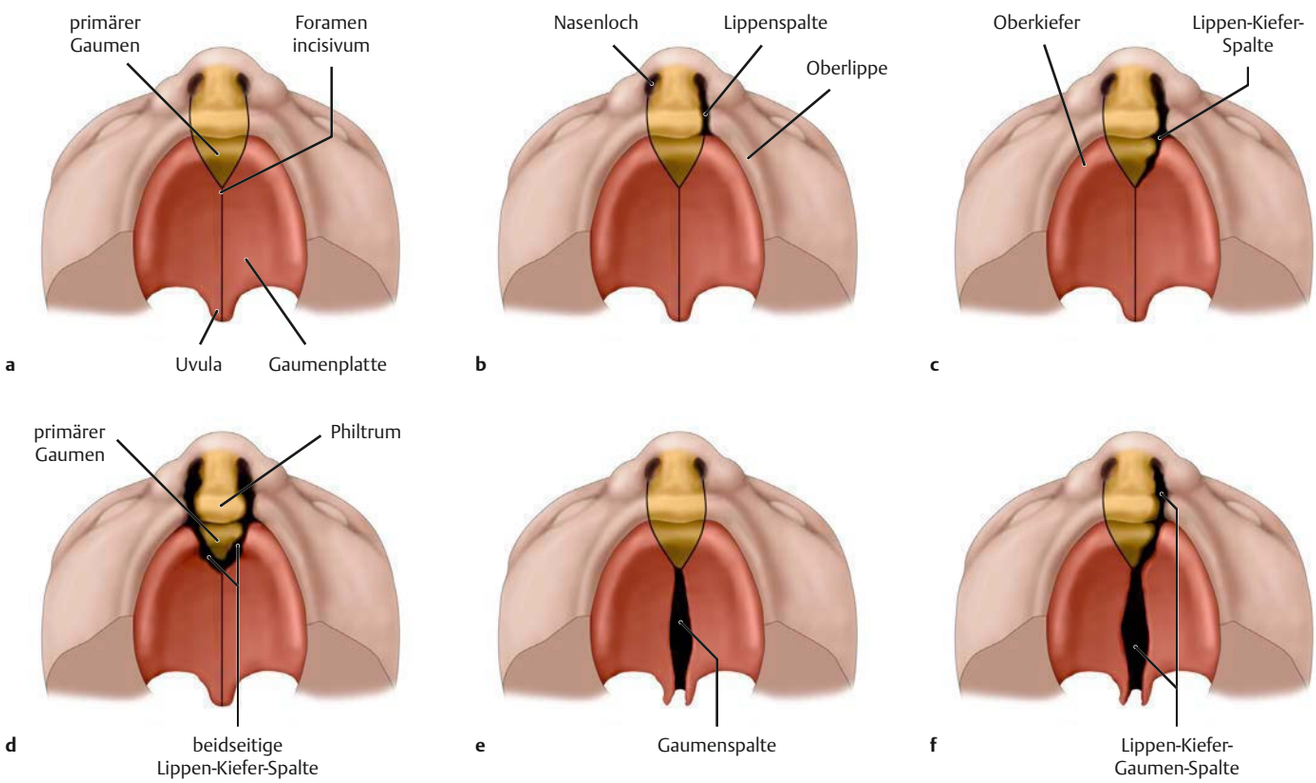
Gesichtswulst	Derivate
Stirnfortsatz	Stirn, Nasenwurzel, medialer und lateraler Nasenwulst
Oberkieferfortsatz	Wangen, laterale Anteile der Oberlippe
medialer Nasenwulst	Philtrum, Nasenspitze und Nasenrücken
lateraler Nasenwulst	Nasenflügel
Unterkieferfortsatz	Unterlippe



C Zwischenkiefersegment (nach Sadler)
a u. **b** Sicht auf den Gaumen von kaudal.

a Die medialen Nasenwülste bilden in der Tiefe Knochengewebe, das in der Mittellinie verschmilzt und einen in der Entwicklung eigenständigen Knochen bildet, den Zwischenkieferknochen (Os intermaxillare).

b Das Philtrum der Oberlippe entsteht ebenso aus dem Gewebe des medialen Nasenwulstes wie der Zwischenkieferknochen mit seinen vier Schneidezähnen. Der Knochen des primären Gaumens verschmilzt mit dem Knochen der Gaumenplatten der Oberkieferwülste und ist beim Erwachsenen kein eigenständiger Knochen mehr.



D Spaltbildungen im Gesichtsbereich (nach Sadler)
a–**f** Ansicht von kaudal und ventral.

a **Normalzustand.** Die Knochen der Gaumenplatten der Oberkieferwülste sind mit denen des primären Gaumens des medialen Nasenwulstes verschmolzen. Das Oberflächenepithel des Gesichts bildet um Mund und Nasenöffnung ein geschlossenes Gewebe.

b **Cheiloschisis.** Verschmilzt das Gewebe der Oberlippe links nicht, bildet sich eine bis in die Nase reichende Lippenspalte (Hasenscharte) links.

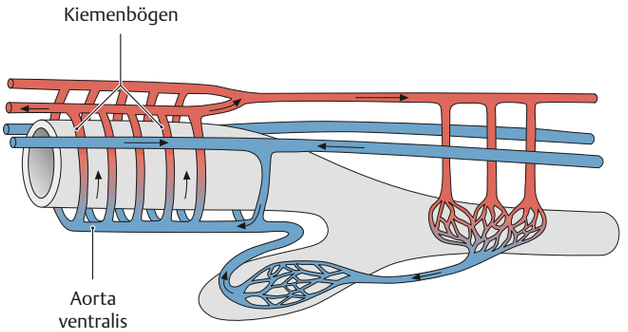
c **Cheilognathoschisis.** Ist auch der Oberkiefer links in die Spaltbildung mit einbezogen, ergibt sich links eine Lippen-Kiefer-Spalte.

d Eine Spaltbildung kann auch beiderseits auftreten: beidseitige Lippen-Kiefer-Spalte.

e **Palatoschisis.** Verschmelzen die Gaumenplatten der beiden Oberkieferwülste nicht miteinander, entsteht eine isolierte Gaumenspalte.

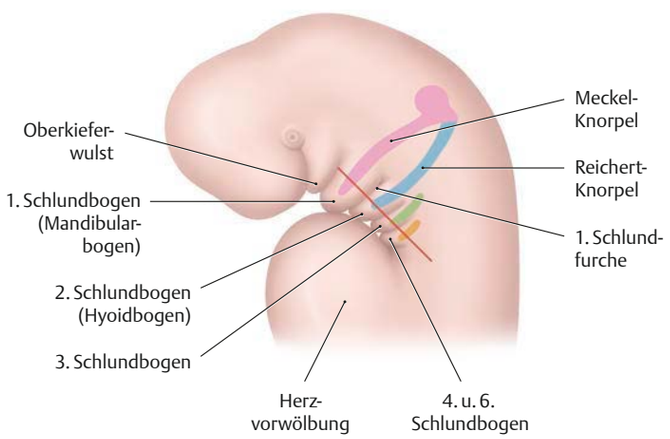
f **Cheilognathopalatoschisis.** Alle drei Spaltformen können miteinander kombiniert sein: einseitige Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte. Wenn diese beidseits auftritt, spricht man vom „Wolfsrachen“.

1.5 Embryologie des Halses



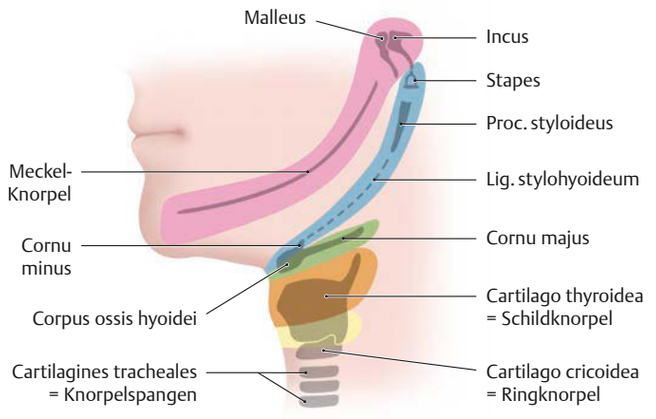
A Schema der Kiemenbögen beim Lanzettfischchen (nach Romer, Parsons u. Frick)

Ansicht von links. Beim Lanzettfischchen, dessen Bauplan hier exemplarisch für den der Chordaten (zu denen auch die Wirbeltiere gehören) dargestellt ist, strömt das venöse Blut in einer Aorta ventralis kopfwärts. Von ihr ziehen beiderseits Kiemenbogenarterien dorsalwärts. In den Kiemen wird dann das venöse Blut arterialisiert. Die Kiemenbogenarterien stellen also einen paarigen segmentalen Arterienbogen dar (vgl. Thoraxsegment beim Menschen!). Während der Embryonalentwicklung treten beim Menschen ähnliche Gefäßverläufe auf. Da aber beim Menschen keine Kiemen gebildet werden, spricht man von Schlund- statt von Kiemenbögen. Die Schlundbögen enthalten in ihrem bindegewebigen Kern die Kiemenbogenarterien. Relativ häufige Fehlbildungen am Hals werden als Fehlbildungen dieser Strukturen angesehen (s. **G**).



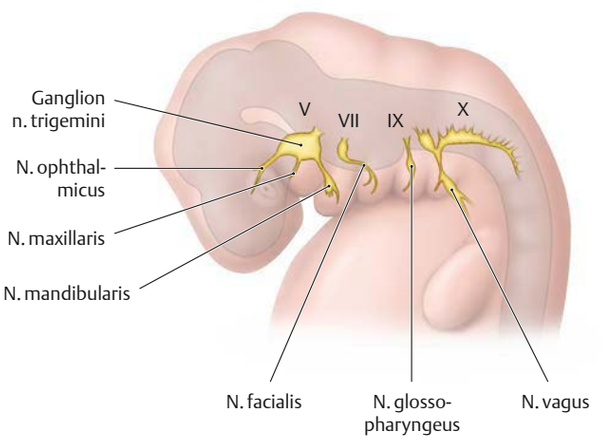
B Schlundbögen und Schlundfurchen eines vierwöchigen Embryos (nach Sadler)

Ansicht von links. Man erkennt die beim Menschen angelegten vier Schlundbögen, zwischen denen die Schlundfurchen liegen. Die Knorpel der vier Schlundbögen sind verschiedenfarbig markiert. Sie wandern – wie andere Gewebe der Schlundbögen auch – während der weiteren Entwicklung aus und bilden im Erwachsenen verschiedene Skelett- und Bandelemente (s. **C**).



C Herkunft von Skelett und Muskeln aus den Schlundbögen beim Erwachsenen (nach Sadler)

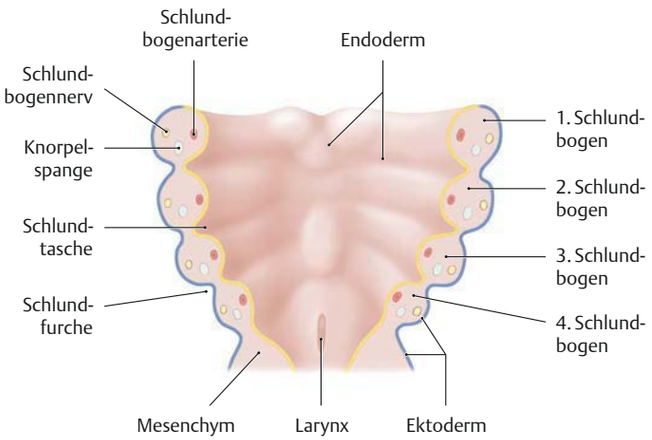
Ansicht von links. Neben den knorpeligen Grundlagen des Skeletts (s. Beschriftungen) können auch die Muskeln und die sie innervierenden Nerven aufgrund ihrer embryonalen Herkunft bestimmten Schlundbögen zugewiesen werden. Vom 1. Schlundbogen stammt die Kaumuskulatur und der M. mylohyoideus, der vordere Bauch des M. digastricus, der M. tensor veli palatini und der M. tensor tympani. Dem 2. Schlundbogen ist die mimische Muskulatur zugeordnet, der hintere Bauch des M. digastricus, der M. stylohyoideus sowie der M. stapedius. Vom 3. Schlundbogen stammt der M. stylopharyngeus ab. Vom letzten stammen M. cricothyroideus, M. levator veli palatini, die Schlundschnürer und die intrinsischen Muskeln des Kehlkopfes ab. Diese embryologische Herleitung der Muskeln erklärt auch ihre Innervation (s. **D**).



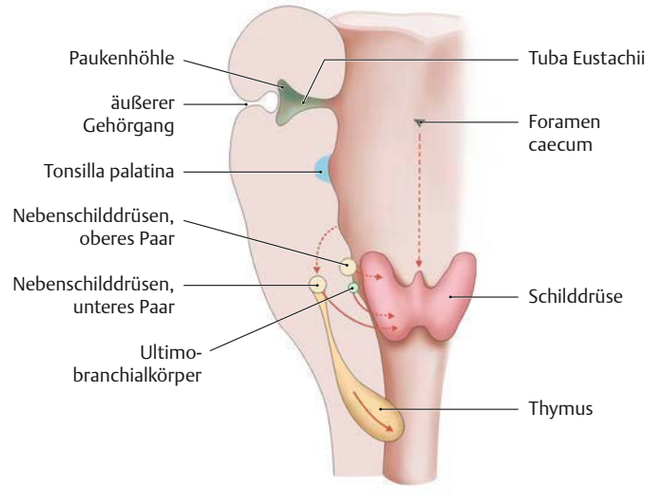
D Innervation der Schlundbögen

Ansicht von links. Jedem Schlundbogen kann ein Hirnnerv zugeordnet werden:

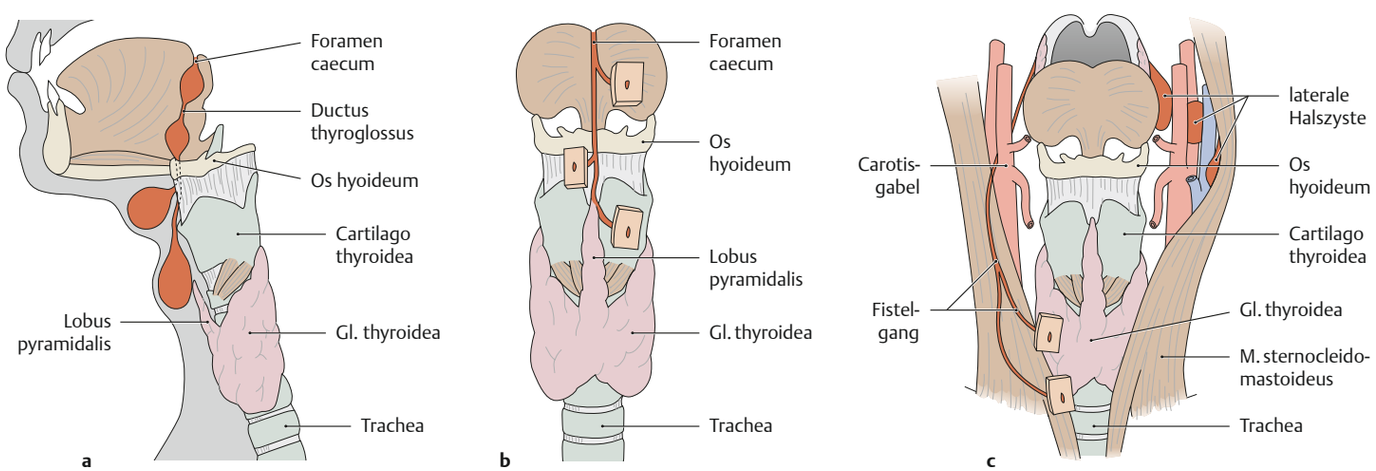
1. Schlundbogen	N. trigeminus (V) (N. mandibularis)
2. Schlundbogen	N. facialis (VII)
3. Schlundbogen	N. glossopharyngeus (IX)
4. u. 6. Schlundbogen	N. vagus (X) (N. laryngeus superior und recurrens)



E Innerer Aufbau der Schlundbögen (nach Sadler)
Ansicht von ventral; zur Schnittebene s. **B**. Außen sind die Schlundbögen von Ektoderm bedeckt, innen von Endoderm. Das Innere eines Schlundbogens besteht aus einer Schlundbogenarterie, einem Schlundbogennerv und einer Knorpelspange. Diese Strukturen werden von mesodermalem Gewebe und Muskulatur umgeben. Die äußeren Einfaltungen nennt man Schlundfurchen, die inneren Schlundtaschen. Die Schlundtaschen werden von Endoderm ausgekleidet, aus diesem entwickeln sich u. a. die Drüsen des Halses. Dabei wandern die Drüsenanlagen z. T. erheblich.



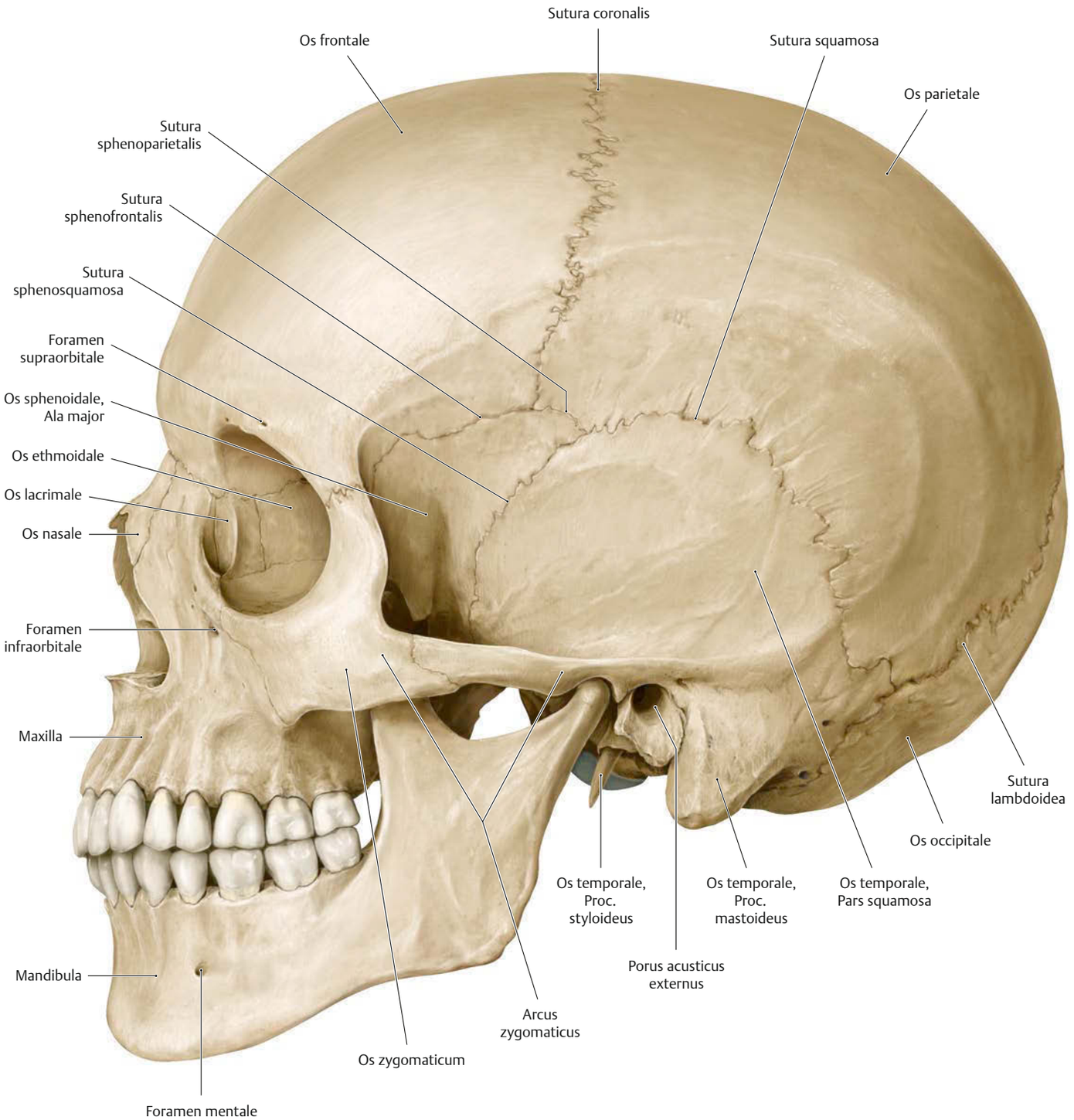
F Wanderungsbewegungen der Gewebe der Schlundbögen (nach Sadler)
Frontalansicht. Während der Entwicklung wandert das Epithel, aus dem sich die Schilddrüse bildet, von seinem Ursprungsort in der Mittellinie des Zungengrundes bis in Höhe des 1. Trachealknorpels, wo die Schilddrüse nachgeburtlich liegt. Am Zungengrund verbleibt das Foramen caecum als Rudiment, von dem aus sich das Schilddrüsengewebe abgeknospt hat. Die Nebenschilddrüsen stammen vom 4. (oberes Paar) bzw. 3. (unteres Paar) Schlund*bogen*, der Thymus ebenfalls vom 3. Schlundbogen ab. Der Ultimobranchialkörper, dessen Zellen in die Schilddrüse einwandern und dort die Calcitonin bildenden C-Zellen oder parafollikuläre Zellen bilden, stammt vom 5. Schlundbogen ab. Dieser entwickelt sich zuletzt und wird meist als Abschnitt des 4. Schlundbogens angesehen. Aus der 1. Schlund*furche* entwickelt sich der äußere Gehörgang, aus der 1. Schlund*tasche* die Paukenhöhle und die Tuba auditiva, aus der 2. die Tonsilla palatina.



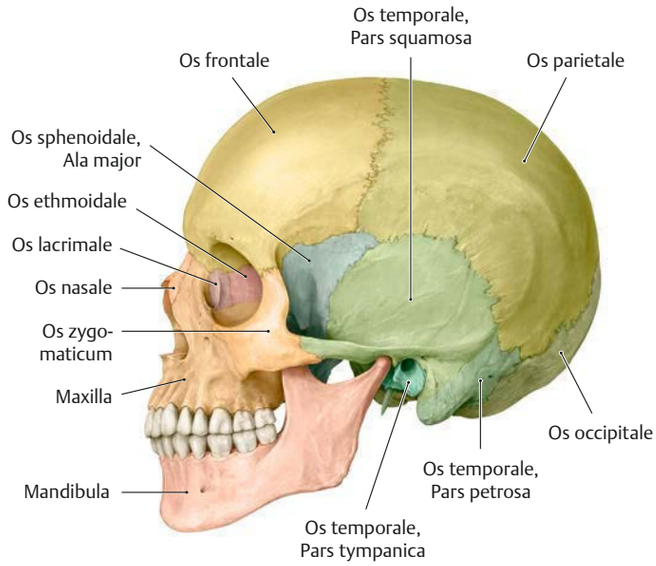
G Lage von Halszysten und Fisteln
a Mediane Halszysten; **b** mediane Halsfisteln; **c** laterale Halsfisteln und Zysten.
Mediane Halszysten und Fisteln (**a** u. **b**) sind Reste des Ductus thyroglossus. Bildet er sich nicht vollständig zurück, können mit Schleim gefüllte Hohlräume (Zysten) verbleiben. Diese treten als prallelastische Vergrößerungen am Hals auf.

Laterale Halszysten und Fisteln entstehen aus Resten der Gangabschnitte des Sinus cervicalis, der sich während der Entwicklung als Folge der Wanderungsbewegungen bildet. Persistieren epithelausgekleidete Reste, können sich Zysten (rechts) oder Fisteln (links) bilden (**c**). Eine vollständige Fistel ist eine Verbindung zwischen Halsoberfläche und Rachenraum, eine inkomplette Fistel endet blind. Die Öffnungen lateraler Halsfisteln liegen typischerweise am Vorderrand des M. sternocleidomastoideus.

2.1 Schädel (Cranium) von lateral



A Schädel von lateral (Norma lateralis)
Ansicht von links. Diese Ansicht wurde als Einführung in das Gebiet des Schädels gewählt, weil in ihr die meisten Schädelknochen zu erkennen sind (in **B** mit unterschiedlichen Farben markiert). Die einzelnen Knochen und ihre markanten Punkte sowie die Suturen (= Nähte) und Öffnungen werden in den nachfolgenden Lerneinheiten besprochen. Diese Lerneinheit dient der Übersicht über die wichtigsten Strukturen am seitlichen Schädel. Das Kapitel insgesamt ist so aufgebaut, dass man sich immer zunächst nur mit den Bezeichnungen der Knochen vertraut machen kann, bevor man die Einzelheiten und Beziehungen der Knochen zueinander studiert. Die Zähne (Dentes) werden in eigenen Lerneinheiten erklärt (s. S. 48 ff).



B Schädelknochen von lateral
Ansicht von links. Die Knochen sind unterschiedlich farbig hervorgehoben, damit die Ausdehnung bzw. Begrenzung des jeweiligen Knochens deutlich wird.



C Knochen von Neuro- (grau) und Viscerocranium (orange)
Ansicht von links. Der Schädel bildet eine Knochenkapsel um Gehirn, Sinnesorgane und Kopfeingeweide. Das Überwachsen des Neurocranium (Hirnschädel) über das Viscerocranium (Gesichtsschädel) ist typisch für Primaten und eine direkte Folge des Größenwachstums des Gehirns.



D Ossifikation der Schädelknochen
Ansicht von links. Die Knochen des Schädels entstehen entweder direkt aus dem mesenchymalen Bindegewebe (desmale Ossifikation, grau) oder indirekt über den Umbau eines knorpeligen Modells (chondrale Ossifikation, blau). Anteile von desmaler und chondraler Ossifikation (Desmocranium, Chondrocranium) können zu einem einheitlichen Knochen verschmelzen (z. B. Os occipitale, Os temporale und Os sphenoidale).
Von den Röhrenknochen ossifiziert nur die Clavicula desmal. Bei einer Entwicklungsstörung der *desmalen* Ossifikation, sind daher Schädel und Clavicula betroffen: *Dysostosis cleidocranialis.*

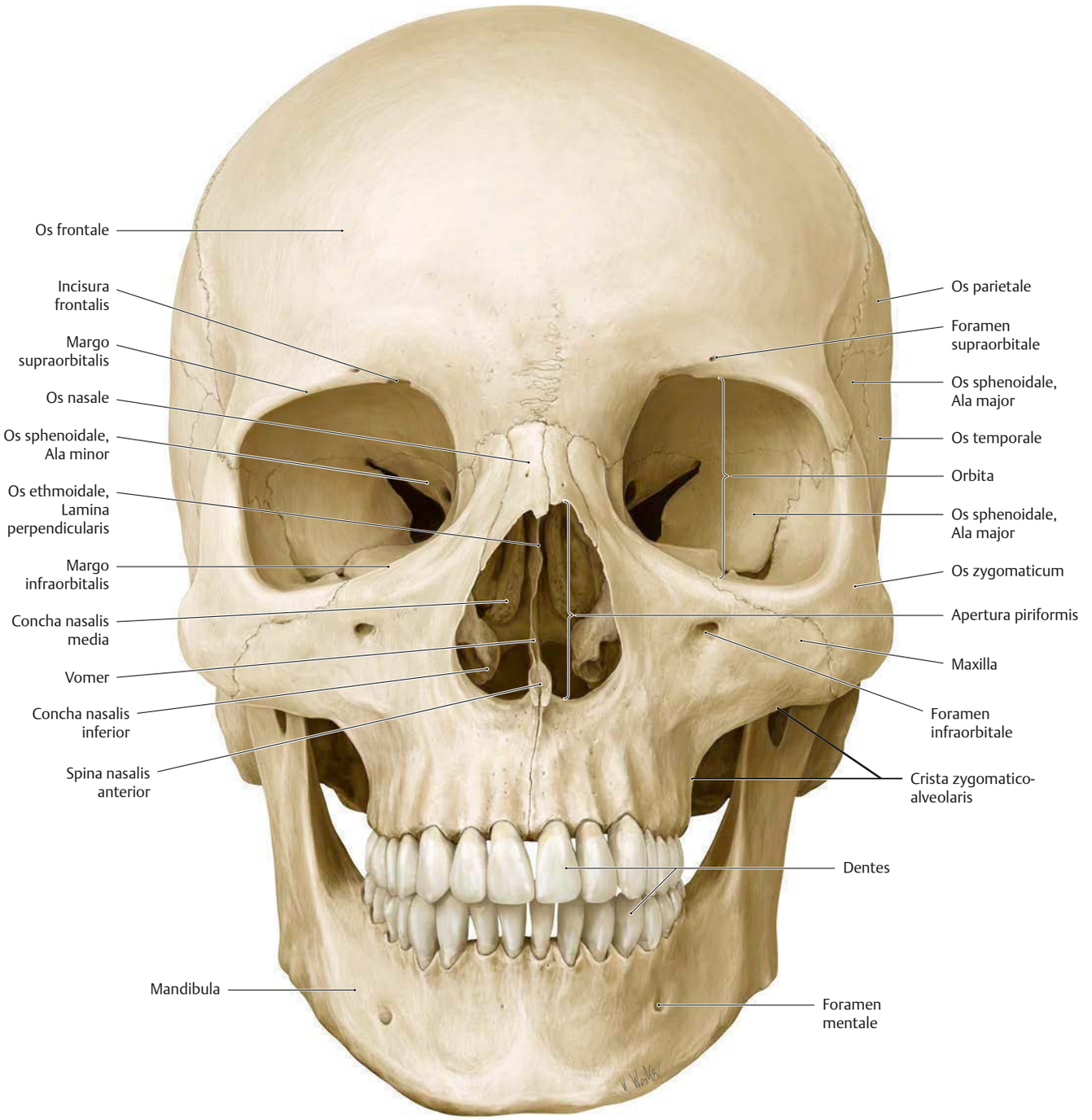
E Knochen des Neuro- und Viscerocranium

Neurocranium (grau)	**Viscerocranium** (orange)
• Os frontale • Os sphenoidale (bis auf Proc. pterygoideus) • Os temporale (Pars squamosa, Pars petrosa) • Os parietale • Os occipitale • Os ethmoidale (Lamina cribrosa) • Gehörknöchelchen	• Os nasale • Os lacrimale • Os ethmoidale (bis auf Lamina cribrosa) • Os sphenoidale (Proc. pterygoideus) • Maxilla • Os zygomaticum • Os temporale (Pars tympanica, Proc. styloideus) • Mandibula • Vomer • Concha nasalis inferior • Os palatinum • Os hyoideum (s. S. 47)

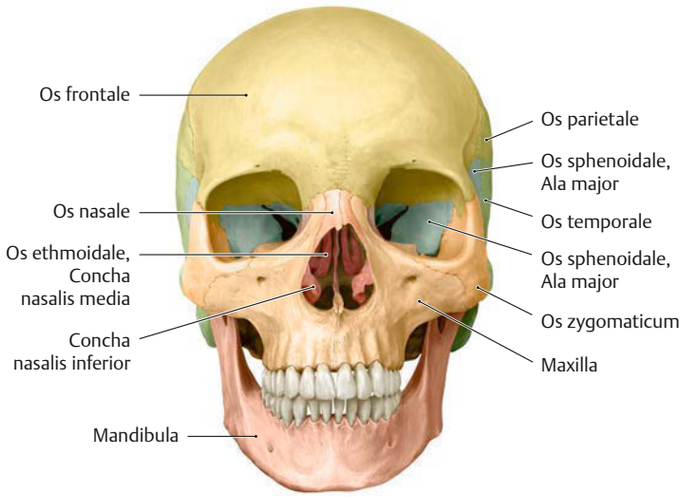
F Knochen des Desmo- und Chondrocranium

Desmocranium (grau)	**Chondrocranium** (blau)
• Os nasale • Os lacrimale • Maxilla • Mandibula • Os zygomaticum • Os frontale • Os parietale • Os occipitale (oberer Teil der Squama) • Os temporale (Pars squamosa, Pars tympanica) • Os palatinum • Vomer	• Os ethmoidale • Os sphenoidale (bis auf mediale Lamelle des Proc. pterygoideus) • Os temporale (Pars petrosa, Proc. styloideus) • Os occipitale (bis auf oberen Anteil der Squama) • Concha nasalis inferior • Os hyoideum (s. S. 47) • Gehörknöchelchen

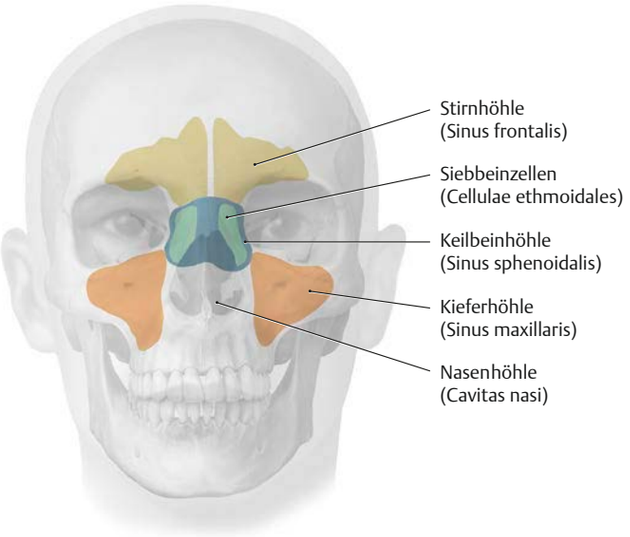
2.2 Schädel von frontal



A Schädel von frontal (Norma facialis)
In dieser Ansicht wird die Ausdehnung des Gesichts(Eingeweide-)schädels (Viscerocranium) besonders deutlich (zu den einzelnen Knochen vgl. **B**). Die knöcherne Umrandung der Nasen*höhle* (Apertura piriformis) stellt am Schädel den Beginn des Respirationstraktes dar. Die Nasenhöhle dient ebenso zur Aufnahme von Sinnesorganen (Riechschleimhaut) wie die Orbitae (Augenhöhlen). Zu den Nasen*nebenhöhlen* s. **C**. In der Frontalansicht sind auch die drei klinisch wichtigen Öffnungen zu erkennen, aus denen die Nervenäste austreten, die das Gesicht sensibel versorgen: Foramen supraorbitale, Foramen infraorbitale und Foramen mentale (s. S. 123 u. 227).
Beachte: Bei Verdacht auf Mittelgesichtsfrakturen (v. a. Le Fort I und II) sollte u. a. eine intraorale Palpation der Crista zygomaticoalveolaris erfolgen (evtl. Stufenbildung und veränderte Mobilität des Oberkiefers gegen den Schädel bei dislozierten Jochbeinfrakturen).

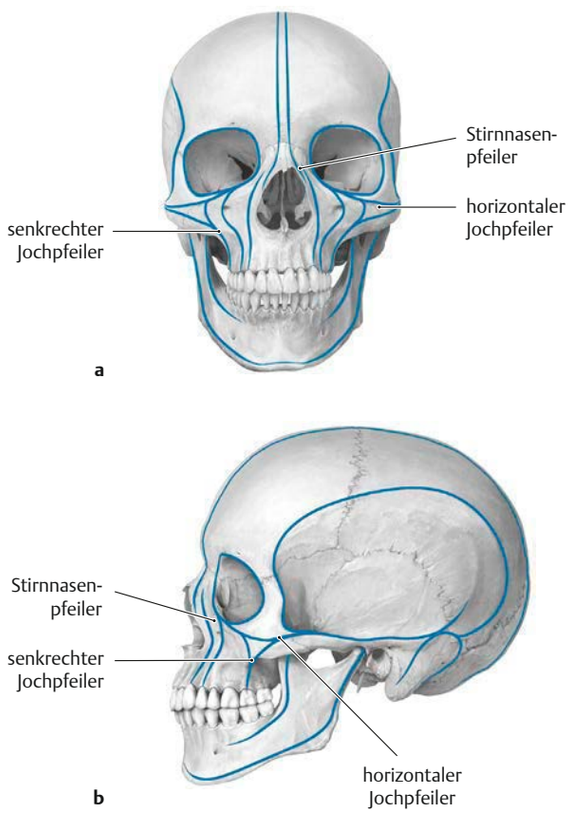


B Schädelknochen von frontal



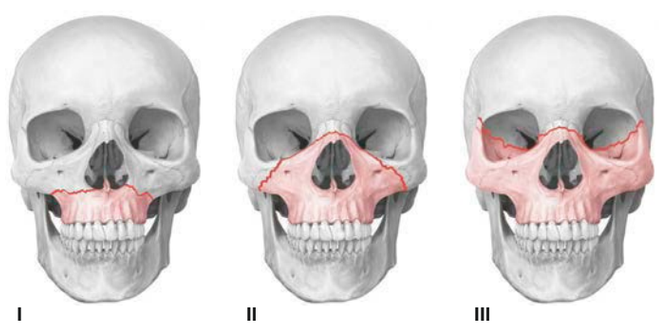
C Nasennebenhöhlen: Gewichtsreduktion durch Rahmenkonstruktion

Ansicht von frontal. Im Bereich des Gesichtsschädels sind einige Knochen pneumatisiert, das heißt sie enthalten im Inneren mit Luft gefüllte Hohlräume, die eine Gewichtsersparnis bedeuten. Diese Hohlräume heißen Nasennebenhöhlen (Sinus paranasales). Sie besitzen Zugänge zur Nasenhöhle und sind wie diese mit respiratorischem Flimmerepithel ausgekleidet. Entzündungen dieser Nasennebenhöhlen und damit verbundene Beschwerden sind häufig. Da bei diesen Entzündungen die Schmerzen z. T. auf die Hautoberfläche über den Höhlen projiziert werden, müssen die Projektionen der Höhlen auf den Schädel bekannt sein.



D Hauptkraftlinien (blau) im Bereich des Gesichtsschädels

a Ansicht von frontal; **b** Ansicht von lateral. Das mechanische „Gegenstück" zu den pneumatisierten Nasennebenhöhlen (s. **C**) sind Verdickungen (Pfeiler) der Knochensubstanz im Bereich des Gesichtsschädels, die die Höhlen des Gesichtsschädels teilweise umranden. Diese Verdickungen werden im Bereich der Hauptkraftlinien als Reaktion auf die mechanische Belastung gebildet (z. B. Kaudruck). Bildlich gesprochen kann man die Rahmenkonstruktion des Gesichtsschädels mit der eines Fachwerkhauses vergleichen: Die Nebenhöhlen entsprechen den Zimmern während die Verdickungen (entlang der Hauptkraftlinien) den Ständern entsprechen.



E Bruchlinien bei Mittelgesichtsfrakturen in der Einteilung nach Le Fort

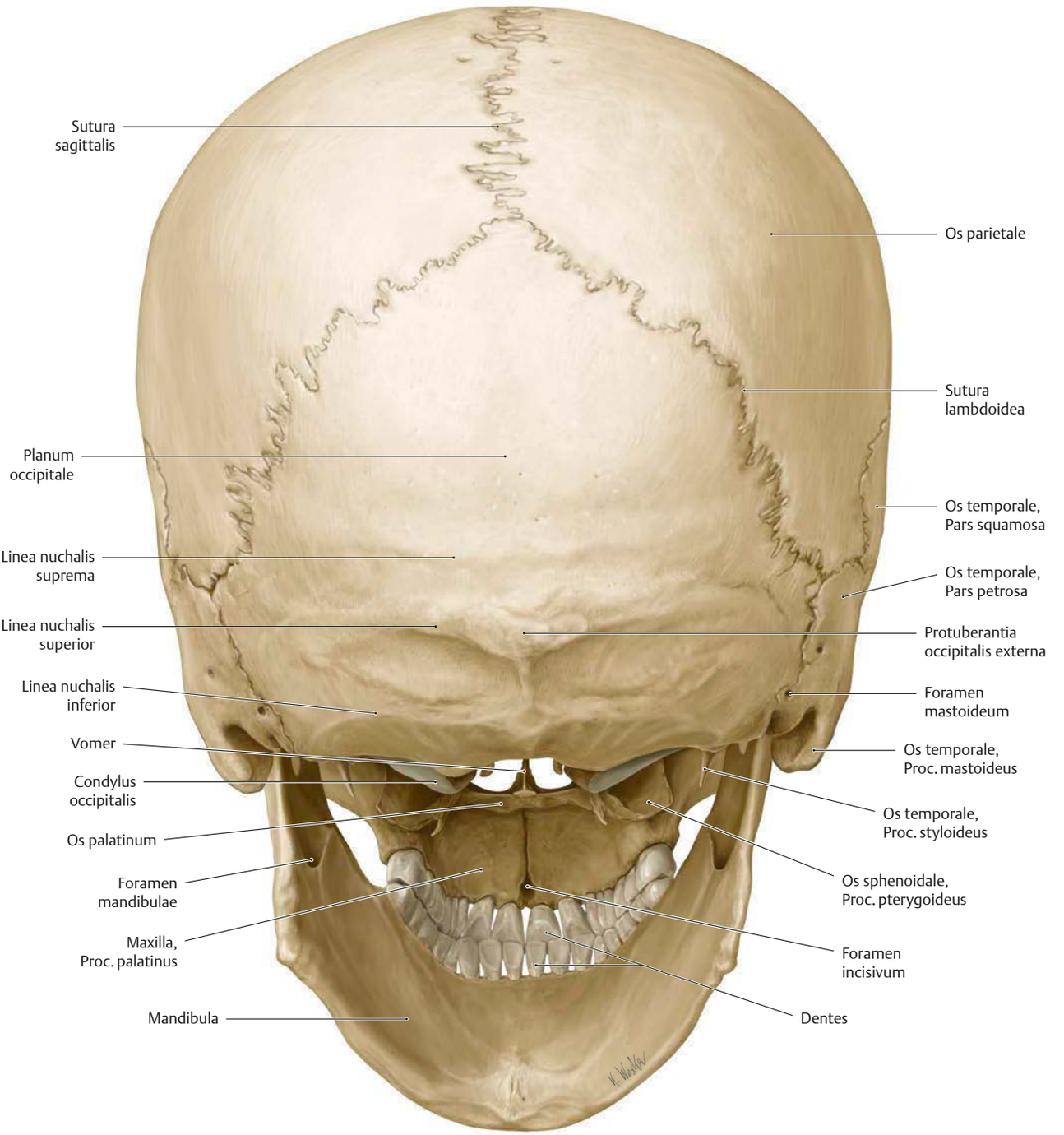
Durch die Rahmenkonstruktion ergeben sich im Bereich des Mittelgesichts verschiedene typische Bruchlinien (Le Fort I, II, III).

Le Fort I: Die Bruchlinie zieht quer durch die Maxilla oberhalb des harten Gaumens: Abriss des Oberkiefers unter Verletzung der Integrität der Kieferhöhle: sog. *unterer Querbruch.*

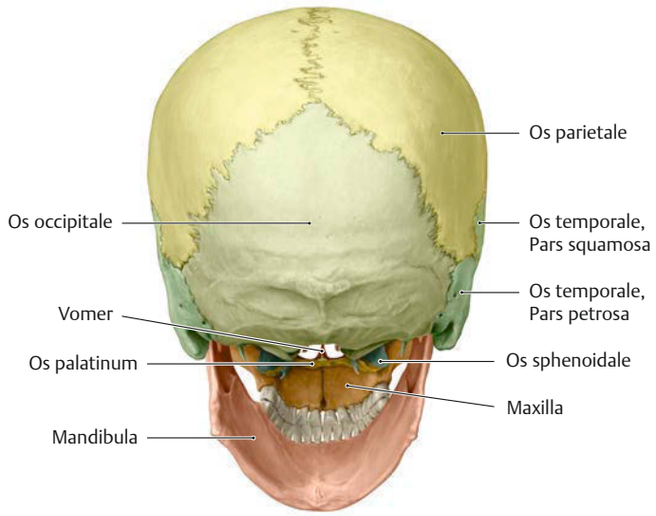
Le Fort II: Die Bruchlinie zieht quer über Nasenwurzel, Ossa ethmoidalia, Ossa maxillaria und Ossa zygomatica. Die Integrität der Orbita wird bei diesem sog. *Pyramidenbruch* zerstört.

Le Fort III: Der Gesichtsschädel wird von der Schädelbasis abgerissen. Die Hauptbruchlinie zieht durch die Orbitae, es können zusätzlich noch Siebbeine, Stirnhöhlen, Keilbeinhöhlen und Jochbeine mit betroffen sein.

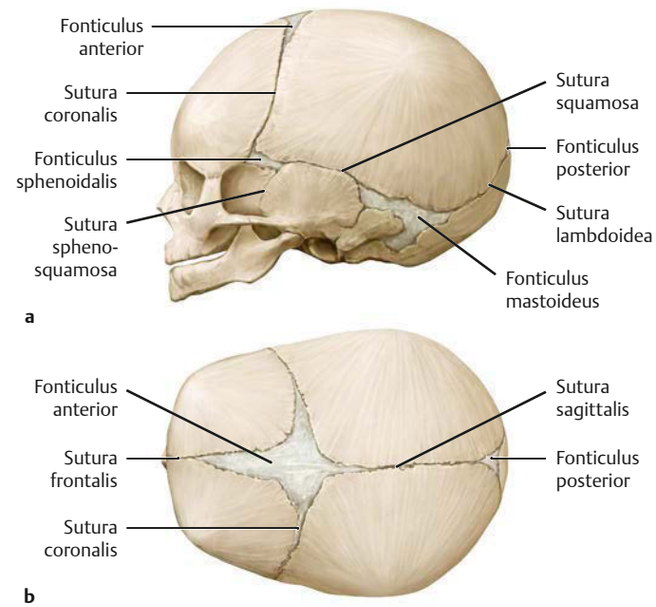
2.3 Schädel von dorsal und Schädelnähte



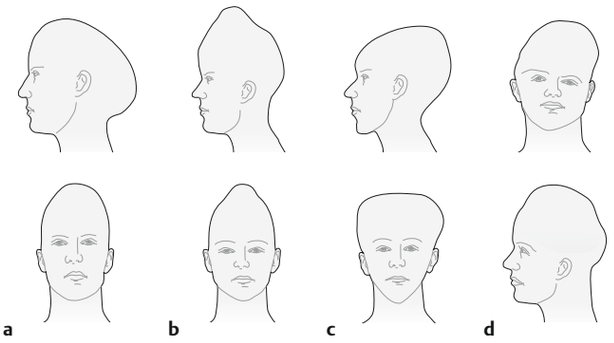
A Schädel von dorsal (Norma occipitalis)
Das Os occipitale, das in dieser Ansicht dominiert, grenzt an die Ossa parietalia an, mit denen es durch die Lambdanaht (Sutura lambdoidea) verbunden ist. Die Schädelnähte (Suturen) sind eine Sonderform der Syndesmosen (= Bandhaften, die im höheren Lebensalter verknöchern, s. **F**). An seiner Außenfläche wird das Os occipitale durch Muskelansätze bzw. -ursprünge modelliert: die Lineae nuchales inferior, superior und suprema. Einen topografisch-anatomischen Bezugspunkt stellt die *Protuberantia occipitalis externa* dar: Sie kann äußerlich am Hinterhaupt getastet werden. Das Foramen mastoideum ist eine Durchtrittsstelle für eine Vene (s. S. 19).



B Schädelknochen von dorsal
Beachte: Das Os temporale setzt sich, entwicklungsgeschichtlich bedingt, aus zwei Knochen zusammen, der Pars squamosa und der Pars petrosa (vgl. S. 28).

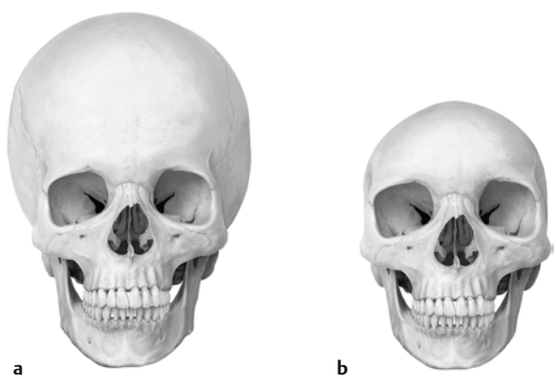


C Schädel eines Neugeborenen
a Ansicht von links; **b** Ansicht von oben.
Die hier dargestellten, platten Schädelknochen müssen mit dem Gehirn mitwachsen, so dass sie erst viel später knöchern zusammenwachsen (s. **F**). Beim Neugeborenen finden sich zwischen den noch wachsenden Schädelknochen sogar Bereiche, die noch nicht einmal von Knochen bedeckt sind: die Fontanellen (= Fonticulus). Ihr Verschluß erfolgt zu unterschiedlichen Zeiten (Fonticulus posterior: 3. Lebensmonat; Fonticulus sphenoidalis: 6. Lebensmonat; Fonticulus mastoideus: 18. Lebensmonat; Fonticulus anterior: 36. Lebensmonat). Die *hintere Fontanelle* ist ein Orientierungspunkt für die Lage des kindlichen Kopfes unter der Geburt, die *vordere Fontanelle* ein möglicher Ort zur Liquorpunktion bei Säuglingen (z. B. bei Meningitisverdacht).



D Schädeldeformitäten bei vorzeitigem Suturenverschluss
Durch einen vorzeitigen Verschluss einer Sutur können charakteristische Schädeldeformitäten entstehen, die Normvarianten ohne Krankheitswert darstellen. Folgende Nähte können vorzeitig verschlossen sein und bestimmte Schädelformen bedingen:

a Sutura sagittalis (Scaphocephalus = Kahnschädel),
b Sutura coronalis (Oxycephalus = Spitzschädel),
c Sutura frontalis (Trigonocephalus = Dreiecksschädel),
d asymmetrische Nahtfusion, meist Sutura coronalis (Plagiocephalus = Schiefschädel).

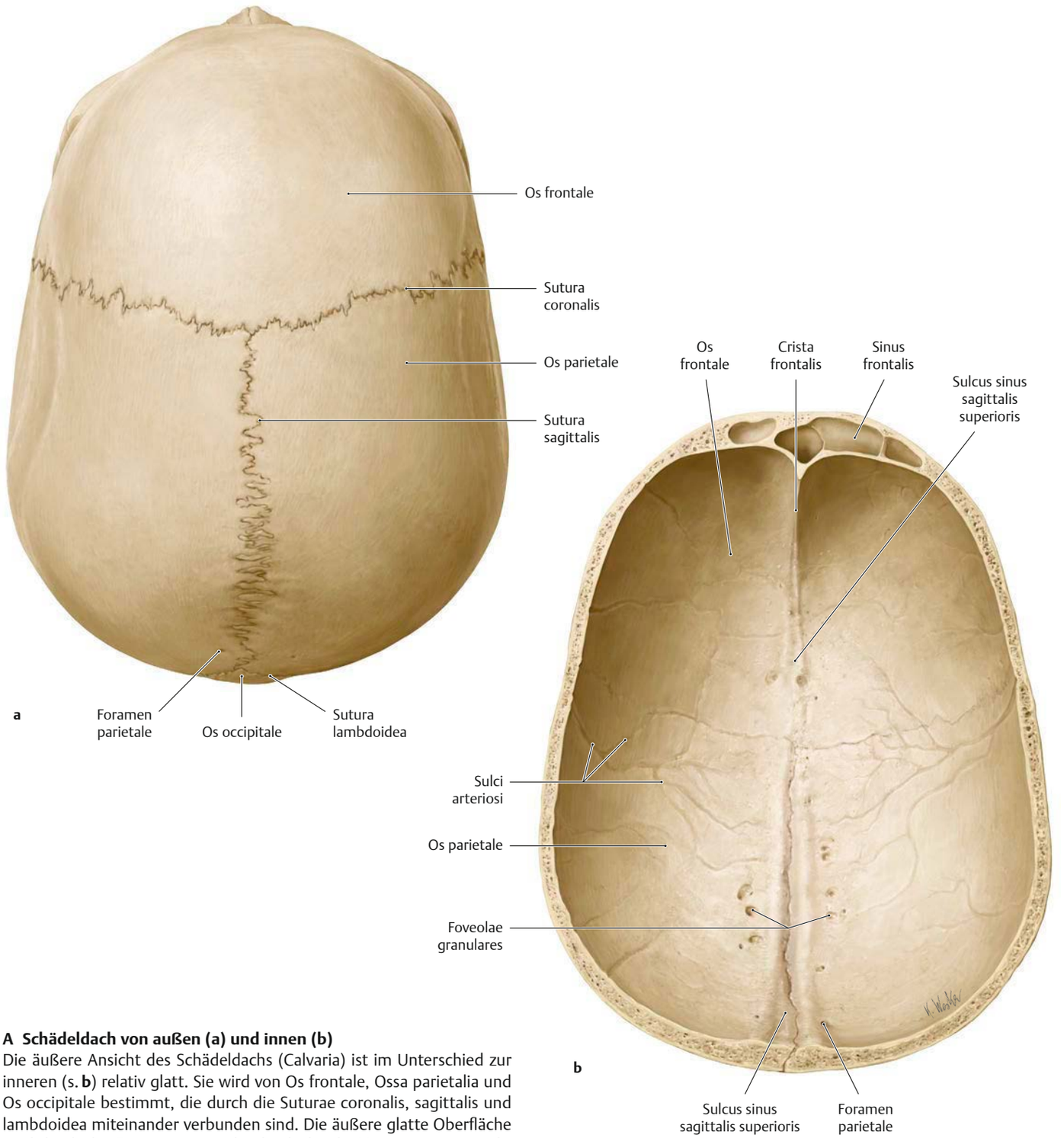


E Hydrocephalus und Microcephalus
a Charakteristische Schädelmorphologie bei *Hydrocephalus.* Wird das Gehirn durch Zunahme des Liquor cerebrospinalis („Hirnwasser") *vor* der Verknöcherung der Suturen auseinandergedrängt (Hydrocephalus, „Wasserkopf"), so vergrößert sich das betroffene Neurocranium, das Viscerocranium bleibt unverändert.
b Bei vorzeitigem Verschluss der Suturen entsteht ein *Microcephalus.* *Beachte* das kleine Neurocranium und die im Vergleich dazu großen Orbitae.

F Verknöcherungsalter der wichtigsten Suturen

Sutur	Verknöcherungsalter
Sutura frontalis (Stirnnaht)	Kindesalter
Sutura sagittalis (Pfeilnaht)	20.–30. Lebensjahr
Sutura coronalis (Kranznaht)	30.–40. Lebensjahr
Sutura lambdoidea (Lambdanaht)	40.–50. Lebensjahr

2.4 Schädeldach (Calvaria) von außen und innen

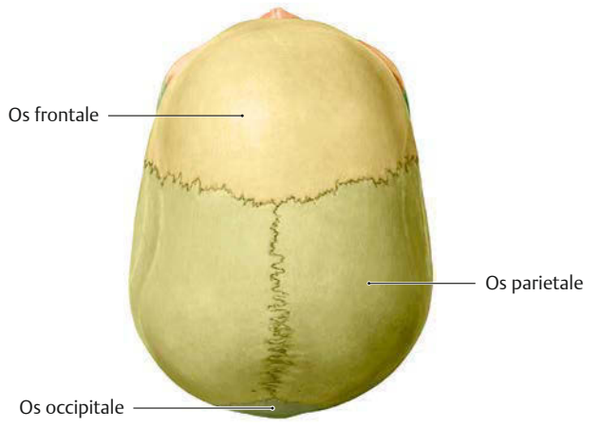


A Schädeldach von außen (a) und innen (b)

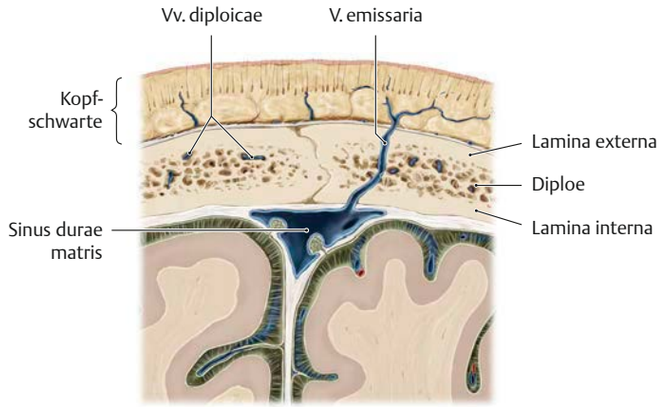
Die äußere Ansicht des Schädeldachs (Calvaria) ist im Unterschied zur inneren (s. **b**) relativ glatt. Sie wird von Os frontale, Ossa parietalia und Os occipitale bestimmt, die durch die Suturae coronalis, sagittalis und lambdoidea miteinander verbunden sind. Die äußere glatte Oberfläche wird durch das Foramen parietale, durch das die V. emissaria parietalis (s. **F**) zieht, unterbrochen. Auf der Innenseite sind dagegen – außer dem Foramen parietale – noch mehrere Furchen und Ausbuchtungen zu erkennen:

- die Foveolae granulares (kleine Ausbuchtungen in das Schädeldach hinein, die durch Aussackungen der das Gehirn bedeckenden Spinngewebshaut entstehen),
- der Sulcus sinus sagittalis superioris (eine Furche, in welcher der gleichnamige venöse Blutleiter des Gehirns entlangzieht),
- die Sulci arteriosi (in denen die Arterien der harten Hirnhaut verlaufen, wie z. B. die A. meningea media, die den größten Teil der harten Hirnhaut und den darüber liegenden Knochen versorgt) sowie
- die Crista frontalis (ein Knochenkamm, an dem sich die Falx cerebri, die bindegewebige Hirnsichel, anheftet, s. S. 308).

Am Os frontale fällt auf der Innenansicht zudem die Stirnhöhle (Sinus frontalis) auf.



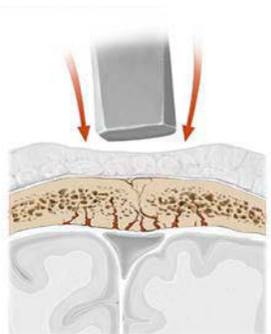
B Knochen des Schädeldachs von außen oben (Norma verticalis)



C Kopfschwarte und Schädeldach

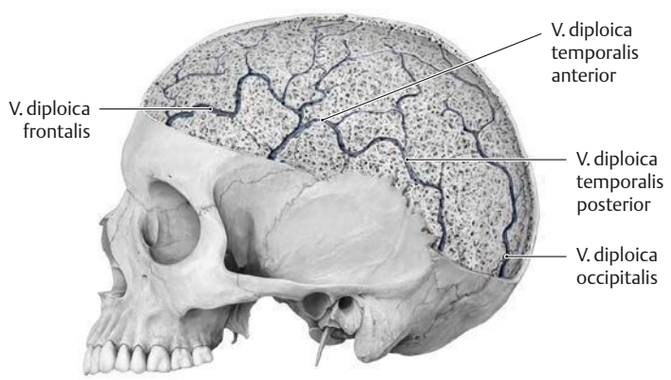
Beachte den dreischichtigen Aufbau der Calvaria aus: Lamina externa, Diploe und Lamina interna.

Die Diploe ist schwammartig aufgebaut und enthält rotes Knochenmark (Blutbildung!). Beim Plasmozytom (bösartige Entartung bestimmter weißer Blutzellen) können viele kleine Nester von Tumorzellen die umgebenden Knochenbälkchen zerstören, so dass es im Röntgenbild zu multiplen Aufhellungen der Knochen des Schädeldaches kommt (wie nach einem Schrotschuss: Schrotschussschädel). Durch die Calvaria können Venen hindurchziehen, die eine Verbindung zwischen den venösen Blutleitern des Gehirns und den Venen der Kopfschwarte herstellen, die *Vv. emissariae* (vgl. **F**; zu den Vv. diploicae s. **E**).



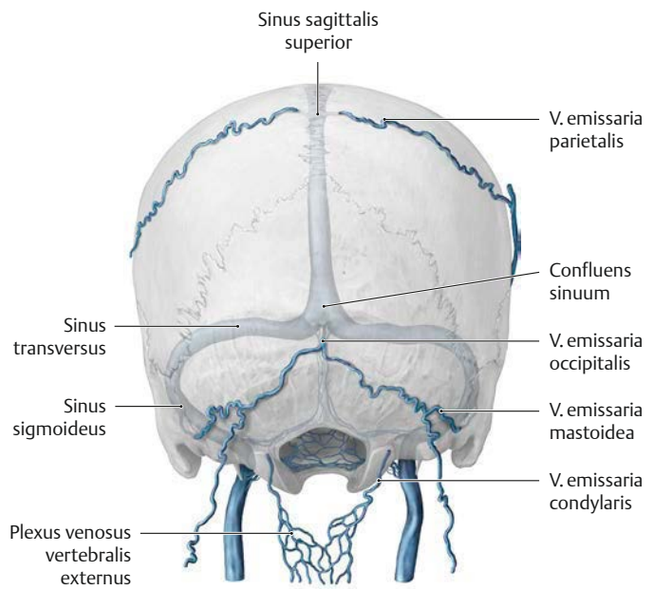
D Brüchigkeit des Schädeldaches bei Gewalteinwirkung

Die Lamina interna ist bei äußerer Gewaltanwendung besonders brüchig, so dass sie selbst bei intakter Lamina externa gesplittert sein kann (Röntgenkontrolle!). Sie wird deshalb auch als *Glashaut (Lamina vitrea)*, bezeichnet.



E Diploevenen im Schädeldach

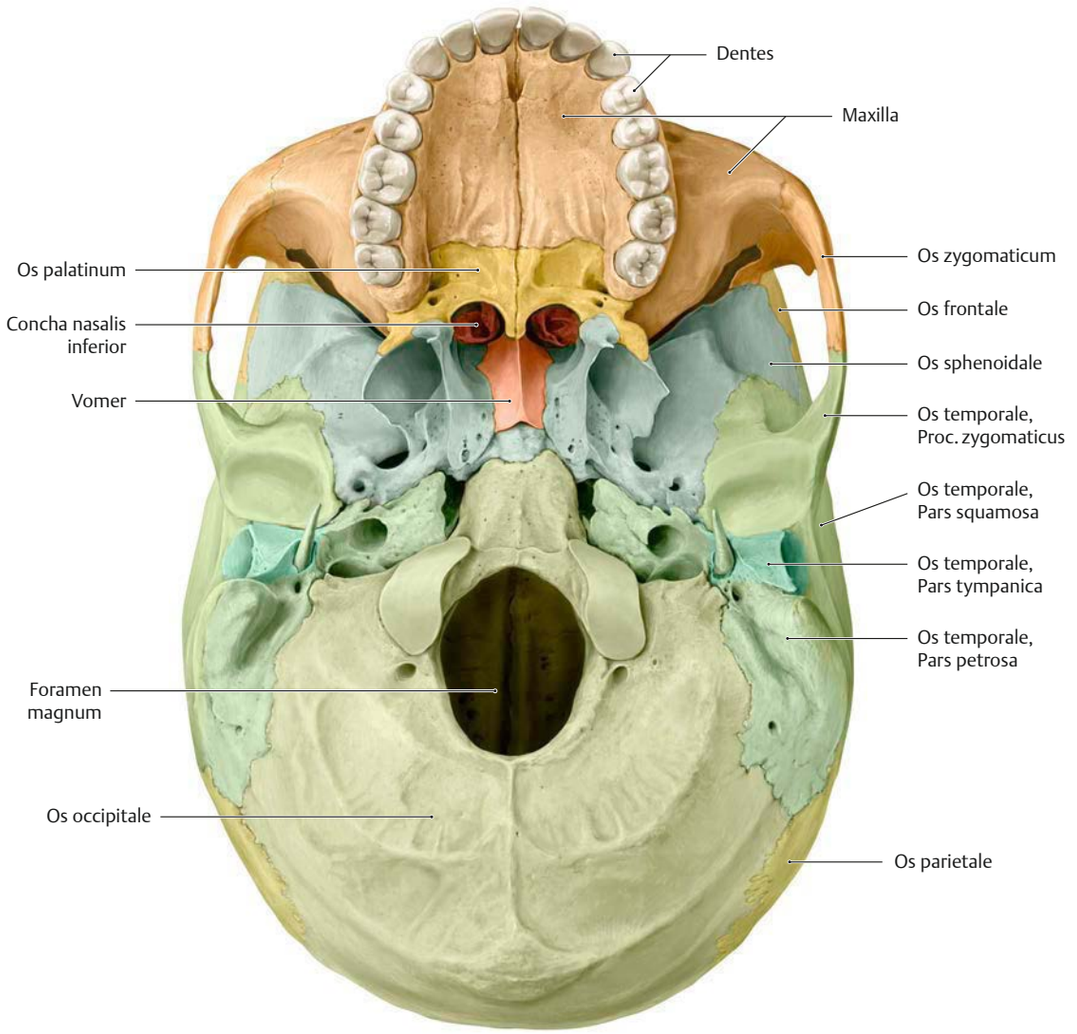
Die Diploevenen (Vv. diploicae) liegen in der Spongiosa (= Diploe) der Schädelknochen und werden nach Entfernung der Lamina externa der Kalotte sichtbar. Über die Emissarien stehen sie mit den venösen Blutleitern der harten Hirnhaut (Sinus durae matris) und den Venen der äußeren Kopfschwarte in Verbindung: Gefahr der Infektionsausbreitung!



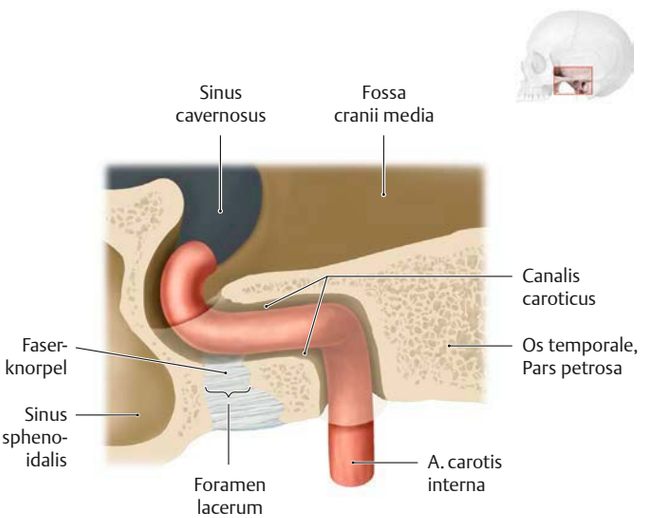
F Venae emissariae am Hinterhaupt

Emissarien stellen eine direkte Verbindung zwischen den Blutleitern der harten Hirnhaut (den Sinus durae matris) und den extrakraniellen Venen dar. Sie verlaufen über präformierte Schädelöffnungen wie das Foramen parietale und das Foramen mastoideum. Vv. emissariae sind deshalb von klinischem Interesse, weil entlang der Emissarien Bakterien von der Kopfschwarte bis nach innen zur harten Hirnhaut vordringen und so eine Meningitis verursachen können.

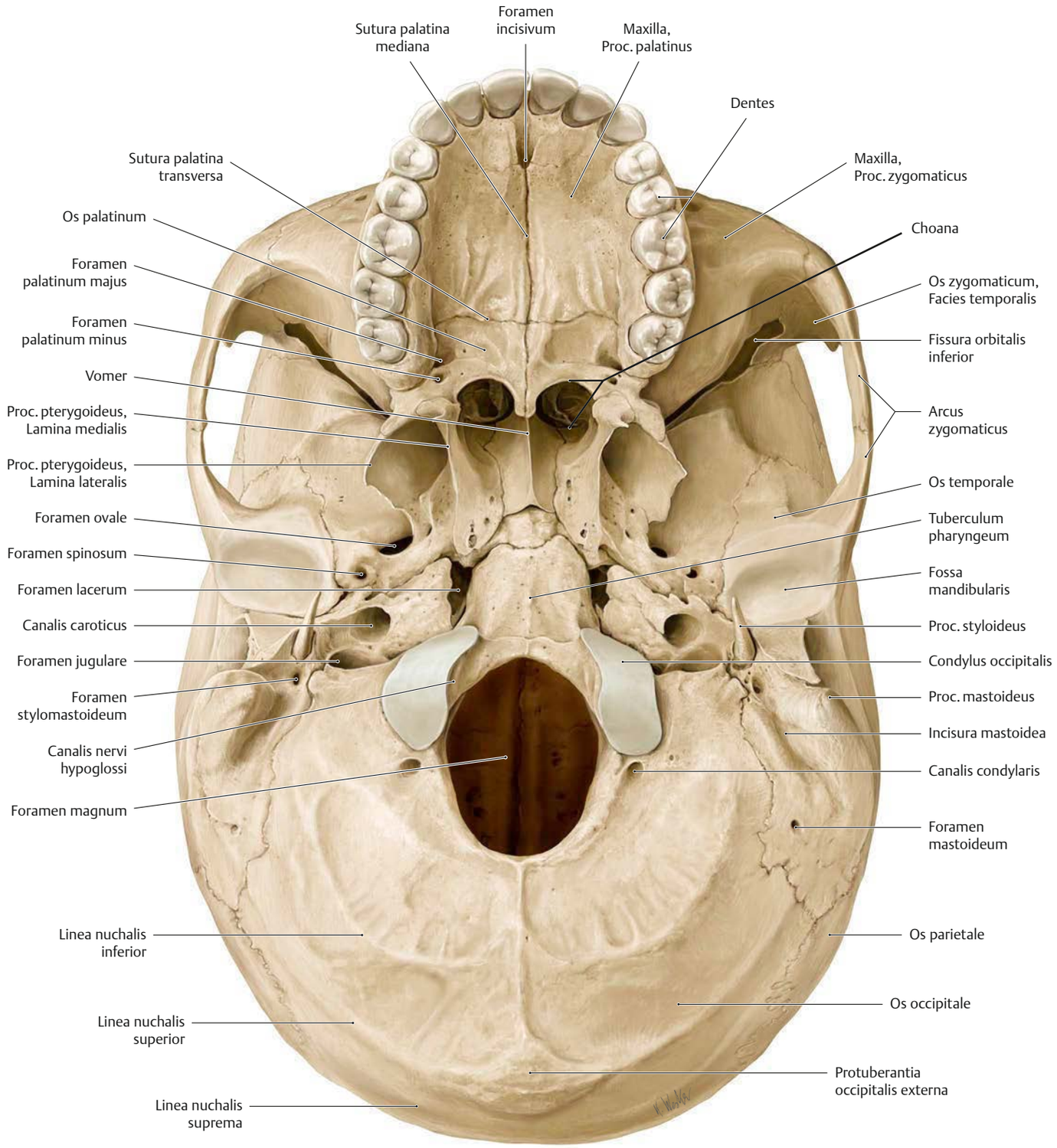
2.5 Schädelbasis von außen (Basis cranii externa)



A Knochen an der Schädelbasis von außen
Ansicht von kaudal. Die Schädelbasis ist mosaikartig aus verschiedenen Knochen zusammengesetzt, über deren Form und Lage man sich zunächst orientieren sollte, ehe die weiteren Einzelheiten studiert werden.



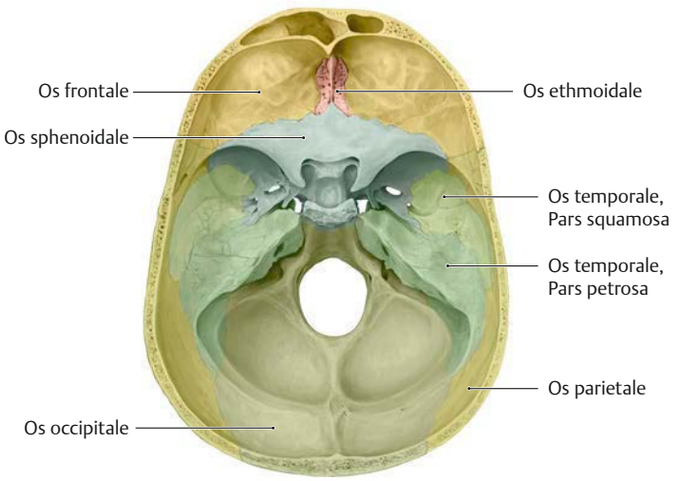
B Topografische Beziehung des Foramen lacerum zum Canalis caroticus und der A. carotis interna
Ansicht von links. Das Foramen lacerum ist ein künstliches Loch, das beim Lebenden durch eine Faserknorpelplatte verschlossen ist; es ist daher nur am mazerierten Schädel zu erkennen. Das Foramen lacerum steht in enger topografischer Beziehung zum Canalis caroticus und der darin enthaltenen A. carotis interna. Durch das Foramen lacerum ziehen der N. petrosus major und der N. petrosus profundus (s. S. 127, 131 u. 136).



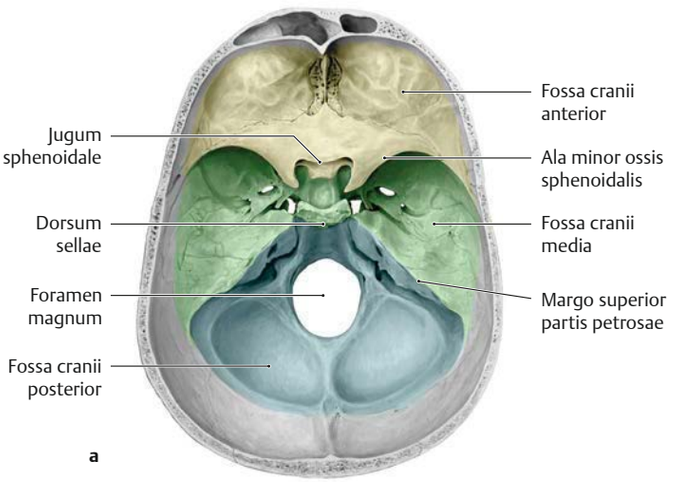
C Schädelbasis

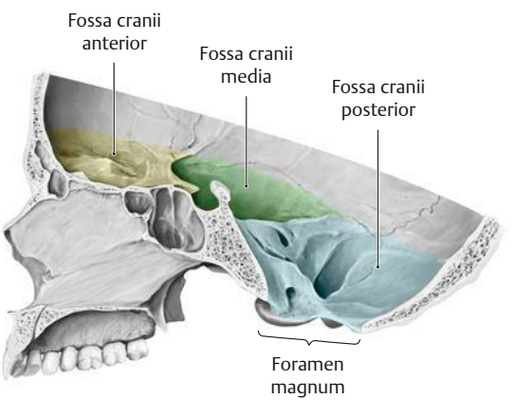
Ansicht von außen. Die wichtigsten Strukturen der Schädelbasis von unten sind hier beschriftet. Besonders wichtig sind die Öffnungen, durch die Gefäße und Nerven ein- und austreten. Bei Störungen des Knochenwachstums können diese Öffnungen zu klein bleiben bzw. eingeengt werden und so auf die hindurchziehenden Leitungsbahnen drücken. Wächst aufgrund einer solchen Störung der Canalis opticus ungenügend, wird der Sehnerv beschädigt, es kommt zu Gesichtsfeldausfällen. Die Symptomatik bei solchen Läsionen richtet sich dann nach der betroffenen Öffnung. Auf alle hier bezeichneten Strukturen wird in den späteren Lerneinheiten Bezug genommen.

2.6 Schädelbasis von innen (Basis cranii interna)



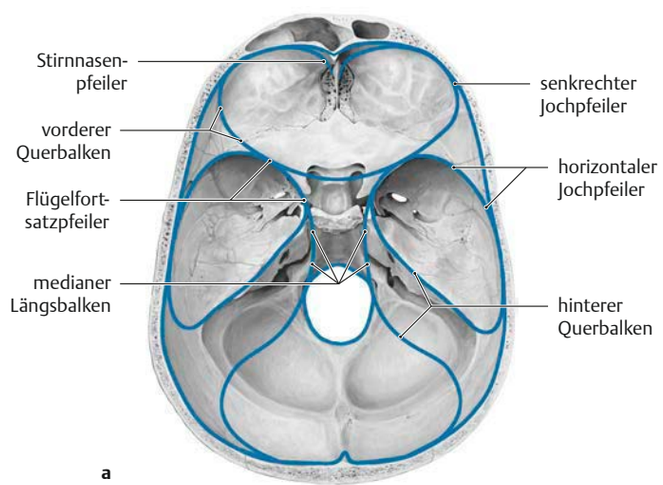
A Knochen an der Schädelbasis von innen
Zur Übersicht mache man sich zunächst mit den verschieden farbig markierten Knochen vertraut.

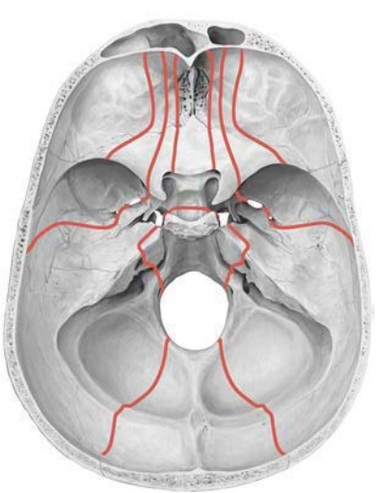




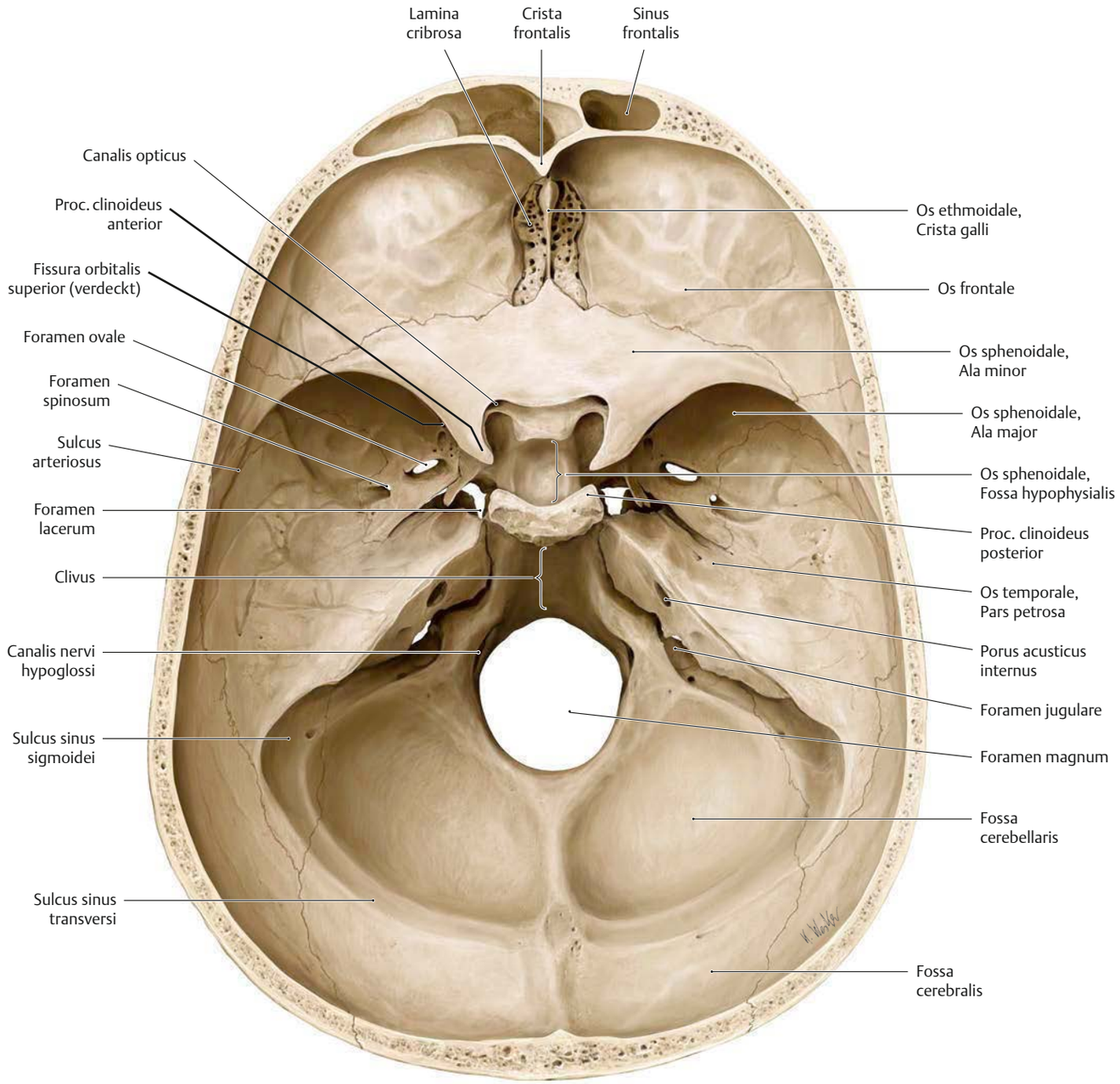
B Schädelgruben (Fossae cranii) an der Schädelbasis
a Ansicht von innen; **b** Mediansagittalschnitt. Die innere Schädelbasis ist nicht flach, sondern weist drei hintereinander absteigende Gruben auf: vordere, mittlere und hintere Schädelgrube (Fossae cranii anterior, media und posterior). Ihre Tiefe nimmt von frontal nach okzipital stetig zu, diese treppenförmige Anordnung ist in **b** besonders gut zu erkennen. Die Grenzen der drei Schädelgruben sind:

- vordere – mittlere: Alae minores ossis sphenoidalis, Jugum sphenoidale,
- mittlere – hintere: Margo superior partis petrosae, Dorsum sellae.





C Schädelbasis, Hauptkraftlinien und häufige Bruchlinien
a Hauptkraftlinien; **b** häufige Bruchlinien (Ansicht jeweils von innen). Aufgrund der mechanischen Belastungen (u. a. auch durch den Kaudruck) sind die Knochen entlang dieser Hauptkraftlinien verstärkt (vgl. mit der Kräfteverteilung in der Ansicht von frontal, S. 15). Bruchlinien treten häufig in den nicht verstärkten Zwischenräumen auf, wodurch es die hier typischen häufigsten Bruchlinien bei der Schädelbasisfraktur gibt. Ein analoges Phänomen der typischen Bruchlinien findet sich bei Mittelgesichtsfrakturen (vgl. die Le-Fort-Bruchlinien am Schädel von frontal, S. 15).



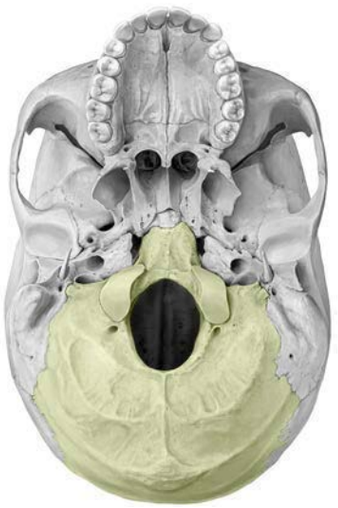
D Schädelbasis von innen

Man vergleiche die Öffnungen der Schädelbasis von innen mit den Öffnungen der Schädelbasis von außen (s. S. 21). Diese Öffnungen entsprechen sich nicht immer, da einige Leitungsbahnen während ihres Durchtritts durch den Knochen abknicken bzw. einen längeren intraosseären Verlauf haben. Ein Beispiel dafür ist der Porus acusticus internus, durch den u. a. der N. facialis aus dem Schädelinneren in das Felsenbein einzieht, während die meisten seiner Anteile an der äußeren Schädelbasis das Felsenbein durch das Foramen stylomastoideum verlassen (Einzelheiten s. S. 126, 137 u. 151).

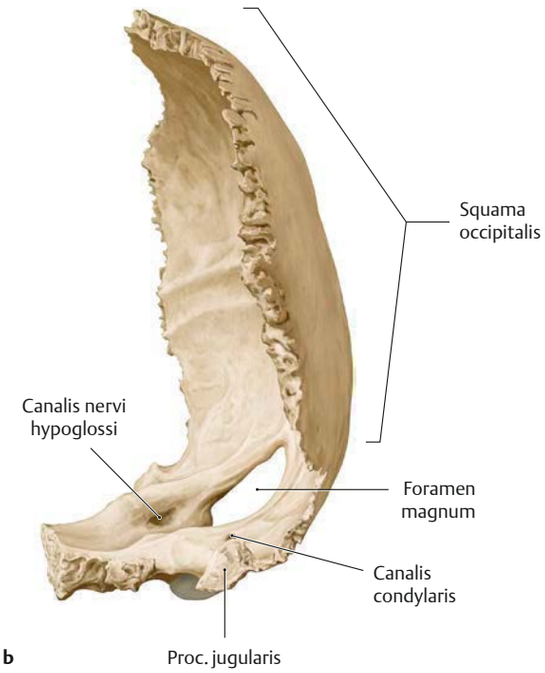
Zur Strukturierung und Portionierung des Lernens der einzelnen Durchtrittsstellen orientiere man sich zunächst, ob sie in der vorderen, mittleren oder hinteren Schädelgrube liegen. Zur Einteilung der Schädelgruben s. **B**. Die Siebbeinplatte (Lamina cribrosa) des Siebbeins (Os ethmoidale) verbindet die Nasenhöhle mit der vorderen Schädelgrube; durch ihre Löcher ziehen die Riechfäden (s. S. 182).

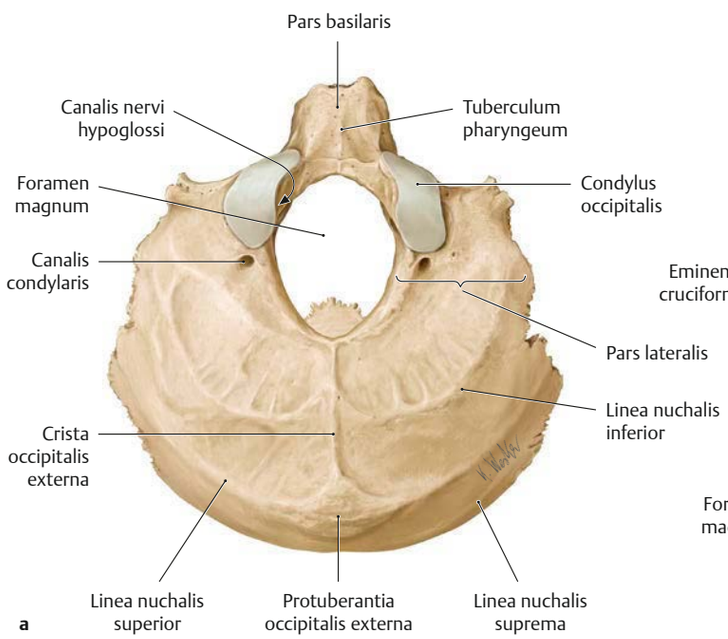
Beachte: Aufgrund der hier verdünnten Knochenplatte kommt es bei Unfällen an dieser Stelle leicht zu Brüchen mit Einrissen der harten Hirnhaut. Es tritt dann Liquor cerebrospinalis in die Nase über: Gefahr der Meningitis, da die Bakterien von der unsterilen Nase in den sterilen Liquor einwandern können!

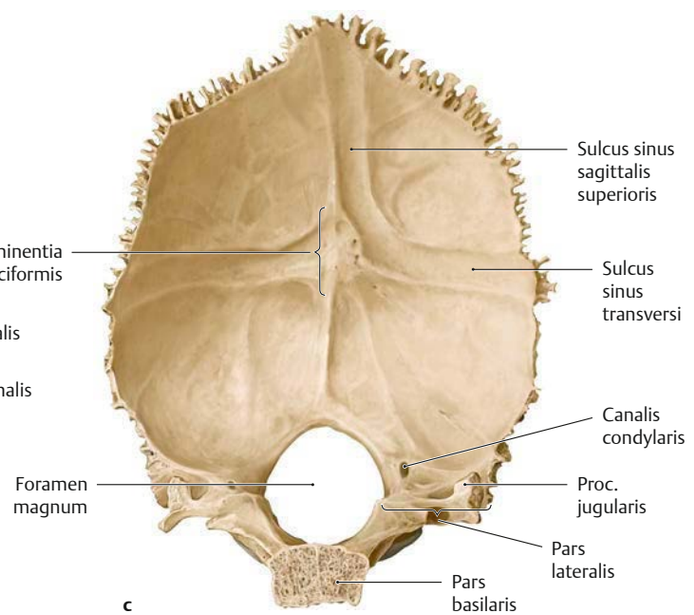
2.7 Hinterhauptsbein (Os occipitale) und Siebbein (Os ethmoidale)



A Einbau des Hinterhauptsbeins (Os occipitale) in die Schädelbasis
Beachte die Verbindung mit den benachbarten Knochen.
Das Os occipitale verwächst während der Pubertät mit dem Os sphenoidale zum sog. Os tribasilare.





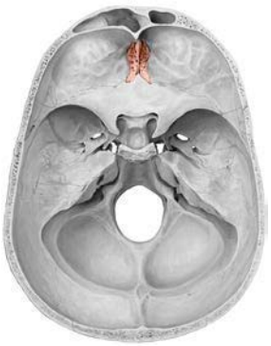


B Isoliertes Os occipitale

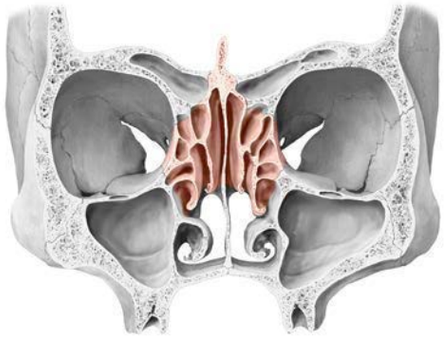
a Ansicht von kaudal. Man erkennt die Pars basilaris, deren vorderer Abschnitt mit dem Keilbein verwächst. Der Canalis condylaris endet hinter dem Gelenkfortsatz, während der Canalis hypoglossi unterhalb des Gelenkfortsatzes verläuft. Ersterer enthält die V. emissaria condylaris, die im Sinus sigmoideus beginnt und im Plexus venosus vertebralis externus endet (Emissarie, s. S. 19), letzterer enthält neben einem Venenplexus den N. hypoglossus (XII. Hirnnerv). Das Tuberculum pharyngeum ist eine Anheftungsstelle für die Schlundmuskulatur, während die Protuberantia occipitalis externa einen tastbaren Knochenpunkt am Hinterhaupt darstellt.

b Ansicht von links. In dieser Ansicht ist die Ausdehnung der Hinterhauptsschuppe (Squama occipitalis), die oberhalb des Foramen magnum liegt, gut zu erkennen. Die inneren Öffnungen des Canalis condylaris und des Canalis nervi hypoglossi sind sichtbar sowie der Proc. jugularis, der sich am Aufbau des Foramen jugulare (s. S. 21) beteiligt. Dieser Fortsatz entspricht dem Querfortsatz eines Wirbels.

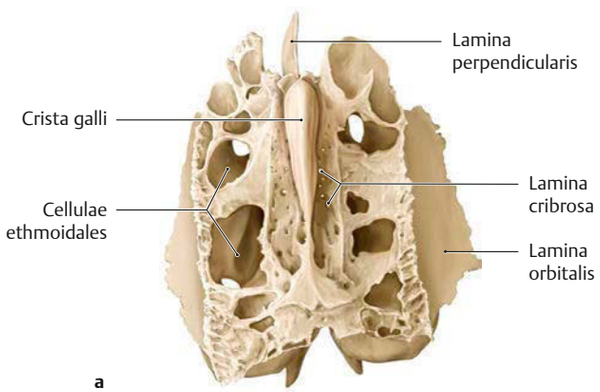
c Ansicht von der Schädelinnenfläche. Hier sind die Rinnen für die venösen Blutleiter des Gehirns, die Sinus durae matris, zu erkennen. Die Eminentia cruciformis wird durch den Confluens sinuum hervorgerufen. Man sieht an diesen Knochen, dass in Einzelfällen der Sinus sagittalis bevorzugt in den linken Sinus transversus drainiert. Im Regelfall jedoch mündet er zu gleichen Teilen in beide Sinus transversi (s. S. 384).

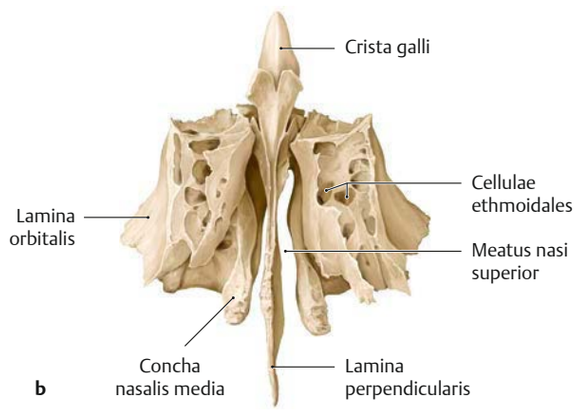


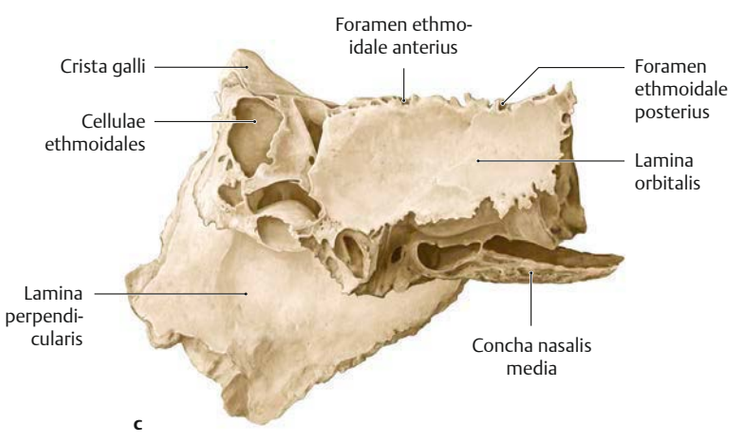
C Einbau des Siebbeins (Os ethmoidale) in die innere Schädelbasis
Ansicht von kranial. Der kraniale Abschnitt des Os ethmoidale bildet einen Teil der vorderen Schädelgrube, seine kaudalen Teile bilden Abschnitte der Nasenhaupthöhlen. Seine Nachbarknochen sind Os frontale und Os sphenoidale.

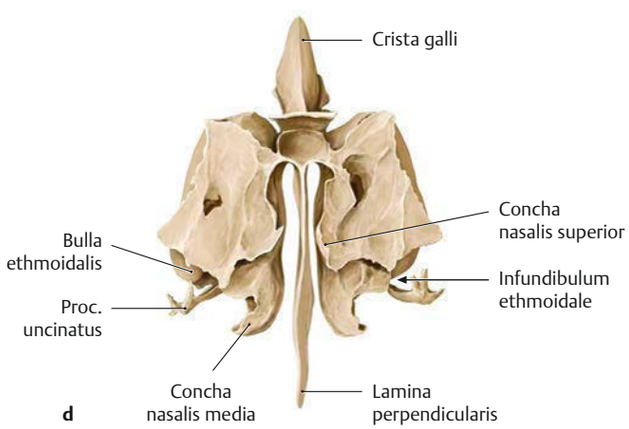


D Einbau des Siebbeins (Os ethmoidale) in den Gesichtsschädel
Ansicht von frontal. Das Siebbein ist der zentrale Knochen der Nasenhöhlen.









E Isoliertes Os ethmoidale

a Ansicht von kranial. Hier erkennt man die Crista galli, die der Anheftung der Hirnsichel (Falx cerebri) dient (s. S. 308) sowie die horizontal verlaufende Siebplatte (Lamina cribrosa). Sie enthält Löcher, durch die Riechfäden von der Nasenhöhle in die vordere Schädelgrube ziehen. Aufgrund dieser Durchlöcherung ist die Lamina cribrosa mechanisch schwach und bricht bei Traumen leicht. Klinisch erkennt man eine solche Fraktur daran, dass Liquor aus der Nase tropft. Der Patient klagt über Schnupfen!

b Ansicht von frontal. Die Mittellinienstruktur (Lamina perpendicularis = Pendel wie bei einer Großvateruhr), die beide Nasenhöhlen trennt, ist zu sehen. Man erkennt die mittlere Muschel (Concha nasalis media), die ein Teil des Siebbeins ist (nur die untere Muschel ist ein eigener Knochen), und die Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales), die sich beiderseits der mittleren Muschel ausdehnen.

c Ansicht von links. Man erkennt die Lamina perpendicularis und die eröffneten vorderen Siebbeinzellen. Die Orbita ist durch die Lamina orbitalis, eine dünne Knochenplatte, von den Siebbeinzellen getrennt.

d Ansicht von dorsal. Nur in dieser Ansicht erkennt man den Proc. uncinatus, der in situ fast vollständig von der mittleren Nasenmuschel verdeckt wird. Er verschließt teilweise den Eingang in die Kieferhöhle, den Hiatus semilunaris, und ist ein wichtiger Orientierungspunkt bei der endoskopischen Kieferhöhlenchirurgie. Die schmale Grube zwischen Bulla ethmoidalis und Proc. uncinatus wird als Infundibulum ethmoidale bezeichnet. In diesen „Trichter" münden Sinus frontalis, Sinus maxillaris und vordere Siebbeinzellen. Am dorsalen Siebbeinende liegt die Concha nasalis superior.

2.8 Stirnbein (Os frontale) und Scheitelbein (Os parietale)

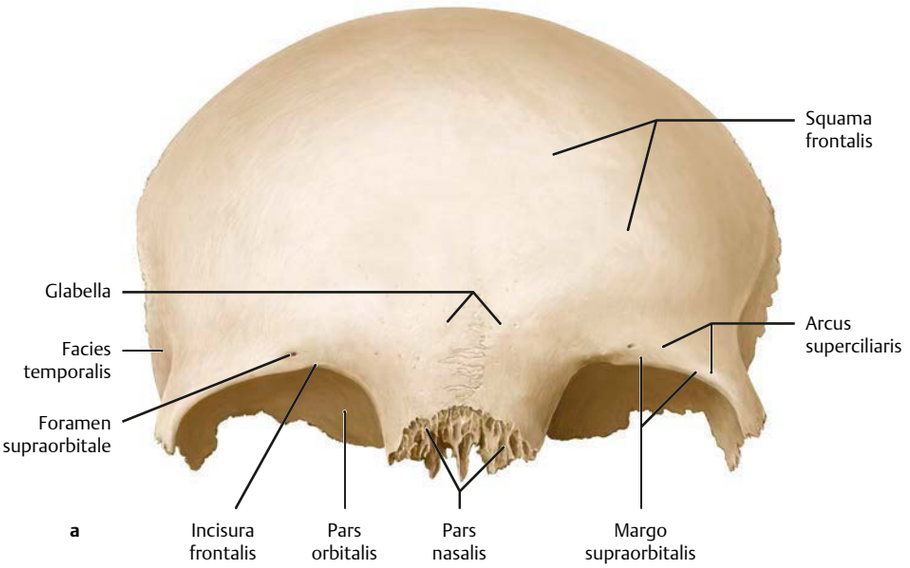
A Stirnbein (Os frontale)
a Ansicht von vorne (Facies externa), **b** von unten (Facies orbitalis) und **c** von hinten (Facies interna).

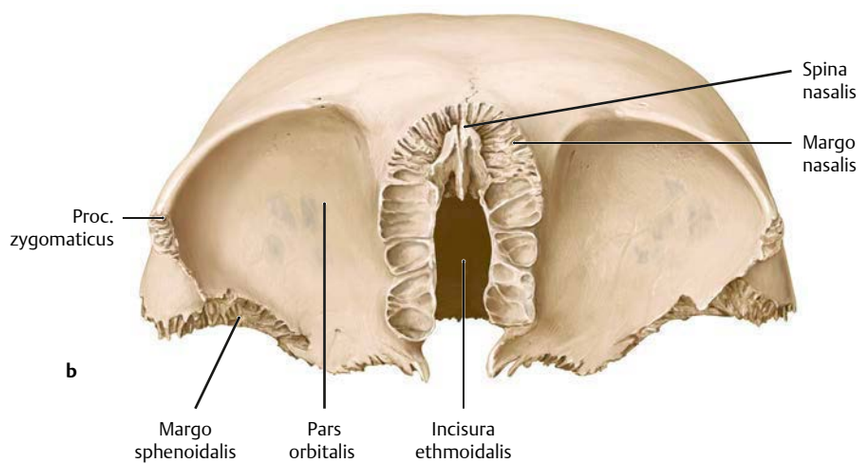
Das **Stirnbein** bildet die knöcherne Grundlage des vorderen Schädelgewölbes (zur Lage im Schädel s. S. 14 u. 34). Es entwickelt sich aus zwei Knochen, die in der Mittellinie fusionieren. Bei Jugendlichen ist die Trennlinie zwischen beiden Knochen noch zu erkennen (Sutura frontalis); bei Erwachsenen ist sie in der Regel verknöchert, so dass keine Sutur mehr vorliegt. Das Stirnbein gliedert sich in

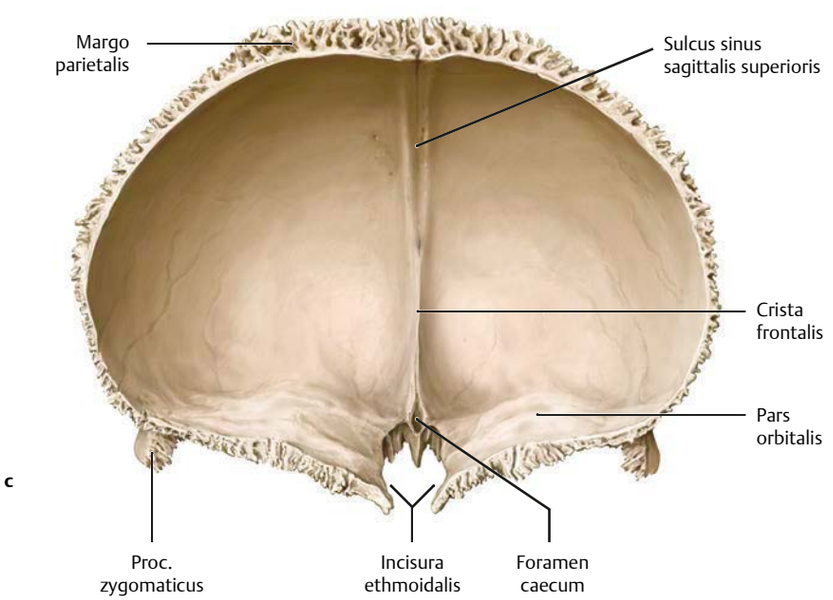
- Squama frontalis (Stirnbeinschuppe, knöcherne Grundlage der Stirn),
- zwei horizontale Partes orbitales (Hauptanteil der knöchernen Grundlage des Daches der Orbitae) und
- die dazwischen gelegene Pars nasalis (Teil des kranialen Nasenskeletts).

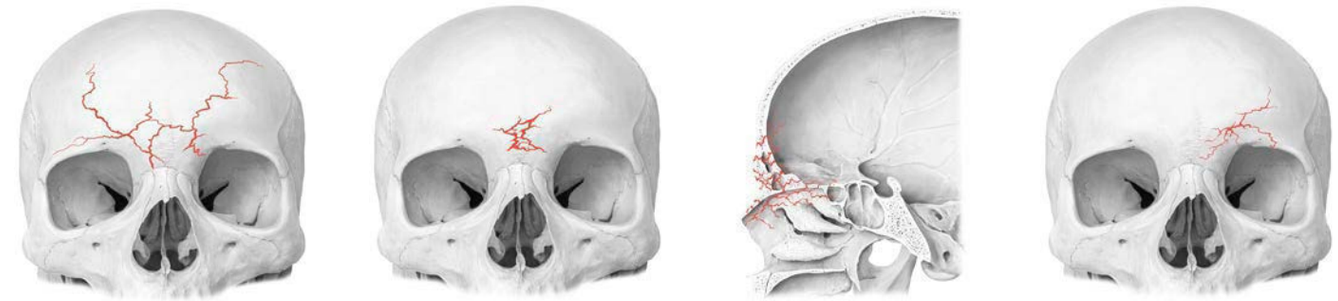
An der Squama frontalis unterscheidet man eine Facies externa und eine Facies interna, die einen Teil der vorderen Schädelgrube darstellt. Sie biegt nach beiden Seiten zur Facies temporalis um.

Klinisch sind beim Os frontale besonders die paarig angelegten und durch ein knöchernes Septum getrennten Stirnhöhlen wichtig, die einen Teil des Orbitadaches bilden. Von hier aus können sich Infektionen ausbreiten (s. **C**). Auch Frakturen spielen hier eine Rolle. Sie entstehen meist bei Arbeits- und Verkehrsunfällen, wenn die Gewalt von frontal einwirkt (z. B. bei Auffahrunfällen: Schädel prallt gegen die Windschutzscheibe). Die Folge ist eine frontobasale oder vordere Schädelbasisfraktur. Sie wird nach der anatomisch betroffenen Region nach Escher eingeteilt (s. **B**).









a b c d

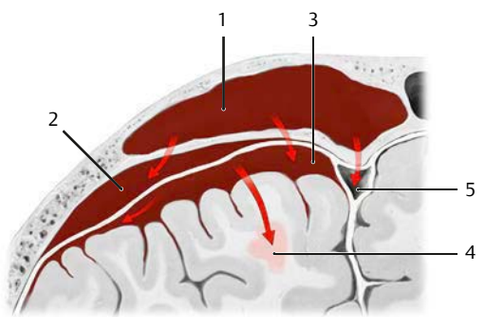
B Einteilung der frontobasalen Frakturen nach Escher

a Typ I: Hohe frontobasale Fraktur: die Gewalt wirkt auf die oberen Anteile der Squama ein. Die Frakturlinien ziehen von oben in die Stirnhöhlen hinein.

b Typ II: Mittlere frontobasale Fraktur: Gewalteinwirkung in der Stirn-Nasenwurzel-Region führt zur Impressionsfraktur der Stirnhöhle, des Siebbeins und ggfs. auch der Keilbeinhöhle. Wenn die Dura mit einreißt, fließt Liquor cerebrospinalis durch die Nase ab (Rhinoliquorrhoe; Gefahr der aufsteigenden bakteriellen Infektion mit Meningitis).

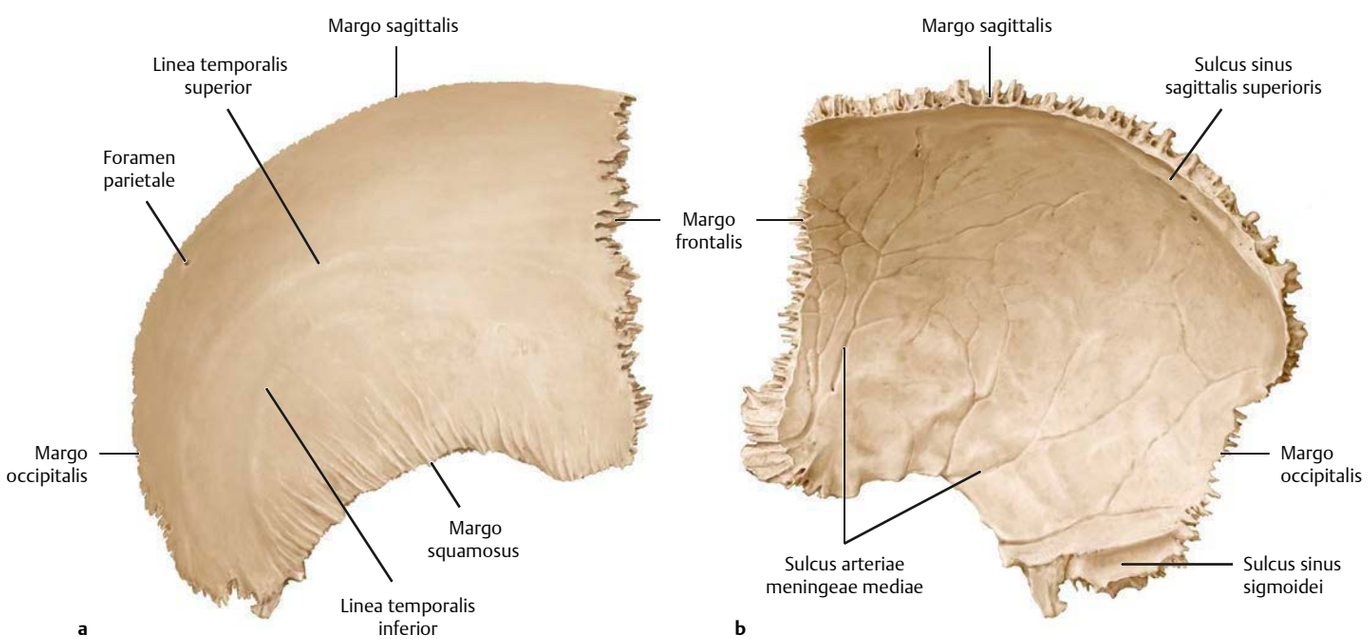
c Typ III: Tiefe frontobasale Fraktur: Gewalteinwirkung zentral von vorne. Mittelgesicht wird von der Schädelbasis abgerissen, was in die vertikalen oder transversalen Mittelgesichtsfrakturen übergeht (Le Fort III, s. S. 15).

d Typ IV: Lateroorbitale Frakturen: Gewalt von seitlich vorn. Stirnhöhle und Orbitadach sind betroffen.



C Anatomische Basis der Komplikationen einer bakteriellen Stirnhöhleninfektion

Ansicht von kranial auf das aufgesägte Stirnbein. Aufgrund der engen Nachbarschaft der Stirnhöhle (als Bestandteil des Os frontale) zum Gehirn, können Infektionen der Stirnhöhle leicht auf vitale Strukturen übergreifen. Die Stirnhöhle selbst kann sich mit Eiter füllen (Empyem) (1), der Eiter kann durch den Knochen auf die Dura mater durchbrechen (epiduraler Abszess) (2). Wird die Dura durchbrochen, kommt es zur Meningitis (3). Gelangt diese Infektion ins Gehirn, ist die Folge eine Abszessbildung (4). Der Einbruch in den Sinus sagittalis superior führt zur Sinusvenenthrombose (5).

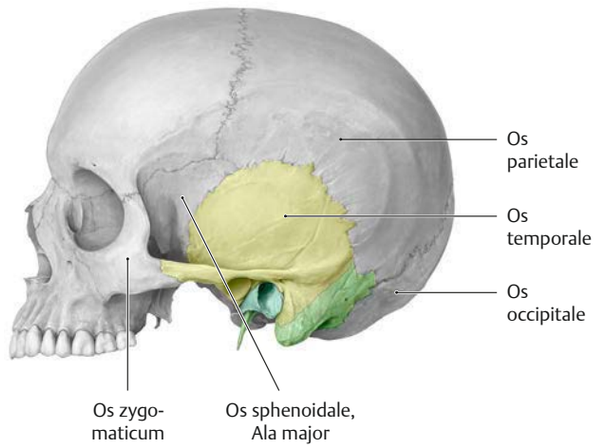


D Scheitelbein (Os parietale)

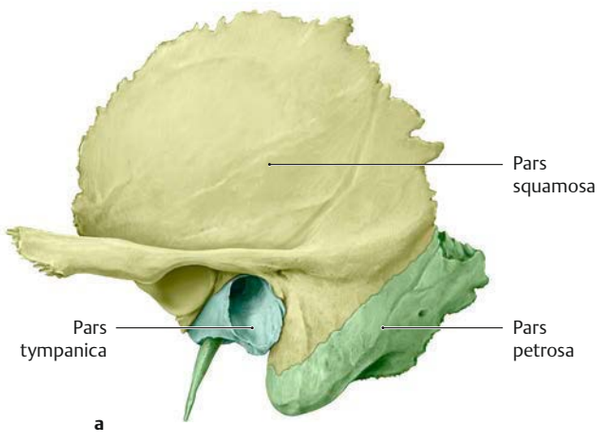
a linkes Scheitelbein, Ansicht von lateral (Facies externa); **b** rechtes Scheitelbein, Ansicht von medial (Facies interna).

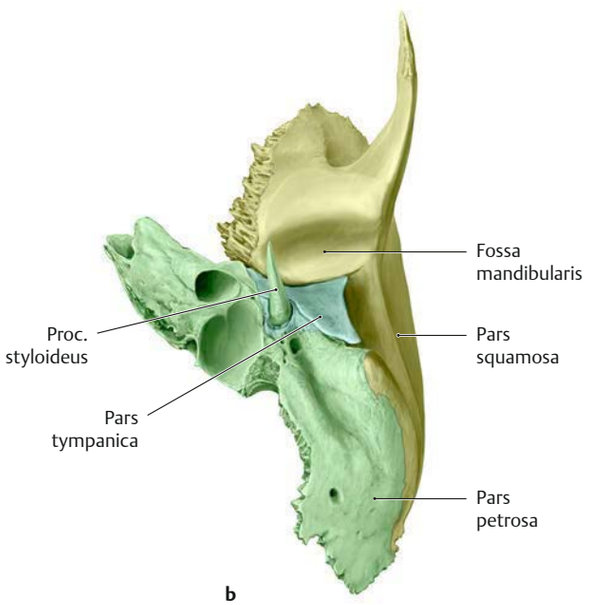
Beide Scheitelbeine bilden den mittleren Teil des Schädelgewölbes mit seinem höchsten Teil, dem Scheitel. Man gliedert das Scheitelbein in eine Facies externa und interna. An der Facies interna erkannt man den Sulcus arteriae meningeae mediae. Die A. meningea media spielt eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit epiduralen Hämatomen (s. S. 390).

2.9 Schläfenbein (Os temporale)



A Lage des Schläfenbeins (Os temporale) im Schädel
Ansicht von links. Das Schläfenbein ist ein wichtiger Knochen der Schädelbasis. Er bildet die Kapsel für das Gehör- und Gleichgewichtsorgan und die Gelenkpfanne für den Kiefer. Damit hat sein Aufbau auch klinische Bedeutung (s. **B**). Die Bezeichnung „Schläfenbein" resultiert daraus, dass man sich zum Schlafen auf diesen Knochen legt.
Beachte die angrenzenden Knochen.

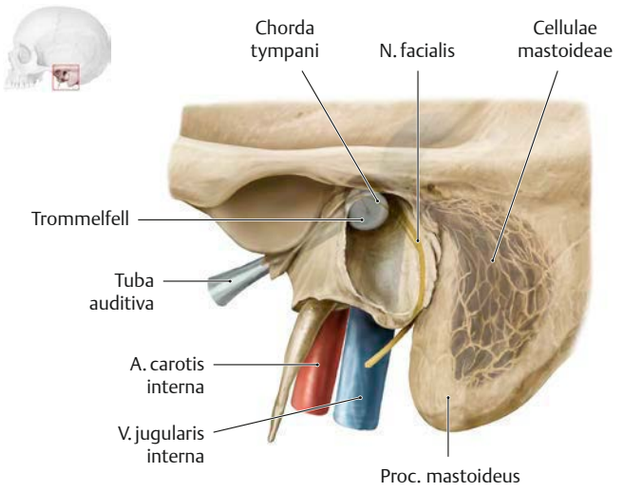




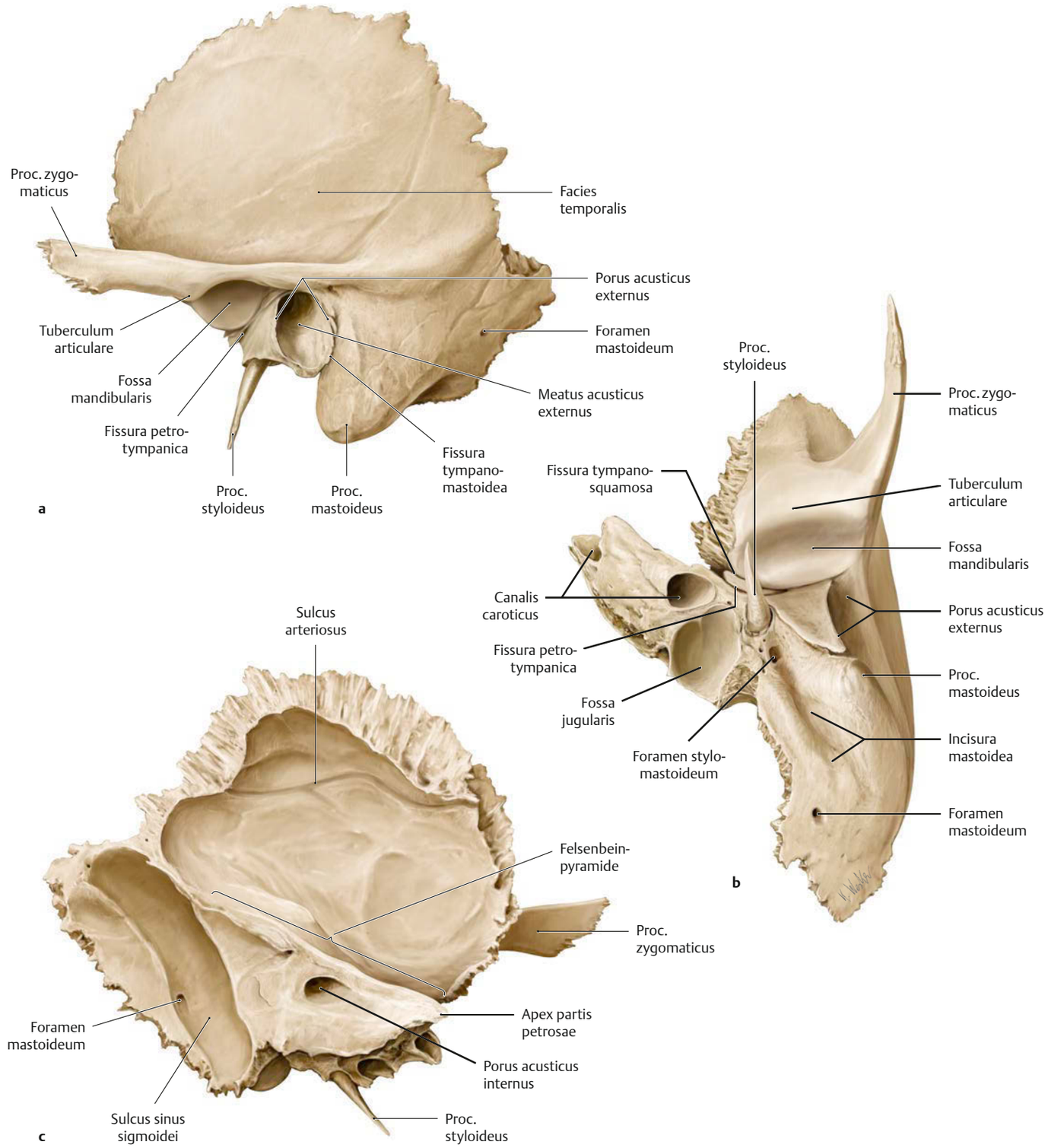
B Knochenanlagen eines linken Os temporale
a Ansicht von links; **b** Ansicht von kaudal.
Das Schläfenbein entwickelt sich aus drei Anlagen, die zu einem einheitlichen Knochen verschmelzen. Man unterscheidet:

- Pars squamosa, Schläfenbeinschuppe (helloliv), trägt die Pfanne des Kiefergelenks,
- Pars petrosa, Felsenbein (dunkeloliv), enthält Gehör- und Gleichgewichtsorgan und
- Pars tympanica, Paukenteil (türkis), bildet große Teile des äußeren Gehörgangs.

Beachte: Der Proc. styloideus, den man von seiner Lage her fälschlicherweise als Teil der Pars tympanica ansehen könnte, ist aufgrund seiner Entwicklung ein Teil der Pars petrosa.



C Projektion klinisch wichtiger Strukturen auf das linke Os temporale
Ansicht von lateral, Trommelfell (Membrana tympanica) durchsichtig dargestellt. Da im Felsenbein Mittel- und Innenohr sowie das Trommelfell liegen, ist die Kenntnis seiner Anatomie von großer klinischer Bedeutung für die Ohrchirurgie. Das Felsenbein formt an der inneren Schädelbasis ganz oder teilweise wichtige Durchtrittsstellen (vgl. **D**) für folgende Strukturen: N. facialis, A. carotis interna und V. jugularis interna.
Durch die Paukenhöhle, die hinter dem Trommelfell liegt, zieht ein feiner Nerv, die Chorda tympani. Sie geht aus dem N. facialis hervor, der bei Operationen gefährdet ist (vgl. **A**, S. 126). Der Proc. mastoideus des Felsenbeins bildet mit Luft gefüllte Kammern, die Cellulae mastoideae, deren Größe individuell sehr stark variiert. Da die Kammern mit dem Mittelohr in Verbindung stehen, das seinerseits durch die Tube (Tuba auditiva) mit dem Nasenrachen verbunden ist, können die Bakterien über Nasenrachen → Tube → Mittelohr → Cellulae mastoideae ins Schädelinnere gelangen und dort eine Hirnhautentzündung verursachen.



D Linkes Schläfenbein (Os temporale)

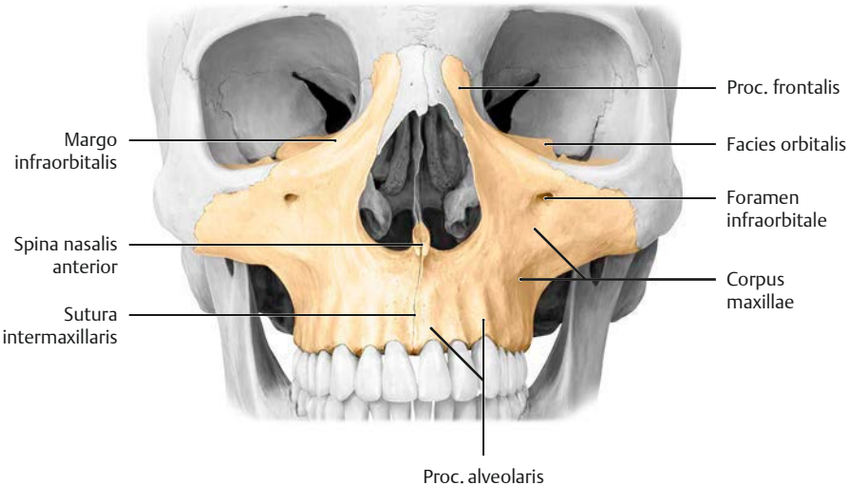
a Ansicht von lateral. Die wichtigsten Strukturen des Schläfenbeins sind benannt. Durch das Foramen mastoideum (äußere Öffnung in **a**, innere Öffnung in **c** zu sehen) zieht eine Emissarie (zu den Vv. emissariae s. S. 19), durch den medialen Teil der Fissura petrotympanica die Chorda tympani (s. S. 149). Der Proc. mastoideus wird erst im Laufe des Lebens durch den Zug des M. sternocleidomastoideus ausgebildet und ist von innen pneumatisiert (s. **C**).

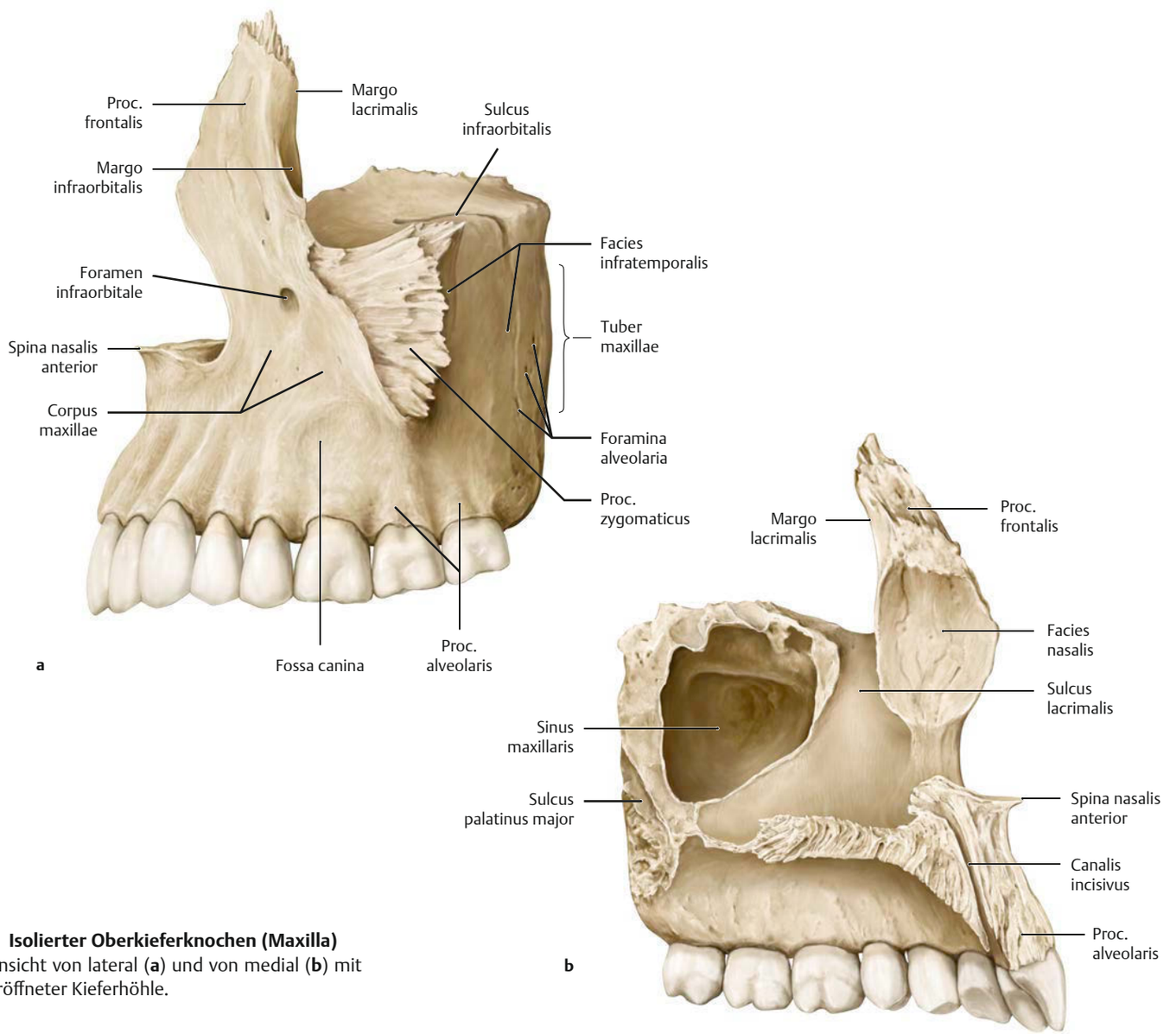
b Ansicht von kaudal. In dieser Ansicht ist die flache Gelenkpfanne des Kiefergelenks, die Fossa mandibularis, gut zu erkennen. Durch das Foramen stylomastoideum tritt der N. facialis aus der Schädelbasis aus. An der Fossa jugularis heftet sich der Anfang der V. jugularis interna an, die A. carotis interna gelangt durch den Canalis caroticus in das Schädelinnere.

c Ansicht von medial. Man erkennt die innere Öffnung des Foramen mastoideum sowie den Porus acusticus internus. Durch ihn ziehen unter anderem der N. facialis und der N. vestibulocochlearis in das Felsenbein hinein. Der hier dargestellte Teil des Felsenbeins wird auch als *Felsenbeinpyramide* bezeichnet, die Spitze der Pyramide (Apex partis petrosae) liegt im inneren Teil der Schädelbasis.

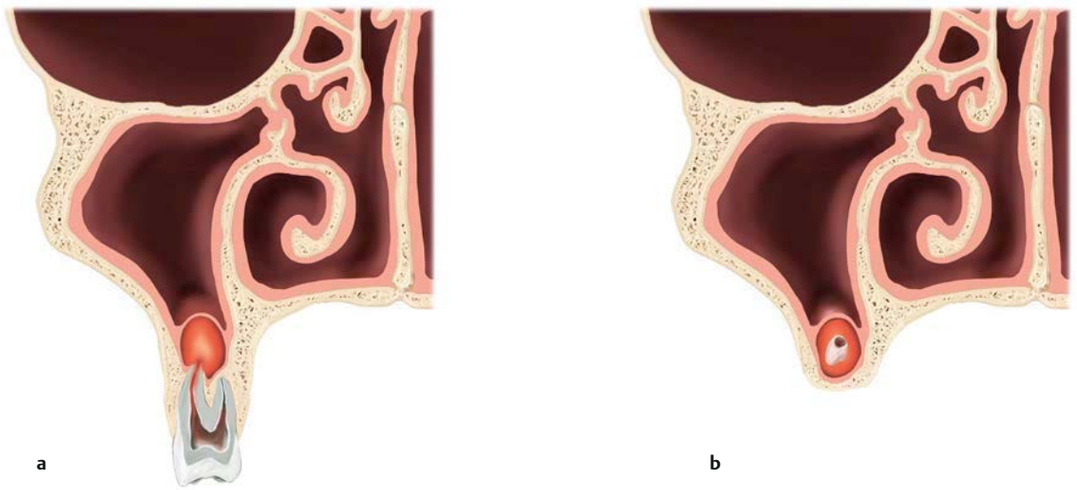
2.10 Oberkiefer (Maxilla)

A Lage der beiden Oberkiefer (Maxillae) im Schädel
Ansicht von frontal. Die beiden Oberkiefer (Maxillae) bestimmen durch ihre Struktur wesentlich die Form des Gesichts. Sie tragen die obere Zahnreihe und übertragen den Kaudruck mit Stirn- und Jochbogenpfeiler auf den Hirnschädel. Durch ihre zentrale Lage sind sie am Aufbau der Augen- (s. S. 36) und der Nasenhöhlenwand (s. S. 40) sowie am Aufbau des Gaumens (s. S. 44 f) beteiligt. Die im Oberkiefer gelegene Kieferhöhle (Sinus maxillaris) ist eine wesentliche Höhle der Nasennebenhöhlen (s. S. 41 f u. 184).





B Isolierter Oberkieferknochen (Maxilla)
Ansicht von lateral (**a**) und von medial (**b**) mit eröffneter Kieferhöhle.



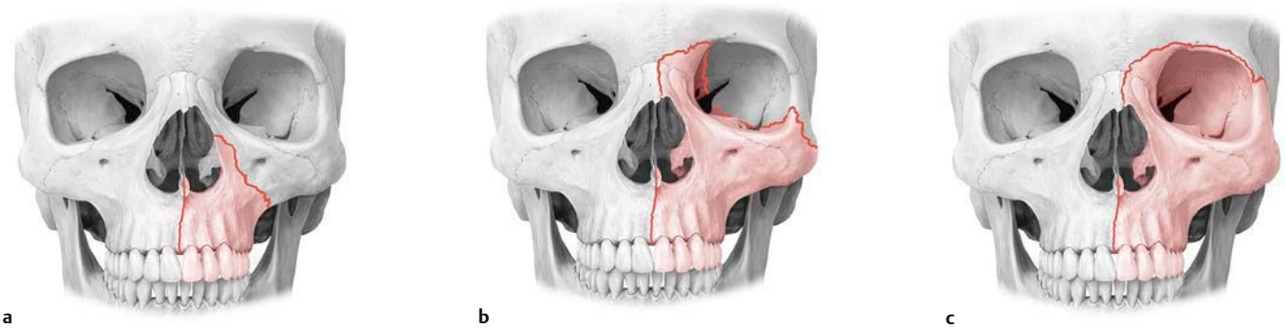
a b

C Odontogene Zysten im Oberkiefer
Sicht von vorne auf eine rechte Kieferhöhle. Die Zahnwurzeln der Zähne im Oberkiefer wölben sich in die Kieferhöhle vor. Diese anatomische Beziehung ist klinisch wichtig, da in die Oberkieferhöhle projizierte Schmerzen von Zähnen ausgehen können. Umgekehrt können Entzündungen in der Kieferhöhle auf die Zähne im Oberkiefer übergreifen.

a **Radikuläre Zysten** gehen von der Wurzelspitze eines Zahnes aus. Die chronische Entzündung in der Zahnwurzel führt dann zu einer Zystenbildung in der Oberkieferhöhle.

b **Follikuläre Zysten** entstehen durch die Ausweitung des Zahnsäckchens im Kronenbereich eines an seinem Durchbruch behinderten Zahnes (z. B. Weisheitszahn).

Klinisch muss deshalb bei einer Oberkieferhöhlenentzündung immer an eine Ursache in den Zähnen gedacht werden. Deshalb können Erkrankungen der Kieferhöhle die enge Zusammenarbeit zwischen HNO-Ärzten und Zahnärzten erfordern.



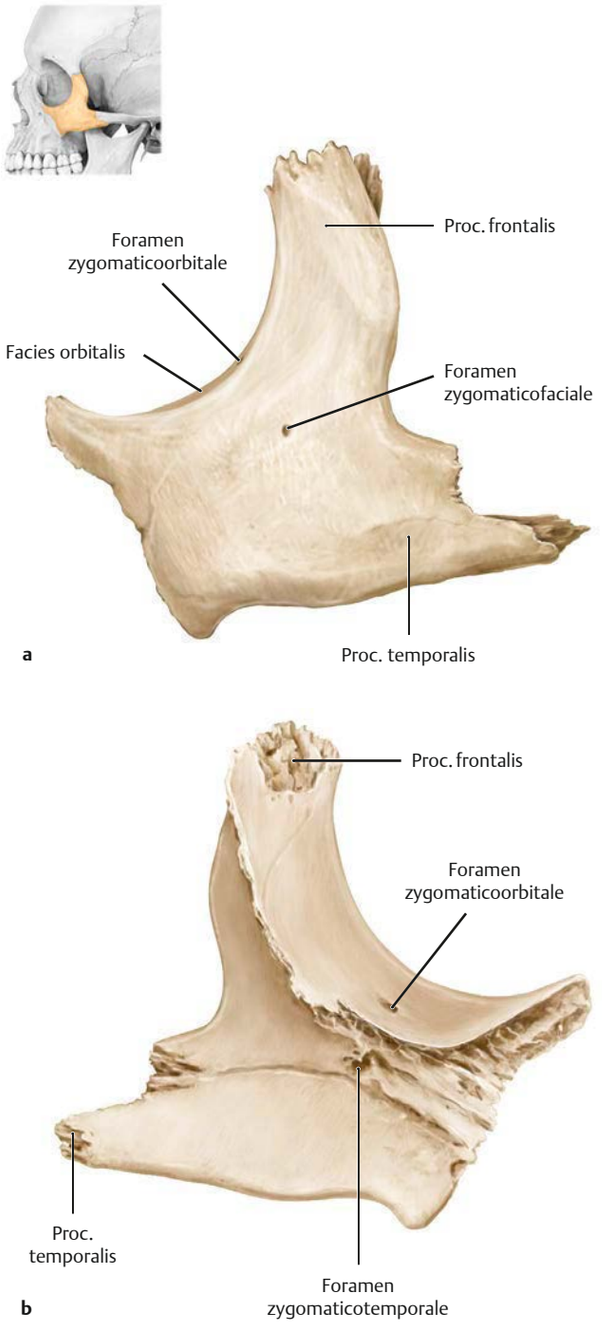
a b c

D Oberkieferresektionen
Tumoren in der Kieferhöhle können chirurgisch entfernt werden. Je nach Lage und Ausdehnung der Tumoren unterscheidet sich die Radikalität der Operation. Man unterscheidet eine partielle Oberkieferresektion (**a**), eine Totalresektion (**b**) und eine Totalresektion mit zusätzlicher Entfernung der Orbita und ihres Inhaltes (Exenteratio orbitae) (**c**).

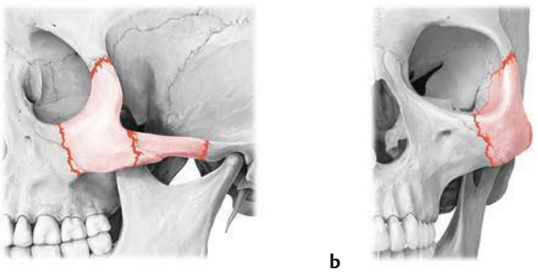


E Chirurgischer Zugang zur Kieferhöhle
Um chirurgisch einen Tumor aus der Kieferhöhle zu entfernen, wird häufig ein Zugang durch das Vestibulum oris gewählt. Dazu schiebt man die Oberlippe mit einem Spatel beiseite und entfernt dann die vordere Wand der Kieferhöhle. Dadurch wird die Kieferhöhle freigelegt. Dieser Eingriff kann dann ggfs. in benachbarte Regionen erweitert werden (u. a. Siebbein, Orbita, Keilbeinhöhle). Bei einer chronischen Sinusitis wird ein endonasaler Zugang gewählt (s. **Ed**, S. 25 u. **F**, S. 43).

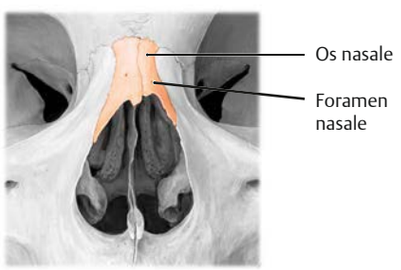
2.11 Jochbein (Os zygomaticum), Nasenbein (Os nasale), Pflugscharbein (Vomer) und Gaumenbein (Os palatinum)



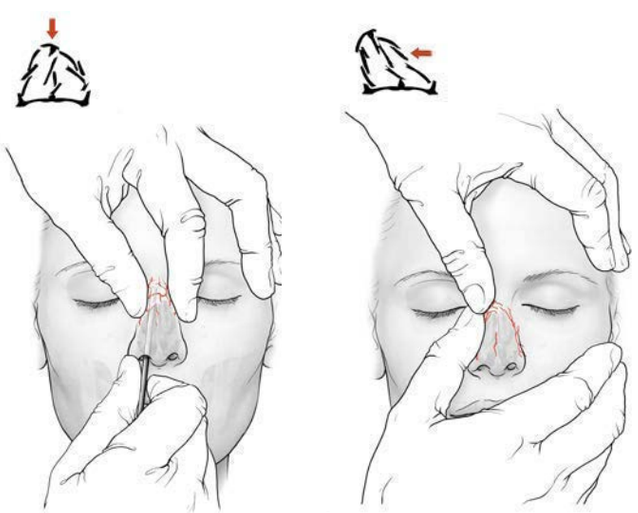
A Jochbein (Os zygomaticum)
a Ansicht von links-lateral (Facies lateralis) und **b** von medial (Facies temporalis).
Das Jochbein bildet eine Brücke, ein Joch (Name!) zwischen seitlicher Schädelwand und Gesichtsschädel. Es ist die knöcherne Grundlage der Wange und daher bei mageren Menschen oft gesichtsformend. Am Jochbein unterscheidet man Wangenfläche, Facies lateralis, sowie Facies orbitalis und temporalis.
Das Foramen zygomaticoorbitale an der Facies orbitalis stellt den Eingang zum Canalis zygomaticus dar. Er spaltet sich innerhalb des Jochbeins in zwei Kanäle auf, die am Foramen zygomaticofaciale und zygomaticotemporale enden. In den Canalis zygomaticus zieht der gleichnamige Ast des N. maxillaris ein, der sich in den beiden Kanälen verzweigt.



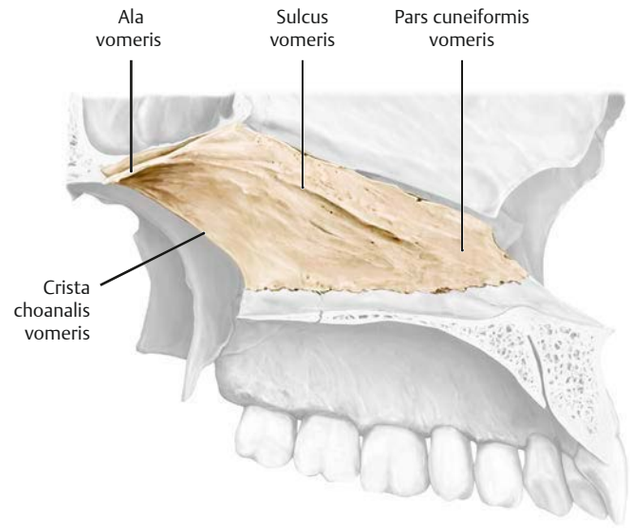
B Frakturen des Os zygomaticum
Ansicht von lateral (**a**) und von frontal (**b**).
Frakturen des Os zygomaticum sind relativ häufig nach *stumpfem Trauma des lateralen Mittelgesichts*. Oft bricht der Knochen an allen drei Verbindungsstellen zu seinen beiden Nachbarknochen.
Aufgrund der Weichteilschwellung werden Jochbeinfrakturen jedoch manchmal übersehen. Deshalb ist nach einem stumpfen Trauma immer abzuklären, ob eine Jochbeinfraktur vorliegt. Dies geschieht durch Seitenvergleiche (Form der Wangen, Bulbusmotilität) und Sensibilitätsprüfungen (der N. zygomaticus, der im knöchernen Kanal verläuft, ist evtl. mitverletzt).



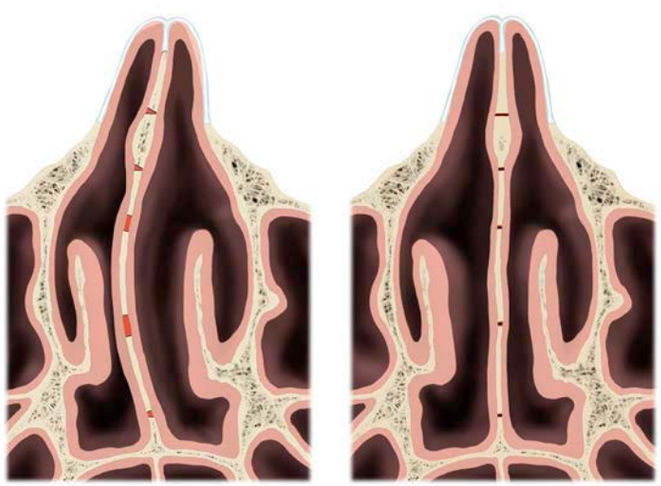
C Nasenbein (Os nasale)
Die beiden Nasenbeine bilden die knöcherne Basis des Nasenrückens. Ihre oberen Ränder verbinden sich mit dem Stirnbein, ihre seitlichen mit der Maxilla. Der Unterrand ist Teil der Apertura piriformis (s. S. 14). Frakturen des Nasenbeins sind häufig und bedürfen oft der Reposition.



D Prinzip der Reposition der Nasenbeinfrakturen
Bei frontalem Trauma erfolgt die Reposition von innen mit einem Spatel (**a**), bei lateralem Trauma von außen manuell (**b**).

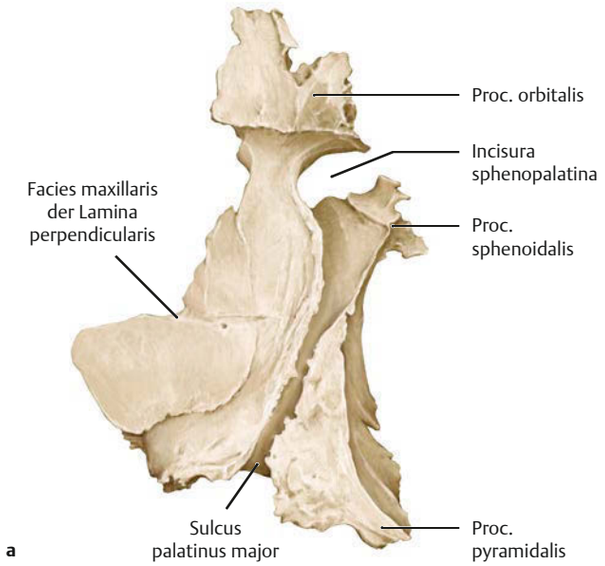


E Pflugscharbein (Vomer)
Ansicht von rechts lateral. Das Pflugscharbein (Vomer) bildet zusammen mit der Lamina perpendicularis des Siebbeins die knöcherne Grundlage des Nasenseptums (s. S. 14). An seiner oberen Kante bildet es zwei Flügel (Alae vomeris), welche die Verbindung zum Keilbeinkörper herstellen. Als Mittellinienstruktur ist es an der Trennung der beiden hinteren Nasenöffnungen (Choanae) beteiligt (s. S. 44 u. 185).

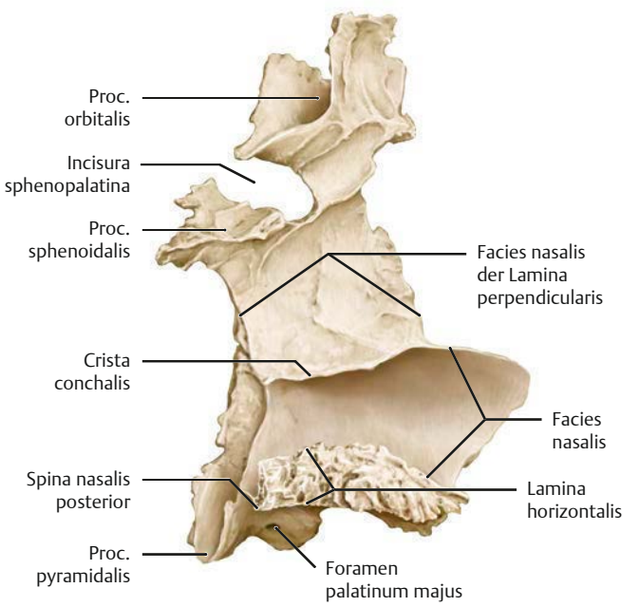


F Nasenseptumkorrektur
Ansicht von kranial. Gekrümmte Nasensepten sind eine häufige Ursache für die Behinderung der Nasenatmung. Bei der chirurgischen Korrektur wird u. U. das Nasenseptum entnommen, begradigt und dann reimplantiert.

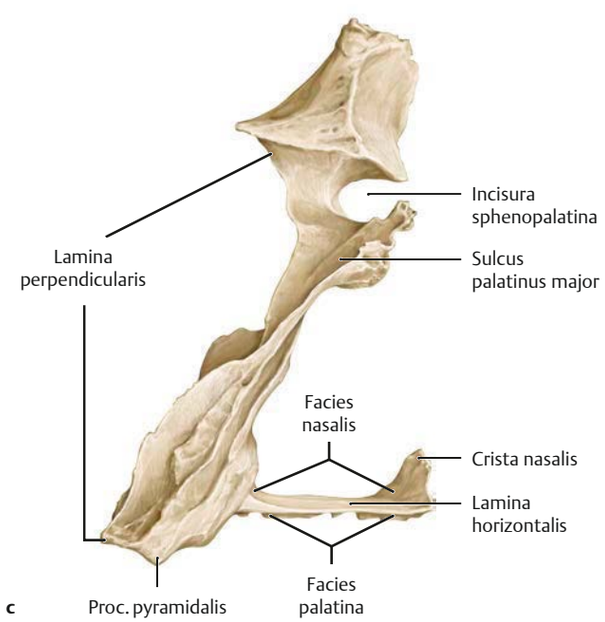
G Gaumenbein (Os palatinum)
a Gaumenbein von lateral, **b** medial und **c** dorsal.
Das Gaumenbein besteht aus einer waagerechten und einer senkrechten Platte (Lamina horizontalis und Lamina perpendicularis). Die **Lamina horizontalis** ist die hintere Begrenzung des harten Gaumens (s. S. 41), die **Lamina perpendicularis** ist der Teil der lateralen Nasenhaupthöhle, der vor der Lamina medialis des Proc. pterygoideus liegt. Das Os palatinum ergänzt die Maxilla von okzipital und grenzt – wie diese – die Mundhöhle von der Nasenhöhle ab.



a

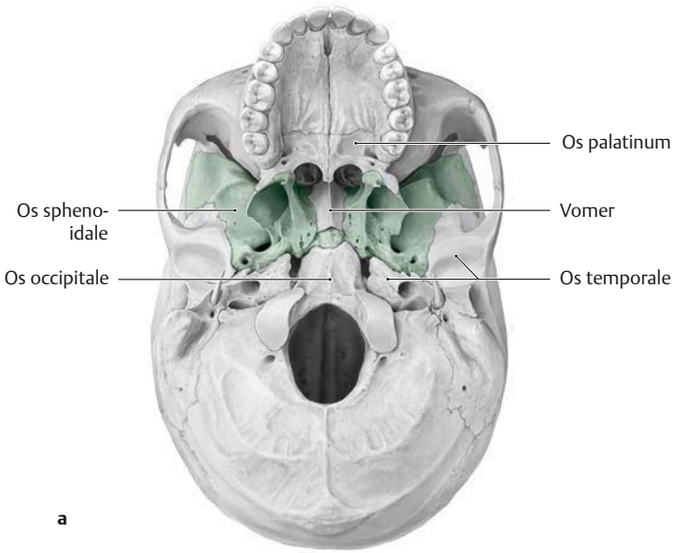


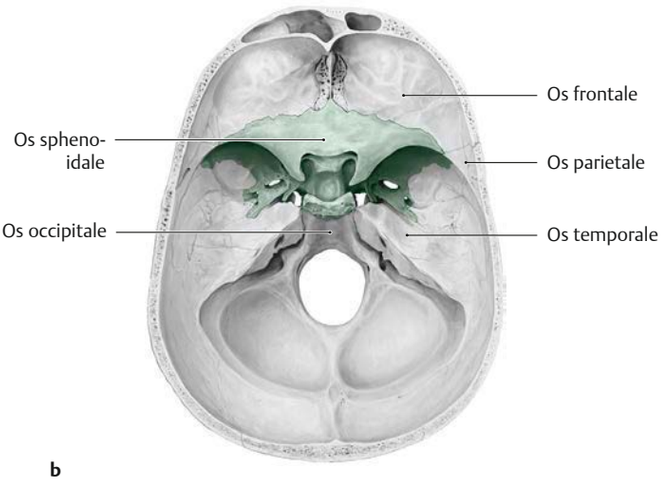
b

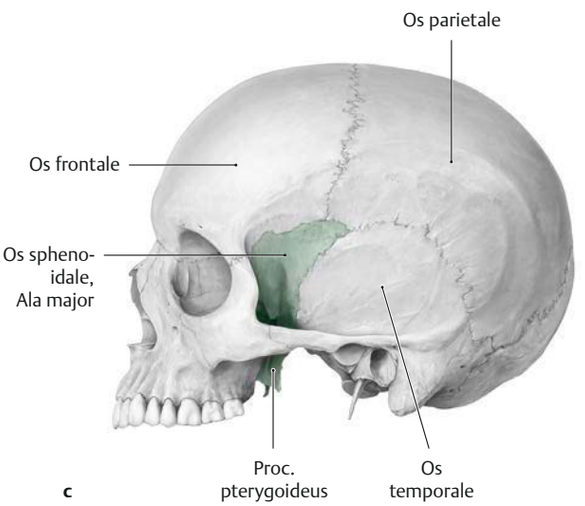


c

2.12 Keilbein (Os sphenoidale)





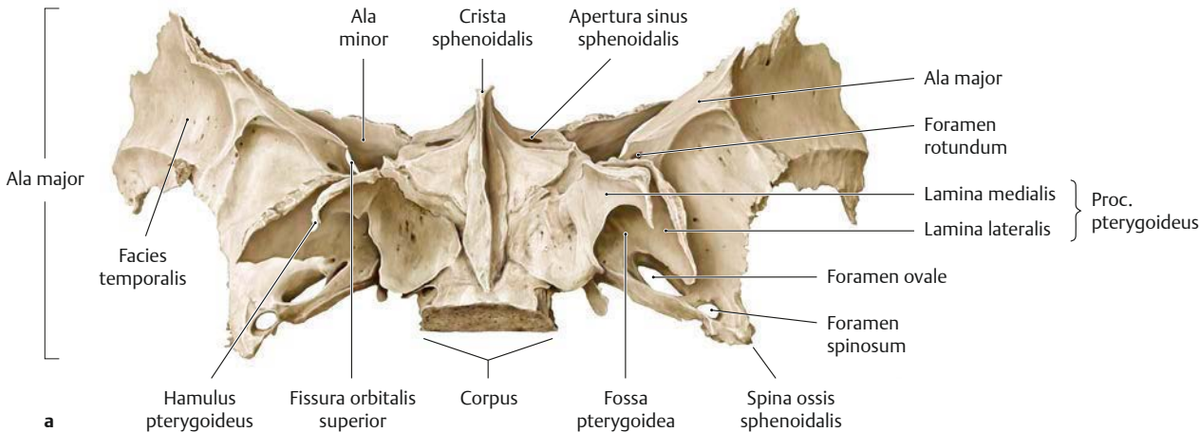


A Lage des Keilbeins (Os sphenoidale) im Schädel
Das Keilbein ist der am komplexesten aufgebaute Knochen des menschlichen Körpers. Man benötigt daher verschiedene Ansichten, um die unterschiedlichen Strukturen alle gut zu erkennen (vgl. auch **B**):

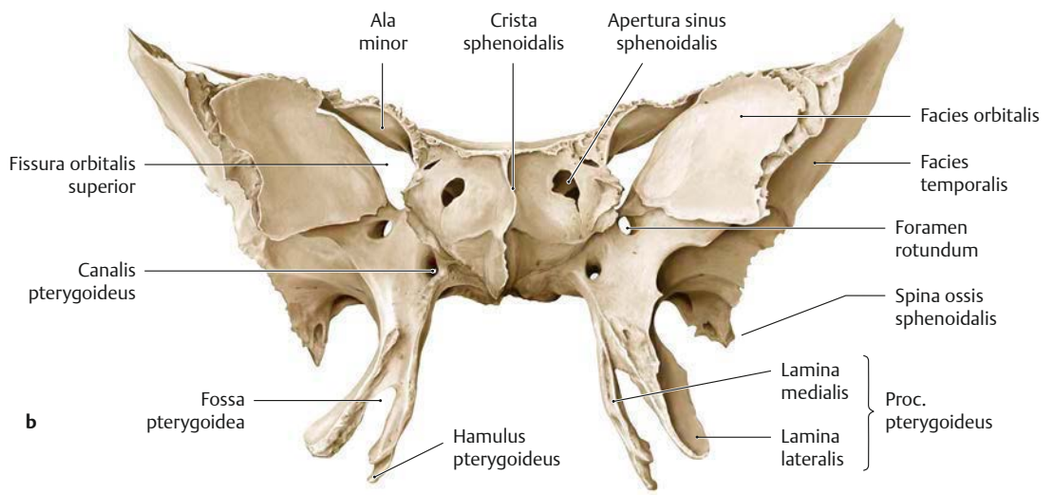
a Lage in der äußeren Schädelbasis. Das Keilbein bildet zusammen mit dem Hinterhauptsbein (Os occipitale) die tragende Mittellinienstruktur der Schädelbasis.
b Lage in der inneren Schädelbasis. Das Keilbein bildet die Grenze zwischen vorderer und mittlerer Schädelgrube. Man erkennt deutlich die Durchtrittsstellen für Nerven und Gefäße (Details s. **B**).
c Lage am Schädel links. Oberhalb des Jochbogens erkennt man Teile des großen Flügels (Ala major), unterhalb des Jochbogens Teile des Flügelfortsatzes (Proc. pterygoideus).

Beachte jeweils die benachbarten Knochen.

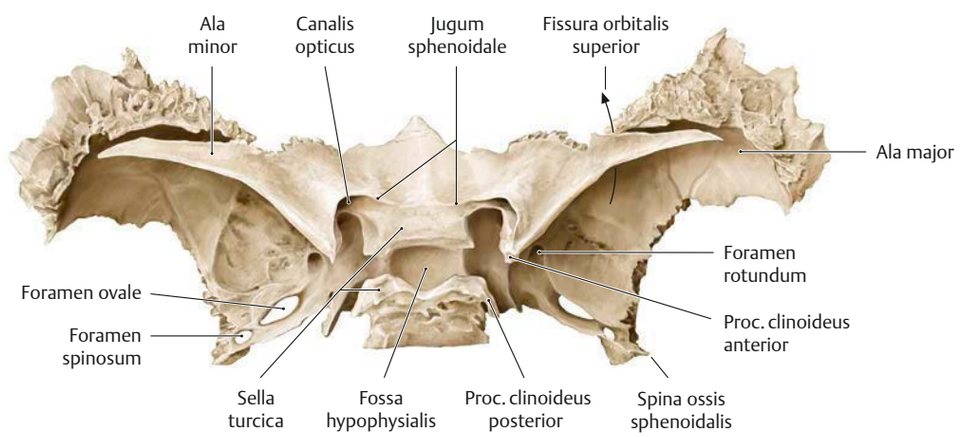
B Isoliertes Os sphenoidale
a Ansicht von unten; zur Lage in situ vgl. **A**. Man erkennt die Laminae medialis und lateralis des Flügelfortsatzes (Proc. pterygoideus). Zwischen beiden befindet sich die Fossa pterygoidea, in welcher der M. pterygoideus medialis liegt. Foramen spinosum und Foramen rotundum verbinden die mittlere Schädelgrube mit der äußeren Schädelbasis.
b Ansicht von vorne. In dieser Ansicht wird besonders schön deutlich, warum das Keilbein ursprünglich Os sphecoidale (= Wespenbein) genannt wurde, bevor ein Übertragungsfehler zur Bezeichnung Os sphenoidale (= Keilbein) führte. Der beiderseits vorhandene Eingang in die Keilbeinhöhle (Apertura sinus sphenoidalis) erscheint als Augen der Wespe, zwischen den Beinen der Wespe (den Flügelfortsätzen des Keilbeins) sind die Fossae pterygoideae zu sehen. Man erkennt die Fissura orbitalis superior, welche die mittlere Schädelgrube mit der Orbita verbindet. Die beiden Keilbeinhöhlen sind in ihrem Inneren durch ein Septum getrennt (s. S. 43).
c Ansicht von oben. In dieser Ansicht erkennt man den Türkensattel (Sella turcica), in dessen Mitte sich die Fossa hypophysialis für die Hypophyse befindet. Aus der Sicht der mittleren Schädelgrube erkennt man das Foramen spinosum und das Foramen ovale sowie das Foramen rotundum.
d Ansicht von hinten. Die Fissura orbitalis superior ist in dieser Ansicht besonders deutlich, der Canalis opticus wird durch den Proc. clinoideus anterior fast vollständig verdeckt. Das Foramen rotundum verbindet die mittlere Schädelgrube mit der äußeren Schädelbasis (Foramen spinosum hier nicht zu sehen, vgl. **a**). Da Keilbein und Hinterhauptsbein (Os occipitale) während der Pubertät zusammenwachsen (= Os tribasilare), gibt es zwischen beiden Knochen keine Sutur mehr; die Spongiosabälkchen liegen frei und erscheinen porös.


Ala major
Facies temporalis
Ala minor
Crista sphenoidalis
Apertura sinus sphenoidalis
Ala major
Foramen rotundum
Lamina medialis
Lamina lateralis
Proc. pterygoideus
Foramen ovale
Foramen spinosum
Hamulus pterygoideus
Fissura orbitalis superior
Corpus
Fossa pterygoidea
Spina ossis sphenoidalis

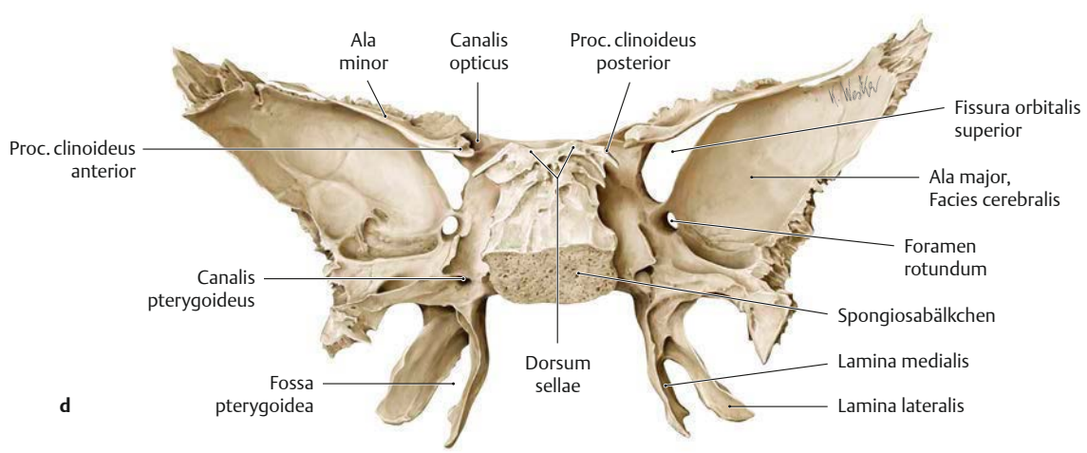
a


Ala minor
Crista sphenoidalis
Apertura sinus sphenoidalis
Facies orbitalis
Fissura orbitalis superior
Facies temporalis
Foramen rotundum
Canalis pterygoideus
Spina ossis sphenoidalis
Lamina medialis
Lamina lateralis
Proc. pterygoideus
Fossa pterygoidea
Hamulus pterygoideus

b

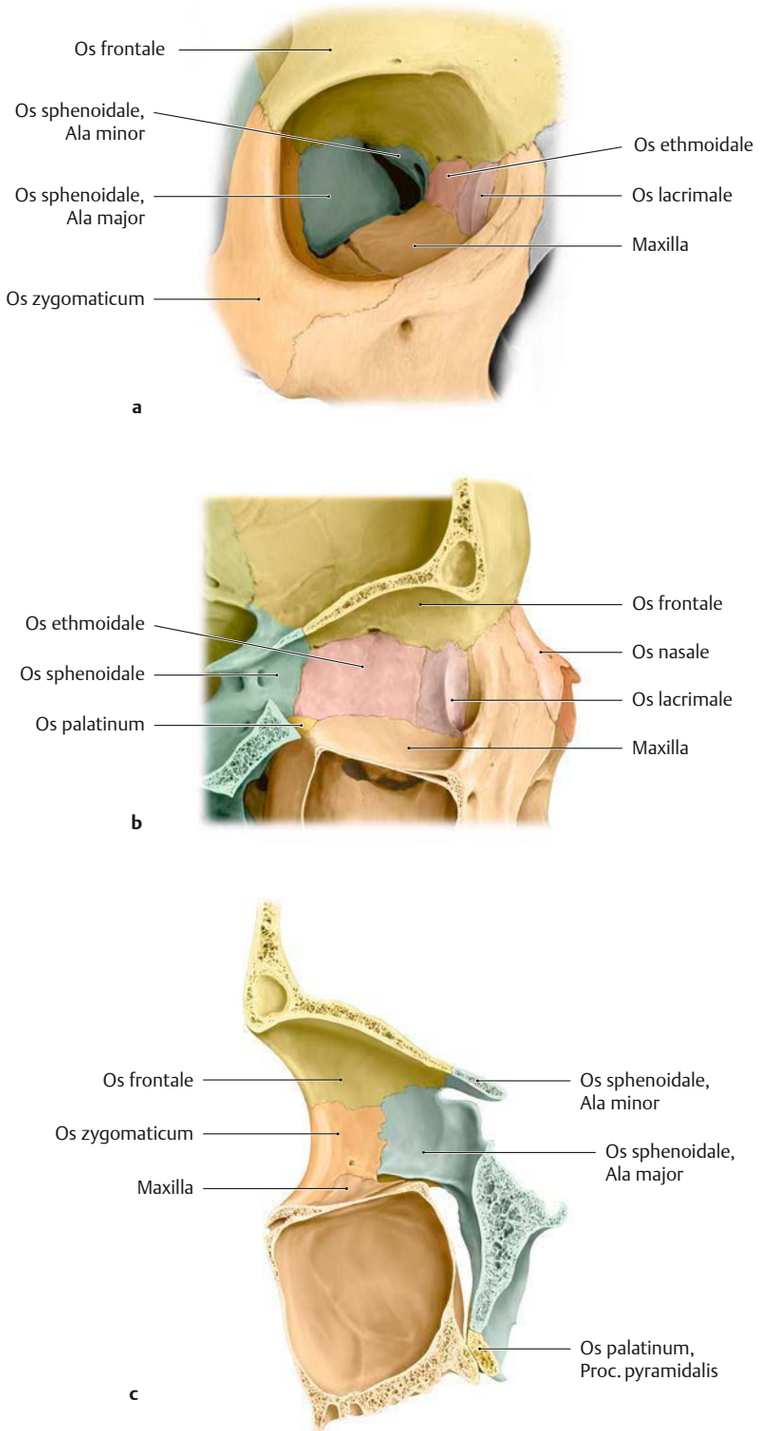

Ala minor
Canalis opticus
Jugum sphenoidale
Fissura orbitalis superior
Ala major
Foramen rotundum
Foramen ovale
Foramen spinosum
Proc. clinoideus anterior
Sella turcica
Fossa hypophysialis
Proc. clinoideus posterior
Spina ossis sphenoidalis

c


Ala minor
Canalis opticus
Proc. clinoideus posterior
Proc. clinoideus anterior
Fissura orbitalis superior
Ala major, Facies cerebralis
Foramen rotundum
Canalis pterygoideus
Spongiosabälkchen
Dorsum sellae
Lamina medialis
Fossa pterygoidea
Lamina lateralis

d

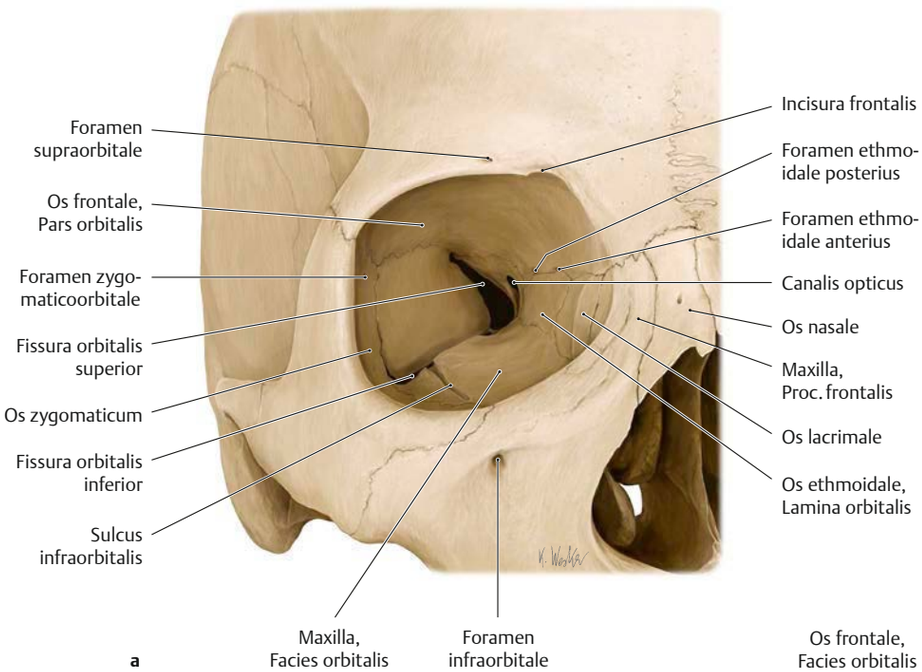
2.13 Augenhöhle (Orbita): Knochen und Öffnungen für Leitungsbahnen



A Knochen der rechten Augenhöhle (Orbita)
Ansicht von frontal (**a**), lateral (**b**) und medial (**c**); laterale bzw. mediale Orbitawand in **b** u. **c** entfernt.
Die Augenhöhle wird von sieben verschiedenen Knochen (hier farbig markiert) gebildet: Os frontale, Os zygomaticum, Maxilla, Os ethmoidale und Os sphenoidale (s. **a** bzw. **c**) sowie Os lacrimale und Os palatinum, die nur in der medialen Ansicht (s. **b**) zu erkennen sind.
Diese Lerneinheit behandelt den knöchernen Aufbau der einzelnen Orbita, die folgende Lerneinheit die Nachbarschaftsbeziehungen beider Orbitae zueinander.

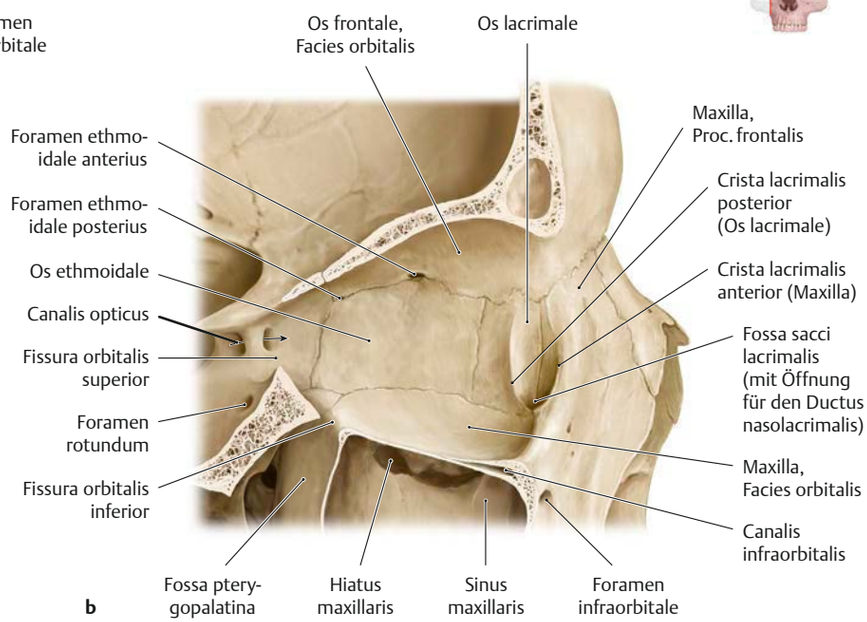
B Öffnungen für Leitungsbahnen der Orbita
Beachte: Das Foramen supraorbitale hat auch klinisch große Bedeutung, da man bei der klinischen Routineuntersuchung an dieser Stelle mit dem Daumen auf den Orbitarand drückt, um die Sensibilität/Schmerzempfindung zu prüfen, die durch den N. supraorbitalis vermittelt wird. Der N. supraorbitalis ist ein Endast des 1. Astes des N. trigeminus (V. Hirnnerv, s. S. 122). Bei Schmerzen im Trigeminusbereich kann an diesem Punkt eine erhöhte Druckempfindlichkeit bestehen.

Durchtrittsstelle	Leitungsbahn
Canalis opticus	• N. opticus (N. II) • A. ophthalmica
Fissura orbitalis superior	• N. oculomotorius (N. III) • N. trochlearis (N. IV) • N. ophthalmicus (N. V_1) – N. lacrimalis – N. frontalis – N. nasociliaris • N. abducens (N. VI) • V. ophthalmica superior
Fissura orbitalis inferior	• N. infraorbitalis (aus N. V_2) • N. zygomaticus (aus N. V_2) • Rr. orbitales (aus N. V_2) • A. infraorbitalis • V. ophthalmica inferior
Foramen ethmoidale anterius	• A., V. u. N. ethmoidalis anterior
Foramen ethmoidale posterius	• A., V. u. N. ethmoidalis posterior
Canalis infraorbitalis	• N. infraorbitalis (aus N. V_2) • A. infraorbitalis
Foramen supra-orbitale	• N. supraorbitalis (R. lateralis) • A. supraorbitalis
Incisura frontalis	• N. supraorbitalis (R. medialis) • A. supratrochlearis
Foramen zygomatico-orbitale	• N. zygomaticus (aus N. V_2)
Canalis nasolacrimalis	• Ductus nasolacrimalis



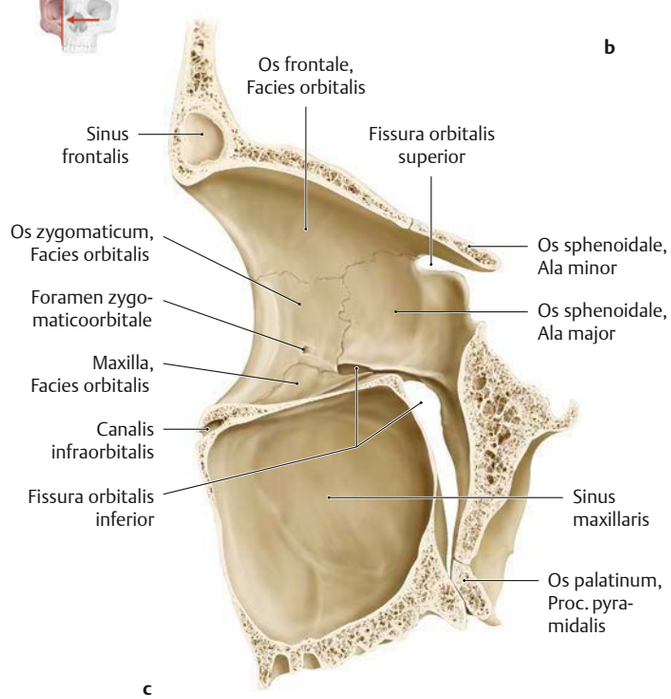
a





b

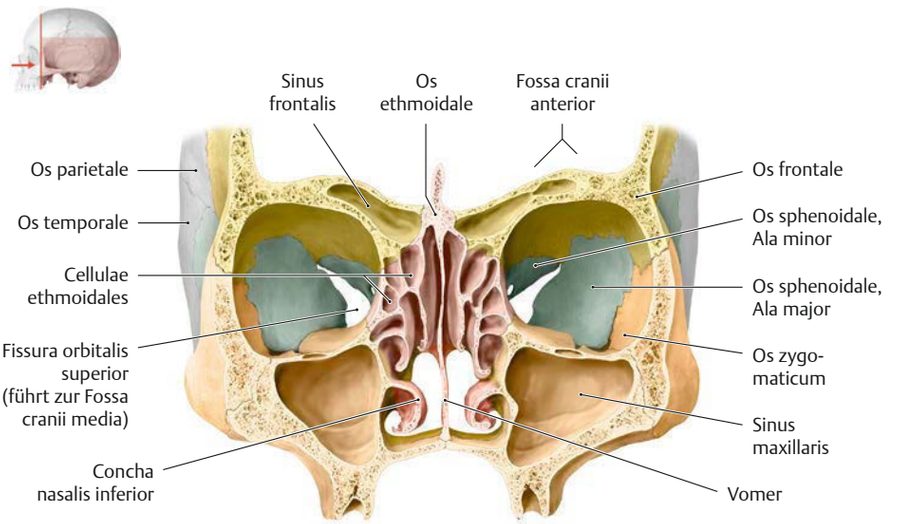




c

C Öffnungen für Leitungsbahnen in einer rechten Orbita
Ansicht von frontal (**a**), lateral (**b**) und medial (**c**); in **b** u. **c** sind die laterale bzw. mediale Orbitawand entfernt. Folgende Öffnungen für Leitungsbahnen (s. dazu **B**) sind zu erkennen: Canalis opticus (**a, b**); Fissurae orbitales superior und inferior (**a–c**); Foramina ethmoidalia anterius und posterius (**a, b**); Sulcus infraorbitalis (**a**), der in den Canalis infraorbitalis (**b, c**) übergeht und im Foramen infraorbitale (**a, b**) mündet; Foramen supraorbitale und Incisura frontalis (**a**); Foramen zygomaticoorbitale (**c**).
In **b** erkennt man die Öffnung des Ductus nasolacrimalis, über den die Tränenflüssigkeit in den unteren Nasengang abgeleitet wird (s. S. 42).
In der Ansicht von lateral (**b**) ist der trichterförmige Aufbau der Orbita gut zu erkennen. Er stellt eine Art „Gelenkpfanne“ dar, in der sich der Augapfel bewegt. Durch die Fissura orbitalis inferior gelangt man in die Fossa pterygopalatina. Sie grenzt an die Hinterwand des Sinus maxillaris; in ihr befindet sich das Ganglion pterygopalatinum, eine wichtige Umschaltstation des Parasympathikus (s. S. 239 u. 127). In der freigelegten Kieferhöhle erkennt man den hochgelegenen Hiatus maxillaris, durch den die Kieferhöhle unter der mittleren Nasenmuschel mit der Nasenhöhle verbunden wird.

2.14 Orbitae und Nachbarstrukturen



A Knochen der Orbitae und angrenzende Höhlen

Die schon bekannten und verschiedenfarbig kolorierten Knochen, welche die Orbita bilden, stellen z. T. Grenzen zu benachbarten Höhlen dar. Folgende angrenzende Strukturen sind hier zu sehen:

- vordere Schädelgrube (Fossa cranii anterior),
- Stirnhöhle (Sinus frontalis),
- mittlere Schädelgrube (Fossa cranii media),
- Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales*) und
- Kieferhöhle (Sinus maxillaris).

Krankheitsprozesse in der Orbita können auf diese Höhlen übergehen bzw. aus diesen Höhlen in die Orbita übertreten.

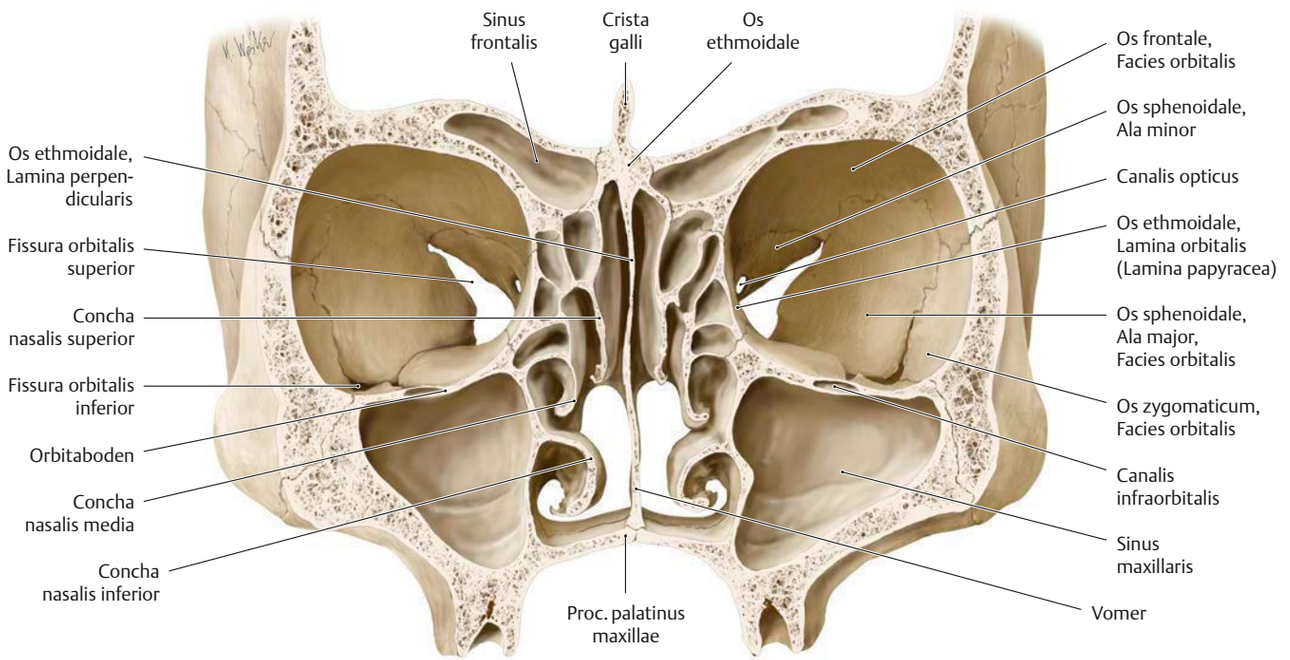
* Die Terminologia anatomica hat den weiterhin sehr gebräuchlichen Begriff „Sinus ethmoidalis“ gestrichen.

B Klinisch wichtige Beziehungen zwischen den Orbitae und umliegenden Strukturen

Lage zur Orbita	Benachbarte Struktur
kaudal	• Kieferhöhle (Sinus maxillaris)
kranial	• Stirnhöhle (Sinus frontalis) • vordere Schädelgrube (Fossa cranii anterior mit Frontalhirn)
medial	• Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales)

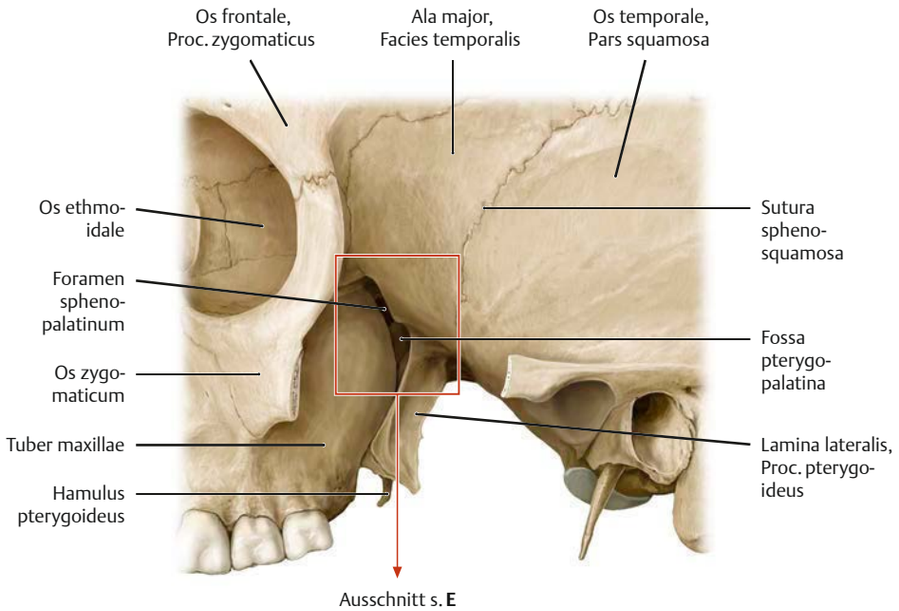
tiefer gelegene Strukturen, die klinisch-topografisch von Interesse sind:

- Keilbeinhöhle (Sinus sphenoidalis)
- mittlere Schädelgrube
- Chiasma opticum
- Hypophyse
- Sinus cavernosus
- Fossa pterygopalatina



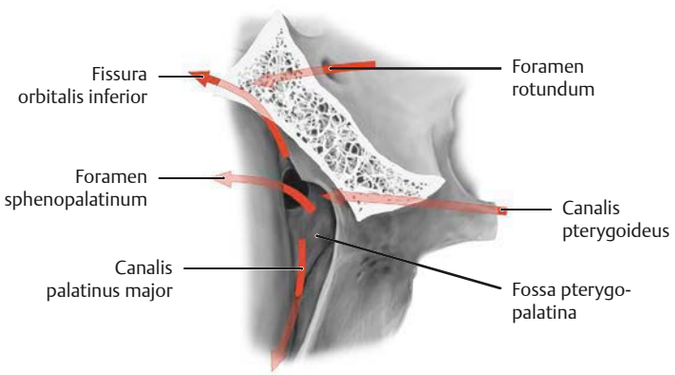
C Orbitae und Nachbarstrukturen

Frontalschnitt auf Höhe der beiden Orbitae in der Ansicht von frontal. Die Wände der Orbita zu den Cellulae ethmoidales (0,3 mm, Lamina papyracea) und zum Sinus maxillaris (0,5 mm, Orbitaboden) sind sehr dünn; deshalb können an diesen beiden Orten besonders leicht Frakturen auftreten und Tumoren und Entzündungen auf die Nachbarschaft übergreifen bzw. von ihr stammen. Durch die Fissura orbitalis superior gelangt man in die mittlere Schädelgrube. Die hier nicht dargestellten Strukturen Keilbeinhöhle, Hypophyse und Chiasma opticum liegen damit ebenfalls in unmittelbarer Nachbarschaft der Orbita.



D Detaildarstellung der linken Fossa pterygopalatina

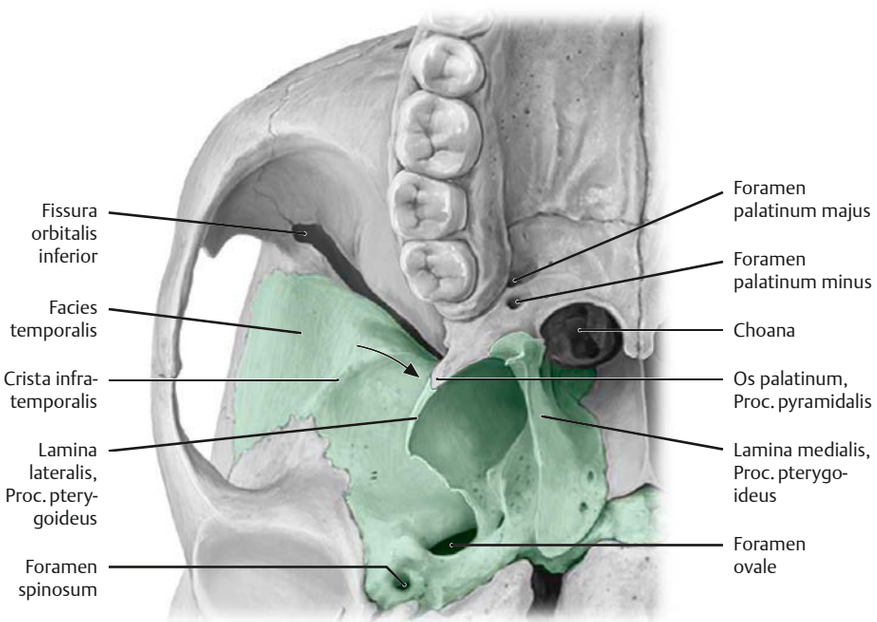
Ansicht von lateral. Die Fossa pterygopalatina (Flügelgaumengrube) ist ein Knotenpunkt zwischen mittlerer Schädelgrube, Orbita und Nase. Durch sie ziehen viele Nerven und Gefäße zur Versorgung dieser Strukturen. Lateral geht die Fossa pterygopalatina ohne scharfe Begrenzung in die Fossa infratemporalis über. Der hier dargestellte, seitliche Zugangsweg zur Fossa pterygopalatina durch die Fossa infratemporalis wird bei der Operation von Tumoren dieser Region gewählt (z. B. beim Nasen-Rachen-Fibrom).



E Verbindungen der linken Fossa pterygopalatina zu benachbarten Strukturen

Ausschnitt von **D**. Die Fossa pterygopalatina enthält u. a. das Ganglion pterygopalatinum (s. S. 239 u. 127), eine wichtige Umschaltstation des Parasymphathikus.

Beachte deshalb die Verbindungswege, die zur Fossa pterygopalatina hin bzw. von ihr weg führen.

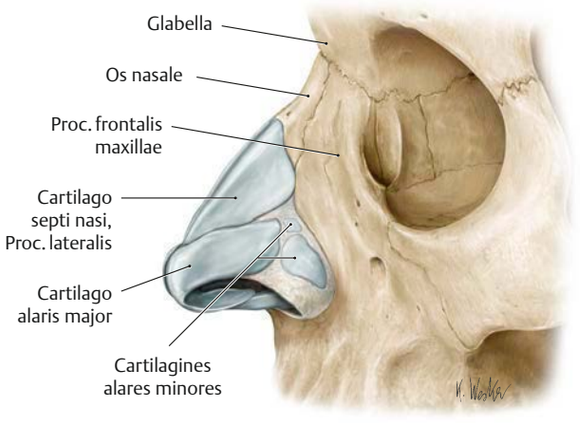


F Benachbarte Strukturen der rechten Fossa pterygopalatina an der rechten Schädelbasis

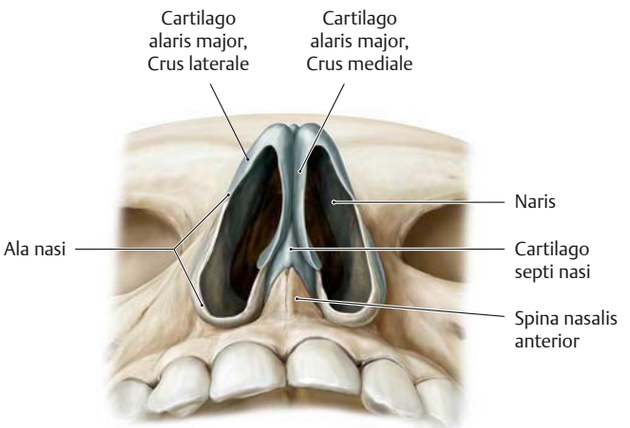
Ansicht von kaudal. Der Zugang zur Fossa pterygopalatina von der Schädelbasis aus ist durch den Pfeil markiert. Sie selbst (in dieser Ansicht nicht sichtbar) liegt lateral der Lamina lateralis proc. pterygoidei ossis sphenoidalis.

Zu den Begrenzungen der Fossa pterygopalatina sowie Zugangswegen und Leitungsbahnen s. S. 238 f.

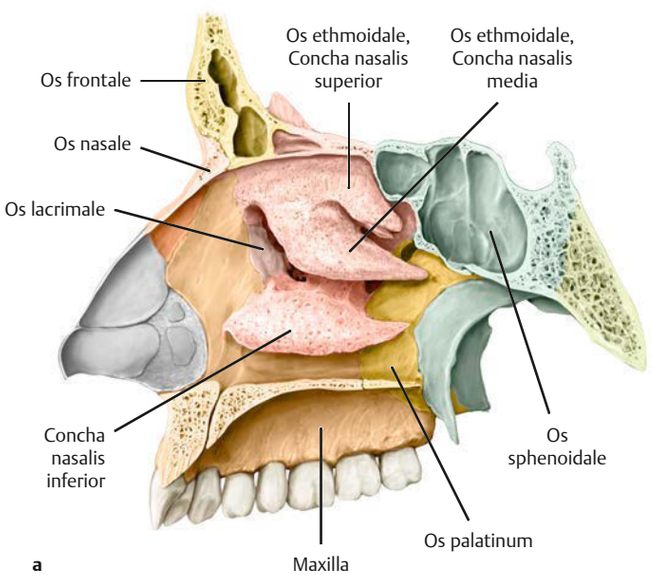
2.15 Nase (Nasus): Nasenskelett

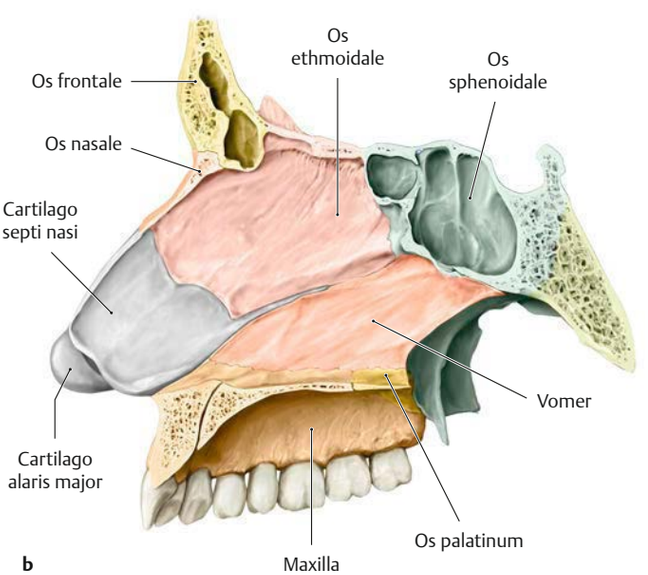


A Skelett der äußeren Nase
Ansicht von links. Das Skelett der Nase besteht aus Knochen, Knorpel und Bindegewebe. Sein kranialer Teil ist knöchern und deshalb häufig bei Mittelgesichtsfrakturen betroffen, während die kaudal-distalen Anteile aus Knorpel bestehen, somit elastischer und weniger gefährdet sind. Der kaudal-proximale Abschnitt der Nasenflügel (Alae nasi) besteht aus Bindegewebe mit eingelagerten kleinen Knorpelstücken. Die Knorpelplatte des Proc. lateralis stellt eine flügelartig abgespreizte Platte des knorpeligen Nasenseptums dar und ist kein eigenes Knorpelstück.



B Nasenknorpel
Ansicht von unten. Man unterscheidet am großen Flügelknorpel (Cartilago alaris major) ein Crus mediale und ein Crus laterale. Man erkennt die beiden Nasenöffnungen (Nares) als Eingänge in die beiden Nasenhöhlen. Die Nasenhöhlen sind durch das Nasenseptum (Septum nasi) getrennt, dessen kleiner unterer knorpeliger Anteil sichtbar ist. In dieser Lerneinheit wird zunächst der Aufbau der Wände einer Nasenhöhle geschildert. Ihre Beziehung zu den Nasennebenhöhlen wird in der nächsten Lerneinheit abgehandelt.



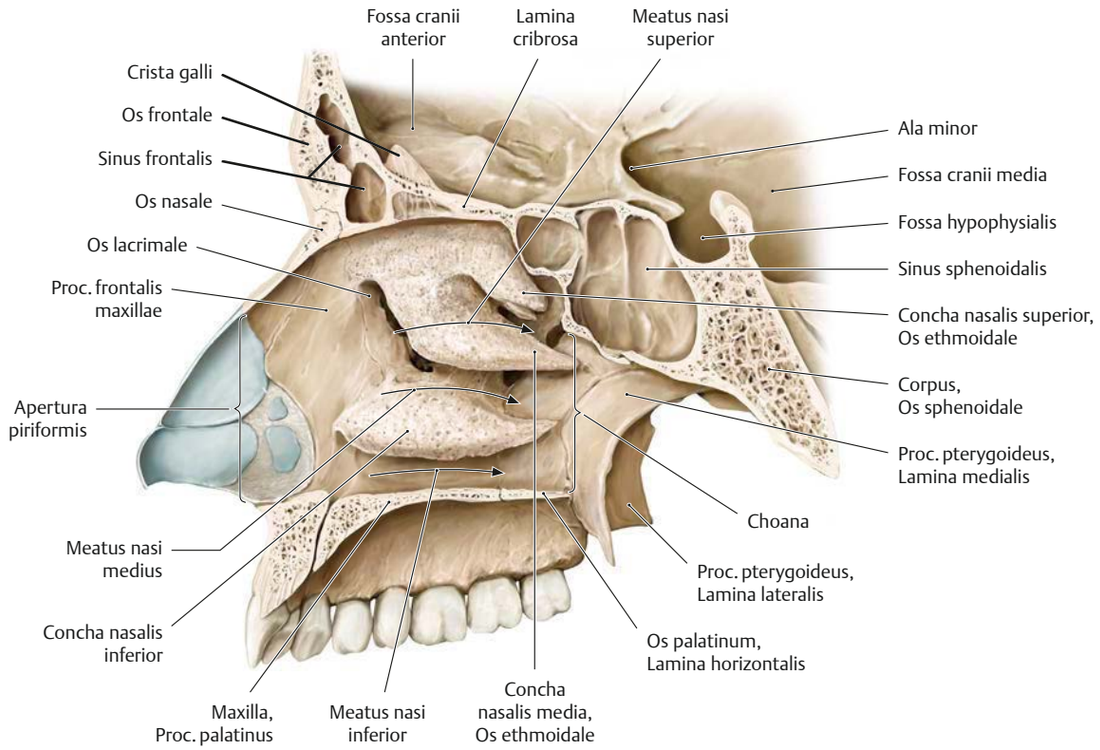


C Knöcherne Wände der Nasenhöhle
a rechte Nase, Ansicht von links; Nasenseptum entfernt, um die Sicht auf die Nasenhöhle zu ermöglichen. **b** Paramedianschnitt, Ansicht von links.
Die Nasenhöhle hat vier Wände:

- das Dach (Os nasale, Os frontale und Os ethmoidale),
- den Boden (Maxilla und Os palatinum),
- die laterale Wand mit Maxilla, Os nasale, Os lacrimale, Os ethmoidale, Os palatinum und Concha nasalis inferior,
- die mediale Wand (Septum nasi, s. **b** u. **E**), die aus Knorpel und folgenden Knochen besteht: Os nasale, Os ethmoidale, Vomer, Os sphenoidale, Os palatinum und Maxilla, wobei die letzten drei nur mit kleinen Knochenspangen am Nasenseptum beteiligt sind.

Von hinten wird die Nasenhöhle in ihrem oberen Abschnitt durch das Os sphenoidale begrenzt. Von den drei Conchae ist nur die Conchae nasalis inferior ein eigener Knochen, die beiden übrigen sind Bestandteile des Siebbeins.

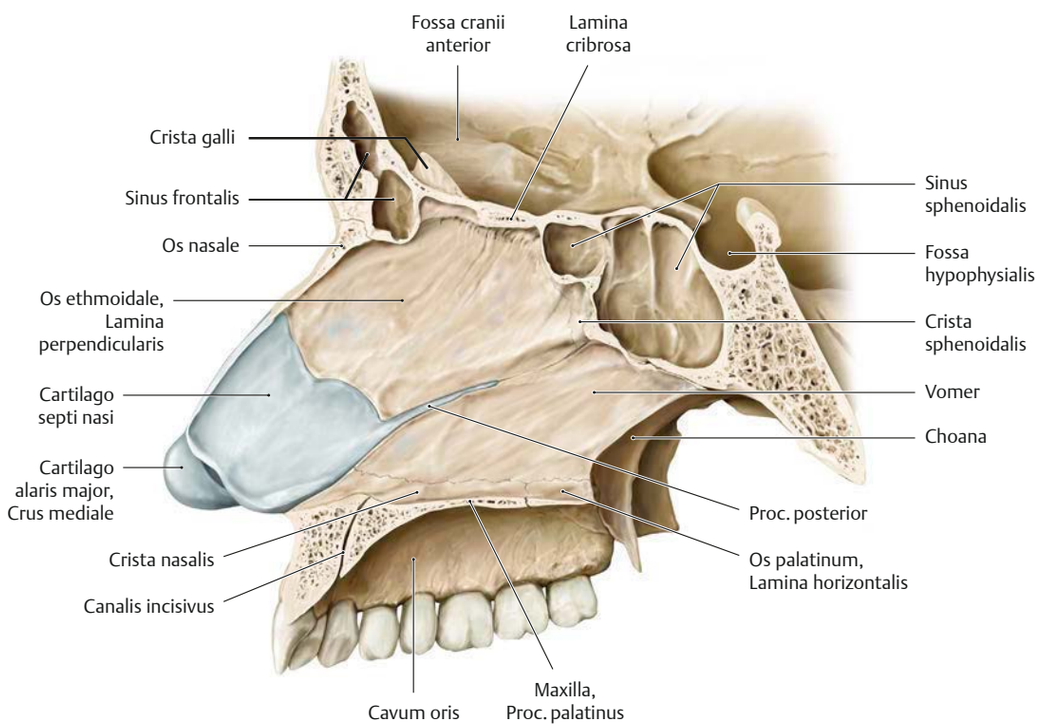




D Nasenhöhle mit Darstellung des Luftstroms durch die drei Nasengänge

Ansicht von links. Die Luft tritt durch die Apertura piriformis in die knöcherne Nasenhöhle ein und zieht über die drei Nasengänge, Meatus nasi superior, medius und inferior zu den Choanen in den Nasenrachen. Die drei Nasengänge werden durch die drei Muscheln, Conchae nasales superior, media und inferior getrennt.

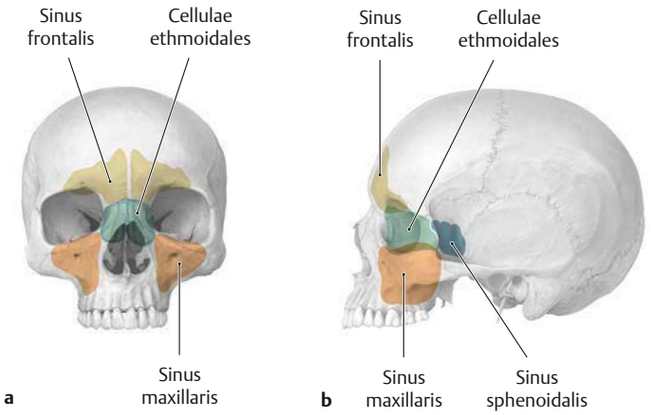




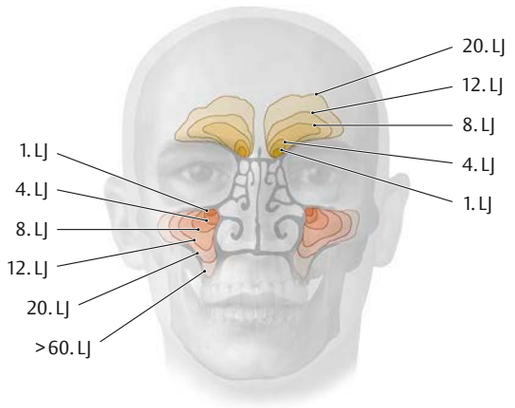
E Nasenseptum

Paramedianschnitt. Ansicht von links. Die linke laterale Wand der Nasenhöhle mit angrenzenden Knochen wurde entfernt. Das Nasenseptum besteht aus einem vorderen, knorpeligen Anteil, der Cartilago septi nasi und einem hinteren, knöchernen Anteil (s. **Cb**). Der Proc. posterior des knorpeligen Septums wächst tief in den knöchernen Teil hinein. Abweichungen des Nasenseptums sind häufig. Sie können den knorpeligen und/oder den knöchernen Anteil betreffen. Ist diese Septumdeviation so ausgedehnt, dass sie Beschwerden verursacht (Behinderung der Nasenatmung), kann sie operativ korrigiert werden.

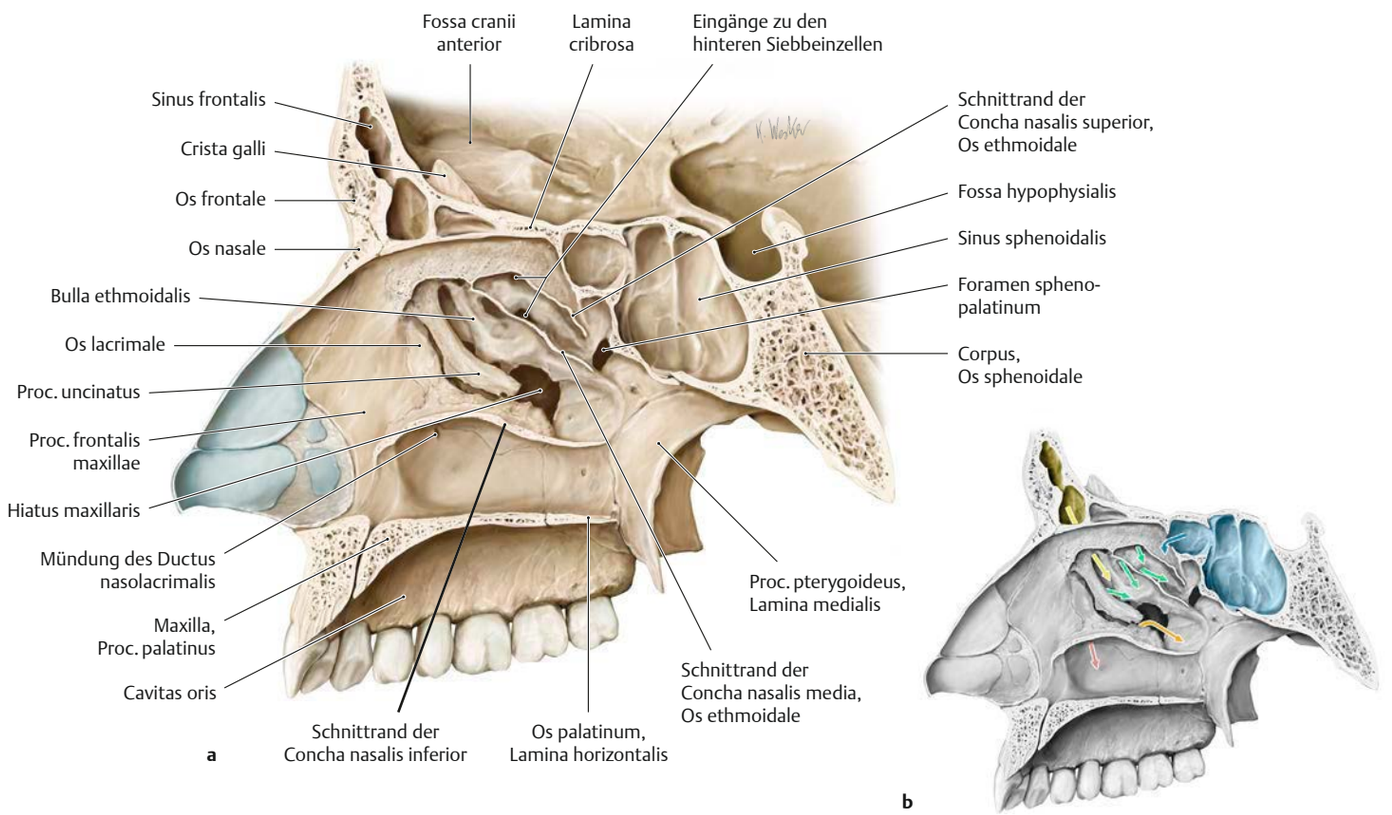
2.16 Nase: Nasennebenhöhlen (Sinus paranasales)



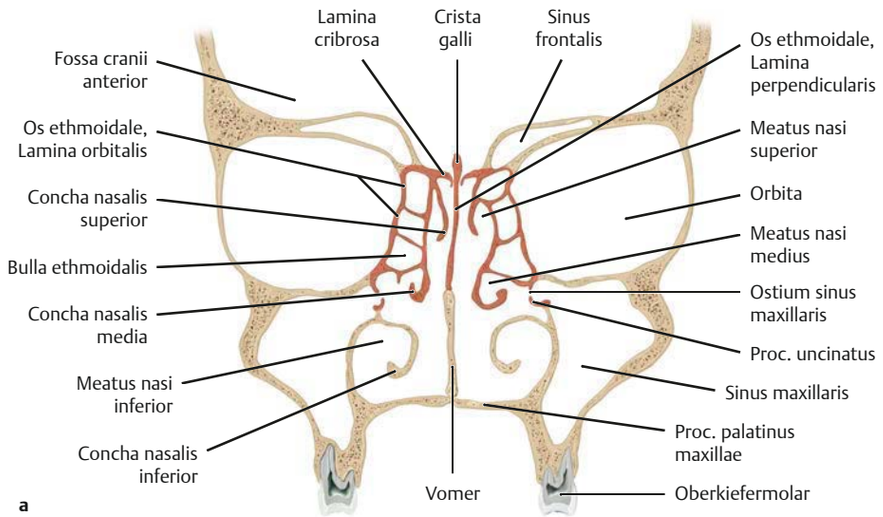
A Projektion der Nasennebenhöhlen auf den Schädel
a Ansicht von frontal; **b** Ansicht von links.
Die Nasennebenhöhlen sind mit Luft gefüllte Hohlräume (Leichtbauweise des Schädels!). Da hier Entzündungen entstehen können, die evtl. Schmerzen über der betroffenen Höhle verursachen (z. B. Stirnkopfschmerz bei Entzündung des Sinus frontalis), ist die Kenntnis der Lage der Höhlen richtungsweisend für die Diagnostik.
Beachte: Die Bezeichnung „Cellulae ethmoidales (Siebbeinzellen)" hat den früher verwendeten Begriff „Siebbeinhöhle (= Nasennebenhöhle)" abgelöst.

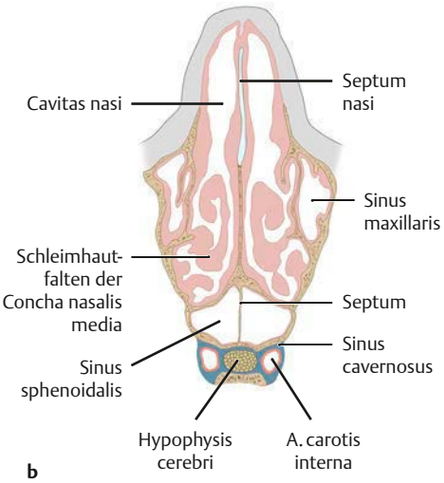


B Pneumatisation der Kiefer- und Stirnhöhle
Ansicht von frontal. Stirn- und Kieferhöhle bilden sich erst im Laufe des Lebens während des Schädelwachstums aus (Pneumatisation); die Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales) sind dagegen schon von Geburt an pneumatisiert. Nebenhöhlenentzündungen (Sinusitis ethmoidalis) finden sich bei Kindern deshalb vorwiegend in den Siebbeinzellen (Gefahr des Orbitadurchbruchs: zugeschwollenes rotes Auge, s. **D**).



C Laterale Wand der rechten Nasenhöhle
a u. **b** Ansicht von links; Nasenmuscheln entfernt, um die Mündungen von Tränen-Nasen-Gang und Nasennebenhöhlen in die Nasenhauptöhle sichtbar zu machen (s. farbige Pfeile in **b**: rot: Ductus nasolacrimalis; gelb: Sinus frontalis; orange: Sinus maxillaris; grün: Cellulae ethmoidales anteriores bzw. posteriores; blau: Sinus sphenoidalis; zu den Drainagewegen vgl. auch **E**). Neben den Öffnungen der Nebenhöhlen in die Nasenhaupthöhle wird hier auch die enge topografische Beziehung der Nasenhöhle zu vorderer Schädelgrube (Fossa cranii anterior) und Mundhöhle (Cavitas oris) sichtbar.

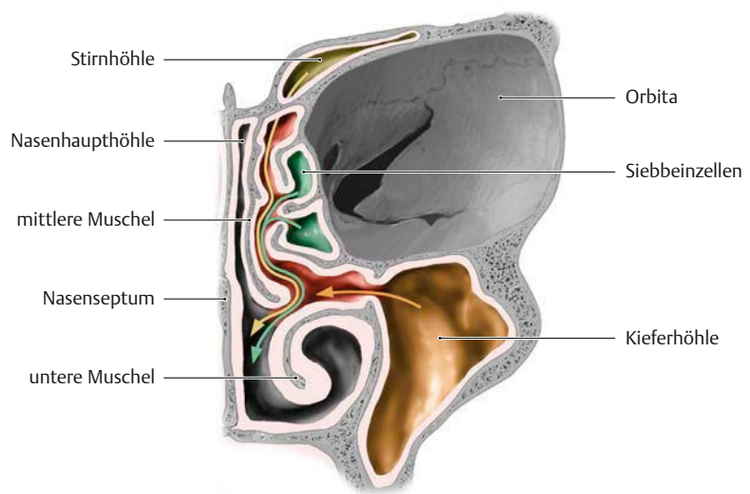




D Knöcherne Struktur der Nasenhöhlen
a Ansicht von frontal; **b** Transversalschnitt, Schleimhaut belassen, Ansicht von kranial.
Die zentrale Struktur der *Nebenhöhlen* ist das Siebbein (Os ethmoidale, rot), dessen Lamina cribrosa einen Teil der vorderen Schädelbasis bildet. Um das Siebbein herum liegen Stirn- und Kieferhöhle (Sinus frontalis und maxillaris). In der *Haupthöhle* sind unterer, mittlerer und oberer Nasengang zu sehen (Meatus nasi inferior, medius und superior), die von den analog benannten Muscheln (Conchae nasales inferior etc.) begrenzt werden. Die *mittlere* Muschel ist Orientierungspunkt bei Eingriffen im vorderen Siebbein und an der Kiefernhöhle, deren knöcherne Öffnung (Ostium sinus maxillaris) *lateral* dieser Muschel in den mittleren Nasengang mündet. *Unter* dieser Muschel liegt kranial die größte Kammer des Siebbeins, die Bulla ethmoidalis. Am vorderen Rand ihrer knöchernen Begrenzung ist ein knöcherner Haken zu sehen, der den Eingang zur Kieferhöhle nach vorne begrenzt (Proc. uncinatus). Die laterale Wand des Siebbeins zur Orbita ist papierdünn (Lamina orbitalis = Lamina papyracea): Gefahr des Durchbruchs von Entzündungen und Tumoren in beide Richtungen.
Beachte: Der tiefste Punkt des Sinus maxillaris liegt im Wurzelbereich des Oberkiefermolaren (bei 30 % der Menschen weniger als 1 mm Abstand zwischen Sinus maxillaris und bukkaler Wurzel). Periapikale Entzündungen in diesem Bereich können daher bis zum Sinusboden durchbrechen. Eine Kieferhöhleneröffnung ist bei Extraktion eines oberen Molaren am wahrscheinlichsten.
Im Transversalschnitt (**b**) wird erkennbar, dass die Hypophyse, die hinter der Keilbeinhöhle (Sinus sphenoidalis) in der Fossa hypophysalis (s. **C**) liegt, über die Nasenhöhle zugänglich und daher transnasal gut zu operieren ist. Am hier belassenen Schleimhautrelief ist sichtbar, wie eng die Nasenhöhle insgesamt ist und wie schnell sie aufgrund dessen zuschwellen kann (s. **E**).

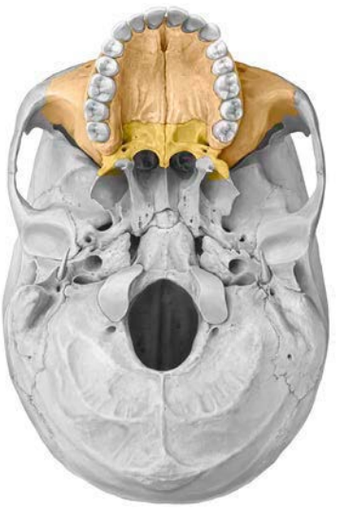
E Mündungen von Tränen-Nasen-Gang und Nasennebenhöhlen

Nasengang (Meatus nasi)	Strukturen, die sich in den Gang öffnen
unterer	• Tränen-Nasen-Gang (Ductus nasolacrimalis)
mittlerer	• Stirnhöhle (Sinus frontalis) • Kieferhöhle (Sinus maxillaris) • vordere Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales anteriores)
oberer	• hintere Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales posteriores)
Recessus sphenoethmoidalis	• Keilbeinhöhle (Sinus sphenoidalis)

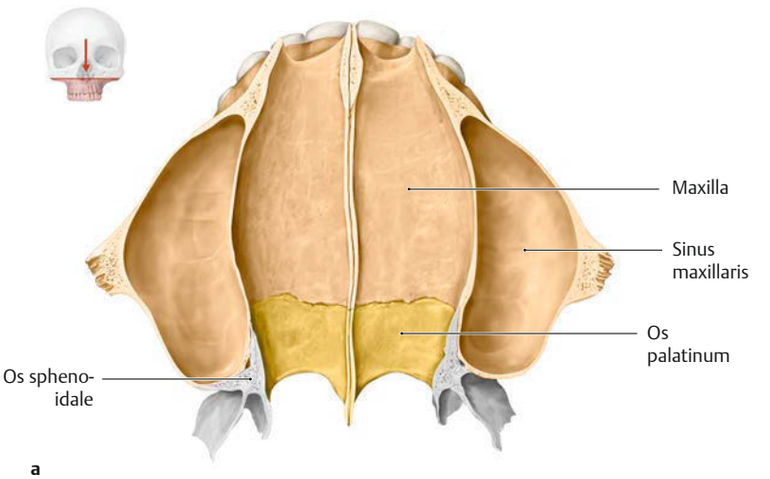


F Ostiomeatale Einheit der linken Nase
Frontalschnitt. Wenn die Schleimhaut (respiratorisches Flimmerepithel) in den Siebbeinzellen (grün) aufgrund einer Entzündung (Sinusitis) anschwillt, blockiert sie den Sekretfluss (s. Pfeile) aus Stirn- (gelb) und Kieferhöhle (ocker) in der ostiomeatalen Einheit (rot). Durch die Blockade des Sekretflusses verbleiben auch in den anderen Sinus Keime und führen dort ebenfalls zu einer Sinusitis. Obwohl der Sitz der Erkrankung also anatomisch in den Siebbeinzellen liegt, machen sich die Entzündungssymptome in der Stirn- und Kieferhöhle bemerkbar. Bei einer *chronischen Sinusitis* versucht man, durch Ausräumung dieser anatomischen Enge den Sekretfluss wieder zu ermöglichen und so die Erkrankung auszuheilen, was in vielen Fällen erfolgreich ist.

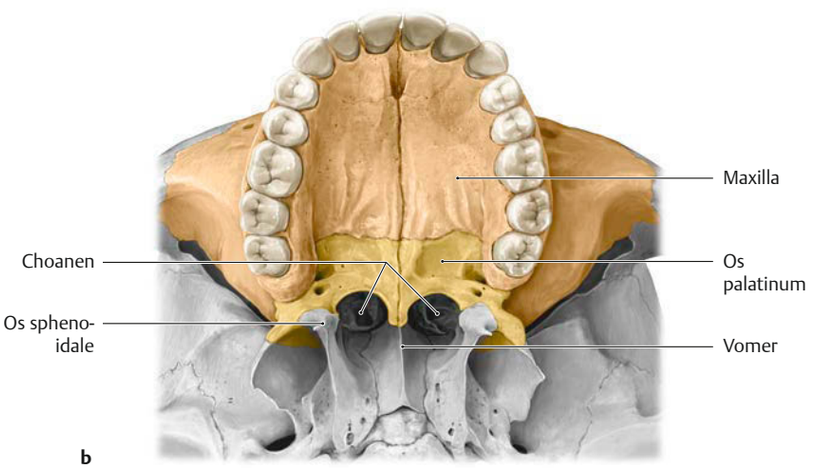
2.17 Harter Gaumen (Palatum durum)



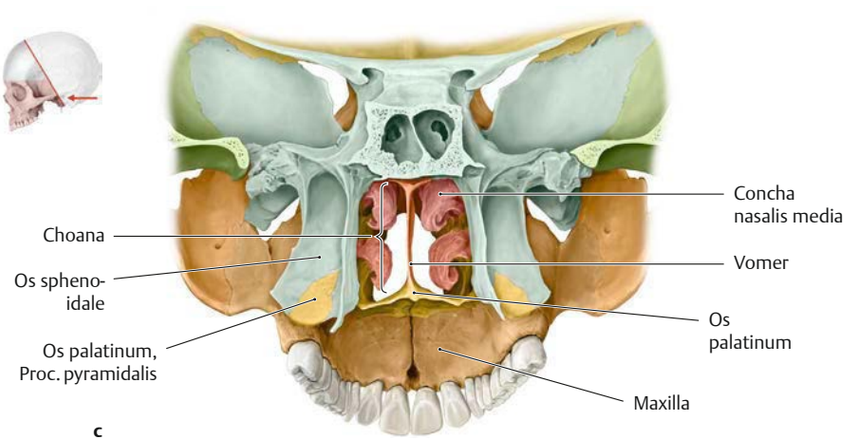
A Einbau des harten Gaumens (Palatum durum) in die Schädelbasis
Ansicht von kaudal.



a



b



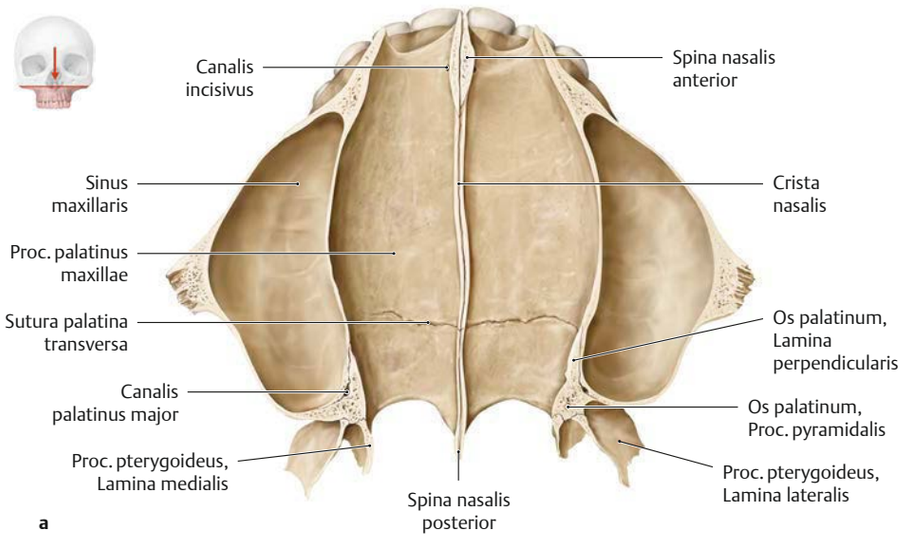
c

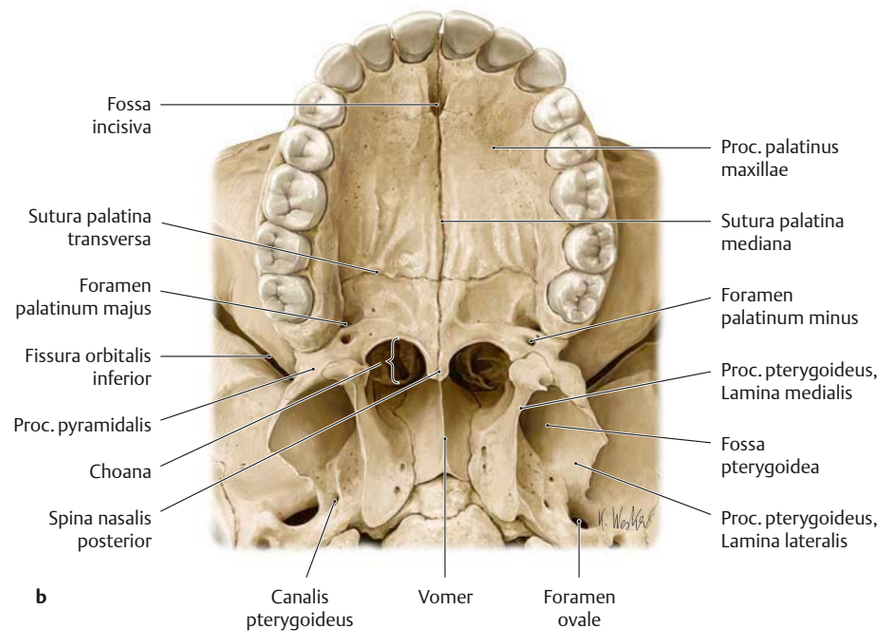
B Knochen des harten Gaumens

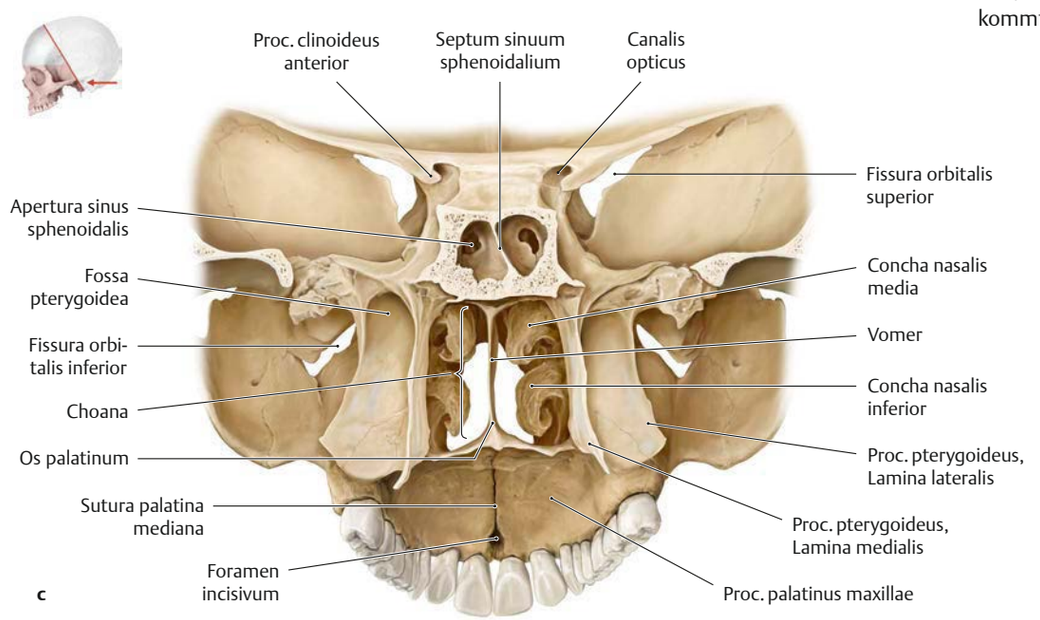
a Ansicht von kranial. Der harte Gaumen ist eine horizontale Knochenplatte, die von Teilen der Maxilla und Teilen des Os palatinum (Gaumenbein) gebildet wird. Er trennt Mund- und Nasenhöhle voneinander. In dieser Ansicht blickt man auf den Boden der Nasenhöhle, an dessen Unterseite sich die Mundhöhle befindet. Der kraniale Teil der Maxilla wurde entfernt. Dorsal an das Os palatinum schließt sich das Os sphenoidale an.

b Ansicht von kaudal. Am Hinterrand des harten Gaumens beginnen die Choanen, die hinteren Öffnungen der Nasenhöhle.

c Harter Gaumen und Nasenhöhle, Ansicht von schräg-dorsal. In dieser Ansicht erkennt man die enge Beziehung zwischen Mund- und Nasenhöhle.
Beachte den Einbau des Proc. pyramidalis des Gaumenbeins in die Lamina lateralis des Flügelfortsatzes des Keilbeins.







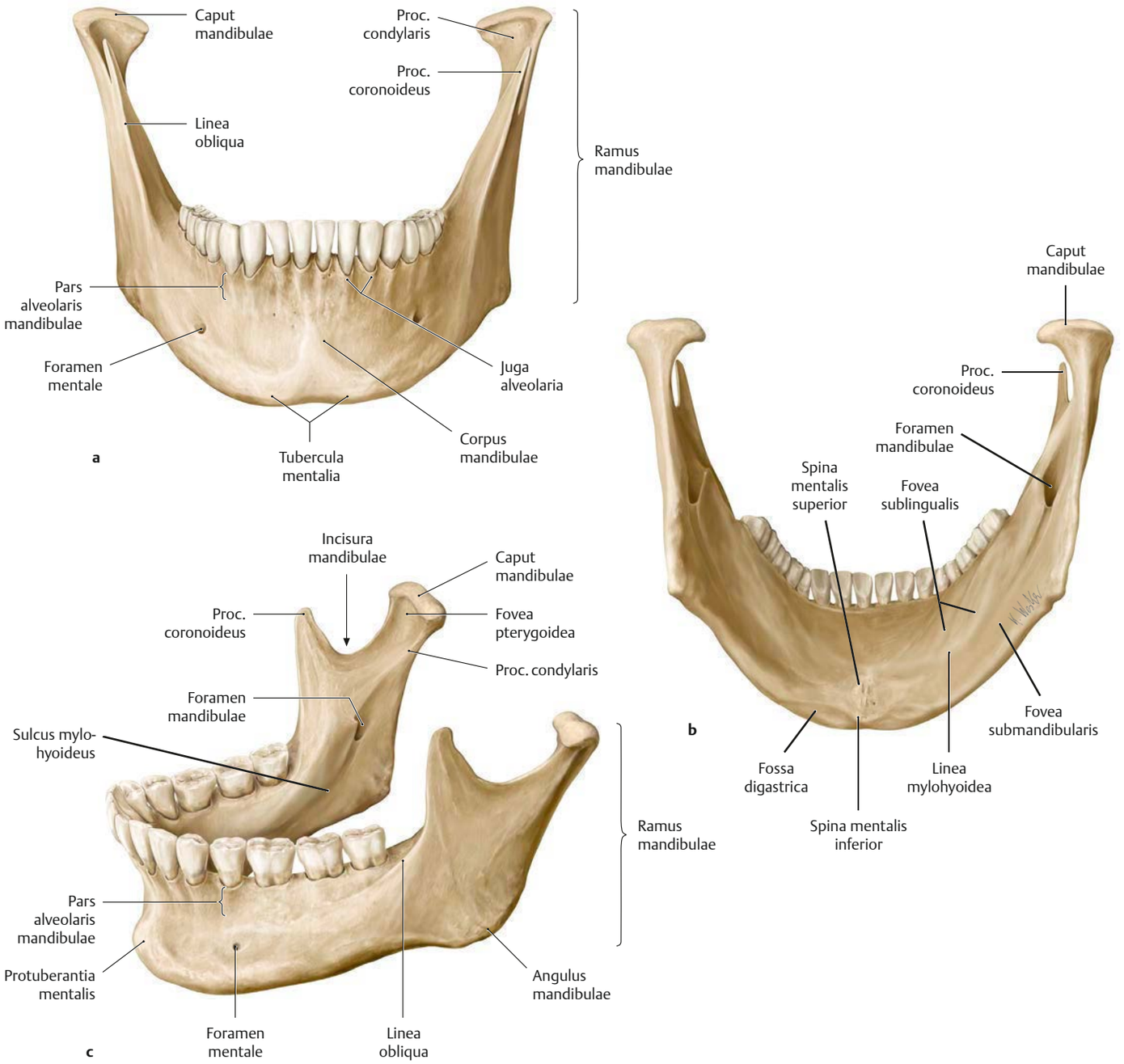
C Harter Gaumen

a Ansicht von kranial, kranialer Anteil der Maxilla entfernt, Blick auf den Boden der Nasenhöhle (= kranialer Abschnitt des harten Gaumens). Der harte Gaumen trennt die Mundhöhle von den Nasenhöhlen. Der kleine Verbindungskanal zwischen Mund- und Nasenhöhle, der hier beiderseits vorhandene Canalis incisivus, verschmilzt innerhalb des Knochens zu einem Kanal, so dass an der Unterseite nur ein Foramen incisivum vorhanden ist (s. **b**).

b Ansicht von kaudal.
Beachte die Verbindung zwischen Nasenhöhle (deren Boden durch den harten Gaumen gebildet wird) und Nasopharynx, die Choanen.
Die beiden horizontalen Fortsätze der Maxilla, die Procc. palatini maxillae, wachsen während der Entwicklung aufeinander zu und verschmelzen an der Sutura palatina mediana miteinander. Unterbleibt diese Fusion, entsteht eine Gaumenspalte. Grenzlinie zwischen vorderen (Lippen-[Kiefer-]spalte) und hinteren (Gaumenspalte) Spaltfehlbildungen ist das Foramen incisivum. Solche Spaltbildungen können auch als Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten kombiniert auftreten.

c Ansicht von schräg-dorsal, hinterer Teil des Keilbeins in Höhe des Keilbeinkörpers entfernt; Blick auf die beiden durch ein Septum getrennten Keilbeinhöhlen. Die enge topografische Beziehung zwischen der Nasenhöhle und dem harten Gaumen wird deutlich. Wenn der harte Gaumen infolge einer Spaltfehlbildung (vgl. **b**) unverschlossen bleibt, tritt folglich beim Saugen ein Teil der Milch in die Nase über und wird nicht geschluckt. Dieser Defekt muss sofort nach der Geburt mit einer Platte versorgt werden, damit es nicht zu Gedeihstörungen kommt.

2.18 Unterkiefer (Mandibula) und Zungenbein (Os hyoideum)

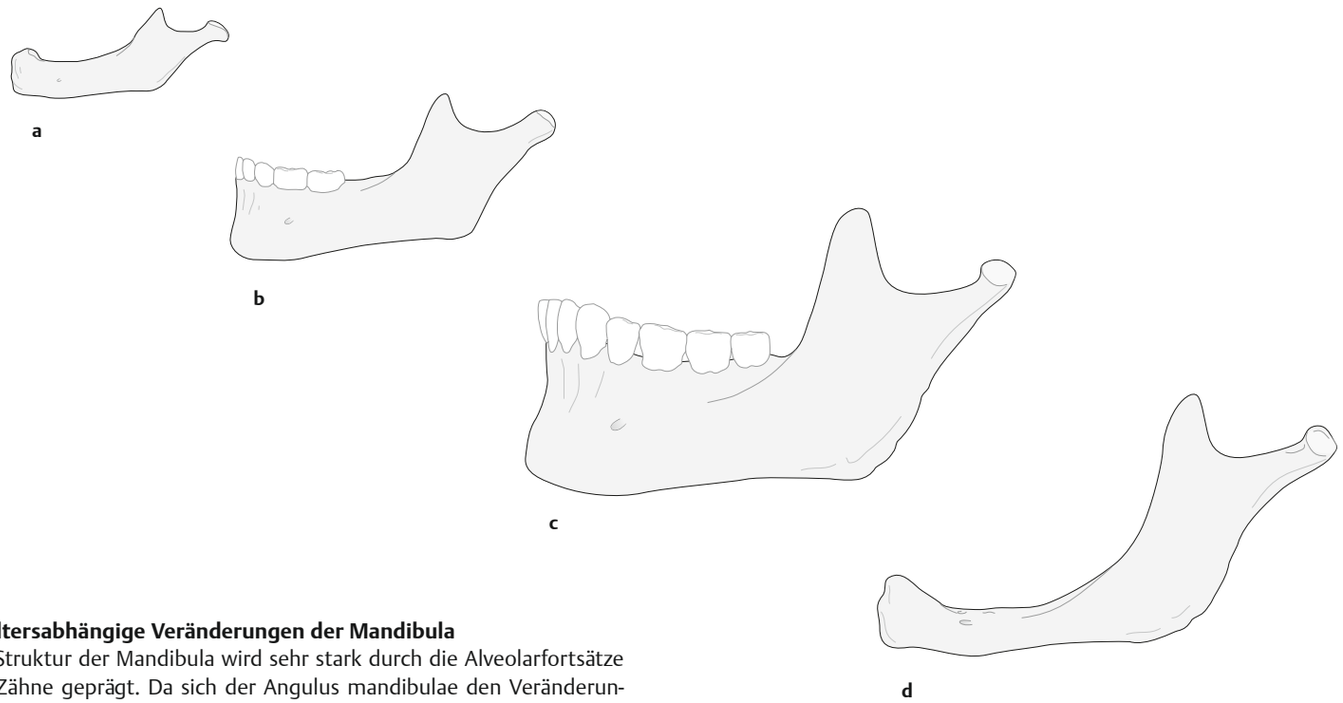


A Unterkiefer (Mandibula)

a Ansicht von frontal. Der Unterkiefer (Mandibula) wird mit dem Viscerocranium durch das Kiefergelenk (Art. temporomandibularis) verbunden, als dessen Gelenkkopf das Caput mandibulae zu erkennen ist. Es sitzt am Ende des aufsteigenden Asts (Ramus mandibulae), der im Unterkieferwinkel (Angulus mandibulae) in den Körper (Corpus mandibulae) übergeht. Die Zähne sitzen in den Alveolarfortsätzen (Partes alveolares). Dieser Teil der Mandibula unterliegt aufgrund der Zahnentwicklung im Laufe des Lebens besonders starken Veränderungen (s. **B**). Durch das Foramen mentale zieht der gleichnamige Ast des N. trigeminus in seinen knöchernen Kanal. Die Lokalisation dieses Loches ist für die klinische Untersuchung wichtig, da an dieser Stelle die Drucksensibilität des Nervs geprüft wird (z. B. bei Trigeminusneuralgie, S. 123).

b Ansicht von dorsal. In dieser Ansicht ist das Foramen mandibulae besonders gut zu erkennen. Durch dieses Loch zieht der N. alveolaris inferior, der die Zähne des Unterkiefers sensibel innerviert. Sein Endast tritt aus dem Foramen mentale aus. Beide Foramina sind durch den im Unterkiefer verlaufenden Canalis mandibulae miteinander verbunden.

c Ansicht von schräg-links. Proc. coronoideus, Proc. condylaris und die dazwischenliegende Incisura mandibulae sind gut zu erkennen. Ersterer dient einem Muskelansatz, letzterer trägt das Caput mandibulae mit der Facies articularis, dem Gelenkköpfchen des Kiefergelenks. Die Fovea pterygoidea dient Teilen des M. pterygoideus lateralis als Muskelansatzfläche.



B Altersabhängige Veränderungen der Mandibula

Die Struktur der Mandibula wird sehr stark durch die Alveolarfortsätze der Zähne geprägt. Da sich der Angulus mandibulae den Veränderungen der Pars alveolaris anpasst, variiert auch sein Winkel je nach dem für das Alter spezifischen Zustand der Bezahnung. Bei Neugeborenen beträgt der Winkel etwa 150°, beim Erwachsenen etwa 120–130° und beim Greis ohne Zähne beträgt er wieder 140°.

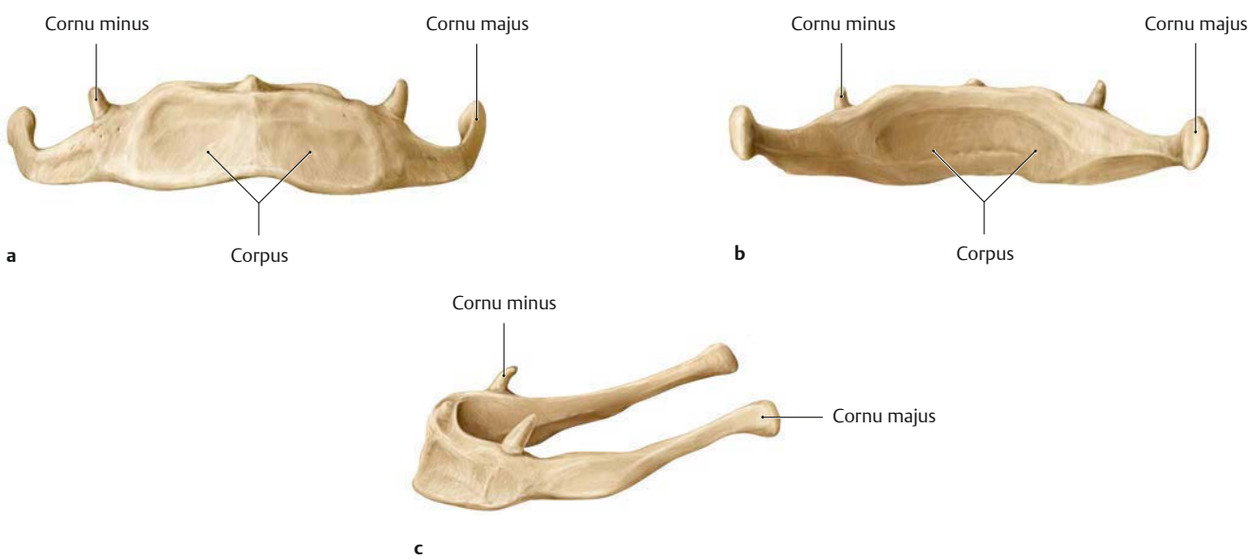
a **Neugeborenenalter,** Mandibula ohne Zähne, Pars alveolaris noch nicht angelegt.

b **Kindesalter,** Mandibula mit Milchzähnen, Pars alveolaris noch relativ schwach ausgeprägt, da die Milchzähne im Vergleich zum Erwachsenengebiss deutlich kleiner sind.

c **Erwachsenenalter,** Mandibula mit Dauergebiss, Pars alveolaris voll ausgeprägt.

d **Greisenalter,** Mandibula ohne Zähne. Wenn keine Zähne mehr vorhanden sind, bildet sich die Pars alveolaris zurück.

Beachte: Durch die Rückbildung der Pars alveolaris verschiebt sich die Lage des Foramen mentale (normalerweise unterhalb des 2. Prämolaren, s. **c**). Dies ist bei der Präparation des N. mentalis zu berücksichtigen.



C Os hyoideum (Zungenbein)

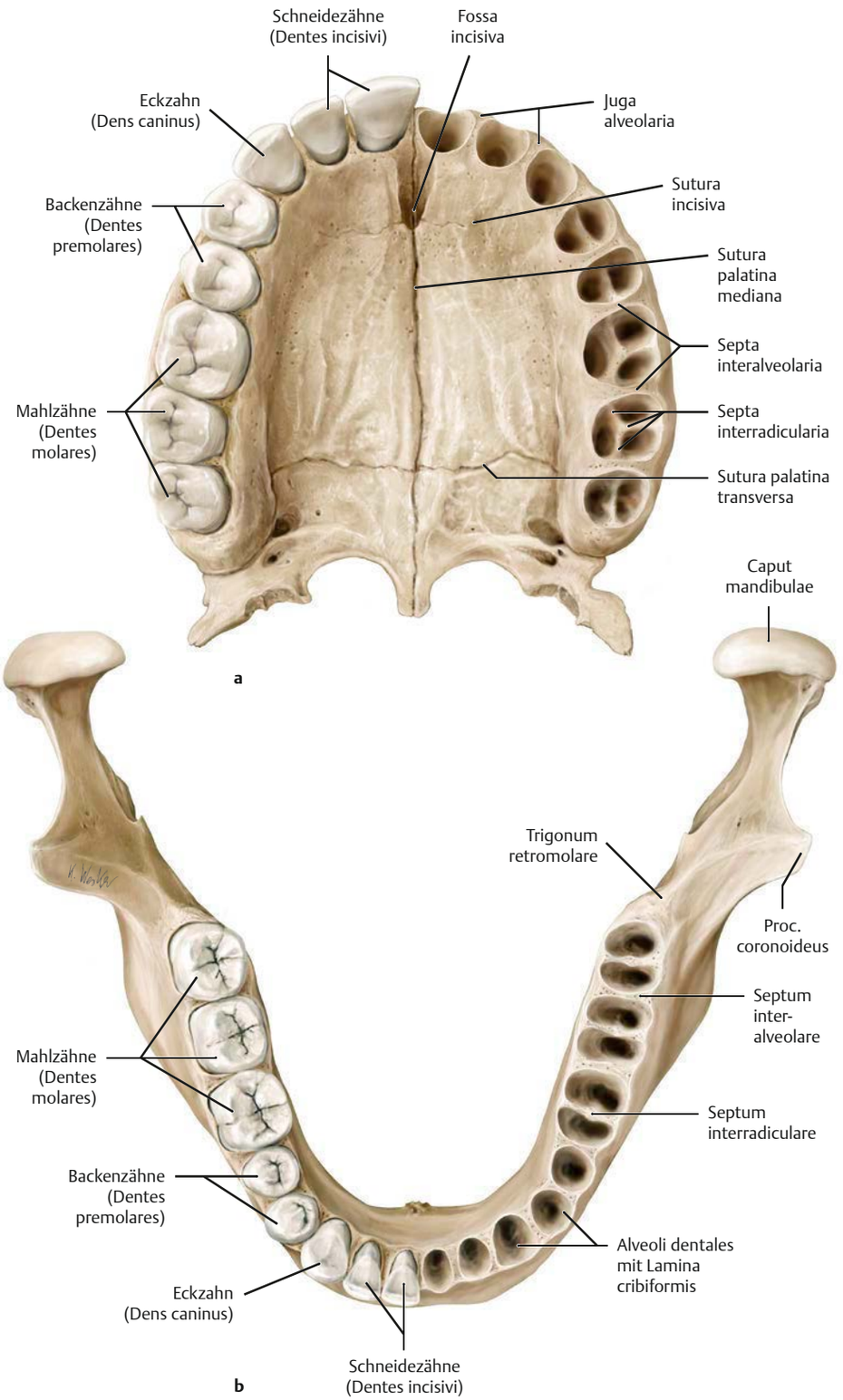
a Ansicht von ventral; **b** Ansicht von dorsal; **c** Ansicht von schräglinks. Das Zungenbein (Os hyoideum) ist ein Knochen, der im Hals in eine Muskelkette zwischen Mundboden und Kehlkopf eingebettet ist (s. S. 189). Er wird aber in den Terminologia anatomica unter den Schädelknochen aufgelistet. Das große Horn (Cornu majus) und der Zungenbeinkörper (Corpus ossis hyoidei) sind am Hals zu tasten. Die Verschiebung des Zungenbeins ist während des Schluckaktes tastbar.

2.19 Zähne (Dentes) in situ

A Charakterisierung der Zähne
Die heutigen Zähne des Menschen sind das Ergebnis einer langen stammesgeschichtlichen Entwicklung der Wirbeltiere. Sie beginnt bei den Fischen und setzt sich über Amphibien und Reptilien bis zu den Säugetieren, zu denen auch der Mensch zählt, fort. Das typische Gebiss der Säugetiere ist:

- **heterodont** = vier verschiedene Zahnformen (Schneide-, Eck-, Backen- und Mahlzähne),
- **diphodont** = zwei aufeinander folgende Zahngenerationen (Dentes decidui und permanentes) und
- **thekodont** = federnd-elastische Verankerung über einen Zahnhalteapparat in den Alveolen der Kieferknochen.

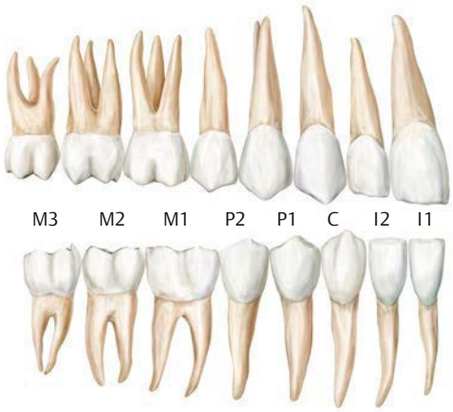
Beachte: Beim Menschen betrifft die Diphodontie nur die Milchzähne (1. Zahngeneration) und ihre Ersatzzähne (2. Zahngeneration). Die sog. Zuwachszähne (1., 2. und 3. Mahlzahn), die hinter den Milchzähnen durchbrechen sind ihrem Charakter nach *monophydont,* da sie keine Vorläufer haben.



B Bleibende Zähne (Dentes permanentes) eines Erwachsenen
a Oberkiefer in der Ansicht von kaudal, so dass man auf die Kauflächen der Zähne blickt; **b Unterkiefer** in der Ansicht von kranial; *rechte Bildhälfte* jeweils Aufsicht auf die Alveolarfortsätze von Ober- und Unterkiefer nach Entfernung der Zähne.
Im menschlichen Gebiss enthält jeder Kiefer 16 Zähne, die bilateral-symmetrisch ausgebildet und an die unterschiedlichen Kaufunktionen in den jeweiligen Kieferabschnitten angepasst sind. In jeder Hälfte eines Ober- und Unterkiefers findet man folgende Front- und Seitenzähne:

- **Frontzähne:** zwei Schneidezähne (Dentes incisivi) und einen Eckzahn (Dens caninus),
- **Seitenzähne:** zwei Backenzähne (Dentes premolares) und drei Mahlzähne (Dentes molares).

Beachte: Während die Frontzähne die Nahrung ergreifen und einzelne Bissen abtrennen, verrichten die Seitenzähne die eigentliche Kautätigkeit, d. h. sie zerkleinern und zermahlen die Nahrungsteile.
Nach Entfernen der Zähne (s. jeweils rechte Bildhälfte) werden die Zahnfächer (Alveolen) sichtbar, in denen die Zähne mit ihren Wurzeln sitzen. Vor allem im Bereich der Frontzähne wölben die Zahnwurzeln in den Alveolen den Kieferknochen teilweise stark nach vestibulär hervor, so dass sie als sog. *Juga alveolaria* tastbar werden. An diesen Stellen ist die angrenzende Kompakta extrem dünn (etwa 0,1 mm).
Die Alveolen zweier benachbarter Zähne sind durch *Septa interalveolaria,* die Zahnfächer mehrwurzeliger Zähne durch *Septa interradicularia* voneinander getrennt (zum Aufbau des Alveolarknochens s. S. 57).

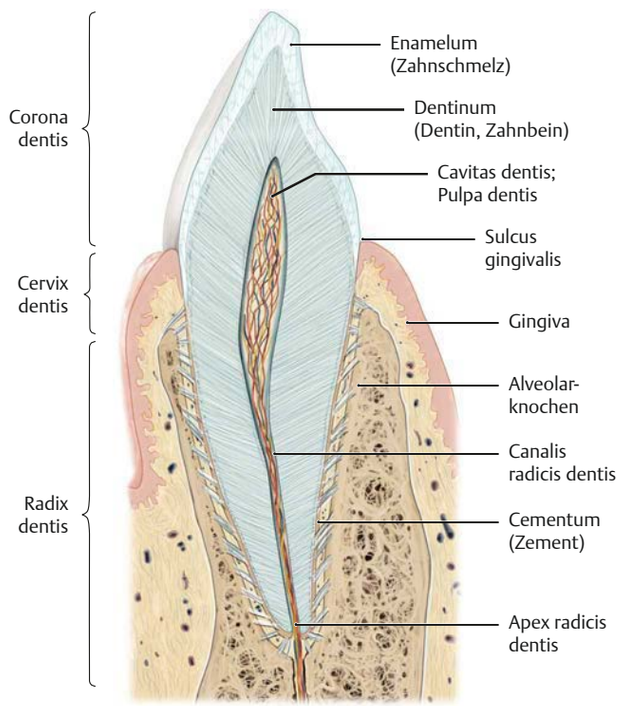


C Zahnformen im bleibenden Gebiss

Das Gebiss eines Erwachsenen enthält sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer jeweils 8 unterschiedlich geformte Zähne. Sie sind von der Kiefermitte ausgehend nach lateral-hinten lückenlos hintereinander angeordnet:

- mittlerer Schneidezahn = Dens incisivus medialis (I1)
- seitlicher Schneidezahn = Dens incisivus lateralis (I2)
- Eckzahn = Dens caninus (C)
- 1. Prämolar = Dens premolaris primus (P1)
- 2. Prämolar =Dens premolaris secundus (P2)
- 1. Molar = Dens molaris primus (M1)
- 2. Molar = Dens molaris secundus (M2)
- 3. Molar = Dens molaris tertius, *Dens serotinus, Dens sapientiae* (M3)

Beachte: Die Molaren sind die größten Zähne des Menschen. Sie haben ausgeprägte Höcker (Tubercula) und Grübchen/Spalten (Fossae). Der 1. Molar hat häufig einen zusätzlichen Höcker, das Tuberculum carabelli (vgl. **E**). Zum Aufbau der Kauflächen vgl. auch S. 51.



D Histologie eines Zahns

Als Beispiel ist ein Schneidezahn im Unterkiefer dargestellt. In dieser Abbildung sind sowohl die Hartsubstanzen (Schmelz, Dentin, Zement) als auch die Weichteile (Zahnpulpa) dargestellt.

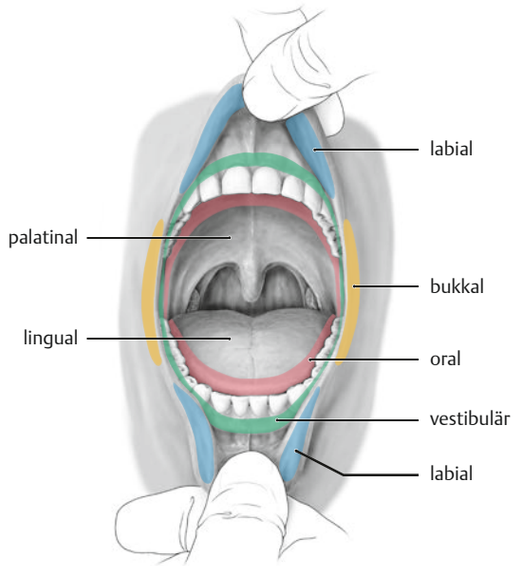
E Anzahl der Höcker, Wurzeln und Wurzelkanäle der bleibenden Zähne des Ober- und Unterkiefers

Die Angaben über die Häufigkeiten sind zusammengefasst nach Lehmann et al. (2009) und Strup et al. (2003). Die Teilungsstelle der Wurzeln wird bei zwei Wurzeln als **Bifurkation,** bei drei Wurzeln als **Trifurkation** bezeichnet.

Oberkieferzahn	Zahl der Höcker	Zahl der Wurzeln	Zahl der Wurzelkanäle
I1 (11/21)*	Schneidekante	1	1
I2 (12/22)	Schneidekante	1	1
C (13/23)	1 (Kauspitze)	1	1
P1 (14/24)	2	2 (ca. 60 %) 1 (ca. 40 %) 3 (selten)	2 (ca. 80 %) 1 (ca. 20 %) 3 (selten)
P2 (15/25)	2	1 (ca. 90 %) 2 (ca. 10 %)	1 (ca. 60 %) 2 (ca. 40 %)
M1 (16/26)	4 (ohne Tuberculum carabelli = akzessorischer Zusatzhöcker am mesiopalatinen Höcker)	3	3 (ca. 45 %) 4 (ca. 55 %)
M2 (17/27)	4	3	3 (ca. 55 %) 4 (ca. 45 %)
M3 (18/28)	meist 3 (außerordentlich formunbeständig)	Wurzeln häufig verschmolzen (sog. Pfahlwurzeln)	unregelmäßig
Unterkieferzahn	**Zahl der Höcker**	**Zahl der Wurzeln**	**Zahl der Wurzelkanäle**
I1 (31/41)	Schneidekante	1	1 (ca. 70 %) 2 (ca. 30 %) 3 (selten)
I2 (32/42)	Schneidekante	1	1 (ca. 70 %) 2 (ca. 30 %)
C (33/43)	Kauspitze		1 (ca. 80 %) 2 (ca. 20 %)
P1 (34/44)	2 (75 %) 3 (25 %)	1	1 (ca. 75 %) 2 (ca. 25 %) 3 (selten)
P2 (35/45)	3 (lingualer Höcker meist zweigeteilt)	1	1 (ca. 95 %) 2 (ca. 5 %) 3 (selten)
M1 (36/46)	5	2	3 (ca. 75 %) 2 (ca. 25 %) 4 (selten)
M2 (37/47)	4	2	3 (ca. 70 %) 2 (ca. 30 %) 4 (selten)
M3 (38/48)	meist 4 (sehr variabel)	meist 2 (sehr variabel)	unregelmäßig

* zur Kennzeichnung der Zähne mit zweistelligen Ziffern s. **D**, S. 50

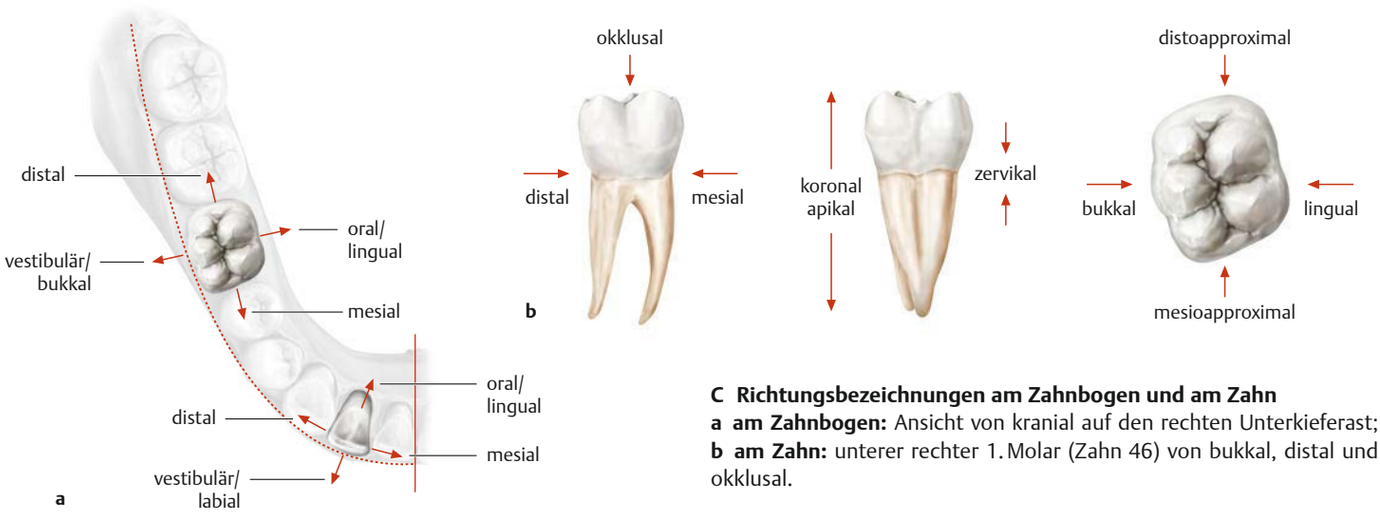
2.20 Terminologie, Zahnschema und Zahnmerkmale



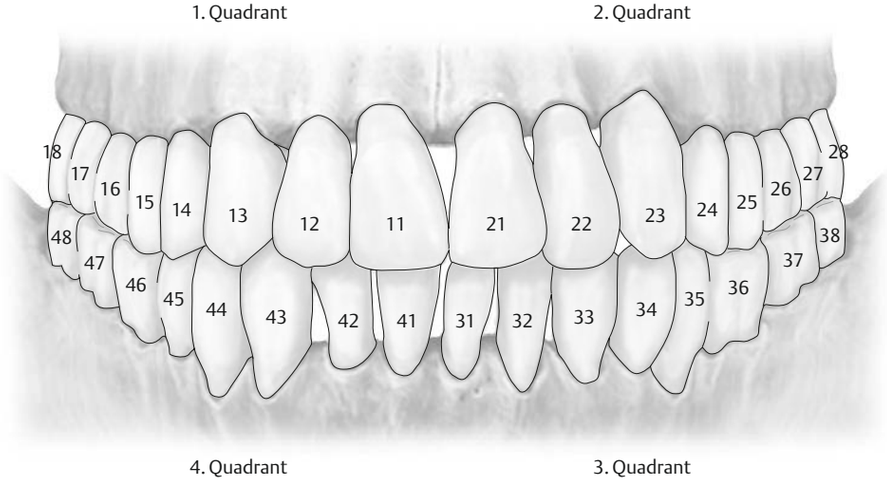
A Richtungsbezeichnungen in der Mundhöhle

B Anatomische Bezeichnungen am Zahn

Bezeichnung	Bedeutung
mesial	im Zahnbogen der Kiefermitte (Mittellinie) zugewandt
distal	zum Ende des Zahnbogens hingewandt
oral	zur Mundhöhle gerichtet
fazial	zur Gesichtsseite gerichtet
lingual	zur Zunge gerichtet (nur bei Unterkieferzähnen)
labial	zur Lippe gerichtet
bukkal	zur Wange gerichtet
palatinal	zum Gaumen gerichtet (nur bei Oberkieferzähnen)
vestibulär	zum Mundvorhof gerichtet
approximal	zwischen zwei Zahnkronen gelegen
inzisal	zur Schneidekante hin
okklusal	auf der Kaufläche gelegen
zervikal	zum Zahnhals hin gerichtet
koronal	kronenwärts gerichtet
apikal	in Richtung der Zahnwurzel
pulpal	in Richtung Zahnpulpa

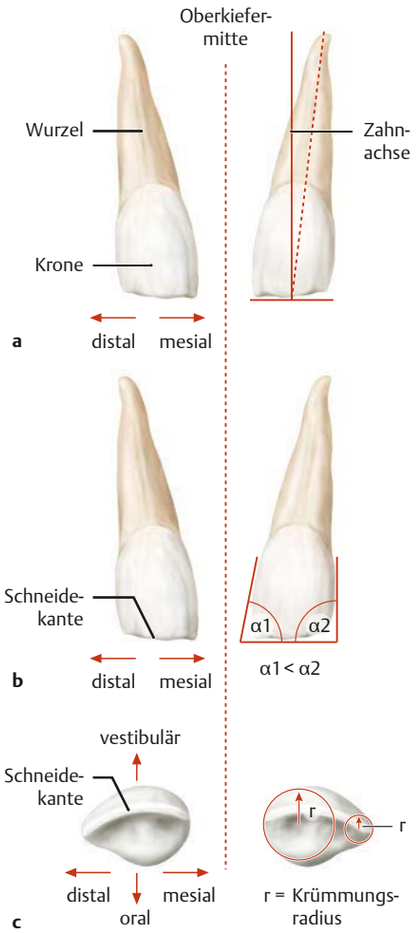


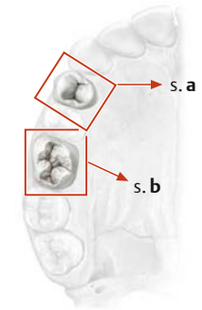
C Richtungsbezeichnungen am Zahnbogen und am Zahn
a am Zahnbogen: Ansicht von kranial auf den rechten Unterkieferast; **b am Zahn:** unterer rechter 1. Molar (Zahn 46) von bukkal, distal und okklusal.

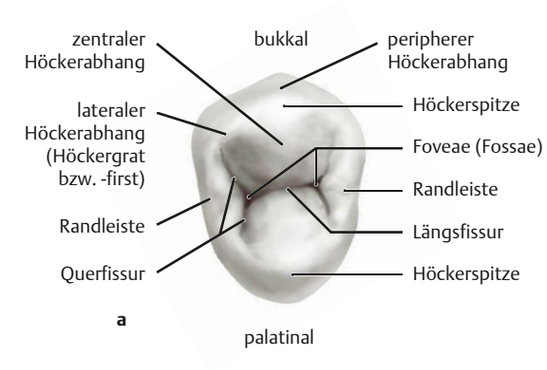


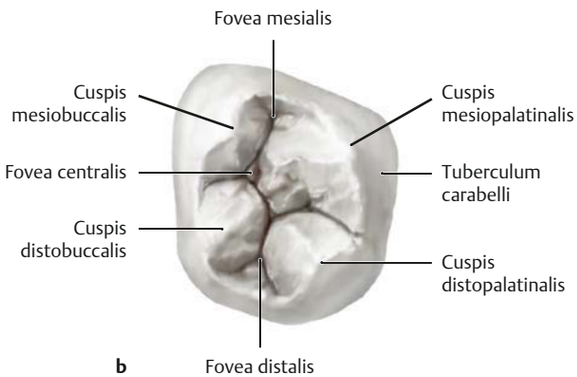
D Zahnschema (Zahnformel) des Dauergebisses

Die Kennzeichnung jedes einzelnen Zahnes durch eine zweistellige Ziffer erlaubt eine einfache Erfassung der Zähne in Datenbanken. Die zweistelligen Ziffern, wie z. B. 11 oder 21 werden dabei nicht als Zahl insgesamt ausgesprochen, sondern als eins-eins, zwei-eins usw. Früher wurden die Zähne nach einer Quadranteneinteilung benannt, was für das binäre Zeitalter ungeeignet ist. Man teilt die Zähne des Ober- und Unterkiefers in vier Quadranten ein und nummeriert die Quadranten mit dem Uhrzeigersinn (s. die jeweils 1. Ziffer im Schema oben). Die Zähne jedes Quadranten werden dann von vorn nach hinten aufsteigend nummeriert (s. die jeweils 2. Ziffer), so dass „11" bedeutet: der 1. Zahn im 1. Quadranten.

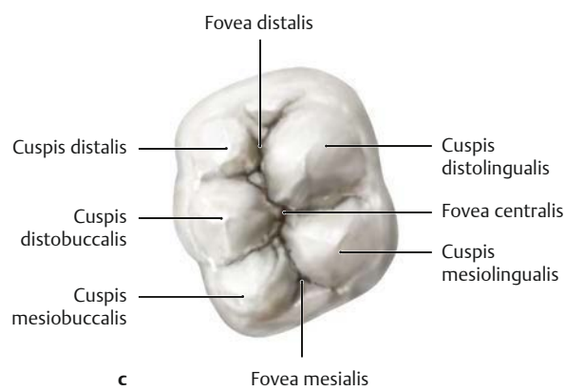












E Gemeinsame Zahnmerkmale

Bereits 1870 beschrieb *Felix Mühlreiter* bestimmte Zahnmerkmale, die allen Zähnen gemeinsam sind und mit deren Hilfe man gleiche Zähne sicher der rechten bzw. linken Kieferhälfte zuordnen kann:

- **a Wurzelmerkmal:** wird bei der Betrachtung des Zahnes von vestibulär beurteilt. Es bezieht sich auf die Verlaufsrichtung der Zahnwurzel. Diese ist nach distal gekrümmt, weicht also geringfügig nach distal von der Zahnachse ab.
- **b Winkelmerkmal:** wird ebenfalls von vestibulär beurteilt und ist besonders deutlich bei Schneidezähnen ausgebildet. Hierbei ist der Winkel, den die Schneidekante mit den Seitenflächen der Krone bildet, mesial kleiner als distal.
- **c Krümmungs- oder Massenmerkmal:** wird von inzisial bzw. okklusal betrachtet. Hierbei erkennt man, dass der Krümmungsradius der Approximalfläche (= die dem Nachbarzahn zugewandte Kronenfläche) der Zähne mesial größer ist als distal, d. h. die Zähne sind mesial deutlich massiger.

Weitere Unterscheidungsmerkmale sind die **Zahnhalslinie** (Verlauf der Schmelz-Zement-Linie), der **Kronenäquator** (anatomischer Äquator), die **Kronenflucht** (besonders ausgeprägt bei Unterkieferzähnen) sowie der **Wurzelquerschnitt.**

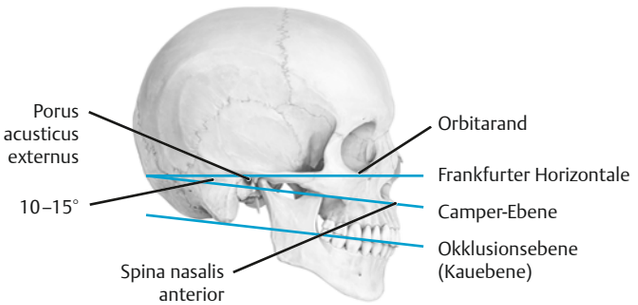
F Aufbau der Kaufläche von Seitenzähnen

- **a** Bestandteile der Kaufläche am Beispiel eines oberen rechten Prämolaren (P1 bzw. Zahn 14), Ansicht von okklusal;
- **b** Nomenklatur der Höcker des 1. oberen Molaren (M1) des rechten Oberkiefers (Zahn 16), Ansicht von kaudal;
- **c** Nomenklatur der Höcker des 1. unteren Molaren (M1) des rechten Unterkiefers (Zahn 46), Ansicht von kranial.

Mit Ausnahme der beiden oberen und unteren Schneidezähne (Dentes incisivi) haben die Kauflächen des menschlichen Dauergebisses bis zu 5 Höcker (Cuspis dentis). Während die *Eckzähne* (Dentes canini) eine geteilte Schneidekante in Form einer Kauspitze aufweisen und somit *einhöckrig* sind, weisen die *Seitenzähne* (Dentes prämolares und molares) ausnahmslos zwei- bzw. *mehrhöckrige* Kauflächen auf (s. S. 53). Im Einzelnen unterscheidet man Höckerspitzen, Höckerabhänge, Vertiefungen (Fossae bzw. Foveolae), Spalten (Fissuren) und Randleisten (Cristae marginales) (**a**). Die Fissuren trennen die einzelnen Zahnhöcker in Form von Längs- und Querfissuren, an den Kreuzungsstellen und Gabelungen liegen Vertiefungen, die als Prädilektionsstellen für Karies gelten. Innerhalb der Höcker einer Kaufläche unterscheidet man tragende und nichttragende Höcker (s. S. 53). Akzessorische Höcker, sog. Tubercula anomalia, sind nicht selten (z. B. Tuberculum carabelli am mesiopalatinalen Höcker des 1. oberen Molaren).

Beachte: Während die anatomische Kaufläche von den beiden Randleisten sowie dem First der Höckergrate begrenzt wird, greift die funktionelle Kaufläche auf die Außenflächen (äußere Höckerabhänge) der tragenden Höcker über.

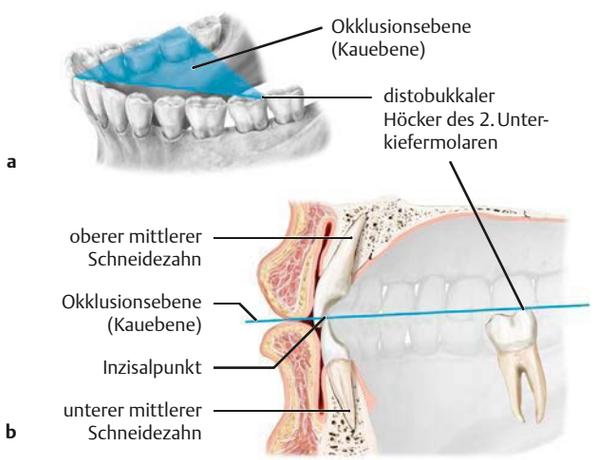
2.21 Stellung der Zähne im Gebiss: Orientierung im Gesichtsschädel und Okklusion der Zähne



A Okklusale Bezugslinien bzw. Ebenen am Gesichtsschädel
Zur Beurteilung der Lage der Zähne in ihren jeweiligen Kiefern und zur Orientierung im Gesichtsschädel eigenen sich folgende Hilfslinien bzw. Ebenen:

- **Frankfurter Horizontale** = Verbindungslinie vom oberen Rand des Porus acusticus externus zum tiefsten Punkt des knöchernen Orbitarandes.
- **Camper-Ebene** = nach Camper (1792) Verbindungslinie vom unteren Rand des Porus acusticus externus zur Spina nasalis anterior. In der heutigen klinischen Definition entspricht sie der Ebene zwischen den beiden dorsalen Weichteilpunkten (linker und rechter Tragus) und dem anterioren Subnasalpunkt.
- **Okklusionsebene (Kauebene)** = verläuft durch den Inzisalpunkt (s. **B**) und den höchsten Punkt der distobukkalen Höckerspitzen (s. **B**) der 2. linken und rechten Unterkiefermolaren.

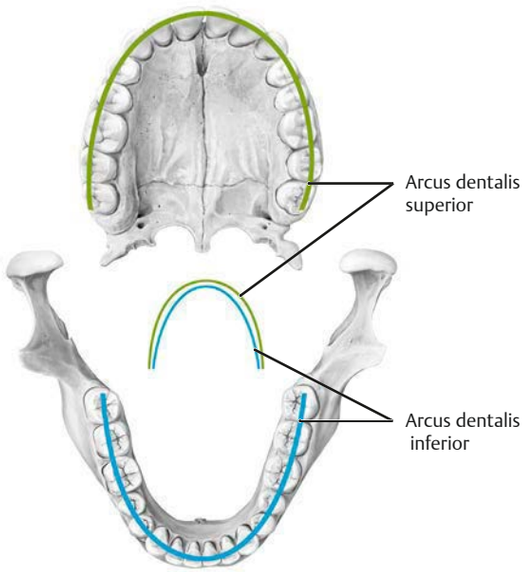
Beachte: Während Camper-Ebene und Frankfurter Horizontale einen Winkel von 10–15° bilden, verlaufen Camper- und Okklusionsebene parallel zueinander.



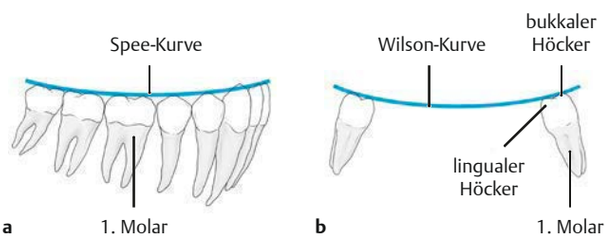
B Okklusionsebene (= Kauebene)
a Kauebene in der Ansicht von links-vorne und oben; **b** Kauebene in der Ansicht von vestibulär.
Die Okklusionsebene wird am bezahnten Unterkiefer durch folgende drei Punkte festgelegt:

- Inzisalpunkt (Berührungspunkt der Schneidekanten der beiden mittleren unteren Inzisivi),
- Spitze des distobukkalen Höckers des 2. Unterkiefermolaren rechts (Zahn 47),
- Spitze des distobukkalen Höckers des 2. Unterkiefermolaren links (Zahn 37).

Damit verläuft die Kauebene in Höhe der Lippenschlusslinie und parallel zur Camper-Ebene (s. **A**).



C Oberer und unterer Zahnbogen
Die Zähne sind im Ober- bzw. Unterkiefer jeweils in Form eines Bogens angeordnet (sog. Zahnbögen: Arcus dentalis superior bzw. inferior). Diese Zahnbögen sind definiert als Verbindungslinien zwischen den Schneidekanten der Inzisivi, den Kronenspitzen der Eckzähne und den bukkalen Höckerspitzen der Prämolaren und Molaren. Hierbei beschreibt der Arcus dentalis superior im Oberkiefer eine halbe Ellipse, der Arcus dentalis inferior im Unterkiefer eine Parabel. Aufgrund der unterschiedlichen Form der Zahnbögen überragen sowohl die Oberkiefer*front-* als auch die Oberkiefer*seiten*zähne die ihnen entsprechenden Zähne im Unterkiefer und bedecken somit sowohl die Schneidekanten als auch die bukkalen Höcker.
Beachte: Die den Zahnbogen bildenden Zähne berühren sich wegen der konvex gewölbten Approximalflächen nur punktförmig (sog. Kontaktpunkte bzw. Approximalkontakte). Die Kontaktpunkte liegen gewöhnlich im oberen Kronendrittel und dienen der interdentalen Abstützung bzw. Stabilisation zweier benachbarter Zähne (s. **B**).



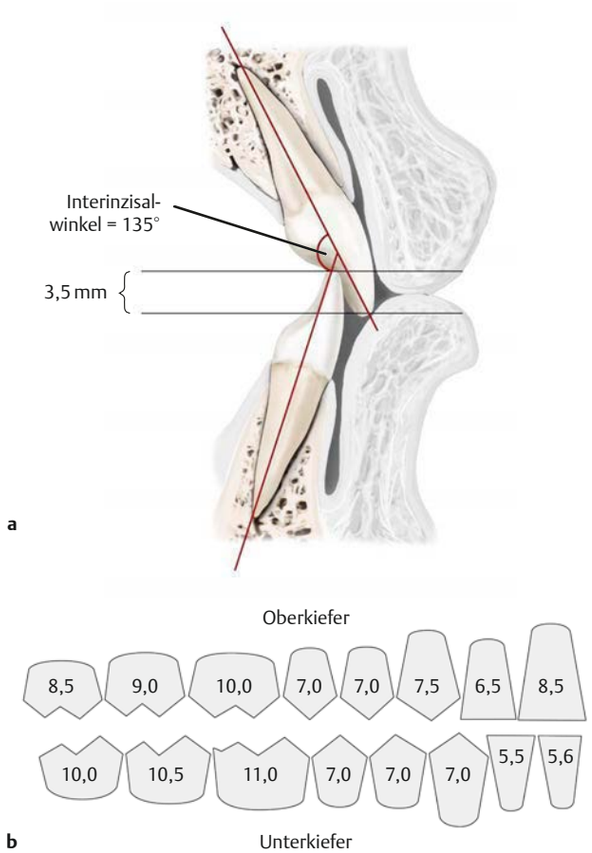
D Sagittale und transversale Okklusionskurve
a sagittale Okklusionskurve (sog. Spee-Kurve), Ansicht von vestibulär; **b** transversale Okklusionskurve (sog. Wilson-Kurve), Ansicht von distal.
Betrachtet man die Höckerspitzen der Unterkieferzahnreihe von vestibulär, bildet die Verbindungslinie der bukkalen Höckerspitzen eine nach unten konvexe Kurve, deren tiefster Punkt in der Gegend des 1. Molaren liegt. Nach Spee (1870) berührt diese Kurve die vordere Fläche des Kiefergelenkköpfchens; ihr Zentrum soll in der Mitte der Orbita liegen. Der Verlauf der transversalen Okklusionskurve entsteht dadurch, dass die lingualen Höcker der Unterkieferseitenzähne niedriger als die bukkalen liegen.
Beachte: Sowohl die sagittale als auch die transversale Okklusionskurve ist bei der Aufstellung von künstlichen Zähnen von Bedeutung.

E Definition der verschiedenen Okklusionstypen

Unter Okklusion versteht man jeglichen Berührungskontakt zwischen den Zähnen des Ober- und Unterkiefers. Im Einzelnen unterscheidet man:

- **statische Okklusion** = Zahnkontakte, die ohne Bewegungen des Unterkiefers zustande kommen,
- **dynamische Okklusion** = Zahnkontakte, die infolge einer Bewegung des Unterkiefers entstehen (ältere Bezeichnung „Artikulation"),
- **habituelle Okklusion** = gewohnheitsmäßig eingenommene statische Okklusion, die beim zwanglosen Kieferschluss eingenommen wird (ältere Bezeichnung „Schlussbisslage").

Unter **maximaler Interkuspidation** versteht man den Zusammenschluss der Ober- unter Unterkieferzähne unter maximalem Vielpunktekontakt, d. h. bei einer allseitigen und gleichmäßigen Höcker-Fissuren-Verzahnung.

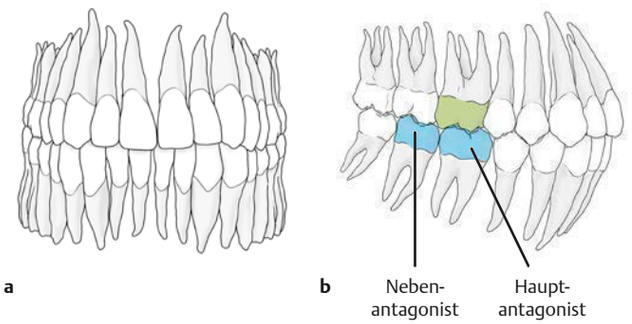


G Stellung der Zähne bei Regelverzahnung im Einzelnen

a Okklusionsstellung der oberen und unteren Schneidezähne; **b** Schema der Stellung der Zähne in Ober- und Unterkiefer (nach Schumacher). Angegeben ist die mittlere mesiodistale Breite der Zähne in Millimetern (nach Carlsson et al.); **c** Regelverzahnung, Ansicht von distal; **d** Ausschnitt aus **c.**

a In der *seitlichen Darstellung* ist der sog. **Schneidezahnüberbiss** (s. **F**), der auch als **Scherenbiss** bezeichnet wird, gut erkennbar. Dabei liegen die Okklusionskontakte der unteren Inzisivi an den Palatinalflächen der oberen Inzisivi und die Achsen der oberen und unteren Schneidezähne in einem Winkel von 135° *(Interinzisialwinkel)* zueinander.

b In *sagittaler Richtung* hat - mit Ausnahme von zwei Zähnen (1. unterer Schneidezahn, 3. oberer Molar) – jeder Zahn Kontakt zu *zwei* Zähnen seines Gegenkiefers, dem Haupt- und Nebenantagonisten (= **Einzahn-zu-Zweizahn-Okklusion im Seitenzahnbereich,** vgl. **F**). Hierbei befindet sich die Spitze des oberen Eckzahns zwischen dem unteren Eckzahn und dem folgenden unteren Prämolaren, der mesiobukkale Höcker des 1. oberen Molaren zeigt in Richtung der mesiobukkalen Fissur des 1. unteren Molaren. Diese Stellung der Zähne wird als *Neutralbisslage* bezeichnet.

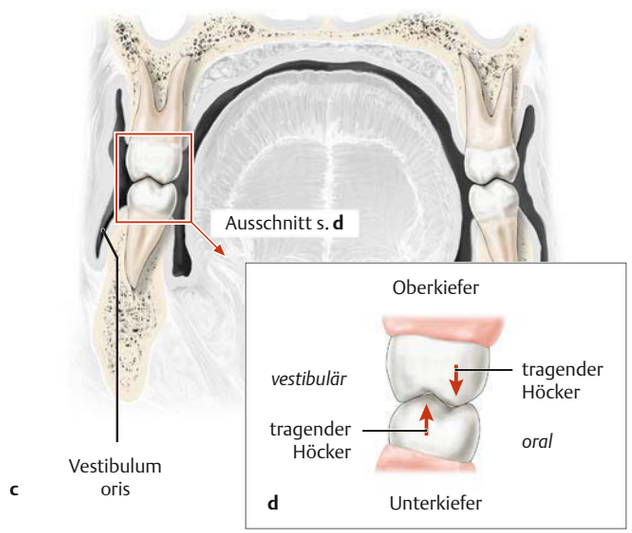


F Okklusion der Zahnreihen bei Regelverzahnung

a Ansicht von vorne; **b** Ansicht von vestibulär.

Bei Regelverzahnung werden in Okklusionsstellung der Zahnreihen zwei Phänomene erkennbar.

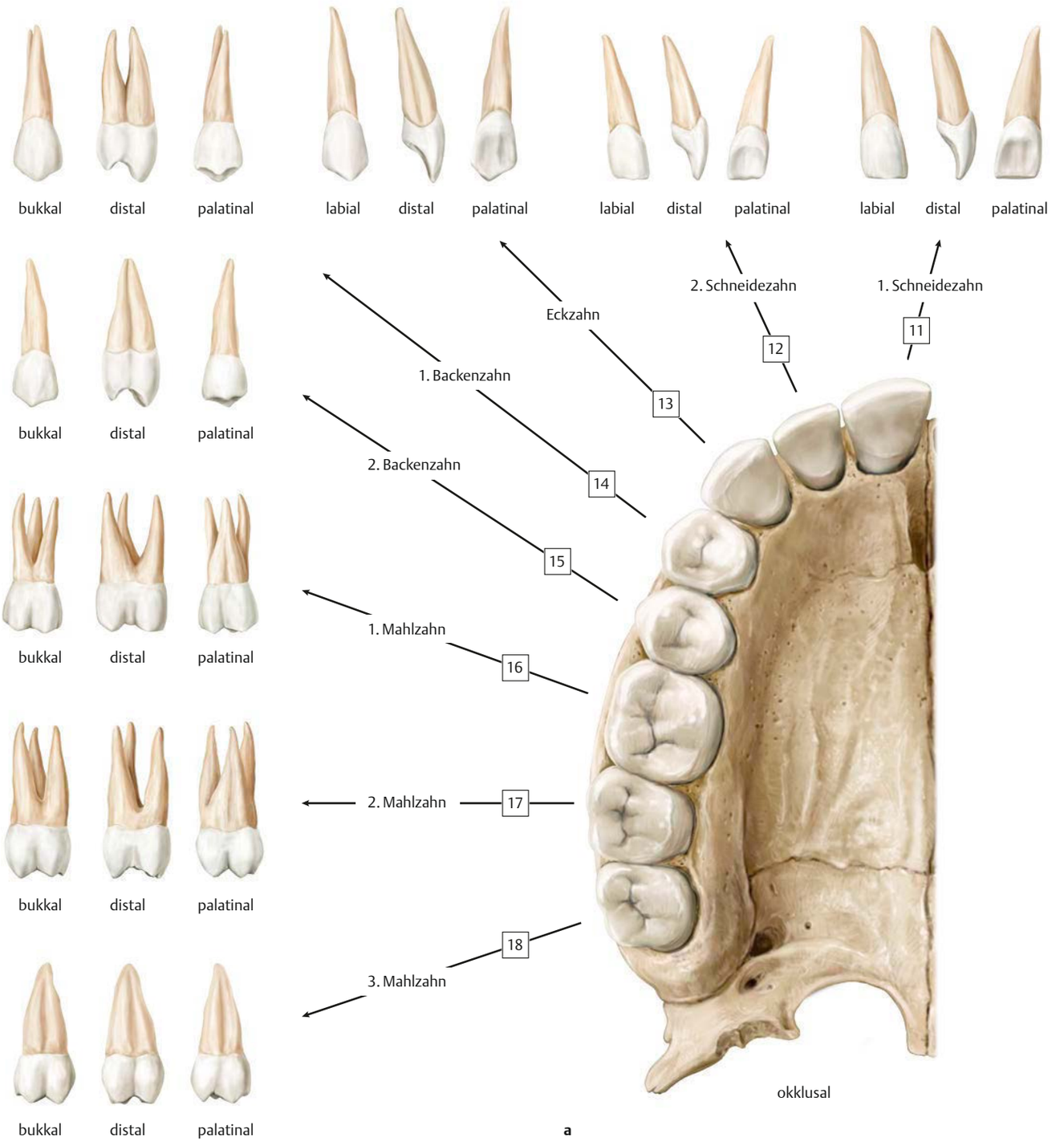
- Da die beiden Zahnbögen unterschiedlich groß sind, übergreifen die Schneidekanten der oberen Frontzähne die der unteren Frontzähne um etwa 3–4 mm nach vestibulär (s. **b** u. **Ga**). Das Übergreifen der bukkalen Höcker der Oberkieferzähne über die der Unterkieferzähne nach vestibulär ist auf dieselbe Ursache zurückzuführen, wird hier jedoch nicht sichtbar, s. **Gc** u. **d**).
- Da der obere mittlere Schneidezahn breiter ist als der untere mittlere, kommt es zu einer mesiodistalen Verschiebung, die sich im Seitenzahnbereich fortsetzt (s. **b** u. **Gb**).



c u. d In *transversaler Richtung* übergreifen bei Regelverzahnung die bukkalen Höcker der Oberkieferzähne die der Unterkieferzähne nach vestibulär. Die Höcker, die in die Fissur bzw. die Fossa ihrer Antagonisten greifen, werden als tragende bzw. funktionelle Höcker bezeichnet und sind im Gegensatz zu nichtragenden Höckern eher rund. Hierbei sind tragende Höcker im Oberkiefer palatinale Höcker, im Unterkiefer dagegen bukkale Höcker.

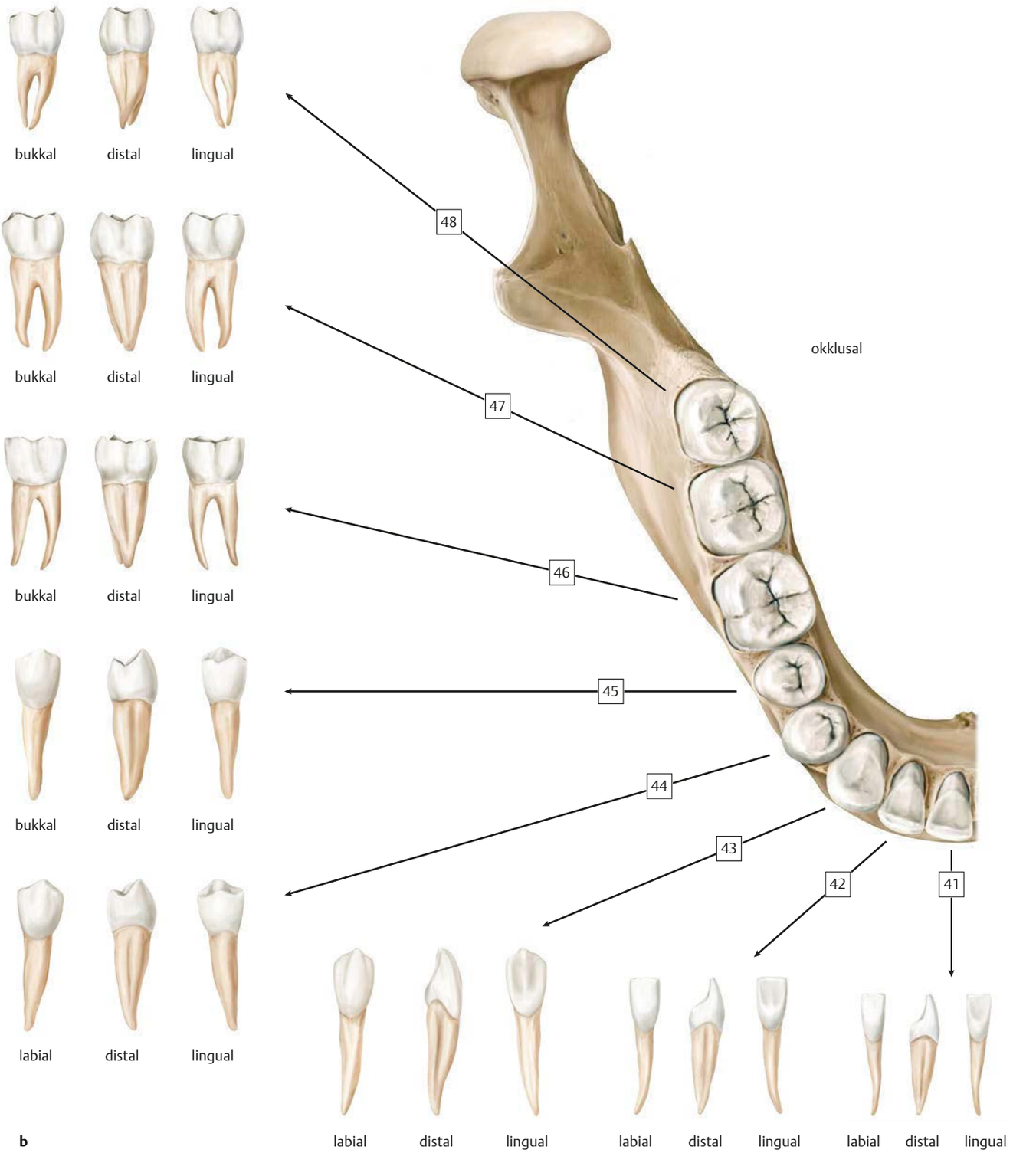
Beachte: Die Funktion der Kauflächen im Seitenzahngebiet ist hauptsächlich Zerkleinerung bzw. Zerquetschung der Nahrung zwischen den Höckern und den antagonistischen Gruben der Zähne. Hierbei dienen die Fissuren als Abflussrillen für die zerquetschte Nahrung und gleichzeitig als Freiraum für die Höcker bei Mahlbewegungen.

2.22 Morphologie der bleibenden Zähne (Dentes permanentes)



A Morphologie der bleibenden Zähne des Ober- und Unterkiefers
a rechter Oberkiefer (1. Quadrant), Ansicht von okklusal; **b** rechter Unterkiefer (4. Quadrant), Ansicht von okklusal.
(Isolierte Zähne in unterschiedlichen Ansichten; zur Nummerierung der einzelnen Zähne vgl. Zahnformel, S. 50.)

Schneidezähne (Dentes incisivi): Entsprechend ihrer Funktion, Brocken von der Nahrung abzubeißen, besitzen die Schneidezähne eine scharfkantige Krone (Meisel- bzw. Schaufelform). Außerdem bestimmen sie maßgeblich das ästhetische Erscheinungsbild der Mundregion. In der Regel sind alle Schneidezähne *einwurzelig*. Der obere mittlere Schneidezahn ist der größte, der mittlere untere der kleinste Incisivus. Die palatinalen Flächen der beiden oberen Schneidezähne weisen jeweils zwei Randleisten auf, dazwischen befindet sich beim mittleren Schneidezahn ein Tuberculum dentis, beim seitlichen eine kleine Einziehung (Foramen caecum). Ähnliche Merkmale sind bei den beiden unteren Schneidezähnen weniger deutlich ausgebildet.
Eckzähne (Dentes canini): Die Eckzähne sind die formkonstantesten Zähne. Ihr gemeinsames Merkmal ist eine geteilte Schneidekante, die eine Kauspitze bildet. Eckzähne sind in der Regel *einwurzelig* mit einer



relativ langen Wurzel und unterstützen mit ihrer Funktion die Schneidzähne (bei Säugetieren häufig als Fang- bzw. Reißzahn ausgebildet). Während die Labialfläche zwei Facetten aufweist, besitzt die Oralfläche zwei gut ausgeprägte Randleisten, eine Medianleiste und ein Tuberculum dentis. Krümmungs- und Wurzelmerkmal sind gut ausgebildet.

Backenzähne (Dentes premolares): Gemeinsame Merkmale der Prämolaren ist eine zweihöckerige Kaufläche mit vestibulooraler Höckeranordnung. Mit Ausnahme des 1. oberen Backenzahns sind sie *einwurzelig*. Die Backenzähne stellen ein Übergangsform von den Schneide- zu den Mahlzähen dar und besitzen Höcker und Fissuren. Ein Zeichen dafür, dass nun das Zermahlen der Nahrung gegenüber dem Abreißen in den Vordergrund tritt.

Mahlzähne (Dentes molares): Sie sind die größten Zähne des bleibenden Gebisses und haben eine mehrhöckerige Kaufläche. Um den kräftigen Kaudruck aufzufangen, haben die *Molaren des Oberkiefers drei Wurzeln*, die des *Unterkiefers* in der Regel *zwei*. Nur die Wurzeln der 3. Mahlzähne (Weisheitszähne oder Dentes serotini, die erst nach dem 16. Lebensjahr, oft auch – wenn überhaupt – später, durchbrechen) sind häufig zu einer Pfahlwurzel verschmolzen (s. **E**, S. 49).

2.23 Zahnhalteapparat (Parodontium)

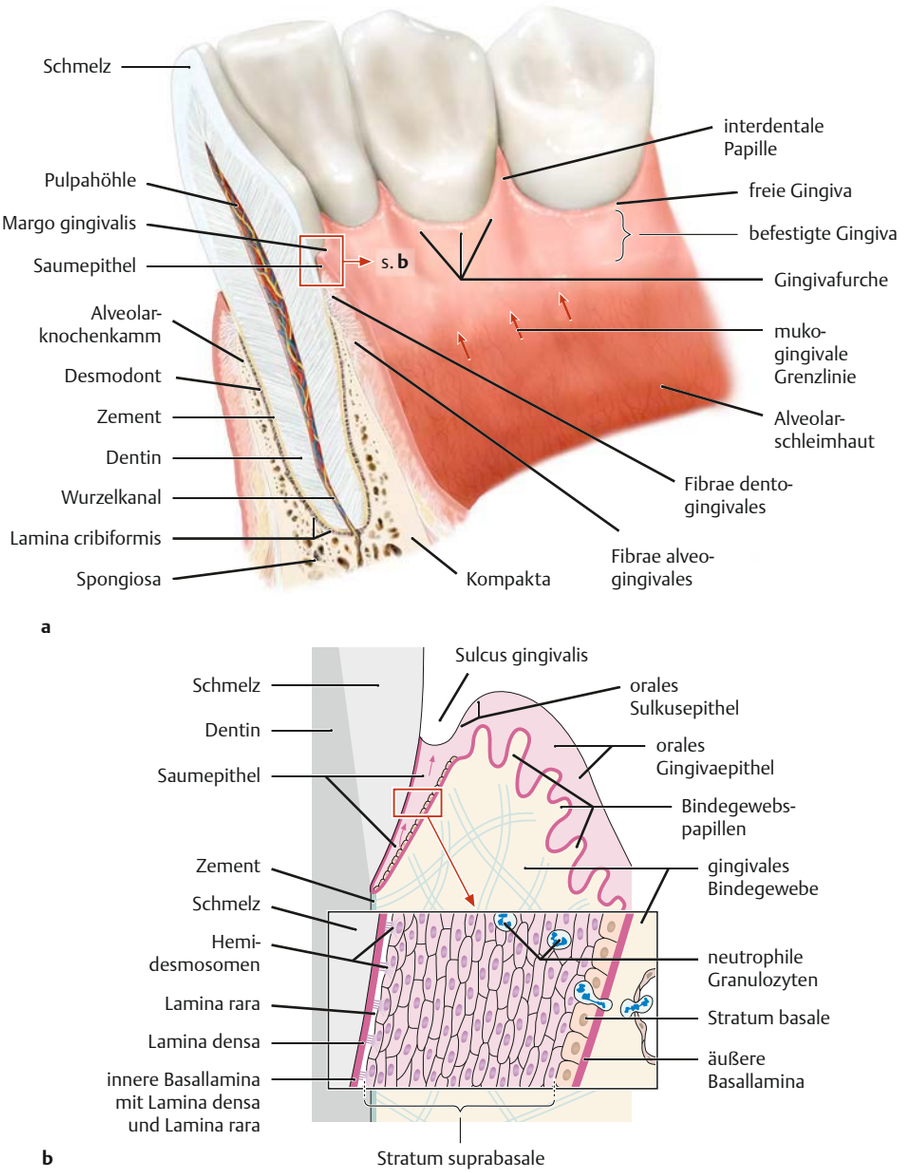
A Bestandteile und Funktionen des Zahnhalteapparates (Parodontium)

Die Befestigung der Zähne im Kiefer erfolgt nicht knöchern, sondern durch eine Sonderform der Syndesmose, einer sog. Gomphosis (Syndesmosis dentoalveolaris). Als funktionelle Einheit werden zum Zahnhalteapparat alle **Strukturen** gerechnet, die den Zahn in der Alveole des Kieferknochens befestigen:

- das Zahnfleisch (Gingiva),
- das Wurzelzement (Cementum),
- die Wurzelhaut (Desmodontium) und
- der Aveolarknochen.

Wesentliche **Funktionen** des Parodontiums sind:

- Verankerung des Zahns in der Alveole und Umwandlung des Kaudruckes in Zugkräfte,
- Vermittlung von Schmerzempfinden und Kaudruckregulierung über Nervenfasern und sensible Endigungen,
- Abwehr von Infektionen durch effiziente Trennung von Mundhöhlen- und Zahnwurzelmilieu und große Zahl von Abwehrzellen,
- rascher Stoffwechsel und hohe Regenerationsfähigkeit (Anpassung an funktionelle und topografische Veränderungen, z. B. Stellungsänderungen von Zähnen durch kieferorthopädische Maßnahmen) durch sehr gute Blutgefäßversorgung.



B Zahnfleisch (Gingiva)

a Zahnfleisch im Überblick; **b** Saumepithel.

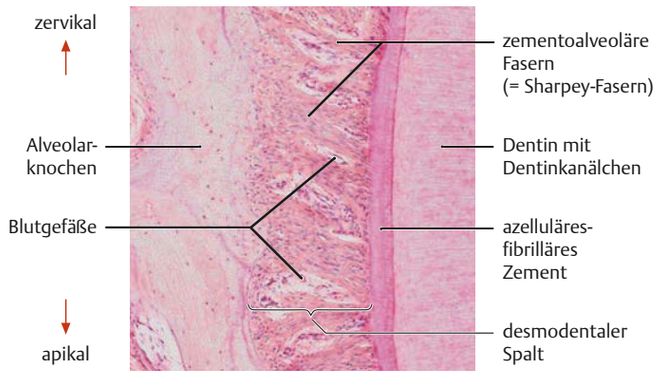
a Das **Zahnfleisch (marginales Parodontium)** gehört zur Mundschleimhaut und dehnt sich vom Zahnfleischsaum (Margo gingivales) bis zur mukogingivalen Grenzlinie aus. Dort geht das blassrosane, meist glänzende Gingivaepithel (mehrschichtiges, meist parakeratinisiertes Plattenepithel) in das deutlich roter gefärbte Alveolarepithel (mehrschichtiges nicht keratinisiertes Plattenepithel) über. Man unterscheidet klinisch zwei Abschnitte:

- freie Gingiva (Pars libera, 1–2 mm breit) = Zahnfleischsaum, umgibt den Zahnhals wie eine Manschette und ist über das Saumepithel (**b**) am zervikalen Schmelz befestigt. Die etwa 0,5–1 mm tiefe Rinne, die um den Zahn herum verläuft (Sulcus gingivalis), bildet mit ihrem Boden den Abschluss des Saumepithels (s. **b**);
- befestigte Gingiva (Pars fixa, 3–7 mm breit): beginnt auf Höhe der Gingivafurche und reicht bis zur mukogingivalen Grenzlinie. Da sie über horizontal verlaufende Kollagenfaserbündel (Fibrae dentogingivales und alveologingivales) unverschiebbar sowohl am Zahnhals als auch am Alveolarknochenkamm befestigt ist, erscheint die Gingiva in diesem Bereich oft getüpfelt.

b Das **Saumepithel** haftet mit seiner inneren (oberflächlichen) Basallamina über Hemidesmosomen am Schmelz und sorgt so für einen lückenlosen Anschluss der Mundschleimhaut an die Zahnoberfläche. Von apikal nach koronal wird es immer breiter. Die äußere (tiefe) Basallamina bildet die Grenze zum gingivalen Bindegewebe und setzt sich in die Basallamina des oralen Sulkusepithel fort. Das Saumepithel unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von den übrigen Epithelien der Mundhöhle:

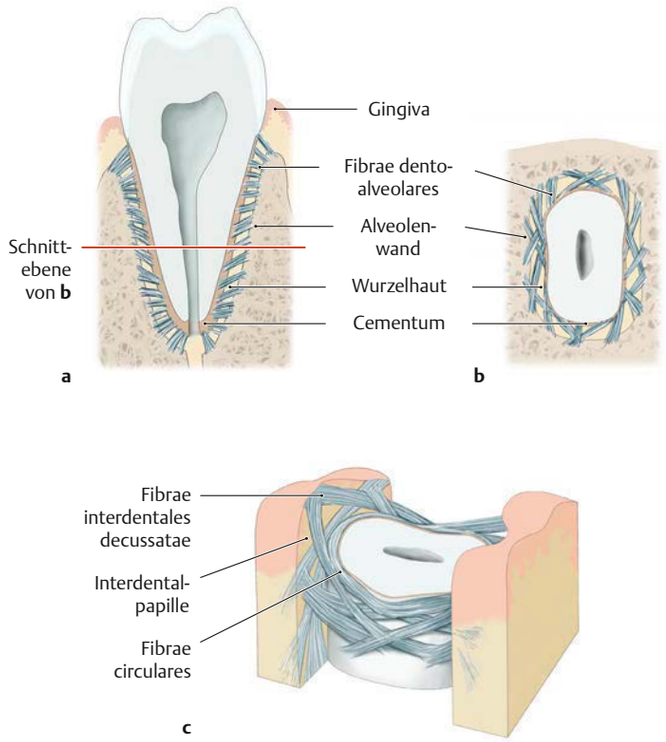
- es besteht nur aus zwei Schichten: Stratum basale und Stratum suprabasale,
- an seiner Basis fehlen Bindegewebspapillen,
- sein Zellumsatz ist hoch (Erneuerung alle 4–6 Tage): Während die kubischen Basalzellen für den Zellnachschub zuständig sind, differenzieren sich die Tochterzellen zu abgeplatteten Zellen, die parallel zur Zahnoberfläche angeordnet sind. Auf ihrem Weg zum Sulcus gingivalis, wo sie schließlich abgestoßen werden, bilden diese dem Schmelz anliegenden Zellschichten ständig neue Hemidesmosomen, während alte aufgelöst werden;
- es verfügt über eine spezielle Immunabwehr (neutrophile Granulozyten durchwandern das Saumepithel ständig).

Beachte: Die Unversehrtheit des Saumepithels ist Voraussetzung für die Gesundheit des gesamten Zahnhalteapparates. Kommt es infolge einer bakteriellen Besiedlung zu einer Entzündungsreaktion am Zahnhals (typische Plaquebildung durch schlechte Mundhygiene), verliert das Saumepithel seine Anheftung am Zahn, und es bilden sich sog. Zahnfleischtaschen im Bereich des Sulcus gingivalis (Parodontose-Erkrankung).



C Wurzelhaut (Desmodontium)

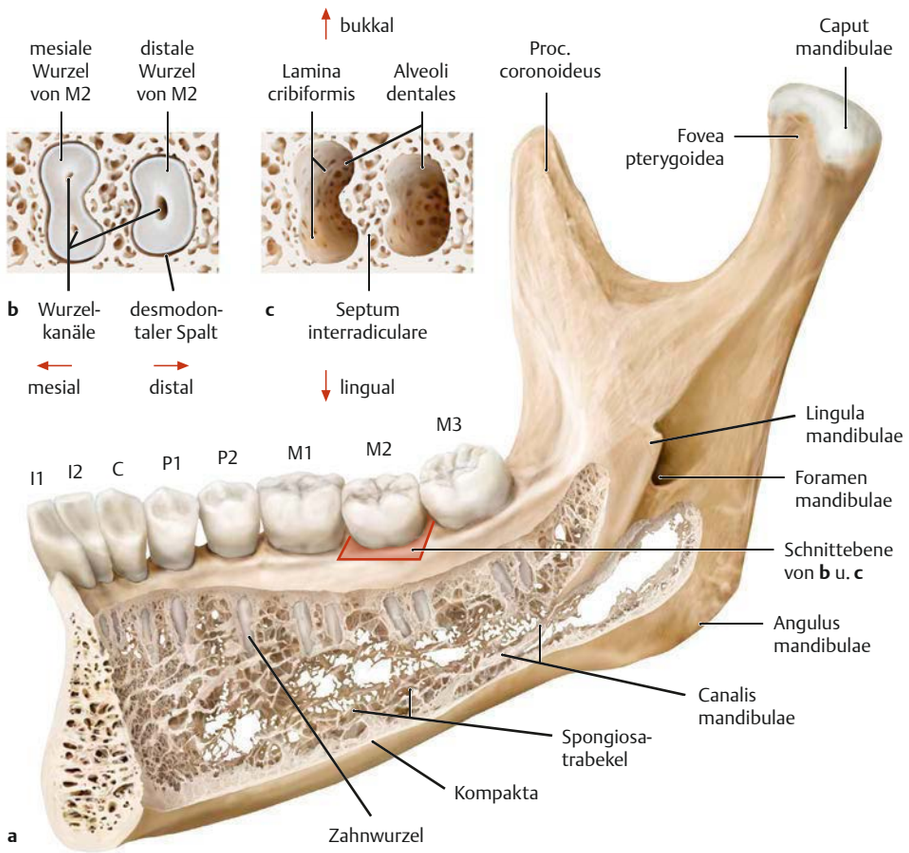
Die Wurzelhaut (kurz *Desmodont*) ist ein gut vaskularisiertes, zell- und faserreiches Bindegewebe, das den etwa 200 µm breiten Spalt zwischen Wurzelzement und Innenseite des Alveolarknochens füllt. Es verfügt über ein kompliziertes System von Kollagenfasern (zementoalveoläre bzw. dentoalveoläre Faserbündel), über die der Zahn federnd in der Alveole aufgehängt ist. Diese auch als *Sharpey-Fasern* bezeichneten kollagenen Fasern sind sowohl im Zement als auch im Alveolarknochen verankert. Sie verlaufen in unterschiedlichen Richtungen (s. **D**), so dass sie allen Bewegungen des Zahnes (z. B. axialer Druck, seitliche Kipp- und Torsionsbewegungen) entgegenwirken und die Faserbündel stets auf Zug beanspruchen können. Diese Zugbeanspruchung, die beim Kauen permanent vorhanden ist, übt einen Reiz auf Knochen und Kollagenfasern aus, der zu ihrer permanenten Regeneration führt. Verantwortlich für den hohen Umsatz von kollagenen Fasern im Desmodont sind zudem hochaktive Fibroblasten, deren Vitamin-C-abhängige Kollagensynthese etwa 4-mal schneller als z. B. in der Haut abläuft (daher z. B. bei Vitamin C-Mangel deutlicher Faserverlust innerhalb weniger Monate). Die Bedeutung dieser kaufunktionellen Beanspruchung für den Knochen wird auch daraus ersichtlich, dass in einem zahnlosen Kiefer der Alveolarfortsatz nach und nach völlig atrophiert. (Färbung: H. E., Vergr. 75 fach)



D Verlauf von Kollagenfasern in der Wurzelhaut und im Zahnfleisch

a u. **b** Längs- und Querschnitt durch den Zahn; **c** schematischer Verlauf der Fasern im Zahnfleisch

Während die zementoalveolären Faserbündel (Fibrae *dento*alveolares) im Desmodont größtenteils schräg abwärts laufen (**a**), besteht der supraalveoläre Faserapparat (Fibrae interdentales decussatae und Fibrae circulares) überwiegend aus zirkulär verlaufenden Bündeln (**c**).



E Aufbau des Alveolarknochens

a rechte Hälfte eines menschlichen Unterkiefers, Ansicht von oral (die Kompakta ist auf beiden Seiten entfernt); **b** u. **c** Horizontalschnitte durch einen menschlichen Unterkiefer auf Höhe der Alveoli dentales mit (**b**) und ohne Zahnwurzeln (**c**), Ansicht von kranial (nach Präparaten der Anatomischen Sammlung der Universität Kiel).

Die Alveolarfortsätze von Ober- und Unterkiefer sind von der Struktur her Lamellenknochen mit einer inneren (lingualen/palatinalen) und einer äußeren (vestibulären/bukkalen) Kompakta sowie einer dazwischen liegenden Spongiosa. Zusätzlich enthalten sie den zum Zahnhalteapparat zählenden Alveolarknochen, der am Aufbau der Zahnfächer (Alveoli dentalis) beteiligt ist. Die Alveoli dentalis gleichen Bechern, deren knöcherne Wände eine Vielzahl von Löchern aufweisen (Lamina cribiformis) und in die von außen Spongiosatrabekel einstrahlen. Durch die Löcher dringen Blut- und Lymphgefäße in den desmodontalen Spalt und bilden ein dichtes Korbgeflecht um die Zahnwurzeln.

2.24 Milchzähne (Dentes decidui)



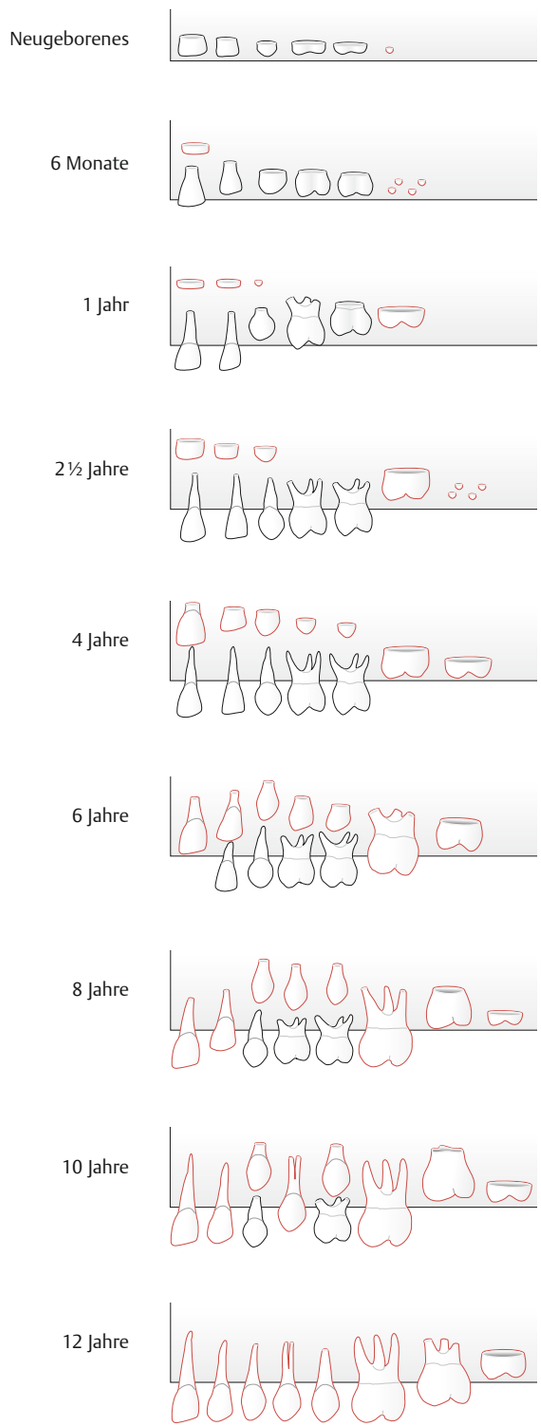
A Milchzähne des linken Ober- und Unterkiefers
Das Milchgebiss besteht aus nur 20 Zähnen. Man unterscheidet:

a medialer Schneidezahn (Dens incisivus I),
b lateraler Schneidezahn (Dens incisivus II),
c Eckzahn (Dens caninus),
d 1. Backenzahn (Dens molaris I) und
e 2. Backenzahn (Dens molaris II).

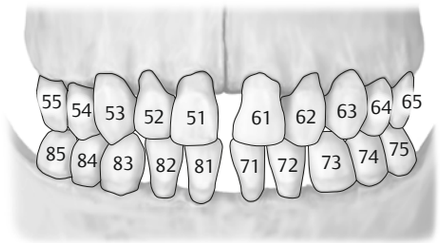
Zur Unterscheidung von den permanenten Zähnen beginnt die Nummerierung der Milchzähne in der Zahnformel (s. **D**) mit der Ziffer 5 anstelle der Ziffer 1, d. h. die rechte Oberkieferhälfte erhält die Ziffer 5 usw.

B Mittelwerte der Zahndurchbruchszeiten (nach Rauber/Kopsch)
Den Durchbruch der Milchzähne bezeichnet man als 1. Dentition, den der dauerhaften Zähne als 2. Dentition. In der letzten Spalte wird die Reihenfolge in Bezug auf den Zahndurchbruch angegeben. Als Beispiel: Bei der 2. Dentition bricht der vordere Molar (Zahn 6) als erster durch („Sechsjahrmolar").
Beachte: Die Milchzähne werden mit römischen Ziffern nummeriert, die bleibenen Zähne mit arabischen.

1. Dentition	Zahn	Zahndurchbruch	Reihenfolge
	I	6.–8. Monat	1
	II	8.–12. Monat	2
	III	15.–20. Monat	4
	IV	12.–16. Monat	3 „1. Milchmolar"
	V	20.–40. Monat	5 „2. Milchmolar"
2. Dentition	Zahn	Zahndurchbruch	Reihenfolge
	1	6.–9. Jahr	2
	2	7.–10. Jahr	3
	3	9.–14. Jahr	5
	4	9.–13. Jahr	4
	5	11.–14. Jahr	6
	6	6.–8. Jahr	1 „Sechsjahrmolar"
	7	10.–14. Jahr	7 „Zwölfjahrmolar"
	8	16.–30. Jahr	8 „Weisheitszahn"



C Durchbruch von Milchzähnen und bleibenden Zähnen (nach Meyer)
Der Zahndurchbruch ist am Beispiel des linken Oberkiefers dargestellt (Milchzähne schwarz, bleibende Zähne rot). Die Kenntnis der Durchbruchszeiten der Zähne ist klinisch wichtig, da anhand dieser Daten Wachstumsverzögerungen bei Kindern diagnostiziert werden können.



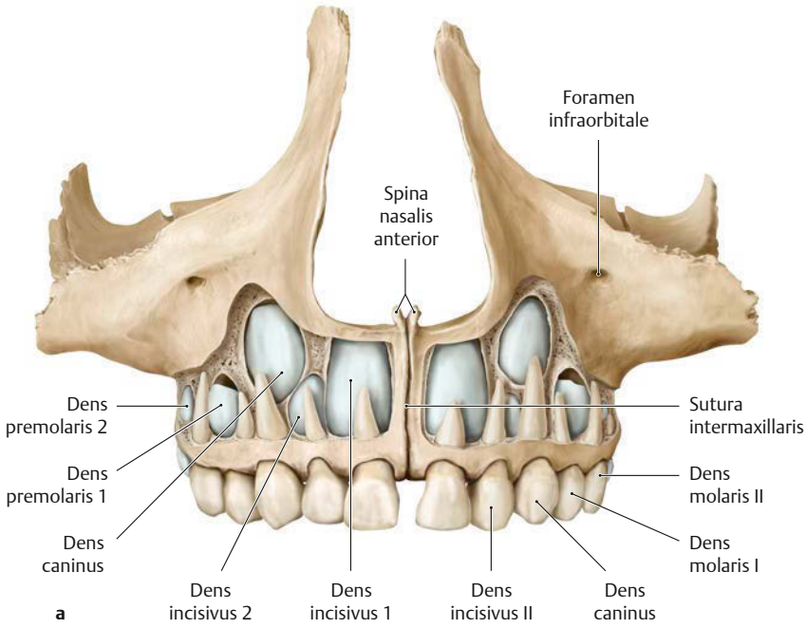
D Zahnformel des Milchgebisses

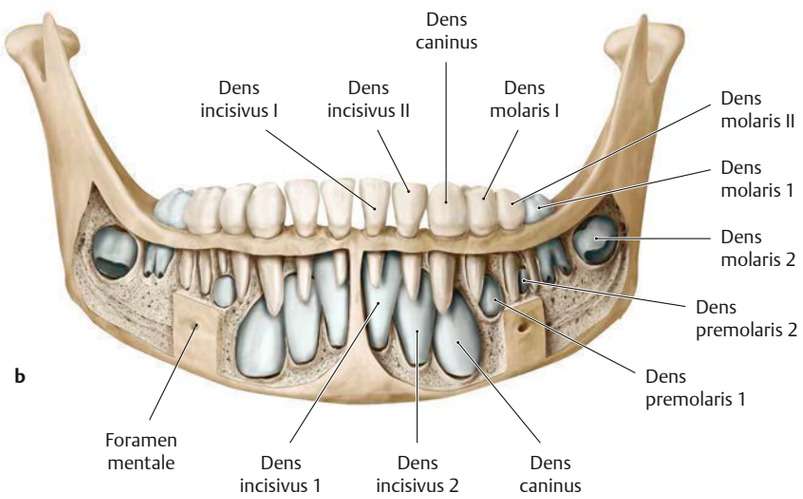
E Milchzähne (Dentes decidui) und Anlagen der bleibenden Zähne im Ober- und Unterkiefer eines sechsjährigen Kindes

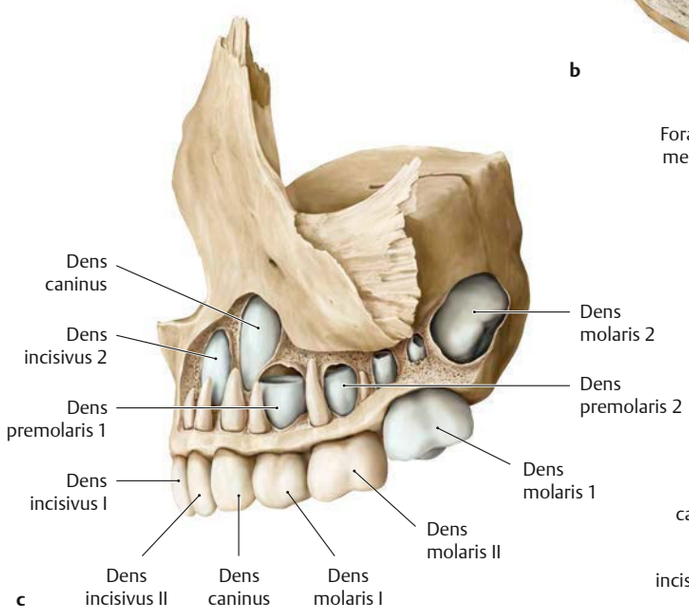
a u. **b** Ansicht von frontal; **c** u. **d** Ansicht von links. Die vordere Knochenlamelle über den Wurzeln der Milchzähne wurde entfernt, die darunter liegenden Anlagen der bleibenden Zähne (Dentes permanentes, bläulich) werden sichtbar.

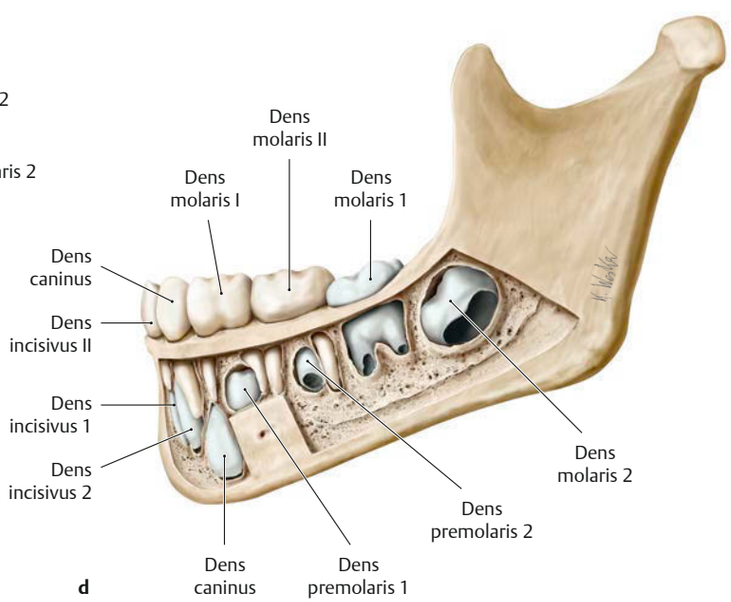
Dieses Alter wurde gewählt, weil zu diesem Zeitpunkt alle Milchzähne (Dentes decidui*), durchgebrochen und noch vollständig vorhanden sind; gleichzeitig beginnt aber der vordere Mahlzahn als erster bleibender Zahn durchzubrechen (s. **C**).

* decidui = hinfällig





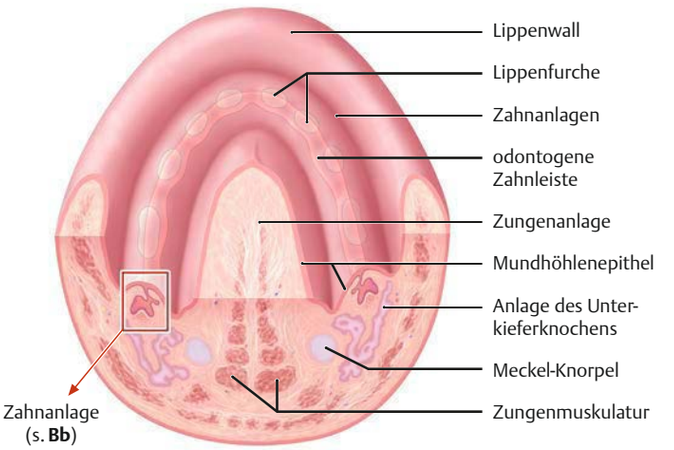


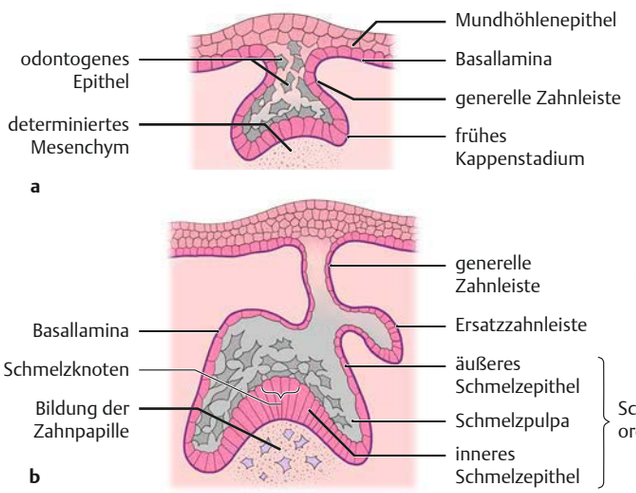


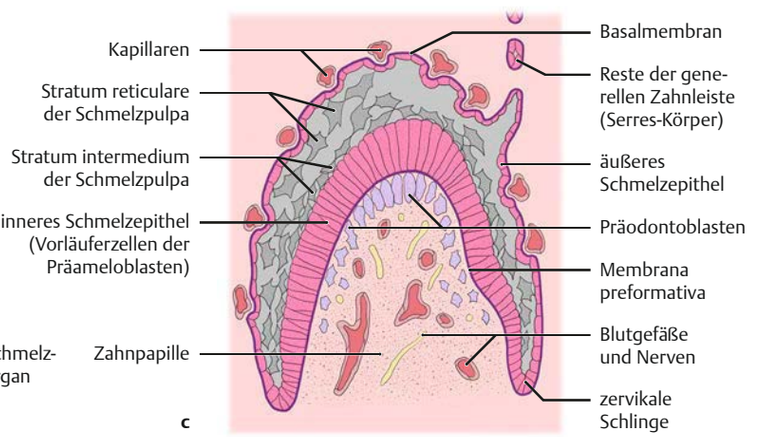
2.25 Zahnentwicklung (Odontogenese)

A Frühe Zahnanlage im Unterkiefer eines menschlichen Embryos (nach Schumacher und Schmidt)

Sicht auf einen Unterkiefer am Beginn der 7. Embryonalwoche (der koronare Schnitt liegt auf Höhe der Schmelzkappen der 2. Milchmolaren). Das erste morphologisch nachweisbare Anzeichen für den Beginn der Zahnentwicklung sind örtlich begrenzte Epithelverdickungen. Sie verlaufen hufeisenförmig parallel zu den Lippenrändern (sog. odontogene Zahnleisten) und wachsen bei 5 Wochen alten menschlichen Embryonen in das Mesenchym der Ober- und Unterkieferanlage ein (vgl. **Ba**). Hierbei verdickt sich der freie Rand dieser sog. *generellen Zahnleisten* auf beiden Seiten von mesial nach distal fortschreitend zu je 5 Epithel- bzw. Zahnknospen, entsprechend der 10 Milchzähne in jedem Kiefer. Jede dieser Epithelknospen wächst im weiteren Verlauf zunächst zu kappenförmigen und später zu glockenförmigen Schmelzorganen (Schmelzkappe und Schmelzglocke) heran (vgl. **Bb** u. **c**).







B Frühentwicklung der Zähne und Bildung des Zahnkeims

a frühes Kappenstadium; **b** spätes Kappenstadium; **c** Glockenstadium (nach Weiss).

Die Frühentwicklung der Milchzähne beginnt beim Menschen in der 5. Embryonalwoche und dauert bis zur Bildung der Zahnhartsubstanzen etwa 3 Monate (15.–19. Embryonalwoche).

Frühes Kappenstadium: Durch intensive Zellproliferation im odontogenen Epithel entstehen an umschrieben Stellen knospen- bzw. **kappen**förmige Zellansammlungen. Sie vertiefen sich an der dem Epithel abgewandten Seite zunehmend konkav und umwachsen so, vom Rand ausgehend, das determinierte Mesenchym (s. **C**).

Spätes Kappenstadium:

- Am Schmelzorgan sind *äußeres* und *inneres Schmelzepithel* und die dazwischen liegende *Schmelzpulpa* zu unterscheiden. Die Zellen des inneren Schmelzepithels werden im Bereich der basalen Eindellung, v. a. im Bereich des Schmelzknotens, zunehmend säulenförmig, im Bereich des äußeren Schmelzepithels immer flacher. In der Schmelzpulpa weichen die Zellen durch die zunehmende Produktion von extrazellulärer Matrix immer weiter auseinander.
- Vom palatinalen (Oberkiefer) bzw. lingualen (Unterkiefer) freien Rand der generellen Zahnleiste aus entwickelt sich die sog. *Ersatzzahnleiste,* von der später die Bildung der bleibenden Zähne der 2. Dentition (sog. „Ersatzzähne“) ausgeht.

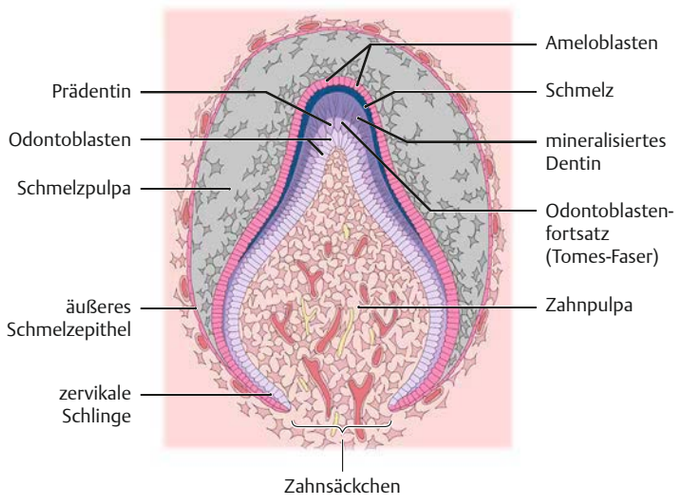
Beachte: Die distal vom Milchgebiss gelegenen späteren Zuwachszähne (Mahlzähne des bleibenden Gebisses) entstehen dadurch, dass die *generelle Zahnleiste* nach distal verlängert wird.

Glockenstadium:

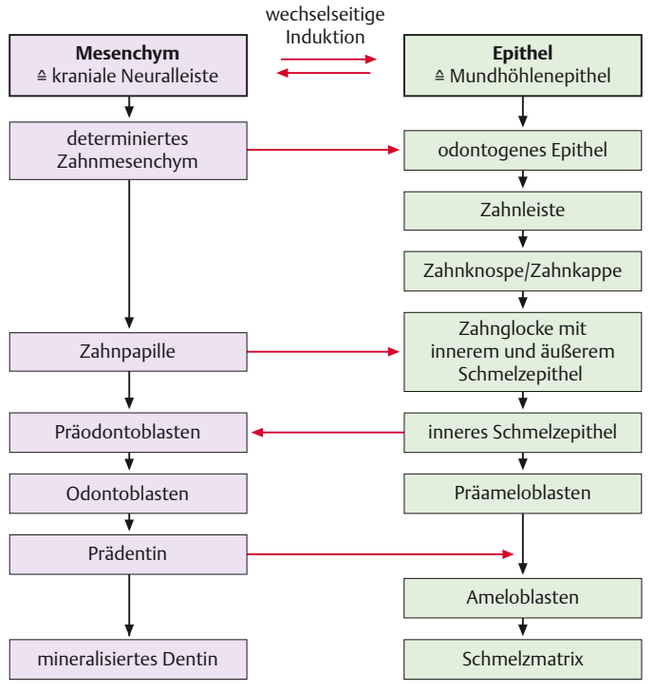
- Die *Schmelzpulpa* wird immer voluminöser und teilt sich in eine lockeres *Stratum reticulare* und ein dichtes, dem inneren Schmelzepithel anliegendes *Stratum intermedium*.
- Das vom Schmelzorgan umgebene mesenchymale Gewebe verdichtet sich zur *Zahnpapille*. In die Zahnpapille wachsen Blutgefäße und Nervenfasern ein, hier bildet sich die spätere *Zahnpulpa*.
- Induziert durch die Zahnpapille entwickeln sich die Zellen des inneren Schmelzepithels zu Vorläuferzellen der Schmelzbildner *(= Präameloblasten)*. Unter ihrem Einfluss ordnen sich die direkt benachbarten Mesenchymzellen zu einem epithelartigen Verband, den zukünftigen Dentinbildnern *(Präodontoblasten)* an.
- Die *Basalmembran* zwischen Präameloblasten und Präodontoblasten verdickt sich zur *Membrana prefomativa*. Im Bereich der zervikalen Schlinge geht die Basalmembran des inneren Schmelzepithels kontinuierlich in die Basalmembran des äußeren Schmelzepithels über und bedeckt so die gesamte Oberfläche des Schmelzorgans. Seine Ernährung sichern die Kapillaren außen an der Basalmembran.
- Die Verbindung zur generellen Zahnleiste wird zunehmend löchrig und löst sich bis auf einige Reste (Serres-Körper) vollständig auf.
- Schmelzglocke und Zahnpapille werden von einem lockeren mesenchymalen Gewebe umgeben, das sich unter der Expansion des wachsenden Zahnkeims zu einem *Zahnsäckchen* verdichtet, aus dem sich der spätere Zahnhalteapparat entwickelt (s. **E**).

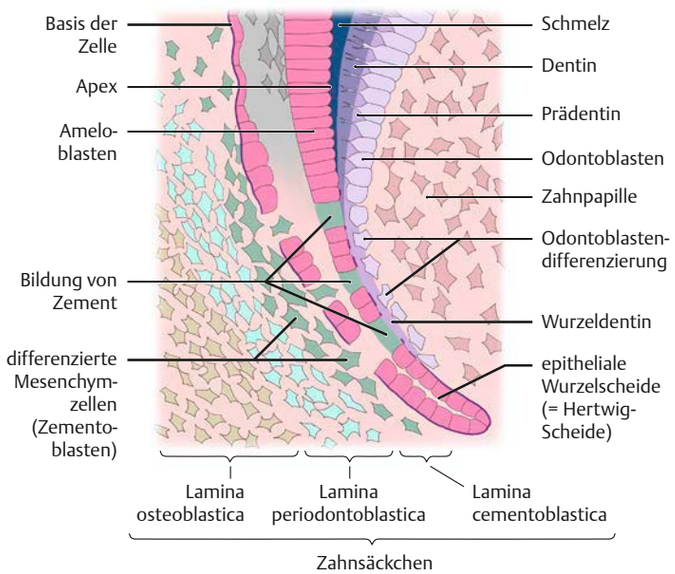
Kurz bevor die Bildung der Zahnhartsubstanzen beginnt (vgl. **D**), besteht der Zahnkeim also aus dem *glockenförmigen Schmelzorgan,* der *Zahnpapille* und dem *Zahnsäckchen*.

C Epithel-Mesenchym-Interaktionen (nach Schroeder)
Die Entwicklung der Milchzähne ist das Resultat einer Interaktion von Oberflächenektoderm (Epithel der primitiven Mundhöhle = Stomodeum) und darunter liegendem Mesenchym (aus der kranialen Neuralleiste). Sie führt zu hoch spezialisierten Zellverbänden, den Odonto- und Ameloblasten. Diese wiederum leiten über parakrin sezernierte Wachstums- und Differenzierungsfaktoren (z. B. BMPs = bone morphogenetic proteins, FGFs = fibroblast growth factors, SHh = Sonic hedgehog) die Sekretion der Zahnhartsubstanzen Prädentin und Schmelzmatrix ein (s. **D**).
Beachte: Die Wachstums- und Differenzierungsfaktoren konzentrieren sich in den sog. Schmelzknoten (s. **Bb**), den punktuellen Verdickungen der Zahnleiste, die jeweils die Anlage eines Milchzahns darstellen. Schmelzknoten haben damit eine signalgebende Funktion für die individuelle Zahnentwicklung (z. B. für Kronenform und Anzahl der Kronenhöcker) und ähneln so z. B. den ektodermalen Randleisten, die das Auswachsen der Extremitätenknospen steuern.



D Bildung der Zahnhartsubstanzen im Bereich der Zahnkrone
Die Bildung der Zahnhartsubstanzen im Bereich der Zahnkrone ist – ähnlich wie die Frühentwicklung – das Ergebnis einer Kette von wechselseitigen Induktionsvorgängen (s. **Ba – c**). Unter dem Einfluss einer sich verdickenden Basalmembran (Membrana preformativa, s. **Bc**) differenzieren sich Präodontoblasten zu *Odontoblasten* und beginnen mit der Synthese von organischer *Dentinmatrix (Prädentin),* die in Richtung Basalmembran abgelagert wird. Dies induziert wiederum die Differenzierung der Präameloblasten zu *sekretorischen Ameloblasten*. Sie beginnen, sobald die 1. Lage Prädentin mineralisiert ist, mit der Ausschüttung von organischer Schmelzmatrix. Durch den Zerfall der Basalmembran liegen nun Schmelz und Dentin direkt aneinander, wobei die Ablagerung immer inzisal bzw. okklusal beginnt und sich allmählich in Richtung Zahnhals ausbreitet. Mit fortschreitender Bildung der beiden Zahnhartsubstanzen entfernen sich die Odontoblasten und Ameloblasten in entgegengesetzter Richtung voneinander. Hierbei sezernieren die Ameloblasten säulenförmige Schmelzprismen, die später mineralisieren und appositionell von der Dentin-Schmelz-Grenze gegen die Oberfläche wachsen. Auf diese Weise werden die Ameloblasten zunehmend nach außen verlagert und gehen später beim Durchtritt des Zahnes zugrunde. Dadurch ist der Schmelz zellfrei und kann nicht nachgebildet werden. Auch die Odontoblasten weichen mit zunehmender Dentinbildung zurück, belassen jedoch einen dünnen Fortsatz (Odontoblastenfortsatz oder „Tomes-Faser“ in einem Dentinkanälchen, das die gesamte Dentinschicht durchzieht. Die postmitotischen Odontoblasten liegen mit ihrem Zellkörper an der Pulpa-Dentin-Grenze und können zeitlebends neues Dentin (Sekundär- bzw. Tertiärdentin) bilden.
Beachte: Während die Kronenbildung bei den Milchzähnen zwischen dem 2. und 6. Lebensmonat abgeschlossen ist, endet innerhalb der 1. Dentition die Bildung der Zahnwurzel etwa 2–3 Jahre nach deren Durchbruch.

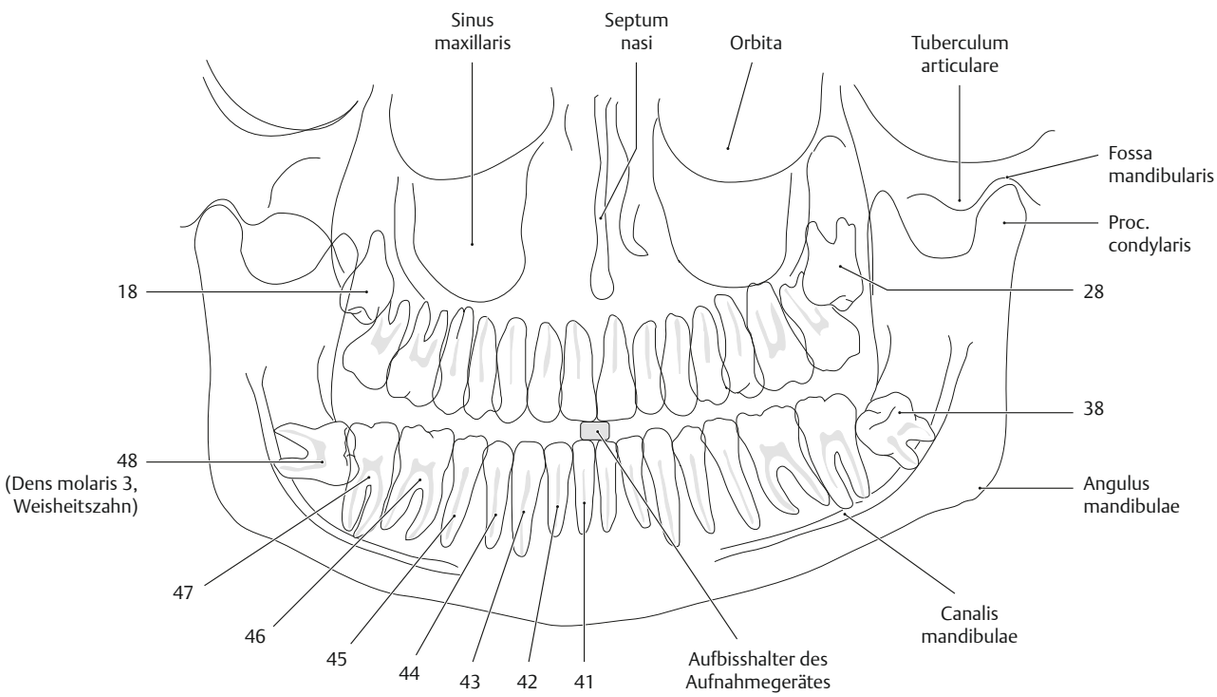




E Bildung der Zahnwurzel und Differenzierung des Zahnsäckchens
Die Bildung der Zahnwurzel beginnt, wenn Schmelz und Dentin im Kronenbereich im Wesentlichen entwickelt sind. Sie organisiert sich entlang der epithelialen Wurzelscheide (Hertwig-Scheide). Diese wächst als zweischichtiges Epithel (inneres und äußeres Schmelzepithel liegen direkt aufeinander, die Schmelzpulpa fehlt) von der zervikalen Schlinge im Bereich des späteren Zahnhalses ausgehend nach apikal. Bei mehrwurzeligen Zähnen bilden sich durch Aufzweigungen epitheliale Röhren (Vagina epithelialis radicalis). Die Wurzelscheide induziert in der benachbarten Zahnpapille die Differenzierung von Odontoblasten, die im Weiteren mit der Synthese von Wurzeldentin beginnen. Die dabei entstehende Pulpahöhle wird apikal immer mehr eingeengt und es entstehen ein oder mehrere *Wurzelkanäle (Canalis radicis dentis)* für den Ein- und Austritt von Gefäßen und Nerven. Durch fortschreitende Auflösung der epithelialen Wurzelscheide (von zervikal nach apikal) kommen die Mesenchymzellen des Zahnsäckchens in Kontakt mit dem Wurzeldentin und beginnen mit der Bildung von *Zement (Lamina cementoblastica)*. Weiter peripher induziert das Wurzeldentin im angrenzenden Mesenchym des Zahnsäckchens die *Lamina periodontoblastica (spätere Wurzelhaut = Desmodont)* sowie die *Lamina osteoblastica (künftiger Alveolarknochen).*

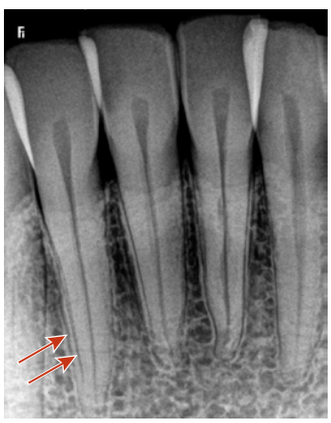
2.26 Röntgendiagnostik der Zähne





A Panoramaschichtaufnahme (PSA)/Orthopantomogramm (OPG)
Die Panoramaschichtaufnahme (PSA) ist eine Übersichtsaufnahme, die einen ersten Überblick über Kiefergelenke, -höhlen und -knochen sowie den Zahnstatus (kariöse Läsionen, Lage der Weisheitszähne) verschafft. Sie arbeitet nach dem Prinzip der Schichtuntersuchung, d. h. während der Aufnahme bewegen sich Strahler und Film um die darzustellende Ebenen, wobei die außerhalb dieser Schichtebene liegenden Strukturen verwischt werden. Entsprechend der Form der Kiefer ist die Ebene bei der PSA parabelförmig. Bei dem hier dargestellten Gebiss ist eine Entfernung aller vier Weisheitszähne angezeigt, da diese entweder nicht vollständig durchgebrochen (18, 28 und 38) oder querverlagert sind (48) und deshalb nicht durchbrechen können. Kommt es aufgrund der PSA zum Verdacht einer Karies oder eines Prozesses an der Zahnwurzel, werden Einzelzahnaufnahmen der betroffenen Regionen angefertigt, um durch die höhere Auflösung dieser Aufnahmen eine verfeinerte Diagnostik zu ermöglichen (s. **C**–**H**).
Neben der konventionellen (analogen) Technik, die als Bildempfänger den Röntgenfilm verwendet, wird heute zunehmend die *digitale Röntgentechnik* eingesetzt, bei der ein Sensor die absorbierten Röntgenstrahlen in digitale Signale umwandelt und am Computerbildschirm sichtbar macht. Ein wesentlicher Vorteil dieser Technik ist die Reduktion der Strahlenbelastung durch kürzere Belichtungszeiten und die leichtere Datenübermittlung.
(Wir danken Herrn Prof. Dr. med. dent. U. J. Rother, Direktor der Poliklinik für Röntgendiagnostik des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des UKEs für die Überlassung des Röntgenbildes.)
Beachte: Die oberen Schneidezähne sind breiter als die unteren. Dies führt zur Höcker-Fissuren-Verzahnung (s. S. 53).

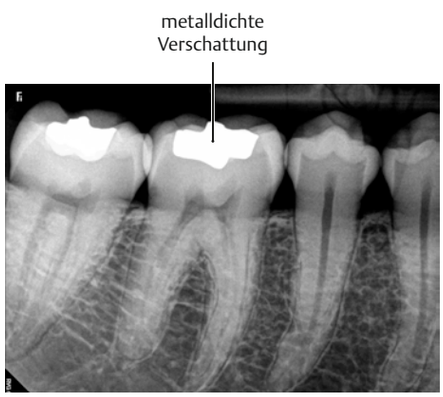
B Einzelzahnaufnahmen
Einzelzahnaufnahmen sind detaillierte Röntgenbilder von einzelnen Zähnen und ihren Nachbarzähnen. In der Regel werden *orthoradiale Aufnahmen* angefertigt, bei denen der Röntgenstrahl senkrecht auf die Tangente des Zahnbogens auftrifft, also, stark vereinfacht, geradlinig von außen auf den Zahn. Auf dem Röntgenbild sind folglich alle Strukturen, die im Strahlengang hintereinander liegen, auch *hintereinander* zu sehen, so dass sie sich überlagern. Bei mehrwurzeligen Zähnen sind dann z. B. einzelne Wurzelkanäle nicht sicher zu beurteilen (s. **C**). Dies lässt sich nur durch sog. *exzentrische Aufnahmen* erreichen, bei denen der Röntgenstrahl in einem bestimmten Winkel auf die Tangente des Zahnbogens auftrifft, so dass hintereinander liegende Strukturen deutlich voneinander zu unterscheiden sind. Eine spezielle Form der Einzelzahnaufnahme ist die sog. *Bissflügelaufnahme* (s. **H**), bei der nicht der gesamte Zahn, sondern nur der Kronenbereich aufgenommen wird. Da der Röntgenfilm mit einem Flügel versehen ist, auf den der Patient beißt, sind *Ober- und Unterkieferzähne* gleichzeitig zu sehen, so dass auch versteckte Karies, z. B. unter Zahnfüllungen oder auf den Kontaktflächen zu diagnostizieren sind.
(Wir danken Herrn Dr. med. dent. Christian Friedrichs, Praxis für Zahnerhaltung und Endodontie, Kiel, für die Überlassung der Röntgenbilder auf dieser Seite.)



C Unterkiefer Front, Zähne 32–42
Auch einwurzelige Zähne, wie die hier dargestellten Schneidezähne, haben in ⅓ der Fälle *zwei Wurzelkanäle.* Dies äußert sich bei der orthoradialen Aufnahme in Form eines brillenförmigen Querschnitts der Zahnwurzel und einer doppelten Parodontalspalte (s. Pfeile) Ob tatsächlich zwei Wurzelkanäle vorhanden sind, lässt sich aber durch die orthoradiale Aufnahme nicht sicher feststellen (s. **B**).



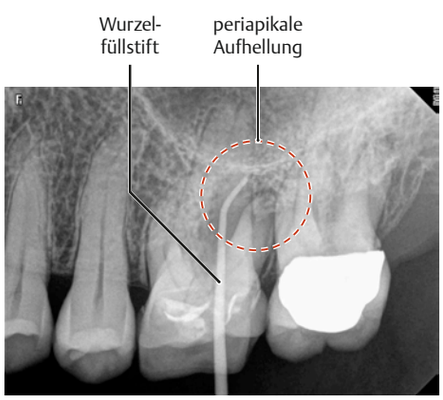
D Oberkiefer Front, Zähne 12–22
Aufhellungen, wie hier an Zahn 21 distal, können Karies, offene Kavitäten oder – wie in diesem Fall – ein altes, nicht röntgenopakes Füllungsmaterial darstellen. Das Unterfüllungsmaterial ist schwach röntgenopak.



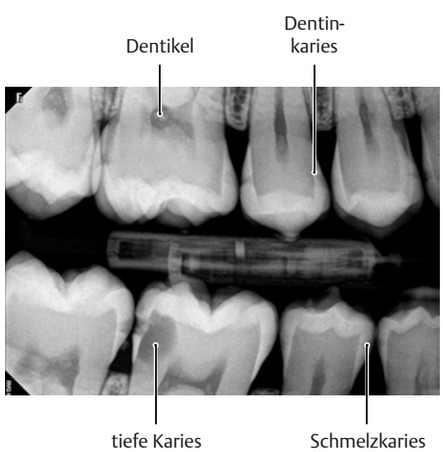
E Unterkiefer Seitenzähne, Zähne 44–47
Metalldichte Verschattungen wie im Kronenbereich der Zähne 46 und 47 können durch Metallinlays, Kronen, Amalgamfüllungen oder moderne Zinkoxidkeramiken hervorgerufen werden.



F Oberkiefer Seitenzähne, Zähne 14–17
Im Oberkiefer-Seitenzahnbereich kommt es häufig zu einer Überlagerung von Zähnen und Jochbogen, hier am oberen linken Rand zu erkennen. Die Wurzeln der Molaren sind in diesem Bereich weniger deutlich dargestellt.



G Oberkiefer Seitenzähne mit pathologischem Befund, Zähne 24–27
Nach einer Infektion des Wurzelkanalsystems und einem Übergreifen auf den periapikalen Knochen kann es zur Ausprägung einer Fistel kommen. Um den genauen Ort des entzündlichen Prozesses festzustellen, wurde hier ein Wurzelfüllstift aus Guttapercha von außen in die Fistel eingebracht und die Röntgenaufnahme erstellt. Rund um die distobukkale Wurzel des Zahns 26 ist eine Aufhellung als Zeichen der ausgeprägten Entzündung zu erkennen. Der Zahn 27 ist mit einer Krone versorgt.



H Bissflügelaufnahme zur Kariesdiagnostik
Massiver Kariesbefall am Zahn 46 distal, Schmelzkaries und teilweise beginnende Dentinkaries an den Kontaktpunkten fast aller Zähne. Die Kontaktpunkte stellen neben den Okklusalflächen (Kauflächen) typische Kariesprädilektionsstellen dar. In den Lumina der Pulpakammern sind teilweise Dentikel zu erkennen.

2.27 Lokalanästhesie der Zähne

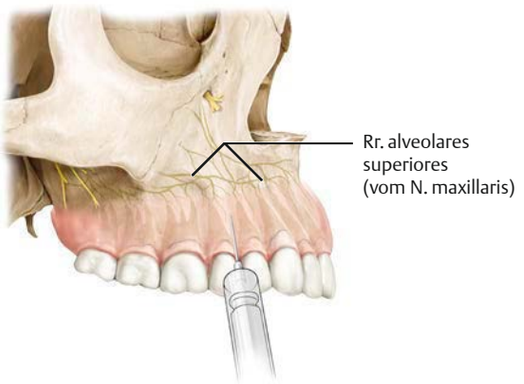
A Anatomische Grundlagen und Technik der Lokalanästhesie

Für die Lokalanästhesie bei zahnärztlichen Behandlungen sind detaillierte Kenntnisse der topografischen Anatomie der Kopf- und Halsregion essenziell. Besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang der Verlauf des N. trigeminus. Er versorgt als größter und überwiegend sensorischer Hirnnerv u. a. die zahntragenden Teile des Ober- und Unterkiefers (Alveolarknochen, Zähne und Zahnfleisch). Daneben sind v. a. topografische Kenntnisse der knöchernen Leitstrukturen unerlässlich, da sie insbesondere für die Orientierung eine wesentlich größere Rolle spielen als die Weichteile. Im Rahmen der zahnärztlichen Lokalanästhesie werden v. a. die *Infiltrations- und die Leitungsanästhesie* eingesetzt (s. u.). Die Lokalanästhesielösungen enthalten zusätzlich einen Vasokonstriktor (z. B. Adrenalin), der die Wirkdauer des Lokalanästhetikums verlängert, toxische Plasmaspiegel verhindert und die lokale Blutungsneigung reduziert.

Um eine akzidentelle intravasale Injektion auszuschließen, muss bei jeder Infiltrations- und Leitungsanästhesie aspiriert werden. Schwerwiegendste Nebenwirkungen bei der versehentlichen Punktion eines Gefäßes sind v. a. kardiovaskuläre und anaphylaktische Reaktionen.



a



b

B Prinzip einer Infiltrationsanästhesie

a Injektionstechnik am Patienten; **b** schematische Darstellung mit Sensibilitätsausfall.

Die am häufigsten verwendete Anästhesie in der Zahnheilkunde ist die Infiltrationsanästhesie (zum praktischen Vorgehen, s. **C**). Sie eignet sich v. a. für Behandlungen im Oberkiefer, da die überwiegend spongiöse Knochenstruktur der Maxilla mit ihrer äußerst dünnen Kompakta eine Diffusion des Wirkstoffs durch den Knochen zum Apex der Zähne ermöglicht. Bei der Infiltrationsanästhesie werden die terminalen Nervenendigungen, die das zu behandelnde Areal sensibel versorgen, mit Lokalanästhesielösung umspült und somit blockiert. Die Applikation erfolgt in der Regel supraperiostal im apikalen Bereich des zu behandelnden Zahnes.

Beachte: Aufgrund der deutlich dichteren kortikalen Knochenstruktur am Unterkiefer ist die Diffusion v. a. im Molarengebiet stark herabgesetzt. Aus diesem Grund wird insbesondere bei Behandlungen der Unterkieferzähne die Leitungsanästhesie eingesetzt (s. **D** u. **E**).

C Praktisches Vorgehen bei einer Infiltrationsanästhesie
(nach Daubländer in van Aken u. Wulf)

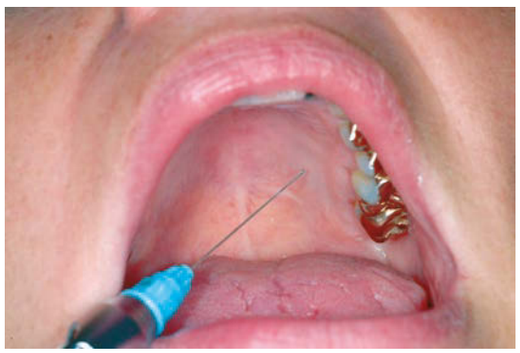
- Darstellung des Injektionsortes durch Abhalten und Straffen der Weichteile
- Penetration der Schleimhaut im Bereich der Umschlagsfalte in Apexnähe
- Kanüle zum Knochen ausrichten
- Vorschieben der Kanüle bis zum Knochenkontakt, parallel zur Zahnachse in einem Winkel von etwa 30° zur Knochenoberfläche
- Aspiration
- langsame Injektion der Lokalanästhesielösung (1 ml/30 s) unter Knochenkontakt
- Entfernen der Spritze aus der Mundhöhle
- Abwarten der Anflutung unter Beobachtung des Patienten

D Häufig eingesetzte Leitungsanästhesien in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Versorgungsgebiete einzelner Nerven und Darstellung der zugehörigen Injektionsorte)

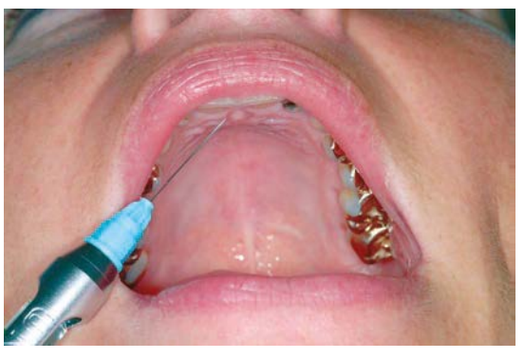
(Aus Daubländer M. Lokalanästhesie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. In van Aken H, Wulf H. Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2010)

Ziel der Leitungsanästhesie ist die reversible Ausschaltung eines kompletten sensiblen peripheren Nervs. Entscheidend hierbei ist die exakte Platzierung eines ausreichenden Volumens in Form eines Depots in enger topografischer Beziehung zu dem entsprechenden Nerv, z. B. vor dessen Eintritt in bzw. nach seinem Austritt aus dem Knochenkanal.

Nerv	Innervationsgebiet	Injektionsort	Volumen
Oberkiefer			
N. infraorbitalis	Alveolarfortsatz, vestibuläre Schleimhaut und Zähne im Oberkieferfrontzahnbereich, Oberlippe, seitliche Nase und vordere Wange	Foramen infroaorbitale	1–1,5 ml
N. nasopalatinus	Gaumenschleimhaut im Bereich der Schneidezähne	Foramen incisivum	0,1–0,2 ml
N. palatinus major	Gaumenschleimhaut bis zur Eckzahnregion der betreffenden Seite	Foramen palatinum majus	0,3–0,5 ml
Nn. alveolares maxillares posteriores	Alveolarfortsatz, vestibuläre Schleimhaut und Zähne im Molarenbereich	Tuber maxillae	1–1,8 ml
Unterkiefer			
N. alveolaris inferior	Alveolarfortsatz, linguale Schleimhaut und Zähne der entsprechenden Unterkieferhälfte, vestibuläre Schleimhaut im Frontzahngebiet	Foramen mandibulae	1,5–2 ml
N. buccalis	vestibuläre Schleimhaut im Molarenbereich	Vorderkante des aufsteigenden Unterkieferastes	0,5 ml
N. mentalis	vestibuläre Schleimhaut im Frontzahngebiet	Foramen mentale	0,5–1 ml



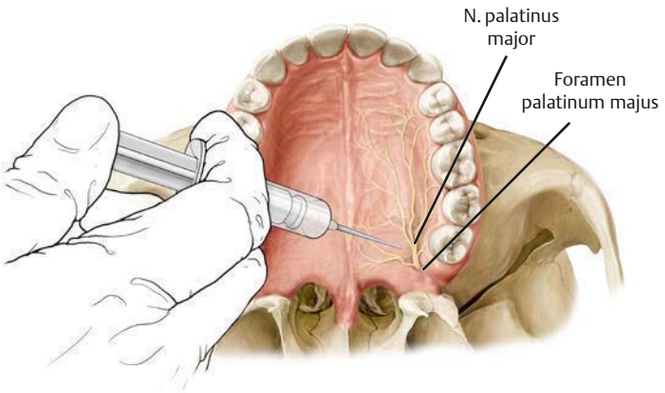
a

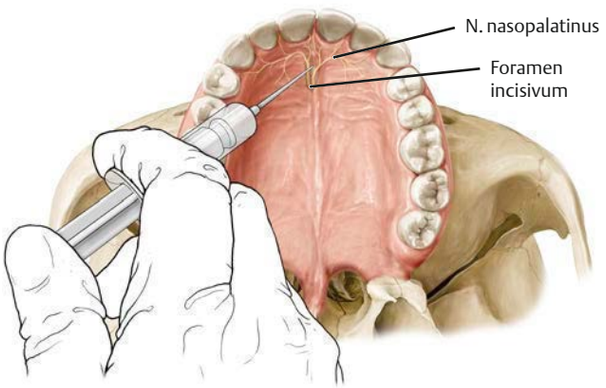


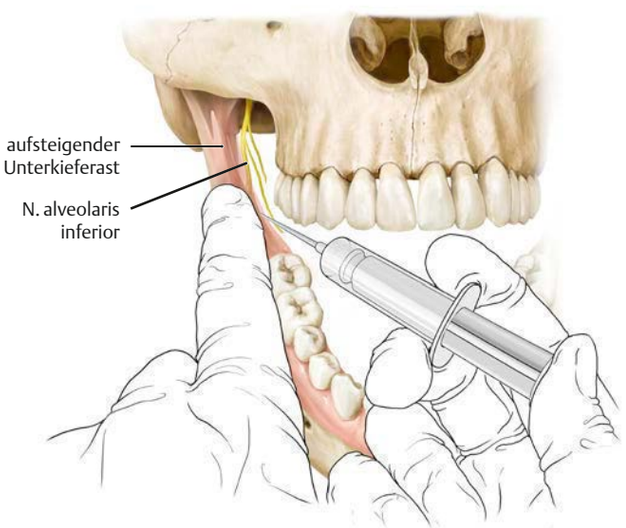
b



c







E Injektionsorte typischer Leitungsanästhesien am Ober- und Unterkiefer (Fotos aus Daubländer M. Lokalanästhesie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. In van Aken H, Wulf H. Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2010)

a Foramen palatinum majus (N. palatinus major)

Indikation: schmerzhafte Behandlung im Bereich der palatinalen Schleimhaut und des Knochens im Molaren- und Prämolarenbereich einer Oberkieferhälfte.

Vorgehen: Das Lokalanästhetikum muss möglichst nahe am Foramen palatinum majus abgegeben werden (bei Kindern palatinal des 1. Molaren, bei Erwachsenen weiter distal auf Höhe des 2.–3. Molaren). Bei weit geöffnetem Mund und rekliniertem Kopf wird die Kanüle – von der Prämolarenregion der kontralateralen Seite kommend – im 45°-Winkel zur Gaumenoberfläche bis zum Knochenkontakt vorgeschoben.

Cave: Erfolgt die Injektion zu weit distal, kommt es zur Anästhesie des ipsilateralen weichen Gaumens, was der Patient als unangenehm (Schluckbeschwerden!) empfindet.

b Foramen incisivum (N. nasopalatinus)

Indikation: schmerzhafte Behandlung im Bereich des vorderen Gaumendrittels (bis zum linken und rechten Eckzahn).

Vorgehen: Bei weit geöffnetem Mund und rekliniertem Kopf wird die Kanüle – von lateral kommend – direkt neben der Papilla incisiva (Schleimhauterhebung über dem Foramen incisivum) etwa 1 cm palatinal des Gingivarandes der Schneidezähne eingestochen und nach medial-distal vorgeschoben.

Cave: Derbe Schleimhaut erfordert hohen Applikationsdruck.

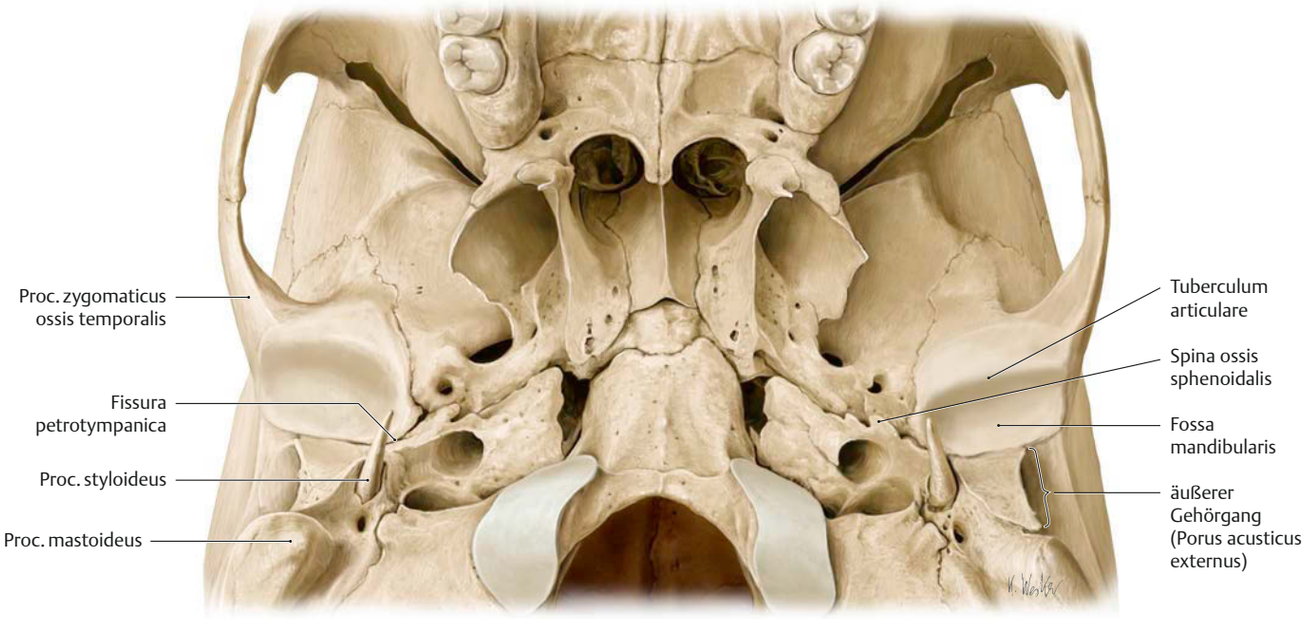
c Foramen mandibulare (N. alveolaris inferior)

Indikation: schmerzhafte Behandlung im Bereich der Unterkieferzähne sowie der bukkalen Schleimhaut mesial des Foramen mentale.

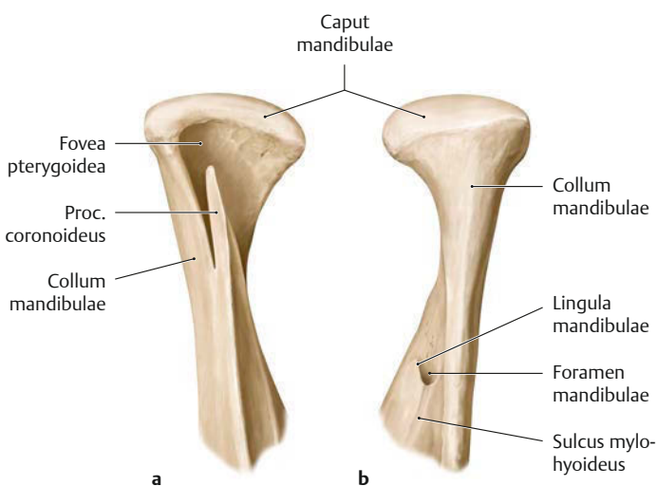
Vorgehen: Bei weit geöffnetem Mund palpiert der Zeigefinger des Therapeuten – auf der Zahnreihe liegend – die Vorderkante des aufsteigenden Unterkieferastes. Die Kanüle wird – von der Prämolarenregion der Gegenseite kommend – etwas 1 cm oberhalb der Okklusionsebene, lateral der Plica pterygomandibularis eingestochen und erreicht nach etwa 2,5 cm – kranial der Lingula mandibulae – das Foramen mandibulae.

Cave: Bei Kindern liegt das Foramen mandibulae auf Höhe der Kauebene.

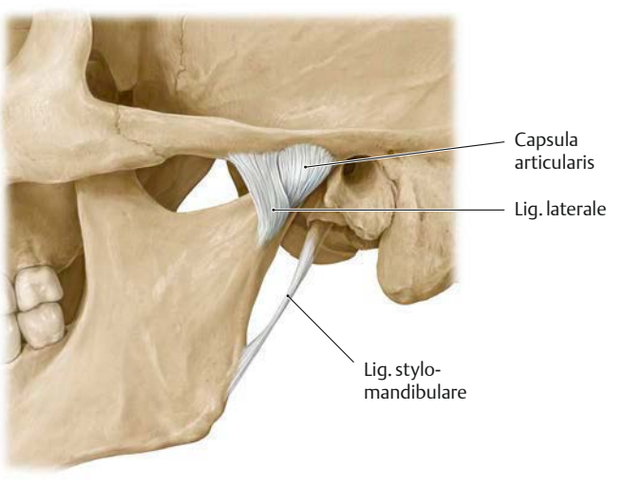
2.28 Kiefergelenk (Articulatio temporomandibularis)



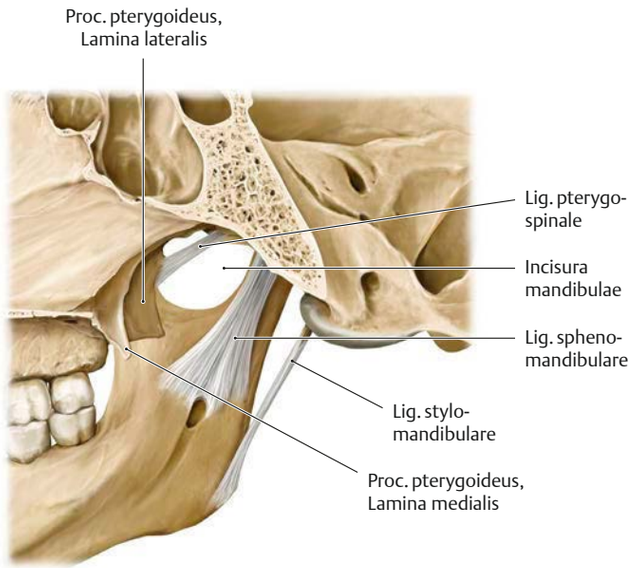
A Gelenkpfanne (Fossa mandibularis) des Kiefergelenks an der äußeren Schädelbasis
Ansicht von unten. Im Kiefergelenk artikuliert das Caput mandibulae des Unterkiefers mit der hier dargestellten Gelenkpfanne, der Fossa mandibularis. Sie ist ein Teil der Pars squamosa des Schläfenbeins. An der Vorderseite der Fossa mandibularis liegt das Tuberculum articulare. Da der Gelenkkopf (s. **B**) deutlich kleiner ist als die Gelenkpfanne, ist eine ausreichende Beweglichkeit des Kiefergelenks gewährleistet. Im Unterschied zu anderen Gelenkflächen ist die Fossa mandibularis mit Faserknorpel und nicht mit hyalinem Knorpel überzogen. Sie ist daher am Schädel nicht so genau abzugrenzen, wie das sonst bei Gelenken der Fall ist. Hinter der Pfanne des Kiefergelenks liegt der äußere Gehörgang. Diese enge Nachbarschaft erklärt, warum es bei Gewalteinwirkung auf den Unterkiefer zu Schädigungen des Gehörgangs kommen kann.



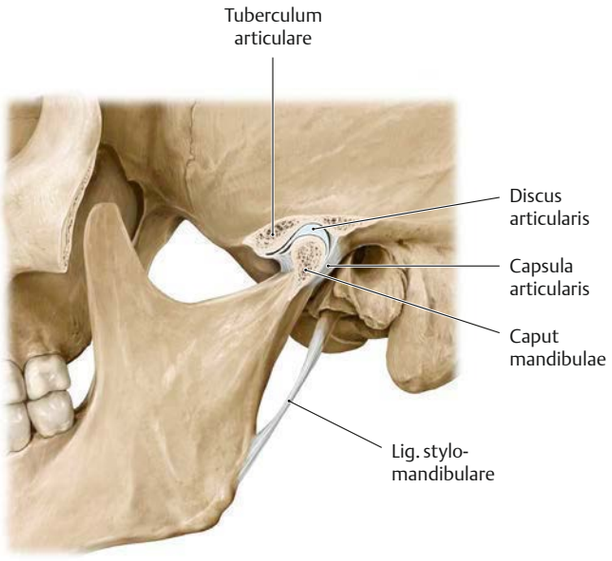
B Gelenkkopf (Caput mandibulae) des rechten Kiefergelenks
Ansicht von frontal (**a**) und dorsal (**b**). Der Gelenkkopf des Unterkiefers, das Caput mandibulae, ist nicht nur deutlich kleiner als die Gelenkpfanne, sondern auch walzenförmig. Diese Walzenform erhöht die Beweglichkeit des Kopfes zusätzlich, da sie Drehbewegungen um eine vertikale Achse zulässt.



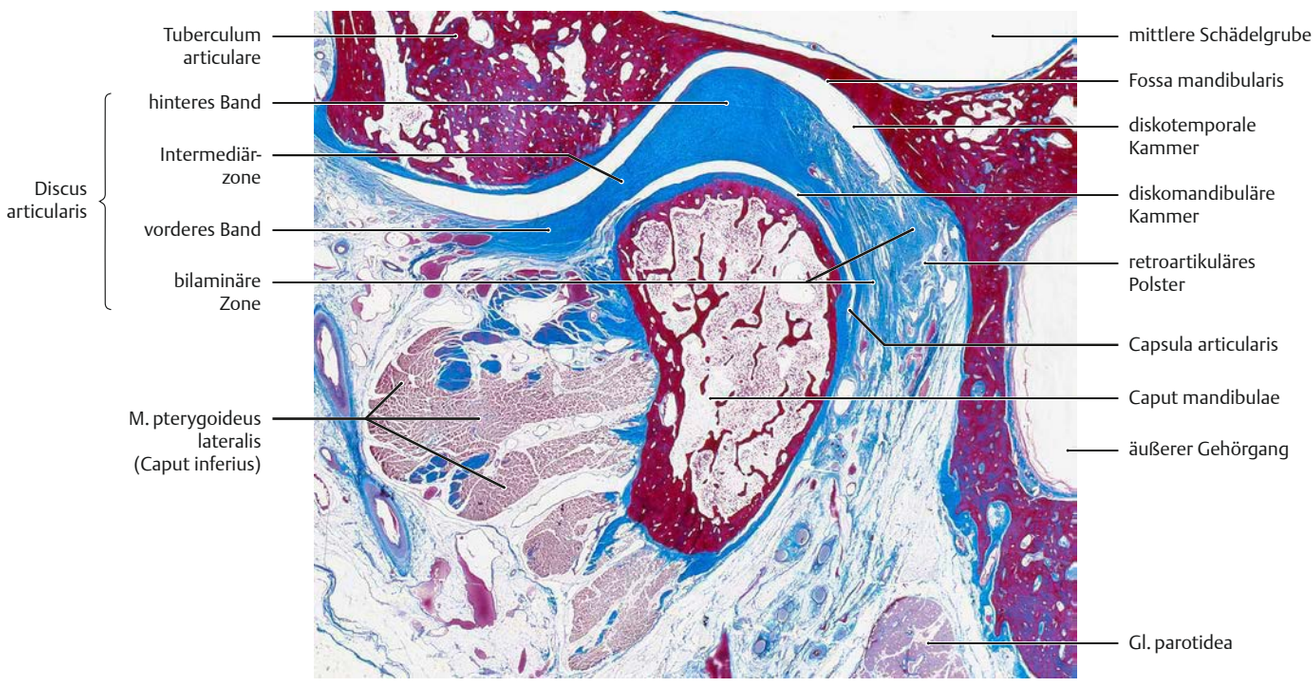
C Linkes Kiefergelenk mit Bandapparat
Ansicht von lateral. Das Kiefergelenk ist von einer relativ schlaffen Kapsel umgeben (Gefahr der Luxation!), die dorsal bis an die Fissura petrotympanica (s. **A**) heranreicht. Es wird von drei Bändern gesichert. In dieser Ansicht von lateral erkennt man das stärkste Band, das Lig. laterale, das auf der Kapsel liegt und mit ihr verwoben ist, sowie das schwächere Lig. stylomandibulare.



D Rechtes Kiefergelenk mit Bandapparat
Ansicht von medial. In der Ansicht von medial wird zusätzlich das Lig. sphenomandibulare sichtbar, das von der Spina ossis sphenoidalis (s. **A**) zur Innenseite des R. mandibularis zieht.

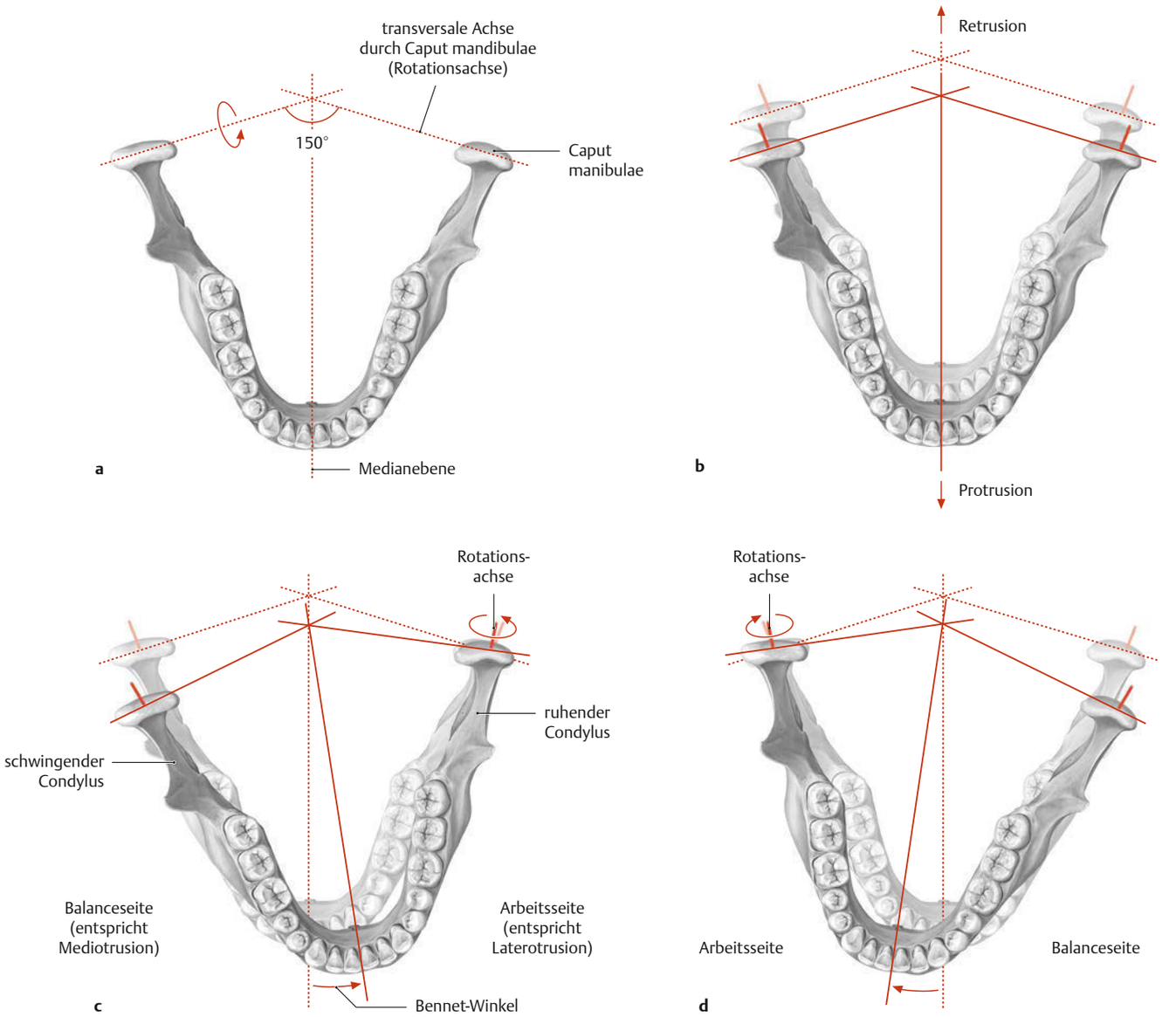


E Eröffnetes, linkes Kiefergelenk
Ansicht von lateral. Die Kapsel verläuft dorsal bis zur hier nicht dargestellten Fissura petrotympanica. Man erkennt den zwischen Kopf und Pfanne gelegenen Discus articularis, der an allen Seiten mit der Kapsel verwachsen ist.



F Histologie des Kiefergelenks
Sagittalschnitt durch den lateralen Bereich eines menschlichen Kiefergelenks, Ansicht von lateral (Färbung: Azan, Schnittdicke 10 µm).
Der Discus articularis teilt das Kiefergelenk in zwei vollständig getrennte Gelenkkammern, eine kraniale „diskotemporale“ und eine kaudale „diskomandibuläre“ Kammer. Beim Diskus unterscheidet man einen vorderen avaskulären, kollagenfaserreichen Abschnitt von einem hinteren, vaskularisierten Abschnitt. Während der vordere Abschnitt in seiner Gesamtheit eine bikonkave Form mit einem vorderen und hinteren Band und einer dazwischen liegenden Intermediärzone aufweist, teilt sich der hintere Abschnittl in zwei Blätter auf (sog. *bilaminäre Zone*). Das obere Blatt enthält elastische Fasern und inseriert im Bereich der Fissura petrosquamosa, das untere Blatt zieht zum Collum mandibulae. Zwischen den beiden Blättern liegt das sog. *retroartikuläre Polster.* Die Gelenkkapsel ist insgesamt schwach ausgebildet und wird lateral und medial von den Kollateralbändern (s. **C**) gesichert (im Bild nicht angeschnitten).
Beachte: Während das Caput inferius des M. pterygoideus lateralis am Proc. condylaris (Collum mandibulae) inseriert, zieht das Caput superius des Muskel zum vorderen Band des Discus articularis (im Bild nicht zu sehen).

2.29 Biomechanik des Kiefergelenks



A Bewegungsmöglichkeiten im Kiefergelenk, Unterkiefer
Ansicht von oben. Die meisten Bewegungen im Kiefergelenk sind kombinierte Bewegungen. Sie lassen sich auf drei Grundbewegungen zurückführen:

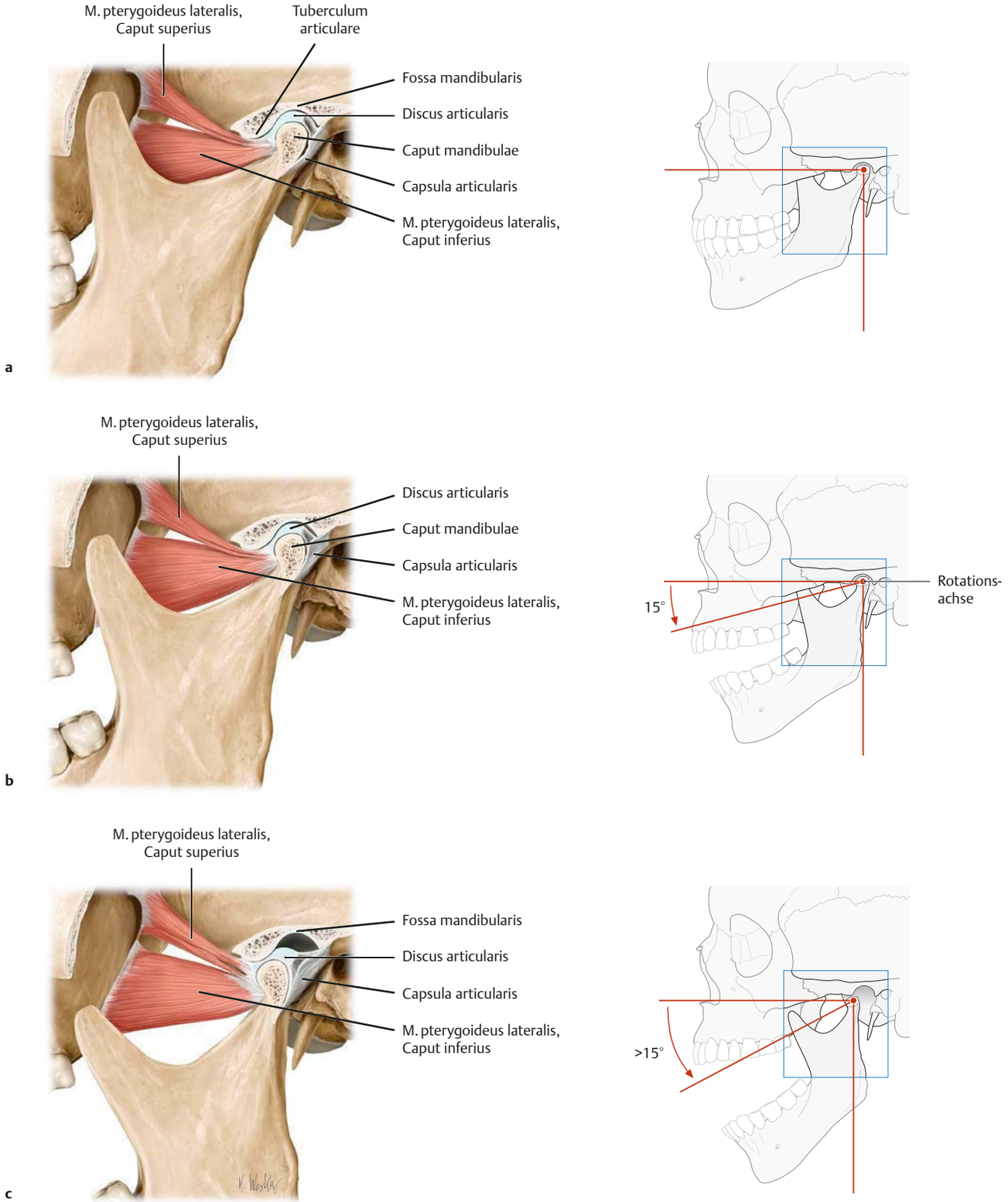
- Rotationsbewegung (Öffnen und Schließen des Mundes),
- Translationsbewegung (Schiebebewegung) und
- Mahlbewegung.

a Rotationsbewegung. Die Gelenkachse bei der Rotationsbewegung geht quer durch beide Capita mandibulae. Beide Bewegungsachsen schneiden sich in einem individuell variablen Winkel von etwa 150° (Schwankungsbreite 110–180°). Bei dieser Bewegung ist das Kiefergelenk ein Scharniergelenk (Abduktion, Senken, und Adduktion, Heben, des Unterkiefers). Eine solch reine Rotationsbewegung erfolgt beim Menschen meist nur im Schlaf, bei leicht geöffnetem Mund (Öffnungswinkel bis etwa 15°, s. **Bb**). Bei jeder weiteren Öffnung des Mundes über 15° hinaus ist sie mit einer Translationsbewegung kombiniert (Drehgleiten).

b Translationsbewegung. Bei dieser Bewegung wird der Unterkiefer vorgeschoben und zurückgezogen (Protrusion bzw. Retrusion). Die Achsen dieser Bewegung verlaufen parallel zur Medianachse durch die Mitte der Kieferköpfchen.

c Mahlbewegung im linken Kiefergelenk. Bei der Mahlbewegung unterscheidet man den ruhenden und den schwingenden Condylus. Der ruhende Condylus auf der linken Arbeitsseite rotiert um eine nahezu senkrechte Achse (ebenfalls eine Rotationsachse) durch das Caput mandibulae, während der schwingende Condylus der rechten Balanceseite nach vorn-innen im Sinne einer Translationsbewegung schwenkt. Das Ausmaß der Unterkieferschwenkung wird in Grad gemessen und als Bennet-Winkel bezeichnet. Beim Schwenken des Unterkiefers wird auf der Arbeitsseite eine Laterotrusion und auf der Balanceseite eine Mediotrusion durchgeführt.

d Mahlbewegung im rechten Kiefergelenk. Jetzt ist das rechte Kiefergelenk die Arbeitsseite, der rechte ruhende Condylus dreht sich um die nahezu senkrechte Rotationsachse, während der linke Condylus nach vorn-innen schwenkt: Balanceseite.



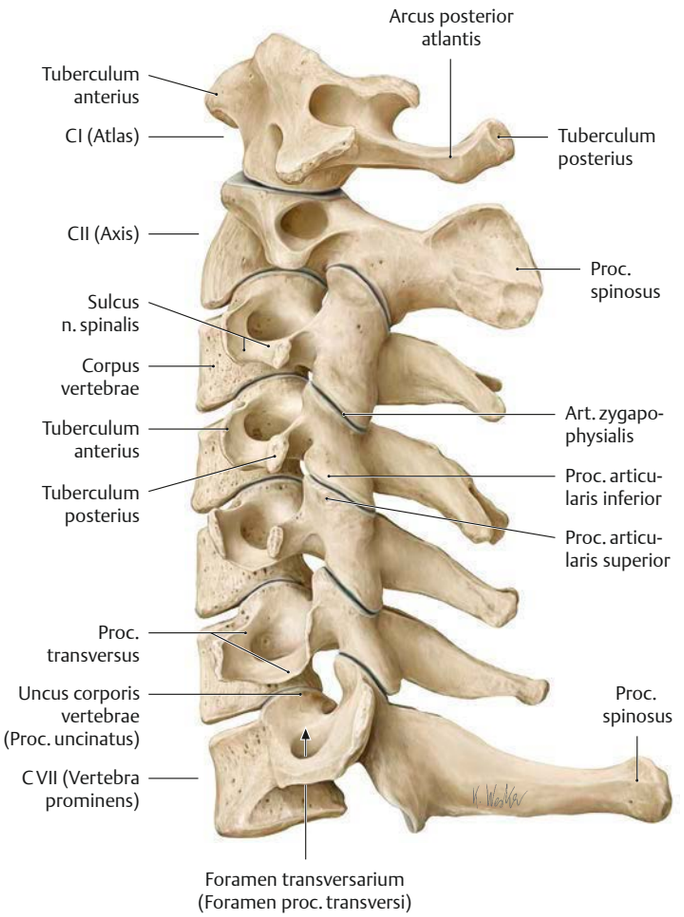
B Kiefergelenksbewegungen
Ansicht von links lateral. Auf der linken Seite ist jeweils das Gelenk inklusive Diskus und Kapsel sowie der M. pterygoideus lateralis dargestellt, rechts schematisch der Achsenverlauf. Muskel, Kapsel und Diskus bilden ein funktionell gekoppeltes muskulo-disko-kapsuläres System, das beim Öffnen und Schließen des Mundes eng zusammenarbeitet.

a Geschlossener Mund. In der Ausgangssituation bei geschlossenem Mund ruht das Caput mandibulae in der Fossa mandibularis des Os temporale.

b Mundöffnung bis 15°. Bis zu diesem Grad der Abduktion verbleibt das Caput mandibulae in der Fossa mandibularis;

c Mundöffnung größer als 15°. Das Caput mandibulae verlagert sich nach vorne auf das Tuberculum articulare; damit verschiebt sich die Gelenkachse, die quer durch das Caput mandibulae verläuft, nach ventral. Der Discus articularis wird durch das Caput superius des M. pterygoideus lateralis nach vorne gezogen, das Caput mandibulae durch sein Caput inferius.

2.30 Knochen der Halswirbelsäule



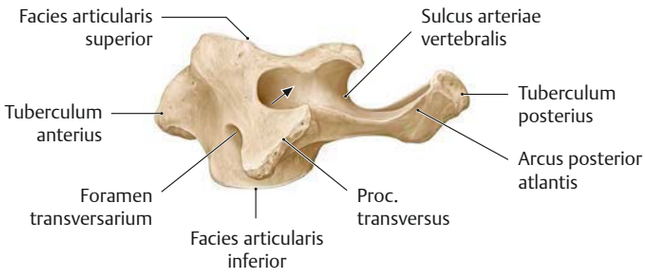
A Halswirbelsäule in der Ansicht von links

Die Halswirbelsäule besteht aus sieben Wirbeln, von denen die obersten beiden, Atlas und Axis, nicht dem allgemeinen Aufbau der Wirbel entsprechen. Sie bilden die Kopfgelenke, die in der nächsten Lerneinheit besprochen werden. Bei den übrigen fünf Wirbeln erkennt man die folgenden Bauelemente:

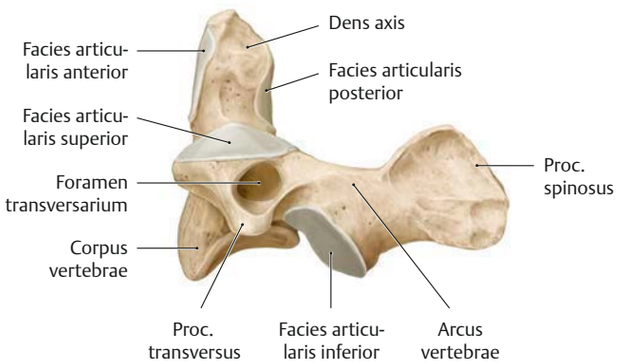
- einen Wirbelkörper (Corpus vertebrae),
- einen Wirbelbogen (Arcus vertebrae),
- einen Dornfortsatz (Proc. spinosus),
- zwei Querfortsätze (Procc. transversi) und
- vier Gelenkfortsätze (Procc. articulares).

Folgende Merkmale sind charakteristisch für Halswirbel:

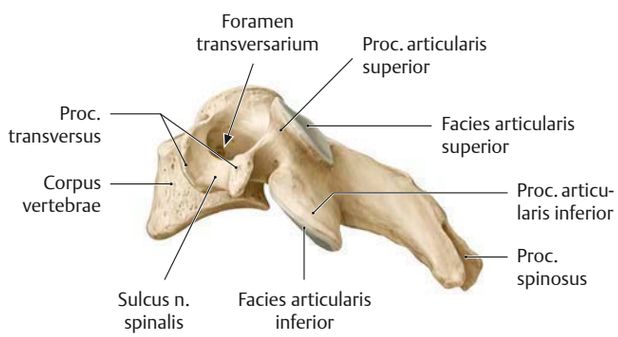
- gegabelte Dornfortsätze,
- Foramen transversarium in den Querfortsätzen,
- großes dreieckiges Foramen vertebrale sowie
- Unkovertebralgelenke (s. S. 76 f).



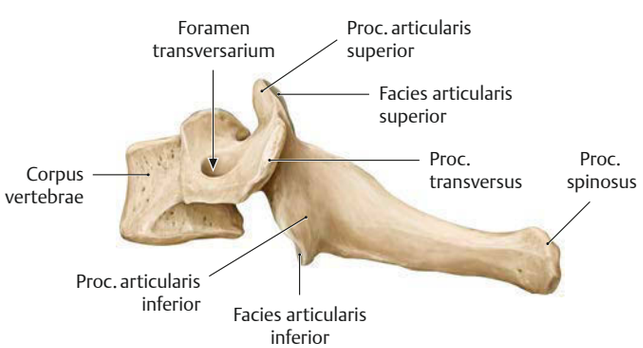
a 1. Halswirbel (Atlas)



b 2. Halswirbel (Axis)

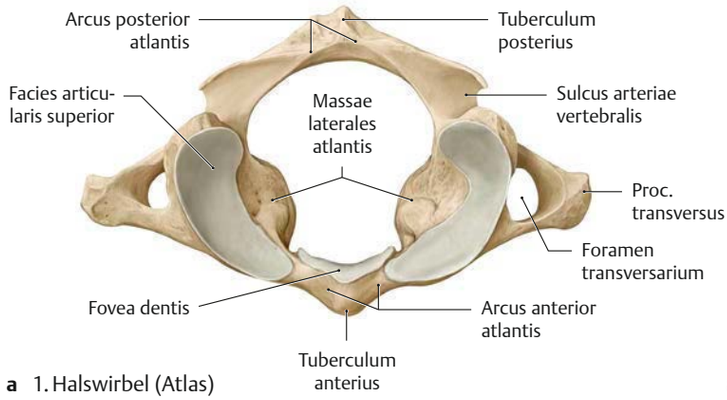


c 4. Halswirbel

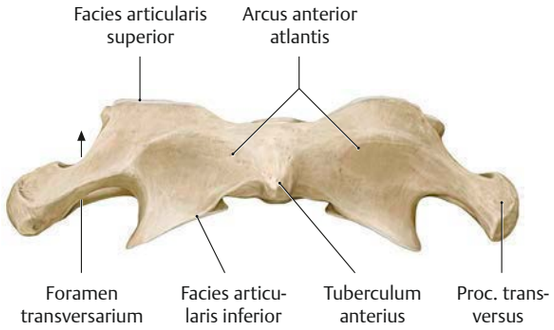


d 7. Halswirbel (Vertebra prominens)

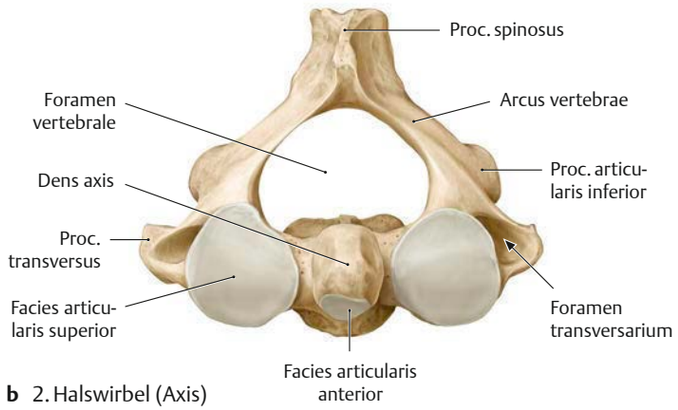
B Halswirbel in der Ansicht von links



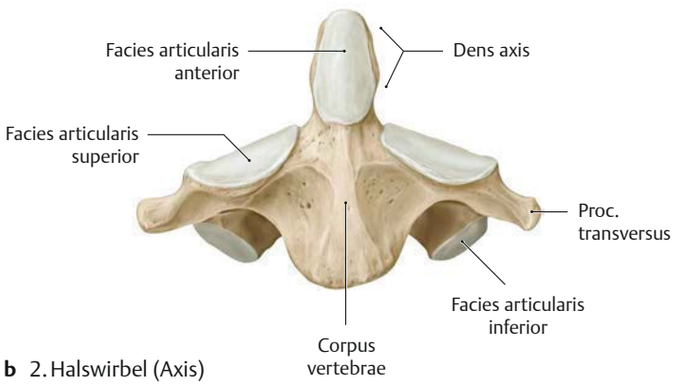
a 1. Halswirbel (Atlas)



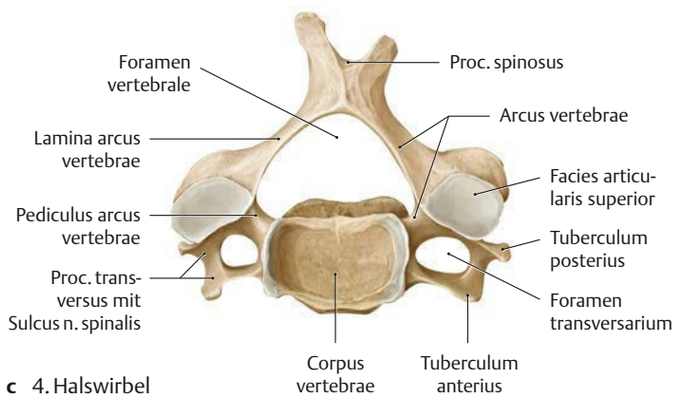
a 1. Halswirbel (Atlas)



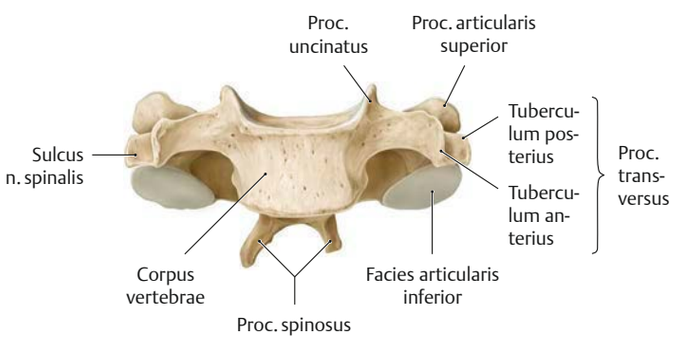
b 2. Halswirbel (Axis)



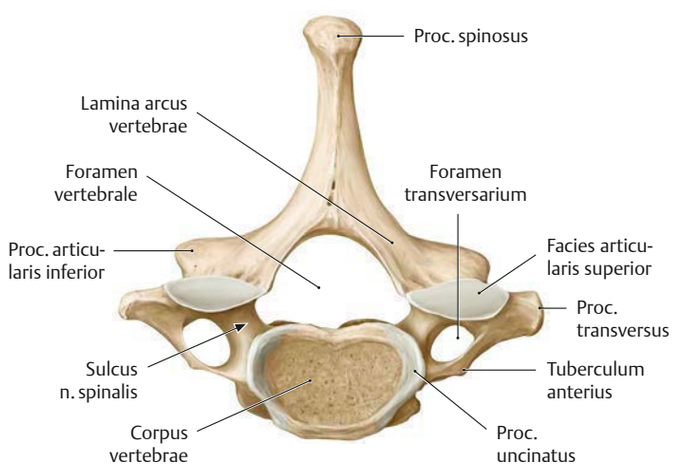
b 2. Halswirbel (Axis)



c 4. Halswirbel

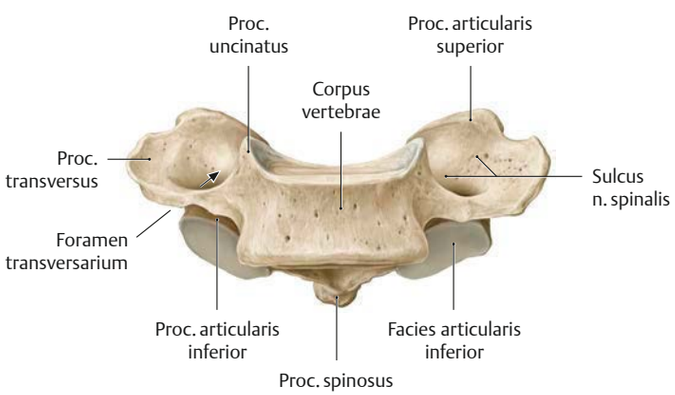


c 4. Halswirbel



d 7. Halswirbel (Vertebra prominens)

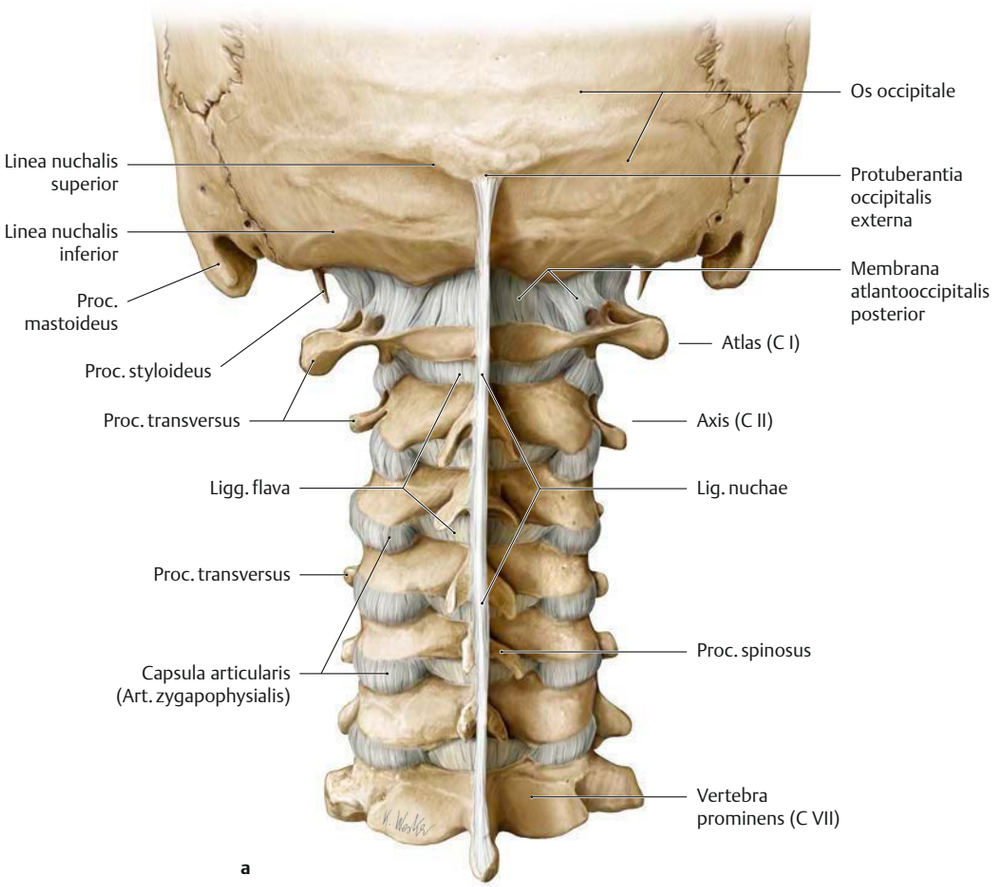
C Halswirbel in der Ansicht von kranial



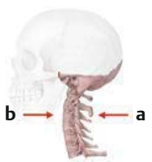
d 7. Halswirbel (Vertebra prominens)

D Halswirbel in der Ansicht von ventral

2.31 Bandapparat der Halswirbelsäule



A Bänder der Halswirbelsäule
a Ansicht von dorsal;
b Ansicht von ventral nach Entfernung der vorderen Schädelbasis (zum Bandapparat der oberen Halswirbelsäule, insbesondere Kopfgelenke, s. S. 74).



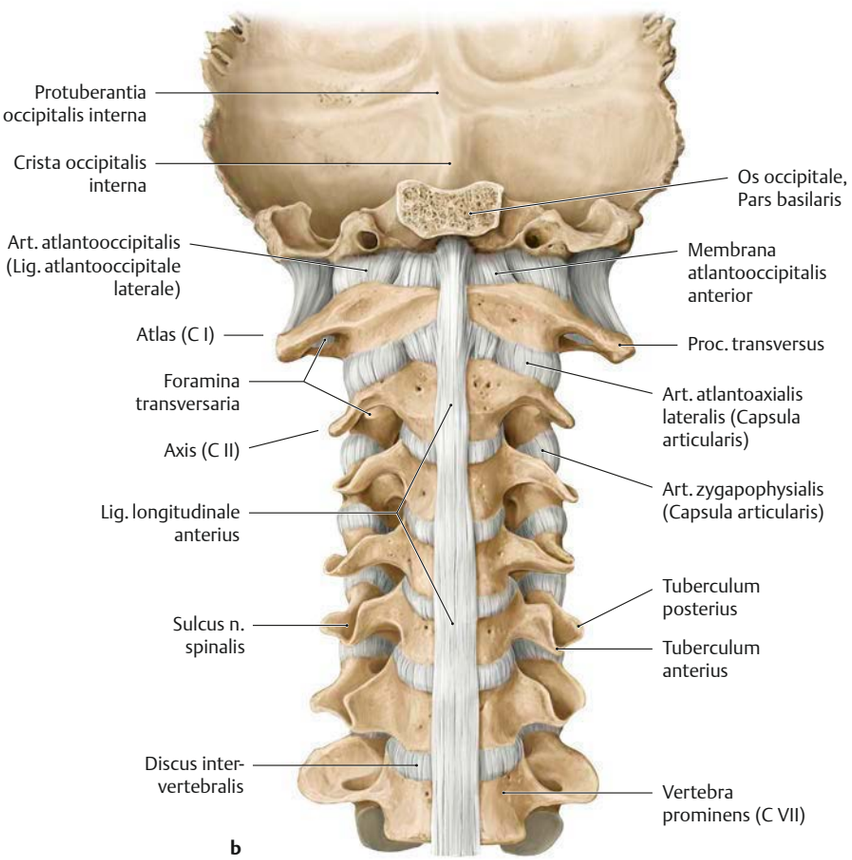
B Kopfgelenke
Als Kopfgelenke bezeichnet man die gelenkigen Verbindungen zwischen Atlas (1. Halswirbel) und Os occipitale (Hinterhaupt) einerseits (Art. atlantooccipitalis) sowie zwischen Atlas und Axis (2. Halswirbel) andererseits (Artt. atlantoaxiales). Insgesamt sind sechs anatomisch getrennte Gelenke zu unterscheiden, die jedoch mechanisch miteinander kombiniert sind und somit eine Funktionsgemeinschaft bilden (vgl. S. 74).

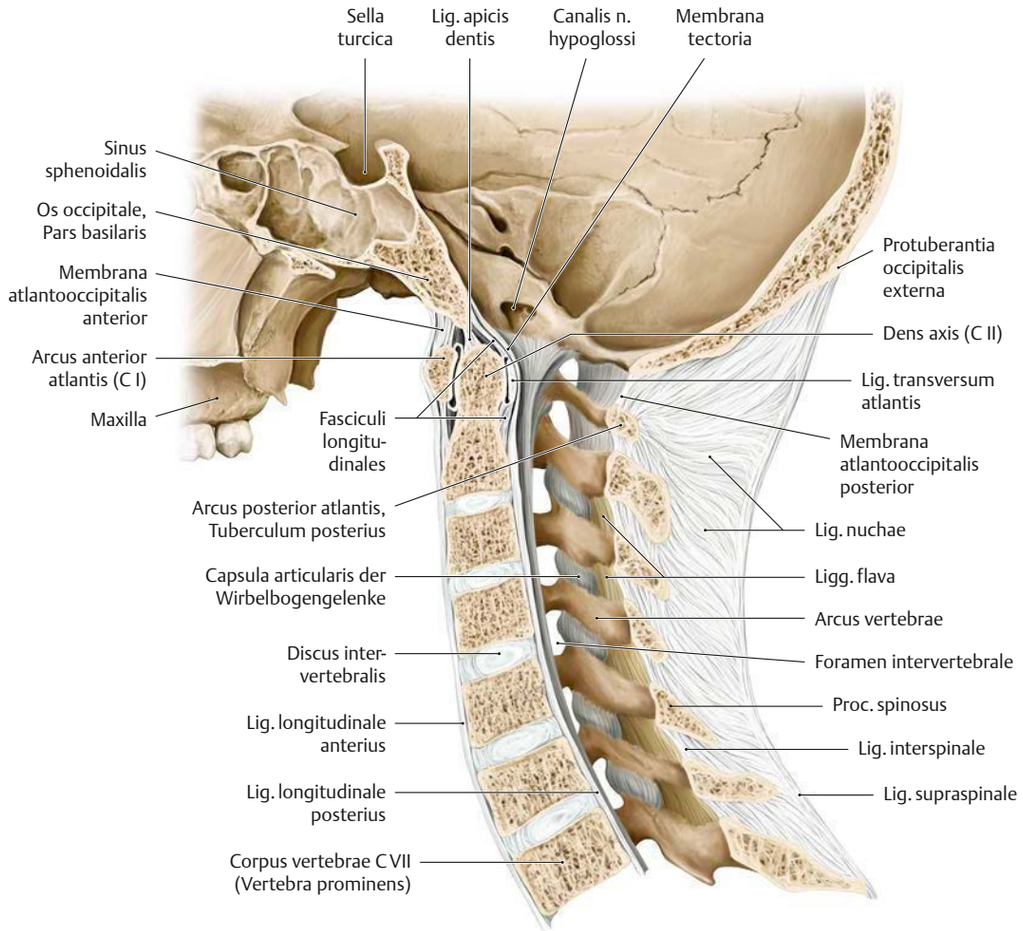
Oberes Kopfgelenk (Art. atlantooccipitalis)

Paarige gelenkige Verbindung der ovalen, leicht konkaven Foveae articulares superiores des Atlas mit den konvex geformten Condyli occipitales des Hinterhaupts.

Untere Kopfgelenke (Artt. atlantoaxiales)

- *Art. atlantoaxialis lateralis* = paarige gelenkige Verbindung zwischen den unteren Gelenkflächen des Atlas und den oberen Gelenkflächen des Axis
- *Art. atlantoaxialis mediana* = unpaares Gelenk (mit einer vorderen und hinteren Abteilung) zwischen Dens axis, Fovea dentis atlantis und überknorpelter Fläche des Lig. transversum atlantis (s. S. 74)



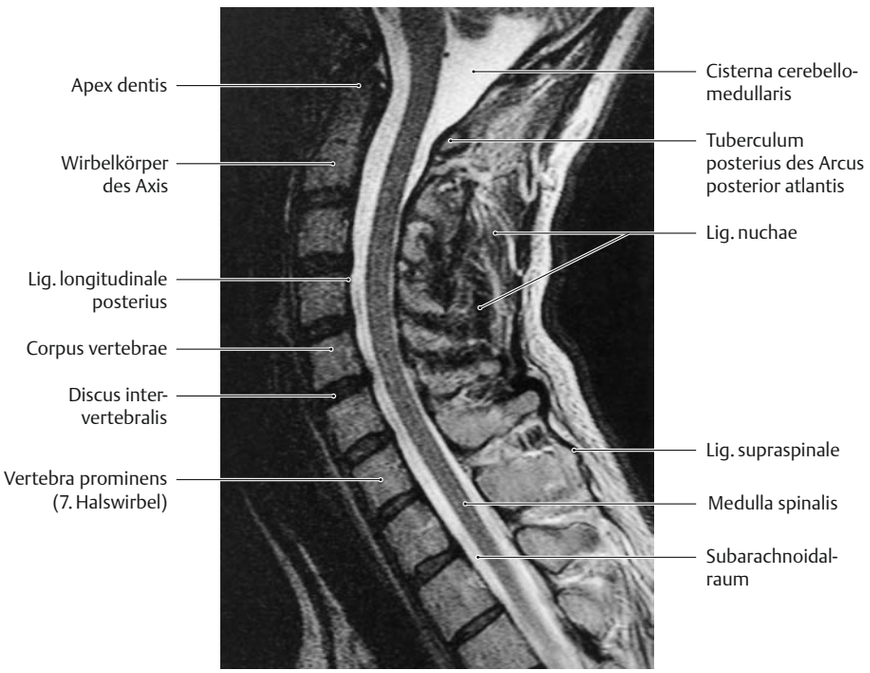


C Bandapparat der Halswirbelsäule: Lig. nuchae
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links. Das Lig. nuchae ist der sagittal ausgerichtete, verbreiterte Teil des Lig. supraspinale, der sich von der Vertebra prominens bis zur Protuberantia occipitalis externa (s. **A**) erstreckt. (Zum Bandapparat des oberen und unteren Kopfgelenks s. S. 74.)



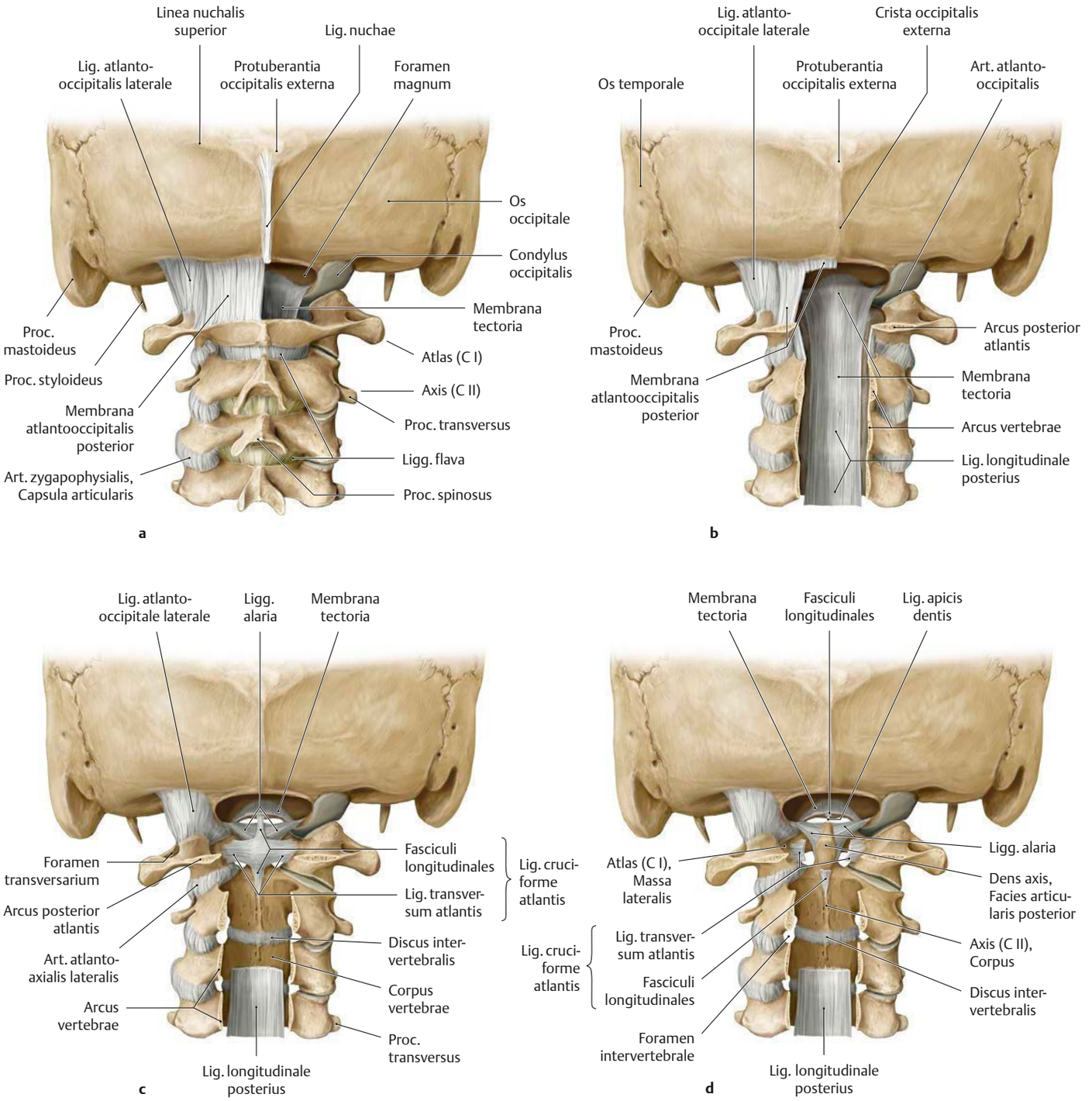


D Nativröntgenbild der Halswirbelsäule von lateral



E Magnetresonanztomografie (MRT) der Halswirbelsäule
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links, T2-gewichtete TSE-Sequenz (aus Vahlensieck u. Reiser: MRT des Bewegungsapparates, 2. Aufl. Thieme, Stuttgart 2001).

2.32 Oberes und unteres Kopfgelenk



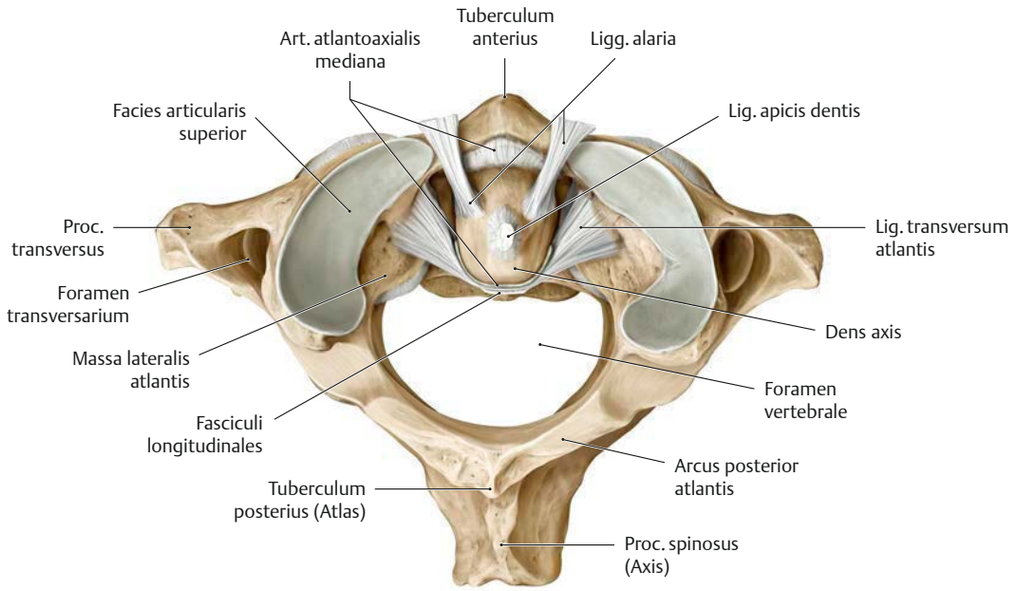
A Bandapparat der Kopfgelenke
Schädel und obere Halswirbelsäule, Ansicht von dorsal.

a Die Membrana atlantooccipitalis posterior, das „Lig. flavum“ (vgl. S. 72) zwischen Atlas und Os occipitale, zieht vom hinteren Atlasbogen zum hinteren Rand des Foramen magnum (auf der rechten Seite teilweise entfernt).

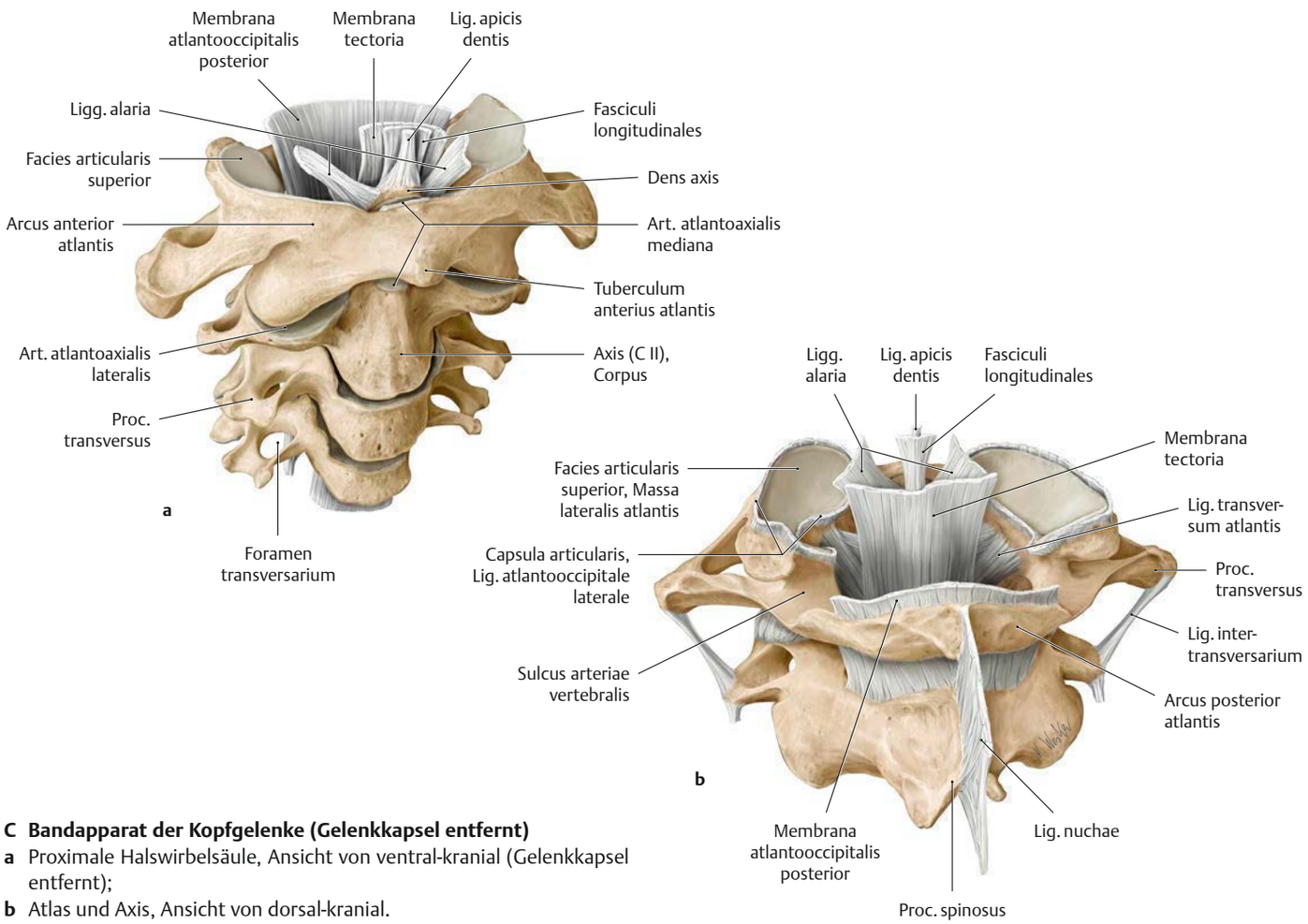
b Nach Eröffnung des Wirbelkanals und Entfernung des Rückenmarks erkennt man als vordere Begrenzung des Wirbelkanals auf Höhe der Kopfgelenke die Membrana tectoria, eine verbreiterte Fortsetzung des Lig. longitudinale posterius.

c Nach Entfernung der Membrana tectoria erscheint das sog. „Kreuzband“ (Lig. cruciforme atlantis). Es besteht aus einem kräftigen horizontal verlaufenden Schenkel, dem Lig. transversum atlantis, und schwächeren vertikal verlaufenden Längszügen, den Fasciculi longitudinales.

d Das Lig. transversum atlantis und die Fasciculi longitudinales sind teilweise entfernt. Man erkennt die paarigen Ligg. alaria, die von den Seitenflächen des Dens axis zu den jeweiligen Innenflächen der Condyli occipitales ziehen und das unpaare Lig. apicis dentis, das von der Spitze des Dens axis zum Vorderrand des Foramen magnum verläuft.

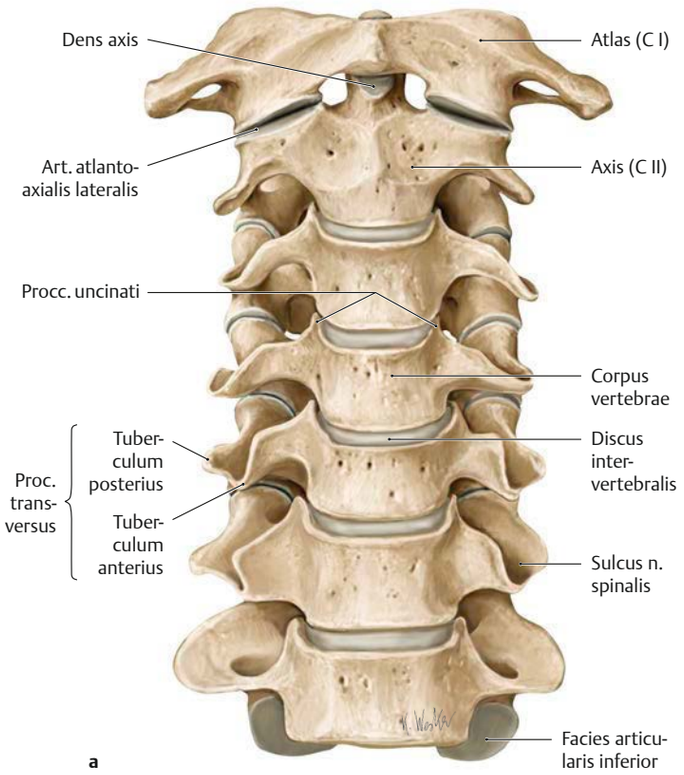


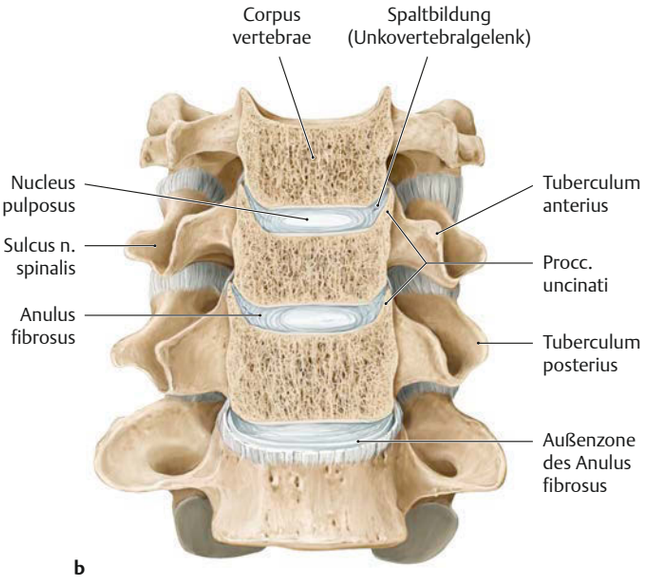
B Bandapparat der Art. atlantoaxialis mediana
Atlas und Axis, Ansicht von kranial. (Fovea dentis als Bestandteil der Art. atlantoaxialis mediana nicht zu sehen, da von der Gelenkkapsel verdeckt.)



C Bandapparat der Kopfgelenke (Gelenkkapsel entfernt)
a Proximale Halswirbelsäule, Ansicht von ventral-kranial (Gelenkkapsel entfernt);
b Atlas und Axis, Ansicht von dorsal-kranial.

2.33 Unkovertebralgelenke

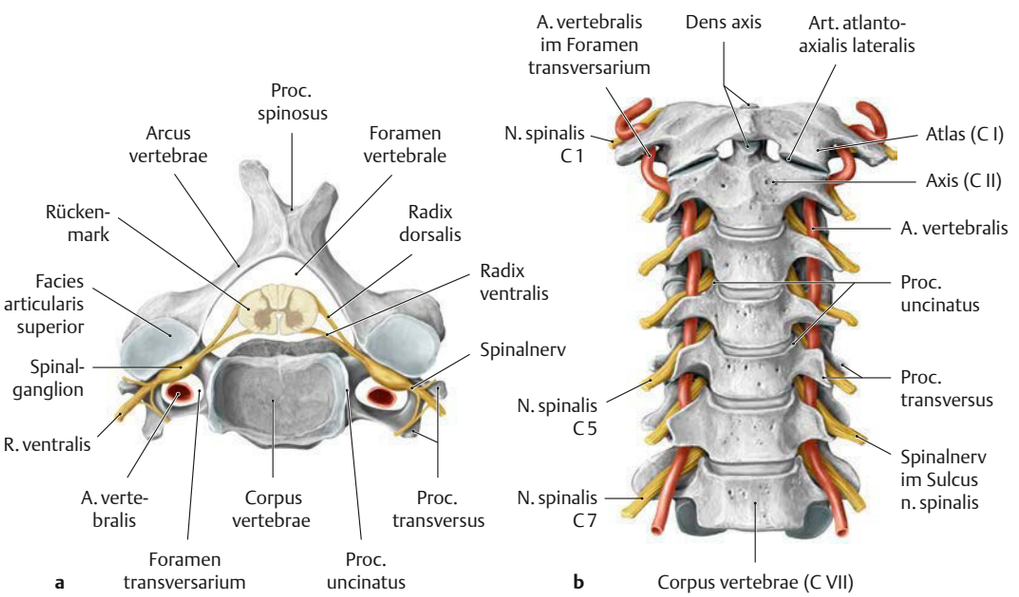




A Unkovertebralgelenke bei einem jungen Erwachsenen
Halswirbelsäule eines 18-jährigen Mannes, Ansicht von ventral.

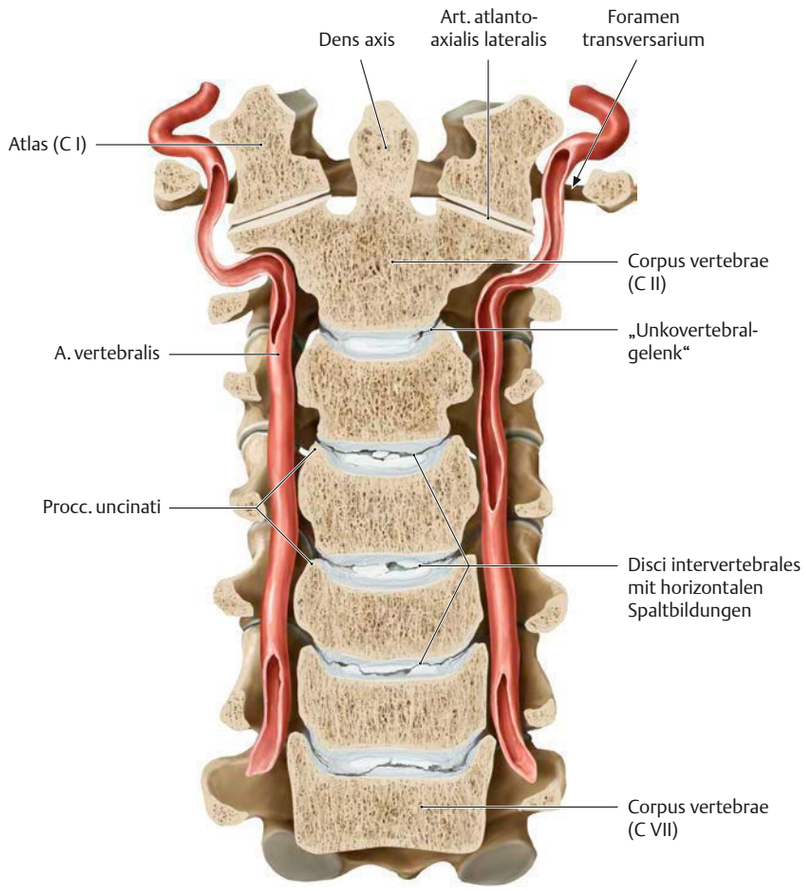
a Beim 3.–7. Halswirbel besitzen jeweils die kranialen Deckplatten der Wirbelkörper seitliche Erhebungen (Unci corporis vertebrae bzw. Procc. uncinati). Diese Erhebungen entstehen erst im Laufe der Kindheit. Im Alter von etwa zehn Jahren treten sie allmählich mit einer halbmondförmigen Schrägkante an der Unterfläche des nächsten, oben angrenzenden Wirbelkörpers in Kontakt. Dadurch kommt es in den äußeren Anteilen der Zwischenwirbelscheiben zu seitlichen Spaltbildungen (sog. Unkovertebralspalten oder -gelenke, s. **b**)

b 4.–7. Halswirbel. Zur besseren Darstellung der Unkovertebralgelenke bzw. -spalten sind die Wirbelkörper des 4., 5. und 6. Halswirbels frontal geschnitten. Die Unkovertebralspalten werden seitlich von einer bindegewebigen Struktur, einer Art Gelenkkapsel, begrenzt und ähneln daher den Gelenkspalten echter Gelenke. Diese Spalten bzw. Risse im Discus intervertebralis wurden bereits 1858 von dem Anatomen Hubert von Luschka beschrieben, der sie als sog. *„Hemiarthroses laterales"* bezeichnete. Er sah in ihnen primäre Einrichtungen, die die Beweglichkeit der Halswirbelsäule begünstigen und daher einen funktionellen Vorteil darstellen (nach Präparaten der Anatomischen Sammlung der Universität Kiel).

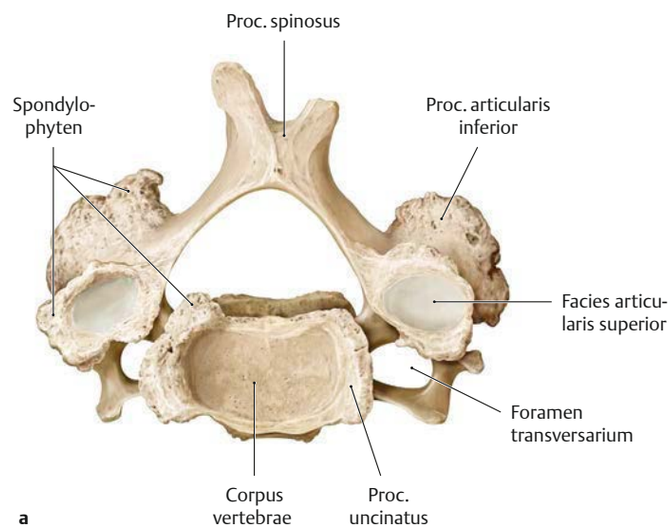


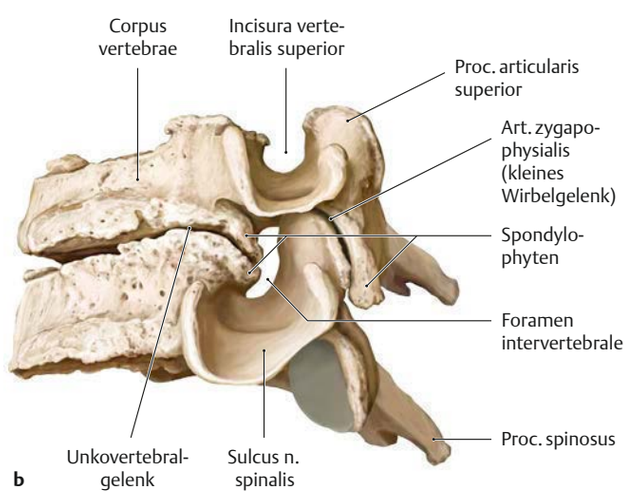
B Topografische Beziehung von Spinalnerv und A. vertebralis zum Proc. uncinatus
a 4. Halswirbel mit Rückenmark, Spinalwurzeln, Spinalnerven und Aa. vertebrales, Ansicht von kranial;
b Halswirbelsäule mit beidseitiger A. vertebralis und austretenden Spinalnerven, Ansicht von ventral.

Beachte den Verlauf der A. vertebralis durch die Foramina transversaria und den Verlauf des Spinalnervs auf Höhe der Foramina intervertebralia. Aufgrund ihrer unmittelbaren Nachbarschaft können sowohl Arterie als auch Nerv von Osteophyten, die im Rahmen einer Unkarthrose entstehen, eingeengt werden (vgl. **D**).



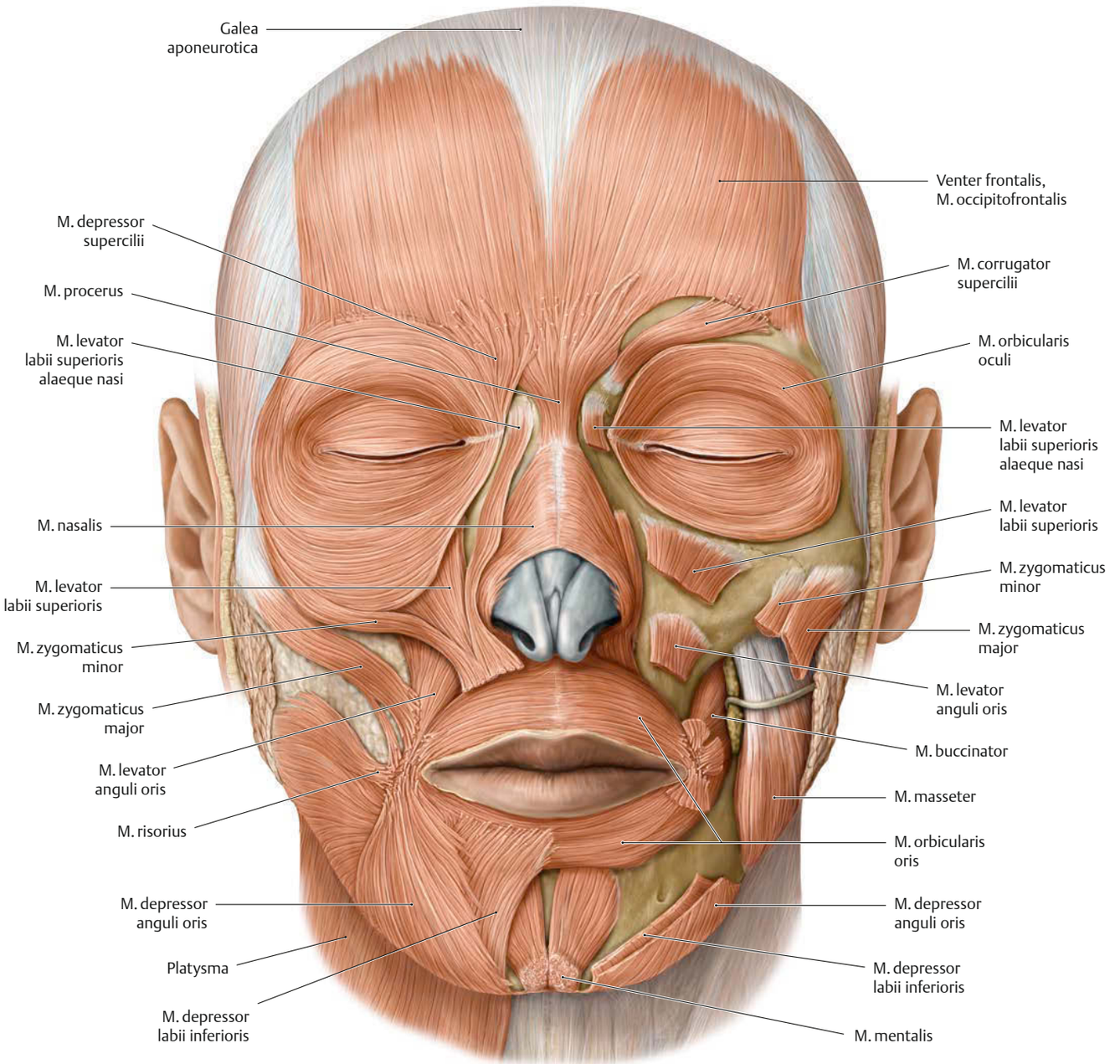
C Degenerative Veränderungen im Bereich der Halswirbelsäule (Unkarthrose)
Frontalschnitt durch die Halswirbelsäule eines 35-jährigen Erwachsenen, Ansicht von ventral. *Beachte* den Verlauf der A. vertebralis beiderseits der Wirbelkörper.
Mit der Ausbildung der Unkovertebralgelenke im Alter von etwa zehn Jahren beginnt auch die zunehmende Rissbildung der Bandscheiben. Sie schreitet mit zunehmendem Alter weiter in Richtung Bandscheibenzentrum fort, so dass schließlich durchgehende transversale Spalten entstehen, die die Bandscheiben in zwei etwa gleich dicke Scheiben unterteilen. Dadurch kommt es zu einer zunehmenden Degeneration, d. h. Abflachung der Bandscheiben mit daraus resultierender Instabilität der Bewegungssegmente (nach Präparaten der Anatomischen Sammlung der Universität Kiel).



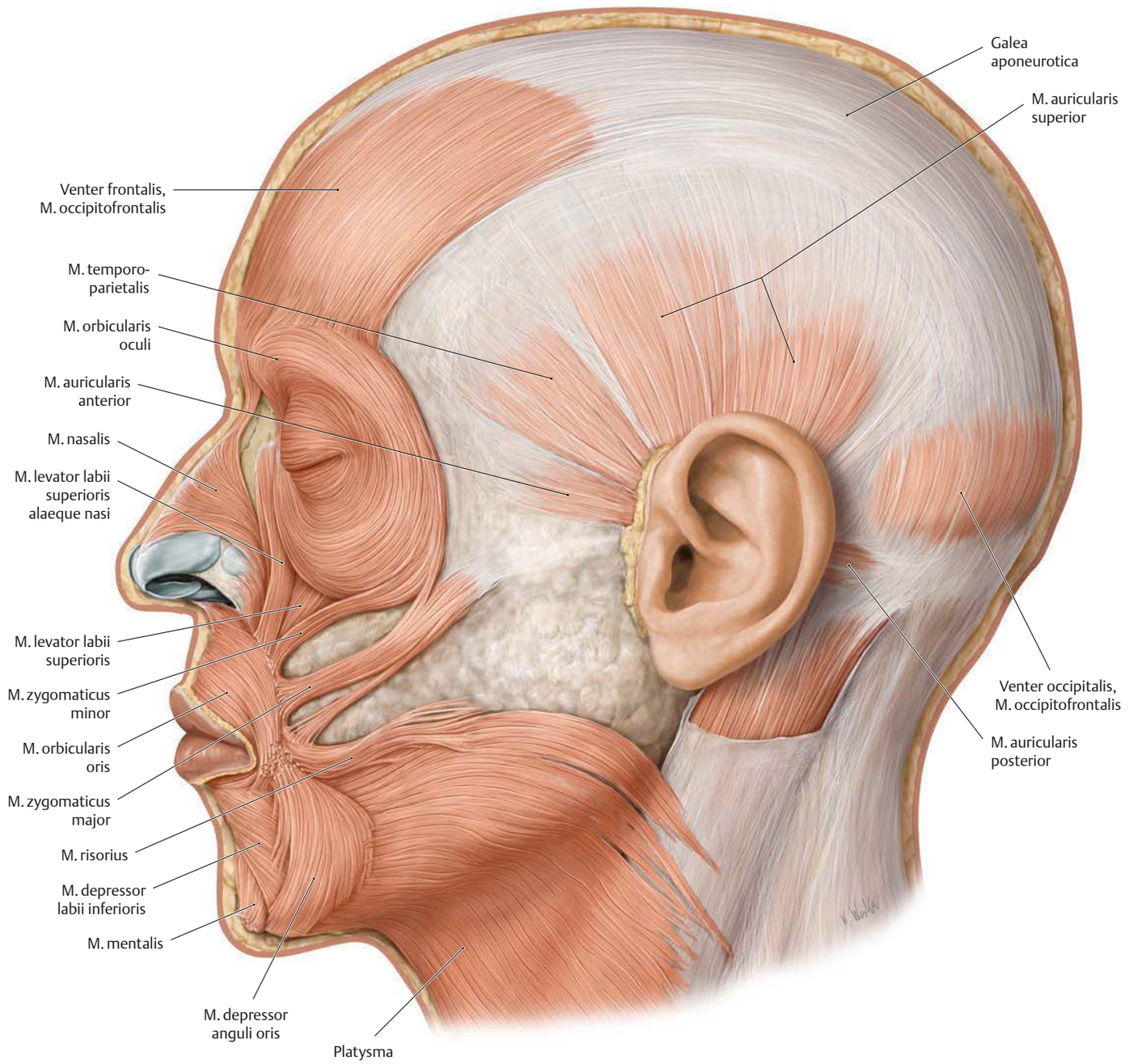


D Fortgeschrittene Unkarthrose im Bereich der Halswirbel
a 4. Halswirbel, Ansicht von kranial; **b** 4. und 5. Halswirbel, Ansicht von lateral (nach Präparaten der Anatomischen Sammlung der Universität Kiel).
An den Unkovertebralgelenken treten degenerative Veränderungen auf, wie wir sie in vergleichbarer Weise auch an den übrigen Gelenken finden, z. B. Osteophyten (an den Wirbelkörpern als Spondylophyten bezeichnet). Diese Knochenneubildungen dienen dazu, die Kraft aufnehmende Fläche zu vergrößern und auf diese Weise den Druck auf das Gelenk zu reduzieren. Durch eine fortschreitende Destabilisierung des entsprechenden Bewegungssegmentes kommt es zu einer gleichzeitigen Spondylarthrose der kleinen Wirbelgelenke mit nachfolgender Osteophytenbildung. Durch ihre enge topografische Beziehung zum Foramen intervertebrale und zur A. vertebralis haben die Osteophyten der Unkovertebralgelenke eine erhebliche klinische Bedeutung (Unkarthrose). Es kommt zu einer langsam fortschreitenden Einengung des Foramen intervertebrale mit zunehmender Kompression des Spinalnervs und häufig auch der A. vertebralis (vgl. **C**). Gleichzeitig kann der Spinalkanal durch Osteophyten massiv eingeengt werden (Spinalkanalstenose).

3.1 Mimische Muskulatur: Überblick

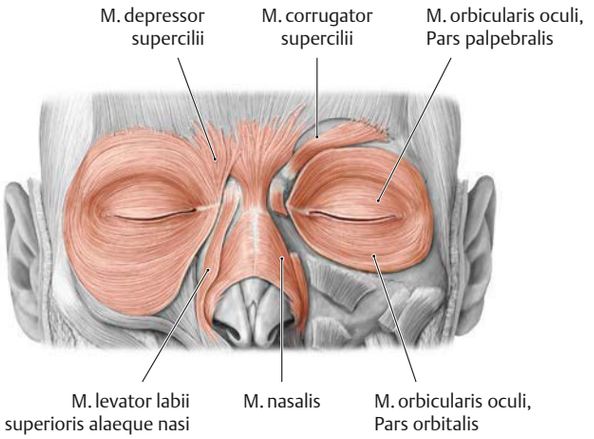


A Mimische Muskulatur
Ansicht von vorne; rechte Gesichtshälfte oberflächliche Schicht, linke Gesichtshälfte tiefe Schicht. Die mimischen Muskeln stellen die oberflächliche Schicht der Muskeln im Gesichtsbereich dar und sind individuell sehr unterschiedlich ausgeprägt. Sie entspringen entweder direkt von der Knochenhaut oder von Nachbarmuskeln, mit denen sie verbunden sind, und setzen entweder an anderen mimischen Muskeln an oder strahlen direkt in das Hautbindegewebe ein. Das klassische Einteilungsschema der übrigen somatischen Muskulatur nach Ursprung und meist scharf definiertem Ansatz passt deshalb nicht so recht auf die mimische Muskulatur. Da die mimischen Muskeln direkt im Unterhautfettgewebe enden und im Gesichtsbereich die oberflächliche Körperfaszie fehlt, ist beim Präparieren besondere Sorgfalt erforderlich. Aufgrund ihres Ansatzes in der Haut können die mimischen Muskeln die Gesichtshaut bewegen (sie z. B. in Falten legen, eine Funktion, die man durch Lähmung mit Botulinustoxin vorübergehend aufheben kann) und eben eine unterschiedliche Mimik hervorrufen. Darüber hinaus haben sie eine Schutzfunktion (Auge!) und stehen im Dienst der Nahrungsaufnahme (Mundschluss beim Schlucken). Sämtliche mimischen Muskeln werden durch Äste des N. facialis innerviert, während die Kaumuskulatur (s. S. 82) durch motorische Fasern des N. trigeminus versorgt wird (der M. masseter ist hier als ein Vertreter der Kaumuskulatur belassen worden). Um die Vielzahl der Muskeln systematisch lernen zu können, teilt man sie nach ihrer Lage in verschiedene Gruppen ein (s. S. 80).

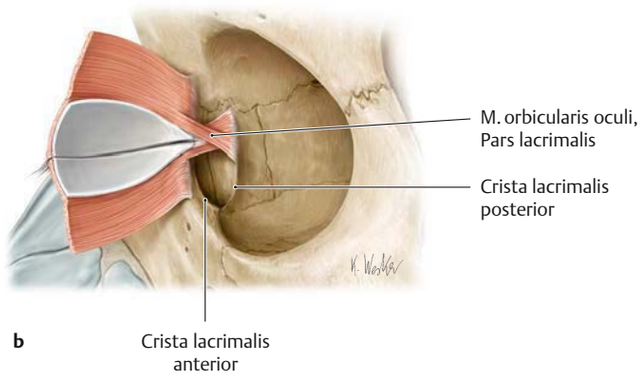


B Mimische Muskulatur
Ansicht von links. In der Seitenansicht sind besonders die mimischen Muskeln im Bereich von Ohr und Hals sichtbar. Eine straffe Sehne, die Galea aponeurotica, spannt sich über das Schädeldach und ist locker mit dem Periost verbunden. Die Muskeln des Schädeldaches, die an ihr entspringen, werden kollektiv als M. epicranius bezeichnet. Die beiden Bäuche des M. occipitofrontalis (Venter occipitalis und Venter frontalis) sind deutlich zu erkennen. Der M. temporoparietalis, dessen hinterer Anteil als M. auricularis superior bezeichnet wird, entspringt seitlich an der Galea aponeurotica. Der M. levator anguli oris ist hier – im Unterschied zum Bild links – nicht zu sehen, da er von dem darüber liegenden M. levator labii superioris verdeckt wird.

3.2 Mimische Muskulatur: Funktion



a

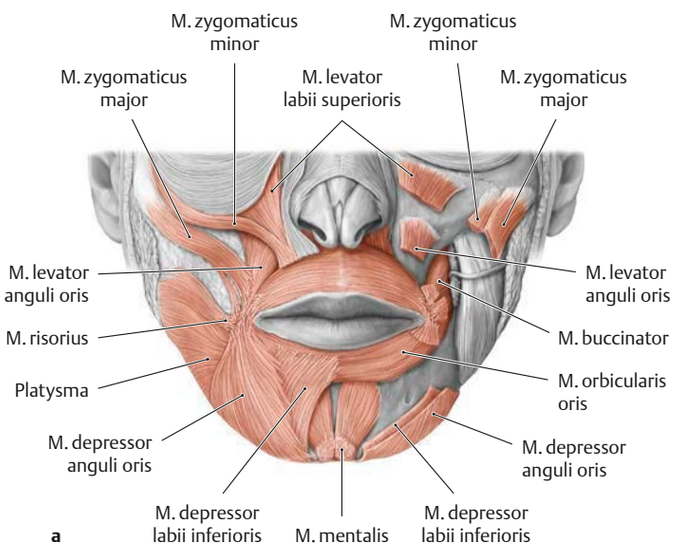


b

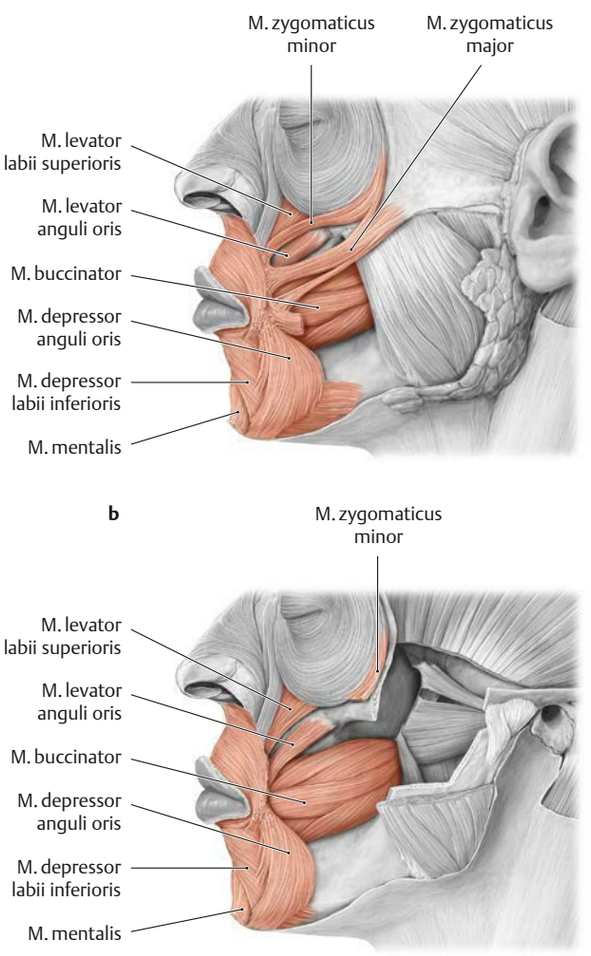
A Mimische Muskeln der Lidspalte und der Nase

a Ansicht von vorne. Der funktionell wichtigste Muskel ist der M. orbicularis oculi, der die Lidspalte schließt (Fremdkörperschutzreflex). Fällt er als Folge einer Fazialislähmung aus (s. auch **D**), führt dies neben dem Ausfall seiner Schutzfunktion auch zum Austrocknen des Auges, da nicht genügend Tränenflüssigkeit produziert werden kann. Man prüft seine Funktion, indem man den Patienten bittet, die Augenlider zuzukneifen.

b Der M. orbicularis oculi wurde bis auf den medialen Rand von der linken Orbita abpräpariert und nach nasal geklappt. Nur so ist seine Pars lacrimalis (sog. Horner-Muskel) zu erkennen. Sie entspringt im Wesentlichen von der Crista lacrimalis posterior. Die Funktion dieses Muskelanteils wird konträr diskutiert (Tränensack erweitern oder Tränensack entleeren).



a



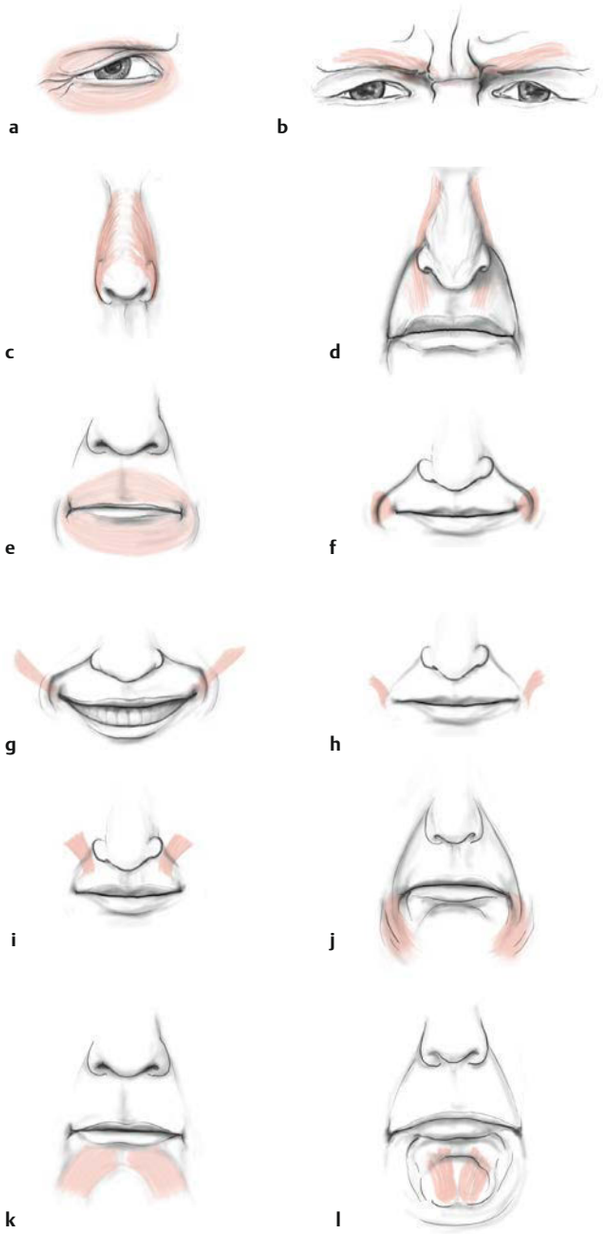
b

c

B Mimische Muskeln des Mundes

a Ansicht von frontal, **b** Ansicht von links, **c** Ansicht von links, tiefere laterale Schicht.

Der *M. orbicularis oris* bildet die muskuläre Grundlage der Lippen, seine Kontraktion verschließt die Lippenspalte. Die Funktion des M. orbicularis oris kann man prüfen, indem man den Patienten bittet, zu pfeifen. Eine Fazialislähmung kann zu Schwierigkeiten beim Trinken führen, da die Flüssigkeit beim Schluckakt durch den nicht geschlossenen Mund wieder herausläuft. Der *M. buccinator* liegt tiefer und bildet die Grundlage der Wange. Beim Kauen schiebt er die Nahrung aus dem Vestibulum oris zwischen die Zahnreihen.



C Änderungen der Mimik und deren Deutung bei Kontraktion der mimischen Muskeln

a Kontraktion des M. orbicularis oculi im Bereich des äußeren Lidwinkels drückt Besorgnis aus;
b Kontraktion des M. corrugator supercilii bei grellem Sonnenlicht: „Denkerstirn“;
c Kontraktion des M. nasalis verkleinert das Nasenloch und ruft fröhlich-lüsternen Gesichtsausdruck hervor;
d stärkere Kontraktion des M. levator labii superioris alaeque nasi beiderseits gilt als Zeichen der Unzufriedenheit;
e Kontraktion des M. orbicularis oris signalisiert Entschlossenheit;
f Kontraktion des M. buccinator signalisiert Genugtuung;
g Kontraktion des M. zygomaticus major beim Lächeln;
h Kontraktion des M. risorius zeigt den Gesichtsausdruck des Handelns an;
i Kontraktion des M. levator anguli oris signalisiert Selbstwertgefühl;
j Kontraktion des M. depressor anguli oris signalisiert Traurigkeit;
k Kontraktion des M. depressor labii inferioris senkt die Unterlippe und drückt Beständigkeit aus;
l Kontraktion des M. mentalis drückt Unentschlossenheit aus.

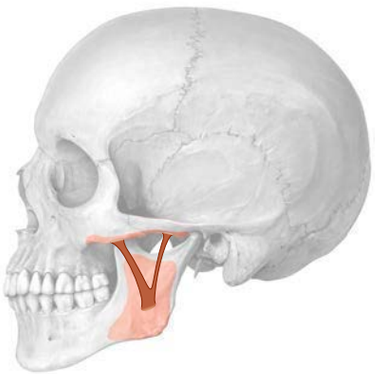
D Mimische Muskulatur

Die verschiedenen mimischen Muskeln lassen sich leichter lernen, wenn man sie nach Regionen getrennt, also portioniert studiert. Klinisch wichtig ist die Unterscheidung zwischen den Muskeln der Stirn sowie der Lidspalte und den übrigen mimischen Muskeln. Die Muskeln der Stirn und der Lidspalte werden vom oberen Fazialisast innerviert, alle übrigen mimischen Muskeln von anderen Faszialisästen. Bei einer zentralen Fazialislähmung kann der Lidschluss daher noch vorgenommen werden, bei einer peripheren fällt er aus (Näheres s. S. 125).

Region	Muskel	Anmerkungen
Schädeldach	M. epicranius besteht aus:	Muskel des Schädeldachs
	– M. occipitofrontalis (bestehend aus: – Venter frontalis u. – Venter occipitalis) u.	Stirnrunzler
	– M. temporoparietalis	keine mimische Funktion
Lidspalte	M. orbicularis oculi gliedert sich in:	Augenschließmuskel[a]
	– Pars orbitalis	fester Lidschluss
	– Pars palpebralis	Lidschlagreflex
	– Pars lacrimalis	wirkt auf Tränensack
	M. corrugator supercilii	Augenbrauenrunzler[b]
	M. depressor supercilii	Augenbrauensenker
Nase	M. procerus	Nasenwurzelrunzler
	M. nasalis[c]	verengt Nasenloch
	M. levator labii superioris alaeque nasi	Oberlippen- und Nasenflügelheber[d]
	M. depressor septi nasi	Nasenlochverenger
Mund	M. orbicularis oris	Mundschließmuskel[e]
	M. buccinator	Wangenmuskel (wichtig bei Essen und Trinken)[f]
	M. zygomaticus major	großer Jochbogenmuskel[g]
	M. zygomaticus minor	kleiner Jochbogenmuskel
	M. risorius	Lachmuskel[h]
	M. levator labii superioris	Oberlippenheber
	M. levator anguli oris	Mundwinkelheber[i]
	M. depressor anguli oris	Mundwinkelsenker[j]
	M. depressor labii inferioris	Unterlippensenker[k]
	M. mentalis	Kinnmuskel[l]
Ohr	M. auricularis anterior	vorderer Ohrmuskel
	M. auricularis superior	oberer Ohrmuskel
	M. auricularis posterior	hinterer Ohrmuskel
Hals	Platysma	Hautmuskel des Halses

3.3 Kaumuskeln: Überblick und oberflächliche Muskeln

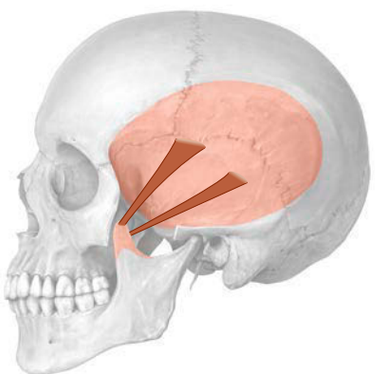
Überblick Kaumuskeln (Mm. masticatorii)
Zur Kaumuskulatur im engeren Sinne zählt man vier Muskeln: M. masseter, M. temporalis, M. pterygoideus medialis und M. pterygoideus lateralis.
Die primäre Funktion aller dieser Muskeln ist der Mundschluss und die Mahlbewegungen des Unterkiefers gegen den Oberkiefer. Alle heben die Mandibula und schließen dadurch den Mund. Die beiden Mm. pterygoidei wirken zusätzlich bei Mahlbewegungen mit (zur Funktion der einzelnen Muskeln s. **A**–**C**). Die Mundöffnung erfolgt durch die suprahyoidale Muskulatur und die Schwerkraft. M. masseter und M. pterygoideus medialis bilden eine Muskelschlinge, in der die Mandibula aufgehängt ist (s. S. 84).
Beachte: Alle Kaumuskeln werden vom N. mandibularis (3. Ast des N. trigeminus, V. Hirnnerv) innerviert; mimische Muskeln dagegen vom N. facialis.



A M. masseter im Überblick

M. masseter

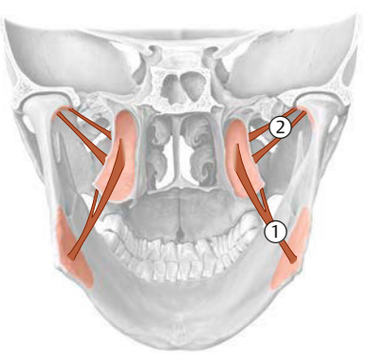
Ursprung:	• Pars superficialis: Arcus zygomaticus (vordere zwei Drittel) • Pars profunda: Arcus zygomaticus (hinteres Drittel)
Ansatz:	Tuberositas masseterica am Angulus mandibulae
Funktion:	• Heben des Unterkiefers (Kieferschluss = Adduktion) • Vorschieben des Unterkiefers (Protrusion)
Innervation:	N. massetericus, Ast des N. mandibularis (3. Ast des N. trigeminus)



B M. temporalis im Überblick

M. temporalis

Ursprung:	Linea temporalis inferior des Planum temporale (Fossa temporalis)
Ansatz:	Spitze und mediale Fläche des Proc. coronoideus mandibulae
Funktion:	• Heben des Unterkiefers (Adduktion) durch alle, jedoch vorwiegend vertikale Fasern • Zurückziehen des vorgeschobenen Unterkiefers (Retrusion) durch horizontale dorsale Fasern • einseitige Kontraktion: Mahlbewegung (Verlagerung des Caput mandibulae auf der Balanceseite nach vorne)
Innervation:	Nn. temporales profundi, Äste des N. mandibularis (3. Ast des N. trigeminus)



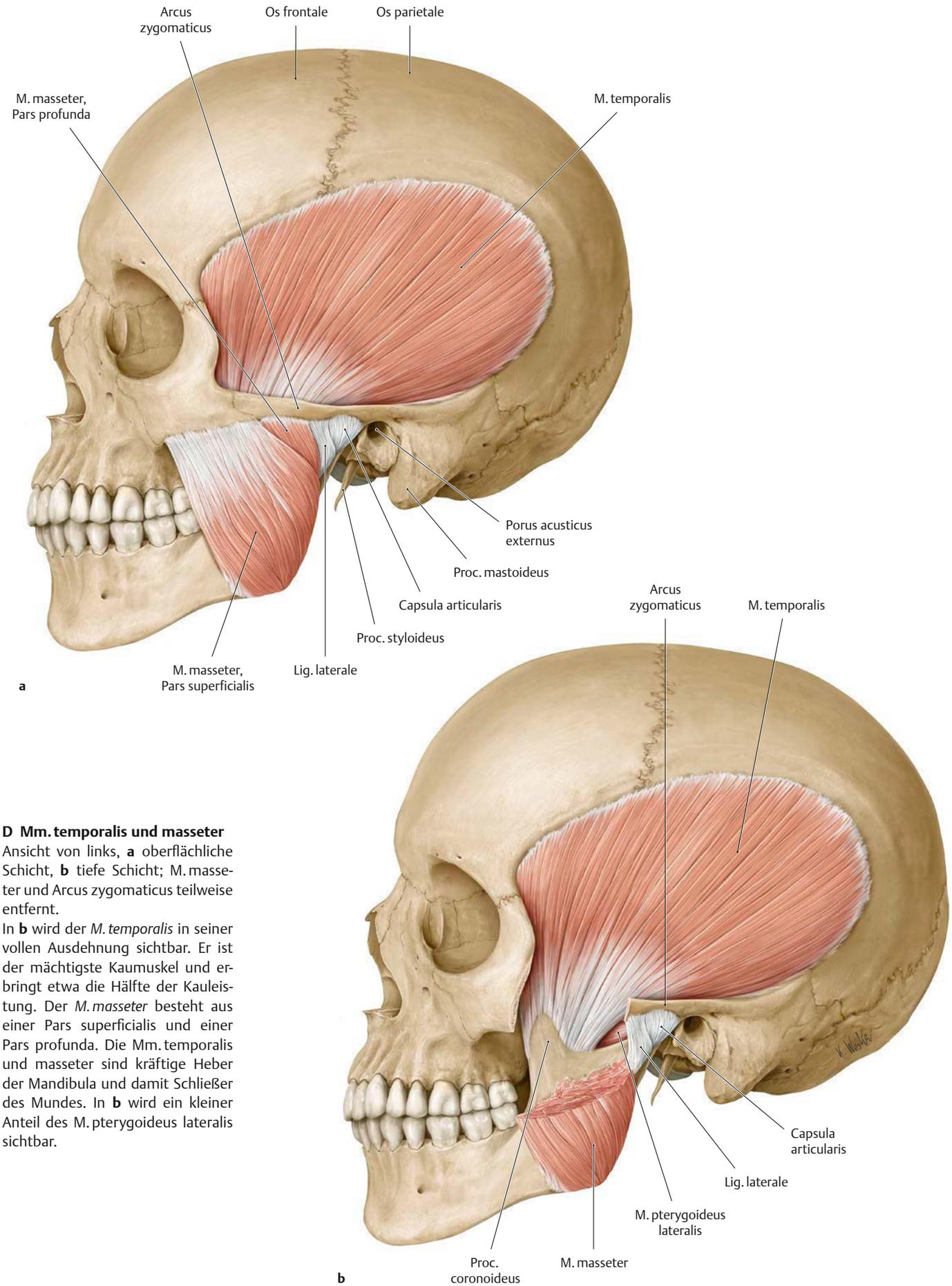
C Mm. pterygoidei medialis und lateralis im Überblick

① M. pterygoideus medialis

Ursprung:	Fossa pterygoidea und Lamina lateralis des Proc. pterygoideus
Ansatz:	mediale Fläche des Angulus mandibulae (Tuberositas pterygoidea)
Funktion:	Heben des Unterkiefers (Adduktion)
Innervation:	N. pterygoideus medialis, Ast des N. mandibularis (3. Ast des N. trigeminus)

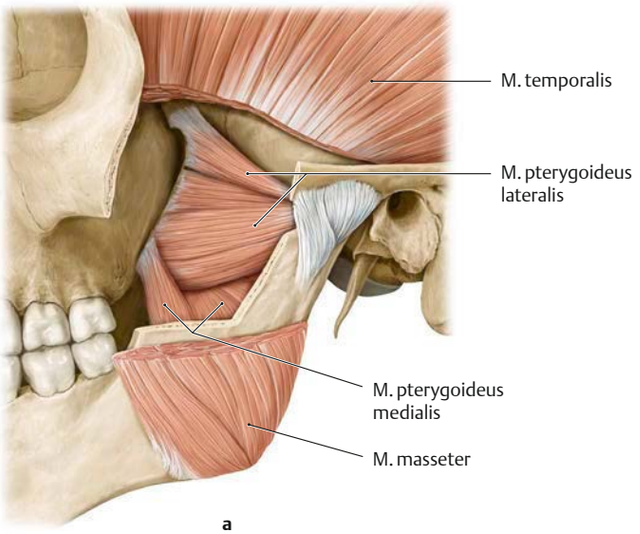
② M. pterygoideus lateralis

Ursprung:	• Caput superius: Crista infratemporalis (Ala major ossis sphenoidalis) • Caput inferius: Außenfläche der Lamina lateralis des Proc. pterygoideus
Ansatz:	• Caput superius: Discus articularis des Kiefergelenks • Caput inferius: Proc. condylaris der Mandibula
Funktion:	• beidseitige Kontraktion: Einleitung der Mundöffnung durch Vorschieben des Unterkiefers (Protrusion) und Verlagerung des Discus articularis nach ventral • einseitige Kontraktion: Verschiebung des Unterkiefers zur Gegenseite bei der Mahlbewegung
Innervation:	N. pterygoideus lateralis, Ast des N. mandibularis (3. Ast des N. trigeminus)



D Mm. temporalis und masseter
Ansicht von links, **a** oberflächliche Schicht, **b** tiefe Schicht; M. masseter und Arcus zygomaticus teilweise entfernt.
In **b** wird der *M. temporalis* in seiner vollen Ausdehnung sichtbar. Er ist der mächtigste Kaumuskel und erbringt etwa die Hälfte der Kauleistung. Der *M. masseter* besteht aus einer Pars superficialis und einer Pars profunda. Die Mm. temporalis und masseter sind kräftige Heber der Mandibula und damit Schließer des Mundes. In **b** wird ein kleiner Anteil des M. pterygoideus lateralis sichtbar.

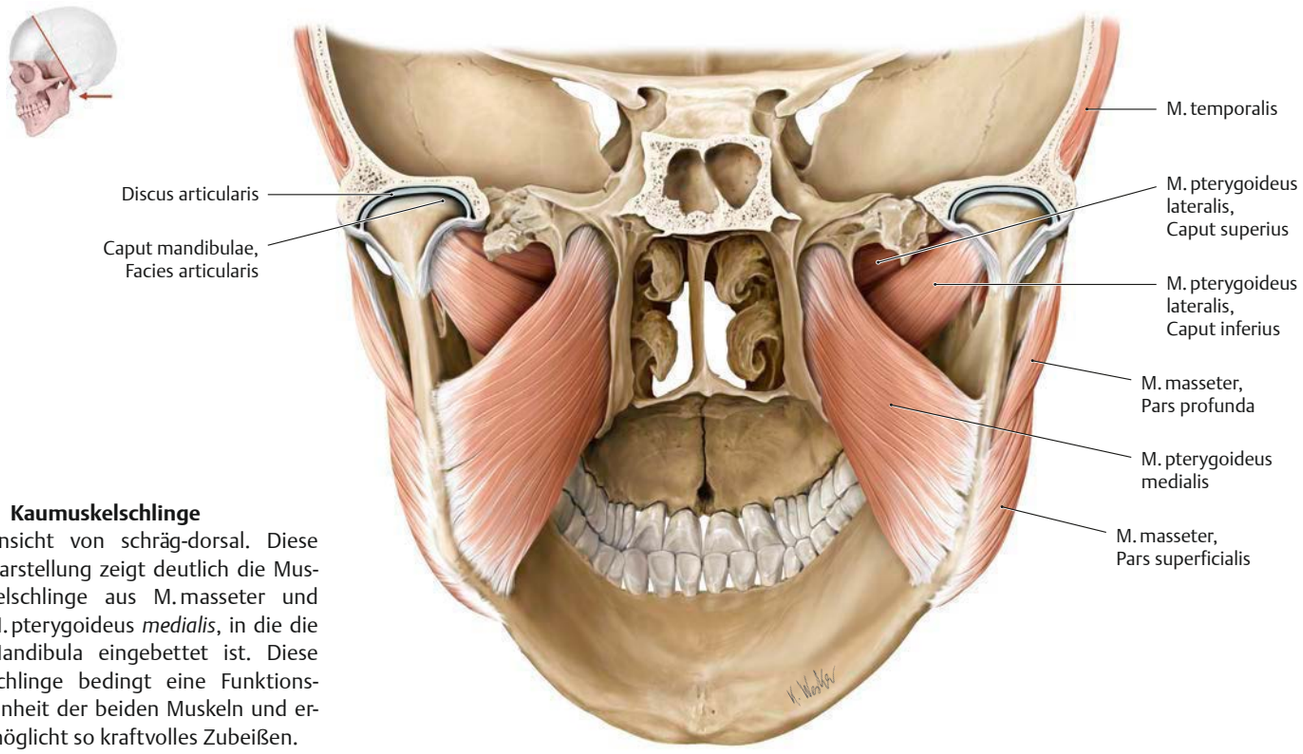
3.4 Kaumuskeln: tiefe Muskeln



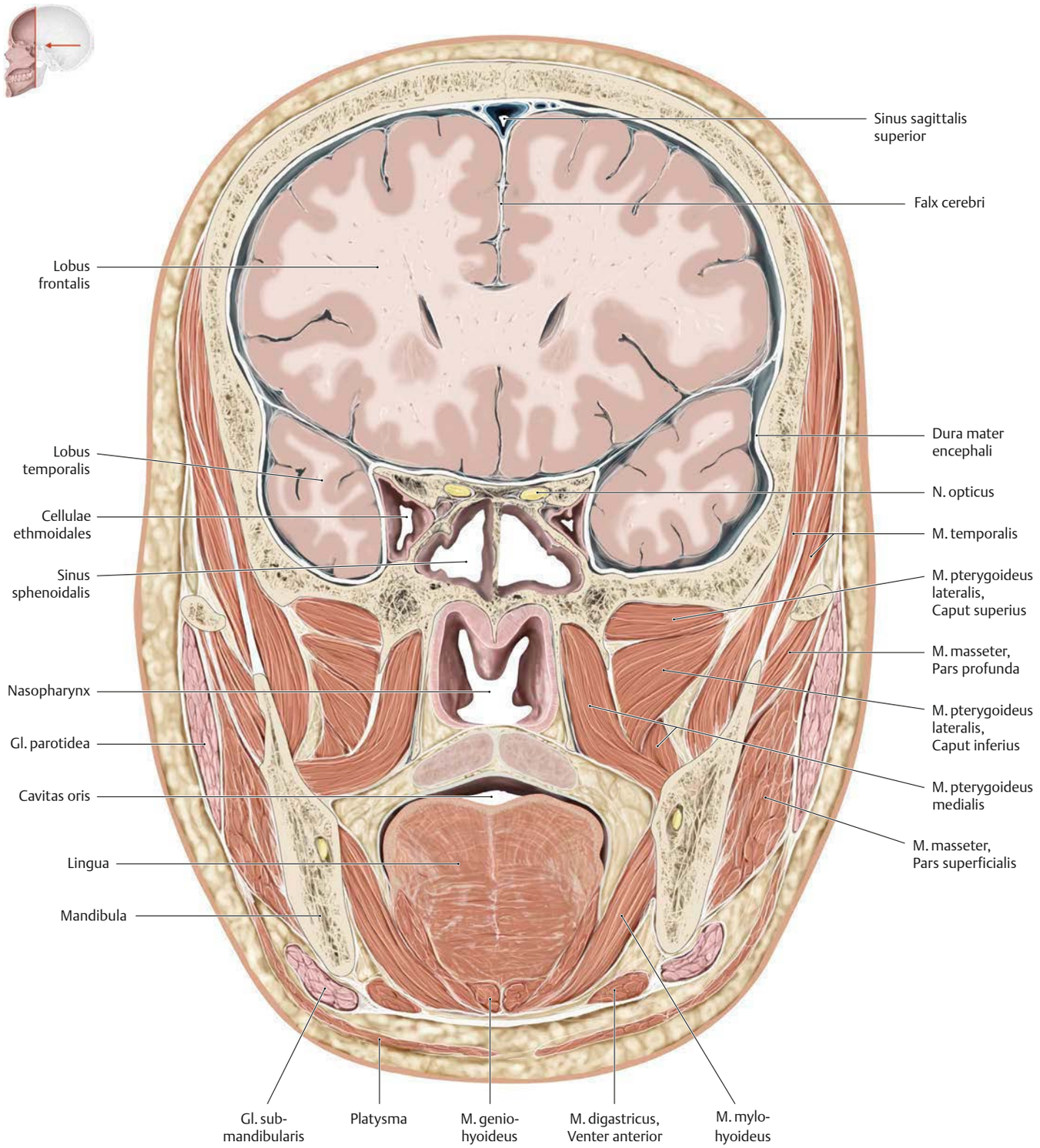
A Mm. pterygoidei lateralis und medialis
Ansichten von links.

a Im Vergleich zur letzten Abbildung aus der vorigen Lerneinheit wurden hier zusätzlich der Proc. coronoideus mandibulae sowie der untere Teil des M. temporalis entfernt, so dass beide Mm. pterygoidei sichtbar werden.

b Der M. temporalis ist nun komplett entfernt, die Pars inferior des M. pterygoideus lateralis gefenstert. Der M. pterygoideus *lateralis* leitet die Mundöffnung ein, die dann von den suprahyoidalen Muskeln fortgeführt wird. Durch die Eröffnung des Kiefergelenks wird sichtbar, dass Fasern des M. pterygoideus lateralis in den Discus articularis einstrahlen. Dieser Muskel gilt als Führungsmuskel für das Kiefergelenk. Da seine verschiedenen Anteile (Caput superius, Caput inferius) bei allen Bewegungen mitwirken, ist seine Wirkung komplexer als die der übrigen Kaumuskeln. Der M. pterygoideus *medialis* zieht nahezu senkrecht zum M. pterygoideus lateralis, er beteiligt sich am Aufbau einer Muskelschlinge, die die Mandibula umfasst (s. **B**).

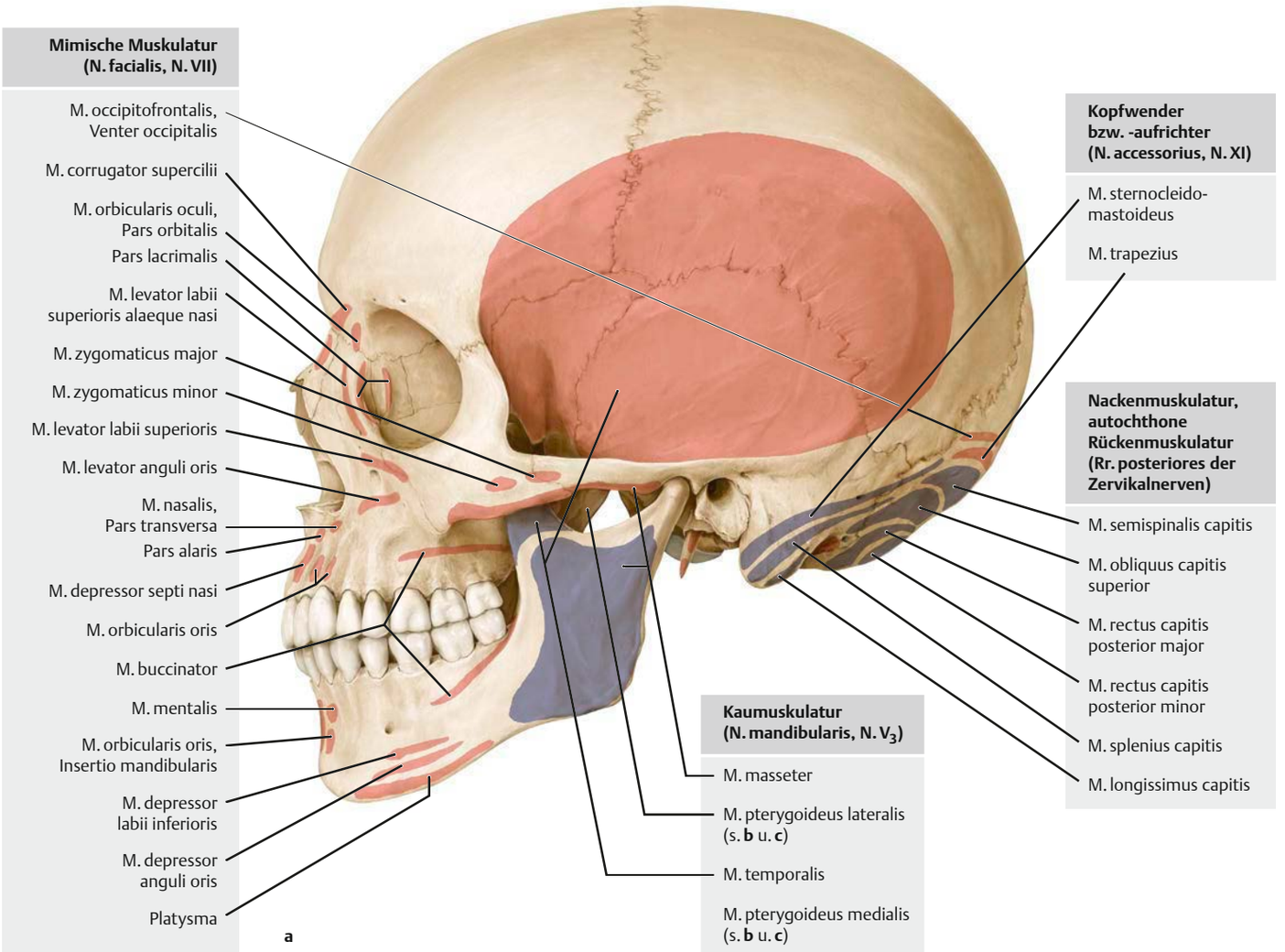


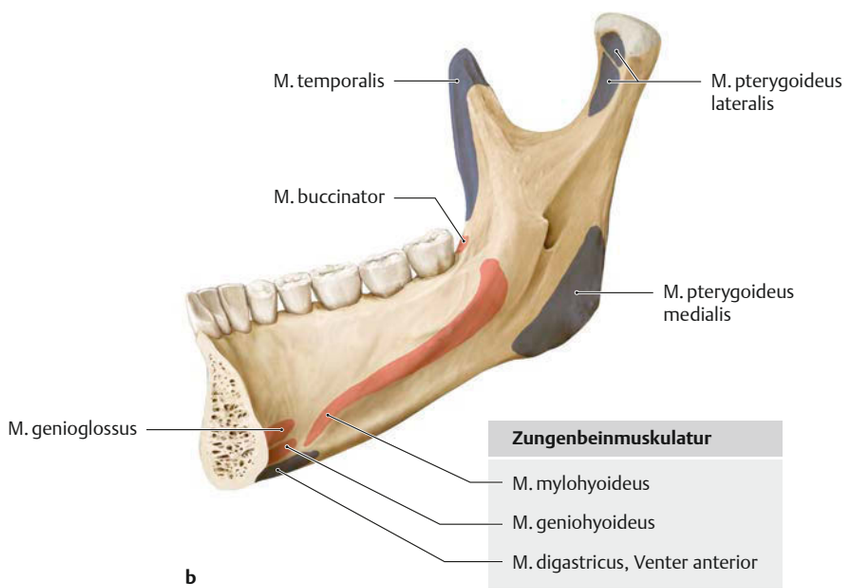
B Kaumuskelschlinge
Ansicht von schräg-dorsal. Diese Darstellung zeigt deutlich die Muskelschlinge aus M. masseter und M. pterygoideus *medialis*, in die die Mandibula eingebettet ist. Diese Schlinge bedingt eine Funktionseinheit der beiden Muskeln und ermöglicht so kraftvolles Zubeißen.



C Kaumuskeln, Frontalschnitt in Höhe der Keilbeinhöhle
Ansicht von dorsal. In dieser Darstellung ist die Topografie der Kaumuskeln und der benachbarten Strukturen besonders anschaulich.

3.5 Muskelursprünge und -ansätze am Schädel

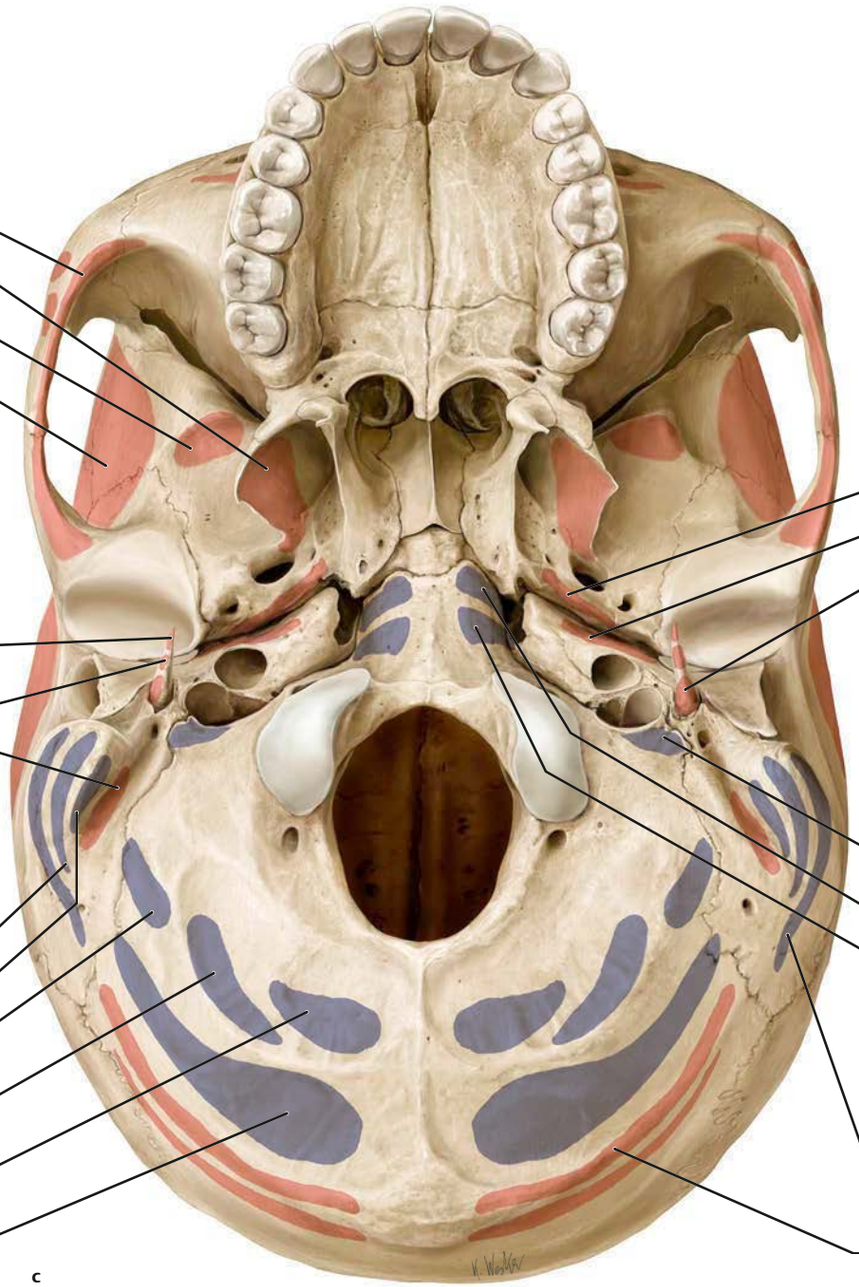




A Muskelursprünge und -ansätze am Schädel

a Ansicht von links, **b** Ansicht auf die Innenseite der rechten Mandibulahälfte, **c** Ansicht auf die Schädelbasis.

Ursprungs- und Ansatzflächen der Muskeln sind farblich hervorgehoben (Ursprung: rot, Ansatz: blau).



Kaumuskulatur (N. mandibularis, N. V_3)

- M. masseter
- M. pterygoideus medialis
- M. pterygoideus lateralis
- M. temporalis

Zungenmuskulatur, (N. hypoglossus, N. XII)

- M. hyoglossus (nicht dargestellt)
- M. genioglossus (nicht dargestellt)
- M. styloglossus
- M. stylohyoideus
- M. digastricus, Venter posterior

Nackenmuskulatur, autochthone Rückenmuskulatur (Rr. posteriores der Zervikalnerven)

- M. splenius capitis
- M. longissimus capitis
- M. obliquus capitis superior
- M. rectus capitis posterior major
- M. rectus capitis posterior minor
- M. semispinalis capitis

Schlundmuskulatur (N. glossopharyngeus, N. IX u. N. vagus, N. X)

- M. tensor veli palatini
- M. levator veli palatini
- M. stylopharyngeus
- M. constrictor pharyngis medius (nicht dargestellt)

Prävertebrale Muskulatur (Rr. anteriores der Zervikalnerven bzw. Plexus cervicalis)

- M. rectus capitis lateralis
- M. longus capitis
- M. rectus capitis anterior

Kopfwender bzw. -aufrichter (N. accessorius, N. XI)

- M. sternocleido-mastoideus
- M. trapezius

c

3.6 Halsmuskeln: Überblick und oberflächliche Muskeln

A Systematische Gliederung der Muskelgruppen am Hals

Die nächsten Lerneinheiten folgen dieser Gliederung in der Darstellung der Muskulatur. Dabei sind die Muskeln aus der Sicht der topografischen Anatomie des Halses gegliedert – es können sich also auch andere Einteilungsschemata ergeben. So sind die Nackenmuskeln topografisch gesehen ein Teil der Halsmuskulatur, funktionell gehören sie zur autochthonen Rückenmuskulatur, die hier nicht näher besprochen wird. Die Eingeweidemuskulatur des Halses, obwohl z. T. quergestreift, wird bei den Eingeweiden besprochen.

Oberflächliche Halsmuskeln
- Platysma
- M. sternocleidomastoideus
- M. trapezius*

Obere Zungenbeinmuskeln (suprahyoidale Muskeln)
- M. digastricus
- M. geniohyoideus
- M. mylohyoideus
- M. stylohyoideus

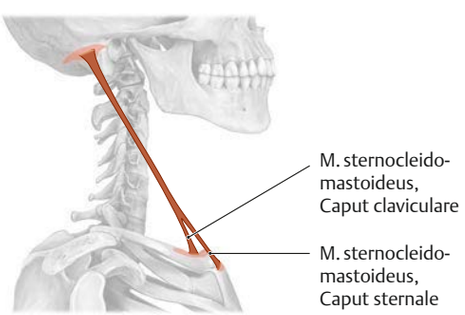
Untere Zungenbeinmuskeln (infrahyoidale Muskeln)
- M. sternohyoideus
- M. sternothyroideus
- M. thyrohyoideus
- M. omohyoideus

Prävertebrale Muskeln (tiefe gerade Halsmuskeln)
- M. longus capitis
- M. longus colli
- M. rectus capitis anterior
- M. rectus capitis lateralis

Seitliche (tiefe) Halsmuskeln
- M. scalenus anterior
- M. scalenus medius
- M. scalenus posterior

Nackenmuskeln (autochthone Rückenmuskeln) = M. erector spinae
- M. semispinalis capitis
- M. semispinalis cervicis
- M. splenius capitis
- M. splenius cervicis
- M. longissimus capitis
- M. iliocostalis cervicis
- Mm. suboccipitales

* kein Halsmuskel im engeren Sinne, wird hier nur wegen seiner topografischen Bedeutung aufgeführt



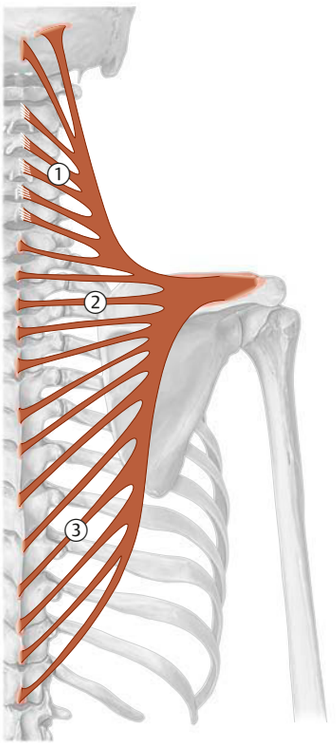
B M. sternocleidomastoideus im Überblick

Ursprung:
- Caput sternale: Manubrium sterni
- Caput claviculare: mediales Drittel der Clavicula

Ansatz: Proc. mastoideus und Linea nuchalis superior

Funktion:
- einseitig:
  - Lateralflexion des Kopfes zur ipsilateralen Seite
  - Rotation des Kopfes zur kontralateralen Seite
- beidseitig:
  - Dorsalextension des Kopfes
  - Atemhilfsmuskel mit Punctum fixum am Kopf

Innervation: N. accessorius (XI. Hirnnerv) und direkte Äste aus dem Plexus cervicalis (C1–2)



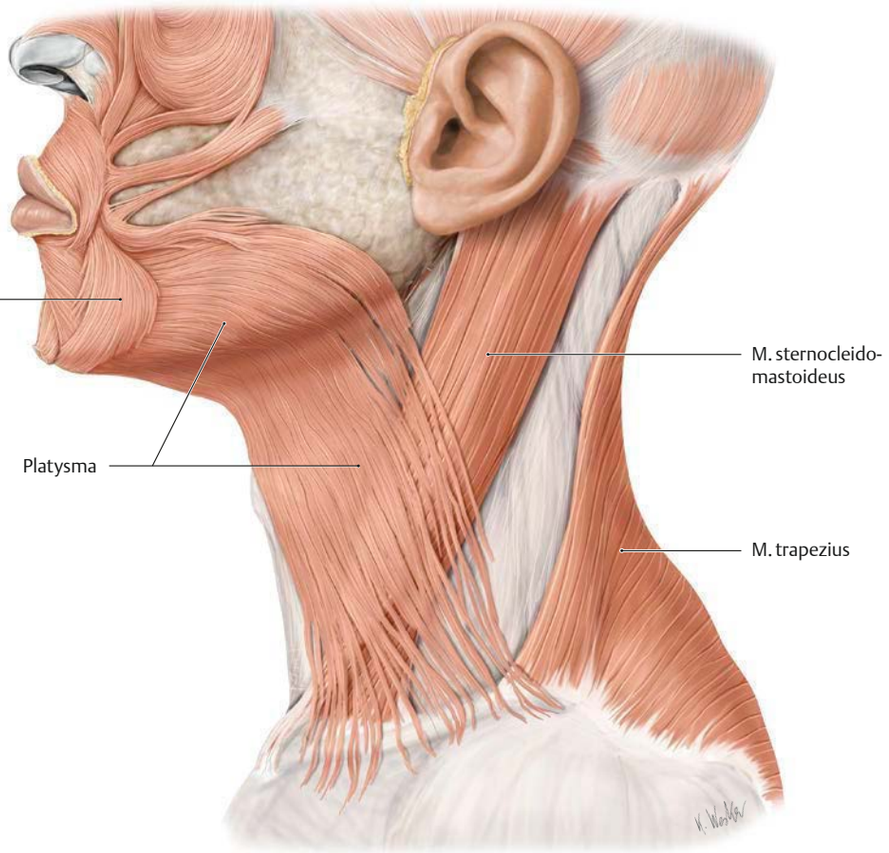
C M. trapezius im Überblick

Ursprung:
- ① Pars descendens:
  - Os occipitale (Linea nuchalis superior und Protuberantia occipitalis externa)
  - über das Lig. nuchae an die Procc. spinosi aller Halswirbelkörper
- ② Pars transversa: Sehnenspiegel auf Höhe der Procc. spinosi der 1.–4. Brustwirbelkörper
- ③ Pars ascendens: Procc. spinosi der 5.–12. Brustwirbelkörper

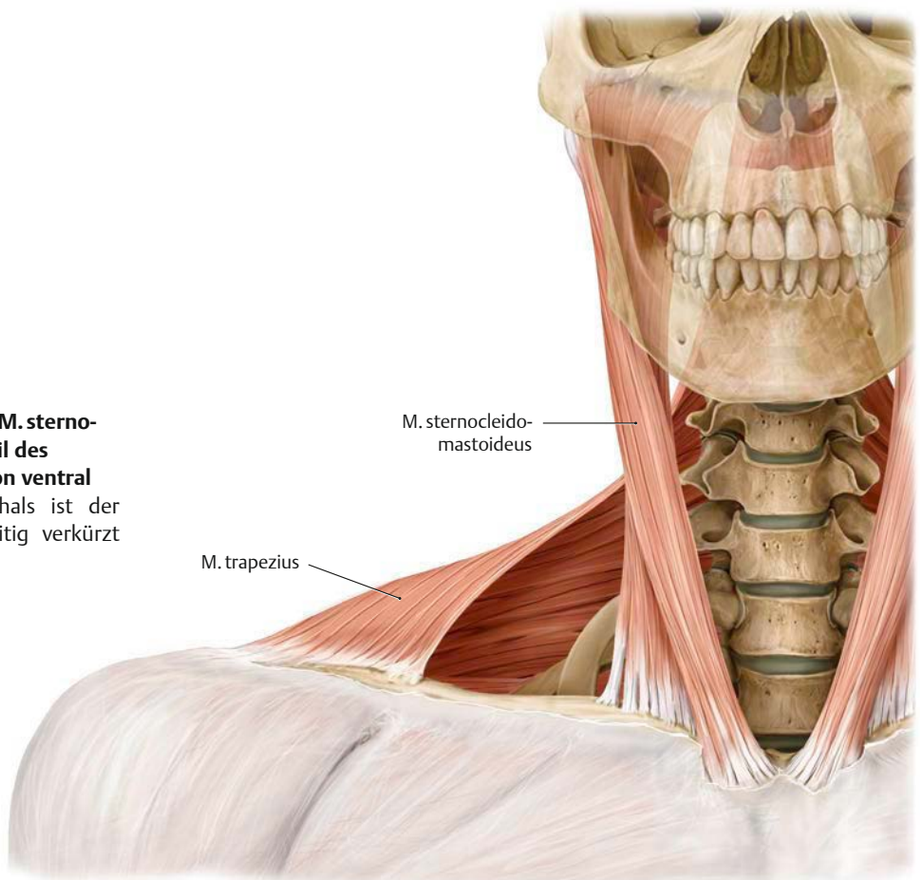
Ansatz:
- laterales Drittel der Clavicula (Pars descendens)
- Acromion (Pars transversa)
- Spina scapulae (Pars ascendens)

Funktion:
- Pars descendens:
  - zieht die Scapula schräg aufwärts und dreht sie nach außen (synergisch mit der Pars inferior des M. serratus anterior)
  - neigt den Kopf zur ipsilateralen Seite und dreht ihn zur kontralateralen Seite (Punctum fixum am Schultergürtel)
- Pars transversa: verlagert das Schulterblatt nach medial
- Pars ascendens: zieht die Scapula nach kaudal-medial (unterstützt die rotatorische Wirkung der Pars descendens)
- gesamter Muskel: Fixierung des Schulterblatts am Thorax

Innervation: N. accessorius (XI. Hirnnerv) und Plexus cervicalis (C2–4)

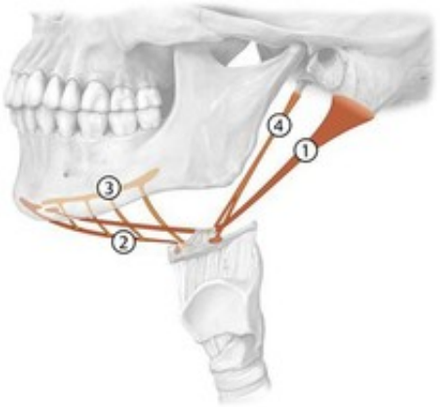


D Hautmuskel des Halses (Platysma)
Ansicht von links. Das Platysma ist ein großflächiger Hautmuskel, der oberhalb der Lamina superficialis der Halsfaszie (epifaszial) lokalisiert ist und keine eigene Faszie hat (zur Systematik s. **A**). Er zählt zu den mimischen Muskeln und wird wie sie vom N. facialis innerviert. Seine Ausdehnung ist individuell sehr variabel und kann sich vom unteren Gesichtsteil bis auf den oberen Thorax erstrecken. Er besitzt wie alle mimischen Muskeln keine eigene Faszie und ist deshalb schwerer zu präparieren.



E Oberflächliche Halsmuskeln: M. sternocleidomastoideus und Halsteil des M. trapezius in der Ansicht von ventral
Beim sog. angeborenen Schiefhals ist der M. sternocleidomastoideus einseitig verkürzt und narbig degeneriert, s. **D**, S. 7.

3.7 Halsmuskeln: Supra- und infrahyoidale Muskeln



① M. digastricus

Ursprung:
- Venter anterior: Corpus mandibulae
- Venter posterior: medial vom Proc. mastoideus (Incisura mastoidea)

Ansatz: über eine Zwischensehne mit bindegewebiger Schlaufe am Zungenbeinkörper

Funktion:
- hebt das Zungenbein an (Schluckbewegung)
- unterstützt die Kieferöffnung

Innervation:
- Venter anterior: N. mylohyoideus (aus N. mandibularis des V. Hirnnervs)
- Venter posterior: N. facialis

② M. geniohyoideus

Ursprung: Corpus mandibulae

Ansatz: Zungenbeinkörper

Funktion:
- zieht das Zungenbein nach vorne (Schluckbewegung)
- unterstützt die Kieferöffnung

Innervation: Rr. ventrales des 1. und 2. Zervikalnervs

③ M. mylohyoideus

Ursprung: Innenseite des Unterkiefers (Linea mylohyoidea)

Ansatz: über eine median gelegene Ansatzsehne (Raphe mylohyoidea) am Zungenbeinkörper

Funktion:
- spannt und hebt den Mundboden
- zieht das Zungenbein nach vorne (Schluckbewegung)
- unterstützt die Öffnung und Seitwärtsbewegung (Mahlbewegung) des Unterkiefers

Innervation: N. mylohyoideus (aus N. mandibularis des V. Hirnnervs)

④ M. stylohyoideus

Ursprung: Proc. styloideus des Os temporale

Ansatz: mit gespaltener Sehne am Zungenbeinkörper

Funktion:
- hebt das Zungenbein nach oben (Schluckbewegung)
- unterstützt die Kieferöffnung

Innervation: N. facialis (VII. Hirnnerv)

A Suprahyoidale Muskulatur im Überblick

① **M. digastaricus**

Ursprung:
- Venter anterior: Corpus mandibulae
- Venter posterior: medial vom Proc. mastoideus (Incisura mastoidea)

Ansatz: über eine Zwischensehne mit bindegewebiger Schlaufe am Zungenbeinkörper

Funktion:
- hebt das Zungenbein an (Schluckbewegung)
- unterstützt die Kieferöffnung

Innervation:
- Venter anterior: N. mylohyoideus (aus N. mandibularis des V. Hirnnervs)
- Venter posterior: N. facialis

② **M. geniohyoideus**

Ursprung: Corpus mandibulae

Ansatz: Zungenbeinkörper

Funktion:
- zieht das Zungenbein nach vorne (Schluckbewegung)
- unterstützt die Kieferöffnung

Innervation: Rr. ventrales des 1. und 2. Zervikalnervs

③ **M. mylohyoideus**

Ursprung: Innenseite des Unterkiefers (Linea mylohyoidea)

Ansatz: über eine median gelegene Ansatzsehne (Raphe mylohyoidea) am Zungenbeinkörper

Funktion:
- spannt und hebt den Mundboden
- zieht das Zungenbein nach vorne (Schluckbewegung)
- unterstützt die Öffnung und Seitwärtsbewegung (Mahlbewegung) des Unterkiefers

Innervation: N. mylohyoideus (aus N. mandibularis des V. Hirnnervs)

④ **M. stylohyoideus**

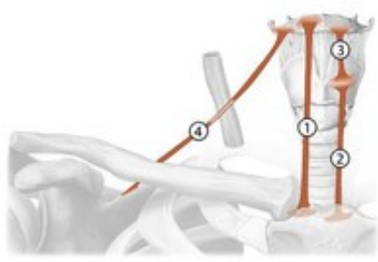
Ursprung: Proc. styloideus des Os temporale

Ansatz: mit gespaltener Sehne am Zungenbeinkörper

Funktion:
- hebt das Zungenbein nach oben (Schluckbewegung)
- unterstützt die Kieferöffnung

Innervation: N. facialis (VII. Hirnnerv)

⤢ Tabelle vergrößern



① **M. sternohyoideus**

Ursprung: Hinterseite des Manubrium sterni und des Sternoklavikulargelenks
Ansatz: Körper des Zungenbeins
Funktion:
- zieht das Zungenbein nach unten (Fixierung des Zungenbeins)
- Verlagerung des Kehlkopfs und des Zungenbeins nach kaudal (Phonation, Endphase des Schluckaktes)

Innervation: Ansa cervicalis profunda* des Plexus cervicalis (C1–3) sowie C4

② **M. sternothyroideus**

Ursprung: Hinterseite des Manubrium sterni
Ansatz: Schildknorpel (Cartilago thyroidea)
Funktion:
- zieht den Kehlkopf bzw. das Zungenbein nach unten (Fixierung des Zungenbeins)
- Verlagerung des Kehlkopfs und des Zungenbeins nach kaudal (Phonation, Endphase des Schluckaktes)

Innervation: Ansa cervicalis profunda des Plexus cervicalis (C1–3) sowie C4

③ **M. thyrohyoideus**

Ursprung: Schildknorpel (Cartilago thyroidea)
Ansatz: Körper des Zungenbeins
Funktion:
- Absenkung und Fixierung des Zungenbeins
- Anhebung des Kehlkopfes beim Schlucken

Innervation: Ansa cervicalis profunda des Plexus cervicalis (C1–3) sowie C4

④ **M. omohyoideus**

Ursprung: Margo superior des Schulterblatts
Ansatz: Körper des Zungenbeins
Funktion:
- Absenkung des Zungenbeins nach unten (Fixierung des Zungenbeins)
- Verlagerung des Kehlkopfs und des Zungenbeins nach kaudal (Phonation, Endphase des Schluckaktes)
- spannt mit seiner Zwischensehne die Halsfaszie und hält die V. jugularis interna offen

Innervation: Ansa cervicalis profunda des Plexus cervicalis (C1–3) sowie C4

B Infrahyoidale Muskulatur im Überblick

① M. sternohyoideus

Ursprung: Hinterseite des Manubrium sterni und des Sternoklavikulargelenks

Ansatz: Körper des Zungenbeins

Funktion:

- Zieht das Zungenbein nach unten (Fixierung des Zungenbeins)
- Verlagerung des Kehlkopfes und des Zungenbeins nach kaudal (Phonation, Endphase des Schluckaktes)

Innervation: Ansa cervicalis profunda* des Plexus cervicalis (C1–3) sowie C4

② **M. sternothyroideus**

Ursprung: Hinterseite des Manubrium sterni

Ansatz: Schildknorpel (Cartilago thyroidea)

Funktion:
- zieht den Kehlkopf bzw. das Zungenbein nach unten (Fixierung des Zungenbeins)
- Verlagerung des Kehlkopfs und des Zungenbeins nach kaudal (Phonation, Endphase des Schluckaktes)

Innervation: Ansa cervicalis profunda des Plexus cervicalis (C1–3) sowie C4

③ **M. thyrohyoideus**

Ursprung: Schildknorpel (Cartilago thyroidea)

Ansatz: Körper des Zungenbeins

Funktion:
- Absenkung und Fixierung des Zungenbeins
- Anhebung des Kehlkopfes beim Schlucken

Innervation: Ansa cervicalis profunda des Plexus cervicalis (C1–3) sowie C4

④ **M. omohyoideus**

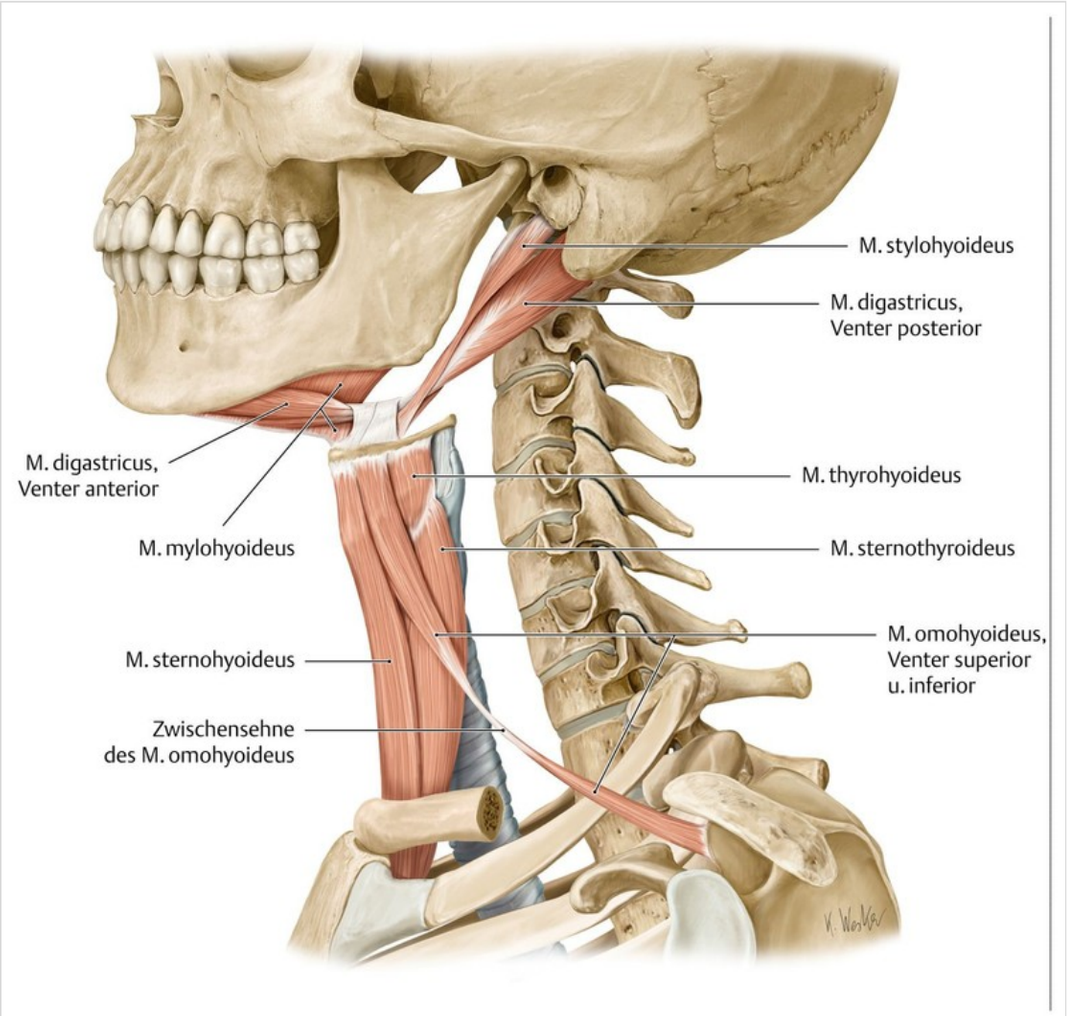
Ursprung: Margo superior des Schulterblatts

Ansatz: Körper des Zungenbeins

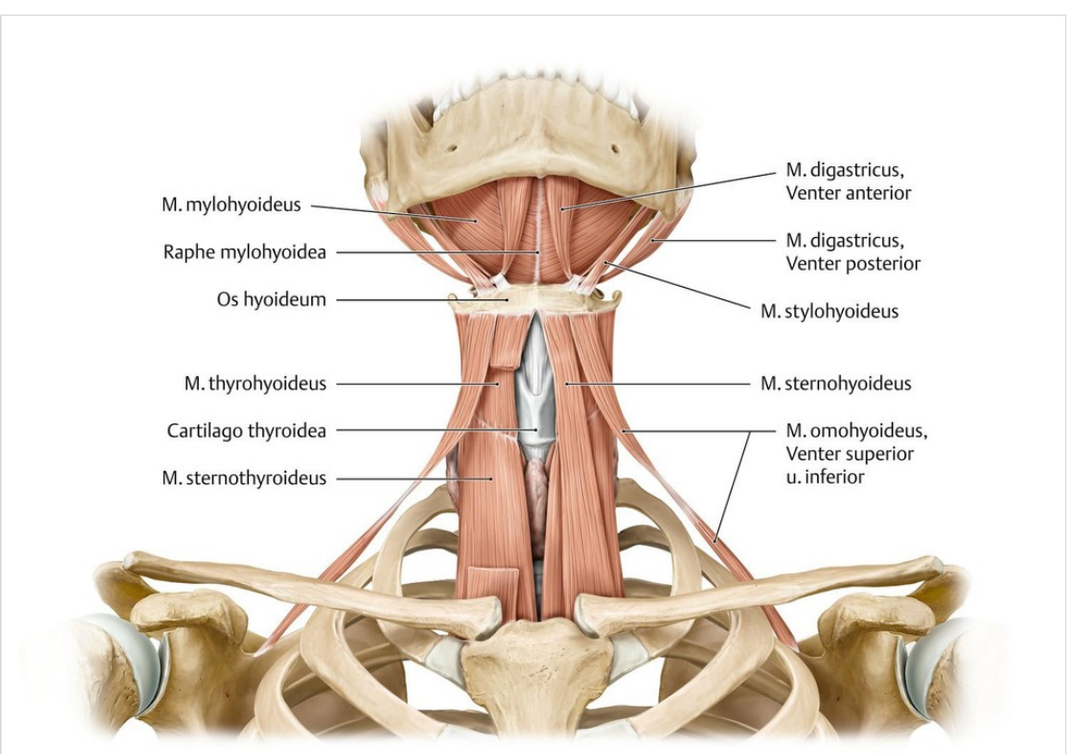
Funktion:
- Absenkung des Zungenbeins nach unten (Fixierung des Zungenbeins)
- Verlagerung des Kehlkopfs und des Zungenbeins nach kaudal (Phonation, Endphase des Schluckaktes)
- spannt mit seiner Zwischensehne die Halsfaszie und hält die V. jugularis interna offen

Innervation: Ansa cervicalis profunda des Plexus cervicalis (C1–3) sowie C4

⤢ Tabelle vergrößern

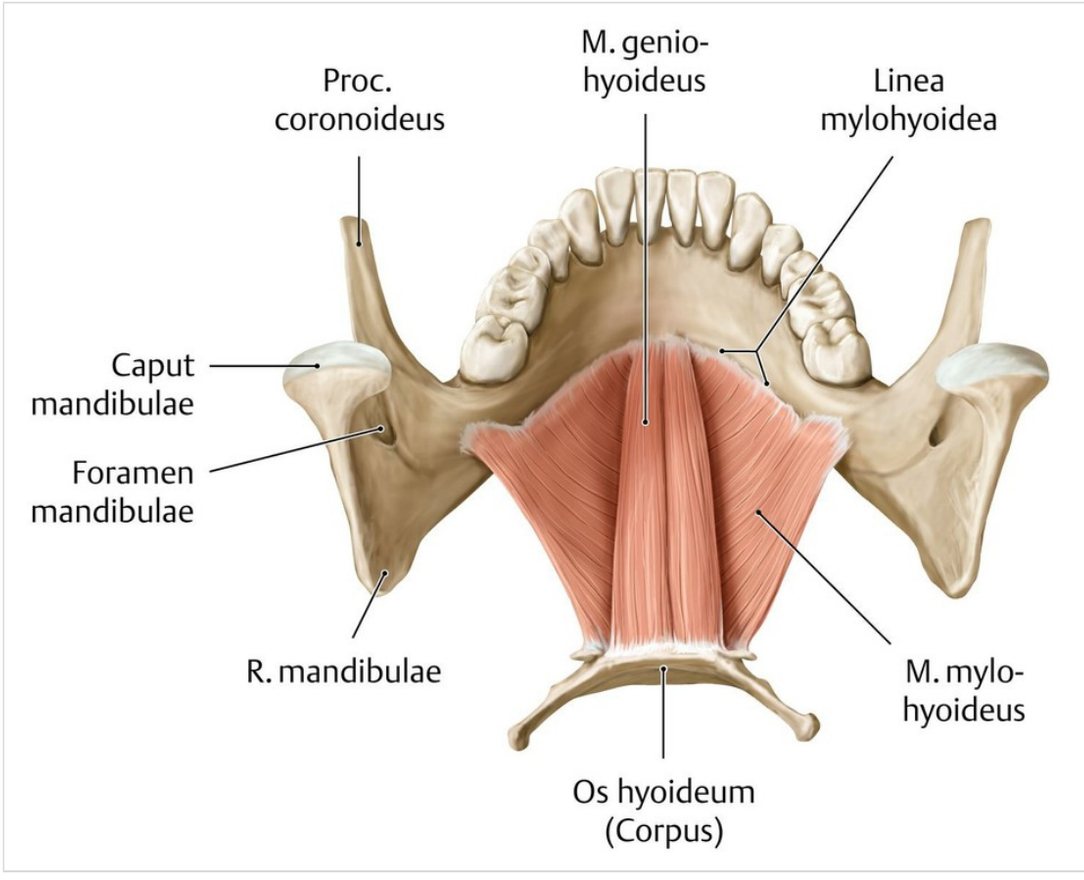


C Supra- und infrahyoidale Muskulatur in der Ansicht von links



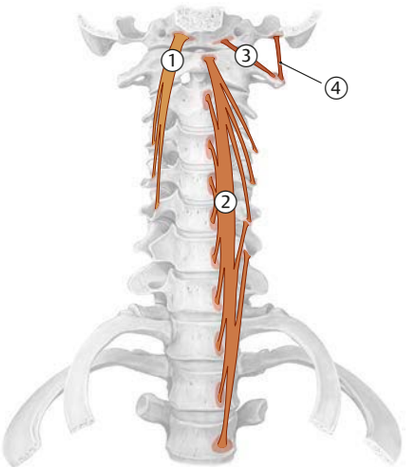
D Supra- und infrahyoidale Muskulatur in der Ansicht von ventral

Der M. sternohyoideus der rechten Seite ist gefenstert.

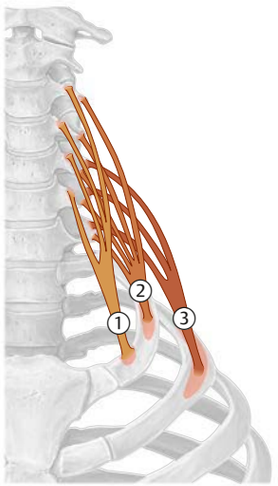


E Suprahyoidale Muskulatur: Mm. mylohyoideus und geniohyoideus in der Ansicht von dorsokranial

3.8 Halsmuskeln: Prävertebrale und seitliche (tiefe) Muskeln



A Prävertebrale Muskeln im Überblick



B Seitliche (tiefe) Halsmuskeln im Überblick

① M. longus capitis

Ursprung: Tubercula anteriora der Querfortsätze des 3.–6. Halswirbels
Ansatz: Pars basilaris des Os occipitale
Funktion:
- einseitig: Lateralflexion und geringfügige Rotation des Kopfes zur ipsilateralen Seite
- beidseitig: Ventralflexion des Kopfes

Innervation: direkte Äste aus dem Plexus cervicalis (C1–4)

② M. longus colli (cervicis)

Ursprung:
- Pars recta (medialer Teil): Vorderseiten der Wirbelkörper des 5.–7. Halswirbels und des 1.–3. Brustwirbels
- Pars obliqua superior: Tubercula anteriora der Querfortsätze des 3.–5. Halswirbels
- Pars obliqua inferior: Vorderseiten des 1.–3. Brustwirbelkörpers

Ansatz:
- Pars recta: Vorderseiten des 2.–4. Halswirbels
- Pars obliqua superior: Tuberculum anterius des Atlas
- Pars obliqua inferior: Tubercula anteriora der Querfortsätze des 5. und 6. Halswirbels

Funktion:
- einseitig: Lateralflexion und Rotation der HWS zur ipsilateralen Seite
- beidseitig: Ventralflexion der HWS

Innervation: direkte Äste aus dem Plexus cervicalis (C2–4), sowie direkte Äste aus C5, C6

③ M. rectus capitis anterior

Ursprung: Massa lateralis des Atlas
Ansatz: Pars basilaris des Os occipitale
Funktion:
- einseitig: Lateralflexion im Atlantookzipitalgelenk
- beidseitig: Ventralflexion im Atlantookzipitalgelenk

Innervation: R. ventralis des 1. Zervikalnervs

④ M. rectus capitis lateralis

Ursprung: Proc. transversus des Atlas
Ansatz: Pars basilaris des Os occipitale (lateral von den Condyli occipitales)
Funktion:
- einseitig: Lateralflexion im Atlantookzipitalgelenk
- beidseitig: Ventralflexion im Atlantookzipitalgelenk

Innervation: R. ventralis des 1. Zervikalnervs

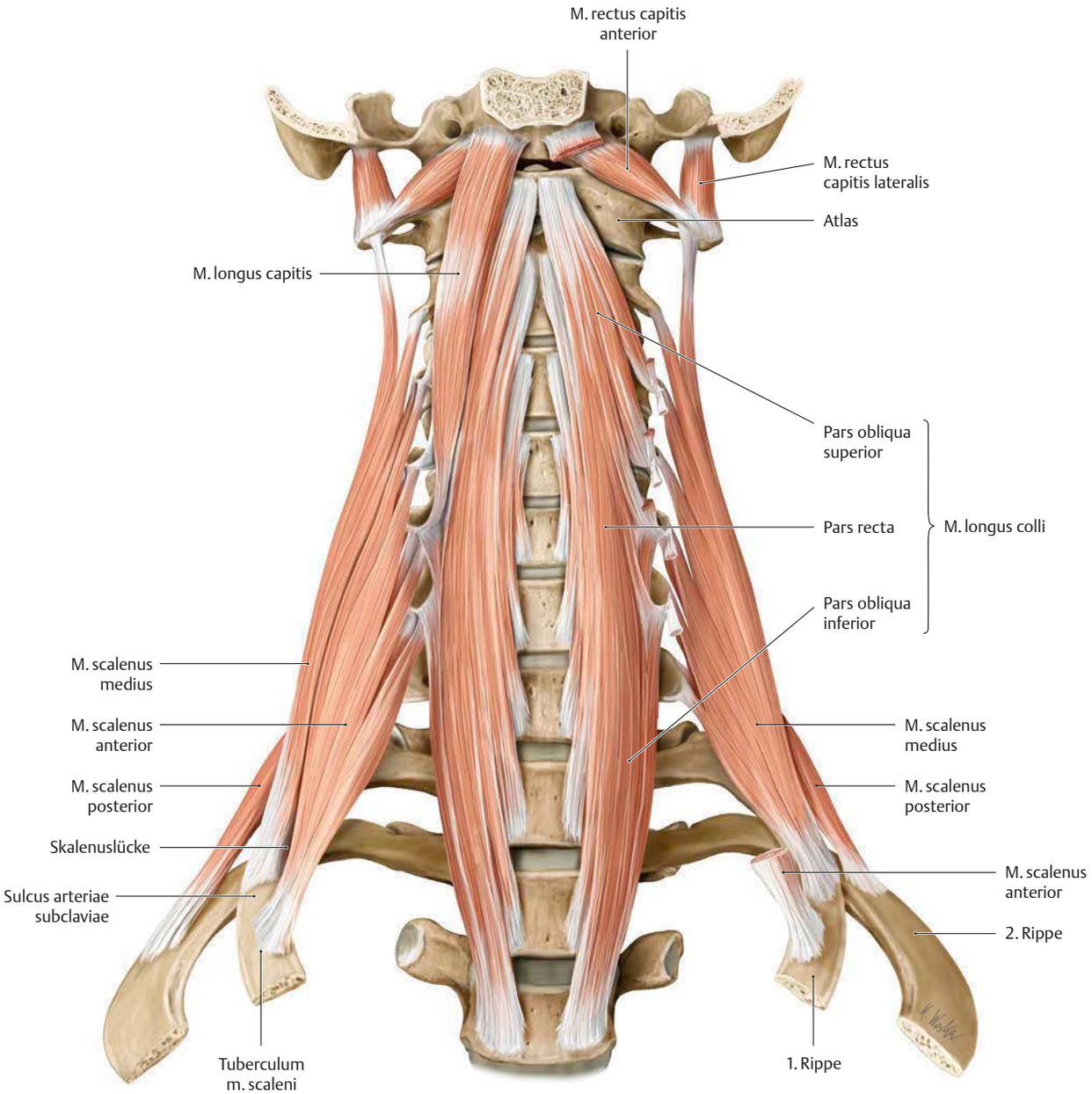
Mm. scaleni

Ursprung:
① M. scalenus anterior: Tubercula anteriora der Querfortsätze des 3.–6. Halswirbels
② M. scalenus medius: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 3.–7. Halswirbels
③ M. scalenus posterior: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 5.–7. Halswirbels

Ansatz:
- M. scalenus anterior: Tuberculum musculi scaleni der 1. Rippe
- M. scalenus medius: 1. Rippe (dorsal des Sulcus arteriae subclaviae)
- M. scalenus posterior: Außenfläche der 2. Rippe

Funktion:
- Punctum mobile an den Rippen: Inspiration (Heben der oberen Rippen)
- Punctum fixum an den Rippen: Lateralflexion der HWS zur ipsilateralen Seite (bei einseitiger Kontraktion)
- Ventralflexion des Halses (bei beidseitiger Kontraktion)

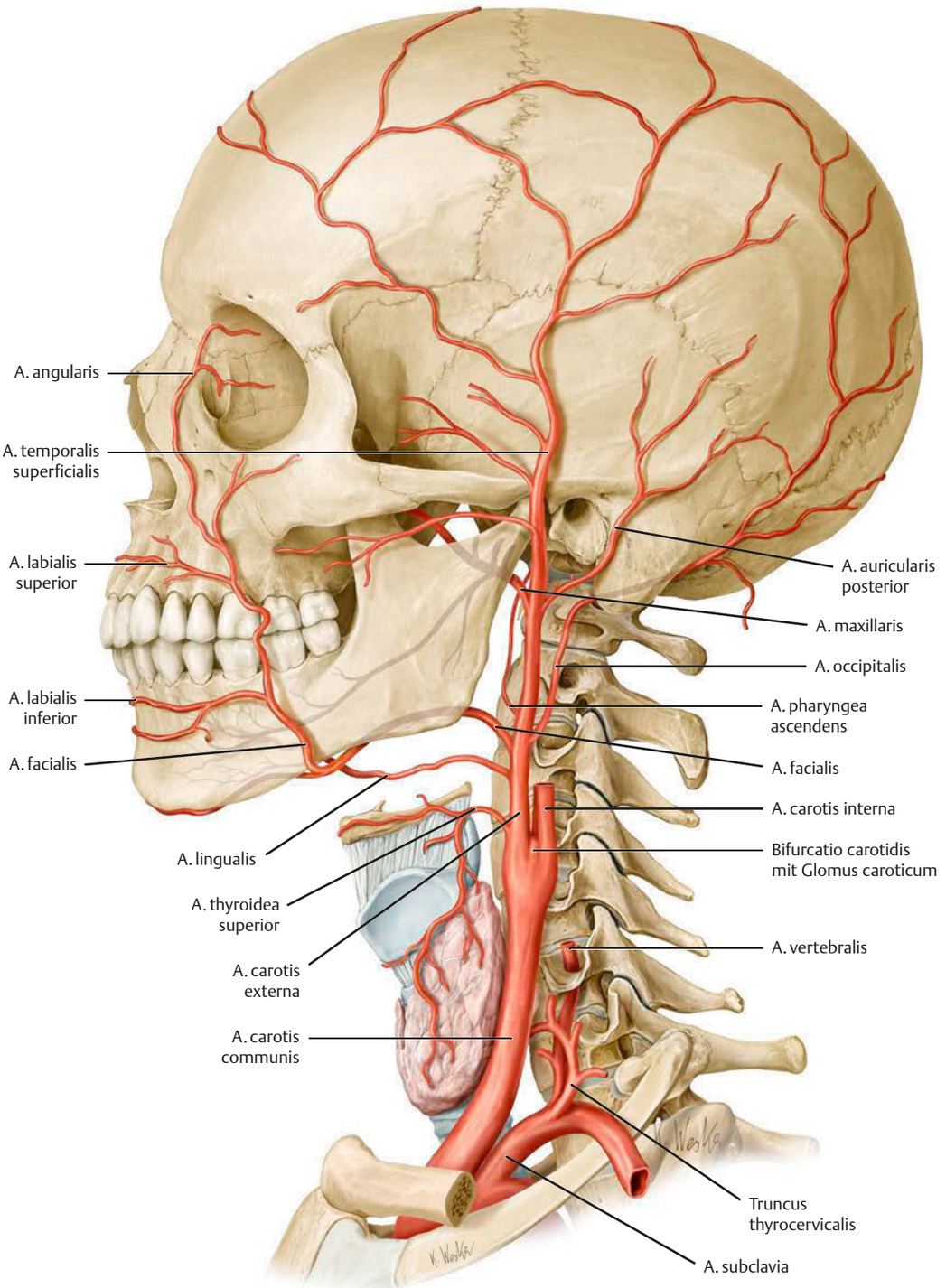
Innervation: direkte Äste aus dem Plexus cervicalis und dem Plexus brachialis (C3–6)



C Prävertebrale und seitliche (tiefe) Halsmuskeln in der Ansicht von ventral

M. longus capitis und M. scalenus anterior auf der linken Seite teilweise entfernt. Die prävertebralen Muskeln spannen sich zwischen Halswirbelsäule und Schädel aus und wirken somit auf beide. Die drei gestaffelt angeordneten Treppenmuskeln (Mm. scaleni) zählen zu den seitlichen (tiefen) Halsmuskeln, sie spannen sich zwischen Halswirbelsäule und Brustkorb aus, deshalb wirken sie auch als Atemhilfsmuskeln. Zwischen dem vorderen und mittleren Treppenmuskel befindet sich die *Skalenuslücke*, eine topografisch wichtige Struktur, durch die der Plexus brachialis und die A. subclavia ziehen.

4.1 Systematik der arteriellen Versorgung an Kopf und Hals



Systematik der Arterien von Kopf und Hals

Äste der A. carotis externa

Ventrale Äste
- A. thyroidea superior
  - R. infrahyoideus
  - A. laryngea superior
  - R. cricothyroideus
  - R. sternocleidomastoideus
  - Rr. glandulares
- A. lingualis
- A. facialis

Medialer Ast
- A. pharyngea ascendens

Dorsale Äste
- A. occipitalis
- A. auricularis posterior

Endäste
- A. maxillaris
- A. temporalis superficialis

Äste der A. subclavia

A. thoracica interna
- Rr. mediastinales
- Rr. thymici
- A. pericardiacophrenica
- Rr. mammarii
- Rr. intercostales anteriores
- A. musculophrenica
- A. epigastrica superior

A. vertebralis
- Rr. spinales
- R. meningeus
- Aa. spinales posteriores
- A. spinalis anterior
- A. inferior posterior cerebelli
- A. basilaris

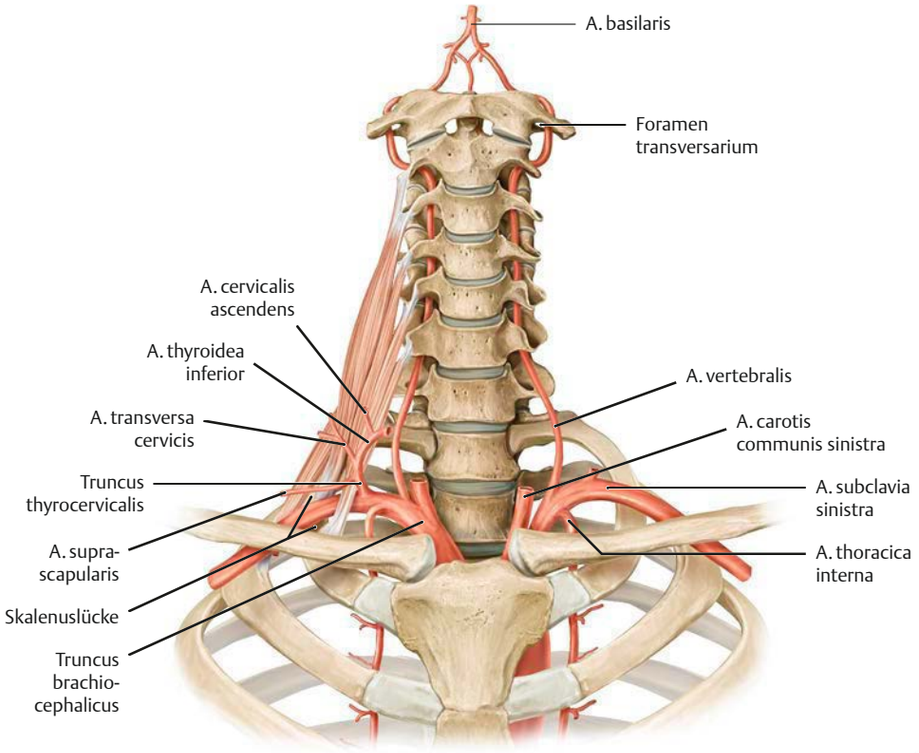
Truncus thyrocervicalis
- A. thyroidea inferior (A. cervicalis ascendens)
- A. transversa cervicis
  - R. superficialis (A. cervicalis superficialis)
  - R. profundus (A. dorsalis scapulae)
- A. suprascapularis

Truncus costocervicalis
- A. cervicalis profunda
- A. intercostalis suprema

A Arterien von Kopf und Hals im Überblick
Ansicht von links.

Kopf und Hals werden hauptsächlich von den beiden Karotiden, der A. carotis interna und der A. carotis externa, mit Blut versorgt. Sie entstehen durch die Aufteilung der A. carotis communis, die aus dem Aortenbogen entspringt und sind über Anastomosen miteinander verbunden (s. **D**). Die A. carotis interna versorgt im Wesentlichen – aber nicht ausschließlich – intrakranielle Strukturen (Gehirn), die A. carotis externa Hals und Kopf. Im Halsbereich geben A. carotis communis und A. carotis interna keine Äste ab. Der Hals wird also von Ästen der A. carotis *externa* versorgt! Zusätzlich zu diesen Ästen werden thoraxnahe Bereiche des Halses aus Ästen der A. subclavia versorgt.

In der Karotisbifurkation liegt das Glomus caroticum (nicht dargestellt), das Hypoxie und Änderungen des ph-Wertes des Bluts registriert und damit für die Atemregulation wichtig ist.



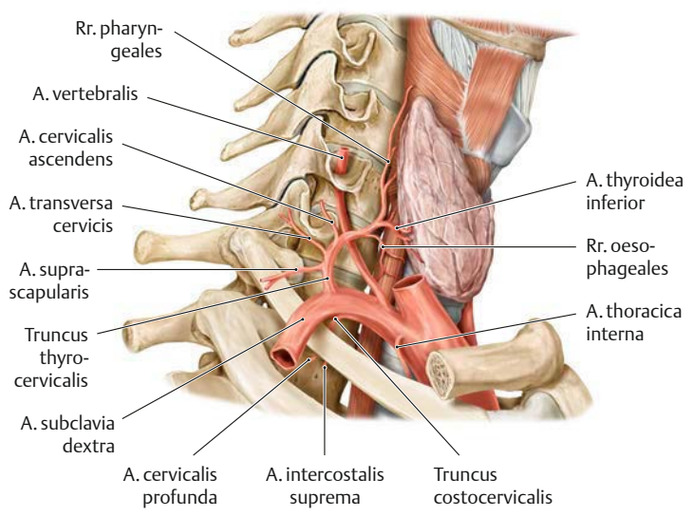
B A. subclavia und ihre Äste

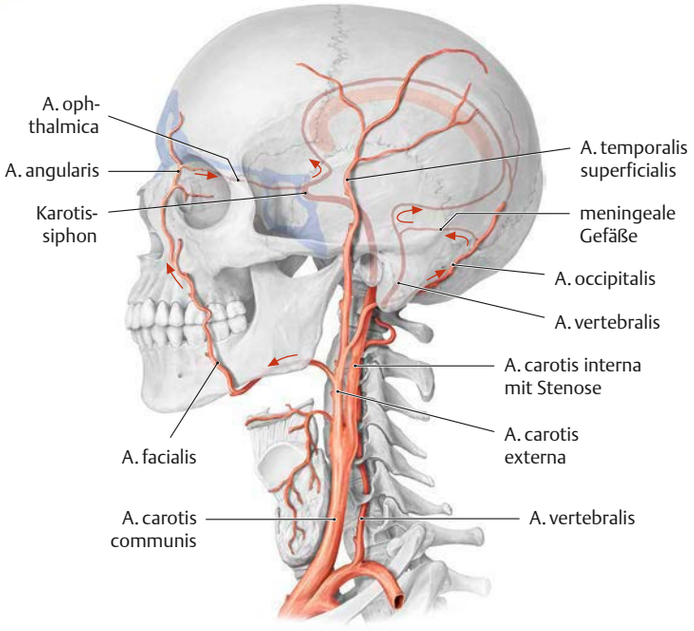
Ansicht von ventral. Die A. subclavia gibt eine Reihe von Arterienstämmen ab, die Strukturen an der Halsbasis und im Bereich der oberen Thoraxapertur versorgen. Besonders wichtig sind hierbei der Truncus thyrocervicalis mit seiner A. transversa cervicis sowie der Truncus costocervicalis (s. **C**).

Beachte, dass die Astfolge der A. subclavia variabel sein kann.

Nach Austritt aus der oberen Thoraxapertur zieht die A. subclavia weiter durch die Skalenuslücke – zwischen Mm. scalenus anterior und medius, s. S. 93, hindurch zum Arm.

Die *A. vertebralis* entspringt dorsal aus der A. subclavia und zieht durch die Foramina transversaria der Halswirbel nach kranial. Intrakraniell bilden beide Aa. vertebrales mit beiden Aa. carotides internae Anastomosen, die für die Durchblutung des Gehirns von großer klinischer Bedeutung sind.





C Truncus thyrocervicalis und Truncus costocervicalis und seine Äste

Ansicht von rechts. Der Truncus thyrocervicalis entspringt aus der A. subclavia und zweigt sich auf in die A. thyroidea inferior, die A. transversa cervicis und die A. suprascapularis. Er versorgt im Wesentlichen lateral gelegene Strukturen an der Basis des Halses und ist unterschiedlich ausgebildet.

Der Truncus costocervicalis entspringt dorsal aus der A. subclavia in Höhe des M. scalenus anterior. Er zweigt sich auf in A. cervicalis profunda und A. intercostalis suprema. Die Nackenmuskeln und der 1. und 2. Interkostalraum werden von seinen Gefäßen versorgt.

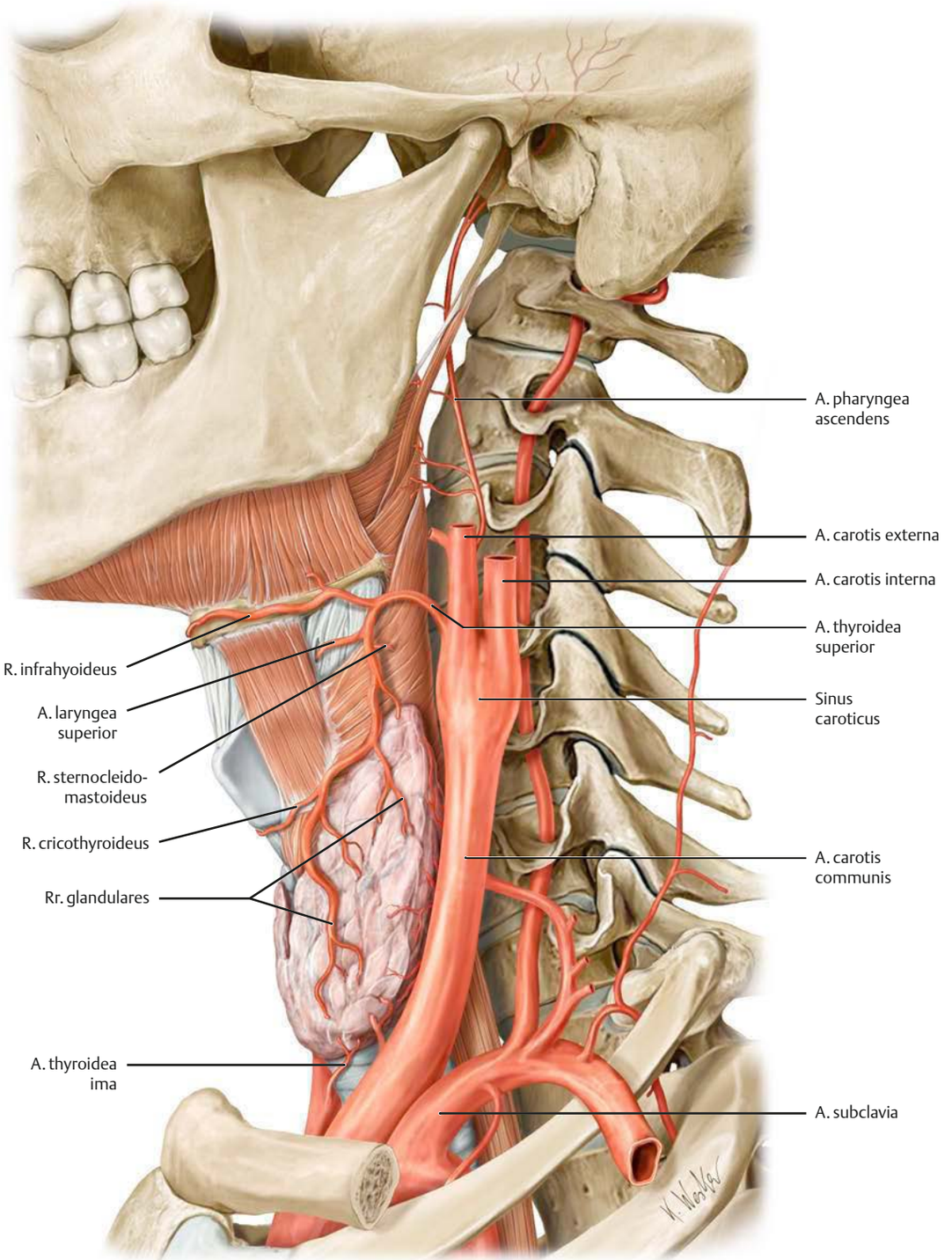
D Kollateralkreisläufe im Halsbereich bei Stenose der A. carotis interna

Eine Arteriosklerose im Bereich der A. carotis interna ist ein häufiges klinisches Problem. Dabei verengt sich das Gefäßlumen (Stenose), was letztlich zu Durchblutungsstörungen im Gehirn führt. Erfolgt der Lumenverschluss plötzlich, kommt es zum Schlaganfall; entwickelt sich die Stenose der A. carotis interna langsam, gelangt das Blut über sich langsam erweiternde Kollateralen zum Gehirn. Dabei kann sich in den hirnnahen Abschnitten der Anastomosen der Blutstrom umkehren (s. Pfeile). Solange diese Kollateralen ausreichen, tritt die Stenose klinisch nicht in Erscheinung.

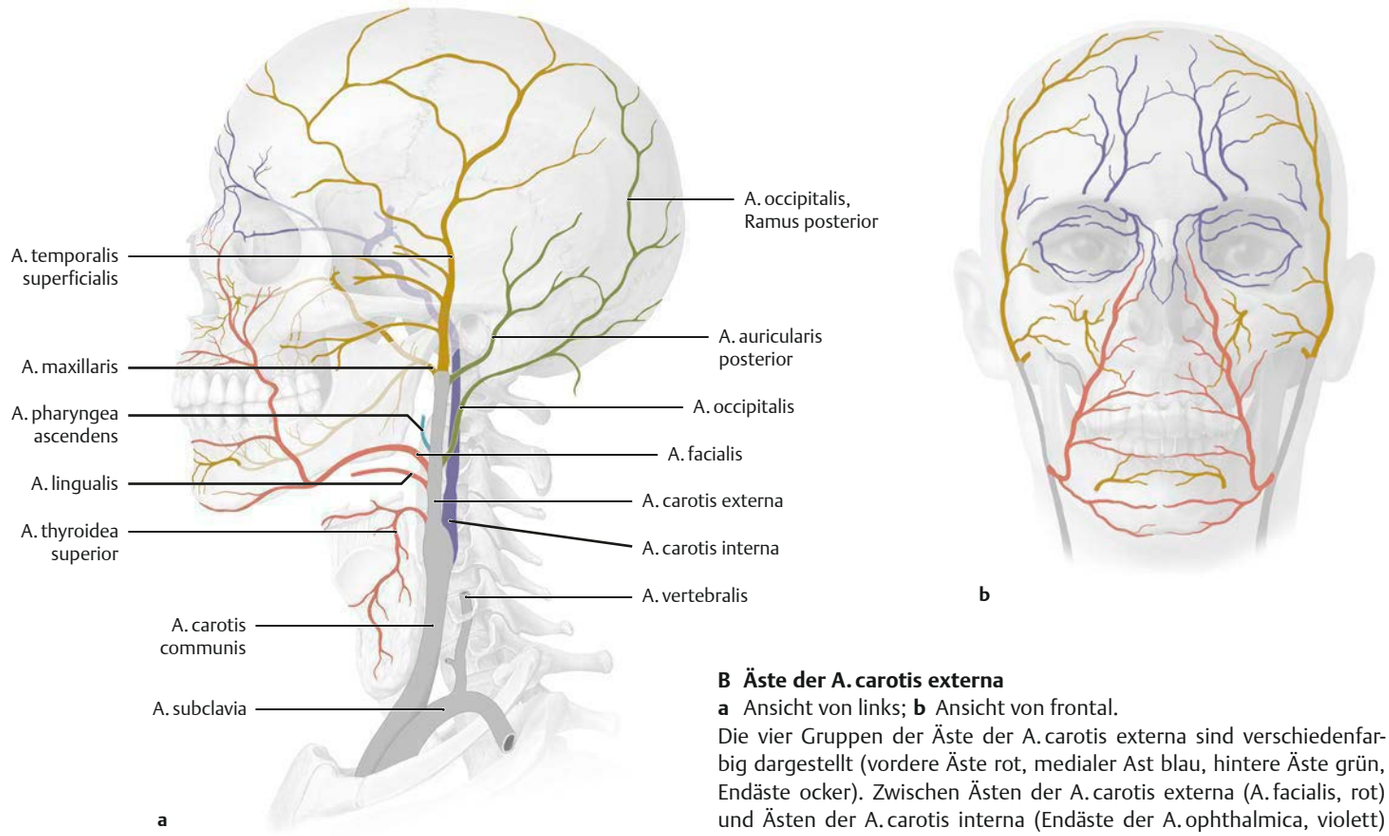
Die wichtigsten Kollateralen sind:

- Ophthalmikakollaterale: A. carotis externa → A. facialis → A. angularis → A. ophthalmica → Karotissiphon;
- Okzipitalisanastomose: A. carotis externa → A. occipitalis → kleine meningeale Arterien → A. vertebralis.

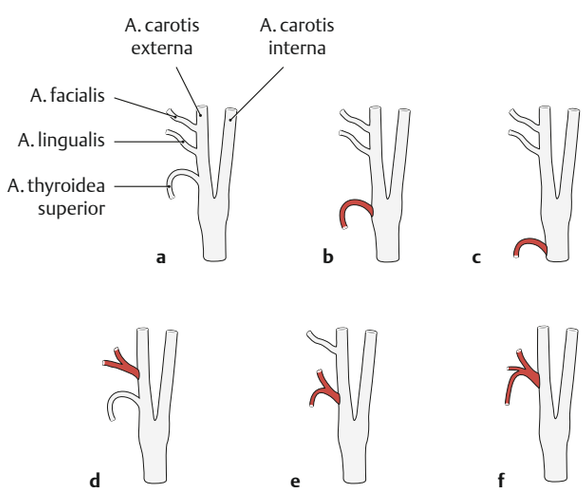
4.2 A. carotis interna und Systematik der Äste der A. carotis externa



A Aa. carotis communis und externa und ihre Äste im Halsbereich
Ansicht von links. Am Hals befinden sich beiderseits zwei große Arterien, die als „Durchfahrtsstraßen" das Blut vom Aortenbogen zu Kopf und Gehirn transportieren: die A. carotis communis und die aus ihr entspringende A. carotis interna sowie die A. vertebralis. Die rechte A. carotis communis entspringt dem Truncus brachiocephalicus, die linke direkt der Aorta. Die A. carotis communis teilt sich etwa in Höhe des 4. Halswirbelkörpers in die A. carotis interna und externa. Die A. carotis *interna* gibt im Halsbereich *keine* Äste ab und zieht ins Schädelinnere zum Gehirn weiter; die A. carotis *externa* spaltet sich an Kopf und Hals in zahlreiche Äste auf (s. **B**). Im Halsbereich versorgt sie im wesentlichen ventral gelegene Strukturen einschließlich der Halseingeweide. Beide Aa. carotides werden von einem bindegewebigen Blatt der Halsfaszie, der Vagina carotica, umhüllt (s. **B**, S. 4).



B Äste der A. carotis externa
a Ansicht von links; **b** Ansicht von frontal.
Die vier Gruppen der Äste der A. carotis externa sind verschiedenfarbig dargestellt (vordere Äste rot, medialer Ast blau, hintere Äste grün, Endäste ocker). Zwischen Ästen der A. carotis externa (A. facialis, rot) und Ästen der A. carotis interna (Endäste der A. ophthalmica, violett) gibt es Anastomosen im Gesichtsbereich (**b**). Zu extrazerebralen Ästen der A. carotis interna s. S. 102 f.



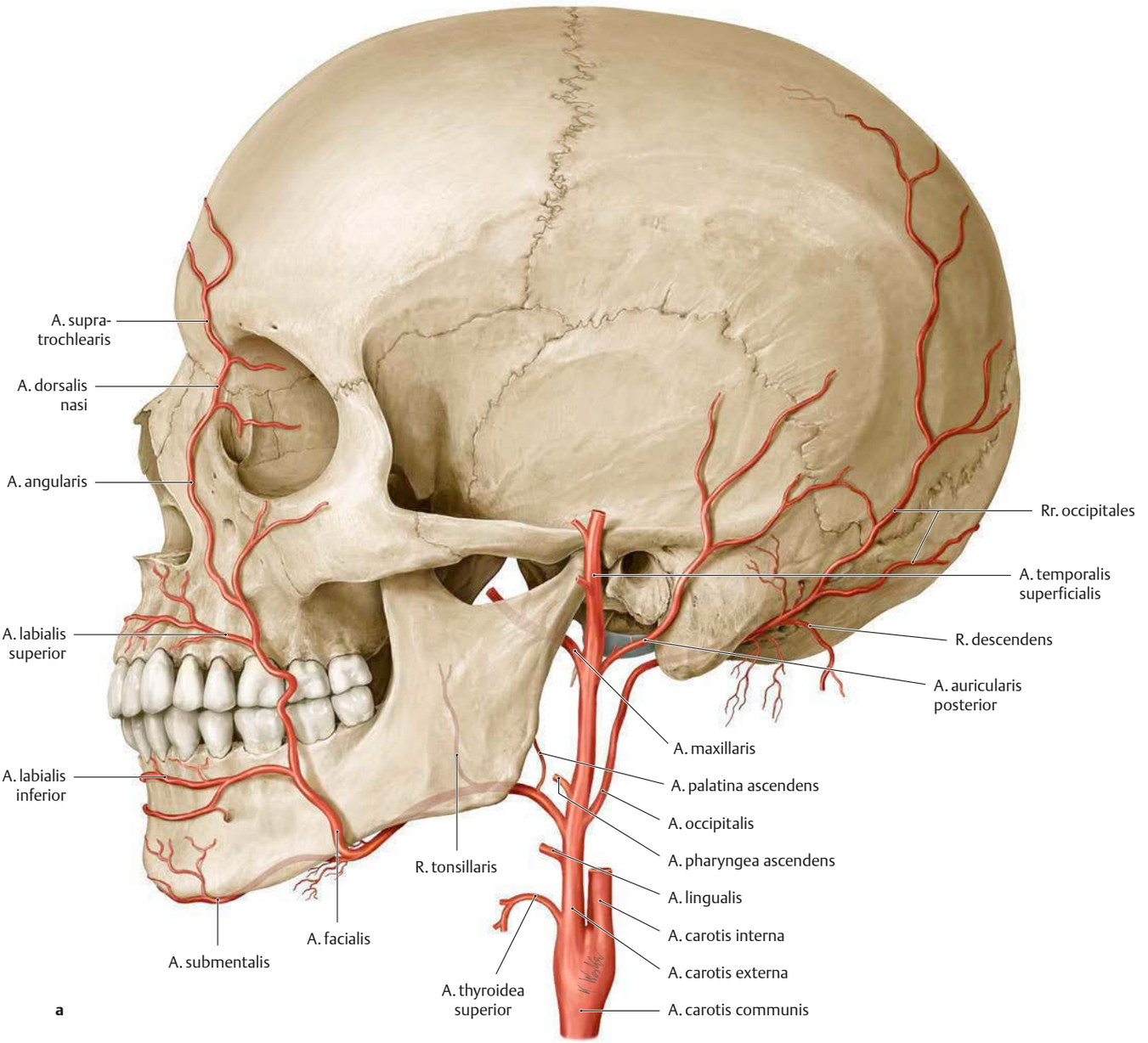
C Äste der A. carotis externa: Regelfall und Varianten einiger Äste
(nach Lippert u. Pabst)
a Im **Regelfall** (50 %) gehen die Aa. facialis, lingualis und thyroidea superior oberhalb der Bifurkation aus der A. carotis externa ab.

b–f Varianten:
b u. **c** Abgang der A. thyroidea superior in Höhe der Bifurkation (20 %) oder aus der A. carotis communis (10 %).
d–f Zwei oder drei abzweigende Äste bilden gemeinsame Stämme, Trunci: Truncus linguofacialis (18 %), Truncus thyrolingualis (2 %) oder Truncus thyrolinguofacialis (1 %).

D Äste der A. carotis externa im Überblick
(Unteräste s. nachfolgende Lerneinheiten)
In den folgenden Lerneinheiten werden die Arterien des Kopfes entsprechend der Gliederung in dieser Tabelle besprochen. Danach folgen die Äste der A. carotis interna und die Venen.

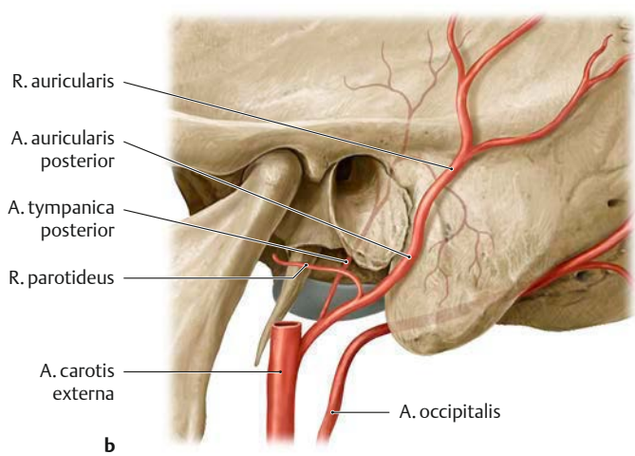
Name des Astes	Versorgungsgebiet
Vordere Äste:	
• A. thyroidea superior	• Kehlkopf, Schilddrüse
• A. lingualis	• Mundboden, Zunge
• A. facialis	• Gesichtsbereich, oberflächlich
Medialer Ast:	
• A. pharyngea ascendens	• Pharynx bis Schädelbasis
Hintere Äste:	
• A. occipitalis	• Hinterhaupt
• A. auricularis posterior	• Ohrregion
Endäste:	
• A. maxillaris	• Kaumuskulatur, hinterer innerer Teil des Gesichtsschädels, Meningen
• A. temporalis superficialis	• Schläfenregion, Teil des Ohres

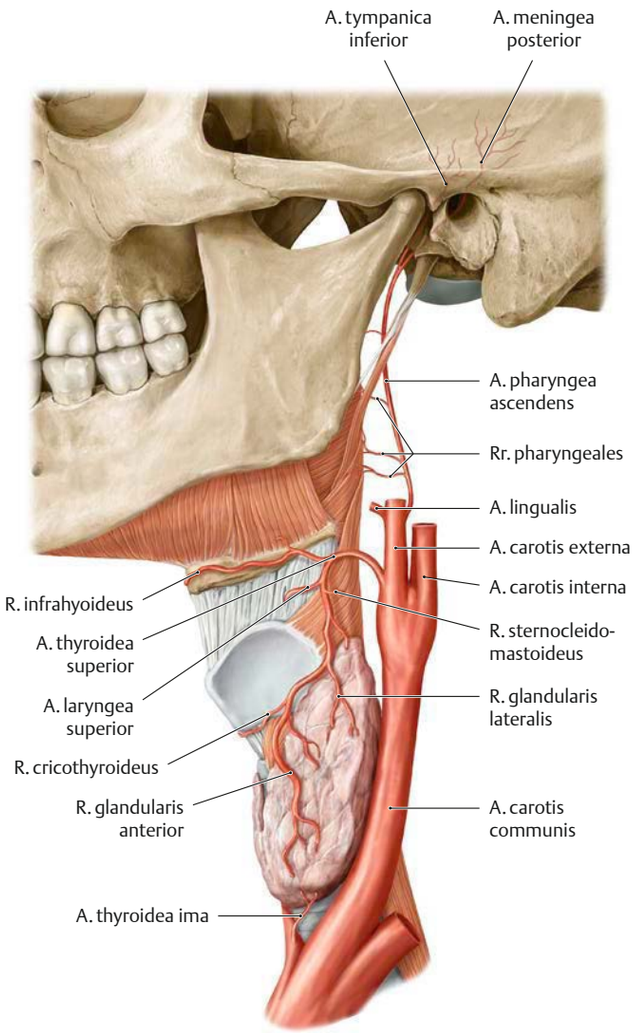
4.3 Vordere und hintere Äste sowie medialer Ast der A. carotis externa



A A. facialis, A. occipitalis und A. auricularis posterior mit ihren Ästen

Ansicht von links. Bei der **A. facialis**, die zu den vorderen Ästen zählt, unterscheidet man Hals- und Gesichtsäste. Ein klinisch wichtiger *Halsast* ist die A. palatina ascendens, deren R. tonsillaris bei der Tonsillektomie zu unterbinden ist. Von den *Gesichtsästen* bilden die Aa. labiales superior und inferior den Circulus arteriosus oris. Der Endast der A. facialis, die A. angularis, anastomosiert mit der A. dorsalis nasi. Diese ist der Endast der A. ophthalmica, die aus der A. carotis interna stammt. Die eben geschilderten umfangreichen arteriellen Anastomosen bewirken, dass es bei Gesichtsverletzungen stark blutet, gleichzeitig führt diese gute Durchblutung aber auch zu guter Verheilung von Verletzungen. Der Puls der A. facialis ist am vorderen Ende des Masseteransatzes am Unterkieferrand tastbar. Zu den wichtigsten Ästen der **A. auricularis posterior** zählen die A. tympanica posterior und der R. parotideus.

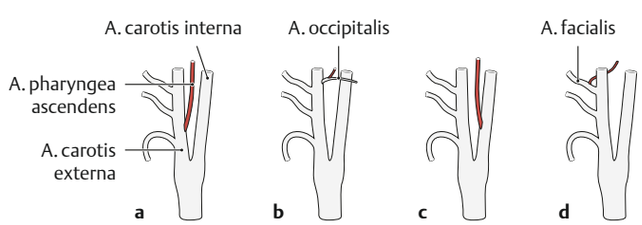




B A. thyroidea superior und A. pharyngea ascendens mit ihren Ästen

Ansicht von links. Die A. thyroidea superior ist regelhaft die erste aus der A. carotis externa entspringende Arterie. Sie zählt zu den vorderen Ästen und versorgt Kehlkopf und Schilddrüse, während die A. pharyngea ascendens, die meist nach ihr entspringt, als medialer Ast bezeichnet wird.

Beachte: Die Höhe der Abzweigung eines Gefäßes aus der A. carotis externa ist nicht unbedingt mit dem Verlauf des entsprungenen Gefäßes korreliert.

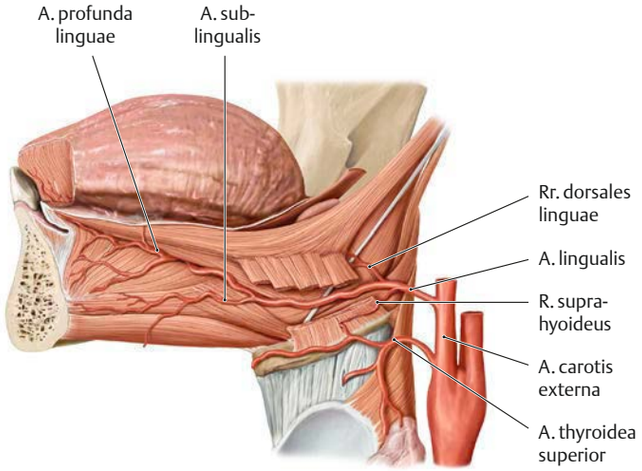


C Ursprung der A. pharyngea ascendens: Regelfall und Varianten (nach Lippert u. Pabst)

a Im **Regelfall** (70 %) geht die A. pharyngea ascendens aus der A. carotis externa ab.

b–d Varianten:

b Abgang aus der A. occipitalis (20 %); **c** aus der A. carotis interna (8 %) und **d** aus der A. facialis (2 %).



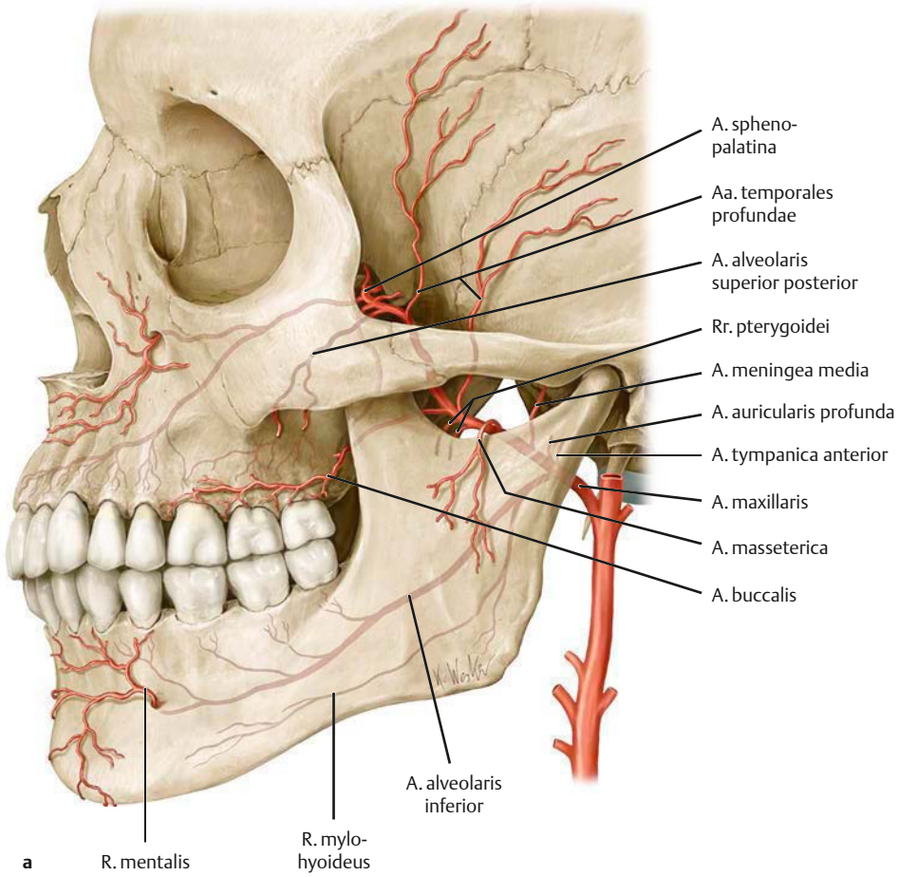
D A. lingualis mit ihren Ästen

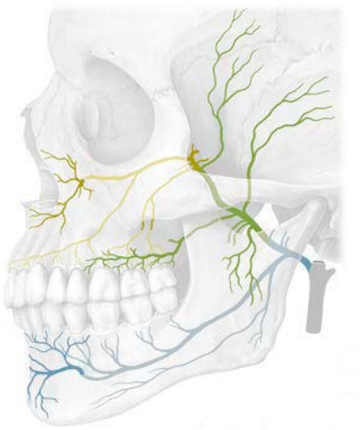
Ansicht von links. Die A. lingualis ist der zweite vordere Ast der A. carotis externa, sie ist relativ dick, da die Zunge gut durchblutet ist. Sie versorgt mit ihren Ästen ebenfalls noch Pharynx und Tonsillen.

E Äste der A. carotis externa und ihr Versorgungsgebiet: vordere und hintere Äste sowie medialer Ast mit ihren wichtigsten Unterästen

Ast	Versorgungsgebiet
Vordere Äste:	
• A. thyroidea superior (s. **B**)	
– Rr. glandulares	• Schilddrüse
– A. laryngea superior	• Kehlkopf
– R. sternocleidomastoideus	• M. sternocleidomastoideus
• A. lingualis (s. **D**)	
– Rr. dorsales linguae	• Zungengrund, Kehldeckel
– A. sublingualis	• Gl. sublingualis, Zunge, Mundhöhle, Mundboden
– A. profunda linguae	• Zunge
• A. facialis (s. **A**)	
– A. palatina ascendens	• Rachenwand, Gaumensegel, Tuba auditiva
– R. tonsillaris	• Tonsilla palatina (Hauptast!)
– A. submentalis	• Mundboden, Gl. submandibularis
– Aa. labiales	• Lippen
– A. angularis	• Nasenwurzel
Medialer Ast:	
• A. pharyngea ascendens (s. **B**)	
– Rr. pharyngeales	• Rachenwand
– A. tympanica inferior	• Mittelohrschleimhaut
– A. meningea posterior	• Dura, hintere Schädelgrube
Hintere Äste:	
• A. occipitalis (s. **A**)	
– Rr. occipitales	• Kopfschwarte, Regio occipitalis
– R. descendens	• Nackenmuskulatur
• A. auricularis posterior (s. **A**)	
– A. stylomastoidea	• N. facialis im Canalis facialis
– A. tympanica posterior	• Paukenhöhle
– R. auricularis	• Rückseite Ohrmuschel
– R. occipitalis	• Hinterhaupt
– R. parotideus	• Ohrspeicheldrüse

4.4 Endäste der A. carotis externa



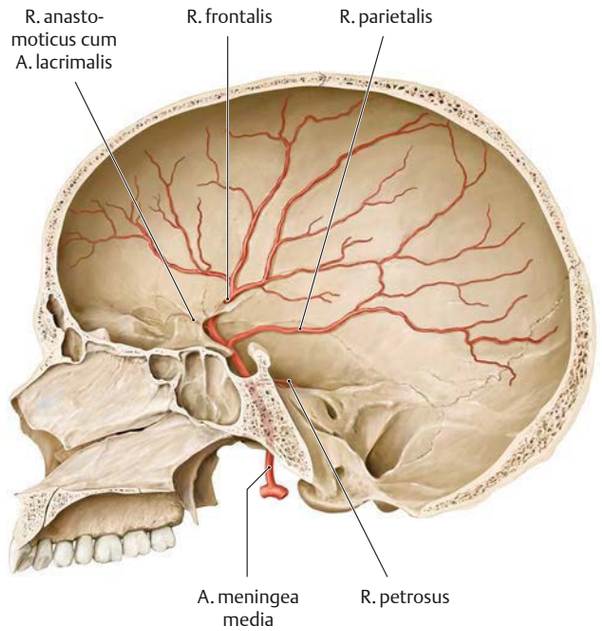


A A. maxillaris und ihre Äste
Ansicht von links. Die A. maxillaris ist der stärkere der beiden Endäste der A. carotis externa. Ihr Ursprung liegt in der Ebene hinter dem R. mandibulae (wichtig beim Aufsuchen am Präparat!). Man grenzt drei Strecken in ihrem Verlauf ab:

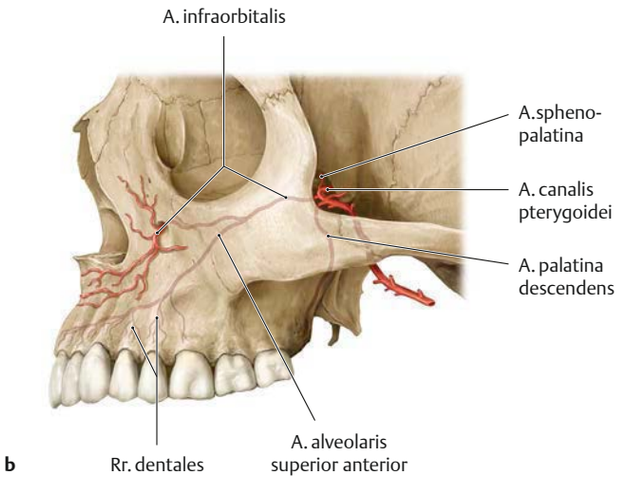
- Pars mandibularis (blau),
- Pars pterygoidea (grün) und
- Pars pterygopalatina (gelb).

B Die beiden Endäste der A. carotis externa mit ihren wichtigsten Ästen

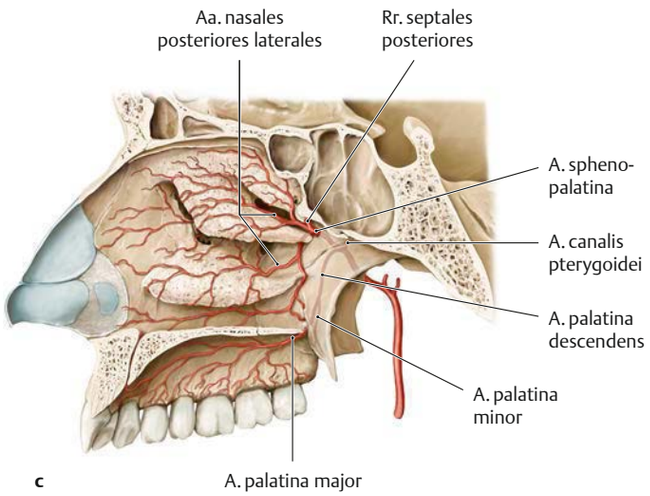
Ast		Versorgungsgebiet
A. maxillaris		
Pars mandibularis:	• A. alveolaris inferior	• Unterkiefer mit Zähnen, Zahnfleisch (der R. mentalis stellt ihren Endast dar)
	• A. meningea media (s. **C**)	• Kalotte; Dura; vordere und mittlere Schädelgrube
	• A. auricularis profunda	• Kiefergelenk, äußerer Gehörgang
	• A. tympanica anterior	• Paukenhöhle
Pars pterygoidea:	• A. masseterica	• M. masseter
	• Aa. temporales profundae	• M. temporalis
	• Rr. pterygoidei	• Mm. pterygoidei
	• A. buccalis	• Wangenschleimhaut
Pars pterygopalatina:	• A. alveolaris superior posterior	• Molaren Oberkiefer, Kieferhöhle, Gingiva
	• A. infraorbitalis	• Alveolen des Oberkiefers
	• A. palatina descendens	
	– A. palatina major	• harter Gaumen
	– A. palatina minor	• weicher Gaumen, Tonsilla palatina, Rachenwand
	• A. sphenopalatina	
	– Aa. nasales posteriores laterales	• laterale Wand der Nasenhöhle, Muscheln
	– Rr. septales posteriores	• Nasenseptum
A. temporalis superficialis	• A. transversa faciei	• Gesichtsweichteile unterhalb des Jochbogens
	• Rr. frontalis und parietalis	• Kopfschwarte Stirn/Scheitel
	• A. zygomaticoorbitalis	• seitliche Orbitawand



a

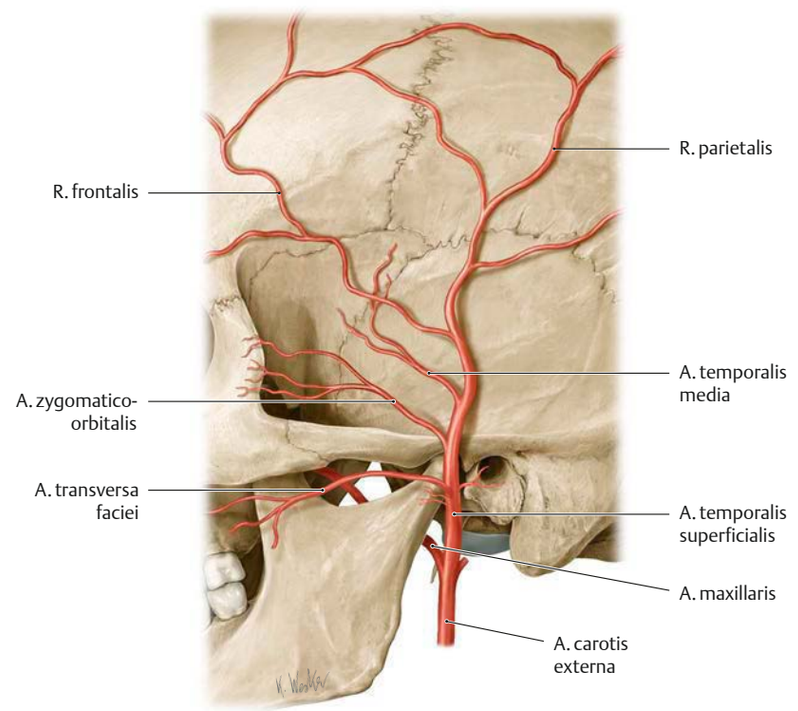


b



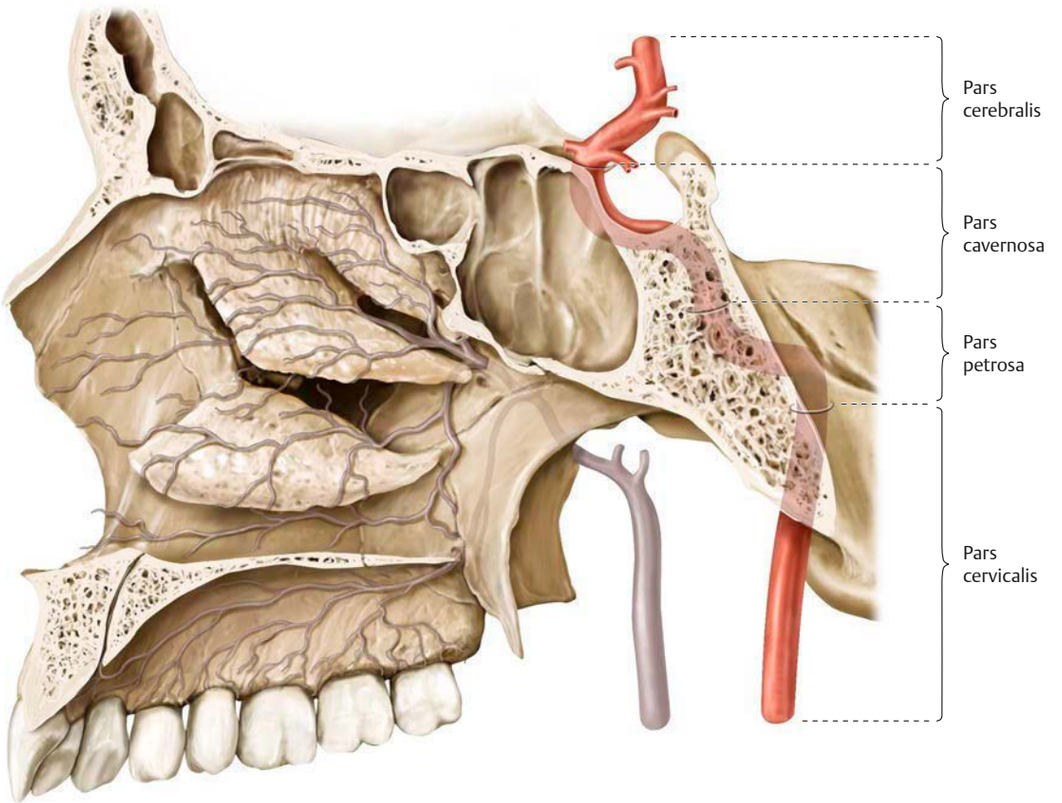
c

C Ausgewählte, klinisch wichtige Äste der A. maxillaris
a Rechte A. meningea media; **b** linke A. infraorbitalis; **c** rechte A. sphenopalatina mit ihren Ästen, die die Nasenhöhle versorgen.
Die **A. meningea media** zieht durch das Foramen spinosum in die mittlere Schädelgrube. Sie versorgt nicht nur (wie der Name sagt) die Hirnhaut, sondern auch die über der Hirnhaut gelegene Kalotte mit Blut. Reißt sie bei einem Schädel-Hirn-Trauma ein, bildet sich ein epidurales Hämatom (s. S. 390). Die **A. infraorbitalis** ist ein Ast der A. maxillaris und damit der A. carotis *externa*, während die A. supraorbitalis (ein Ast der A. ophthalmica) einen Endast der A. carotis *interna* darstellt. Somit kann in diesem Bereich eine Anastomose zwischen dem Stromgebiet der A. carotis externa und interna gebildet werden. Bei schweren Blutungen aus dem Nasen-Rachen-Raum aus Ästen der **A. sphenopalatina** (ein Ast der A. maxillaris) kann es sogar erforderlich sein, letztere in der Fossa pterygopalatina (s. S. 238 u. 185) zu unterbinden (s. **C**, S. 103).

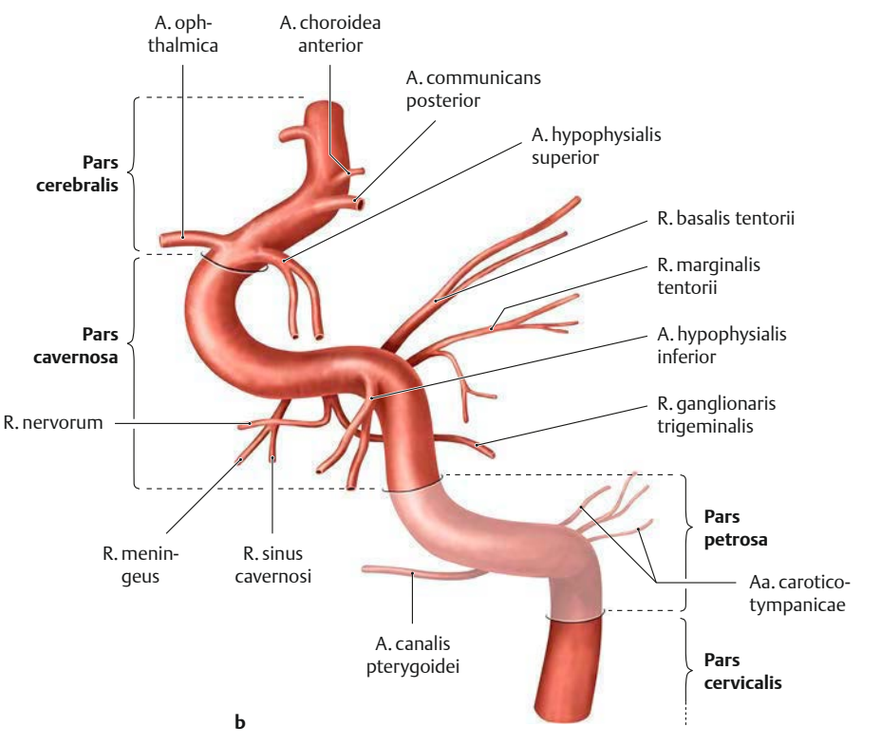


D A. temporalis superficialis
Ansicht von links. Insbesondere bei älteren und etwas kachektischen Männern lässt sich der oft geschlängelte Verlauf des R. frontalis an der Schläfe verfolgen. Die A. temporalis superficialis kann von einer entzündlichen Autoimmunerkrankung betroffen sein *(Arteritis temporalis Horton)*, die durch Biopsie des Gefäßes gesichert werden kann. Die Betroffenen, meist ältere Männer, leiden unter starken Kopfschmerzen.

4.5 Äste der A. carotis interna, die extrazerebrale Strukturen versorgen



a



b

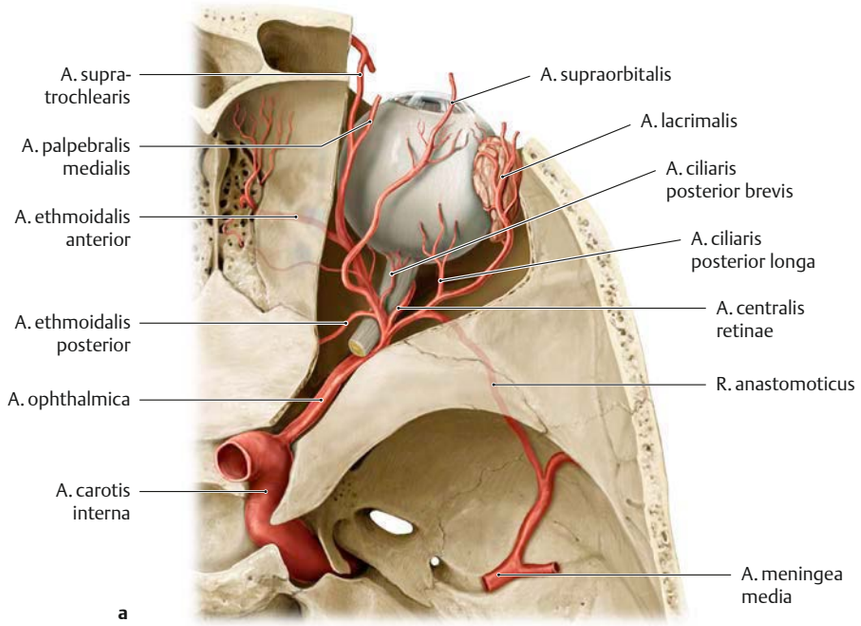
A Untergliederung der A. carotis interna und Äste, die extrazerebrale Strukturen am Kopf versorgen

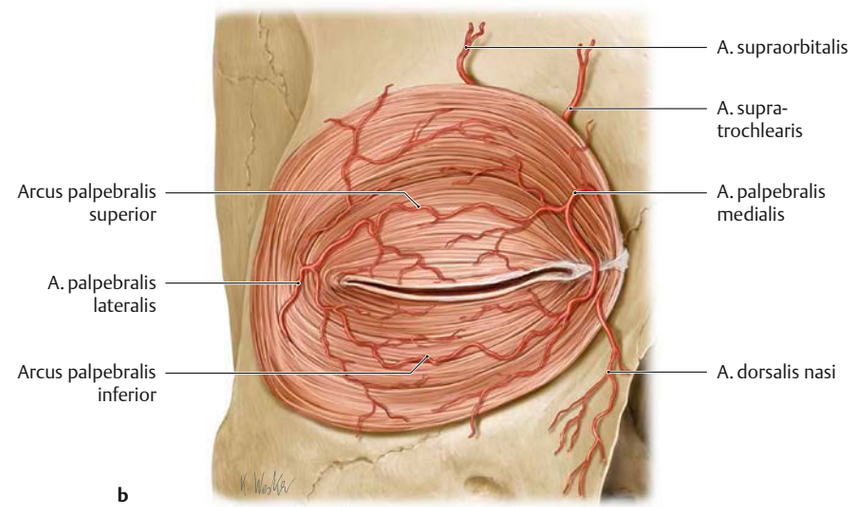
a Ansicht von medial auf die rechte A. carotis interna beim Durchtritt durch die Schädelbasis; **b** anatomische Abschnitte der A. carotis interna und ihre Äste.

Die A. carotis interna versorgt in erster Linie das Gehirn, aber auch extrazerebrale Bereiche des Kopfes. Sie wird in vier Bereiche unterteilt:

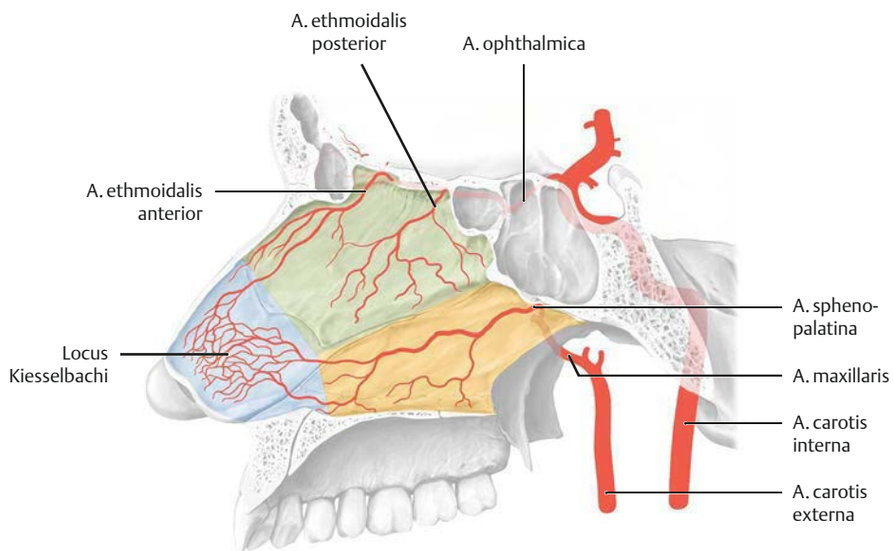
- Pars cervicalis,
- Pars petrosa,
- Pars cavernosa und
- Pars cerebralis.

Für die Versorgung extrazerebraler Strukturen des Kopfes spielen die Pars petrosa (im Bereich des Felsenbeins) und die Pars cavernosa (im Bereich des Sinus cavernosus) eine Rolle. Aus ihnen zweigen weitere kleine Äste ab, die der lokalen Blutversorgung dienen und meist nach ihrem Versorgungsbereich benannt sind. Die Kenntnis dieser Einzelheiten bleibt dem Spezialisten vorbehalten. Eine besondere Rolle spielt die *A. ophthalmica,* die aus der Pars cerebralis abzweigt (s. **B**).



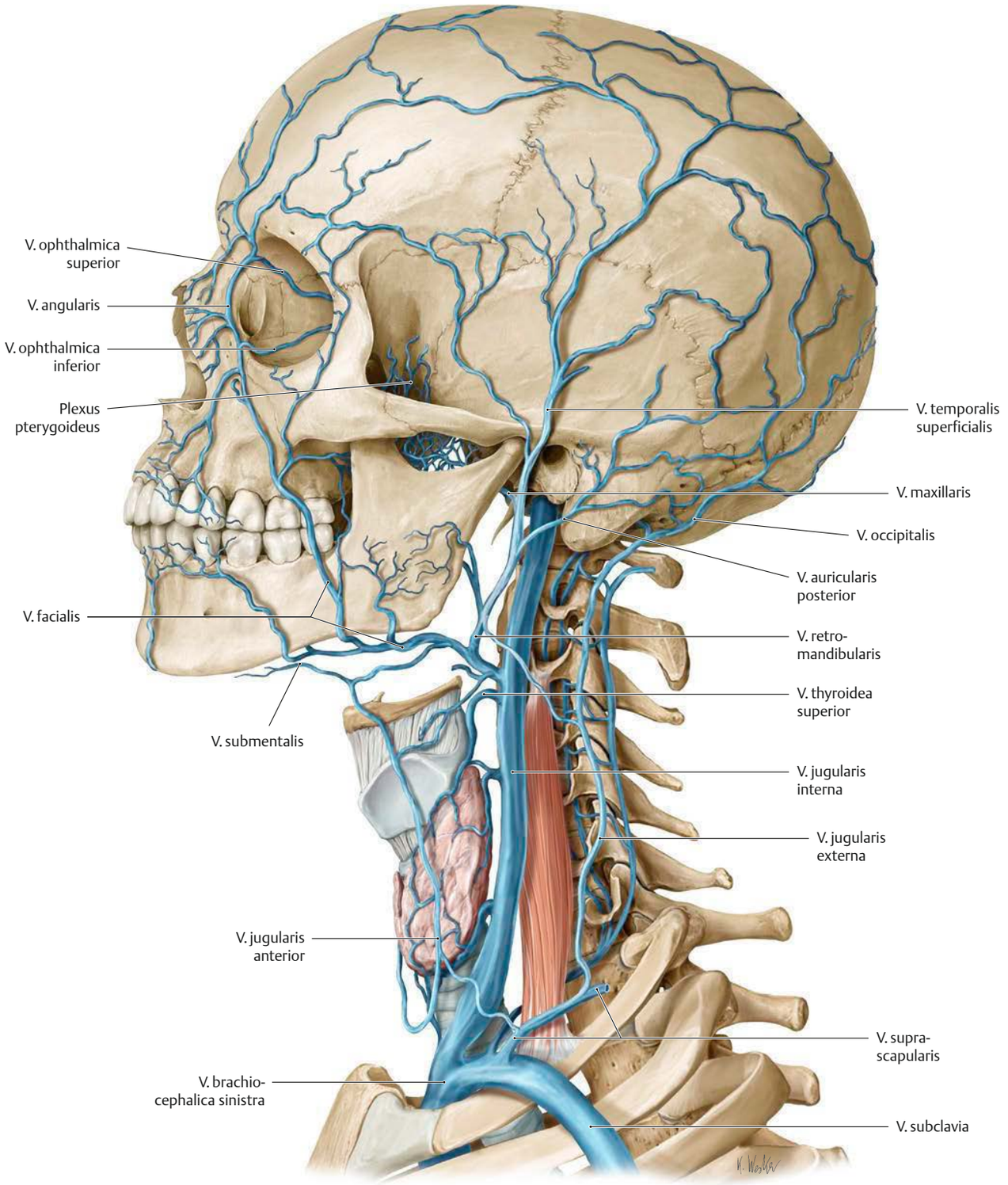


B A. ophthalmica
a Ansicht von oben in die rechte Orbita; **b** Ansicht von frontal auf die Gesichtsäste der rechten A. ophthalmica.
Man erkennt den Ursprung der A. ophthalmica aus der A. carotis interna. Die A. ophthalmica versorgt sowohl den Augapfel selbst als auch die Strukturen der Orbita mit Blut; ihre Endäste ziehen zu Augenlid und Teilen der Stirn (**b**). Daneben gibt es Endäste (Aa. ethmoidales anterior und posterior), die zur Versorgung des Nasenseptums beitragen (s. **C**).
Beachte: Äste aus der A. palpebralis lateralis und der A. supraorbitalis (**b**) können eine Anastomose mit dem R. frontalis der A. temporalis superficialis (Strombahn der A. carotis externa!) bilden (s. S. 97). Diese Anastomose kann bei Arteriosklerose der A. carotis interna eine Blutversorgungsquelle für das Gehirn darstellen.



C Gefäßversorgung des Nasenseptums
Ansicht von links. Im Bereich des Nasenseptums grenzen die Versorgungsgebiete der A. carotis interna (A. ethmoidalis anterior und posterior, grün) und der A. carotis externa (A. sphenopalatina, gelb) ebenfalls aneinander. Im vorderen Septumbereich liegt das Gefäßnetz des Locus Kiesselbachi (blau), aus dem das Blut beim Nasenbluten stammt. Der Locus Kiesselbachi wird von beiden Gefäßprovinzen gespeist, so dass es unter Umständen je nach Blutungsquelle erforderlich sein kann, die A. sphenopalatina/maxillaris und/oder von der Orbita aus die Ethmoidalarterien zu unterbinden.

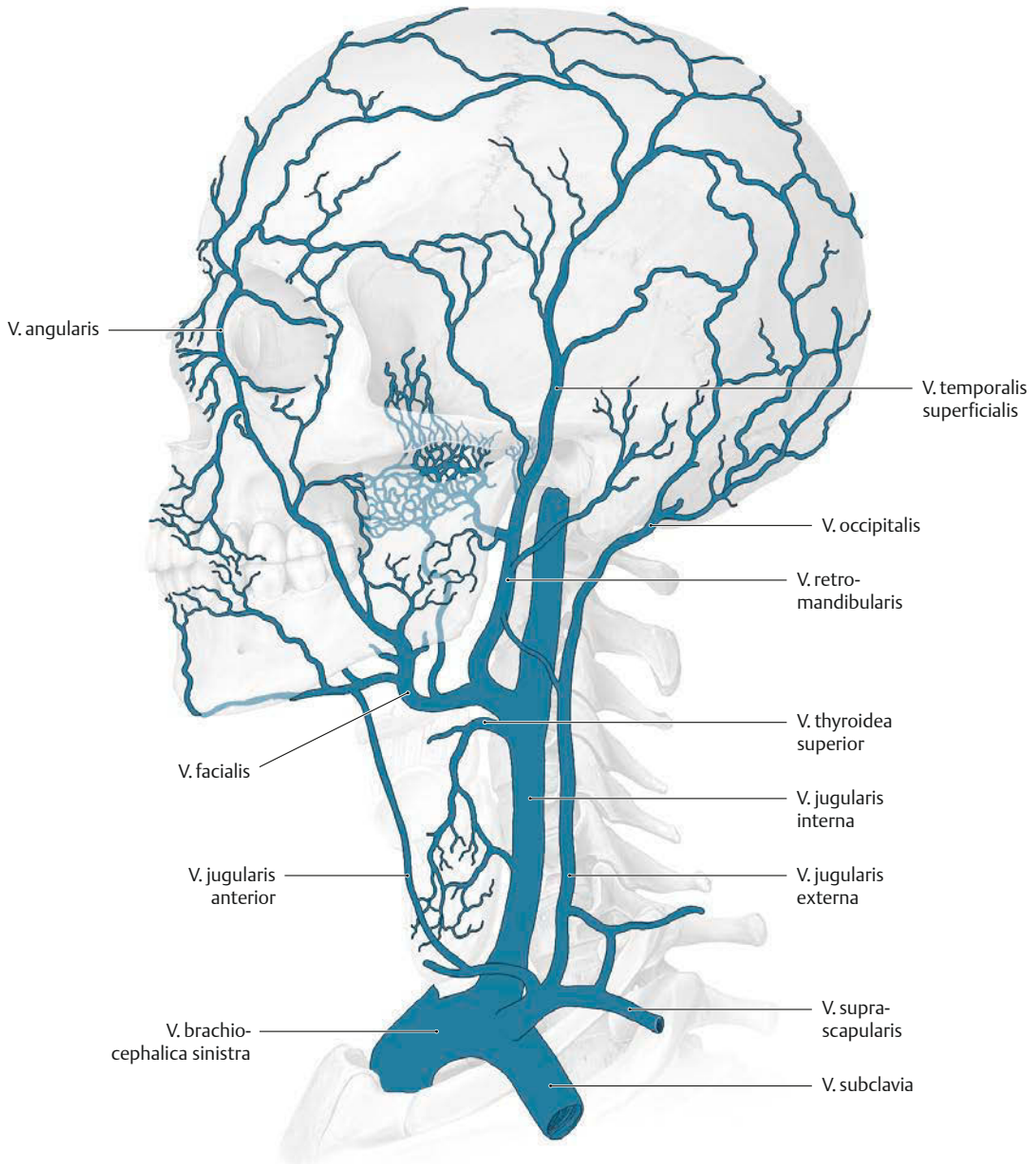
4.6 Oberflächliche Kopf- und Halsvenen



A Oberflächliche Kopf- und Halsvenen und deren Abfluss in die V. brachiocephalica

Ansicht von links. Die Hauptvene des Halses ist die *V. jugularis interna,* die das Blut aus dem Schädelinneren (inklusive des Gehirns!) drainiert. Sie zieht, von der Vagina carotica umschlossen, vom Foramen jugulare bis zum Venenwinkel, wo sie sich mit der V. subclavia zur V. brachiocephalica vereinigt. In die V. jugularis interna drainieren als große Venen aus dem Kopfbereich die V. temporalis superficialis und die V. facialis. Vom Hinterhaupt (V. occipitalis) und aus dem dorsalen Halsbereich drainiert die *V. jugularis externa* das Blut in die V. subclavia, vom vorderen oberflächlichen Halsbereich drainiert die *V. jugularis anterior* das Blut. Neben diesen oberflächlich gelegenen Venen gibt es noch tiefer gelegene Venenplexus (Orbita, Plexus pterygoideus, mittlere Schädelgrube), die in der nächsten Lerneinheit beschrieben werden.

Beachte: Die oberflächlichen Venen haben insbesondere im Bereich der V. angularis Bezug zu den tiefen Venen, Gefahr der Keimverschleppung (s. S. 107).



B Überblick über die wichtigsten oberflächlichen Kopf- und Halsvenen

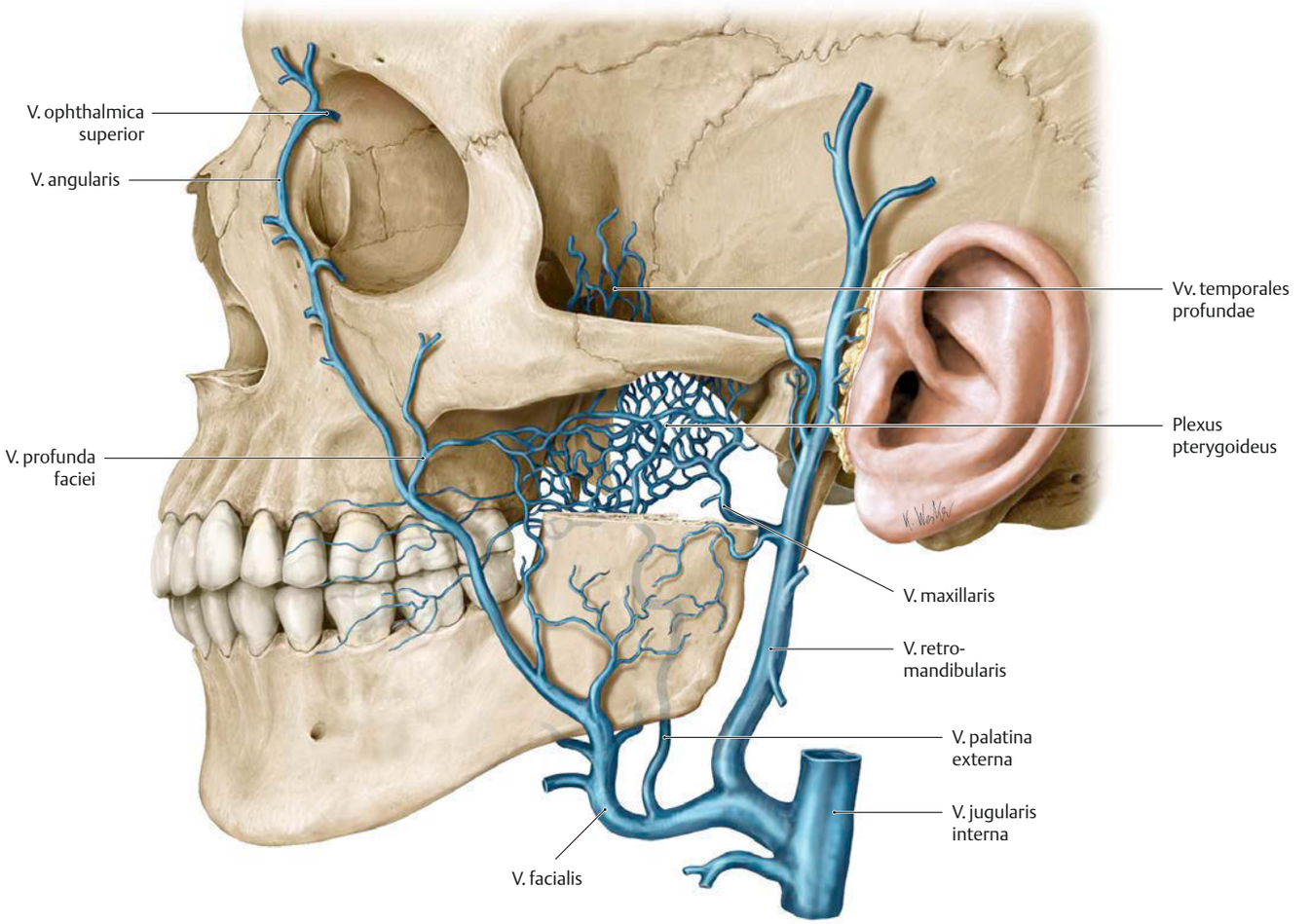
Ansicht von links. In diesem Verzweigungsschema sind nur die wichtigsten Venen beschriftet. Wie an vielen anderen Orten des Körpers, sind auch im Kopf-Hals-Bereich Verlauf und Kaliberstärke der Venen bis zu einem gewissen Grad variabel, die größten Venenstämme ausgenommen. Untereinander bilden die Venen ausgedehnte Anastomosen, die z. T. bis in die tiefen Venen reichen (s. **A**, Plexus pterygoideus).

C Blutdrainage aus dem Kopf- und Halsbereich

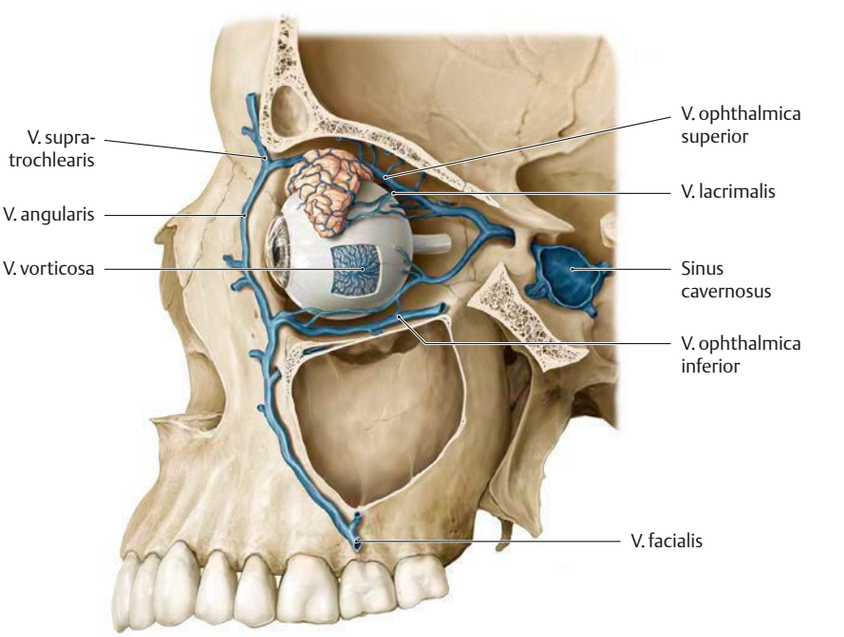
Das Blut aus dem Kopf- und Halsbereich leiten im Prinzip drei Jugularvenen ab: die Vv. jugulares interna, externa und anterior. Größe und Verlauf dieser Venen sind variabel, wobei die V. jugularis anterior meist die kleinste ist. Zwischen V. jugularis externa und interna existieren klappenlose Anastomosen, so dass Blut aus der V. jugularis externa in die V. jugularis interna zurückfließen kann. Eine solche Stromumkehr ist klinisch bedeutsam, da auf diesem Wege Bakterien aus der Haut des Kopfes in die Hirnhäute einwandern können (Details s. S. 107). Der Hals wird durch mehrere Blätter der Halsfaszie in Räume unterteilt. Einen von Faszien umschlossenen Raum stellt die Vagina carotica dar, in der die V. jugularis interna mit eingeschlossen ist. Die beiden anderen Jugularvenen liegen ganz oberflächlich und sind nicht von einem Faszienblatt umschlossen.

Vene	Entsorgungsgebiet	Lage in Bezug zu Halsfaszien (s. S. 4)
• V. jugularis interna	• Schädelinneres (inkl. Gehirn!)	• innerhalb der Vagina carotica
• V. jugularis externa	• Kopf (oberflächlich)	• verläuft zunächst oberhalb des oberflächlichen Blattes der Halsfaszie (epifaszial), dann zwischen oberflächlichem und mittlerem Blatt der Halsfaszie
• V. jugularis anterior	• Hals, Teile des Kopfes	• durchbricht die Halsfaszie distal oberhalb der Lamina superficialis (epifaszial) am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus, um dann oberhalb des mittleren Blattes (Lamina pretrachealis) zu verlaufen

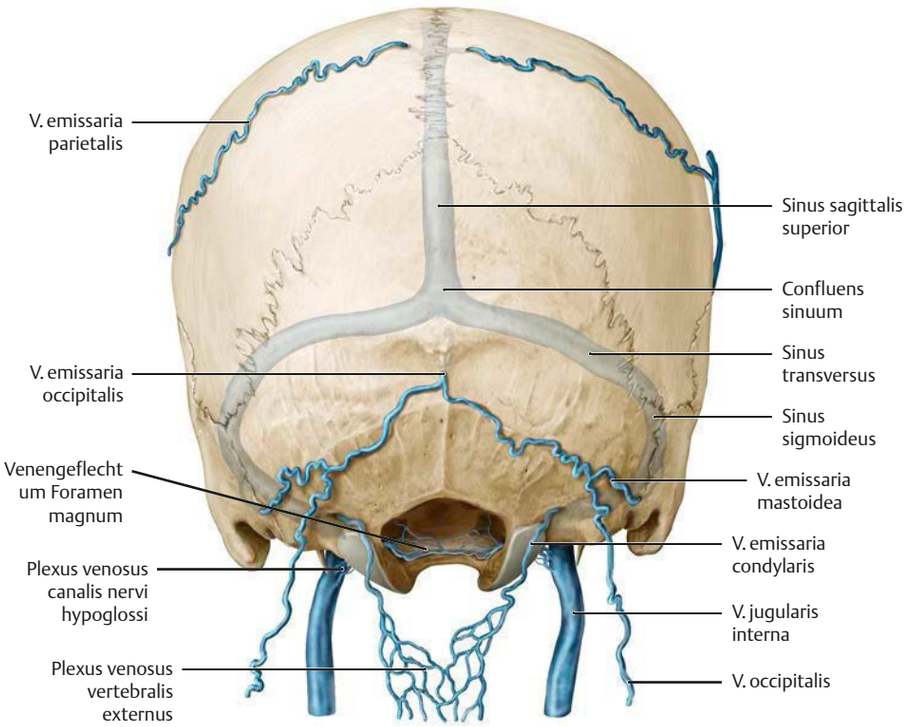
4.7 Tiefe Kopfvenen und Venen des Hinterhaupts



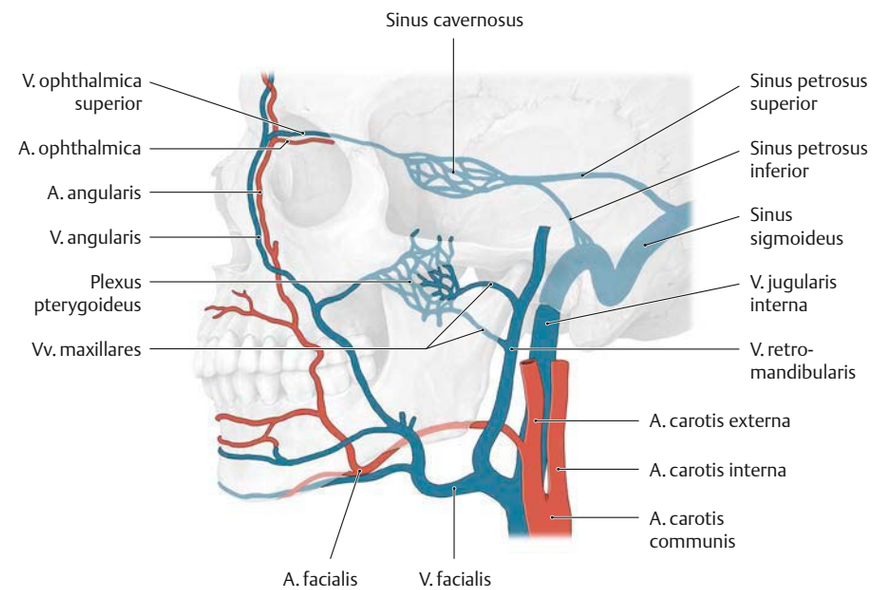
A Tiefe Venen des Kopfes: Plexus pterygoideus
Ansicht von links. Der Plexus pterygoideus ist ein Venengeflecht, das hinter dem R. mandibulae zwischen den Kaumuskeln liegt. Er unterhält ausgedehnte Verbindungen zu den benachbarten Venen.



B Tiefe Venen des Kopfes: Orbita und mittlere Schädelgrube
Ansicht von links. In der Orbita gibt es zwei größere Venenstämme, die V. ophthalmica superior und inferior (letztere manchmal nicht angelegt). Sie verlaufen nicht parallel zu den Arterien. Die Venen der Orbita drainieren größtenteils in den Sinus cavernosus. Über die V. angularis aus der V. facialis besteht aber auch ein Abflussweg nach außen. Da diese Venen klappenlos sind, können Bakterien von außen in den Sinus cavernosus einwandern und dort eine bakteriell bedingte Thrombose hervorrufen (s. **E** u. S. 227).



C Venen des Hinterhaupts
Ansicht von dorsal. Die oberflächlichen Venen des Hinterhaupts haben über die Diploevenen Zugang zu den venösen Blutleitern des Gehirns, den Sinus. Diese Venen nennt man Vv. emissariae, durch sie können Keime von außen in die Sinus gelangen.



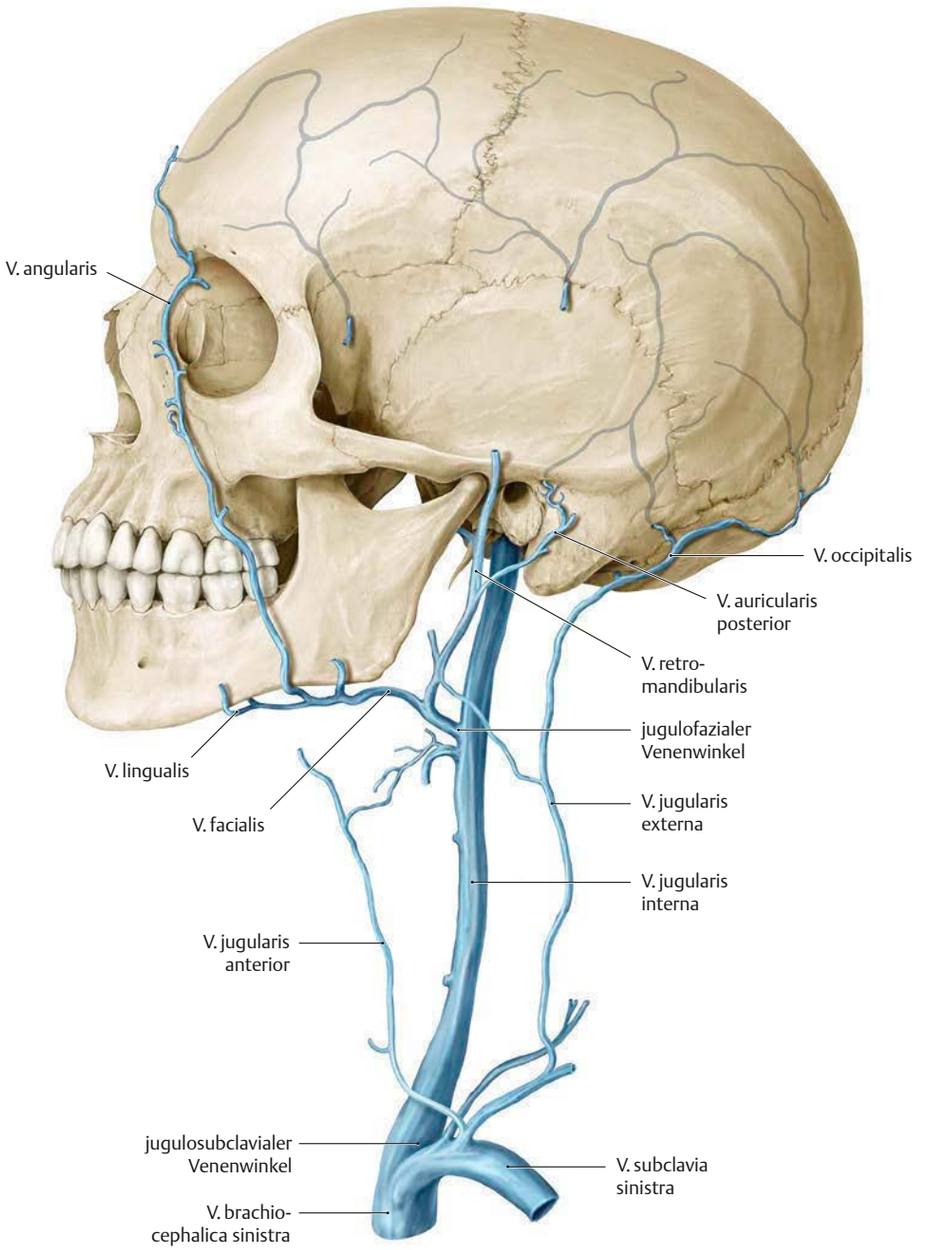
D Zusammenfassung der klinisch wichtigsten Gefäßbeziehungen im Gesichtsbereich
Im Gesichtsbereich sind die A. facialis mit ihren Ästen und der Endast der A. ophthalmica, die A. dorsalis nasi, von klinischer Bedeutung, da es bei Mittelgesichtsfrakturen aus ihnen stärker bluten kann. Bei den Venen hingegen ist die Keimverschleppung ins Endokranium von klinischer Bedeutung. Bei Oberlippen- oder Nasenfurunkeln können die Bakterien über die V. angularis bis zum Sinus cavernosus verschleppt werden (s. **E**).

E Venöse Anastomosen, die als Infektionspforte dienen können

Äußere Vene	Verbindungsvene	Venöser Sinus
• V. angularis	• V. ophthalmica superior	• Sinus cavernosus*
• Venen der Tonsilla palatina	• Plexus pterygoideus/ V. ophthalmica inferior	• Sinus cavernosus*
• V. temporalis superficialis	• V. emissaria parietalis	• Sinus sagittalis superior
• V. occipitalis	• V. emissaria occipitalis	• Sinus transversus, Confluens sinuum
• V. occipitalis, V. auricularis posterior	• V. emissaria mastoidea	• Sinus sigmoideus
• Plexus venosus vertebralis externus	• V. emissaria condylaris	• Sinus sigmoideus

* Klinisch besonders wichtig, da bei Ausbreitung einer bakteriellen Infektion aus dem Gesichtsbereich in die Tiefe die Gefahr einer Thrombose des Sinus cavernosus besteht (Infektion, die zu einer Blutgerinnselbildung u. U. mit Verschluss des Sinus führt); an den anderen Orten ist eine bakterielle Thrombose seltener zu beobachten.

4.8 Venen am Hals



A Hauptvenenstämme am Hals
Ansicht von links. Drei Vv. jugulares leiten das Blut aus dem Kopf-Hals-Bereich in die obere Hohlvene:

- V. jugularis interna (innerhalb der Vagina carotica gelegen) drainiert das Blut aus Schädelhöhle (Gehirn!), Gesicht und Schilddrüse in die V. subclavia;
- V. jugularis externa (kleiner als V. jugularis interna) liegt zunächst oberhalb der Lamina superficialis der Halsfaszie, also epifaszial, aber unterhalb des Platysma, durchbricht dann die Faszie, um in die V. subclavia zu münden und drainiert oberflächlich aus dem Bereich hinter dem Ohr;
- V. jugularis anterior (kleinste der drei Jugularvenen); sie beginnt unterhalb des Os hyoideum und mündet zumeist in die V. jugularis externa. Sie drainiert die oberflächliche Vorderwand des Halses und ist nicht immer angelegt.

Aus dem Zusammenfluss von V. jugularis interna und V. subclavia entsteht beiderseits die V. brachiocephalica (s. **D**). Die Venen auf der rechten und linken Seite können über den Arcus venosus jugularis kommunizieren (s. **D**).

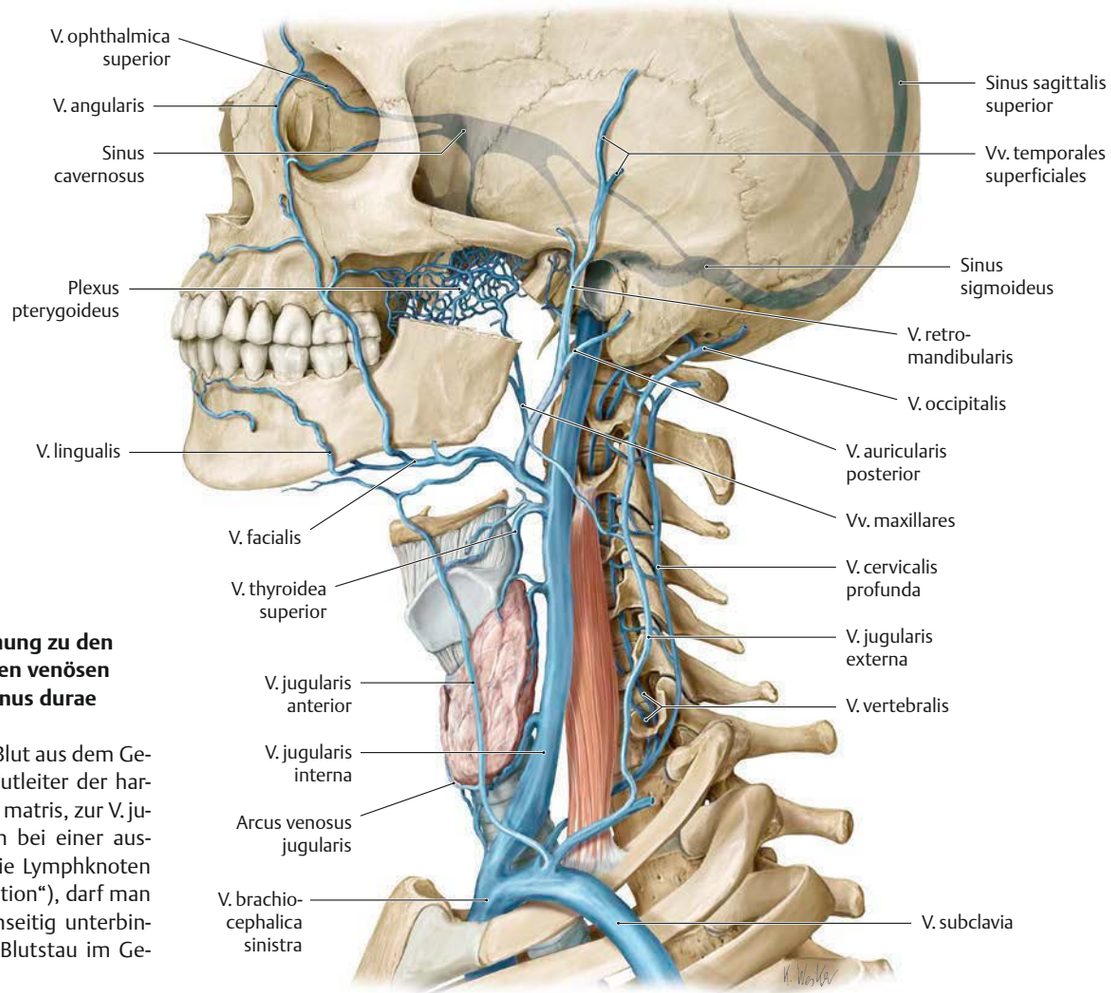
B Hauptvenen am Hals, ihre Zuflüsse und ihre Anastomosen
Neben den hier aufgelisteten Venen existiert noch eine Vielzahl kleinerer Venen, die das Blut aus den benachbarten Strukturen drainieren. Sie sind sehr variabel ausgebildet und deshalb nicht aufgeführt.
Die Halsvenen sind durch ausgedehnte Anastomosen (hier nicht alle dargestellt; z. T., weil sie zu klein sind), miteinander verbunden, so dass es selbst bei der Unterbindung einer großen Vene nicht zum Blutstau kommt. Wenn zwei größere Venen in einem Winkel von etwa 90° aufeinander stoßen, spricht man von einem *Venenwinkel*. Am Hals unterscheidet man den kranial gelegenen kleinen (= jugulofazialen) Venenwinkel und den kaudal gelegenen großen (= jugulosubklavialen) Venenwinkel. Im letzteren mündet ebenfalls der Ductus thoracicus (s. **A**, S. 242).

Zuflüsse zur V. cava superior
- V. brachiocephalica dextra
- V. brachiocephalica sinistra

Zuflüsse zur V. brachiocephalica
- V. jugularis interna
- V. subclavia
  - V. jugularis externa
- Plexus thyroideus impar (meist in V. brachiocephalica sinistra)
- V. vertebralis
- Vv. thoracicae internae

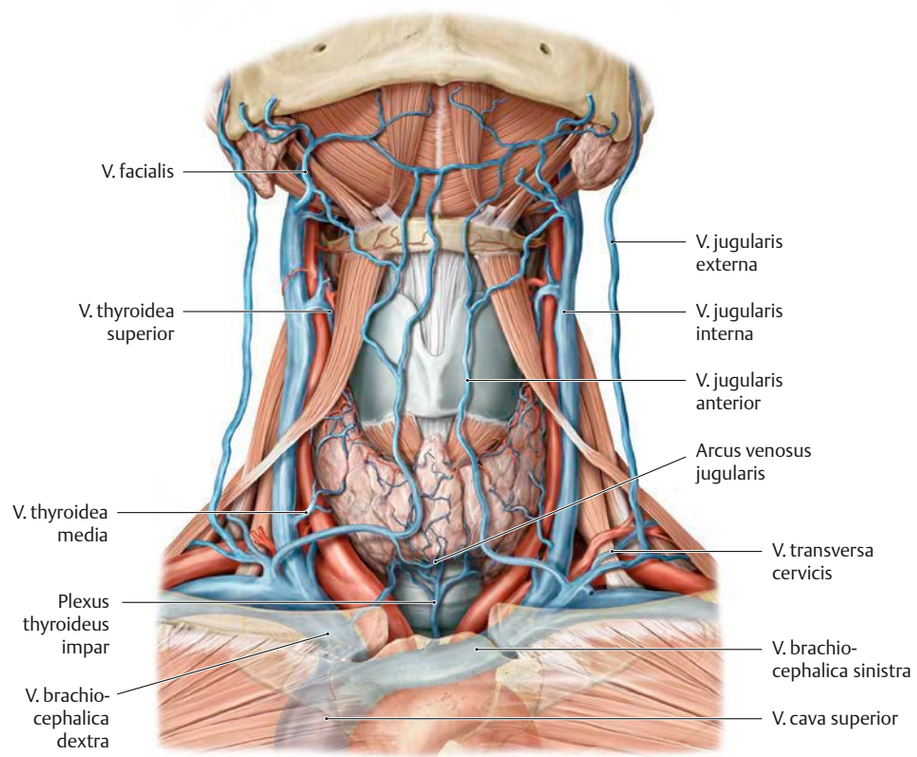
Zuflüsse zur V. jugularis interna
- Sinus durae matris
- V. lingualis
- V. thyroidea superior
- V. facialis
  - V. angularis (Anastomose mit V. ophthalmica)
  - V. retromandibularis
  - V. auricularis posterior (über die V. retromandibularis)
  - Vv. temporales superficiales (Anastomosen mit Plexus pterygoideus)

Zuflüsse zur V. jugularis externa
- V. occipitalis



C Halsvenen und ihre Beziehung zu den Venen des Schädels und den venösen Blutleitern des Gehirns (Sinus durae matris)

Ansicht von links. Das venöse Blut aus dem Gehirn wird über die venösen Blutleiter der harten Hirnhäute, die Sinus durae matris, zur V. jugularis interna geleitet. Wenn bei einer ausgedehnten Tumoroperation die Lymphknoten entfernt werden („Neck dissection"), darf man die V. jugularis interna nur einseitig unterbinden, weil sonst ein tödlicher Blutstau im Gehirn entsteht.

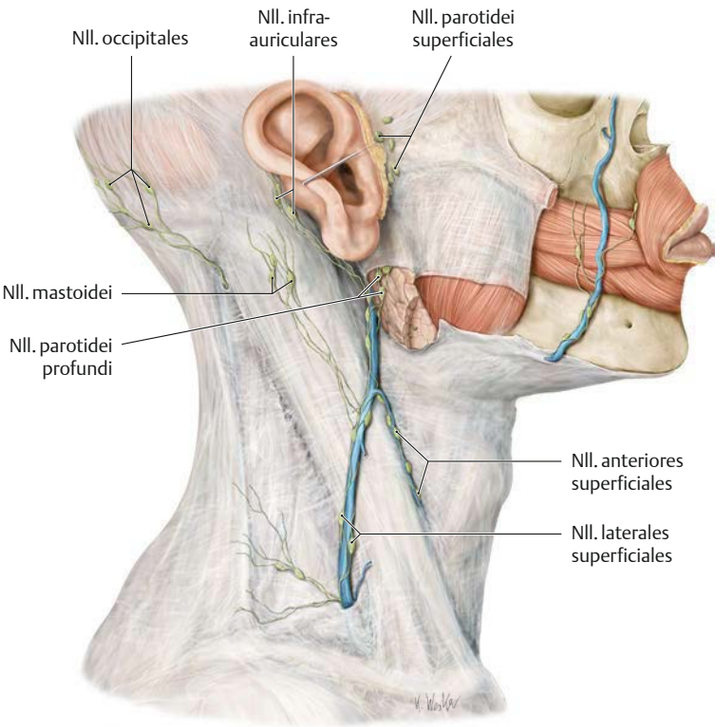


D Halsvenen

Ansicht von ventral. Die meisten Venen des Halses sind „Durchgangsstraßen", die Blut aus dem Kopfbereich drainieren. Sie sind klappenlos und befinden sich im Stehen und Sitzen oberhalb der Herzebene. In dieser Körperhaltung sind sie wenig gefüllt und deshalb nicht sichtbar. Erst in Rückenlage füllen sie sich und können dann auch beim Gesunden zu sehen sein. Wenn Venen bereits im Stehen sichtbar sind, deutet dies auf eine Rechtsherzinsuffizienz hin, bei der das Blut vor dem rechten Herzen gestaut wird, weil die Pumpleistung des rechten Herzens ungenügend ist. Da die großen Halsvenen herznah liegen, kann man eine solche Rechtsherzinsuffizienz an den *im Stehen* gestauten Jugularvenen erkennen. Die V. jugularis interna ist eine große herznahe Vene, die dicht unter der Haut liegt. Sie wird deshalb in der Intensivmedizin oft zum Legen eines zentralen Venenkatheters benutzt, der es erlaubt, größere Flüssigkeitsmengen zu infundieren als es über einen peripheren Venenweg geschehen könnte. Der Arcus venosus jugularis verbindet die venösen Abflüsse beider Seiten, auf ihn ist bei Tracheotomien zu achten (Blutungen!).

4.9 Lymphknotenstationen an Kopf und Hals

Lymphknotenstationen von Kopf und Hals
Man unterscheidet regionäre Lymphknoten und Sammellymphknotenstationen. Regionäre Lymphknoten sind einem Organ oder einer Region zugeteilt und stellen die erste Filterstation für dieses Organ/diese Region dar. Von den regionären Lymphknoten fließt die Lymphe in zentrale oder Sammellymphknoten, in denen sich meist die Lymphe aus mehreren regionären Lymphknotenstationen sammelt. Die Lymphe aus dem Kopf-Hals-Bereich fließt über ihre Sammellymphknoten, die tiefen Halslymphknoten, in den Truncus jugularis dexter bzw. sinister, die beide größere Lymphstämme entlang der V. jugularis interna darstellen. Rechts mündet der Truncus jugularis in den Ductus lymphaticus dexter, der im rechten Venenwinkel endet. Links endet der Truncus jugularis im Ductus thoracicus, der im linken Venenwinkel endet (vgl. **D**).

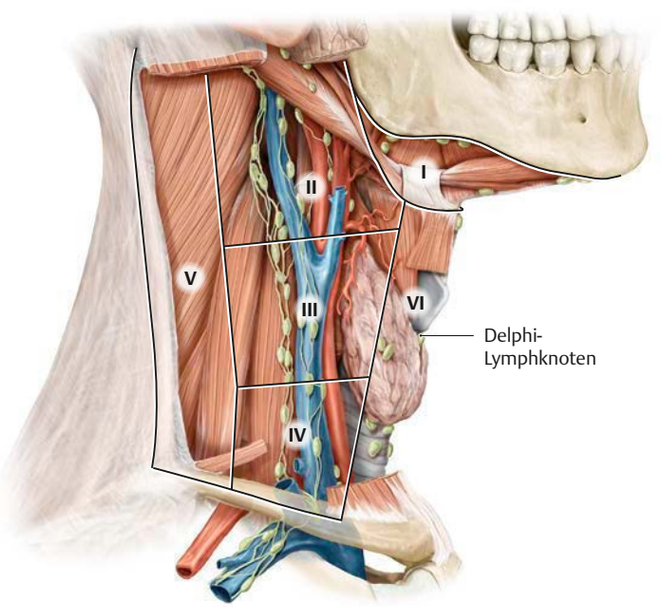


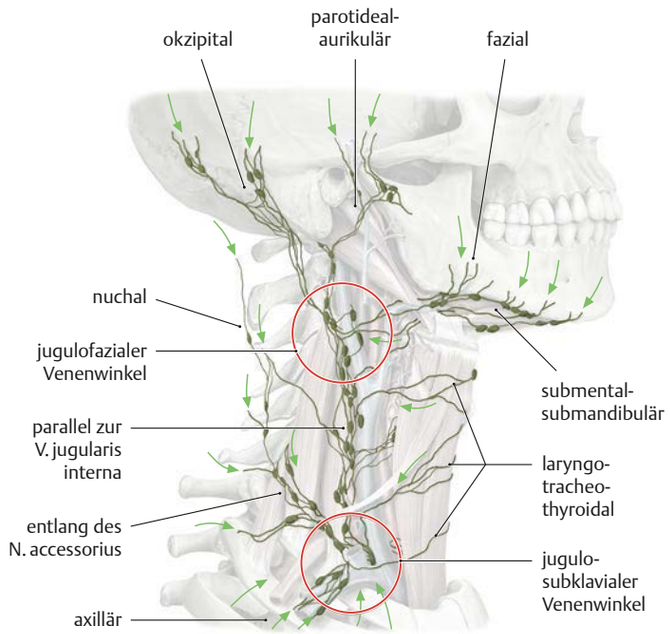
A Oberflächliche Lymphknoten am Hals
Ansicht von rechts. Die Kenntnis der Lage der Lymphknoten am Hals ist außerordentlich wichtig, da verdickte Halslymphknoten einen häufigen Untersuchungsbefund darstellen. Verdickungen der Halslymphknoten entstehen durch Entzündungen (Lymphknoten meist *schmerzhaft* verdickt) oder Tumoren (Lymphknoten meist *schmerzlos* verdickt) im Einflussgebiet der Lymphknoten. Die oberflächlichen Halslymphknoten stellen regionäre Lymphknotenstationen dar, die Lymphe aus bestimmten Regionen bzw. Organen drainieren.
Beachte: Lymphe aus oberflächlichen Lymphbahnen im Bereich des Kopfes drainiert in kopfnah gelegene Halslymphknoten.

B Tiefe Lymphknoten am Hals
Ansicht von rechts. Die tiefen Halslymphknoten sind meist Sammellymphknoten. Da sich in ihnen Metastasen von Tumoren aus dem Kopf-Hals-Bereich absiedeln können, sind sie von großem klinischem Interesse (s. **D** u. **E**). Von besonderer klinischer Bedeutung sind ein oder mehrere Delphi-Lymphknoten, die unterhalb der Faszie des M. cricothyroideus liegen. In ihnen können sich frühzeitig Metastasen absiedeln, so dass man diese Gruppe als Wächterlymphknoten bei Larynx- und Schilddrüsenkarzinomen ansieht. Der Delphi-Lymphknoten wird bei der Palpation der Schilddrüse mit erfasst. Normalerweise ist er so klein, dass er nicht palpiert werden kann. Erst bei einer pathologischen Vergrößerung lässt er sich ertasten. Im Falle einer Tumorbesiedlung werden die betroffenen tiefen Lymphknoten operativ entfernt (Neck dissection) oder regional bestrahlt. Zu diesem Zweck unterteilt man die tiefen Lymphknotenstationen nach der Klassifikation der American Academy of Otolaryngology, Head and Neck Surgery, in sechs Regionen (Robbins 1991):

I Nll. submentales und submandibulares,
II–IV Gruppe der tiefen seitlichen Lympknoten entlang der V. jugularis interna (Nll. jugulares laterales):
- **II** Nll. cervicales profundi (obere laterale Gruppe),
- **III** Nll. cervicales profundi (mittlere laterale Gruppe),
- **IV** Nll. cervicales profundi (untere laterale Gruppe),

V Nll. trigoni cervicalis posterioris,
VI Nll. cervicales anteriores (vordere Halslymphknotengruppe).

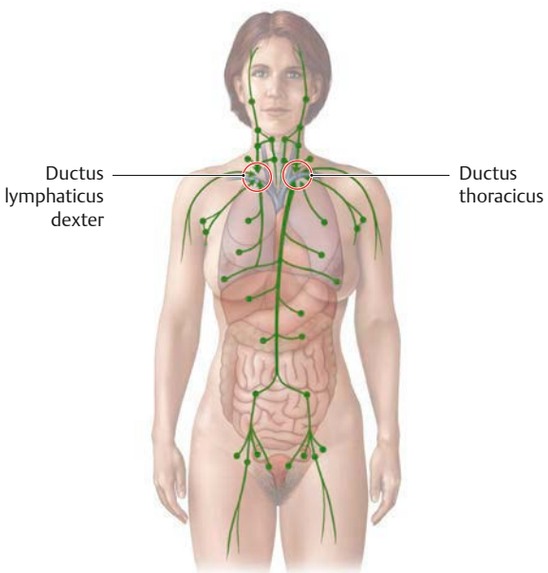


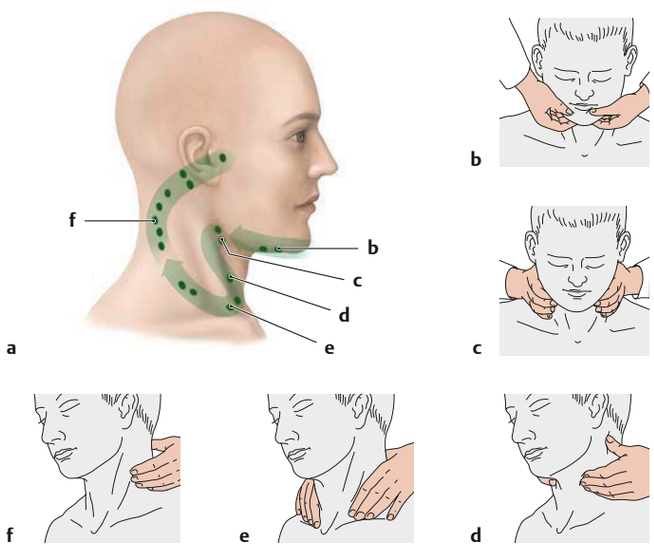


C Flussrichtung der Lymphströme am Hals
Ansicht von rechts. Die Kenntnis des Lymphflusses im Kopf-Hals-Bereich ist erforderlich, um den Herd zu lokalisieren, der zu einer Lymphknotenvergrößerung geführt hat. Dazu geht man vom Lymphknoten aus auf sein Abflussgebiet zurück. Die Abbildung beschränkt sich auf die Hauptflussrichtungen.
Es gibt am Hals zwei große Kreuzungen der Lymphbahnen:

- jugulofazialer Venenwinkel, in dem die Lymphe von schräg horizontal aus dem Kopfbereich nach vertikal in den Hals umgeleitet wird;
- zentraler Lymphraum der linken Halsbasis (so bezeichnet, weil der Ductus thoracicus, der Hauptlymphstamm, im linken Venenwinkel endet: jugulosubklavialer Venenwinkel), in dem die Lymphe aus dem Kopf-Hals-Bereich mit der des restlichen Körpers zusammenfließt.

Wenn nur periphere Lymphknotengruppen befallen sind, ist das ein Hinweis darauf, dass der Krankheitsprozess lokal begrenzt ist. Sind die zentralen Gruppen (z. B. die der Kreuzungen) befallen, spricht dies meist für einen ausgedehnten Krankheitsprozess. Lymphknoten aus dem zentralen Bereich können durch die präskalenische Biopsie zu diagnostischen Zwecken gewonnen werden.





D Halslymphknoten als Teil der systemischen Lymphzirkulation
Ansicht von ventral. Die Halslymphknoten können auch bei Erkrankungen, die primär nicht im Kopf-Hals-Bereich angesiedelt sind, mit betroffen sein, da die Lymphe aus dem gesamten Körper in die an der Halsbasis gelegenen linken und rechten Venenwinkel (rote Kreise) abgeleitet wird. Über diesen Weg können die Halslymphknoten retrograd mit betroffen sein. Der *Ductus lymphaticus dexter* endet im rechten Venenwinkel, zentraler Lymphraum rechts; der *Ductus thoracicus* mündet im linken Venenwinkel, zentraler Lymphraum links. Neben kranialen und zervikalen Zuflüssen können auch thorakale (mediastinale und tracheobronchiale) Lymphknoten sowie abdominelle und kaudale Lymphknoten über den Ductus thoracicus Zugang zu den zervikalen Lymphknoten finden, so dass auch Erkrankungen in diesen Organen zu Schwellungen der Halslymphknoten führen können.
Beachte: Beim metastasierenden Magenkarzinom finden sich Metastasen in der linken supraklavikulären Lymphknotengruppe, die deshalb vergrößert ist: sog. *Virchow-Drüse.* Auch Lymphome können als systemische Erkrankung auf diesem Wege die Halslymphknoten befallen.

E Systematische Palpation der Halslymphknoten
Die systematische Palpation der Halslymphknoten stellt sicher, dass bei der klinischen Untersuchung keine mögliche Schwellung übersehen wird (vgl. **D** zur besonderen diagnostischen Bedeutung der Halslymphknoten):
a zeigt die Reihenfolge, in der die einzelnen Lymphknotenstationen nacheinander palpiert werden im Überblick; **b–e** die Palpation der einzelnen Stationen. Man beginnt mit der Palpation entlang der submental-submandibulären Gruppe (**b**) einschließlich des Kieferwinkels (**c**) und palpiert dann entlang des Vorderrandes des M. sternocleidomastoideus (**d**). Schließlich werden die supraklavikuläre Gruppe (**e**) sowie die Gruppe entlang des N. accessorius und die nuchale Gruppe (**f**) palpiert.

4.10 Übersicht über die Hirnnerven

A Funktionelle Bestandteile der Hirnnerven

Es gibt zwölf Hirnnervenpaare, die in der Reihenfolge ihres Austrittes aus dem Hirnstamm mit römischen Ziffern durchnummeriert werden (s. topografische Gliederung).

Beachte: N. opticus und N. olfactorius nehmen unter den sog. Hirnnerven eine Sonderstellung ein. Der N. opticus ist eine aus dem Gehirn vorgelagerte Ausstülpung, die von Meningen umhüllt ist und Zellen enthält, die nur im ZNS zu finden sind: Oligodendrozyten und Mikrogliazellen. Damit ist er Bestandteil des ZNS, nicht des PNS! Tractus und Bulbus olfactorius (die zusammen mit dem N. olfactorius den außen sichtbaren Anteil des olfaktorischen Systems bilden) sind nach dieser Definition ebenfalls Bestandteile des ZNS. Der N. olfactorius (= Zusammenlagerung der Fila olfactoria, die wiederum aus Fasern der Riechzellen zusammengesetzt sind) gehört jedoch nicht zum ZNS, da die Riechzellen aus der ektodermalen Riechplakode stammen und nicht aus der Neuralleiste. Der embryologische Ursprung aus dem Plakodenepithel begründet hier aber ebenfalls eine Sonderstellung.

Ähnlich wie die Spinalnerven können die Hirnnerven sowohl *afferente* als auch *efferente* Axone enthalten, die entweder als Anteile des animalischen Nervensystems den Organismus befähigen, sich mit der Umwelt auseinander zusetzen *(somatische Fasern)* oder als Anteile des vegetativen Nervensystems das Innenleben des Körpers (Eingeweide) regulieren *(viszerale Fasern).* Die Kombination dieser unterschiedlichen sog. *allgemeinen* Faserqualitäten ergibt vier mögliche Zusammensetzungen, die vorzugsweise in Spinalnerven aber auch in Hirnnerven anzutreffen sind (s. funktionelle Gliederung):

- **Allgemein somatische Afferenzen (Somatosensibiltät):**
  → Fasern vermitteln z. B. Impulse aus der Haut und von Muskelspindeln der quergestreiften Muskulatur
- **Allgemein viszerale Afferenzen (Viszerosensibilität):**
  → Fasern vermitteln z. B. Impulse aus den Eingeweiden und den Blutgefäßen
- **Allgemein somatische Efferenzen (Somatomotorik):**
  → Fasern innervieren die quergestreifte Muskulatur
- **Allgemein viszerale Efferenzen (Viszeromotorik):**
  → Fasern (in Hirnnerven ausschließlich *parasympathische* Fasern!) innervieren z. B. die glatte Muskulatur der Eingeweide, der inneren Augenmuskeln, das Herz und die Speicheldrüsen

Darüber hinaus können Hirnnerven zusätzlich *spezielle* Faserqualitäten enthalten, die mit bestimmten Strukturen im Bereich des Kopfes assoziiert sind:

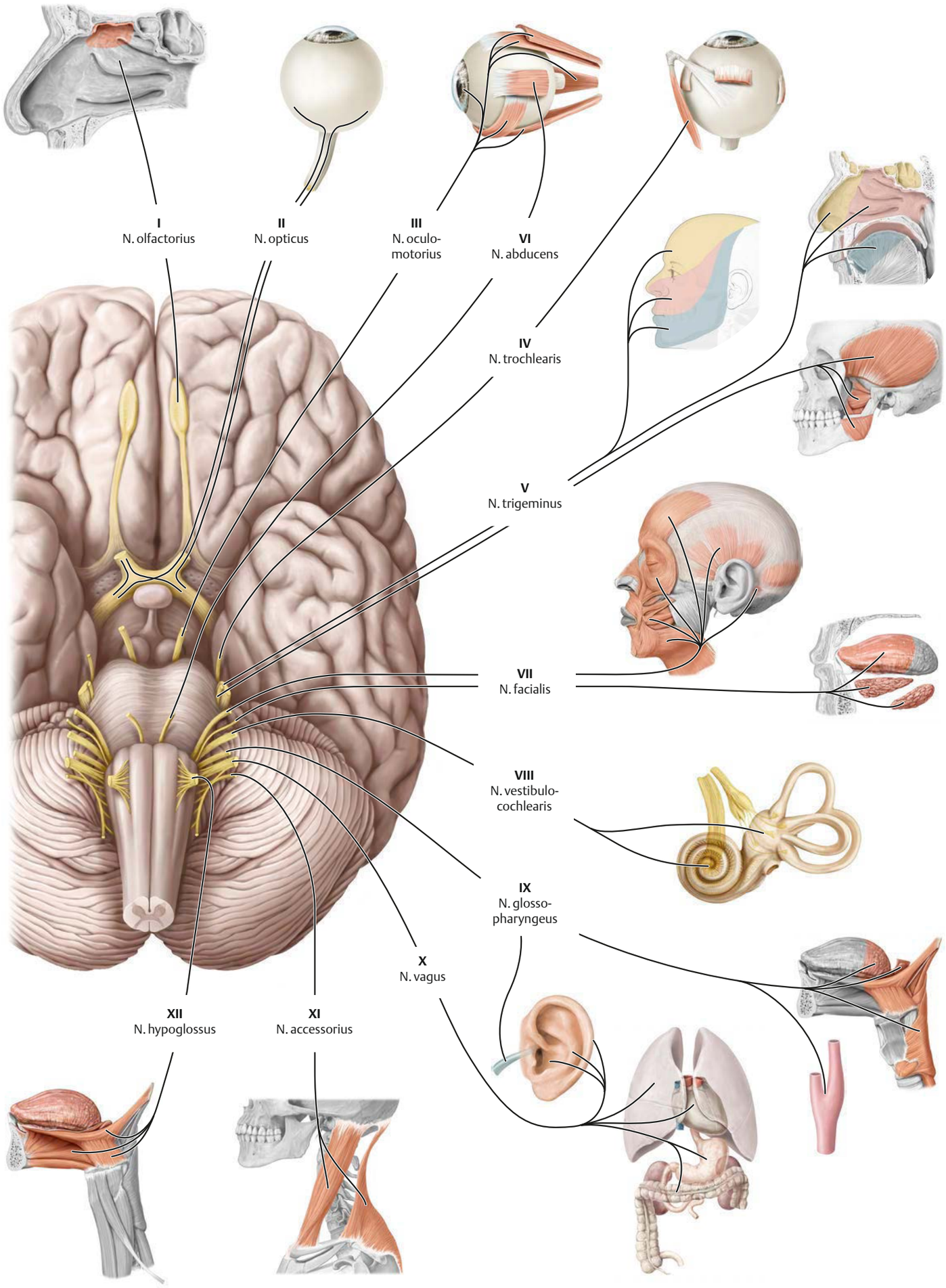
- **Speziell somatische Afferenzen:**
  → Fasern vermitteln z. B. Impulse aus der Retina sowie dem Hör- und Gleichgewichtsorgan
- **Speziell viszerale Afferenzen:**
  → Fasern vermitteln z. B. Impulse von den Geschmacksknospen der Zunge und von der Riechschleimhaut
- **Speziell viszerale Efferenzen:**
  → Fasern innervieren quergestreifte Muskeln, die von Kiemenbögen abstammen (*branchiogene Efferenzen* bzw. *branchiogene Muskeln*)

C Topografische und funktionelle Gliederung der Hirnnerven

Topografische Herkunft	Name	Funktionelle Faserqualität
Telencephalon	• N. olfactorius (I)	• spez. viszeroafferent
Diencephalon	• N. opticus (II)	• spez. somatoafferent
Mesencephalon	• N. oculomotorius (III)*	• somatoefferent • viszeroefferent (parasympathisch)
	• N. trochlearis (IV)*	• somatoefferent
Pons	• N. trigeminus (V)	• spez. viszeroefferent *(1. Kiemenbogen)* • somatoafferent
	• N. abducens (VI)*	• somatoefferent
	• N. facialis (VII)	• spez. viszeroefferent *(2. Kiemenbogen)* • spez. viszeroafferent • viszeroefferent (parasympathisch) • somatoafferent
Medulla oblongata	• N. vestibulocochlearis (VIII)	• spez. somatoafferent
	• N. glossopharyngeus (IX)	• spez. viszeroefferent *(3. Kiemenbogen)* • spez. viszeroafferent • viszeroefferent (parasympathisch) • somatoafferent • viszeroafferent
	• N. vagus (X)	• spez. viszeroefferent *(4. Kiemenbogen)* • spez. viszeroafferent • viszeroefferent (parasympathisch) • viszeroafferent • somatoafferent
	• N. accessorius (XI)*	• spez. viszeroefferent *(6. Kiemenbogen)* • somatoefferent
	• N. hypoglossus (XII)*	• somatoefferent

* *Beachte:* Hirnnerven mit somatoefferenten Fasern zur Innervation der quergestreiften Muskulatur besitzen zusätzlich somatoafferente Fasern, die propriozeptive Impulse z. B. aus den Muskelspindeln vermitteln (aus Gründen der Übersichtlichkeit hier nicht aufgeführt).

Bei den Hirnnerven treten sensible und motorische Fasern am gleichen Ort in den Hirnstamm ein bzw. aus. Dies unterscheidet sie von den Spinalnerven, bei denen die sensiblen Fasern über die Hinterwurzel und die motorischen Fasern über die Vorderwurzel in Rückenmark ein- bzw. austreten.


I
N. olfactorius
II
N. opticus
III
N. oculo-
motorius
VI
N. abducens
IV
N. trochlearis
V
N. trigeminus
VII
N. facialis
VIII
N. vestibulo-
cochlearis
IX
N. glosso-
pharyngeus
X
N. vagus
XI
N. accessorius
XII
N. hypoglossus

4.11 Hirnnervenkerne und mit Hirnnerven assoziierte Ganglien

A Übersicht über die Kerne der Hirnnerven III–XII

Entsprechend der unterschiedlichen Faserqualitäten in den einzelnen Hirnnerven (s. **C**, S. 112) kann man die dazugehörigen Ursprungs- und Endkerne ebenfalls unterteilen. So werden innerhalb der viszeroefferenten Hirnnervenkerne z. B. allgemein und speziell viszeroefferente Kerne unterschieden. Nach dieser Einteilung zählen die Kerne, die zum Parasympathikus gehören, zu den allgemein viszeroefferenten Kernen, die Kerne der Kiemenbogennerven zu den speziell viszeroefferenten Kernen. Analoges gilt für die viszeroafferenten Kerne: Die Pars inferior der Nuclei tractus solitarii zählt zu den allgemein viszeroafferenten, ihre Pars superior (Geschmacksfasern!) zu den speziell viszeroafferenten Kernen. Auch die somatoafferenten Kerne können auf diese Weise differenziert werden: Das Kerngebiet des N. trigeminus ist allgemein, das Kerngebiet des N. vestibulocochlearis speziell somatoafferent.

Nuclei originis (Ursprungskerne mit den Zellen der efferenten bzw. *motorischen* Fasern; links in **C**)

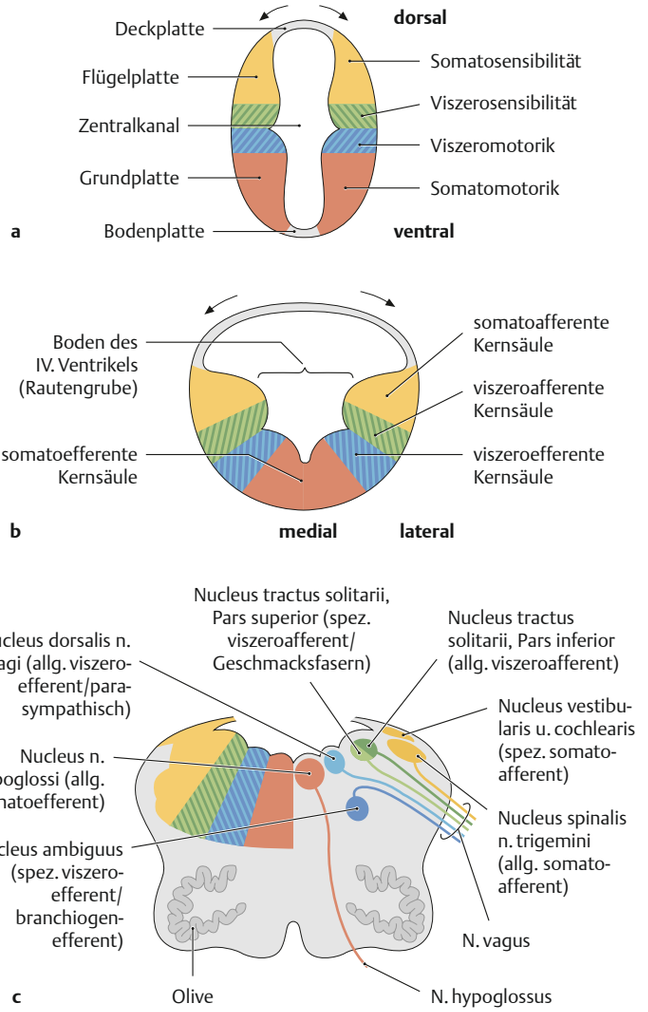
Somatoefferente Kerne (rot)
- Nucleus n. oculomotorii (III: Augenmuskeln)
- Nucleus n. trochlearis (IV: Augenmuskeln)
- Nucleus n. abducentis (VI: Augenmuskeln)
- Nucleus n. hypoglossi (XII: Zungenmuskulatur)
- Nucleus spinalis n. accessorii (XI, Radix spinalis: Schultermuskulatur)

Viszeroefferente Kerne (hell- bzw. dunkelblau)
- Kerne, die zum Parasympathikus gehören (hellblau):
  - Nucleus accessorius n. oculomotorii (III = N. oculomotorius: M. sphincter pupillae und M. ciliaris)
  - Nucleus salivatorius superior (VII = N. facialis: Gll. submandibularis und sublingualis)
  - Nucleus salivatorius inferior (IX = N. glossopharyngeus: Gl. parotis)
  - Nucleus dorsalis n. vagi (X: Eingeweide)
- Kerne der Kiemenbogennerven (dunkelblau):
  - Nucleus motorius n. trigemini (V: Kaumuskulatur)
  - Nucleus ambiguus (IX = N. glossopharyngeus, X = N. vagus, XI = N. accessorius [Radix cranialis]: Schlund- und Kehlkopfmuskulatur)
  - Nucleus n. facialis (VII: Gesichtsmuskulatur)

Nuclei terminationis (Endkerne, in denen die afferenten bzw. *sensiblen* Fasern enden; rechts in **B**)

Somatoafferente Kerne (gelb)
- Kerngebiet des N. trigeminus (V):
  - Nucleus mesencephalicus n. trigemini im Mesencephalon (propriozeptiven Afferenzen aus der Kaumuskulatur)
  - Nucleus principalis (= pontinus) n. trigemini im Pons (Berührung, Vibration, Gelenkstellung)
  - Nucleus spinalis n. trigemini (bis ins Rückenmark; Schmerz- und Temperaturempfinden im Kopfbereich)
- Kerngebiet des N. vestibulocochlearis (VIII), Vestibularisanteil (Gleichgewichtssinn):
  - Nucleus vestibularis superior
  - Nucleus vestibularis lateralis
  - Nucleus vestibularis medialis
  - Nucleus vestibularis inferior
- Kerngebiet des N. vestibulocochlearis (VIII), Kochlearisanteil (Hörvermögen):
  - Nucleus cochlearis posterior
  - Nucleus cochlearis anterior

Viszeroafferente Kerne (hell- bzw. dunkelgrün)
- Nuclei tractus solitarii, Pars inferior (allgemein viszeroafferente Fasern aus Hirnnerv IX, X) (dunkelgrün)
- Nuclei tractus solitarii, Pars superior (speziell viszeroafferente Fasern [Geschmacksfasern] aus VII, IX, X) (hellgrün)



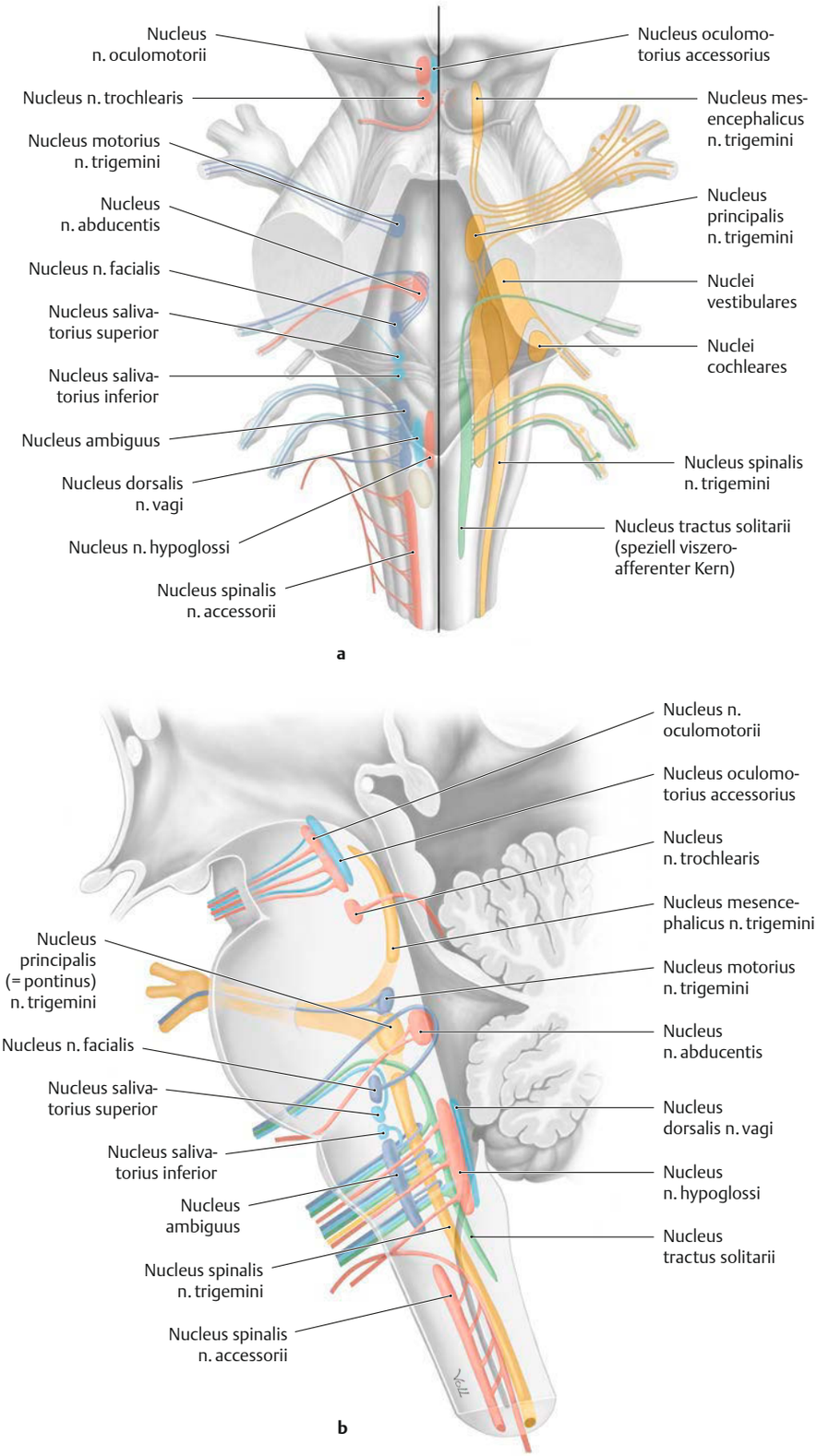
B Anordnung der Kernsäulen während der Embryogenese (nach Herrick)

Querschnitte durch Rückenmark und Hirnstamm in der Ansicht von kranial. Die funktionelle Gliederung des Hirnstammes wird durch die Lage der Hirnnervenkerne bestimmt, die durch embryonale Wanderungsbewegungen von Neuronenpopulationen erklärt werden kann.

a Ausgangssituation im Rückenmark; die motorischen (efferenten) Neurone liegen ventral, die sensiblen (afferenten) dorsal (dorsoventrale Anordnung).

b Im frühembryonalen Stadium der Hirnstammentwicklung wandern die Neurone der Flügelplatte (Nuclei terminationis) nach lateral aus; die Neurone der Grundplatte (Nuclei originis) verlagern sich nach medial, was insgesamt zu einer mediolateralen Anordnung der Kernsäulen führt. Die Pfeile deuten die Wanderungsbewegung an.

c Im adulten Hirnstamm unterscheidet man von medial nach lateral vier longitudinal angeordnete Kernsäulen (jeweils eine *somatoefferente, viszeroefferente, viszeroafferente* und *somatoafferente* Kernsäule), in denen jeweils die Kerne, die die gleiche Funktion haben, übereinander, also in kraniokaudaler Richtung, liegen (s. **C**). Innerhalb der *somato-* und *viszeroafferenten Kernsäule* werden allgemein und speziell afferente Kerne unterschieden. Ebenso gliedert sich die *viszeroefferente Kernsäule* in allgemein (parasympathische) und speziell (branchiogene) efferente Kerne. Nur die *somatoefferente Kernsäule* wird nicht weiter unterteilt.



C Lage der Hirnnervenkerne III – XII im Hirnstamm

a Ansicht von dorsal (Kleinhirn entfernt); **b** Mediansagittalschnitt, Ansicht von links.

Bis auf die Hirnnerven I und II, die aus dem Gehirn vorgelagerte Ausstülpungen und daher keine echten Nerven sind, haben alle Hirnnervenpaare Kerngebiete (Nuclei) im Hirnstamm. Sie sind hier mit den Bahnen *von* bzw. *zu* diesen Kerngebieten dargestellt. Die Anordnung der Hirnnervenkerne lässt sich leichter verstehen, wenn man ihre Einteilung in funktionelle Kernsäulen nachvollzieht (s. **B**). Auf der linken Seite in **a** sind die Ursprungskerne *(Nuclei originis)* dargestellt; hier entspringen die *efferenten* Fasern. Rechts sieht man die Endkerne *(Nuclei terminationis)*, in denen die *afferenten* Fasern enden.

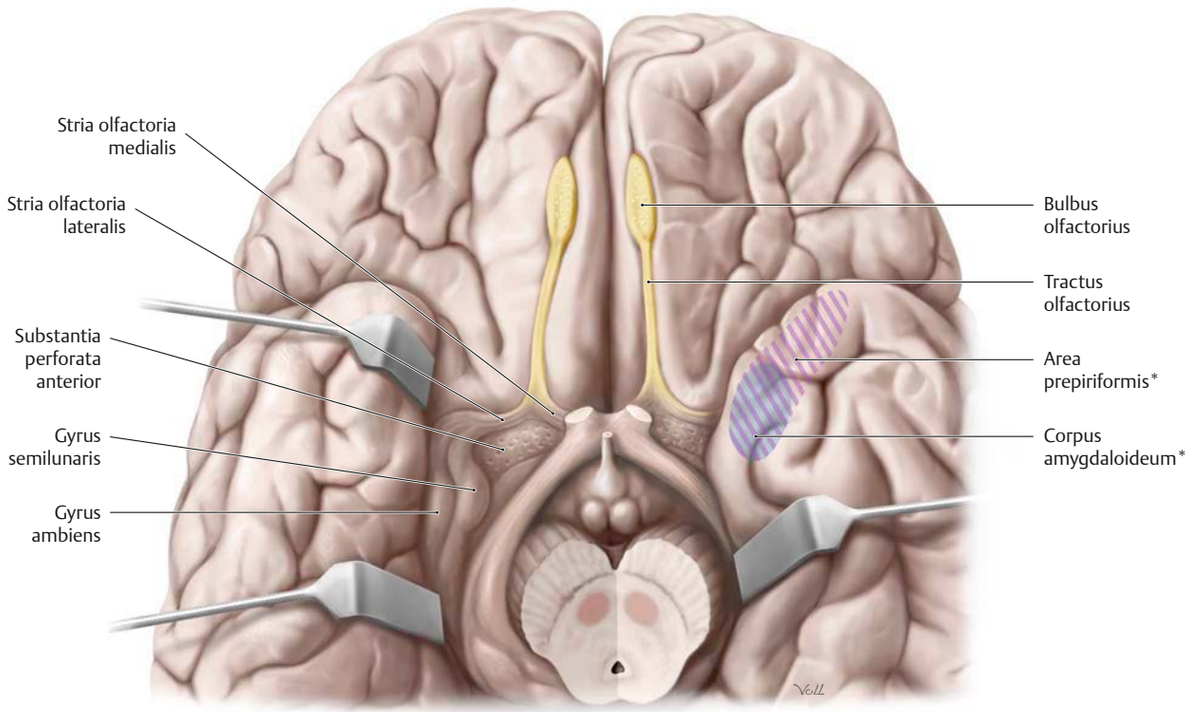
- allgemein somatoafferente Kerne
- allgemein viszeroafferente Kerne
- allgemein somatoefferente Kerne
- allgemein viszeroefferente Kerne
- speziell viszeroafferente Kerne
- speziell viszeroefferente Kerne

D Ganglien, die mit Hirnnerven verbunden sind

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Arten: sensible (sensorische) und vegetative (parasympathische) Ganglien. Die **sensiblen Ganglien** gleichen den Spinalganglien in der Hinterwurzel des Rückenmarks. Sie enthalten die Perikarya der *pseudounipolaren* Nervenzellen (= primärafferentes Neuron). Ihr peripherer Fortsatz kommt von einem Rezeptor, ihr nach zentral gerichteter Fortsatz endet im ZNS. In den sensiblen Ganglien findet keine Umschaltung statt. Die **vegetativen Ganglien** sind ausnahmslos parasympathisch. Sie enthalten die Perikarya der *multipolaren* Nervenzellen (= 2. efferentes Neuron). Im Unterschied zu den sensiblen Ganglien findet hier eine Umschaltung statt und zwar von parasympathischen Fasern aus dem Hirnstamm (= 1. efferentes oder auch *präganglionäres* Neuron) auf die Perikarya des 2. efferenten (oder auch *postganglionären*) Neurons, dessen Fasern zum Erfolgsorgan ziehen.

Hirnnerven	Sensible Ganglien	Vegetative Ganglien
N. oculomotorius (III)		• Ganglion ciliare
N. trigeminus (V)	• Ganglion trigeminale	
N. facialis (VII)	• Ganglion geniculi	• Ganglion pterygopalatinum • Ganglion submandibulare
N. vestibulocochlearis (VIII)	• Ganglion spirale • Ganglion vestibulare	
N. glossopharyngeus (IX)	• Ganglion superius • Ganglion inferius (petrosum)	• Ganglion oticum
N. vagus (X)	• Ganglion superius (jugulare) • Ganglion inferius (nodosum)	• prävertebrale und intramurale Ganglien

4.12 Nervus olfactorius (I) und Nervus opticus (II)



A Bulbus und Tractus olfactorius an der basalen Fläche des Frontalhirns

Die marklosen Axone der in der Riechschleimhaut gelegenen bipolaren Riechzellen bilden ca. 20 Fila olfactoria. Diese werden als N. olfactorius zusammengefasst und ziehen durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale in die vordere Schädelgrube zum Bulbus olfactorius (s. **B**). Der Bulbus ist eine kolbenartige Erweiterung am frontalen Ende des Tractus olfactorius. Während der Bulbus olfactorius eine kortikale Struktur besitzt (Allocortex, speziell Paläocortex), zeigt der Tractus olfactorius den Aufbau einer Bahn und enthält ZNS-spezifische Glia (z. B. Oligodendrozyten, Mikroglia). Bulbus und Tractus olfactorius sind von Meningen umhüllt und Bestandteile des ZNS. Der N. olfactorius dagegen entstammt der ektodermalen Riechplakode und gehört damit nicht zum ZNS. Vor seinem Eintritt in das Telencephalon teilt sich der Tractus olfactorius in die beiden Striae olfactoriae medialis und lateralis auf. Viele der Axone aus dem Tractus olfactorius enden direkt (ohne Umschaltung in einem Kern) im Cortex in der Area prepiriformis oder im Corpus amygdaloideum. Im N. olfactorius wird die Geruchsinformation aus der Riechschleimhaut weitergeleitet, einem etwa 2–4 cm^2 großen Areal am Dach der Nasenhöhle (obere Muschel und Septum, s. **B**). Das 1. Neuron der Geruchsbahn ist die bipolare Riechzelle in der Riechschleimhaut.

Beachte: Bei Verletzungen der Lamina cribrosa kann es zu Schäden der meningealen Umhüllung und der Fila olfactoria kommen: Riechstörungen und Liquorfluss aus der Nase („Schnupfen" nach Schädel-Hirn-Trauma!). Es besteht die Gefahr einer aufsteigenden bakteriellen Infektion mit Meningitis.

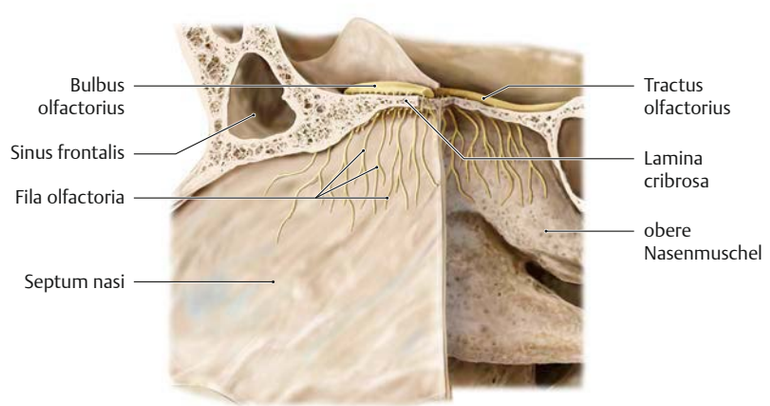
Riechzellen sind ein Leben lang teilungsfähig. Funktionell sind sie primäre Sinneszellen. Da sie ein eigenes Axon besitzen, sind sie aber auch Neurone. Riechzellen sind somit ein Beispiel für Neurone mit lebenslanger Teilungsfähigkeit.

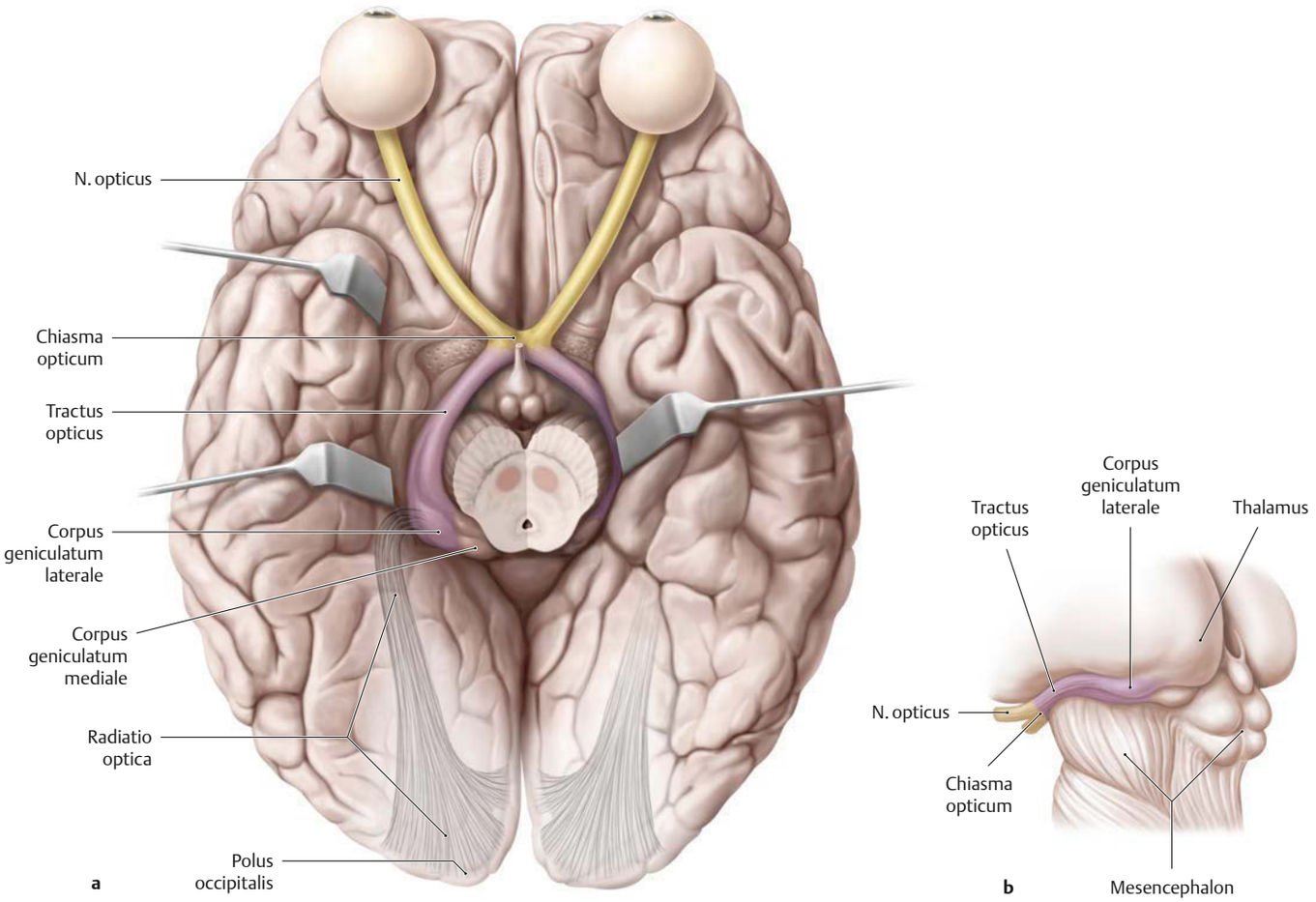
* Die Strukturen liegen nicht an der basalen Hirnoberfläche, sondern tiefer.

B Ausdehnung der Riechschleimhaut (Regio olfactoria*)

Ansicht von links auf einen Teil des linken Nasenseptums und der lateralen Wand der rechten Nasenhöhle. Die Fila olfactoria auf dem Septum und auf der oberen Nasenmuschel zeigen die Ausdehnung der Regio olfactoria (2–4 cm^2) an. Die dünnen marklosen Fila olfactoria ziehen durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale (s. S. 25) in das Schädelinnere zum Bulbus olfactorius (s. auch S. 182, 330 u. 490).

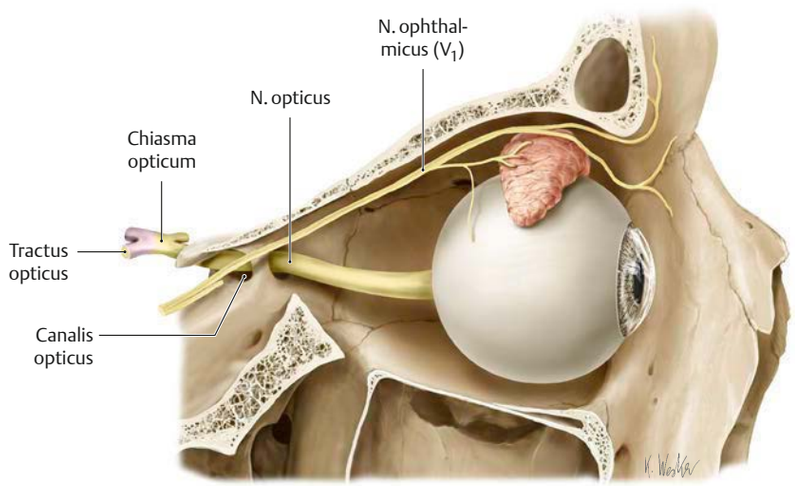
* In der neuen Nomenklatur wird die Regio olfactoria als Pars olfactoria tunicae mucosae nasi bezeichnet.





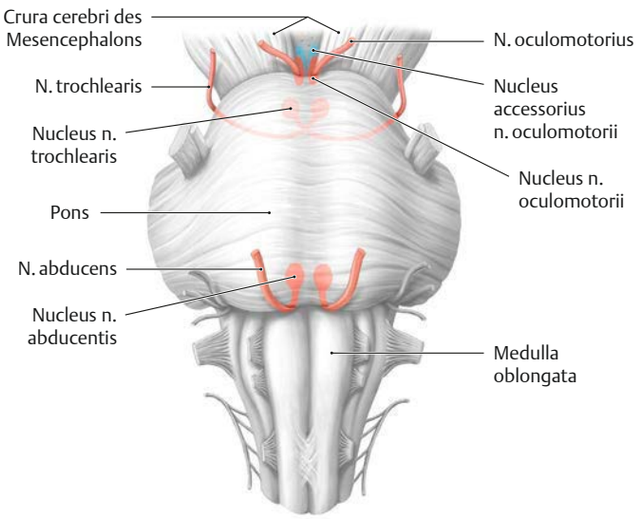
C Auge, N. opticus, Chiasma opticum und Tractus opticus
a Sicht auf die Hirnbasis; **b** Sicht von laterodorsal auf die linke Seite des Hirnstamms. Die Einmündung des Tractus opticus in das Corpus geniculatum laterale ist dargestellt.
Der Sehnerv ist – wie der N. olfactorius auch – kein Nerv, sondern eine Ausstülpung des Gehirns, in diesem Fall des Diencephalon. Als Abschnitt des ZNS ist er von Meningen umhüllt (hier entfernt) und enthält ZNS-spezifische Zellen (vgl. **A**); seine Afferenzen enden im dienzephalen Corpus geniculatum laterale, damit entfällt – wie beim N. olfactorius auch – der klassische Hirnnervenkern.

Beachte: Da der Sehnerv ein Teil des Gehirns ist, kann man bei der klinischen Untersuchung mit dem Augenspiegel direkt einen Gehirnanteil inspizieren. Dies ist bei vielen neurologischen Erkrankungen diagnostisch wichtig (zum Augenspiegeln s. S. 171).
Der Sehnerv zieht vom Augapfel in der Orbita durch den Canalis opticus in die mittlere Schädelgrube (s. **D**). Er ist ein wichtiger Abschnitt der Sehbahn, von der äußerlich Auge, N. opticus, Chiasma opticum und Tractus opticus zu sehen sind. Letzterer strahlt in das Corpus geniculatum laterale ein (s. auch **b**).

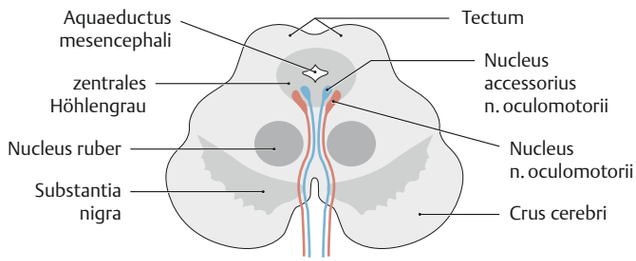


D Verlauf des N. opticus in der rechten Orbita
Ansicht von lateral. Der N. opticus zieht durch den Canalis opticus aus der mittleren Schädelgrube in die Orbita. Im orbitalen Fettgewebe (hier entfernt) zieht er von dorsal in den Augapfel. Die übrigen Hirnnerven treten durch die Fissurae orbitales superior und inferior in die Orbita ein (hier nur V_1 als Vertreter aller übrigen Hirnnerven dargestellt).

4.13 Augenmuskelnerven: Nervus oculomotorius (III), Nervus trochlearis (IV) und Nervus abducens (VI)



A Austritt der Augenmuskelnerven aus dem Hirnstamm
Ansicht von ventral. Alle drei Augenmuskelnerven treten aus dem Hirnstamm aus. Die Kerne von N. oculomotorius und N. trochlearis liegen im Mittelhirn (Mesencephalon), der Kern des N. abducens liegt im Pons.
Beachte: Der N. oculomotorius (III) ist der einzige Augenmuskelnerv, der somato- und viszeroefferente Fasern enthält und mehrere äußere Augenmuskeln versorgt (s. **C**).



C Topik des Okulomotoriuskerns
Querschnitt durch den Hirnstamm in Höhe des Okulomotoriuskerns. Ansicht von kranial.
Beachte: Man kann den viszeroefferenten, parasympathischen Kernkomplex (= Nucleus accessorius n. oculomotorii = Edinger-Westphal-Kern) vom somatoefferenten Kernkomplex (= Nucleus n. oculomotorii) abgrenzen.

B N. oculomotorius (III) im Überblick

Der N. oculomotorius enthält *somatoefferente* und *viszeroefferente* Fasern.

Durchtrittsstellen: Er tritt ventral aus dem Mesencephalon (Mittelhirn = oberste Etage des Hirnstamms, s. S. 354 u. 356) aus und gelangt durch die Fissura orbitalis superior in die Orbita.

Kern- und Versorgungsgebiete, *Ganglien:*
- *somatoefferent:* Efferenzen aus einem komplexen Kerngebiet (Nucleus n. oculomotorii) im Mittelhirn (s. **C**) versorgen:
  - M. levator palpebrae superioris (wirkt auf das obere Augenlid),
  - Mm. recti superior, medialis und inferior sowie M. obliquus inferior (= äußere Augenmuskeln, wirken alle auf den Bulbus);
- *viszeroefferent:* parasympathische präganglionäre Efferenzen aus dem Nucleus accessorius n. oculomotorii (Edinger-Westphal-Kern) schalten im *Ganglion ciliare* auf postganglionäre Fasern um und versorgen folgende innere Augenmuskeln:
  - M. sphincter pupillae und
  - M. ciliaris.

Folgen bei Schädigung des Nervs: je nach Ausmaß der Schädigung komplette oder isolierte Okulomotoriusparese.
- Folgen bei kompletter Okulomotoriusparese (äußere *und* innere Augenmuskeln sowie Lidheber gelähmt):
  - Ptosis (Lid hängt herab),
  - erkranktes Auge schielt nach unten außen,
  - Doppelbilder (sofern keine komplette Ptosis),
  - Mydriasis (Pupille weit, da M. sphincter pupillae gelähmt),
  - Akkommodation aufgehoben (M. ciliaris gelähmt).
- Folgen bei isolierter Okulomotoriusparese (innere *oder* äußere Augenmuskeln sind gelähmt): dementsprechend entweder Pupillomotorik oder Bulbusbeweglichkeit eingeschränkt.

D N. trochlearis (IV) im Überblick

Der N. trochlearis enthält nur *somatoefferente* Fasern.

Durchtrittsstellen: Er zieht durch die Fissura orbitalis superior in die Orbita.

Besonderheiten:
- Einziger Hirnnerv, bei dem alle Fasern zur Gegenseite kreuzen (s. **A**). Deshalb: Bei Läsion des Kerns oder der Nervenfasern in unmittelbarer Nähe des Kerns, also vor deren Kreuzung über die Mittellinie: Augenmuskellähmung auf der Gegenseite der Läsion (kontralaterale Parese); bei Läsion des Nervs nach der Kreuzung über die Mittellinie: Augenmuskellähmung auf derselben Seite (ipsilaterale Parese);
- einziger Hirnnerv, der *dorsal* aus dem Hirnstamm austritt;
- längster *intraduraler* Verlauf aller drei Augenmuskelnerven.

Kern- und Versorgungsgebiet: Der Nucleus n. trochlearis liegt im Mittelhirn (Mesencephalon). Seine Efferenzen versorgen *einen* Muskel motorisch, den M. obliquus superior.

Folgen bei Schädigung des Nervs:
- Erkranktes Auge steht höher und – da der M. obliquus inferior (zuständig für Elevation und Abduktion) durch den Ausfall des M. obliquus superior Übergewicht bekommt – zusätzlich nach innen;
- Doppelbilder.

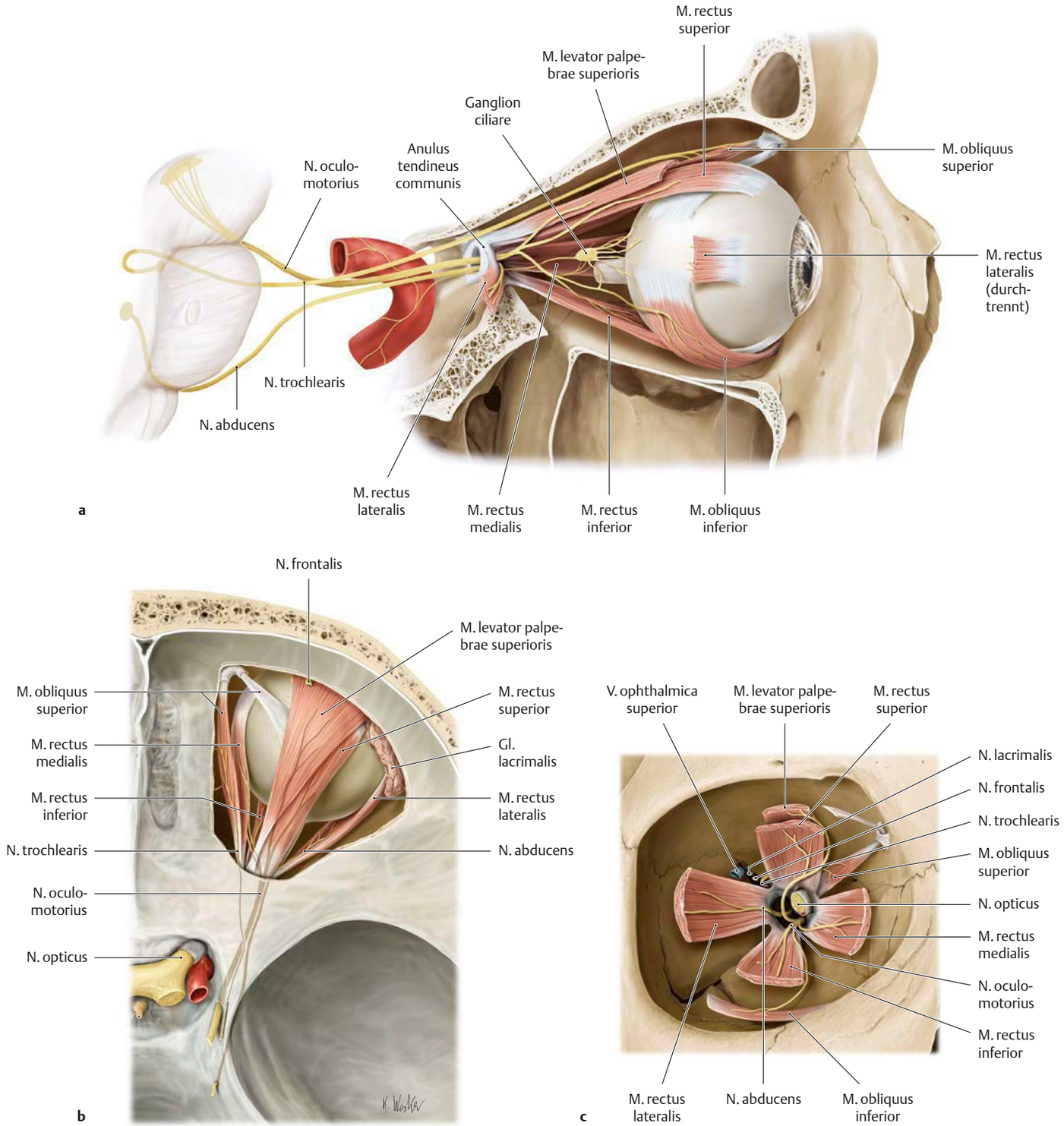
E N. abducens (VI) im Überblick

Der N. abducens enthält nur *somatoefferente* Fasern.

Durchtrittsstellen: Er zieht nach langem *extraduralem* Verlauf durch die Fissura orbitalis superior in die Orbita.

Kern- und Versorgungsgebiet:
- Der Nucleus n. abducentis liegt in der Brücke (Pons = mittlere Etage des Hirnstamms), seine Fasern treten am Unterrand der Brücke aus.
- Seine Efferenzen versorgen somatomotorisch ebenfalls nur einen Muskel, den M. rectus lateralis.

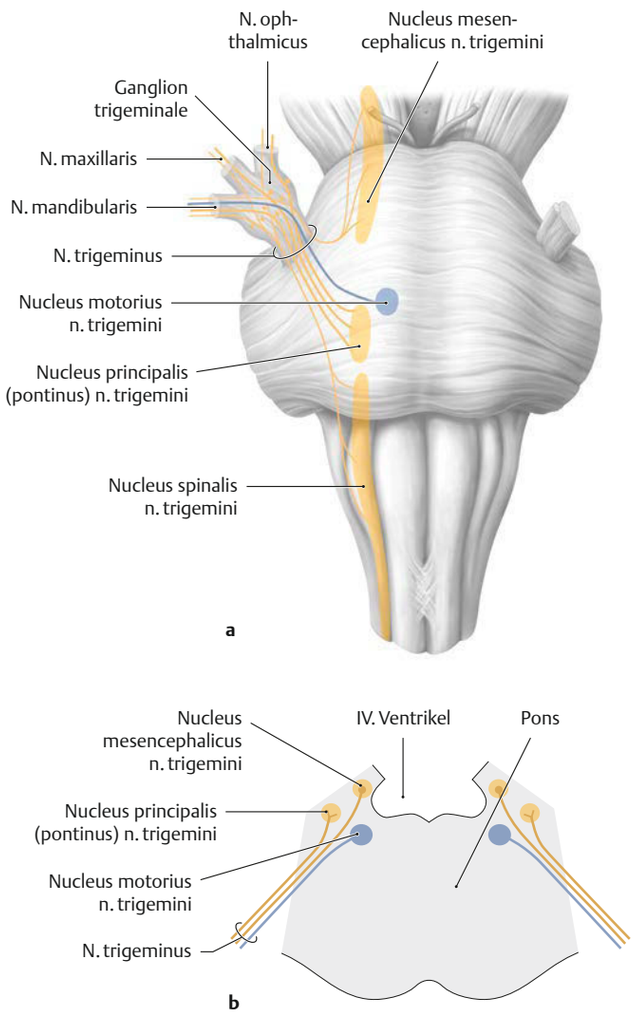
Folgen bei Schädigung des Nervs:
- Erkranktes Auge ist nach innen gerichtet;
- Doppelbilder.



F Verlauf der Augenmuskelnerven

a Ansicht von lateral auf die rechte Orbita; **b** Ansicht von kranial auf die eröffnete rechte Orbita; **c** Ansicht von frontal auf die rechte Orbita. Alle drei Hirnnerven ziehen vom Hirnstamm durch die Fissura orbitalis superior in die Orbita. Die Nn. oculomotorius und abducens treten durch den Anulus tendineus communis, den gemeinsamen Sehnenring der äußeren Augenmuskeln, hindurch, während der N. trochlearis außerhalb des Sehnenrings vorbeizieht. Den längsten *extraduralen* Verlauf hat der *N. abducens.* Abduzensparesen können daher auch bei Meningitiden und subarachnoidalen Blutungen auftreten oder sogar vorübergehend nach Lumbalpunktionen, wenn der Liquordruck infolgedessen zu stark sinkt und der Nerv dann durch Absinken des Hirnstamms „unter Zug" gerät. Der *N. oculomotorius* innerviert parasympathisch innere Augenmuskeln (Umschaltung der parasympathischen Fasern im Ganglion ciliare) sowie die meisten äußeren Augenmuskeln und den M. levator palpebrae superioris. Okulomotoriusparesen können deshalb komplett oder isoliert sein (s. **B**). Da die parasympathischen Fasern für die Pupille nach dem Austritt aus dem Hirnstamm direkt unter dem Epineurium liegen, werden sie häufig durch Druck bei Traumen, Tumoren oder Aneurysmen zuerst geschädigt.

4.14 Nervus trigeminus (V): Kern- und Versorgungsgebiete



A Kerngebiete und Austritt des N. trigeminus aus dem Pons

a Ansicht von ventral. Die größeren sensiblen Kerngebiete des N. trigeminus erstrecken sich über den gesamten Hirnstamm und reichen nach kaudal bis ins Rückenmark. Die *Radix sensoria* (Portio major) des N. trigeminus bildet also die Hauptmasse der Fasern; die *Radix motoria* (Portio minor) wird von den Fasern aus dem kleinen, im Pons liegenden motorischen Kerngebiet gebildet (= Nucleus motorius n. trigemini). Sie innervieren die Kaumuskulatur (s. **B**). Folgende *somatoafferente* Kerngebiete werden unterschieden:

- *Nucleus mesencephalicus n. trigemini:* propriozeptive Fasern aus der Kaumuskulatur. Besonderheit: Die Nervenzellen dieses Kerns sind in das Gehirn verlagerte, pseudounipolare Ganglienzellen;
- *Nucleus principalis (pontinus) n. trigemini:* hauptsächlich Berührungs- und Tastempfinden;
- *Nucleus spinalis n. trigemini:* Schmerz- und Temperaturempfinden, aber auch Berührungsempfinden. Eine eng umschriebene Läsion im Bereich des Nucleus spinalis n. trigemini führt zu charakteristischen Sensibilitätsstörungen im Bereich des Gesichts (s. **D**).

b Querschnitt durch den Pons in Höhe des Austritts des N. trigeminus, Ansicht von kranial (idealisiert: die drei Kerne liegen nicht in einer Ebene).

B N. trigeminus (V) im Überblick

Der N. trigeminus enthält vorwiegend somatoafferente sowie geringere Anteile spezieller viszeroefferenter Fasern. Er ist *der* große sensible Nerv im Bereich des Kopfes und besteht aus drei (tri = drei) großen **Hauptästen** mit folgenden **Durchtrittsstellen** aus der mittleren Schädelgrube:

- *N. ophthalmicus (V_1):* durch die Fissura orbitalis superior in die Orbita;
- *N. maxillaris (V_2):* durch das Foramen rotundum in die Fossa pterygopalatina;
- *N. mandibularis (V_3):* durch das Foramen ovale an die Unterseite der Schädelbasis.

Kern- und Versorgungsgebiete:

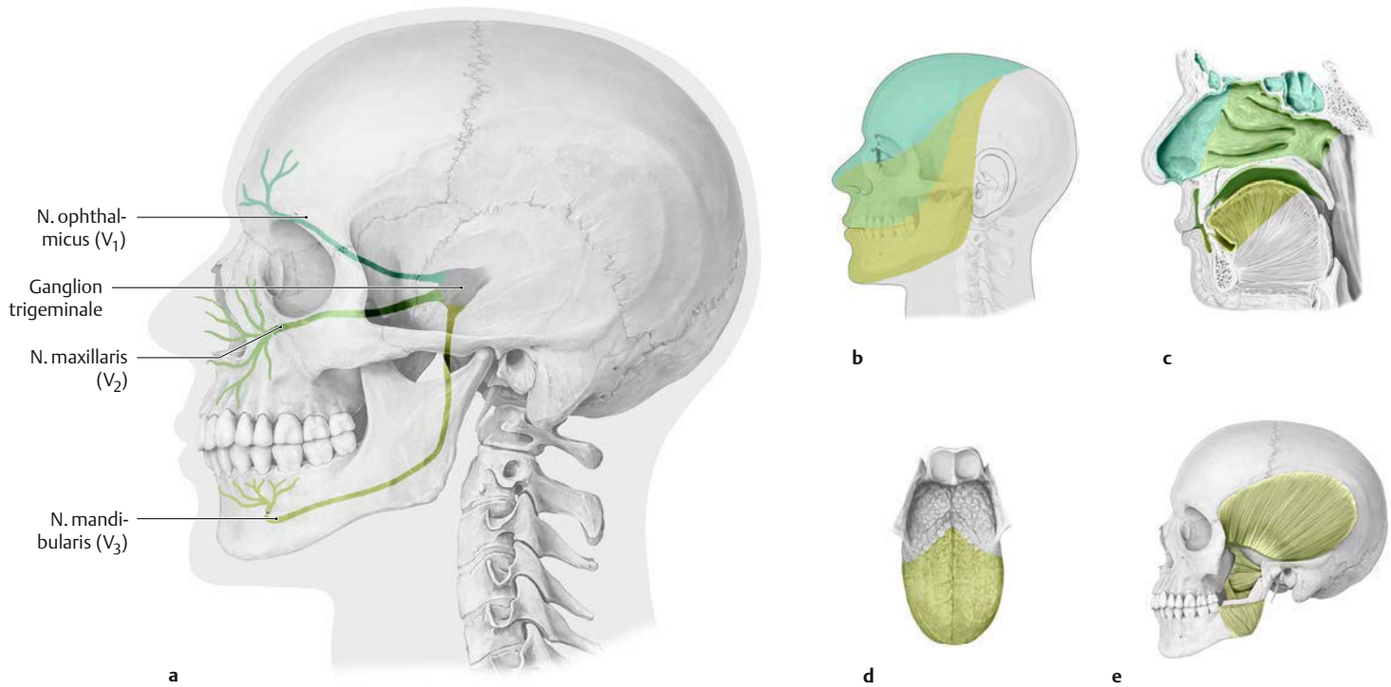
- *speziell viszeroefferent:* Efferenzen aus dem Nucleus motorius n. trigemini ziehen mit dem N. mandibularis (V_3, enthält als einziger Ast motorische Fasern!) zu:
  - Kaumuskulatur (Mm. temporalis, masseter, pterygoidei medialis und lateralis),
  - Mundbodenmuskulatur: M. mylohyoideus und Venter anterior des M. digastricus,
  - Mittelohrmuskel: M. tensor tympani und
  - Rachenmuskel: M. tensor veli palatini;
- *somatoafferent:* Im Ganglion trigeminale befinden sich pseudounipolare Ganglienzellen, deren *zentrale* Fasern zu den sensiblen Trigeminuskernen (s. **Aa**) ziehen; ihre *peripheren* Fasern versorgen die Gesichtshaut, große Teile der Schleimhaut im Nasen-Rachen-Raum sowie die vorderen zwei Drittel der Zunge (s. **C**).
- *„viszeroefferenter Dienstleister":* Einige Hirnnerven lagern ihre viszeroefferenten Fasern an Äste bzw. Unteräste des Trigeminus an und nutzen ihn so als Leitstruktur:
  - N. lacrimalis (Ast von V_1) leitet angelagerte, parasympathische Fasern vom N. facialis über den N. zygomaticus (Ast von V_2) zur Gl. lacrimalis,
  - N. auriculotemporalis (Ast von V_3) leitet angelagerte, parasympathische Fasern vom N. glossopharyngeus zur Gl. parotis,
  - N. lingualis (Ast von V_3) leitet angelagerte, parasympathische Fasern vom N. facialis über die Chorda tympani zu den Gll. submandibularis und sublingualis;
- *„viszeroafferenter Dienstleister":* Der N. lingualis (Ast von V_3) lagert Geschmacksfasern vom N. facialis (Chorda tympani) für die vorderen zwei Drittel der Zunge an.

Entwicklungsgeschichtlich ist der N. trigeminus der Nerv des 1. Kiemenbogens.

Folgen bei Schädigung des Nervs:
Das Versorgungsgebiet der drei großen Äste ist klinisch wichtig, Sensibilitätsstörungen und Ausfälle kommen z. B. vor bei:

- Ausfall der Sensibilität nach Läsionen des Nervs bei Traumen,
- Zoster ophthalmicus (Befall der Haut im Versorgungsgebiet des 1. Trigeminusastes mit Varizellenviren; Gesichtsrose),
- Trigeminusneuralgie.

Der Nerv ist außerdem (wie der N. facialis, s. S. 124) mit seinen afferenten Fasern am *Kornealreflex* (= bei Berührung der Cornea schließen sich die Augenlider) beteiligt (s. **C**, S. 479).



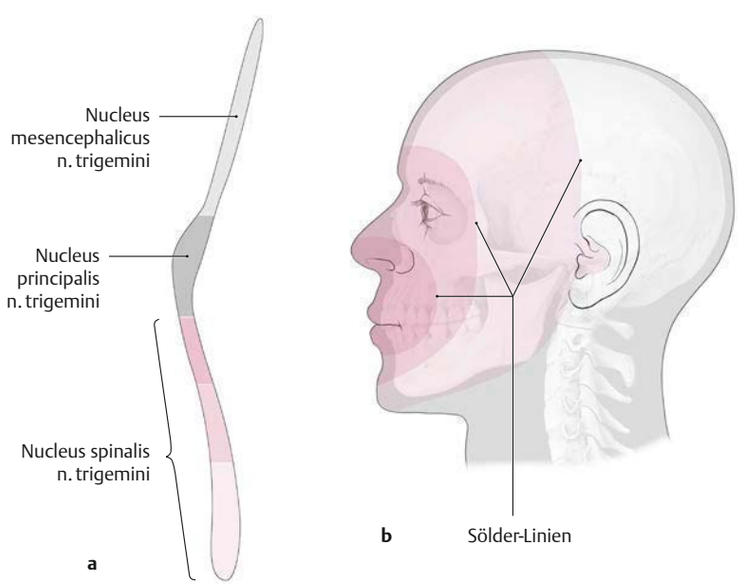
C Verlauf und Versorgungsgebiete des N. trigeminus

a Ansicht von links. Die drei Hauptäste und ihre klinisch wichtigen Endäste sind dargestellt.

Sowohl die Haut des Gesichts (**b**) als auch die Schleimhaut des Nasen-Rachen-Raums (**c**) wird von den drei Trigeminusästen versorgt. Die vorderen zwei Drittel der Zunge (**d**) werden sensibel (Berührungs-, Schmerz- und Temperaturempfinden, aber nicht Geschmackssinn) durch den N. lingualis, den 3. Ast des N. mandibularis (V_3), innerviert. Die Kaumuskulatur wird von der Radix motoria des N. trigeminus versorgt, die sich dem N. mandibularis anlagert (**e**).

Beachte: Die efferenten Fasern verlaufen ausschließlich im N. mandibularis.

Bei einer *peripheren Trigeminusläsion,* also Schädigung eines Trigeminushauptastes (N. ophthalmicus, V_1, N. maxillaris, V_2 oder N. mandibularis, V_3) nach dessen Austritt aus dem Kern, treten je nach Schädigung des Astes Sensibilitätsstörungen in den jeweiligen Versorgungsarealen auf (s. **b**); vgl. im Unterschied dazu den eher kreisförmigen Sensibilitätsausfall bei *zentraler Trigeminusläsion* (s. **D**).

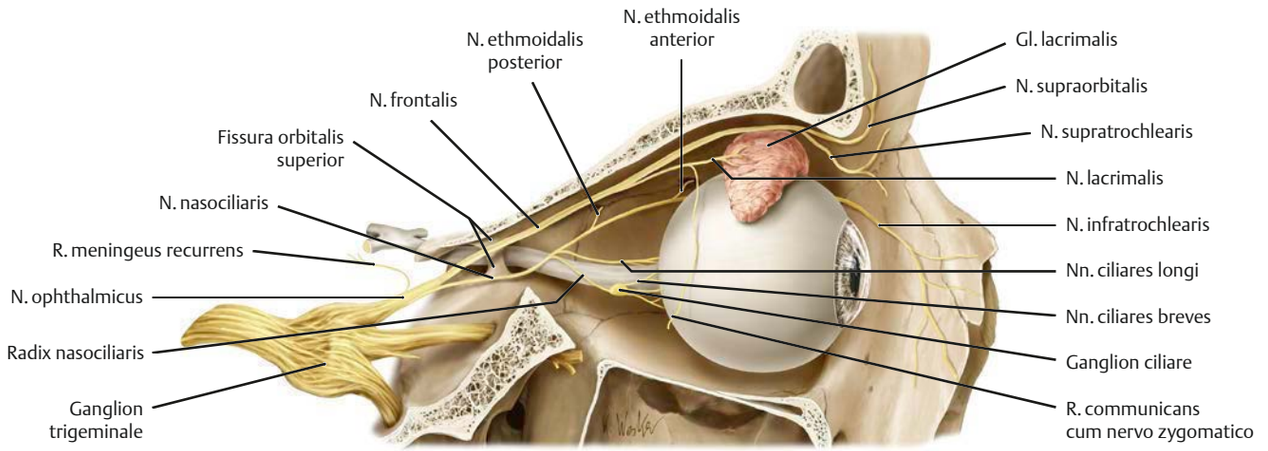


D Zentrale Trigeminusläsion

a Somatotopisch organisierter Nucleus spinalis n. trigemini; **b** Gesichtsareale, die bei Zerstörung einzelner Bereiche des Nucleus spinalis n. trigemini von Sensibilitätsstörungen (Schmerz und Temperatur) betroffen sind.

Die Areale des Sensibilitätsausfalles folgen den sog. *Sölder-Linien* im Gesicht. Sie lassen auf den jeweiligen Bereich des Trigeminuskerns schließen, in dem die Läsion vorliegt (s. entsprechende farbige Markierung).

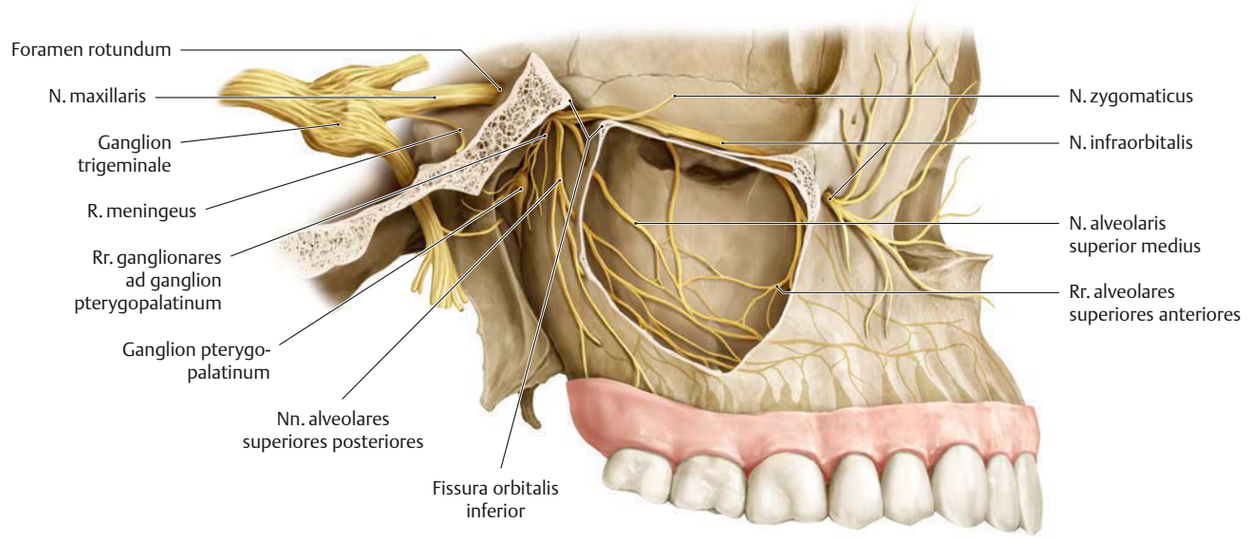
4.15 Nervus trigeminus (V): Verlauf der drei Hauptäste



A Aufzweigung des N. ophthalmicus (= 1. Ast des N. trigeminus, V_1) im Bereich der Orbita

Ansicht von lateral auf die teilweise eröffnete rechte Orbita. Der 1. kleine, aus diesem Nerv abzweigende Ast ist der rückläufige *R. meningeus recurrens*, der die harte Hirnhaut (Dura mater) sensibel versorgt. Die Masse der Fasern des N. ophthalmicus ziehen durch die *Fissura orbitalis superior* von der mittleren Schädelgrube in die Orbita. Der N. ophthalmicus spaltet sich in drei größere Äste auf, deren Namen bereits die jeweiligen Innervationsgebiete anzeigen: N. lacrimalis, N. frontalis und N. nasociliaris.

Beachte: Der N. lacrimalis erhält über einen *R. communicans* postganglionäre, *para*sympathische sekretomotorische Fasern aus dem N. zygomaticus (Ast des N. maxillaris, V_2; s. **B**), die über ihn zur Tränendrüse gelangen („viszeroefferenter Dienstleister"). Den Nn. ciliares longi, die aus dem N. nasociliaris hervorgehen, sind demgegenüber *sympathische* Fasern zum M. dilatator pupillae angelagert. Zudem enthalten sie afferente Fasern des Kornealreflexes. In der Radix nasociliaris verlaufen sensible Fasern aus dem Bulbus durch das Ganglion ciliare zum N. nasociliaris.



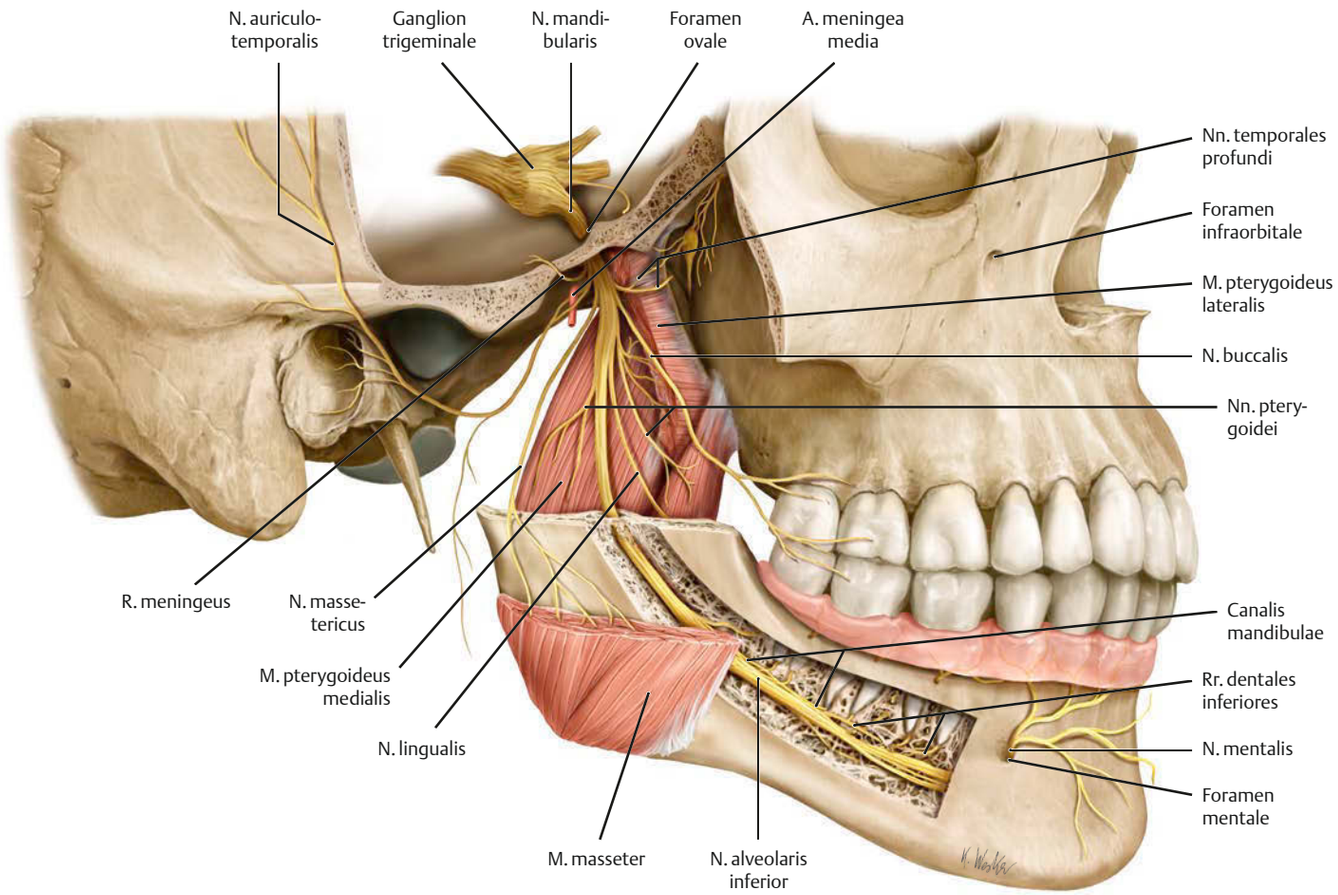
B Aufzweigung des N. maxillaris (= 2. Ast des N. trigeminus, V_2) im Bereich der Maxilla

Ansicht von lateral auf die teilweise eröffnete, rechte Kieferhöhle; Jochbogen entfernt. Nach Abgabe eines R. meningeus zieht der N. maxillaris aus der mittleren Schädelgrube durch das Foramen rotundum in die Fossa pterygopalatina, wo er sich in:

- N. zygomaticus,
- Rr. ganglionares ad ganglion pterygopalatinum (Radix sensoria ganglii pterygopalatini) sowie
- N. infraorbitalis aufteilt.

Der **N. zygomaticus** zieht durch die *Fissura orbitalis inferior* in die Orbita. Mit seinen beiden Endästen R. zygomaticofacialis und R. zygomaticotemporalis (hier nicht zu sehen) versorgt er sensibel die Haut über Jochbogen und Schläfe. Parasympathische, postganglionäre Fasern aus dem Ganglion pterygopalatinum ziehen über den R. communicans zum N. lacrimalis (s. S. 127). Die präganglionären Fasern stammen ursprünglich aus dem N. facialis. Der **N. infraorbitalis** zieht ebenfalls durch die Fissura orbitalis inferior in die Orbita, wo er in den Canalis infraorbitalis eintritt. Seine feinen Endäste versorgen die Haut zwischen Unterlid und Oberlippe. Aus seinen anderen Endästen wird der *Plexus dentalis superior* gebildet, der die Oberkieferzähne sensibel versorgt:

- Rr. alveolares superiores anteriores zu den Schneidezähnen,
- R. alveolaris superior medius zu den Prämolaren und
- Rr. alveolares superiores posteriores zu den Molaren.



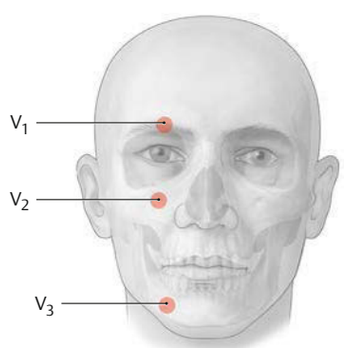
C Aufzweigung des N. mandibularis (= 3. Ast des N. trigeminus, V_3) im Bereich des Unterkiefers

Ansicht von rechts auf den teilweise eröffneten Unterkiefer, Jochbogen entfernt. Der gemischt afferent-efferente N. mandibularis tritt durch das Foramen ovale aus der mittleren Schädelgrube in die Fossa infratemporalis an der äußeren Schädelbasis. Sein R. meningeus zieht wieder in die mittlere Schädelgrube zurück, um die Dura sensibel zu versorgen. Seine **sensiblen Äste** sind:

- N. auriculotemporalis,
- N. lingualis,
- N. alveolaris inferior (zusätzlich motorische Fasern, s. u.) und
- N. buccalis.

Die Äste des N. auriculotemporalis versorgen Schläfenhaut, äußeren Gehörgang und Trommelfell. Der *N. lingualis* versorgt die vorderen zwei Drittel der Zunge sensibel, die Geschmacksfasern aus der Chorda tympani (Fazialisast) lagern sich ihm an (Dienstleister, nicht dargestellt). Die *afferenten* Fasern des *N. alveolaris inferior* treten durch das Foramen mandibulae in die Mandibula ein, wo sie im Canalis mandibulae Rr. dentales inferiores für Zähne des Unterkiefers abgeben. Der Endast N. mentalis versorgt die Haut von Kinn und Unterlippe sowie über dem Corpus mandibulae. Die *efferenten* Fasern, die aus dem N. alveolaris inferior abzweigen, versorgen den M. mylohyoideus und den Venter anterior des M. digastricus (nicht dargestellt). Der *N. buccalis* zieht durch den M. buccinator hindurch zur Wangenschleimhaut, die er sensibel versorgt. Die rein **motorischen Äste** verlassen den Hauptstamm des Nervs gleich nach Abgang des R. meningeus. Es sind:

- N. massetericus (M. masseter),
- Nn. temporales profundi (M. temporalis),
- Nn. pterygoidei (Mm. pterygoidei),
- N. musculi tensoris tympani (M. tensor tympani) und
- N. musculi tensoris veli palatini (M. tensor veli palatini) (nicht dargestellt).

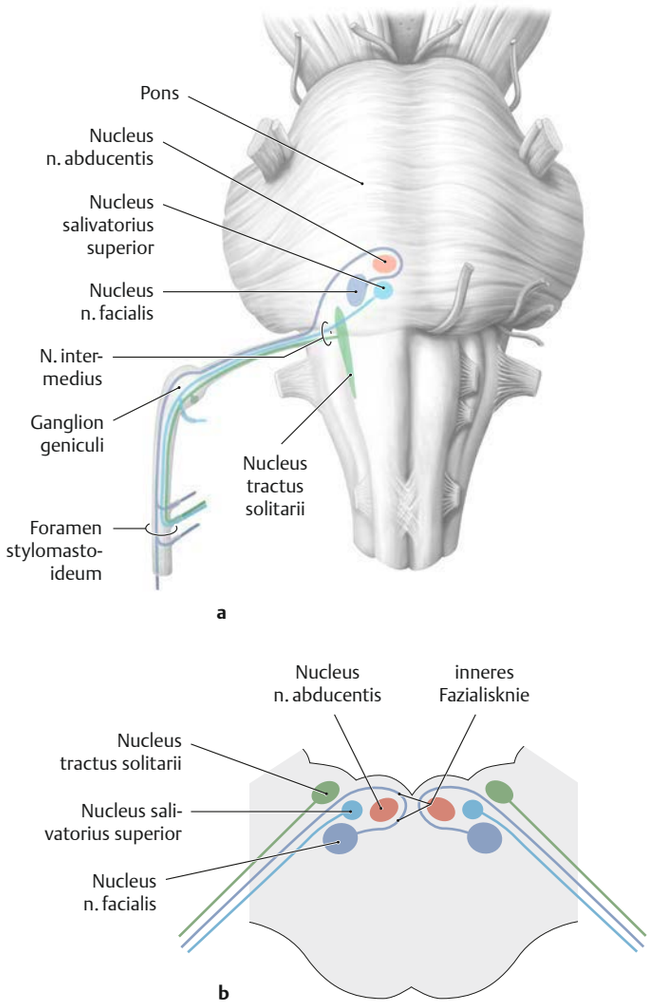


D Klinische Funktionsprüfung des N. trigeminus

Bei der körperlichen Untersuchung wird jeder der drei Hauptäste getrennt geprüft. Dazu wird mit einem Finger auf die *Nervenaustrittspunkte (NAP)* gedrückt, um dort die Sensibilität (treten dabei Schmerzempfindungen auf?) zu prüfen. Die charakteristischen Nervenaustrittspunkte sind für

- V_1: Foramen supraorbitale bzw. Incisura supraorbitalis,
- V_2: Foramen infraorbitale und für
- V_3: Foramen mentale.

4.16 Nervus facialis (VII): Kern- und Versorgungsgebiete sowie viszeroefferente Fasern



A Kerngebiete und wichtigste Äste des N. facialis
a Ansicht auf den Hirnstamm von ventral. Austritt des N. facialis aus dem kaudalen Pons; **b** Querschnitt durch den Pons in Höhe des inneren Fazialisknies (= Genu n. facialis).
Beachte, dass die verschiedenen Faserqualitäten jeweils einem spezialisierten Kerngebiet zugeordnet sind.
Der Hauptkern des N. facialis ist der **Nucleus n. facialis**. Er sendet seine *speziell viszeroefferenten* Axone, welche die mimische Muskulatur innervieren, zunächst nach dorsal um den Abduzenskern herum, wo sie das sog. innere Fazialisknie (Genu n. facialis) bilden. Sie verlaufen dann nach ventral und treten am Unterrand des Pons aus. Der **Nucleus salivatorius superior** enthält die *viszeromotorischen,* präganglionären, *parasympathischen* Neurone. Zusammen mit den *viszerosensiblen* Fasern (= Geschmacksfasern) aus dem Nucleus tractus solitarii (Pars superior) treten sie als N. intermedius aus dem Pons aus und lagern sich dann den *viszeromotorischen* Fasern aus dem Hauptkern an.

B N. facialis (VII) im Überblick

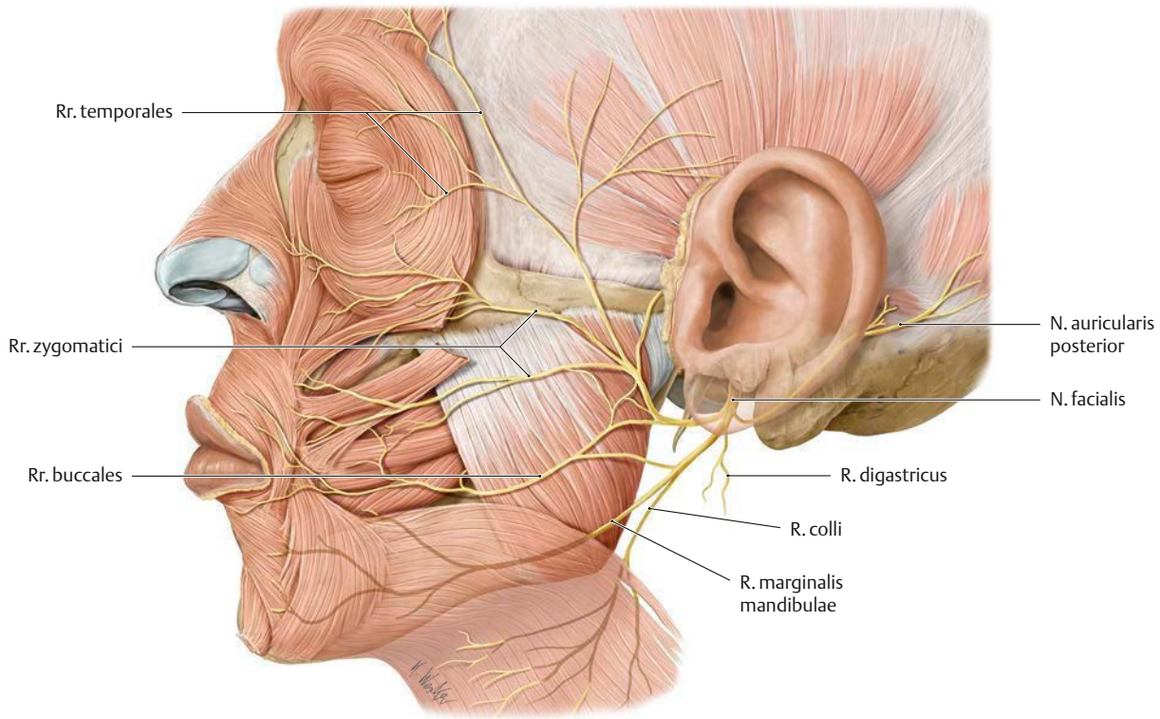
Der N. facialis enthält v. a. *speziell viszeroefferente* (branchiogene) Fasern aus dem Nucleus n. facialis für die Innervation der quergestreiften mimischen Muskulatur. Die übrigen, viszeroefferenten (parasympathischen) Fasern aus dem Nucleus salivatorius superior bündeln sich mit den *viszeroafferenten* Fasern (Geschmack) aus dem Nucleus solitarius zum *N. intermedius* zusammen und lagern sich den viszeroefferenten Fasern aus dem Nucleus n. facialis an.

Durchtrittsstellen: Der N. facialis tritt im Kleinhirnbrückenwinkel zwischen Pons und Olive aus und zieht durch den Porus acusticus internus in das Felsenbein (= Pars petrosa des Os temporale), wo er sich in seine Äste aufspaltet:
- die Masse der speziell viszeroefferenten Fasern zieht durch das *Foramen stylomastoideum* an die Schädelbasis nach außen und bilden den Plexus intraparotideus (s. **C**, Ausnahme: N. stapedius);
- die Masse der parasympathischen, viszeroefferenten und die viszeroafferenten Fasern zieht durch die *Fissura petrotympanica* nach außen an die Schädelbasis (s. **A**, S. 126). Noch während des Verlaufs im Felsenbein zweigen N. petrosus major, N. stapedius und Chorda tympani aus dem N. facialis ab.

Kern- und Versorgungsgebiete, *Ganglien:*
- *speziell viszeroefferent:* Efferenzen aus dem Nucleus n. facialis versorgen:
  - mimische Muskulatur einschließlich M. buccinator, M. occipitofrontalis und Platysma (s. **C**),
  - M. stylohyoideus,
  - M. digastricus, Venter posterior und
  - M. stapedius (N. stapedius);
- *viszeroefferent (parasympathisch):* Aus dem Nucleus salivatorius superior stammende, parasympathische präganglionäre Fasern schalten im *Ganglion pterygopalatinum* bzw. im *Ganglion submandibulare* auf postganglionäre Fasern um und versorgen:
  - Gl. lacrimalis,
  - kleine Drüsen der Nasenschleimhaut sowie des harten und weichen Gaumens,
  - Gl. submandibularis,
  - Gl. sublingualis sowie
  - kleine Speicheldrüsen im Zungenrücken;
- *speziell viszeroafferent:* Im Nucleus tractus solitarii enden zentrale Fasern von pseudounipolaren Ganglienzellen aus dem *Ganglion geniculi* (entspricht einem Spinalganglion), deren periphere Fortsätze die *Chorda tympani* (Geschmacksfasern aus den vorderen zwei Dritteln der Zunge) bilden;
- *„somatoafferenter Dienstleister":* Einige sensible Fasern, die ein kleines Hautareal hinter dem Ohr, die Concha und die Gehörgangshaut sowie die äußere Fläche der Membrana tympani versorgen, lagern sich dem N. facialis an, um über das *Ganglion geniculi* zu Kerngruppen des N. trigeminus zu gelangen; ihr genauer Verlauf ist nicht bekannt.

Entwicklungsgeschichtlich ist der N. facialis der Nerv des 2. Kiemenbogens.

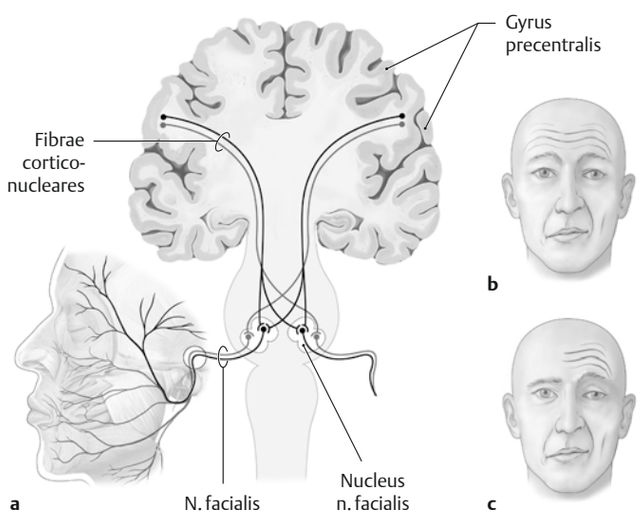
Folgen bei Schädigung des Nervs: Entsprechend der Hauptmasse seiner Fasern imponiert bei einer peripheren Schädigung des N. facialis der Ausfall der mimischen Muskulatur der jeweils betroffenen Gesichtshälfte (s. **D**). Da der N. facialis unterschiedliche Faseranteile besitzt, die den Hauptstamm des Nervs an verschiedenen Orten verlassen, kann bei einer Fazialisparese klinisch ein subtileres Bild entstehen mit zusätzlichen Störungen des Geschmackssinns sowie der Tränen- und Speichelsekretion u. a. (s. **B**, S. 126).



C Aufspaltung der Fazialisäste für die mimische Muskulatur

Beachte die verschiedenen Faserqualitäten, von denen im Folgenden fast ausschließlich die viszeroefferenten (branchiogene) für die mimische Muskulatur besprochen werden (zu den übrigen Faserqualitäten s. S. 126).

Der *N. stapedius* (zum M. stapedius) zweigt noch innerhalb des Felsenbeins aus dem N. facialis ab und wird hier nur erwähnt, weil er ebenfalls viszeroefferente Fasern enthält (zum Verlauf s. S. 126). Nach dem Austritt des N. facialis aus dem Felsenbein durch das Foramen stylomastoideum zweigt zuerst der **N. auricularis posterior** ab; er versorgt die hinteren Ohrmuskeln und den Venter posterior des M. occipitofrontalis *viszeroefferent.* Außerdem verlaufen in ihm die *somatosensiblen* Fasern aus dem Bereich des äußeren Ohres, deren pseudounipolare Nervenzellen im Ganglion geniculi liegen (s. S. 126). Die Masse der übrigen, viszeroefferenten Fasern des N. facialis bilden nach Verlassen des Felsenbeins in der Ohrspeicheldrüse den **Plexus intraparotideus** mit folgenden Ästen zur mimischen Muskulatur: Rr. temporales, Rr. zygomatici, Rr. buccales sowie R. marginalis mandibulae. Diese Fazialisäste müssen bei der Operation eines gutartigen Parotistumors geschont werden, um die Funktionstüchtigkeit der mimischen Muskulatur zu erhalten. Daneben gibt es noch kleinere Äste wie den R. digastricus zum Venter posterior des M. digastricus und den R. stylohyoideus zum M. stylohyoideus (nicht dargestellt). Der am weitesten kaudal liegende Ast aus dem Plexus intraparotideus ist der **R. colli** (= R. cervicalis). Er bildet eine Anastomose (in der früheren Nomenklatur als *Ansa cervicalis superficialis* bezeichnet) mit dem N. transversus colli, einem ventralen Ast des Spinalnervs C3.



D Zentrale und periphere Fazialislähmung

a Im Nucleus n. facialis liegen die Perikarya des 2. motorischen Neurons, ihre speziell viszeroefferenten Axone ziehen mit dem N. facialis zur ipsilateralen mimischen Muskulatur. Zentral wird der Nucleus n. facialis durch das 1. motorische Neuron innerviert, dessen Perikarya im primär somatomotorischen Cortex (= Gyrus precentralis) liegen (Verlauf der Axone im Fibrae corticonucleares).

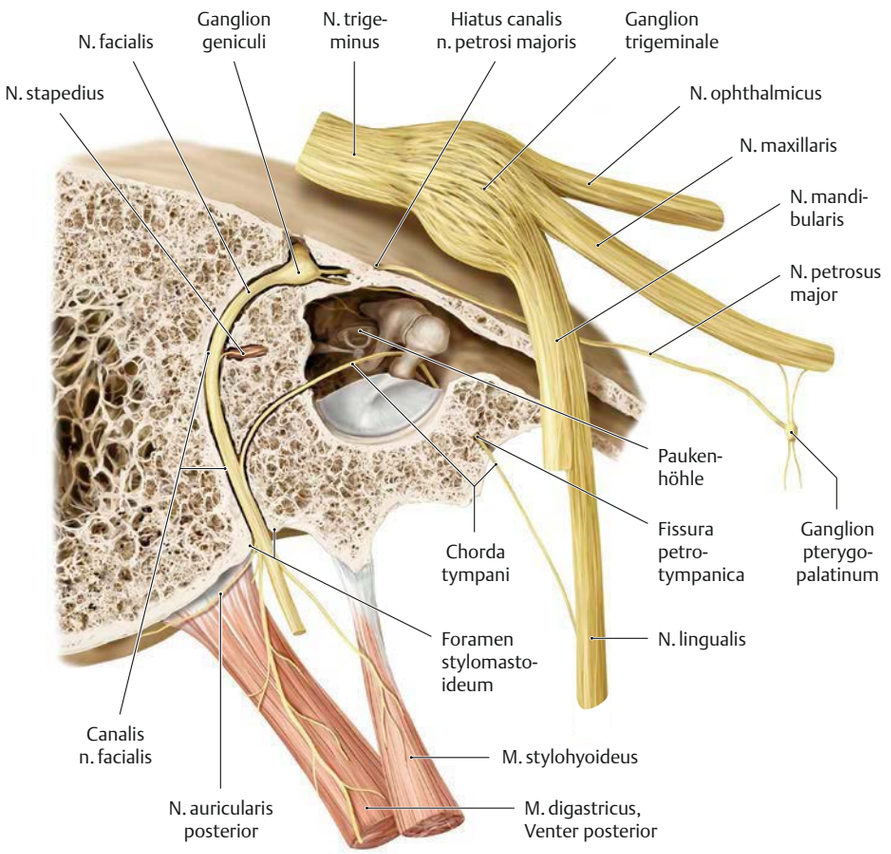
Beachte: Der Nucleus n. facialis ist sozusagen „zweigeteilt": Sein oberer Teil (dorsaler Abschnitt) versorgt die Stirn- und Augenmuskulatur (Rr. temporales), sein unterer Teil (ventraler Abschnitt) die mimische Muskulatur der unteren Gesichtshälfte. Hierbei erhält der obere Teil des Fazialiskerns eine bilaterale, der untere Teil eine ausschließlich kontralaterale Innervation über das 1. motorische Neuron.

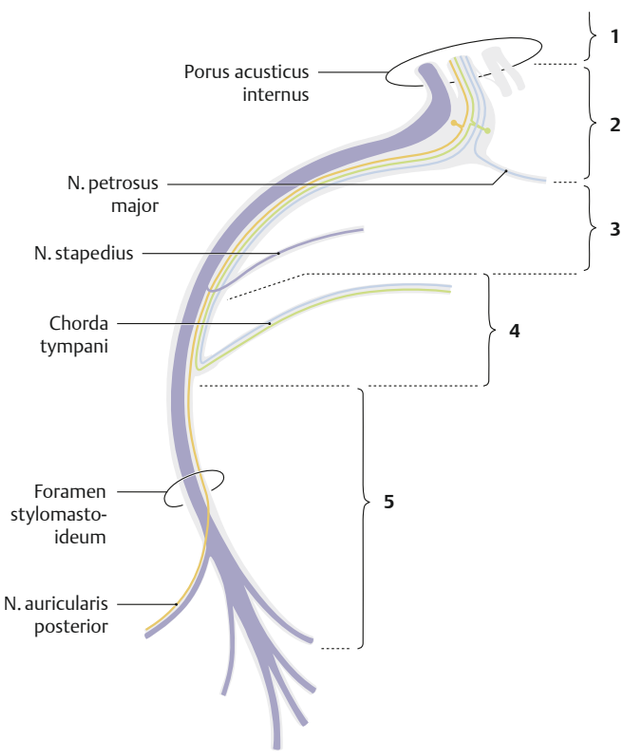
Klinische Folgen (**b** u. **c**): Bei einer **zentralen (supranukleären) Lähmung** (Ausfall des 1. motorischen Neurons, in diesem Fall links, s. **b**) ist die kontralaterale mimische Muskulatur der unteren Gesichtshälfte gelähmt, die kontralaterale Stirn- und Augenmuskulatur jedoch intakt: Der Mundwinkel des Patienten hängt also rechts (kontralateral!) herab, Stirnrunzeln und Augenschließen sind aber beidseitig möglich; die Artikulation ist beeinträchtigt. Bei einer **peripheren (infranukleären) Lähmung** (Ausfall des 2. motorischen Neurons, in diesem Fall rechts, s. **c**) ist die gesamte mimische Muskulatur ipsilateral gelähmt: Die Stirnfalte ist verstrichen, der Mundwinkel hängt herab, die Artikulation ist beeinträchtigt, der Lidschluss unvollständig mit positivem Bell-Phänomen (= beim Versuch, die Augen zu schließen, wird die Sclera sichtbar – Augapfel dreht sich beim Schließen der Augen physiologischerweise nach oben), der Lidschlussreflex fehlt. Je nach Ort der Schädigung sind zusätzliche Ausfallerscheinungen möglich, wie z. B. eine reduzierte Tränen- und Speichelsekretion oder Geschmacksverlust in den vorderen ⅔ der Zunge.

4.17 Nervus facialis (VII): Verlauf im Felsenbein; parasympathische viszeroefferente sowie viszeroafferente Fasern

A Aufspaltung des N. facialis im Felsenbein
Ansicht von lateral auf das rechte Felsenbein. Der N. facialis tritt mit dem N. vestibulocochlearis (N. VIII, nicht dargestellt) durch den Porus acusticus internus (nicht dargestellt) in das Felsenbein ein und bildet kurz nach seinem Eintritt das *äußere Fazialisknie*, in dem das Ganglion geniculi liegt. Die Hauptmasse der viszeroefferenten Fasern zur mimischen Muskulatur zieht durch das Felsenbein und verlässt es am Foramen stylomastoideum (s. S. 125). Zwischen Ganglion geniculi und Foramen stylomastoideum verläuft der N. facialis, in dessen Verlauf drei Nerven abzweigen:

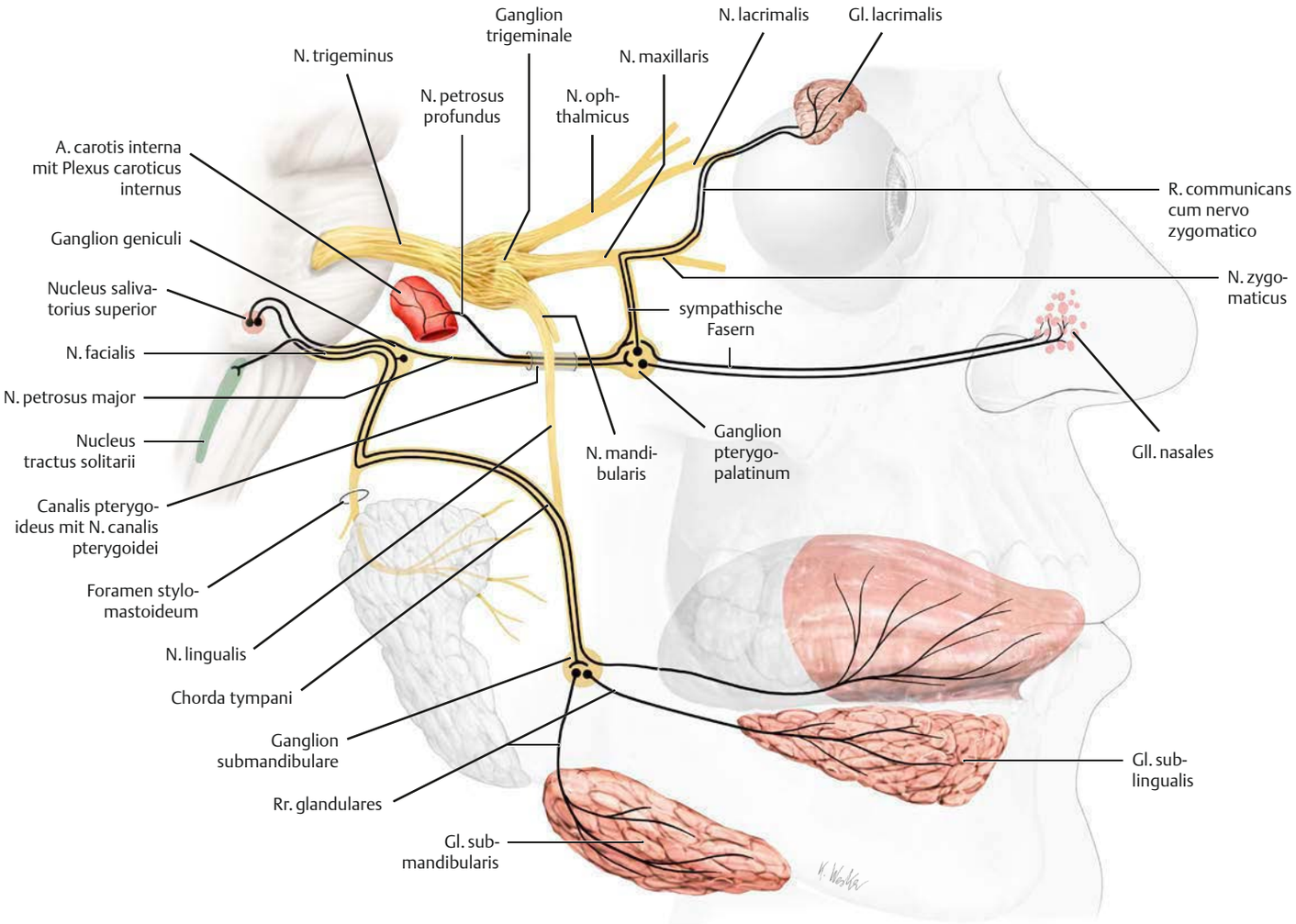
- Direkt am Ganglion geniculi der parasympathische **N. petrosus major.** Er verlässt die Felsenbeinpyramide an ihrer Vorderfläche am Hiatus canalis n. petrosi majoris und zieht dann weiter durch das Foramen lacerum (nicht dargestellt) in den Canalis pterygoideus (s. **C**) zum Ganglion pterygopalatinum.
- Als nächster Ast zweigt der **N. stapedius** zum gleichnamigen Muskel ab.
- Oberhalb des Foramen stylomastoideum zweigt die **Chorda tympani** ab, die Geschmacksfasern sowie präganglionäre parasympathische Fasern enthält; sie zieht durch die Paukenhöhle und die Fissura petrotympanica und schließt sich dann dem N. lingualis an.





B Aufzweigungsschema des N. facialis im Felsenbein und dessen diagnostische Bedeutung bei Felsenbeinfrakturen
Anhand der Leitsymptome kann auf den Schädigungsort innerhalb des Felsenbeins geschlossen werden.
Beachte, dass nur die Hauptsymptome des jeweiligen Läsionsortes beschrieben werden. Die Vielfältigkeit der Symptomatik nimmt ab, je weiter peripher der Nerv im Felsenbein verletzt ist.

1 Bei diesem Schädigungsort ist sowohl der N. facialis als auch der N. cochlearis und der N. vestibularis betroffen; daher kommt es neben einer peripheren motorischen Fazialisparese zu Schwerhörigkeit (Taubheit) sowie Ausfall des Labyrinths (Schwindel).
2 Neben der peripheren motorischen Fazialisparese imponieren Störungen des Geschmackssinns (Chorda tympani) und der Tränen- und Speichelsekretion.
3 Neben der motorischen Lähmung imponiert die Störung der Speichelsekretion und des Geschmackssinns. Die Hyperakusis bei Ausfall des M. stapedius spielt klinisch keine entscheidende Rolle.
4 Neben der peripheren motorischen Lähmung imponieren Geschmacksstörungen und Störungen der Speichelsekretion.
5 Bei einer Läsion in dieser Höhe kommt es ausschließlich zur peripheren motorischen Fazialislähmung.



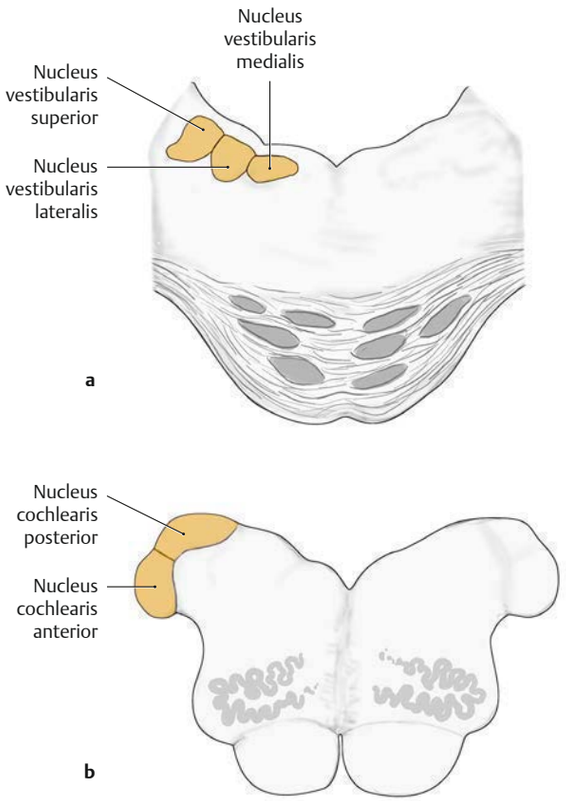
C Parasympathische viszeroefferente und viszeroafferente Fasern (Geschmacksfasern) des N. facialis

Die präganglionären, parasympathischen, viszeroefferenten Neurone entstammen dem Nucleus salivatorius superior. Ihre Axone treten zusammen mit den viszeroafferenten Axonen als N. intermedius aus dem Pons aus bzw. ein und lagern sich dann den viszeroefferenten Fasern aus dem Hauptkern (Nucleus n. facialis) an. Sie verlaufen zunächst im N. petrosus major, bevor sie sich im Canalis pterygoideus mit den *postganglionären, sympathischen Fasern* (= N. petrosus profundus) zum N. canalis pterygoidei vereinigen. Der N. canalis pterygoidei, der nun parasympathische und sympathische Fasern enthält, zieht zum **Ganglion pterygopalatinum,** wo allerdings nur die parasympathischen Fasern zu Gl. lacrimalis und Gll. nasales umgeschaltet werden; die sympathischen Fasern wurden bereits im Grenzstrangganglion umgeschaltet. Die *postganglionären* Fasern für die Gl. lacrimalis lagern sich dann dem N. maxillaris an und ziehen (über den R. communicans cum nervo zygomatico) zur Tränendrüse. Die *viszeroafferenten* Axone (Geschmacksfasern) für die vorderen zwei Drittel der Zunge verlaufen in der Chorda tympani. Die dazu gehörenden Perikarya der pseudounipolaren afferenten Geschmacksneurone, die einem Spinalganglion entsprechen, liegen im **Ganglion geniculi.** Zusätzlich verlaufen in der Chorda tympani die präganglionären *parasympathischen, viszeroefferenten Fasern* für die Gl. submandibularis, die Gl. sublingualis und die kleinen Speicheldrüsen in den vorderen zwei Dritteln der Zunge. Diese Fasern lagern sich dem N. lingualis (V_3) an; sie werden im **Ganglion submandibulare** umgeschaltet; Rr. glandulares ziehen dann zu den jeweiligen Drüsen.

D Nervi petrosi (Felsenbeinnerven)

N. petrosus major	präganglionärer, parasympathischer Ast aus N. VII zum Ganglion pterygopalatinum (Tränendrüse, Nasendrüsen)	N. petrosus profundus	postganglionärer sympathischer Ast aus dem Plexus caroticus internus, der sich mit dem N. petrosus major zum N. canalis pterygoidei vereinigt, zieht dann zum Ganglion pterygopalatinum weiter, dann gleiches Versorgungsgebiet wie N. petrosus major (s. **C**)
N. petrosus minor	präganglionärer, parasympathischer Ast aus N. IX zum Ganglion oticum (Parotis, Wangen- und Lippendrüsen, s. S. 131)		

4.18 Nervus vestibulocochlearis (VIII)



A Kerngebiete des N. vestibulocochlearis (VIII)
Querschnitte durch die obere Medulla oblongata.

a Vestibulariskerne. Man unterscheidet vier Kernkomplexe:

- Nucleus vestibularis superior (Bechterew),
- Nucleus vestibularis lateralis (Deiters),
- Nucleus vestibularis medialis (Schwalbe) und
- Nucleus vestibularis inferior (Roller).

Beachte: Der untere Vestibulariskern (Nucleus vestibularis inferior) wird in dieser Höhe nicht angeschnitten (vgl. Lage der Hirnnervenkerne im Hirnstamm, S. 356).
Der größte Teil der Axone aus dem Ganglion vestibulare endet in diesen vier Kerngebieten, ein kleiner Teil zieht jedoch über den Pedunculus cerebellaris inferior direkt in das Kleinhirn (s. **Ea**). Die Vestibulariskerne liegen am Boden der Rautengrube und wölben sich vor (s. **Eb**, S. 355). Zur zentralen Verschaltung s. **Ea**.

b Kochleariskerne. Man unterscheidet zwei Kernkomplexe:

- Nucleus cochlearis anterior und
- Nucleus cochlearis posterior.

Beide Kerne liegen lateral der Vestibulariskerne (s. **Aa**, S. 356); zur zentralen Verschaltung s. **Eb**.

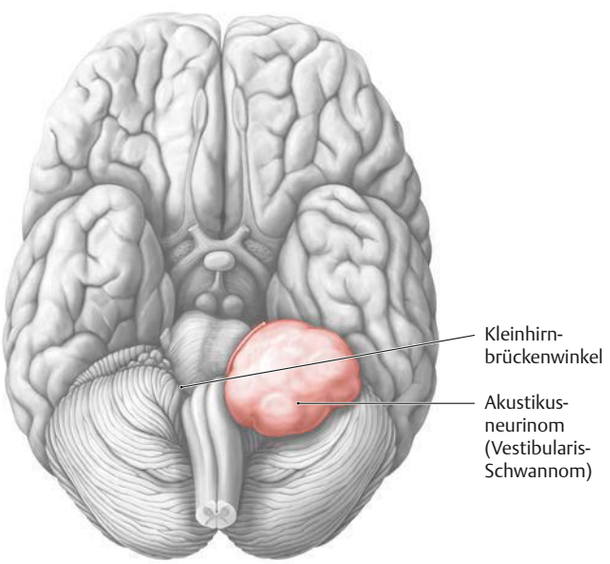
B N. vestibulocochlearis (VIII) im Überblick

Der N. vestibulocochlearis ist ein *speziell somatoafferenter* (sensorischer) Nerv, der anatomisch und funktionell aus zwei Anteilen besteht:
- die *Radix vestibularis* überträgt Informationen aus dem Gleichgewichtsorgan,
- die *Radix cochlearis* aus dem Hörorgan.

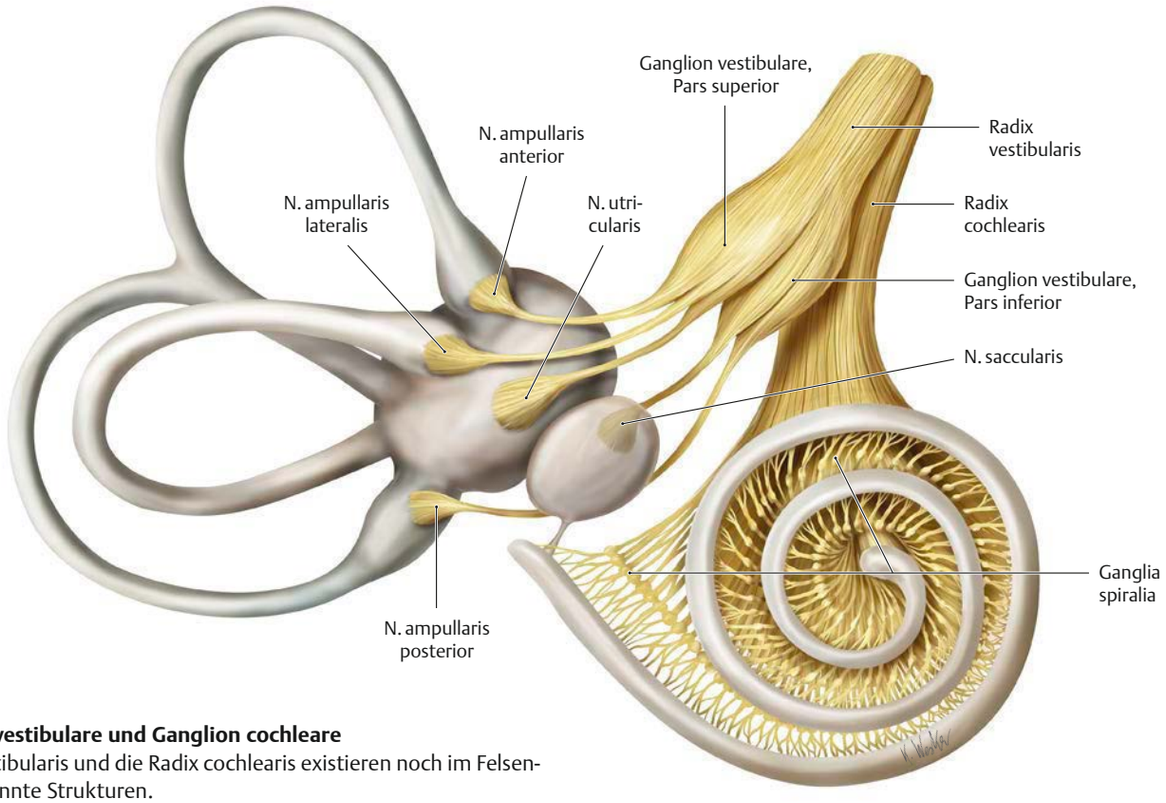
Beide Radices werden von einer gemeinsamen Bindegewebshülle umgeben; sie ziehen vom Innenohr durch den Meatus acusticus internus zum Kleinhirnbrückenwinkel, um dort in das Gehirn einzutreten.

Kern- und Versorgungsgebiete, *Ganglien:*
- *Radix vestibularis:* Im *Ganglion vestibulare* befinden sich bipolare Ganglienzellen, deren zentrale Fortsätze zu den Nuclei vestibulares (vier Kerngebiete) am Boden der Rautengrube der Medulla oblongata ziehen; die peripheren Fortsätze beginnen an den Sinneszellen des Bogengangsorgans und des Sacculus und Utriculus.
- *Radix cochlearis:* Im *Ganglion spirale* befinden sich bipolare Ganglienzellen, deren zentrale Fortsätze zu den beiden Nuclei cochleares ziehen, die lateral der Vestibulariskerne in der Rautengrube liegen; die peripheren Fortsätze beginnen an den Haarzellen des Corti-Organs.

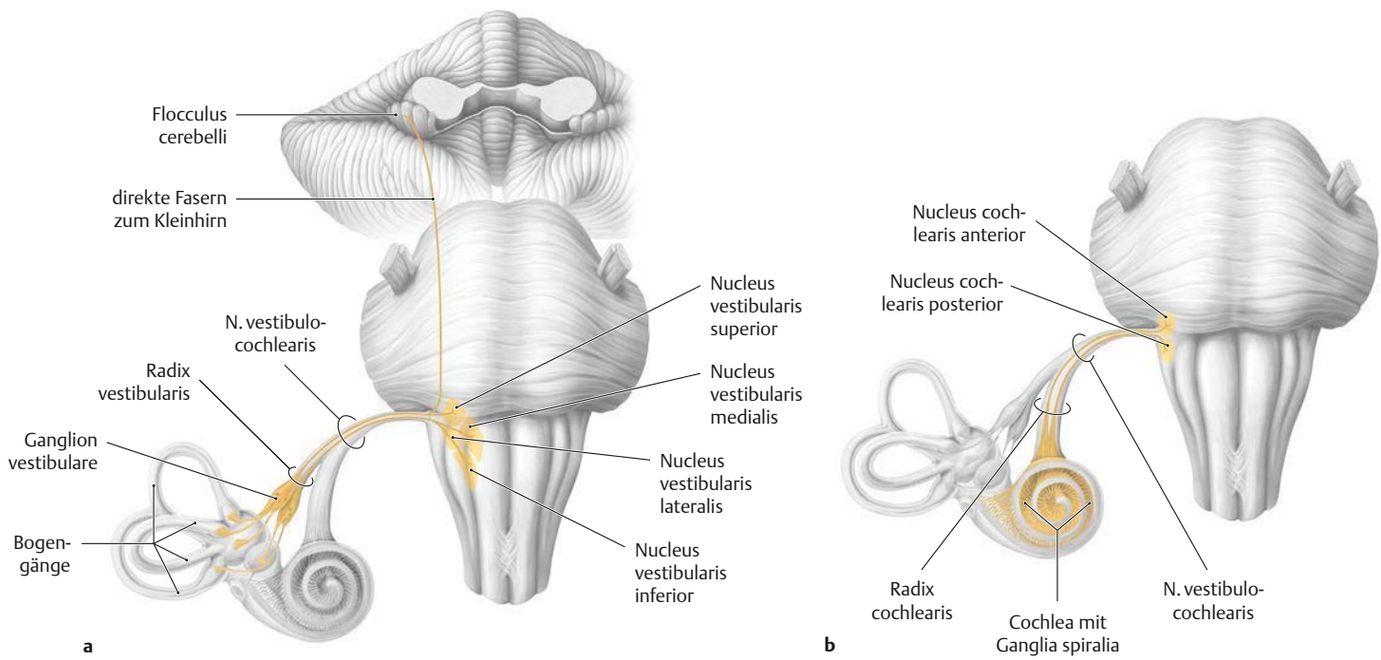
Die Funktion beider Nervenanteile sollte bei einer gründlichen körperlichen Untersuchung des Patienten kursorisch erfasst werden (Hör- und Gleichgewichtstest!). Bei Ausfall der Radix vestibularis resultiert Schwindel, bei der Radix cochlearis Schwerhörigkeit (bis hin zur Taubheit).



C Akustikusneurinom im Kleinhirnbrückenwinkel
Das Akustikusneurinom, das in dieser Darstellung im linken Kleinhirnbrückenwinkel lokalisiert ist, geht vom vestibulären Anteil des N. VIII aus und entsteht durch einen gutartigen Tumor der Schwann-Zellen. Aus diesem Grund müsste es eigentlich eher Vestibularis-Schwannom als Akustikusneurinom heißen. Akustikusneurinome wachsen verdrängend in die Umgebung ein und führen zu einer meist langsam fortschreitenden Schwerhörigkeit und Gangunsicherheit. Große Tumoren, wie der hier abgebildete, können den Hirndruck erhöhen (Symptom: Erbrechen).



D Ganglion vestibulare und Ganglion cochleare
Die Radix vestibularis und die Radix cochlearis existieren noch im Felsenbein als getrennte Strukturen.

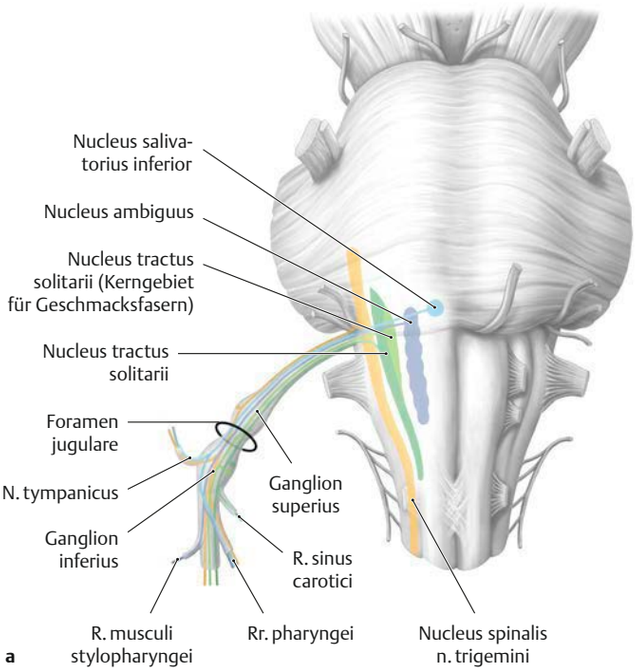


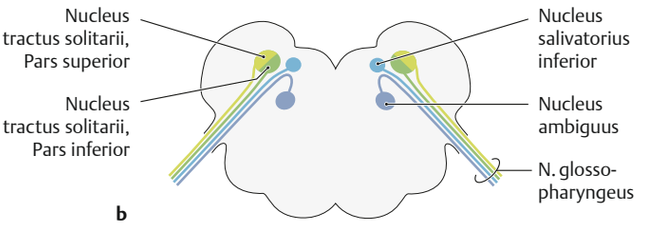
E Kerngebiete des N. vestibulocochlearis im Hirnstamm
Ansicht von ventral auf Medulla oblongata und Pons. Das Innenohr und seine Verbindungen mit den Kernen sind schematisch dargestellt.

a Pars vestibularis: Im Ganglion vestibulare liegen bipolare Sinneszellen, deren periphere Fortsätze zu den Bogengangsorganen sowie zu Sacculus und Utriculus ziehen. Ihre Axone ziehen als Radix vestibularis zu den vier Vestibulariskernen am Boden der Rautengrube (zur weiteren Verschaltung s. S. 486). Das Vestibularorgan dient der Orientierung im Raum. Klinisch manifestiert sich der akute Ausfall des Vestibularorgans als Schwindel (Vertigo).

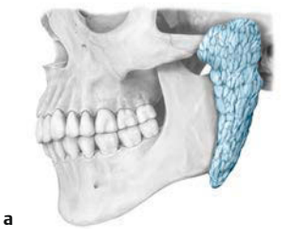
b Pars cochlearis: Die Ganglia spiralia bilden ein Nervenzellband, das sich dem Verlauf der knöchernen Mitte der Schnecke (Cochlea) anpasst. In ihm liegen bipolare Sinneszellen, deren periphere Fortsätze zu den Haarzellen des Corti-Organs ziehen. Ihre zentralen Fortsätze vereinigen sich am Boden des inneren Gehörgangs zur Radix cochlearis und ziehen in die beiden Kerngebiete, die dorsal der vestibulären Kerngebiete liegen. Zur weiteren Verschaltung der Kerne s. S. 484.

4.19 Nervus glossopharyngeus (IX)

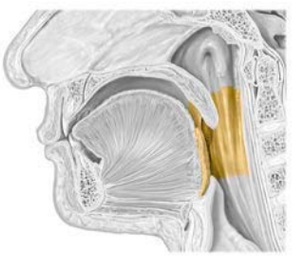


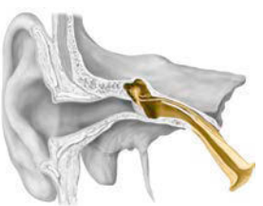


A Kerngebiete des N. glossopharyngeus
a Medulla oblongata, Ansicht von ventral; **b** Querschnitt durch die Medulla oblongata in Höhe des Austritts des N. glossopharyngeus; Kerngebiet des N. trigeminus aus Übersichtsgründen nicht eingezeichnet (Näheres zu den Kerngebieten s. **B**).













B N. glossopharyngeus (IX) im Überblick

Der N. glossopharyngeus enthält allgemein und speziell viszeroefferente sowie viszero- und somatoafferente Fasern.

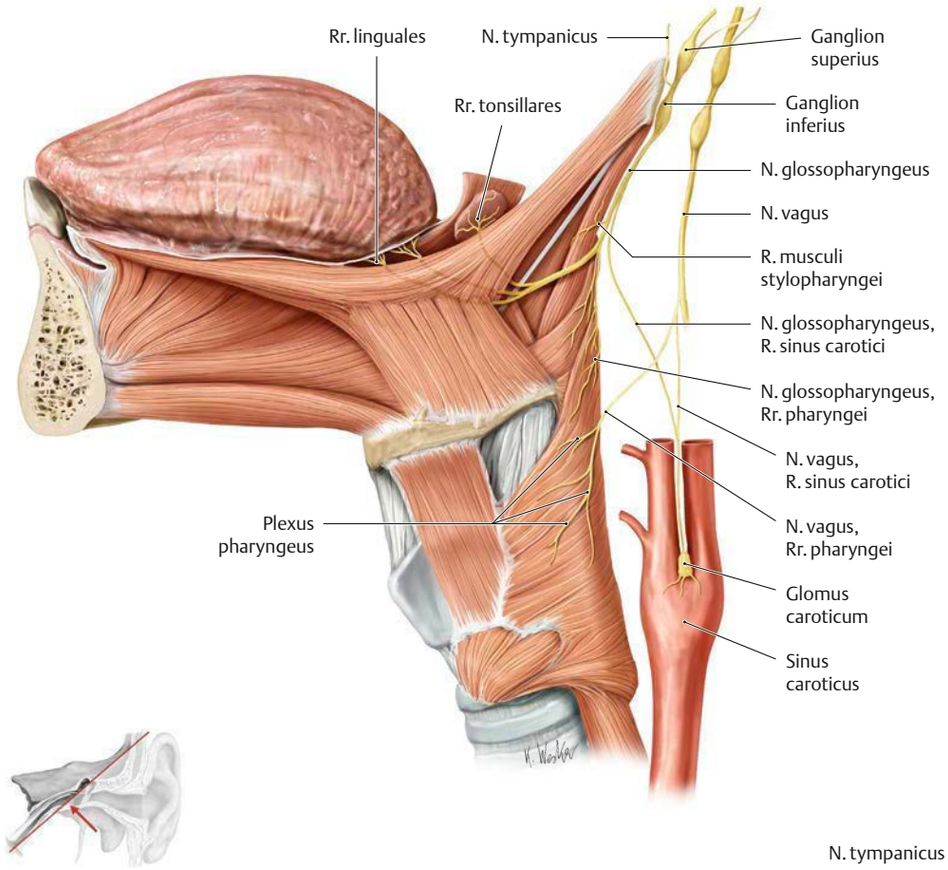
Durchtrittsstellen: Er tritt aus der Medulla oblongata aus und verlässt das Schädelinnere durch das Foramen jugulare.

Kern- und Versorgungsgebiete, *Ganglien:*

- *speziell viszeroefferent (branchiogen):* Der Nucleus ambiguus sendet seine Efferenzen zu den Schlundschnürern (= Rr. pharyngei, bilden zusammen mit dem N. vagus den Plexus pharyngeus) sowie zu den Mm. stylopharyngeus, palatopharyngeus und salpingopharyngeus (s. **C**);
- *allgemein viszeroefferent (parasympathisch):* Der Nucleus salivatorius inferior sendet parasympathische, präganglionäre Efferenzen zum *Ganglion oticum,* wo sie auf postganglionäre Fasern umgeschaltet werden und zur Gl. parotis sowie zu den Gll. buccales und labiales ziehen (s. **a** sowie **E**);
- *somatoafferent:* Im Nucleus spinalis n. trigemini enden zentrale Fortsätze von pseudounipolaren Ganglienzellen, die im *intrakranialen Ganglion superius* oder im extrakranialen *Ganglion inferius* des N. glossopharyngeus liegen. Die peripheren Fortsätze dieser Zellen stammen von:
  - hinterem Zungendrittel, weichem Gaumen, Rachenschleimhaut und Tonsillen (Afferenzen des Würgreflexes), s. **b** u. **c**
  - Schleimhaut von Paukenhöhle und Tuba auditiva (Plexus tympanicus), s. **d**
  - Haut des äußeren Ohres und des Gehörgangs (Abgrenzung vom Innervationsgebiet des N. vagus unscharf definiert) sowie der inneren Oberfläche des Trommelfells (Teil des Plexus tympanicus);
- *speziell viszeroafferent:* Im Nucleus tractus solitarii, Pars superior, enden zentrale Fortsätze von pseudounipolaren Ganglienzellen aus dem *Ganglion inferius,* deren periphere Fasern vom hinteren Drittel der Zunge (Geschmacksfasern) stammen (s. **e**);
- *viszeroafferent:* Im Nucleus tractus solitarii, Pars inferior, enden sensible Fasern aus:
  - Chemorezeptoren im Glomus caroticum und
  - Pressorezeptoren im Sinus caroticus (s. **f**).

Entwicklungsgeschichtlich ist der N. glossopharyngeus der Nerv des 3. Kiemenbogens.

Isolierte **Schädigungen** des N. glossopharyngeus sind selten, zumeist treten sie in Kombination mit Schädigungen von N. X und XI (N. vagus und N. accessorius, kranialer Teil) auf, da alle drei gemeinsam aus dem Foramen jugulare austreten und bei Schädelbasisfrakturen gemeinsam geschädigt werden.



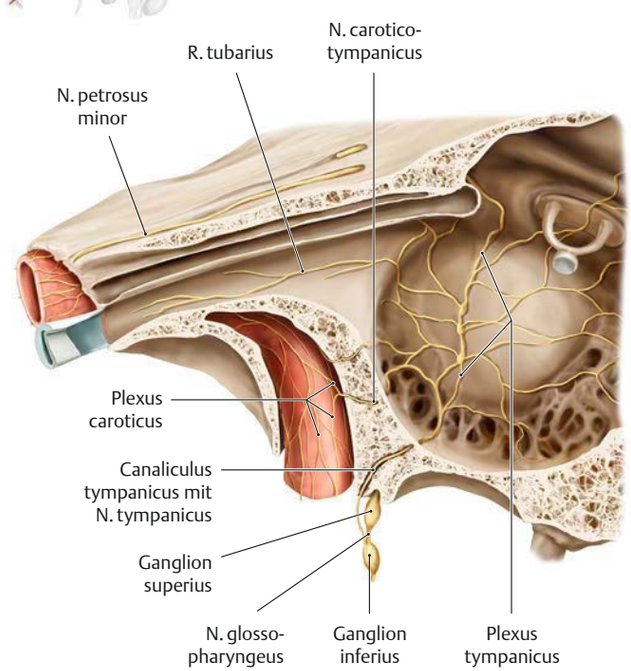
C Aufspaltung des N. glossopharyngeus außerhalb der Schädelbasis

Ansicht von links.

Beachte die enge Beziehung des N. glossopharyngeus zum N. vagus (X): der Sinus caroticus wird von beiden Nerven innerviert.

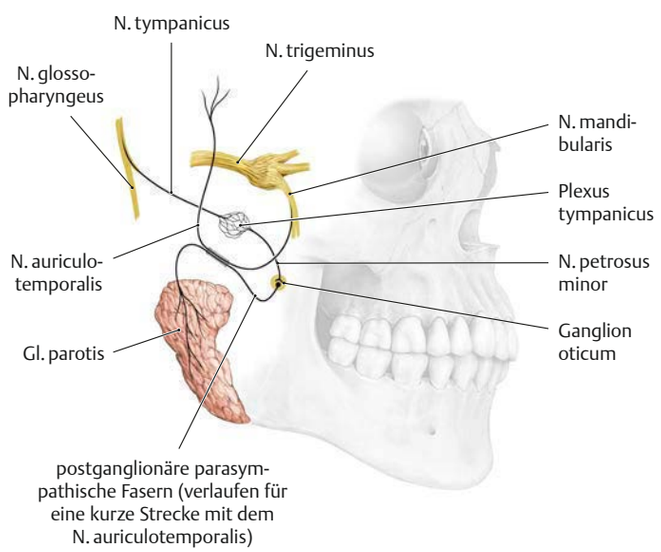
Die hier erkennbaren, wichtigsten Äste von Hirnnerv IX sind:

- Rr. pharyngei: 3–4 Äste für den Plexus pharyngeus,
- R. musculi stylopharyngei: für den gleichnamigen Muskel,
- R. sinus carotici: für Sinus caroticus und Glomus caroticum,
- Rr. tonsillares: Äste für die Schleimhaut der Tonsilla palatina und deren Umgebung sowie
- Rr. linguales: somatosensible Fasern und Geschmacksfasern für das hintere Zungendrittel.



D Aufspaltung des N. glossopharyngeus in der Paukenhöhle

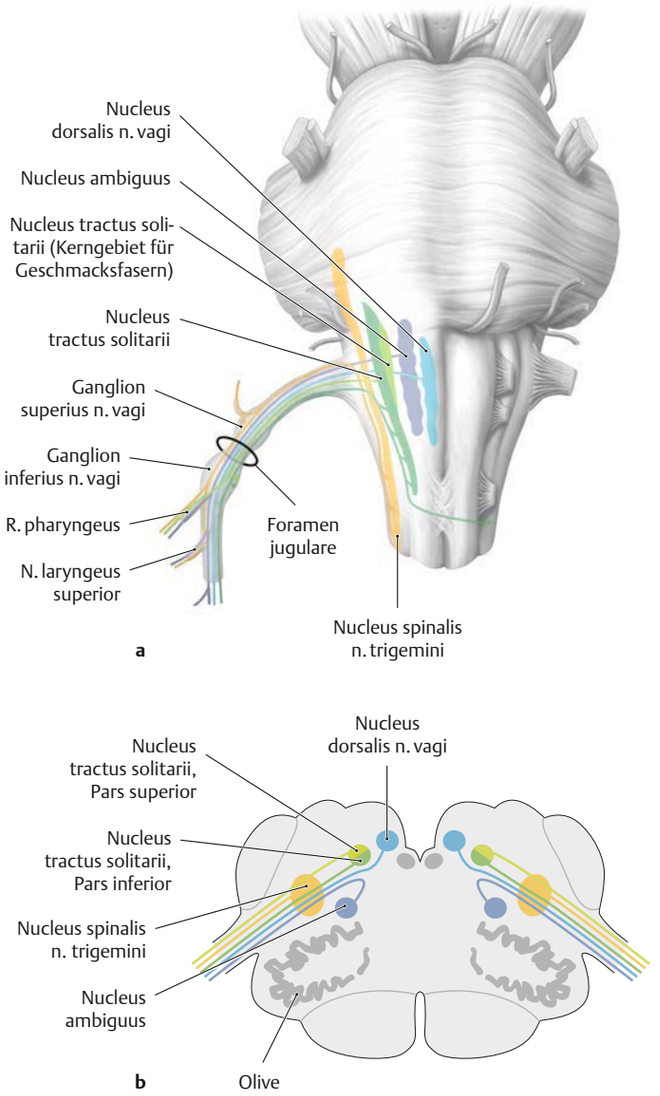
Ansicht des linken Felsenbeins von frontal. Der N. tympanicus, der durch den Canaliculus tympanicus in die Paukenhöhle zieht, ist der 1. Ast des N. glossopharyngeus und enthält viszeroefferente (parasympathische) Fasern für die Gl. parotis und somatoafferente Fasern für die Paukenhöhle und die Tuba auditiva. Zusammen mit sympathischen Fasern aus dem Plexus caroticus (über die Nn. caroticotympanici) bildet er den Plexus tympanicus. Die parasympathischen Fasern ziehen als N. petrosus minor zum Ganglion oticum (s. S. 237), werden dort umgeschaltet und ziehen dann zur Gl. parotis weiter.



E Viszeroefferente (parasympathische) Fasern des N. glossopharyngeus

Die parasympathischen, präganglionären Fasern aus dem Nucleus salivatorius inferior ziehen mit dem N. glossopharyngeus aus der Medulla oblongata und zweigen als N. tympanicus direkt nach seinem Austritt aus der Schädelbasis ab. In der Paukenhöhle verzweigt sich der N. tympanicus zum Plexus tympanicus (s. **B**, S. 146), zu dem sich postganglionäre, sympathische Fasern aus dem Abschnitt des Plexus caroticus im Bereich der A. meningea media (nicht dargestellt) gesellen. Aus dem Plexus tympanicus geht der N. petrosus minor hervor, der aus dem Felsenbein durch den Hiatus canalis petrosi minoris in die mittlere Schädelgrube tritt. Unter der Dura gelegen, zieht er durch die Fissura sphenopetrosa zum Ganglion oticum. Über eine Anastomose treten die Fasern in den N. auriculotemporalis ein und gelangen über eine weitere Anastomose zum N. facialis, über dessen Äste die vegetativen Fasern in der Gl. parotis verteilt werden.

4.20 Nervus vagus (X)



A Kerngebiete des N. vagus

a Medulla oblongata, Ansicht von ventral. Austritt des N. vagus aus der Medulla oblongata.

b Querschnitt durch die Medulla oblongata in Höhe der oberen Olive. *Beachte* die verschiedenen Kerngebiete des N. vagus und ihre Funktion.

Der *Nucleus ambiguus* enthält die *viszeroefferenten* (branchiogenen) Fasern für die Nn. laryngei superior und recurrens. Er ist somatotopisch gegliedert: Die Neurone für den N. laryngeus *superior* liegen kranial, die für den N. laryngeus *recurrens* kaudal. Der *Nucleus dorsalis n. vagi* liegt am Boden der Rautengrube und enthält die präganglionären, parasympathischen, viszeroefferenten Neurone. Im *Nucleus spinalis n. trigemini* enden die somatoafferenten Fasern, deren pseudounipolare Ganglienzellen im Ganglion superius des N. vagus liegen. Sie benutzen den N. vagus nur als Transitstrecke. Im *Nucleus tractus solitarii* enden die zentralen Fortsätze der pseudounipolaren Ganglienzellen aus dem Ganglion inferius: Geschmacksfasern und viszeroafferente Fasern.

B N. vagus (X) im Überblick

Der N. vagus enthält allgemein und speziell viszeroefferente sowie viszero- und somatoafferente Fasern und hat das ausgedehnteste Innervationsgebiet aller Hirnnerven (Vagus = Vagabund!). Man unterscheidet Kopf-, Hals-, Brust- und Bauchteil. Hier wird im Wesentlichen der Kopf- und Halsteil behandelt, zu Brust- und Bauchteil vgl. Prometheus, Innere Organe.

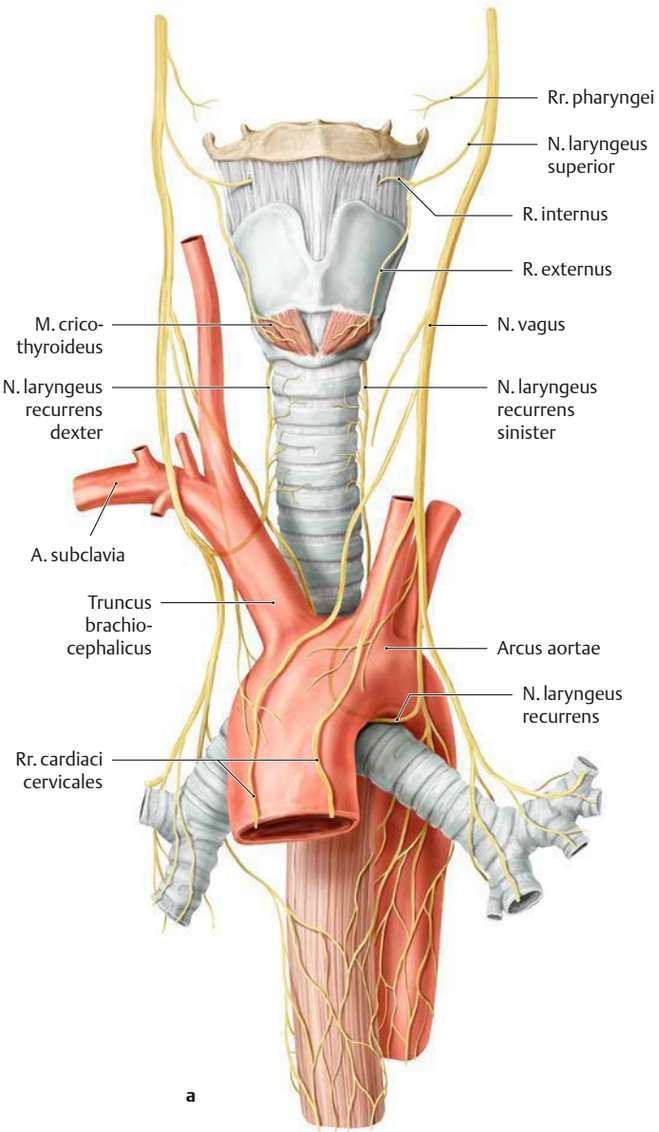
Durchtrittsstelle: Der N. vagus tritt aus der Medulla oblongata aus und verlässt das Schädelinnere durch das Foramen jugulare.

Kern- und Versorgungsgebiete, *Ganglien:*

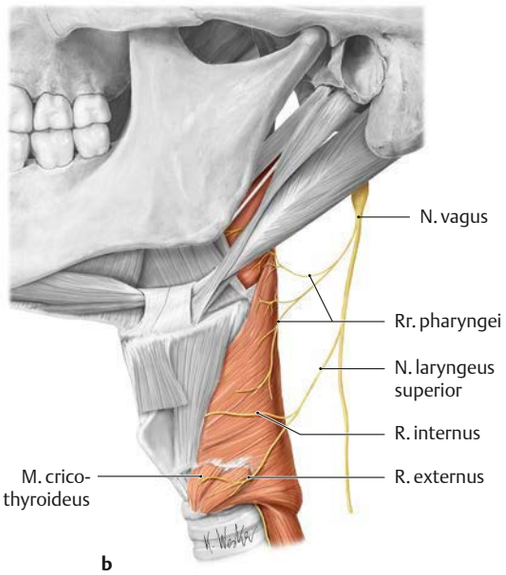
- *speziell viszeroefferent* (branchiogen): Efferenzen aus dem Nucleus ambiguus versorgen:
  - Pharynxmuskulatur (R. pharyngeus; bildet zusammen mit N. glossopharyngeus den Plexus pharyngeus), Muskeln des weichen Gaumens (M. levator veli palatini, M. uvulae);
  - alle Larynxmuskeln: der N. laryngeus superior den M. cricothyroideus; der N. laryngeus recurrens die übrigen Larynxmuskeln (zur Herkunft der Fasern s. S. 134);
- *allgemein viszeroefferent* (*parasympathisch,* s. **Dg**): Parasympathische präganglionäre Efferenzen aus dem Nucleus dorsalis n. vagi schalten in prävertebralen oder in intramuralen Ganglien auf postganglionäre Fasern um und versorgen glatte Muskulatur und Drüsen von:
  - Brusteingeweiden und
  - Baucheingeweiden bis zur linken Kolonflexur (Cannon-Böhm-Punkt);
- *somatoafferent:* Im Nucleus spinalis n. trigemini enden zentrale Fortsätze von pseudounipolaren Ganglienzellen, die im *Ganglion superius* (jugulare) des N. vagus lokalisiert sind. Die peripheren Fasern stammen von:
  - der Hirnhaut in der hinteren Schädelgrube (R. meningeus, s. **Df**),
  - einem kleinen Hautareal hinter dem Ohr (s. **Db**) sowie dem äußeren Gehörgang (R. auricularis, s. **Dc**). Der R. auricularis ist der einzige Hautast des N. vagus;
- *speziell viszeroafferent:* Im Nucleus tractus solitarii, Pars superior, enden zentrale Fortsätze von pseudounipolaren Ganglienzellen aus dem Ganglion inferius, deren periphere Fortsätze die Geschmacksknospen auf der Epiglottis versorgen (s. **Dd**);
- *allgemein viszeroafferent:* Die Perikarya dieser Afferenzen liegen ebenfalls im Ganglion inferius; die zentralen Fasern enden in der Pars inferior des Nucleus tractus solitarii, die peripheren versorgen folgende Areale:
  - Schleimhaut des kaudalen Pharynx mit Übergang zum Oesophagus (s. **Da**)
  - Larynxschleimhaut oberhalb (N. laryngeus superior) und unterhalb (N. laryngeus recurrens) der Stimmritze (s. **Da**)
  - Druckrezeptoren im Aortenbogen (s. **De**)
  - Chemorezeptoren im Glomus aorticum (s. **De**)
  - Brust- und Baucheingeweide (s. **Dg**).

Entwicklungsgeschichtlich ist der N. vagus der Nerv des 4. und 5. Kiemenbogens.

Klinisch außerordentlich wichtig ist der *N. laryngeus recurrens,* der viszeromotorisch den einzigen Öffner der Stimmritze (M. cricoarytaenoideus posterior) versorgt: Aus seiner einseitigen Zerstörung resultiert Heiserkeit, aus der beidseitigen Atemnot.



a



b

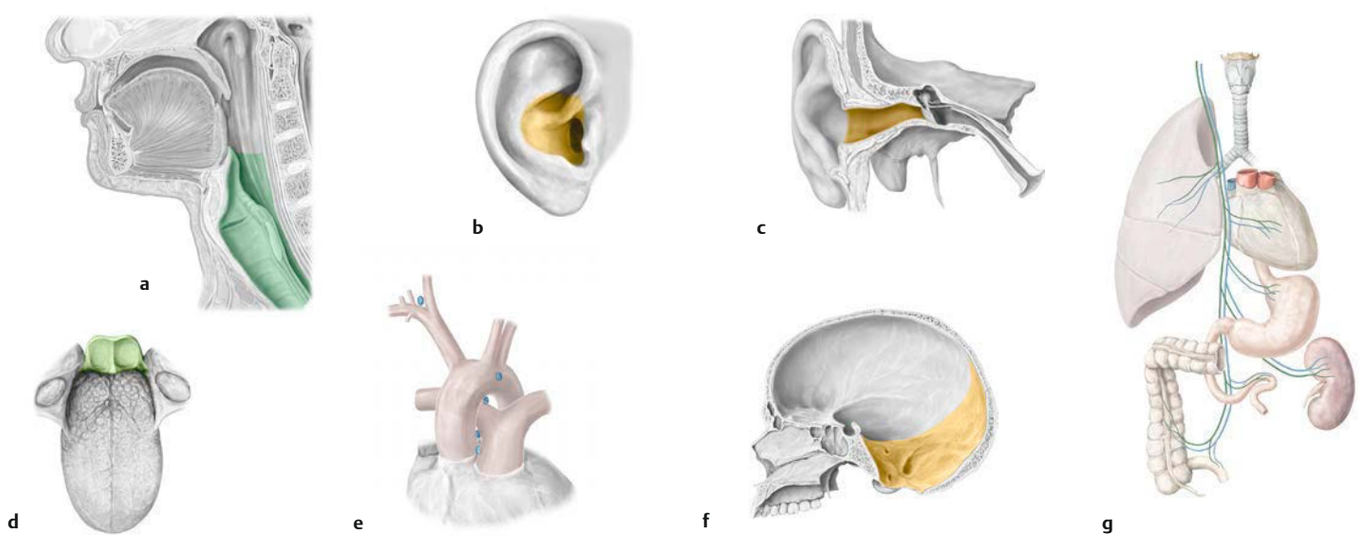
C Äste des N. vagus (X) im Halsbereich

a Der N. vagus gibt im Halsteil vier Äste ab: Rr. pharyngei, N. laryngeus superior, N. laryngeus recurrens sowie Rr. cardiaci cervicales.
Der N. laryngeus recurrens hat aufgrund seines Verlaufs klinisch besondere Bedeutung. Er kann geschädigt werden durch:

- ein Aortenaneurysma, da er sich rechts um die A. subclavia, links um den Aortenbogen schlingt;
- Lymphknotenmetastasen eines Bronchialkarzinoms, da er links sehr nahe am linken Hauptbronchus verläuft;
- Schilddrüsenoperationen, da er dorsolateral nahe an der Schilddrüse vorbeizieht.

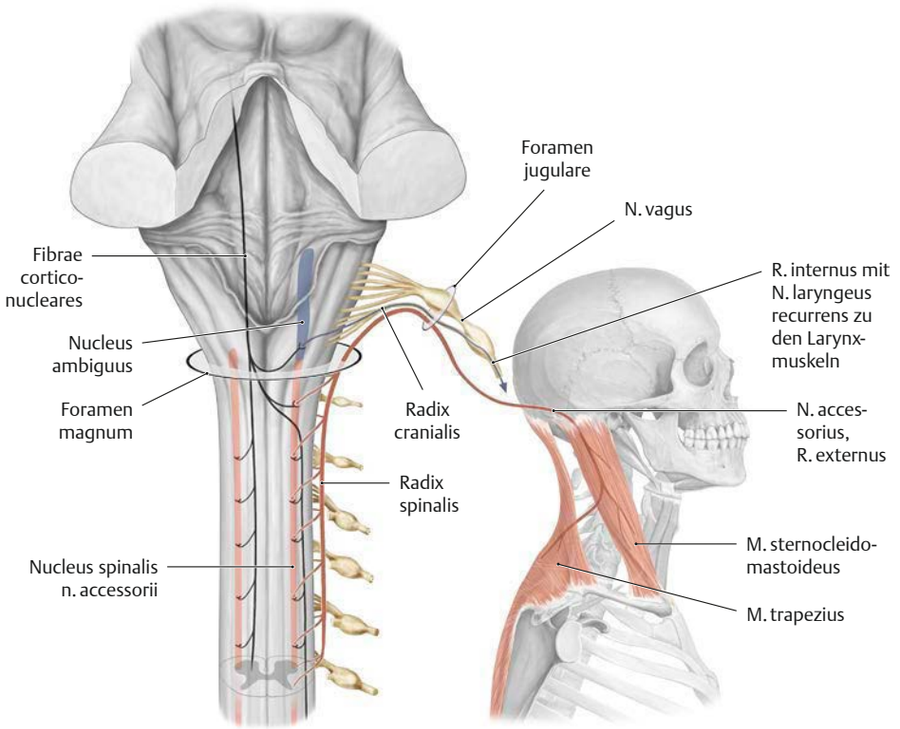
In jedem Fall führt eine auch nur einseitige Schädigung des N. laryngeus recurrens (Rekurrensparese) zu Heiserkeit, da er viszeromotorisch den einzigen Muskel versorgt, der die Stimmritze öffnet, den M. cricoarytaenoideus posterior. Wird der Nerv beidseitig geschädigt, führt dies zur Atemnot, da die Stimmritze nicht mehr geöffnet werden kann.

b Der N. laryngeus superior innerviert mit seinem R. externus ausschließlich den M. cricothyroideus, mit seinem R. internus ausschließlich die Schleimhaut oberhalb der Stimmritze.

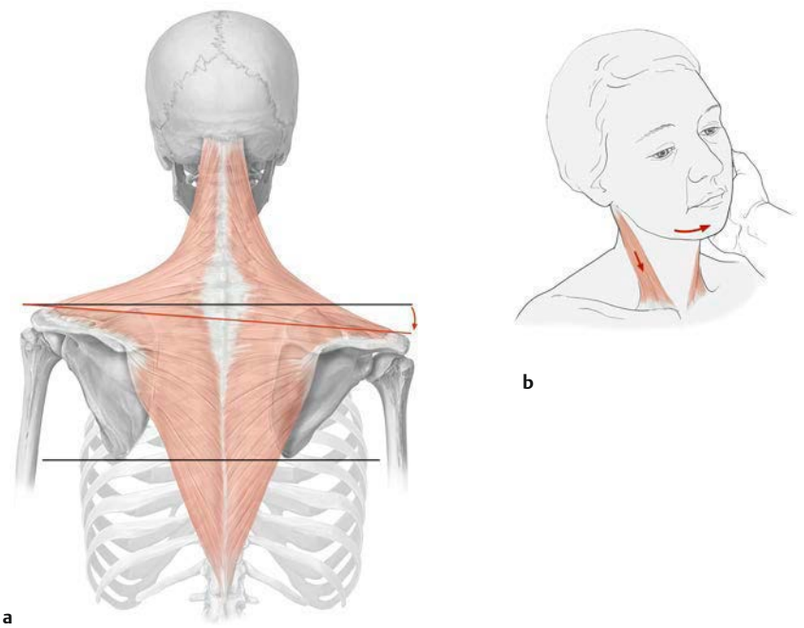


D Viszeromotorische und sensible Versorgungsgebiete des N. vagus (X)

4.21 Nervus accessorius (XI) und Nervus hypoglossus (XII)



A Kerngebiet und Verlauf des N. accessorius
Sicht auf den Hirnstamm von dorsal (Kleinhirn entfernt). Die Muskulatur ist aus didaktischen Gründen von rechts dargestellt, näheres s. **C**.



B Läsion des N. accessorius (rechts)
a Lähmung oder Ausfall des M. trapezius, Ansicht von dorsal. Es resultiert ein Schultertiefstand auf der betroffenen rechten Seite.
b Lähmung oder Ausfall des M. sternocleidomastoideus, Ansicht von vorne-rechts. Der Patient kann den Kopf nur schwer gegen Widerstand zur Gegenseite drehen.

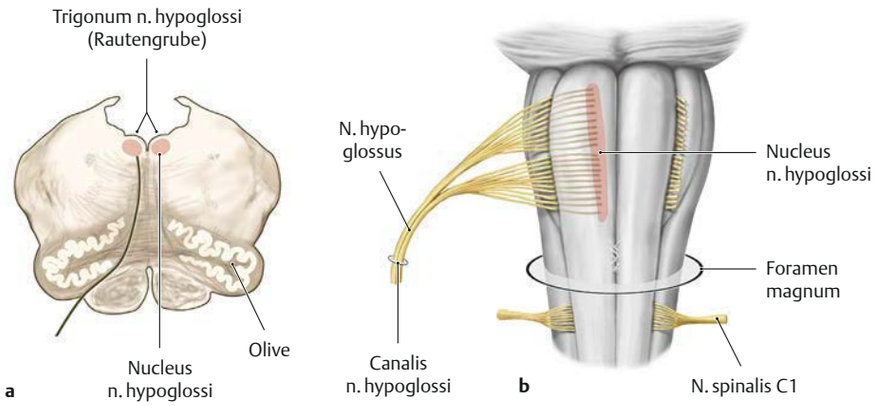
C N. accessorius (XI) im Überblick

Der N. accessorius ist ein verselbständigter *Teil des N. vagus* (X), der sowohl viszeroefferente als auch somatoefferente Fasern enthält und zwei Wurzeln hat (Radix cranialis und Radix spinalis).

Durchtrittsstellen: Die aus dem Rückenmark stammende Radix spinalis zieht nach kranial und gelangt durch das *Foramen magnum* ins Schädelinnere, wo sie sich der Radix cranialis aus der Medulla oblongata anlagert. Beide Wurzeln verlassen dann gemeinsam das Schädelinnere durch das *Foramen jugulare.* Bereits im Foramen jugulare ziehen die Fasern der Radix cranialis zum N. vagus (R. internus). Der spinale Anteil zieht als R. externus n. accessorii in den Nacken.

Kern- und Versorgungsgebiete:
- *Radix cranialis:* Die speziell viszeroefferenten Fasern des N. accessorius, die aus dem kaudalen Teil des *Nucleus ambiguus* stammen, bilden die Radix cranialis des N. accessorius, die als R. internus zum N. vagus („Dienstleister") ziehen, und verlaufen dann im N. laryngeus recurrens. Sie innervieren alle Kehlkopfmuskeln bis auf den M. cricothyroideus.
- *Radix spinalis:* Der *Nucleus spinalis n. accessorii* bildet eine schmale Zellsäule im Vorderhorn des Rückenmarks in Höhe von C2–5/6. Nach Austritt aus dem Rückenmark innervieren seine somatoefferenten Fasern als R. externus n. accessorii den M. trapezius und den M. sternocleidomastoideus.

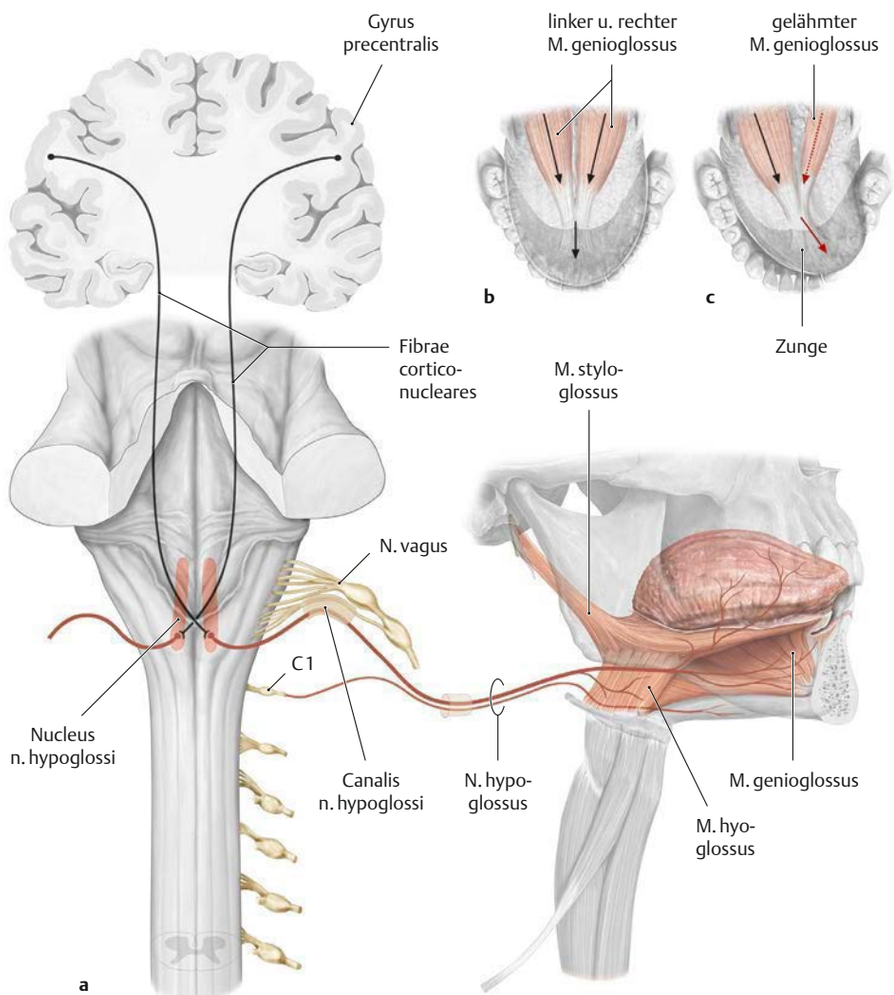
Folgen bei Schädigung des Nervs:
Aus einer einseitigen Läsion resultieren folgende Ausfallserscheinungen:
- *Ausfall des M. trapezius:* Schultertiefstand und Schwierigkeiten, den Arm über die Horizontale zu erheben (der M. trapezius unterstützt den M. serratus anterior bei der Elevation des Armes über 90°. Der Teil des N. accessorius, der den M. trapezius innerviert, ist bei Eingriffen am Hals (z. B. Lymphknotenbiopsien) gefährdet. Da der Muskel in seinen unteren Anteilen von den Segmenten C 2–4 mitinnerviert wird, ist der Ausfall des Muskels bei Schaden des N. accessorius nicht komplett.
- *M. sternocleidomastoideus:* Schiefhals; aus einer Schädigung des N. accessorius resultiert eine schlaffe Lähmung. Bei doppelseitiger Läsion ist Aufrechthaltung des Kopfes erschwert.



D Kerngebiet des N. hypoglossus

a Querschnitt durch die Medulla oblongata in Höhe der Olive mit Anschnitt des Hypoglossuskernes. Man erkennt, dass der Nucleus n. hypoglossi nahe unterhalb der Rautengrube liegt, deren Boden er zum Trigonum hypoglossi hervorwölbt. Aufgrund seiner paramedianen Lage sind – bei etwas ausgedehnteren Läsionen in seinem Kerngebiet – oft die Kerne beider Seiten mitbetroffen, so dass klinisch eine doppelseitige nukleäre Läsion vorliegt.

b Ansicht von ventral. Die in dieser Kernsäule liegenden Neurone entsprechen den α-Motoneuronen des Rückenmarks.



E N. hypoglossus (XII) im Überblick

Der N. hypoglossus ist ein rein somatoefferenter Nerv für die Zungenmuskulatur.

Kerngebiet und Durchtrittsstelle: Der am Boden der Rautengrube liegende *Nucleus* n. hypoglossi sendet seine somatoefferenten Fasern aus der Medulla oblongata. Sie verlassen das Schädelinnere durch den Canalis n. hypoglossi und ziehen lateral des N. vagus abwärts. Oberhalb des Zungenbeins zieht der N. hypoglossus in die Zungenwurzel; dort verteilen sich seine Fasern.

Versorgungsgebiet: Der N. hypoglossus versorgt alle in- und extrinsischen Muskeln der Zunge (Ausnahme: M. palatoglossus, N. IX). Man betrachtet ihn nicht als eigentlichen Hirnnerv, sondern als „nullte" Vorderwurzel. Die ventralen Fasern von C1 und C2 lagern sich dem N. hypoglossus als Leitstruktur an, verlassen ihn aber bald wieder. Sie bilden dann die Radix superior der Ansa cervicalis (profunda).

Folgen bei Schädigung des Nervs:

- zentrale Hypoglossuslähmung (supranukleär): Zunge weicht zur Gegenseite der Läsion ab, da zentrale Fasern kreuzen;
- nukleäre bzw. periphere Lähmung: Zunge weicht aufgrund des Überwiegens der Muskulatur der gesunden Seite zur kranken Seite ab.

F Innervationsgebiet des N. hypoglossus

a Zentraler und peripherer Verlauf;
b Funktion des M. genioglossus;
c Abweichung der Zunge zur gelähmten Seite.

Der Hypoglossuskern erhält seine hauptsächlichen, supranukleären (= zentralen) Afferenzen über die Fibrae corticonucleares der Gegenseite. Bei einer einseitigen *nukleären* bzw. *peripheren* Läsion des N. hypoglossus weicht die Zunge beim Herausstrecken aufgrund des Überwiegens des gesunden M. genioglossus zur Seite der Läsion hin ab (**c**). Sind beide Nuclei geschädigt, liegt die Zunge schlaff in der Mundhöhle.

4.22 Synopsis der Durchtrittsstellen für Leitungsbahnen an der Schädelbasis

Öffnungen zwischen Basis cranii interna und anderen Räumen:

Fossa cranii anterior

Foramen ethmoidale anterius
- N., A. u. V. ethmoidalis anterior

→ *Orbita*

Lamina cribrosa
- Fila olfactoria (I)
- N., A. u. V. ethmoidalis anterior

→ *Cavitas nasi*

Fossa cranii media

Canalis opticus
- N. opticus (II)
- A. ophthalmica

→ *Orbita*

Fissura orbitalis superior
- ① V. ophthalmica superior
- ② N. ophthalmicus (V_1)
  - 2a N. lacrimalis
  - 2b N. frontalis
  - 2c N. nasociliaris
- ③ N. abducens (VI)
- ④ N. oculomotorius (III)
- ⑤ N. trochlearis (IV)

→ *Orbita*

Hiatus canalis n. petrosi minoris
- N. petrosus minor (parasymp., aus IX)
- A. tympanica superior

→ *Cavitas tympani*

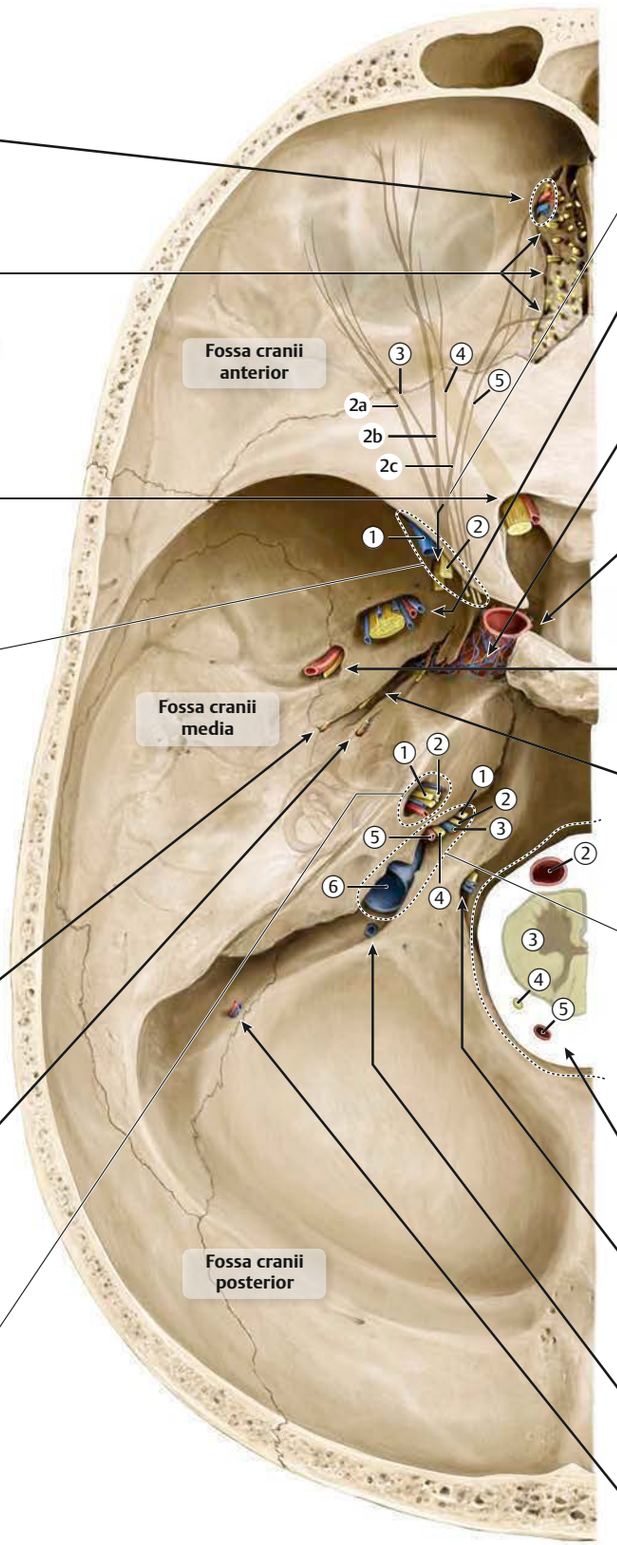
Hiatus canalis n. petrosi majoris
- N. petrosus major (parasymp., aus VII)
- A. u. V. stylomastoidea

→ *Canalis nervi facialis*

Fossa cranii posterior

Porus u. Meatus acusticus internus
- A. u. Vv. labyrinthi
- ① N. facialis (mit N. intermedius) (VII)
- ② N. vestibulocochlearis (VIII)

→ *Canalis nervi facialis, Auris interna*



Öffnungen zwischen Basis cranii interna und externa:

Fossa cranii media

Foramen rotundum
- N. maxillaris (V_2)

Foramen ovale
- N. mandibularis (V_3)
- A. pterygomeningea
- Plexus venosus foraminis ovalis

Canalis caroticus
- A. carotis interna
- Plexus caroticus internus (symp.)
- Plexus venosus caroticus internus

Foramen lacerum

(durch A. carotis interna verdeckt)
- N. petrosus profundus (symp.)
- N. petrosus major (parasymp., aus VII)

Foramen spinosum
- A. meningea media
- R. meningeus n. mandibularis (V_3)

Fissura sphenopetrosa
- N. petrosus minor (parasymp., aus IX)

Fossa cranii posterior

Foramen jugulare
- ① N. glossopharyngeus (IX)
- ② N. vagus (X)
- ③ Sinus petrosus inferior
- ④ N. accessorius (XI)
- ⑤ A. meningea posterior
- ⑥ V. jugularis interna

Foramen magnum

s. rechte Seite

Canalis nervi hypoglossi
- N. hypoglossus (XII)
- Plexus venosus canalis n. hypoglossi

Canalis condylaris
- V. emissaria condylaris (inkonstant)

Foramen mastoideum
- V. emissaria mastoidea
- R. mastoideus der A. occipitalis

Öffnungen zwischen Basis cranii externa und interna:

Foramen rotundum

(hier nicht sichtbar, da in Fossa pterygopalatina gelegen)

- N. maxillaris (V_2)

Foramen ovale

- N. mandibularis (V_3)
- A. pterygomeningea
- Plexus venosus foraminis ovalis

Foramen spinosum

- A. meningea media
- R. meningeus n. mandibularis (V_3)

Fissura sphenopetrosa

- N. petrosus minor (parasymp., aus IX)

Foramen lacerum

- N. petrosus profundus (symp.)
- N. petrosus major (parasymp., aus VII)

Canalis caroticus

- A. carotis interna
- Plexus caroticus internus (symp.)
- Plexus venosus caroticus internus

Canalis nervi hypoglossi

- N. hypoglossus (XII)
- Plexus venosus canalis n. hypoglossi

Foramen magnum

① A. spinalis anterior
② Aa. vertebrales
③ Medulla spinalis
④ Radix spinalis n. accessorii (XI)
⑤ Aa. spinalis posteriores
⑥ V. spinalis

Canalis condylaris

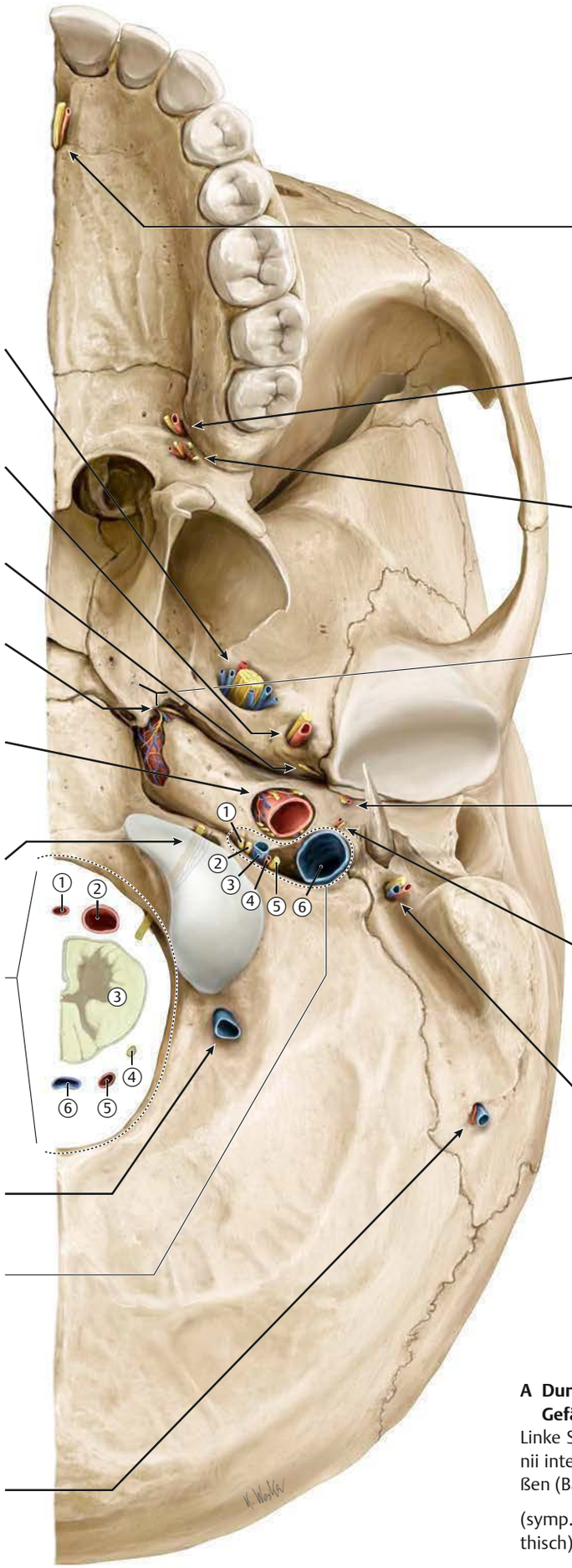
- V. emissaria condylaris (inkonstant)

Foramen jugulare

① N. glossopharyngeus (IX)
② N. vagus (X)
③ Sinus petrosus inferior
④ A. meningea posterior
⑤ N. accessorius (XI)
⑥ V. jugularis interna

Foramen mastoideum

- V. emissaria mastoidea
- R. mastoideus der A. occipitalis



Öffnungen zwischen Basis cranii externa und anderen Räumen:

Fossa incisiva mit Foramina incisiva

- N. nasopalatinus (aus V_2)
- A. nasopalatina

→ *Cavitas nasi*

Foramen palatinum majus

- N. palatinus major
- A. palatina major

→ *Fossa pterygopalatina*

Foramina palatina minora

- Nn. palatini minores
- Aa. palatinae minores

→ *Fossa pterygopalatina*

Canalis pterygoideus

- N. petrosus major (parasymp., aus VII)
- N. petrosus profundus (symp.)
- A. u. V. canalis pterygoidei

→ *Fossa pterygopalatina*

Fissura petrotympanica

- A. tympanica anterior
- Chorda tympani (parasymp. u. Geschmack, aus VII)

→ *Cavitas tympani*

Canaliculus tympanicus

- N. tympanicus (parasympathisch u. sensibel, aus IX)
- A. tympanica inferior

→ *Cavitas tympani*

Foramen stylomastoideum

- N. facialis (VII)
- A. u. V. stylomastoidea

→ *Canalis nervi facialis*

A Durchtrittsstellen von Nerven und Gefäßen durch die Schädelbasis

Linke Seite: Schädelbasis von innen (Basis cranii interna); rechte Seite: Schädelbasis von außen (Basis cranii externa).

(symp. = sympathisch, parasymp. = parasympathisch)

4.23 Übersicht über das Nervensystem am Hals und Versorgung durch Spinalnervenäste

A Übersicht über das Nervensystem am Hals

Am Hals treten folgende Strukturen des peripheren Nervensystems auf: Spinalnerven, Hirnnerven und Nerven des autonomen Nervensystems. Diese Tabelle fasst die wichtigsten Strukturen in der Reihenfolge der nächsten Lerneinheiten zusammen.

Die den Hals versorgenden **Spinalnerven** (Nn. spinales) entstammen den zervikalen Rückenmarkssegmenten C1–4. Man unterscheidet dorsale und ventrale Rami:

- Die dorsalen Rami der Spinalnerven aus den Rückenmarkssegmenten C1–3 (N. suboccipitalis, N. occipitalis major und tertius) innervieren motorisch die autochthonen Nackenmuskeln sowie sensibel die Dermatome C2 und 3 an Nacken und Hinterhaupt (s. **B**).
- Die ventralen Rami der Spinalnerven aus den Rückenmarkssegmenten C1–4 innervieren motorisch die tiefen Halsmuskeln (kurze, direkte Äste aus den ventralen Rami) und schließen sich am Hals zum Plexus cervicalis zusammen (s. **C**), der Haut und Muskulatur des vorderen und seitlichen Halses (alles außer Nacken) innerviert.

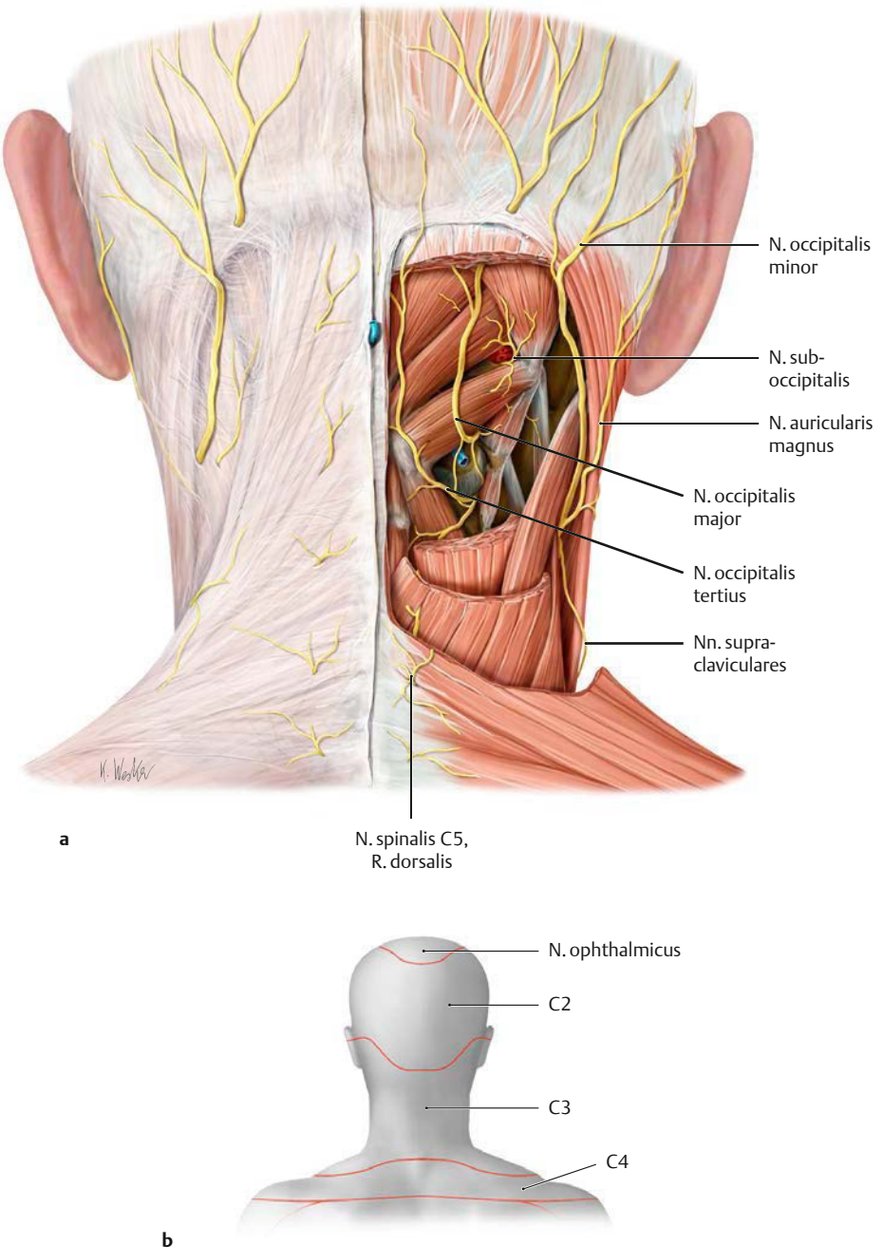
Die folgenden, im Hals vorkommenden **Hirnnerven** entstammen dem Hirnstamm:

- N. glossopharyngeus (IX),
- N. vagus (X),
- N. accessorius (XI),
- N. hypoglossus (XII).

Sie innervieren motorisch und sensibel Pharynx und Larynx (IX, X), motorisch den M. trapezius und den M. sternocleidomastoideus (XI) und die Zungenmuskulatur (XII) sowie den Mundboden.

Der **sympathische Grenzstrang** (Truncus sympathicus) ist Teil des autonomen Nervensystems und verläuft mit seinen drei Ganglien dicht neben der Halswirbelsäule. Die postganglionären Fasern ziehen mit den Karotiden zu ihren Versorgungsgebieten im Kopf-Hals-Bereich.

Der **Parasympathikus** als weiterer Teil des autonomen Nervensystems wird am Hals durch den N. vagus, der gleichzeitig ein Hirnnerv ist, repräsentiert.



B Motorische und sensible Innervation der Nackenregion

Ansicht von dorsal; **a** Spinalnervenäste im Nacken; **b** segmentale Versorgungsareale.

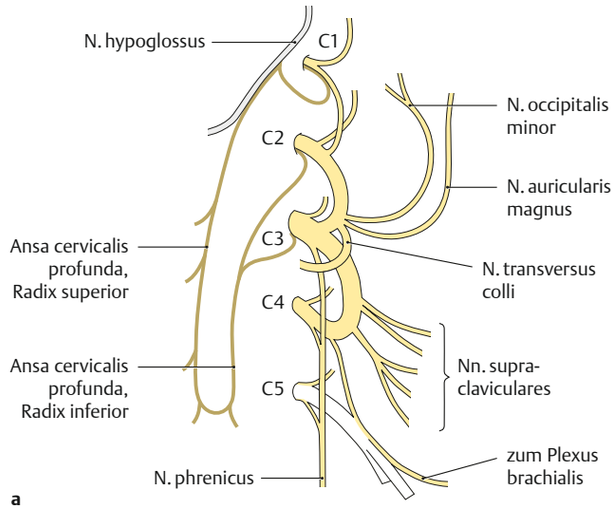
Die Nackenregion wird motorisch und sensibel zum größten Teil von *dorsalen* Ästen der Spinalnerven aus den Rückenmarkssegmenten C1–3 versorgt:

- N. suboccipitalis (C1),
- N. occipitalis major (C2) und
- N. occipitalis tertius (C3).

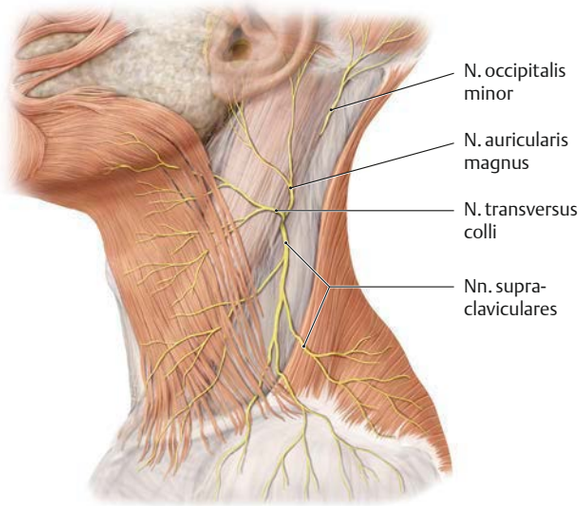
Beachte ihren epifaszialen Verlauf links (**a**). Von lateral strahlen Nerven, die von *ventralen* Ästen der Spinalnerven aus dem Plexus cervicalis stammen, in den Nackenbereich ein:

- N. occipitalis minor und
- N. auricularis magnus.

Beachte: Der dorsale Ast des 1. Spinalnervs (N. suboccipitalis) ist rein motorisch (s. **a**), deshalb existiert kein C1-Dermatom.



a



b

C Motorische und sensible Innervation des vorderen und seitlichen Halses

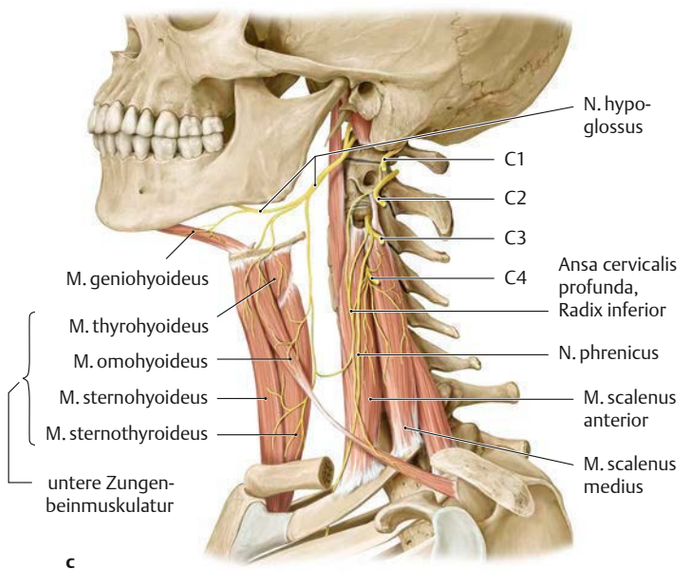
Der vordere und seitliche Hals wird im Gegensatz zu Nacken und Hinterhaupt ausschließlich von *ventralen* Ästen der zervikalen Spinalnerven C1–4 versorgt. Diese Äste senden einerseits kurze Rami zu den tiefen Halsmuskeln (s. **c**), andererseits entsenden sie Rami, die ein Nervengeflecht bilden, den Plexus cervicalis. Er besteht aus einer Pars sensoria und einer Pars motorica zur Versorgung von Haut und Muskeln des Halses.

a Verzweigungsschema des Plexus cervicalis (Ansicht von links): Die motorischen Fasern aus C1–3 bilden die Ansa cervicalis profunda*. Sie innervieren die untere Zungenbeinmuskulatur (s. **c**). Die Fasern aus C1 lagern sich ohne Faseraustausch vorrübergehend an den N. hypoglossus an, bevor sie wieder separat als *Radix superior* der Ansa cervicalis profunda weiterziehen, um die Mm. omohyoideus, sternothyroideus und sternohyoideus zu innervieren. Lediglich die Fasern für den M. thyrohyoideus und den M. geniohyoideus verlaufen auch weiterhin mit dem N. hypoglossus. Ein weiterer Teil der Fasern von C2 bildet zusammen mit den Fasern aus C3 die *Radix inferior* der Ansa cervicalis profunda. Die Hauptmasse der Fasern von C4 zieht im N. phrenicus abwärts zum Zwerchfell (s. **D**).

b Sensible Versorgung des vorderen und seitlichen Halses (Ansicht von links). Am *Punctum nervosum* (sog. Erb-Punkt, etwa in der Mitte des Hinterrandes des M. sternocleidomastoideus) verzweigen sich folgende Nerven des Plexus cervicalis zur sensiblen Versorgung des vorderen und seitlichen Halses (*Pars sensoria* des Plexus cervicalis):

- N. occipitalis minor,
- N. auricularis magnus mit R. anterior und R. posterior
- N. transversus colli und
- Nn. supraclaviculares.

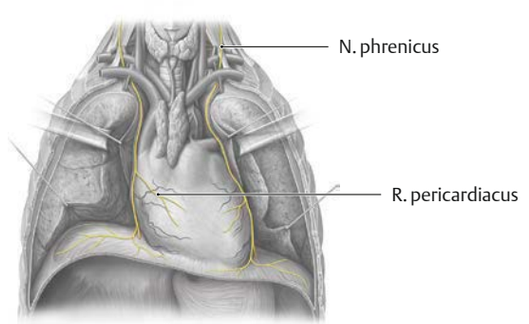
c Motorische Versorgung des vorderen und seitlichen Halses. Der größte Teil der Muskulatur im Bereich des vorderen und seitlichen



c

Halses wird von den ventralen Ästen der Spinalnerven versorgt. Ihre motorischen Fasern ziehen entweder direkt als kurze Fasern aus den Rr. ventrales zu den tiefen Halsmuskeln oder sie bilden die *Radix motorica* (Pars motorica) des Plexus cervicalis.

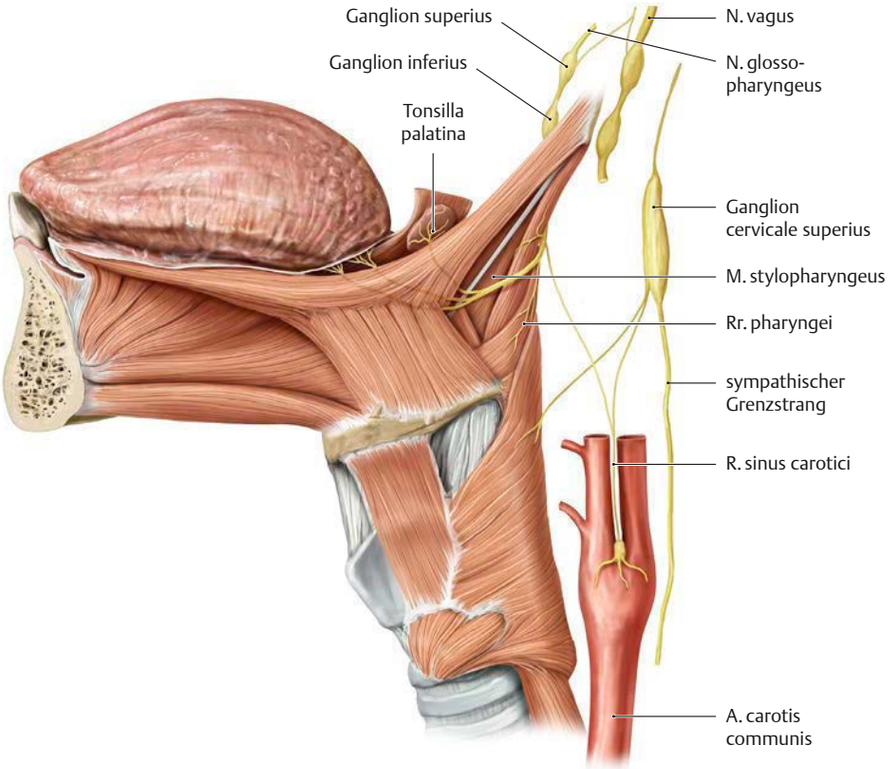
* Die Ansa cervicalis profunda ist die hier dargestellte Nervenschlinge des Plexus cervicalis. Vgl. die Ansa cervicalis superficialis, die eine Anastomose zwischen dem N. transversus colli und dem R. colli n. facialis darstellt (s. S. 241).



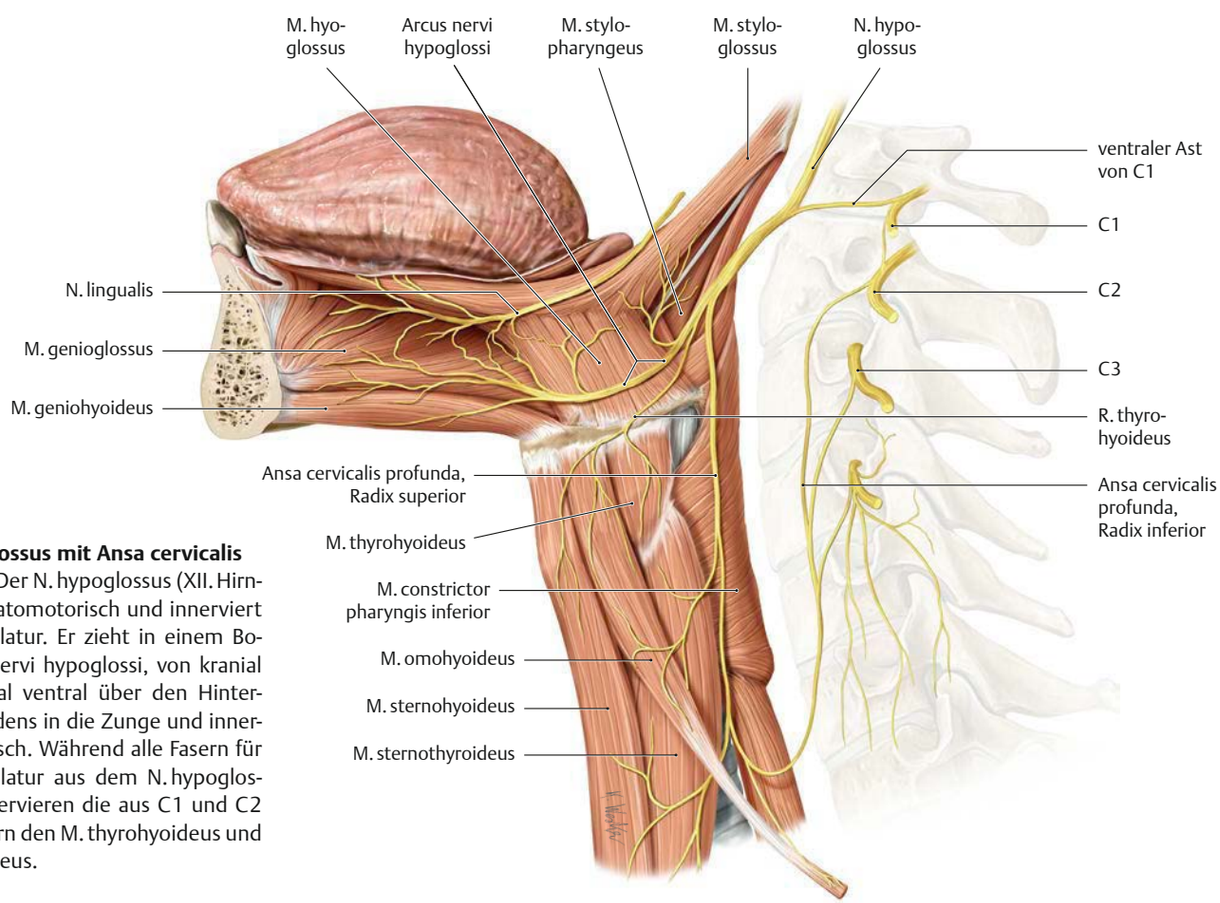
D Nervus phrenicus

Ansicht von ventral. Der N. phrenicus stammt hauptsächlich aus dem Segment C4 und versorgt motorisch das Zwerchfell, das einen aus dem Hals ausgewanderten Muskel darstellt, der seine Innervation mitgenommen hat. Der N. phrenicus zieht von seinen ventralen spinalen Wurzeln („C3, 4 and 5 keep the diaphragm alive“) auf dem M. scalenus anterior nach kaudal durch die obere Thoraxapertur zum Zwerchfell. Wenn bei einem Unfall das Rückenmarksegment C4 (Hauptwurzel des N. phrenicus) beiderseits geschädigt wird, erstickt der Patient meist am Unfallort, da der Hauptmuskel der Atmung ausfällt.

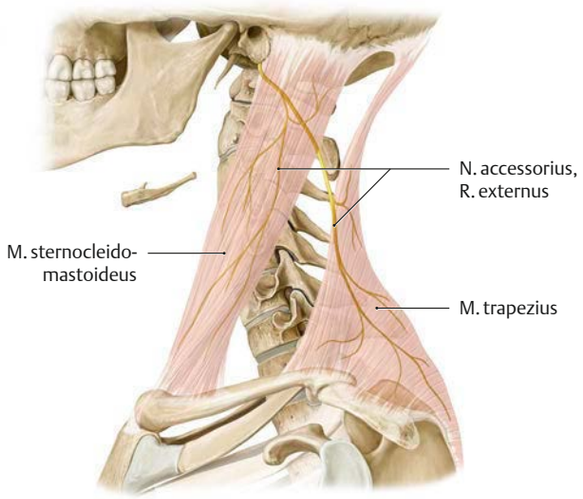
4.24 Hirnnerven und vegetatives Nervensystem am Hals



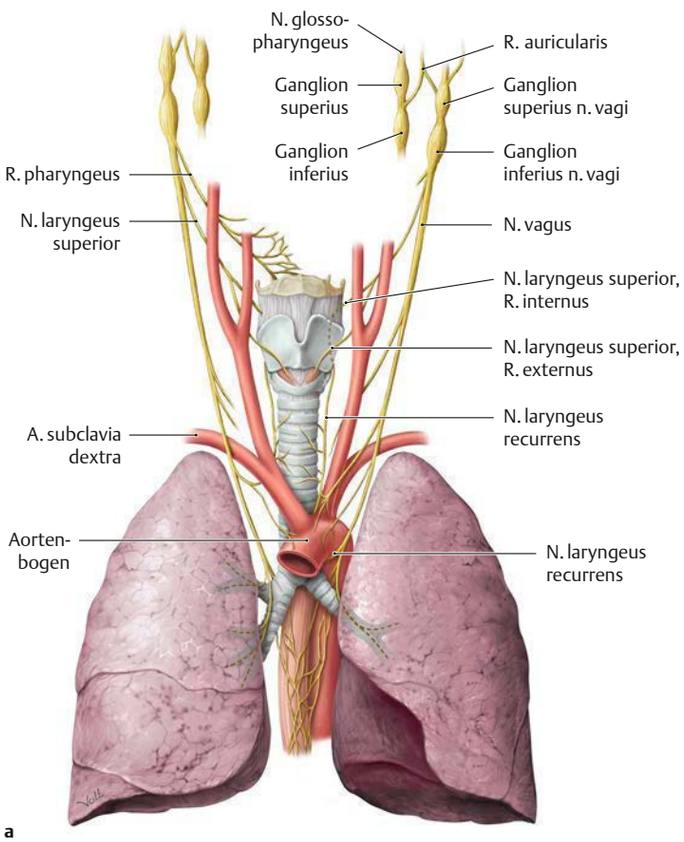
A Nervus glossopharyngeus
Ansicht von links. Der N. glossopharyngeus (IX. Hirnnerv) enthält die motorischen Fasern für die Schlundschnürer und den M. stylopharyngeus sowie sensible Fasern für Rachenschleimhaut, Tonsillen und das hintere Zungendrittel inklusive der Geschmacksfasern. Er bildet Anastomosen mit dem sympathischen Grenzstrang und mit dem N. vagus zur Sicherstellung der autonomen Versorgung seines Innervationsgebietes. Vom Ganglion inferius zieht der R. sinus carotici zur Teilungsstelle der A. carotis communis. Impulse von Chemo- und Mechanorezeptoren im Glomus caroticum werden zur Medulla oblongata und zum dorsalen Vaguskern geleitet (Regulation von Blutdruck und Herzschlagfrequenz).



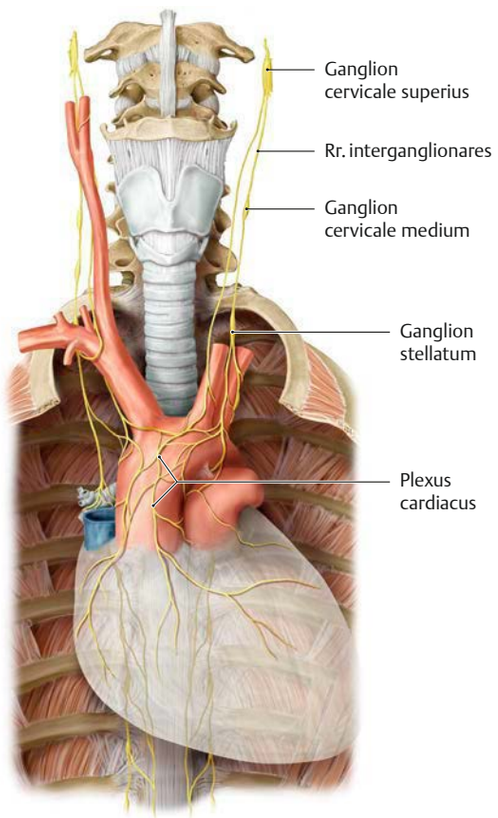
B Nervus hypoglossus mit Ansa cervicalis
Ansicht von links. Der N. hypoglossus (XII. Hirnnerv) ist rein somatomotorisch und innerviert die Zungenmuskulatur. Er zieht in einem Bogen, dem Arcus nervi hypoglossi, von kranial dorsal nach kaudal ventral über den Hinterrand des Mundbodens in die Zunge und innerviert diese motorisch. Während alle Fasern für die Zungenmuskulatur aus dem N. hypoglossus stammen, innervieren die aus C1 und C2 angelagerten Fasern den M. thyrohyoideus und den M. geniohyoideus.



C Nervus accessorius am Hals
Ansicht von links. Der N. accessorius (XI. Hirnnerv) ist rein motorisch. Er zieht von dorsal in den M. sternocleidomastoideus, andere Fasern ziehen zum M. trapezius weiter. Bei tiefen (präskalenischen) Lymphknotenbiopsien kann der N. accessorius am Hals geschädigt werden. Die Folge sind entweder abstehende Schulterblätter (Scapula alata) und die Unfähigkeit, den Arm über 90° zu elevieren (wenn die Fasern zum M. trapezius betroffen sind) oder eine Kopfschiefhaltung (wenn die Fasern zum M. sternocleidomastoideus betroffen sind).



a



b

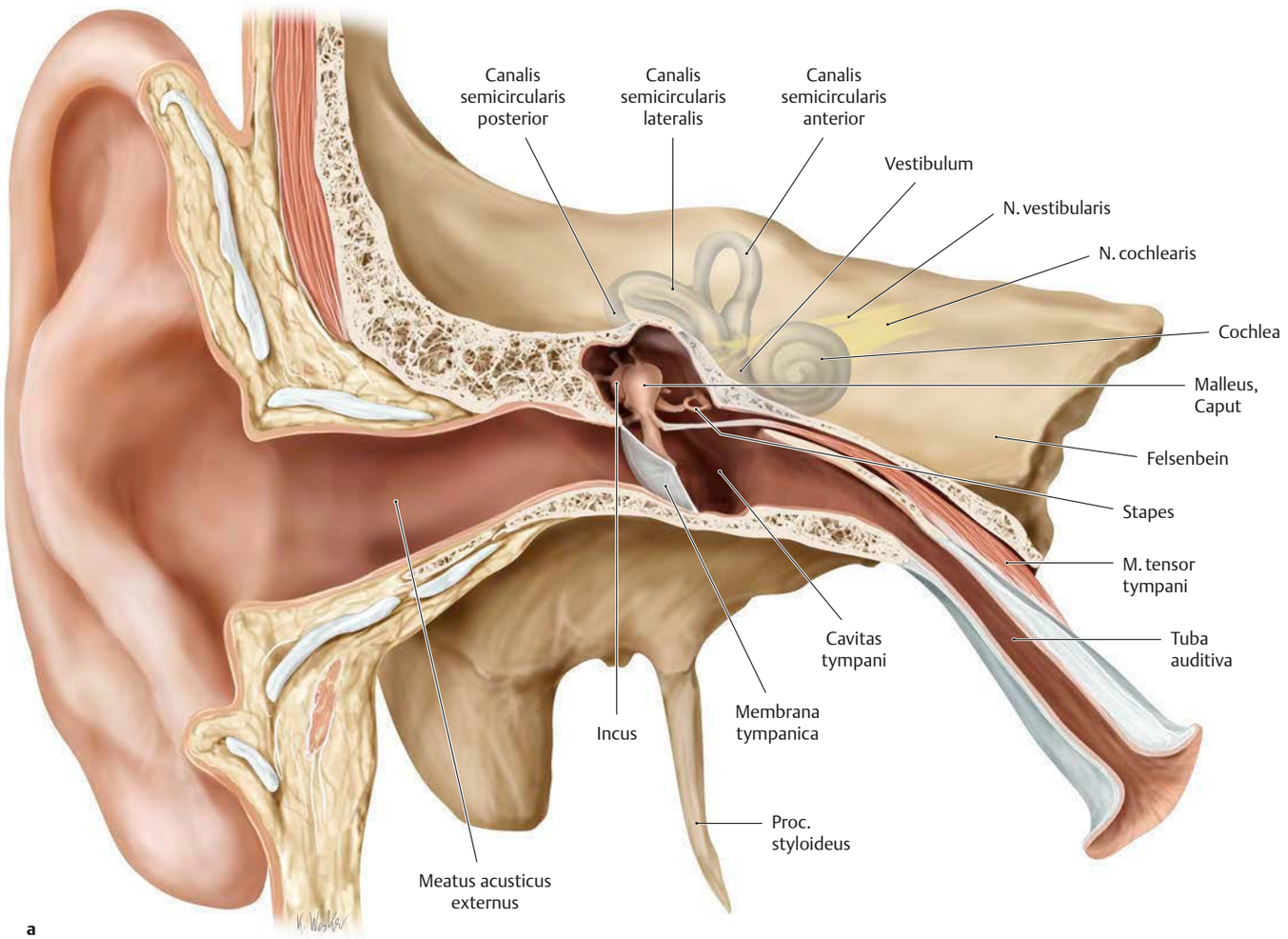
D Nervus vagus am Hals und Halsgrenzstrang

a Ansicht von ventral. Der N. vagus (X. Hirnnerv) enthält die Fasern des kranialen Abschnitts des Parasympathikus (Teil des autonomen Nervensystems) für Hals, Thorax und Teile des Bauchraumes. Er zieht durch die Vagina carotica des Halses hindurch (zur Topografie s. S. 242). Zur Versorgung des Kopf- und Halsbereiches werden nur wenige Äste abgegeben:

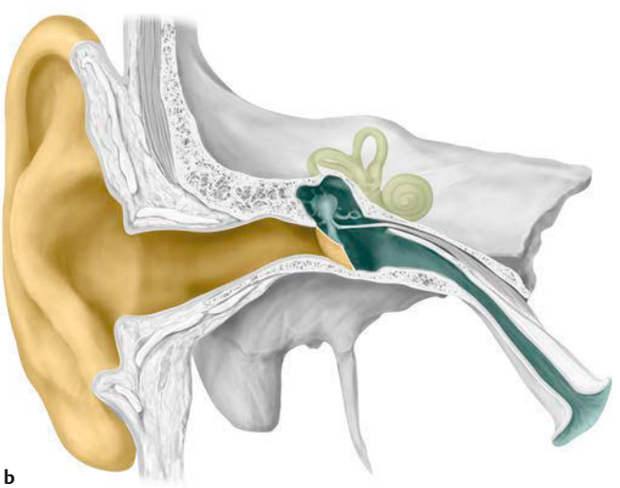
- R. auricularis, ein somatoafferenter Ast, der die Hinterfläche des Ohres und den äußeren Gehörgang versorgt;
- R. pharyngeus, speziell viszeroefferente (branchiogene) Fasern zur Versorgung der Muskulatur des Pharynx und des weichen Gaumens;
- N. laryngeus superior, ein gemischter sensibler und speziell viszeroefferenter (branchiogener) Nerv zur Innervation der Kehlkopfmuskulatur (M. cricothyroideus) und der sie umgebenden Schleimhaut;
- N. laryngeus recurrens, der die quergestreiften Kehlkopfmuskeln und die sie umgebende Schleimhaut versorgt (s. S. 218). Der N. laryngeus recurrens zieht rechts um die A. subclavia, links um den Aortenbogen.

b Ansicht von ventral. Der Halsgrenzstrang ist Teil des Sympathikus und endet etwa 2 cm unterhalb der Schädelbasis. Er besteht aus einer Kette sympathischer Ganglien, deren postganglionäre Axone für den Kopfbereich bestimmt sind. Diese Axone bilden die Rr. interganglionares, die dann größtenteils in einem Geflecht um die A. carotis externa enden. Nur wenige Axone enden in einem Geflecht um die A. carotis interna, mit der sie weiter zum Kopf ziehen. Das unterste Halsganglion kann mit dem 1. Thorakalganglion zum Ganglion cervicothoracicum (stellatum) verschmelzen.

5.1 Ohr (Auris): Übersicht und Blutversorgung des äußeren Ohrs (Auris externa)



a

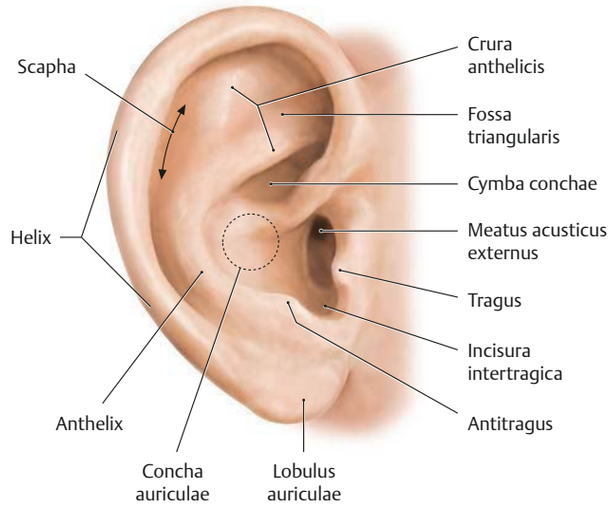


b

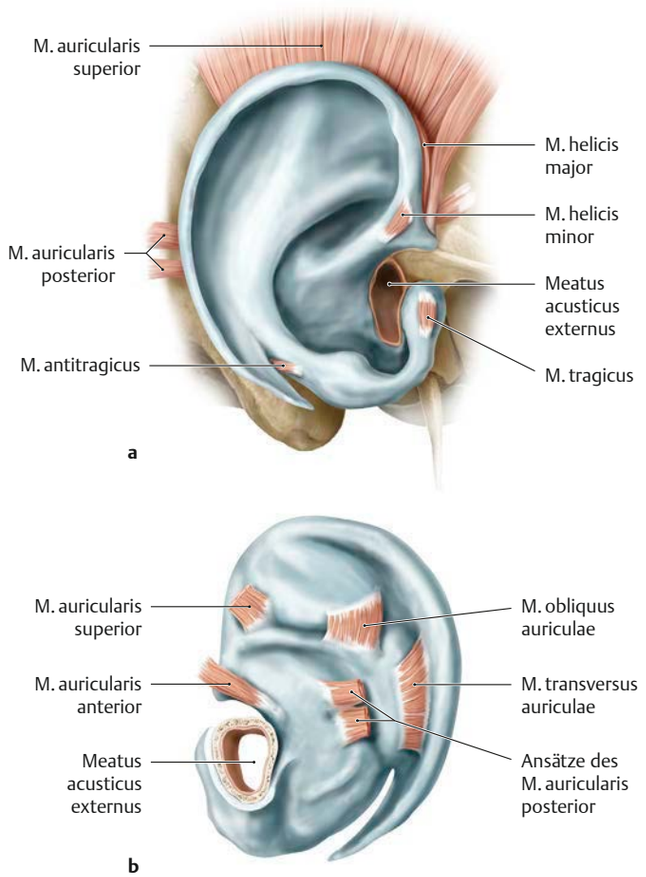
A Hör- und Gleichgewichtsorgan in situ
a Frontalschnitt durch das rechte Ohr, Ansicht von ventral; **b** unterschiedliche Abschnitte des Hörorgans: äußeres Ohr (gelb), Mittelohr (türkis) und Innenohr (grün).

In der Tiefe des Felsenbeinknochens liegen Hör- und Gleichgewichtsorgan. Beim **Hörorgan** unterscheidet man äußeres Ohr, Mittelohr und Innenohr (s. **b**). Die Schallwellen werden zunächst vom *äußeren Ohr* eingefangen (Ohrmuschel = Auricula, s. **B**) und über den äußeren Gehörgang an das Trommelfell (Membrana tympanica) weitergeleitet, die Grenze zum *Mittelohr.* Das Trommelfell wird durch die Schallwellen in mechanische Schwingungen versetzt, die es über die Gehörknöchelchenkette im Mittelohr auf das ovale Fenster, die Grenze zum *Innenohr,* überträgt (s. S. 146). Die Schwingungen der Membran des ovalen Fensters versetzen eine Flüssigkeitssäule im Innenohr in Schwingungen, die dann ihrerseits Rezeptorzellen in Bewegung versetzt (s. S. 153). Die Umwandlung von Schallwellen in elektrische Impulse findet also erst im Innenohr, dem eigentlichen Hörorgan statt. Äußeres Ohr und Mittelohr werden daher auch im Gegensatz zum Innenohr als *Schallleitungsapparat* bezeichnet. Die Unterscheidung von äußerem Ohr, Mittel- und Innenohr ist wichtig, da die Ursache für eine Schwerhörigkeit in jedem dieser Bereiche liegen kann und jeweils unterschiedliche Therapien erfordert.

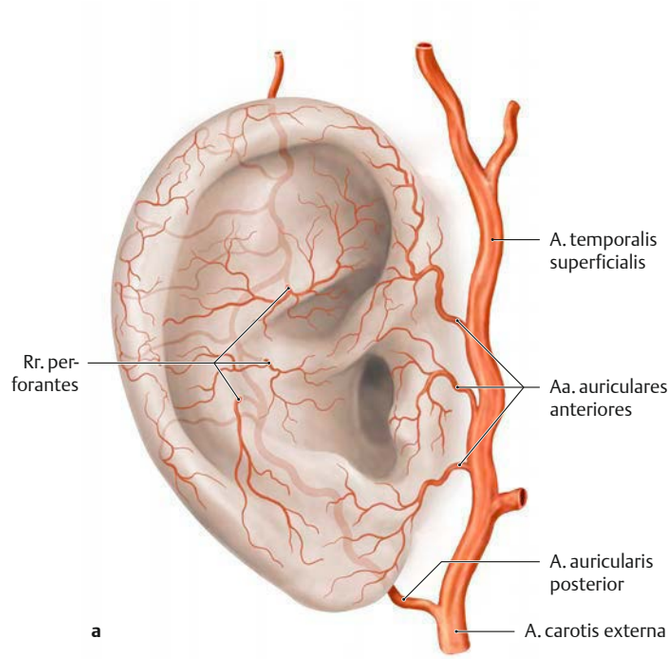
Beim **Gleichgewichtsorgan,** das im Innenohr liegt und im Anschluss daran besprochen wird, werden Bogengänge *(Canales semicirculares)* zur Wahrnehmung der Drehbeschleunigung sowie *Sacculus* und *Utriculus* zur Wahrnehmung der Linearbeschleunigung unterschieden. Erkrankungen des Gleichgewichtsorgans führen zu Schwindel.

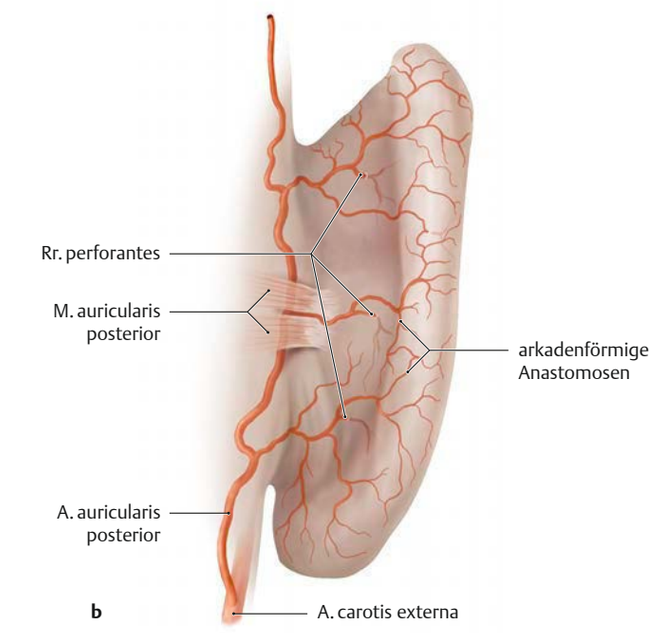


B Rechte Ohrmuschel
Die Ohrmuschel (Auricula) schließt eine Knorpelplatte (Cartilago auriculae) ein (s. **C**) und bildet auf diese Weise einen Schalltrichter.



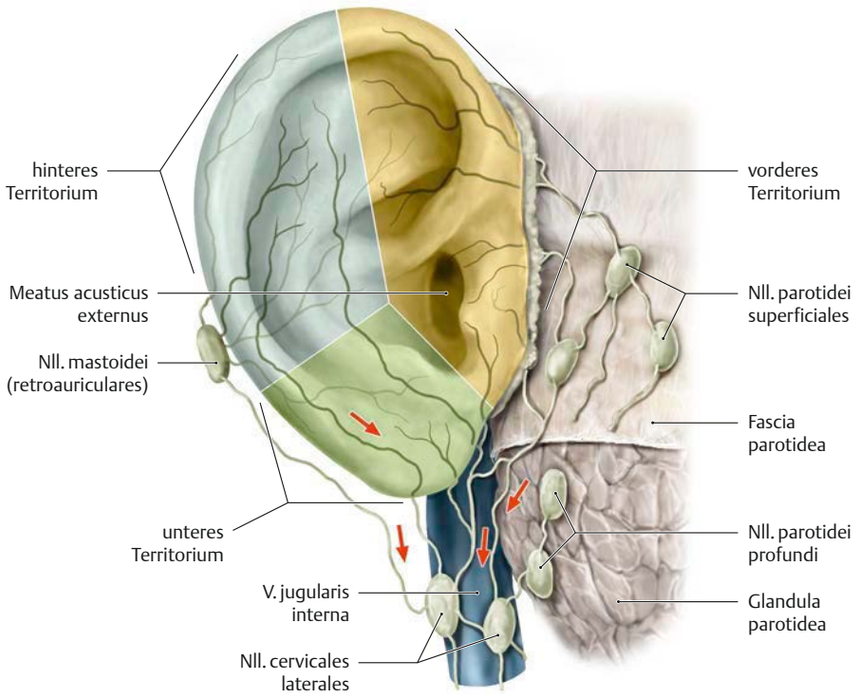
C Knorpel und Muskeln der Ohrmuschel
a Ansicht von lateral auf die Außenfläche; **b** Ansicht von medial auf die Hinterfläche des rechten Ohres.
Die Haut (hier entfernt!) liegt eng auf der aus elastischem Knorpel aufgebauten Cartilago auriculae auf (blaugrau dargestellt). Die Muskeln des Ohres gehören zur mimischen Muskulatur und werden wie diese vom N. facialis innerviert. Sie sind beim Menschen stark zurückgebildet und funktionslos.



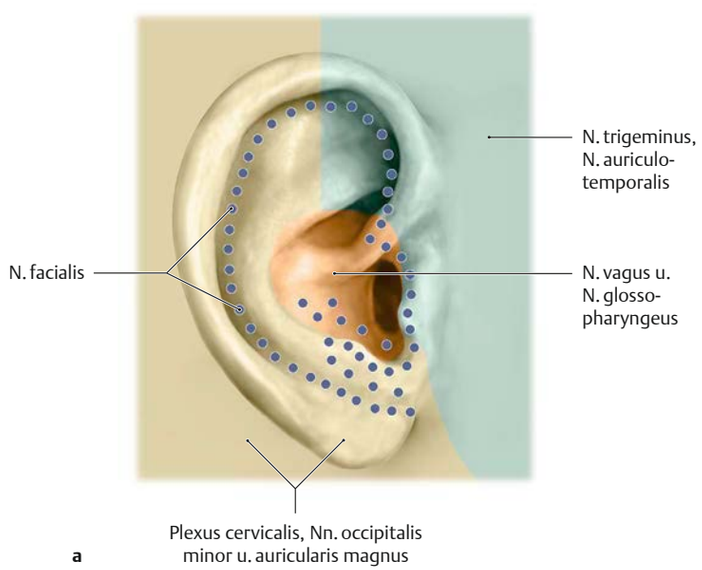


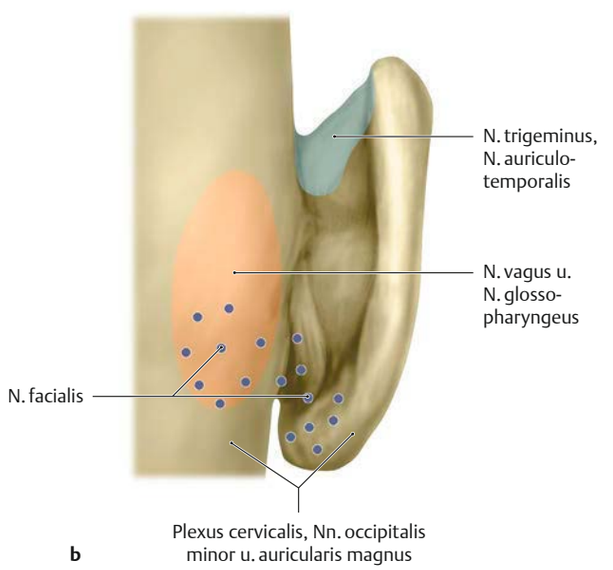
D Arterielle Versorgung der rechten Ohrmuschel
Ansicht von lateral (**a**) und von hinten (**b**).
Die proximalen und medialen Teile der lateral gelegenen Vorderfläche des Ohres werden von den Aa. auriculares anteriores versorgt, die aus der A. temporalis superficialis (s. S. 101) entspringen. Die restlichen Abschnitte des Ohres werden von Ästen der A. auricularis posterior, einem Ast der A. carotis externa, versorgt. Die Gefäße anastomosieren gut miteinander, so dass Operationen in Bezug auf eine Blutmangelversorgung relativ unproblematisch sind. Die gut durchblutete Ohrmuschel trägt zur Temperaturregulation bei: Aufgrund dieser guten Durchblutung kann bei Weitstellung der Gefäße Wärme über die Hautoberfläche abgeführt werden. Da ein isolierendes Fettgewebe fehlt, kann es insbesondere im oberen Muscheldrittel zu Erfrierungen kommen. Lymphabfluss und Innervation der Ohrmuschel werden in der nächsten Lerneinheit besprochen.

5.2 Äußeres Ohr: Ohrmuschel (Auricula), äußerer Gehörgang (Meatus acusticus externus) und Trommelfell (Membrana tympanica)



A Ohrmuschel und äußerer Gehörgang: Lymphabfluss und regionale Lymphknotenstationen
Rechtes Ohr, Ansicht von schräg-lateral. Die knorpelige Grundlage des Ohres und die Gefäßversorgung wurden in der vorigen Lerneinheit besprochen. Der Lymphabfluss der Ohrmuschel erfolgt über drei Territorien, die aber alle direkt oder indirekt in die seitlichen Halslymphknoten entlang der V. jugularis interna drainieren (Nll. cervicales laterales). Das untere Territorium drainiert direkt in die lateralen Halslymphknoten, das vordere zunächst in die parotidealen und das hintere zunächst in die mastoidalen Lymphknotenstationen.





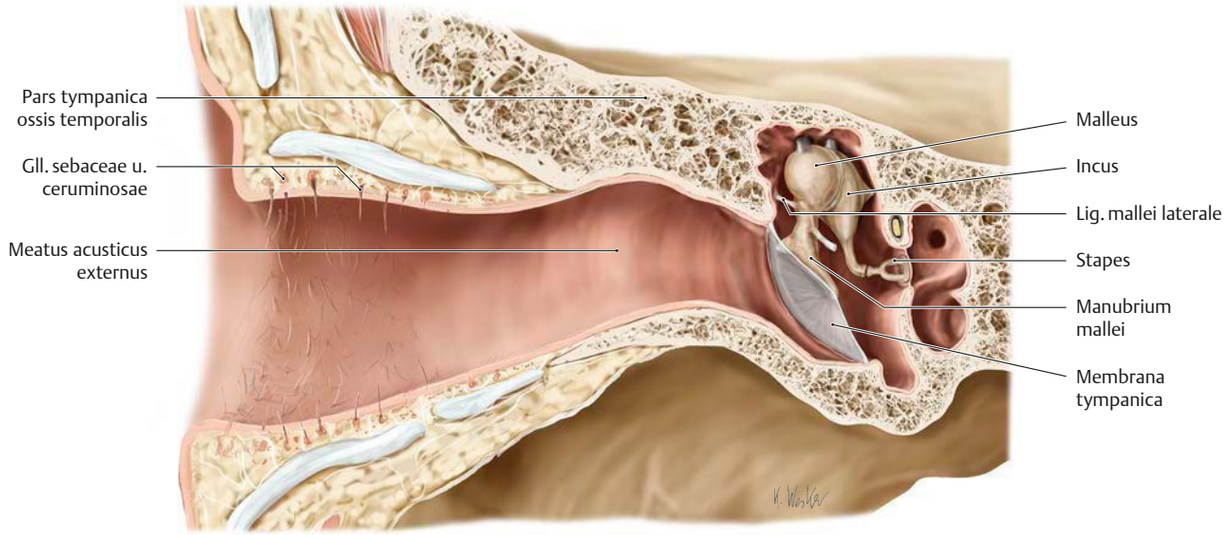
B Sensible Innervation der Ohrmuschel
Rechtes Ohr, Ansicht von lateral (**a**) und dorsal (**b**). Die Innervation der Ohrmuschelregion ist komplex, da sie an der entwicklungsgeschichtlichen Grenze zwischen Schlundbogennerven (Hirnnerven) und Ästen des Plexus cervicalis liegt. Von den **Hirnnerven** sind an der Innervation beteiligt:

- N. trigeminus (V),
- N. facialis (VII; welches Hautareal er sensibel versorgt, ist nicht abschließend geklärt),
- N. glossopharyngeus (IX) und N. vagus (X).

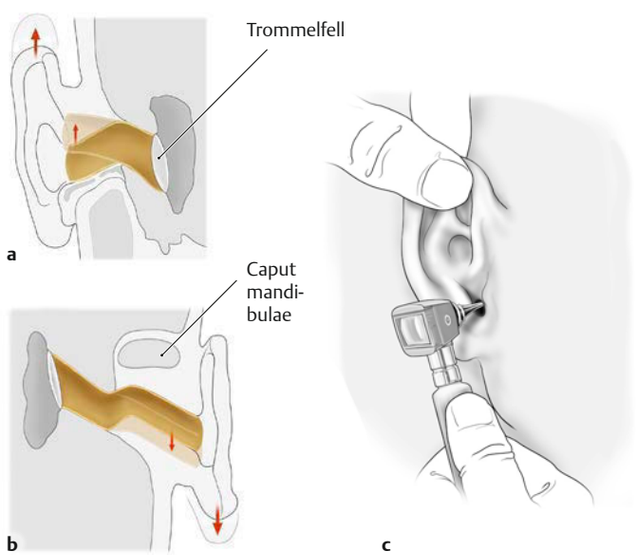
Von den **Ästen des Plexus cervicalis** sind beteiligt:

- N. occipitalis minor (C_2) und
- N. auricularis magnus (C_2, C_3).

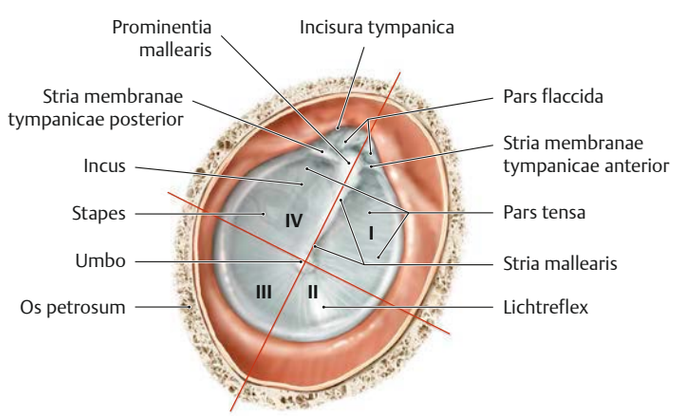
Beachte: Aufgrund der Beteiligung des N. vagus (R. auricularis, s. S. 132 u. S. 141) an der Innervation des äußeren Gehörgangs kann es bei dessen mechanischer Reinigung (entweder durch Einführen eines Ohrtrichters oder bei Spülungen des Gehörganges) zu Husten und Brechreiz kommen. Der R. auricularis n. vagi gelangt durch den Canaliculus mastoideus sowie über einen Spalt zwischen Proc. mastoideus und Pars tympanica (Fissura tympanomastoidea, s. S. 29) zum äußeren Ohr bzw. zum äußeren Gehörgang. Die sensiblen Fasern des N. glossopharyngeus verlaufen über den R. communicans cum nervo vagi zum äußeren Gehörgang.



C Äußerer Gehörgang, Trommelfell und Paukenhöhle
Rechtes Ohr, Frontalschnitt; Ansicht von ventral. Das Trommelfell (Membrana tympanica, s. **E**) bildet den Abschluss des äußeren Gehörgangs (Meatus acusticus externus) gegen die Paukenhöhle, die bereits zum Mittelohr gehört (s. S. 146). Der S-förmig gekrümmte äußere Gehörgang (s. **D**) ist etwa 3 cm lang und hat einen mittleren Durchmesser von 0,6 cm. Im Anfangsteil ist seine Wand durch elastischen Knorpel verstärkt, im inneren Teil wird die knöcherne Wand von der Pars tympanica ossis temporalis gebildet. Vor allem im knorpeligen Abschnitt des äußeren Gehörganges liegen unter dem verhornten mehrschichtigen Plattenepithel zahlreiche Talg- und Zeruminaldrüsen (Gll. sebaceae und ceruminosae). Die Zeruminaldrüsen produzieren ein dünnflüssiges Sekret, das zusammen mit dem Talg und abgestoßenen Epithelzellen das sog. „Ohrschmalz" (Cerumen) bildet. Es dient einerseits als Schutz (Eindringen von Fremdkörpern) und verhindert andererseits das Austrocknen des Epithels. Durch Aufquellen (Wasser im Gehörgang nach dem Schwimmen) kann es den Gehörgang verstopfen (Cerumen obturans). Die Folge ist eine vorübergehende Schwerhörigkeit.

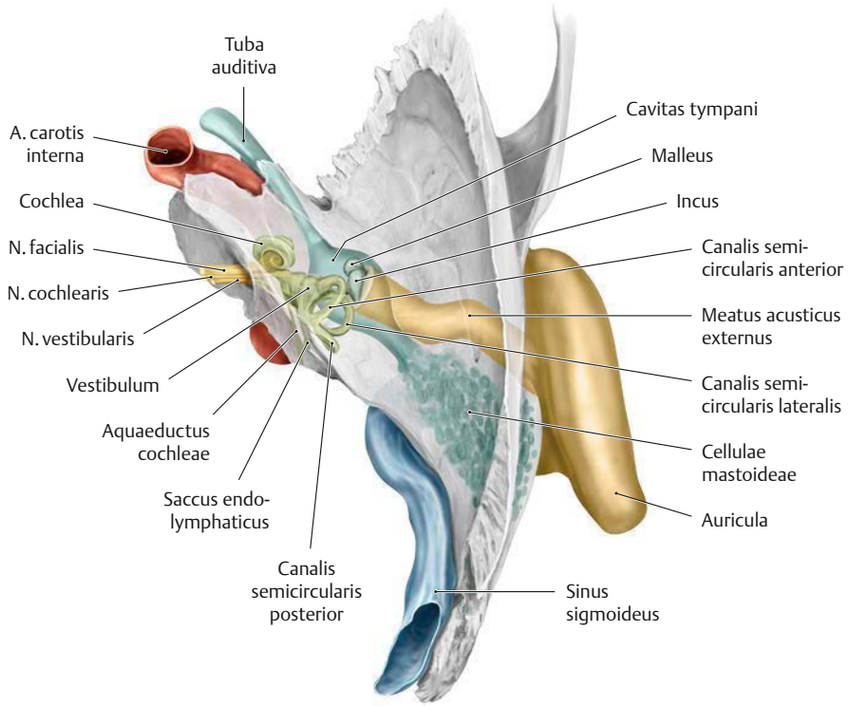


D Krümmung des äußeren Gehörganges
Rechtes Ohr, Ansicht von frontal (**a**) und horizontal (**b**).
Vor allem im knorpeligen Anteil verläuft der äußere Gehörgang gekrümmt. Die Kenntnis dieser Krümmung ist in der Praxis außerordentlich bedeutsam: Bei der Inspektion des Trommelfells mit dem Otoskop muss die Ohrmuschel nach hinten oben gezogen werden, so dass der knorpelige Anteil des Gehörganges gestreckt wird. Dadurch wird der Gehörgang gerade ausgerichtet und der Trichter des Otoskops kann eingeführt werden (**c**).
Beachte die Nachbarschaftsbeziehung der knorpeligen Vorderwand des äußeren Gehörganges mit dem Kiefergelenk. Führt man z. B. den kleinen Finger in den äußeren Teil des Gehörganges, kann man die Bewegung des Caput mandibulae spüren.

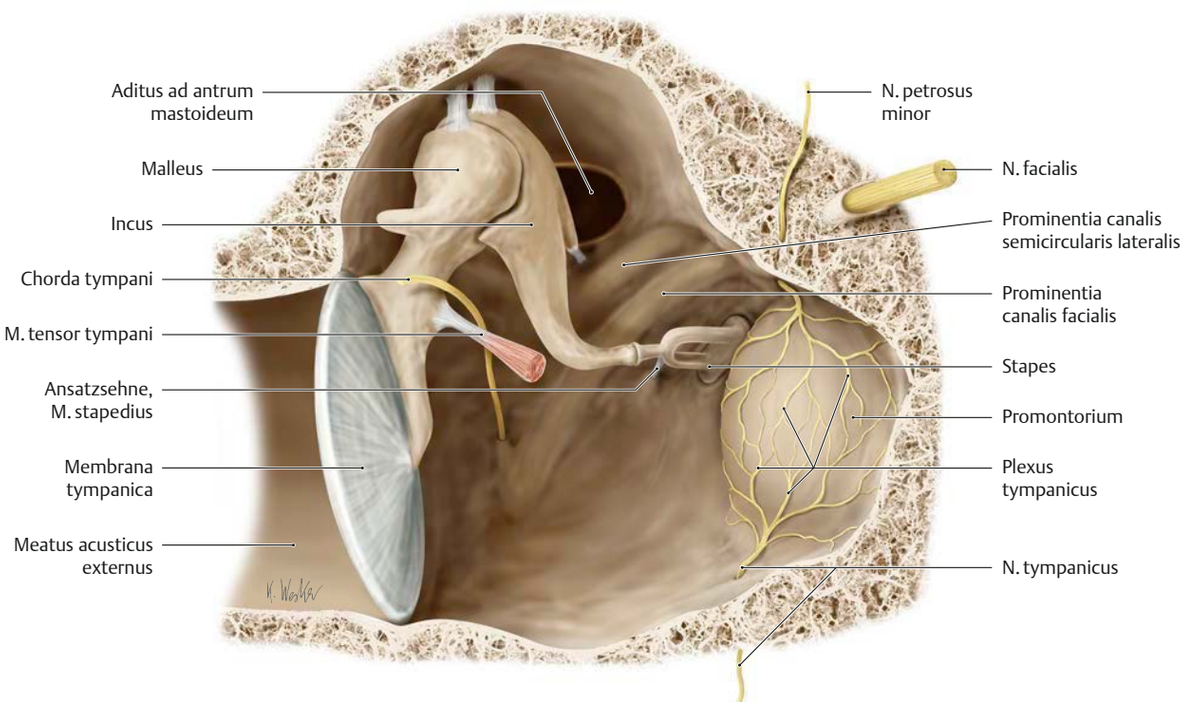


E Trommelfell (Membrana tympanica)
Rechtes Trommelfell, Ansicht von außen. Das gesunde Trommelfell hat eine perlgraue Farbe, ist rundoval mit einer mittleren Fläche von etwa 75 mm². Man unterscheidet einen kleinen schlaffen Abschnitt, die *Pars flaccida* (Shrapnell-Membran) und den größeren gespannten Teil, die *Pars tensa*, die in der Mitte trichterförmig zum Nabel (Umbo membranae tympanicae) eingezogen ist. Der Umbo bildet das untere Ende des mit der Innenseite des Trommelfells verwachsenen Hammergriffs. Er schimmert als heller Streifen (Stria mallearis) durch die Pars tensa hindurch. Das Trommelfell wird in vier Quadranten eingeteilt. Die Einteilung erfolgt entlang der Stria mallearis und einer Senkrechten darauf (Schnittpunkt ist der Umbo). Sie ist klinisch wichtig, da sie der Beschreibung der Lokalisation von krankhaften Veränderungen dient. Zur Funktion des Trommelfells s. S. 142 u. 148. Bei einem normalen Trommelfell entsteht im vorderen, unteren Quadranten durch das eintreffende Licht ein dreieckiger Lichtreflex, dessen Lage Rückschlüsse auf die Trommelfellspannung zulässt.

5.3 Mittelohr (Auris media): Paukenhöhle (Cavitas tympani) und Ohrtrompete (Tuba auditiva)

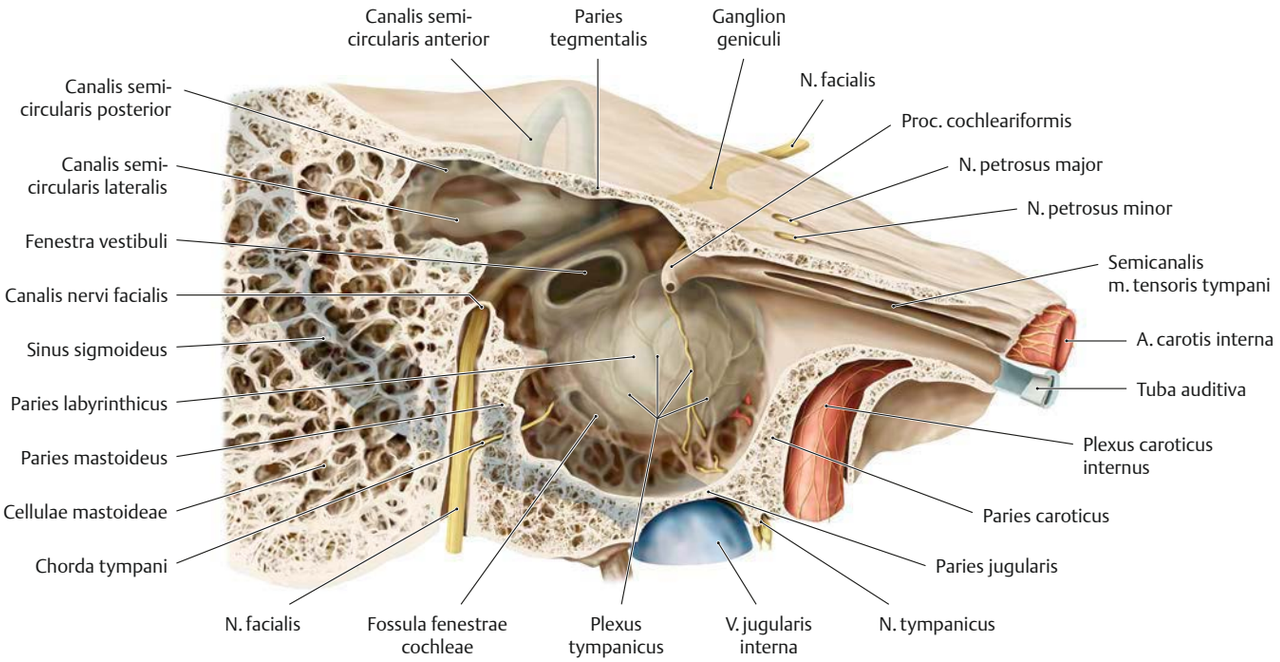


A Ausdehnung und Verbindungen des Mittelohres
Rechtes Felsenbein, Ansicht von kranial. Das Mittelohr (türkis) liegt im Felsenbein zwischen äußerem Ohr (gelb) und Innenohr (grün). In der Cavitas tympani des Mittelohrs befindet sich die Gehörknöchelchenkette, von der hier Hammer (Malleus) und Amboss (Incus) zu sehen sind. Die Cavitas tympani hat nach ventral über die Tuba auditiva Verbindung zum Rachen, nach dorsal steht es in Verbindung mit den Zellen des Mastoids (Cellulae mastoideae). Keime aus dem Rachen können daher bis in die Zellen des Mastoids vordringen und dort schwere Entzündungen hervorrufen (s. **C**).

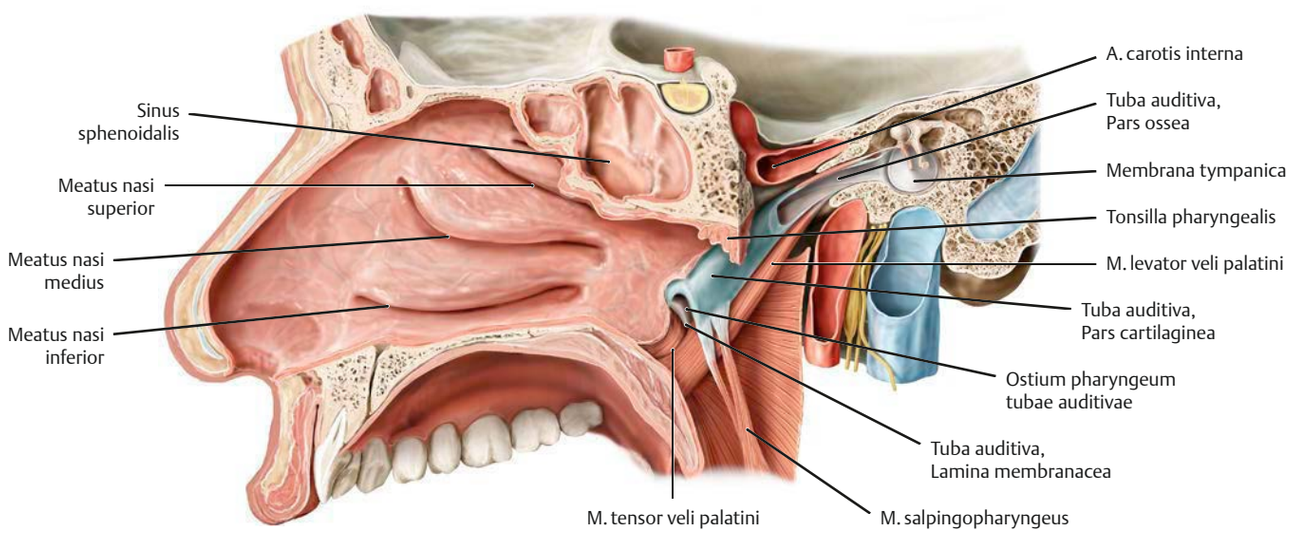


B Wände der Paukenhöhle (Cavitas tympani)
Ansicht von ventral, ventrale Wand entfernt. Die Paukenhöhle ist ein leicht schräg gestellter Raum mit sechs Wänden:

- laterale Wand (Paries membranaceus): Grenze zum äußeren Ohr, wird zum größten Teil vom Trommelfell gebildet;
- mediale Wand (Paries labyrinthicus): Grenze zum Innenohr; besonders auffällig ist die Vorwölbung der basalen Schneckenwindung (Promontorium);
- untere Wand (Paries jugularis): bildet den Boden der Paukenhöhle und grenzt an den Bulbus v. jugularis;
- hintere Wand (Paries mastoideus): grenzt an die Cellulae mastoideae des Proc. mastoideus, die über den Aditus ad antrum mastoideum erreicht werden;
- obere Wand (Paries tegmentalis): bildet das Dach der Paukenhöhle;
- vordere Wand (Paries caroticus, hier entfernt): beinhaltet die Tubenöffnung und grenzt an den Canalis caroticus.

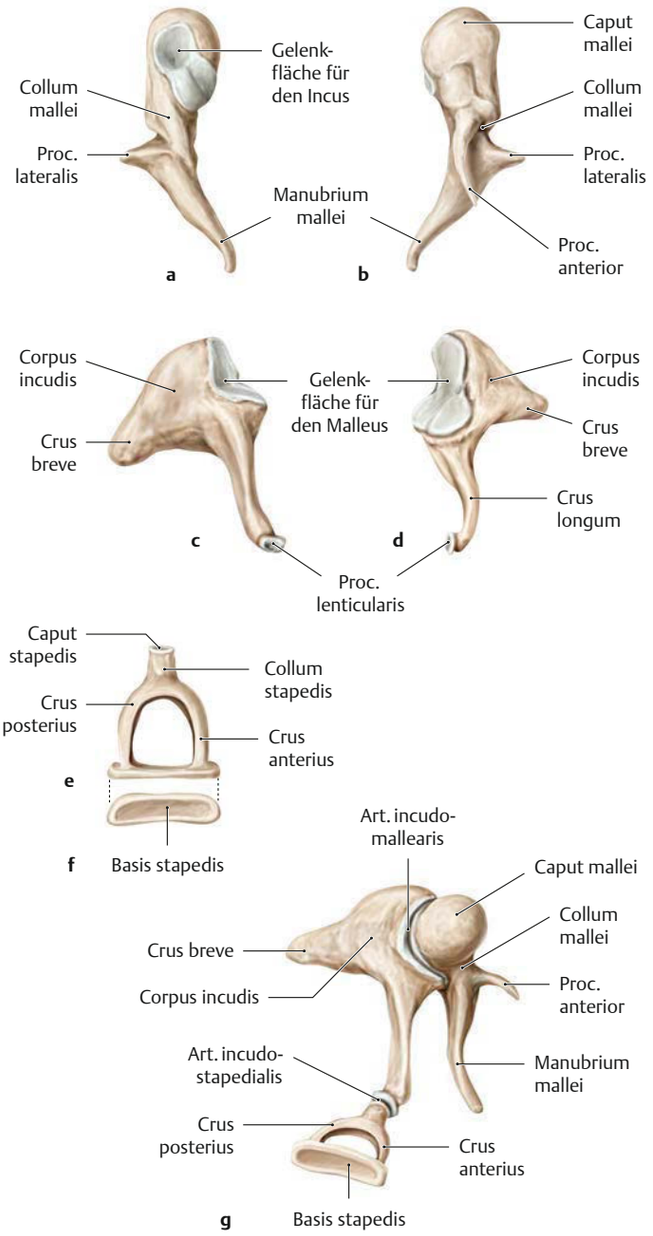


C Paukenhöhle: Klinisch wichtige Nachbarschaftsbeziehungen
Schräger Sagittalschnitt; Sicht von lateral auf den Paries labyrinthicus, vgl. **B**. Die Nachbarschaftsbeziehungen haben klinisch v. a. bei schweren eitrigen Mittelohrentzündungen (Otitis media) eine Bedeutung, da die Keime sich in die benachbarten Gebiete ausbreiten können, z. B. durch den Paries tegmentalis nach oben in die mittlere Schädelgrube (z. B. Meningitis, Hirnabszesse v. a. des Temporallappens); über die pneumatisierten Räume in den Proc. mastoideus (Mastoiditis) bzw. in den Sinus sigmoideus (Sinusthrombose); über die pneumatisierten Zellen der Pyramidenspitze in den Liquorraum mit der Folge einer Abduzenslähmung, der Reizung des N. trigeminus sowie Sehstörungen (Gradenigo-Syndrom) sowie in den Canalis facialis mit der Folge einer Fazialisparese.



D Ohrtrompete (Tuba auditiva)
Sicht von medial auf die rechte Kopfhälfte. Die Tube stellt eine offene Verbindung zwischen Mittelohr und Rachen her. Sie besteht aus einem knöchernen (⅓) und einem knorpeligen Teil (⅔). Der knöcherne Teil (Pars ossea) liegt im Felsenbein, der knorpelige (Pars cartilaginea) setzt sich bis zum Pharynx fort, wobei er sich vorne trichterförmig – wie eine Trompete – erweitert. Dabei bildet er eine Art Haken (Hamulus), an dem ein membranöser Teil ansetzt (Lamina membranacea), der zum Pharynx hin zunimmt. Oberhalb dieses Hakens bleibt eine permanente Öffnung, das sog. *Sicherheitsrohr:* Es garantiert eine konstante Belüftung des Mittelohrs. Darüber hinaus öffnet sich die Tuba audivita bei jedem Schluckakt. Durch diese Belüftung findet ein Druckausgleich zwischen Luftdruck im Mittelohr und Luftdruck in der Umgebung statt. Er ist essentiell für die normale Beweglichkeit des Trommelfells, ohne die es zur Schwerhörigkeit kommt. Die Öffnung der Tube erfolgt durch die Muskeln des Gaumensegels (Mm. tensor veli und levator veli palatini) sowie durch den M. salpingopharyngeus, einen Teil des oberen Schlundmuskels. Die Fasern des M. tensor veli palatini, die an der Lamina entspringen, spielen dabei eine besondere Rolle: Wenn der M. tensor veli palatini beim Schlucken das Gaumensegel spannt, ziehen seine Fasern gleichzeitig an der Lamina membranacea und öffnen dadurch die Ohrtrompete. Innen ist die Tube mit respiratorischem Flimmerepithel ausgekleidet, dessen Zilien sich in Richtung Pharynx bewegen und so Keime von der Paukenhöhle im Mittelohr fernhalten. Wenn dieser unspezifische Schutzmechanismus versagt, können Keime aufwärts wandern und eine eitrige Mittelohrentzündung hervorrufen (vgl. **C**).

5.4 Mittelohr: Gehörknöchelchenkette

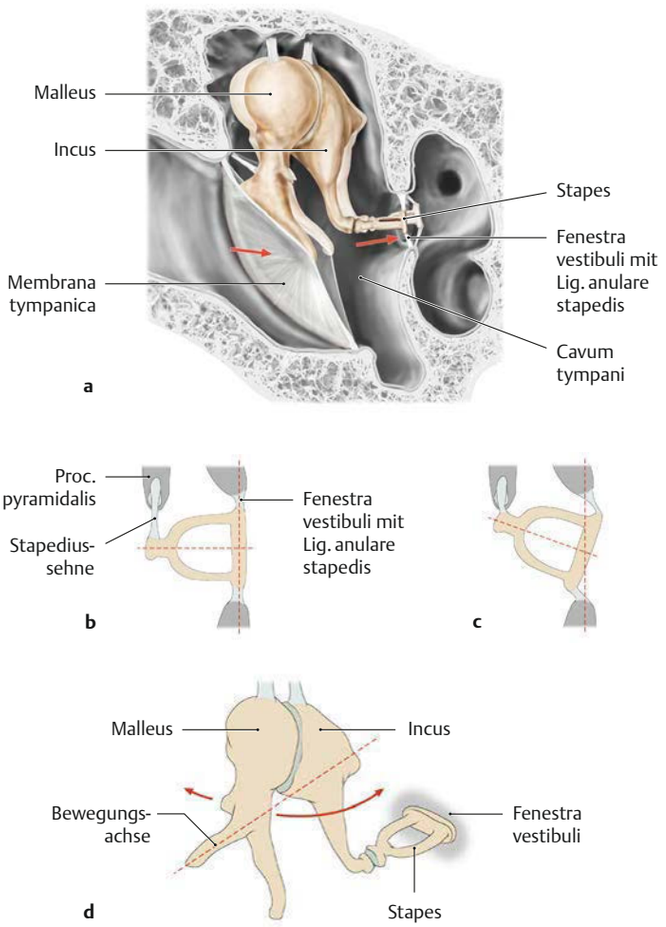


A Gehörknöchelchen
Dargestellt sind die Gehörknöchelchen des linken Ohres. Drei hintereinander geschaltete Knöchelchen bilden die Gehörknöchelchenkette (zur Funktion s. **B**). Sie schafft eine gelenkige Verbindung zwischen Trommelfell und ovalem Fenster (Fenestra vestibuli) und besteht aus:

- Hammer (Malleus),
- Amboss (Incus) und
- Steigbügel (Stapes).

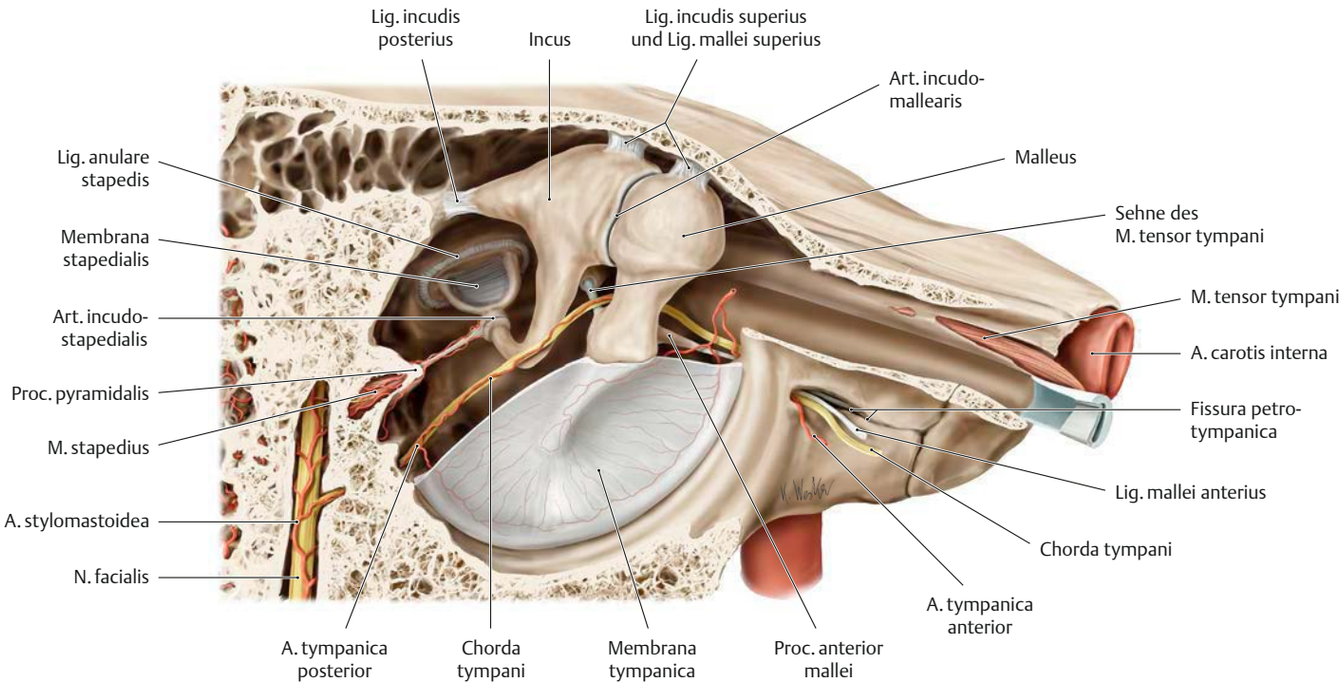
a u. **b** Hammer: Ansicht von hinten und von vorne;
c u. **d** Amboss: Ansicht von medial sowie von vorne und von der Seite;
e u. **f** Steigbügel: Ansicht von oben und von medial;
g Gehörknöchelchenkette in der Aufsicht von medial.

Beachte die gelenkige Verbindung zwischen Hammer und Amboss (Art. incudomallearis) sowie zwischen Amboss und Steigbügel (Art. incudostapedialis).

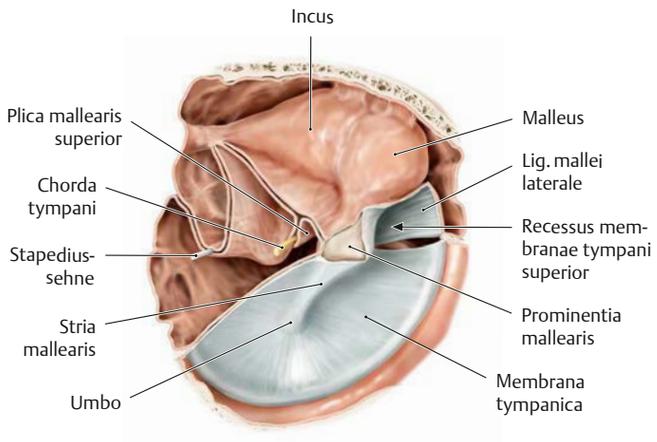


B Funktion der Gehörknöchelchenkette
Ansicht von frontal.

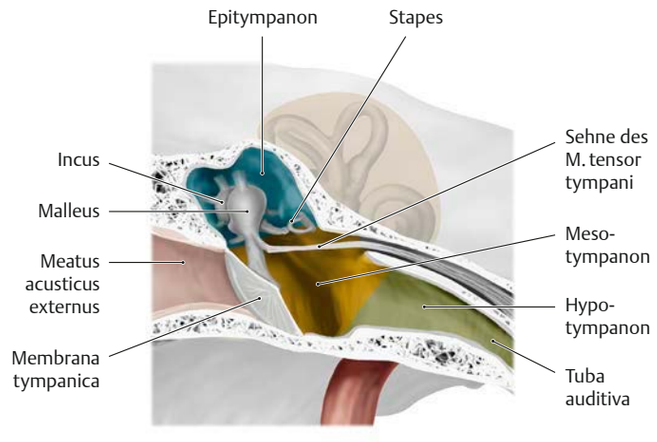
a Schallwellen, d. h. periodische Druckschwankungen der Luft, versetzen das Trommelfell in Schwingungen. Über die Gehörknöchelchenkette werden die Schwingungen des Trommelfells und somit die Schallwellen über das ovale Fenster (Fenestra vestibuli) auf ein wässriges Medium (Perilymphe) übertragen. Während der Wellenwiderstand in der Luft gering ist, ist er in der Innenohrflüssigkeit (Perilymphe) hoch. Deshalb ist eine Verstärkung der Schallwellen erforderlich (sog. Impedanzwandlung). Eine 17-fache Verstärkung erfolgt durch den Größenunterschied von Flächen (Verhältnis der Fläche des Trommelfells zur Fläche des ovalen Fensters), eine weitere durch die Hebelwirkung der Gehörknöchelchenkette (1,3-fach). Insgesamt wird der Schalldruck damit 22-fach verstärkt. Fällt die Schalldruck-Transformation vom Trommelfell zur Steigbügelfußplatte aus, kommt es zu einer Schallleitungsschwerhörigkeit (Hörverlust von ca. 20 dB).
b u. **c** Durch den Schalldruck auf das Trommelfell verschiebt sich die Gehörknöchelchenkette. Dies führt zu einer Kippbewegung des Steigbügels (**b** Normallage, **c** gekippte Stellung). Der Steigbügel wird im ovalen Fenster durch das Lig. anulare stapedis beweglich mit den Rändern der Fenestra vestibuli verbunden. Die Bewegung des Steigbügels führt dann zu einer Wellenbewegung der Flüssigkeitssäule im Innenohr.
d Die Abfolge der Bewegungen der Knöchelchenkette sind insgesamt Pendelbewegungen (die Bewegungsachse ist durch eine gestrichelte Linie markiert, die Bewegungsrichtung durch Pfeile). Die Beweglichkeit der Gehörknöchelchenkette wird durch zwei Muskeln beeinflusst: M. tensor tympani und M. stapedius (s. **C**).



C Gehörknöchelchenkette in der Paukenhöhle (Cavitas tympani)
Sicht von lateral auf das rechte Ohr. Die Gelenke und der sie sichernde Bandapparat werden sichtbar. Zusätzlich erkennt man die beiden Muskeln des Mittelohrs, den M. stapedius und den M. tensor tympani. Der *M. stapedius* (Innervation: R. stapedius n. facialis) setzt am Steigbügel an. Bei seiner Kontraktion wird die Schallleitungskette versteift und die Schallübertragung auf das Innenohr verringert. Diese Filterfunktion soll insbesondere bei hohen Tönen von Bedeutung sein („Hochpassfilter"). Beschallt man das Mittelohr über eine im äußeren Gehörgang liegende Sonde, kann man aufgrund der Impedanzänderung (Verstärkung der Schallwellen) die Funktion dieses Muskels messen (Stapediusreflexprüfung). Der *M. tensor tympani* (Innervation: N. musculi tensoris tympani, V_3) versteift bei seiner Kontraktion das Trommelfell und vermindert somit ebenfalls die Schallübertragung. Beide Muskeln kontrahieren sich reflektorisch bei lauten Schallreizen.
Beachte: Die Chorda tympani, die die Geschmacksfasern für die vorderen ⅔ der Zunge enthält, zieht ohne Knochenschutz durch das Mittelohr (Gefahr der Schädigung bei Operationen).



D Schleimhautüberzug der Paukenhöhle
Ansicht von hinten-außen (Trommelfell teilweise entfernt). Paukenhöhle und darin liegende Strukturen (Gehörknöchelchenkette, Muskelsehnen, Nerven) sind von einer Schleimhaut bedeckt, die Falten und Buchten um die von ihr eingefassten Strukturen bildet. Das Epithel ist größtenteils einschichtig isoprismatisch, daneben finden sich Areale mit Flimmerepithel und Becherzellen. Da die Paukenhöhle über die Tuba auditiva direkten Zugang zur Atemluft hat, wird sie auch als spezialisierte Nasennebenhöhle angesehen. Ähnlich wie bei den Nasennebenhöhlen, finden im Bereich der Paukenhöhle häufig Infektionen statt (Mittelohrentzündungen).

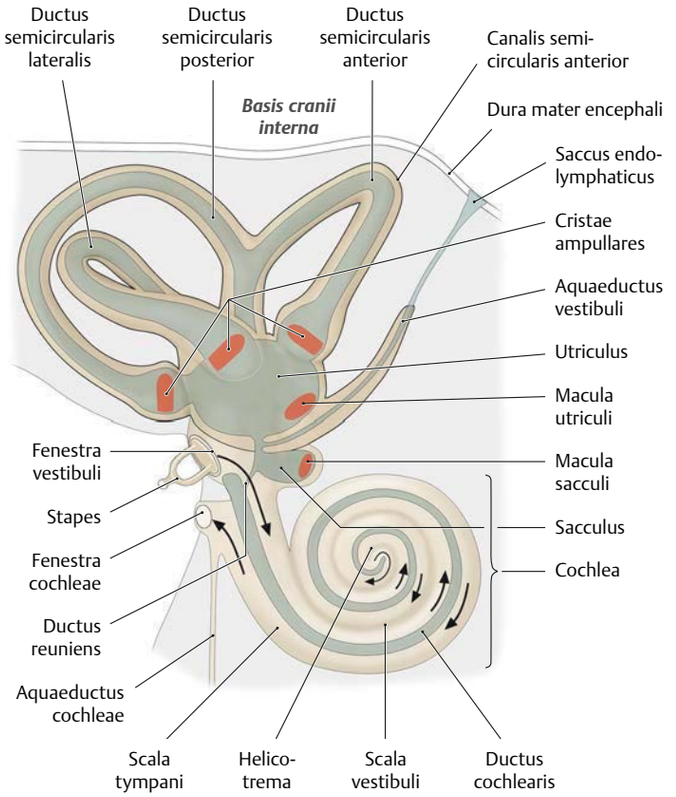


E Klinisch wichtige Etagen der Paukenhöhle
Man teilt die Paukenhöhle in Bezug auf die Lage eines bestimmten Abschnitts zum Trommelfell in drei Etagen:

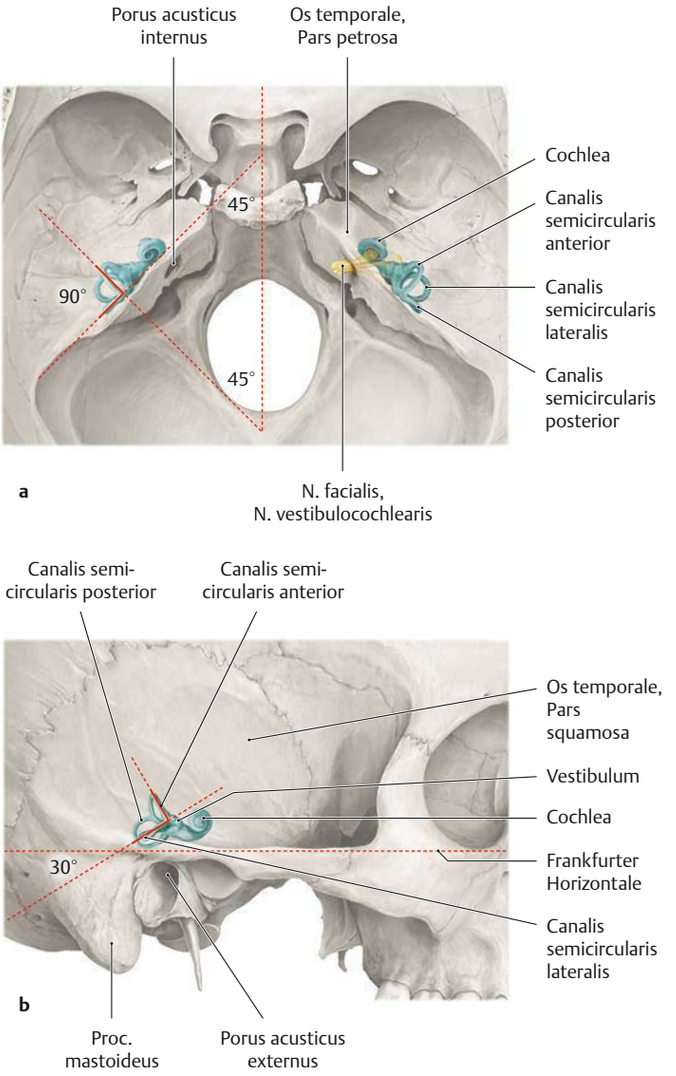
- Epitympanon (Recessus epitympanicus, Kuppelraum, Attikus), oberhalb des Trommelfells;
- Mesotympanon, auf Höhe des Trommelfells;
- Hypotympanon (Recessus hypotympanicus), unterhalb des Trommelfells.

Das Epitympanon ist mit den Mastoidzellen verbunden, das Hypotympanon mit der Tube.

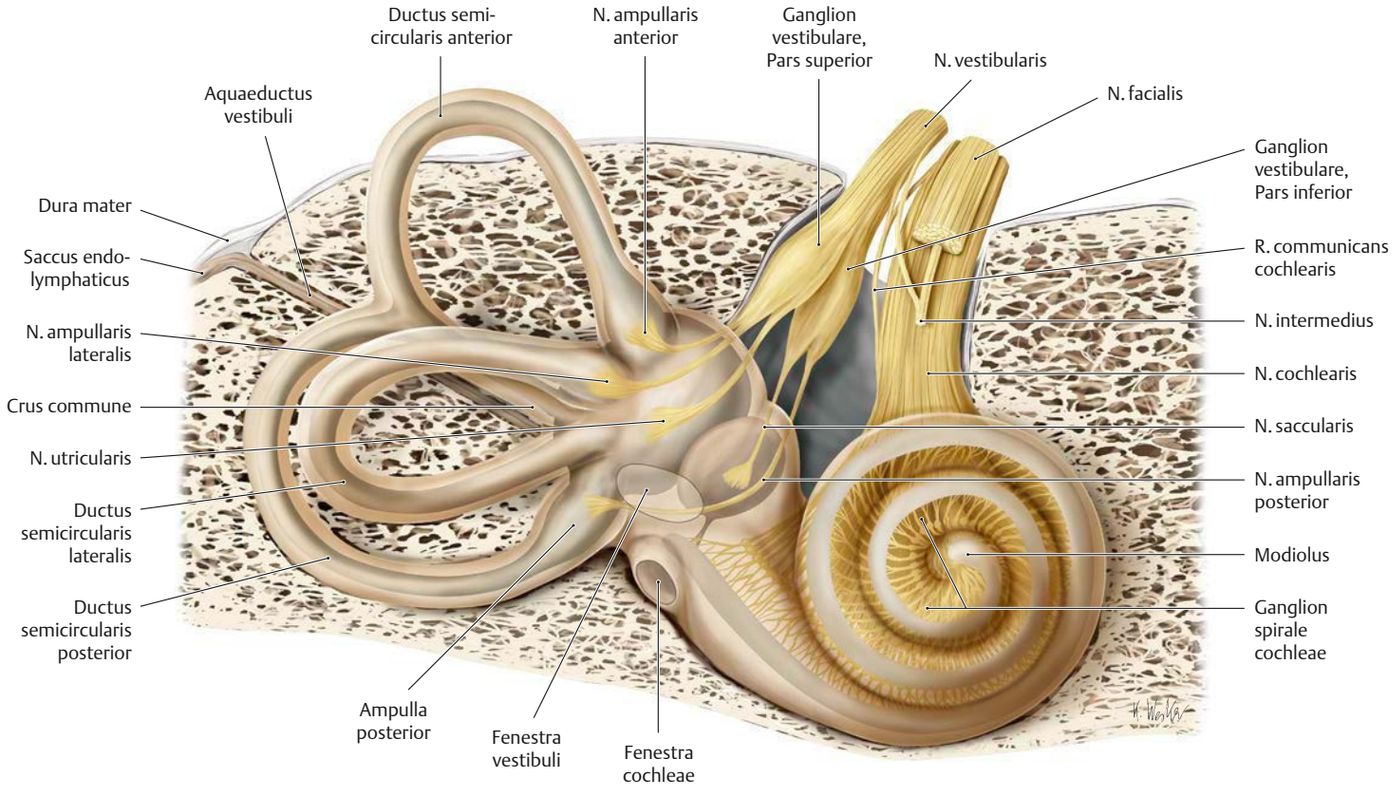
5.5 Innenohr (Auris interna): Übersicht



A Schema des Innenohrs (Auris interna)
Das Innenohr (Auris interna) liegt im Innern des Felsenbeins (s. **B**) und enthält das Hör- und das Gleichgewichtsorgan (s. S. 146 ff). Es besteht aus einem häutigen oder membranösen Labyrinth *(Labyrinthus membranaceus)*, das von einem analog geformten knöchernen Hohlraumsystem (knöchernes Labyrinth = *Labyrinthus osseus*) umgeben ist. Zum **Hörorgan** gehört das kochleäre Labyrinth mit dem membranösen Schneckengang *(Ductus cochlearis)*, der zusammen mit seiner knöchernen Hülle die Gehörschnecke *(Cochlea)* bildet. Es enthält das Sinnesepithel des Hörorgans (*Corti-Organ)*. Zum **Gleichgewichtsorgan** gehört das vestibuläre Labyrinth mit drei Bogengängen *(Ductus semicirculares)* sowie einem *Sacculus* und einem *Utriculus*, von denen jeder ein Sinnesepithel enthält. Während die membranösen Bogengänge einzeln von einer knöchernen Hülle *(Canales semicirculares)* umschlossen werden, liegen Utriculus und Sacculus gemeinsam in einer Knochenkapsel, dem *Vestibulum*. Der Hohlraum des *knöchernen Labyrinths* ist mit Perilymphe gefüllt (*Perilymphraum*, beige), deren Zusammensetzung einem Ultrafiltrat des Blutes entspricht. Der Perilymphraum ist durch den Aquaeductus cochleae (= Ductus perilymphaticus) mit dem Subarachnoidalraum verbunden; er mündet an der Basis cranii externa medial vor der Fossa jugularis. Das *häutige Labyrinth* „schwimmt" sozusagen im knöchernen Labyrinth, mit dem es durch Bindegewebsfasern locker verbunden ist. Es ist mit Endolymphe gefüllt (*Endolymphraum*, blau-grün), deren Ionenzusammensetzung der des Zellinneren entspricht. Der Endolymphraum von Hör- und Gleichgewichtsorgan kommuniziert über den *Ductus reuniens* untereinander und über den Aquaeductus vestibuli *(Ductus endolymphaticus)* mit dem Saccus endolymphaticus, eine an der Felsenbein-Hinterfläche zwischen Porus acusticus internus und Sulcus sinus sigmoidei gelegene, epidurale Aussackung, in der die Endolymphe resorbiert wird.



B Projektion des Innenohrs auf den knöchernen Schädel
a Ansicht von kranial auf die Pars petrosa des Schläfenbeins; **b** Ansicht von rechts-lateral auf die Pars squamosa des Felsenbeins.
Die Spitze der Schnecke (Cochlea) zeigt nach lateral vorne und nicht wie man intuitiv annimmt nach oben. Die knöchernen Bogengänge (Canales semicirculares) sind etwa in einem Winkel von 45° zu den Hauptebenen des Kopfes (frontal, horizontal, sagittal) angeordnet (wichtig zur Orientierung bei der Betrachtung von Feinschicht-Computertomogrammen des Felsenbeins).
Beachte: Die Lage der Bogengänge ist bei der thermischen Funktionsprüfung des Vestibularapparates klinisch von Bedeutung. Der laterale (horizontale) Bogengang ist nach vorn kranial um 30° gekippt (s. **b**). Wenn der Kopf beim *liegenden* (!) Patienten um 30° angehoben wird, steht der horizontale Bogengang senkrecht. Da warme Flüssigkeiten nach oben steigen, kann durch Spülung des Gehörgangs mit warmen (44 °C) oder kälterem (30 °C) Wasser (in Bezug auf die normale Körpertemperatur) eine thermische Strömung in der Endolymphe des Bogengangs erzeugt werden, die zu einem vestibulären Nystagmus (ruckartige Augenbewegungen, vestibulookulärer Reflex) führt. Da bei Kopfbewegungen immer beide Vestibularapparate erregt werden, ist die thermische Prüfung die einzige Methode, die Vestibularapparate *getrennt* auf ihre Funktion zu prüfen (wichtig bei Schwindel unklarer Ursache).

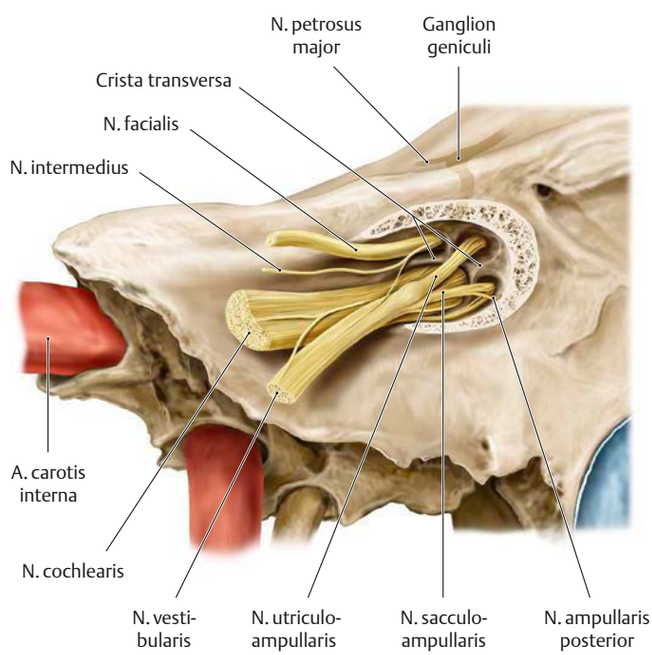


C Innervation des häutigen Labyrinths

Rechtes Ohr, Ansicht von frontal. Die **afferenten Impulse** der Rezeptororgane von Utriculus, Sacculus und Bogengängen (also **des Gleichgewichtsorgans**) werden zunächst über dendritische (periphere) Fortsätze zum zweigeteilten *Ganglion vestibulare* (Pars superior und inferior) geleitet, das die Perikarya der afferenten Neurone (bipolare Ganglienzellen) enthält. Ihre zentralen Fortsätze bilden den *N. vestibularis*, der zusammen mit dem *N. cochlearis* durch den Meatus acusticus internus und den Kleinhirnbrückenwinkel zum Hirnstamm zieht.

Die **afferenten Impulse** aus den Rezeptororganen der Cochlea (also **des Hörorgans**) werden zunächst über dendritische (periphere) Fortsätze zu den Spiralganglien *(Ganglia spiralia)* geleitet, die die Perikaryen der bipolaren Ganglienzellen enthalten. Sie liegen im zentralen knöchernen Kern der Schnecke (Modiolus). Ihre zentralen Fortsätze bilden den *N. cochlearis*, der sich mit dem N. vestibularis zum N. vestibulocochlearis verbindet.

Beachte auch den mitangeschnittenen N. facialis mit seinen parasympathischen Fasern (N. intermedius) im inneren Gehörgang (s. **D**).



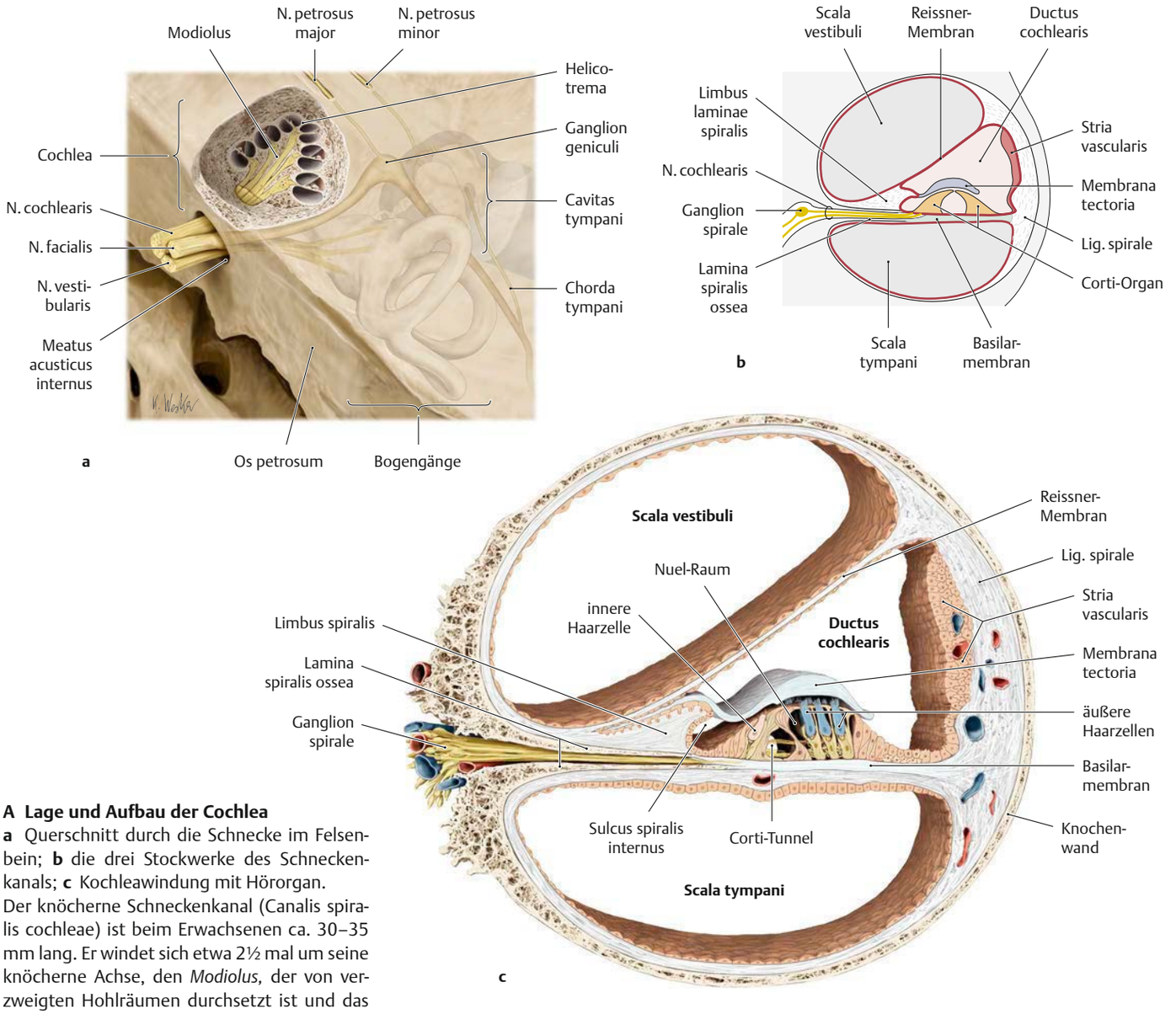
D Ein- bzw. Austritt der Hirnnerven aus dem rechten Meatus acusticus internus

Ansicht von schräg dorsal auf den Fundus meatus acustici interni. Der etwa 1 cm lange innere Gehörgang beginnt mit dem Porus acusticus internus an der Hinterwand des Felsenbeins. Er enthält

- den N. vestibulochochlearis mit seinem kochleären und vestibulären Anteil,
- den deutlich dünneren N. facialis mit seinen parasympathischen Fasern (N. intermedius) sowie
- die A. und V. labyrinthi (nicht dargestellt).

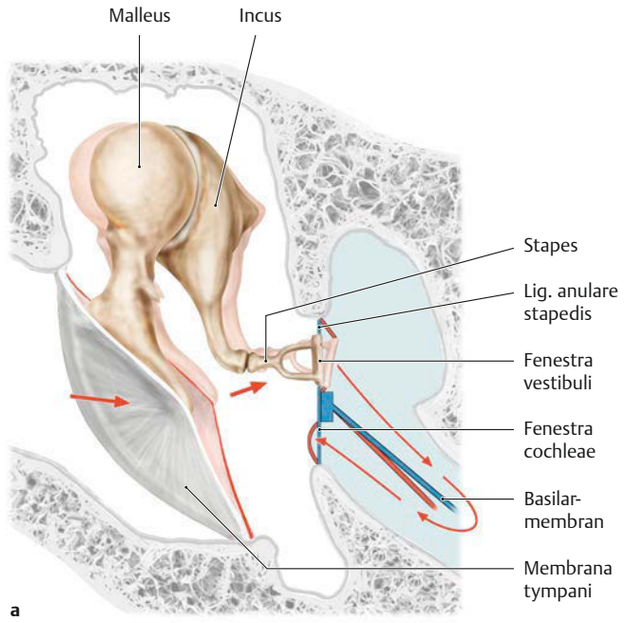
Die enge Nachbarschaft von N. vestibulochochlearis und N. facialis im knöchernen Kanal bedingt, dass es bei einem Tumor des N. vestibulocochlearis (sog. *Akustikusneurinom*) durch Kompression des N. facialis zu peripheren Fazialislähmungen kommen kann (s. auch S. 125). Akustikusneurinome sind gutartige Tumoren, die von den Schwann-Zellen der Vestibularisfasern ausgehen, daher bezeichnet man sie korrekt als *Vestibularis-Schwannome* (s. auch S. 128). Das Tumorwachstum beginnt immer im inneren Gehörgang und kann sich bei zunehmender Größe in Richtung Kleinhirnbrückenwinkel ausdehnen, daher auch die häufig benutzte Bezeichnung *„Kleinhirnbrückenwinkeltumor"*. Eine akute einseitige Funktionsstörung des Innenohrs mit Schwerhörigkeit (Hörsturz) und häufig begleitendem Tinnitus wird u. a. in Zusammenhang mit einer vaskulären Genese (Vasospasmus der A. labyrinthi mit nachfolgender Durchblutungsstörung) gebracht.

5.6 Innenohr: Hörorgan



A Lage und Aufbau der Cochlea
a Querschnitt durch die Schnecke im Felsenbein; **b** die drei Stockwerke des Schneckenkanals; **c** Kochleawindung mit Hörorgan.

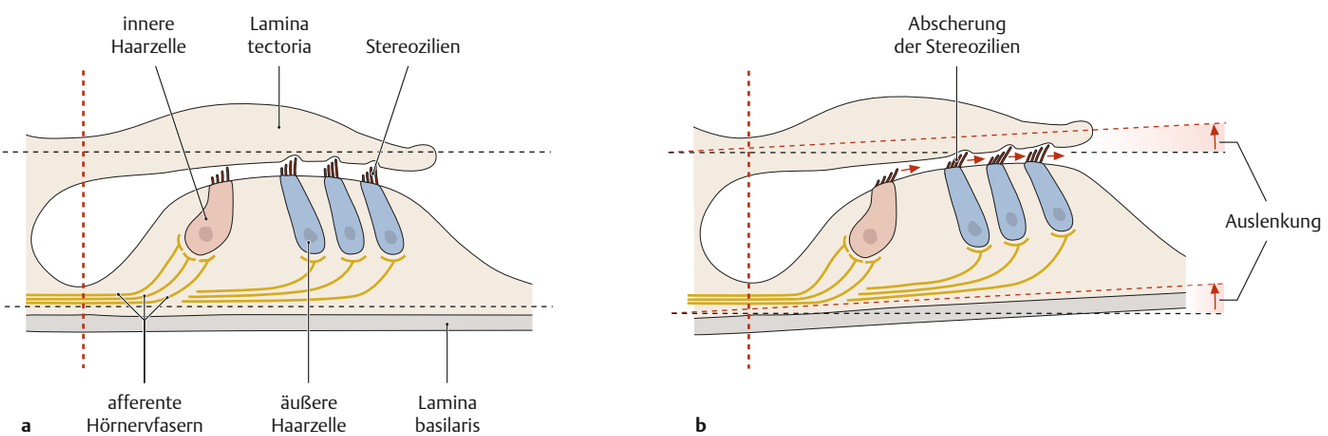
Der knöcherne Schneckenkanal (Canalis spiralis cochleae) ist beim Erwachsenen ca. 30–35 mm lang. Er windet sich etwa 2½ mal um seine knöcherne Achse, den *Modiolus*, der von verzweigten Hohlräumen durchsetzt ist und das Ganglion spirale (Perikarya der afferenten Neurone) enthält. Die Basis der Schnecke ist dem inneren Gehörgang zugewendet (**a**). Ein Querschnitt durch den Schneckenkanal zeigt drei membranöse Kompartimente, die stockwerkartig angeordnet sind (**b**): oben und unten jeweils einen mit Perilymphe gefüllten Raum, die *Scala vestibuli* und die *Scala tympani*, sowie in der Mitte den mit Endolymphe gefüllten *Ductus cochlearis*. Während die Perilymphräume an der Schneckenspitze durch das Schneckenloch *(Helicotrema)* miteinander in Verbindung stehen, endet der Endolymphraum an der Spitze blind. Der im Querschnitt dreieckige Ductus cochlearis wird von der Scala vestibuli durch die *Reissner-Membran*, von der Scala tympani durch die *Basilarmembran* getrennt. Die Basilarmembran entspringt einem knöchernen Vorsprung des Modiolus *(Lamina spiralis ossea)* und wird von der Schneckenbasis zur Schneckenspitze kontinuierlich breiter. Hohe Frequenzen (bis zu 20 000 Hz) werden an den schmalen, tiefe Frequenzen (bis etwa 200 Hz) an den breiteren Abschnitten der Basilarmembran wahrgenommen *(Tonotopie)*; vereinfacht ausgedrückt: unterschiedliche Frequenzen (Töne) werden an unterschiedlichen Orten (topisch) registriert! Basilarmembran und Lamina spiralis ossea bilden somit den Boden des Ductus cochlearis, auf dem das eigentliche Hörorgan, das Corti-Organ, liegt. Es ist aus einem System von Sinnes- und Stützzellen aufgebaut, über denen die Tektorialmembran *(Membrana tectoria)* liegt, ein zellfreies, gallertartiges Gebilde. Die Sinneszellen (innere und äußere Haarzellen) sind die Rezeptoren des Corti-Organs (**c**) und besitzen apikal etwa 50–100 Stereozilien. An ihrer basalen Seite bilden sie Synapsen mit den Endigungen afferenter und efferenter Neurone. Sie sind in der Lage, mechanische Energie in elektrochemische Potentiale umzuwandeln (s. u.). In dem vergrößerten Ausschnitt aus einer Cochlea-Windung (**c**) ist jetzt auch die *Stria vascularis* zu sehen, ein mit Blutgefäßen durchzogenes Epithel, in dem die Endolymphe gebildet wird. Mit dieser Endolymphe ist das häutige Labyrinth (hier der Ductus cochlearis, ein Teil dieses Labyrinths) gefüllt. Das Corti-Organ liegt der Basilarmembran auf. In ihm werden die Schwingungen der Wanderwelle in elektrische Impulse umgewandelt, die dann mit dem N. cochlearis in das Gehirn geleitet werden. Die prinzipielle Zelle der Signaltransduktion ist die innere Haarzelle. Sie wandelt die Schallwelle, die ihr über die Basalmembran zugeleitet wird, in Impulse um, die wiederum vom Ganglion cochleare aufgenommen und weitergeleitet werden.



B Zusammenwirken von Mittel- und Innenohr bei der Hörwahrnehmung

a Schallübertragung vom Mittel- zum Innenohr: Der Schall wird mit dem Trommelfell aufgenommen und über die Gehörknöchelchenkette zum ovalen Fenster *(Fenestra vestibuli)* geleitet. Dessen Membran wird durch den Schalldruck in Schwingungen versetzt, die über die Perilymphe auf die Basilarmembran des Innenohres (s. **b**) übertragen werden. Das runde Fenster *(Fenestra cochleae)* dient dem Druckausgleich.

b Entstehung der Wanderwelle in der Cochlea: Die Schallwelle beginnt am ovalen Fenster (Fenestra vestibuli), läuft dann die Scala vestibuli aufwärts bis zur Schneckenspitze („Wanderwelle"). Die Amplitude der Wanderwelle verstärkt sich in ihrem Verlauf in Abhängigkeit von der Schallfrequenz und erreicht an definierten Orten ihr Amplitudenmaximum (hier stark überhöht dargestellt). An dieser Stelle werden die Rezeptoren des Corti-Organs erregt, hier findet die Signaltransduktion statt. Um diesen Prozess zu verstehen, muss man zunächst den Aufbau des Corti-Organs (= Hörorgan im engeren Sinne) kennen, der in der nächsten Abbildung geschildert wird.



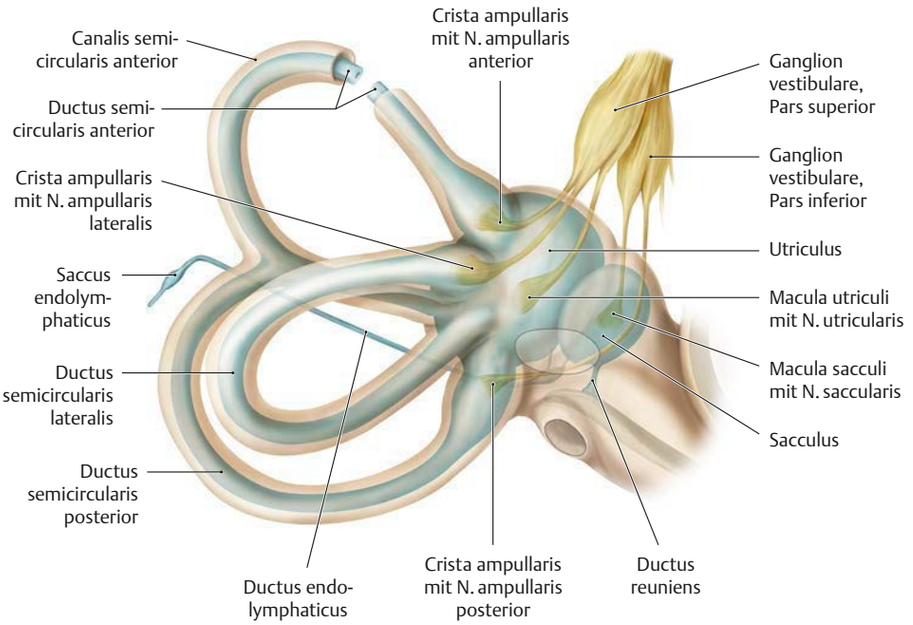
C Corti-Organ in Ruhe (a) und während des Ausschlags einer Wanderwelle (b)

Die Wanderwelle wird durch die Schwingungen des ovalen Fensters erzeugt (vgl. **Bb**). An einem für jede Schallfrequenz typischen Ort kommt es zu einer maximalen Auslenkung der Basilar- und damit der Tektorialmembran; hier erfolgen Scherbewegungen der beiden Membranen gegeneinander. Durch die Scherbewegungen werden die Stereozilien der *äußeren* Haarzellen abgebogen. Die Haarzellen ändern ihre Länge daraufhin aktiv und verstärken damit lokal die Wanderwelle. Dies wiederum bewirkt, dass auch die Stereozilien der *inneren* Haarzellen abgebogen werden und infolgedessen am basalen Pol der inneren Haarzellen Glutamat freigesetzt wird. Dies führt zu einem exzitatorischen Potential an den afferenten Nervenfasern, das an das Gehirn weiter geleitet wird (Einzelheiten hierzu s. Physiologiebücher).

5.7 Innenohr: Gleichgewichtsorgan

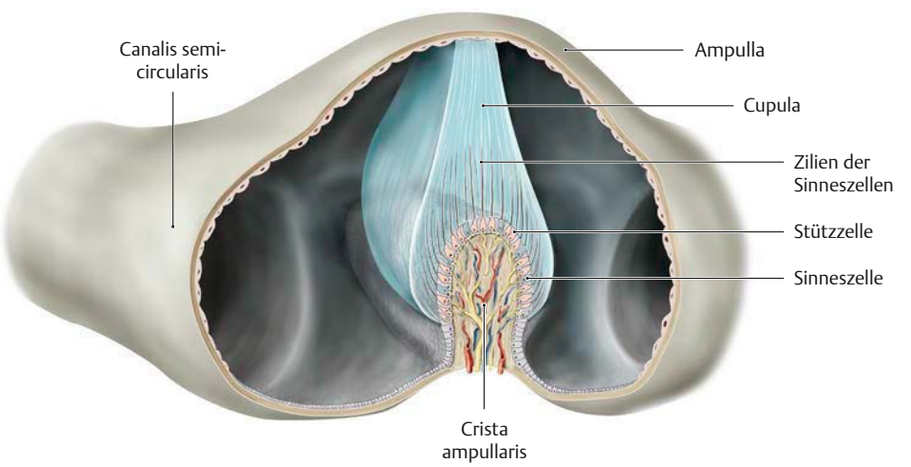
A Aufbau des Vestibularorgans

Das Vestibularorgan besteht aus den drei häutigen Bogengängen (Ductus semicirculares), die in ihren Erweiterungen (Ampullae) Sinnesleisten (Cristae ampullares) enthalten, sowie Sacculus und Utriculus mit ihren Makulaorganen (Macula sacculi und Macula utriculi; zur Lage im Felsenbein s. **B**, S. 150). Die Sinnesorgane in den Bogengängen reagieren auf *Drehbeschleunigung*, die Makulaorgane, die annähernd in der Senkrechten bzw. in der Horizontalen stehen, auf horizontale (Macula utriculi) bzw. vertikale *Linearbeschleunigungen* im Sinne der Schwerkraft (Macula sacculi).



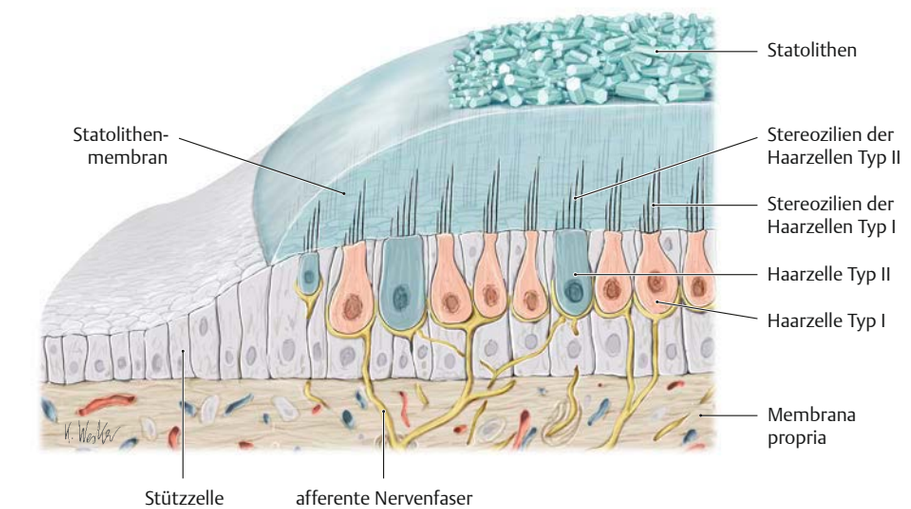
B Aufbau von Ampulla und Crista ampullaris

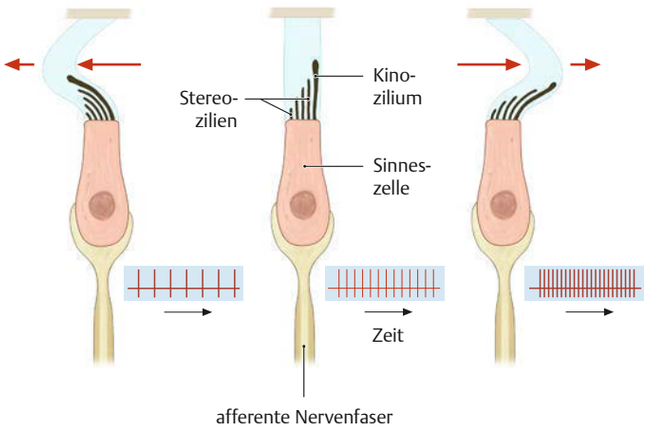
Querschnitt durch eine Bogengangsampulle. Jeder Bogengang besitzt am Ende eine Erweiterung (Ampulla), in die eine quer stehende Bindegewebsleiste mit Sinnesepithel hineinragt (Crista ampullaris). Über der Crista ampullaris sitzt eine gallertartige „Kuppel" (Cupula), die am Dach der Ampulle befestigt ist. Die einzelnen Sinneszellen der Crista ampullaris (insgesamt etwa 7000) tragen an ihrem apikalen Pol jeweils ein langes Kinozilium und etwa 80 kürzere Stereozilien, mit denen sie in die Cupula hineinragen. Bei Drehbewegungen des Kopfes in der Ebene des jeweiligen Bogenganges kommt es aufgrund der Trägheit der Endolymphe zu einer stärkeren Auslenkung der Cupula, was wiederum zum Abknicken der Stereozilien führt. Je nach Abscherrichtung der Zilien werden die Sinneszellen entweder depolarisiert (Reiz) oder hyperpolarisiert (Hemmung) (Details s. **E**).



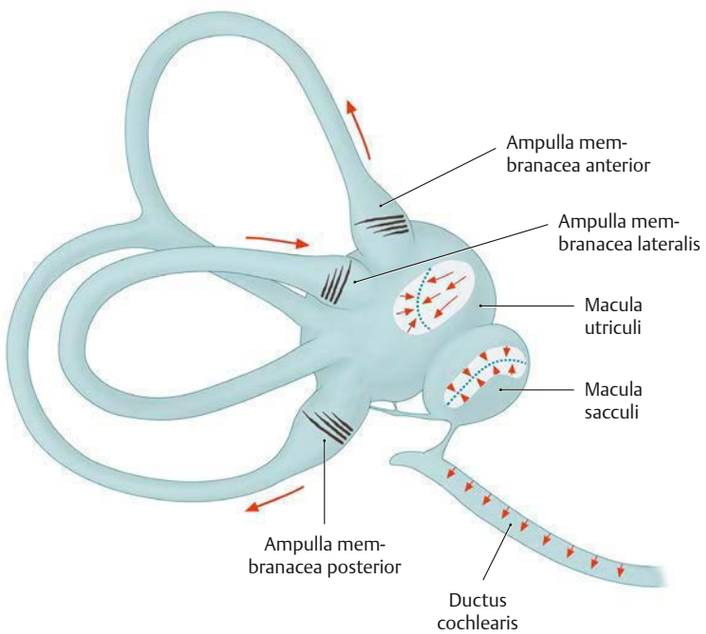
C Aufbau der Macula statica (= Macula sacculi und utriculi)

Innerhalb der epithelialen Auskleidung von Sacculus und Utriculus befindet sich jeweils ein oval angeordnetes Feld von Sinnes- und Stützzellen mit einem mittleren Durchmesser von 2 mm. Ähnlich wie die Sinneszellen der Crista ampullaris tragen die Sinneszellen der Makulaorgane apikal zahlreiche Zilien, mit denen sie in eine sog. Statolithenmembran hineinreichen. Diese besteht ähnlich wie die Cupula aus einer Gallertschicht, an deren Oberfläche jedoch zusätzlich Kristalle aus Calciumkarbonat *(Statolithen)* eingebettet sind. Aufgrund ihres hohen spezifischen Gewichtes zerren diese Statolithen bei Einwirkung von Linearbeschleunigung an der Gallertmasse, was wiederum zu Scherbewegungen der Zilien führt. In Abhängigkeit von der Ausrichtung der Zilien in den einzelnen Feldern kommt es bei Bewegung zu De- bzw. Hyperpolarisation der Sinneszellen.

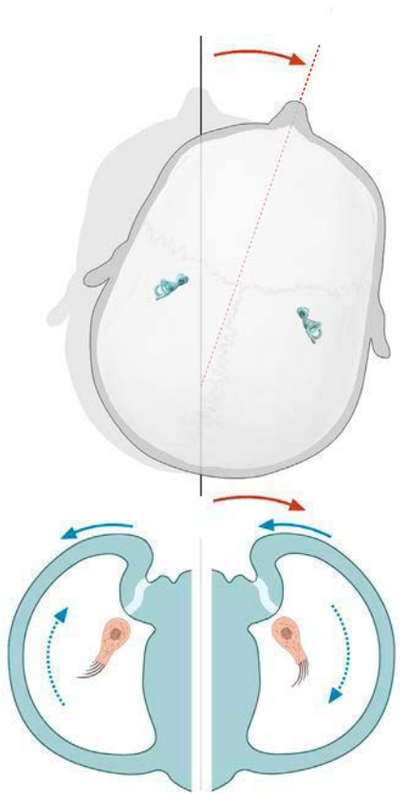




D Reizumwandlung in den vestibulären Sinneszellen
Die Sinneszellen der Macula statica und der Crista ampullaris tragen an ihrer apikalen Oberfläche ein langes Kinozilium und etwa 80 unterschiedlich lange, orgelpfeifenartig angeordnete Stereozilien. Durch die Anordnung der unterschiedlich langen Zilien sind die Sinneszellen polar differenziert. Im Ruhezustand sind die Zilien gerade ausgerichtet. Bei Ablenkung der Stereozilien in Richtung Kinozilium depolarisiert die Sinneszelle, die Aktionspotential-(Impuls-)frequenz steigt (rechts); bei Ablenkung der Stereozilien vom Kinozilium weg hyperpolarisiert die Zelle, die Impulsfrequenz wird herabgesetzt (links). Auf diese Weise wird am basalen Pol der Sinneszelle die Freisetzung des Transmitters Glutamat und damit die Aktivierung der afferenten Nervenfaser reguliert (Depolarisation führt zur Freisetzung von Glutamat, Hyperpolarisation zur Hemmung der Freisetzung). Dadurch erhält das Zentralnervensystem Informationen über Richtung und Ausmaß der Bewegung bzw. der Lageveränderung.



E Unterschiedliche Orientierung der Stereozilien im Vestibularapparat (Crista ampullaris und Macula statica)
Da der Reiz in den Sinneszellen durch die Ablenkung der Stereozilien *von* bzw. *zum* Kinozilium die Signaltransduktion bewirkt, müssen die Zilien räumlich unterschiedlich ausgerichtet sein, damit bei jeder Lage im Raum bzw. bei jeder Kopfdrehung bestimmte Rezeptoren erregt oder gehemmt werden. Durch die hier dargestellte Anordnung der Zilien wird gewährleistet, dass verschiedene Richtungen im Raum einem jeweils maximal empfindlichen Rezeptorenfeld zugeordnet sind. Die Pfeile markieren die Polarisation der Zilien, d. h. die Pfeilspitze weist immer in Richtung des Kinoziliums.
Beachte, dass die Sinneszellen in den Sinnesfeldern von Utriculus und Sacculus in entgegengesetzter Richtung angeordnet sind.



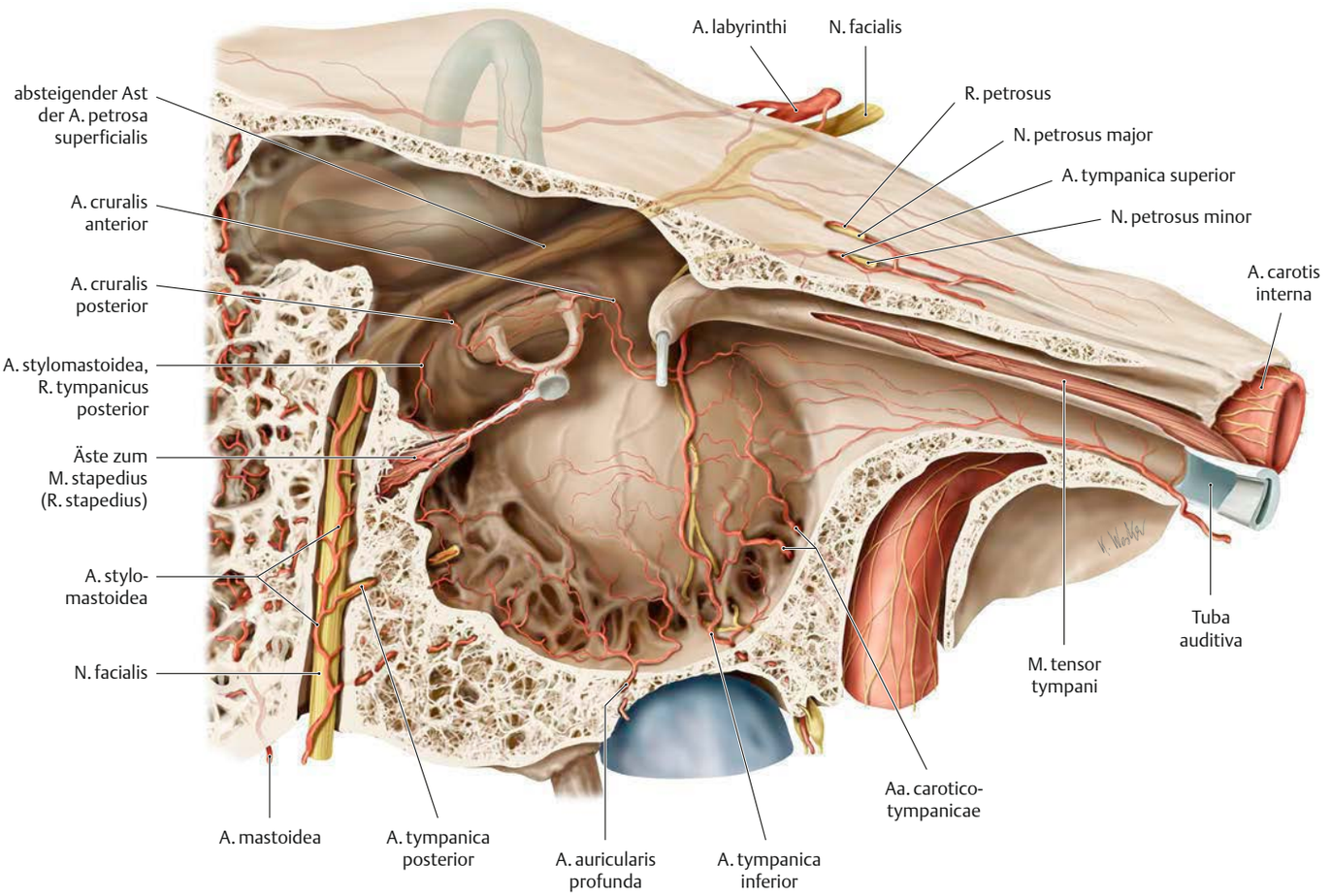
F Zusammenwirken kontralateraler Bogengänge bei der Kopfdrehung
Bei einer Kopfdrehung nach rechts (roter Pfeil) strömt die Endolymphe aufgrund der Massenträgheit nach links (blauer, durchgezogener Pfeil), wenn der Kopf als Bezugspunkt gewählt wird. Aufgrund der Ausrichtung der Stereozilien werden die linken und rechten Bogengangsorgane gegensätzlich stimuliert. Rechts erfolgt eine Ablenkung der Stereozilien in Richtung Kinozilium (gestrichelter Pfeil; Folge: Erhöhung der Impulsfrequenz), links hingegen vom Kinozilium weg (gestrichelter Pfeil; Folge: Erniedrigung der Impulsfrequenz). Diese Anordnung dient der Kontrasterhöhung des Reizes und damit der Steigerung der Empfindlichkeit, d. h. der Unterschied zwischen erniedrigter Impulsfrequenz auf der einen Seite und erhöhter Impulsfrequenz auf der anderen Seite führt dazu, dass der jeweilige Reiz umso stärker wahrgenommen wird.

5.8 Blutversorgung des Felsenbeins

A Herkunft der wichtigsten Arterien der Paukenhöhle

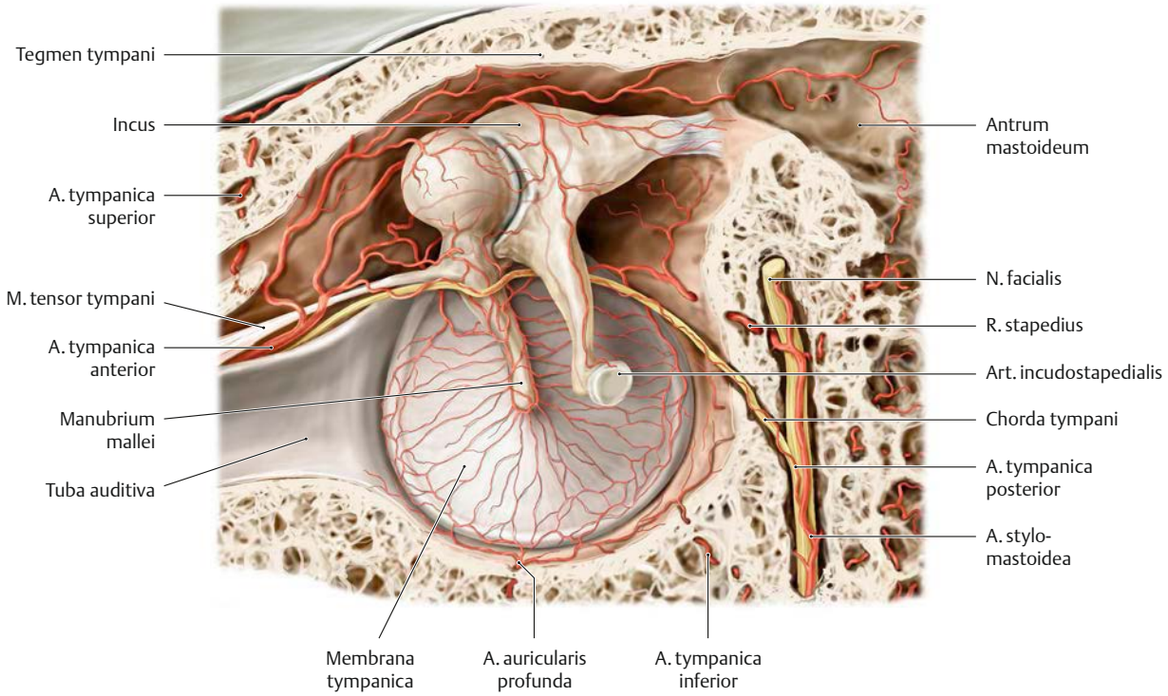
Mit Ausnahme der Aa. caroticotympanicae (Äste der A. carotis interna, Pars petrosa) stammen alle Gefäße zur Versorgung der Paukenhöhle aus der A. carotis externa. Die Gefäße anastomosieren häufig untereinander und erreichen z. B. die Gehörknöchelchen über Schleimhautfalten. Innerhalb der Gehörknöchelchen verlaufen intraosseale Gefäße.

Arterie	Herkunft	Versorgungsgebiet
Aa. caroticotympanicae	A. carotis interna	Tube und vordere Wand der Paukenhöhle
A. stylomastoidea	A. auricularis posterior	hintere Wand der Paukenhöhle, Cellulae mastoideae, M. stapedius, Stapes
A. tympanica inferior	A. pharyngea ascendens	Boden der Paukenhöhle, Promontorium
A. auricularis profunda	A. maxillaris	Trommelfell, Boden der Paukenhöhle
A. tympanica posterior	A. stylomastoidea	Chorda tympani, Trommelfell, Malleus
A. tympanica superior	A. meningea media	M. tensor tympani, Dach der Paukenhöhle, Stapes
A. tympanica anterior	A. maxillaris	Trommelfell, Antrum mastoideum, Malleus, Incus

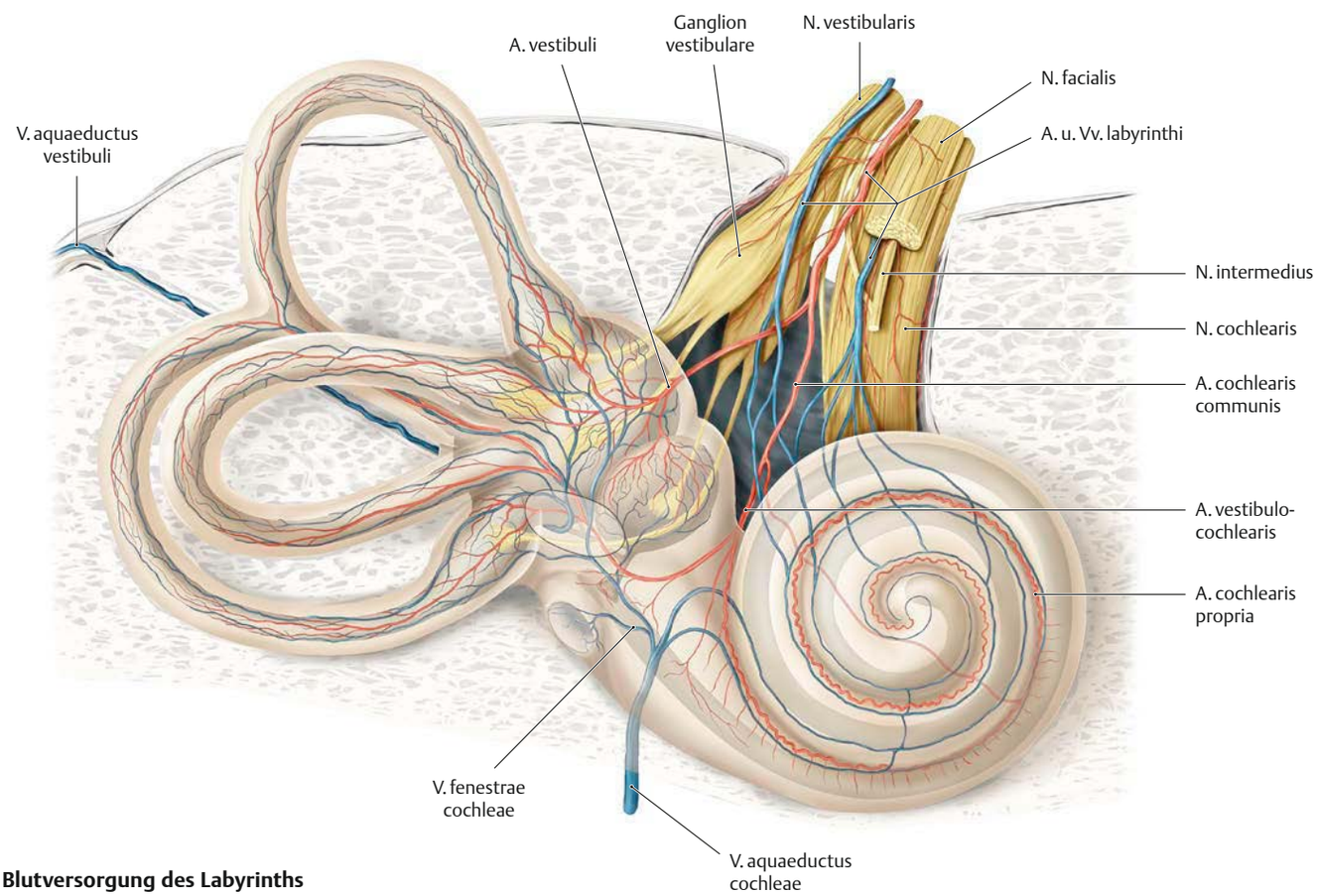


B Arterien der Paukenhöhle und der Cellulae mastoideae

Rechtes Felsenbein, Ansicht von schräg lateral. Hammer und Amboss sowie Teile der Chorda tympani und die mit ihr verlaufende A. tympanica anterior sind entfernt worden.

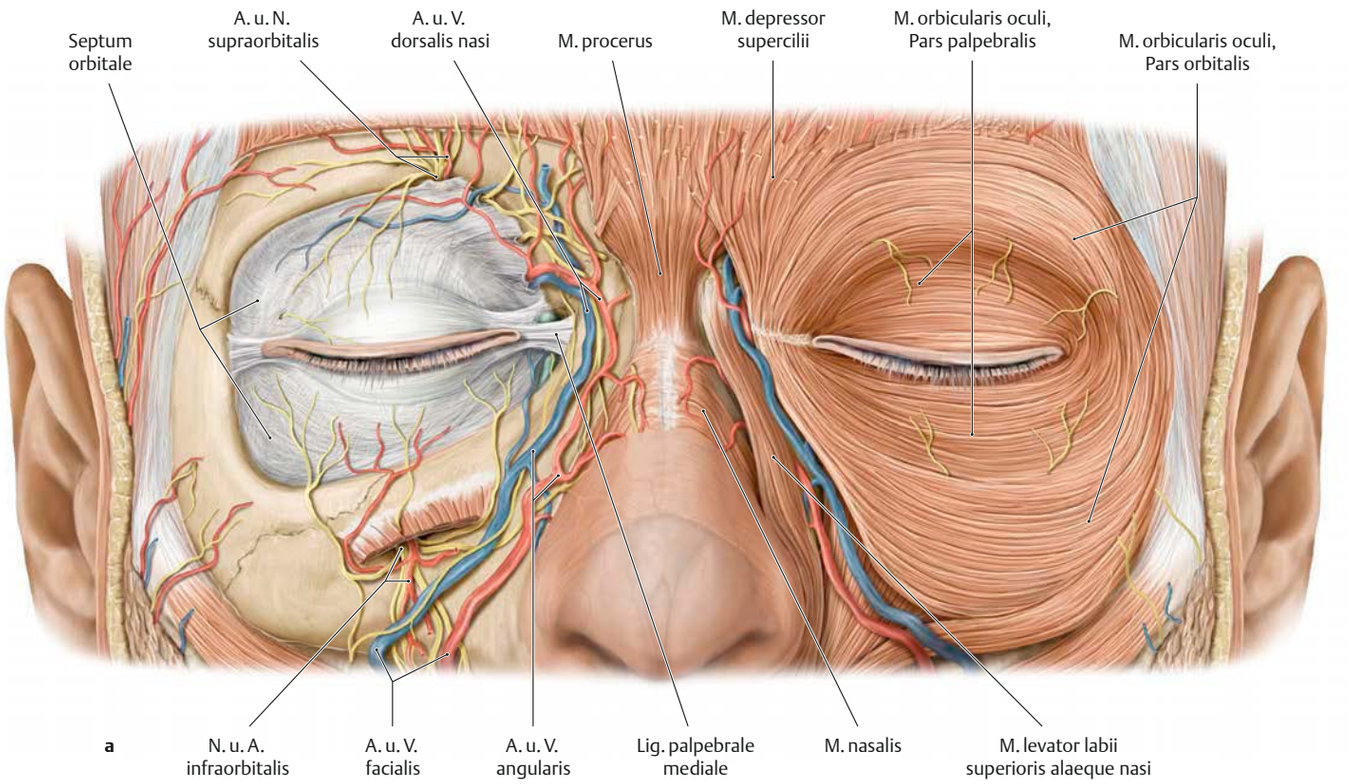


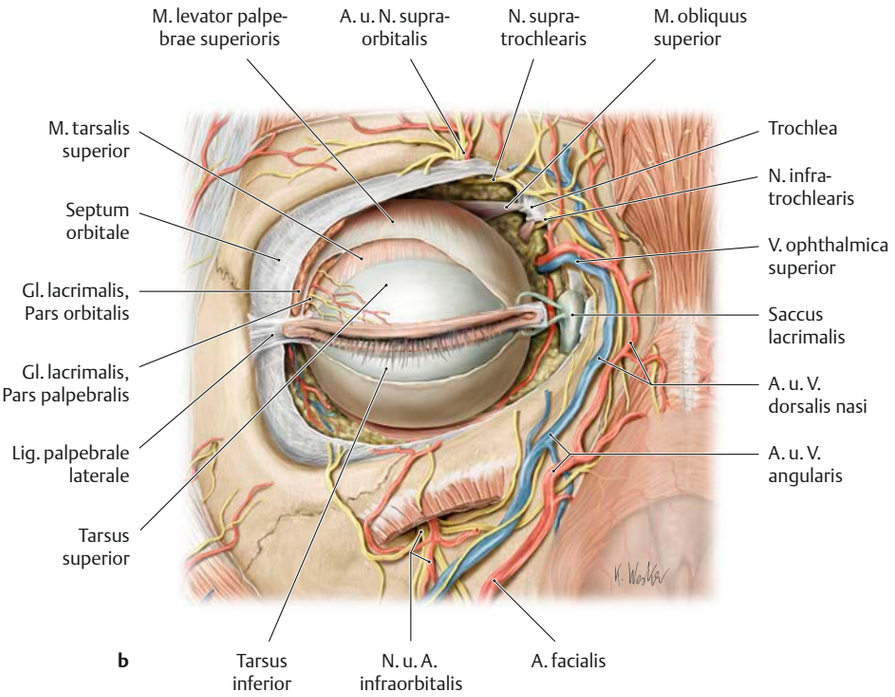
C Gefäßversorgung von Gehörknöchelchenkette und Trommelfell
Sicht von medial auf das rechte Trommelfell. Die Hauptversorgung dieses Bereiches geschieht durch die A. tympanica anterior. Bei einer Entzündung des Trommelfells können sich die Arterien stark erweitern, so dass ihr Verlauf im Trommelfell wie hier dargestellt sichtbar wird.



D Blutversorgung des Labyrinths
Ansicht von frontal rechts. Die arterielle Versorgung des gesamten Labyrinths erfolgt aus der A. labyrinthi, einem Ast der A. inferior anterior cerebelli. Gelegentlich entspringt sie direkt aus der A. basilaris.

5.9 Auge: Regio orbitalis, Augenlider (Palpebrae) und Bindehaut (Tunica conjunctiva)





A Oberflächliche und tiefe Leitungsbahnen der Regio orbitalis

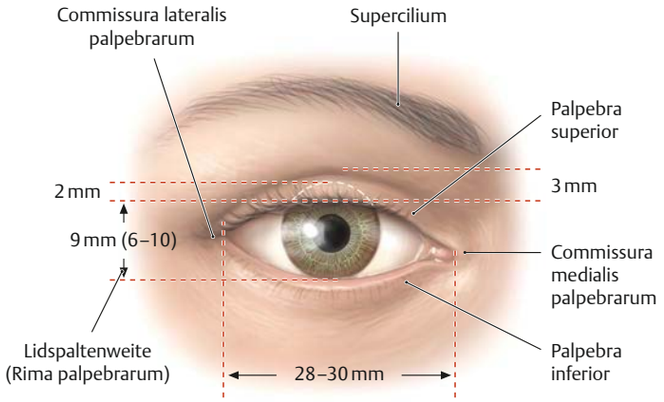
Rechtes Auge, Ansicht von frontal.

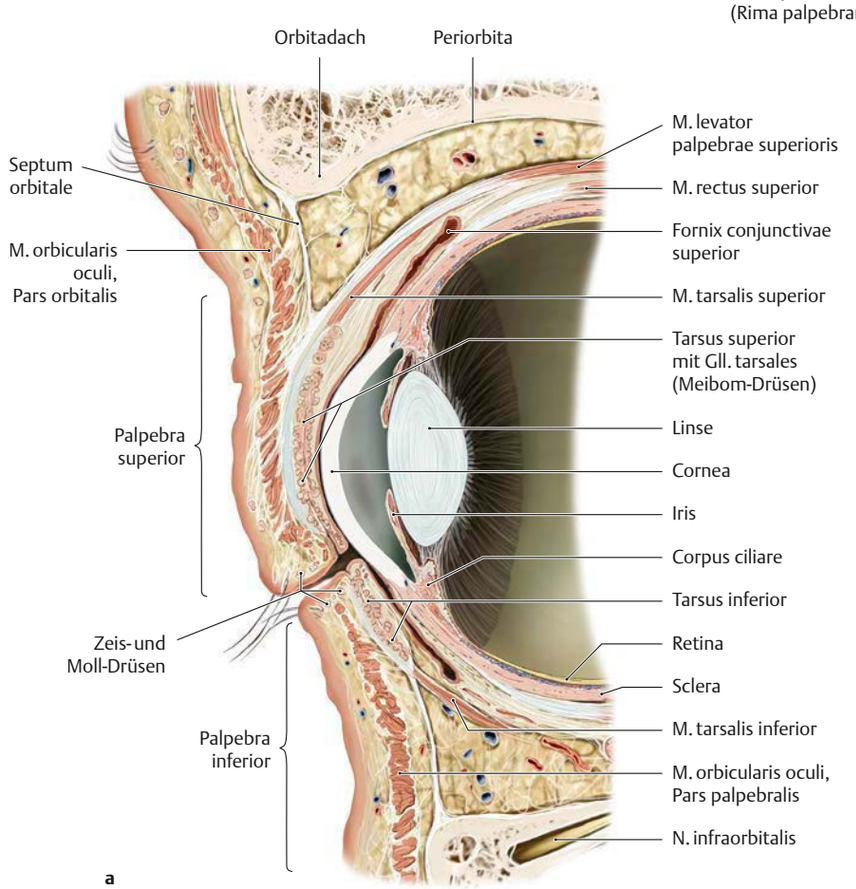
a Oberflächliche Schicht (auf der rechten Seite: Darstellung des Septum orbitale nach Entfernung des M. orbicularis oculi); **b** tiefe Schicht (Darstellung der Strukturen im vorderen Bereich der Orbita nach partieller Entfernung des Septum orbitale).

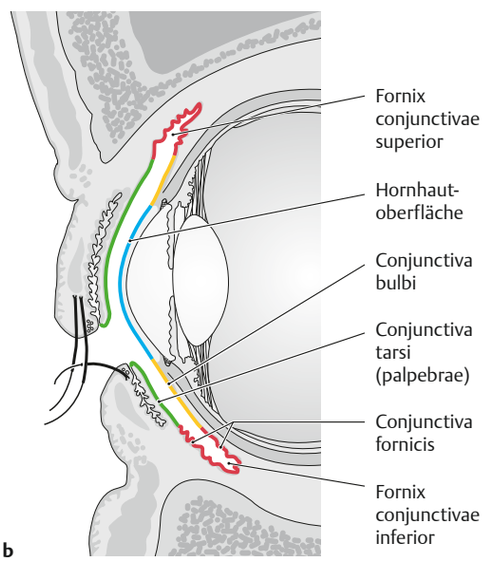
In dieser Region überschneiden sich die Versorgungsgebiete von A. carotis *interna* (aus der Orbita stammendes Gefäß: A. supraorbitalis) und A. carotis *externa* (A. infraorbitalis, A. facialis). Da die Anastomose zwischen V. angularis (extrakraniell) und Vv. ophthalmicae superiores (intrakraniell) eine Eintrittspforte für Keime in den Sinus cavernosus sein kann (Gefahr der Sinusthrombose, Meningitis), muss diese Anastomose, z. B. bei ausgedehnten Infektionen der äußeren Gesichtsregion, in der Regio orbitalis unterbunden werden (s. **D**, S. 227).

Beachte den Durchtritt der Nn. supra- und infraorbitales (V_1,V_2) durch die gleichnamigen Foramina; an diesen Nervenaustrittspunkten wird die Sensibilität dieser beiden Trigeminusäste geprüft.

B Oberflächenanatomie des Auges
Rechtes Auge, Ansicht von frontal. Die Maße geben die Weite der normalen Lidspalte an. Diese Maße sollten bekannt sein, da es eine Reihe von Erkrankungen gibt, bei denen sie verändert sind, wie z. B. Erweiterung bei peripherer Fazialisparese oder Verengung bei Ptosis (= herabhängendes Lid), z. B. infolge einer Okulomotoriusparese.







C Aufbau von Augenlidern und Bindehaut
a Sagittalschnitt durch die vordere Orbitahöhle; **b** Lokalisation der Bindehaut.
Am **Augenlid (Palpebra)** wird klinisch ein Außen- und ein Innenblatt mit folgenden Bestandteilen unterschieden:

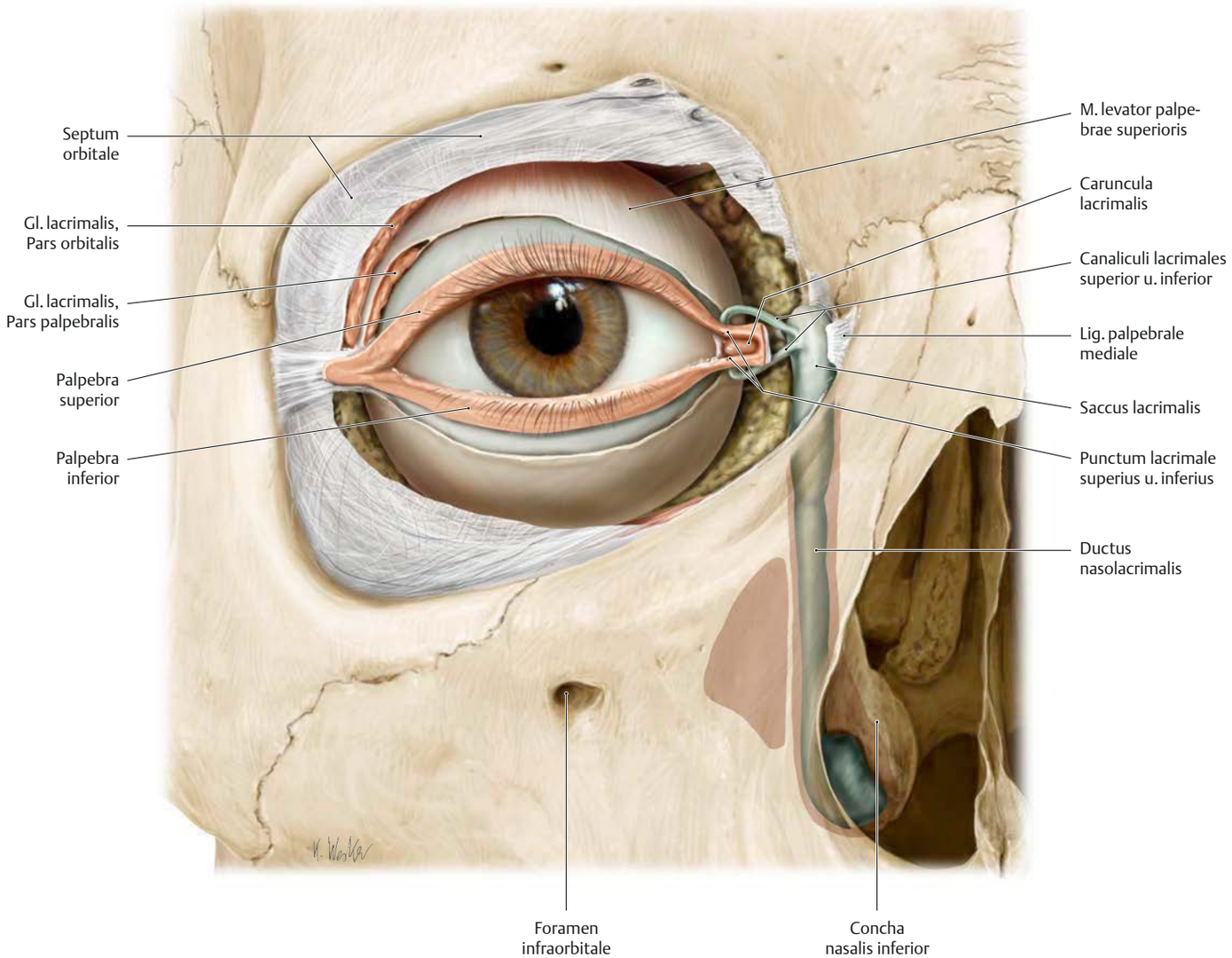
- Außenblatt: Lidhaut; Schweißdrüsen; Gll. ciliares (= modifizierte Schweiß- oder Moll-Drüsen) und Gll. sebaceae (= Talg- oder Zeis-Drüsen) sowie die *quergestreiften* Mm. orbicularis oculi und levator palpebrae (nur Oberlid), durch N. facialis bzw. N. oculomotorius innerviert.
- Innenblatt: Lidplatte (Tarsus), Mm. tarsales superior und inferior (auch als M. tarsalis Müller bezeichnet; *glatt*, durch Sympathikus innerviert), Lidbindehaut (Conjunctiva tarsi bzw. palpebrae) und Gll. tarsales (Talg- oder Meibom-Drüsen).

Der regelmäßige *Lidschlag* (20–30-mal pro Minute) sorgt dafür, dass das Auge nicht austrocknet (gleichmäßiges Verteilen von Tränenflüssigkeit und Drüsensekreten, s. S. 161). Mechanische Reize (z. B. Sandkörner) lösen den *Lidschlussreflex* aus, der ebenfalls dem Schutz von Horn- und Bindehaut dient. Die **Bindehaut** (**Tunica conjunctiva,** kurz Conjunctiva) ist eine gefäßführende, dünne und glänzende Schleimhautschicht, die in *Conjunctiva tarsi* bzw. *palpebrae* (Lidbindehaut, s. oben), *Conjunctiva fornicis* und *Conjunctiva bulbi* untergliedert wird. An die Conjunctiva bulbi grenzt die Hornhautoberfläche an. Mit ihr zusammen bildet sie den **Bindehautsack,** der v. a. folgendes sicherstellt:

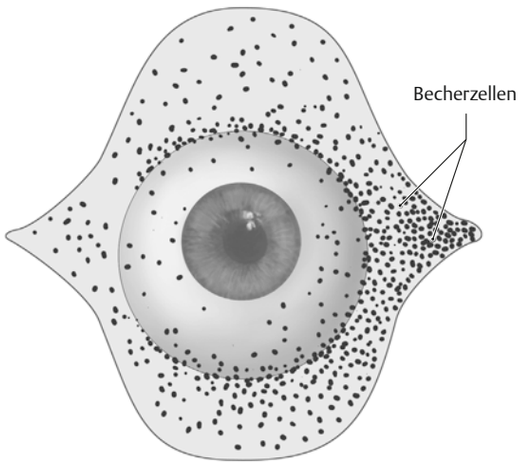
- die Beweglichkeit des Augapfels,
- das störungs- und schmerzfreie Gegeneinanderbewegen der Schleimhautschichten von Conjunctiva tarsi und bulbi (Schmiere: Tränenflüssigkeit) und
- den Schutz vor Erregern (Lymphozytenansammlungen in den Umschlagsfalten).

Der Bindehautsack bildet ein oberes und unteres Konjunktivalgewölbe (Fornix conjunctivae superior bzw. inferior), in das Medikamente eingetropft werden können. *Entzündungen der Bindehaut* sind häufig, dabei werden die Gefäße in der Conjunctiva so erweitert, dass ein „rotes Auge" resultiert. Umgekehrt kann man bei einem Mangel an Erythrozyten (Anämie) an der Bindehaut eine verminderte Zeichnung der Blutgefäße erkennen. Deshalb sollte die Bindehaut bei jeder klinischen Untersuchung angesehen werden.

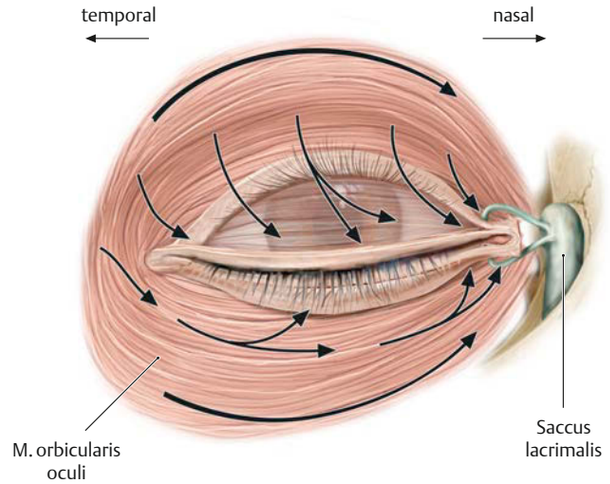
5.10 Tränenapparat



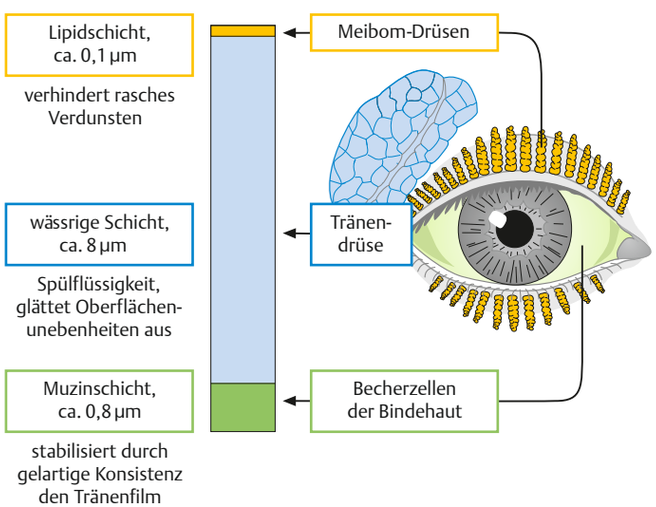
A Tränenapparat
Rechtes Auge, Ansicht von frontal; Septum orbitale teilweise entfernt, Ansatzsehne des M. levator palpebrae superioris durchtrennt. Die haselnussgroße **Tränendrüse (Gl. lacrimalis)** liegt in der Fossa glandulae lacrimalis des Stirnbeins und bildet die Hauptmenge der Tränenflüssigkeit. Darüber hinaus gibt es kleinere, *akzessorische Tränendrüsen* (Krause- oder Wolfring-Drüsen). Die Sehne des M. levator palpebrae unterteilt die Gl. lacrimalis, die normalerweise nicht sicht- und tastbar ist, in einen *orbitalen* (⅔) und einen *palpebralen Lappen* (⅓). Die *sympathischen* Fasern zur Innervation der Tränendrüse stammen aus dem Ganglion cervicale superius und gelangen über die Arterien zur Tränendrüse; die *parasympathische* Innervation ist komplex (s. S. 127). Zum Verständnis des **Tränenapparates** verfolge man den Tränenfluss von schräg temporal (oder lateral) oben nach schräg nasal (oder medial) unten: Die Tränenflüssigkeit gelangt über die *Tränenpünktchen* (Puncta lacrimale superius und inferius) in die *Tränenröhrchen* (Canaliculi lacrimales superior und inferior) und von dort in den *Tränensack* (Saccus lacrimalis). Schließlich wird sie durch den *Tränen-Nasen-Gang* (Ductus nasolacrimalis) unter die untere Muschel der Nase (Concha nasalis inferior) drainiert. Wenn die untere Öffnung des Ductus nasolacrimalis verstopft ist (wie z. B. bei Schnupfen), triefen dadurch die Augen.



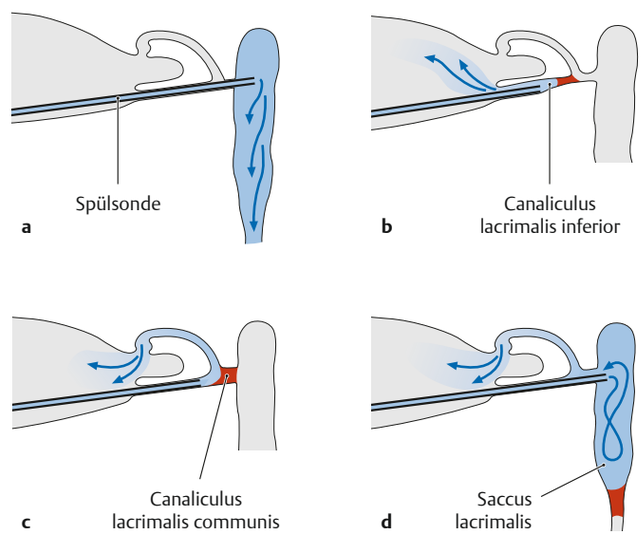
B Verteilung der Becherzellen in der Conjunctiva
(nach Calabria u. Rolando)
Becherzellen sind schleimsezernierende Zellen innerhalb eines bedeckenden Epithels. Ihre Sekrete (Muzine) stellen einen wichtigen Bestandteil der Tränenflüssigkeit dar (s. **C**). Muzine werden zusätzlich zu den Becherzellen noch von der Haupttränendrüse sezerniert.



D Mechanische Propulsion der Tränenflüssigkeit
Die Kontraktion des M. orbicularis beim Lidschluss erfolgt von temporal nach nasal. Sie wird vom N. facialis gesteuert. Die sukzessive Kontraktion presst die Tränenflüssigkeit in Richtung ableitende Tränenwege.
Beachte: Bei einer Fazialisparese fällt der Lidschluss aus, das Auge trocknet aus.



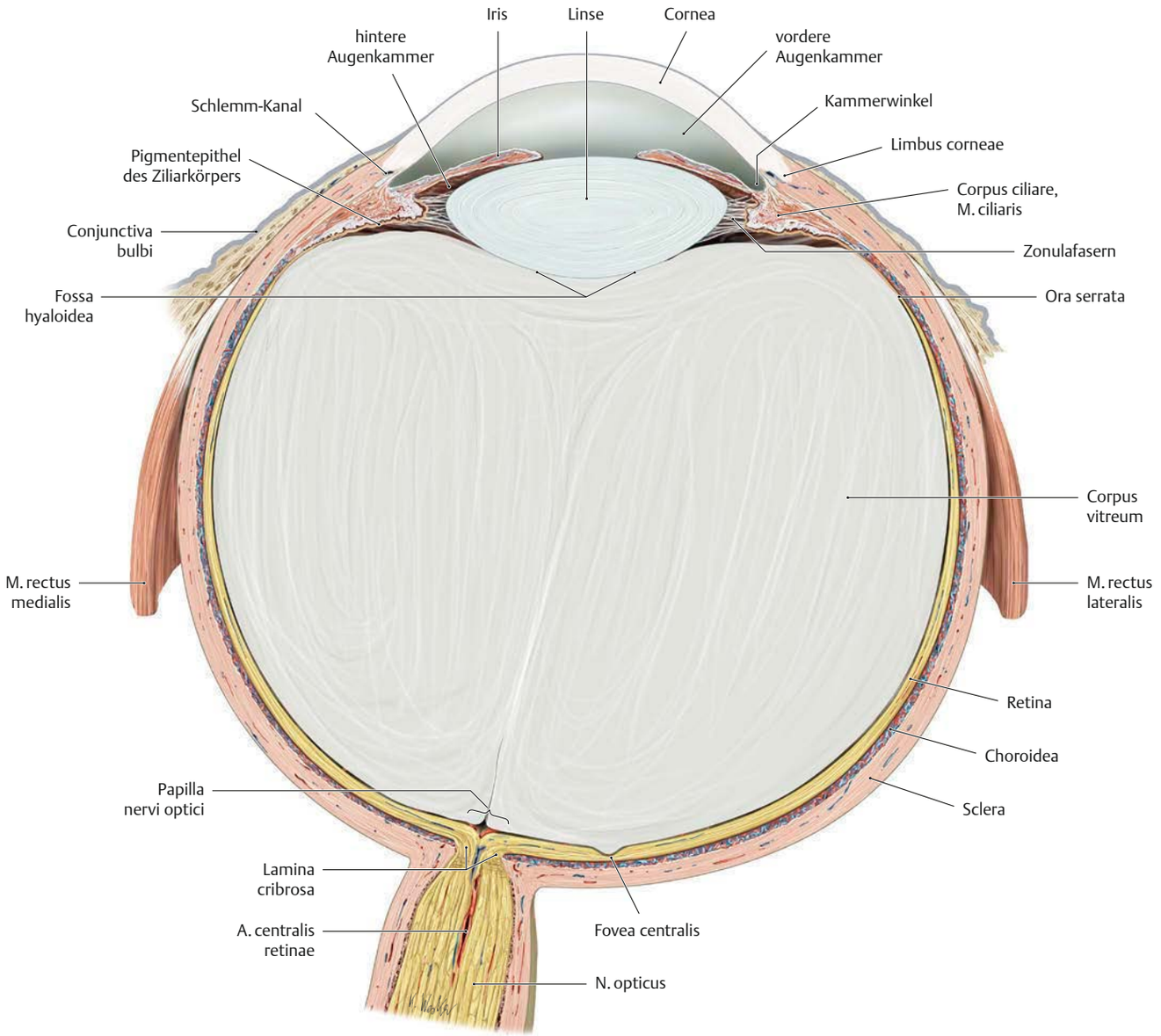
C Aufbau des Tränenfilms (nach Lang)
Der Tränenfilm ist eine komplexe Flüssigkeit mit mehreren morphologisch definierten Schichten, deren einzelne Komponenten von verschiedenen Drüsen gebildet werden. Die äußere Lipidschicht verhindert ein schnelles Verdunsten des Tränenfilms.



E Abflusshindernisse in den ableitenden Tränenwegen (nach Lang)
Abflusshindernisse in den ableitenden Tränenwegen können durch Spülung mit einer speziellen Flüssigkeit lokalisiert werden. Dazu muss die Anatomie des Tränenapparates sowie der normale Abflussweg der Tränenflüssigkeit (s. **A**) bekannt sein.

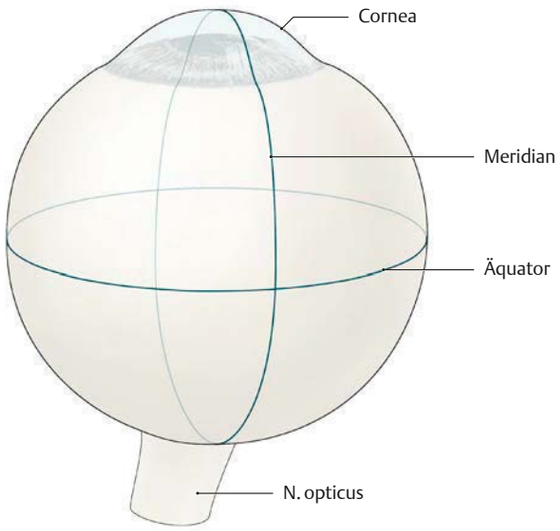
a Kein Abflusshindernis (vgl. **A**).
b u. **c** Stenose im Canaliculus lacrimalis inferior bzw. communis; in Folge der Stenose fließt die Tränenflüssigkeit ab der blockierten Stelle wieder zurück, im 1. Fall durch den Canaliculus lacrimalis inferior, im 2. Fall durch den Canaliculus lacrimalis superior.
d Stenose unterhalb des Saccus lacrimalis (= infrasakkale Stenose); die Flüssigkeit fließt erst nach einer gewissen Zeit (Füllung des gesamten Tränensacks) durch den Canaliculus lacrimalis superior wieder ab und ist dann oft eitrig und gallerthaltig.

5.11 Augapfel (Bulbus oculi)

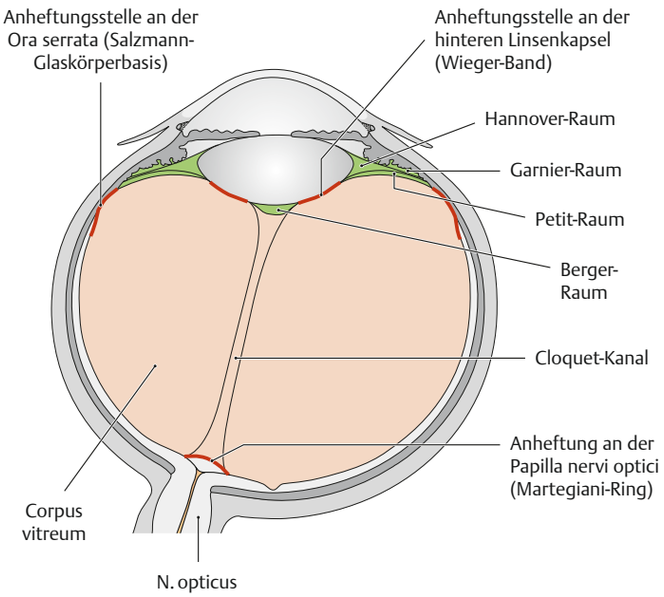


A Horizontalschnitt durch den Augapfel (Bulbus oculi)
Rechtes Auge, Ansicht von kranial. Der größte Teil des Augapfels ist von außen nach innen aus drei Schichten aufgebaut: Lederhaut (Sclera); Aderhaut (Choroidea) und Netzhaut (Retina).

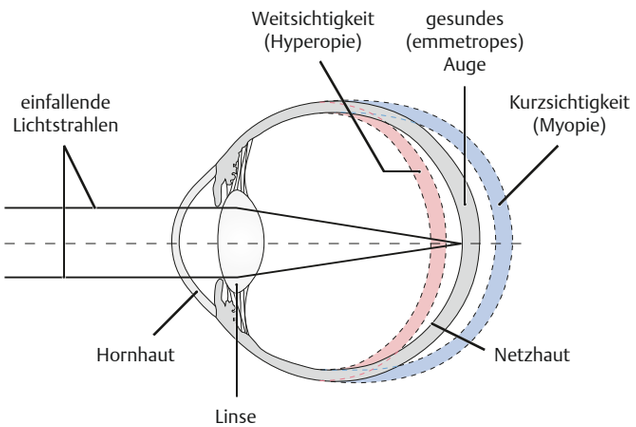
Die *vorderen* Teile des Augapfels weichen jedoch von dieser Bauweise ab. Dort wird die Außenhülle des Augapfels **(Tunica fibrosa bulbi)** von der **Hornhaut (Cornea)** gebildet (vorderer Abschnitt der Tunica fibrosa bulbi). Sie wölbt sich als „Fenster des Auges" wie ein Uhrglas über die darunter liegenden Strukturen. Am Limbus corneae geht sie in die schwächer gekrümmte **Lederhaut (Sclera)** über, die den hinteren Abschnitt der Tunica fibrosa bulbi bildet. An dieser derben Bindegewebsschicht setzen alle äußeren Augenmuskeln an. Vorne am Auge, im Kammerwinkel, bildet die Sclera das Trabekelwerk, an das sich der Schlemm-Kanal anschließt (zum Trabekelwerk, s. S. 167). Am dorsalen Ende befindet sich die Lamina cribrosa, durch die die Axone des Sehnervs hindurchtreten. Unterhalb der Sclera liegt die **Gefäßhaut** (**Tunica vasculosa bulbi** oder **Uvea**). Sie besteht im vorderen Teil des Auges aus drei Abschnitten: Regenbogenhaut (Iris), Ziliarkörper (Corpus ciliare) und Aderhaut (Choroidea), wobei die Choroidea (s. unten) um den gesamten Augapfel herum zieht. Die Iris schirmt das Auge vor übermäßigem Lichteinfall ab (s. S. 167) und bedeckt die Linse (Lens). Ihre Wurzel geht in den Ziliarkörper über, in dem der für die Akkommodation verantwortliche M. ciliaris (Brechkraftveränderung der Linse, s. S. 165) liegt. Das Epithel über dem Ziliarkörper produziert das Kammerwasser. An der Ora serrata geht der Ziliar*körper* (s. unten) in die **Aderhaut (Choroidea)** über, die mittlere Schicht des Bulbus. Sie ist die am stärksten durchblutete Region des Körpers und dient der Temperaturregulation des Bulbus sowie der Ernährung der äußeren Netzhautschichten. Die innerste Schicht des Augapfels **(Tunica interna bulbi)** enthält als **Netzhaut (Retina)** die lichtempfindlichen Sinneszellen (Stratum nervosum) und das Pigmentepithel (Stratum pigmentosum), im vorderen Abschnitt das Pigmentepithel des Ziliarkörpers sowie das Epithel der Regenbogenhaut. Die etwa 4 mm temporal liegende *Fovea centralis* stellt die Stelle des schärfsten Sehens dar. Auf sie wird das einfallende Licht normalerweise fokussiert. Das Innere des Augapfels ist durch den **Glaskörper (Corpus vitreum)** ausgefüllt (s. **C**).



B Orientierungspunkte und -linien am Auge
Die Linie des größten Umfangs des Augapfels nennt man *Äquator,* die senkrecht dazu verlaufenden Linien *Meridiane.*



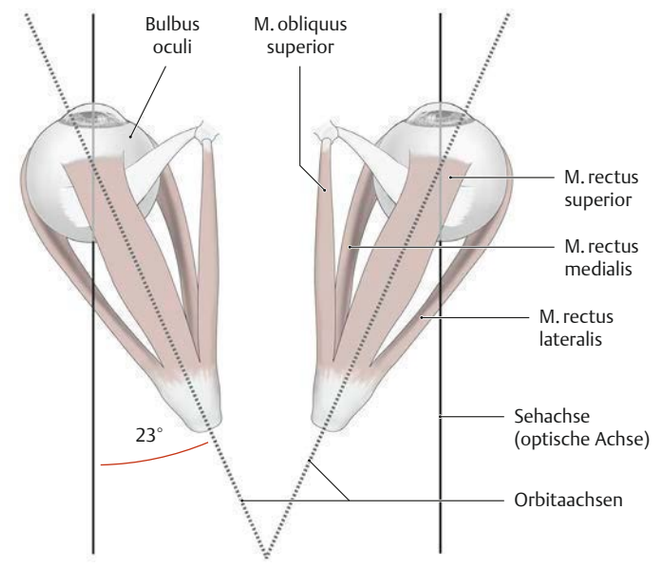
C Glaskörper (Corpus vitreum) (nach Lang)
Rechtes Auge, Horizontalschnitt in der Ansicht von kranial; Stellen, an denen der Glaskörper an anderen Strukturen des Auges angeheftet ist, sind rot dargestellt, angrenzende Räume grün. Der Glaskörper stabilisiert den Bulbus und verhindert damit eine Netzhautablösung. Er besteht zu 98 % aus Wasser und zu 2 % aus Hyaluronsäure und Kollagen und enthält weder Nerven noch Gefäße. Der Cloquet-Kanal ist ein embryologisches Relikt. Bei Erkrankungen kann der Glaskörper operativ entfernt werden (Vitrektomie); der so entstandene Hohlraum wird dann mit physiologischer Kochsalzlösung aufgefüllt.



D Lichtbrechung beim gesunden (emmetropen) und beim fehlsichtigen Auge
Parallele Strahlen aus dem Unendlichen (Fernsicht) werden durch die Hornhaut und die Linse normalerweise so gebrochen, dass ihr Brennpunkt auf der Netzhaut liegt.

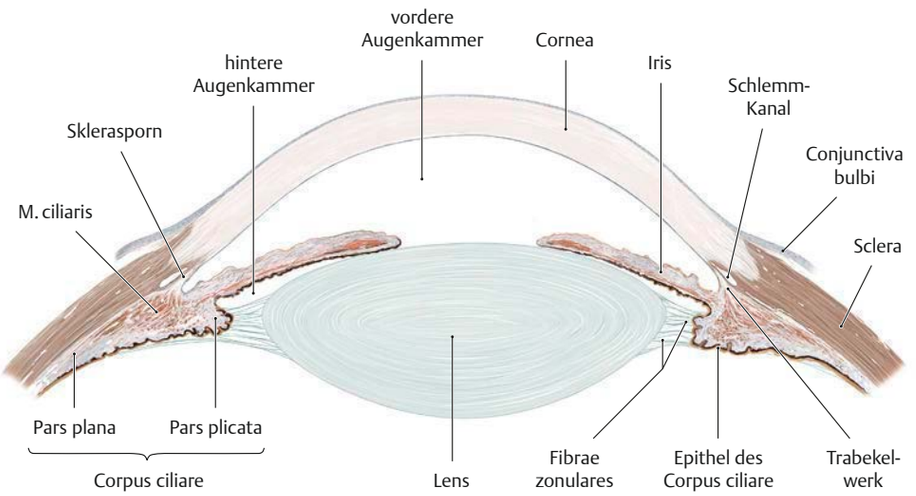
- Kurzsichtigkeit (Myopie, blau): Der Augapfel ist zu lang, die Strahlen werden vor der Netzhaut gebündelt.
- Weitsichtigkeit (Hyperopie, rot): Der Augapfel ist zu kurz, die Strahlen werden hinter der Netzhaut gebündelt.

Neben den hier dargestellten Bulbusanomalien können Kurz- und Weitsichtigkeit noch durch weitere seltene Ursachen wie z. B. Brechungsanomalien der Linse bedingt sein.



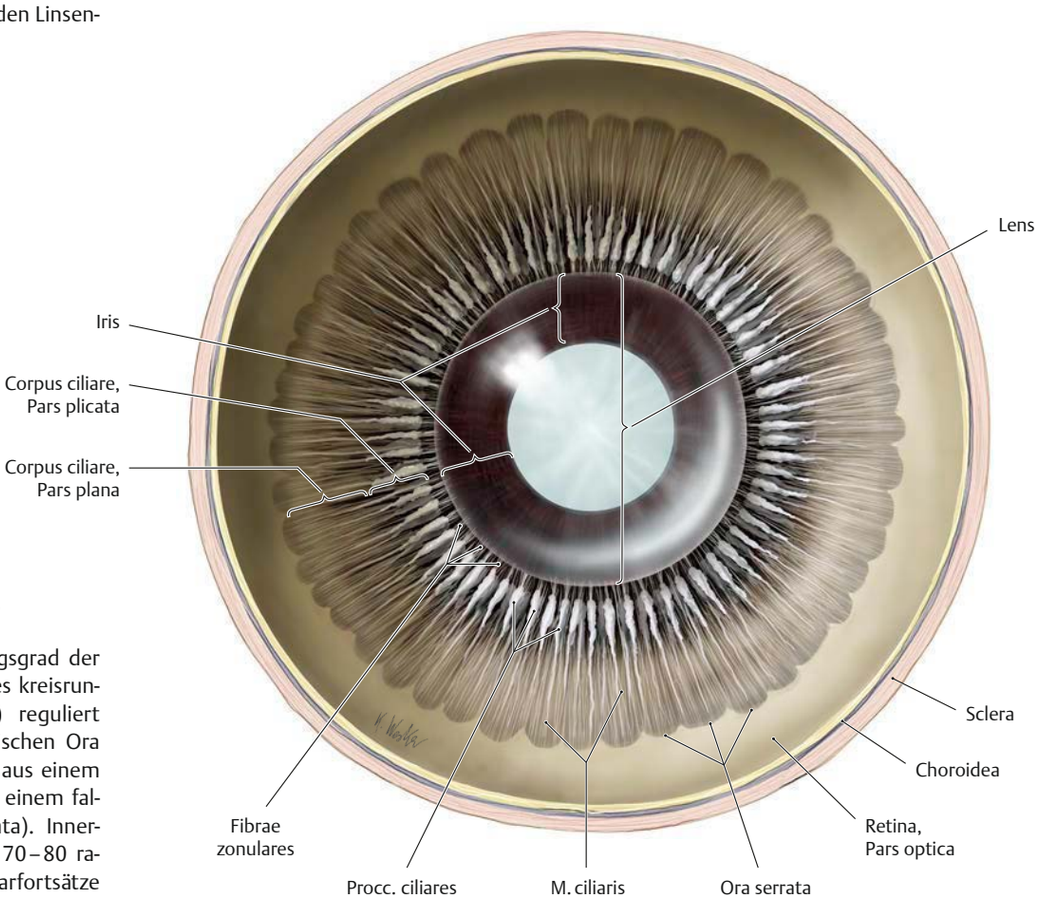
E Seh- und Orbitaachse
Sicht von kranial auf beide Augen; dargestellt sind die Mm. recti medialis, lateralis und superior sowie der M. obliquus superior. Die Sehachse (optische Achse) differiert von der Orbitaachse um 23°. Deshalb liegt der Punkt des schärfsten Sehens, die Fovea centralis, lateral des blinden Flecks (Papilla nervi optici, s. **A**).

5.12 Brechende Medien des Auges: Linse (Lens cristallina) und Hornhaut (Cornea)



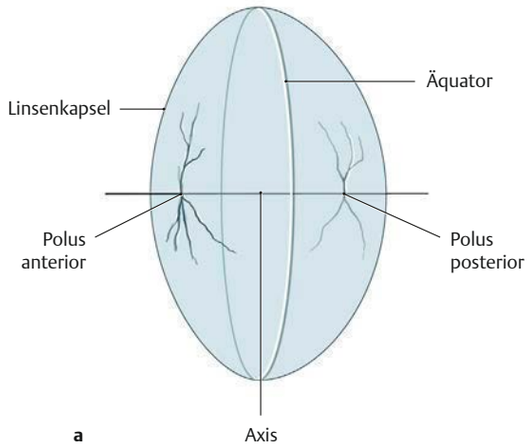
A Übersicht: Einbau von Linse (Lens cristallina) und Hornhaut (Cornea) in den Augapfel

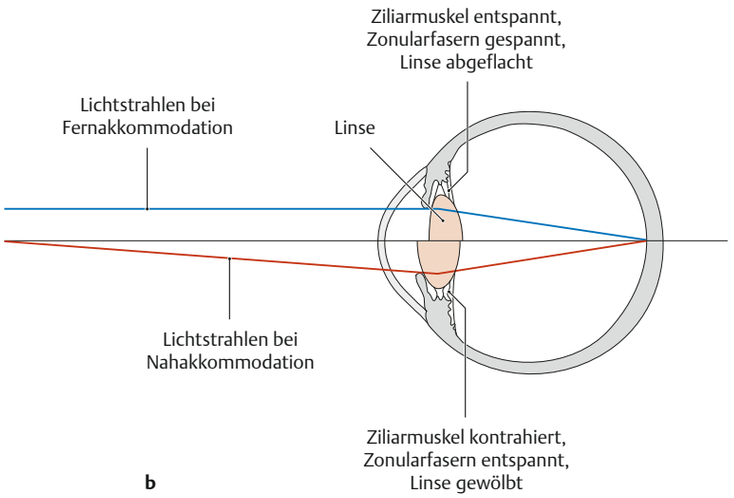
Histologischer Schnitt durch die Hornhaut sowie durch die Linse und ihren Halteapparat. Die normalerweise glasklare und nur 4 mm dicke Linse liegt locker in der Fossa hyaloidea des Glaskörpers (s. S. 162). Durch sehr feine Fasern (Zonulafasern = Fibrae zonulares) ist sie mit dem Ziliarmuskel verbunden, durch dessen Kontraktion sich Form und damit Brennweite der Linse ändern (zum Aufbau des Ziliarkörpers s. **B**). Das Auge ist also eine dynamische Struktur, die ihre Gestalt während des Sehens verändert (s. **Cb**). Vor der Linse liegt die Vorderkammer des Auges, zwischen Iris und vorderem Linsenepithel die Hinterkammer (s. S. 166). Wie der Glaskörper enthält auch die Linse weder Nerven noch Gefäße, sondern ist aus lang gestreckten Epithelzellen, den Linsenfasern, aufgebaut.



B Die Linse und ihr Halteapparat, das Corpus ciliare

Ansicht von dorsal. Der Krümmungsgrad der Linse wird durch die Muskulatur des kreisrunden Ziliarkörpers (Corpus ciliare) reguliert (s. **Cb**). Das *Corpus ciliare* liegt zwischen Ora serrata und Iriswurzel und besteht aus einem mehr ebenen Teil (Pars plana) und einem faltig aufgeworfenen Teil (Pars plicata). Innerhalb der Pars plicata liegen etwa 70–80 radiär ausgerichtete, wulstartige Ziliarfortsätze (Procc. ciliares), die von dorsal gesehen wie ein Strahlenkranz um die Linse angeordnet sind. Die Ziliarfortsätze enthalten weitlumige Kapillaren; ihr Epithel sezerniert das Kammerwasser (s. S. 167). Von den Ziliarfortsätzen (Lamina basalis) ziehen sehr feine Zonulafasern *(Fibrae zonulares)* zum Linsenäquator und bilden mit ihren Zwischenräumen den Aufhängeapparat der Linse *(Zonula ciliaris)*. Der größte Teil des Ziliarkörpers wird vom M. ciliaris eingenommen, der aus glatter Muskulatur mit meridionalen, radiären und zirkulären Faserzügen besteht. Er entspringt hauptsächlich vom sog. Sklerasporn (Verstärkungsring der Sklera unmittelbar unter dem Schlemm-Kanal) und zieht u. a. zur Bruch-Membran der Choroidea sowie zur Innenfläche der Sclera (vgl. Lehrbücher der mikroskopischen Anatomie). Bei Kontraktion zieht der M. ciliaris die Choroidea nach vorne und entspannt damit die Fibrae zonulares. Infolgedessen kann die Linse aufgrund ihrer Eigenelastizität ihre stärker gewölbte entspannte Form annehmen, die für das Nahsehen notwendig ist (s. **Cb**). Dieser Mechanismus ist die Grundlage der Akkommodation.



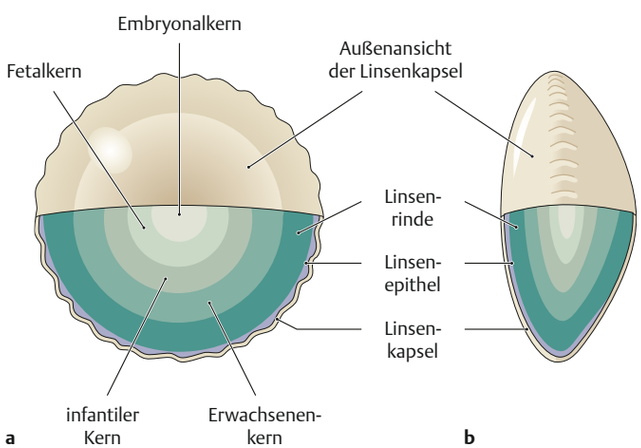


C Bezugslinien und Dynamik der Linse

a Die wichtigsten Bezugslinien der Linse: An der Linse werden vorderer und hinterer Pol (*Polus anterior* und *posterior*), die Verbindungslinie zwischen beiden Polen *(Axis)* sowie der *Linsenäquator* unterschieden. Die Linse ist bikonvex und hinten stärker gekrümmt (6 mm Krümmungsradius) als vorne (10 mm Krümmungsradius). Sie dient der Feineinstellung der Lichtstrahlen und hat je nach Akkommodationszustand eine Brechkraft von 10–20 Dioptrien. Die Hornhaut hat mit 43 Dioptrien die wesentlich größere Brechkraft.

b Lichtbrechung und Dynamik der Linse:

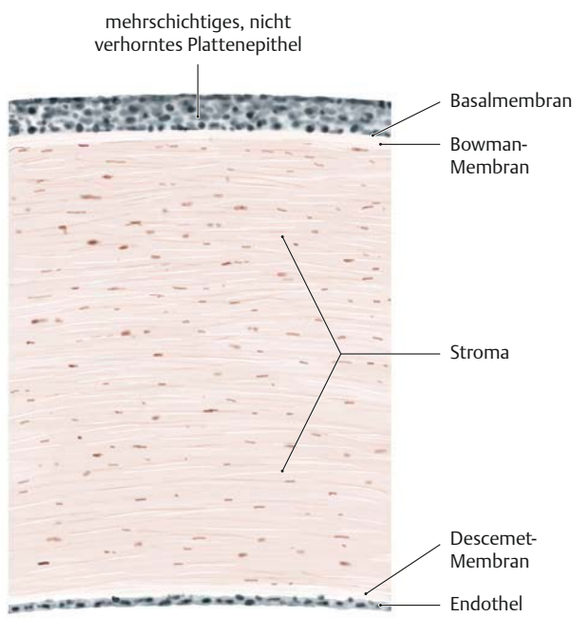
- Obere Bildhälfte: Ferneinstellung des Auges bei *Fernsicht.* Aus dem Unendlichen treffen parallele Strahlen ein, die Linse ist flach.
- Untere Bildhälfte: Bei der *Naheinstellung* (Akkommodation; bei Objekten, die weniger als 5 m vom Auge entfernt sind) wird die Linse zur Fixierung des Objekts kugeliger (s. **B**). Dies geschieht durch Kontraktion des Ziliarmuskels (parasympathische Innervation aus dem N. oculomotorius), die dazu führt, dass sich die Zonulafasern entspannen und die Linse aufgrund ihrer Eigenelastizität kugelförmiger wird.



D Wachstum und Zonierung der Linse (nach Lang)

a Vorderansicht; **b** Seitenansicht.

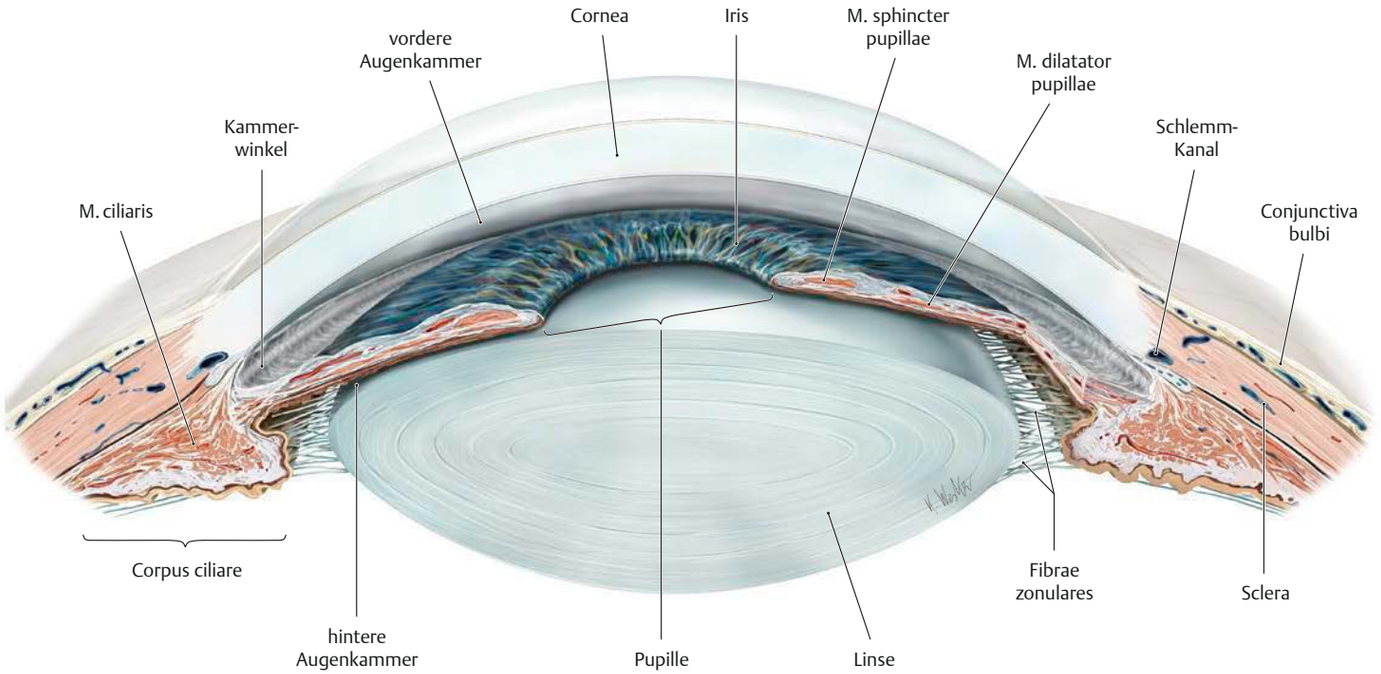
Die Linse wächst zeitlebens weiter und zwar umgekehrt als andere epitheliale Gebilde, so dass sich die jüngsten Zellen immer an der Oberfläche, die ältesten in der Mitte der Linse befinden. Durch die ständige Vermehrung der Epithelzellen, die alle fest in der Linsenkapsel eingeschlossen sind, verdichtet sich das Gewebe der Linse permanent. Man kann deshalb mit der Spaltlampe Zonen unterschiedlicher Zelldichte feststellen (sog. Linsenzonierung). Dabei liegt die Zone mit der größten Zelldichte, der *Embryonalkern,* am weitesten innen. Er wird während des weiteren Wachstums vom *Fetalkern* umschlossen; nach der Geburt entsteht dann der *infantile Kern* und letztlich der *Erwachsenenkern* (ab dem 3. Lebensjahrzehnt). Diese Zonierung ist die Grundlage für die morphologische Klassifizierung von *Katarakten* (= grauer Star), einer Strukturveränderung der Linse, die im Alter mehr oder weniger physiologisch und damit sehr häufig ist: 10 % aller 80-Jährigen leiden an einer Katarakt! Man spricht dann z. B. von einer Kernkatarakt.



E Aufbau der Hornhaut (Cornea)

Die Cornea wird außen von einem mehrschichtigen, nicht verhornten Plattenepithel bedeckt, dessen Basallamina an die Lamina limitans anterior (Bowman-Membran) angrenzt. Die Substantia propria, das sog. Stroma, macht etwa 90 % der Hornhautdicke aus und wird nach innen von der Lamina limitans posterior (Descemet-Membran) begrenzt. Darunter liegt ein einschichtiges Hornhautendothel. Die Hornhaut ist zwar innerviert (Kornealreflexe), aber nicht vaskularisiert und dadurch immunologisch privilegiert: Eine Hornhautransplantation kann daher normalerweise ohne Rücksicht auf die immunologisch bedingten Abstoßungsreaktionen durchgeführt werden.

5.13 Iris und Kammerwinkel



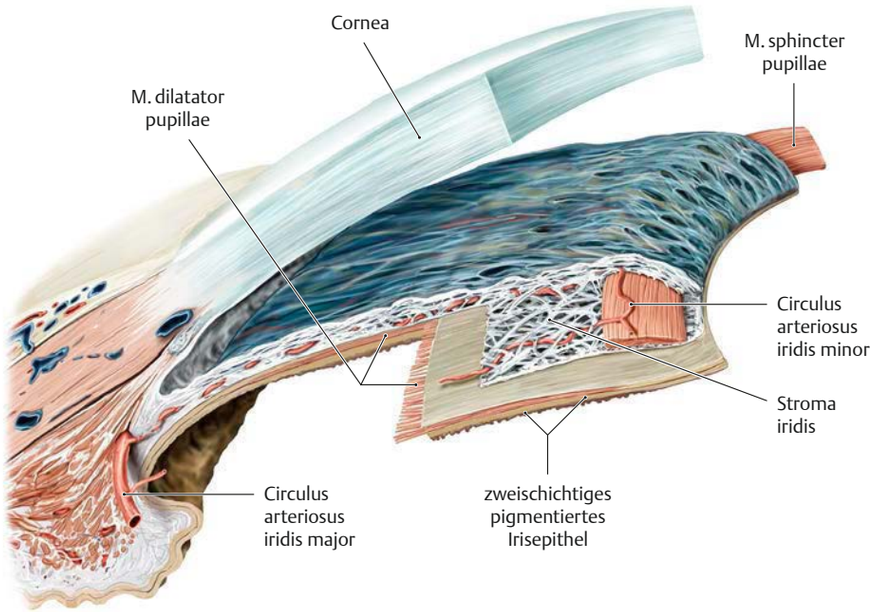
A Lage von Iris sowie Vorder- und Hinterkammer (Camera anterior und Camera posterior)
Horizontalschnitt durch den vorderen Augenabschnitt, Ansicht von kranial. Die Iris (Regenbogenhaut) ist mit Aderhaut (Choroidea) und Ziliarkörper (Corpus ciliare), in den ihr äußerer Rand übergeht, ein Teil der Gefäßhaut (Uvea). In ihr werden die Pigmente gebildet, die unsere Augenfarbe bestimmen (s. **D**). Die Iris bildet eine Lochblende vor der Linse mit einer zentralen Öffnung, der Pupille. Diese Öffnung (Durchmesser 1–8 mm) verengt sich bei Kontraktion des M. sphincter pupillae (*parasympathisch* innerviert durch N. oculomotorius) und weitet sich bei Kontraktion des M. dilatator pupillae (*sympathisch* innerviert über den Plexus caroticus internus). Iris und Linse zusammen trennen vordere (Camera anterior) und hintere Augenkammer (Camera posterior) voneinander ab. Die hintere Augenkammer liegt an der Rückseite der Iris. Nach hinten grenzt sie an den Glaskörper, zur Mitte an die Linse und seitlich an den Ziliarkörper an. Die Vorderkammer wird vorn von der Cornea, hinten durch die Iris und die Linse begrenzt.



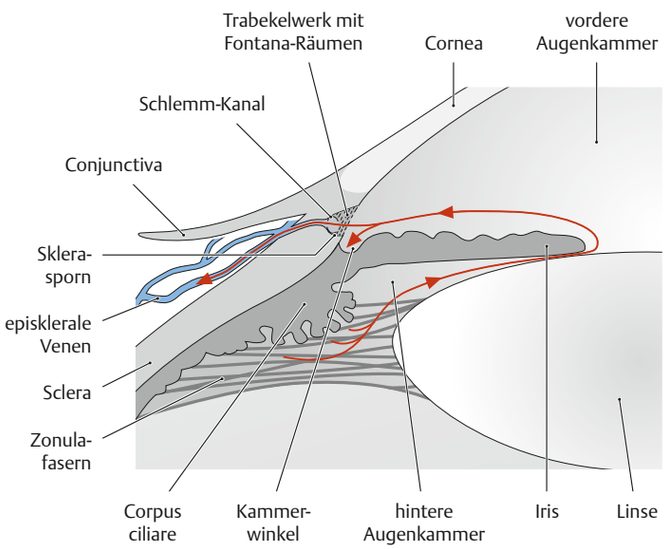
B Pupillenweite
a Normale Pupillenweite; **b** maximale Verengung (Miosis); **c** maximale Dilatation (Mydriasis).
Die Pupillenweite wird mit Hilfe der beiden inneren Augenmuskeln, M. sphincter pupillae und M. dilatator pupillae (s. **D**) reguliert: Der parasympathisch innervierte M. sphincter pupillae verengt die Pupille, der vom Sympathikus versorgte M. dilatator pupillae erweitert sie. Die Pupillenweite wird normalerweise durch den Lichteinfall reguliert und dient v. a. der Verbesserung der Abbildungsschärfe. Beim Gesunden sind die Pupillen kreisrund und gleich groß (normale Weite 3–5 mm). Durch unterschiedliche Einflüsse (s. **C**) kann die Pupillenweite zwischen 8 mm (= Mydriasis) und 1,5 mm (= Miosis) schwanken. Seitenunterschiede in der Pupillenweite nennt man *Anisokorie.* Zu den Pupillenreflexen, z. B. konsensuelle Lichtreaktion, Konvergenzbewegung, s. S. 480.

C Ursachen für Miosis und Mydriasis
(nach Füeßl u. Middecke)

Miosis	Mydriasis
Licht	Dunkelheit
Schlaf, Ermüdung	Schmerzen, psychische Erregung
Miotika (Parasympathomimetika, z. B. Pilocarpin, und Sympatholytika)	Mydriatika (Parasympatholytika, z. B. Atropin, und Sympathomimetika, z. B. Adrenalin)
Horner-Syndrom	Okulomotoriusparese
Morphinabusus	Migräneanfall, Glaukomanfall
pontine Läsion, Meningitis	Läsion im Mittelhirn
Narkose	Kokain



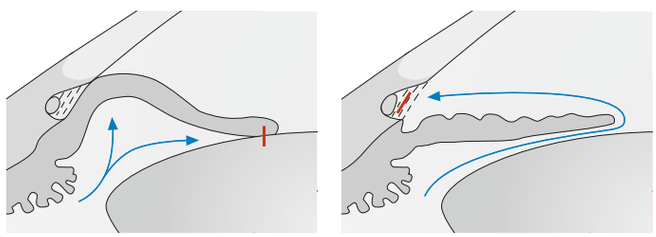
D Struktur der Iris (Regenbogenhaut)
Das Grundgerüst der Iris wird vom gefäßhaltigen Stroma iridis gebildet, dem auf der Hinterseite ein zweischichtiges pigmentiertes Irisepithel anliegt. In dem lockeren kollagenhaltigen Stroma sind ein äußerer und ein innerer arterieller Gefäßkranz (Circulus arteriosus iridis major und minor) durch anastomisierende kleine Arterien miteinander verbunden. In der Nähe der Pupille liegt, ebenfalls im Stroma, der ringförmige M. sphincter pupillae. Der radiär ausgerichtete M. dilatator pupillae liegt dagegen nicht im Stroma, sondern wird durch zahlreiche Myofibrillen im Irisepithel (Myoepithel) repräsentiert. Das Stroma iridis ist mit pigmenthaltigen Bindegewebszellen (Melanozyten) durchsetzt. Die Anzahl der Melanozyten und ihr Melaningehalt bestimmen unsere Augenfarbe. Bei starker Pigmentierung im Stroma erscheint die Iris braun gefärbt, überwiegt hingegen der Melaningehalt des Irisepithels, hat die Iris eher eine blaue Farbe.



E Normaler Abfluss des Kammerwassers
Das Kammerwasser (etwa 0,3 ml pro Auge) bestimmt den Innendruck des Auges mit (s. **F**). Es wird vom nicht pigmentierten Ziliarepithel der Ziliarfortsätze im Bereich der Augen*hinterkammer* produziert (etwa 0,15 ml/h) und gelangt durch die Pupille in die *Vorderkammer des Auges*. Über die Spalten des Trabekelwerks (Fontana-Räume) im Bereich des Kammerwinkels sickert das Kammerwasser in den Schlemm-Kanal (Sinus venosus sclerae) und von dort weiter in die episkleralen Venen. Das abfließende Kammerwasser strömt aufgrund eines Druckgradienten (Augeninnendruck: 15 mm Hg; Druck in den episkleralen Venen: 9 mm Hg) in Richtung Kammerwinkel, muss dabei jedoch an zwei Orten einen physiologischen Widerstand überwinden:

- den *Pupillarwiderstand* (zwischen Iris und Linse) und
- den *Trabekelwiderstand* (enge Spalträume im Trabekelwerk).

Ca. 85 % des Kammerwassers fließen über das Trabekelwerk in den Schlemm-Kanal, nur 15 % gelangen über das uveosklerale Gefäßsystem in die Vortexvenen (uveoskleraler Abflussweg).

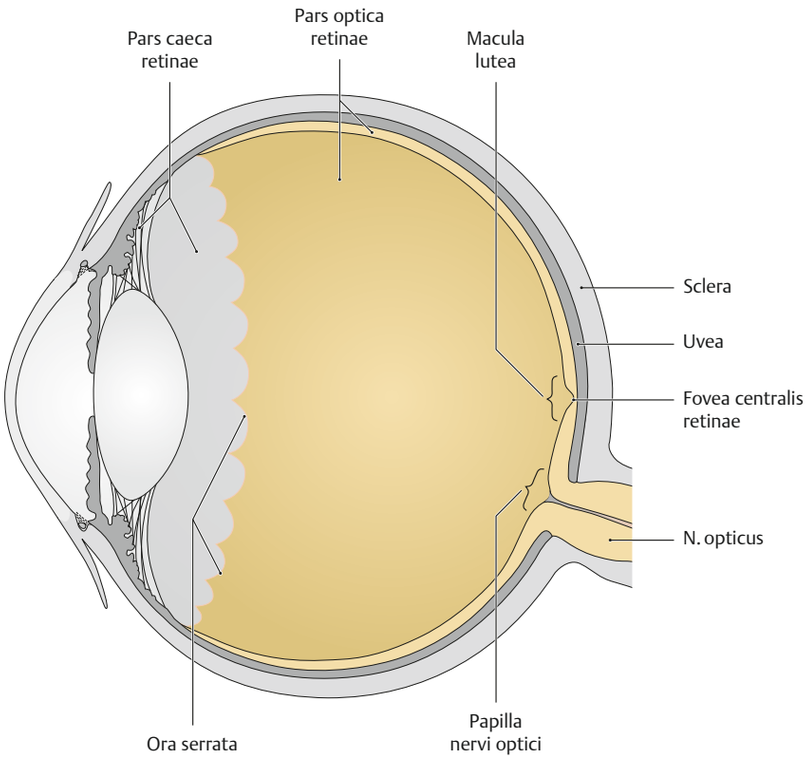


F Gestörter Abfluss des Kammerwassers und Glaukom
Der normale Augeninnendruck des Erwachsenen (15 mm Hg) ist für ein funktionierendes optisches System erforderlich, da er u. a. eine glatte Wölbung der Hornhautoberfläche sowie das Anpressen der Photorezeptorzellen an das Pigmentepithel bewirkt. Beim *Glaukom* (sog. *„grüner" Star* – im Unterschied zum „grauen" Star = Katarakt, s. **D**, S. 165) ist dieser Druck erhöht, so dass der Sehnerv (N. opticus) an der Lamina cribrosa, also dort, wo er den Augapfel durch die Sclera verlässt, eingeklemmt wird. Diese Einklemmung führt letztlich zur Erblindung. Ursache für den erhöhten Druck ist ein Hindernis, das den normalen Abfluss des Kammerwassers stört, so dass entweder der Pupillar- oder der Trabekelwiderstand (s. **E**) nicht überwunden werden kann. Es entsteht demzufolge entweder

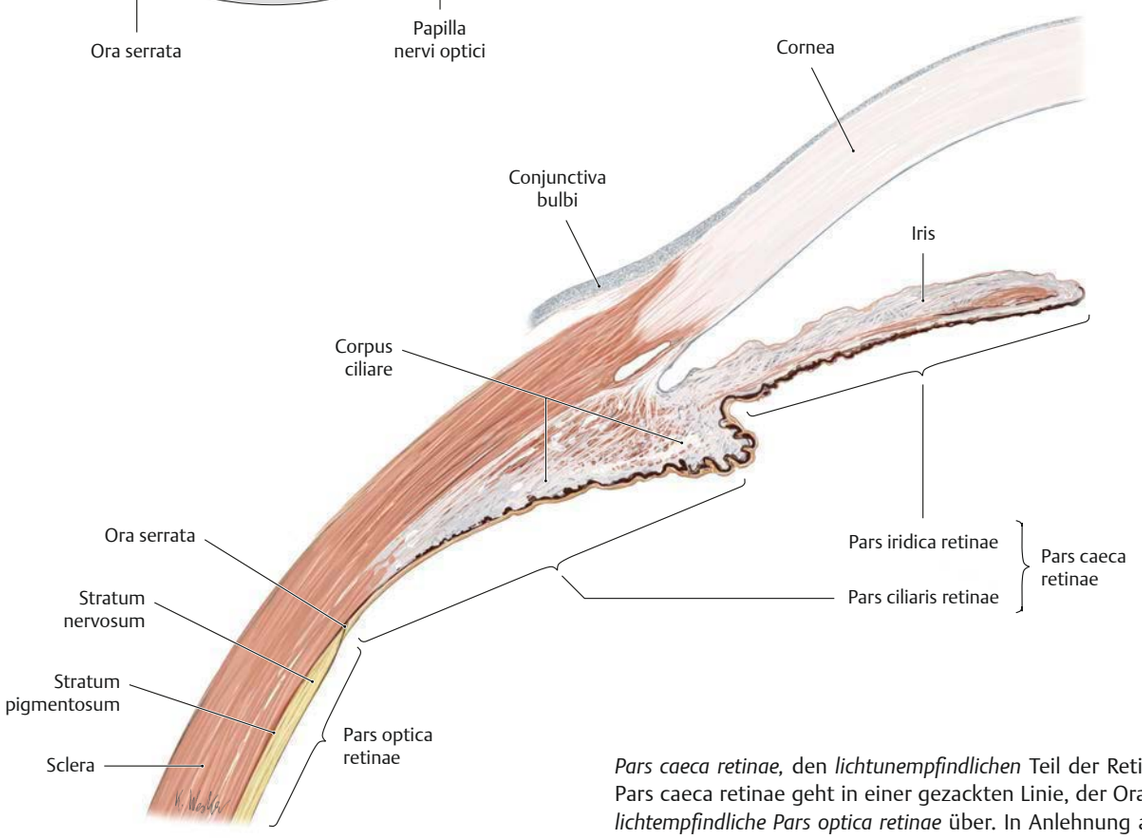
- ein *Pupillar- oder Winkelblockglaukom* (**a**), bei dem der Kammerwinkel durch Irisgewebe verschlossen ist (das Kammerwasser kann aufgrund des Pupillarblocks nicht in die Vorderkammer abfließen, dadurch drückt es Teile der Iris nach oben, so dass der Kammerwinkel blockiert wird), oder
- ein *Offenwinkelglaukom* (**b**), bei dem der Kammerwinkel zwar offen, der Abfluss durch das Trabekelwerk aber behindert ist (der rote Balken markiert jeweils den Ort des Abflussstopps).

Die weitaus häufigste Form (ca. 90 % aller Glaukome) ist das primär chronische Offenwinkelglaukom (**b**), das ab dem 40. Lebensjahr vermehrt auftritt. Bei der Behandlung versucht man in erster Linie, den Abfluss zu verbessern (z. B. durch Parasympathomimetika, die zu einer Dauerkontraktion des M. ciliaris und des M. sphincter pupillae führen) oder die Kammerwasserproduktion zu vermindern.

5.14 Netzhaut (Retina)

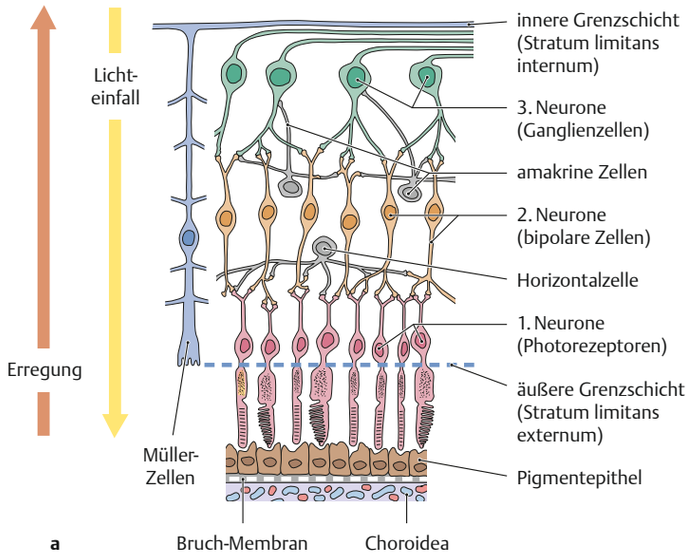


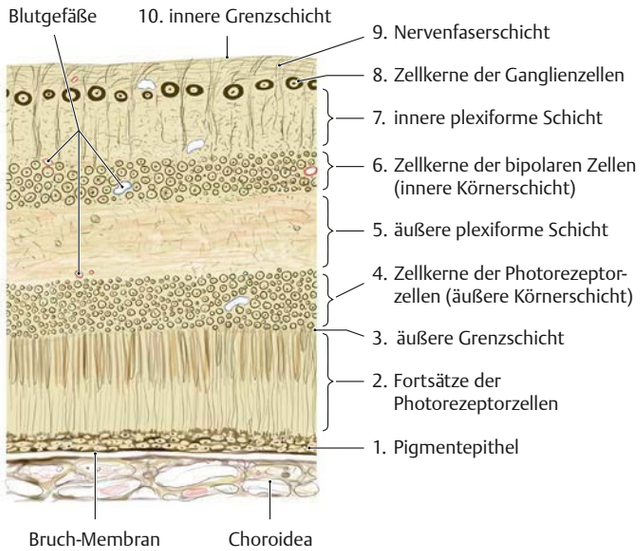
A Übersicht über die Netzhaut (Retina)
Die Retina ist die 3. Schicht des Augapfels, die ihn von innen auskleidet. Sie besteht v. a. aus dem lichtempfindlichen Teil, der *Pars optica retinae* zum kleineren Teil aus dem lichtunempfindlichen Teil, der *Pars caeca retinae.* Die hier gelb dargestellte Pars optica retinae ist an verschiedenen Orten unterschiedlich dick. Die Pars optica geht an einem gezackten Rand, der Ora serrata, in die Pars caeca über (vgl. **B**). Die Stelle des schärfsten Sehens auf der Netzhaut ist die Netzhautgrube *(Fovea centralis retinae),* eine kleine Vertiefung in der Mitte des gelben Flecks *(Macula lutea).* An dieser Stelle ist die Pars optica retinae besonders dünn, an der Stelle des Sehnerveneintritts in der Lamina cribrosa dagegen besonders dick.



B Abschnitte der Netzhaut (Retina)
An der Rückfläche der Iris befindet sich ein *zwei*schichtiges Epithel, das Pigmente enthält, die Pars iridica retinae. An sie schließt die Pars ciliaris retinae an, die ebenfalls von einem *zwei*schichtigen Epithel gebildet wird (eine der Schichten enthält Pigmente) und die Rückfläche des Corpus ciliare bedeckt. Pars iridica und Pars ciliaris retinae bilden zusammen die *Pars caeca retinae,* den *lichtunempfindlichen* Teil der Retina (vgl. **A**). Die Pars caeca retinae geht in einer gezackten Linie, der Ora serrata, in die *lichtempfindliche Pars optica retinae* über. In Anlehnung an die Entwicklung aus dem embryonalen Augenbecher werden innerhalb der Pars optica retinae zwei Blätter unterscheiden:

- ein äußeres, zur Sclera gelegenes Blatt, das *Stratum pigmentosum,* ein einschichtiges retinales Pigmentepithel (vgl. **Ca**) und
- ein inneres, zur Glaskörperseite gelegenes Blatt, das *Stratum nervosum,* ein System aus Rezeptorzellen, Interneuronen und Ganglienzellen (s. **Cb**).





C Aufbau der Netzhaut (Retina)

a Schema der ersten drei Projektionsneurone der Sehbahn und ihrer Verschaltung; **b** die zehn Schichten der Retina.

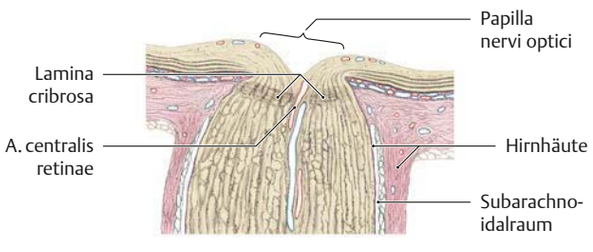
Das Licht muss, bevor es auf die lichtempfindlichen Teile der Photorezeptoren trifft, zunächst alle weiter innen liegenden Schichten durchdringen (Inversion der Retina), die Aktionspotentiale hingegen laufen dem Lichteinfall entgegen von außen nach innen. Innerhalb der Retina liegen die ersten drei Projektionsneurone der Sehbahn. Von außen nach innen folgen aufeinander (**a**):

- 1. Neuron: Photorezeptorzellen (Stäbchen und Zapfen) sind lichtempfindliche Sinneszellen, die Lichtreize in elektrochemische Signale umsetzen. Man unterscheidet zwei Arten von *Photorezeptoren,* die nach der Form des Rezeptorsegments benannt sind: Stäbchen und Zapfen. Es gibt 100–125 Millionen Stäbchen, die für das Dämmerungs- und Nachtsehen verantwortlich sind, aber nur 6–7 Millionen Zapfen. Es gibt Zapfen für Rot-, Grün- und Blauwahrnehmung.
- 2. Neuron: bipolare Zellen, die Signale von den Photorezeptoren aufnehmen und an die Ganglienzellen weitergeben.
- 3. Neuron: Ganglienzellen, deren Neuriten sich an der Papilla nervi optici zum N. opticus vereinigen und in Richtung Corpus geniculatum laterale (zum 4. Neuron) ziehen.

Zusätzlich zu diesen vertikalen Verbindungen bilden Horizontalzellen und sog. amakrine Zellen als *Interneurone* laterale Verknüpfungen. Dadurch werden bereits in der Retina die von den Rezeptorzellen gelieferten Informationen verarbeitet und gebündelt (Signalkonvergenz). Als Vertreter der Gliazellen durchspannen die *Müller-Zellen* in radiärer Ausrichtung von der inneren zur äußeren Grenzschicht (Stratum limitans internum und externum) das Stratum nervosum und bilden auf diese Weise eine Art Stützgerüst für die Neurone. Nach außen folgt das *Pigmentepithel,* das mit seiner Basalmembran der Bruch-Membran (enthält elastische Fasern und Kollagenfibrillen) fest aufsitzt und den Stoffaustausch zwischen der angrenzenden Choroidea (Choriokapillaris) und den Photorezeptorzellen vermittelt.

Beachte: Die Photorezeptoren liegen mit ihren Außensegmenten dem Pigmentepithel nur an, es bestehen keine Haftstrukturen, alleine der Augeninnendruck presst die Retina ans Pigmentepithel Dies ist die anatomische Ursache für die Möglichkeit einer Ablösung der Netzhaut vom Pigmentepithel (sog. Netzhautablösung; bei Nichtbehandlung: Erblindung).

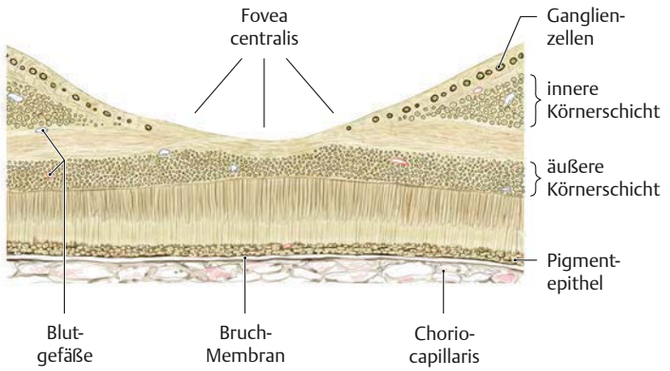
Im histologischen Bild der Retina (**b**) lassen sich traditionell zehn Schichten unterscheiden, die jeweils Teile der drei Neurone (z. B. Kerne oder Zellfortsätze) sind und innerhalb einer Schicht auf einer Höhe liegen.



D Papilla nervi optici („blinder Fleck") und Lamina cribrosa

Die marklosen Neuriten der Optikusganglienzellen (ca. 1 Million Axone pro Auge) ziehen zu einer Sammelstelle im Bereich des hinteren Augenpols (Papilla nervi optici), wo sie sich zum N. opticus vereinigen und die Retina durch die hier siebartig durchlöcherte Sclera (Lamina cribrosa) in Richtung Corpus geniculatum laterale verlassen.

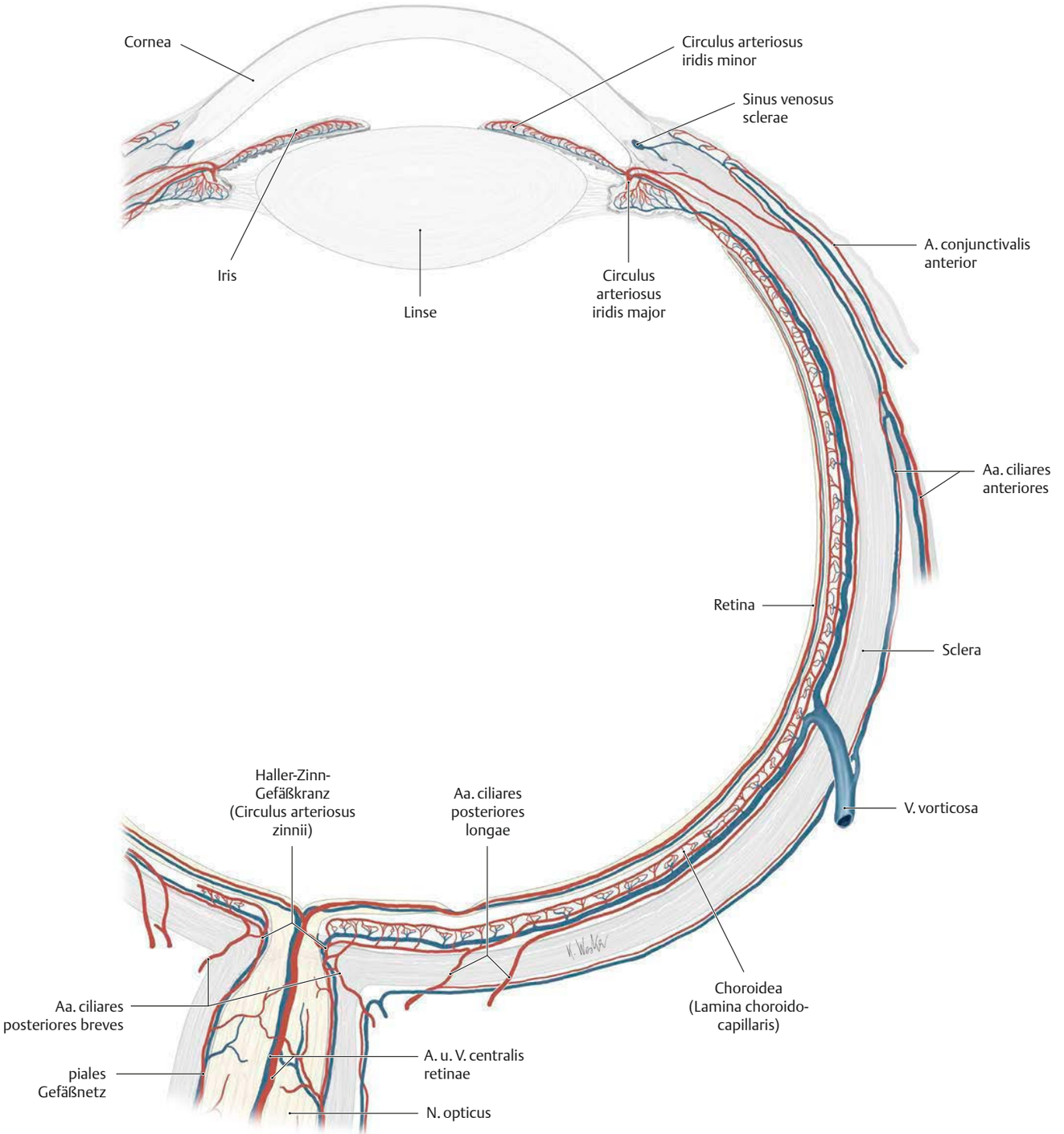
Beachte die an dieser Stelle eintretende A. centralis retinae (vgl. S. 171) und die den N. opticus umgebenden Hüllen. Da der Sehnerv eine Ausstülpung des Zwischenhirns darstellt, wird er wie das Gehirn von sämtlichen Hirnhäuten (Dura mater, Arachnoidea und Pia mater) sowie einem mit Liquor gefüllten Subarachnoidalraum umgeben, der mit dem von Gehirn und Rückenmark kommuniziert.



E Macula lutea und Fovea centralis

Temporal der Papilla nervi optici befindet sich die Macula lutea. In ihrem Zentrum liegt eine trichterförmige Vertiefung, die Fovea centralis, die Stelle des schärfsten Sehens (Durchmesser ca. 1,5 mm). An dieser Stelle sind die inneren Retinaschichten an den Trichterrand verlagert, so dass die Zellen der Photorezeptoren (ausschließlich Zapfen und keine Stäbchen) dem einfallenden Licht direkt ausgesetzt sind. Auf diese Weise wird eine Streuung des einfallenden Lichts deutlich reduziert.

5.15 Blutversorgung des Augapfels



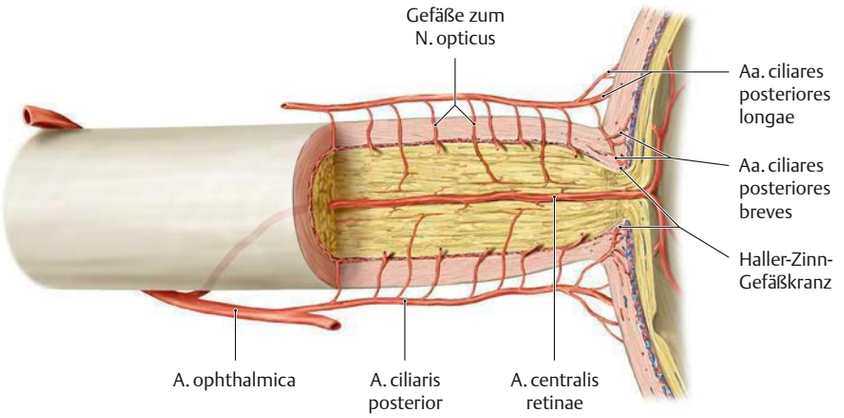
A Blutversorgung des Augapfels
Horizontalschnitt durch das rechte Auge in Höhe des Sehnervs, Ansicht von kranial. Die Arterien des Augapfels stammen alle aus der *A. ophthalmica,* einem Endast der A. carotis interna (s. S. 103). Sie gibt mehrere Äste zur Versorgung des Auges ab:

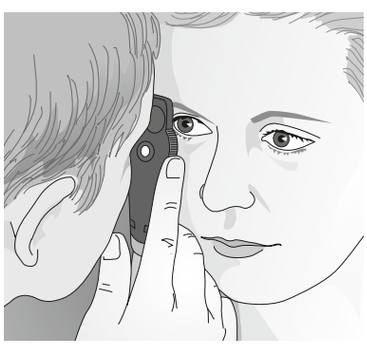
- A. centralis retinae zur Netzhaut (s. **B**),
- Aa. ciliares posteriores breves zur Choroidea,
- Aa. ciliares posteriores longae zu Ziliarkörper und Iris, wo sie die beiden Gefäßkränze (Circulus arteriosus iridis minor und major) versorgen (s. **D**, S. 167) sowie
- Aa. ciliares anteriores, die von Gefäßen der geraden Augenmuskeln stammen und mit den hinteren Ziliargefäßen anastomosieren.

Neben der V. centralis retinae drainieren 4–8 Wirbelvenen (Vv. vorticosae) das Blut aus dem Augapfel. Sie durchdringen die Sclera hinter dem Äquator und münden in die V. ophthalmica superior oder inferior.

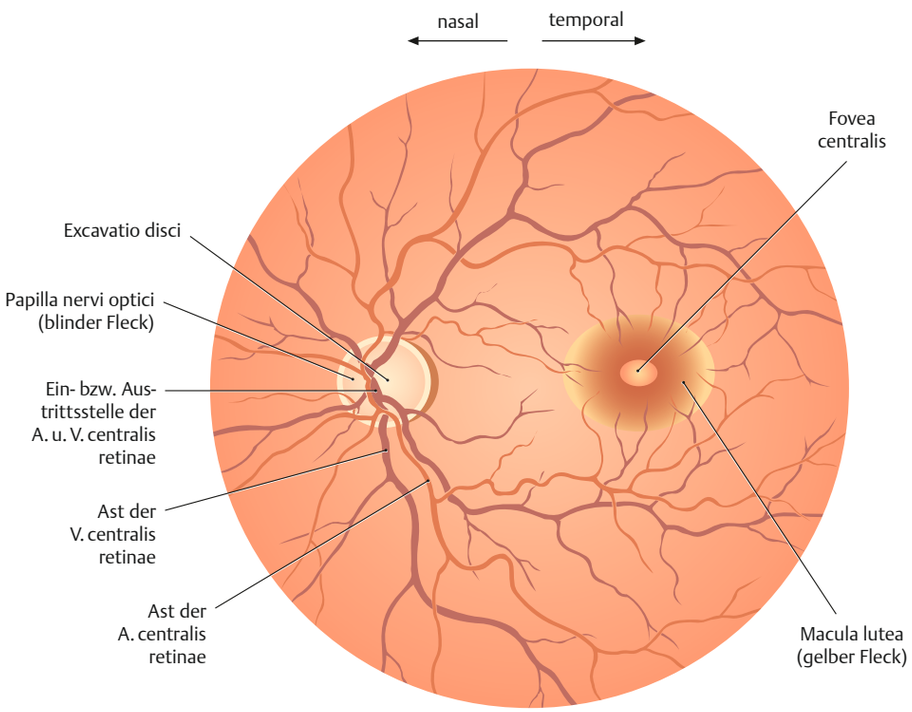
B Arterielle Gefäßversorgung von Sehnerv und Sehnervenkopf

Ansicht von lateral. Als erster Ast der A. ophthalmica tritt die A. centralis retinae etwa 1 cm hinter dem Augapfel von unten in den Sehnerv ein und zieht unter Abgabe mehrerer kleiner Äste mit ihm zur Retina. Aus der A. ciliaris posterior zweigen ebenfalls mehrere kleine Äste zur Versorgung des Sehnervs ab. Der Sehnervenkopf wird vom Circulus arteriosus (Zinnii) = Haller-Zinn-Gefäßkranz mit arteriellem Blut versorgt. Dieser Gefäßkranz wird von Anastomosen der Seitenäste der Aa. ciliares posteriores breves und der A. centralis retinae gebildet.





a



b

C Spiegelung des Augenhintergrundes mit dem Ophthalmoskop (Augenspiegel)

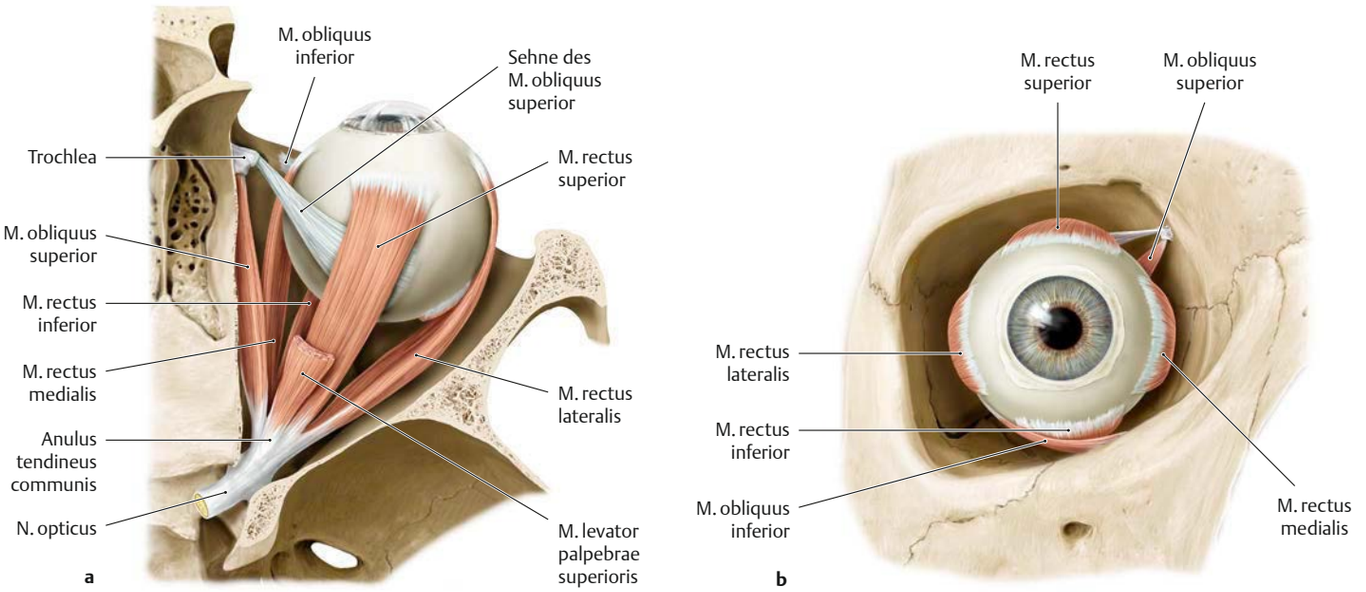
a Untersuchungstechnik (direkte Ophthalmoskopie); **b** normaler Augenhintergrund.

Mit Hilfe der direkten Ophthalmoskopie kann man in etwa 16 facher Vergrößerung folgende Strukturen am Augenhintergrund (Fundus oculi) direkt beurteilen:

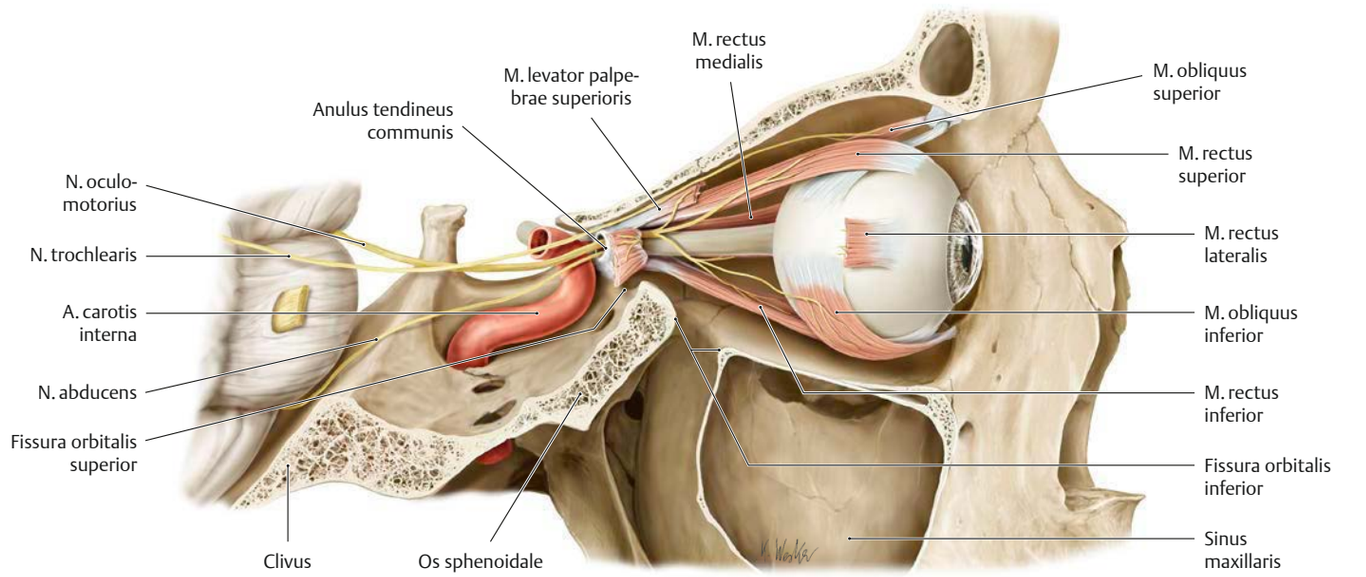
- den Zustand der Netzhaut,
- die Gefäße (wichtig v. a. die A. centralis retinae),
- die Papilla (Discus) nervi optici (= Austrittstelle des Sehnervs aus dem Bulbus) sowie
- Macula lutea mit Fovea centralis.

Aufgrund der Transparenz der Netzhaut wird die Farbe des Augenhintergrundes im Wesentlichen vom Pigmentepithel und den Gefäßen der Choroidea bestimmt: bei Weißen ist sie gleichmäßig hellrot, bei Dunkelhäutigen deutlich bräunlicher. Bei einer pathologischen Netzhautablösung kommt es meist zu einem Transparenzverlust, und die Netzhaut erscheint weißlich-gelblich. Die eigentlichen Netzhautgefäße (A. und V. centralis retinae) können anhand ihrer Farbe und Dicke unterschieden werden: Arterien zeigen ein helleres Rot und einen geringeren Durchmesser im Vergleich zu den Venen. Gefäßveränderungen (z. B. Stenosen, Wandverdickungen, Mikroaneurysmen) wie sie z. B. beim Diabetes mellitus (diabetische Retinopathie) oder beim Bluthochdruck auftreten, lassen sich auf diese Weise schon frühzeitig diagnostizieren. Die *Papilla nervi optici* ist normalerweise randscharf, gelb-orange gefärbt und weist eine zentrale Vertiefung auf (Excavatio disci). An der Papille findet man Veränderungen z. B. bei erhöhtem Hirn(Liquor-)druck (Stauungspapille mit unscharfem Rand). Bei der Betrachtung der 3–4 mm temporal der Papille gelegenen *Macula lutea* fällt auf, dass zahlreiche Äste der A. centralis retinae radiär auf die Makula zustreben, ihr Zentrum, die Fovea centralis jedoch nicht erreichen (die Gefäßversorgung der Fovea erfolgt von der Choroidea aus). Pathologische Veränderungen der Macula lutea treten in Form der sog. Makuladegeneration auf (häufige, altersbedingte Erkrankung), die schrittweise zur Erblindung führen kann.

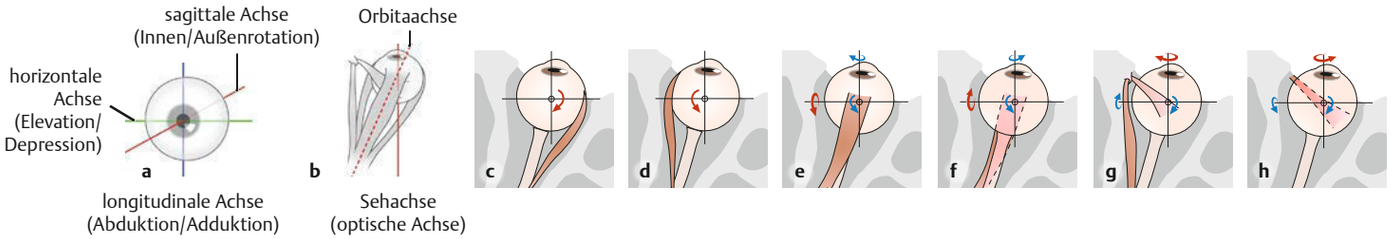
5.16 Äußere Augenmuskeln



A Lage der äußeren Augenmuskeln (Musculi externi bulbi oculi)
Rechtes Auge, Ansicht von kranial (**a**) und vorne (**b**).
Die Bewegungen des Augapfels werden von vier geraden (Mm. recti superior, inferior, medialis und lateralis) und zwei schrägen Muskeln (Mm. obliquii superior und inferior) bewirkt (zu Innervation und Bewegungsrichtung s. **B** u. **D**). Bis auf den M. obliquus inferior (Ursprung am medialen Orbitarand) entspringen alle äußeren Augenmuskeln an einem sehnigen Ring um den Canalis opticus (Anulus tendineus communis). Alle *äußeren* Augenmuskeln setzen an der Lederhaut (Sclera) an; wobei die Ansatzsehne des M. obliquus superior zunächst durch eine am oberen, inneren Orbitarand befestigte sehnige Umlenkrolle (Trochlea) zieht, um dann im spitzen Winkel nach hinten zu laufen und dann auf der temporalen Seite der oberen Bulbusfläche zu inserieren. Die Funktionstüchtigkeit aller sechs äußeren Augenmuskeln und ihr reibungsloses Zusammenspiel sind notwendig, um beide Augen auf das Sehobjekt zu richten. Dem Gehirn obliegt es, die zwei wahrgenommenen Netzhautbilder so zu verarbeiten, dass ein binokularer Seheindruck entsteht. Im Falle einer Störung dieser Abläufe, z. B. durch Lähmung eines Augenmuskels (s. **E**), kommt es zur Wahrnehmung von Doppelbildern (Diplopie), d. h. die Sehachse eines Auges weicht von der Normalstellung ab.



B Innervation der äußeren Augenmuskeln
Rechtes Auge, Ansicht von lateral; temporale Wand der Orbita entfernt.
Mit Ausnahme des M. obliquus superior (N. trochlearis) und des M. rectus lateralis (N. abducens) werden alle Augenmuskeln (Mm. recti superior, medialis und inferior sowie M. obliquus inferior) vom N. oculomotorius innerviert. Nach ihrem Austritt aus dem Hirnstamm verlaufen die drei Hirnnerven zunächst durch den Sinus cavernosus (bzw. in seiner lateralen Wand, vgl. **A**, S. 176), wo sie in unmittelbarer Nachbarschaft der A. carotis interna liegen. Von dort ziehen sie weiter durch die Fissura orbitalis superior (s. **B**, S. 176) in die Orbita zu den von ihnen innervierten Muskeln.



Muskeln		Hauptfunktion	Nebenfunktion	Innervation
Horizontal-motoren	• M. rectus lateralis • M. rectus medialis	• Abduktion • Adduktion	• keine • keine	• N. abducens (VI) • N. oculomotorius (III), R. inferior
Gerade Vertikalmotoren	• M. rectus inferior • M. rectus superior	• Depression • Elevation	• Außenrotation und Adduktion • Innenrotation und Adduktion	• N. oculomotorius (III), R. inferior • N. oculomotorius (III), R. superior
Schräge Vertikalmotoren	• M. obliquus inferior • M. obliquus superior	• Außenrotation (Exzykloduktion) • Innenrotation (Inzykloduktion)	• Elevation und Abduktion • Depression und Abduktion	• N. oculomotorius (III), R. inferior • N. trochlearis (IV)

C Achsen am Auge sowie Funktion und Innervation der äußeren Augenmuskeln

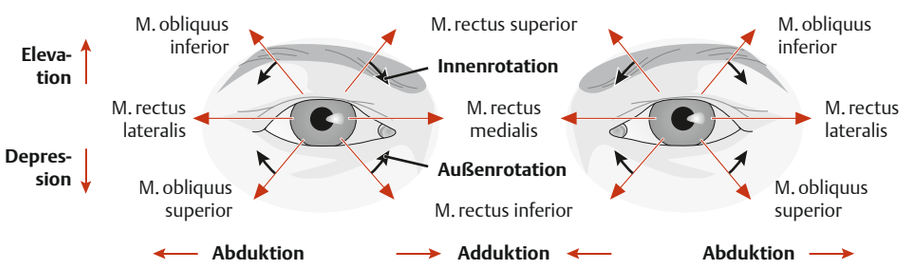
Jeweils rechtes Auge. Bis auf **a** jeweils Ansicht von kranial, longitudinale Achse in **b**–**h** daher nur als Punkt zu sehen.

a u. **b** Die Augenbewegungen erfolgen um drei senkrecht aufeinander stehende Achsen. Beim Geradeausblick ist das Auge in der Orbita leicht nach innen gedreht, d. h. die Orbitaachse entspricht nicht der Sehachse bzw. der optischen Achse und ist um etwa 23° nach außen rotiert. Um die Beweglichkeit einzelner Augenmuskeln prüfen zu können, muss das Auge deswegen in eine bestimmte diagnostische Blickrichtung gebracht werden (s. **E**).

c–**h** Je zwei der sechs äußeren Augenmuskeln werden zu einem Paar zusammengefasst, s. Tabelle.

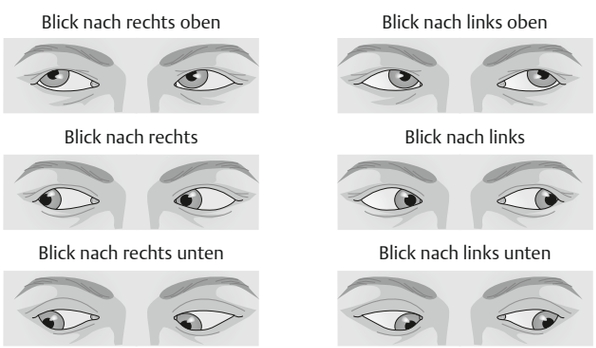
Die beiden **geraden Vertikalmotoren** sind in ihrem gesamten Blickbereich die wichtigsten und stärksten Heber bzw. Senker. Diese Hauptfunktionen sind in der Abduktion ausgeprägter als in der Adduktion (Zugrichtung des Muskels entspricht der Orbitaachse, s. **b**). Beide Muskeln haben auch Nebenfunktionen: Der *M. rectus superior* rotiert nach innen (= Inzykloduktion), der *M. rectus inferior* nach außen (= Exzykloduktion). Außerdem haben beide eine geringe adduktorische Wirkung. Zu beachten ist, dass beide Nebenfunktionen in maximaler Adduktion am stärksten und über die Primärposition bis hin zur Abduktion abnehmen.

Schräge Vertikalmotoren: Hauptfunktion des M. obliquus superior ist die Inzykloduktion, die am deutlichsten in der Abduktion zu erwarten ist. Die wichtigste Nebenfunktion ist die Senkung. Sie ist im Gegensatz zur Inzykloduktion am deutlichsten in der Adduktion. Hauptfunktion des M. obliquus inferior ist die Exzykloduktion, die wichtigste Nebenfunktion hingegen die Hebung. Wie schon beim M. obliquus superior ist die Hauptfunktion am stärksten in der Abduktion und die Nebenfunktion am stärksten in der Adduktion. Beide schrägen Vertikalmotoren besitzen auch eine leichte abduktorische Nebenwirkung.



D Wirkung der äußeren Augenmuskeln auf den Bulbus in Primärposition

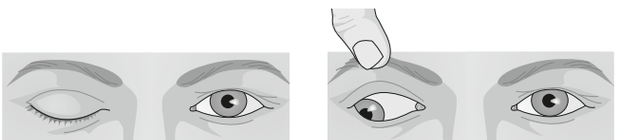
In Primärposition, also beim Geradeausblick, findet eine maximale Mischfunktion aller Augenmuskeln statt, d. h. es werden alle Haupt- und Nebenfunktionen ausgeführt, dabei jedoch keine der Funktionen in voller Ausprägung (rote Pfeile: Linearwirkung, schwarze Pfeile: rotatorische Wirkung).



E Augenstellungen in den 6 diagnostischen Blickrichtungen (Schema nach Hering)

Dargestellt sind die Blickrichtungen, bei denen man die Funktion einzelner Augenmuskeln prüft oder – im Falle einer Lähmung – den Ausfall am deutlichsten merkt (Verstärkung der Doppelbilder).

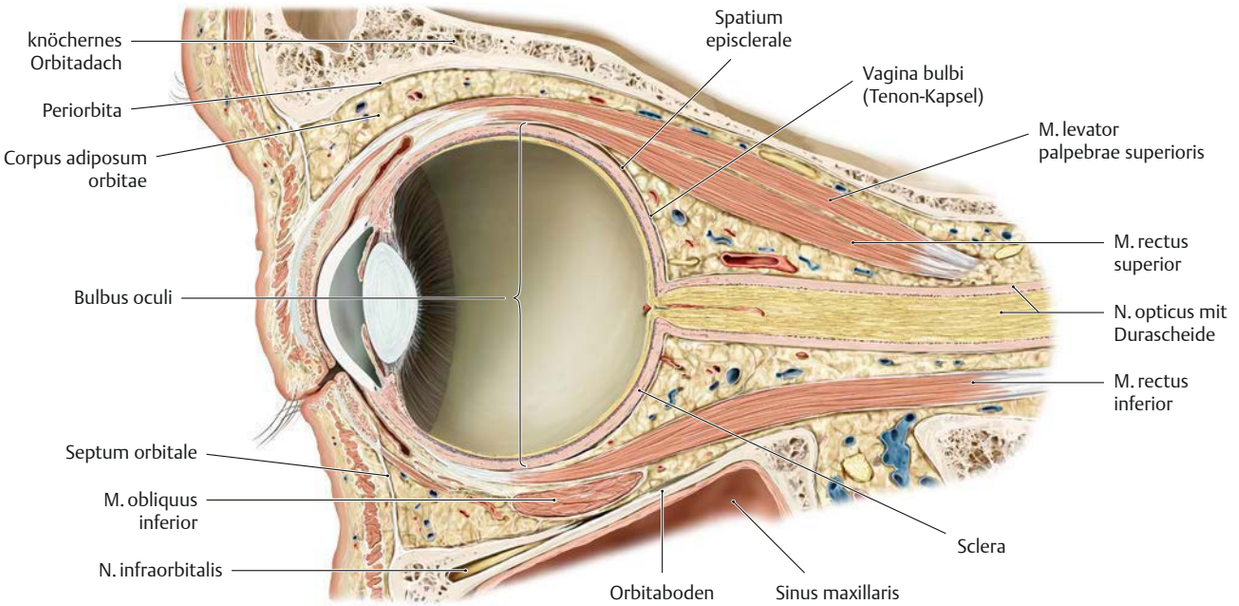
Beachte: Die rotatorische Wirkung ist nicht ohne weitere Testmethoden zu identifizieren.



F Okulomotoriuslähmung

Bei einer kompletten Okulomotoriuslähmung fallen sowohl die äußeren Augenmuskeln Mm. recti superior, inferior, medialis und obliquus inferior aus (s. **C**), als auch die vom N. oculomotorius parasympathisch versorgten inneren Augenmuskeln M. ciliaris *und* M. sphincter pupillae sowie der Lidheber. Infolgedessen sind Bulbusbeweglichkeit und Pupillomotorik gestört: Der betroffene Bulbus steht nach außen unten, das Auge ist weitgestellt (Mydriasis: Ausfall des M. sphincter pupillae), es ist keine Nahakkomodation möglich (Ausfall des M. ciliaris), das Lid ist mehr oder weniger geschlossen (Ptosis), da der Lidheber M. levator palpebrae superioris ausfällt. Ist die Ptosis komplett, wie hier zu sehen, hat der Patient keine Doppelbilder, da nur ein Auge sieht. Zur inneren und äußeren Okulomotoriusparese, bei der jeweils nur die inneren oder die äußeren Augenmuskeln gelähmt sind, s. S. 118.

5.17 Einteilung und Leitungsbahnen der Augenhöhle (Orbita)



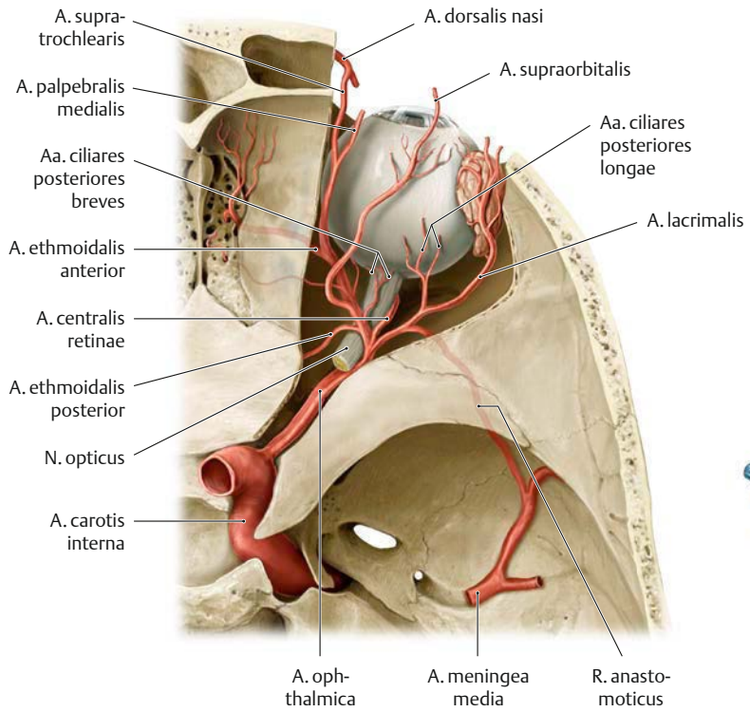
A Einteilung der Orbita in eine obere, mittlere und untere Etage
Sagittalschnitt durch die rechte Orbita in der Ansicht von medial. In der von Periost (Periorbita) ausgekleideten Augenhöhle liegen, eingebettet in einen schützenden Fettgewebskörper (Corpus adiposum orbitae): Bulbus oculi, N. opticus, Gl. lacrimalis (in dieser Schnittebene nicht angeschnitten), äußere Augenmuskeln und die versorgenden Leitungsbahnen. Nach vorne wird das Fettgewebe durch das Septum orbitale, zum Bulbus hin durch eine bindegewebige Gleithülle (Vagina bulbi = Tenon-Kapsel) begrenzt. Zwischen Vagina bulbi und Sclera befindet sich ein dünner Spaltraum, das Spatium episclerale. Topografisch wird die Augenhöhle in drei Etagen eingeteilt:

- *obere Etage:* zwischen Orbitadach und M. rectus superior,
- *mittlere Etage:* zwischen M. rectus superior und M. rectus inferior und
- *untere Etage:* zwischen M. rectus inferior und Orbitaboden.

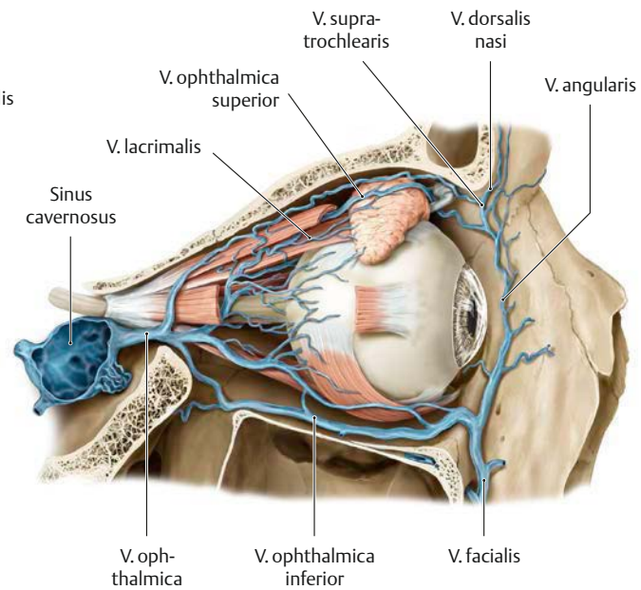
Zum Inhalt der einzelnen Etagen s. **B**.

B Die drei Orbitaetagen und ihre wesentlichen Leitungsbahnen
In der oberen Etage dominiert die Tränendrüse, in der mittleren der Bulbus oculi als Landmarke. (Zum Eintritt der Leitungsbahnen in die Orbita s. S. 36.)

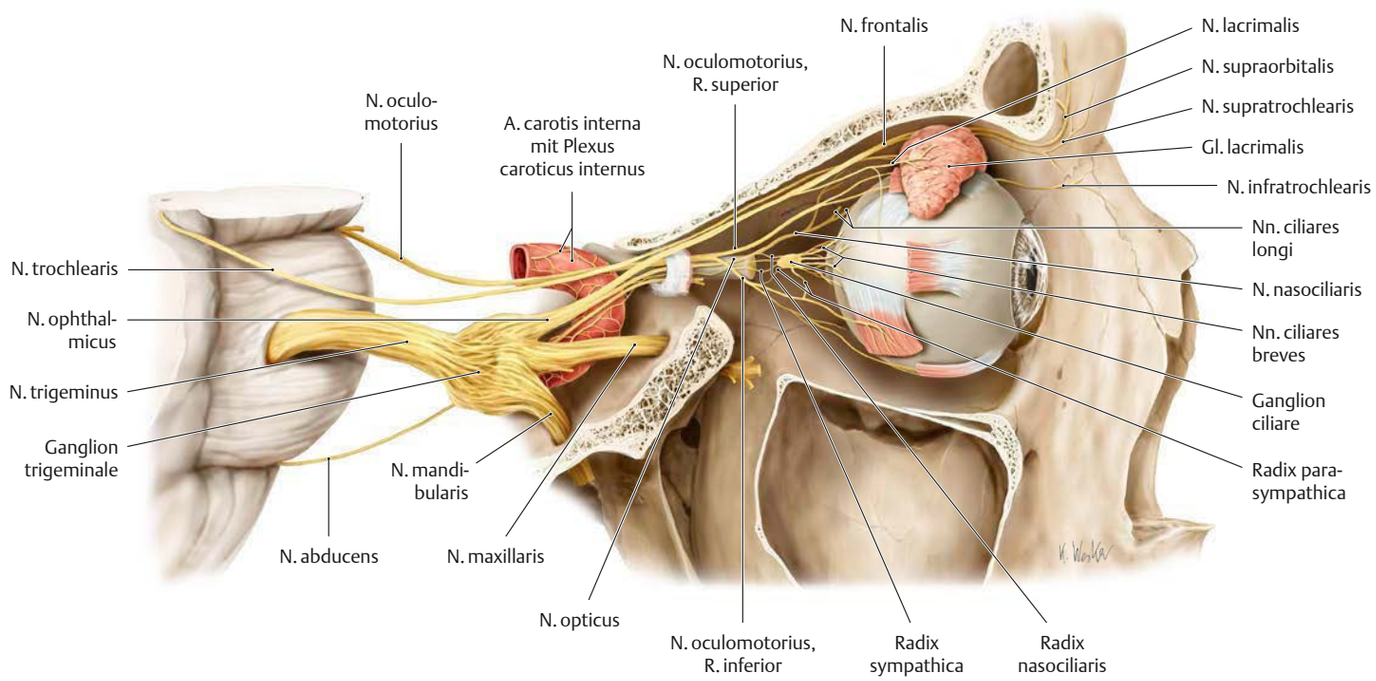
Etage	Inhalt	Übergeordnete Struktur
obere Etage	• N. lacrimalis • A. lacrimalis • V. lacrimalis • N. frontalis • Nn. supraorbitalis u. supratrochlearis • A. supraorbitalis • V. supraorbitalis • N. trochlearis	• Ast des N. ophthalmicus (V_1) • Ast der A. ophthalmica (aus A. carotis interna) • zieht zur V. ophthalmica superior • Ast des N. ophthalmicus (V_1) • Endäste des N. frontalis • Endast der A. ophthalmica • vereinigt sich mit den Vv. supratrochleares zur V. angularis • Nucleus n. trochlearis im Mesencepahlon
mittlere Etage	• A. ophthalmica • A. centralis retinae • Aa. ciliares posteriores • N. nasociliaris • N. abducens • N. oculomotorius, R. superior • N. opticus • Nn. ciliares breves • Ganglion ciliare • Radix parasympathica • Radix sympathica • Radix nasociliaris • V. ophthalmica superior	• Ast der A. carotis interna • Ast der A. ophthalmica • Äste der A. ophthalmica • Ast des N. ophthalmicus (V_1) • Nucleus n. abducentis im Pons • Nucleus n. oculomotorii im Mesencephalon • Diencephalon • postganglionäre vegetative Fasern zum Augapfel • parasympathisches Ganglion für Mm. ciliaris u. sphincter pupillae • präganglionäre vegetative Fasern des N. oculomotorius • postganglinäre Fasern aus dem Ganglion cervicale superius • sensible Fasern aus dem Bulbus durch das Ganglion ciliare zum N. nasociliaris • zieht in den Sinus cavernosus
untere Etage	• N. oculomotorius, R. inferior • V. ophthalmica inferior • N. infraorbitalis • A. infraorbitalis	• Nucleus n. oculomotorii im Mesencephalon • zieht in den Sinus cavernosus • Ast des N. maxillaris (V_2) • Endast der A. maxillaris (A. carotis externa)



C Äste der A. ophthalmica
Rechte Orbita, Ansicht von kranial; Canalis opticus und Orbitadach gefenstert. Die A. ophthalmica ist ein Ast der A. carotis interna; sie verläuft unter dem N. opticus durch den Canalis opticus zur Orbita und versorgt die in ihr liegenden Strukturen einschließlich des Augapfels.



D Venen der Orbita
Rechte Orbita, Ansicht von lateral; laterale Orbitawand entfernt und Sinus maxillaris gefenstert. Die Venen der Orbita haben Verbindung zu Venen der oberflächlichen und tiefen Gesichtsregion sowie zum Sinus cavernosus (Keimverschleppung!).



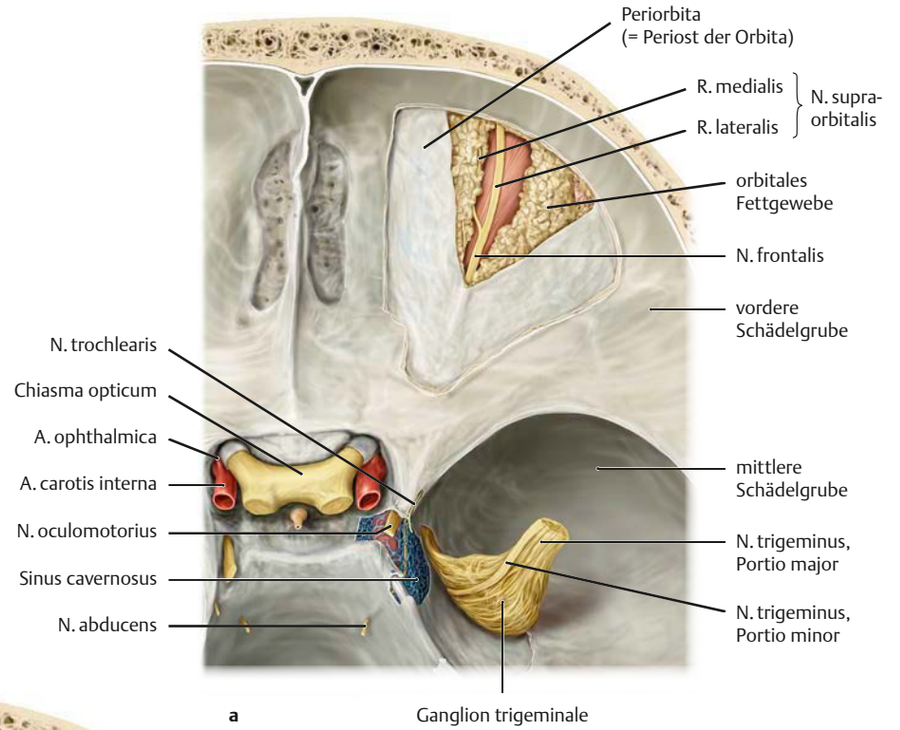
E Innervation der Orbita
Rechte Orbita, Ansicht von lateral; temporale knöcherne Wand entfernt. Die motorische, sensible und vegetative Versorgung übernehmen vier Hirnnerven: N. oculomotorius (III), N. trochlearis (IV), N. abducens (VI) und der N. ophthalmicus (V_1). Der N. oculomotorius enthält zusätzlich noch präganglionäre parasympathische Fasern zum Ganglion ciliare. Die postganglionären sympathischen Fasern gelangen über den Plexus caroticus internus bzw. ophthalmicus in die Orbita.

5.18 Topografie der Orbita

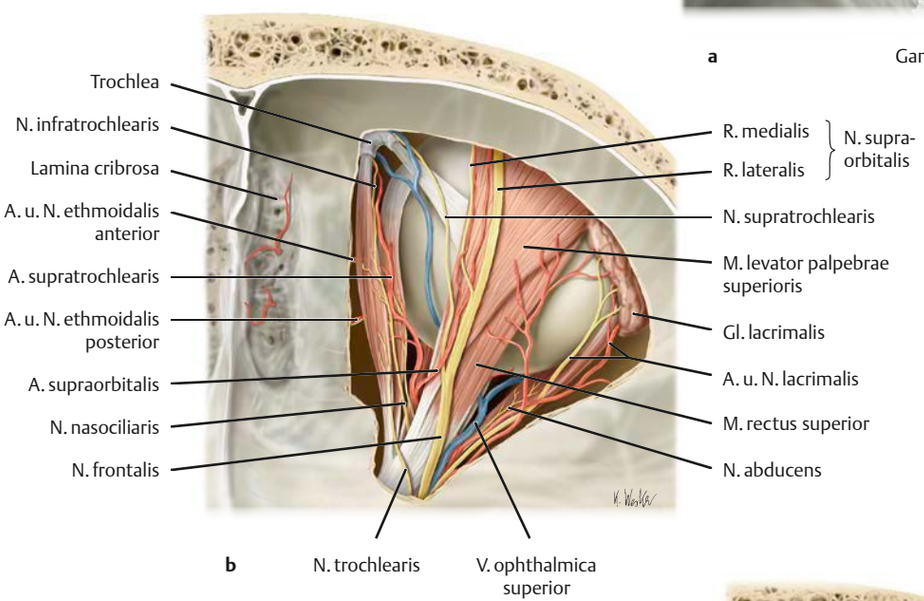
A Topografie der rechten Orbita: Inhalt der oberen Etage
Ansicht von kranial.

a Knöchernes Dach der Orbita entfernt, Periorbita teilweise gefenstert. Präparation des Orbitainhaltes durch vorsichtiges Entfernen des retrobulbären Fettgewebes.
b Periorbita des gesamten Orbitadaches und retrobulbäres Fettgewebe der oberen Etage komplett entfernt.

Beachte in **a** den Verlauf des N. frontalis auf dem M. levator palpebrae superioris. Der N. frontalis ist der 1. Nerv, den man nach Eröffnung der Periorbita von oben sieht.

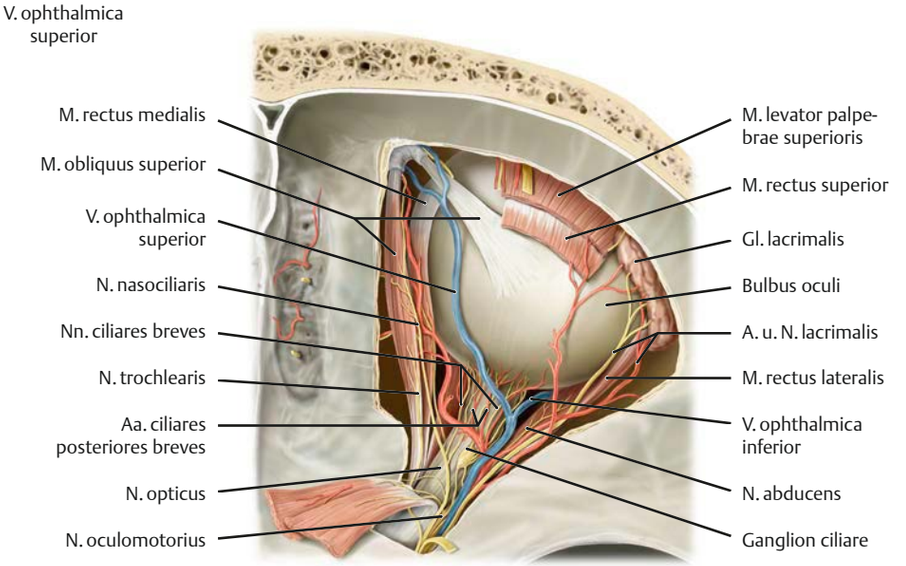


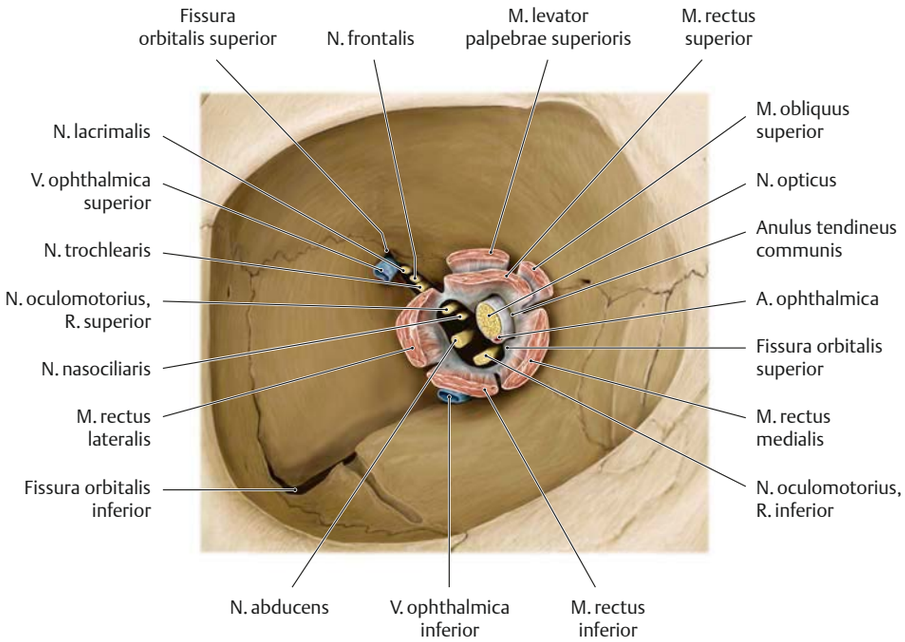
a



b

B Topografie der rechten Orbita: Inhalt der mittleren Etage
Ansicht von kranial. Der M. levator palpebrae superioris und der M. rectus superior sind durchtrennt und hochgeklappt (Fettgewebe vollständig entfernt). Man blickt direkt auf den N. opticus.
Beachte das ca. 2 mm große Ganglion ciliare, das lateral des N. opticus etwa 2 cm hinter dem Bulbus oculi liegt. In ihm werden die parasympathischen Fasern für die inneren Augenmuskeln (M. ciliaris und M. sphincter pupillae) umgeschaltet. Die postganglionären sympathischen Fasern für den M. dilatator pupillae ziehen ebenfalls durch das Ganglion hindurch.

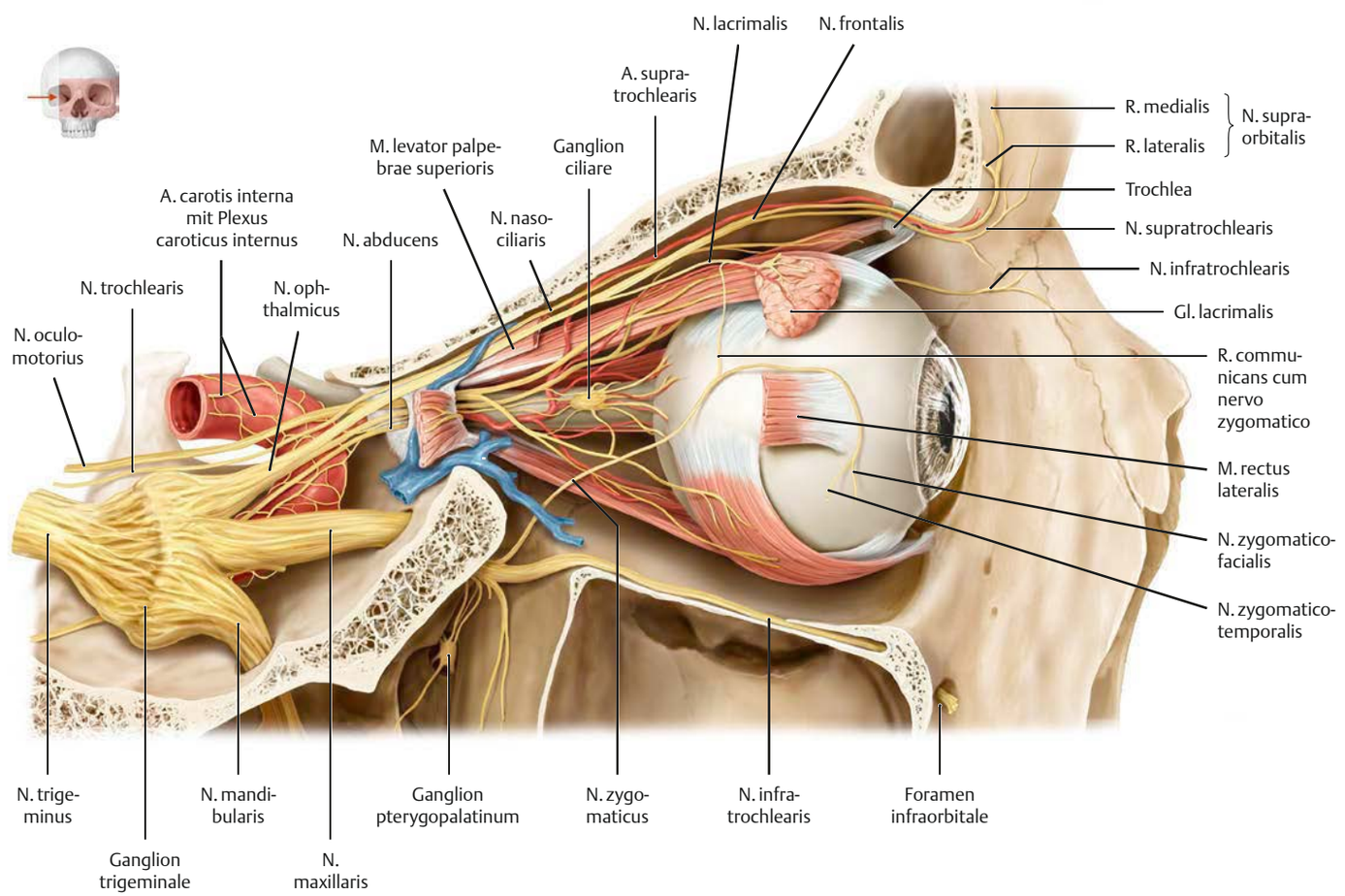




C Hinterwand der Orbita: Anulus tendineus communis und Eintrittsstellen der Leitungsbahnen durch den Canalis opticus und die Fissura orbitalis superior

Rechte Orbita, Ansicht von vorne; größter Teil des Orbitainhaltes entfernt. Durch den Canalis opticus gelangen der N. opticus und die A. ophthalmica in die Augenhöhle. Von den Leitungsbahnen, die über die Fissura orbitalis superior in die Augenhöhle gelangen, verlaufen einige innerhalb und einige außerhalb des Anulus tendineus communis:

- innerhalb: R. superior und R. inferior des N. oculomotorius, N. abducens und N. nasociliaris,
- außerhalb: Vv. ophthalmica superior und inferior, N. frontalis, N. lacrimalis und N. trochlearis.

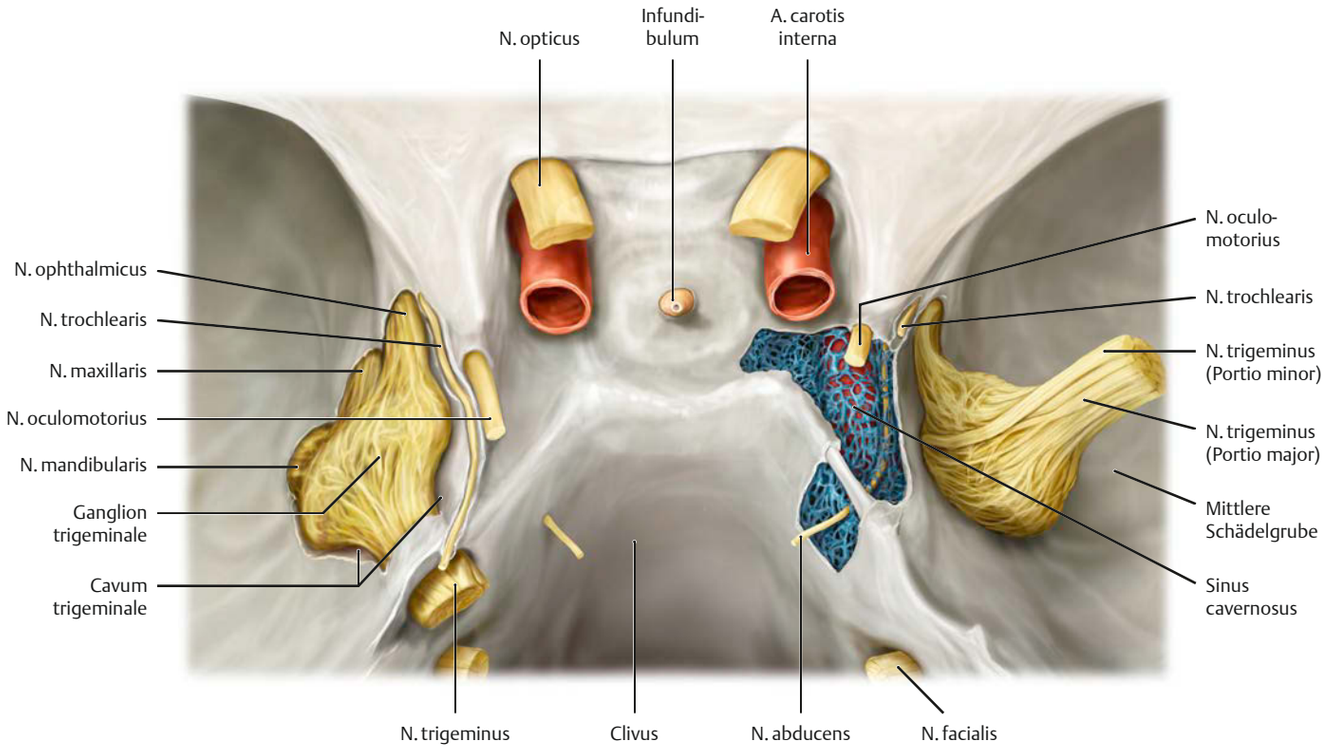


D Rechte Orbita von der Seite

Ansicht von lateral. Entfernt sind: laterale Orbitawand bis zur Fissura orbitalis inferior (s. Navigator), laterale Teile des Orbitadaches sowie retrobulbäres Fettgewebe und die vorderen 2 Drittel des M. levator palpebrae superioris; der M. rectus lateralis ist durchtrennt. So lässt sich der gesamte Orbitainhalt gut präparieren, v. a. Ganglion ciliare und R. communicans cum n. zygomatico (parasympathische Fasern aus dem Ganglion pterygopalatinum für die Gl. lacrimalis). Entfernt man zusätzlich die Ala major des Os sphenoidale, sieht man auch das Ganglion trigeminale und den eröffneten Sinus cavernosus.

Beachte in der entfernten Facies orbitalis des Os zygomaticum die Durchtrittsstellen für die Rr. zygomaticofaciales und zygomaticotemporales, die sensiblen Endäste des N. zygomaticus für die Haut über dem Jochbogen und der Schläfe.

5.19 Topografie des Sinus cavernosus



A Verlauf der zur Orbita ziehenden Hirnnerven im Sinus cavernosus

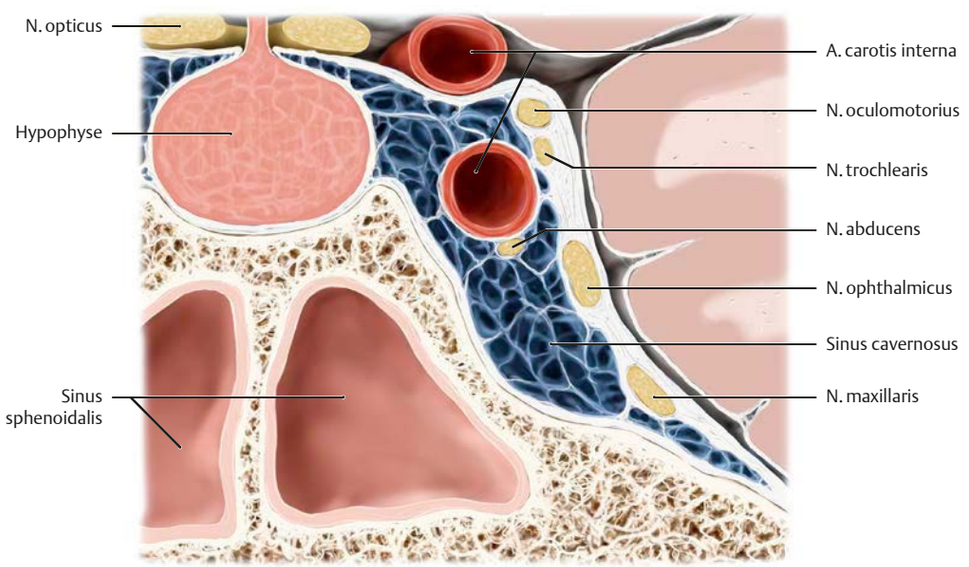
Sella turcica mit teilweise eröffnetem Sinus cavernosus auf der rechten Seite, Ansicht von kranial. Beide Ganglia trigeminalia sind freigelegt, das rechte Ganglion ist zusätzlich nach lateral verlagert (dadurch Eröffnung des Cavum trigeminale = Cavum Meckeli), um den eröffneten Sinus cavernosus mit der im Sinus verlaufenden A. carotis interna (Pars cavernosa) zu demonstrieren.

Beachte den ebenfalls im Sinus cavernosus und zwar in unmittelbarer Nachbarschaft der Karotis verlaufenden N. abducens. Alle anderen hier verlaufenden Nerven (N. oculomotorius, N. trochlearis sowie die drei Endäste des N. trigeminus) ziehen in der lateralen Durawand des Sinus nach rostral bzw. kaudal. Bei einem intrakavernösem Karotisaneurysma ist daher am häufigsten der *N. abducens* betroffen, nicht selten sogar isoliert. Das raumfordernde Aneurysma komprimiert den Nerv und verursacht so seinen Funktionsausfall. Deshalb sollte bei einer isolierten, plötzlich auftretenden Abduzensparese immer ein Karotisaneurysma als mögliche Ursache in Betracht gezogen werden (vgl. **D**). Ein isolierter Ausfall des *N. trochlearis* ist dagegen sehr selten. Der N. trochlearis ist eher u. a. *mit*betroffen, z. B. im Rahmen einer Sinus-cavernosus-Thrombose, die sich dann auf alle durch den Sinus cavernosus ziehenden Nerven auswirkt, häufig auch auf die beiden ersten Äste des N. trigeminus.

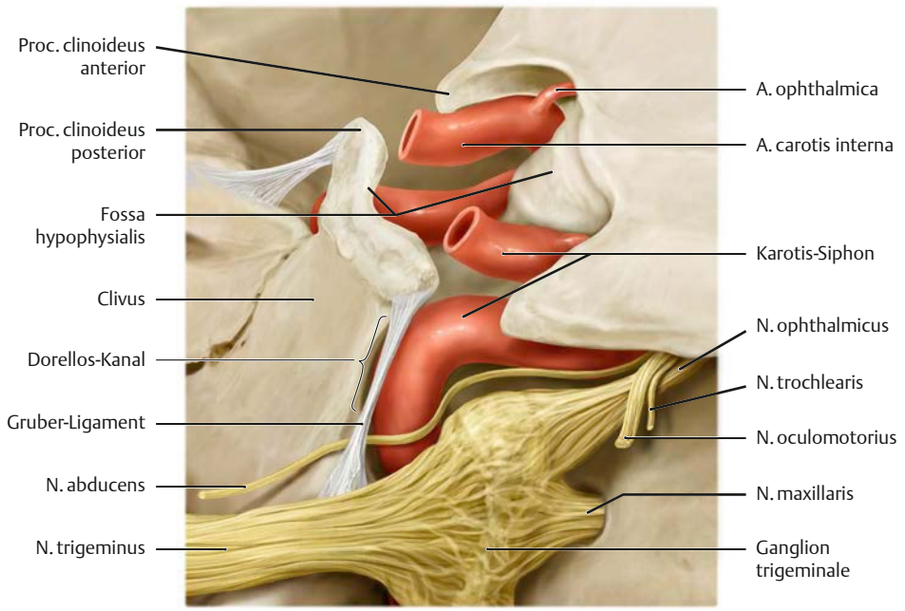
B Frontalschnitt durch den Sinus cavernosus auf Höhe der Hypophyse

Ansicht von rostral.

Beachte die in der lateralen Wand bzw. die intrakavernös verlaufenden Strukturen.



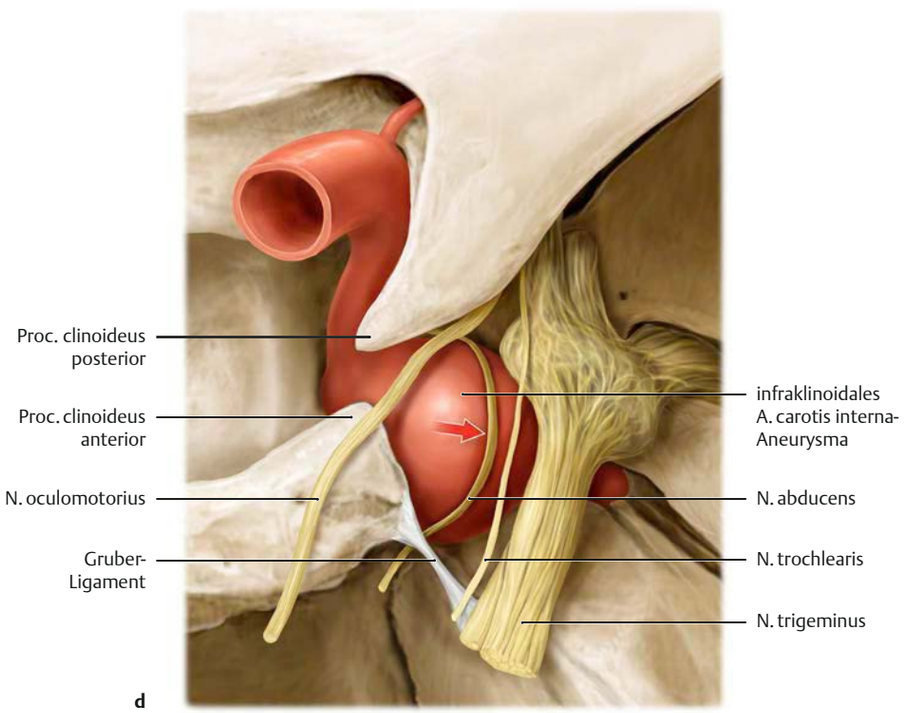
C Topografie des extraduralen Verlaufes des N. abducens auf dem Clivus und im geöffneten linken Sinus cavernosus
Ansicht von links.
Beachte den langen extraduralen Verlauf des N. abducens von seinem Durchtritt durch die Dura im kranialen Drittel des Clivus (davor in seinem subarachnoidalen Segement auf Höhe der Cisterna pontis), über die sog. „Abduzensbrücke“ (unter dem Gruber-Ligament durch den Dorellos-Kanal) auf Höhe der Spitze der Felsenbeinpyramide (Übertritt von der hinteren in die mittlere Schädelgrube) und weiter durch den Sinus cavernosus in unmittelbarer Nachbarschaft der A. carotis interna, um schließlich durch die Fissura orbitalis superior in die Orbita zu gelangen.




a


b

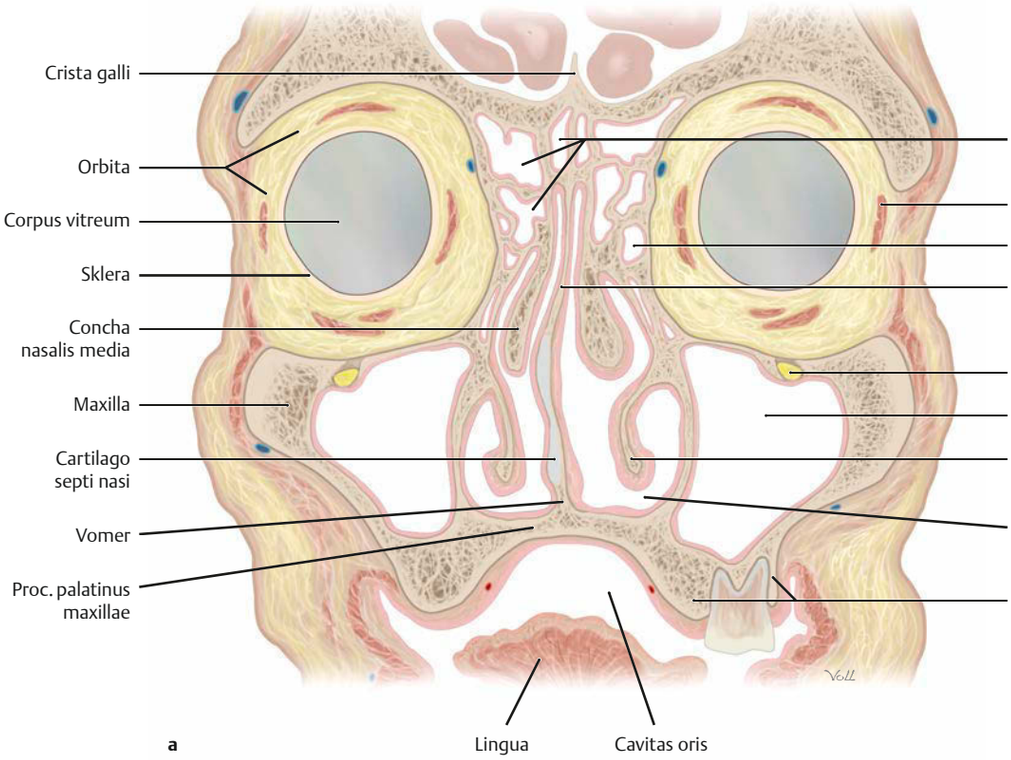

c

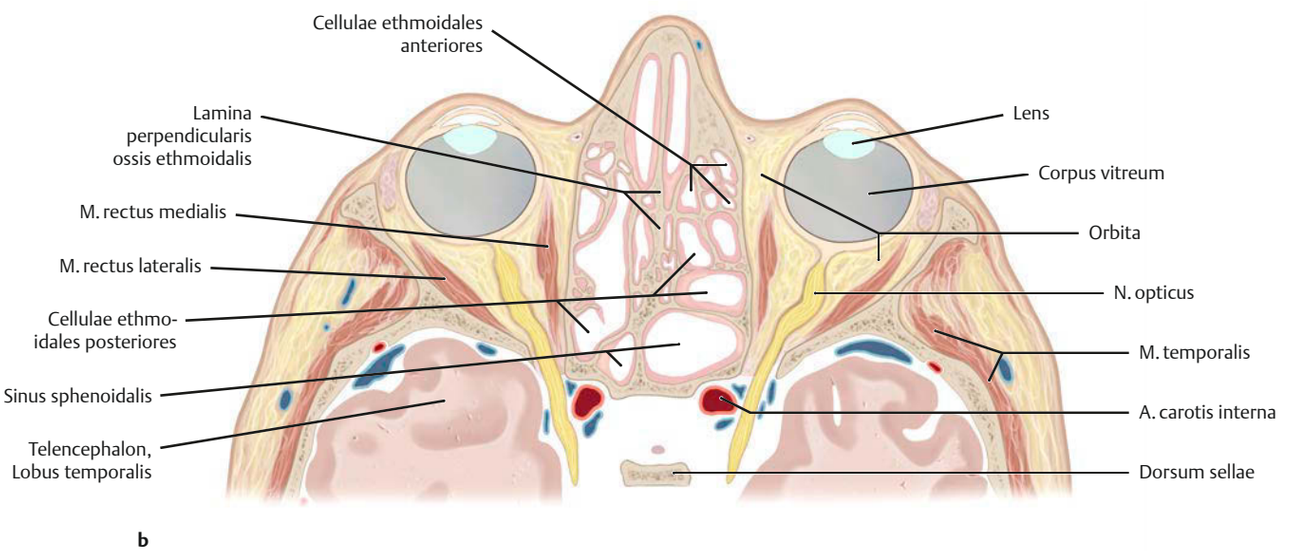


d

D Trochlearis- und Abduzensparesen
a Trochlearisparese rechts; **b** Abduzensparese rechts (Blickrichtung jeweils geradeaus); **c** kompensatorische Kopfhaltung bei rechtseitiger Abduzensparese; **d** infraklinoidal gelegenes intrakavernöses Carotis-interna-Aneurysma mit Kompression des N. abducens.
Augenmuskellähmungen können infolge einer Läsion im Kerngebiet bzw. im Verlauf des entsprechenden Hirnnervs oder im Augenmuskel selbst entstehen (s. S. 173). Die Folgen sind eine – je nach ausfallendem Muskel typische – Fehlstellung des betroffenen Auges und das Auftreten von Doppelbildern, das der Betroffene durch eine veränderte Kopfhaltung zu umgehen versucht. So weicht beispielsweise beim Ausfall des N. abducens (Abduzensparesen sind mit 47 % der Fälle die häufigste peripher-neurogene Augenmotilitätsstörung) bereits in Primärposition das betroffene Auge durch den isolierten Ausfall des M. rectus lateralis mehr oder weniger nach innen ab (Strabismus paralyticus convergens). Hierbei induziert die störende Doppelbildwahrnehmung eine kompensatorische Kopfhaltung (**c**), also eine Kopfhaltung, bei der die Doppelbilder nicht oder kaum auftreten: Der Patient wendet den Kopf nach lateral zur Seite des betroffenen Muskels (eine Stellung, in der der paretische Muskel ohnehin funktionslos ist). Intrakavernöse Carotis-interna-Aneurysmen können sowohl supra- als auch infraklinoideal liegen, wobei insbesondere infraklinoideale Aneurysmen (**d**) eine langsam raumfordernde Dynamik zeigen und dabei zu einer isolierten Kompression des N. abducens führen.

5.20 Nase (Nasus): Übersicht und Schleimhautrelief





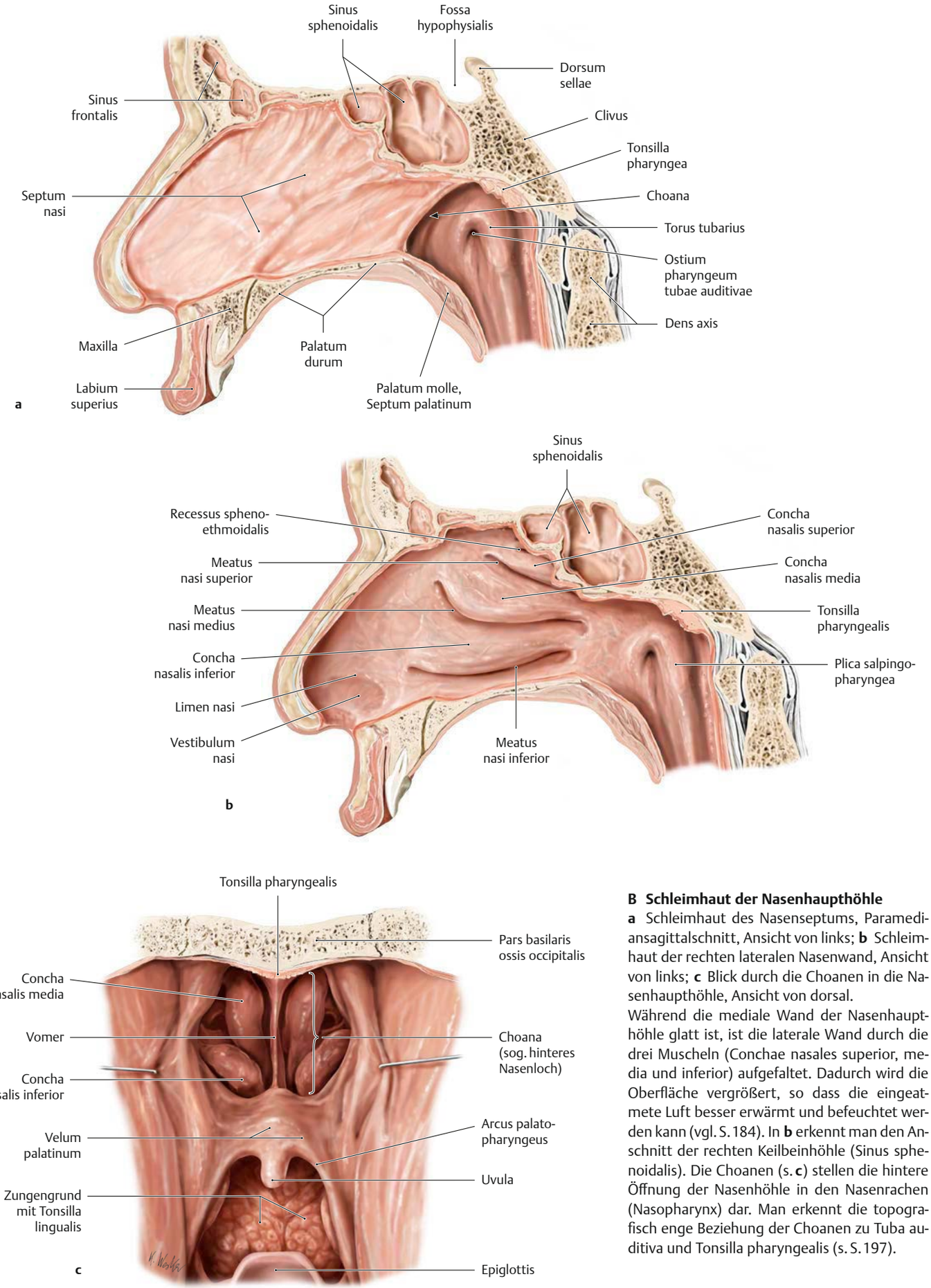
A Übersicht über die Nasenhöhlen
a Frontalschnitt, Ansicht von frontal; **b** Horizontalschnitt, Ansicht von kranial.

Der knöcherne Aufbau der Nasenhöhle wird als bekannt vorausgesetzt (v. a. die Öffnungen der verschiedenen Gänge unter den Muscheln, s. S. 42 f). Nasenhaupt- und -nebenhöhlen sind paarig angelegt. Die Haupthöhlen, die durch das Nasenseptum getrennt sind, haben eine annähernd dreieckige Struktur. Unterhalb der Basis dieses Dreiecks liegt die Mundhöhle. Von den paarigen Nasennebenhöhlen sind hier zu erkennen:

- Stirnhöhle (Sinus frontalis),
- Siebbeinhöhle (Cellulae ethmoidales = die Gesamtheit der Siebbeinzellen = Sinus ethmoidalis*),
- Kieferhöhle (Sinus maxillaris) und
- Keilbeinhöhle (Sinus sphenoidalis).

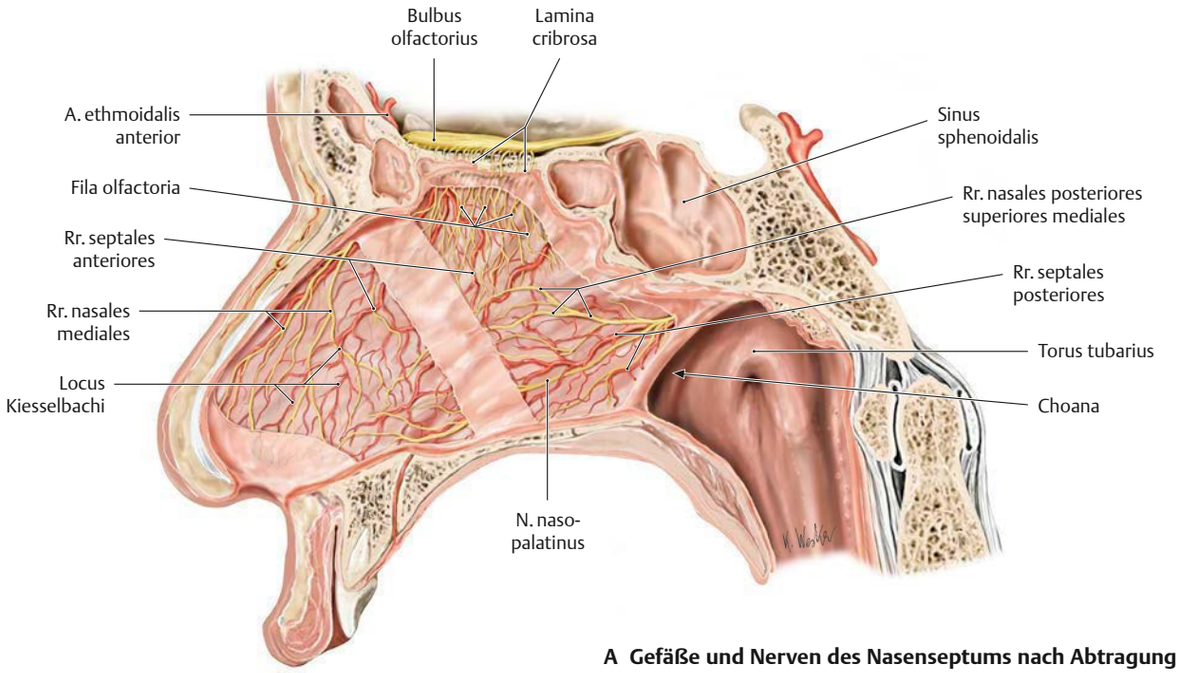
Innen sind diese Höhlen alle mit respiratorischem Flimmerepithel ausgekleidet (s. S. 184).

* Die Bezeichnung „Sinus ethmoidalis“ wird in der neuesten anatomischen Nomenklatur nicht mehr aufgeführt. In der Praxis ist sie jedoch nach wie vor sehr verbreitet.

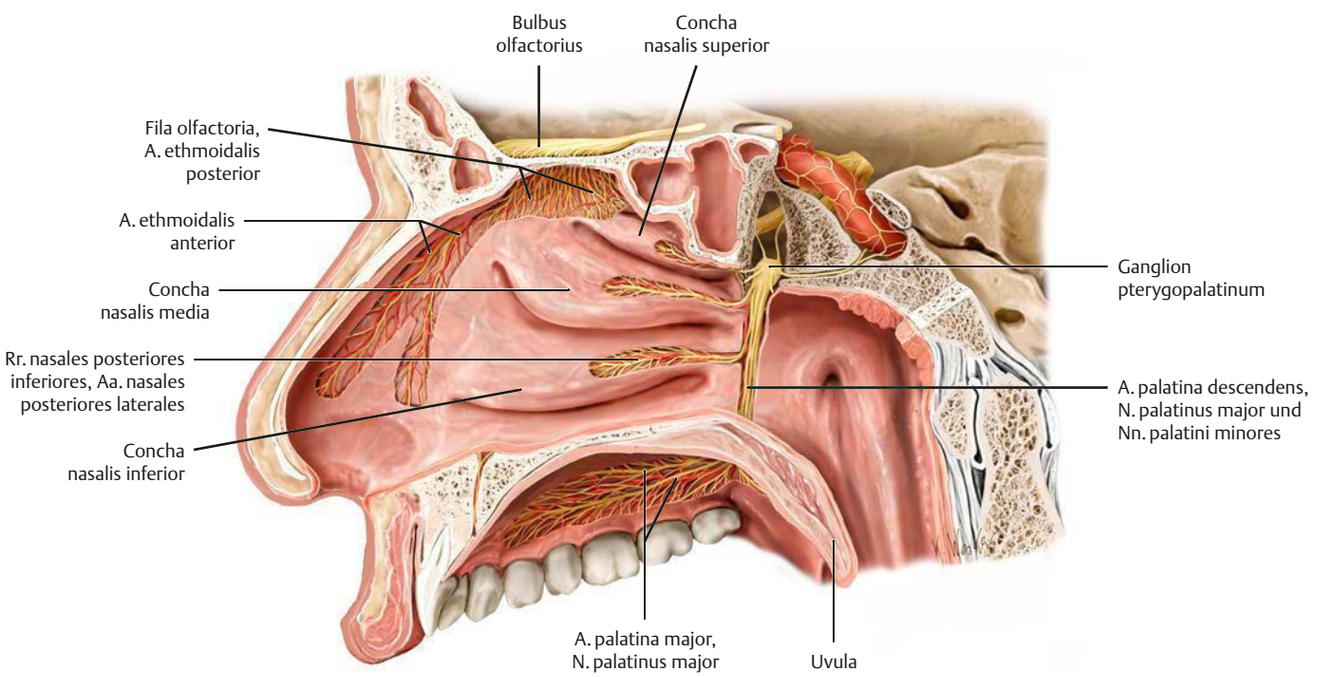


B Schleimhaut der Nasenhaupthöhle
a Schleimhaut des Nasenseptums, Paramediansagittalschnitt, Ansicht von links; **b** Schleimhaut der rechten lateralen Nasenwand, Ansicht von links; **c** Blick durch die Choanen in die Nasenhaupthöhle, Ansicht von dorsal.
Während die mediale Wand der Nasenhaupthöhle glatt ist, ist die laterale Wand durch die drei Muscheln (Conchae nasales superior, media und inferior) aufgefaltet. Dadurch wird die Oberfläche vergrößert, so dass die eingeatmete Luft besser erwärmt und befeuchtet werden kann (vgl. S. 184). In **b** erkennt man den Anschnitt der rechten Keilbeinhöhle (Sinus sphenoidalis). Die Choanen (s. **c**) stellen die hintere Öffnung der Nasenhöhle in den Nasenrachen (Nasopharynx) dar. Man erkennt die topografisch enge Beziehung der Choanen zu Tuba auditiva und Tonsilla pharyngealis (s. S. 197).

5.21 Gefäß- und Nervenversorgung der Nasenhaupthöhle



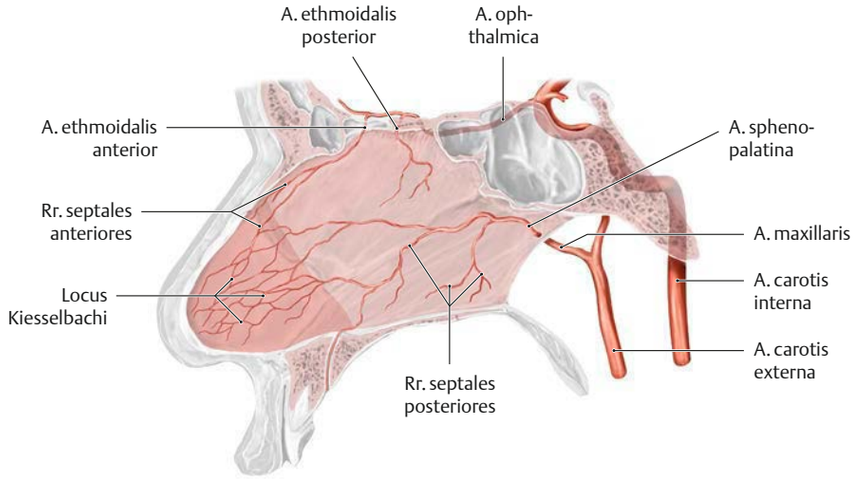
A Gefäße und Nerven des Nasenseptums nach Abtragung der Schleimhaut
Paramediansagittalschnitt, Ansicht von links. Im Nasenseptum ist wegen des Nasenblutens besonders die arterielle Versorgung von klinischem Interesse (s. **C**).



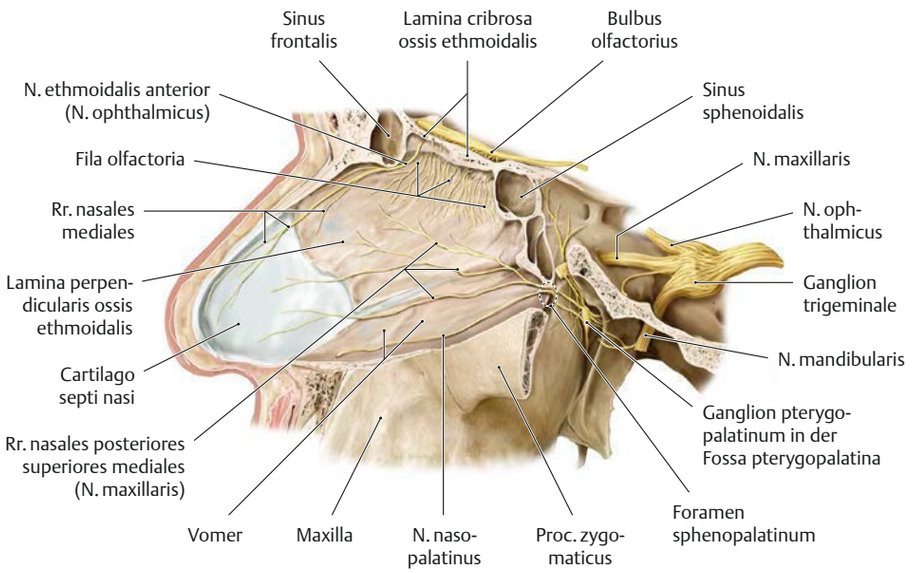
B Gefäße und Nerven der rechten lateralen Nasenwand
Ansicht von links. Das Ganglion pterygopalatinum, eine wichtige Umschaltstation des Parasympathikus (s. S. 127 u. 239), ist durch Teilresektion des Keilbeins sichtbar gemacht worden. Die aus ihm hervorgehenden Nervenfasern ziehen zu den kleinen Nasendrüsen der Muscheln hin. Sie ziehen zusammen mit den Gefäßen von dorsal in die Muscheln (Conchae) hinein. Im Bereich der oberen Muschel ziehen die Riechfäden (Fila olfactoria) durch die Siebplatte (Lamina cribrosa) in den Bereich der Riechschleimhaut. Die arterielle Versorgung erfolgt von kranial aus den beiden Aa. ethmoidales aus der A. ophthalmica, von dorsal aus den Aa. nasales posteriores laterales aus der A. sphenopalatina.

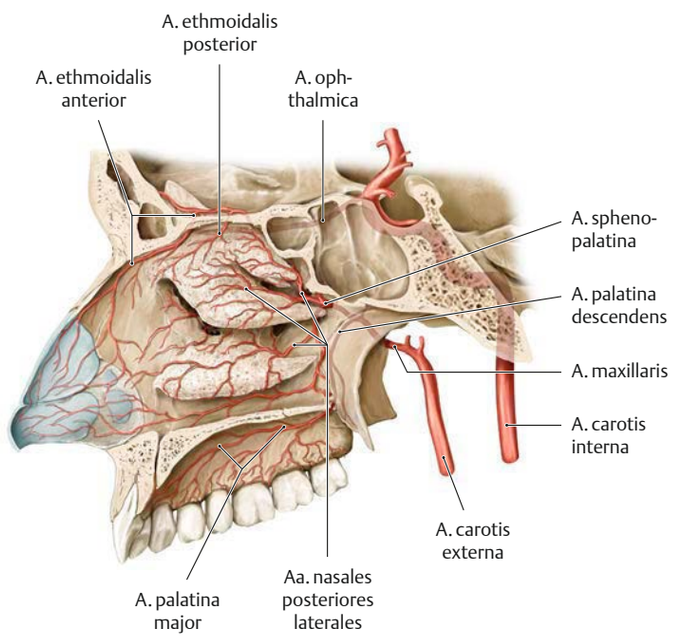
In den folgenden Abbildungen wird die Systematik der Versorgung der Nasenhaupthöhlen geschildert. Analog zur Präparation werden dabei zunächst das Septum und dann die laterale Wand beschrieben.

C Arterien des Nasenseptums
Ansicht von links. Die Gefäße des Septums stammen aus dem Stromgebiet der Aa. carotides externa und interna. Im vorderen Bereich des Septums befindet sich ein gefäßreiches Areal, der Locus Kiesselbachi (farbig hervorgehoben), der von beiden Stromgebieten gespeist wird. Hier ist beim Nasenbluten meistens die Blutungsquelle.

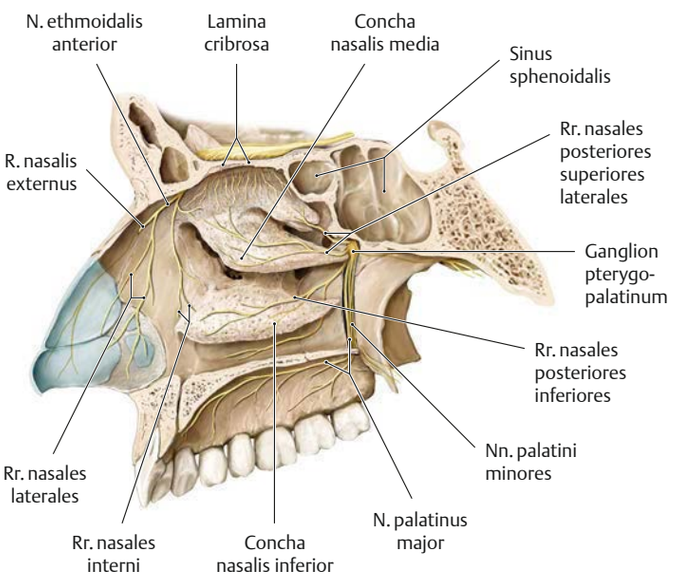


D Nerven des Nasenseptums
Ansicht von links. Die sensible Versorgung erfolgt aus Ästen des N. trigeminus (V); im vorderen oberen Bereich des Septums von Ästen des N. ophthalmicus (V_1), in den übrigen Abschnitten von Ästen des N. maxillaris (V_2). Das Areal der Riechschleimhaut wird vom N. olfactorius (I) speziell sensibel innerviert.



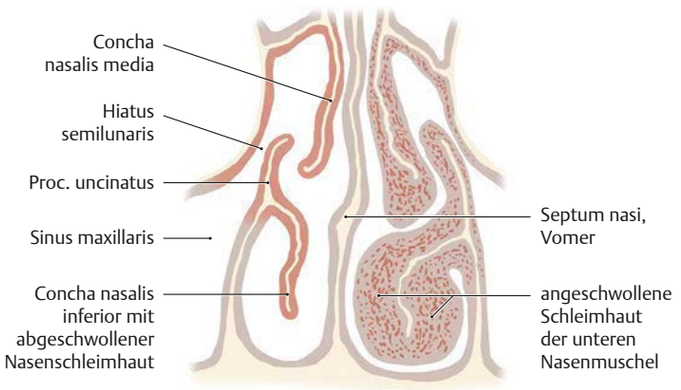


E Arterien der rechten lateralen Nasenwand
Ansicht von links.
Beachte die Gefäßversorgung aus dem Stromgebiet der A. carotis interna (von kranial kommend) und der A. carotis externa (von dorsal kommend).

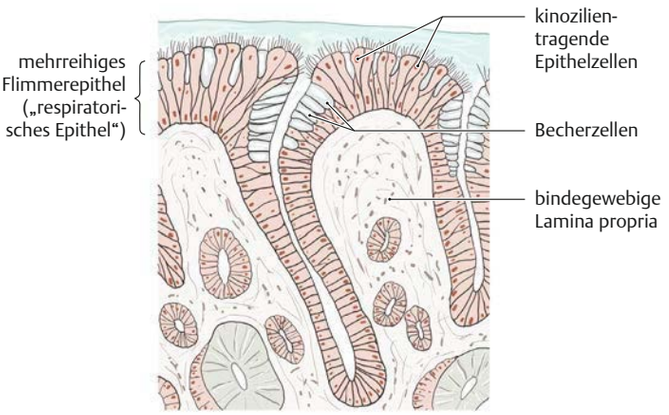


F Nerven der rechten lateralen Nasenwand
Ansicht von links. Die sensible Versorgung erfolgt von Ästen des N. ophthalmicus (V_1) und des N. maxillaris (V_2). Die Riechschleimhaut wird vom N. olfactorius (I) speziell sensibel innerviert.

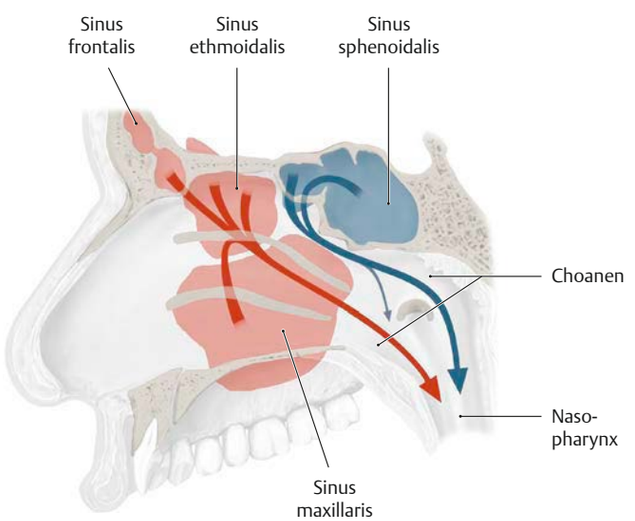
5.22 Histologie und klinische Anatomie der Nasenhöhlen



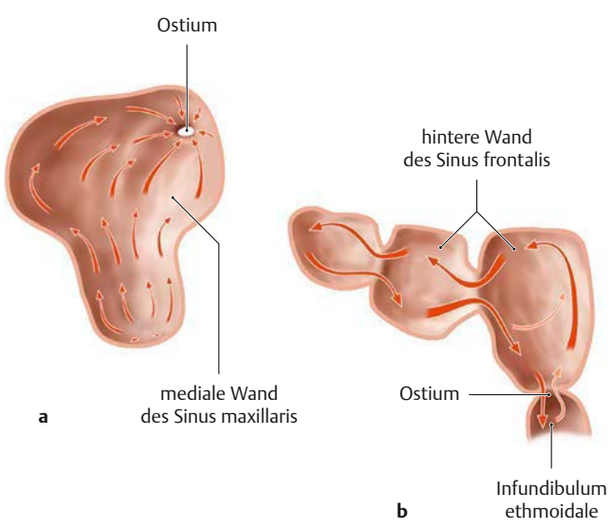
A Funktionszustände der Schleimhaut in der Nasenhaupthöhle
Frontalschnitt, Ansicht von vorne.
Die Nasenschleimhaut hat die Funktion, die eingeatmete Luft zu erwärmen und zu befeuchten. Zu diesem Zweck ist sie gut durchblutet (s. S. 101 u. 103) und deshalb stark angeschwollen (links). Die Schleimhäute der beiden Seiten sind aber nicht gleichzeitig angeschwollen, sondern befinden sich in einem etwa sechsstündigen Rhythmus des An- und Abschwellens (rechts abgeschwollener Zustand). Zur verbesserten Einsicht bei der Untersuchung kann man die Schleimhaut mit abschwellenden Medikamenten vorbehandeln, sie wird dann etwa so dünn wie auf der gegenüber liegenden Seite.



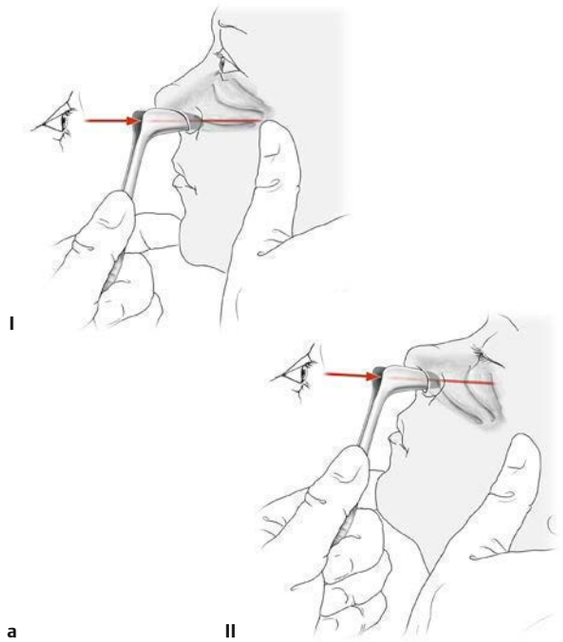
B Histologie der Nasenschleimhaut
Das mehrreihige respiratorische Epithel besteht an seiner Oberfläche aus kinozilientragenden Zellen und Becherzellen, die ihren Schleim in eine wässrige Schicht auf die Epitheloberfläche sezernieren. Seröse und seromuköse Drüsen, die neben den Becherzellen ihr Sekret an die Oberfläche in den Flüssigkeitsfilm abgeben, sind in das Bindegewebe eingelagert. Der von den Zilien erzeugte, gerichtete Flüssigkeitsstrom (s. **C** u. **D**) ist ein wichtiger Bestandteil der unspezifischen Abwehr. Ist der geordnete Zilienschlag gestört, leiden die Patienten unter ständig wiederkehrenden Infekten des Respirationstraktes.

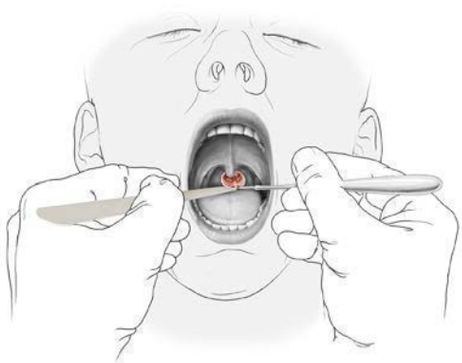


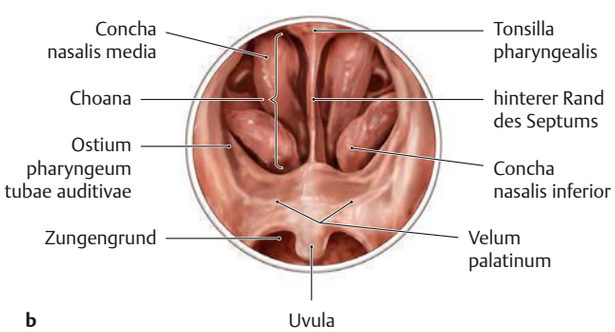
C Normaler Sekretfluss aus den Nasennebenhöhlen
Ansicht von links. Durch den Zilienschlag wird der Flüssigkeitsstrom über den Zilien nach außen transportiert (s. **D**). Der Großteil des Sekrets gelangt über die Choanen in den Nasopharynx und wird verschluckt.



D Richtung von Zilienschlag und Flüssigkeitsstrom in der rechten Kiefer- bzw. Stirnhöhle (Sinus maxillaris und Sinus frontalis)
Schematisierter Frontalschnitt des rechten Sinus maxillaris (**a**) bzw. Sinus frontalis (**b**), Ansicht von frontal; zur Lage der Sinus vgl. **C**.
Durch den Zilienschlag wird ein Flüssigkeitsstrom in den Nasennebenhöhlen erzeugt, der immer in Richtung auf das Ostium abfließt. Durch ihn werden im Schleim eingefangene Partikel und Keime hinausbefördert. Wird das Ostium durch eine Schleimhautschwellung verschlossen, kann daraus eine Entzündung in der betroffenen Nebenhöhle resultieren *(Sinusitis)*. Dies ist besonders im Bereich der ostiomeatalen Einheit des Kieferhöhlen-Siebbein-Ostiums der Fall (s. S. 42 f) (nach Stammberger u. Hawke).



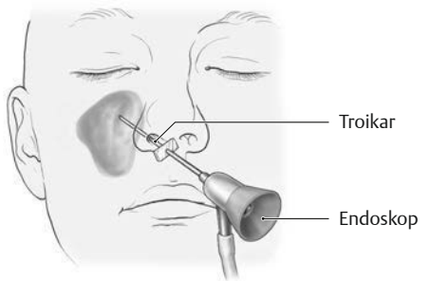




E Vordere und hintere Rhinoskopie

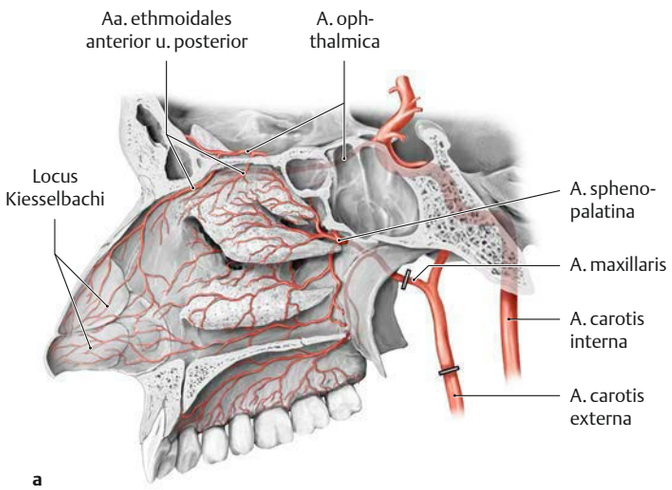
a Die **vordere Rhinoskopie** dient der Inspektion der Nasenhaupthöhle. Um diese in ihren vorderen Abschnitten in Gänze beurteilen zu können, müssen zwei verschiedene Positionen (I, II) eingenommen werden.

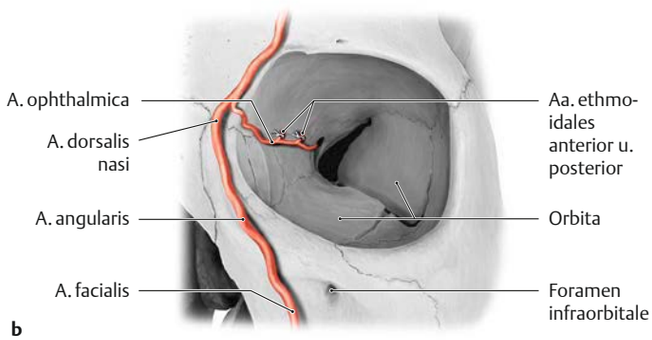
b Bei der **hinteren Rhinoskopie** werden die Choanen und die Rachenmandel (Tonsilla pharyngealis) der klinischen Untersuchung zugänglich. Durch Kippung und Drehung des Spiegels können die im zusammengesetzten Bild dargestellten Strukturen erkannt werden. Der Spiegel wird heute oft durch ein Endoskop ersetzt.



F Endoskopie der Kieferhöhle

Ansicht von frontal. Die Kieferhöhle ist der direkten Inspektion nicht zugänglich, sie muss deshalb mit dem Endoskop untersucht werden. Um mit dem Endoskop in die Kieferhöhle zu gelangen, durchstößt man mit einem Troikar zunächst die dünne Knochenwand unter der unteren Muschel und schiebt durch seine Öffnung das Endoskop vor. Durch Drehen und Kippen des Endoskops kann dann die Schleimhaut inspiziert werden.



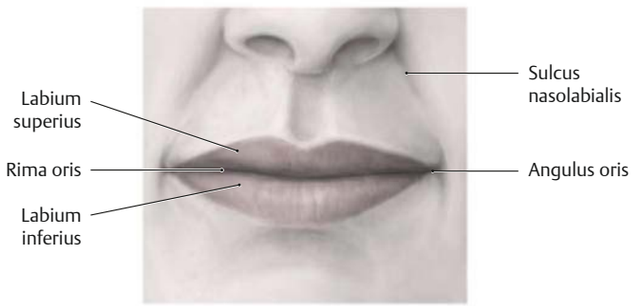


G Orte der arteriellen Unterbindung bei schwerem Nasenbluten

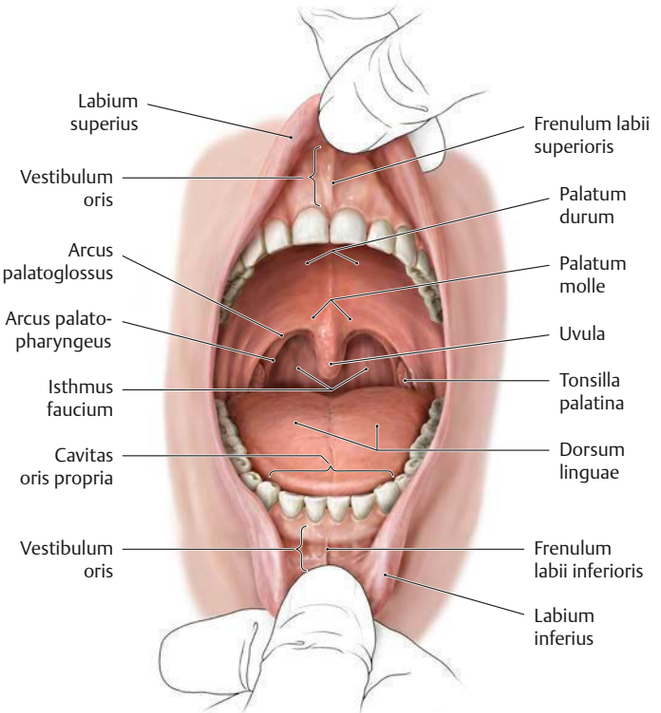
Wenn bei schwerem Nasenbluten eine normale Tamponade versagt, kann es unter Umständen erforderlich werden, ein größeres arterielles Gefäß zu unterbinden. Möglich ist die Unterbindung folgender Arterien:

- A. maxillaris bzw. A. sphenopalatina (**a**),
- A. carotis externa (**a**) sowie
- der beiden Aa. ethmoidales in der Orbita (**b**).

5.23 Mundhöhle (Cavitas oris): Übersicht; harter und weicher Gaumen



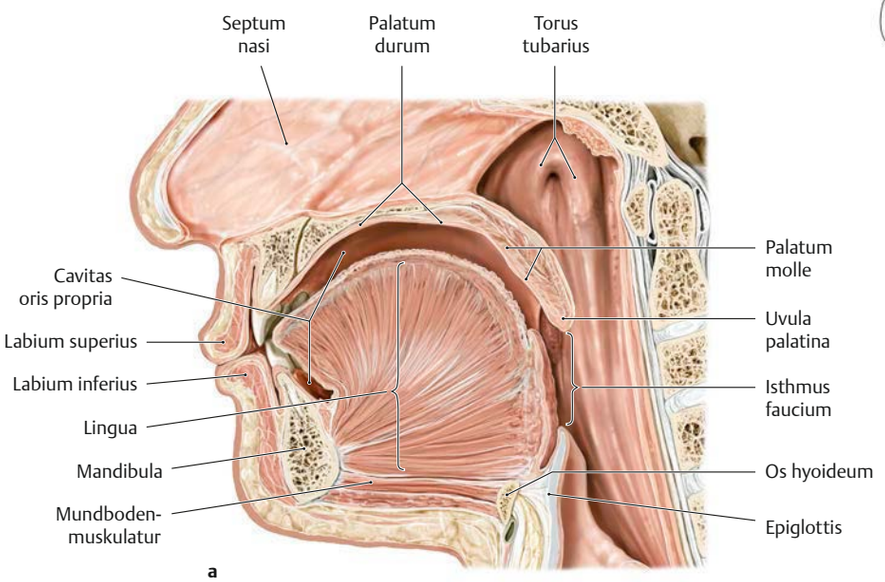
A Lippen und Lippenfurchen
Ansicht von frontal. Ober- und Unterlippe (Labium superius und inferius) gehen im Mundwinkel (Angulus oris) ineinander über. Durch die Mundspalte (Rima oris) gelangt man in die Mundhöhle (Cavitas oris). Veränderungen an den Lippen können bei der Inspektion wichtige diagnostische Hinweise liefern: Blaue Lippen (Zyanose) lassen auf Erkrankungen von Herz und/oder Lungen schließen, während tiefe Nasolabialfalten ein Hinweis auf chronische Erkrankungen des Verdauungstraktes sein können.

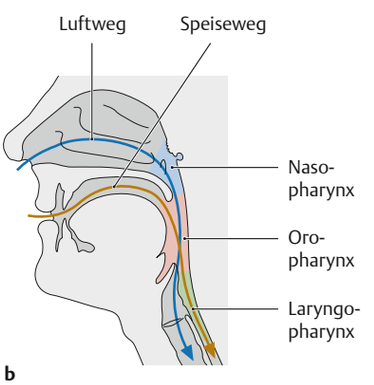


B Mundhöhle (Cavitas oris)
Ansicht von ventral. Die beiden Zahnreihen mit den Alveolarfortsätzen des Ober- und Unterkiefers unterteilen die Mundhöhle in (vgl. **C**):

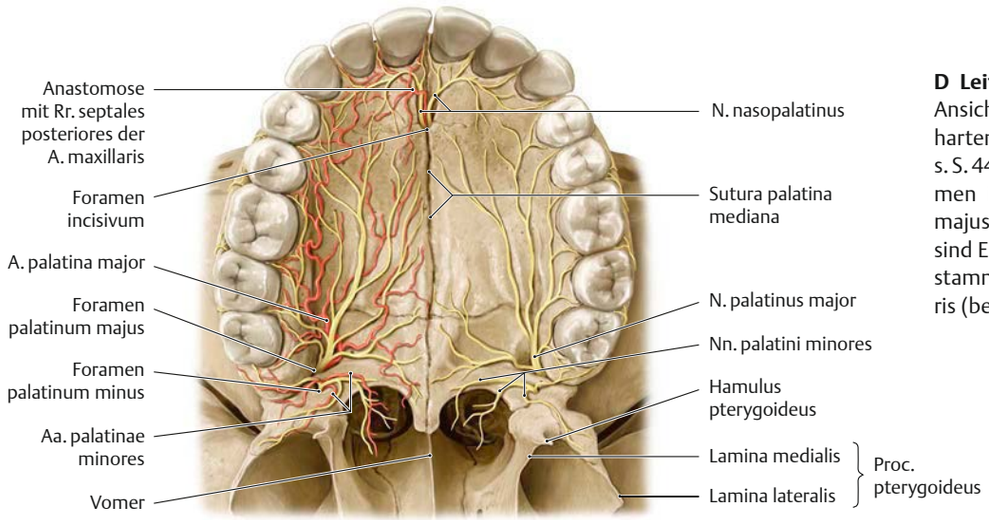
- Vestibulum oris: Mundhöhlenvorhof zwischen Lippen bzw. Wangen und Zahnreihe,
- Cavitas oris propria: Mundhöhle im engeren Sinne (innerhalb der Zahnreihen, Grenze nach hinten: Arcus palatoglossus),
- Fauces: Schlund (Grenze zum Rachen: Arcus palatopharyngeus).

Der Schlund geht in der Schlundenge (Isthmus faucium) in den Rachen über. Die Mundhöhle ist von mehrschichtig unverhorntem Plattenepithel ausgekleidet, das von Sekreten der kleinen Speicheldrüsen (s. S. 211) befeuchtet wird. Plattenepithelkarzinome der Mundhöhle entwickeln sich häufig bei Rauchern, die zusätzlich oft konzentrierten Alkohol zu sich nehmen.

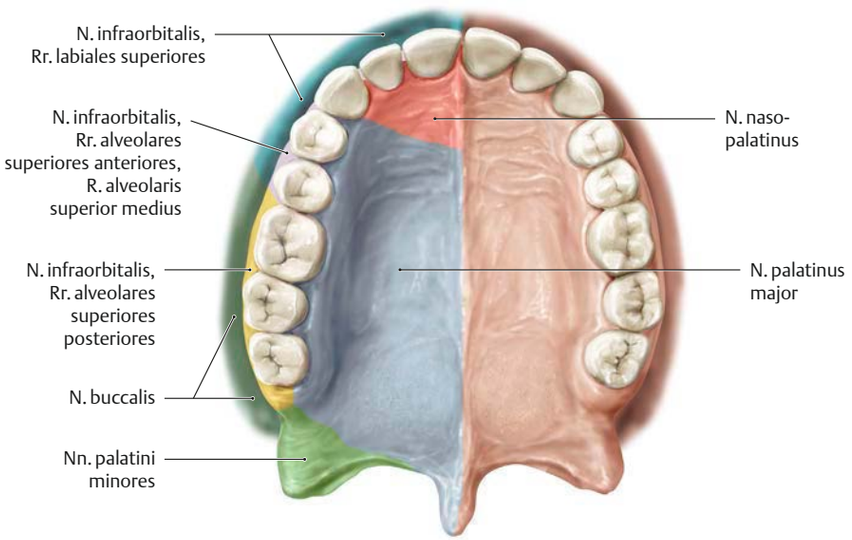




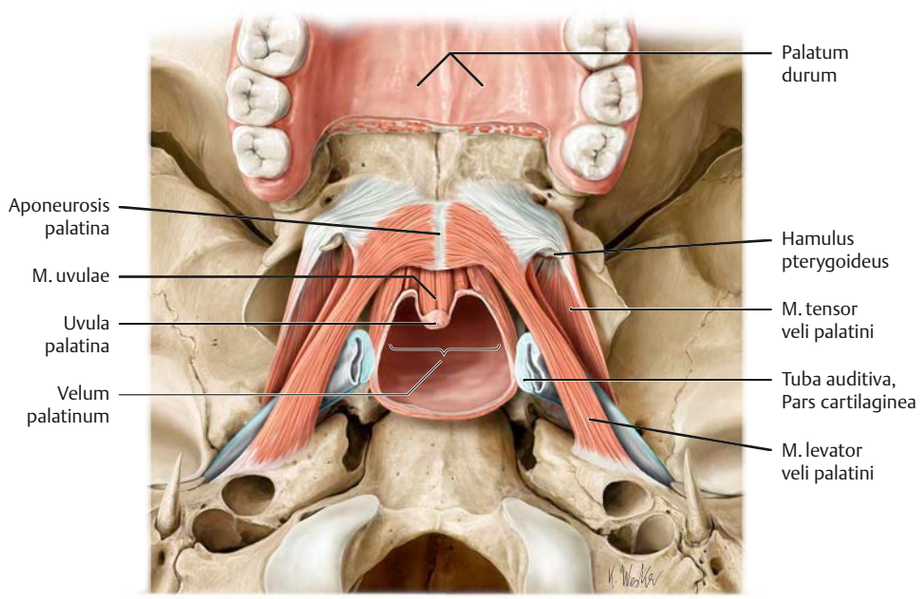
C Gliederung und Begrenzung der Mundhöhle
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links. Mundbodenmuskulatur und Zunge (die dieser aufliegt) stellen zusammen die kaudale Begrenzung der Cavitas oris propria dar. Ihr Dach wird in den vorderen zwei Dritteln vom harten Gaumen (Palatum durum), im hinteren Drittel vom weichen Gaumen bzw. vom Gaumensegel (Palatum molle = Velum palatinum) gebildet (s. **F**); die Uvula palatina bildet den Abschluss zum Rachen (Pharynx). Das mehrschichtig verhornte Plattenepithel der Haut geht im Bereich des Lippenrots in das mehrschichtig unverhornte Plattenepithel der Mundhöhle über. Oberhalb der Mundhöhle liegt die Nasenhöhle, hinter der Mundhöhle der Rachen; in seinem mittleren Abschnitt, dem Oropharynx, überkreuzen sich Luft- und Speiseweg (**b**).



D Leitungsbahnen des harten Gaumens
Ansicht von kaudal. Die Leitungsbahnen des harten Gaumens (zur Anatomie der Knochen s. S. 44) gelangen von kranial durch das Foramen incisivum sowie die Foramina palatina majus und minus zur Mundhöhle. Die Nerven sind Endäste des N. maxillaris (V_2), die Arterien stammen aus dem Stromgebiet der A. maxillaris (beide nicht dargestellt).

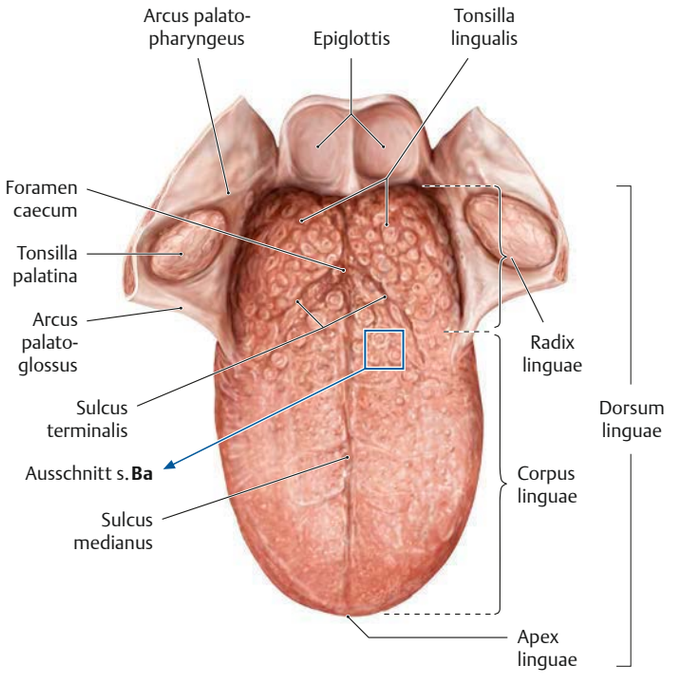


E Sensible Innervationsgebiete von Gaumenschleimhaut, Oberlippe, Wangen und Zahnfleisch
Ansicht von kaudal.
Beachte, dass die sensible Innervation des dargestellten Gebietes von verschiedenen Ästen des N. trigeminus erfolgt (N. buccalis aus dem N. mandibularis, alle übrigen Äste aus dem N. maxillaris, V_2).

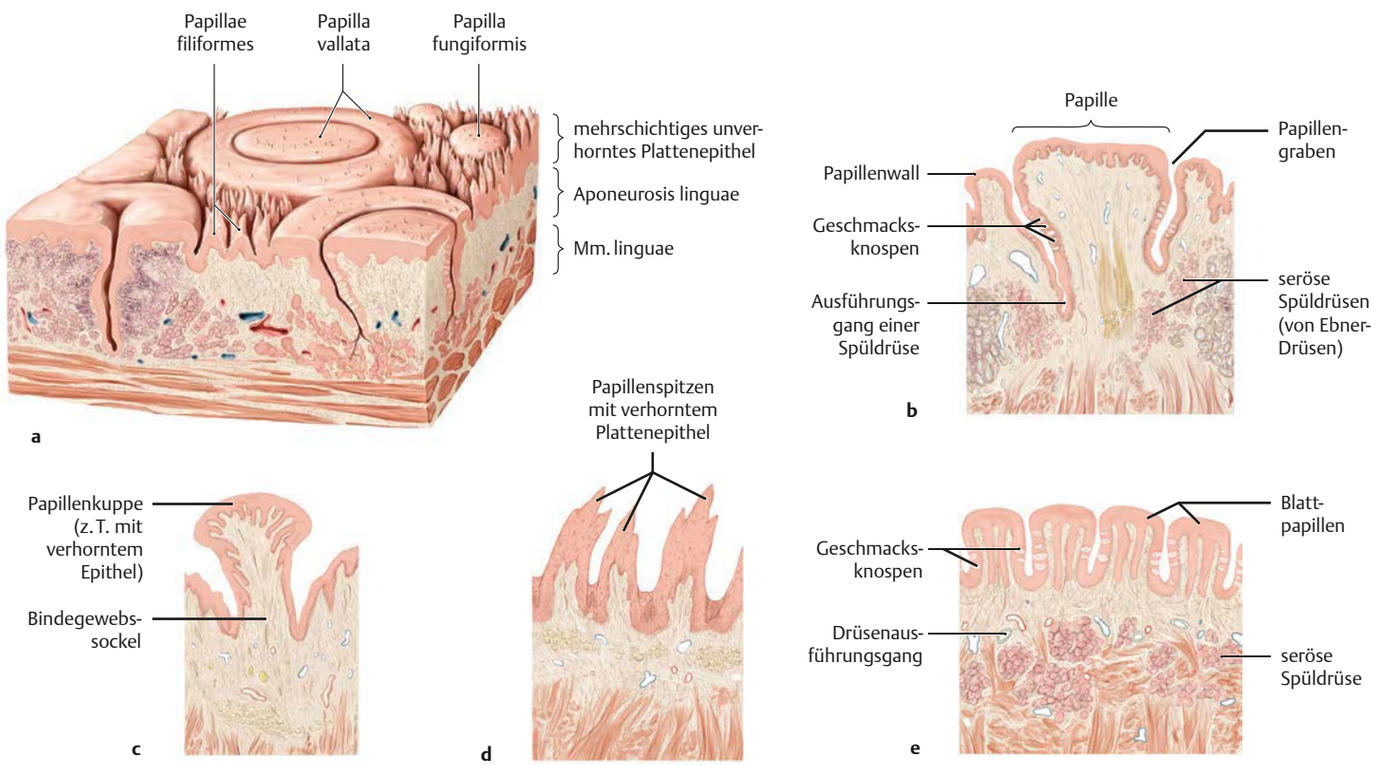


F Muskulatur des weichen Gaumens (Palatum molle)
Ansicht von kaudal. Das Gaumensegel (Velum palatinum) bildet die hintere Grenze der Mundhöhle zum Oropharynx. In der Mittellinie strahlen die Muskeln in die Aponeurosis palatina ein; sie bildet die bindegewebige Grundlage des Gaumensegels. Man erkennt den M. tensor veli palatini, den M. levator veli palatini und den M. uvulae. Während der M. tensor veli palatini das Gaumensegel spannt und dabei gleichzeitig den Eingang in die Tuba auditiva öffnet, hebt der M. levator veli palatini das Gaumensegel bis zur Horizontalen. Mit Ausnahme des M. uvulae sind die beiden anderen Muskeln zusätzlich am Aufbau der seitlichen Pharynxwand beteiligt.

5.24 Zunge (Lingua): Muskeln und Schleimhaut



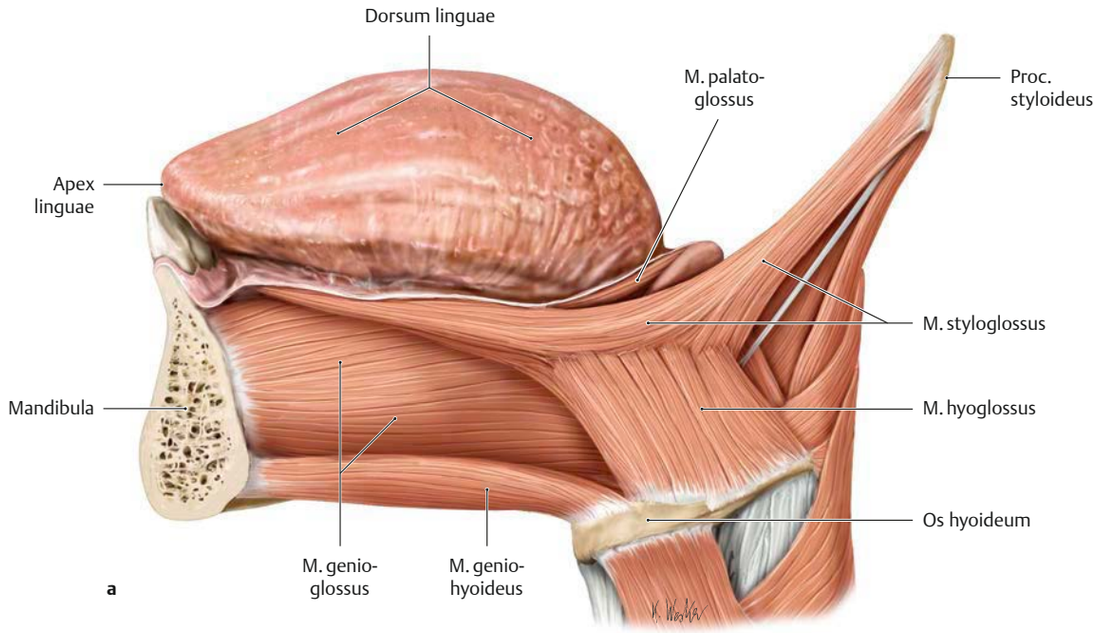
A Schleimhautrelief der Zunge
Ansicht von kranial. Während die motorischen Eigenschaften der Zunge beim Kauen, Schlucken und Sprechen funktionell wichtig sind, dienen die sensorischen Funktionen dem Geschmack und den Sexualkontakten. Für die Motorik der Zunge ist ein sehr kräftiger Muskelkörper ausgebildet (s. **Ca**). Seine Oberfläche (Dorsum linguae) ist von einer regional stark spezialisierten Schleimhaut, der Tunica mucosa linguae, bedeckt. Das Dorsum linguae (also die Oberfläche der Zunge) wird von ventral nach dorsal in Spitze (Apex linguae), Körper (Corpus linguae) und Wurzel (Radix linguae) unterteilt.
Die V-förmige Furche auf dem Dorsum linguae (Sulcus terminalis) teilt die Zunge (zusätzlich zur Einteilung in Spitze, Körper und Wurzel) in einen vorderen (Pars anterior bzw. presulcalis) und hinteren Teil (Pars posterior bzw. postsulcalis), wobei die Pars anterior zwei Drittel, die Pars posterior ein Drittel der Zunge einnimmt. Die Spitze des „V" bildet das Foramen caecum (Schilddrüsenanlage!). Diese Unterteilung ist embryologisch bedingt und hat eine unterschiedliche Innervation der beiden Anteile zur Folge (s. S. 191). Die Schleimhaut des vorderen Abschnitts faltet sich in verschiedene Papillen auf (s. **B**), im Bindegewebe zwischen Schleimhautoberfläche und Muskulatur finden sich zahlreiche kleine Speicheldrüsen. Da aus ihnen manchmal (zumeist bösartige) Tumoren hervorgehen können, muss man sie kennen.
Die serösen Drüsen im Bereich der Geschmacksknospen (s. **Bb**–**e**) werden auch als *von-Ebner-Spüldrüsen* bezeichnet: Durch das Sekret dieser Drüsen werden die Geschmacksknospen ständig frei gespült.

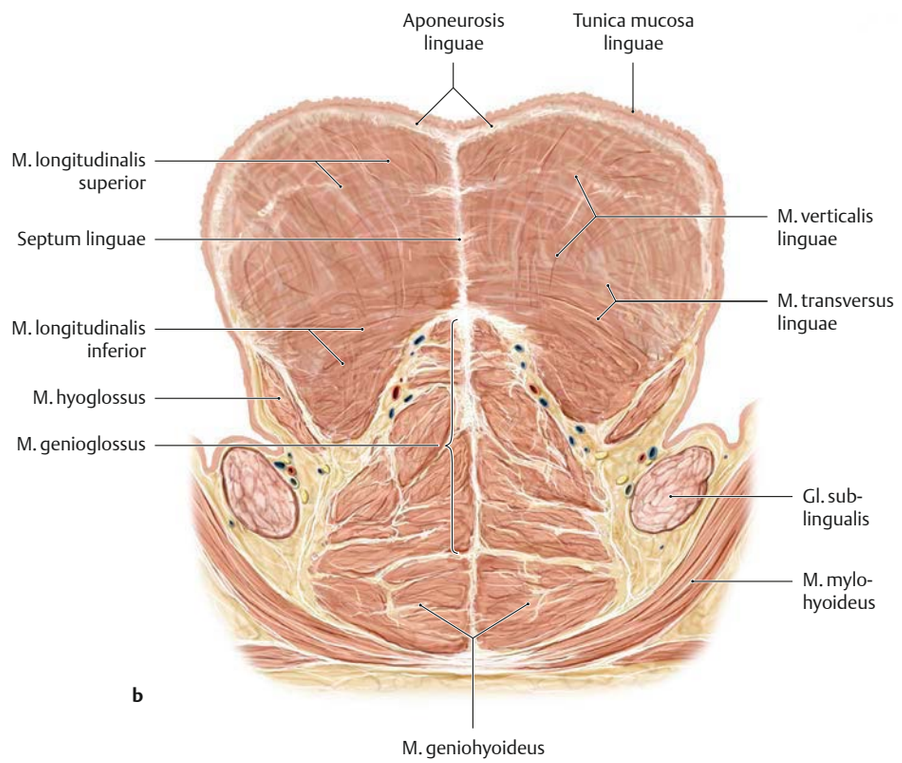


B Zungenpapillen (Papillae linguales)
a Blockförmige Darstellung der Zungenpapillen; **b**–**e** Papillentypen. Morphologisch lassen sich vier Typen von Papillen unterscheiden:

b Papilla vallata: von einem Ringwall umgeben, enthält sehr viele Geschmacksknospen;

c Papilla fungiformis, pilzförmig, am Zungenrand gelegen (Mechano-, Thermorezeptoren, auch Geschmacksknospen);
d Papilla filiformis, fadenförmig, dient der Tastempfindung;
e Papilla foliata (Blattpapille): am hinteren Zungenrand, enthält zahlreiche Geschmacksknospen.





C Zungenmuskeln (Mm. linguae)
Ansicht von links (**a**), Frontalschnitt in der Ansicht von vorne (**b**).
Man unterscheidet äußere und innere Zungenmuskeln. Die äußeren entspringen bestimmten Knochenpunkten, die inneren haben keinen Bezug zu Skelettelementen. Zu den *äußeren* Zungenmuskeln zählen:

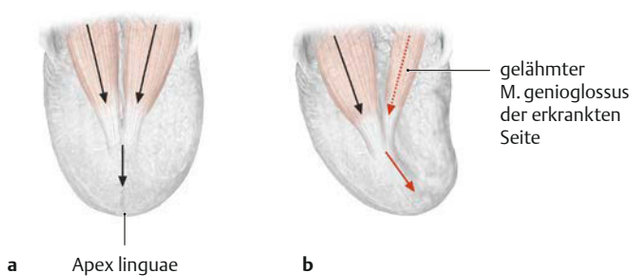
- M. genioglossus,
- M. hyoglossus und
- M. styloglossus.

Zu den *inneren* Zungenmuskeln zählen:

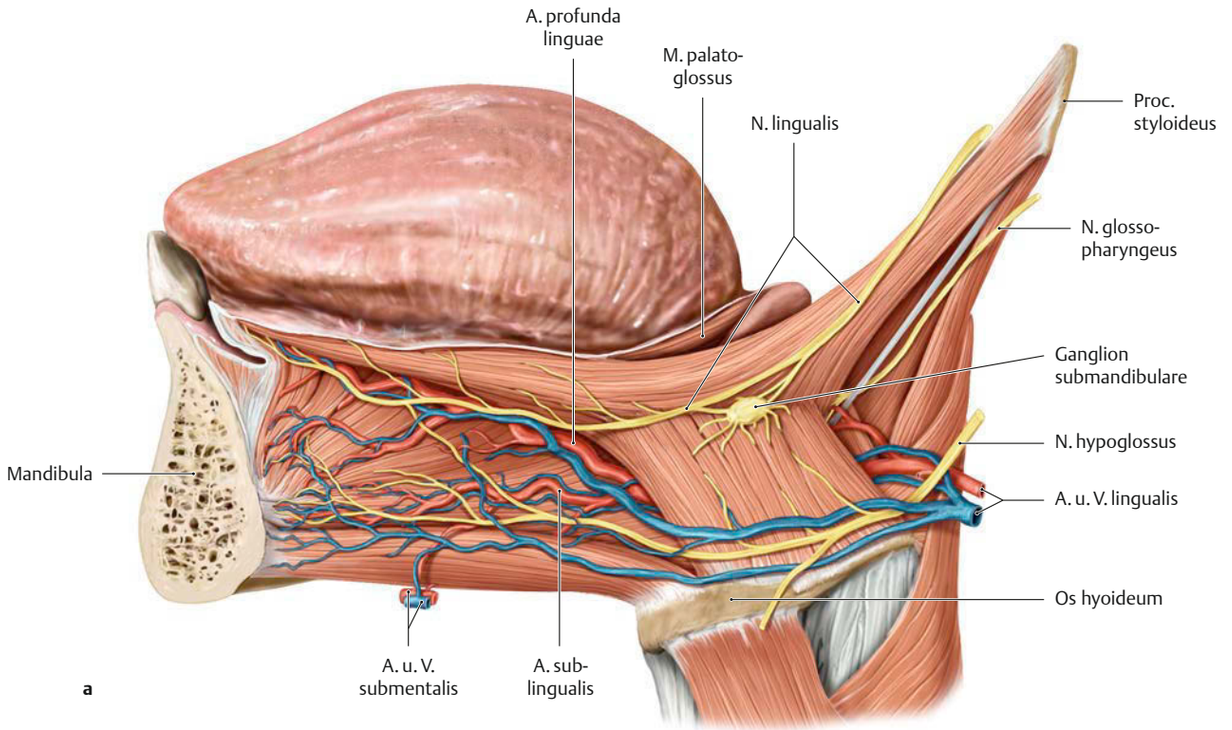
- M. longitudinalis superior,
- M. longitudinalis inferior,
- M. transversus linguae und
- M. verticalis linguae.

Die äußeren Muskeln bewegen die Zunge insgesamt, die inneren verformen sie. Alle hier genannten echten Zungenmuskeln werden vom N. hypoglossus (XII. Hirnnerv) innerviert. Der M. palatoglossus (s. **a**) wirkt zwar auf die Zunge, ist aber ein Gaumen- oder Schlundengenmuskel, zählt also zu den Mm. palati mollis et faucium, nicht zu den Mm. linguae. Er hat deshalb auch seine ursprüngliche Innervation aus dem N. glossopharyngeus mitgenommen.

D Einseitige Hypoglossusparese
Bewegung der Zunge beim Herausstrecken: **a** bei intaktem; **b** bei einseitig geschädigtem N. hypoglossus.
Wenn der N. hypoglossus einseitig geschädigt ist, ist der M. genioglossus der entsprechenden Seite gelähmt. Der gesunde bzw. innervierte M. genioglossus auf der gegenüberliegenden Seite wird dann so dominant, dass er die Zunge über die Mittellinie zur erkrankten Seite hin zieht. Die Zunge weicht also beim Herausstrecken zur gelähmten Seite ab.

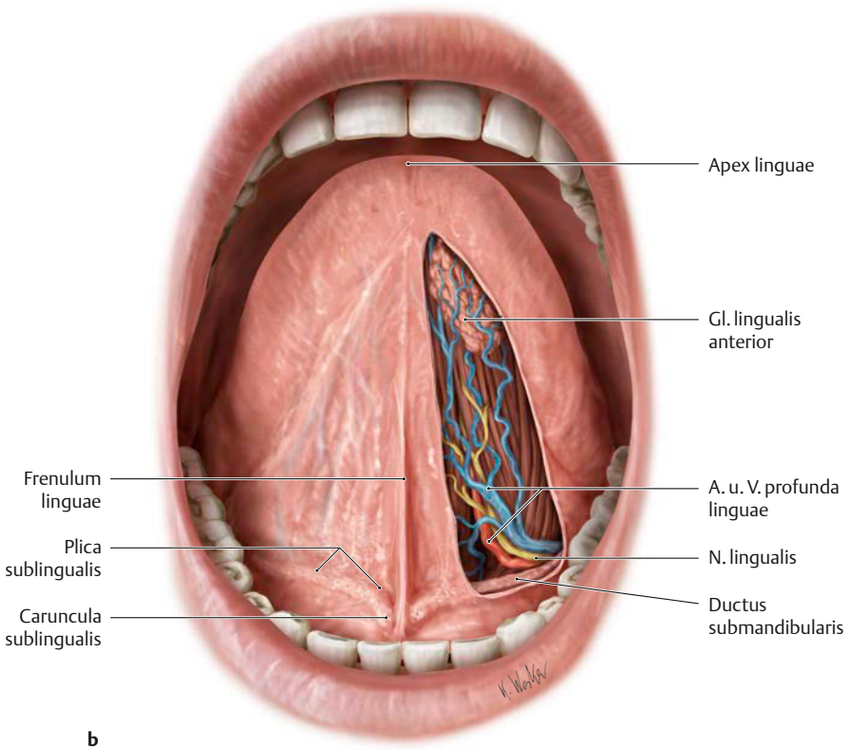


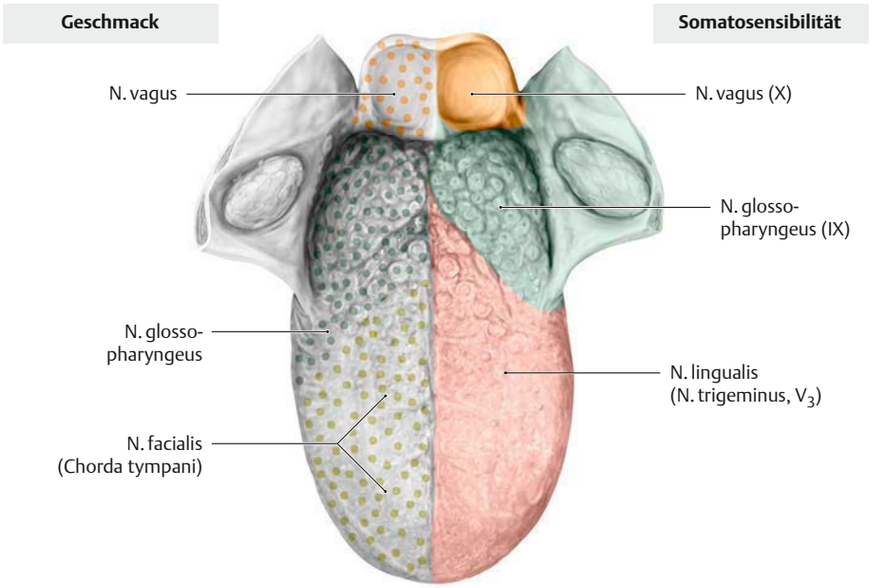
5.25 Zunge: Leitungsbahnen und Lymphdrainage



A Leitungsbahnen der Zunge
a Ansicht von links; **b** Sicht auf die Unterfläche der Zunge.

Die Zunge wird von der *A. lingualis* (aus der A. carotis externa) versorgt, die sich in die Endäste A. profunda linguae und A. sublingualis aufzweigt. Parallel zu ihr verläuft meist die V. lingualis. Sie drainiert in die *V. jugularis interna.* Die *sensible* Versorgung der Zungenschleimhaut erfolgt über den *N. lingualis*, einen Ast des N. mandibularis (V_3). Ihm angelagert sind Fasern aus der Chorda tympani des N. facialis (VII), die die afferenten Fasern für den Geschmack der vorderen zwei Drittel der Zunge enthalten. Zusätzlich enthält die Chorda tympani die präganglionären, parasympathischen viszeromotorischen Fasern für das Ganglion submandibulare, in dem die parasympathischen Fasern für die Gll. submandibularis und sublingualis von prä- auf postganglionär umgeschaltet werden (Einzelheiten s. S. 127). Die *somatomotorische* Innervation des M. palatoglossus soll über den N. glossopharyngeus (IX) erfolgen, die der übrigen Zungenmuskulatur über den N. hypoglossus (XII).

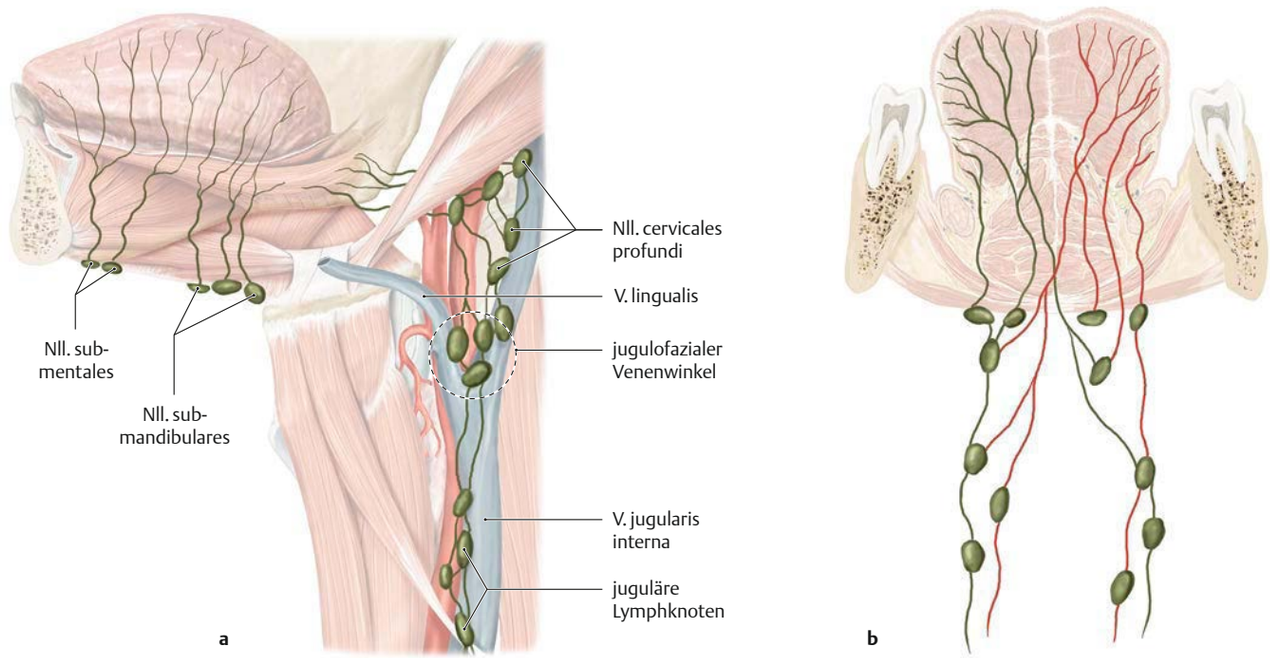




B Sensible (linke Zungenhälfte) und sensorische Innervation (Geschmacksfasern) der Zunge (rechte Zungenhälfte)
Ansicht von ventral. Die *somatosensible* Innervation (z. B. Berührungs-, Schmerz- und Temperaturempfindungen) erfolgt durch drei Hirnnervenäste, deren Innervationsgebiete auf der Zunge von vorne nach hinten angeordnet sind:

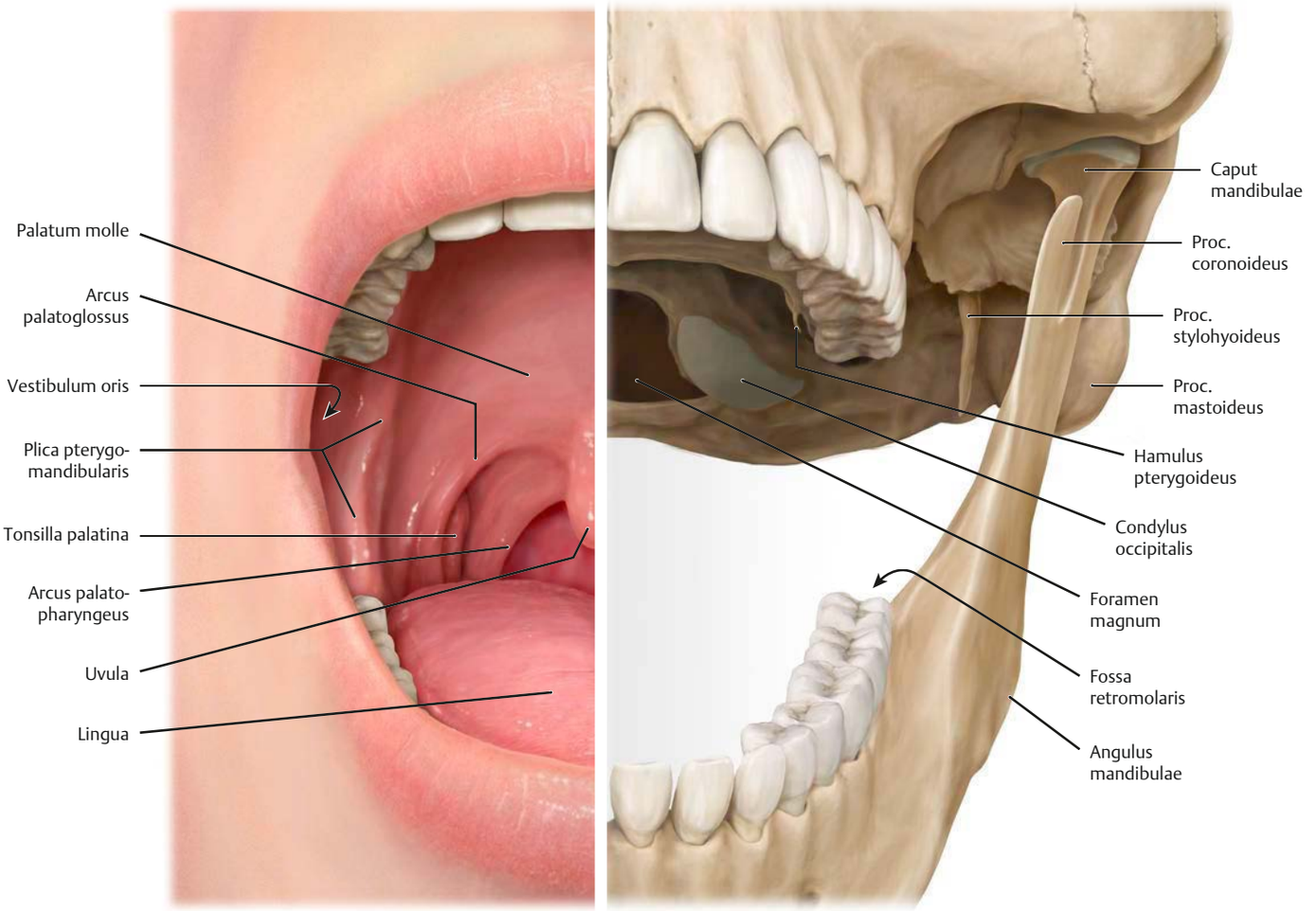
- N. lingualis (V_3),
- N. glossopharyngeus (IX) und
- N. vagus (X).

Die *sensorischen* Geschmacksfasern werden ebenfalls in drei Hirnnerven geleitet: VII (N. facialis) (Chorda tympani), IX (N. glossopharyngeus) und X (N. vagus). Wenn also in den vorderen zwei Dritteln der Zunge eine Geschmacksstörung vorliegt, ist der N. facialis geschädigt, ist das Tast-, Schmerz- oder Temperaturempfinden beeinträchtigt, liegt die Störung beim N. trigeminus (vgl. S. 121 u. 127).

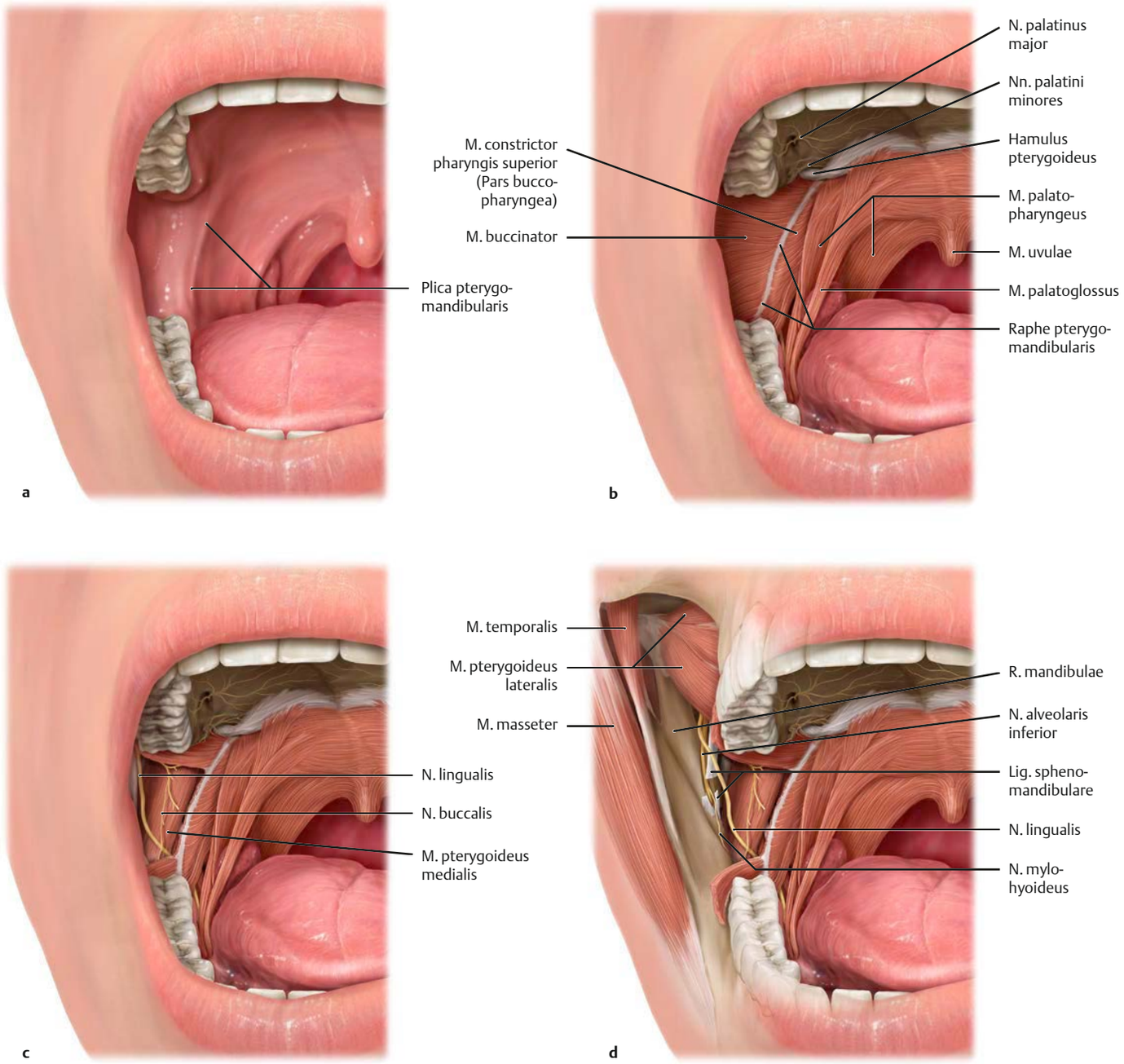


C Lymphabfluss von Zunge und Mundboden
Ansicht von links (**a**) und frontal (**b**).
Der Lymphabfluss von Zunge und Mundboden erfolgt über submentale und submandibuläre Lymphknotenstationen, die letztlich in die Lymphknoten entlang der V. jugularis interna drainieren (**a**, juguläre Lymphknoten). Da die Lymphe sowohl homolateral als auch zur Gegenseite abfließt (**b**), können Tumorzellen in diesem Bereich weit gestreut werden (z. B. metastasieren Plattenepithelkarzinome, insbesondere des lateralen Zungenrandes, häufig auch auf die Gegenseite).

5.26 Topografie der geöffneten Mundhöhle



A Schleimhautverhältnisse versus knöchernes Skelett von Ober- und Unterkiefer
Ansichten von ventral bei maximaler Mundöffnung.
Die Gegenüberstellung zeigt, wo welche **knöchernen Strukturen (b) unterhalb der Mundschleimhaut (a)** verlaufen. Hier blickt man jenseits des Isthmus faucium auf die hintere Pharynxwand. Ventral der seitlichen Begrenzung der Schlundenge, also vor Arcus palatopharyngeus, Arcus palatoglossus und dazwischenliegender Tonsilla palatina, ist auf beiden Seiten eine bogenförmig nach medial verlaufende Schleimhautfalte gut sichtbar, die Plica pterygomandibularis. Diese wulstartige Erhebung begrenzt das Vestibulum oris nach hinten. Sie verläuft von der Fossa retromolaris des Unterkiefers (hinter dem letzten Molaren, Teil des Trigonum retromolare, s. S. 48) in Richtung des harten Gaumens zum Hamulus pterygoideus. Grundlage der Plica pterygomandibularis ist ein gut ausgebildeter Sehnenstreifen (Raphe pterygomandibularis) zwischen Fossa und Hamulus. An ihm inserieren sowohl der obere Schlundschnürer (Pars buccopharyngea) als auch der M. buccinator, der sog. Trompeter- oder Bläsermuskel. Die Plica pterygomandibularis wird daher auch als „Rachenbläserfalte“ bezeichnet. Sie ist vor allem bei einer Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior (s. **B**, **b**) eine wichtige Orientierungshilfe.
Im **Präpariersaal** ist die komplett geöffnete Mundhöhle so fast nie zu sehen, da die Körperspender meist mit geschlossenem Mund fixiert werden, so dass die Zunge mehr oder weniger komplett den Mundraum ausfüllt. Zudem sind oft nur wenige oder gar keine Zähne vorhanden. Die Mundhöhle wird dann in der Regel an einer mediansagittal geschnittenen Kopfhälfte präpariert. Der Überblick über die komplette und geöffnete Mundhöhle fehlt daher. In der **klinischen Realität** gehört die Inspektion der geöffneten Mundhöhle und des Rachenringes jedoch zum Mindestumfang einer körperlichen Untersuchung (Lippen, Mundschleimhaut, Zunge, Tonsillen und Pharynx sowie Zähne und Zahnfleisch). Denn die Mundhöhle spiegelt Gewohnheiten wieder (z. B., ob jemand raucht), gibt Auskunft über das Ausmaß der Körperpflege (Zustand der Zähne) sowie über Erkrankungen innerer Organe (z. B. die sog. Lackzunge = atrophische Glossitis = Atrophie der Zungenpapillen bei Eisenmangelanämie oder bei Morbus Crohn) und der Mundhöhle selbst. So sollte jede Schleimhautunregelmäßigkeit (Leukoplakie, Knoten, Ulzeration etc.) immer unter dem Verdacht auf ein Malignom untersucht und abgeklärt werden. Neben der Inspektion spielt die Palpation eine wichtige Rolle, um beispielsweise Informationen über Konsistenz und Ausdehnung von Unregelmäßigkeiten und Farbveränderungen innerhalb der Mundschleimhaut zu bekommen. Befunde im Mundboden oder Wangenbereich werden hierbei bimanuell von innen und außen gleichzeitig palpiert (s. S. 211). Schließlich sind topografische Kenntnisse der geöffneten Mundhöhle eine wichtige Voraussetzung z. B. für gezielte Anästhesien bei zahnärztlichen Behandlungen.



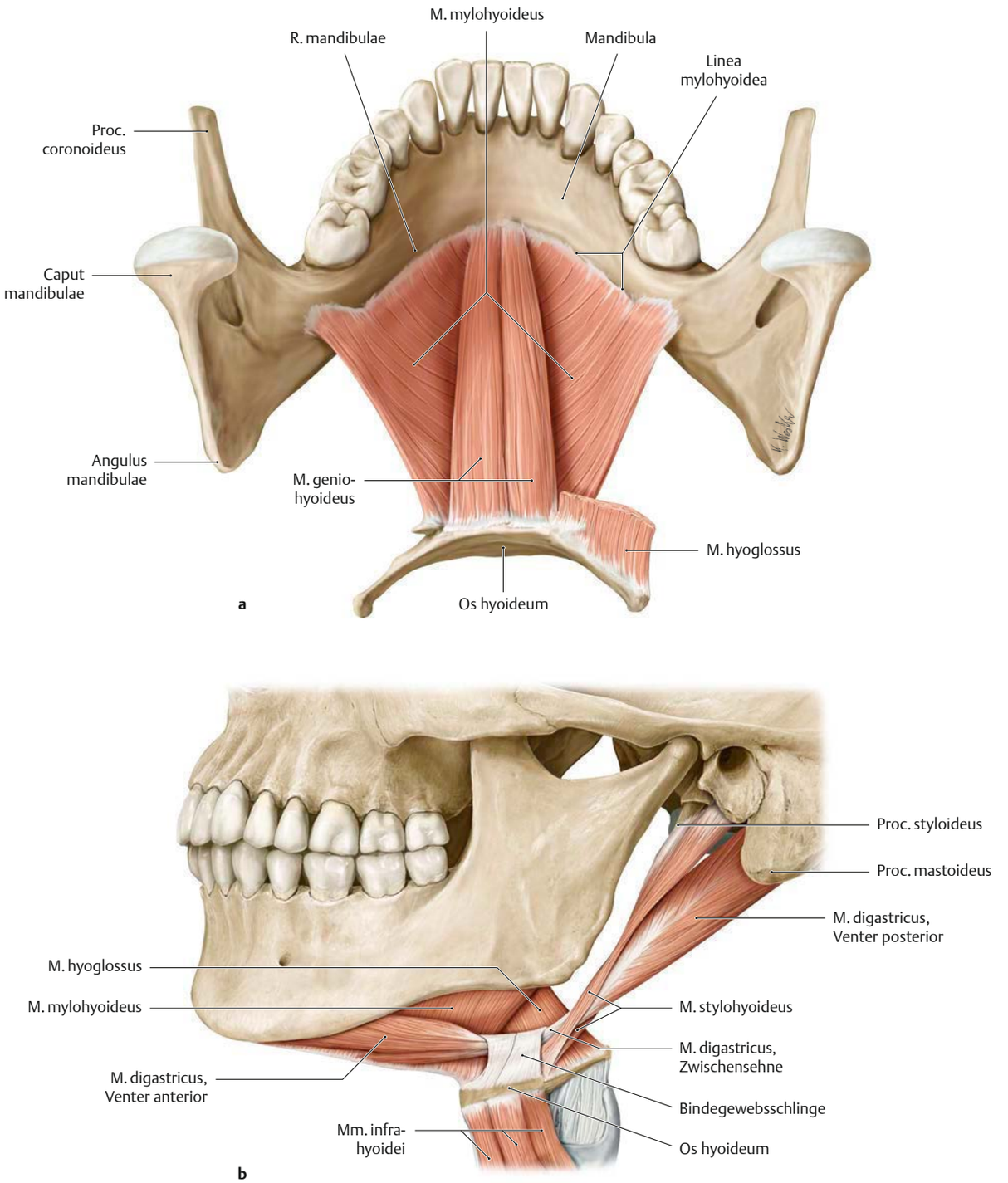
B Verlauf von Nervus alveolaris inferior, Nervus lingualis und Nervus mylohyoideus im Bereich des medialen Unterkieferastes (Spatium pterygomandibulare)

a–d Ansichten von seitlich-vorne auf unterschiedliche Schichten des Unterkiefers. In diesen Ansichten liegen Leitungsbahnen, Muskeln und Plica pterygomandibularis anders aufeinander als in der Ansicht von ventral (s. **A**). Da man sich dem am häufigsten anästhesierten N. alveolaris inferior immer von der Prämolarenregion der gegenüberliegenden Seite aus nähert, ist diese Seitenansicht für die Orientierung äußerst wichtig. Der Unterkiefer ist hier im Focus, da dort außer dem N. alveolaris inferior auch die Nn. lingualis und mylohyoideus verlaufen, die man bei falschem Zugang ebenfalls leicht schädigen kann. Die unterschiedlichen Schichten vermitteln zudem einen Eindruck von der Ausdehnung des Spatium pterygomandibulare.

a Blick auf die Mundschleimhaut im Bereich der Plica pterygomandibularis der rechten Seite; **b** Mundschleimhaut komplett entfernt, Raphe pterygomandibularis freigelegt; **c** M. buccinator gefenstert bzw. weggeklappt, Sicht frei auf den M. pterygoideus medialis und das Spatium pterygomandibulare, in dem sowohl der N. alveolaris inferior als auch der N. lingualis und N. mylohyoideus verlaufen; **d** Wangenhaut entfernt bzw. gefenstert: man erkennt das Lig. sphenomandibulare. Es verläuft an der Innenseite des R. mandibulae von der Spina ossis sphenoidalis zur Lingula des Foramen mandibulae und bedeckt den N. alveolaris inferior unmittelbar vor seinem Eintritt in das Foramen mandibulae. Nach Fensterung des distalen Bandes erkennt man auf Höhe der Lingula die Abzweigung des N. mylohyoideus.

Beachte: Verletzungen des N. lingualis können sowohl bei Gesichtsverletzungen als auch bei zahnärztlichen Behandlungsmaßnahmen (z. B. bei operativer Entfernung von unteren Weisheitszähnen, Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior) auftreten.

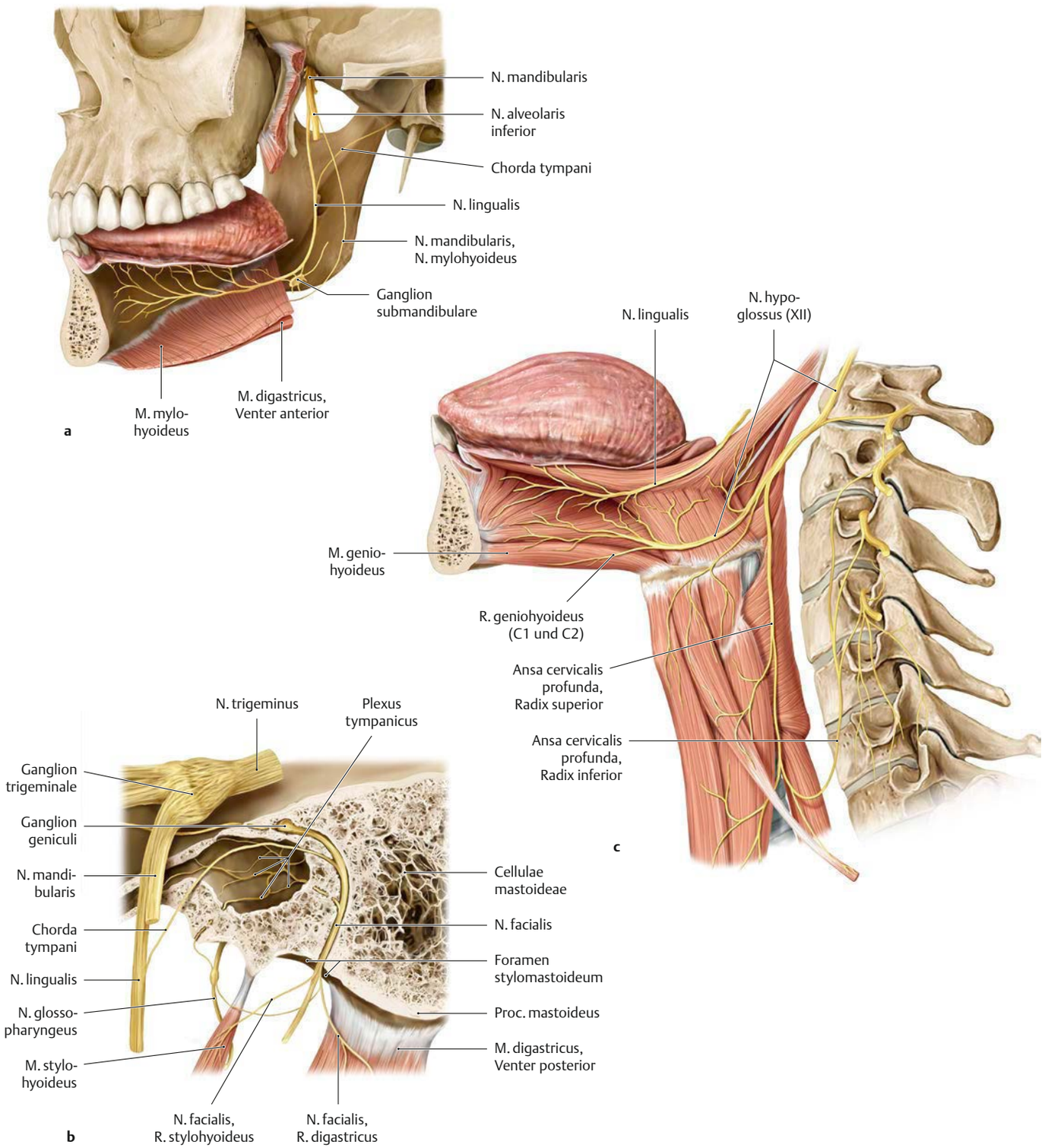
5.27 Mundboden (Diaphragma oris)



A Mundbodenmuskulatur
Ansicht von oben (**a**) und von links (**b**).
Die Muskelplatte, die zwischen den beiden Ästen des Unterkiefers (Rr. mandibulae) ausgespannt ist, bildet den Mundboden (Diaphragma oris). Sie setzt sich aus vier Muskeln zusammen, die alle oberhalb des Zungenbeins liegen und deshalb zur suprahyoidalen Muskulatur zusammengefasst werden:

1. M. mylohyoideus: Die Muskeln der beiden Seiten verschmelzen in einer medianen Raphe (vom M. geniohyoideus verdeckt).
2. M. geniohyoideus: verstärken den Mundboden in der Mitte.
3. M. digastricus: Sein Venter anterior liegt in der Region des Mundbodens, sein Venter posterior entspringt vom Proc. mastoideus.
4. M. stylohyoideus: Er entspringt vom Proc. styloideus; seine gespaltene Sehne umfasst die Zwischensehne des M. digastricus.

Alle vier Muskeln sind an der aktiven Mundöffnung beteiligt, beim Schluckakt heben sie das Zungenbein nach kranial und ventral.



B Innervation der Mundbodenmuskulatur

a Ansicht von links (man sieht auf die rechte Hälfte der Mandibula von medial); **b** Sagittalschnitt durch das rechte Felsenbein auf Höhe des Proc. mastoideus und der Cellulae mastoideae in der Ansicht von medial; **c** Ansicht von links.

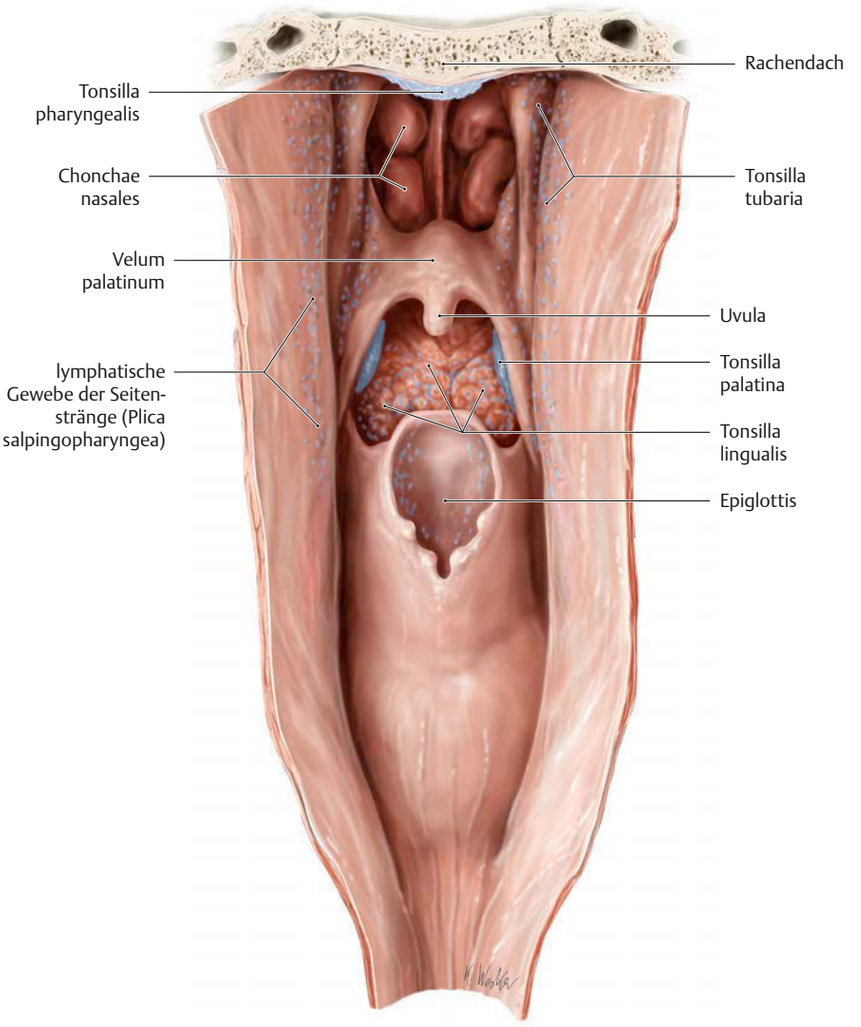
Die Innervation der Muskulatur des Mundbodens ist komplex (unterschiedliche Kiemenbogenderivate) und geschieht durch drei verschiedene Nerven:

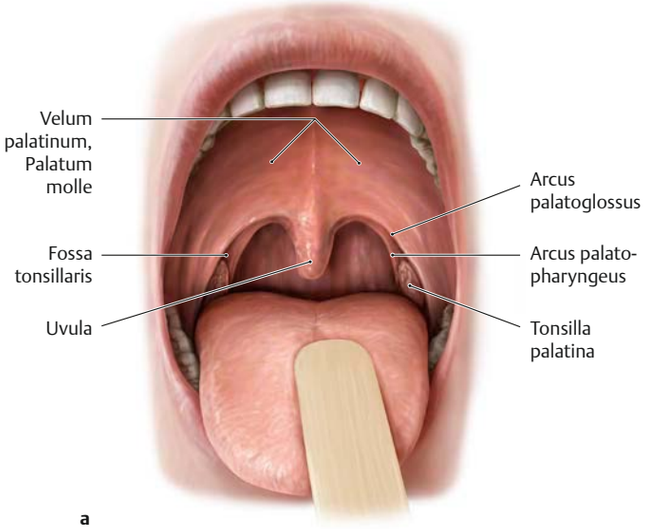
- **a** die Derivate des Mandibularbogens (M. mylohyoideus, Venter anterior des M. digastricus) werden durch den N. mylohyoideus, einen Ast des N. mandibularis (V_3), innerviert;
- **b** die Derivate des 2. Branchialbogens (Venter posterior des M. digastricus, M. stylohyoideus) werden durch den N. facialis innerviert;
- **c** der somatische M. geniohyoideus wird aus den Rr. ventrales des 1. und 2. Zervikalnervs innerviert, die sich dem N. hypoglossus angelagert haben.

5.28 Das lymphatische Gewebe des Rachenrings

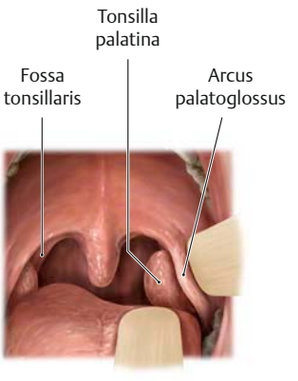
A Waldeyer-Rachenring
Ansicht von dorsal durch den eröffneten Rachen. In dieser Ansicht lassen sich alle Bestandteile des Rachenrings am besten überblicken. Der Waldeyer-Rachenring besteht aus immunkompetentem lymphatischem Gewebe (Mandeln und Lymphfollikel). Die Mandeln umgeben als „immunologische Wächter" die Ausgänge von Mund- und Nasenhöhle in den Rachen; die Lymphfollikel sind, regional unterschiedlich stark, über das gesamte Epithel verteilt. Man unterscheidet folgende Strukturen:

- die unpaare Rachenmandel (Tonsilla pharyngealis) am Rachendach,
- die paarigen Gaumenmandeln (Tonsillae palatinae)
- die Zungenmandel (Tonsilla lingualis),
- die paarigen Tubenmandeln (Tonsillae tubariae) können als laterale Fortsetzung der Tonsilla pharyngealis aufgefasst werden und
- die paarigen Seitenstränge.

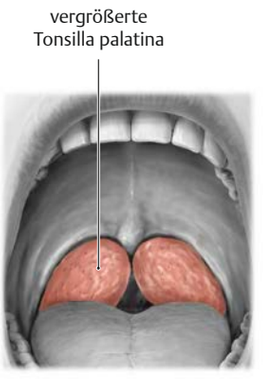




a



b

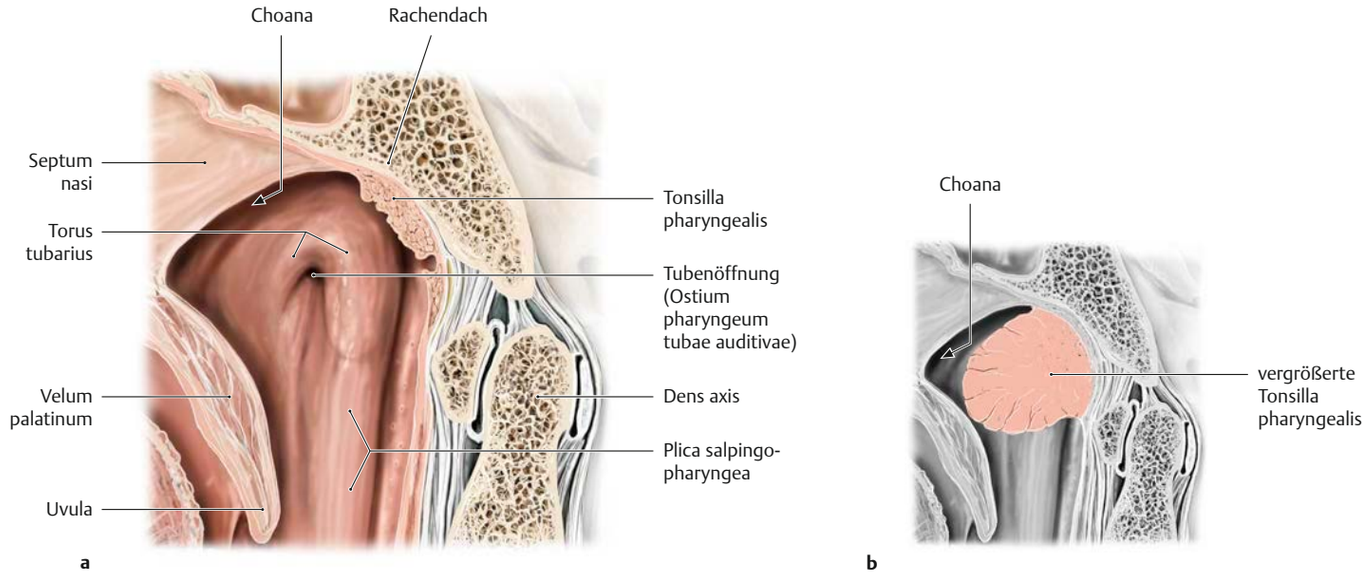


c

B Gaumenmandeln (Tonsillae palatinae): Lage und pathologische Vergrößerung
Ansicht von frontal in die Mundhöhle.

a Die Gaumenmandeln liegen beiderseits in einer flachen Bucht, der Fossa tonsillaris, zwischen dem vorderen und hinteren Gaumenbogen (Arcus palatoglossus und Arcus palatopharyngeus).

b u. **c** Bei der klinischen Untersuchung wird die Gaumenmandel mit einem Spatel aus dem Gaumenbogen luxiert, während ein weiterer Spatel die Zunge nach unten drückt. Stark vergrößerte Gaumenmandeln (infolge von viralen oder bakteriellen Entzündungen, z. B. Tonsillitis) können den Ausgang der Mundhöhle so stark einengen, dass es zu Schluckstörungen kommen kann.

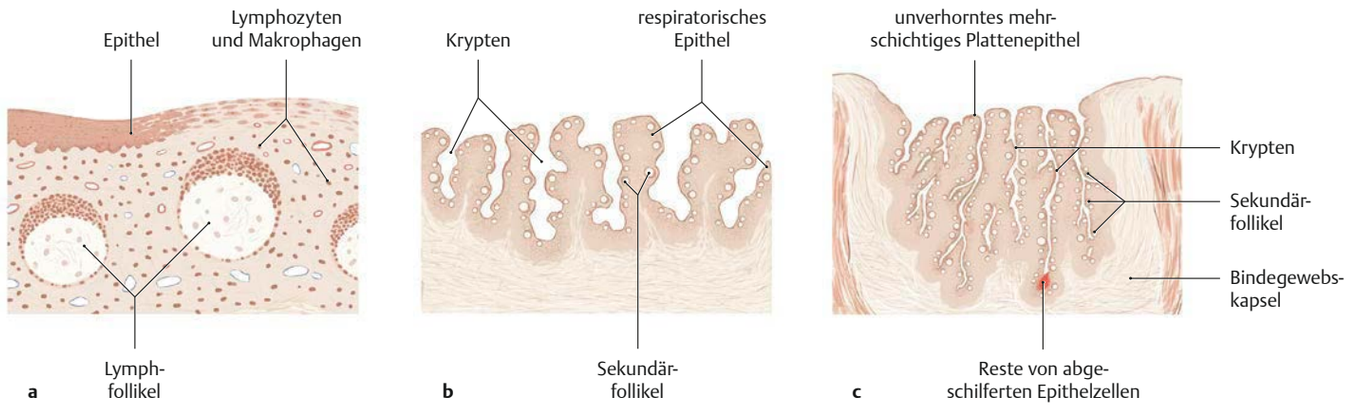


C Rachenmandel (Tonsilla pharyngealis): Lage und pathologische Vergrößerung

Sagittalschnitt durch das Rachendach.

a Diese unpaare Tonsille liegt am Rachendach und kann mit Hilfe der hinteren Rhinoskopie (s. S. 185) eingesehen werden. Sie ist im (Klein) kindalter besonders gut entwickelt, mit Beginn des Schulalters bildet sie sich zurück.

b Eine vergrößerte Rachenmandel ist bei Kindern im Vorschulalter typisch (durch chronisch rezidivierende Infekte des Nasen-Rachen-Raumes in diesem Alter kommt es häufig zu einer überschießenden immunologischen Reaktion im lymphatischen Gewebe: Adenoide, „Polypen"). Die vergrößerte Rachenmandel blockiert dann die Choanen, so dass die Nasenatmung behindert wird und die Kinder durch den Mund atmen müssen. Deshalb steht der Mund bei diesen Kindern ständig offen. Erfahrene Diagnostiker können so bereits anhand der Blickdiagnostik auf vergrößerte Rachenmandeln schließen.



D Histologie des lymphatischen Gewebes von Mundhöhle und Rachen

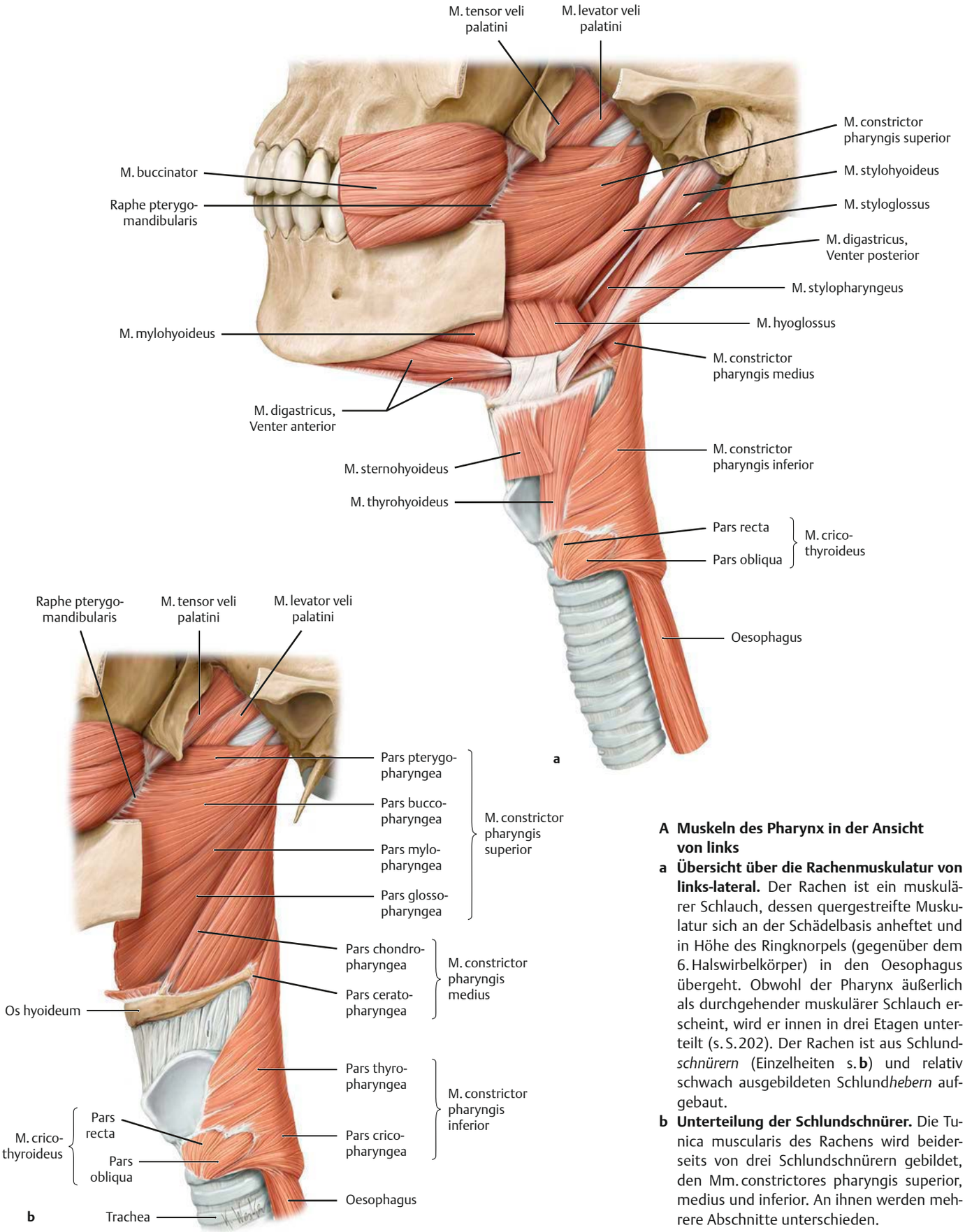
Aufgrund der engen anatomischen Beziehung zwischen Epithel und lymphatischem Gewebe wird das lymphatische Gewebe des Rachenrings als lymphoepitheliales Gewebe bezeichnet.

a Lymphoepitheliales Gewebe. In der Lamina propria aller Schleimhäute kommt sowohl organisiertes als auch diffus verteiltes lymphatisches Gewebe vor, man spricht auch von dem Mukosa-assoziierten lymphatischen Gewebe (MALT), „T" steht im Englischen für „Tissue". Das Epithel lockert sich auf, in seinen Spalten finden sich Lymphozyten und Makrophagen. Zusätzlich zu den gut definierten Tonsillen können kleinere Ansammlungen von Lymphfollikeln in den Seitensträngen (Plica salpingopharyngea) auftreten. Sie ziehen annähernd senkrecht von der seitlichen zur hinteren Wand des Oro- und Nasopharynx.

b Aufbau der Rachenmandel. Bei ihr erfolgt die Vergrößerung der Oberfläche durch Hervorwölbung der Schleimhautoberfläche (Prinzip des Kammes). Das bedeckende Epithel ist respiratorisches Flimmerepithel.

c Aufbau der Gaumenmandel. Bei ihr erfolgt die Vergrößerung der Oberfläche durch Einsenkung der Schleimhautoberfläche (Prinzip der Reuse; aktive Oberfläche bis zu 300 cm^2!). Das bedeckende Epithel ist mehrschichtig unverhorntes Plattenepithel.

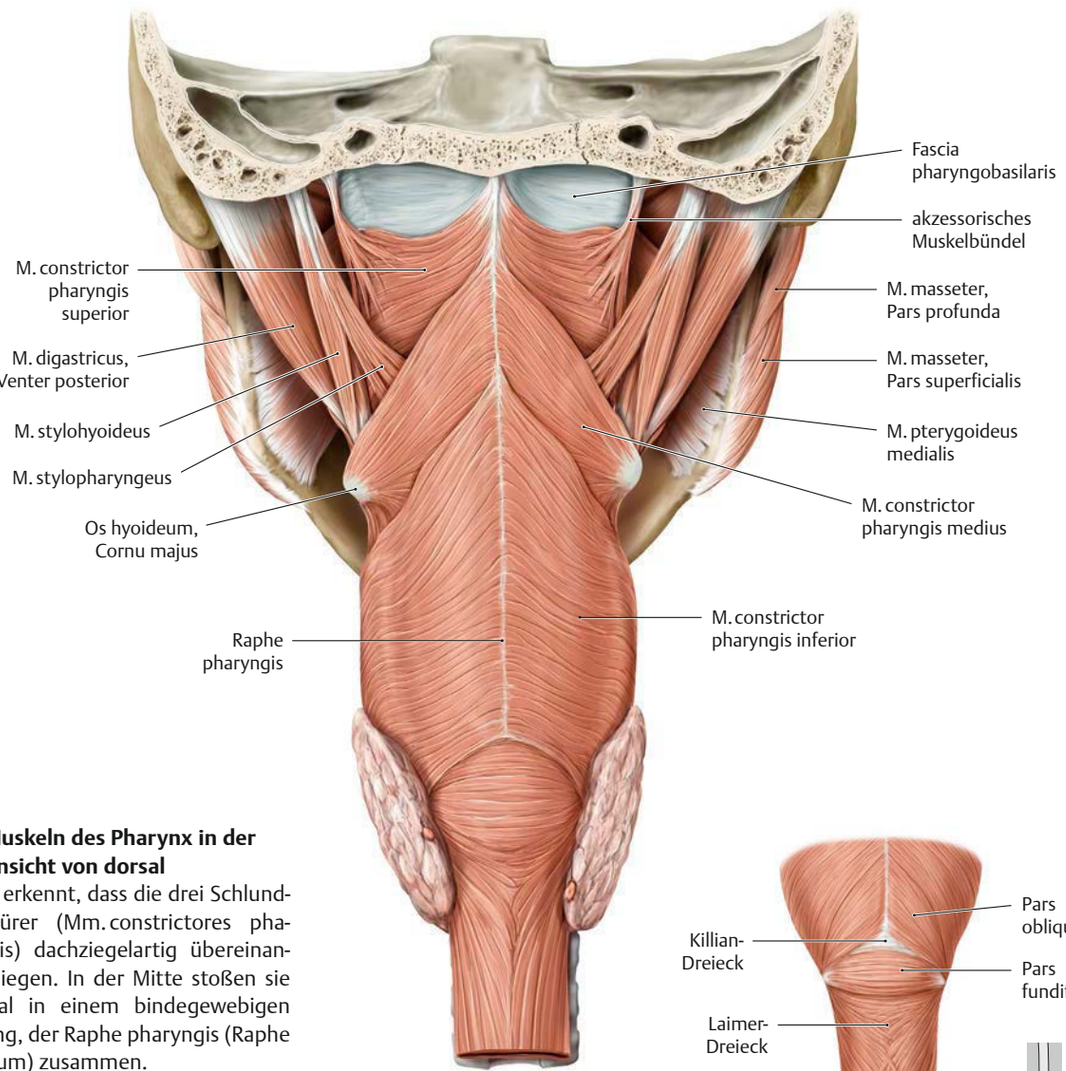
5.29 Rachen (Pharynx): Muskeln



A Muskeln des Pharynx in der Ansicht von links

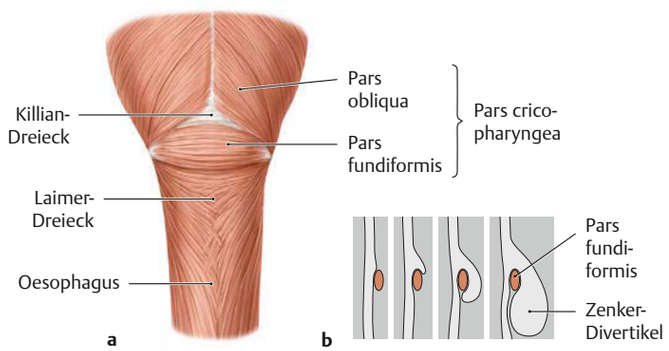
a Übersicht über die Rachenmuskulatur von links-lateral. Der Rachen ist ein muskulärer Schlauch, dessen quergestreifte Muskulatur sich an der Schädelbasis anheftet und in Höhe des Ringknorpels (gegenüber dem 6. Halswirbelkörper) in den Oesophagus übergeht. Obwohl der Pharynx äußerlich als durchgehender muskulärer Schlauch erscheint, wird er innen in drei Etagen unterteilt (s. S. 202). Der Rachen ist aus Schlund*schnürern* (Einzelheiten s. **b**) und relativ schwach ausgebildeten Schlund*hebern* aufgebaut.

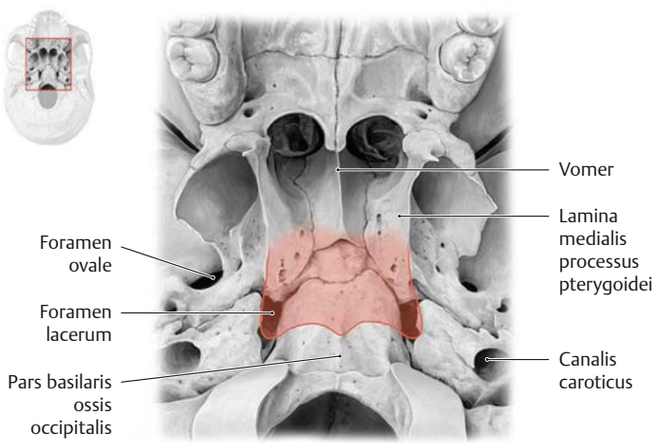
b Unterteilung der Schlundschnürer. Die Tunica muscularis des Rachens wird beiderseits von drei Schlundschnürern gebildet, den Mm. constrictores pharyngis superior, medius und inferior. An ihnen werden mehrere Abschnitte unterschieden.



B Muskeln des Pharynx in der Ansicht von dorsal

Man erkennt, dass die drei Schlundschnürer (Mm. constrictores pharyngis) dachziegelartig übereinander liegen. In der Mitte stoßen sie dorsal in einem bindegewebigen Strang, der Raphe pharyngis (Raphe = Saum) zusammen.





C Fascia pharyngobasilaris an der Schädelbasis

Ansicht von kaudal. Die Pharynxmuskulatur entspringt an der Schädelbasis mit einer verdickten Bindegewebsschicht, der Fascia pharyngobasilaris. Ihre Ansatzstelle ist hier auf die Schädelbasis projiziert und als kräftige rote Linie dargestellt. Die von Faszie und Muskulatur umschlossene U-förmige Fläche ist Teil des knöchernen Pharynxdaches (hellrot).

D Übergang Pharynx-Oesophagus-Muskulatur und Entstehung eines Zenker-Divertikels

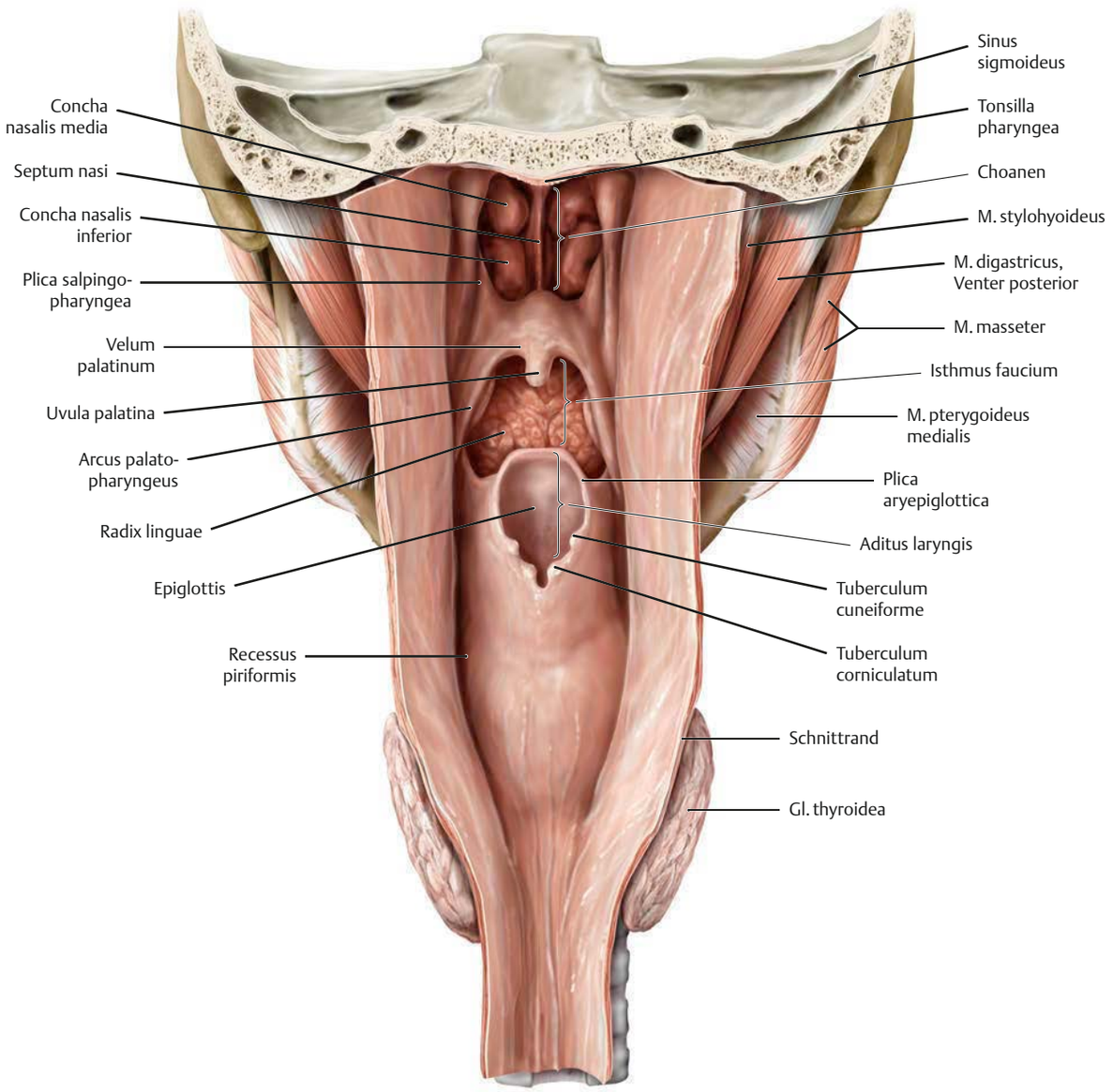
a Ansicht von dorsal; **b** Ansicht von links.

Die Pars cricopharyngea des M. constrictor pharyngis inferior wird weiter in eine Pars obliqua und eine Pars fundiformis (Killian-Schleudermuskel) unterteilt. Zwischen diesen beiden Muskelanteilen liegt das muskelschwache *Killian-Dreieck.* Am Unterrand der Pars fundiformis biegen die Muskelfasern V-förmig nach kaudal um und bilden das sog. *Laimer-Dreieck.* Aufgrund der Muskelschwäche des Killian-Dreiecks kann sich die Schleimhaut des Hypopharynx nach außen über die Pars fundiformis des M. cricopharyngeus vorwölben (**b**). *Beachte:* Manche Autoren setzen Killian und Laimer-Dreieck gleich.

Mögliche Folge ist ein *Zenker-Divertikel,* eine Aussackung, in der sich Speisereste einlagern, die diese Aussackung stetig vergrößern (Gefahr einer Blockade des Ösophaguslumens durch Druck des Divertikelsackes von außen!). Als diagnostischer Hinweis gilt das Herauswürgen von eingelagerten Speiseresten (Regurgitation). Das Zenker-Divertikel tritt im mittleren bis hohen Lebensalter auf. Bei den älteren, nur bedingt operationsfähigen Patienten durchtrennt man die Pars fundiformis des M. constrictor pharyngis inferior endoskopisch.

Beachte: Da das Zenker-Divertikel als Hypopharynxdivertikel am Übergang zum Oesophagus liegt, wird es als *Grenzdivertikel* bezeichnet (die oft verwendete Bezeichnung Ösophagusdivertikel ist falsch).

5.30 Rachen: Schleimhautrelief und Verbindungen zur Schädelbasis



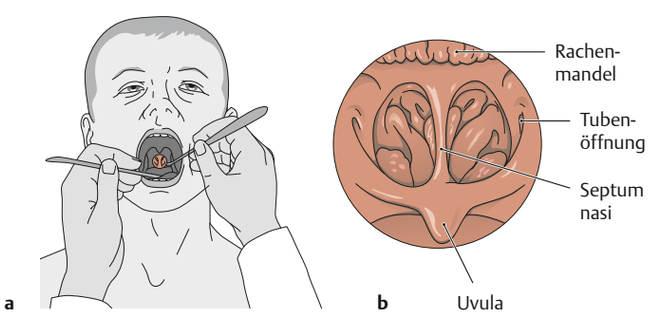
A Schleimhautrelief des Pharynx
Ansicht von dorsal. Die muskuläre Hinterwand des Pharynx ist dorsal geschlossen. Zur Darstellung ihres Schleimhautreliefs wurde sie hier median gespalten und zur Seite geklappt. Nach ventral findet man drei Öffnungen des Muskelschlauchs:

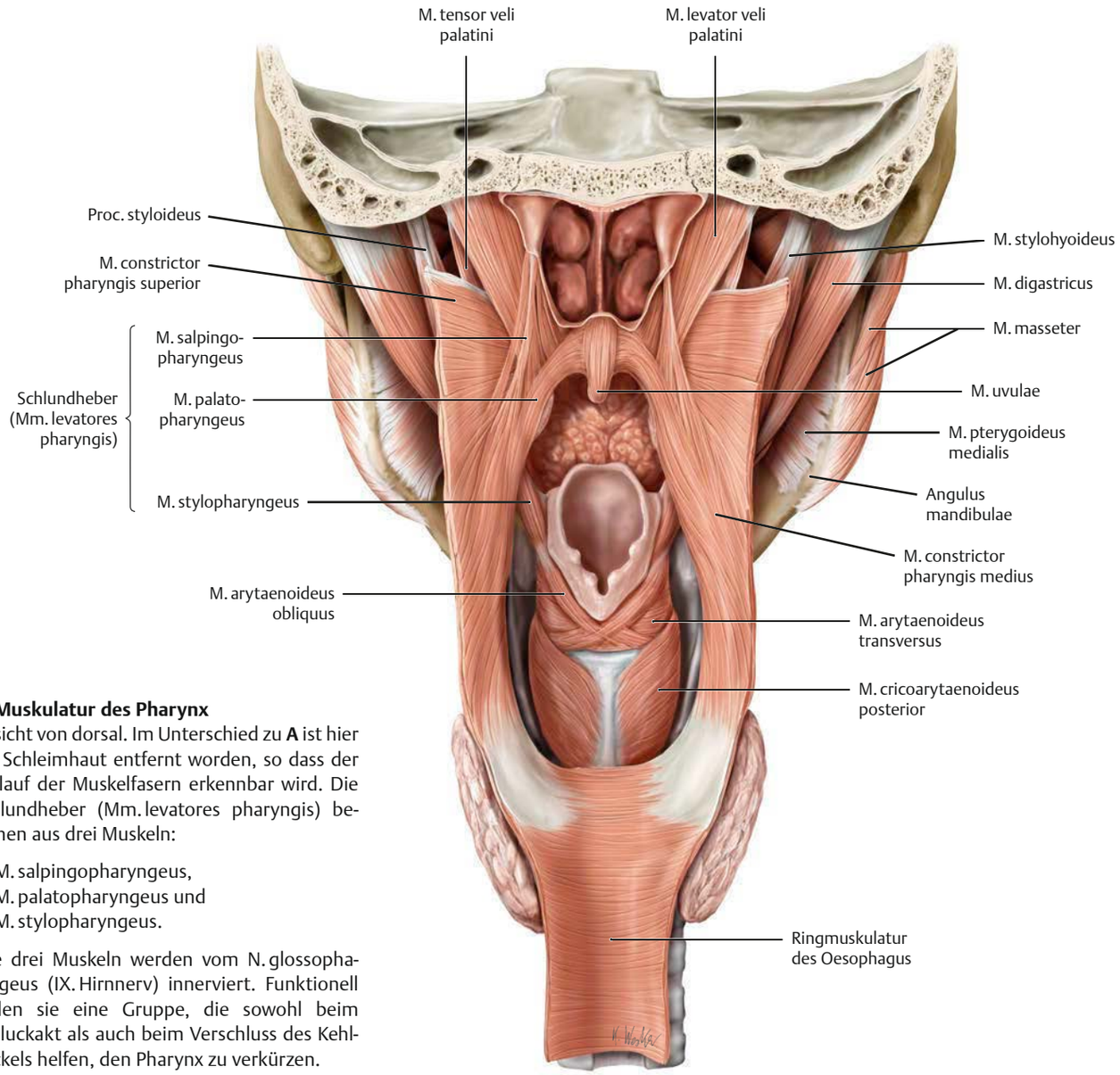
- zur Nasenhöhle (Choanen),
- zur Mundhöhle (Isthmus faucium) und
- zum Kehlkopfeingang (Aditus laryngis).

Entsprechend gliedert man den Pharynx in eine Pars nasalis, oralis und laryngea (s. S. 202).

B Posteriore Rhinoskopie
Mit Hilfe der hinteren Rhinoskopie kann der Nasenrachen eingesehen werden.

a Haltung des Mundspatels und des Spiegels. Um den Nasopharynx komplett einzusehen (s. **b**), muss der Spiegel mehrfach gekippt werden.
b Aus einzelnen Spiegelbildern zusammengesetztes Bild der hinteren Rhinoskopie. Man erkennt die Tubenöffnung und die Rachenmandel (Tonsilla pharyngea, s. S. 196).

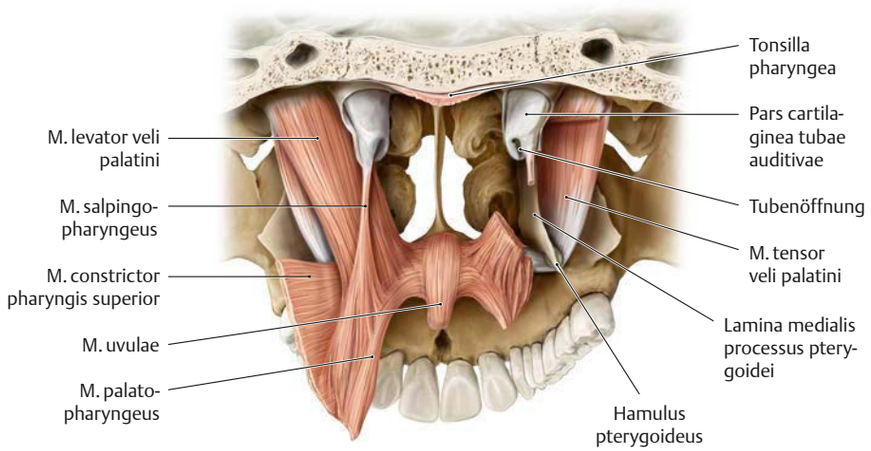




C Muskulatur des Pharynx
Ansicht von dorsal. Im Unterschied zu **A** ist hier die Schleimhaut entfernt worden, so dass der Verlauf der Muskelfasern erkennbar wird. Die Schlundheber (Mm. levatores pharyngis) bestehen aus drei Muskeln:

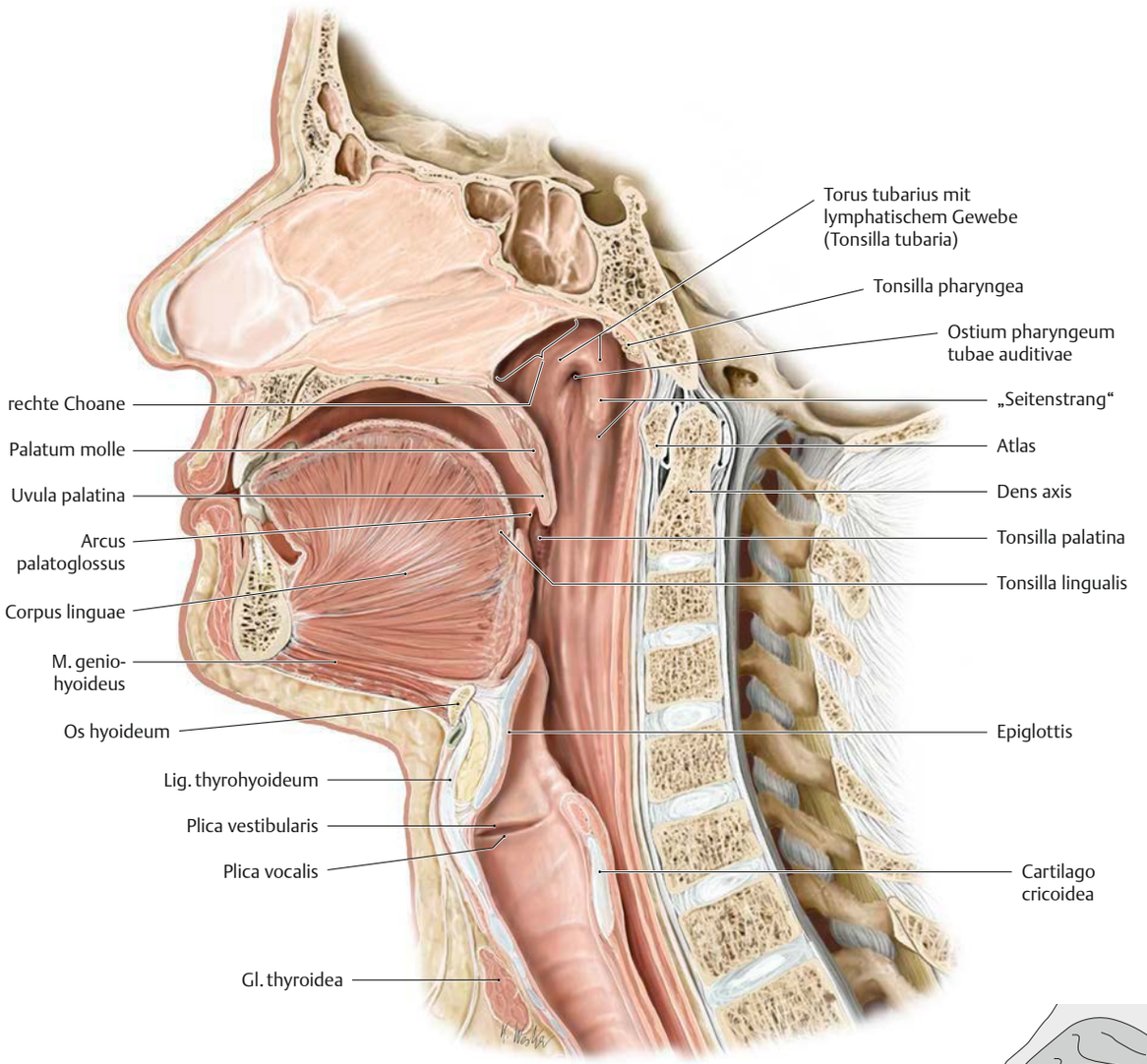
- M. salpingopharyngeus,
- M. palatopharyngeus und
- M. stylopharyngeus.

Alle drei Muskeln werden vom N. glossopharyngeus (IX. Hirnnerv) innerviert. Funktionell bilden sie eine Gruppe, die sowohl beim Schluckakt als auch beim Verschluss des Kehldeckels helfen, den Pharynx zu verkürzen.

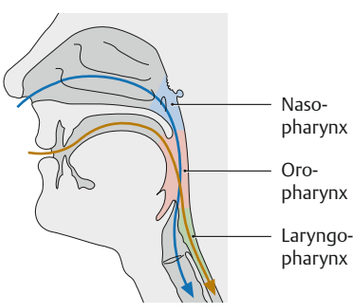


D Muskeln des Gaumensegels und der Tuba auditiva
Ansicht von dorsal; Keilbein dorsal der Öffnung der Choanen in der Frontalebene durchgesägt; auf der rechten Seite wurden reseziert: M. levator veli palatini, M. salpingopharyngeus, M. palatopharyngeus und M. constrictor pharyngis superior. Sie sind hier aufgeführt, damit man die muskuläre Grundlage des Schleimhautbildes der hinteren Rhinoskopie versteht (s. **B**).

5.31 Rachen: Topografie und Innervation

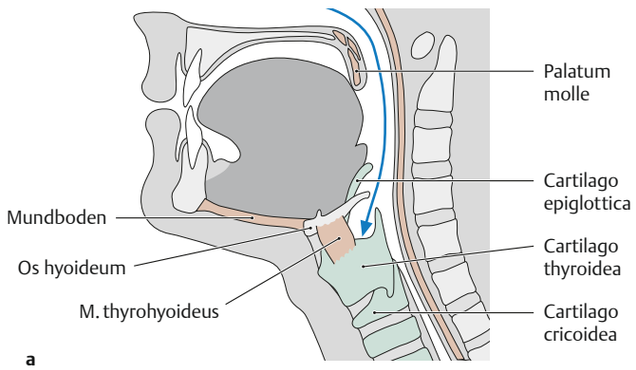


A Mediansagittalschnitt
Ansicht von links. Man erkennt Nasenscheidewand, Mundhöhle, Rachen, Trachea und Oesophagus. Am Übergang von Nasen- und Mundhöhle in den Pharynx liegen die Tonsillen des lymphatischen Rachenringes, die eine wichtige Rolle bei der frühzeitigen Identifikation und Abwehr von Krankheitserregern spielen (bei größeren Entzündungen Übergreifen in den Peripharyngealraum, s. S. 204). Sie werden unterteilt in *Tonsilla pharyngea* (unpaare Rachenmandel am Dach des Pharynx), *Tonsillae palatinae* (paarige Gaumenmandeln zwischen den beiden Gaumenbögen) und *Tonsilla lingualis* (paarige Zungenmandel am Zungengrund). Darüber hinaus gibt es noch das lymphatische Gewebe um die Tubenmündung (Tonsilla tubaria), das sich nach kaudal in die sog. Seitenstränge fortsetzt.
Die Tuba auditiva stellt die Verbindung zum Mittelohr dar und sorgt für den Ausgleich des Luftdrucks im Mittelohr. Eine Schwellung im Bereich der Tubenöffnung (Tonsilla tubaria), die schon bei einer banalen Entzündung auftreten kann, verschließt die Tubenöffnung mit der Folge, dass kein Druckausgleich im Mittelohr mehr stattfindet (sog. Tubenbelüftungsstörung). Dadurch ist das Trommelfell nicht mehr voll beweglich: Der Patient leidet unter einer leichten Hörminderung. Ein weiterer Grund für einen Verschluss der Tube kann durch eine Vergrößerung der Rachenmandel (Tonsilla pharyngea) bedingt sein, die ebenfalls das Tubenlumen verschließen kann (sog. Polypen bei Kleinkindern).



B Etagengliederung der Schlundhöhle (Cavitas pharyngis)
Ansicht von links. Die Cavitas pharyngis wird in *Nasopharynx, Oropharynx* und *Laryngopharynx* unterteilt. Oberer Luft- und unterer Speiseweg überkreuzen sich im Oropharynx. Folgende Synonyma für die drei Etagen des Pharynx sind gebräuchlich:

obere Etage:	Pars nasalis pharyngis	Nasopharynx	Epipharynx
mittlere Etage:	Pars oralis pharyngis	Oropharynx	Mesopharynx
untere Etage:	Pars laryngealis pharyngis	Laryngopharynx	Hypopharynx

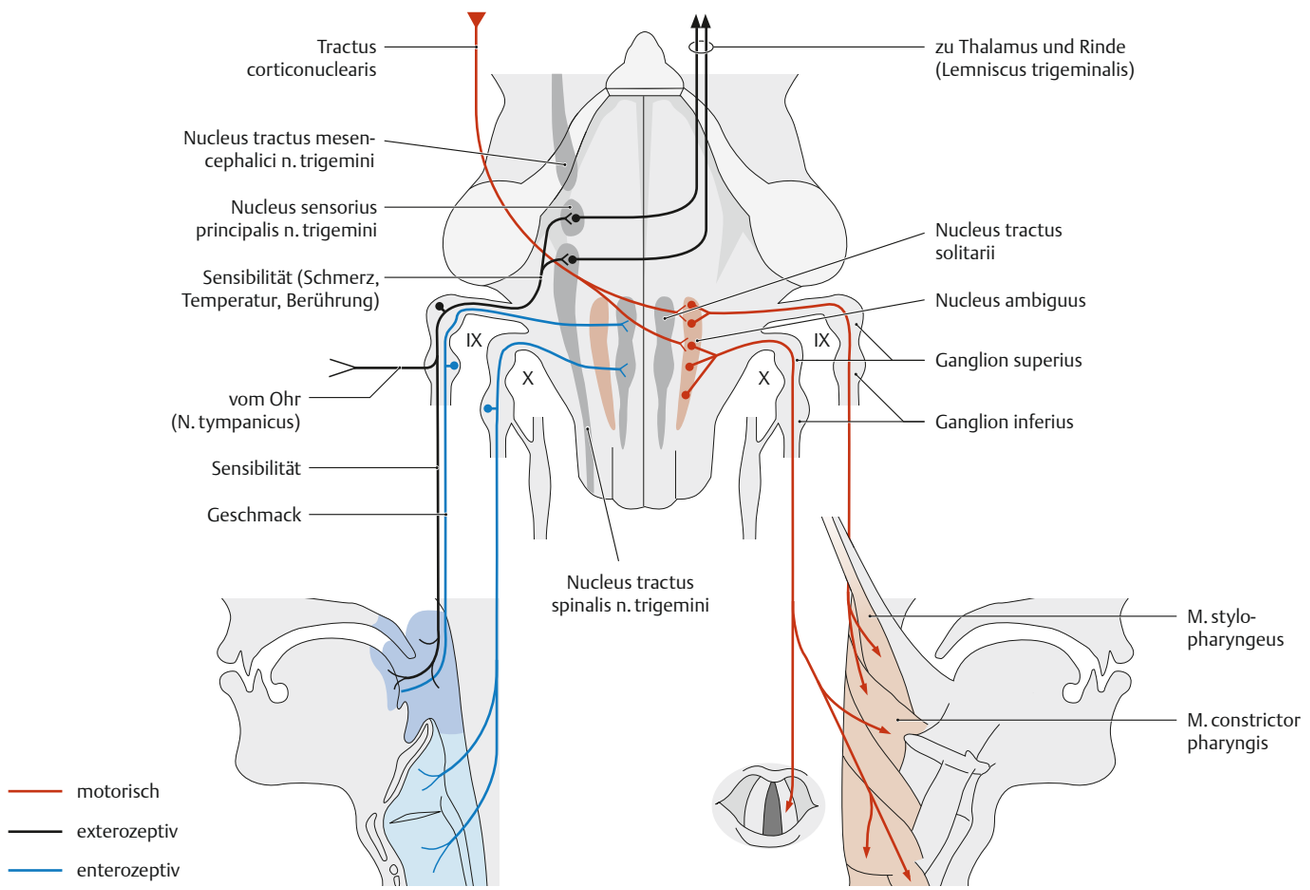


C Anatomie des Schluckaktes

Der Kehlkopf, als Bestandteil des Luftweges, liegt beim Erwachsenen vor dem Eingang zum Speiseweg (**a**). Beim Schluckakt (**b**) wird der Luftweg daher kurzzeitig verschlossen, damit keine Nahrung in die Trachea gelangt. Der Schluckakt wird willkürlich eingeleitet. Man unterscheidet drei Phasen:

1. willkürliche Einleitung des Schluckaktes,
2. reflektorischer Verschluss der Atemwege und
3. reflektorischer Transport der Nahrung durch Schlund und Speiseröhre.

In der 2. Phase wird der Kehlkopf durch Kontraktion der Mundbodenmuskulatur (Mm. mylohyoidei, Mm. digastrici) und der Mm. thyrohyoidei angehoben, die Epiglottis verschließt den Kehlkopfeingang, der untere Luftweg ist somit verschlossen. Gleichzeitig wird der weiche Gaumen (Palatum molle) gespannt und angehoben und gegen die hintere Pharynxwand gedrängt (Verschluss des oberen Luftweges).



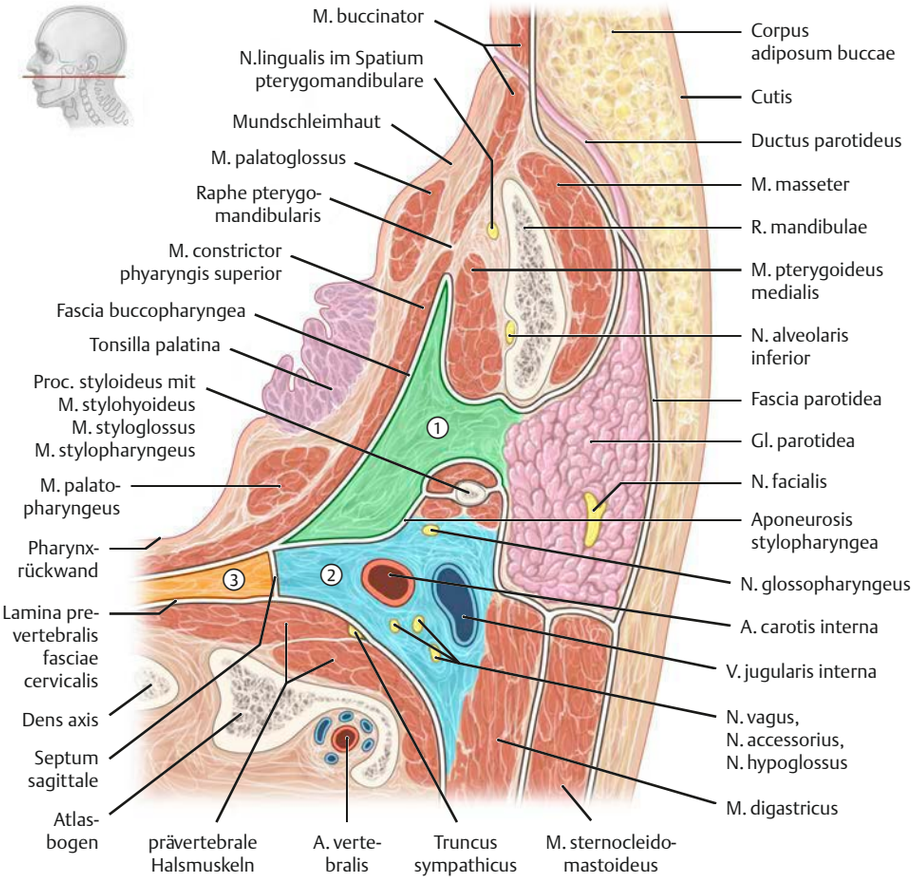
D N. vagus und N. glossopharyngeus: Periphere Innervationsgebiete und Kerngebiete im Hirnstamm (nach Duus)

Ansicht von dorsal. Sowohl der N. glossopharyngeus (IX) als auch der N. vagus (X) haben ihre Kerngebiete im Hirnstamm. Auf der linken Seite des Hirnstammes sind die sensiblen Bahnen, auf der rechten Seite die motorischen Bahnen eingezeichnet.

Beachte, dass beide Nerven an der sensiblen und motorischen Versorgung des Rachens beteiligt sind, sie bilden zusammen den Plexus pharyngeus.

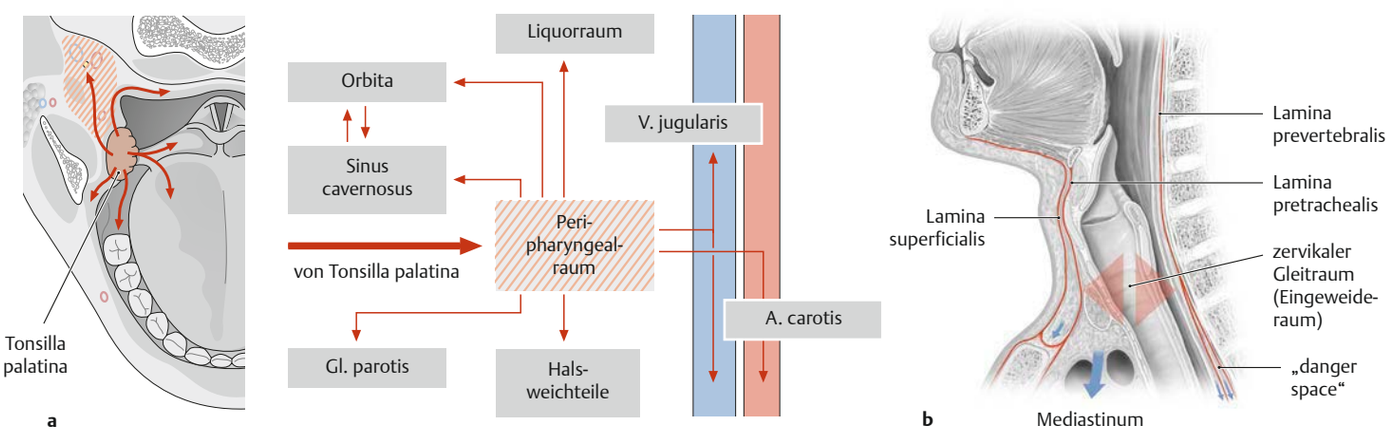
5.32 Rachen: Spatium peripharyngeum und seine klinische Bedeutung

A Spatium peripharyngeum
Horizontalschnitt, Höhe Dens axis und Tonsillarbucht (nach Töndury).



Das Spatium peripharyngeum ist ein Bindegewebsraum, der sich von der Schädelbasis bis zum Mediastinum ausdehnt und topografisch in ein *Spatium lateropharyngeum* (①+②) beidseits des Pharynx und ein *Spatium retropharyngeum* (③) hinter dem Pharynx unterteilt wird. Die Grenze zwischen beiden ist das bindegewebige *Septum sagittale*, das sich zwischen der Lamina prevertebralis fasciae cervicalis und dem hinteren äußeren Rand des Pharynx ausspannt.

- Das unpaare **Spatium retropharyngeum** ist nur ein dünner Spalt zwischen Pharynxrückwand und Lamina prevertebralis fasciae cervicalis, die die prävertebralen Halsmuskeln bedeckt und Äste der A. pharyngea ascendens und Venen des Plexus venosus pharyngeus enthält.
- Das paarige **Spatium lateropharyngeum** ist mit lockerem Bindegewebe ausgefüllt und durch die Aponeurosis stylopharyngea (gemeinsame Bindegewebsscheide der vom Proc. *styloideus* entspringenden Muskeln) getrennt in Pars anterior (Pars pre*styloidea*) und Pars posterior (Pars retro*styloidea*).
  - ① *Pars anterior:* kommuniziert mit der Parotisloge und enthält alle Strukturen, die von der Fossa infratemporalis zum Gesicht laufen (z. B. M. pterygoideus medialis, N. alveolaris inferior, N. lingualis, N. auriculotemporalis, Ganglion oticum sowie die A. maxillaris mit Ästen);
  - ② *Pars posterior:* enthält A. carotis interna, V. jugularis interna, Hirnnerven IX–XII sowie den Truncus sympathicus, der allerdings in bzw. unter der Lamina prevertebralis fasciae cervicalis verläuft.

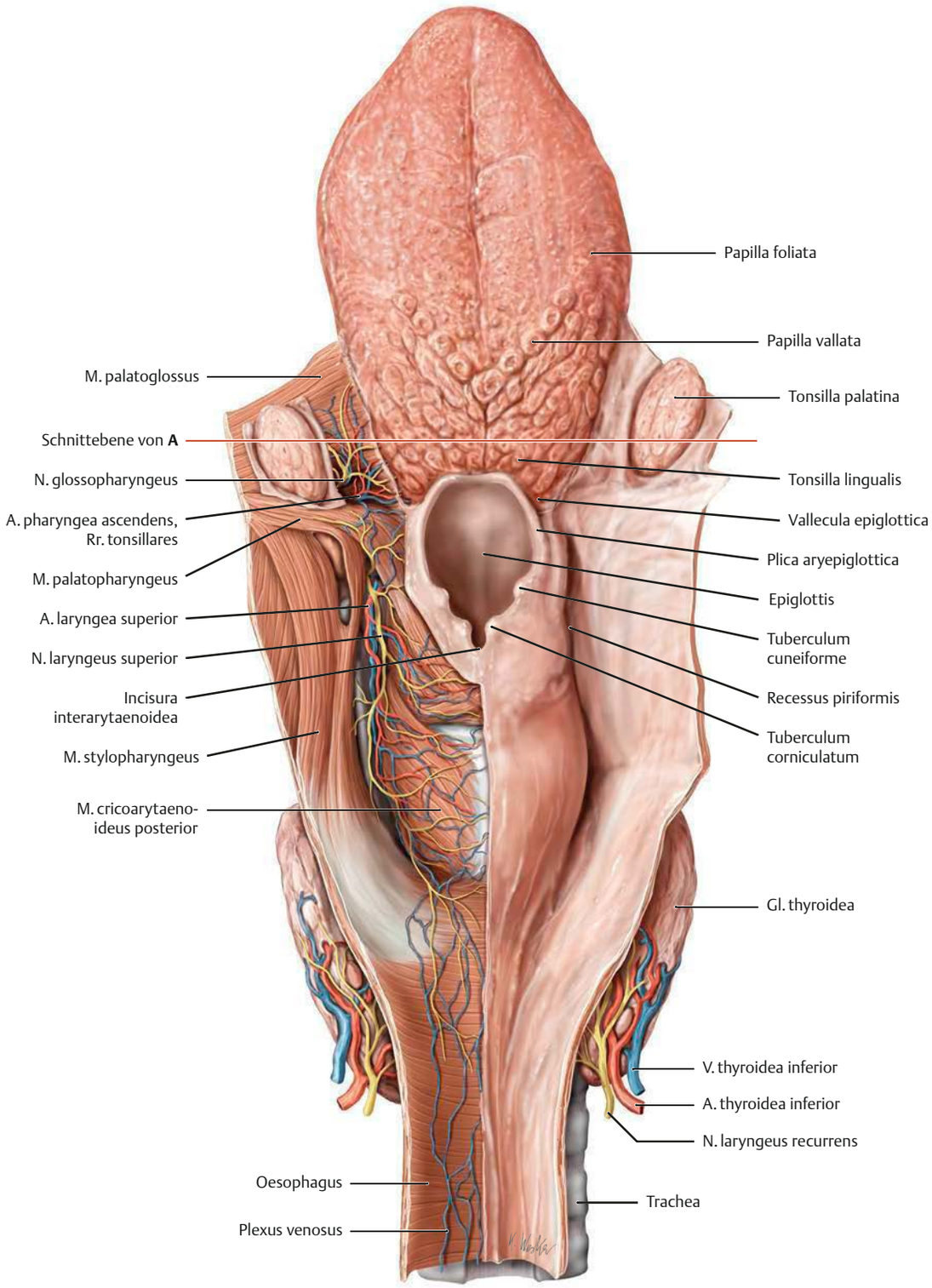


B Klinische Bedeutung des Peripharyngealraums
(nach Becker, Naumann u. Pfaltz)

a Bakterien und Entzündungszellen, können von der Tonsilla palatina in den Peripharyngealraum durchbrechen und sich von hier aus ausbreiten:

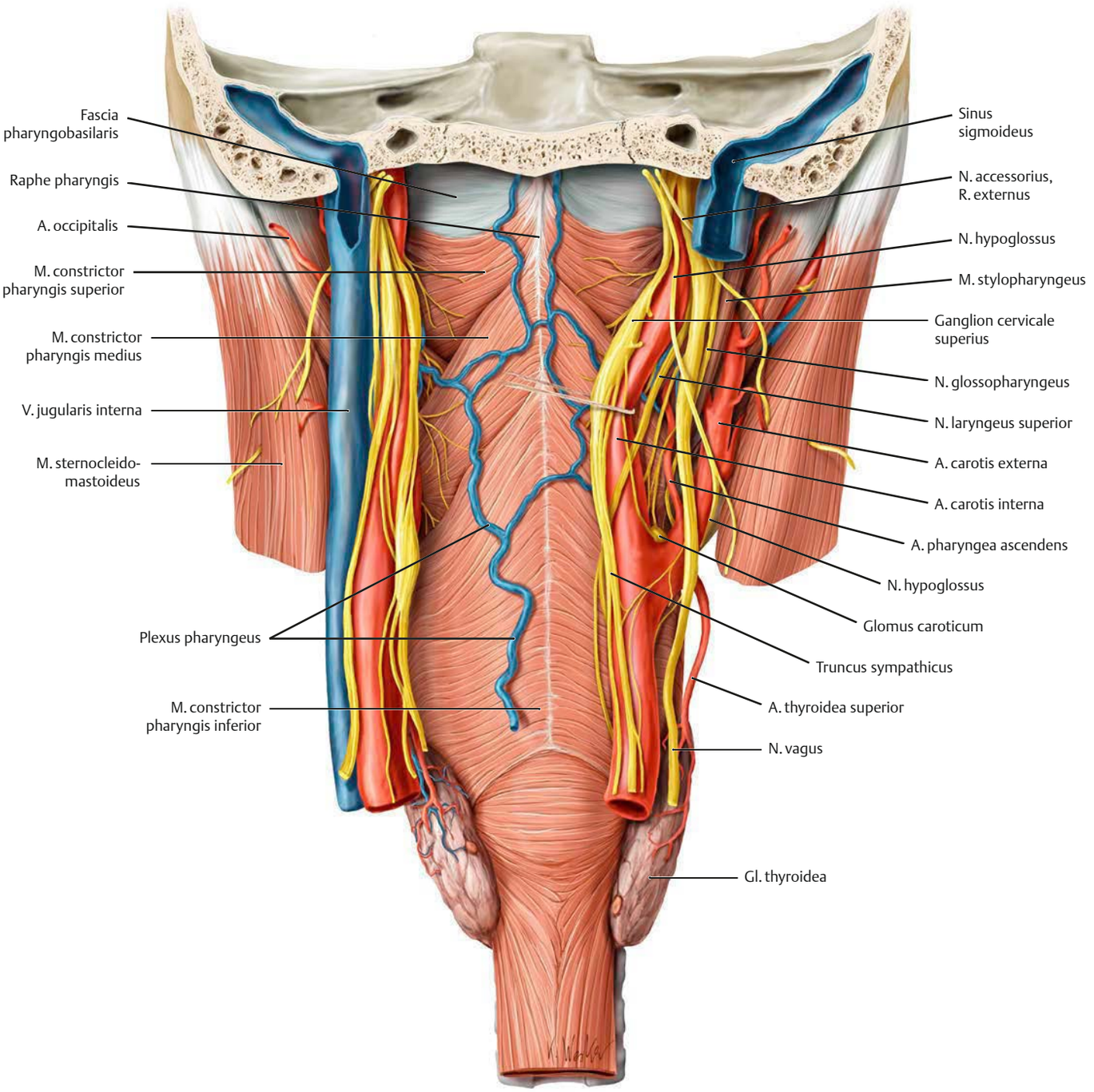
- in die V. jugularis: Sepsisgefahr!
- in den Liquorraum: Gefahr der Hirnhautentzündung!

b Weitere Komplikationen sind Senkungsabszesse (Entzündung breitet sich zwischen vorderem und mittlerem Blatt der Halsfaszie oder entlang der Vagina carotica bis in das Mediastinum aus = Mediastinitis). Vom sog. „danger space“ aus (spaltförmig geteilter prävertebraler Faszienraum) können Infektionen direkt ins hintere Mediastinum gelangen. Durch die rechtzeitige und breite Anwendung moderner Antibiotika treten diese Komplikationen aber heute fast nicht mehr auf.



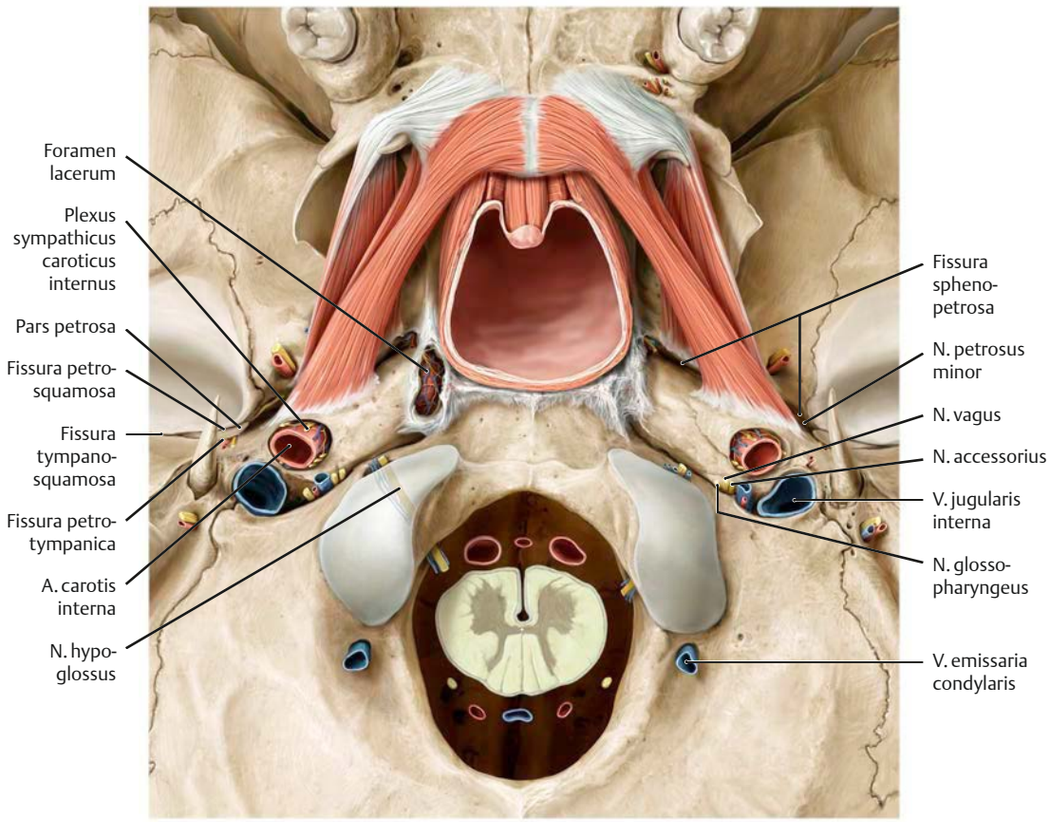
C Leitungsbahnen des Spatium peripharyngeum (nach Platzer)
Ansicht von dorsal, Zunge, Kehlkopf, Oesophagus und Schilddrüse wurden als Organpaket in toto entfernt. Diese Darstellung entspricht dem „Halspaket", das bei der Sektion in der Pathologie entnommen wird.
Die großen Leitungsbahnen des Halses und seine organversorgenden Gefäße und Nerven (s. S. 230 f) sind in einen Bindegewebsraum eingebettet, der ihre Verschieblichkeit bei Bewegungen des Halses ermöglichen, das Spatium peripharyngeum (vgl. **A**). Man erkennt deutlich die Verzweigung der Leitungsbahnen in der Verschiebeschicht zwischen den Pharynxmuskeln. Die Rr. tonsillares entspringen, wie hier dargestellt, aus der A. palatina ascendens, manchmal aber auch direkt aus der A. facialis.
Beachte die Gefäßversorgung der Tonsilla palatina und deren Nähe zur Gefäß-Nerven-Straße (Gefahr der Blutung bei Tonsillektomie).

5.33 Rachen: Leitungsbahnen im Spatium peripharyngeum (oberflächliche Schicht)



A Spatium peripharyngeum in der Ansicht von dorsal
Die Wirbelsäule und alle dorsal von ihr liegenden Strukturen wurden in toto entfernt, um von dorsal auf die hintere Außenwand des Pharynx blicken zu können. Auf der linken Seite sind die Leitungsbahnen intakt, auf der rechten Seite wurde die V. jugularis interna entfernt, man blickt auf den von der V. jugularis ventral liegenden Teil der Leitungsbahnen.

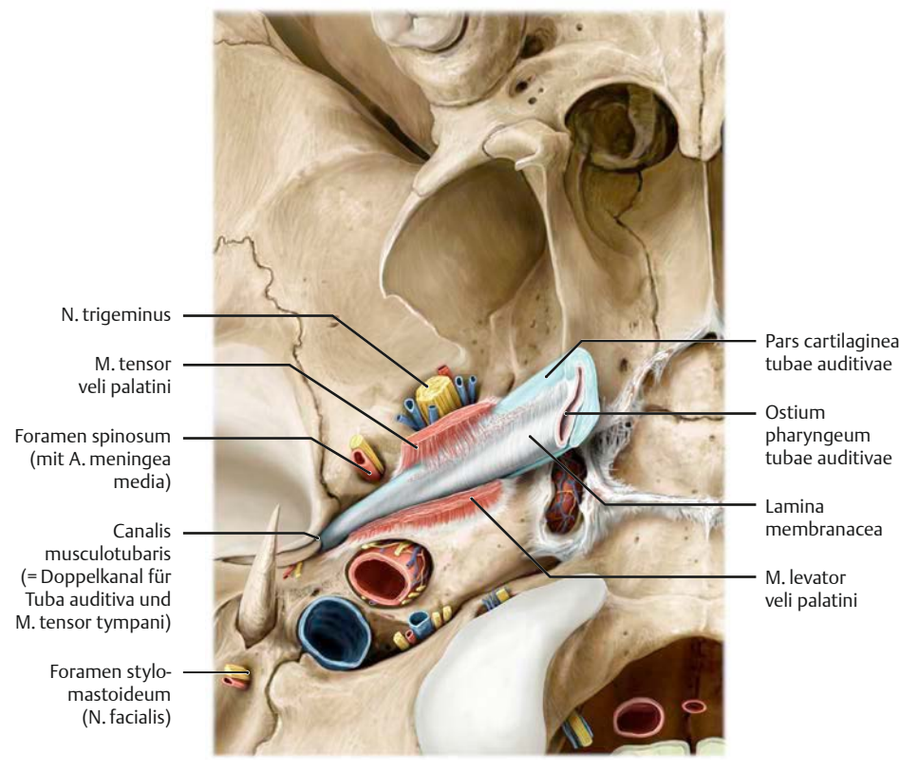
A. carotis interna, N. vagus und Truncus sympathicus sind nach Durchtritt durch die Schädelbasis in das Spatium peri- und lateropharyngeum nach medial verlagert.
Beachte das hier dargestellte Glomus caroticum, das vom N. vagus und vom symphathischen Grenzstrang innerviert wird.



B Leitungsbahnen im Spatium peripharyngeum: Durchtrittstellen an der Schädelbasis

Die Leitungsbahnen nutzen folgende Öffnungen:

- **Fissura petrotympancia (Glaser-Spalte)**
  - Chorda tympani
- **Fissura tympanosquamosa**
- **Fissura petrosquamosa;** ihre Erweiterung bildet das Foramen lacerum
  - N. petrosus minor
- **Foramen lacerum**
  - N. petrosus major
- **Foramen jugulare**
  - V. jugularis interna
  - N. glossopharyngeus (N. IX)
  - N. vagus (N. X)
  - N. accessorius (N. XI)
- **Canalis nervi hypoglossi**
  - N. hypoglossus (N. XII)
- **Canalis condylaris**
  - V. emissaria condylaris
- **Canalis caroticus**
  - A. carotis interna, Plexus sympathicus caroticus internus

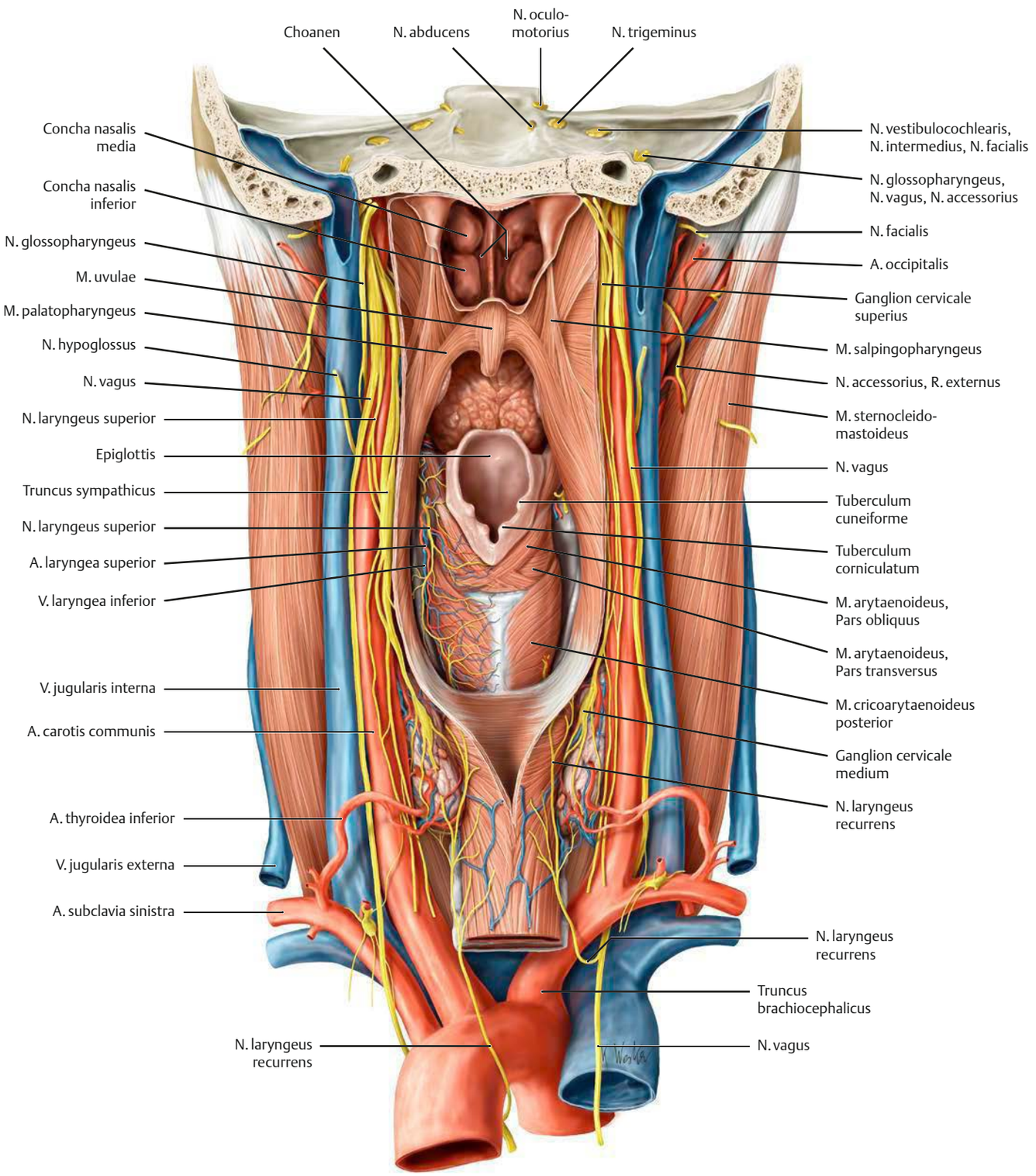


C Verlauf der Tuba auditiva an der Schädelbasis

Ausschnitt aus **B**. Unmittelbar unter der Schädelbasis, im kranialen Abschnitt des Spatium lateropharyngeum befindet sich der **knorpelige Teil** der Tuba auditiva (Pars cartilaginea tubae auditivae). Auf die Schädelbasis projiziert, liegt er in der *Fissura sphenopetrosa*, einer Fortsetzung der Fissura petrosquamosa (Durchtrittstelle des N. petrosus *minor*, s. **B**). Nach medial erweitert sich die Fissura sphenopetrosa zum faserknorpelig verschlossenen *Foramen lacerum* (Durchtrittstelle des N. petrosus *major*). Die Pars cartilaginea tubae beginnt mit einer trichterförmigen Öffnung (Ostium pharyngeum tubae auditivae) seitlich an der oberen Rachenwand in der Nähe der Choanen und verläuft schräg nach lateral hinten (in einem Winkel von 45° zur Sagittalebene). Der Tubenknorpel bildet eine nach lateral und unten offene Rinne, in der das Schleimhautrohr liegt. Im Querschnitt ist er hakenförmig. Die laterale Wand besteht aus Bindegewebe und bildet die membranöse Lamina membranacea.

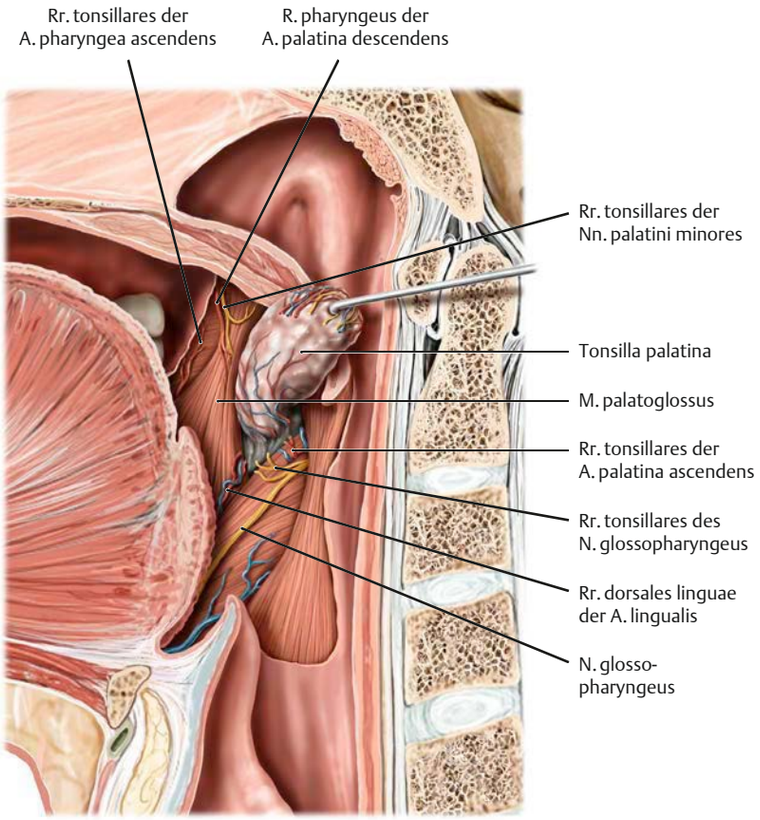
Der **knöcherne Teil** der Ohrtrompete (Pars ossea tubae auditivae) nimmt etwa ⅓ der gesamten Tubenlänge ein und verläuft zusammen mit dem Semicanalis m. tensoris tympani im Canalis musculotubarius zum Mittelohr. Sein Eingang liegt zwischen Canalis caroticus und Foramen spinosum (auf Höhe der Fissura petrosquamosa) am Isthmus tubae auditivae, der sog. Tubenenge zwischen knorpeligem und knöchernem Tubenanteil. Zur Funktion der Mm. levator und tensor veli palatini s. S. 147.

5.34 Rachen: Leitungsbahnen im Spatium peripharyngeum (tiefe Schicht)

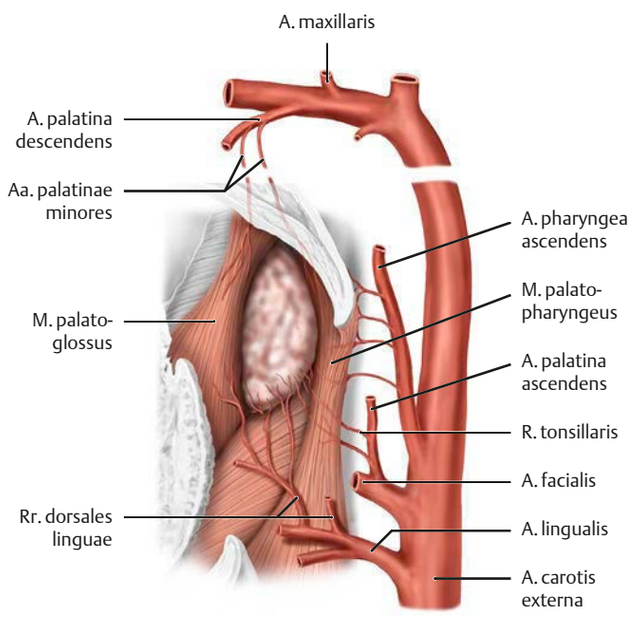


A Spatium peripharyngeum
Ansicht von dorsal; die Leitungsbahnen des Spatium peripharyngeum sind durchgehend von der hinteren Schädelgrube bis zur oberen Thoraxapertur dargestellt. Zusätzlich ist die Rachenhinterwand in ihrer ganzen Länge geschlitzt und zur Seite geklappt, so dass man den Hohlraum des Pharynx von den Choanen bis zum Oesophagus verfolgen kann.

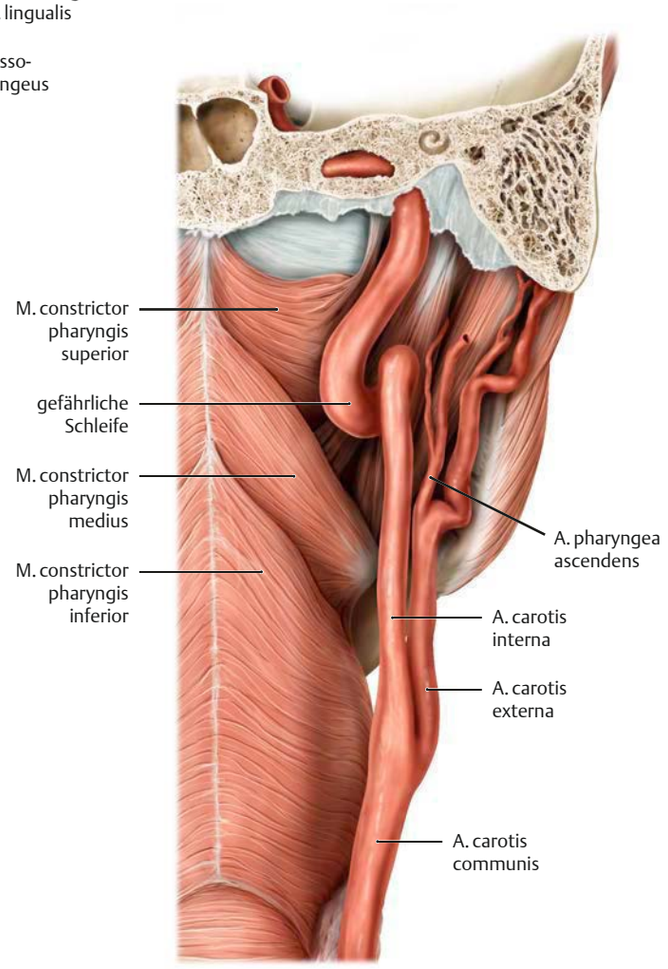
Beachte: Die großen Leitungsbahnen des Halses ziehen dicht am Pharynx entlang. Stichverletzungen durch das Lumen hindurch (Hähnchenknochen!) können zu Entzündungen des Peripharyngealraumes führen und deshalb großen Schaden anrichten (s. S. 204). Selbst kleinere Verletzungen können bakteriell-eitrige Entzündungen verursachen, die sich in diesem Bindegewebsraum schnell ausbreiten (Phlegmone!).



B Gefäß- und Nervenversorgung der Tonsilla palatina (nach Tillmann)
Ansicht von medial auf einen Mediansagittalschnitt. Die Tonsilla palatina liegt zwischen Arcus palatoglossus und Arcus palatopharyngeus. Zur besseren Darstellung ihrer Leitungsbahnen wurde sie kaudal aus dem Tonsillenbett gelöst und nach kranial geklappt. Die Leitungsbahnen stammen aus dem bzw. ziehen zum Spatium peripharyngeum.



C Arterielle Versorgung der Tonsilla palatina (nach Tillmann)
Äste dieser Arterien müssen bei der Tonsillektomie koaguliert bzw. unterbunden werden, damit es nicht aus ihren Stümpfen blutet.



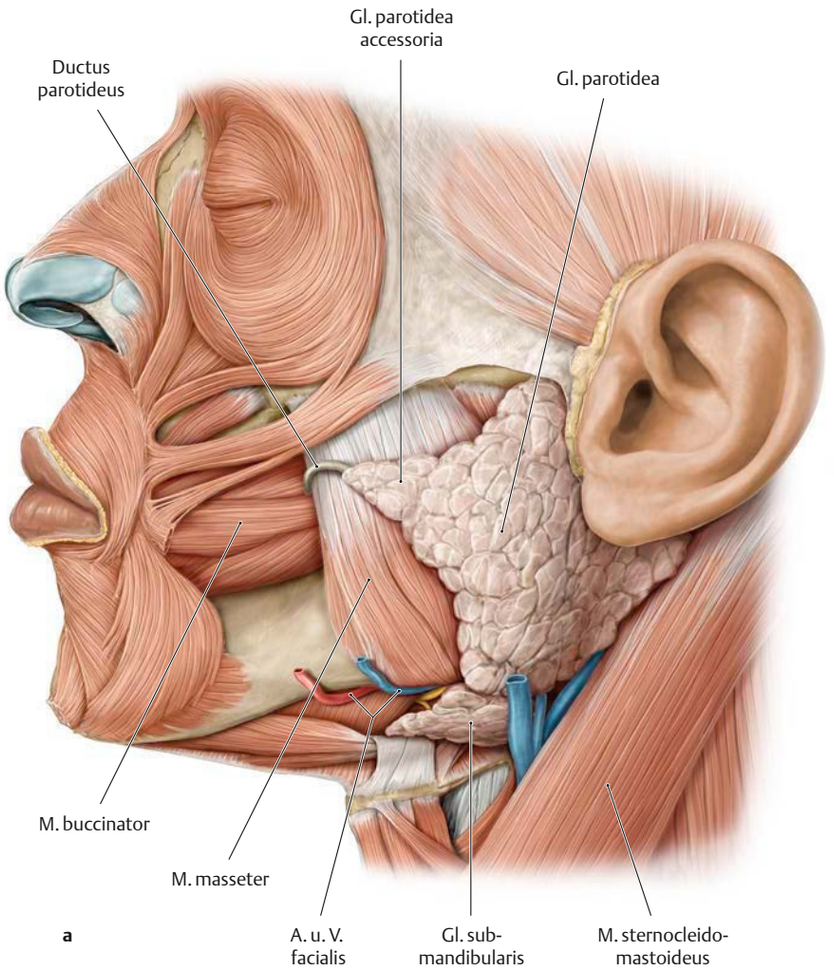
D Gefährliche Schleife der A. carotis interna (nach einem Präparat der anatomischen Sammlung Kiel)
Ansicht von dorsal. Bei etwa 5 % der Menschen liegt im Bereich des Tonsillenbetts eine siphonförmige Schlinge der A. carotis auf dem M. constrictor pharyngis. Die Verletzung dieser Schleife im Rahmen einer Tonsillektomie ist gefährlich und kann zu schweren arteriellen Blutungen führen.

5.35 Kopfspeicheldrüsen

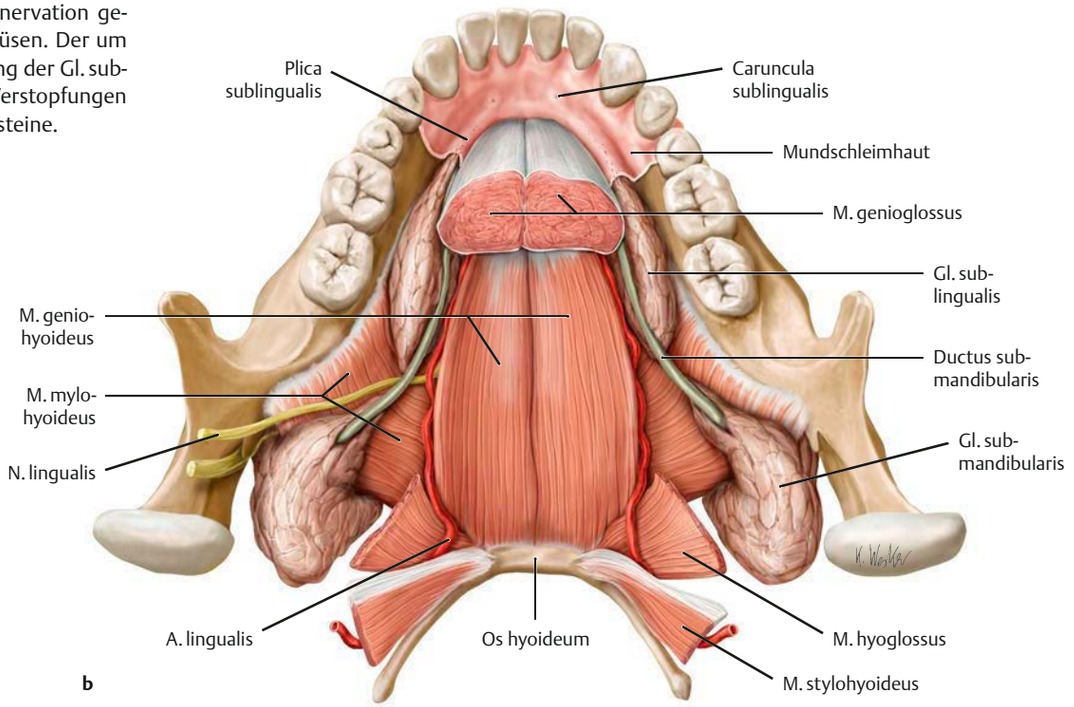
A Große Kopfspeicheldrüsen
Ansicht von lateral (**a**) und kranial (**b**).
Man unterscheidet drei große paarige Kopfspeicheldrüsen:

1. Gll. parotideae, Ohrspeicheldrüsen,
2. Gll. submandibulares, Unterkieferspeicheldrüsen und
3. Gll. sublinguales, Unterzungenspeicheldrüsen.

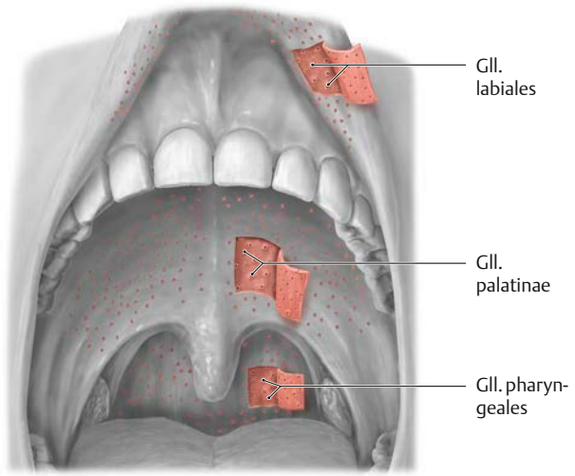
Die Gl. parotidea ist eine rein seröse, die Gl. submandibularis eine gemischte seromuköse Drüse und die Gl. sublingualis eine mukoseröse Drüse. Die Drüsen produzieren etwa 0,5–2 l Speichel pro Tag. Ihre Ausführungsgänge enden in der Mundhöhle: der Ausführungsgang der Gl. parotidea (Ductus parotideus) überquert den M. masseter, durchbricht den M. buccinator und mündet im Vestibulum oris gegenüber dem oberen 2. Molaren. Zusammen mit dem Ausführungsgang der Gl. submandibularis (Ductus submandibularis) mündet v. a. der große Ausführungsgang der Gl. sublingualis auf der Caruncula sublingualis hinter den unteren Schneidezähnen. Darüber hinaus münden zahlreiche kleine Ausführungsgänge der Gl. sublingualis auf der Plica sublingualis. Der Speichel befeuchtet die Mundschleimhaut und enthält das Stärke spaltende Enzym Amylase sowie das bakterizide Lysozym. Die *parasympathischen* Fasern (hier nicht dargestellt) zur vegetativen Steuerung der Speicheldrüsen stammen vom Nucleus salivatorius superior und inferior, die Fasern gelangen über verschiedene Nerven zu den Drüsen (s. S. 124, 127 u. 130). Die *sympathische* Innervation gelangt über die Gefäße zu den Drüsen. Der um den Mundboden gewundene Gang der Gl. submandibularis prädestiniert zu Verstopfungen des Gangsystems durch Speichelsteine.



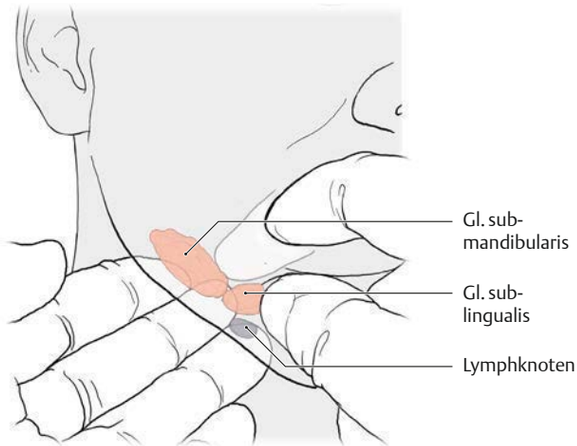
a



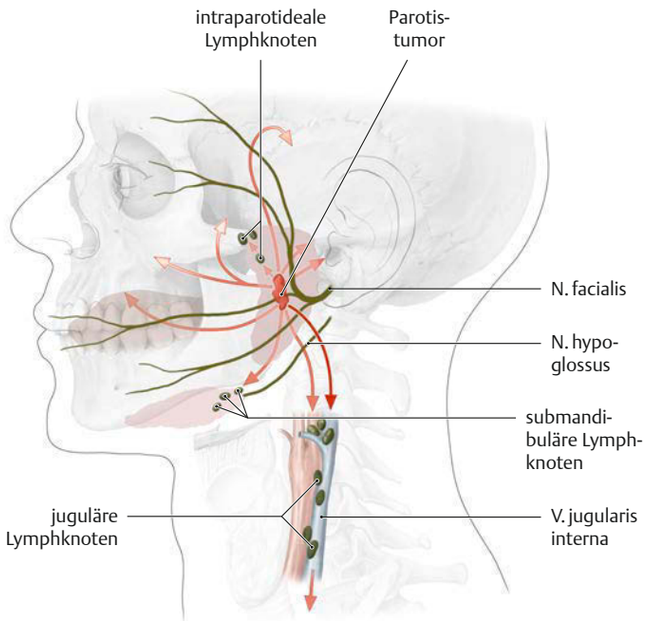
b



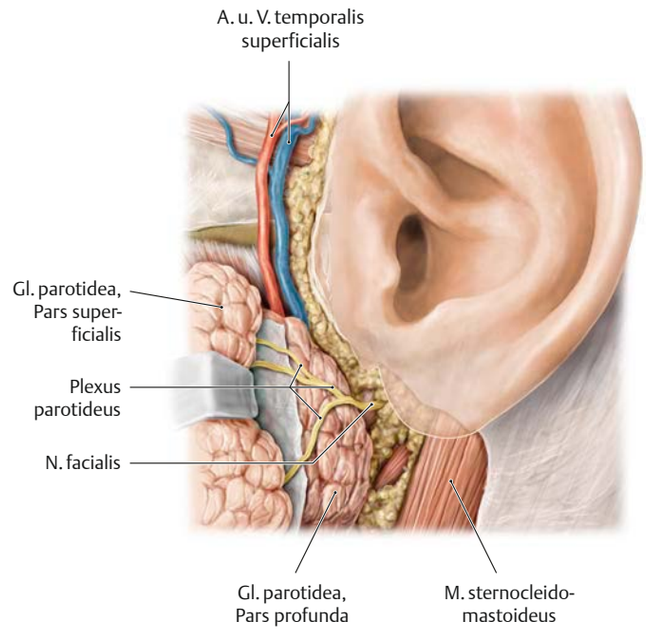
B Kleine Speicheldrüsen
Zusätzlich zu den drei großen paarigen Drüsen befeuchten 700–1000 kleine Speicheldrüsen die Mundhöhle. Sie produzieren nur 5–8 % des gesamten Schleims, diese Menge reicht aber aus, den Mund feucht zu halten, während die großen Speicheldrüsen nur bei Bedarf sezernieren. *Beachte:* Tumoren, die von den kleinen Speicheldrüsen ausgehen, sind häufiger bösartig als Tumoren, die von den großen Speicheldrüsen ausgehen. Auch deshalb sind diese Drüsen klinisch von Bedeutung.



C Bimanuelle Untersuchung der Speicheldrüsen
Die beiden am Unterkiefer gelegenen Speicheldrüsen Gl. submandibularis und Gl. sublingualis sowie drüsennahe Lymphknoten sind um den beweglichen Mundboden gruppiert und müssen deshalb gegen einen Widerstand palpiert werden. Dies geschieht durch bimanuelle Untersuchung.

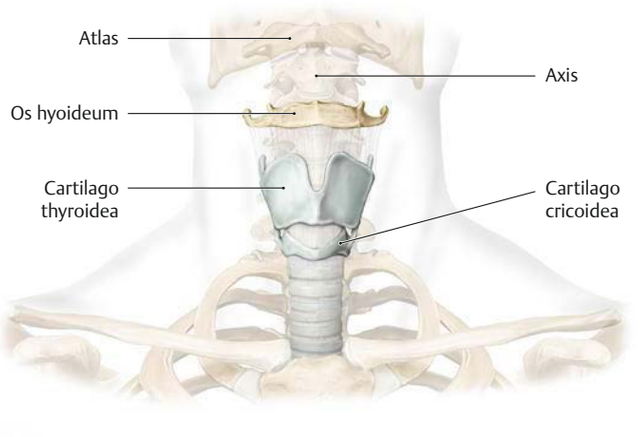


D Ausbreitung von bösartigen Parotistumoren entlang anatomischer Strukturen
Bösartige Parotistumoren können in die Umgebung (leere Pfeile) einwachsen, sich über regionäre Lymphknoten (gefüllte Pfeile) verbreiten oder sich über das Blutgefäßsystem systemisch im Körper ausbreiten (metastasieren).



E Intraglandulärer Verlauf des N. facialis in der Parotis
Der N. facialis teilt sich in der Gl. parotis auf (der Plexus parotideus teilt die Drüse in eine Pars superficialis und eine Pars profunda) und ist bei der chirurgischen Entfernung von Parotistumoren gefährdet. Bei der fazialisschonenden Parotidektomie muss daher zunächst der Stamm des N. facialis aufgesucht werden. Wegweisend zum Aufsuchen des Nervenstammes ist die Spitze des knorpeligen Gehörganges.

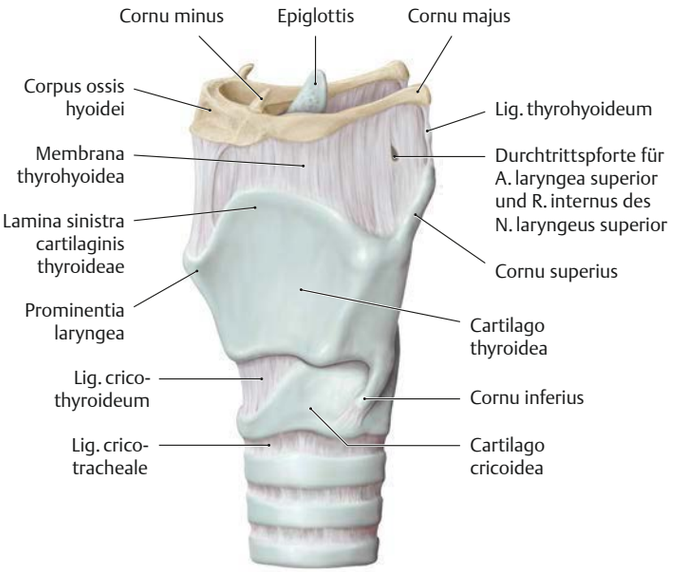
5.36 Kehlkopf (Larynx): Lage, Form und Kehlkopfknorpel



A Lage des Kehlkopfes im Hals
Ansicht von ventral. Bei mittlerer Kehlkopfstellung und gerader Kopfhaltung liegt:

- das Zungenbein (Os hyoideum) in Höhe des 3.–4. Halswirbels,
- der Oberrand des Kehlkopfes in Höhe des 5. Halswirbels,
- der Übergang zur Luftröhre in Höhe des 6.–7. Halswirbels.

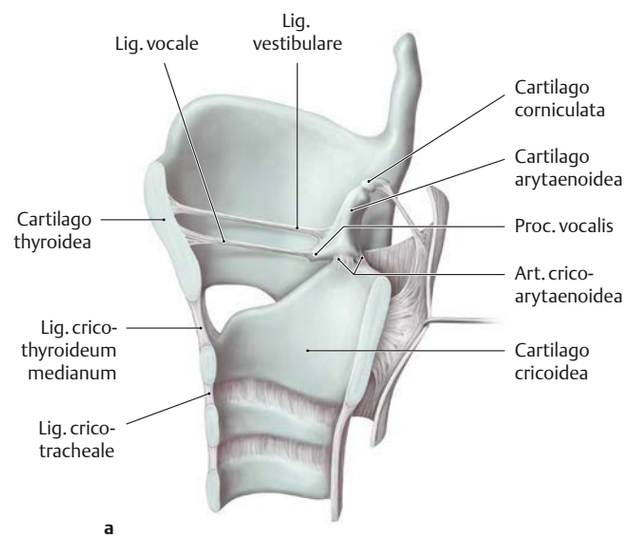
Bei Frauen und Kindern sind diese Strukturen jeweils etwa eine halbe Wirbelhöhe höher lokalisiert. Beim Mann springt der obere Teil des Kehlkopfes (Schildknorpel, s. **B**) als sog. „Adamsapfel" (Prominentia laryngea) besonders hervor.

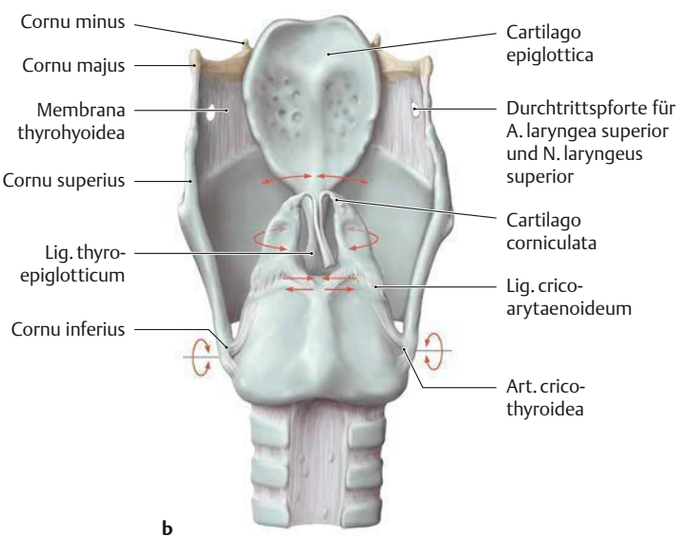


B Der Kehlkopf als Ganzes
Schrägansicht von links-ventral. Vom Kehlkopf sieht man in dieser Ansicht folgende Knorpel:

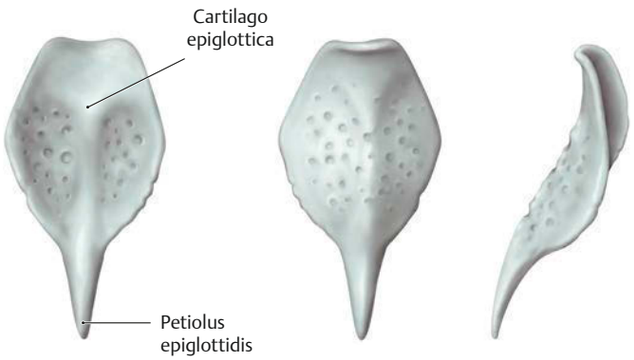
- Kehldeckel (Epiglottis, s. **D**),
- Schildknorpel (Cartilago thyroidea, s. **E**) und
- Ringknorpel (Cartilago cricoidea, s. **F**).

Diese Knorpel sind untereinander sowie mit Trachea und Zungenbein durch elastische Bänder verbunden, die das Verschieben des Kehlkopfes beim Schluckakt ermöglichen (s. S. 203). In dieser Ansicht nicht zu sehen sind die Stell- oder Aryknorpel (Cartilagines arytaenoideae) sowie der Spitzenknorpel (Cartilago corniculata) (s. **G**).

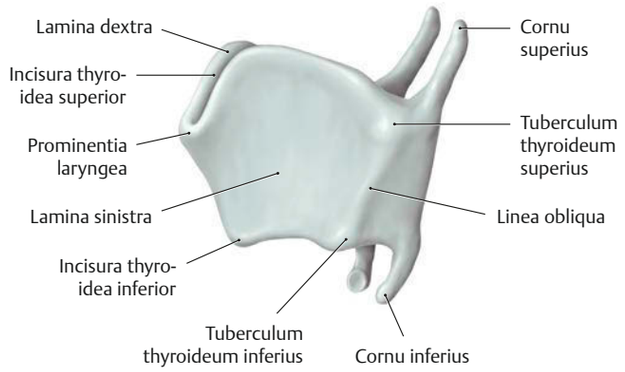




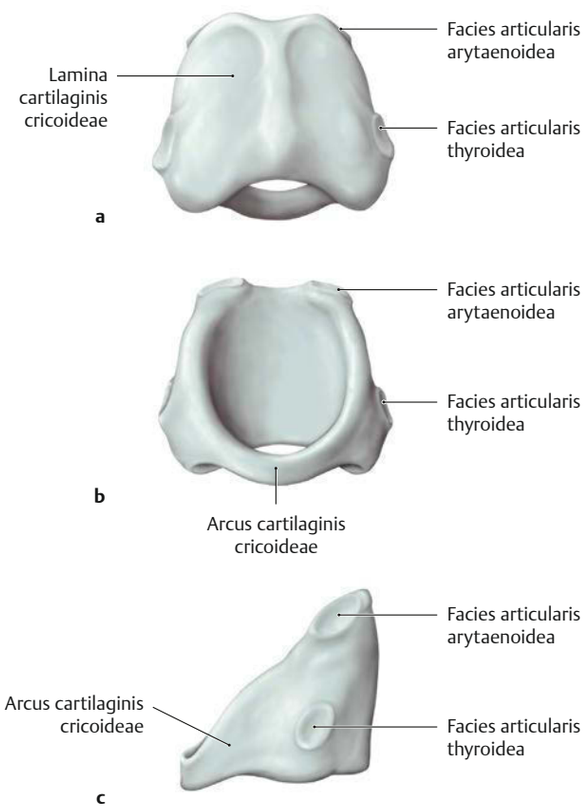
C Kehlkopfknorpel und -bänder
a Sagittalschnitt, Ansicht von links-medial. Der Schildknorpel umschließt den größten Teil der Kehlkopfknorpel, sein kaudaler Teil artikuliert mit dem Ringknorpel (Art. cricothyroidea).
b Ansicht von dorsal. Die Bewegungsrichtungen in den einzelnen Gelenken sind durch Pfeile gekennzeichnet. Der Schildknorpel kann gegen den Ringknorpel in der Art. cricothyroidea gekippt werden. Die Basis der Aryknorpel beiderseits können mit der Oberkante des Ringknorpels in der Art. cricoarytaenoidea im Sinne einer Dreh- und Gleitbewegung gegen den Ringknorpel bewegt werden. Während der Lautbildung bewegen sich die Stellknorpel (Cartilago arytaenoidea).



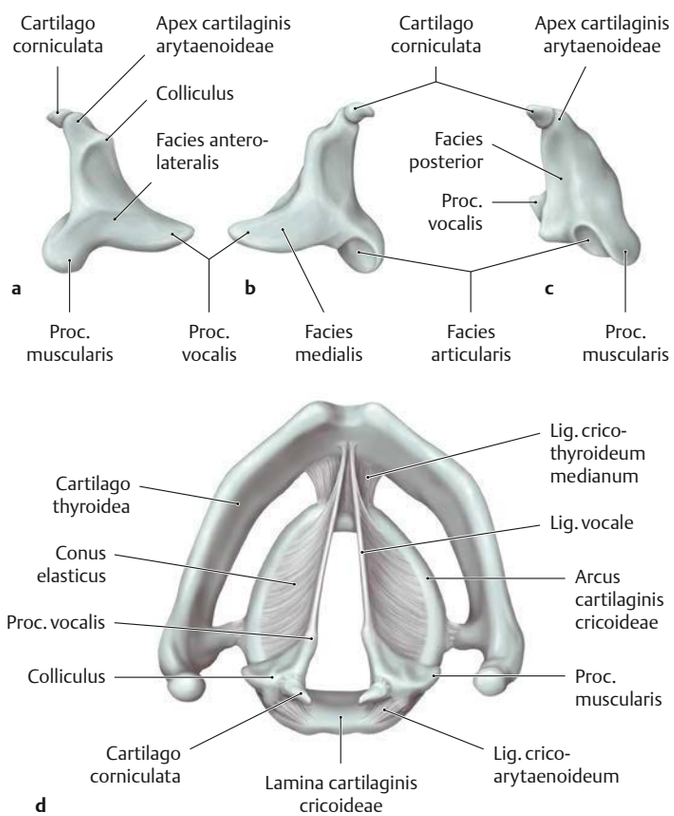
D Kehldeckelknorpel (Cartilago epiglottica)
Ansicht von laryngeal, lingual und links. Die Epiglottis enthält in ihrem Inneren ein Skelett aus dem hier dargestellten elastischem Knorpel (Cartilago epiglottica). Dieser Knorpel sorgt dafür, dass die Epiglottis am Ende des Schluckaktes (Fortfall des Muskelzuges!) von selbst in ihre Ausgangsposition zurückkehrt. Wird die Epiglottis bei Tumoroperationen entfernt, muss der Patient das fehlerfreie Schlucken ohne Epiglottis mühsam erlernen (Aspirationsgefahr).



E Schildknorpel (Cartilago thyroidea)
Ansicht von schräg-links. Dieser hyaline Knorpel besteht aus zwei vierseitigen Platten, den Laminae dextra und sinistra, die in der Mitte bugförmig zusammenstoßen. Am oberen Ende dieses Zusammenschlusses befindet sich die Prominentia laryngea, die beim Mann als Adamsapfel imponiert. Am Hinterende tragen die Platten die Cornu superius bzw. inferius, die als Ansatzpunkte für Bänder dienen (s. **B**).

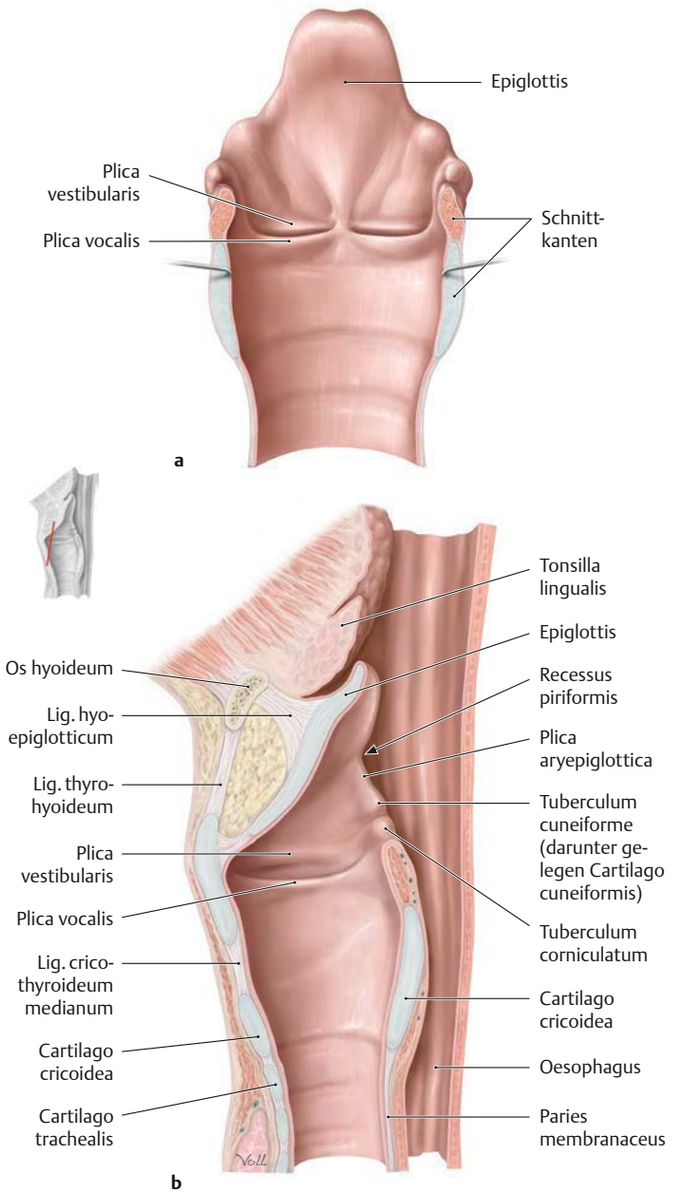


F Ringknorpel (Cartilago cricoidea)
Ansicht von dorsal (**a**), ventral (**b**) und links (**c**). Dieser hyaline Knorpel ist ähnlich wie ein Siegelring aufgebaut. Dorsal besitzt er eine Ringknorpelplatte (Lamina cartilaginis cricoideae). Am oberen Ende dieser Platte ist eine Gelenkfläche für die Aryknorpel vorhanden, am unteren Ende eine für den Schildknorpel. Der Unterrand des Ringknorpels schließt über eine Bandverbindung an die Trachea an (s. **B** u. **C**).



G Stellknorpel (Cartilago arytaenoidea) und Spitzenknorpel (Cartilago corniculata)
Jeweils rechter Knorpel, Ansicht von lateral (**a**), medial (**b**), dorsal (**c**) und kranial (**d**). Wörtlich übersetzt bedeutet Cartilago arytaenoidea „Gießbeckenknorpel", im Deutschen wird er als Stellknorpel bezeichnet, weil seine Position die Stellung der Stimmbänder verändert (s. S. 207). Der pyramidenförmige, hyaline Stellknorpel besitzt drei Flächen (Facies anterolateralis, medialis, posterior), eine Basis mit zwei Fortsätzen, Proc. vocalis und Proc. muscularis, sowie eine Spitze, Apex. Auf der Spitze sitzt der Spitzenknorpel, Cartilago corniculata, auf, der aus elastischem Knorpel besteht.

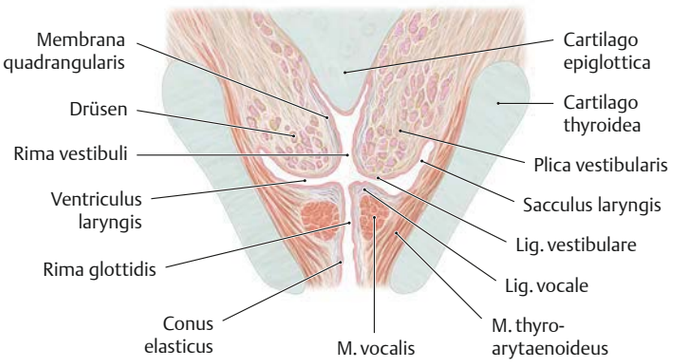
5.37 Kehlkopf: Innenrelief und Systematik der Leitungsbahnen



A Kehlkopfinnenraum (Cavitas laryngis): Schleimhautrelief und Gliederung in Etagen

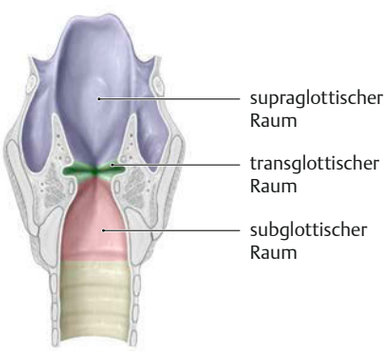
a Ansicht von dorsal. Muskelschlauch von Rachen und Speiseröhre von dorsal eröffnet und weit auseinandergezogen (Schnittkanten). Der gesamte Innenraum des Kehlkopfes ist von Schleimhaut überzogen, die – außer auf den Stimmfalten – locker auf der jeweiligen Unterlage aufliegt (Gefahr des Larynxödems, s. **B**). Zwischen Aryknorpeln und Epiglottis liegen beidseitig die Plicae aryepiglotticae, seitlich dieser Plicae befinden sich die Recessus piriformes (Schleimhautrinnen).
Beachte: Diese Schleimhautrinnen haben eine wichtige Funktion beim Nahrungstransport. Da sich Luft- und Speiseröhre in dieser Region überkreuzen, gleitet die Nahrung in diesen Recessus am Kehlkopf vorbei in die Speiseröhre, wobei beim Schluckakt der Luftweg durch die Epiglottis verschlossen wird (s. S. 203).

b Mediansagittalschnitt, Ansicht von links. Zur Beschreibung der exakten Lokalisation eines pathologischen Befundes wird die Cavitas laryngis in drei Etagen oder Räume gegliedert (vgl. **C**).



B Taschenfalten (Plicae vestibulares) und Stimmlippen (Plicae vocales)

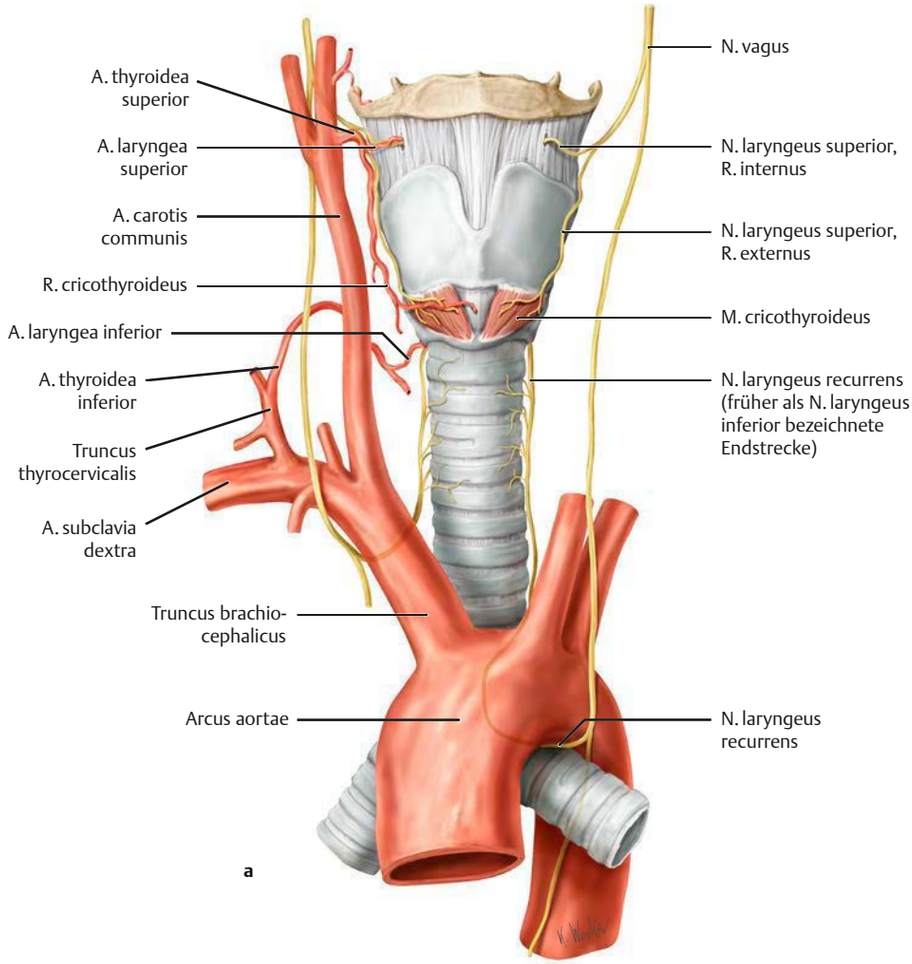
Frontalschnitt. In dieser Darstellung sind die Taschenfalten (Plicae vestibulares oder „falsche Stimmbänder"), gut zu erkennen. Sie enthalten das Taschenband (Lig. vestibulare), das freie untere Ende der Membrana quadrangularis. Zwischen den Taschenfalten bleibt die Rima vestibuli frei. Unterhalb der Taschenfalten liegen die Stimmlippen (Plicae vocales, auch als Stimm*falten* bezeichnet). Sie enthalten das Stimmband (Lig. vocale) und den Stimmmuskel (M. vocalis). Zwischen beiden befindet sich die Stimmritze (Rima glottidis), die enger ist als die Rima vestibuli.
Beachte: Das lockere Bindegewebe des Kehlkopfeingangs kann nach Insektenstichen oder bei Entzündungen erheblich anschwellen und die Rima vestibuli verschließen. Ein solches Larynxödem (fälschlich oft als Glottisödem bezeichnet) geht mit dem Symptom Atemnot einher (Erstickungsgefahr!).



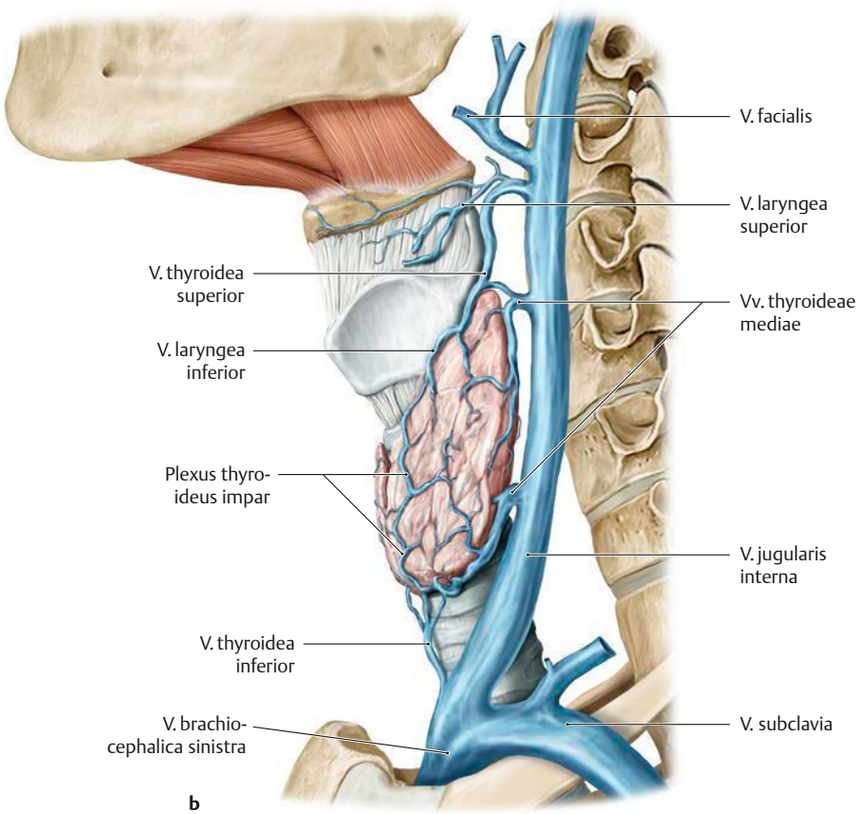
C Klinische Einteilung der Kehlkopfetagen und ihre Begrenzungen

Ansicht von dorsal. Zur exakten Beschreibung der Lokalisation eines pathologischen Befundes wird der Kehlkopf von kranial nach kaudal in drei Etagen eingeteilt. Diese drei Etagen haben in Bezug auf den Lymphabfluss eine Bedeutung.

Kehlkopfetage	Ausdehnung
supraglottischer Raum (Vestibulum laryngis I)	vom Kehlkopfeingang (Aditus laryngis) bis zu den Taschenfalten (Plicae vestibulares)
transglottischer Raum (Cavitas laryngis intermedia II)	von den Taschenfalten über den Ventriculus laryngis (eine Schleimhautausbuchtung) bis zu den Stimmfalten (Plicae vocales)
subglottischer Raum (Cavitas infraglottica III)	von den Stimmlippen bis zum unteren Rand des Ringknorpels



a



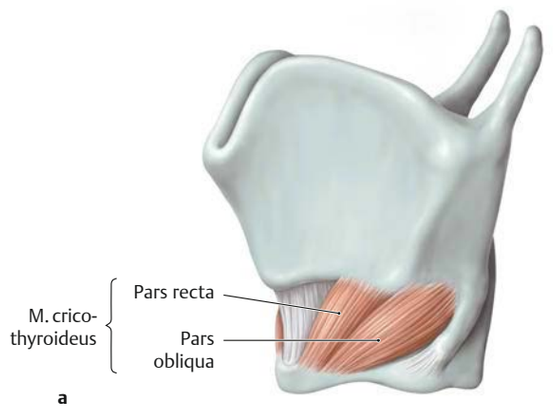
b

D Blutversorgung und Innervation

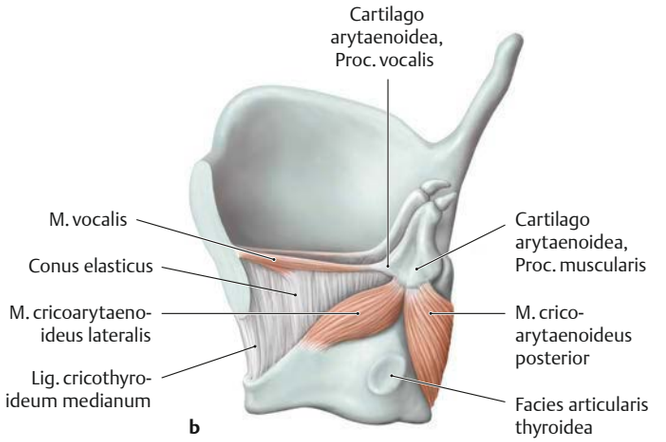
a Arterielle und nervale Versorgung: Ansicht von ventral. Die *Blutversorgung* des Kehlkopfes erfolgt aus zwei größeren Arterien, der A. laryngea superior aus dem Stromgebiet der A. carotis externa und der A. laryngea inferior aus dem Stromgebiet der A. subclavia (via Truncus thyrocervicalis). Somit liegt eine analoge Versorgung wie bei der Schilddrüse vor. Die *Innervation* erfolgt über die Nn. laryngei superior und recurrens (beide aus dem N. vagus, s. S. 141).
Beachte die enge Beziehung zwischen Nerven und Arterien: Bei einem linksseitigen Aortenaneurysma kann eine Rekurrensparese auftreten (Einengung des Nervs durch das Aneurysma), die sich in Heiserkeit äußert (nähere Erläuterung der Ursache s. S. 219).

b Venöse Drainage: Ansicht von links. Die V. laryngea superior mündet in die V. thyroidea superior, die in die V. jugularis interna drainiert. Die V. laryngea inferior mündet in den Plexus thyroideus impar, der zumeist über die V. thyroidea inferior in die V. brachiocephalica sinistra drainiert.

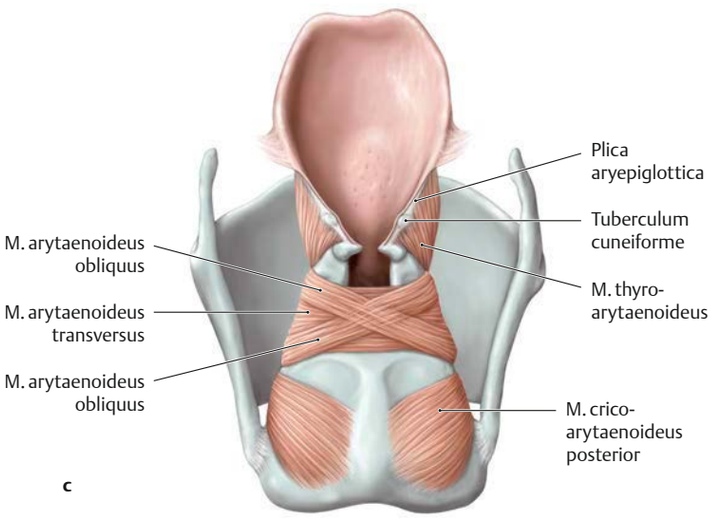
5.38 Kehlkopf: Muskeln



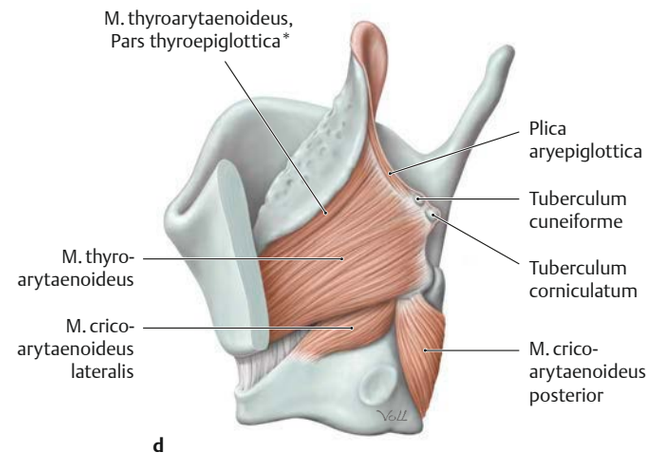
a Ansicht von schräg-links



b Ansicht von lateral-links, linke Schildknorpelhälfte entfernt



c Ansicht von dorsal



d Ansicht von links; linke Hälfte des Schildknorpels fast ganz entfernt zur Sicht auf Epiglottis und M. thyroarytaenoideus, Pars externa*

A Kehlkopfmuskeln

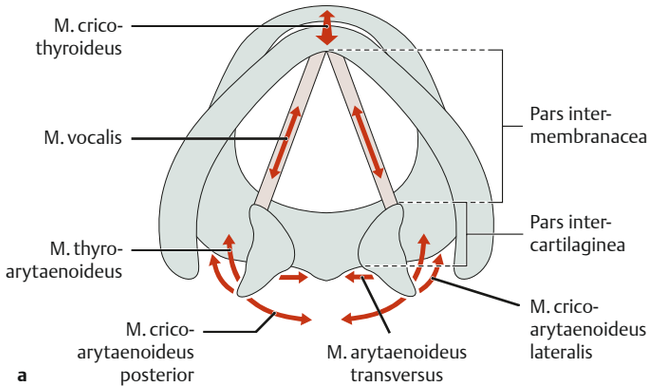
a Äußerer Kehlkopfmuskel: Der *M. cricothyroideus* (klinisch oft als Anticus bezeichnet) liegt als einziger Kehlkopfmuskel dem Kehlkopf von außen an. Durch seine Kontraktion kippt der Ringknorpel nach hinten, so dass die Stimmbänder angespannt werden. Aufgrund dieser Wirkungsweise zählt er zusammen mit dem *M. vocalis* (s. **b**) zu den sog. *Spannmuskeln.* Der M. cricothyroideus wird als einziger Muskel vom N. laryngeus superior (R. externus) innerviert.

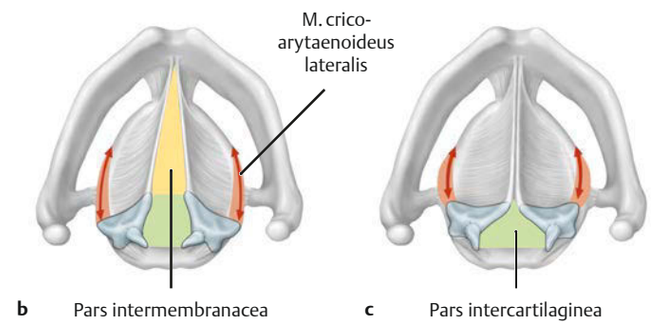
b–d Innere Kehlkopfmuskeln (Mm. cricoarytaenoideus posterior und lateralis sowie M. thyroarytaenoideus). Sie setzen alle am Stellknorpel an und können die Stellung der Stimmbänder verändern. Sie werden daher zusammenfassend auch als *Stellmuskeln* bezeichnet. Die Kontraktion des *M. cricoarytaenoideus posterior* (klinisch Posticus) dreht den Stellknorpel nach außen und leicht zur Seite, dadurch *öffnet* er – als einziger Kehlkopfmuskel – die *gesamte* Stimmritze (Rima glottidis). Der *M. cricoarytaenoideus lateralis* (klinisch Lateralis) verschließt und öffnet jeweils einen *Teil* der Stimmritze. Er öffnet die Pars intercartilaginea (Stimmritzenabschnitt zwischen den Aryknorpeln) und schließt die Pars intermembranacea (Stimmritzenabschnitt zwischen Schildknorpel und Spitze des Proc. vocalis, s. **B**). Dadurch werden die Spitzen der Procc. vocales zueinander geführt (s. **B**). Da dieser Mechanismus die Phonation einleitet, bezeichnet man diesen inneren Kehlkopfmuskel auch als *Phonationsmuskel.* Den *vollständigen* Schluss der Stimmritze bewirken außer dem M. vocalis der *M. arytaenoideus transversus* sowie der *M. thyroarytaenoideus* (s. **c**).

Beachte: Alle *inneren* Kehlkopfmuskeln werden vom N. laryngeus recurrens motorisch innerviert. Fällt der N. laryngeus recurrens einseitig aus (z. B. links aufgrund von Lymphknotenmetastasen eines Bronchialkarzinoms am Lungenhilus), führt dies zur gleichseitigen Parese des M. cricoarytaenoideus posterior. Eine vollständige Öffnung der Stimmritze ist dann nicht mehr möglich, die Folge ist Heiserkeit. Fällt der N. laryngeus recurrens beiderseits (z. B. Schilddrüsenoperation) aus, verengt sich die Stimmritze durch das Überwiegen der Schließer: Erstickungsgefahr (s. S. 132).

Die hier besprochenen Muskeln bewegen die Kehlkopfknorpel gegeneinander und beeinflussen Spannung und/oder Stellung der Stimmbänder. Zu den Muskeln, die den Kehlkopf *als Ganzes* bewegen (infra- und suprahyoidale Muskulatur sowie M. constrictor pharyngis inferior) s. S. 90.

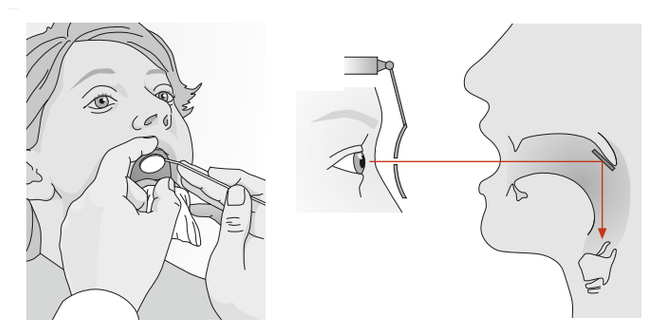
* Die Pars thyroepiglottica des M. thyroarytaenoideus wurde in der alten Nomenklatur als M. thyroepiglotticus bezeichnet und der Muskelfaserzug unterhalb der Plica aryepiglottica als M. aryepiglotticus.





B Zugrichtungen und Funktionen der Kehlkopfmuskeln

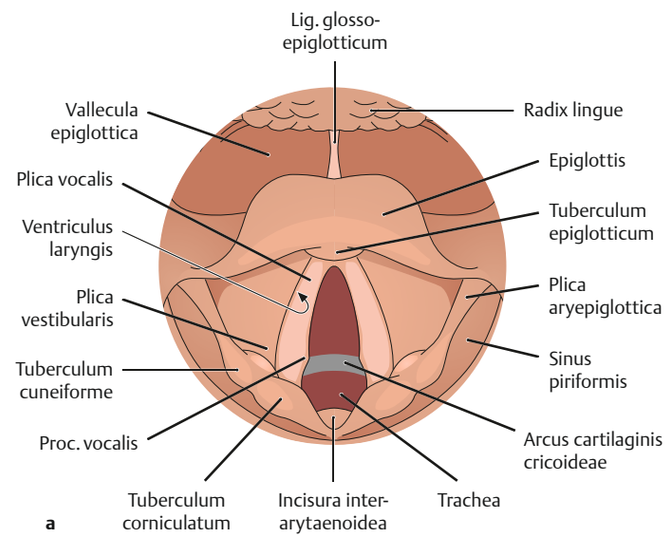
Glottisöffnung (= Stimmlippenabduktion)	M. cricoarytaenoideus posterior (M. posticus)
Glottisöffnung und -verschluss (Stimmlippenab- und -adduktion) (s. **b** u. **c**)	M. cricoarytaenoideus lateralis (M. lateralis)
Glottisverschluss (= Stimmlippenadduktion)	M. arytaenoideus transversus (M. transversus) M. thyroarytaenoideus
Stimmlippenspannung	M. cricothyroideus (M. anticus) M. vocalis

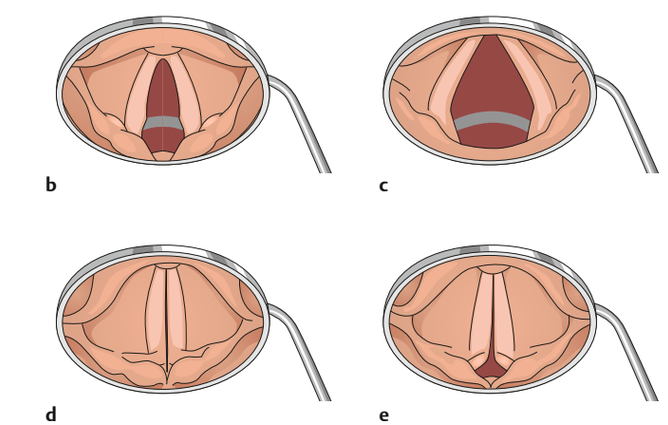


C Indirekte Kehlkopfspiegelung

a Aus der Sicht des Arztes: Der Kehlkopf ist – ohne Narkose – nur indirekt über einen Spiegel (Laryngoskop, alternativ Endoskop) einsehbar (vgl. **Da**). Dazu hält der Untersucher die Zunge des Patienten, während er mit der anderen Hand den Spiegel einführt.

b Strahlengang bei der Kehlkopfspiegelung: Der Spiegel lenkt die Strahlen – vor der Uvula – nach kaudal in Richtung Kehlkopf (Befunde s. **D**).



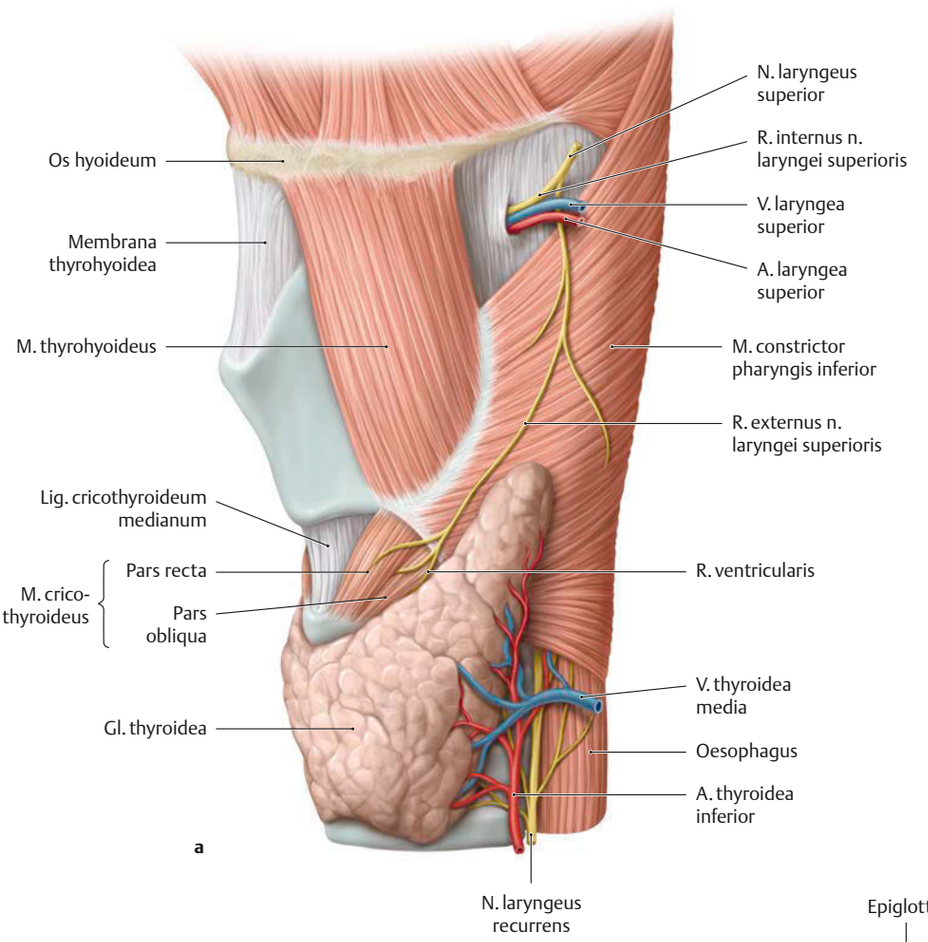


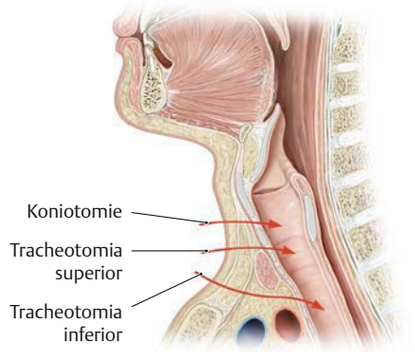
D Spiegelbild bei indirekter Laryngoskopie (nach Berghaus, Rettinger u. Böhme)

a Das **Spiegelbild** ist ein virtuelles Bild, das linke und rechte Seite anatomisch korrekt zeigt: Die rechte Stimmfalte liegt auch im Spiegelbild rechts. Ventral und dorsal liegende Strukturen sind dagegen oben bzw. unten zu sehen: Zungengrund, Valleculae oder Epiglottis z. B. (alle ventral) liegen im Spiegelbild oben, die Incisura interarytaenoida (dorsal) unten. Die sog. „Stimmbänder" (Plicae vocales) erschienen als glatt begrenzte Bänder und sind, da sie keine Blutgefäße haben, wie die übrige Schleimhaut, deutlich heller als diese. Die Glottis (Stimmapparat) wird in Respirations- (offen) und Phonationsstellung (geschlossen) untersucht, indem der Patient abwechselnd atmet und „hiii" singt. Beurteilt werden pathologisch-anatomische (Rötung, Schwellung, Ulzeration) sowie funktionelle Veränderungen (z. B. eine abnorme Stimmbandposition).

b–e Physiologische Befunde: Respirationsstellungen: geöffnete Stimmritze bei normaler (**b**) und verstärkter Atmung (**c**); Phonationsstellung mit komplett geschlossener Stimmritze (**d**); geringe Öffnung der Glottis im hinteren Stimmlippendrittel bei Flüstersprache (**e**).

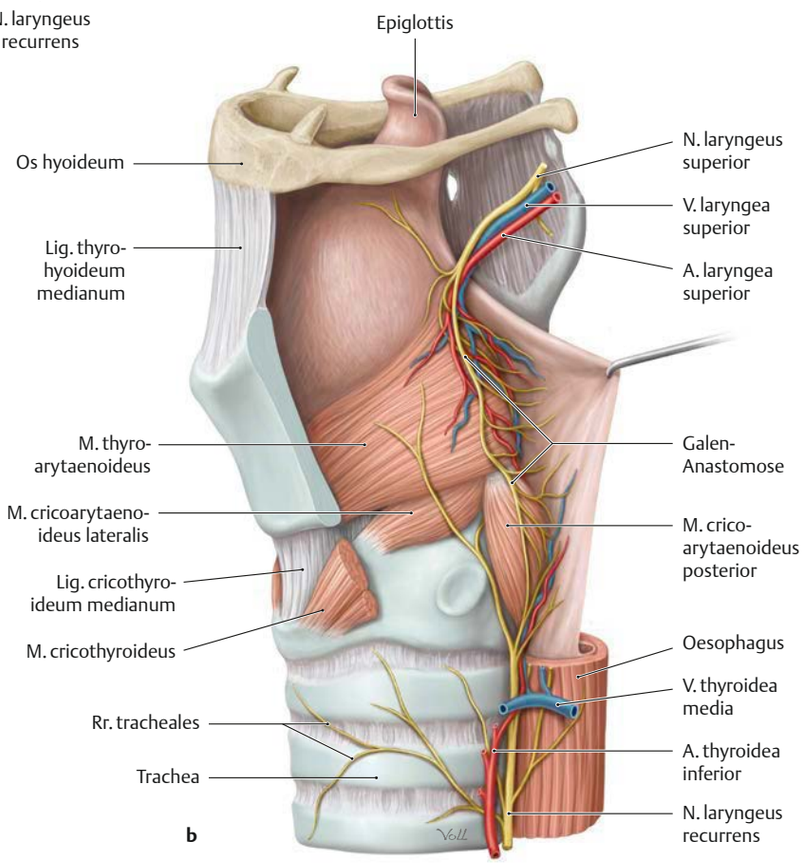
5.39 Kehlkopf: Topografie und klinische Anatomie



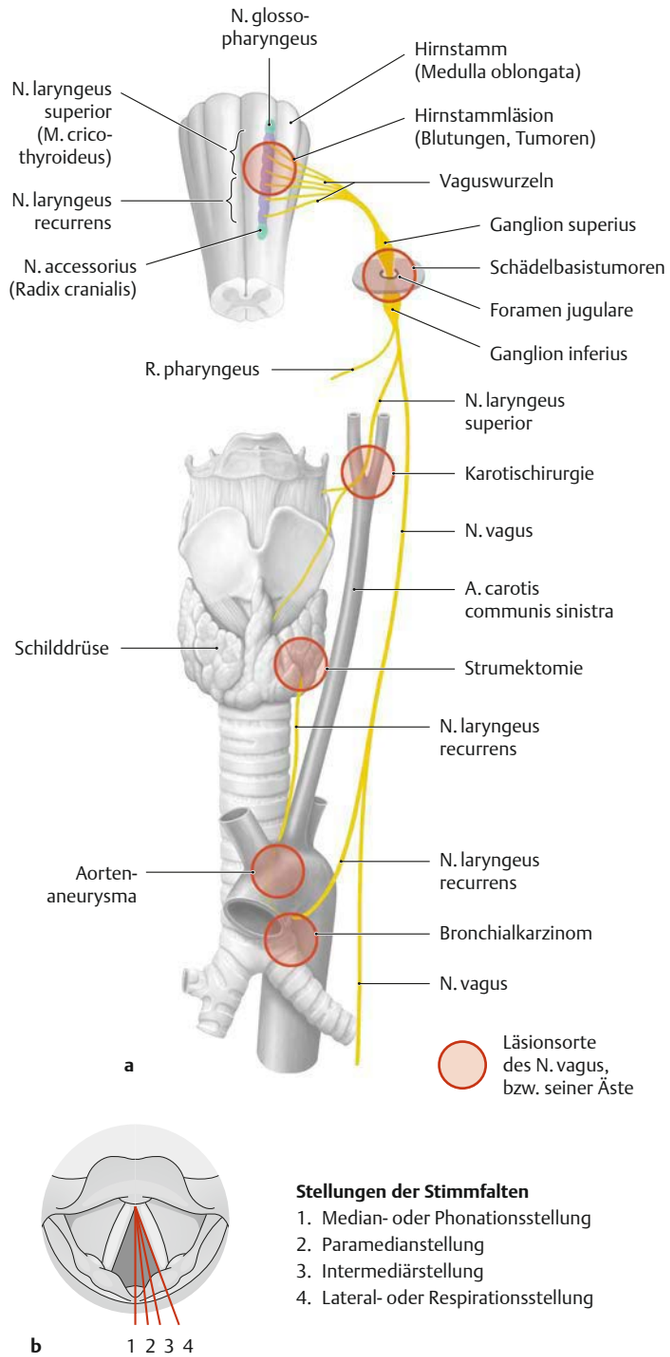


B Zugangswege zu Kehlkopf und Luftröhre
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links. Bei einem akuten Verschluss des Kehlkopfes durch ein Ödem (= Flüssigkeitseinlagerung z. B. bei Allergie) und daraus resultierender akuter Erstickungsgefahr, sind folgende operative Zugangswege zur Luftröhre möglich:

- Spaltung des Lig. cricothyroideum medianum (sog. Koniotomie),
- Einschnitt in die Luftröhre (= Luftröhrenschnitt) direkt über der Schilddrüse (= Tracheotomia superior) oder etwas unterhalb der Schilddrüse (Tracheotomia inferior).



A Topografie des Kehlkopfes: Blut- und Nervenversorgung
Ansicht von links; **a** oberflächliche Schicht, **b** tiefe Schicht, M. cricothyroideus und linke Schildknorpelplatte entfernt, Pharynxschleimhaut abgelöst und zur Seite geklappt. Arterien und Venen dringen im Wesentlichen von dorsal in den Kehlkopf ein.
Beachte: Der N. laryngeus superior innerviert mit seinem motorischen Ast (R. externus) den M. cricothyroideus und mit seinem sensiblen Ast (R. internus) die Schleimhaut des Kehlkopfes bis herab zu den Stimmlippen. Der N. laryngeus recurrens hingegen versorgt motorisch *alle* anderen (inneren) Kehlkopfmuskeln sowie sensibel die Kehlkopfschleimhaut unterhalb der Stimmlippen.
Der R. externus des N. laryngeus superior gibt einen endolaryngealen Ast ab, den R. ventricularis. Dieser zieht an der Kehlkopfinnenseite nach kranial und endet in Höhe der Taschenfalten; vermutlich innerviert er den M. ventricularis. Er ist noch nicht Bestandteil der Nomina anatomica.



Stellungen der Stimmfalten

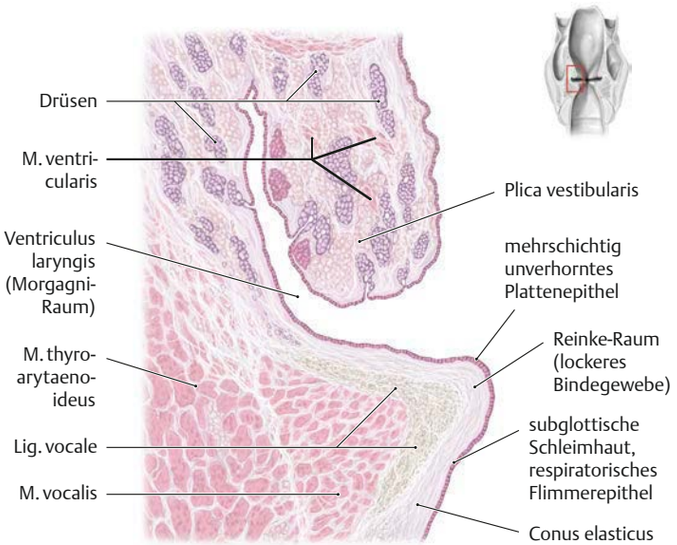
1. Median- oder Phonationsstellung
2. Paramedianstellung
3. Intermediärstellung
4. Lateral- oder Respirationsstellung

C Nervus vagus und Stellung der Stimmfalten

Die motorischen (branchiogen-efferenten) Fasern des N. vagus innervieren die Pharynx- und Larynxmuskulatur. Sie entspringen im Hirnstamm im Nucleus ambiguus, dessen Zellgruppen somatisch angeordnet sind: Zwischen den Fasern von N. glossopharyngeus (kranialer Ursprung) und N. accessorius (kaudaler Ursprung) liegen die Ursprungsneurone der Nn. laryngei superior und recurrens sowie der motorischen Fasern für die Muskeln von weichem Gaumen und Schlund. Besonders zentrale bzw. hohe periphere Vagusläsionen führen zu Lähmungen der Rachen- und Kehlkopfmuskulatur und beeinflussen so die Stellung der Stimmfalten:

- *zentrale Vagusläsionen* im Kerngebiet des Nucleus ambiguus (z. B. infolge von Tumoren, Blutungen oder Bulbärparalysen im Bereich des Hirnstammes) → Intermediär- bis Paramedianstellung der Stimmfalten (s. **b**);
- *hohe periphere Vagusläsionen* in Abhängigkeit vom Ort der Leitungsunterbrechung:
  - im Bereich der Schädelbasis in Höhe des Foramen jugulare (z. B. durch Nasopharynxtumoren) → durch Ausfall aller inneren und äußeren Kehlkopfmuskeln Intermediär- bzw. Paramedianstellung der betroffenen Stimmfalte (s. **b**), dadurch kein Glottisschluss und starke Heiserkeit,
  - N. laryngeus superior im mittlerer Halsbereich (z. B. als Komplikation bei der Karotischirurgie) → durch Tonusverlust des M. cricothyroideus geringe Heiserkeit mit Stimmschwäche v. a. im Bereich hoher Frequenzen,
  - N. laryngeus recurrens im unteren Halsbereich (z. B. durch Schilddrüsen-Operationen wie Strumektomie, durch Bronchialkarzinome oder Aortenaneurysmen) → durch Ausfall aller inneren Kehlkopfmuskeln auf der betroffenen Seite Median- bis Paramedianstellung der Stimmlippe, geringe Heiserkeit, Verschlechterung der Singstimme, rasche Stimmermüdung, keine Atemnot.

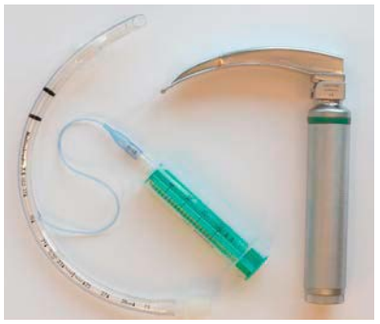
Beachte: Bei beidseitigen Läsionen verschlechtert sich die Symptomatik in der Regel; z. B. führt eine beidseitige Rekurrensparese zum Stimmlippenstillstand in Paramedianstellung, zu ausgeprägter Luftnot und starkem inspiratorischen Stridor (bei akutem Auftreten ist häufig eine Tracheotomie erforderlich, s. **B**). Neben den motorischen Ausfällen kommt es in Abhängigkeit vom Läsionsort zu unterschiedlich lokalisierten Sensibilitätsverlusten der Larynxschleimhaut (s. **Ab**). Darüber hinaus führen Vagusschädigungen z. B. zu einer Abschwächung des Würgereflexes, zu Schluckstörungen, Fremdkörpergefühl und Husten sowie zu einer näselnden Sprache (mangelnder Verschluss des Nasen- und Mundraumes); in der Regel herabhängendes Gaumensegel auf der betroffenen Seite (Ausfall des M. levator veli palatini) und Verlagerung der Uvula zur gesunden Seite.



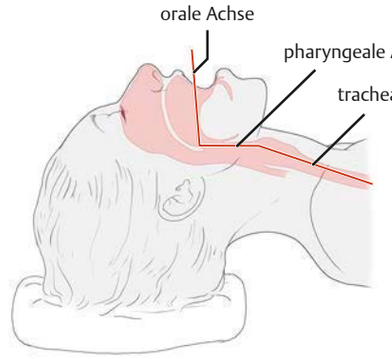
D Aufbau der Stimmlippe (Plica vocalis)

Schematisierter histologischer Frontalschnitt, Ansicht von dorsal.
Die mechanisch stark beanspruchte Stimmlippe ist von mehrschichtig unverhorntem Plattenepithel überzogen (bei Entartung daher Plattenepithelkarzinom). In dem sich anschließenden subglottischen Raum liegt das respiratorische Flimmerepithel. Die Schleimhaut sitzt auf lockerem Bindegewebe. Rauchen kann deshalb im sog. Reincke-Raum durch den permanenten Reiz zu einem chronischen Ödem führen, was sich in einer rauen („verrauchten") Stimme äußern kann.
Insbesondere an der Basis der Plica vestibularis, aber auch vereinzelt in der Plica selbst kommen Züge von quergestreifter Skelettmuskulatur vor, die als M. ventricularis bezeichnet werden. Die offizielle Nomenklatur führt diesen Muskel nicht auf, mehrere Autoren haben ihn jedoch beschrieben. Funktionell ist er jedem Phoniater bekannt, da sich die Plicae vestibulares mit Hilfe dieses Muskels kontrahieren können.

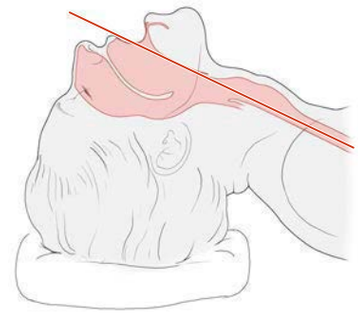
5.40 Endotracheale Intubation



a



b



c

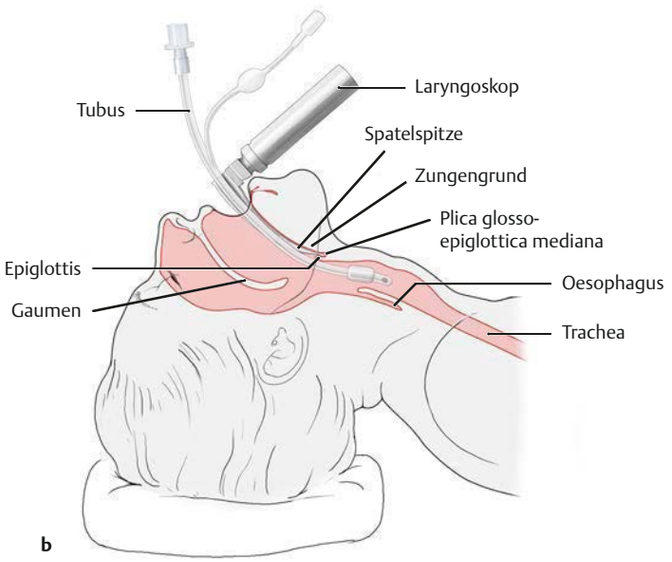
A Technische Ausrüstung und Lagerung des Kopfes
a Endotrachealtubus (Magill-Tubus) mit aufblasbarer Manschette (Cuff) und Laryngoskop nach MacIntosh mit Handgriff und gebogenem Spatel; **b** u. **c** ungünstige und optimale Lagerung des Kopfes bei der Intubation.
Das Einbringen eines Tubus in die Luftröhre (Trachea) des Patienten wird als *endotracheale Intubation* bezeichnet. Sie ist sowohl klinisch als auch präklinisch die *sicherste* Methode, um die Atemwege frei zu halten und die *effektivste* Form der Beatmung. Je nach Zugangsweg unterscheidet man:

- orotracheale = durch den Mund (Goldstandard),
- nasotracheale = über die Nase (wenn orotracheale Intubation nicht möglich ist) und
- pertracheale Intubation = durch Tracheotomie (Luftröhrenschnitt, z. B. für Langzeitbeatmung) oder Koniotomie (Zugang zum Kehlkopf durch Durchtrennung des Lig. cricothyroideum; nur im Notfall bei drohender Erstickung).

Zum wesentlichsten Instrumentarium gehören Laryngoskop und Endotrachealtubus (**a**). Die Tuben gibt es in unterschiedlichen Größen (10–22 cm) und Durchmessern (2,5–8 mm). Sie haben einen runden Querschnitt mit einem proximalen Konnektor (Anschluss an Beatmungsschlauch), das distale Ende ist angeschrägt. Eine aufblasbare Manschette (Cuff) oberhalb davon stellt sicher, dass die Trachea durch den Tubus luftdicht abgeschlossen ist (s. **Cb**). Bei der orotrachealen Intubation sollten orale, pharyngeale und tracheale Achse auf einer Geraden liegen (sog. Schnüffelposition, s. **c**). Dazu wird der Kopf des Patienten etwa 10 cm hoch gelagert und im Atlantookzipitalgelenk überstreckt. Dies erleichtert die direkte Laryngoskopie des Kehlkopfeingangs (s. **B**) und verkürzt den Abstand zwischen Zahnreihe und Stimmritze beim Erwachsenen auf 13–16 cm.
Beachte: Bei Patienten mit Verdacht auf eine Halswirbelsäulenverletzung ist eine Reklination unter allen Umständen zu vermeiden!

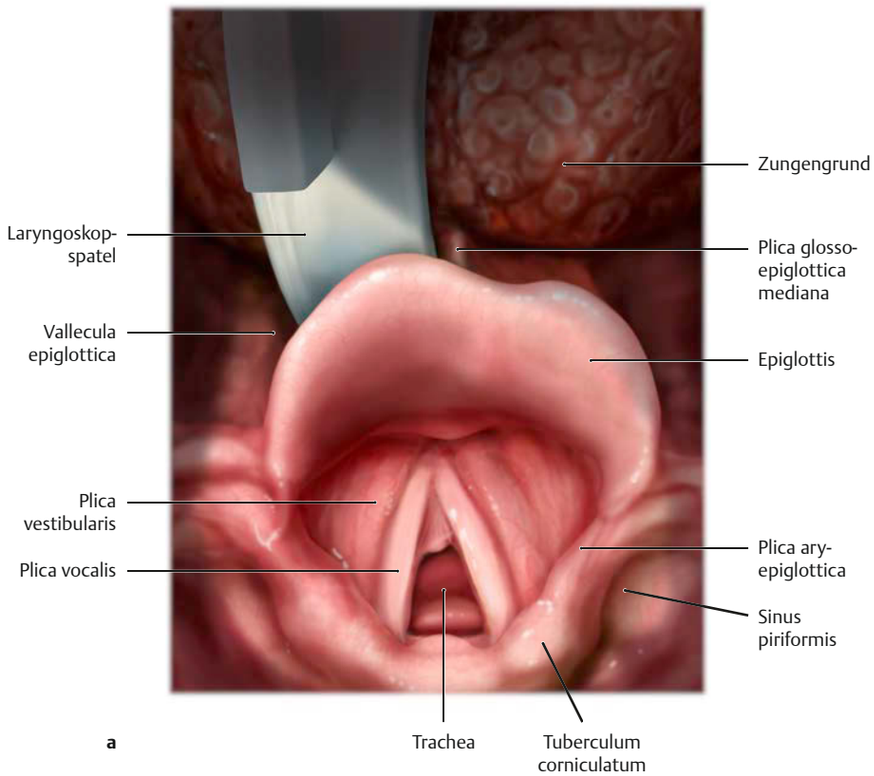


a



b

B Platzierung des Laryngoskops und des Tubus
a Handhabung und Platzierung des Laryngoskops aus der Sicht des Arztes; **b** Platzierung des Tubus.
Zur Platzierung des Tubus steht der Arzt am Kopfende des Patienten und führt zunächst das Laryngoskop ein, das aus Handgriff und beleuchtetem Spatel besteht. Mit diesem Spatel drängt der Arzt die Zunge des Patienten nach links, um freie Sicht auf den Kehlkopf zu bekommen. Unter Sicht schiebt er den Spatel dann so weit vor, bis er mit der Spitze *zwischen* Zungengrund und Epiglottis auf Höhe der Plica glossoepiglottica mediana liegt.
Beachte: Wenn man den MacIntosh-Spatel zu tief einführt, gelangt seine Spitze *hinter* die Epiglottis, und die Orientierung ist erschwert.
Der Arzt zieht nun den Spatel in Richtung Mundboden, ohne dabei über die Oberkieferzähne zu hebeln. Auf diese Weise wird die Epiglottis aufgestellt, also dem Zungengrund genähert und die Sicht auf den dahinterliegenden Kehlkopfeingang (Aditus laryngis) frei. Zum Blick auf den Kehlkopfeingang aus der Sicht des Arztes s. **Ca**. Danach bringt der Arzt den Tubus von rechts durch die Stimmritze (Rima glottidis) in die Trachea ein (s. **b**). Die Platzierung unter laryngoskopischer Kontrolle stellt sicher, dass der Tubus an der richtigen Stelle in der Trachea und nicht akzidentell im Oesophagus liegt.
Beachte: Um zu verhindern, dass der Tubus zwar in der Trachea, jedoch zu tief und damit aus Versehen in ihrer Fortsetzung, also im rechten Hauptbronchus, platziert wird, befinden sich auf den meisten Tuben cm-Markierungen, an denen sich der Arzt orientieren kann. Der Abstand von der Zahnreihe bis zur Mitte der Trachea beträgt beim Erwachsenen etwa 22 cm, beim Neugeborenen etwa 11 cm.



a

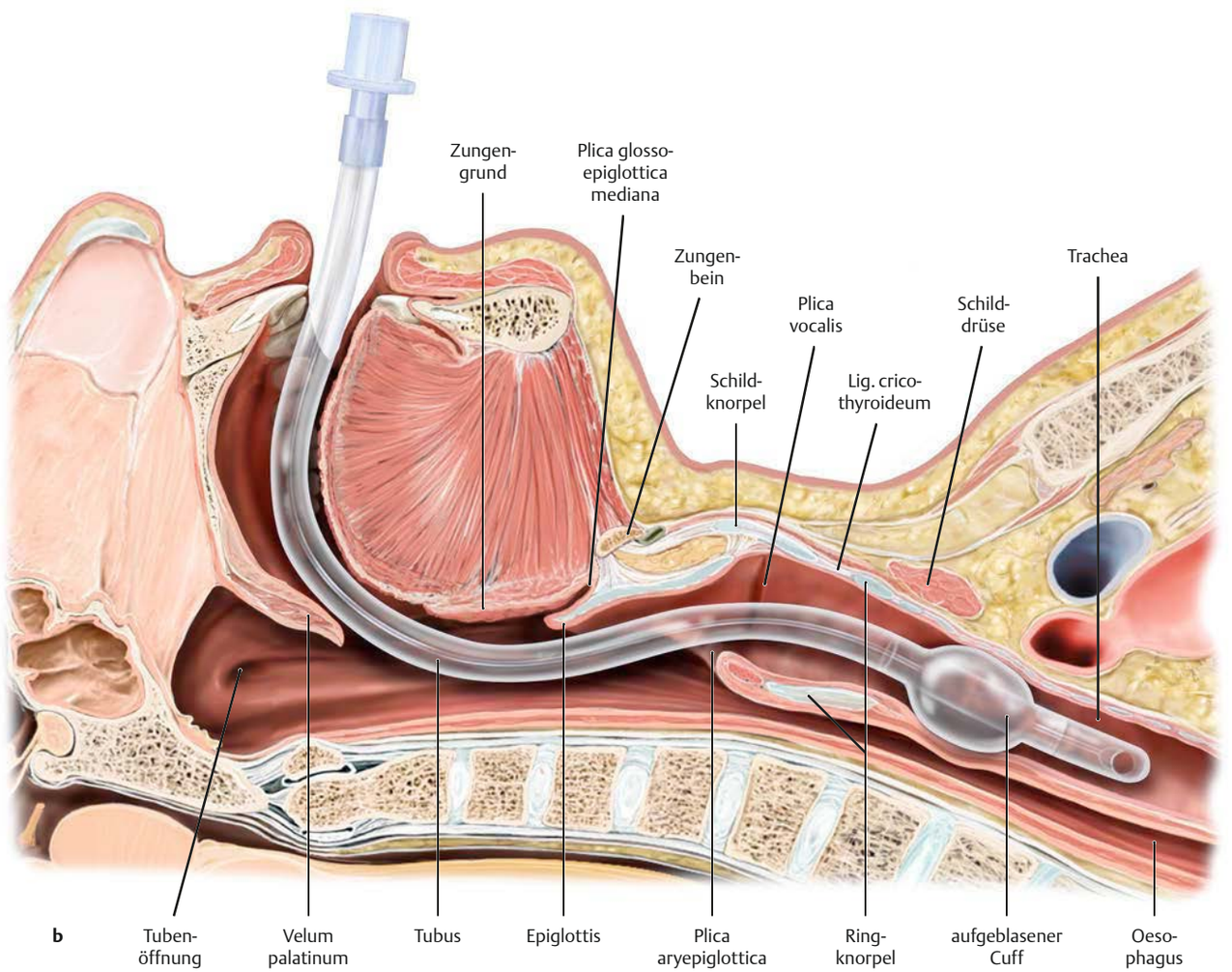
C Sicht auf den Kehlkopfeingang und Lage des Tubus nach abgeschlossener Intubation

a Laryngoskopischer Blick auf Kehlkopfeingang, Epiglottis und Plica glossoepiglottica mediana; **b** Kopf-Hals-Präparat, Mediansagittalschnitt, mit eingelegtem und geblocktem Cuff, Ansicht von rechts.

Abbildung **a** zeigt, wie sich der Eingang zur Trachea für den Arzt nach Platzierung des Laryngoskops darstellt (vgl. **Ba**). Am Kopf-Hals-Präparat in **b** ist zu sehen, wie der Tubus letztlich in der Trachea liegt. Die aufblasbare Manschette (Cuff) dichtet die Trachea nach allen Seiten ab und schließt damit eine Leckage bei der Beatmung sowie die Apsiration von Fremdkörpern, Schleim oder Magensaft aus. Der ideale „Cuff-Druck" (etwa 15–20 mmHg) dichtet die Trachea unter Erhalt der Kapillarschleimhaut ab.

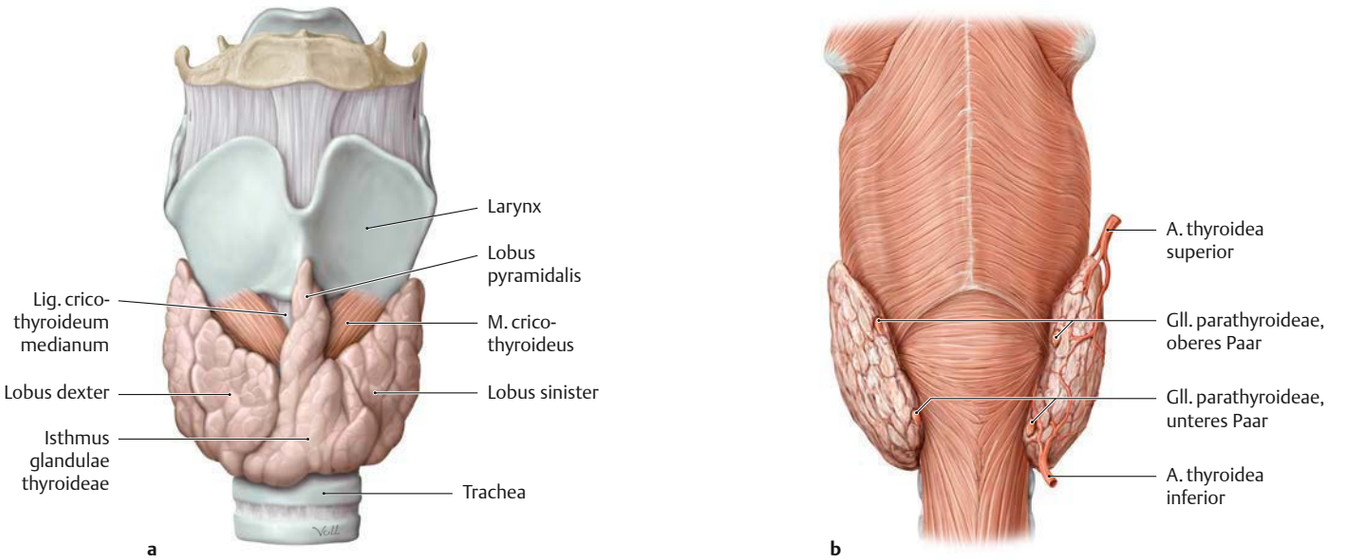
Beachte: Um zu prüfen, ob der Tubus korrekt liegt, ist folgendes zu kontrollieren:

- Gelangt Luft in den Magen? – Prüfung durch Auskultation des Epigastriums
- Ist die Ventilation seitengleich? – Prüfung durch Auskultation der Lungen
- Wie groß ist die Totraumventilation? – Berechnung u. a. durch Bestimmen des endexspiratorischen CO_2-Gehalts (Kapnometrie).



b

5.41 Schilddrüse (Glandula thyroidea) und Nebenschilddrüsen (Glandulae parathyroideae)

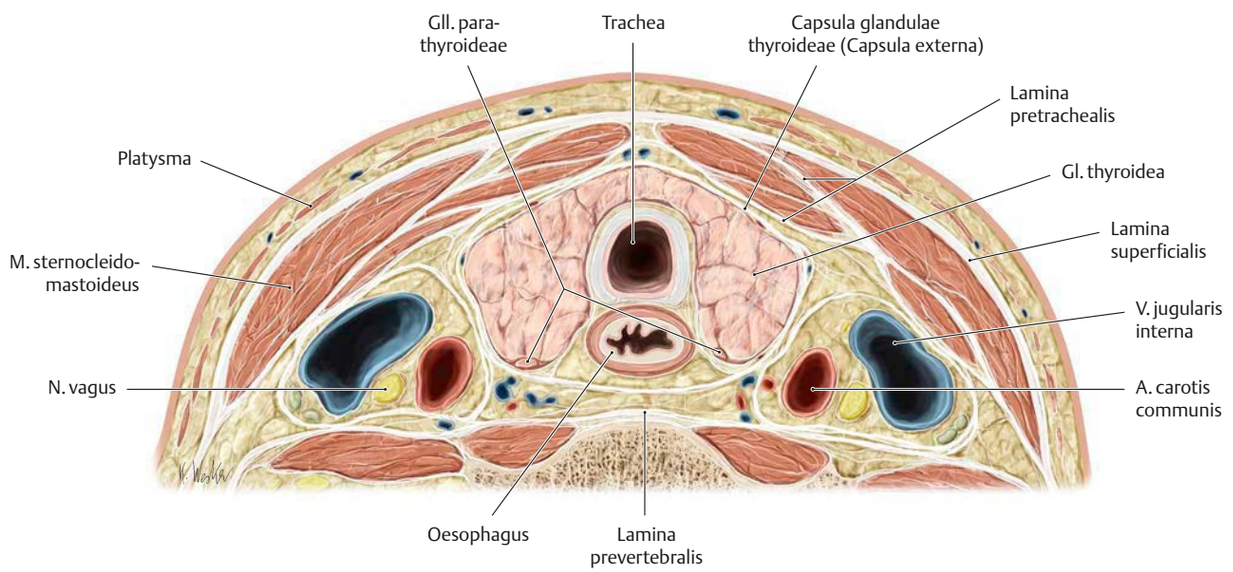


A Schilddrüse (Glandula thyroidea) und Nebenschilddrüsen (Glandulae parathyroideae)

a Schilddrüse, Ansicht von ventral. Die Schilddrüse besteht aus zwei seitlich gelegenen Lappen und einem in der Mitte gelegenen Isthmus glandulae thyroideae, der an seiner Oberseite den Lobus pyramidalis tragen kann. Die Spitze der Pyramide liegt kranial, ein Relikt aus der Wanderung vom Zungengrund (s. S. 11).

b Schilddrüse und Nebenschilddrüsen, Ansicht von dorsal. Lage und Anzahl (regelhaft: vier) der Nebenschilddrüsen können stark variieren.

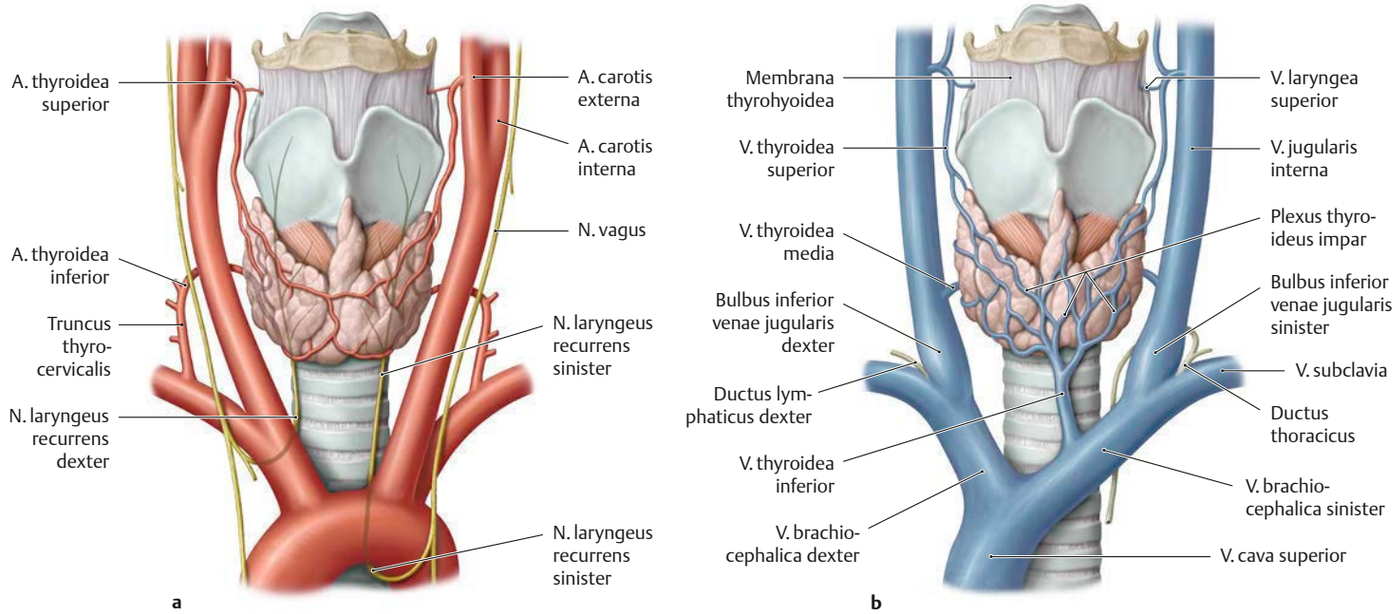
Beachte: Da die Nebenschilddrüsen meist in der Organkapsel der Schilddrüse enthalten sind, ist die Gefahr groß, dass sie bei Schilddrüsenoperationen versehentlich mit entfernt werden (s. **B**).



B Lage der Schilddrüse zur Trachea und zu den Leitungsbahnen

Horizontalschnitt durch den Hals in Höhe Th 1, Ansicht von kranial. Die Schilddrüse legt sich um die Trachea und grenzt dorsal an den Gefäß-Nerven-Strang. Bei sehr starker Vergrößerung der Schilddrüse (Struma, z. B. infolge von Jodmangel) kann es zu einer allmählichen Einengung des Lumens der Trachea und damit zu Atemnot kommen.

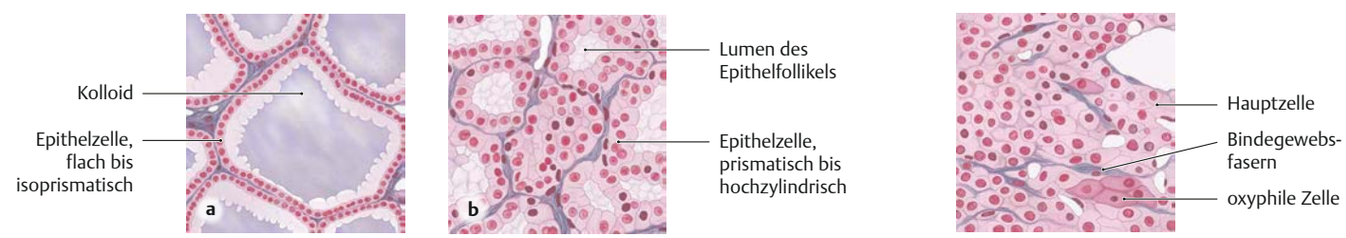
Beachte die Faszienverhältnisse: Die Schilddrüse ist von einer Bindegewebskapsel umgeben, die aus einem inneren und einem äußeren Blatt besteht. Das zarte innere Blatt (*Capsula interna,* hier nicht zu sehen) liegt direkt auf der Schilddrüse und ist mit ihrem Drüsenparenchym verwachsen. Bindegewebszüge aus der Capsula interna, in denen auch Blutgefäße verlaufen, ziehen in die Drüse hinein und untergliedern sie in Lobuli. Der Capsula interna aufgelagert ist die derbe *Capsula externa,* die einen Teil der Lamina pretrachealis der Halsfaszie darstellt. Diese Organkapsel, die Schilddrüse und Nebenschilddrüsen umgibt, wird auch als „chirurgische Kapsel" bezeichnet, da sie bei Eingriffen an der Schilddrüse eröffnet wird. Zwischen Capsula externa und interna liegt ein bindegewebiger Verschiebespalt, in dem die größeren Verzweigungen der Blutgefäße verlaufen. Ferner liegen die Nebenschilddrüsen in diesem Verschiebespalt.



C Blutversorgung und Innervation der Schilddrüsenregion
Ansicht von ventral.

a Arterielle Versorgung: Die arterielle Versorgung erfolgt größtenteils aus der A. thyroidea superior (dem 1. Ast der A. carotis externa), die von kranial-dorsal an die Drüse gelangt. Darüber hinaus versorgt die A. thyroidea inferior aus dem Truncus thyrocervicalis (s. S. 224) die Drüse von kaudal. Bei einer Entfernung der Schilddrüse müssen diese rechts und links des Organs verlaufenden Arterien alle unterbunden werden.
Beachte: Bei Operationen an der Schilddrüse besteht die Gefahr der Schädigung des N. laryngeus recurrens, der dorsal an der Drüse vorbeiläuft. Er versorgt wichtige Muskeln im Innern des Kehlkopfes, so dass bei seiner einseitigen Schädigung postoperative Heiserkeit auftritt, bei beidseitiger Atemnot. Vor einer Schilddrüsenoperation muss daher die Intaktheit der Innervation der Kehlkopfmuskeln durch einen HNO-Arzt überprüft werden, um eine vorher bestehende Nervenläsion auszuschließen.

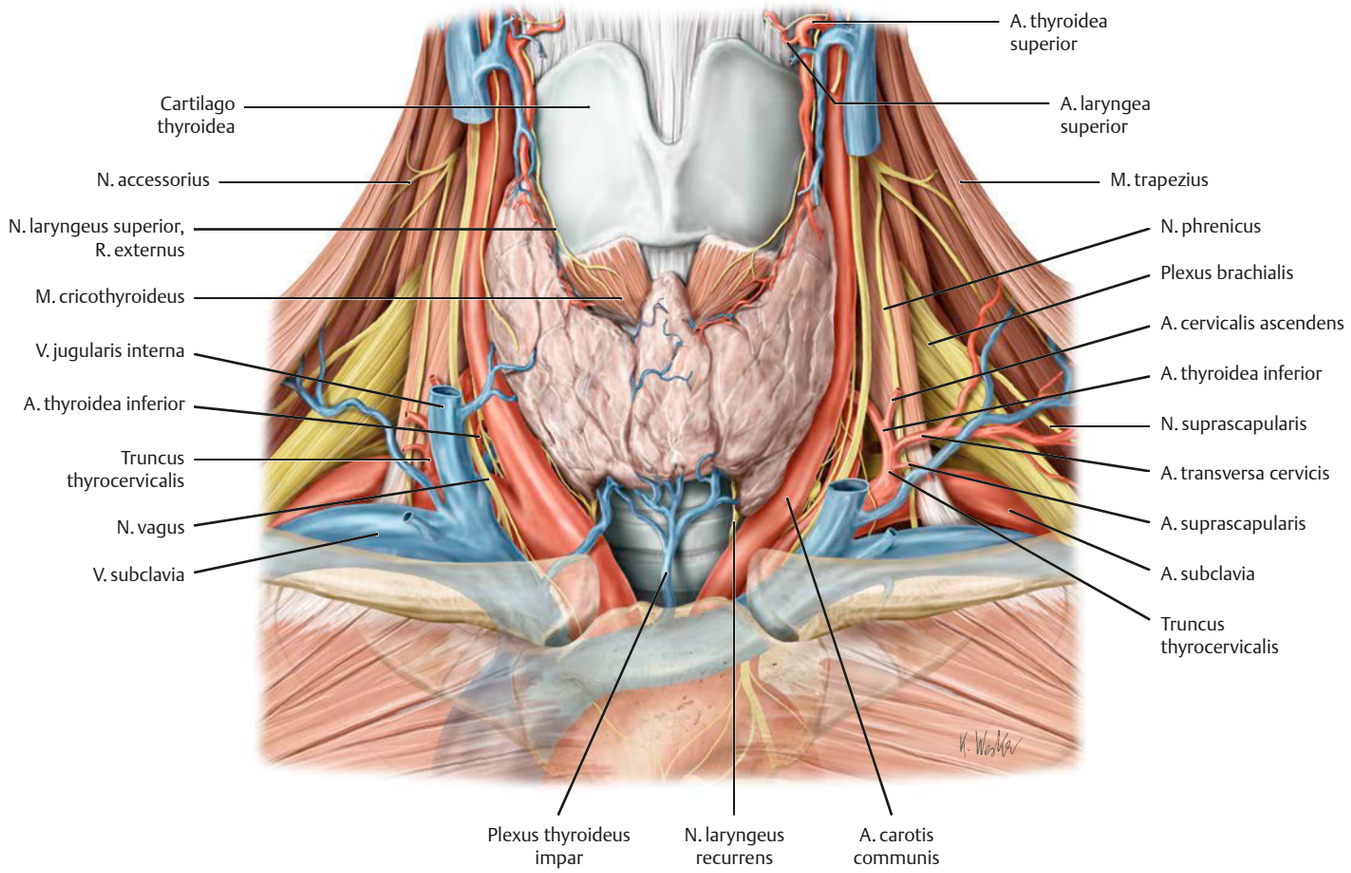
b Venöse Drainage: Sie erfolgt im Wesentlichen kaudal-ventral durch einen gut entwickelten Venenplexus, den *Plexus thyroideus impar,* der zumeist über die V. thyroidea inferior in die V. brachiocephalica sinister drainiert. Daneben drainieren die Vv. thyroideae superiores und mediae in die V. jugularis interna.



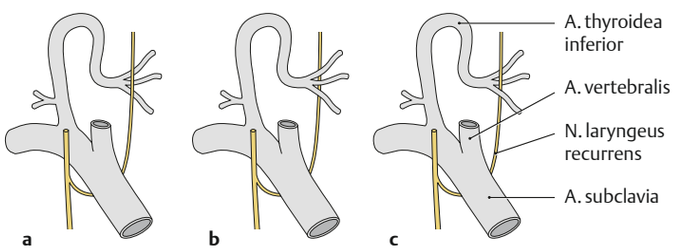
D Histologie der Schilddrüse
Die Schilddrüse nimmt Jodid aus dem Blut auf und baut sie in ihre Hormone Tetrajodthyronin (T4 = Thyroxin) und Trijodthyronin (T3) ein. Die Hormone werden in der Drüse extrazellulär, an Protein gebunden, in Follikeln gespeichert und bei Bedarf wieder aus den Follikeln gewonnen und in den Blutkreislauf sezerniert. Eine Besonderheit der Schilddrüse ist, dass ihr Epithel unterschiedlich aussieht, je nachdem, ob es gerade Hormone speichert oder ins Blut abgibt. In der Speicherform (**a**) ist das Epithel abgeplattet, in der Ausschwemmungsform (**b**) isoprismatisch. Man kann also von der Morphologie auf die momentane Funktion schließen. Bei einer Unterfunktion der Schilddrüse infolge von Jodmangel ist der gesamte Stoffwechsel verlangsamt, die Patienten sind müde, antriebslos und oft auch depressiv, die Schilddrüse vergrößert sich (Struma). Durch eine Autoimmunerkrankung (Morbus Basedow) kommt es zu einer Überfunktion der Schilddrüse, bei welcher der Stoffwechsel hochgefahren ist: Die Patienten sind überreizt, aufgedreht und verlieren an Gewicht. Zwischen den Follikeln befinden sich die parafollikulären Zellen, die Calcitonin (C-Zellen) sezernieren. Dieses Hormon senkt den Blutcalciumspiegel und fördert die Knochenbildung.

E Histologie der Nebenschilddrüse
Die Hauptzellen der Nebenschilddrüse sezernieren Parathormon, das die Osteoklasten indirekt (über die Osteoblasten) zu erhöhtem Knochenabbau stimuliert. Durch den Abbau des Knochens erhöht sich der Calciumspiegel im Blut. Wenn die Nebenschilddrüsen (auch als Epithelkörperchern bezeichnet) bei einer Schilddrüsenoperation versehentlich mit entfernt werden, kommt es zum sog. *Hypoparathyreoidismus.* Im Körper wird zu wenig Parathormon gebildet, der Calciumspiegel im Blut sinkt und es entsteht eine *Hypo*kalzämie, die zu tetanischen Krämpfen der Skelettmuskulatur führen kann. Bei gutartigen Tumoren der Nebenschilddrüse (Adenomen) wird dagegen unreguliert zu viel Parathormon gebildet, der Calciumspiegel im Blut steigt *(= Hyperkalzämie),* und es wird zu viel Calcium über den Urin ausgeschieden *(= Hyperkalzurie).* Gleichzeitig wird der Phospshatstoffwechsel beeinflusst, da Parathormon die Ausscheidung von Phosphat in der Niere fördert. Damit entsteht im Blut ein Mangel *(Hypophosphatämie),* im Urin dagegen ein Überschuss an Phosphat *(Hyperphosphaturie).* Klinisch äußert sich der Hyperparathyroidismus in Form von Muskelschwäche, Lethargie, Dünndarmgeschwüren und Bauchspeicheldrüsenentzündungen.

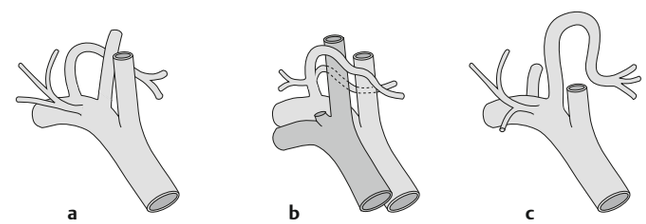
5.42 Topografie und Bildgebung der Schilddrüse



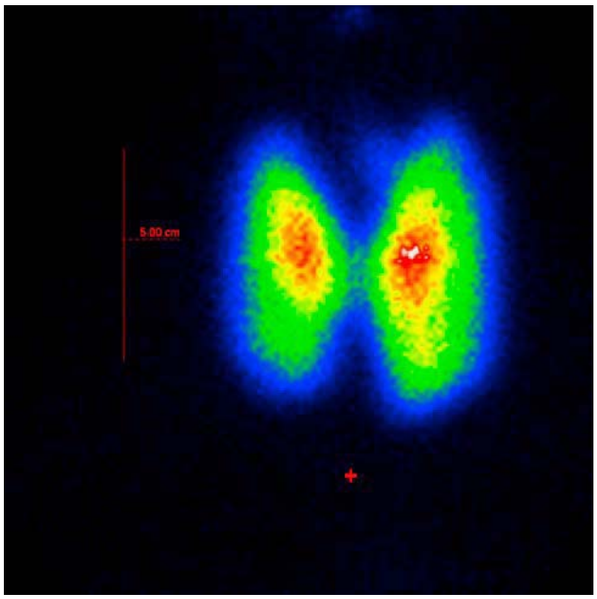
A Tiefe vordere Halsregion mit Schilddrüse
Ansicht von ventral. Der Verlauf folgender Leitungsbahnen durch die obere Thoraxapertur ist gut sichtbar: A. carotis communis, A. subclavia, V. subclavia, V. jugularis interna, Plexus thyroideus impar, N. vagus, N. phrenicus, N. laryngeus recurrens. Man erkennt, dass es bei Vergrößerungen der Schilddrüse an ihrem unteren Pol bei der retrosternalen Struma zum Druck auf die Leitungsbahnen in der oberen Thoraxapertur kommen kann (s. kongestionierter Hals, Abb. **E**, S. 7).
Beachte: Schilddrüsenoperationen sind etwa die fünfthäufigsten Operationen in Deutschland, deshalb muss man mit den topografischen Verhältnissen im Bereich dieser Drüse vertraut sein.



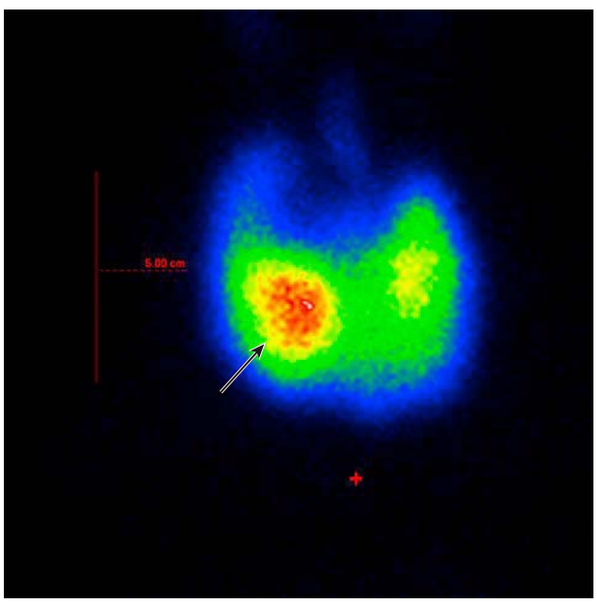
B Verlauf des rechten N. laryngeus recurrens
(nach von Lanz u. Wachsmuth)
Ansicht von ventral. Der N. laryngeus recurrens ist ein speziell viszeroefferenter (branchiogener) und sensibler Ast des N. vagus, der u. a. den M. cricoarytaenoideus posterior innerviert. Dieser Muskel ist der einzige, der die Stimmritze komplett öffnet (s. S. 217). Wird seine Innervation einseitig beschädigt, resultiert Heiserkeit, bei beidseiter Schädigung kommt es aufgrund der geschlossenen Stimmritze zu starker Luftnot. Er kann vor (**a**), hinter (**b**) oder zwischen (**c**) den Ästen der A. thyroidea inferior verlaufen. Sein Verlauf ist bei Schilddrüsenoperationen zu beachten.



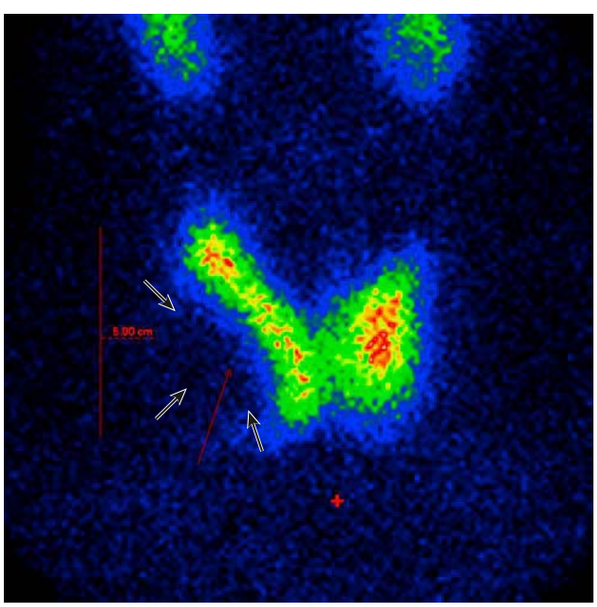
C Variationen der Äste der rechten A. thyroidea inferior
(nach Platzer)
Der Verlauf der A. thyroidea inferior ist sehr variabel. Sie kann dorsal von der A. vertebralis nach medial ziehen (**a**), sich direkt nach ihrem Abgang aus dem Truncus thyrocervicalis teilen (manchmal, **b**) oder als erster Ast aus der A. subclavia entspringen (**c**).



a



b

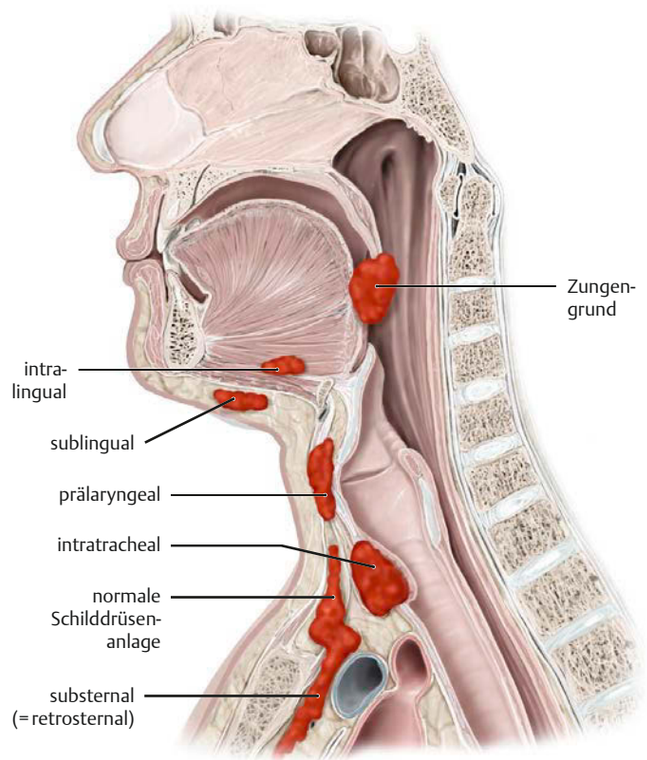


c

D Schilddrüsenszintigramme
Ansichten von frontal.
Bei der Schilddrüsenszintigraphie wird das radioaktive ^{99m}Tc-Pertechnetat (TcO_4) i. v. gespritzt. Es lagert sich über den schilddrüsenspezifischen Natrium-Iodid-Transporter in den Schilddrüsenzellen ein. Diese Anreicherung wird mit einer speziellen Schilddrüsenkamera dokumentiert und ausgedruckt (= Schilddrüsenszintigramm). Auf diese Weise lassen sich Lage, Form, Größe und Speicherverhalten der Schilddrüse beurteilen.

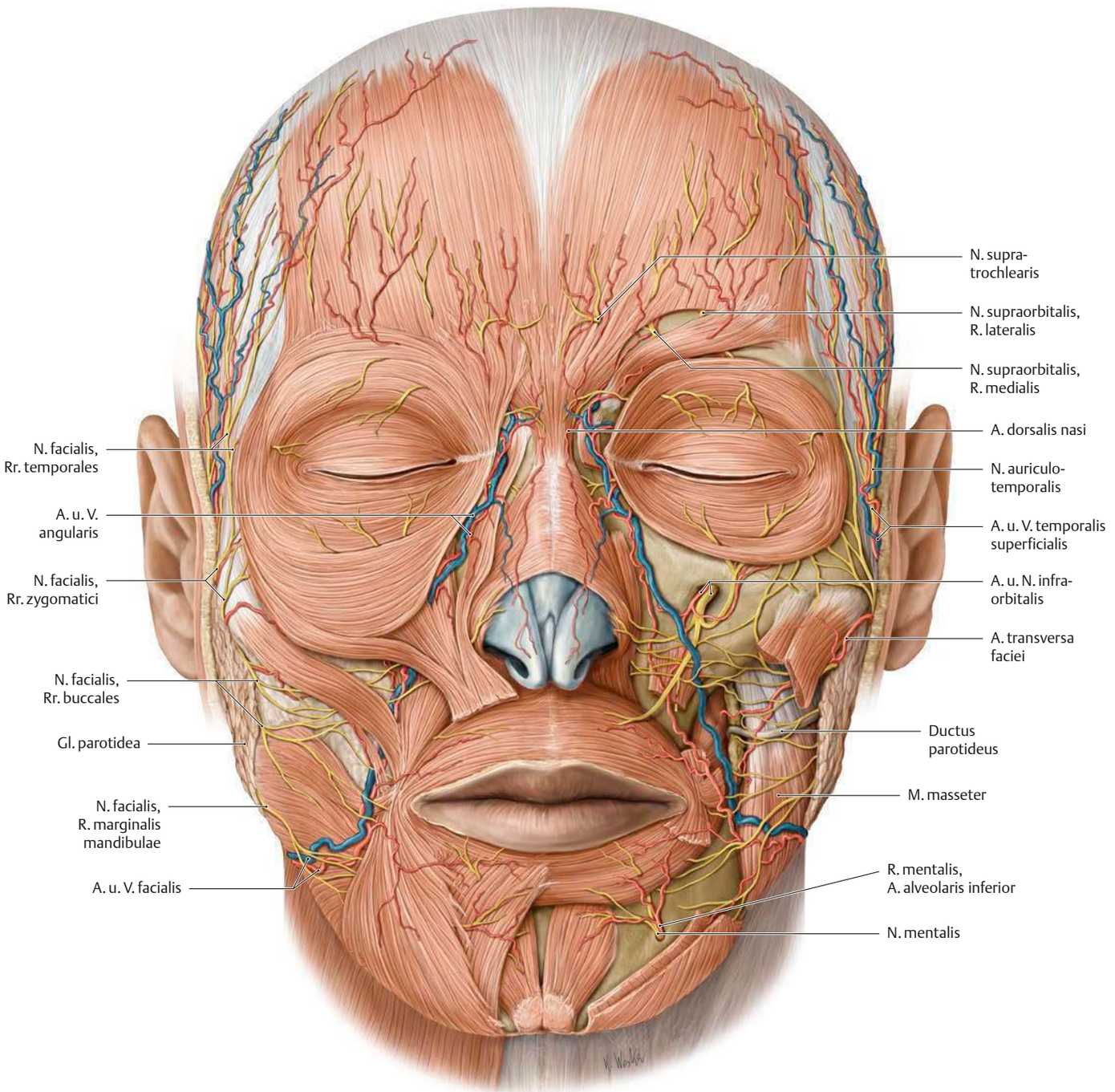
a Anreicherung von $^{99m}TcO_4$ in der normalen Schilddrüse;
b warmer Knoten im rechten Schilddrüsenlappen. Bei einem warmen Knoten wird vermehrt $^{99m}TcO_4$ in einen Schilddrüsenbezirk eingelagert, die stärkere Technetiumeinlagerung ist an der rechts vermehrten Rotfärbung erkennbar. Diesen Befund kann man z. B. bei einer Schilddrüsenüberfunktion finden;
c kalter Knoten im rechten Schilddrüsenlappen. Bei einem kalten Knoten wird weniger Radioaktivität eingelagert, erkennbar an der fehlenden Rotfärbung rechts. Diesen Befund könnte man z. B. bei einem gutartigen Knoten oder einem Schilddrüsenkarzinom erheben.

(Aufnahmen: Prof. Dr. J. Mester, Klinik für Nuklearmedizin, Universitätskrankenhaus Hamburg-Eppendorf)

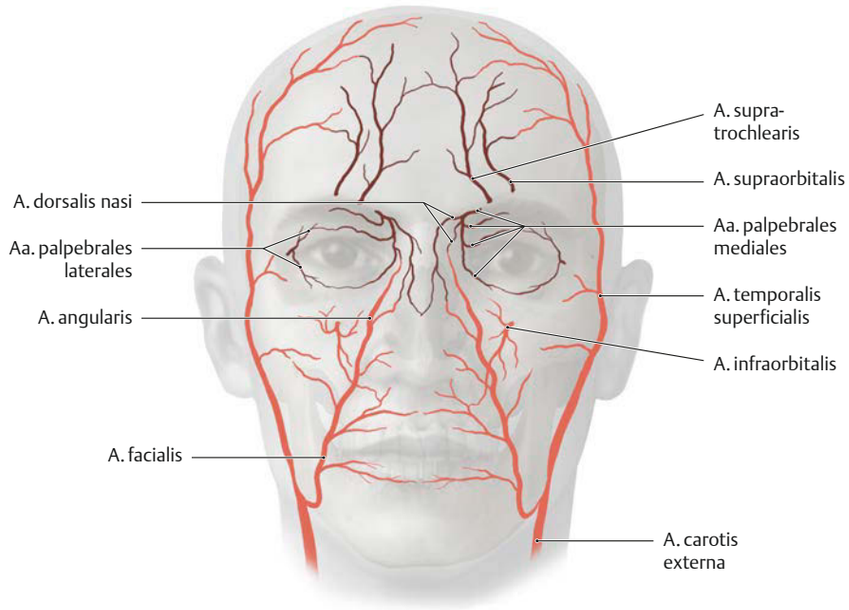


E Schilddrüsenektopien
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links.
Unter Schilddrüsenektopie versteht man die Lage der Schilddrüse an einer anatomisch ungewöhnlichen Stelle. Sie ist Folge eines gestörten Deszensus der Schilddrüse während der Entwicklung (s. S. 11). Diese Lageanomalien können mithilfe der Schilddrüsenszintigraphie dargestellt werden, so dass sie gegebenenfalls chirugisch entfernt werden können.

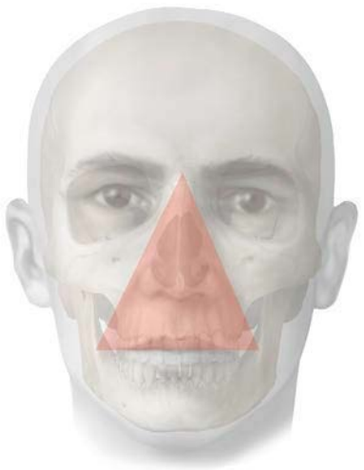
6.1 Vordere Gesichtsregion



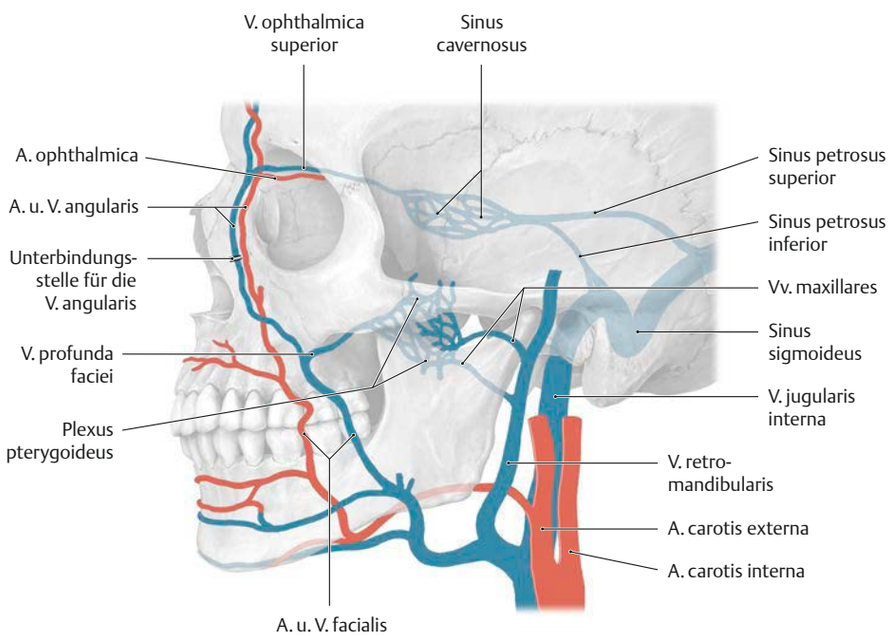
A Oberflächliche Nerven und Gefäße der vorderen Gesichtsregion
Nach Entfernen von Haut und Fettgewebe wird die oberflächliche Schicht, die mimische Muskulatur, sichtbar. Sie ist links so weit abgetragen, dass man in der Tiefe bereits Teile der Kaumuskulatur erkennt. Die mimische Muskulatur wird motorisch vom *N. facialis* innerviert, der von lateral aus der Gl. parotidea hervortritt; die sensible Versorgung des Gesichts erfolgt dagegen durch den *N. trigeminus*, dessen drei Endäste hier dargestellt sind (s. **E**); Äste des 3. Trigeminusastes versorgen zusätzlich die Kaumuskulatur motorisch. Das Gesicht wird größtenteils aus der *A. carotis externa* versorgt, nur ein kleinerer Bezirk um den medialen und lateralen Augenwinkel sowie im Stirnbereich wird aus der A. carotis *interna* versorgt (s. **B**).



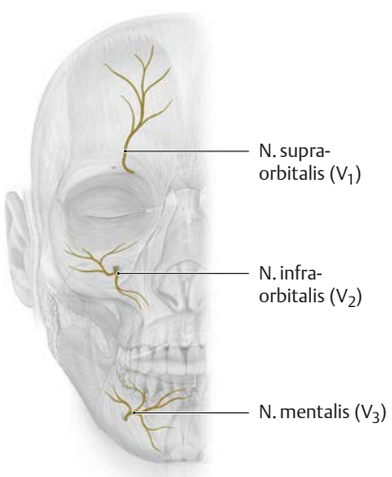
B Versorgungsgebiet der A. carotis externa (rot) und interna (schwarz) im Gesicht
Zwischen den beiden Versorgungsgebieten können hämodynamisch wichtige Anastomosen ausgebildet werden. Bei einer Arteriosklerose der A. carotis interna und der dadurch bedingten Minderversorgung des Gehirns kann es kompensatorisch zu einer Blutversorgung des Gehirns durch die A. temporalis superficialis kommen. In solchen Fällen darf die A. temporalis superficialis nicht unterbunden werden, wie das z. B. bei einer Biopsie bei Verdacht auf eine Arteriitis temporalis vorkommen könnte (s. S. 101).



C Warndreieck des Gesichts
Im Bereich des sog. „Warndreiecks" bestehen venöse Verbindungen vom Gesicht zu den venösen Sinus durae matris. Da die Venen in diesem Bereich keine Klappen besitzen, ist die Gefahr einer Keimverschleppung nach innen besonders groß (Furunkel kann zu Meningitis führen! – s. S. 107).



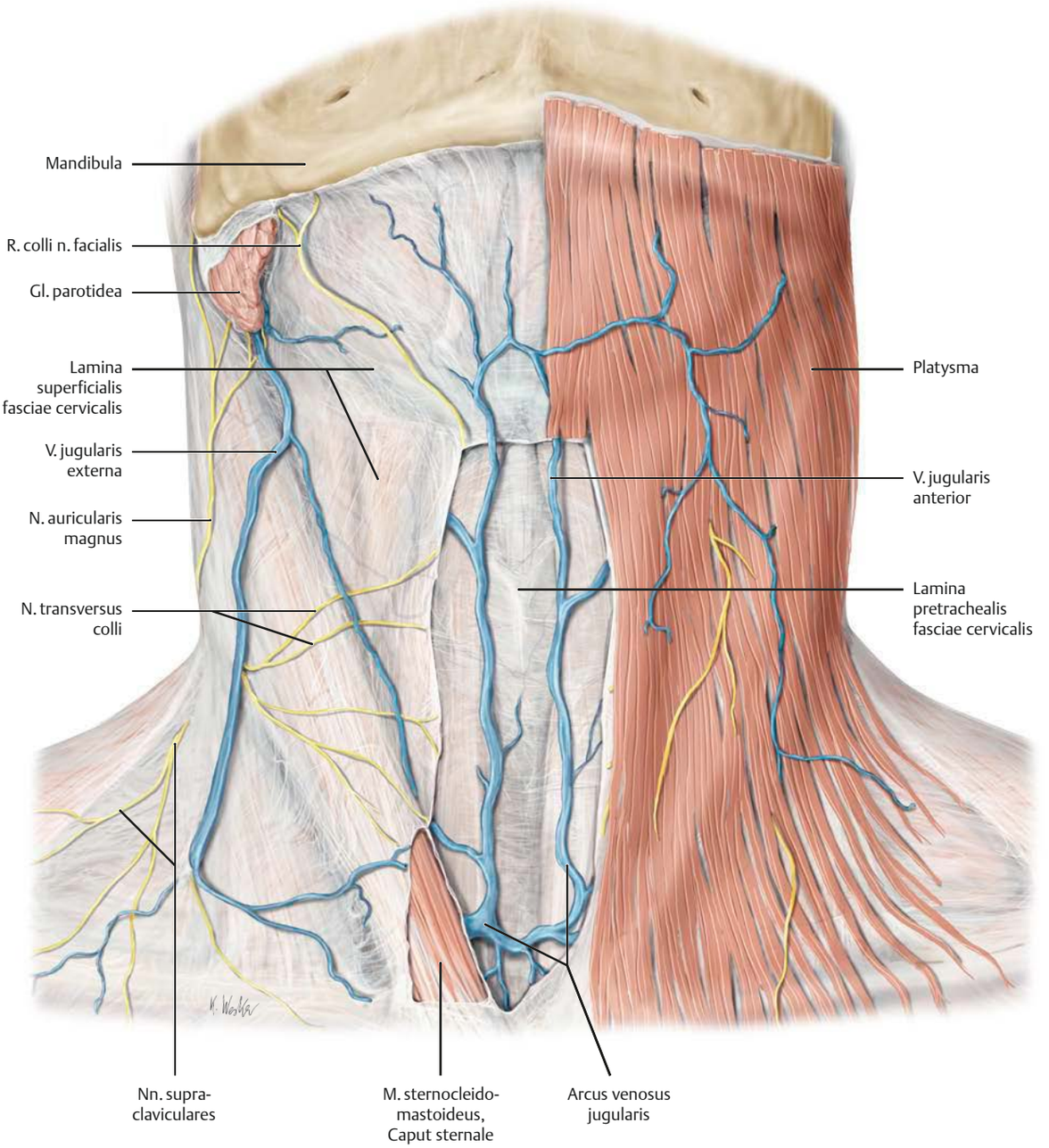
D Klinisch wichtige Gefäßbeziehungen im Gesicht
Beachte die Verbindungen des äußeren Gesichts zu den Sinus durae matris.
Bei einer eitrigen Entzündung im Bereich des Warndreiecks (s. **C**) kann die V. angularis an typischer Stelle unterbunden werden, um so eine Verschleppung der Keime in den Sinus cavernosus zu verhindern.



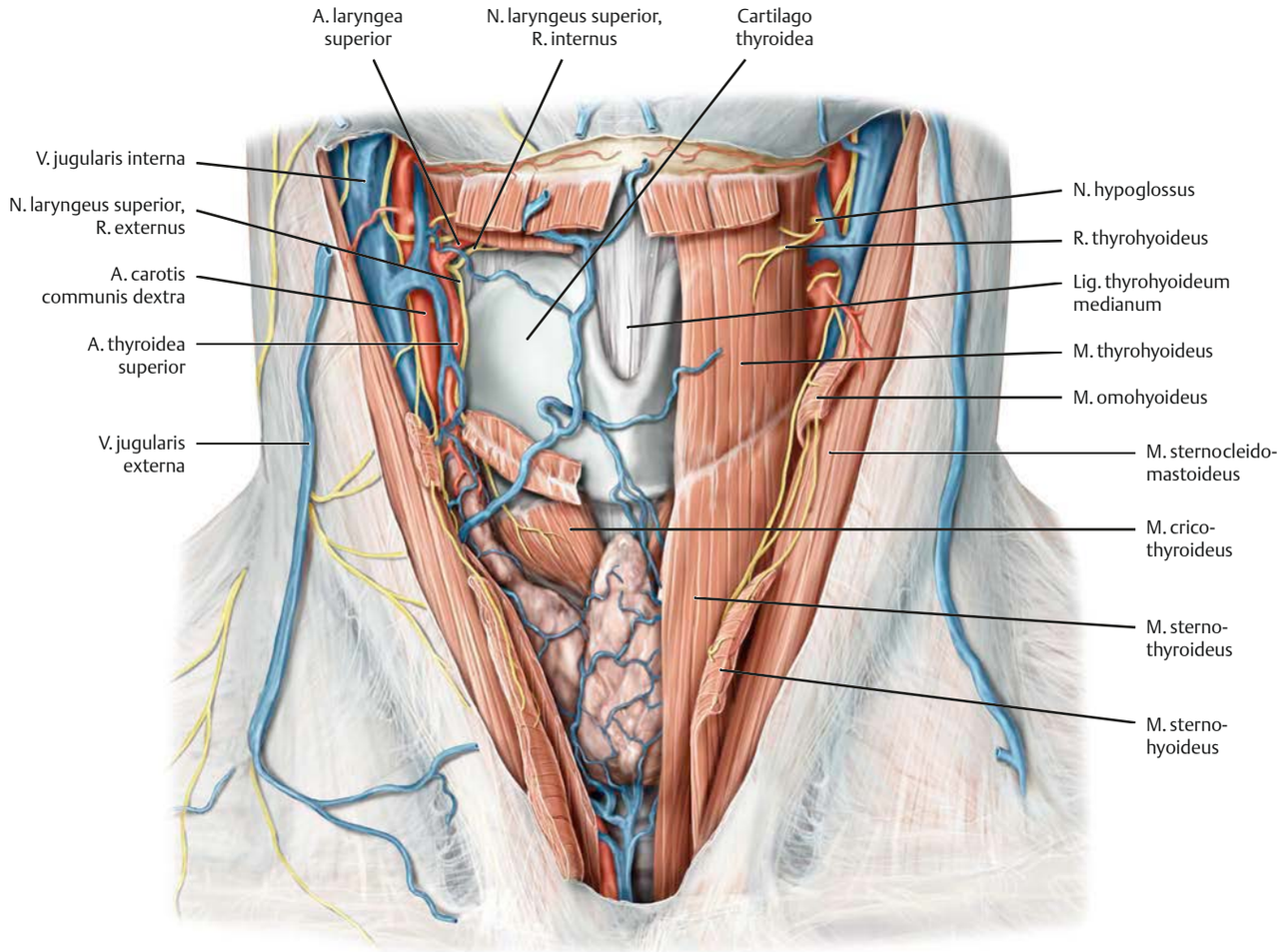
E Nervenaustrittspunkte der drei Trigeminusäste
Der N. trigeminus (= Hirnnerv V) ist der große sensorische Nerv des Kopfes. Man erkennt die Nervenaustrittspunkte seiner drei großen Äste:

- V_1 N. supraorbitalis (Foramen supraorbitale),
- V_2 N. infraorbitalis (Foramen infraorbitale),
- V_3 N. mentalis (Foramen mentale); vgl. S. 123.

6.2 Hals von ventral: oberflächliche Schichten

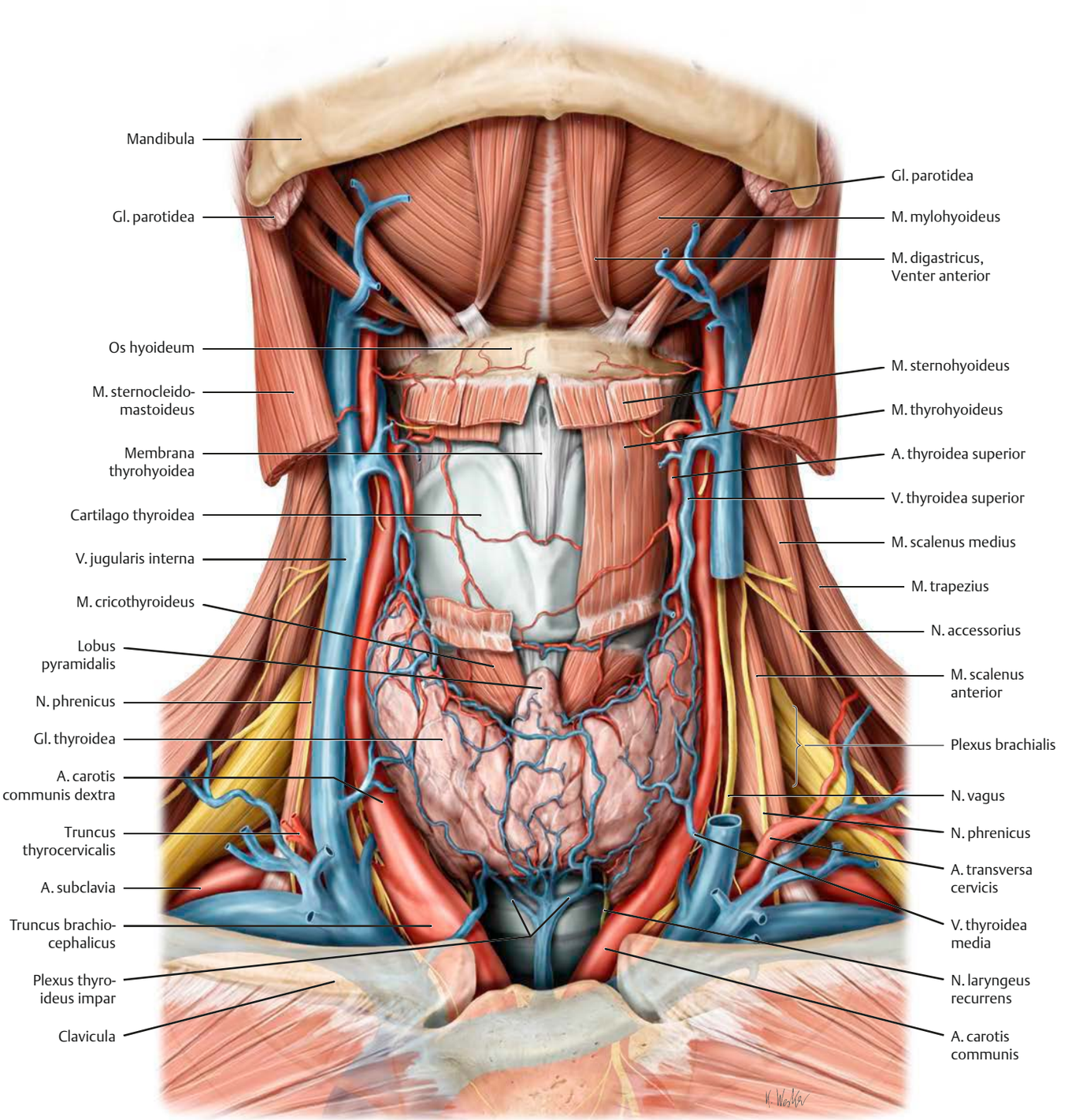


A Hals (Collum), oberflächliche Schicht
Ansicht von ventral, epifasziales Platysma rechts entfernt, Lamina superficialis (= oberflächliches Blatt der Halsfaszie; zum Aufbau der Halsfaszie s. S. 4) median gespalten und gefenstert. Das rechte Caput sternale des M. sternocleidomastoideus liegt somit von der Faszie befreit. Die Regio cervicalis anterior, die nach dorsal vom M. sternocleidomastoideus und nach kranial vom Unterrand der Mandibula begrenzt wird, ist rechts besonders gut abgrenzbar. Die V. jugularis anterior mit ihrem Arcus venosus jugularis ist zu erkennen. Der untere Pol der Ohrspeicheldrüse ragt unter der Mandibula hervor. Wenn die Ohrspeicheldrüse entzündet ist (Mumps, Ziegenpeter), verdickt sie sich besonders in diesem Bereich und entstellt das Gesicht („Hamsterbacken" mit abstehendem Ohrläppchen).
Beachte ferner die Hautnerven des Plexus cervicalis (Nn. auricularis magnus, transversus colli sowie supraclaviculares), die vom Punctum nervosum (Erb-Punkt, s. S. 240) ausstrahlen.

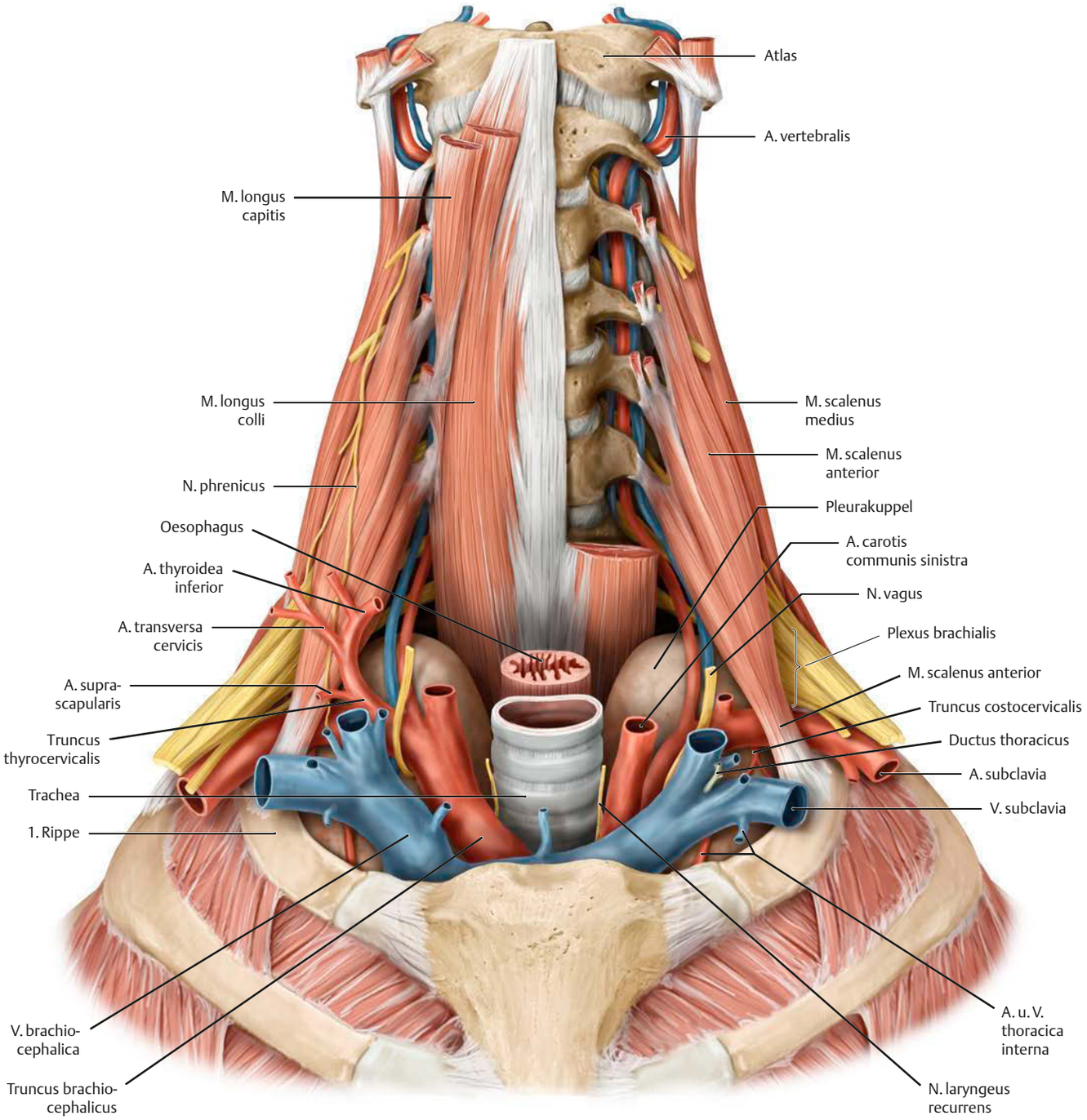


B Hals (Collum), mittlere Schicht
Ansicht von ventral. Die Lamina pretrachealis (mittleres Blatt der Halsfaszie) wurde entfernt; die in ihr liegende infrahyoidale Muskulatur reseziert, so dass die dorsal der infrahyoidalen Muskulatur lokalisierte Schilddrüse nach Entfernung der Eingeweidefaszie frei liegt. Die A. thyroidea superior, der erste Ast der A. carotis externa, wird sichtbar. Mit ihr zieht der R. externus des N. laryngeus superior, ein Ast des N. vagus, zum M. cricothyroideus. Der R. internus des N. laryngeus superior zieht zusammen mit der A. laryngea superior durch die Membrana thyrohyoidea zum Kehlkopf.

6.3 Hals von ventral: tiefe Schichten



A Tiefe Schicht des Halses in der Ansicht von ventral
Man erkennt die in und um die Mittellinie angelegten Halseingeweide Kehlkopf und Schilddrüse. Lateral von beiden ziehen die Leitungsbahnen von und zum Kopf. Die Schilddrüse wird arteriell hauptsächlich von der kranial und dorsal liegenden A. thyroidea superior versorgt; ihr venöses Abfluss erfolgt hauptsächlich durch die kaudal und ventral lokalisierten Plexus thyroideus impar. Von den Nerven erkennt man den N. vagus (Hirnnerv) und den N. phrenicus (Ast des Plexus cervicalis). Der Vagusast N. laryngeus recurrens zieht von der oberen Thoraxapertur kommend seitlich der Trachea hinter der Schilddrüse zum Kehlkopf, dessen Muskeln er innerviert.



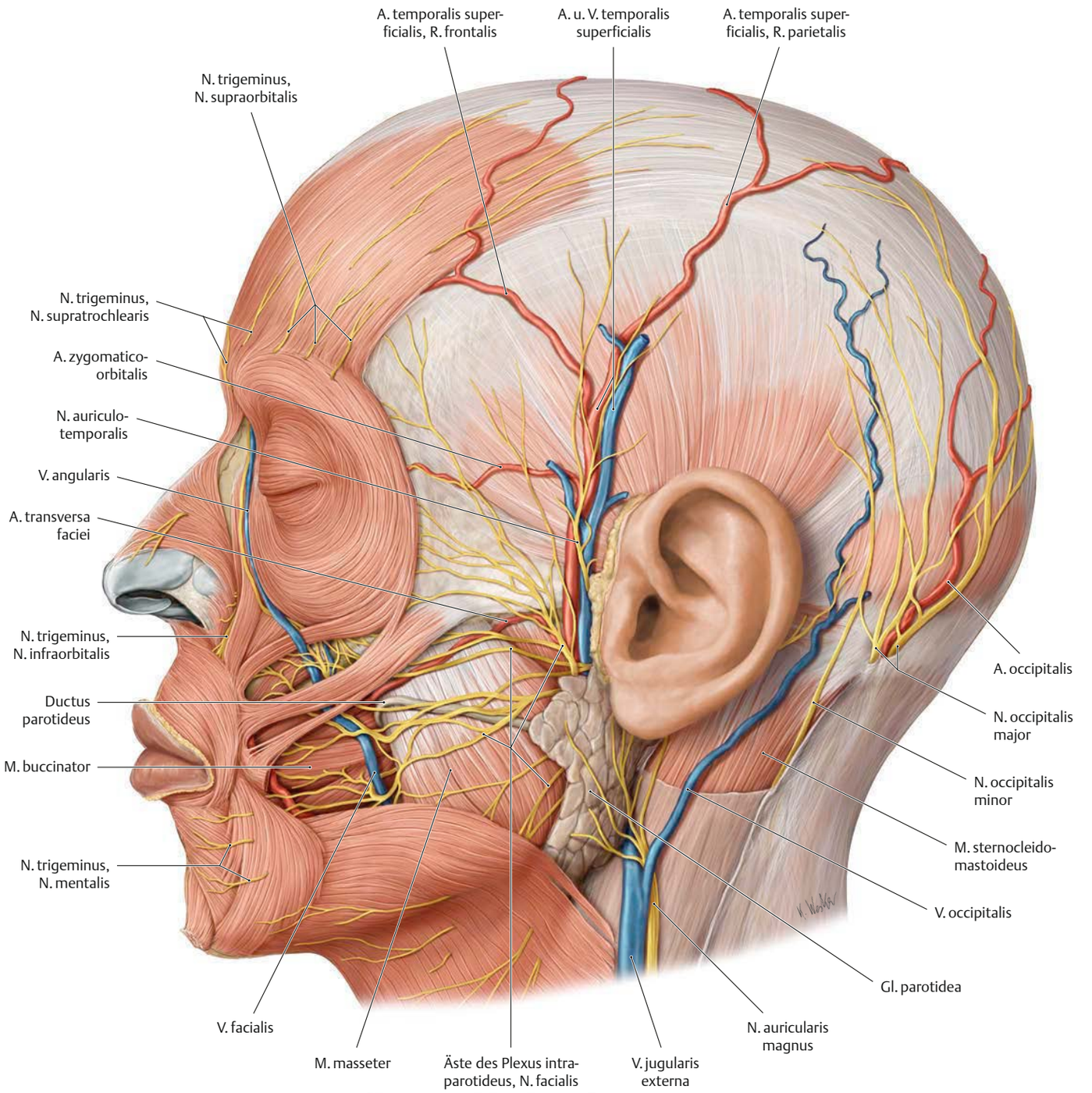
B Tiefste Schicht des Halses in der Ansicht von ventral

Die Halseingeweide Kehlkopf und Schilddrüse sind entfernt, ebenso Trachea und Oesophagus. Die beiden großen Halsgefäße (A. carotis und V. jugularis interna) sind beiderseits abpräpariert, so dass die tiefer liegende A. vertebralis rechts sichtbar wird, links ist sie noch von den prävertebralen Muskeln verdeckt. Die A. vertebralis verläuft durch die Foramina transversaria der Halswirbel und zieht über den Atlasbogen in das Schädelinnere, wo sie insbesondere den Hirnstamm mit Blut versorgt. Man erkennt den Plexus cervicalis mit seinem Ast, dem N. phrenicus, der über dem M. scalenus anterior nach kaudal (Leitmuskel) zum Zwerchfell zieht und es motorisch innerviert. In dieser Schicht erkennt man zwei arterielle Trunci mit ihren Ästen:

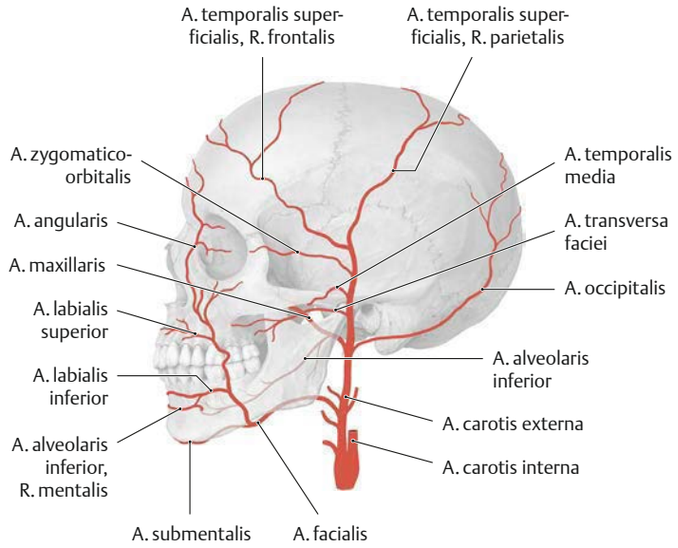
- rechts Truncus thyrocervicalis mit:
  – A. thyroidea inferior,
  – A. transversa cervicis mit R. profundus und R. superficialis und
  – A. suprascapularis;
- links Truncus costocervicalis mit:
  – A. cervicalis profunda und
  – A. intercostalis suprema.

In der Skalenuslücke zwischen dem M. scalenus anterior und medius zieht der Plexus brachialis und die A. subclavia, während die V. subclavia vor der Skalenuslücke auf dem M. scalenus anterior entlang zieht. Am Venenwinkel, der Vereinigung von V. subclavia und V. jugularis interna, mündet links der Ductus thoracius, aus dem die Lymphe von ¾ des Körpers drainiert wird.

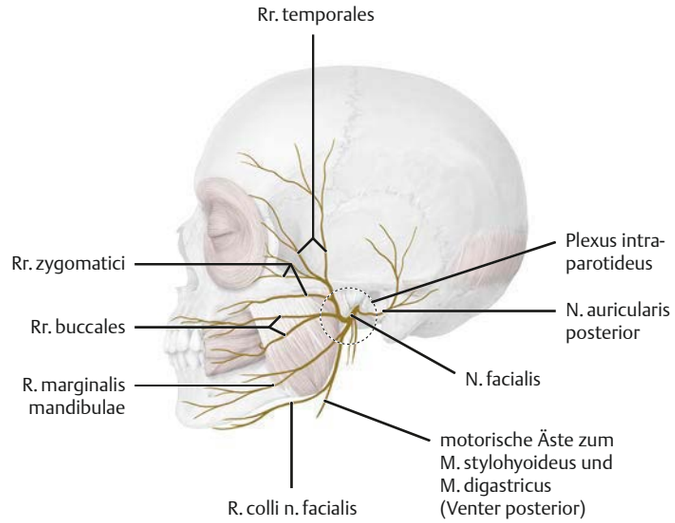
6.4 Oberflächliche Schicht des seitlichen Kopfes



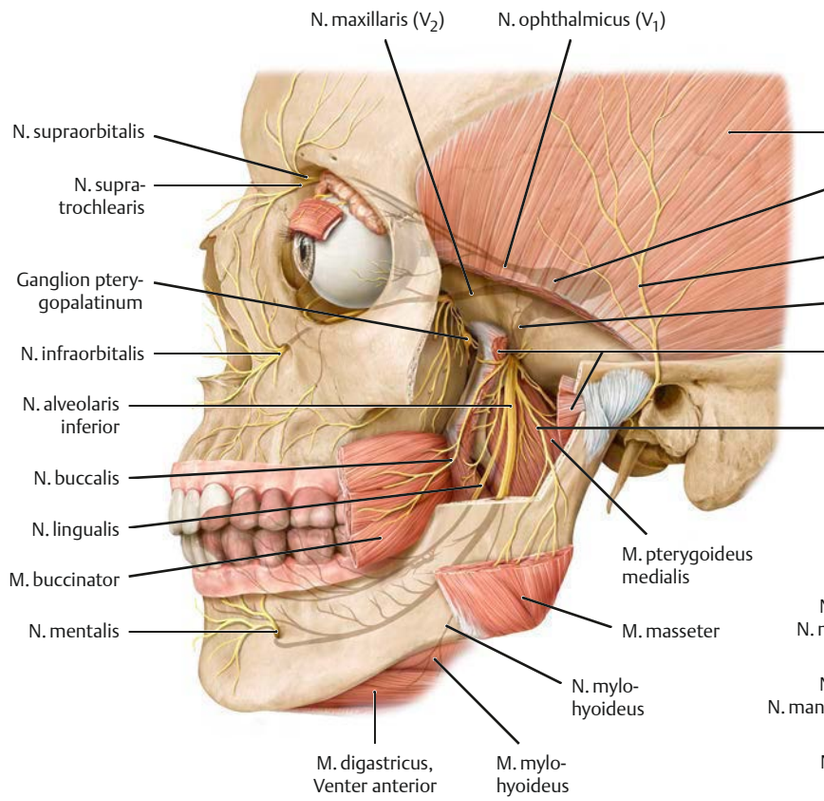
A Oberflächliche Gefäße und Nerven des Kopfes von der Seite
Ansicht von links. Alle hier sichtbaren Arterien stammen aus der *A. carotis externa*, die aufgrund ihrer tiefen Lage in dieser Schicht nicht darstellbar ist. Der seitliche Kopfbereich wird von der *V. jugularis externa* drainiert. Die hier ebenfalls dargestellte V. facialis mündet dagegen in die tiefer liegende V. jugularis interna (nicht dargestellt). Der *N. facialis* hat sich in der Gl. parotis in den Plexus parotideus aufgespalten, dessen Äste die Gl. parotidea an ihrem Vorderrand verlassen und in die mimische Muskulatur ziehen (s. **C**). Sensibel wird auch dieser seitliche Bereich des Kopfes von Ästen des *N. trigeminus* (s. **D**) versorgt, während der hier sichtbare Teil des Hinterhaupts vom *N. occipitalis major* und *minor* versorgt wird. Sie stammen im Unterschied zum N. trigeminus von den Spinalnerven ab (s. **E**). Der bei der Präparation leicht auffindbare Ausführungsgang der Ohrspeicheldrüse (Ductus parotideus) zieht auf dem M. masseter nach vorn, durchbricht den M. buccinator und mündet im Vestibulum oris gegenüber dem 2. Molaren des Oberkiefers (nicht dargestellt).

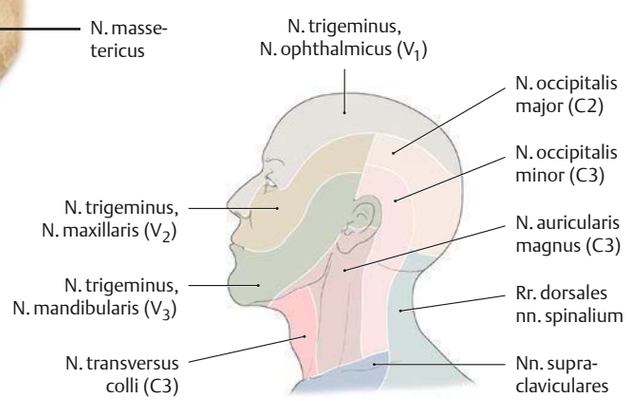


B Oberflächliche Äste der A. carotis externa
Ansicht von links. In diesem Schema sind die Arterien isoliert dargestellt, um ihre Verzweigungen und Beziehungen zueinander zu verdeutlichen (vgl. **A**; Einzelheiten s. S. 94).



C N. facialis (VII. Hirnnerv)
Ansicht von links. Die motorische Innervation der mimischen Muskulatur erfolgt ausschließlich durch den VII. Hirnnerv (s. S. 119).

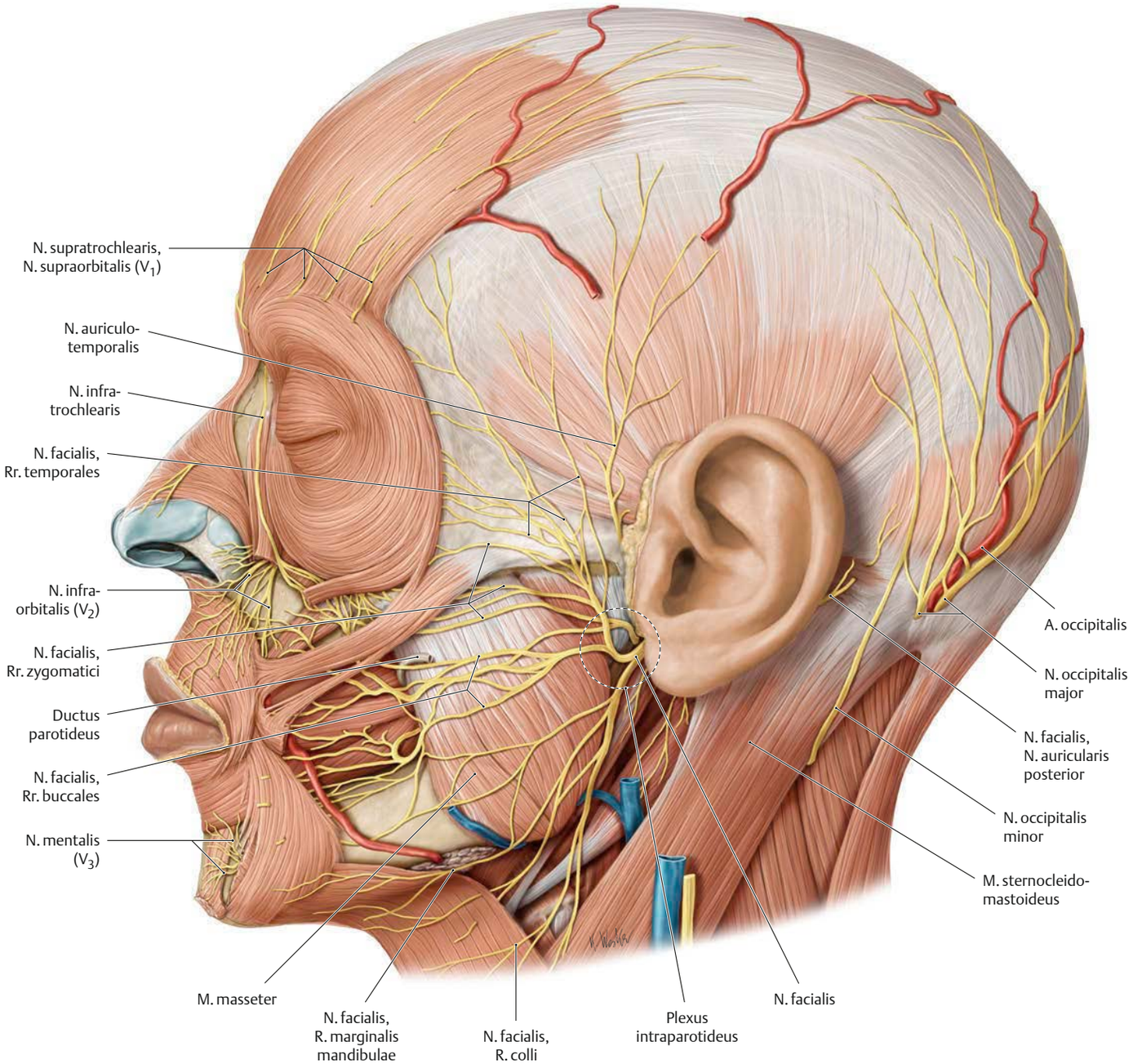




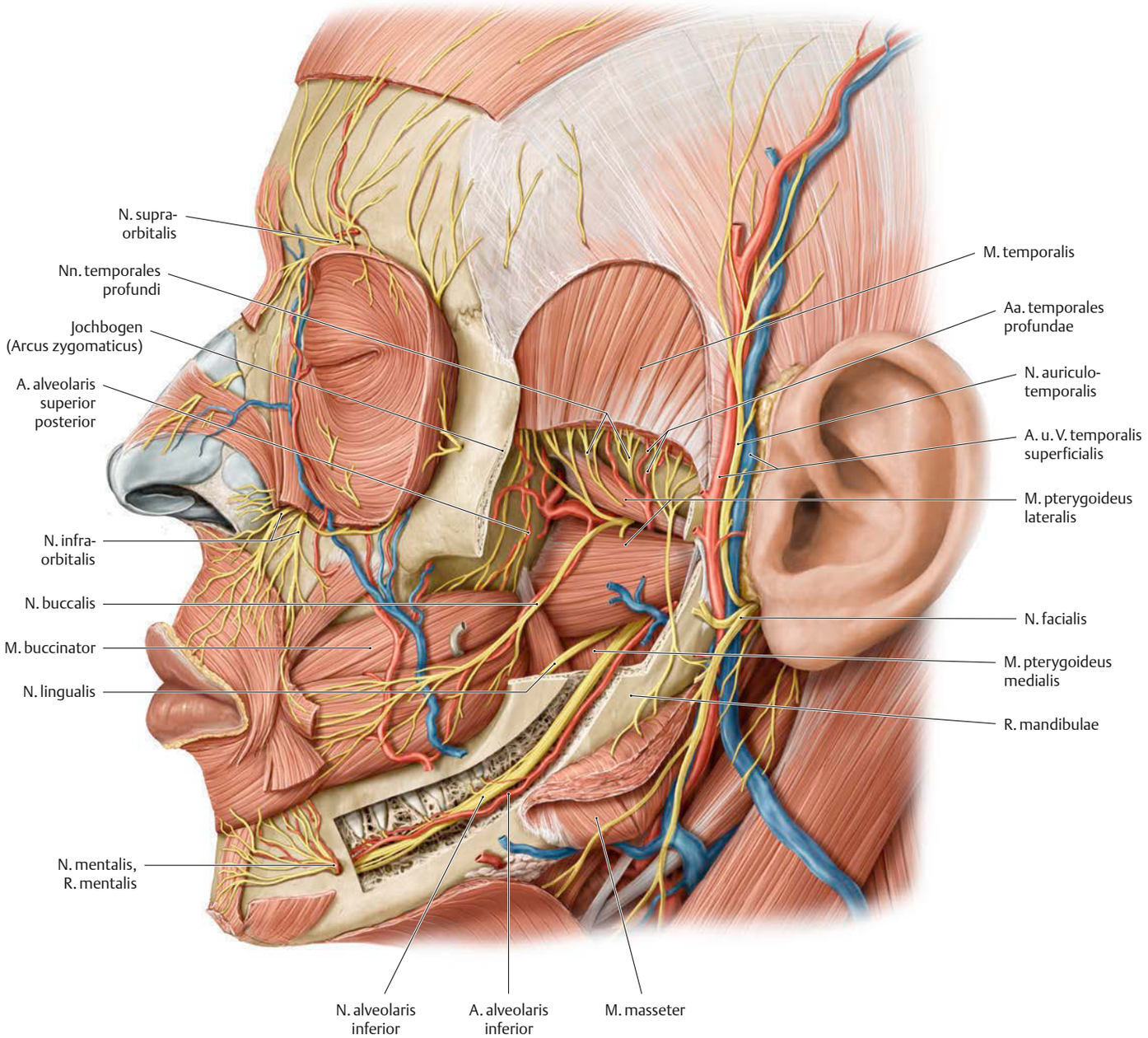
D N. trigeminus (V. Hirnnerv)
Ansicht von links. Die sensible Versorgung des Kopfes erfolgt in dem hier dargestellten Bereich durch drei große Äste des N. trigeminus (Nn. supraorbitalis, infraorbitalis und mentalis), man erkennt ihren Verlauf im Schädel und ihre Austrittspunkte im vorderen Gesichtsbereich (zur Ansicht von vorne s. S. 226). Der N. trigeminus ist zum Teil ein gemischter Nerv, da motorische Fasern, die an den N. mandibularis (= 3. Ast des N. trigeminus) angelagert sind, die Kaumuskulatur versorgen.

E Versorgungsareale der Nerven im seitlichen Kopf-Hals-Bereich
Ansicht von links.
Beachte: Die sensible Versorgung der seitlichen Kopf-Hals-Region erfolgt sowohl durch einen Hirnnerv (N. trigeminus mit seinen Ästen) als auch durch dorsale (N. occipitalis major) und ventrale Äste (N. occipitalis minor, N. auricularis magnus, N. transversus colli) von Spinalnerven.
Das Dermatom C1 besitzt nur motorische Fasern, so dass diesem Segment kein entsprechendes Hautareal zugewiesen werden kann.

6.5 Mittlere und tiefe Schicht des seitlichen Kopfes

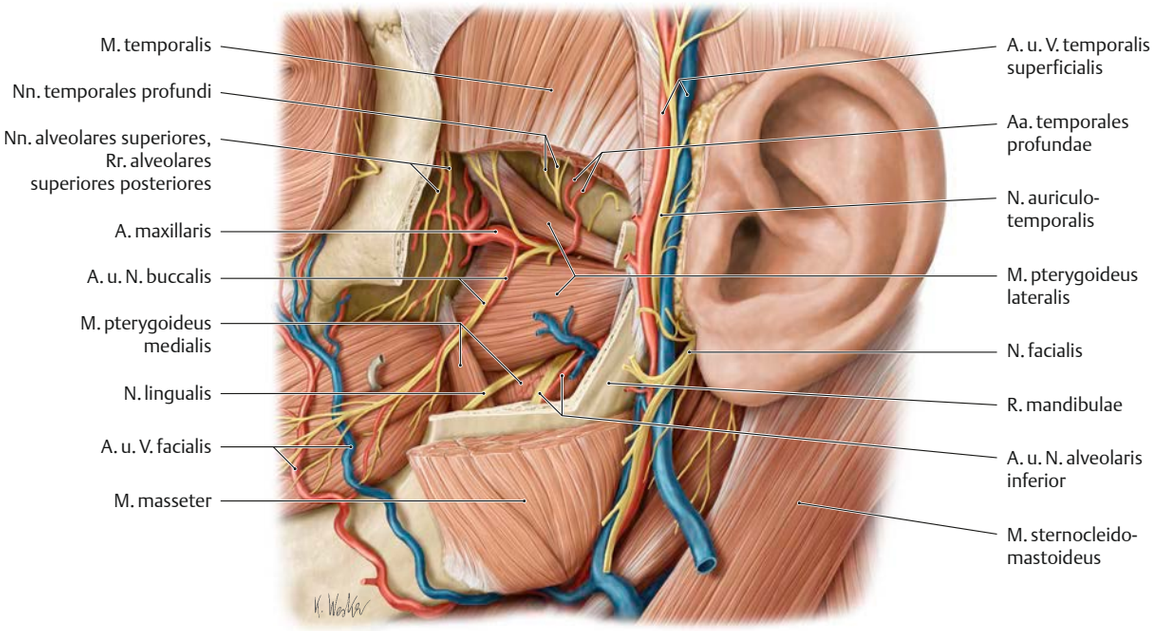


A Gefäße und Nerven der mittleren Schicht
Ansicht von links. Die Ohrspeicheldrüse ist entfernt, so dass der Aufbau des Plexus intraparotideus des N. facialis zu sehen ist.
Beachte ferner die aus den vorherigen Lerneinheiten bekannten Nerven.
Im Interesse der Übersicht sind die Venen entfernt worden.

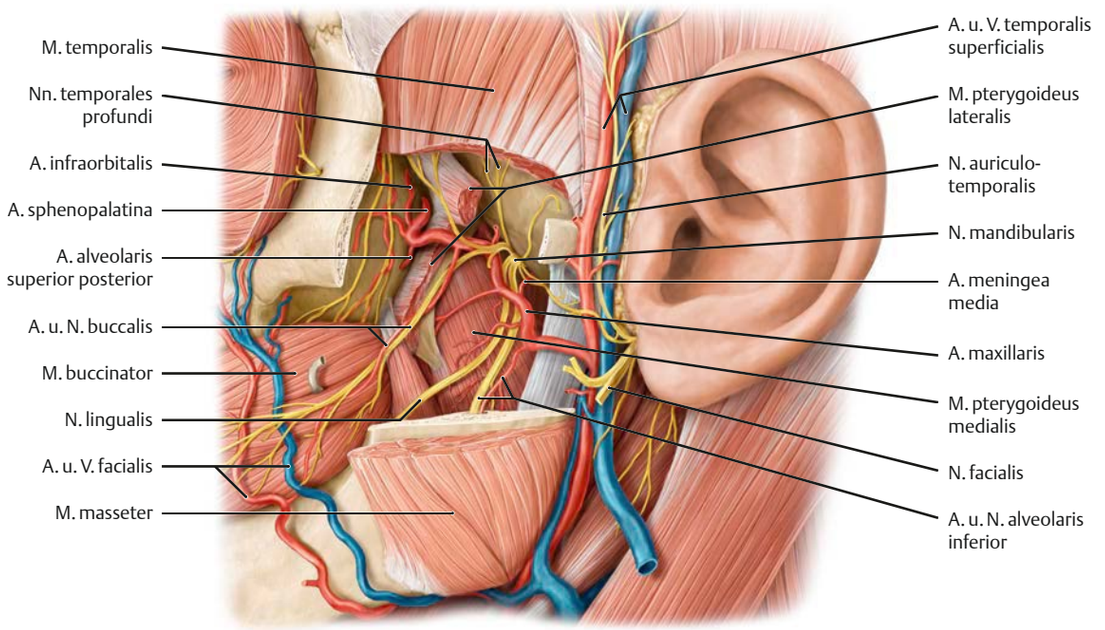


B Gefäße und Nerven der tiefen Schicht
Ansicht von links. Um an die tiefen Strukturen zu gelangen wurden der M. masseter und der Jochbogen durchtrennt, ferner wurde der R. mandibulae eröffnet, um die in ihm laufenden Leitungsbahnen zu demonstrieren.

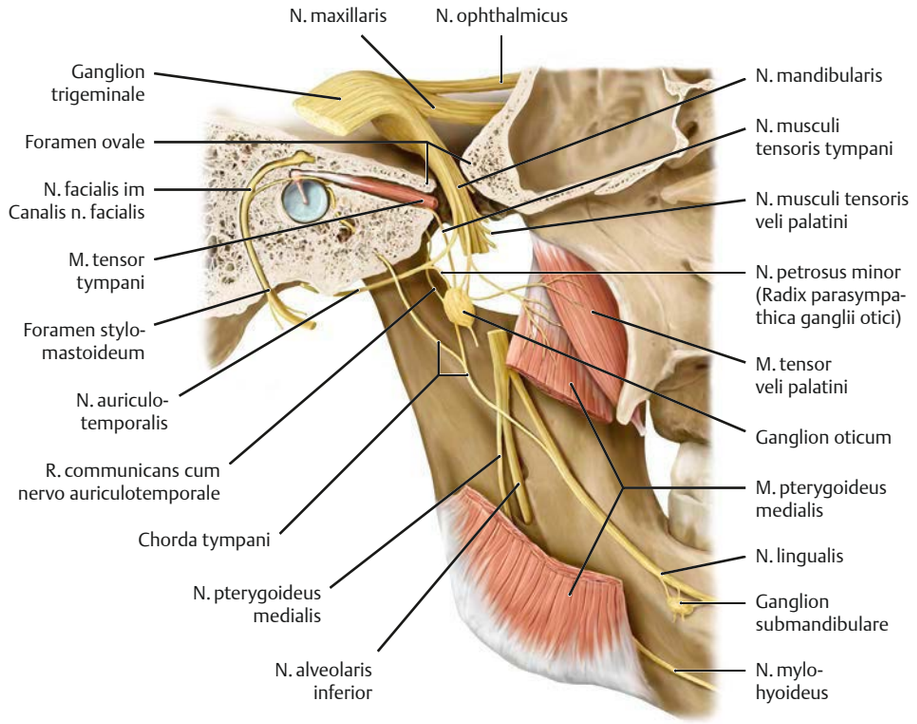
6.6 Fossa infratemporalis (Unterschläfengrube)



A Linke Fossa infratemporalis, oberflächliche Schicht
Ansicht von lateral. Da die Fossa infratemporalis eine Vielzahl von Strukturen enthält, ist ihr eine eigene Lerneinheit gewidmet. Der Arcus zygomaticus und die vordere Hälfte des R. mandibulae wurden hier abgetragen, um in die Fossa infratemporalis zu gelangen. Der Canalis mandibulae ist eröffnet, man sieht A. und N. alveolaris inferior in den Kanal einziehen, die Begleitvene wurde entfernt. Die A. maxillaris teilt sich in der Tiefe der Fossa infratemporalis in ihre Endäste auf (s. **B**).

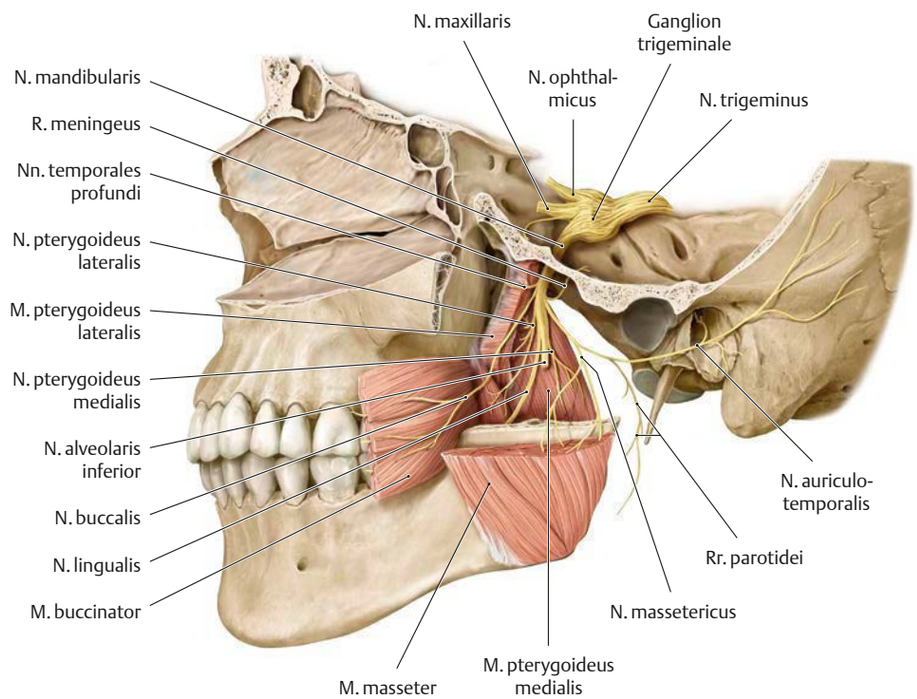


B Linke Fossa infratemporalis, tiefe Schicht
Ansicht von lateral. Im Unterschied zur vorherigen Abbildung wurden zusätzlich beide Köpfe des M. pterygoideus lateralis teilweise entfernt, so dass man nur noch ihre Stümpfe erkennt. Die Aufzweigung der A. maxillaris und des N. mandibularis werden sichtbar. Bei sorgfältiger Präparation ist die Schlinge des N. auriculotemporalis (ein Ast des N. mandibularis) um die A. meningea media darstellbar, die von der A. maxillaris abgeht, um durch das Foramen spinosum in die mittlere Schädelgrube zu ziehen (s. S. 123).



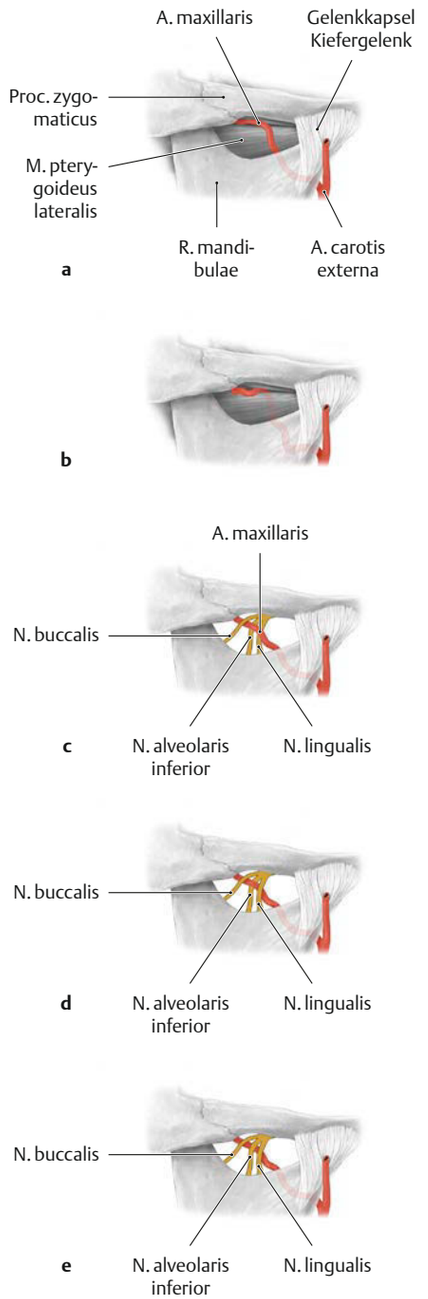
C Linkes Ganglion oticum mit seinen Wurzeln in der Tiefe der Fossa infratemporalis

Ansicht von medial. Das kleine und flache Ganglion oticum liegt medial des N. mandibularis dicht unterhalb des Foramen ovale. In ihm werden die parasympathischen Fasern für die Gl. parotidea umgeschaltet (s. S. 125).



D Aufzweigung des N. mandibularis in der Fossa infratemporalis

Ansicht von links. Man blickt nun auf den in der Tiefe liegenden M. pterygoideus medialis. Der 3. sensible Hauptast des V. Hirnnervs zieht durch das Foramen ovale von der mittleren Schädelgrube zur Fossa infratemporalis. Ihm sind motorische Fasern (Radix motoria) zur Versorgung der Kaumuskulatur angelagert; diese sind hier im Wesentlichen dargestellt.

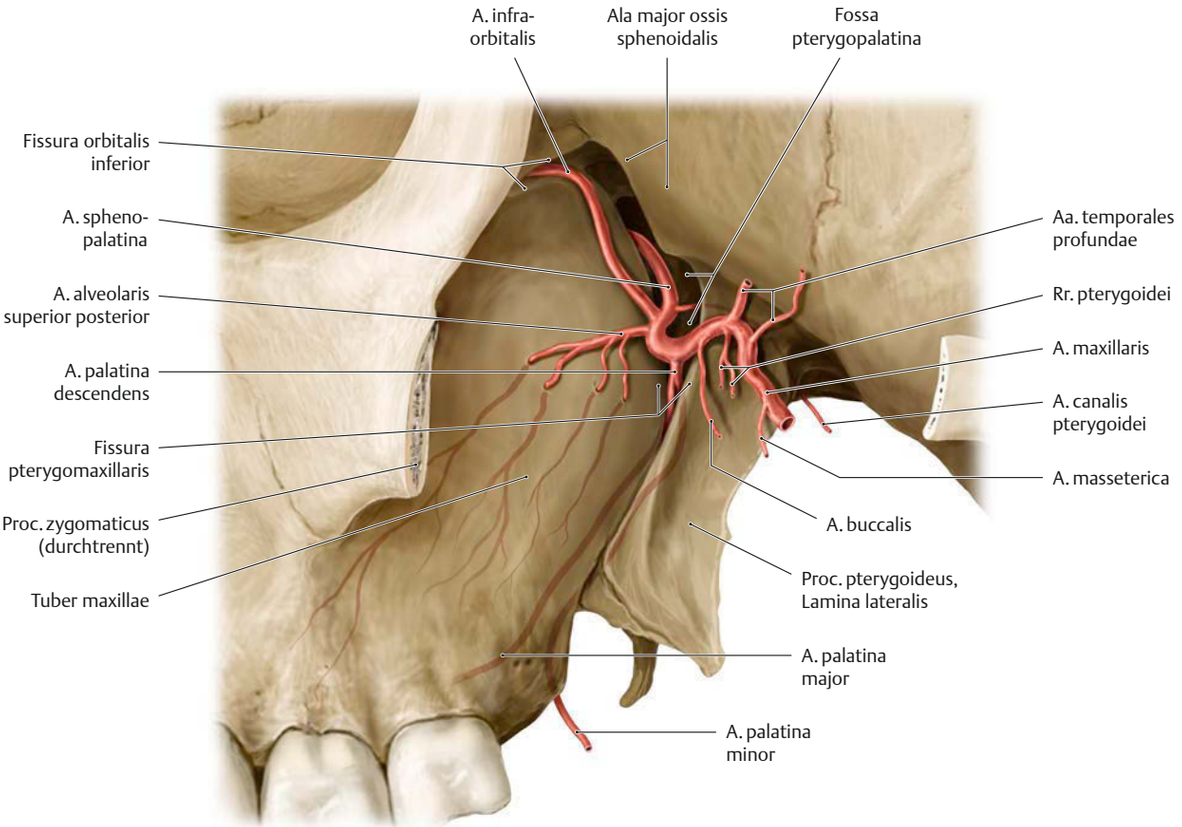


E Varianten der A. maxillaris links

Ansicht von lateral. Die A. maxillaris kann sehr unterschiedlich verlaufen. Im Folgenden werden die häufigsten Varianten dargestellt:

- **a** Verlauf lateral des M. pterygoideus lateralis (häufig);
- **b** Verlauf medial des M. pterygoideus lateralis;
- **c** Verlauf medial des N. buccalis, jedoch lateral von N. lingualis und N. alveolaris inferior;
- **d** Verlauf lateral des N. alveolaris inferior und medial von N. buccalis und N. lingualis;
- **e** Verlauf medial vom Stamm des N. mandibularis.

6.7 Fossa pterygopalatina (Flügel-Gaumen-Grube)



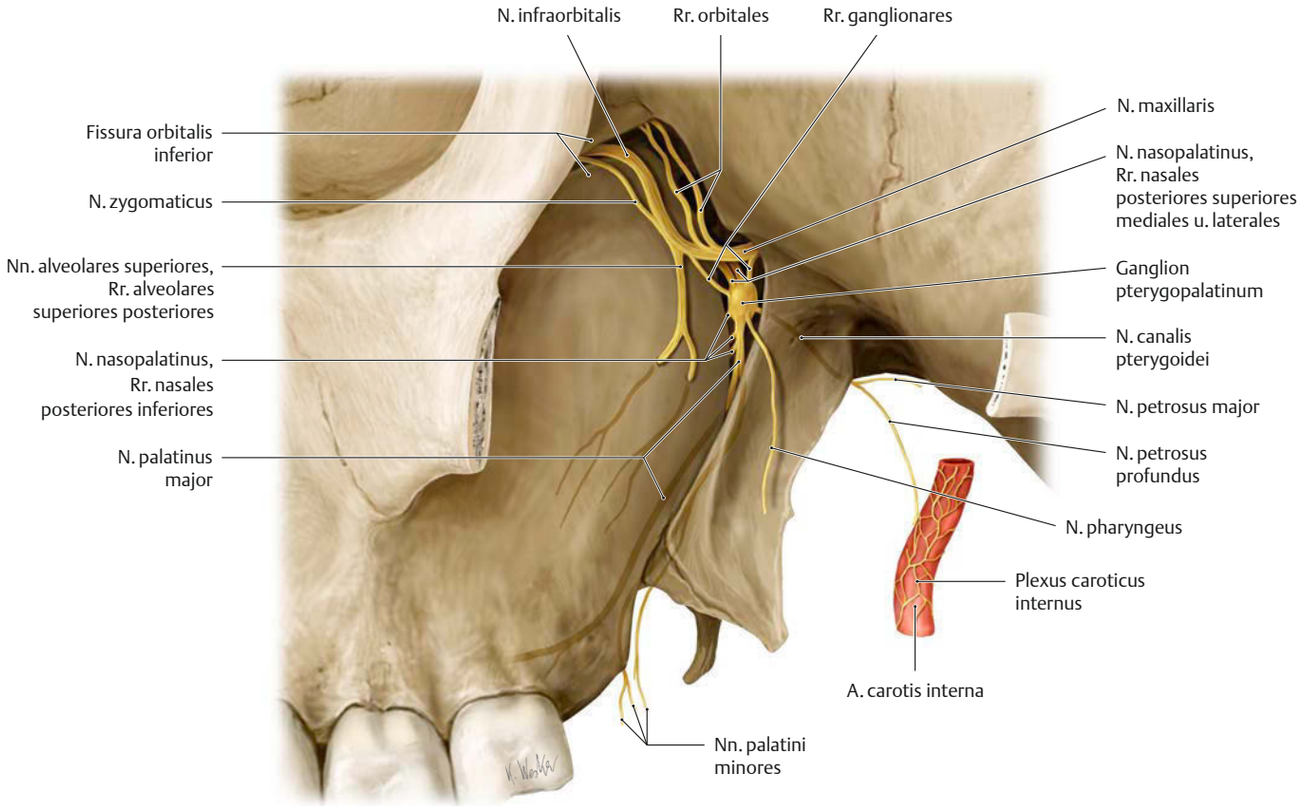
A Verlauf der Arterien in der linken Fossa pterygopalatina
Ansicht von lateral. Die Fossa infratemporalis (s. S. 236) geht ohne anatomisch scharf definierte Grenze in die hier dargestellte Fossa pterygopalatina über, deren Begrenzungen in **B** aufgeführt sind (vgl. auch S. 39). Sie stellt eine Verteilerstation von Leitungsbahnen zwischen mittlerer Schädelgrube, Orbita, Nasen- und Mundhöhle dar (Zugangswege s. **E**). Da hier so viele kleine Arterienäste abzweigen, sind Arterien und Nerven zur besseren Übersichtlichkeit getrennt dargestellt. In der Fossa pterygopalatina verzweigt sich die A. maxillaris in ihre Endäste (s. S. 100). Bei schwerem Nasenbluten kann die A. maxillaris in der Fossa pterygopalatina unterbunden werden (s. S. 185).

B Begrenzungen der Fossa pterygopalatina

Begrenzung nach	Begrenzende Struktur
ventral	Tuber maxillae
dorsal	Proc. pterygoideus
medial	Lamina perpendicularis ossis palatini
lateral	zur Fossa infratemporalis hin offen durch Fissura pterygomaxillaris
kranial	Ala major ossis sphenoidalis, Übergang in Fissura orbitalis inferior
kaudal	offen in den Retropharyngealraum

C Größere Äste der A. maxillaris
Bei der A. maxillaris kann eine Pars mandibularis, eine Pars pterygoidea und eine Pars pterygopalatina unterschieden werden. Da die Gefäße der Pars mandibularis vor dem Präparationsgebiet liegen, sind sie nicht mit aufgeführt (vgl. S. 100).

Ast	Versorgungsgebiet
Pars pterygoidea:	
• A. masseterica	• M. masseter
• Aa. temporales profundae	• M. temporalis
• Rr. pterygoidei	• Mm. pterygoidei
• A. buccalis	• Wangenschleimhaut
Pars pterygopalatina:	
• A. alveolaris superior posterior	• Molaren Oberkiefer, Kieferhöhle, Gingiva
• A. infraorbitalis	• Alveolen des Oberkiefers
• A. palatina descendens	
– A. palatina major	• harter Gaumen
– A. palatina minor	• weicher Gaumen, Tonsilla palatina, Rachenwand
• A. sphenopalatina	
– Aa. nasales posteriores laterales	• laterale Wand der Nasenhöhle, Muscheln
– Rr. septales posteriores	• Nasenseptum

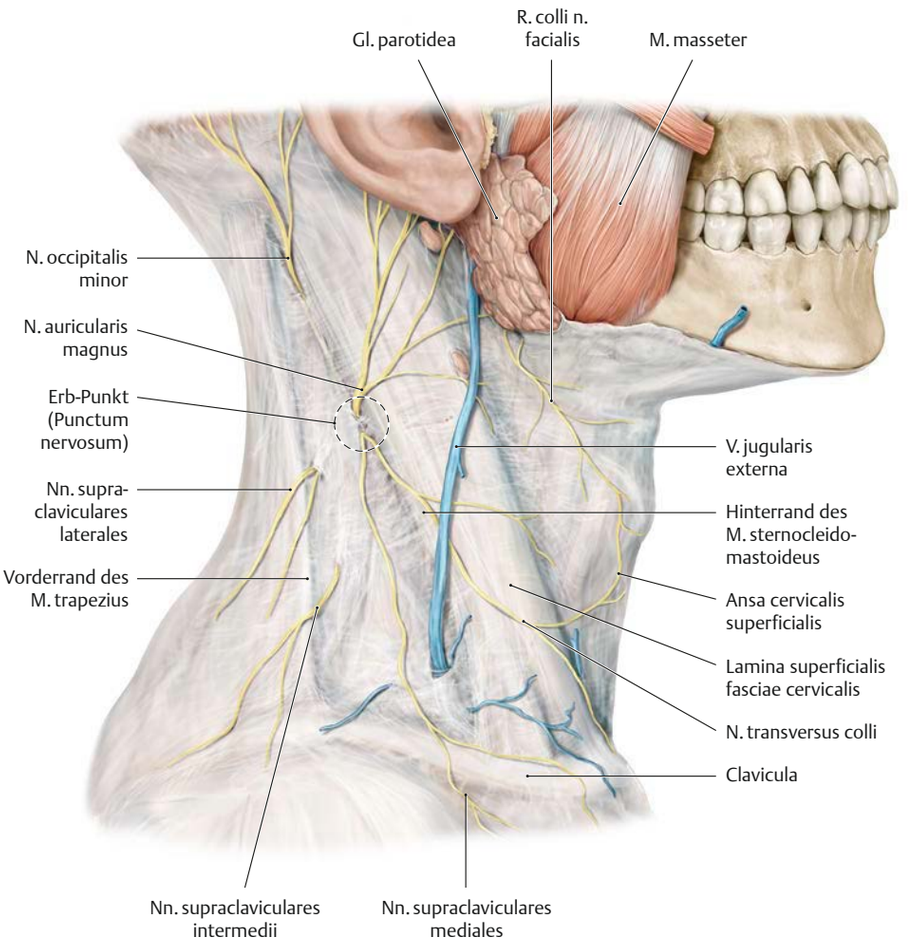


D Verlauf der Nerven in der linken Fossa pterygopalatina
Ansicht von lateral. Durch das Foramen rotundum gelangt der N. maxillaris, der 2. Ast des V. Hirnnervs, aus der mittleren Schädelgrube in die Fossa pterygopalatina. Er spaltet sich hier in seine Äste auf. Ihm angelagert ist das parasympathische Ganglion pterygopalatinum, in dem die Umschaltung vom 1. (präganglionären) auf das 2. (postganglionäre) Neuron für die Tränendrüsen und die kleinen Gaumen- und Nasendrüsen erfolgt. Seine präganglionären Fasern erhält das Ganglion pterygopalatinum vom N. petrosus major. Dieser Nerv ist die Radix parasympathica des N. intermedius aus dem N. facialis. Die sympathischen Fasern des N. petrosus profundus (Radix sympathica) ziehen – wie auch die sensiblen Fasern des N. maxillaris (Radix sensoria) – ohne Umschaltung nur durch das Ganglion hindurch.

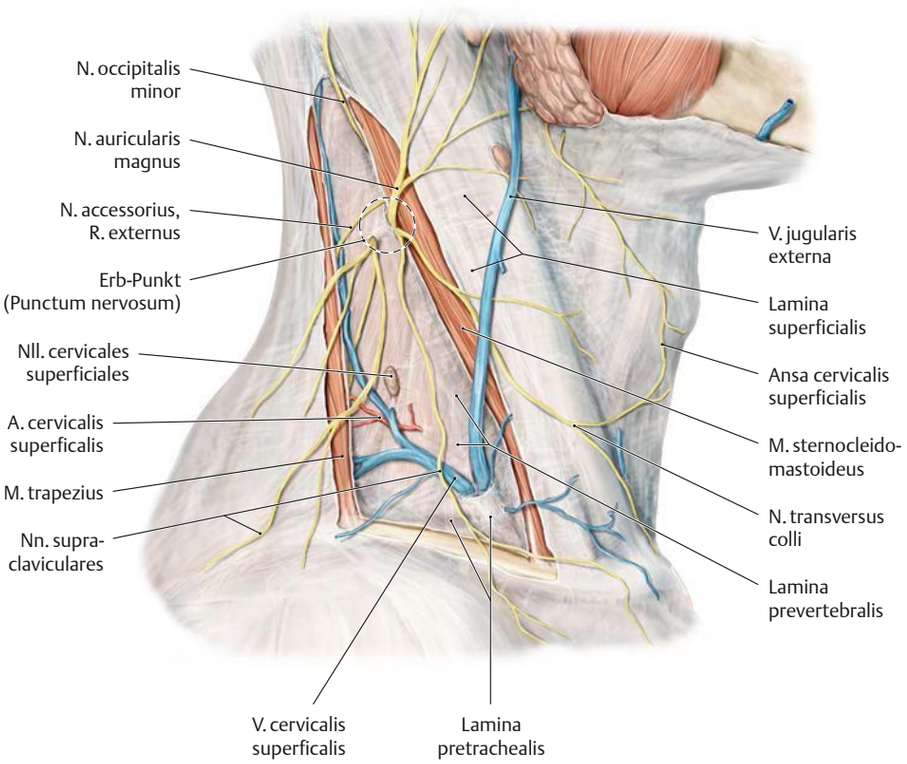
E Zugangswege zur Fossa pterygopalatina und durchziehende Gefäße und Nerven

Zugangsweg	Kommt von	Durchziehende Struktur
Foramen rotundum	Fossa cranii media	• N. maxillaris (N. V_2)
Canalis pterygoideus (Vidianus-Kanal)	Schädelbasis (Unterfläche)	• A. canalis pterygoidei mit Begleitvenen • N. petrosus major (parasympathischer Fazialisast) • N. petrosus profundus (sympathische Fasern aus dem Plexus caroticus) • N. canalis pterygoidei (aus parasympathischem Fazialisast N. petrosus major und sympathischem N. petrosus profundus im Kanal hervorgegangen)
Canalis (Foramen) palatinus major	Gaumen	• A. palatina major (aus A. palatina descendens) • N. palatinus major
Canales palatini minores	Gaumen	• Aa. palatinae minores (Endäste der A. palatina descendens) • Nn. palatini minores
Foramen sphenopalatinum	Nasenhöhle	• A. sphenopalatina (plus Begleitvenen) • Rr. nasales posteriores, superiores mediales, laterales und inferiores (aus N. nasopalatinus, N. V_2)
Fissura orbitalis inferior	Augenhöhle	• A. infraorbitalis (plus Begleitvenen) • V. ophthalmica inferior • N. infraorbitalis (aus N. V_2) • N. zygomaticus (aus N. V_2) • Rr. orbitales (aus N. V_2)
Fissura pterygomaxillaris	Schädelaußenfläche (Fossa infratemporalis)	• A. maxillaris

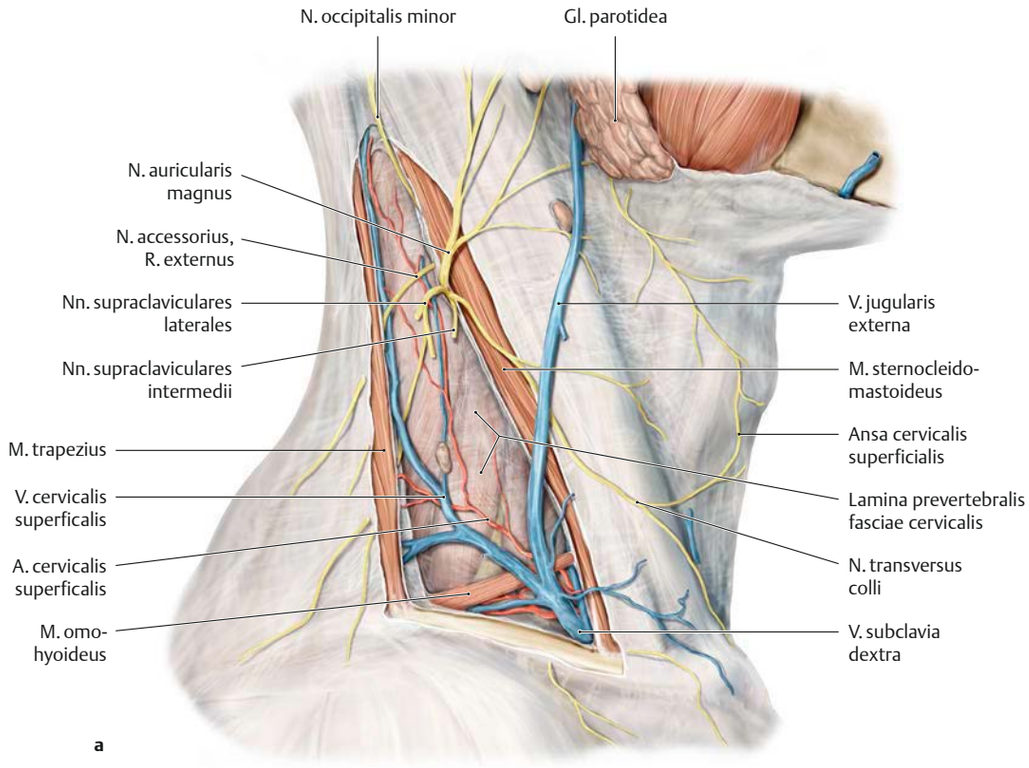
6.8 Laterales Halsdreieck

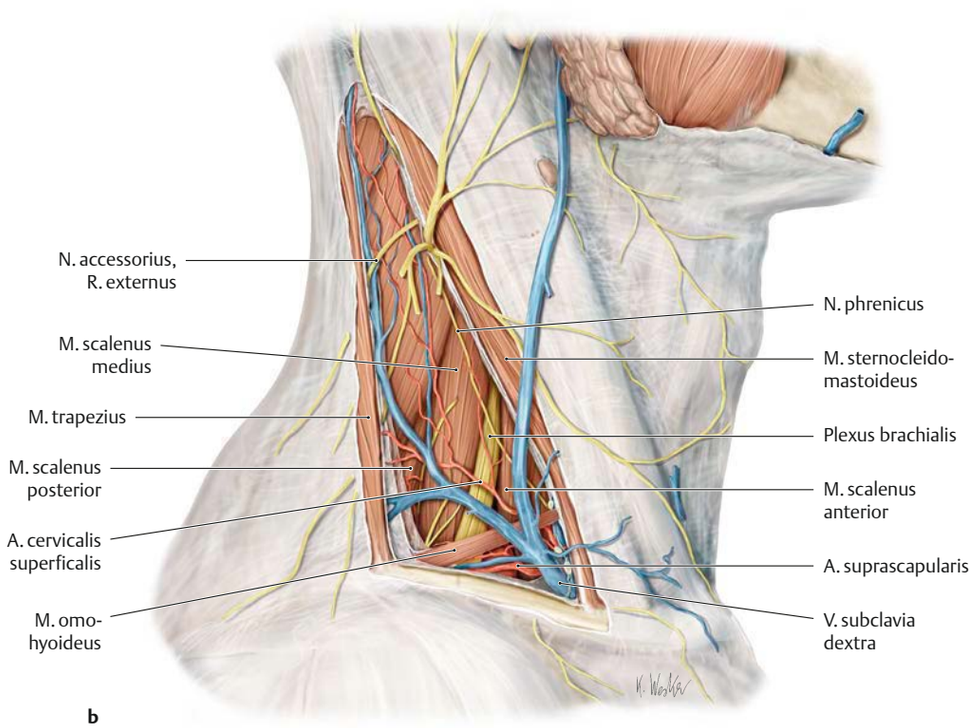


A Der Hals von rechts, epifasziale Schicht
Die topografisch wichtige Region stellt das laterale Halsdreieck dar, es wird begrenzt von Clavicula, Vorderrand des M. trapezius und Hinterrand des M. sternocleidomastoideus.
In dieser Region wird in den folgenden Abbildungen in die Tiefe präpariert. Die angrenzende Regio sternocleidomastoidea und die Regio cervicalis anterior sind ebenfalls freigelegt. Haut und subkutanes Fettgewebe wurden entfernt, so dass man die epifaszial gelegenen, rein sensiblen Hautnerven aus dem Plexus cervicalis in der Regio cervicalis lateralis erkennen kann. Sie brechen am Punctum nervosum (Erb-Punkt) durch die Lamina superficialis fasciae cervicalis und versorgen den vorderen und seitlichen Hals. Im Einzelnen sind dies N. occipitalis minor, N. auricularis magnus, N. transversus colli sowie die Nn. supraclaviculares (mediales, intermedii, laterales).
Beachte: Der N. transversus colli unterkreuzt die V. jugularis externa und bildet eine Anastomose mit dem R. colli n. facialis. Diese gemischte Schlinge enthält motorische Fasern aus dem N. facialis und sensible Fasern für die Haut aus dem N. transversus colli.



B Regio cervicalis lateralis (laterales Halsdreieck), oberflächliche subfasziale Schicht
Ansicht von rechts. Die Lamina superficialis der Halsfaszie wurde über der Regio cervicalis lateralis abgetragen, man blickt auf die Lamina prevertebralis der Halsfaszie, die auf Höhe des M. omohyoideus mit der Lamina pretrachealis verschmolzen ist (s. S. 5). Etwa in der Mitte des Hinterrandes des M. sternocleidomastoideus ziehen die Hautnerven aus dem Plexus cervicalis an die Oberfläche, um am Erb-Punkt durch die Lamina superficialis fasciae cervicalis zu ihrem epifaszial gelegenen Innervationsgebiet zu gelangen.
Beachte den R. externus des N. accessorius, der zum M. trapezius zieht. Er kann bei einer zu weit nach dorsal durchgeführten Lymphknotenbiopsie durchtrennt werden. Bei Ausfall dieses Muskels kann der Patient aufgrund der eingeschränkten Beweglichkeit der Skapula den Arm nicht mehr über 90° elevieren.



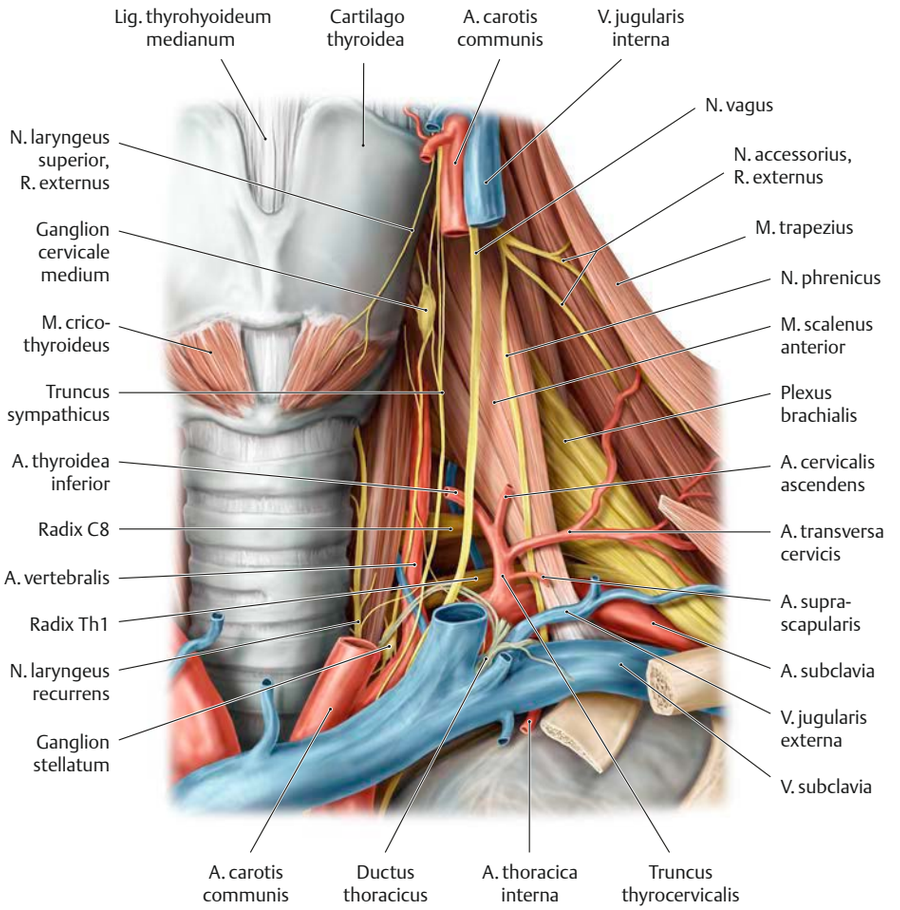


C Laterales Halsdreieck

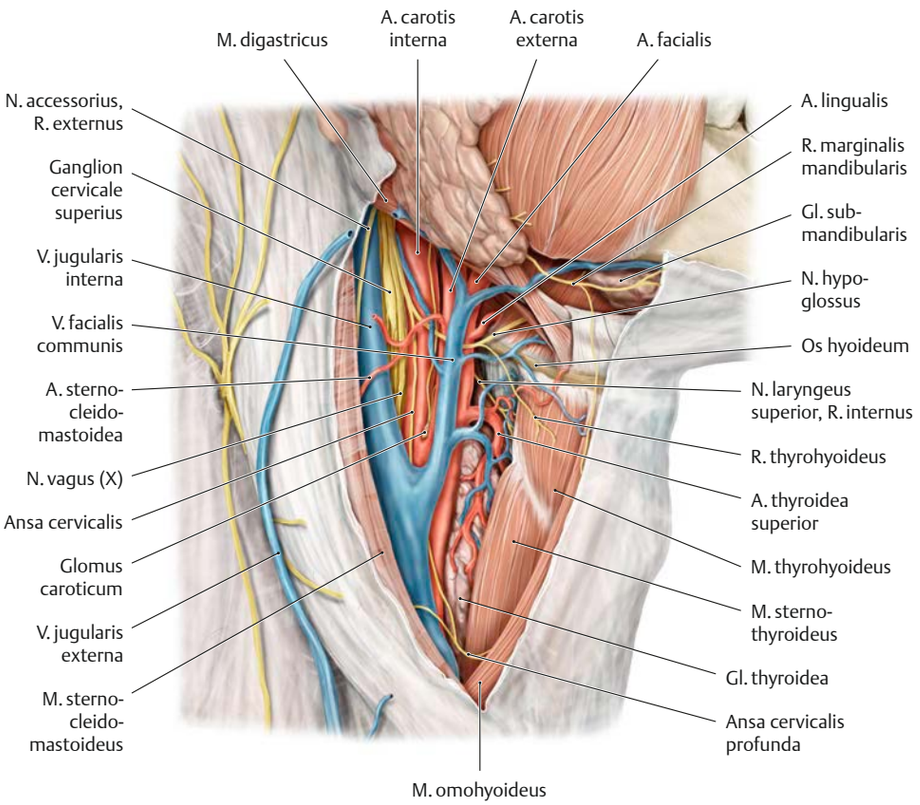
a tiefere subfasziale Schicht, Ansicht von rechts. In dieser Abbildung wurde im Vergleich zur vorhergehenden noch die Lamina pretrachealis der Halsfaszie entfernt, so dass der M. omohyoideus, der von dieser Faszie umhüllt wird, freigelegt ist.

b tiefste Schicht mit Sicht auf den Plexus brachialis, Ansicht von rechts. Die Entfernung der Lamina prevertebralis legt die Treppenmuskeln (Mm. scaleni) frei.
Beachte den N. phrenicus, der schräg über den M. scalenus anterior zur oberen Thoraxapertur verläuft.

6.9 Übergang in die obere Thoraxapertur, Karotisdreieck und tiefe seitliche Halsregion

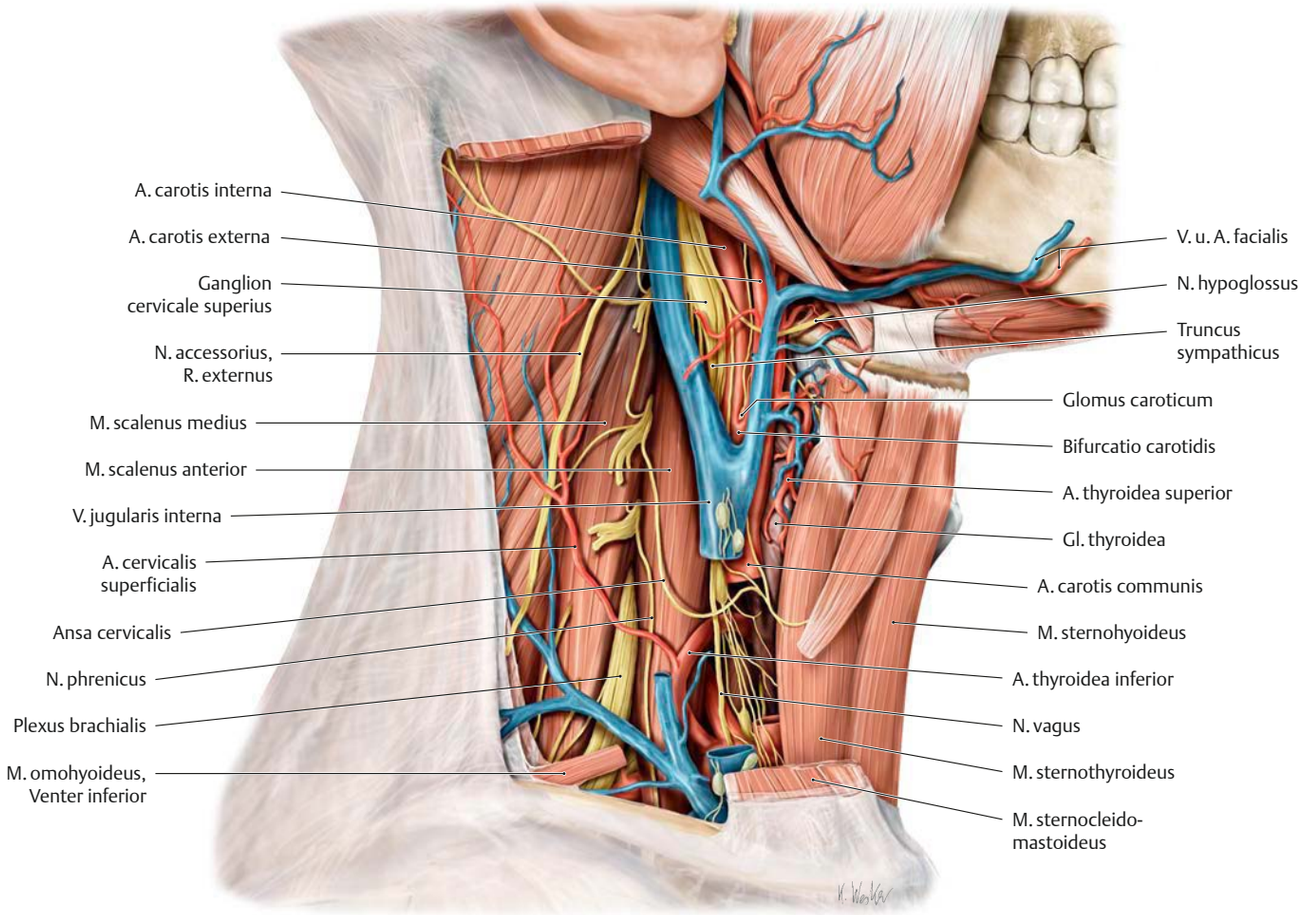


A Halsbasis und obere Thoraxapertur links
Ansicht von ventral; sternales Ende der Clavicula, vorderes Ende der 1. Rippe mit Manubrium sterni und die Schilddrüse sind entfernt, dadurch wird die obere Thoraxapertur freigelegt. Man sieht die A. subclavia und den Truncus thyrocervicalis.
Beachte den Verlauf folgender Strukturen: Die A. thoracica interna zieht nach kaudal parallel zum Sternum. Sie ist von besonderem klinischem Interesse. Bei Stenosen der Herzkranzgefäße kann sie mobilisiert und nach der Stenose mit der Herzkranzarterie verbunden werden. Truncus sympathicus, Nn. vagus, phrenicus sowie Teile des Plexus brachialis sind erkennbar, letzterer zieht durch die Skalenuslücke (s. **C**) hindurch.
Beachte ferner die Einmündung des Ductus thoracicus in den linken Venenwinkel sowie den linken N. laryngeus recurrens. Dieser Ast des N. vagus zieht nach der Umschlingung des Aortenbogens nach kranial zum Kehlkopf.



B Karotisdreieck (Trigonum caroticum)
Ansicht von rechts. Das Trigonum caroticum ist eine Unterregion der Regio cervicalis anterior. Es wird aus M. sternocleidomastoideus, hinterem Digastrikusbauch und oberem Bauch des M. omohyoideus gebildet. Am Unterrand des Kinns ist die Glandula submandibularis zu erkennen, der M. sternocleidomastoideus ist nach dorsolateral gezogen. Folgende Strukturen finden sich im Trigonum caroticum:

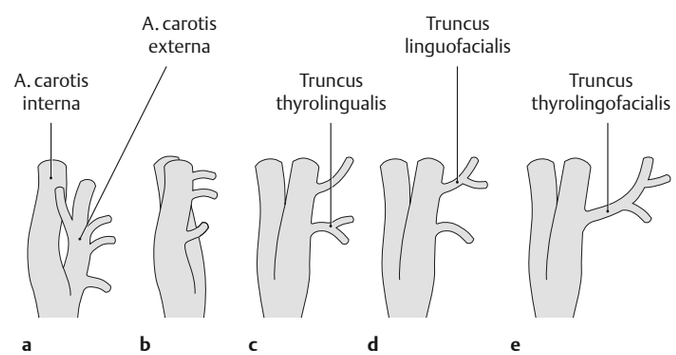
- Aa. carotis interna und externa (letztere mit ihren Abgängen Aa. thyroidea superior und lingualis),
- N. hypoglossus,
- N. vagus,
- N. accessorius und
- Truncus sympathicus mit Ganglien.



C Tiefe seitliche Halsregion
Ansicht von rechts; präpariert sind Regio sternocleidomastoidea und Trigonum caroticum sowie die angrenzenden Abschnitte der Regio cervicalis lateralis und anterior. Neben den Halsfaszien, dem M. sternocleidomastoideus und dem M. omohyoideus wurde in dieser Präparation die Vagina carotica entfernt, so dass alle wichtigen Leitungsbahnen des Halses sichtbar werden:

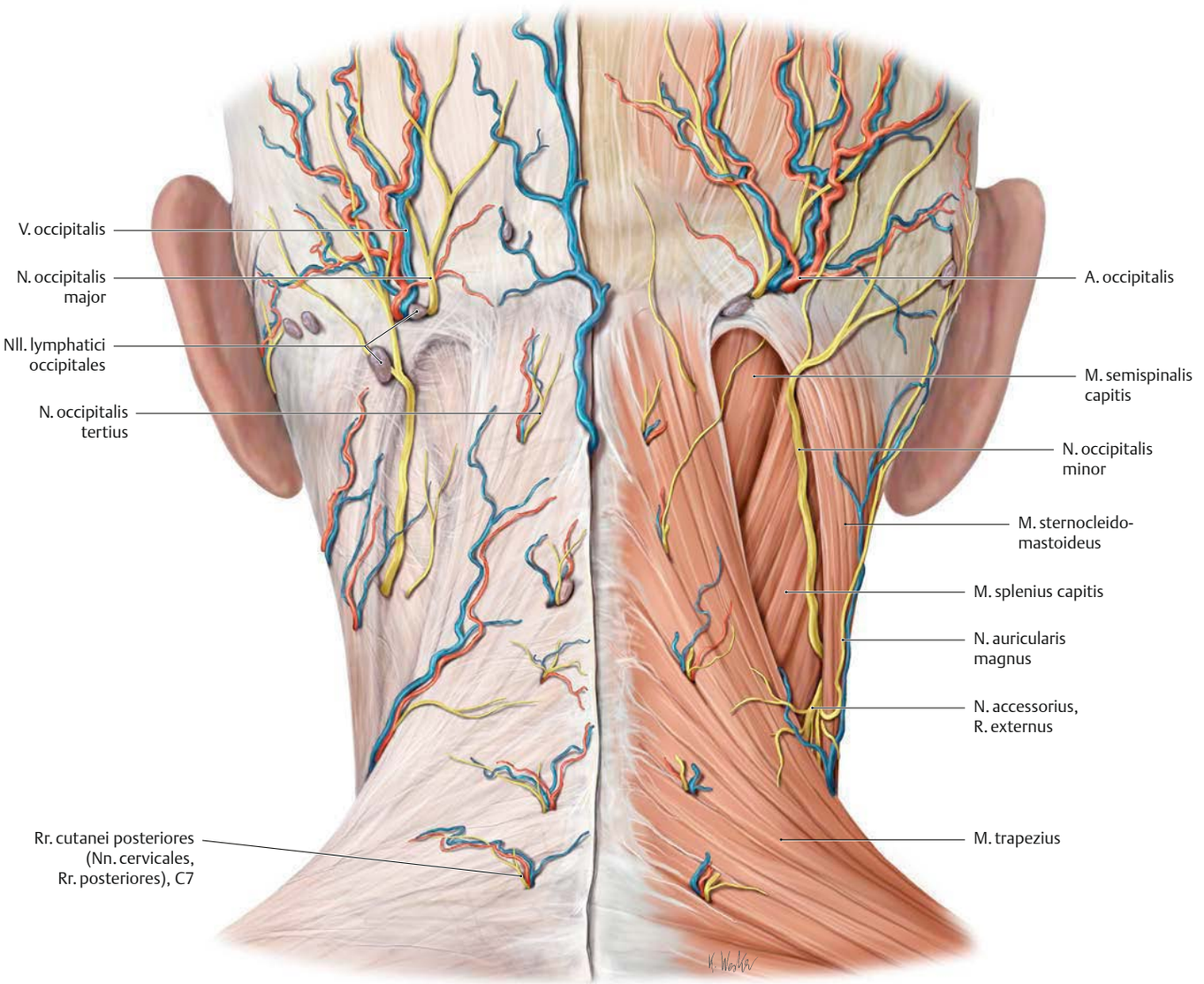
- A. carotis communis mit ihrer Aufspaltung in A. carotis interna und A. carotis externa,
- Aa. thyroideae superior und inferior,
- V. jugularis interna,
- tiefe Halslymphknoten entlang der V. jugularis interna,
- Truncus sympathicus einschließlich seiner Ganglien,
- N. vagus,
- N. hypoglossus,
- N. accessorius,
- Plexus brachialis und
- N. phrenicus.

Der N. phrenicus stammt von Segment C4 und gehört somit zum Plexus cervicalis. Sein Leitmuskel am Hals ist der M. scalenus anterior, über den er hinwegzieht. Zwischen dem M. scalenus anterior und dem M. scalenus medius sowie der 1. Rippe befindet sich die (hintere) Skalenuslücke, durch die der Plexus brachialis und die A. subclavia ziehen. In der Lücke zwischen dem M. scalenus anterior und dem M. sternocleidomastoideus (reseziert) sowie der 1. Rippe zieht die V. subclavia in die Tiefe (vordere Skalenuslücke).

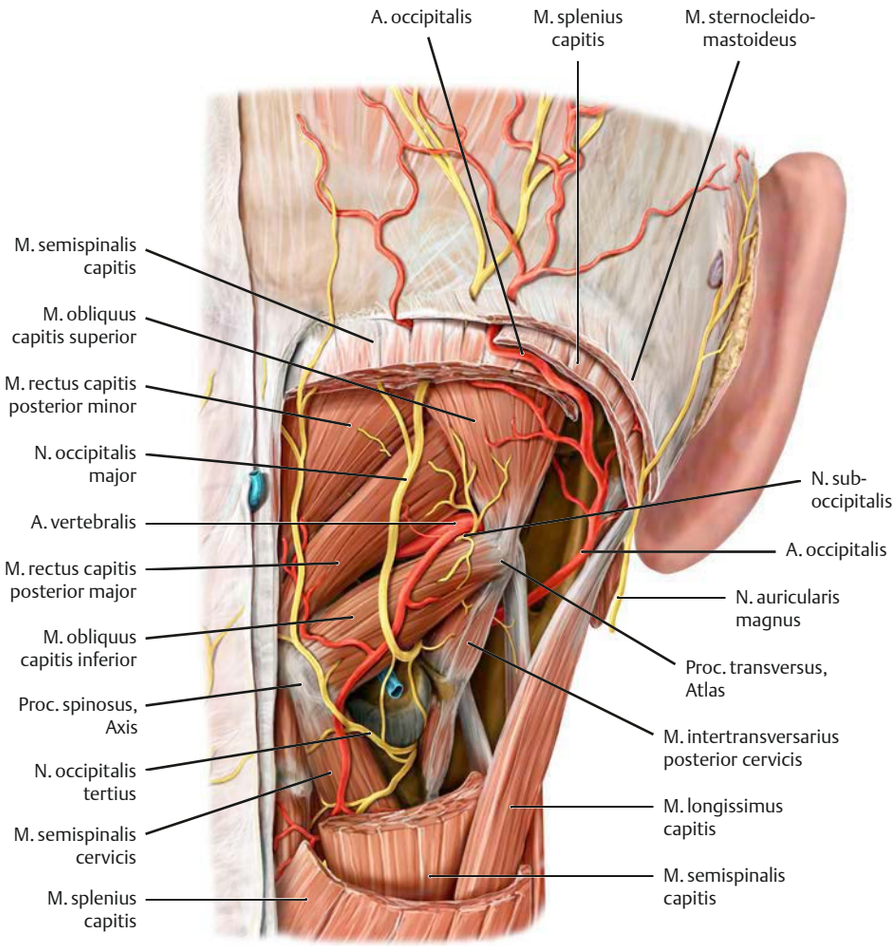


D Lagevarianten der Aa. carotis externa und interna sowie Varianten der ventralen Äste der A. carotis externa
(nach Faller u. Poisel-Golth)
a u. **b** Die A. carotis interna kann dorsolateral (49 %) oder ventromedial (9 %) der A. carotis externa aus der A. carotis communis entspringen; weitere Zwischenstellungen sind möglich.
c–**e** Aus der A. carotis externa kann ein Truncus thyrolingualis (4 %), linguofacialis (23 %) oder thyrolinguofacialis (0,6 %) entspringen.

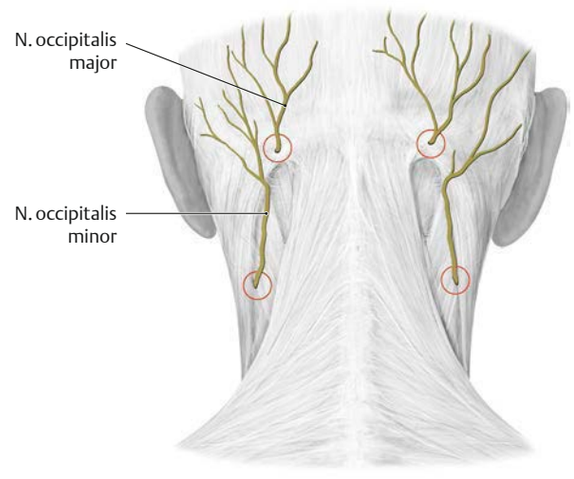
6.10 Hintere Halsregion und Hinterhauptsregion

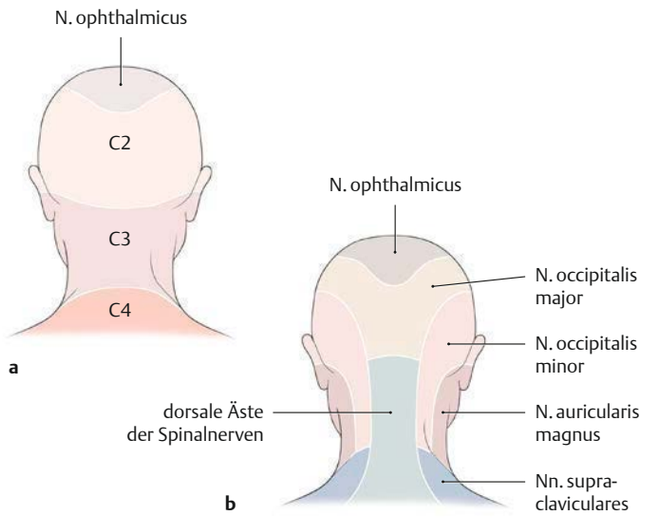


A Hintere Halsregion (Regio cervicalis posterior) und Hinterhauptsregion (Regio occipitalis)
Ansicht von dorsal; links subkutane (epifasziale), rechts subfasziale Schicht. Die Regio occipitalis gehört topografisch-anatomisch zum Kopf. Da sie jedoch an die hintere Halsregion, die Regio cervicalis posterior, angrenzt, wird sie hier besprochen. Das wesentliche arterielle Gefäß dieser Region ist die A. occipitalis, der 2. dorsal abgehende Ast der A. carotis externa. Der medial gelegene N. occipitalis major ist ein *dorsaler,* der lateral gelegene N. occipitalis minor ein *ventraler* Ast der Spinalnervenwurzel C2, der aus dem Plexus cervicalis stammt. Der N. auricularis magnus stammt ebenfalls aus dem Plexus cervicalis (s. S. 139). An den Durchtrittsstellen der Nerven und Gefäße durch die Fascia nuchae sind die Lymphknoten zu finden.
Beachte den R. externus des N. accessorius, der relativ oberflächlich das laterale Halsdreieck quert.



B Rechtes Trigonum arteriae vertebralis
Ansicht von dorsal. Das Trigonum arteriae vertebralis wird kranial durch den M. rectus capitis posterior major, lateral durch den M. obliquus capitis superior und kaudal durch den M. obliquus capitis inferior begrenzt. Sichtbar wird dieses Muskeldreieck erst, wenn die Mm. sternocleidomastoideus, trapezius, splenius capitis und semispinalis capitis entfernt werden. In der Tiefe des Dreiecks liegt für eine kurze Strecke die A. vertebralis frei, nachdem sie das Foramen transversarium verlassen hat und bevor sie die Membrana atlantooccipitalis (hier nicht zu sehen) durchbricht, um wieder aus dem Dreieck zu verschwinden. In dieser Region gibt sie Muskeläste für die umliegenden kurzen Nackenmuskeln ab. Die beiden Aa. vertebrales fusionieren intrakranial zur A. basilaris, die für die Hirndurchblutung von besonderer Bedeutung ist.

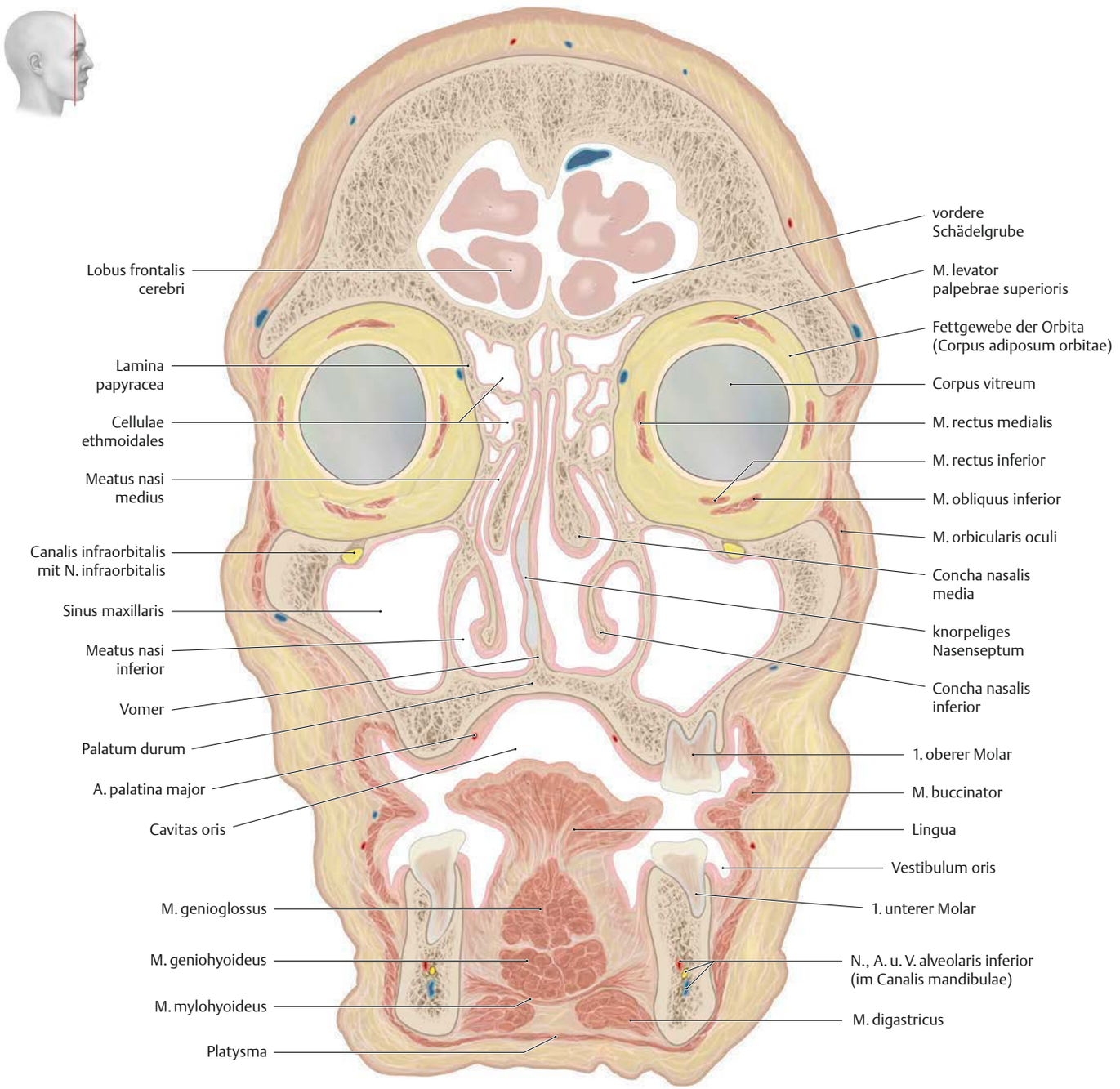




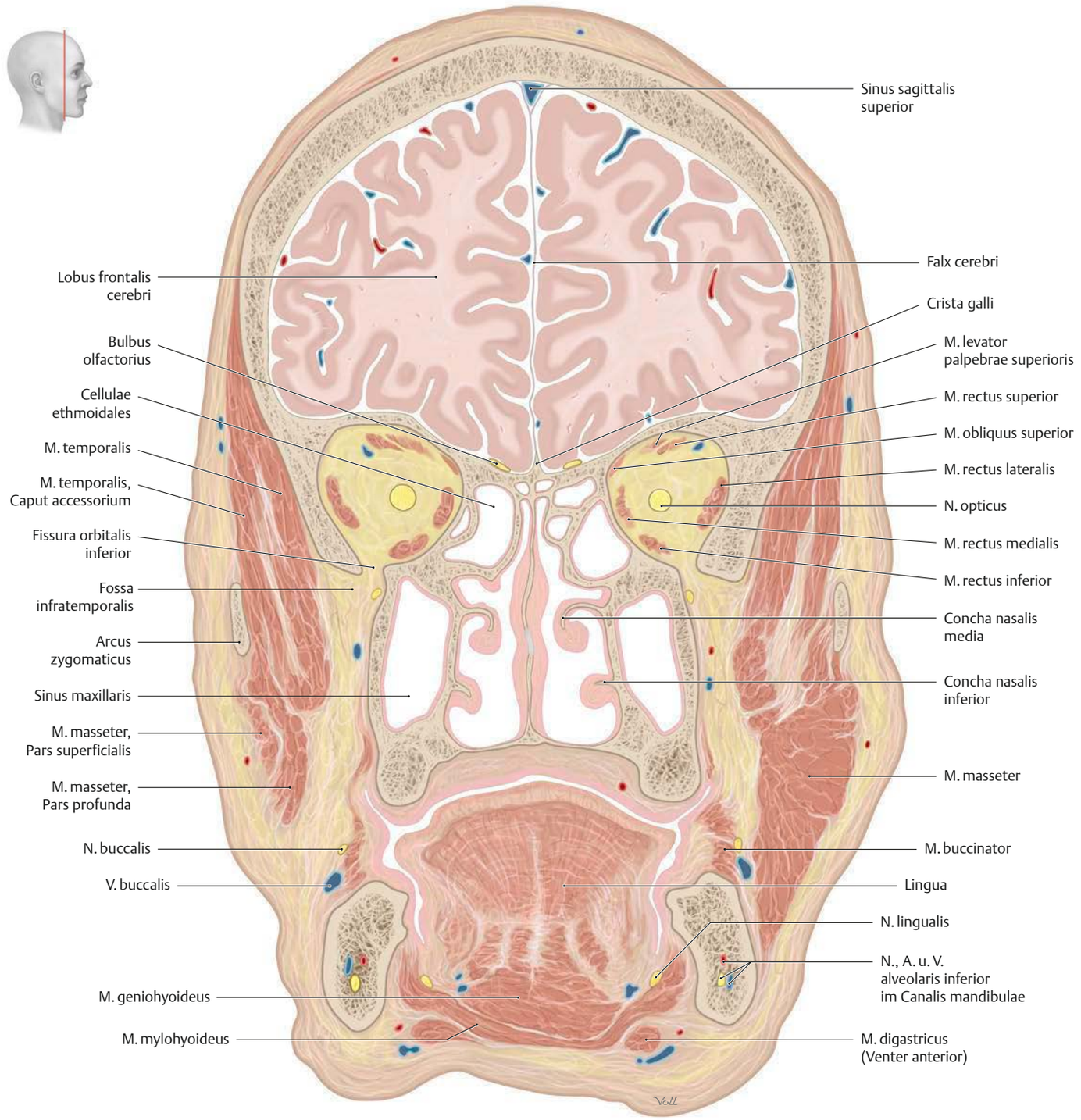
C Klinisch wichtige Nervenaustrittspunkte am Hinterhaupt
Ansicht von dorsal. Die Austrittspunkte der Nn. occipitalis minor und major aus der Faszie in den epifaszialen Bindegewebsraum sind klinisch von Bedeutung, da ihre Palpation bei bestimmten Erkrankungen (z. B. Meningitis) mit Schmerzen verbunden ist. Geprüft wird die Sensibilität dieser Nerven, indem man mit dem Daumen leicht auf die markierten Punkte drückt. Wenn diese Punkte, nicht aber ihre Umgebung, dabei schmerzhaft sind, spricht man von Schmerzhaftigkeit der Nervenaustrittspunkte.

D Hautinnervation am Hals
Ansicht von dorsal. Links ist die radikuläre (segmentale), rechts die periphere Innervation dargestellt. Die segmentale Innervation des Hinterhaupts und des Halses erfolgt größtenteils von den Zervikalsegmenten 2 und 3. Der sich kranial anschließende N. ophthalmicus ist der 1. Ast des N. trigeminus, des V. Hirnnervs.
Beachte bei der peripheren Innervation: Der N. occipitalis major ist ein dorsaler, der N. occipitalis minor ein ventraler Ast eines Spinalnervs (s. S. 22).

7.1 Frontalschnitte: Höhe Orbitavorderrand und Retrobulbärraum



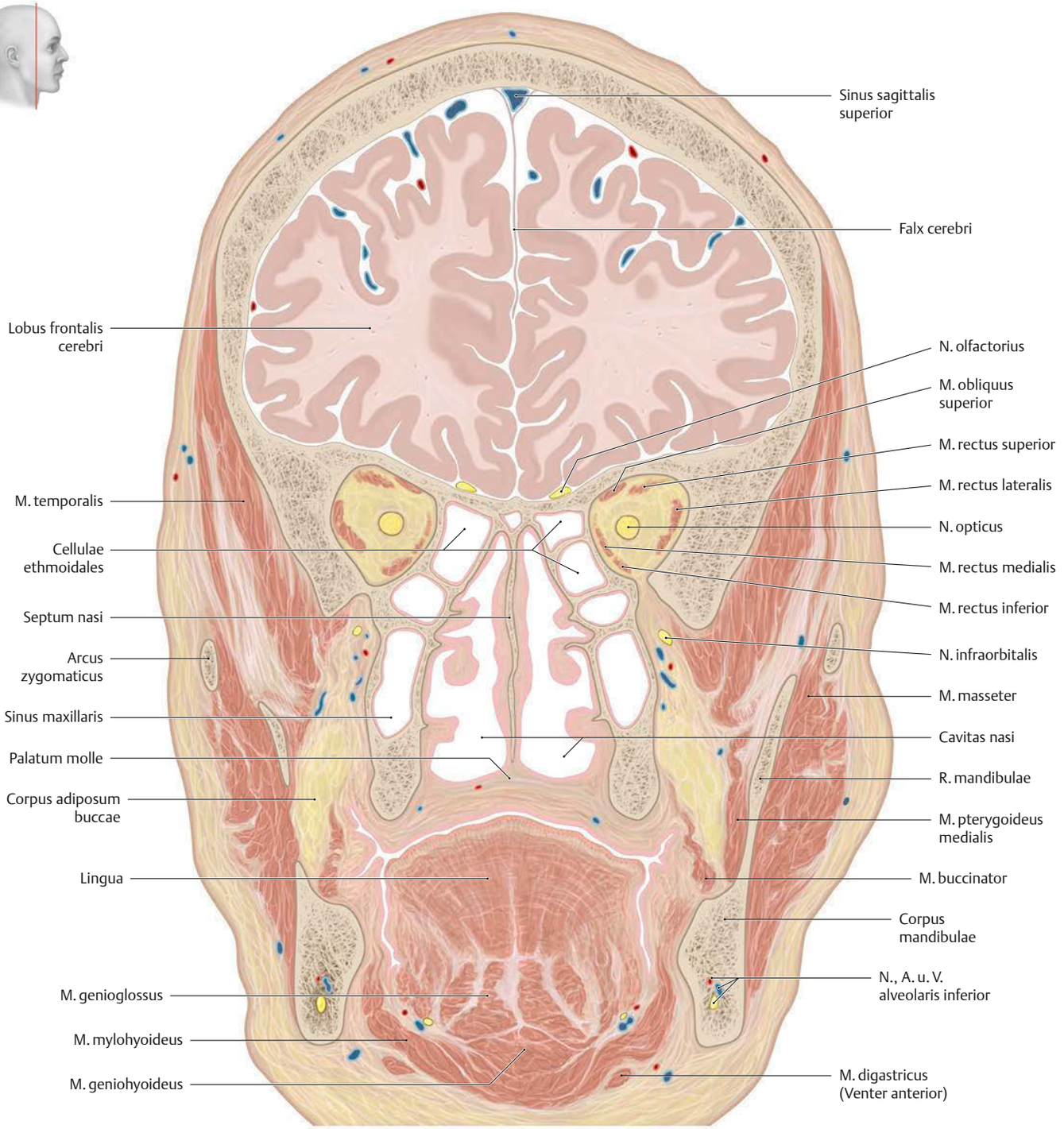
A Frontalschnitt in Höhe des Orbitavorderrandes
Ansicht von ventral. Vereinfacht kann man den Schädel in dieser Ansicht in vier Bereiche aufteilen: Mundhöhle; Nasenhöhle mit Nebenhöhlen; Orbita und vordere Schädelgrube.
In und um die **Mundhöhle** erkennt man die Mundbodenmuskulatur, die Zungenspitze, die Leitungsbahnen im Canalis mandibulae und den 1. Molaren. Der harte Gaumen trennt Mundhöhle und **Nasenhöhle,** die durch das Nasenseptum zweigeteilt ist. Man erkennt die untere und mittlere Muschel (Conchae nasales inferior und media) sowie die lateral gelegene Kieferhöhle (Sinus maxillaris). In deren Dach wölbt sich nach kaudal der Canalis infraorbitalis vor, der den gleichnamigen Nerv (2. Ast des N. trigeminus) enthält. Die Schnittebene liegt so weit frontal, dass die laterale knöcherne Wand der **Orbitae** aufgrund der seitlichen Krümmung des Schädels nicht getroffen ist. Vom Auge ist der durchsichtig erscheinende Glaskörper (Corpus vitreum) angeschnitten, im Fettgewebe der Orbita sind drei der sechs äußeren Augenmuskeln zu sehen, die anderen beiden folgen in der nächst tieferen Schnittebene (s. **B**). Den Raum zwischen den beiden Orbitae füllen die Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales) aus.
Beachte: Die knöcherne Wand zur Orbita ist sehr dünn (Lamina papyracea): Gefahr des Knochendurchbruchs bei Entzündungen, Traumen und Tumoren.
In der **vorderen Schädelgrube** sind beide Frontallappen (Lobi frontales cerebri) im vordersten Bereich der grauen Substanz angeschnitten; deshalb erkennt man nur wenig weiße Substanz.



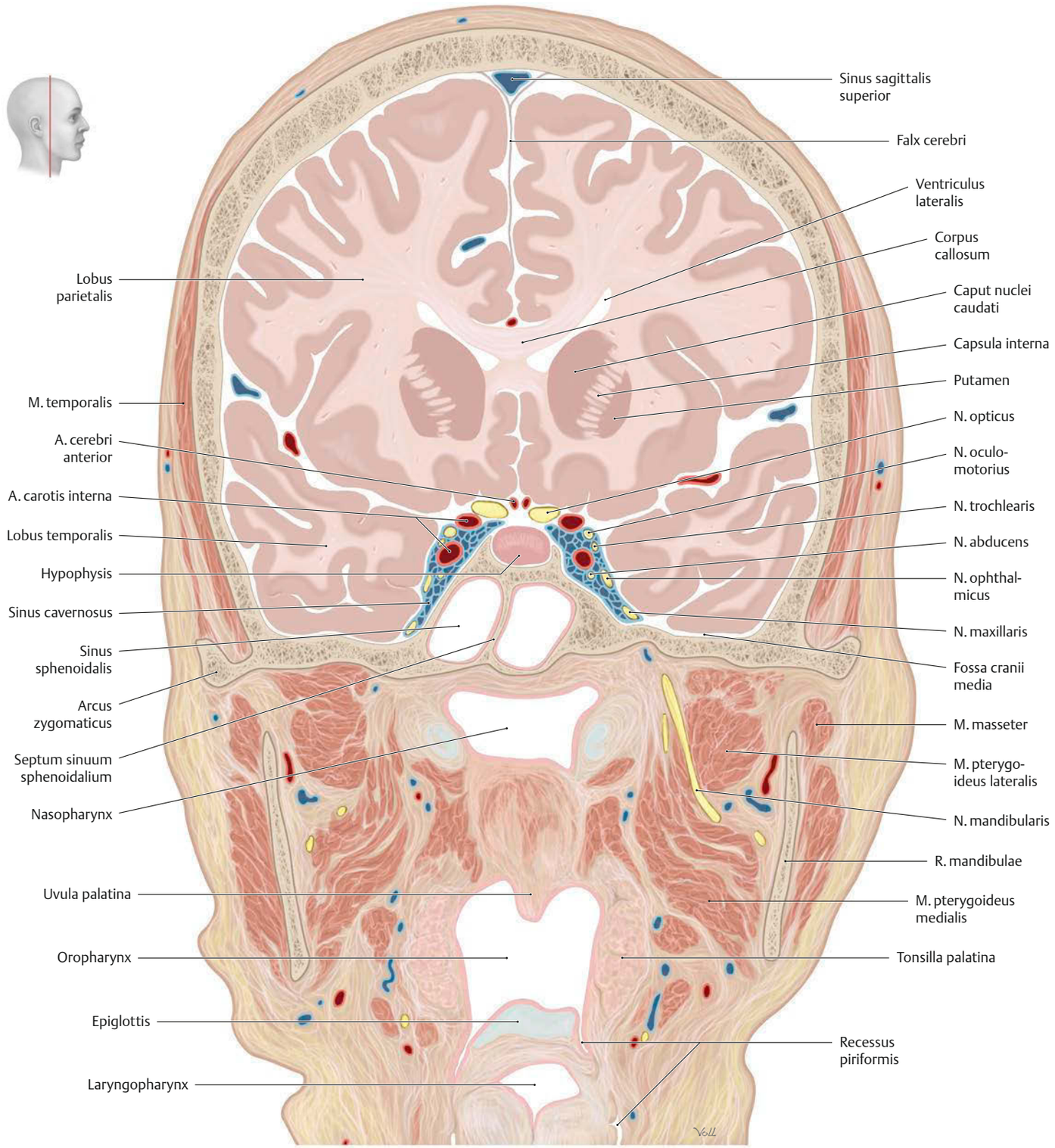
B Frontalschnitt in Höhe des Retrobulbärraums
Ansicht von ventral. Die Zunge (Lingua) ist im Vergleich zu **A** hier weiter dorsal angeschnitten und erscheint dadurch verbreitert. Neben der noch vorhandenen Mundbodenmuskulatur erkennt man jetzt zusätzlich die Kaumuskulatur, die dem Schädel seitlich anliegt. Im Bereich der Orbita ist der Retrobulbärraum mit seinem Fettkörper angeschnitten, die äußeren Augenmuskeln und der N. opticus sind zu erkennen. Durch die Fissura orbitalis inferior ist die Orbita nach lateral zur Fossa infratemporalis hin offen. Der Bulbus olfactorius ist beiderseits in der vorderen Schädelgrube angeschnitten, der Sinus sagittalis superior ist als Mittellinienstruktur erkennbar.

7.2 Frontalschnitte: Höhe Spitze der Orbitapyramide und Hypophyse





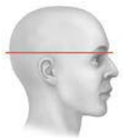
A Frontalschnitt in Höhe der Spitze der Orbitapyramide
Ansicht von ventral. Der weiche Gaumen (Palatum molle) ersetzt in dieser Schnittebene den harten Gaumen (Palatum durum), die Nasenscheidewand (Septum nasi) wird in dieser Ebene knöchern. Der Wangenfettpfropf (Corpus adiposum buccae) ist ebenfalls angeschnitten. Er gehört zum Baufett. Wenn er bei konsumierenden Erkrankungen (z. B. Krebs im Endstadium) abgebaut wird, ist anhand dieser Schnittebene gut erkennbar, warum die Wangen bei solchen Patienten eingefallen erscheinen. Die Unterbrechung des R. mandibulae auf der linken Seite des Bildes (im Unterschied zur rechten, wo dieser Ramus durchgehend ist) resultiert daraus, dass der Frontalschnitt etwas gekippt ist.

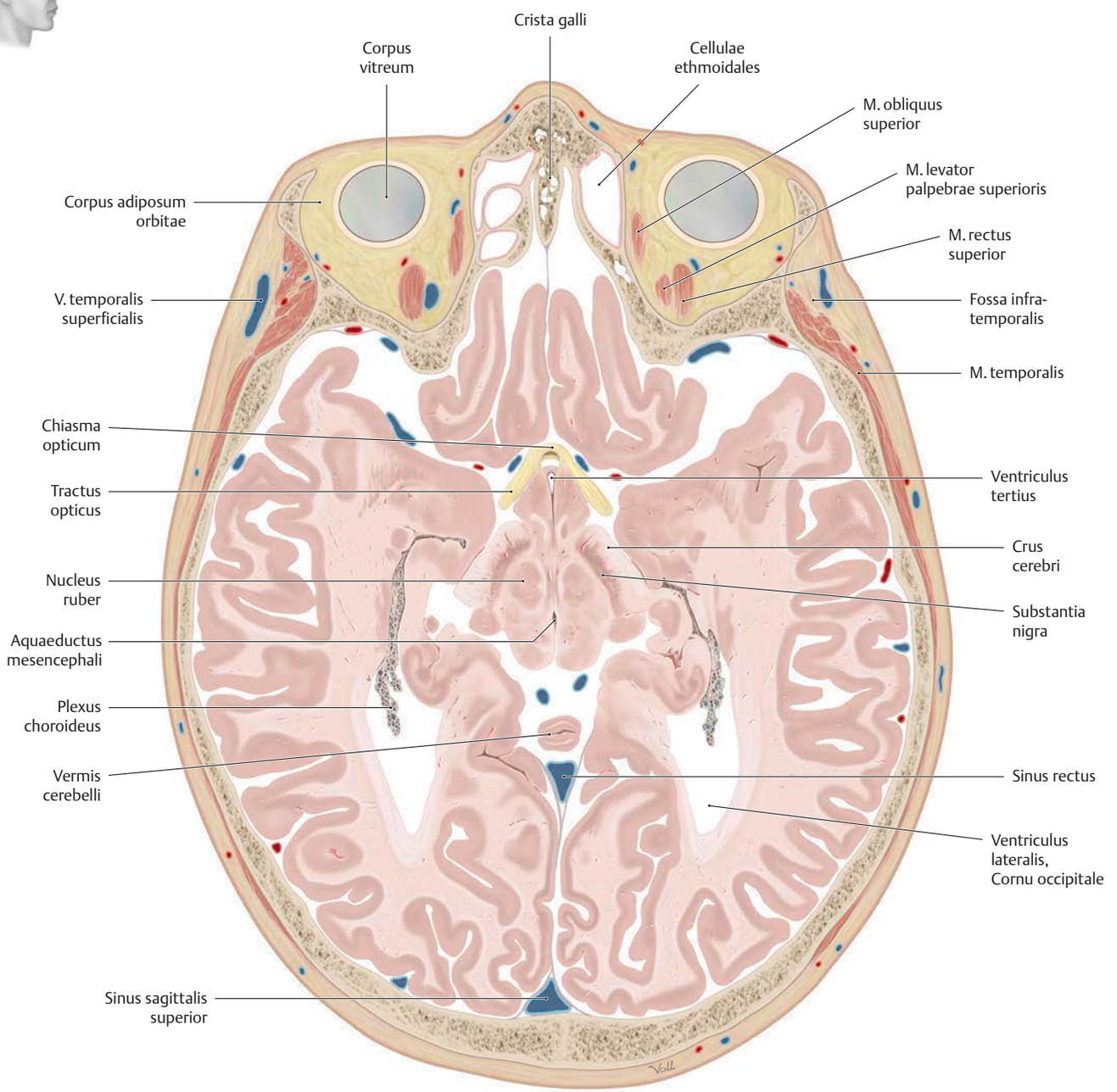


B Frontalschnitt in Höhe der Hypophyse

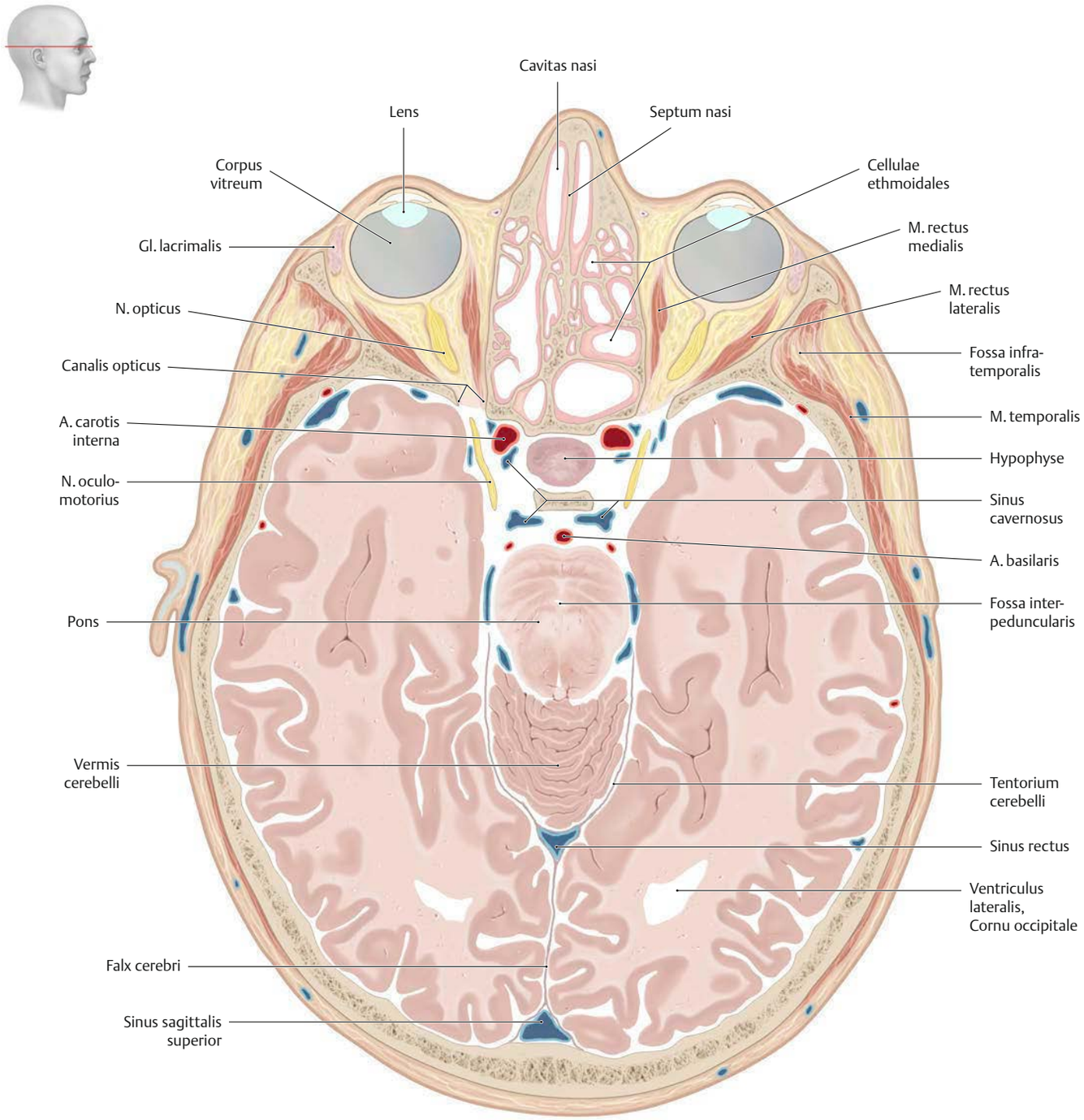
Ansicht von ventral. Im Bereich des Gesichtsschädels erkennt man jetzt Naso-, Oro- und Laryngopharynx. Die Epiglottis ist angeschnitten, unter ihr liegt der supraglottische Raum. Beiderseits ist der R. mandibulae angeschnitten, links erkennt man den auf einer längeren Strecke angeschnittenen N. mandibularis (V_3). Die Keilbeinhöhle (Sinus sphenoidalis) ist paarig und wird durch ein Septum getrennt. Auf ihrem Dach liegt die Hypophyse in der Fossa hypophysalis. Von der Schädelhöhle ist die mittlere Schädelgrube (Fossa cranii media) angeschnitten. Aufgrund der Ausbildung des Karotissiphons (= ein 180°-Bogen im Verlauf der Pars cavernosa der A. carotis interna) ist die A. carotis interna beiderseits zweimal getroffen. Man erkennt die Hirnnerven, die aus der mittleren Schädelgrube in die Orbita ziehen, im Bereich des Sinus cavernosus. An der Basis der Hirnsichel (Falx cerebri) ist der Sinus sagittalis superior im Querschnitt getroffen. Vom Gehirn sind hier Parietal- und Temporallappen angeschnitten; von den inneren Strukturen des Gehirns Nucleus caudatus, Putamen und Capsula interna sowie das Vorderhorn der beiden Seitenventrikel.

7.3 Horizontalschnitte: Höhe Orbitae, obere und mittlere „Etage“



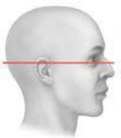


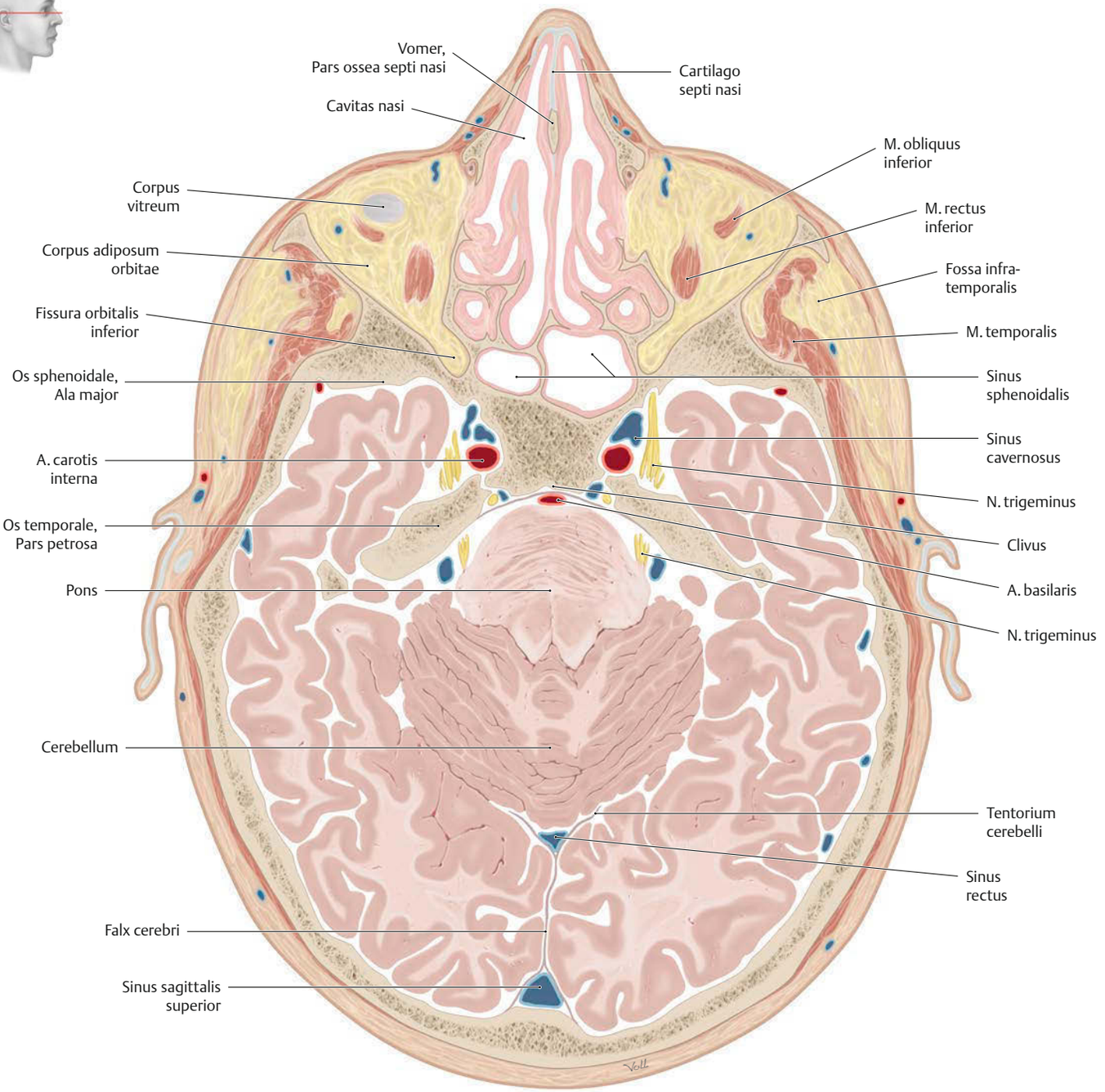
A Horizontalschnitt in Höhe der oberen Etage der Orbita
Ansicht von kaudal. Im am weitesten kranial gelegenen Schnitt dieser Serie sind die Muskeln in der oberen Etage der Orbita dargestellt (zu den Etagen der Orbita s. S. 176 f). Die Crista galli ist als knöcherne Struktur der vorderen Schädelgrube angeschnitten, lateral von ihr liegen Zellen des Sinus ethmoidalis. Das angeschnittene Chiasma opticum und der daran anschließende Tractus opticus sind Teile des Diencephalon, das den ebenfalls angeschnittenen III. Ventrikel umgibt. Im Mesencephalon erkennt man den Nucleus ruber und die Substantia nigra. In den Crura cerebri zieht die Pyramidenbahn nach kaudal. Das Hinterhorn der Seitenventrikel (Cornu occipitale) ist angeschnitten, vom Kleinhirn erkennt man den gerade angeschnittenen Wurm (Vermis cerebelli) in der Mittellinie.



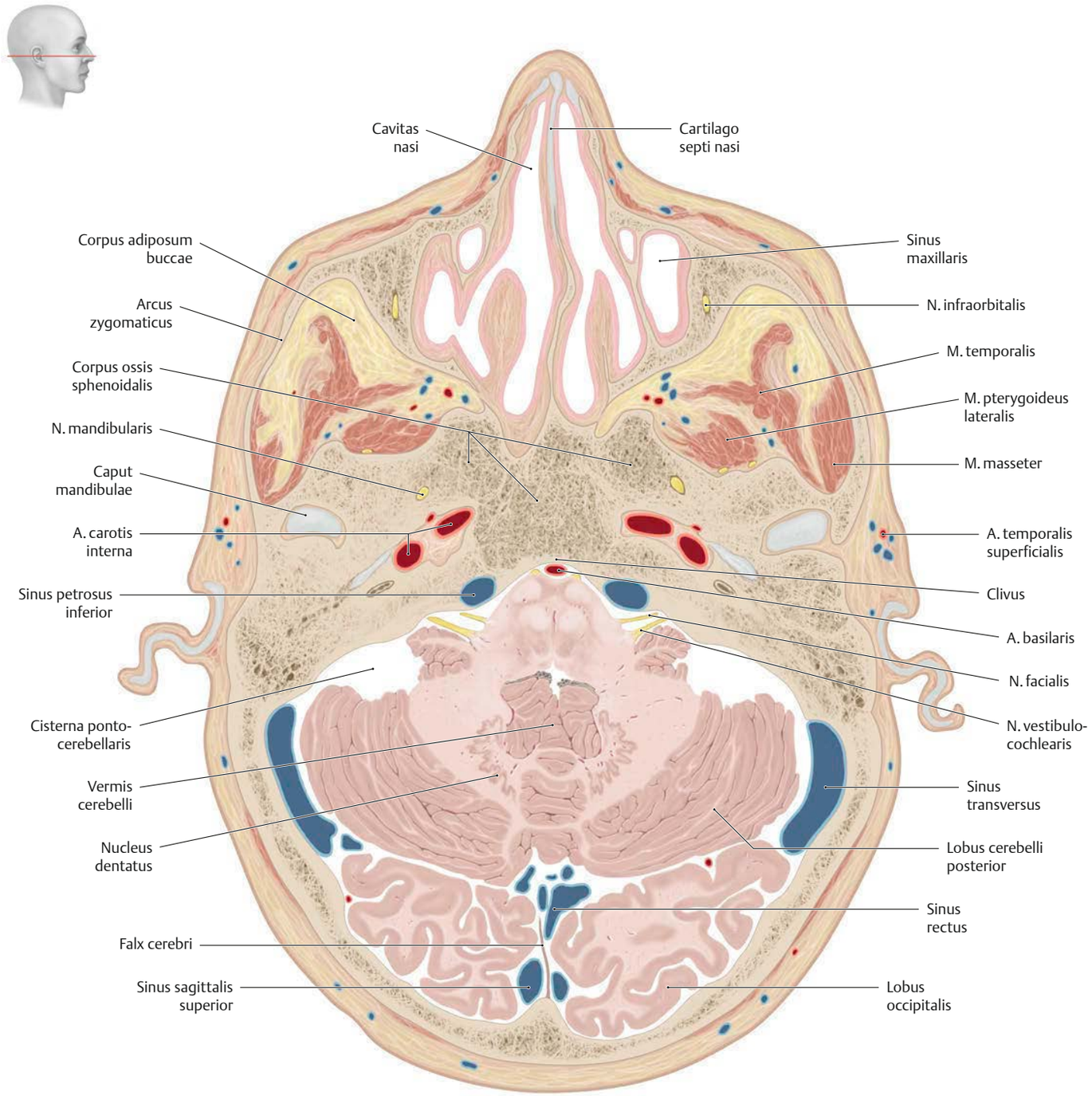
B Horizontalschnitt in Höhe des N. opticus und der Hypophyse
Ansicht von kaudal. Man erkennt den N. opticus kurz vor seinem Eintritt in den Canalis opticus; damit ist die mittlere Etage der Orbita angeschnitten. Da der Nerv den Kanal ausfüllt, kann er bei Wachstumsstörungen des Knochens an dieser Enge durch Druck geschädigt werden. Vom Auge ist die Linse angeschnitten. Man erkennt das Labyrinth der Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales). In der mittleren Schädelgrube ist die A. carotis interna angeschnitten, die in den Sinus cavernosus eingebettet liegt. Der beidseits getroffene N. oculomotorius verläuft in der lateralen Wand des Sinus cavernosus. Pons und Vermis cerebelli sind ebenfalls angeschnitten; Falx cerebri und Tentorium cerebelli sind als dünne Linien erkennbar. Dort, wo sie zusammenstoßen, wird der Sinus rectus von ihnen eingescheidet.

7.4 Horizontalschnitte: Höhe Sinus sphenoidalis und Conchae nasales mediae





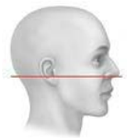
A Horizontalschnitt in Höhe des Sinus sphenoidalis
Ansicht von kaudal. An der lateralen Außenseite des Schädels ist die Fossa infratemporalis mit dem in ihr liegenden M. temporalis angeschnitten. Von der Orbita ist die untere Etage zu sehen, einen Anschnitt des Augapfels erkennt man nur noch links. Die Orbita verläuft nach dorsal in die Fissura orbitalis inferior aus. Man sieht, wie sich die beiden Seitenflügel (Alae majores) des Keilbeins (Os sphenoidale) nach frontal ausdehnen, die beiden „Felsenteile" (Partes petrosae) des Schläfenbeins (Os temporale) nach dorsal. Sie stellen die Grenze zwischen der mittleren und der hinteren Schädelgrube dar (s. S. 22 f). Der Clivus gehört der hinteren Schädelgrube an, ihm liegt die A. basilaris auf. Der pontine Ursprung des N. trigeminus und sein intrakranieller Verlauf sind gut zu erkennen.

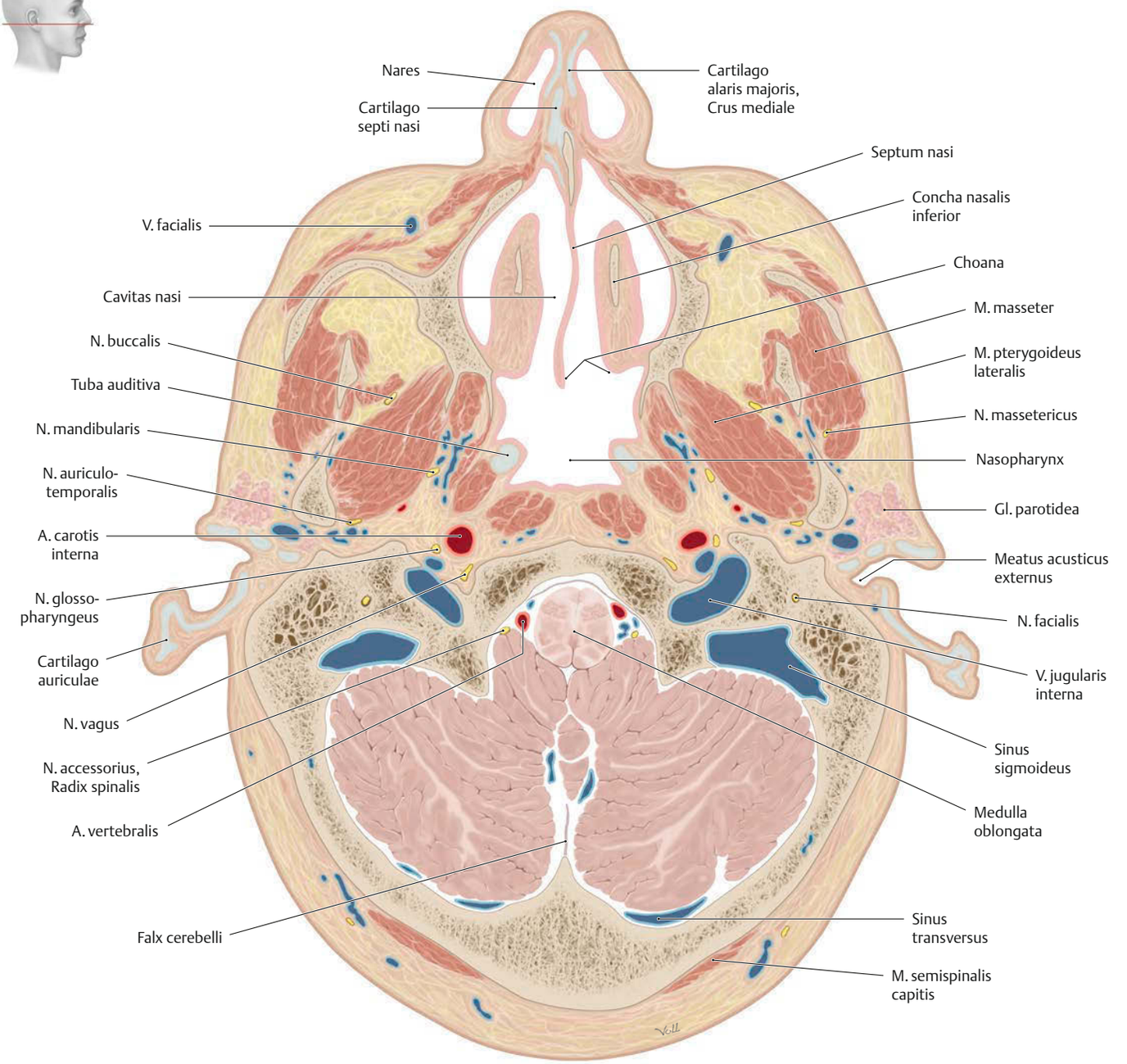


B Horizontalschnitt in Höhe der Concha nasalis media

Ansicht von kaudal. Unterhalb der Orbita ist der N. infraorbitalis im gleichnamigen Kanal angeschnitten, medial dieses Nervs das Dach der Kieferhöhle, der Sinus maxillaris. Der Jochbogen (Arcus zygomaticus) ist zur Gänze angeschnitten, die Kaumuskulatur (medial des Jochbogens) zum Teil (Mm. masseter, temporalis und pterygoideus lateralis), das Caput mandibulae in seinem kranialen Abschnitt. Der N. mandibularis ist im Querschnitt in seinem knöchernen Kanal, dem Foramen ovale, getroffen. Man erkennt gut, dass der Körper des Keilbeins das knöcherne Zentrum der Schädelbasis darstellt. Aus dem Hirnstamm treten der N. facialis und der N. vestibulocochlearis aus. Der Nucleus dentatus liegt in der weißen Substanz des Kleinhirns, der luftleer erscheinende Raum um den vorderen Abschnitt des Kleinhirns ist beim Lebenden mit Liquor gefüllt: Cisterna pontocerebellaris. Von den venösen Blutleitern des Gehirns imponiert der Sinus transversus.

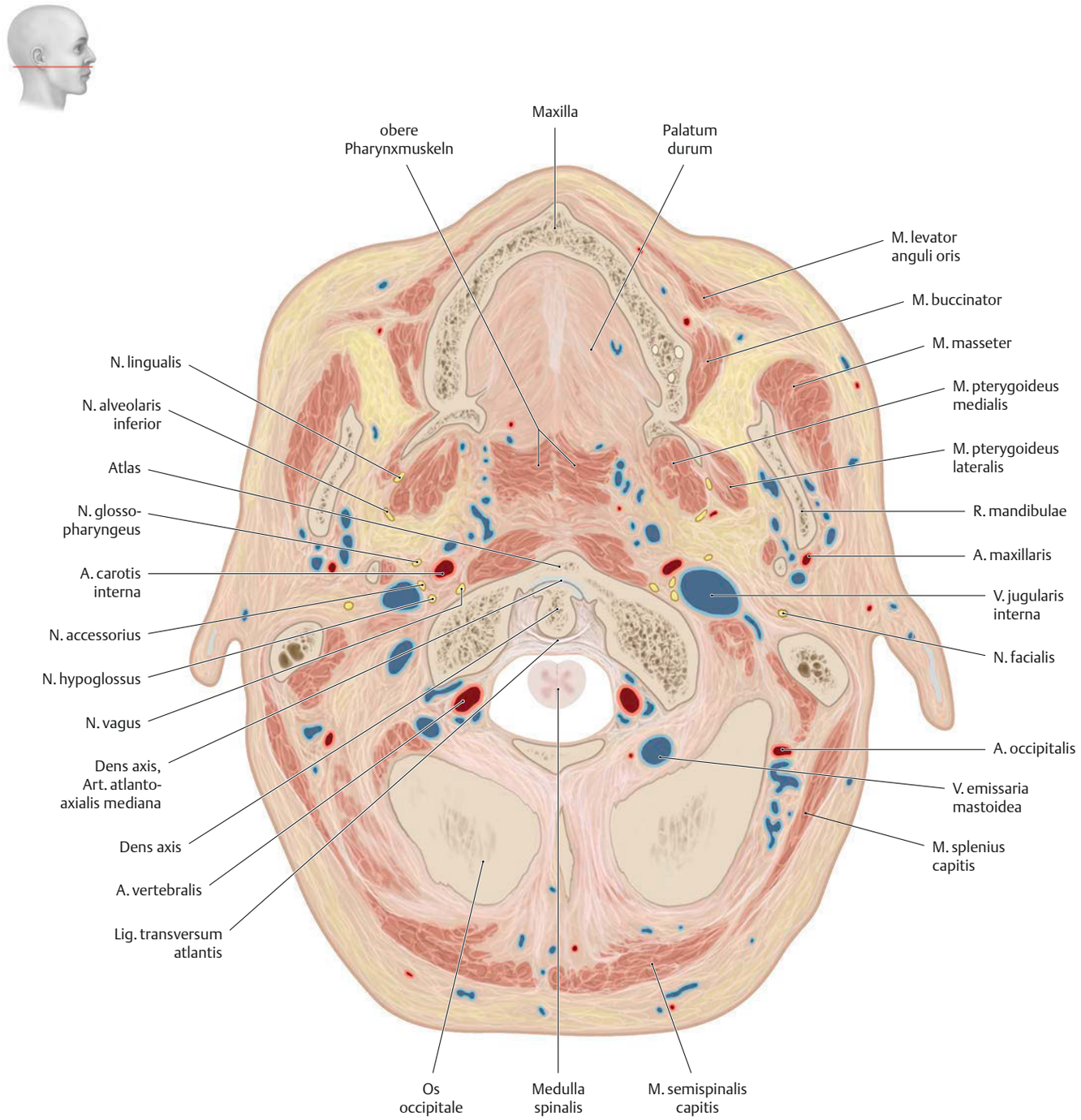
7.5 Horizontalschnitte: Höhe Nasopharynx und Articulatio atlantoaxialis mediana





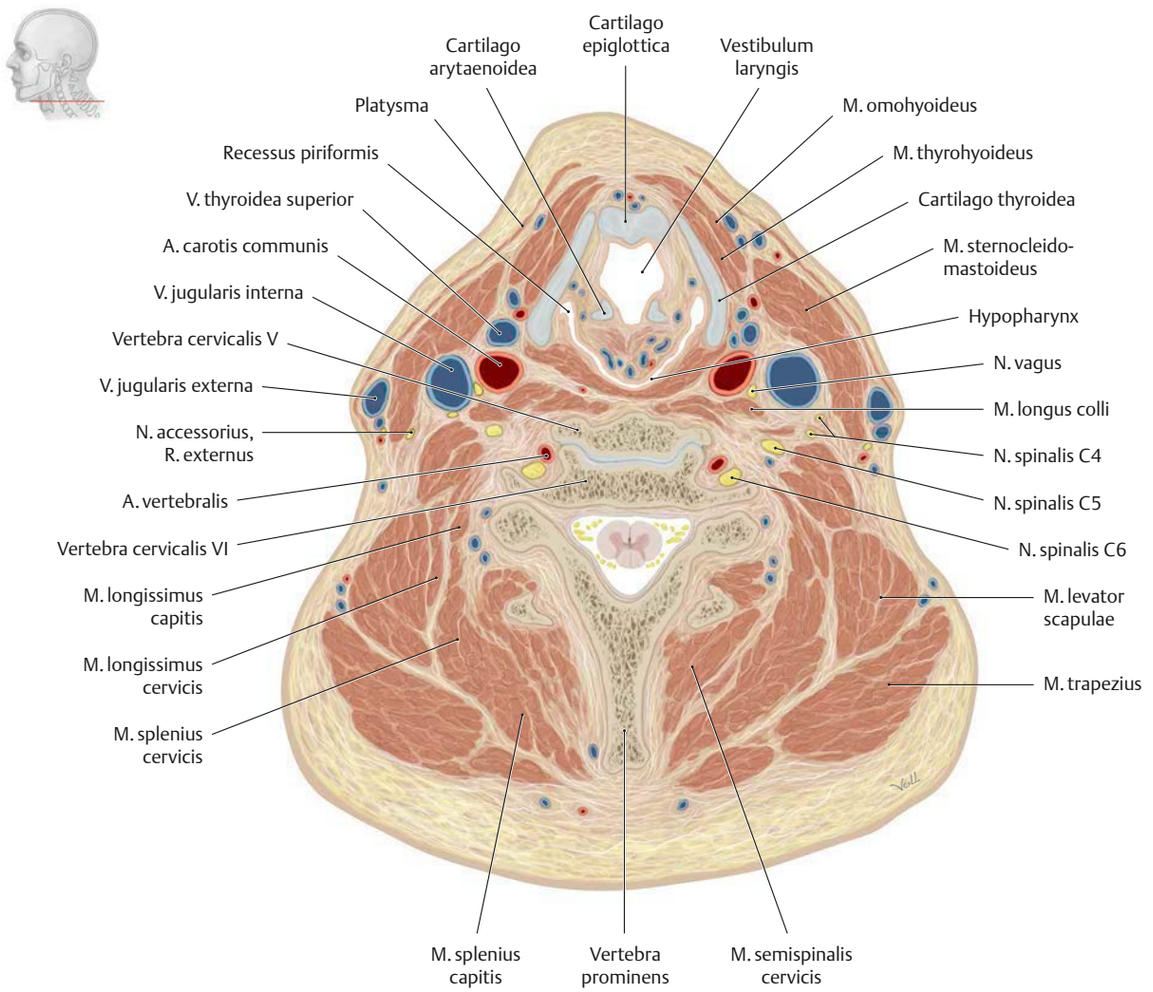
A Horizontalschnitt in Höhe des Nasopharynx
Ansicht von kaudal. Die äußere Nase mit Teilen des knorpeligen Nasenskeletts ist getroffen. Die Choanen stellen die Verbindung zwischen den Nasenhöhlen und dem Nasopharynx her. Knorpelige Anteile der Tuba auditiva ragen in den Nasopharynx vor. Die arteriellen Blutgefäße, die das Gehirn versorgen sind ebenfalls zu sehen: A. carotis interna und A. vertebralis.

Beachte die mit der A. carotis interna in der Vagina carotica verlaufende V. jugularis interna sowie den N. vagus.
Viele an der Schädelbasis austretenden Hirnnerven sind im Querschnitt getroffen, z. B. der im Canalis facialis verlaufende N. facialis. Ohrmuschel (Cartilago auricularis) und Teile des äußeren Gehörgangs (Meatus acusticus externus) sind ebenfalls angeschnitten.

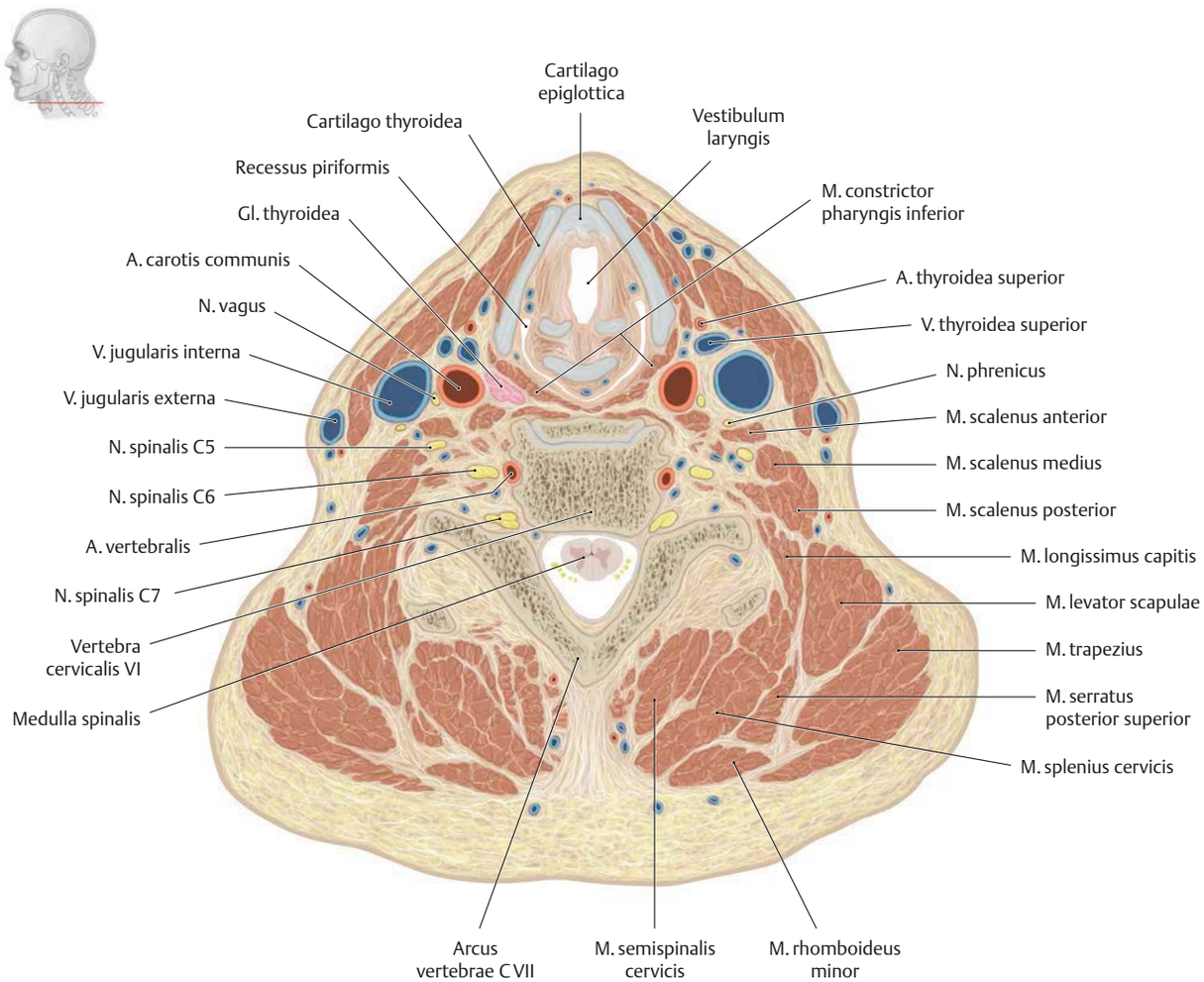


B Horizontalschnitt in Höhe des medianen Atlantoaxialgelenkes
Ansicht von kaudal. Der Schnitt in dieser Höhe geht durch die bindegewebige Platte, die straff auf dem Knochen des harten Gaumens (Palatum durum) aufliegt. Teile der oberen Pharynxmuskulatur sind nahe ihrem Ursprung angeschnitten. Die Leitungsbahnen der Vagina carotica sind hier ebenfalls gut zu sehen. Der Dens axis artikuliert in der Art. atlantoaxialis mediana mit der Fovea dentis an der Hinterfläche des vorderen Atlasbogens, das dieses Gelenk mitsichernde Lig. transversum atlantis ist ebenfalls angeschnitten. Die A. vertebralis und die sie begleitenden Venen sind ebenso im Querschnitt getroffen wie das Rückenmark. Okzipital ist der kraniale Teil der Nackenmuskulatur angeschnitten.

7.6 Horizontalschnitte: Höhe Wirbelkörper C V–VI



A Horizontalschnitt durch den Hals in Höhe des Wirbelkörpers C V
Ansicht von kaudal. Aufgrund des gekrümmten Halses (Halslordose) wird der nach dorsal lang ausgezogene Dornfortsatz von C VII (Vertebra prominens!) ebenfalls sichtbar. Besonders gut erkennbar ist hier die Dreiecksform der Aryknorpel im Larynxquerschnitt sowie das Vestibulum laryngis. Medial des M. sternocleidomastoideus ist der N. accessorius (R. externus) angeschnitten.

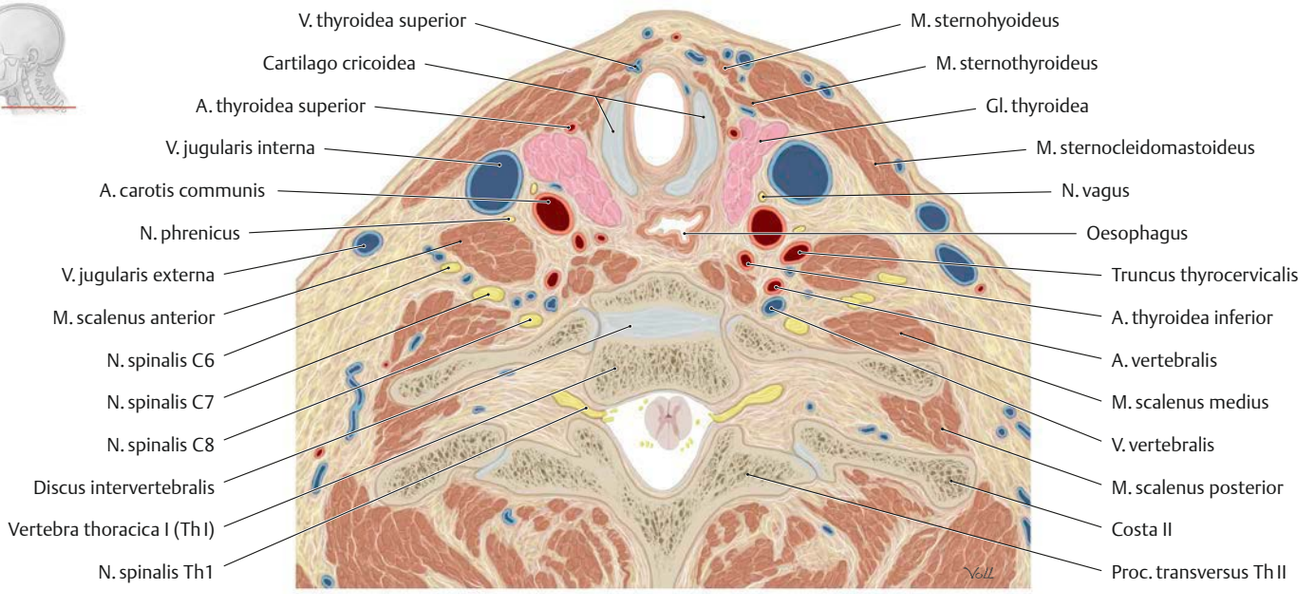


B Horizontalschnitt durch den Hals in Höhe des Vestibulum laryngis des Kehlkopfes, die Epiglottis wird sichtbar (Wirbelkörper C VI)

Ansicht von kaudal. Neben dem Kehlkopf wird der Recessus piriformis sichtbar, neben dem Wirbelkörper die dort entlang ziehende A. vertebralis. Der N. vagus liegt in einem dorsalen Winkel zwischen A. carotis communis und V. jugularis interna. Auf dem M. scalenus anterior ist der N. phrenicus angeschnitten.

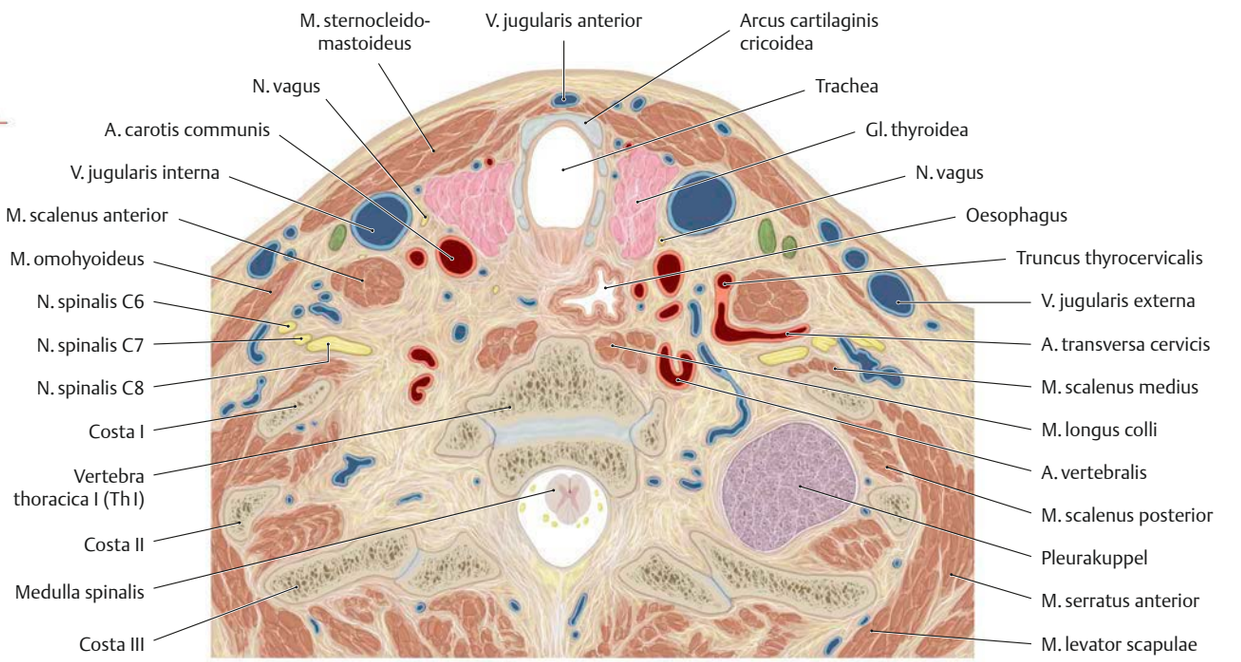
7.7 Horizontalschnitte: Höhe Übergang Th II/I zu C VI/VII





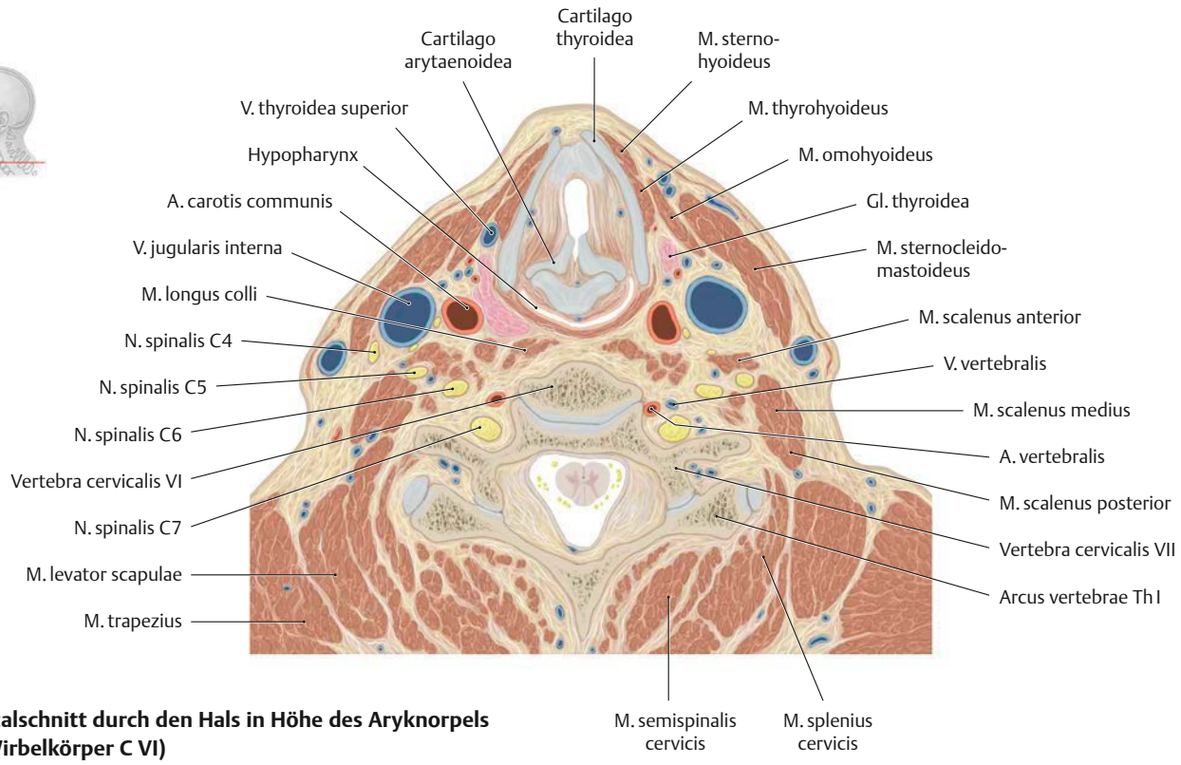
A Horizontalschnitt durch den Hals in Höhe des unteren Drittels des Schildknorpels (Höhe Übergang Wirbelkörper Th I/C VII)
Ansicht von kaudal (Serie nach Tiedemann). In dieser Schnittebene sind die Mm. scalenus anterior und medius und die zwischen ihnen liegende Skalenuslücke gut zu erkennen, in der die Wurzeln C6 – 8 des Plexus brachialis ziehen. *Beachte* die Leitungsbahnen in der Vagina carotica (A. carotis communis, V. jugularis interna, N. vagus).





B Horizontalschnitt durch den Hals in Höhe der gerade noch angeschnittenen linken Pleurakuppel (Höhe Wirbelkörper Th II/I)
Ansicht von kaudal. Aufgrund der Krümmung des Halses im Präparat findet man den Discus intervertebralis zwischen Th1 und Th2 mit angeschnitten.
Man erkennt die Anschnitte der Nervenwurzeln C6 – 8 des Plexus brachialis sowie den Anschnitt der Pleurakuppel rechts. Diese hier sichtbare, enge topografische Beziehung zwischen der Lungenspitze und dem Plexus brachialis verdeutlicht, warum bei einem Tumor der Lungenspitze die Wurzeln des Plexus brachialis durch das Tumorwachstum beschädigt werden können.
Beachte ferner die Schilddrüse und ihre enge topografische Beziehung zur Trachea und zum Gefäß-Nerven-Strang in der Vagina carotica (als dünne bindegewebige Platte nicht darstellbar).

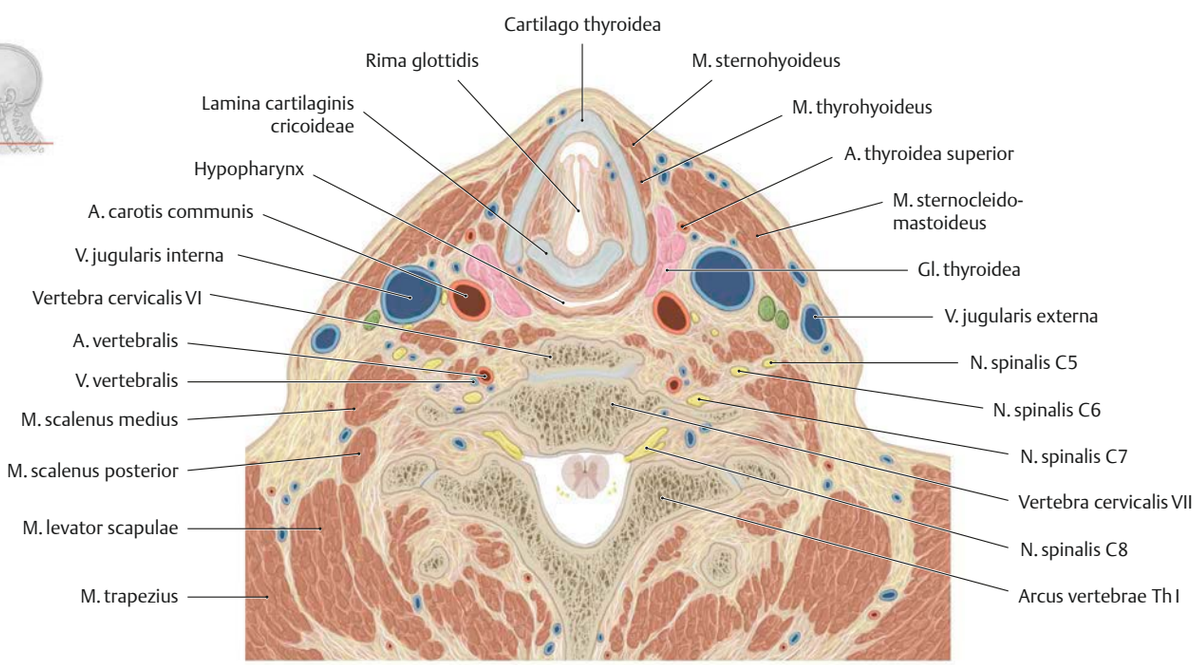




C Horizontalschnitt durch den Hals in Höhe des Aryknorpels (Höhe Wirbelkörper C VI)

Ansicht von kaudal. Im Kehlkopf ist in dieser Höhe die Basis der Stellknorpel angeschnitten; hinter dem Kehlkopf liegt als schmaler querer Spalt der Hypopharynx.

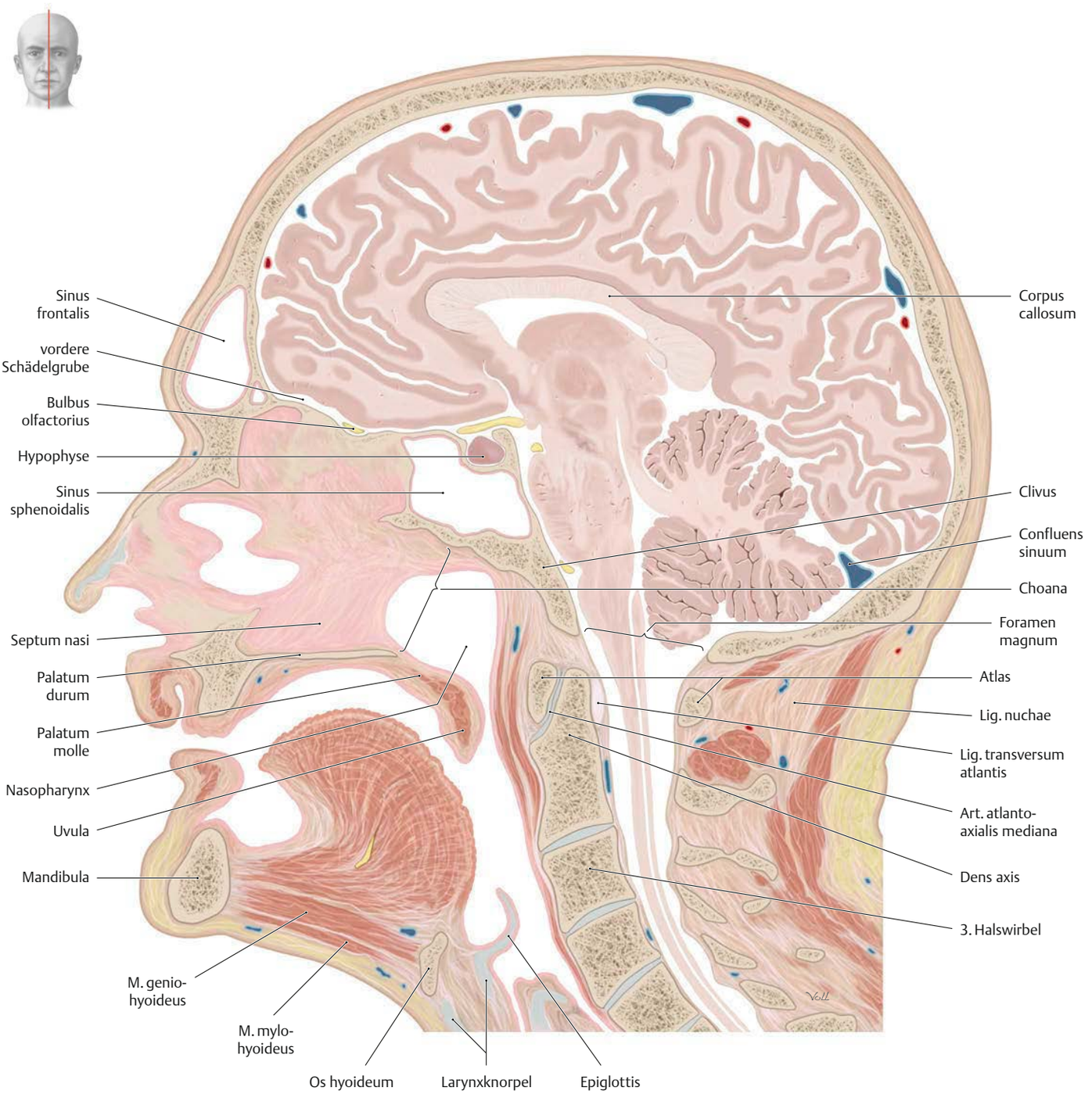




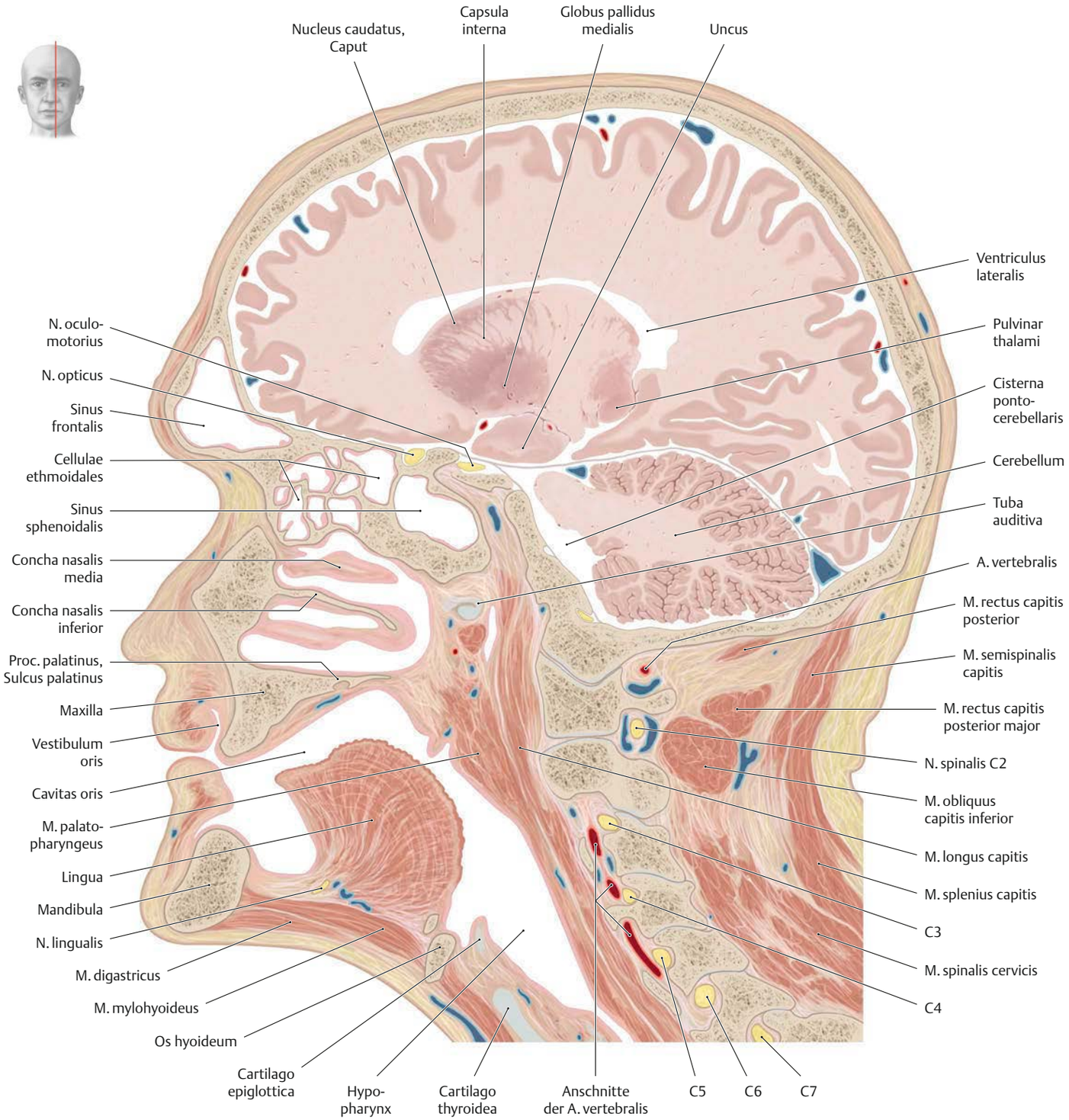
D Horizontalschnitt durch den Hals in Höhe des M. vocalis des Kehlkopfes (Höhe Übergang Wirbelkörper C VII/VI)

Ansicht von kaudal. Der Kehlkopf ist in dieser Abbildung in Höhe der Stimmlippen getroffen, die Schilddrüse hat im Vergleich zu den vorigen Schnitten an Mächtigkeit verloren.

7.8 Sagittalschnitte: Mediansagittalschnitt mit Nasenseptum sowie in Höhe der medialen Orbitawand

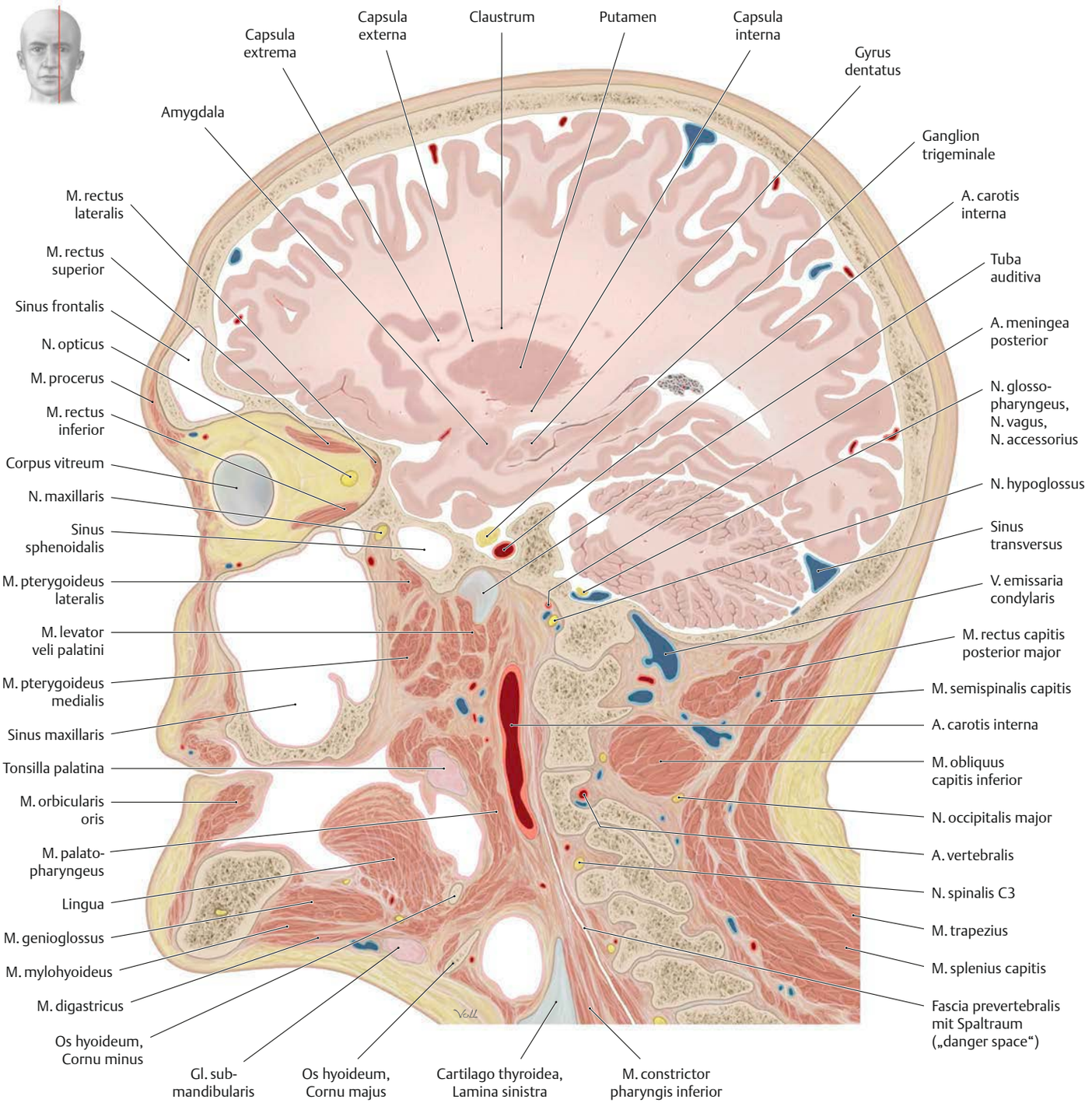


A Mediansagittalschnitt mit Anschnitt des Nasenseptums
Anicht von links. In dieser Abbildung werden die Mittellinienstrukturen besonders gut sichtbar und man kann die angeschnittenen anatomischen Strukturen grob dem Gesichts- oder Hirnschädel zuordnen. Die unterste Etage des **Gesichtsschädels** bildet die Mundbodenmuskulatur zwischen Os hyoideum und Mandibula mit der sie bedeckenden Haut. Der ebenfalls angeschnittene Kehldeckel (Epiglottis) mit dem Kehlkopf (Larynx) darunter zählen bereits zu den Halseingeweiden. Harter und weicher Gaumen mit Uvula bilden die Grenze der Mundhöhle zur Nasenhöhle. Hinter der Uvula liegt der Oropharynx. Die Nasenhöhle wird durch das hier dargestellte, mittig liegende Septum in zwei Haupthöhlen unterteilt, die im Bereich der Choanen in den Nasopharynx übergehen (frontal oberhalb des Septum angeschnitten). Dorsal des Sinus frontalis liegt die vordere Schädelgrube, die ein Teil des **Hirnschädels** ist. Die mediale Oberfläche des Gehirns ist angeschnitten, die Falx cerebri wurde entfernt. Man erkennt die Schnittkante des Corpus callosum, den Bulbus olfactorius und die Hypophyse.
Beachte das mediane atlantoaxiale Gelenk (wichtig bei der Beurteilung der Gelenkstabilität nach Traumen im Bereich der Halswirbelsäule).

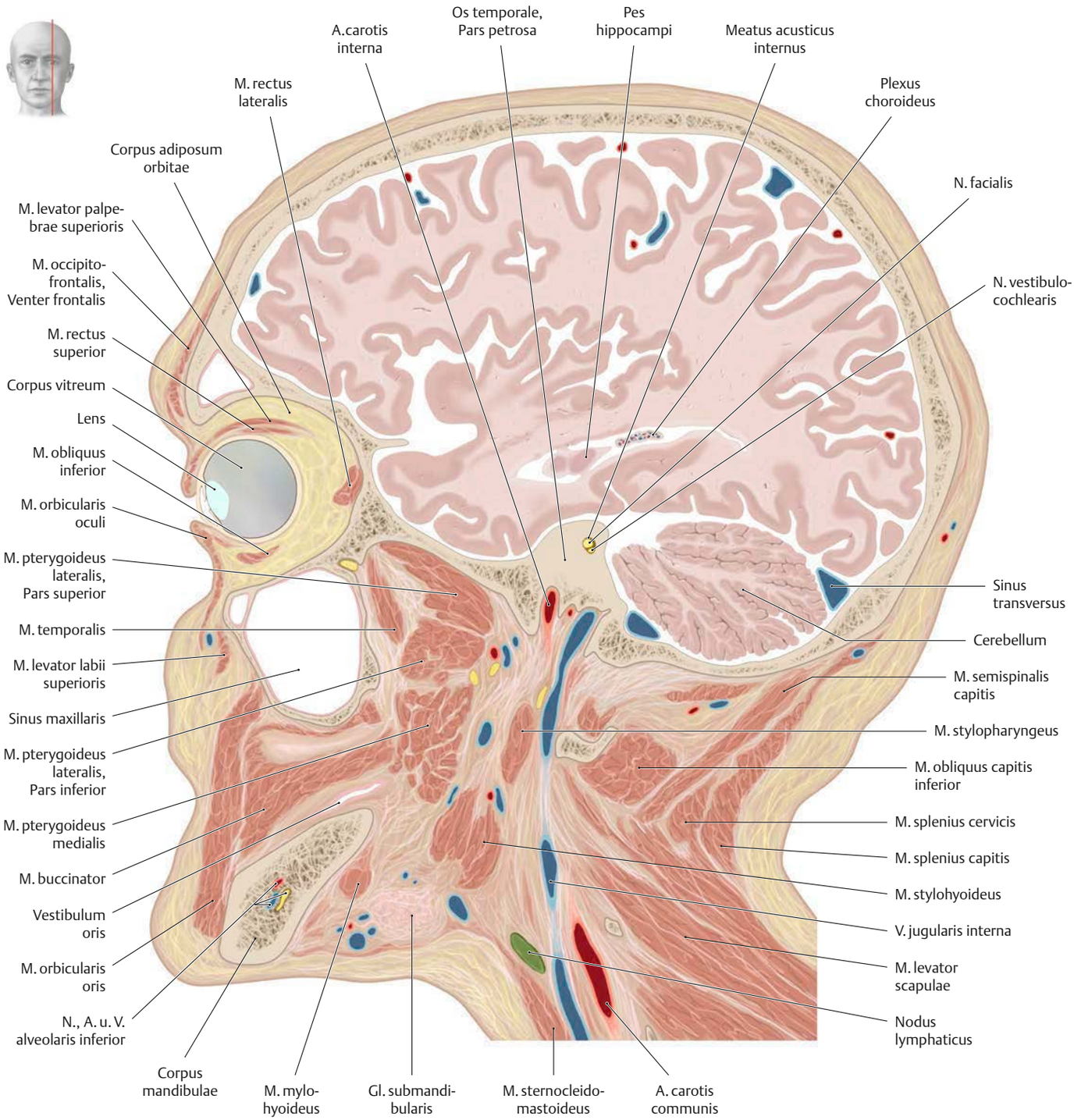


B Sagittalschnitt in Höhe der medialen Orbitawand
Ansicht von links. Im Bereich der Nasenhöhle sind die untere und mittlere Muschel (Concha nasalis inferior und medius) angeschnitten. Oberhalb letzterer befinden sich die Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales). Vom Nasopharynyx ist bis auf einen kleinen Anschnitt des Lumens nur die laterale Wand getroffen, in der der knorpelige Anteil der Tuba auditiva angeschnitten ist. Der Sinus sphenoidalis ist ebenfalls noch zu sehen. Im Bereich der Halswirbelsäule ist die A. vertebralis mehrfach in ihrem Verlauf angeschnitten, der seitliche Austritt der Spinalnerven aus den Foramina intervertebralia ist gut sichtbar.

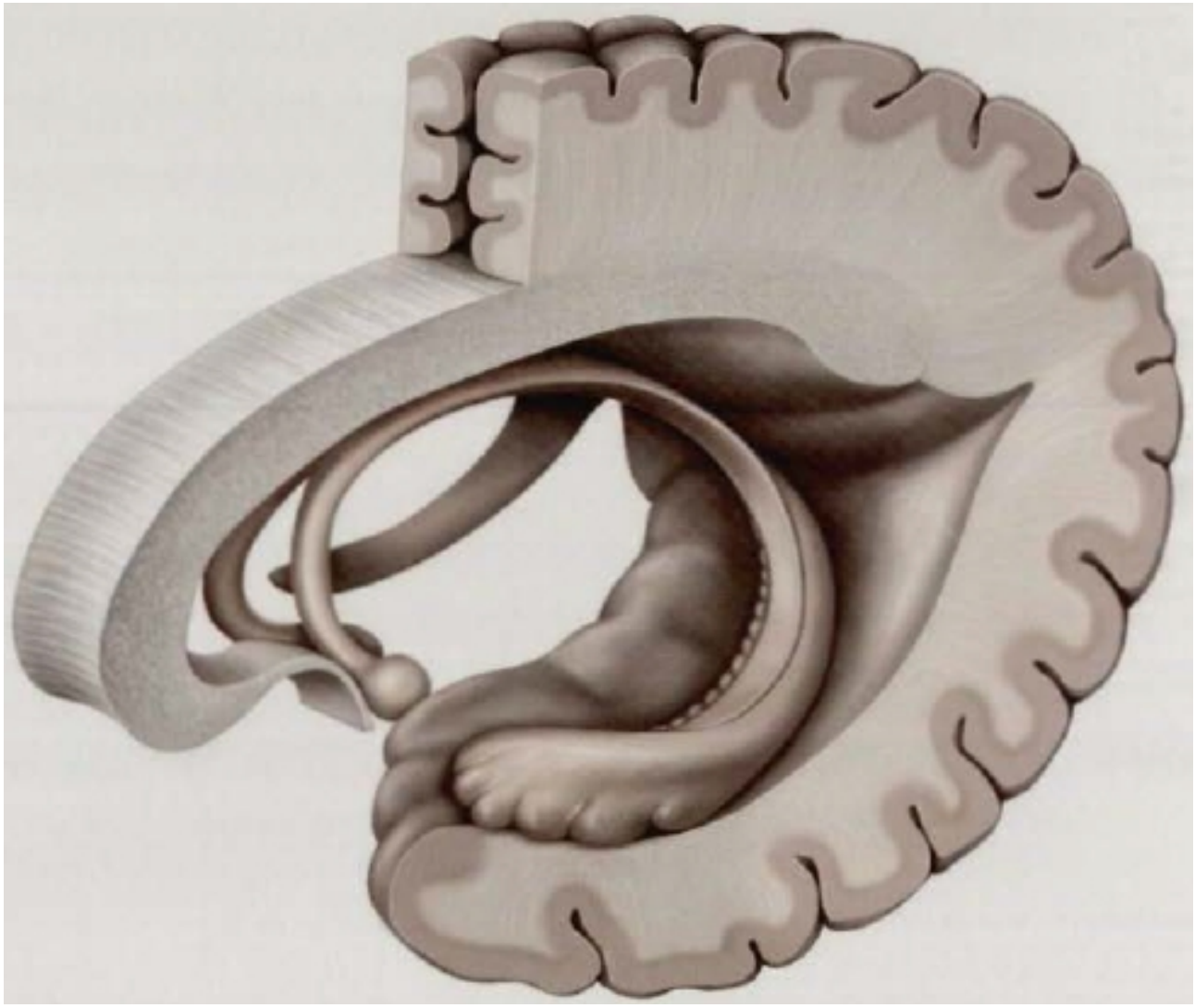
7.9 Sagittalschnitte: Höhe inneres Drittel und Mitte der Orbita



A Sagittalschnitt durch das innere Drittel der Orbita
Ansicht von links. Von den Nasennebenhöhlen imponieren Sinus maxillaris und frontalis, eine Cellula ethmoidalis sowie der Sinus sphenoidalis sind nur noch peripher angeschnitten. Die A. carotis interna und die Gl. submandibularis sind von medial angeschnitten. Um den knorpeligen Abschnitt der Tuba auditiva gruppieren sich Schlund- und Kaumuskeln. In der Orbita sind Bulbus oculi und Sehnerv peripher angeschnitten, M. rectus superior und inferior sind auf einem längeren Abschnitt längs getroffen. Im Gehirn sind Capsula externa und interna ebenso wie das sie trennende Putamen angeschnitten, außerdem Amygdala und Hippocampus nahe der Hirnbasis. Unter dem Großhirn sieht man einen Anschnitt des Ganglion trigeminale.



B Sagittalschnitt etwa durch die Mitte der Orbita
Ansicht von links. Aufgrund des schrägen Anschnitts dominiert im Bereich des Mundbodens die Mandibula, das Vestibulum oris ist als kleiner Spaltraum getroffen. Die Wangen- und Kaumuskulatur tritt in dieser Schnittebene hervor. Ein großer Teil der Orbita wird durch den längsgeschnittenen Augapfel dominiert, neben einigen Anschnitten der äußeren Augenmuskulatur wird der Rest der Orbita durch einen Fettkörper ausgefüllt. Neben der A. carotis interna wird nun auch die V. jugularis interna sichtbar. Bis auf den Pes hippocampi sind sonst nur noch Mark und Rinde im Bereich des Großhirns anzutreffen. Der N. facialis und der N. vestibulocochlearis im Meatus acusticus internus werden sichtbar.

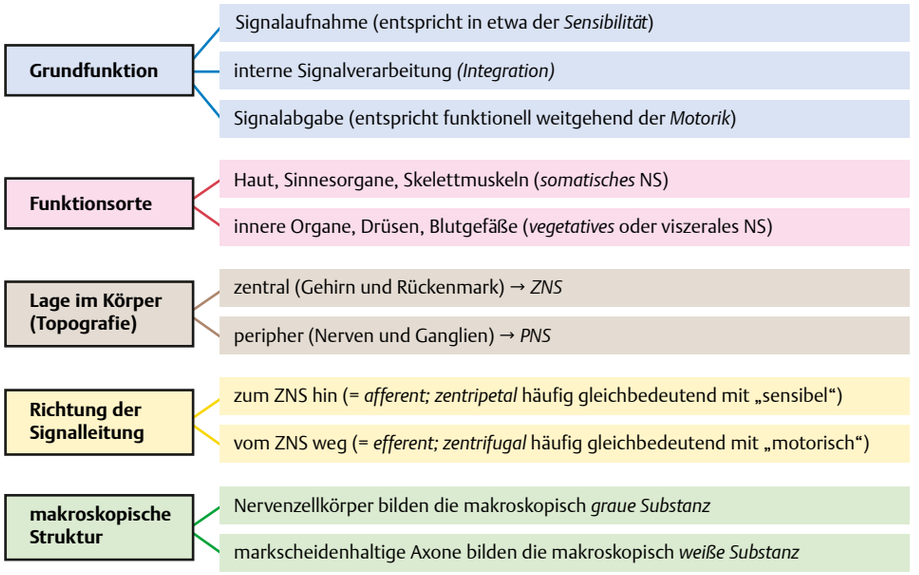


Neuroanatomie

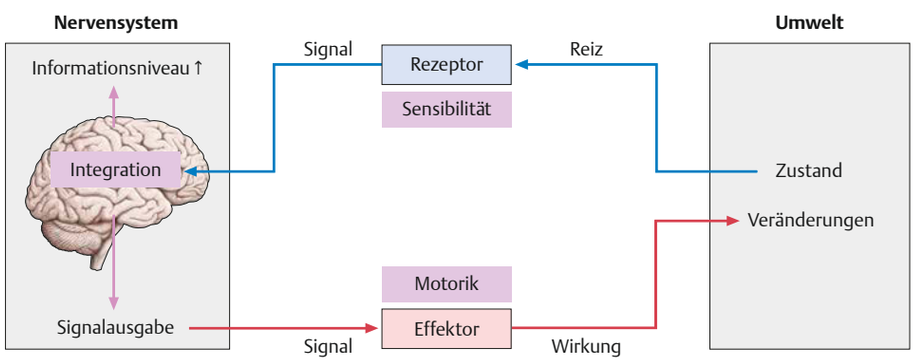
1 Einführung in die Neuroanatomie 266
2 Histologie von Nerven- und Gliazellen 292
3 Vegetatives Nervensystem 296
4 Hirn- und Rückenmarkshäute 306
5 Liquorräume 312
6 Telencephalon (Groß- oder Endhirn) 320
7 Diencephalon (Zwischenhirn) 338
8 Truncus encephali (Hirnstamm) 354
9 Cerebellum (Kleinhirn) 366
10 Blutgefäße des Gehirns 374
11 Rückenmark (Medulla spinalis) und seine Blutgefäße 394
12 Das Gehirn im Schnittbild 420
13 Funktionelle Systeme und klinische Bezüge 444

1.1 Einteilung und Grundfunktionen des Nervensystems

Einführung
Das menschliche Nervensystem ist das komplexeste Organsystem, das bisher in der Evolution irdischen Lebens aufgetaucht ist. Seine Aufgabe besteht darin, Zustände seiner Umwelt zu erfassen, deren Veränderungen zu erkennen und darauf mit Hilfe anderer Organsysteme sinnvoll zu reagieren. „Sinnvoll" bedeutet hierbei, das Überleben dieses Nervensystems einschließlich seines „Trägerorganismus" sicher zu stellen. Das Nervensystem ist zugleich das einzige uns bekannte Organsystem, das über sich selbst reflektieren und bewusst mit „Seinesgleichen" Kontakt aufnehmen kann. Diese Komplexität und der Aspekt der Selbsterkenntnis machen das Nervensystem zu einem besonders schwierigen Gegenstand der Betrachtung, begründen aber auch seine Faszination. So bedeutet alleine das Lesen dieser Zeilen, dass das Nervensystem eines Menschen – speziell sein Gehirn – beginnt, sich Kenntnisse über sich selbst zu verschaffen.
Das Nervensystem des Menschen verfügt im Vergleich zu dem von Tieren in besonders hohem Maße über Fähigkeiten wie Lernen, Erinnern, gedankliche Projektion in die Zukunft und (Selbst)erkenntnis sowie – mittels einer komplexen Sprache – Kommunikation mit dem Nervensystem eines anderen Individuums. Erkrankungen des Nervensystems können das Leben der betroffenen Patienten in höchstem Maße beeinträchtigen. Profunde Kenntnisse von Struktur und Funktion des Nervensystems sind daher die Grundlage für das Vermeiden oder Behandeln seiner Erkrankungen und somit Grundbestandteil ärztlichen Handelns.



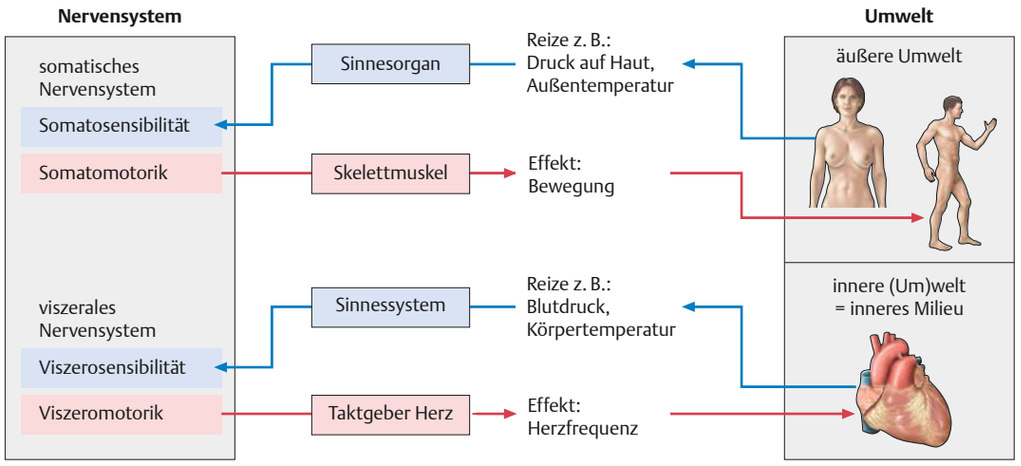
A Gliederung des Nervensystems: Übersicht
Das Nervensystem lässt sich nach völlig unterschiedlichen Kriterien einteilen. Gerade diese Vielfalt an Einteilungsmöglichkeiten macht ein Gesamtverständnis des Nervensystems zunächst scheinbar schwierig. Zudem ist jede Einteilung künstlich und berücksichtigt jeweils nur spezifische Aspekte. Zahllose Zusammenhänge im Nervensystem lassen sich aber durch die Kenntnis dieser Einteilung sehr viel besser verstehen und ableiten, ohne dass man sie im Einzelnen auswendig lernen müsste. An dieser Stelle wird darum die Einteilung des Nervensystems unter fünf verschiedenen Aspekten dargestellt, jeder einzelne Aspekt wird in den darauf folgenden Abbildungen erläutert.



B Grundfunktionen des Nervensystems
Das Nervensystem ist – vereinfachend gesprochen – ein *Informationsverarbeitungssystem*. Es kommuniziert pausenlos mit seiner Umwelt. Die zentralen Begriffe dabei sind:

- **Sensibilität** (auch *Sensorik* oder *Sinneswahrnehmung*): Das Nervensystem erhält pausenlos Informationen über den Zustand seiner Umwelt, im Allgemeinen über physikalische oder chemische Reize. Diese Informationen
  - erfasst es mit speziellen Reizempfängern (Rezeptoren),
  - wandelt sie in ein (meist elektrisches) Signal um und
  - leitet sie als solche im Nervensystem.
- **Integration:** Die als elektrisches Signal codierte Information
  - verarbeitet das Nervensystem innerhalb spezieller, extrem komplexer Strukturen in sehr differenzierter Weise, ebenfalls meist auf elektrischem Wege und
  - leitet sie an sog. Effektoren.
- **Motorik:** Die Effektoren können jetzt eine Wirkung in der Umwelt, einen *Effekt*, erzielen.

Beachte: Die Begriffe Sensibilität, Integration und Motorik eignen sich, um die Grundfunktionen des ZNS im Wesentlichen zu beschreiben. Dies bedeutet nicht, dass jeder Effekt, den das ZNS hervorruft, zwangsläufig der Motorik zuzuordnen ist oder Integration immer gleichbedeutend mit „Signalabgabe an einen Effektor" ist. Auch die Erhöhung des Informationsniveaus innerhalb des Nervensystems (z. B. die „interne" Bildung von Gedächtnisinhalten, das „Formen von Gedanken") ist ein integrativer Vorgang, und auch die Freisetzung von Hormonen ist ein Effekt, den das ZNS hervorrufen kann.
Die Vielzahl und Komplexität spezieller Reize in der Umwelt haben dazu geführt, dass Rezeptoren, die auf die Erfassung bestimmter Reize spezialisiert sind, in funktionellen Gruppen, den *Sinnesorganen*, zusammengefasst werden.



C Funktionelle Einteilung des Nervensystems

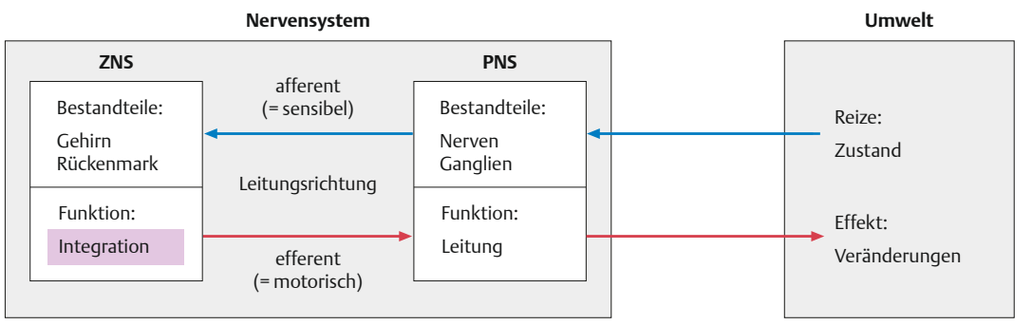
Für sehr viele medizinische Aspekte hat sich die Einteilung entweder nach der Funktion *(funktionelle Einteilung)* oder nach der Lage (*topografische Einteilung*, s. **D**) spezieller Strukturen des Nervensystems bewährt. Beide Einteilungen berücksichtigen aber jeweils nur spezielle Aspekte: Überschneidungen der Einteilungen sind daher die Regel, nicht die Ausnahme. Die Unterteilung ist also in einem gewissen Maße künstlich. Greift man die in **B** genannten Begriffe Sensibilität und Motorik wieder auf, ist es sinnvoll, auch den Begriff *„Umwelt"* zu präzisieren. Das ist:

- die „äußere Umwelt", also die Umgebung des gesamten Organismus und
- das sog. „innere Milieu", das Körperinnere, mit dem das Nervensystem ebenfalls kommuniziert und dessen Zustand innerhalb enger Grenzen permanent in einem biologischen Gleichgewicht gehalten werden muss.

Der physikalische Kontakt zur *äußeren Umwelt* erfolgt für die *Sinnes*wahrnehmung (Sensibilität) über die Haut bzw. die *Sinnes*organe, die physikalische Wirkung auf die Umwelt typischerweise über das Muskelsystem des Bewegungsapparates des Körpers (Körper = *Soma*). Dieser gesamte funktionelle Aspekt wird durch das sog. *somatische* Nervensystem repräsentiert. Die Regulation des *„inneren Milieus"* geschieht über Organe *(Viscera)*, mit denen das Nervensystem im Informationsaustausch steht. Der Anteil des Nervensystems, der im direkten Kontakt mit den Organen steht, wird als *viszerales* Nervensystem bezeichnet. Kombiniert man nun Funktion (Sensibilität, Motorik) und „Wirkort" (somatisch, viszeral) miteinander, so ergeben sich

- für die Wechselwirkung mit der äußeren Umwelt die Begriffe **Somatomotorik** (s. S. 286) bzw. **Somatosensibilität** (s. S. 284),
- für die Wechselwirkung mit dem inneren Milieu (= der „inneren Umwelt") die Begriffe **Viszeromotorik** bzw. **Viszerosensibilität**.

Beachte: Auch für die Viszerosensibilität gibt es natürlich Rezeptoren; diese werden aber normalerweise nicht in eigenen Sinnesorganen zusammengefasst. Für das viszerale Nervensystem sind auch die Begriffe „autonomes" oder „vegetatives" Nervensystem gebräuchlich (s. S. 296).



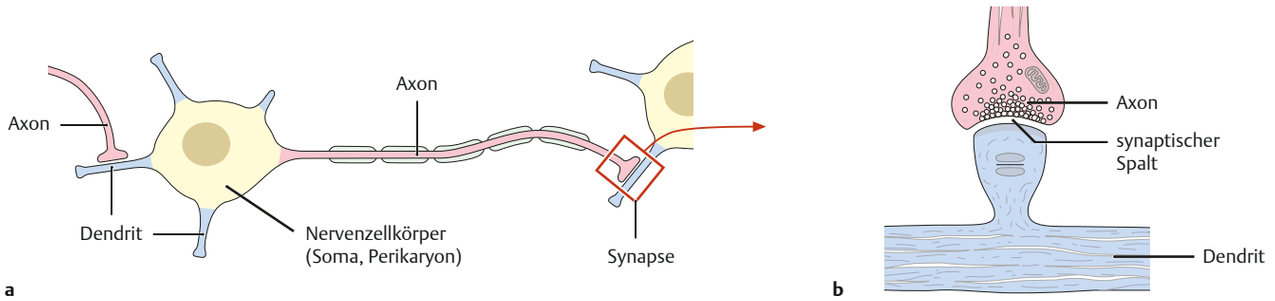
D Topografische Einteilung und Signalleitung

Das gesamte Nervensystem lässt sich – völlig unabhängig von Funktionen – nach der *Lage* innerhalb des Körpers einteilen in

- das zentrale Nervensystem (ZNS) und das
- periphere Nervensystem (PNS).

Beachte: Sowohl ZNS als auch PNS haben jeweils Anteile des somatischen und des viszeralen Nervensystems. Das ZNS umfasst Gehirn und Rückenmark, beide liegen in knöchern umhüllten Räumen. Das PNS umfasst Nerven und Ganglien (S. 269), die jeweils außerhalb des ZNS liegen und von einer bindegewebigen Hülle umgeben sind. Von wenigen Einschränkungen abgesehen kann man sagen, dass das PNS funktionell der *Leitung* der Signale dient und darum „Mittler" ist zwischen ZNS und äußerer Umwelt (oder innerem Milieu) bzw. zwischen ZNS und Effektor. Beim ZNS dagegen steht die *Integration* ganz im Vordergrund. Bei einer solchen Mittlerfunktion des PNS spielt die *Richtung* der Signalleitung eine besondere Rolle: Signalleitung zum ZNS hin *(= zentripetal)* – funktionell die Sensibilität – wird als *afferente* Leitung bezeichnet; Signalleitung vom ZNS weg *(= zentrifugal)* – funktionell die Motorik – ist die *efferente* Leitung.

1.2 Zellen, Signalübertragung und morphologischer Aufbau des Nervensystems



A Nervenzelle und Synapse

a Nervenzelle: Das Grundbauelement des Nervensystems ist morphologisch wie funktionell die Nervenzelle (= das Neuron). Da Nervenzellen sowohl im ZNS und als auch im PNS vorkommen, spricht man von *zentralen* und *peripheren* Neuronen. Nervenzellen erzeugen elektrische Signale – sog. *Aktionspotenziale* – und leiten sie an andere Zellen – z. B. an andere Nervenzellen, aber auch an Muskelzellen – weiter. Nach Form und Funktion werden zahlreiche Nervenzelltypen unterschieden, ihr Aufbau ist jedoch prinzipiell gleich: An einem *Nervenzellkörper,* dem *Soma (= Perikaryon),* befinden sich mindestens zwei unterschiedlich lange *Ausläufer:*

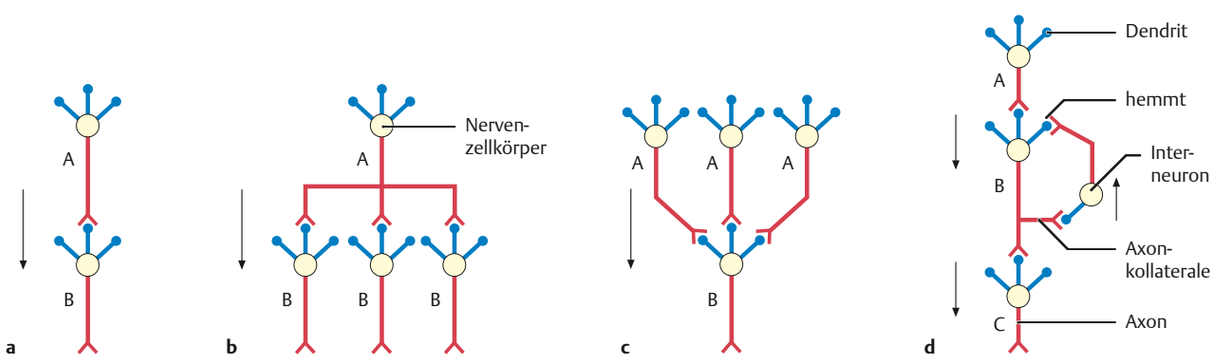
- der Dendrit (dendron = Baum), der meist kurz und oft verzweigt ist; ein Neuron kann einen oder mehrere Dendriten besitzen;
- das Axon (= der Neurit), das meist länger ist als die Dendriten; ein Neuron besitzt immer nur ein Axon (das allerdings verzweigt sein kann).

Dendrit und Axon befinden sich typischerweise an den entgegen gesetzten Enden des Nervenzellkörpers. So entsteht eine strukturelle „Polarisierung", der eine funktionelle *Polarisierung des Neurons* entspricht (s. **A**, S. 292): Die Leitung eines elektrischen Signals erfolgt im Dendrit immer zum Nervenzellkörper hin, im Axon immer vom Nervenzellkörper weg. Vereinfacht kann man von Signal*eingang* und *-ausgang* sprechen.

Dies ändert sich nicht, wenn eine Nervenzelle zahlreiche Dendriten besitzt, von denen einige, rein morphologisch gesehen, dem Axon nicht mehr „entgegengesetzt" positioniert sind: Die Leitung findet auch hier vom Dendrit über den Nervenzellkörper zum Axon statt.

b Synapse: Nervenzellen stehen funktionell nie „allein": Sie sind immer in Gruppen verschaltet und leiten elektrische Signale. Der Signalaustausch erfolgt über spezielle Kontaktstellen, die *Synapsen.* An einer Synapse nimmt das Axon einer Nervenzelle mit einer anderen Nervenzelle Kontakt auf. Auffällig ist, dass dieser Kontakt in den meisten Fällen diskontinuierlich ist: Zwischen dem Axon und der nachfolgenden Nervenzelle liegt ein Spalt *(synaptischer Spalt)*, an dem die Übertragung des elektrischen Signals durch Umwandlung in ein chemisches Signal (einen Überträgerstoff = Transmitter) stattfindet. Dieser Transmitter erzeugt üblicherweise in der „nachgeschalteten" Nervenzelle wieder ein elektrisches Signal. Die Reihenfolge der Signalleitung ist also elektrisch → chemisch → elektrisch.

Beachte: Funktionell unterscheidet man *erregende* Synapsen, die die Weiterleitung eines Signals fördern, von *hemmenden* Synapsen, die die Weiterleitung eines Signals erschweren oder unterbinden. Das Nervensystem produziert somit nicht nur Erregung, sondern auch Hemmung (s. **A**, S. 292).



B Signalübertragung im Nervensystem: Neuronenverschaltung

Nervenzellen sind in unterschiedlicher Weise zu „Neuronenverbänden" verschaltet:

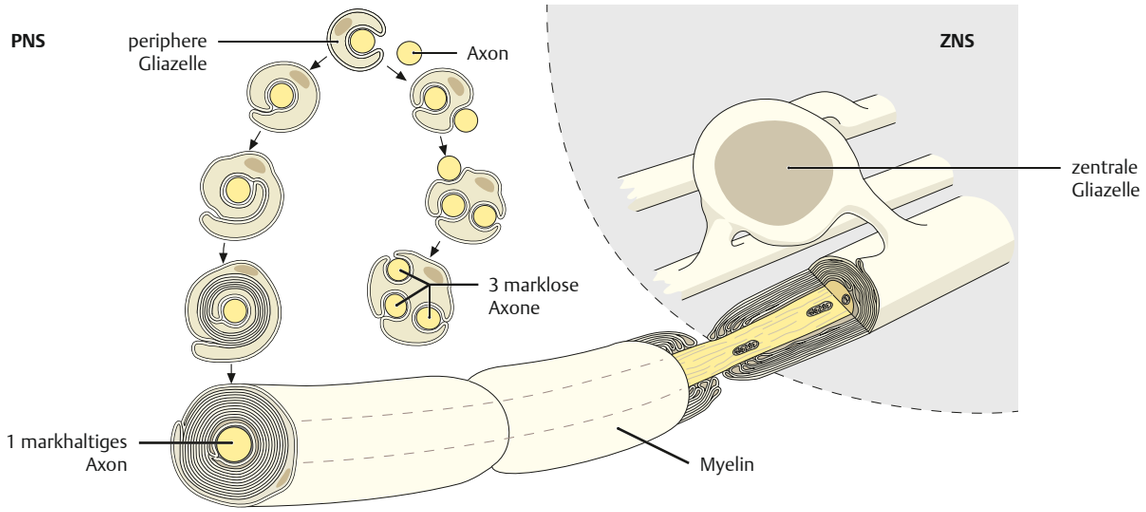
a Neuron A sendet sein Signal an (= projiziert auf) Neuron B: die Übertragung ist 1 : 1;

b Neuron A sendet sein Signal (durch Verzweigung des Axons) an mehrere Neuronen B (hier 3); die Übertragung ist 1 : 3. Es liegt eine *Divergenz* vor. Auf diese Art werden Signale verbreitet *(„Megaphon-Effekt");*

c mehrere Neurone A (hier 3) projizieren auf ein Neuron B, die Übertragung ist 3 : 1. Es liegt eine *Konvergenz* vor. Sie kann zur Bildung eines Informations*filters* genutzt werden, z. B. leitet Neuron B die eingehende Information nur weiter, wenn mindestens zwei Neurone A gleichzeitig ein Signal an B senden (*Schwellen*bildung oder *Filtereffekt*);

d eine Nervenzelle kann auch „mit sich selbst" über ein Zwischenneuron (= Interneuron) verschaltet sein. Typisch ist der Fall der sog. *„rekurrenten" (rückläufigen) Hemmung.* Nervenzelle B wird durch ein Signal von A erregt und leitet einerseits dieses Signal an C weiter. Über die sog. Axonkollaterale hemmt aber B jetzt die Synapse A → B. Damit ist B für einen gewissen Zeitraum „taub" für weitere Signale der Zelle A, es wird ein „Zeitfilter" eingebaut: Erst nach Ablauf einer bestimmten Zeit leitet B die von A eingehenden Signale wieder weiter. So kann verhindert werden, dass permanent eingehende „Dauerreize" das Nervensystem gleichsam überrennen.

Synapse und Verschaltung, Erregung und Hemmung sind somit wichtige funktionelle Begriffe im Nervensystem.

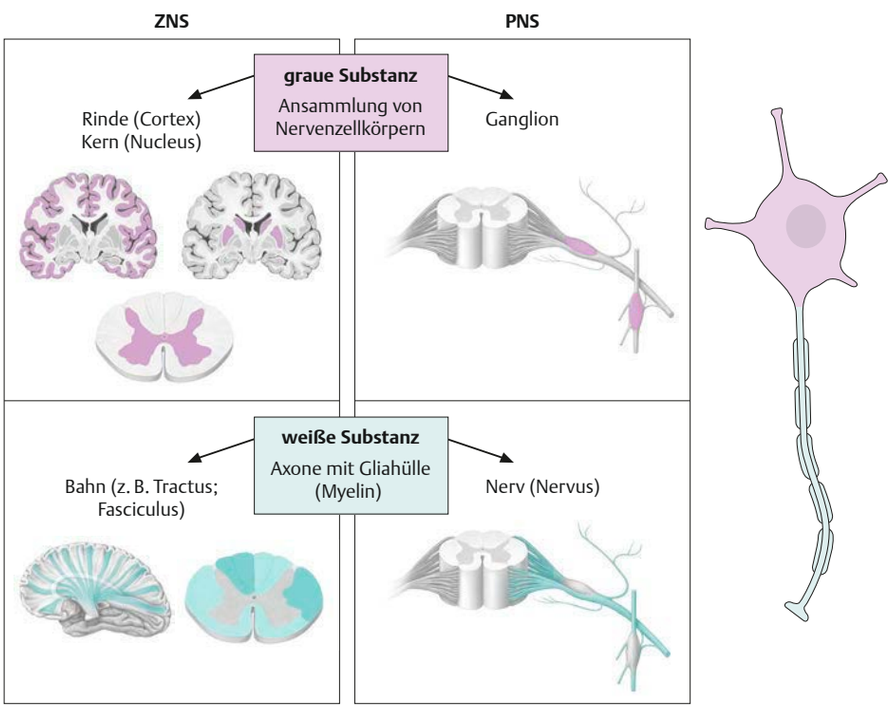


C Gliazelle (Neuroglia)

Der zweite charakteristische Zelltyp des Nervensystems ist die Gliazelle (Neuroglia), die es ebenfalls in ZNS und PNS gibt (*zentrale* und *periphere Glia*). Gliazellen erzeugen keine Signale, beeinflussen aber die Geschwindigkeit, mit der Signale im Nervensystem geleitet werden, entscheidend, indem sie *Hüllen* um die Axone von Nervenzellen bilden. Die Axone haben daher je nach Ausprägung und Ausmaß ihrer Hülle unterschiedliche Bezeichnungen:

- **markhaltige (myelinisierte) Axone:** Eine Gliazelle „umwickelt" in mehreren Schichten lamellenartig ein einzelnes Axon und bildet dabei eine besondere Struktur in dieser Schichtung aus, das sog. *Myelin*;
- **marklose (markarme) Axone:** Eine Gliazelle hüllt mehrere Axone ein, ohne Strukturbildung der Hülle.

Die myelinisierten Axone sind deutlich in der Überzahl. Da die Art der Hüllenbildung die Leitungsgeschwindigkeit des elektrischen Signals beeinflusst (myelinisierte Axone leiten schnell), ist diese Hülle von größter funktioneller Bedeutung für das Neuron. Gliazellen unterstützen die Funktion der Neurone auch in anderer Hinsicht. So spielen sie u. a. eine Rolle bei der Regulation des Umgebungsmilieus des Nervensystems (z. B. Blut-Hirn-Schranke) und bei der Abwehr schädigender Einflüsse.
Beachte: Axon + Gliahülle (marklos oder markhaltig) = Faser *(= Neurofibra)*. Dieser Begriff ist bei der nachfolgenden makroskopischen Betrachtung des Nervensystem sehr wichtig.



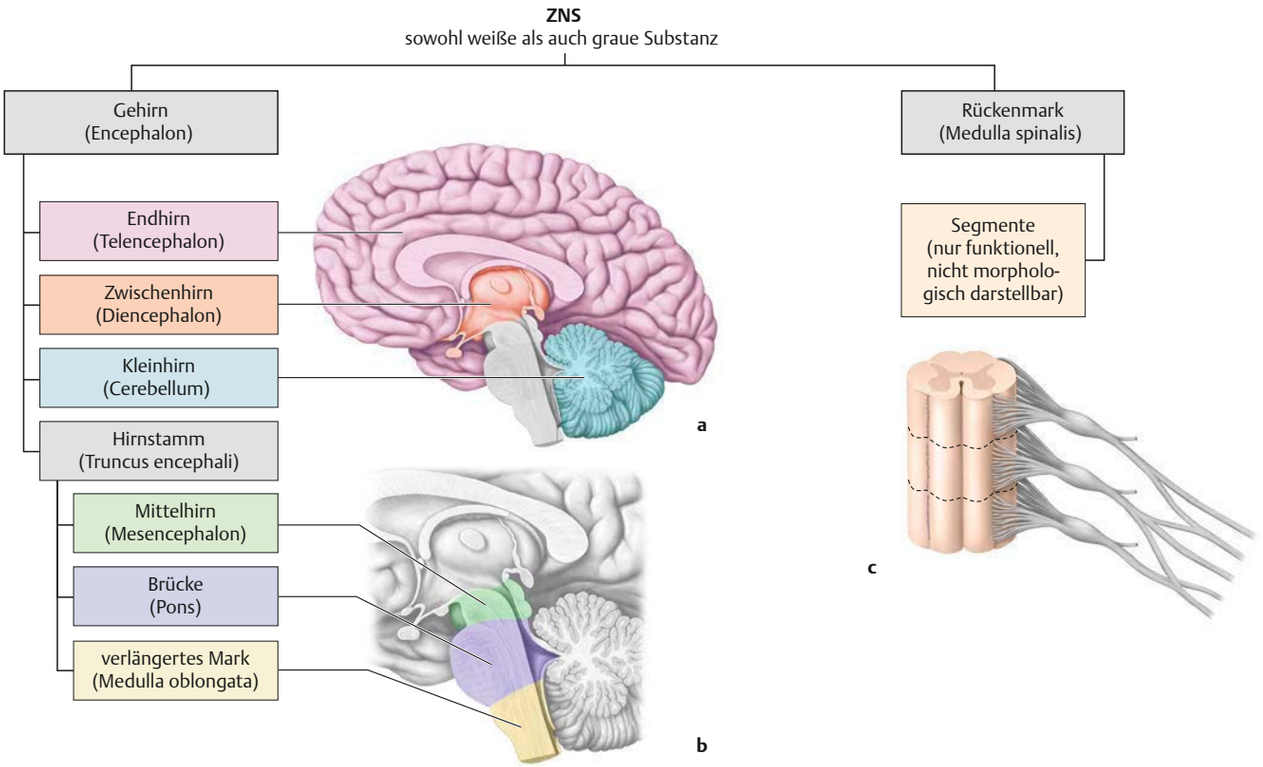
D Strukturelle Gliederung des Nervensystems: graue und weiße Substanz

Sowohl im PNS als auch im ZNS gibt es Nervenzellkörper und mit Neuroglia umhüllte Axone. Beide sind – isoliert betrachtet – nur *mikroskopisch* sichtbar. Da sie sich aber zu Gruppen bzw. Bündeln zusammenlagern, sind sie auch *makroskopisch* erkennbar. Bei Tageslicht betrachtet sehen die Gruppen von Nervenzellkörpern *grau,* die Bündel myelinisierter Fasern *weiß* aus. Man spricht daher von *grauer Substanz,* umgangssprachlich auch von „kleinen grauen Zellen" und von *weißer Substanz*. Die meist sehr kurzen *Dendriten* und die wenigen *un*myelinisierten Fasern gehen in der Menge von Nervenzellkörpern und myelinisierten Fasern unter und werden daher bei dieser makroskopischen Betrachtung nicht extra benannt. Je nachdem, ob man graue oder weiße Substanz in PNS oder ZNS beschreibt, benutzt man unterschiedliche Fachtermini (vgl. hierzu auch das Glossar, S. 502 ff):

- Vergleichsweise einfach ist die terminologische Situation im **PNS**. Weiße Substanz wird als *Nerv (Nervus)* bezeichnet, graue Substanz als *Ganglion*.
- Im **ZNS** wird die weiße Substanz in *Bahnen* untergliedert, die unterschiedliche Namen bekommen, die graue Substanz in *Rinde (Cortex)* und *Kern (Nucleus)*.

Beachte: Morphologisch gesehen sind graue und weiße Substanz in ZNS und PNS jeweils analog aufgebaut. Das kann angesichts der präzisen Beschreibung und Unterscheidung der einzelnen Strukturen (Nerv, Ganglion, Bahn usw.) in Vergessenheit geraten.

1.3 Übersicht über das Nervensystem als Ganzes: Morphologie und räumliche Orientierung



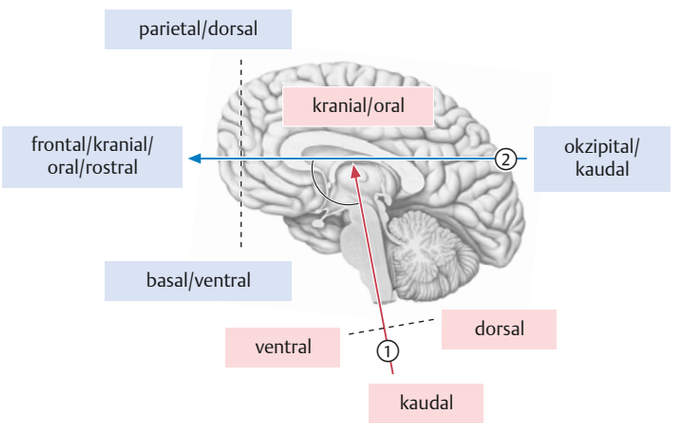
A Morphologie des Zentralnervensystems (ZNS)
a u. **b** Rechte Hälfte des Gehirns, Ansicht von medial; **c** Sicht von ventral auf einen Abschnitt des Rückenmarks.

Für das Verständnis der folgenden Lerneinheiten ist ein grober morphologischer Überblick über das Nervensystem als Ganzes erforderlich. Das ZNS wird in Gehirn und Rückenmark unterteilt. Dabei wird das **Gehirn (Encephalon, Cerebrum)** in folgende Bauabschnitte unterteilt:

- Endhirn *(Telencephalon)*,
- Zwischenhirn *(Diencephalon)*,
- Kleinhirn *(Cerebellum)* und
- Hirnstamm *(Truncus encephali)* mit den Abschnitten Mittelhirn *(Mesencephalon)*, Brücke *(Pons)* und verlängertes Mark *(Medulla oblongata)*.

Demgegenüber stellt sich der 2. Anteil des ZNS, das **Rückenmark (Medulla spinalis),** morphologisch, also rein äußerlich, als einheitliche Struktur dar. Funktionell lässt sich das Rückenmark jedoch ebenfalls unterteilen, in sog. Segmente. Die Unterteilung in graue und weiße Substanz ist schon in diesem einfachen Übersichtsbild des Rückenmarks gut zu erkennen:

- grau: die zentral gelegene „schmetterlingsförmige" Struktur und
- weiß: die Substanz, die diesen „Schmetterling" umgibt.

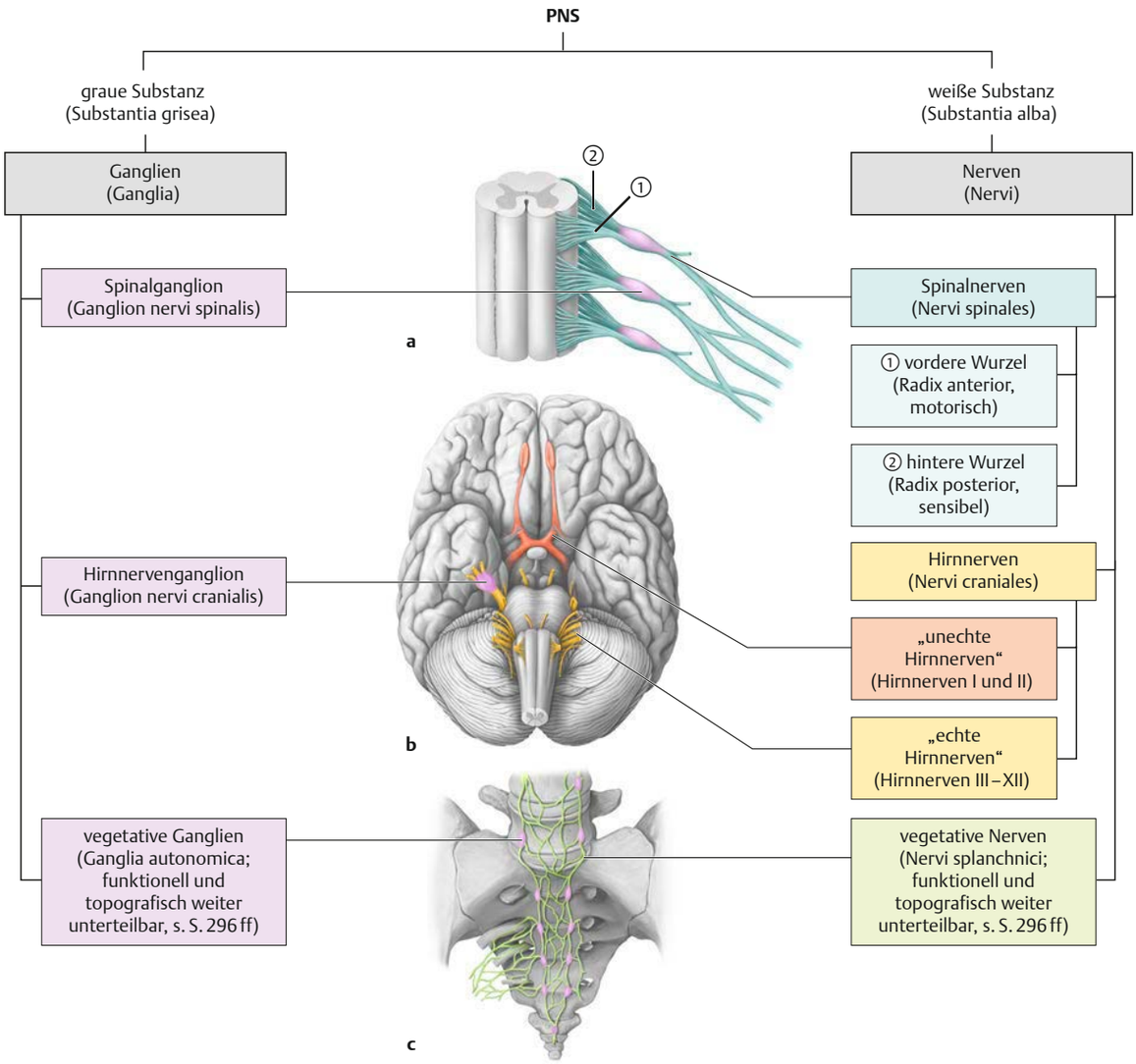


B Räumliche Orientierung am Nervensystem
Für das *PNS* gelten dieselben Ebenen, Achsen und Richtungsbezeichnungen wie für den gesamten Körper. Am *ZNS* unterscheidet man dagegen *zwei Achsen:*

- Achse Nr. 1 = Meynert-Achse: Sie entspricht ebenfalls den Achsenbezeichnungen des Körpers und gilt für Hirnstamm (Truncus encephali) und Kleinhirn (Cerebellum);
- Achse Nr. 2 = Forel-Achse: Sie gilt für Zwischenhirn (Diencephalon) und Endhirn (Telencephalon) und ist gegenüber der Achse Nr. 1 um ca. 80° gekippt, so dass Zwischen- und Endhirn sozusagen „auf dem Bauch liegen".

Beachte: Um topografische Missverständnisse zu vermeiden, haben sich für die Achse Nr. 2 (Forel-Achse) folgende Lagebezeichnungen etabliert:

- basal (also hirnbasiswärts) statt ventral,
- parietal (also scheitelwärts) statt dorsal,
- frontal (also stirnwärts) bzw. oral oder rostral (also mund- oder „schnabelwärts") statt kranial und
- okzipital (also hinterhauptswärts) statt kaudal.



C Morphologie des peripheren Nervensystems

a Sicht von ventral auf einen Abschnitt des Rückenmarks; **b** Sicht auf die Basis des Gehirns; **c** Sicht auf vegetative Ganglien und Nerven vor dem Kreuzbein**.**

Die Nerven und Ganglien, die das periphere Nervensystem bilden, werden folgendermaßen unterteilt und benannt. Bei den **Nerven** ist ausschlaggebend, mit welchem Teil des ZNS sie in Kontakt stehen:

- Rückenmarks- oder Spinalnerven (Kontakt mit dem Rückenmark, Medulla *spinalis*): *Nervi spinales.* Typischerweise 31 oder 32 Paare. Aus funktionellen Gründen (s. **A**, S. 398) verbinden sich die Spinalnerven in großem Ausmaß untereinander zu Nervengeflechten, sog. *Plexus.*
- Hirnnerven (Kontakt mit dem Gehirn, s. S. 112 ff): *Nervi craniales* (eigentlich „Schädelnerven“, da das Gehirn im Schädel = *Cranium* liegt). 12 Paare.

Die **Ganglien** wiederum lassen sich nach ihrer Zugehörigkeit zu einem Funktionssystem trennen in:

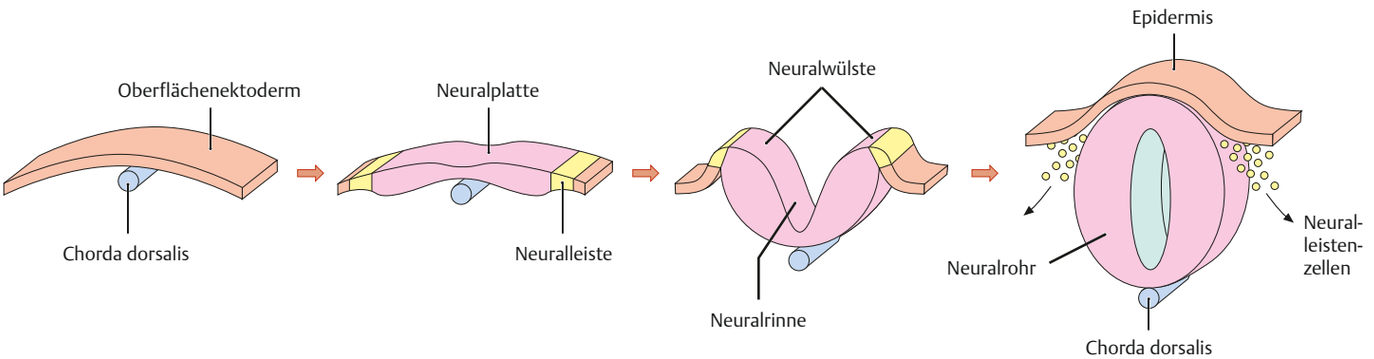
- Ganglien im sensiblen Anteil eines Spinalnervs oder Hirnnervs: sensible Ganglien werden nach der Lage als Spinalganglion (*Ganglion nervi spinalis* oder *Ganglion spinale*) bzw. Hirnnervenganglion (*Ganglion nervi cranialis)* bezeichnet;
- Ganglien im viszeralen (= autonomen, vegetativen) Nervensystem: vegetative Ganglien (*Ganglia autonomica,* s. **B**, S. 297), die sich dann zur Steuerung der Organe funktionell nochmals untergliedern (s. **C**, S. 297). Den vegetativen Ganglien sind vegetative Nerven (eigentlich *Nervi viscerales [Viscera = Organe],* historisch bedingt aber *Nervi splanchnici!*) zugeordnet. Auch im Bereich der vegetativen Nerven beobachtet man eine ausgeprägte Bildung von Plexus.

Beachte: Die hier erläuterte Trennung gilt in einigen wenigen Spezialfällen nicht. Dies betrifft

- zum einen den *N. opticus (Sehnerv)*, der kein echter Nerv, sondern ein Teil des Zwischenhirns ist. Seine historisch bedingte Benennung als „Nerv“ ist also systematisch gesehen falsch;
- zum anderen das *olfaktorische System*: Bulbus und Tractus olfactorius sind Bestandteile des ZNS (nicht des PNS!), da sie von Meningen umhüllt sind. Der N. olfactorius (= Zusammenlagerung der Fila olfactoria, die wiederum aus Fasern der Riechzellen zusammengesetzt sind) gehört dagegen *nicht* zum ZNS, da die Riechzellen aus der ektodermalen Riechplakode entstammen. Der embryologische Ursprung aus dem Plakodenepithel begründet hier ebenfalls eine Sonderstellung.

Aufgrund dieser Besonderheiten werden N. opticus und N. olfactorius oft als „unechte Hirnnerven“ (hier rot) den 10 echten Hirnnerven (hier gelb), die eindeutig dem PNS zuzuordnen sind, gegenüber gestellt. Einzelheiten werden hier aus Gründen der Übersicht nicht angeführt (s. S. 116).

1.4 Embryonalentwicklung des Nervensystems



A Entstehung von Neuralrohr und Neuralleisten und ihre Abkömmlinge

Das komplette Nervensystem entwickelt sich aus dem *Ektoderm*. Dies ist in der 3. Embryonalwoche in die *Neuralplatte* und die beiden seitlich der Platte gelegenen *Neuralleisten* differenziert. Die Neuralplatte faltet sich auf, bildet eine *Neuralrinne* zwischen zwei *Neuralwülsten,* löst sich vom übrigen Ektoderm ab und schließt sich zu einem Rohr, dem *Neuralrohr*. Auch die Zellen der beiden Neural*leisten* verlassen das Ektoderm und wandern einzeln in die Region jeweils seitlich des Neuralrohrs. Aus dem **Neuralrohr** entsteht

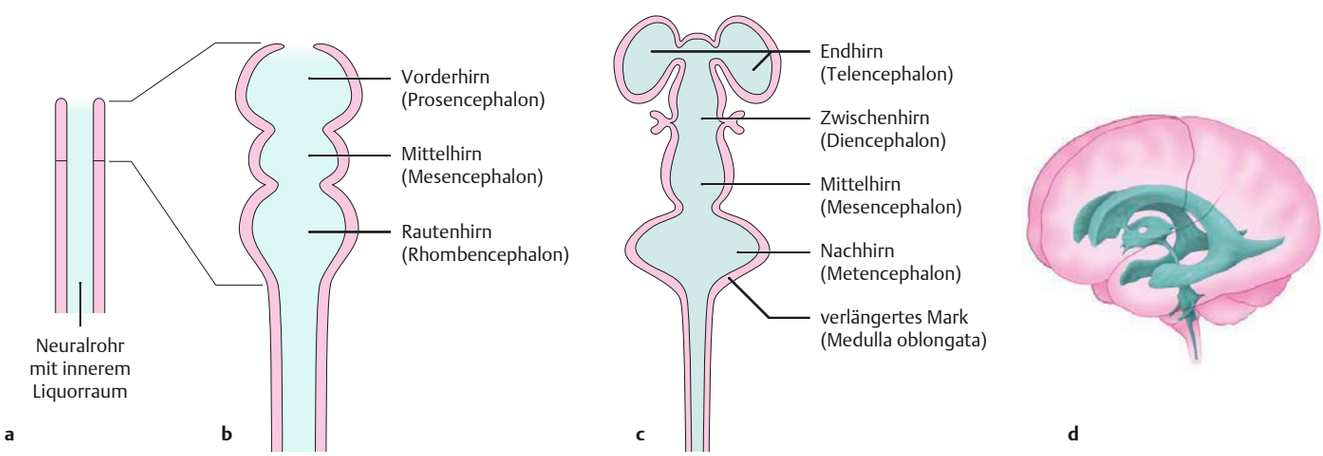
- im *Zentralnervensystem* (ZNS):
  - nach Ausbildung sog. Hirnbläschen das Gehirn mit seinen Abschnitten,
  - das Rückenmark,
  - die Zellen der zentralen Glia;
- im *peripheren Nervensystem* (PNS):
  - der motorische Anteil des Spinalnervs (s. **C**).

Aus den **Neuralleisten** entstehen *nur* Anteile des *PNS:*

- der sensible Anteil des Spinalnervs mit dem Spinalganglion,
- das gesamte viszerale periphere Nervensystem,
- das Nebennieren*mark* und
- die gesamte periphere Glia.

Außerdem entstehen aus den Zellen der Neuralleiste noch weitere Anteile wie z. B. die Melanoblasten (Pigmentbildner der Haut), die nicht zum Nervensystem gehören.

Beachte: Das Neural*rohr* liefert also Material für *ZNS und PNS;* die Neural*leiste* liefert *nur* Material für das PNS. Das Nebennieren*mark* (nicht die Nebennieren*rinde,* die auch eine endokrine Drüse ist und nichts mit dem peripheren Nervensystem zu tun hat!) ist entwicklungsgeschichtlich als ein Bestandteil des peripheren Nervensystems aufzufassen.

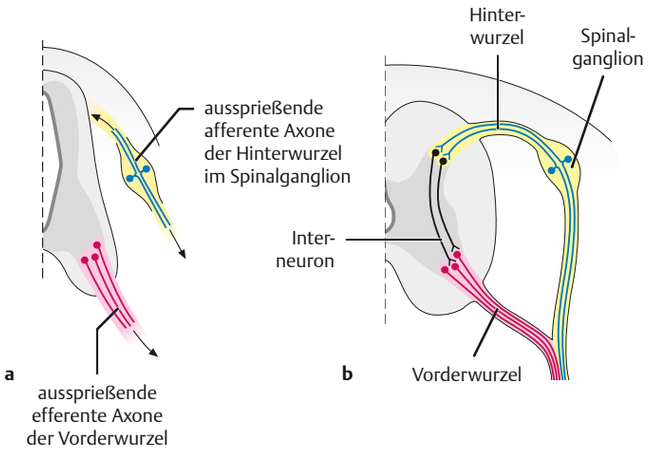


B Entwicklung von Gehirn und Liquorräumen aus dem Neuralrohr

Neuralrohr und seine Abkömmlinge; Ansicht von dorsal; in **a**–**c** ist das Neuralrohr aufgeschnitten; **d** reifes Gehirn mit Liquorräumen.

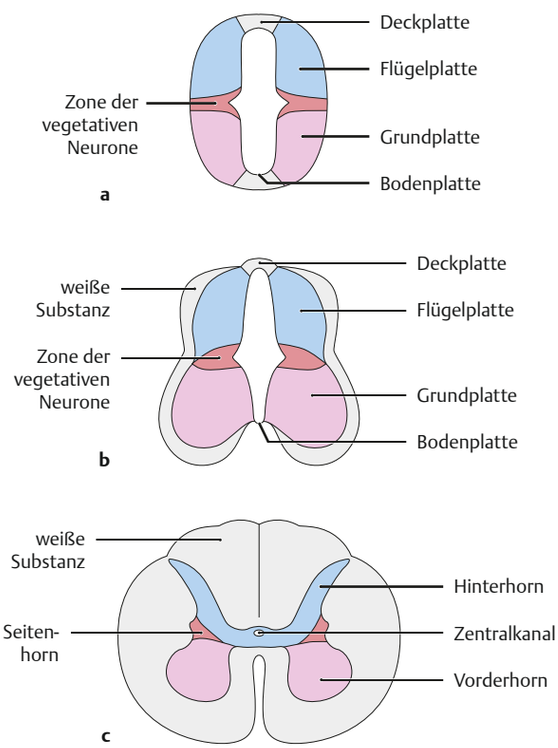
Aus dem zunächst undifferenzierten und an beiden Enden offenen Neuralrohr (**a**) entwickeln sich drei sog. *primäre Hirnbläschen* (**b**). Aus diesen gehen fünf *sekundäre Hirnbläschen* hervor (**c**), aus welchen sich die endgültigen Hirnabschnitte differenzieren. Aus dem unteren Teil des Neuralrohrs, der nicht an der Bildung der Hirnbläschen beteiligt ist, entwickelt sich das Rückenmark. Im Rückenmarksbereich ist die Rohrform des Neuralrohrs noch gut nachvollziehbar (s. **a**), im Bereich des Gehirns geht sie durch ausgeprägte Bläschenbildung verloren.

Beachte: Auch der Hohlraum im Neuralrohr differenziert sich zeitgleich mit den Hirnbläschen und dem Rückenmark in spezifischer Weise: Er wird zum sog. *inneren Liquorraum* mit *vier Ventrikeln* (I–IV) und dem *Aquädukt* (im Gehirn) sowie zum *Zentralkanal* (im Rückenmark), s. S. 312.

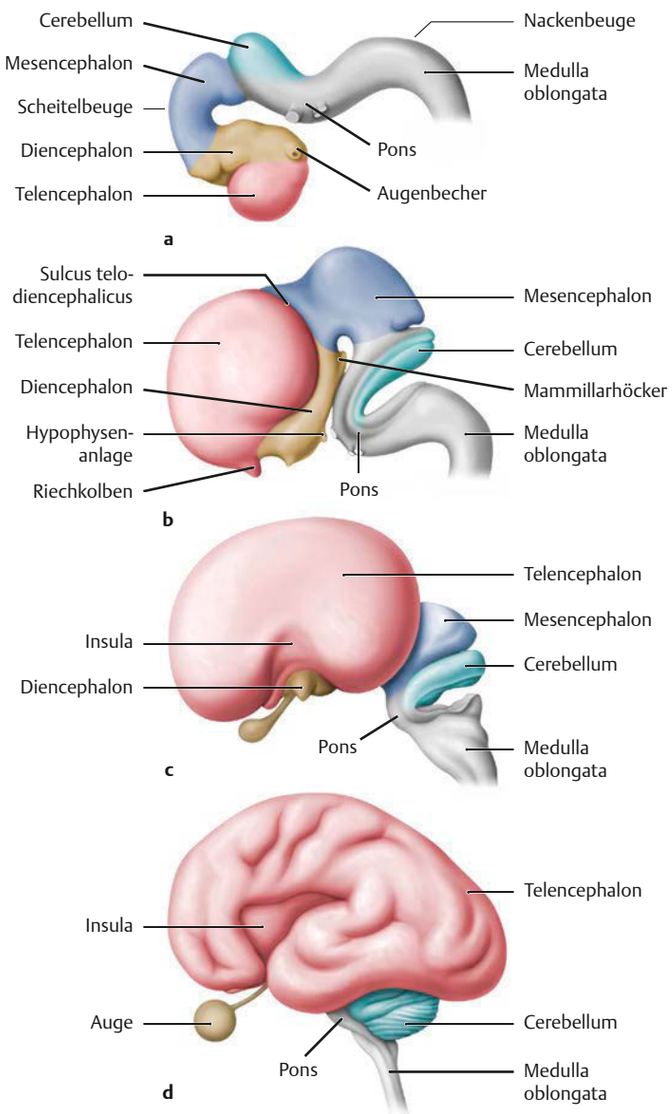


C Entwicklung eines peripheren Nervs
Afferente (blau) und efferente (rot) Axone sprossen während der Frühphase der Entwicklung getrennt aus den Somata der Neurone aus.

a Die primärafferenten Neurone entwickeln sich im Spinalganglion, die α-Motoneurone (motorische Vorderhornzelle) aus der Grundplatte des Rückenmarks.
b Die Interneurone (schwarz), die beide Neuronenarten funktionell miteinander verbinden, entwickeln sich erst später.



D Differenzierung des Neuralrohrs im Bereich des Rückenmarks während der Entwicklung
Querschnitt, Ansicht von kranial.
a Frühes Neuralrohr; **b** intermediäres Stadium; **c** adultes Rückenmark. Neurone, die in der Grundplatte der Rückenmarksanlage gebildet werden, sind efferent *(motorische Neurone)*; Neurone, die in der Flügelplatte gebildet werden, afferent *(sensible Neurone)*. Dazwischen befindet sich – im späteren Thorakal-, Lumbal- und Sakralmark – eine weitere Zone, der die sympathischen (vegetativen) efferenten Neurone entstammen. Deck- und Bodenplatte bilden keine Neurone.

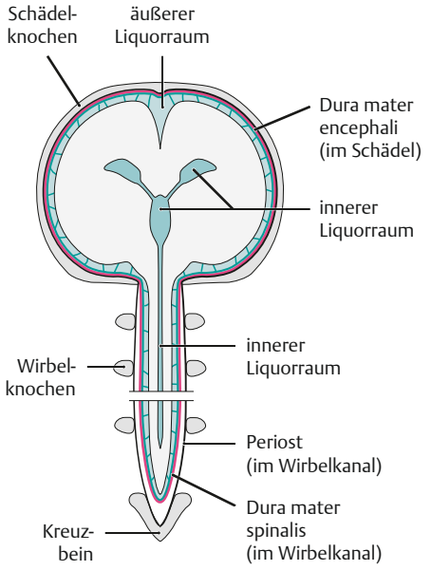


E Entwicklung des Gehirns aus dem Neuralrohr
a Embryo von 10 mm Scheitel-Steiß-Länge, etwa 2. Entwicklungsmonat. Die endgültige Gliederung des Gehirns ist bereits sichtbar:

- rot: Endhirn oder Großhirn (Telencephalon),
- ocker: Zwischenhirn (Diencephalon),
- dunkelblau: Mittelhirn (Mesencephalon),
- hellblau: Kleinhirn (Cerebellum),
- grau: Brücke (Pons) und verlängertes Mark (Medulla oblongata).

Beachte: Im Verlauf der Entwicklung überwächst das Großhirn alle anderen Hirnabschnitte.
b Fetus von 27 mm Scheitel-Steiß-Länge, etwa 3. Entwicklungsmonat. Telencephalon und Diencephalon vergrößern sich, der Riechkolben entwickelt sich aus dem Telencephalon, die Hypophysenanlage aus dem Diencephalon.
c Fetus von 53 mm Scheitel-Steiß-Länge, etwa 4. Entwicklungsmonat. Das Telencephalon beginnt zu diesem Zeitpunkt die übrigen Hirnabschnitte zu überwachsen (Schwangerschaftsabbruch aus sozialer Indikation zu diesem Zeitpunkt nicht mehr zugelassen). Die später von den Hemisphärenteilen überwachsene Insel (Insula) liegt noch an der Hirnoberfläche (vgl. **d**).
d Fetus von 33 cm Länge, etwa 6. Entwicklungsmonat. Furchen und Windungen beginnen sich auszuprägen.

1.5 Nervensystem in situ

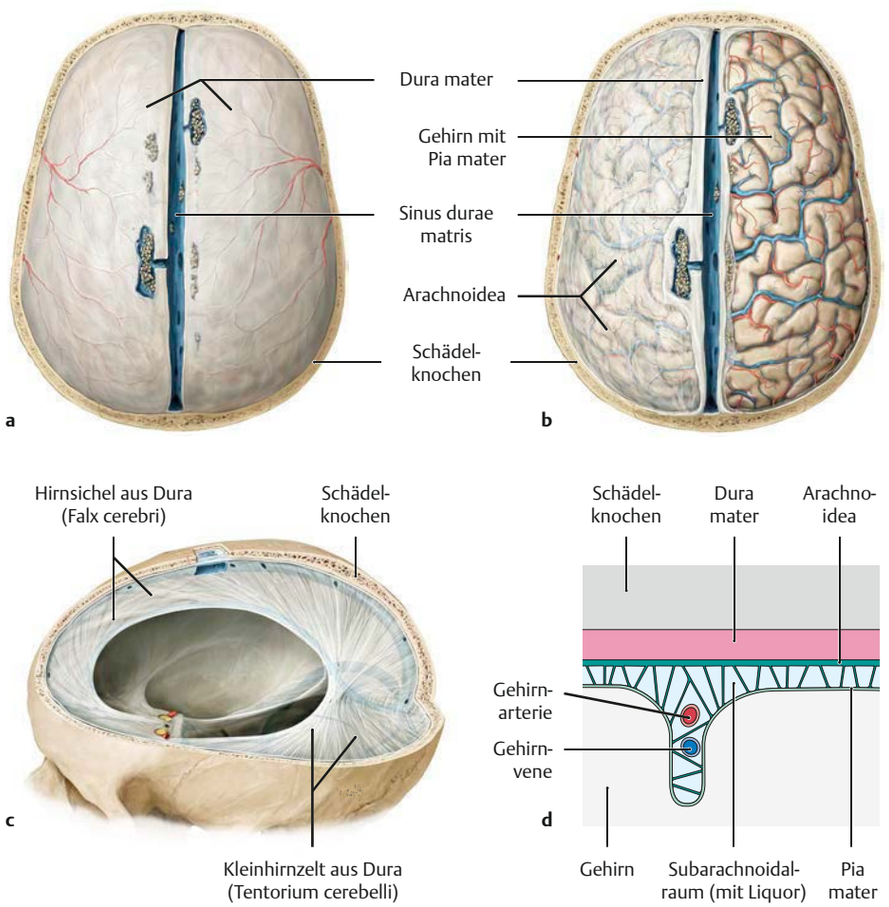


A Nervensystem in situ
Stark schematisierte Darstellung des ZNS und seiner Umgebung, Frontalschnitt. Wie jedes Gewebe oder Organ ist auch das Nervensystem in das Gesamtgefüge des Körpers eingebaut. Dieser Einbau wird durch spezielles Bindegewebe vermittelt, das u. a. dem mechanischen Schutz des Nervensystems (gegen Druck und Zug) dient. PNS und ZNS weisen dabei wichtige Unterschiede auf:

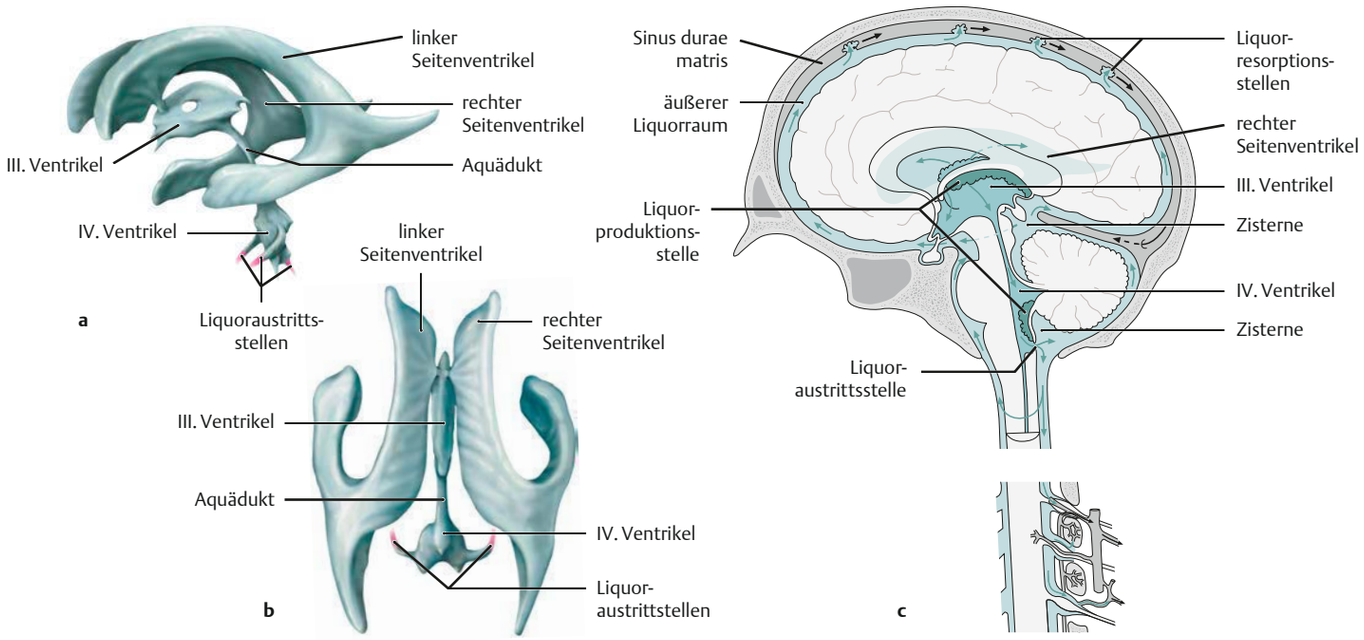
- **ZNS:** Gehirn und Rückenmark liegen in einer knöchernen Hülle, der Schädelhöhle bzw. dem Wirbelkanal. Das Bindegewebe, das ihren Einbau in den Körper vermittelt, sind die sog. *Meningen (Meninges)*. Sie umhüllen Gehirn bzw. Rückenmark vollständig und lassen sich schichtartig untergliedern (s. **B**). Hirn- und Rückenmarkshäute umfassen einen mit einer wässrigen Flüssigkeit (Liquor cerebrospinalis) gefüllten Raum, den sog. äußeren Liquorraum, der topografisch dem inneren Liquorraum (im Innern des ZNS) gegenübergestellt werden kann. Knöcherne Hülle, Meningen und äußerer Liquorraum charakterisieren damit den Einbau des ZNS in den Körper (Einzelheiten s. **B** u. **C**).
- **PNS** (hier nicht dargestellt, s. **D**) – ist mit seinen bindegewebig ummantelten Nerven und Ganglien direkt in die Bindegewebsräume des Körpers eingebaut. Die Bindegewebsummantelung, das sog. *Epineurium*, vermittelt den Kontakt zu den bindegewebigen umgebenden Strukturen des Körpers.

B Das ZNS und seine Umgebung: die Meningen
Eröffneter Schädel mit Sicht von oben auf die Hirnhäute; **a** u. **b** Gehirn in situ; **c** Sicht auf die harte Hirnhaut nach Entnahme des Gehirns; **d** Hirnhautschichten. Die Meningen werden an Gehirn und Rückenmark – von außen nach innen geschichtet – unterteilt in:

- **Harte Hirnhaut (Pachymeninx),** äußerste Hülle um *Gehirn* und *Rückenmark* aus straffem geflechtartigem Bindegewebe. Am Ein- bzw. Austritt der Nerven geht sie in das Epineurium über. Die Dura ist an der Ausbildung spezieller Blutleiter (sog. *Sinus durae matris*) im Schädelinneren beteiligt. Zudem liegt sie als senkrechte Hirnsichel *(Falx cerebri)* bzw. als Kleinhirnzelt *(Tentorium cerebelli)* zwischen einzelnen Hirnabschnitten und unterteilt das Schädelinnere unvollständig in Unterräume (s. Abb. **B**, S. 308). Derartige „Substrukturen" bildet die Dura mater *am Rückenmark* nicht: Hier ist sie nur äußerste Hülle.
- **Weiche Hirnhaut (Leptomeninx),** die neben zarten Kollagenfasern epitheloide Zellen (sog. *Meningealzellen*) enthält. Sie hat am peripheren Nerv keine Entsprechung. Die Leptomeninx gliedert sich ihrerseits in zwei Schichten:
  - die äußere *Arachnoidea mater* (encephali bzw. spinalis), Spinnengewebshaut: Sie liegt der Dura mater von innen direkt an und
  - die innere *Pia mater* (encephali bzw. spinalis): sie liegt dem ZNS dicht an und wird ihrerseits von der Arachnoidea durch einen Raum, den Subarachnoidalraum, getrennt.



Beachte: Grundsätzlich ist die Umhüllung von Gehirn und Rückenmark durch die Meningen analog. Der Kontakt der Dura mater (äußerste Meningealschicht) zur Umgebung ist aber in Schädelhöhle und Wirbelkanal in charakteristischer (und klinisch bedeutsamer Weise) unterschiedlich: In der *Schädelhöhle* bildet die Dura mater *encephali* gleichzeitig das innere Periost der Schädelknochen. Im *Wirbelkanal* liegt zwischen Dura mater *spinalis* und innerem Periost der Wirbelknochen ein echter Raum – der sog. *Epiduralraum*, Einzelheiten s. **D**, S. 311.



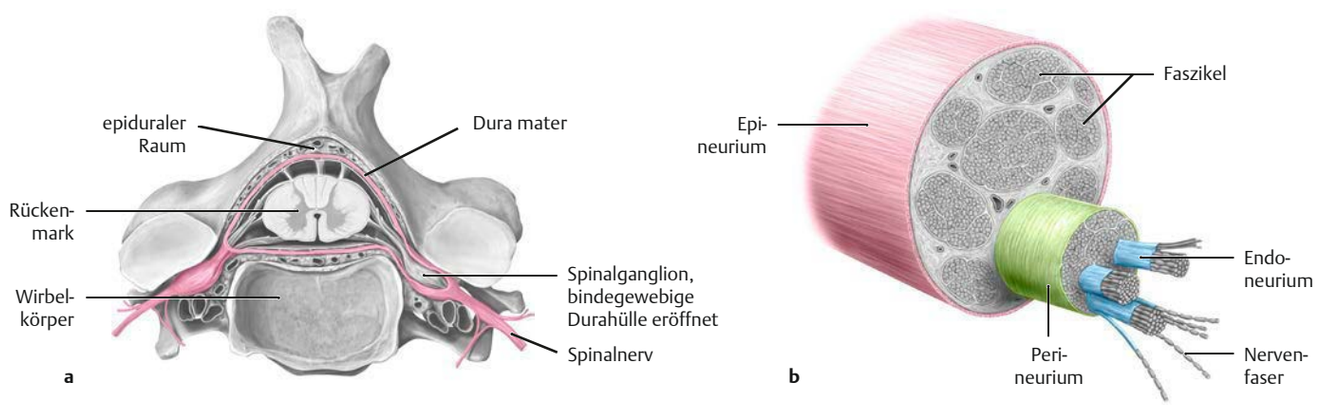
C Das ZNS und seine Umgebung: der Liquorraum

Innerer Liquorraum des Gehirns (Ventrikelsystem) von schräg vorne links (**a**) und von oben (**b**); schematisierter Schnitt durch den Schädel mit äußerem Liquorraum (**c**).

Zwischen Arachnoidea und Pia befindet sich ein Raum, der das gesamte ZNS umgibt, der *Subarachnoidalraum (Spatium subarachnoidale).* Topografisch stellt er den *äußeren* Liquorraum dar, der mit dem *inneren* Liquorraum – dem System der vier Ventrikel mit Aquädukt (im Gehirn) und Zentralkanal (im Rückenmark) – in Verbindung steht.

- In den vier Ventrikeln des **inneren Liquorraums** wird in funktionell spezialisierten Blutgefäßstrukturen kontinuierlich Liquor cerebrospinalis produziert. Er tritt – allein dem Druckgefälle folgend – durch spezielle Öffnungen des IV. Ventrikels am Hirnstamm in den Subarachnoidalraum über. Hier (**b**) ist also der Übergang innerer Liquorraum → äußerer Liquorraum.
- Im **äußeren Liquorraum** wird der Liquor an funktionell spezialisierten Strukturen des Subarachnoidalraums um Gehirn und Rückenmark kontinuierlich resorbiert, so dass er unaufhörlich erneuert wird.

Der *innere* Liquorraum entsteht aus dem „Hohlraum" im Neuralrohr und erhält seine spezielle Form durch die Faltung des Neuralrohrs (s. **A**, S. 272). Der *äußere* Liquorraum entsteht durch den Einbau des ZNS in seine meningealen Hüllen; seine spezielle Form ergibt sich somit durch die Gestalt von Gehirn und Rückenmark und deren Einbau in die Meningen. Da das konvexe Gehirn und die konkave Schädelinnenseite nicht an allen Stellen „glatt zueinander passen", entstehen topografisch charakteristische „Erweiterungen" des Subarachnoidalraums, die *Zisternen.* Diese dienen keiner speziellen Funktion, sondern ergeben sich zwangsläufig aus den Formen zweier nicht ganz kongruenter Strukturen.



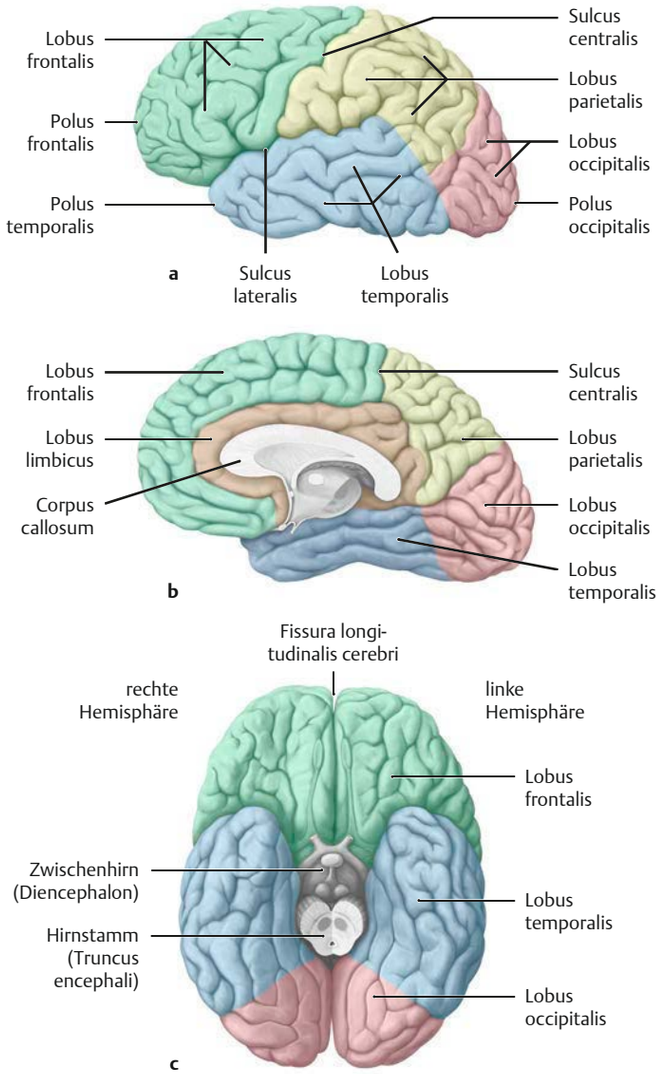
D Der periphere Nerv und seine Umgebung: das Epineurium

a Schnitt durch den Wirbelkanal mit Rückenmark; **b** peripherer Nerv, „teleskopartig" ausgezogen. Das Rückenmark in (**a**) ist von den Meningen in gleicher Weise umgeben wie das Gehirn (s. **B**). Hier sieht man deutlich, dass

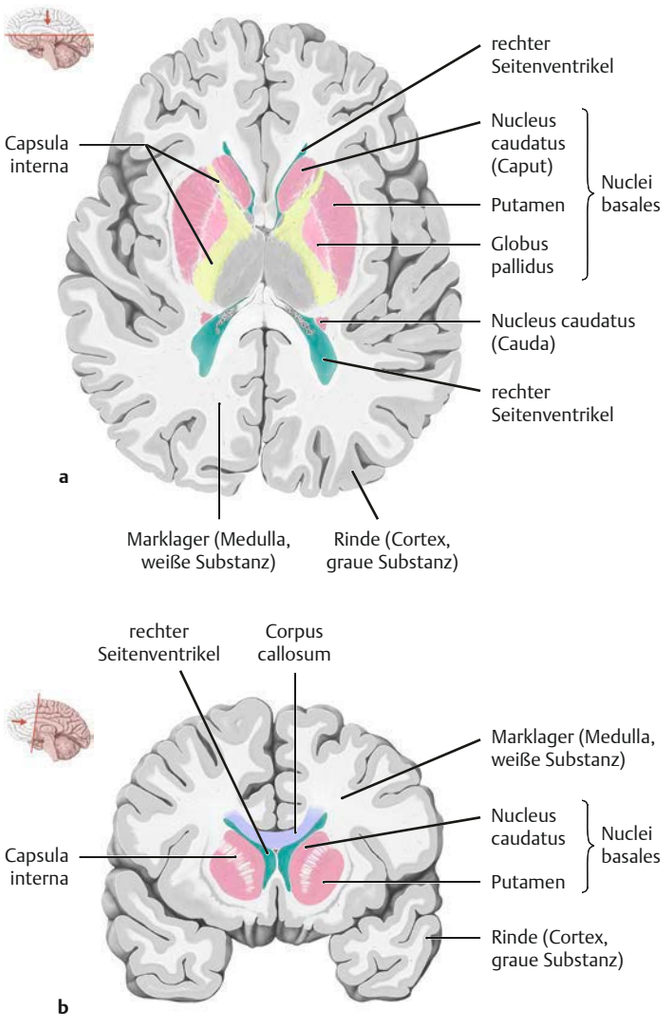
- die Dura mater (rot in **a**) auf den peripheren Nerv übergeht,
- die Dura mater spinalis (im Gegensatz zum Schädelinneren) nicht dem Knochen bzw. dessen Periost innen anliegt: Es existiert hier ein echter, auf der Dura (= epidural) liegender Raum.

Der periphere Nerv hat einen typischen „kabelartigen" Aufbau und ist außen komplett von Bindegewebe umgeben, dem *Epineurium*. Der Nerv setzt sich aus sog. *Faszikeln* zusammen, die ihrerseits jeweils von einer eigenen Hülle, dem *Perineurium,* umgeben sind. Innerhalb jedes Faszikels liegen die Nervenfasern, die durch *Endoneurium* nochmals zu kleineren Gruppen zusammengefasst werden können. Das Epineurium ist eine Fortsetzung der Dura mater encephali bei Hirnnerven bzw. der Dura mater spinalis bei Spinalnerven. Die Bindegewebshülle um die peripheren Ganglien entspricht grundsätzlich dem Epineurium.

1.6 Übersicht über das Gehirn: Telencephalon und Diencephalon



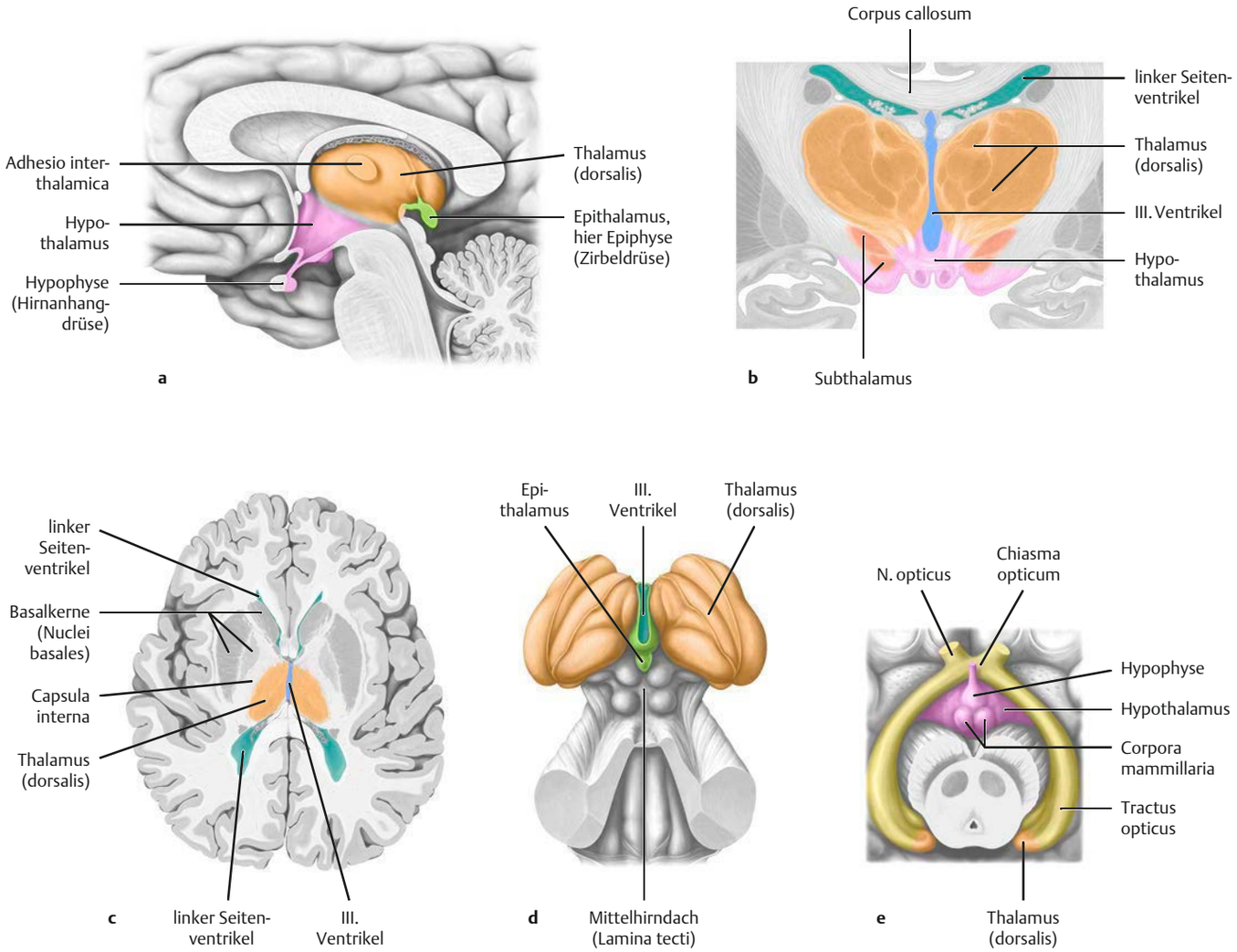
A Telencephalon: Übersicht und äußere Einteilung
a Telencephalon, Ansicht von links; **b** rechte Hirnhälfte, Ansicht von links; **c** Telencephalon, Ansicht von basal.
Das Telencephalon ist der größte und komplexeste Abschnitt des Zentralnervensystems und der Ort der höchsten Integration im Rahmen der Informationsverarbeitung. Alle komplexen motorischen Funktionen, alle Wahrnehmungen sowie die Bildung des Bewusstseins sind an die funktionelle Intaktheit des Großhirns gebunden. Morphologisch wird das Telencephalon in zwei annähernd symmetrische Hemisphären unterteilt, die durch eine „Längsfurche" *(Fissura longitudinalis cerebri)* unvollständig getrennt sind. Jede Hemisphäre besteht aus sechs Lappen *(Lobus)*, von denen drei in einen Pol *(Polus)* auslaufen. Die Grenzen zwischen diesen vier Lappen definieren charakteristische tiefe Furchen *(Sulci)*. Jeder Lappen zeigt auf seiner Oberfläche Windungen *(Gyri)*, die z. T. nach dem Lappen, in dem sie liegen, benannt sind. In der Tiefe jeder Hemisphäre liegt „verborgen" ein Teil der Rinde, die sog. Insel *(Insula;* oft auch als Lobus insularis bezeichnet), die von außen nur sichtbar wird, wenn man die umgebenden Hirnteile wegdrängt (s. S. 321). Betrachtet man eine Hirnhälfte von medial (**b**), erkennt man Windungen, die aus historischen Gründen als *Lobus limbicus* (Wall-Lappen; limbus = Wall) zusammengefasst werden. Im „Inneren" des Temporallappens liegt ein als *Hippocampus* (= Seepferdchen!) bezeichneter Rindenabschnitt, der nur bei Resektion umgebender Hirnteile sichtbar wird (s. **D**, S. 331).



B Telencephalon: innerer Aufbau
a Horizontalschnitt, Ansicht von oben; **b** Frontalschnitt, Ansicht von vorne.
Das Telencephalon baut sich – wie das ganze ZNS – aus grauer und weißer Substanz auf:

- die graue Substanz bildet die gesamte äußere Oberfläche als *Rinde (Cortex);*
- unter der Rinde liegt die weiße Substanz, das *Mark (Medulla),*
- in das Mark ist nochmals „isoliert liegende" graue Substanz in Form von Kernen *(Nuclei)* eingelagert, hier z. B. als sog. *Basalkerne (Nuclei basales: Nucleus caudatus, Putamen, Globus pallidus).*

Auch Anteile des inneren Liquorraums – die beiden *Seitenventrikel (Ventriculi laterales)* – sind auf einem solchen Schnitt zu erkennen. Die makroskopisch weitgehend homogen erscheinende *weiße* Substanz kann man funktionell in *Bahnen* einteilen, die sich je nach Verlauf weiter unterteilen lassen. Die *Capsula interna* ist ein Bereich der weißen Substanz, in dem zahlreiche mit Sensibilität und Motorik befasste Bahnen topografisch besonders eng zusammengefasst sind. Entwicklungsgeschichtlich kann man den Cortex einteilen in *Paleocortex* (entwicklungsgeschichtlich die älteste Rinde), *Archicortex* und *Neocortex* (die jüngste Rinde). Letzterer macht bei weitem den größten Anteil des Cortex aus. Alle Cortexabschnitte bestehen aus in mehreren Schichten angeordneten Neuronen, wobei sich Paleo-, Archi- und Neocortex mikroskopisch voneinander unterscheiden.



C Diencephalon: Lage und Einteilung

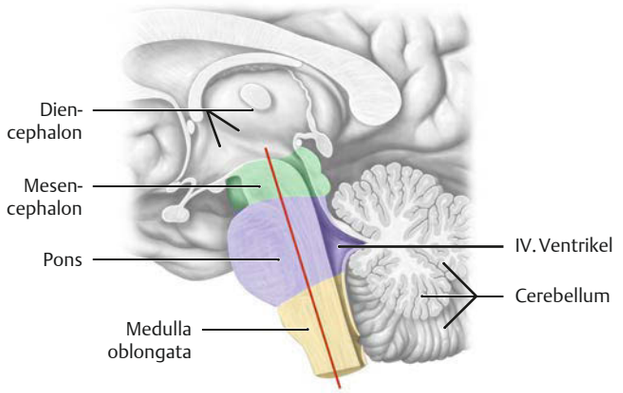
a Mediansagittalschnitt durch das Gehirn, Sicht von links auf die rechte Hirnhälfte; **b** Frontalschnitt durch das Gehirn, Ansicht von vorne; **c** Horizontalschnitt durch das Gehirn, Ansicht von oben; **d** Sicht auf das Zwischenhirn von hinten und oben; **e** Sicht auf den Boden des Zwischenhirns.

Das Zwischenhirn besteht topografisch aus Strukturen, die sich um den *III. Ventrikel* herum befinden. Während der Embryonalentwicklung wird es von den stark wachsenden Endhirnhemisphären überwachsen, zwischen (Name!) denen und an deren Basis es mit Abschluss der Entwicklungsphase liegt. Zugleich liegt es kranial des nachfolgenden Hirnstamms. Am intakten Gehirn kann man vom Zwischenhirn nur dessen ganz basalen Teil von unten sehen. Eine gute Übersicht über das Zwischenhirn erhält man bei der Sicht auf einen Mediansagittalschnitt bzw. bei Frontal- oder Horizontalschnitten durch das Gehirn, wobei in jedem Fall der III. Ventrikel als Orientierungspunkt dienen kann. Aufgrund der Lagebeziehung einzelner Anteile des Zwischenhirns zum III. Ventrikel kann man auf keiner Ansicht des Diencephalon alle seine Abschnitte gleichzeitig sehen, die im Folgenden aufgeführt sind:

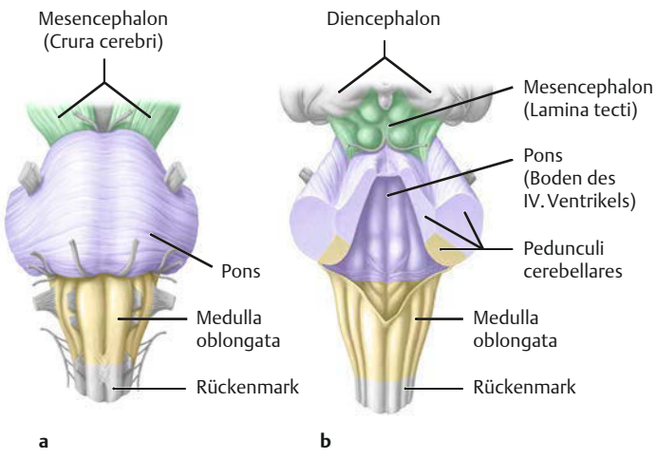
- Die Seitenwand des III. Ventrikels wird in einem *oberen* Abschnitt von einer großen paarigen Kerngruppe, dem **Thalamus (a–d)**, gebildet. Beide Thalami liegen sehr dicht zusammen und berühren sich gelegentlich in der sog. *Adhesio interthalamica* (**a**). Die Thalami sind vielfältig mit sensiblen und motorischen Funktionen mit der Großhirnrinde verschaltet.
- Die Ventrikelseitenwand in einem *unteren* Abschnitt und der Ventrikelboden werden vom sog. **Hypothalamus** (ebenfalls ein Kerngebiet) zusammen mit der *Hirnanhangdrüse (Hypophyse)* gebildet. Der Hypothalamus kann als oberstes „vegetatives" Kontrollzentrum für zahlreiche Körperfunktionen (Blutdruck, Wasserhaushalt, Temperatur, Nahrungsaufnahme, Hormonsekretion) gelten.
- Seitlich des Hypothalamus – somit ebenfalls unter dem Thalamus, aber *nicht mehr wandbildend* am Ventrikel – liegt der **Subthalamus** (**b**), eine Kerngruppe, die der Motorik dient.
- Eine kleine Kerngruppe – der **Epithalamus** – liegt ganz weit okzipital hinter und auf dem Thalamus (**d**). Zum Epithalamus gehört die *Zirbeldrüse (Gl. pinealis).* Beide dienen der Erfassung der Tag-Nacht-Rhythmik.
- Beim Blick auf das intakte Diencephalon *von basal* erkennt man am Hypothalamusboden die Hypophyse sowie eine paarige Kerngruppe, die **Corpora mammillaria.** Ebenfalls basal sieht man den Sehnerv (N. opticus), die Sehnervkreuzung (Chiasma opticum) und den sog. Tractus opticus (alle drei Strukturen gehören zum Diencephalon!) als Teil der Sehbahn.
- Das Dach des III. Ventrikels bildet der paarige *Fornix* (= das Gewölbe!), eine Projektionsbahn, die vom Hippocampus – also von einem Anteil des temporalen Großhirncortex – in den Hypothalamus ausstrahlt. In diesem Bild ist nur der rechte Fornix sichtbar.

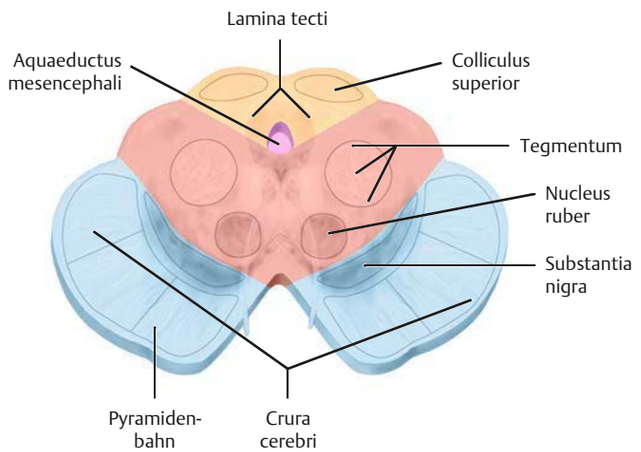
Beachte: Die *Capsula interna* bildet topografisch die Grenze zum Telencephalon.

1.7 Übersicht über das Gehirn: Truncus encephali und Cerebellum



A Hirnstamm: Lage und Aufbau
Mediansagittalschnitt durch das Gehirn, Ansicht von links.
Der Hirnstamm (Truncus encephali) ist am intakten Gehirn nur von basal sichtbar, da er hinten und seitlich vom Kleinhirn und von den Temporallappen umgeben ist. Er hat eine längliche Form und am Gehirn in situ eine kraniokaudale Ausrichtung mit einer Neigung nach ventral. Die Achse des Hirnstamms trägt die gleichen Lage- und Richtungsbezeichnungen wie die Längsachse des Körpers. Der Hirnstamm besteht aus drei Hirnabschnitten, die von kranial nach kaudal als Mittelhirn *(Mesencephalon),* Brücke *(Pons)* und verlängertes Mark *(Medulla oblongata)* bezeichnet werden. Dem Hirnstamm sitzt nach dorsal das Kleinhirn *(Cerebellum)* – verbunden über die Kleinhirnstiele – auf, das aber selbst nicht zum Hirnstamm gerechnet wird. Der Hirnstamm liegt im Schädel dicht am *Clivus,* einem Abschnitt des Os occipitale.





B Truncus encephali (Hirnstamm): äußere Form
Die äußere Form des Hirnstamms prägen Kerne oder Bahnen, die in seinem Inneren liegen. Äußerlich sichtbar sind davon in der **Ventralansicht** (**a**):

- die Hirnschenkel (Crura cerebri), hervorgerufen durch Bahnen, die zum Rückenmark und zum Pons ziehen,
- der Pons, hervorgerufen durch eine mächtige Faserverbindung (Bahn) in das Kleinhirn hinein,
- die Pyramide (Pyramis, ebenfalls durch eine Bahn, die Pyramidenbahn, hervorgerufen) und
- die Olive (Oliva, eine Kerngruppe);

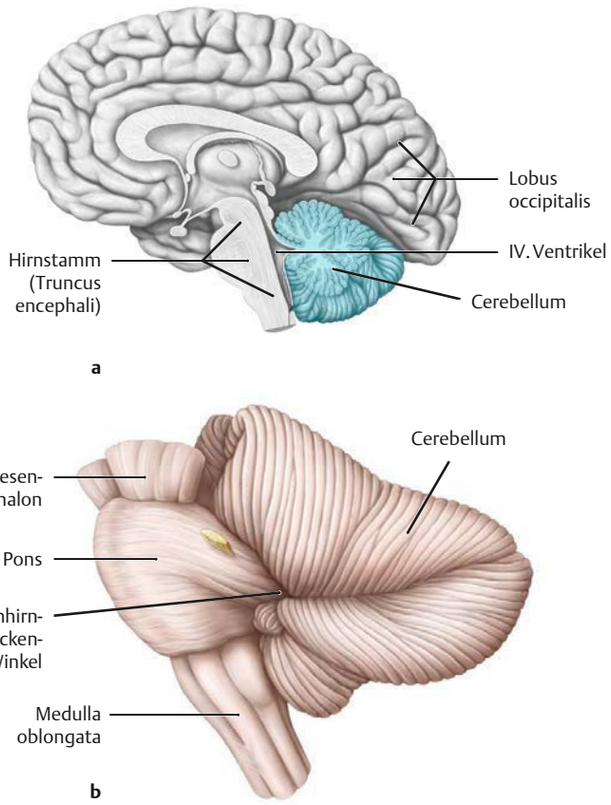
in der **Dorsalansicht** (**b**, nur nach Entfernen des Kleinhirns zu sehen):

- die Vierhügelplatte (Lamina tecti) mit zwei paarigen Kerngruppen für Hör- und Sehfunktion die das Dach des Mittelhirns bildet,
- die Medulla oblongata mit zwei paarigen Hügelchen (Tubercula), die durch die sog. Hinterstrangkerne hervorgerufen werden,
- die Schnittstellen der 3 paarigen Kleinhirnsstiele (Pedunculi cerebellares), die an den Hirnstamm angrenzen, und der zwischen ihnen liegende, rautenförmige Boden des IV. Ventrikels, der die Rückseite des Pons bildet.

Beachte: Der Hirnstamm ist Ein- und Austrittsort aller echten Hirnnerven (= Hirnnerven, die alle Merkmale des PNS zeigen, zur Systematik s. S. 112 ff). Von den 12 Hirnnervenpaaren sind zwei Hirnnerven (I: N. olfactorius; II: N. opticus) strukturell keine Nerven, sondern Anteile des ZNS (hier nicht dargestellt, da sie nicht am Hirnstamm austreten).

C Truncus encephali: Gliederung und innerer Aufbau
Hirnstamm im Querschnitt, Ansicht von oben.
Der Hirnstamm lässt sich in ventrodorsaler Richtung in vier Bauanteile gliedern. Diese sind zwar in allen Abschnitten des Hirnstamms in unterschiedlicher Ausprägung vorhanden, am deutlichsten aber am Mittelhirn. In Pons und Medulla oblongata haben diese Bauabschnitte andere *terminologische* Bezeichnungen als am Mittelhirn.

- Ventral liegt die **Basis,** die am Mittelhirn in Form der beiden Hirnschenkel *(Crura cerebri)* zu sehen ist. Die Basis des Hirnstamms enthält üblicherweise große, zu Hirnstamm und Kleinhirn und zum Rückenmark absteigende (daher meist *motorische*) Bahnsysteme, z. B. die *Pyramidenbahn*. Eine ausgedehnte Ansammlung grauer Substanz, die *Substantia nigra,* liegt direkt an der dorsalen Grenze der Basis.
- Nach dorsal folgt auf die Basis die **Haube** *(Tegmentum)*, am Mittelhirn *Tegmentum mesencephali*. Hier liegen große Kerngruppen für verschiedene Funktionen (besonders auffällig ist der Nucleus ruber) sowie weitere zum Rückenmark absteigende, v. a. aber zahlreiche zum Endhirn (über den Thalamus im Zwischenhirn) oder zum Kleinhirn aufsteigende (daher meist *sensible*) Bahnen.
- Der Haube sitzt dorsal das **Dach** *(Tectum mesencephali)* auf, am Mittelhirn entweder wegen der Lage als *Dachplatte (Lamina tecti)* oder wegen der besonderen Form (s. **Bb**) als *Vierhügelplatte (Lamina quadrigemina)* benannt. Diese Dachregion enthält als Kerngruppen die (jeweils zwei) Colliculi superiores und inferiores, die in Hör- und Sehbahn wichtige Funktionen haben.
- In jedem Hirnstammabschnitt liegt auch ein Anteil des inneren Liquorraums, im Mittelhirn die sog. **Wasserleitung** *(Aquaeductus cerebri)*.

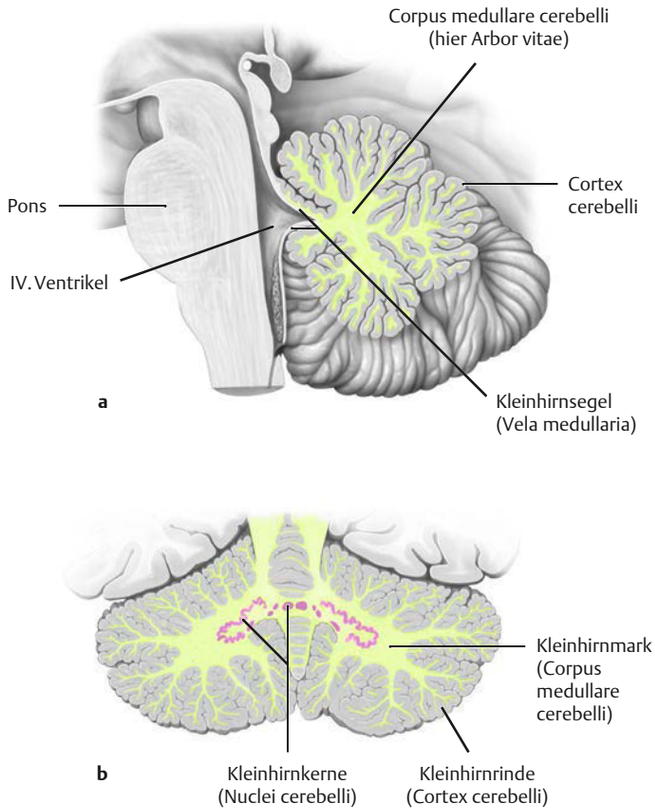


D Cerebellum (Kleinhirn): Lagebeziehung und äußerer Aufbau

a Mediansagittalschnitt durch Hirnstamm und Kleinhirn, Sicht von links auf die rechte Hirnhälfte; **b** Sicht auf Hirnstamm und Kleinhirn von links; **c** Kleinhirn von vorne nach Abtrennung vom Hirnstamm.

Das Kleinhirn liegt dem Hirnstamm dorsal auf und bildet gleichsam das Dach des IV. Ventrikels (**a**). Es liegt vollständig unter dem Lobus occipitalis des Telencephalon und ist durch eine *Duraplatte* – das *Kleinhirnzelt* (*Tentorium cerebelli*, hier nicht dargestellt, s. S. 274) vom Endhirn getrennt. Innerhalb des Schädels liegt das Kleinhirn in der sog. hinteren Schädelgrube *(Fossa cranii posterior).* Zwischen Hirnstamm und Kleinhirn ergibt sich formbedingt beidseits eine „Nische", der *Kleinhirn-Brücken-Winkel* (**b**), der klinisch von großer Bedeutung ist.

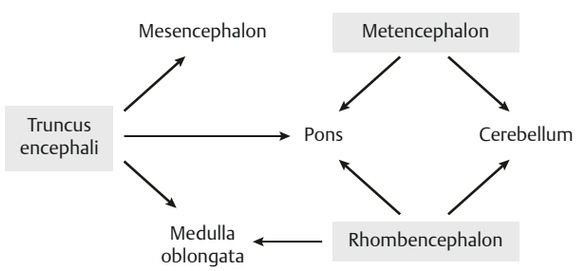
Das Kleinhirn besteht wie das Großhirn aus zwei *Hemisphären*, die durch einen unpaaren Wurm *(Vermis)* verbunden sind (**c**). Die Oberfläche von Hemisphären und Wurm zeigt furchenartige Einsenkungen, die *Fissurae,* welche die nicht gewundenen blattdünnen *Folia* (Folium = Blatt) gegeneinander abgrenzen. Fissurae und Folia am Kleinhirn entsprechen den Sulci und Gyri am Großhirn. Fissuren teilen das Kleinhirn auch in Lappen *(Lobi)* ein. An der Vorderseite des Kleinhirns ist ein charakteristisch geformter Lappen *(Lobus flocculonodularis)* besonders auffällig (**c**). Durch die drei paarigen Kleinhirnstiele *(Pedunculi cerebelli)* ziehen alle Bahnen vom und zum Kleinhirn.



E Cerebellum: innerer Aufbau

a Mediansagittalschnitt durch das Kleinhirn; Sicht von links auf die rechte Kleinhirnhälfte; **b** Schrägschnitt durch das Kleinhirn; Sicht von hinten und oben (Schnittebene in **a** dargestellt).

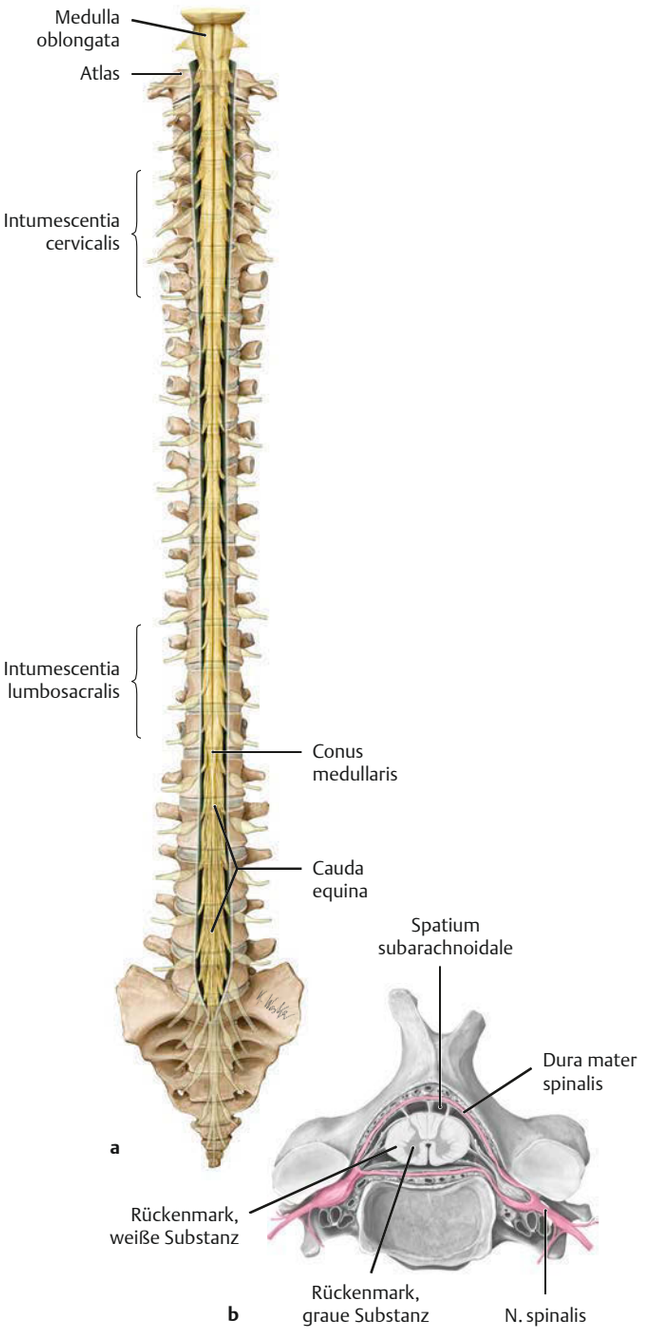
Wie beim Großhirn findet man auch beim Kleinhirn in Wurm und Hemisphären als weiße Substanz (Bahnen!) ein Marklager *(Corpus medullare cerebelli),* das von grauer Substanz als Rinde *(Cortex cerebelli)* umgeben ist. Der morphologische Aspekt von Mark und Rinde auf einem Medianschnitt wird als „Lebensbaum" *(Arbor vitae)* bezeichnet. Das Marklager strahlt in die sog. Kleinhirnsegel (*Velum medullare cerebelli,* nur in **a** sichtbar) aus. In das Marklager ist weitere graue Substanz in Form von insgesamt 4 jeweils paarigen Kernen *(Nuclei cerebelli),* eingefügt. Das Kleinhirn dient der unbewussten Kontrolle von Gleichgewicht und Feinmotorik.



F Cerebellum und Truncus encephali: Terminologische Besonderheiten

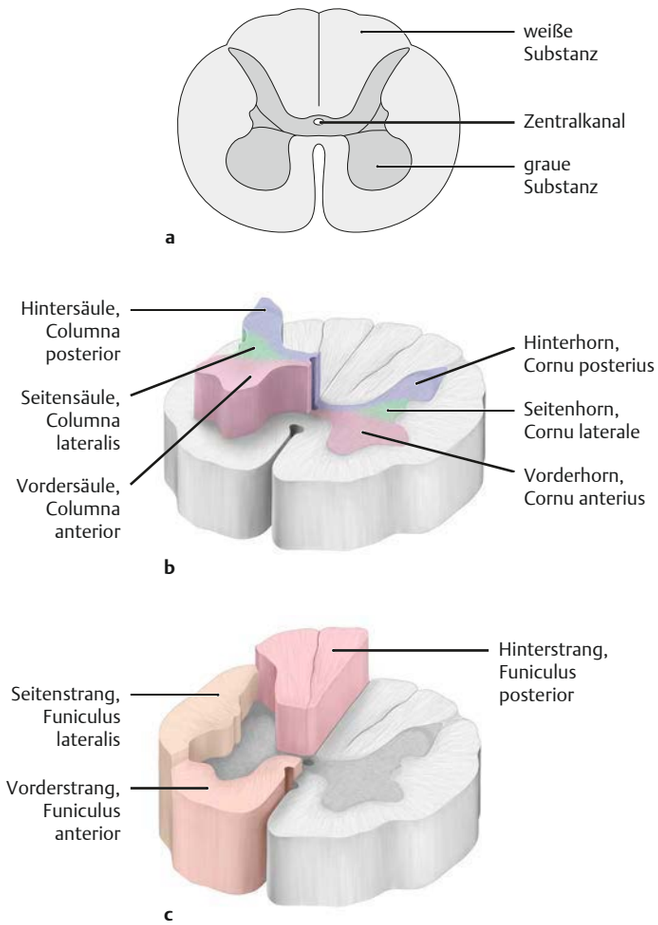
Das Kleinhirn wird topografisch nicht zum Hirnstamm gerechnet, geht entwicklungsgeschichtlich aber aus ihm hervor. Pons und Cerebellum zusammen werden als *Nachhirn (Metencephalon)* bezeichnet. Die Kombination aus Pons, Cerebellum und Medulla oblongata – also den Strukturen, die den *rauten*förmigen IV. Ventrikel umschließen – wird als Rautenhirn *(Rhombencephalon)* bezeichnet.

1.8 Übersicht über das Rückenmark



A Rückenmark: Lagebeziehung in der Wirbelsäule
a Sicht auf die eröffnete Wirbelsäule von ventral; **b** Querschnitt durch einen Rückenwirbel und durch das Rückenmark.

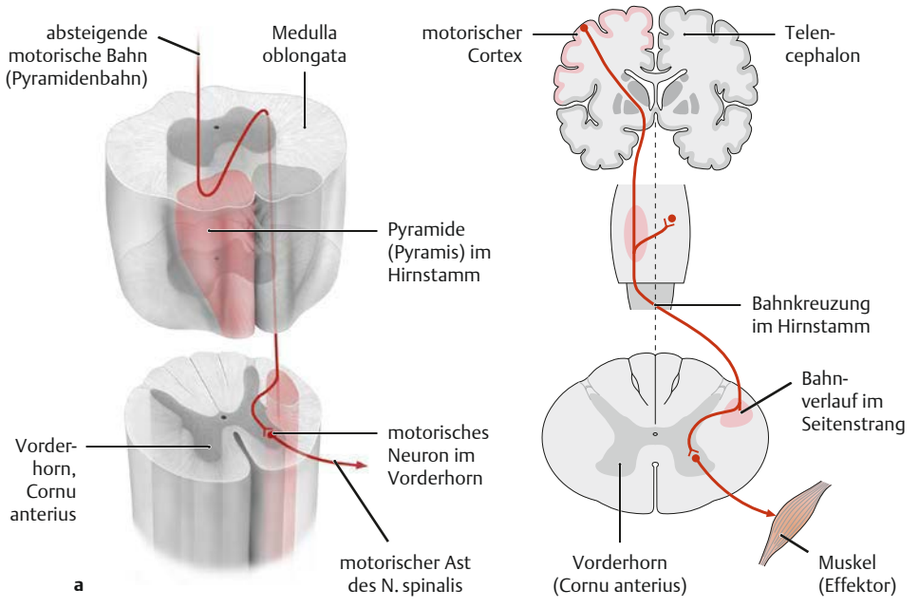
Das Rückenmark *(Medulla spinalis)* liegt in einem Kanal *(Canalis vertebralis),* der durch die *Summe der Wirbellöcher (Foramina vertebralia)* aller aufeinander gestellten Wirbel und der zwischen den Wirbeln verlaufenden Bänder der Wirbelsäule entsteht. Das Rückenmark als am weitesten kaudal liegender Abschnitt des ZNS erstreckt sich komplett vom 1. Halswirbel, dem *Atlas,* nach kaudal bis ca. zum 1. Lendenwirbel. Ab da verlaufen weiter nach kaudal nur noch bestimmte Anteile des Rückenmarks, die sog. Wurzeln, *Radices,* die den ein- und austretenden Anteilen der Nerven entsprechen (s. **D**), somit also schon dem PNS zuzuordnen sind. Innerhalb des Canalis vertebralis ist das Rückenmark als Bestandteil des ZNS wie das Gehirn auch von *Meningen* und äußerem Liquorraum *(Subarachnoidalraum)* umgeben (s. S. 311).

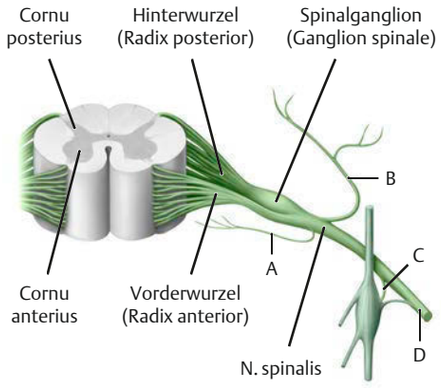


B Rückenmark: innerer Aufbau
a Querschnitt durch das Rückenmark, Ansicht von oben; **b** u. **c** schematische räumliche Darstellung des Rückenmarks mit Hervorhebung der grauen (**b**) bzw. der weißen Substanz (**c**); Ansicht schräg von vorne, links und oben. Das Rückenmark weist alle charakteristischen Strukturen des ZNS auf:

- **graue Substanz (Substantia grisea),** die auf dem Querschnitt die Form eines Schmetterlings hat und typischerweise in
  – Vorderhorn *(Cornu anterius),*
  – Hinterhorn *(Cornu posterius)* und
  – Seitenhorn *(Cornu laterale)* eingeteilt wird.
  Beachte: Ein Seitenhorn findet man *nicht* in den zervikalen und *unteren* lumbalen Rückenmarkssegmenten."

  Alle Hörner sind paarig angelegt, das Rückenmark ist somit wie die anderen Abschnitte des ZNS auch seitensymmetrisch. Die graue Substanz enthält die Neurone. Die räumliche Darstellung (**b**) verdeutlicht, dass der Begriff *„Horn"* eine Bezeichnung am Rückenmarks*querschnitt* ist: Unter Einbeziehung des *3-dimensionalen* Aspektes spricht man von Vorder-, Hinter- und Seiten*säule* (*Columna anterior, posterior* und *lateralis*). Im Zentrum der grauen Substanz liegt ein Anteil des inneren Liquorraums, der gelegentlich (abschnittsweise) verödete Zentralkanal *(Canalis centralis).* Um die graue Substanz liegt die
- **weiße Substanz (Substantia alba),** die aus Bahnen besteht und sich – besonders gut sichtbar in der räumlichen Darstellung (**c**) – in Stränge *(Funiculi)* gliedern lässt, die analog zu den Säulen als Vorder-, Hinter- und Seitenstrang (*Funiculus anterior, posterior* und *lateralis*) bezeichnet werden. Gelegentlich werden Vorder- und Seitenstrang zu einem Vorderseitenstrang begrifflich zusammengefasst *(Funiculus anterolateralis).*



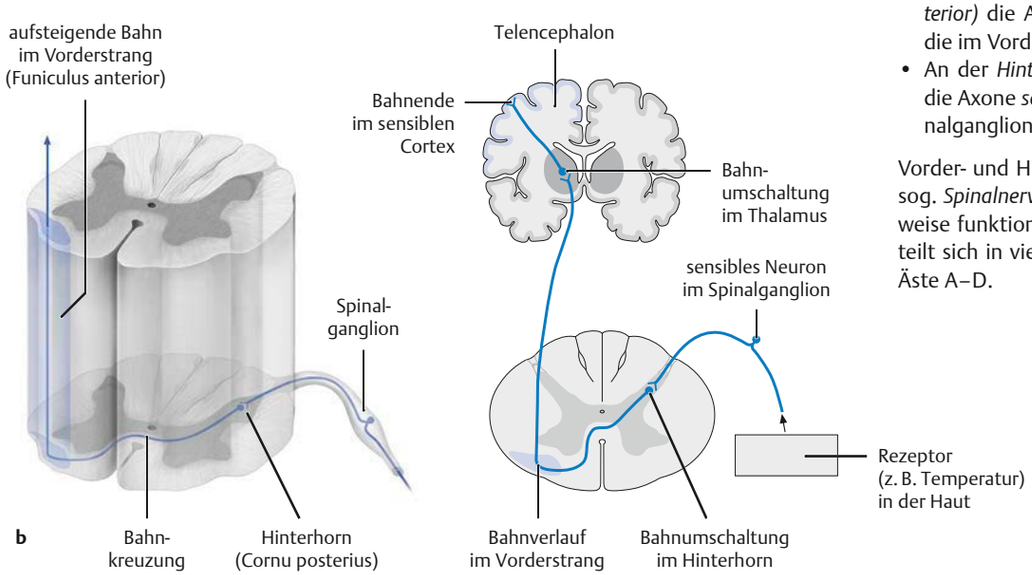


D Verbindung von ZNS und PNS am Rückenmark

Querschnitt durch ein Rückenmark, Schrägansicht von vorne und oben. Dargestellt sind auch alle Anteile des PNS (grün).

- Aus dem vorderen Teil des Rückenmarks treten in Form der sog. *Vorderwurzel (Radix anterior)* die Axone *motorischer* Nervenzellen, die im Vorderhorn liegen, aus.
- An der *Hinterwurzel (Radix posterior)* treten die Axone *sensibler* Nervenzellen, die im Spinalganglion liegen, in das Rückenmark ein.

Vorder- und Hinterwurzel vereinigen sich zum sog. *Spinalnerv (N. spinalis)*, der somit üblicherweise funktionell gemischt ist. Der Spinalnerv teilt sich in vier systematisch unterscheidbare Äste A–D.



C Bahnen im Rückenmark

Die Bahnen im Rückenmark verlaufen in den Funiculi (s. **Bc**). Nach ihrem Verlauf sind sie entweder absteigend (*deszendierend*, **a**) oder aufsteigend (*aszendierend*, **b**). Absteigende Bahnen haben meist *motorische Funktionen* und kommen allgemein von höheren Zentren im ZNS, so etwa von der motorischen Rinde des Großhirncortex. Aufsteigende Bahnen haben typischerweise *sensible Funktionen* und leiten die Information eines Sinnesrezeptors an höhere sensible Zentren im ZNS.

a Als Beispiel für eine motorische Bahn ist hier die *Pyramidenbahn* oder *motorische Vorderseitenstrangbahn* dargestellt, eine Bahn der Willkürmotorik, die von der (motorischen) Großhirnrinde kommend im Vorderstrang und im Seitenstrang des Rückenmarks bis zum Vorderhorn zieht und dort an einem motorischen Neuron des Rückenmarks umschaltet. Von diesem motorischen Neuron geht dann die motorische Wurzel eines Nervs aus, der zu einem Skelettmuskel zieht;

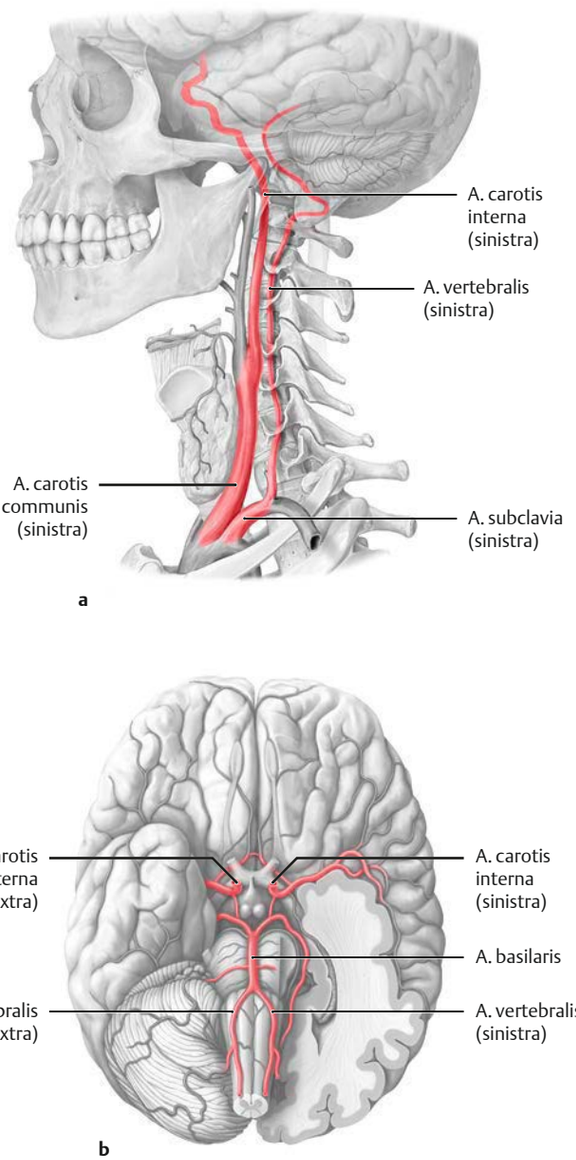
b zeigt eine sensible Bahn, die ebenfalls in Vorder- und Seitenstrang des Rückenmarks verläuft und von der Haut kommend über Zwischenstationen (v. a. über den Thalamus im Zwischenhirn) letztlich zur (sensiblen) Großhirnrinde zieht, die *sensible Vorderseitenstrangbahn.* Das 1. Neuron dieser Bahn liegt im Spinalganglion, ist somit also ein peripheres Neuron.

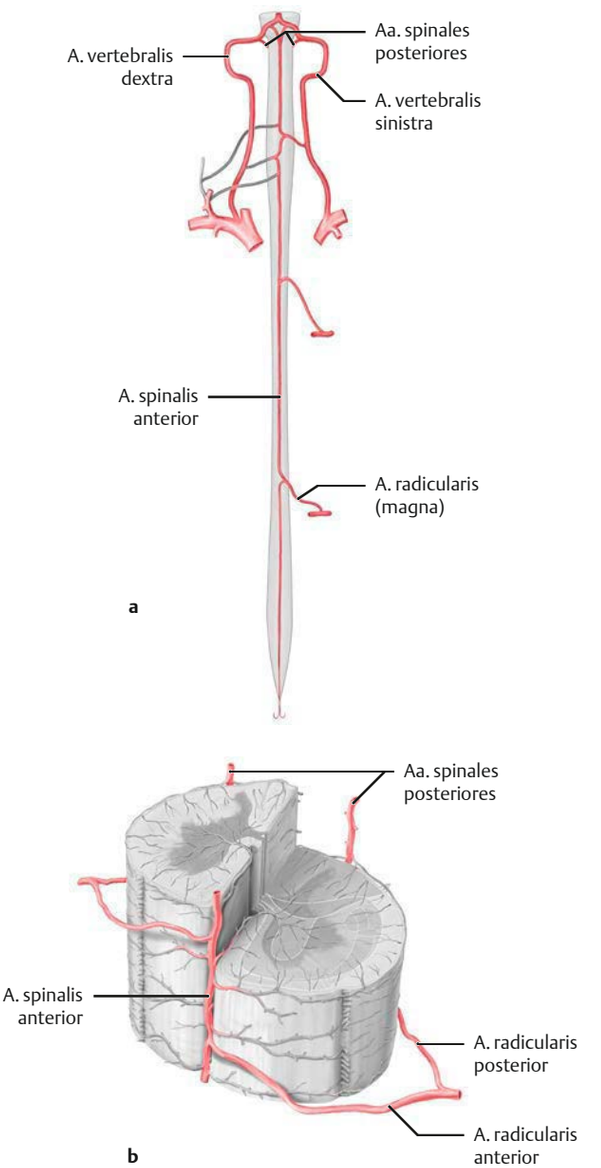
Anhand dieser beiden Bahnverläufe wird die besondere Rolle des **Rückenmarks als „Informationsvermittler“** zwischen ZNS und PNS deutlich:

- Das 1. sensible Neuron (im Spinalganglion) ist ein Neuron des PNS, dessen Axon in das ZNS eintritt.
- Das motorische Neuron im Vorderhorn ist ein Neuron im ZNS, dessen Axon in das PNS austritt.

Allerdings ist das Rückenmark als Teil des ZNS durchaus in erheblichem Maße zu einer **„eigenen“ integrativen Funktion** in der Lage, was z. B. bei den sog. *Reflexen* eine besondere Rolle spielt. Für diese Integration verfügt das Rückenmark innerhalb der weißen Substanz über sog. *Fasciculi proprii* (= *„eigene Bündel“* [!] oder *Grundbündel,* hier nicht gesondert dargestellt) die der rückenmarksinternen Informationsleitung dienen und das Rückenmark nicht verlassen. Im Sinne der Funktion werden die durch das Rückenmark hindurch ziehenden Bahnen oft als *Fremdapparat* bezeichnet, die Grundbündel als *Eigenapparat*. Die Kenntnis von Lage, Verlauf und Funktion von Rückenmarksbahnen ist wesentlich für das Verständnis klinischer Symptome bei Verletzungen oder Erkrankungen des Rückenmarks.

1.9 Blutversorgung von Gehirn und Rückenmark



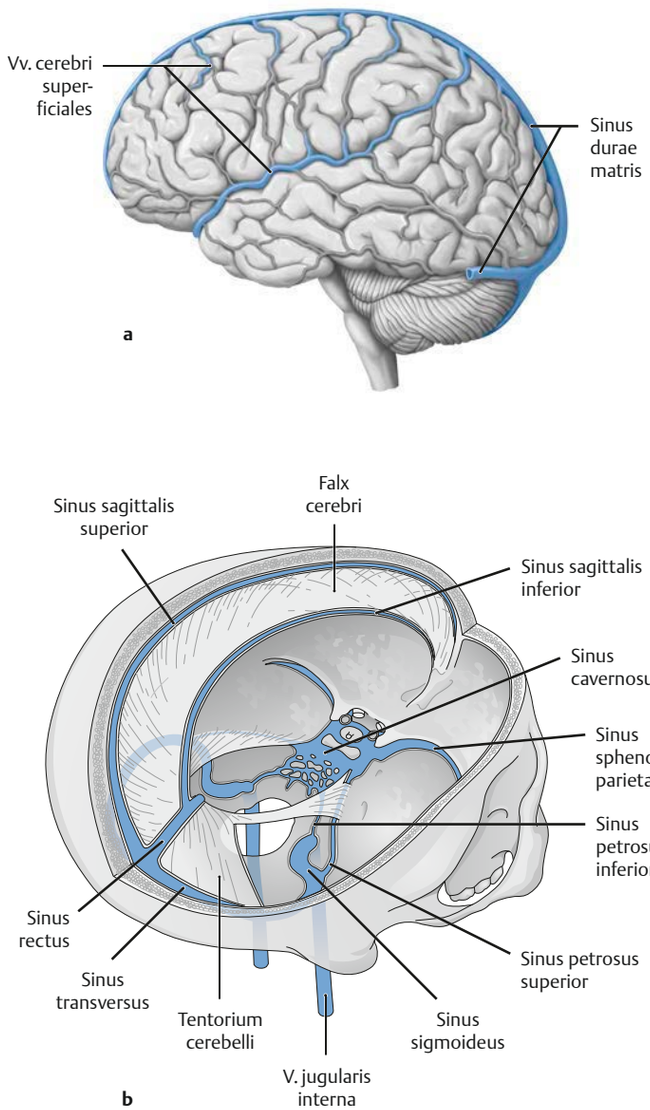


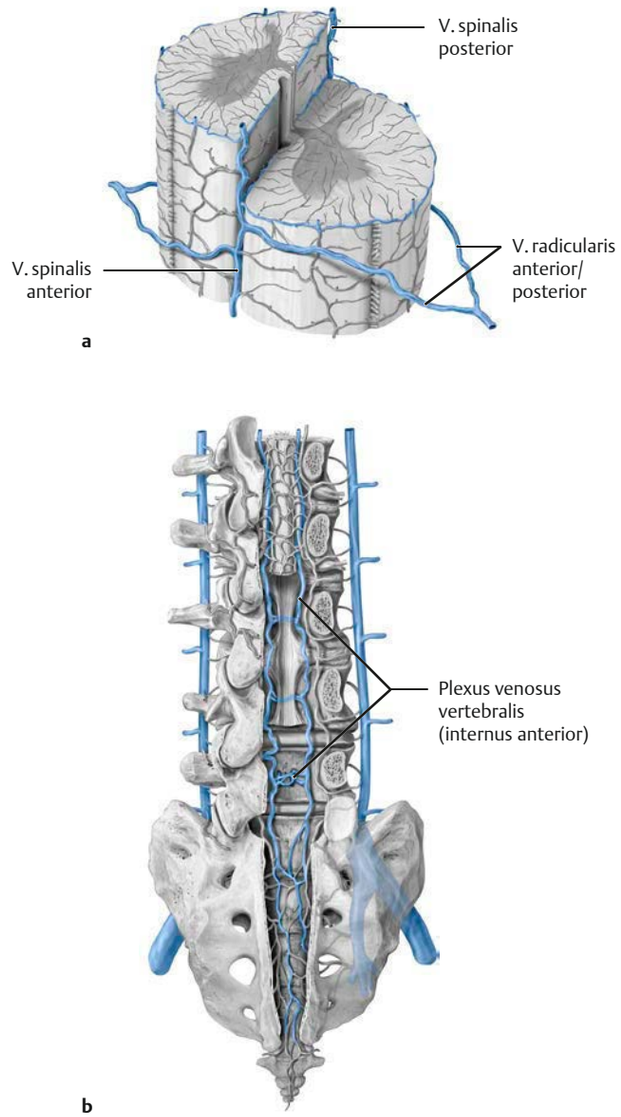
A Arterielle Blutversorgung des Gehirns
a Sicht von links auf einen transparenten Schädel; **b** Sicht auf ein Gehirn von basal.

Der Sauerstoffbedarf des Gehirns ist sehr groß. Bei einem Anteil von 2% am Gesamtkörpergewicht hat das Gehirn einen Anteil an der Durchblutung von 15% des Herzminutenvolumens. Der erforderliche Blutfluss wird durch zwei jeweils paarig angelegte Arterien garantiert (**a**): die größere *A. carotis interna* und die kaliberschwächere *A. vertebralis*, die durch den *Canalis caroticus* bzw. das *Foramen magnum* in die Schädelhöhle gelangen. An der Basis des Gehirns – innerhalb des Subarachnoidalraums – vereinigen sich die Äste dieser vier Arterien zu einem Gefäßkranz, dem *Circulus arteriosus* (**b**). Aus den vier Arterien bzw. aus dem Circulus arteriosus gehen dann alle Arterien ab, die das Gehirn versorgen, z. B. als *Aa. cerebri* oder als *Aa. cerebelli*. Der Zusammenschluss der vier Arterien in einem Gefäßkranz ermöglicht bei Durchblutungsstörungen eines Gefäßes in gewissen Grenzen eine Kompensation des Minderflusses durch ein anderes Gefäß.

B Arterielle Blutversorgung des Rückenmarks
a Schematische Darstellung der Blutzufuhr zum Rückenmark; **b** Querschnitt durch ein Rückenmark, Ansicht von links, vorne und oben.

Die große Länge des Rückenmarks, das in einem engen Kanal liegt, stellt den Organismus bei der Blutversorgung vor erhebliche „logistische" Probleme. Die Blutzufuhr erfolgt daher in mehreren Versorgungsabschnitten (**a**): von kranial ziehen Äste der *A. vertebralis* (*A. spinalis anterior* und zwei *Aa. spinales posteriores*) am Rückenmark nach kaudal. Der Füllungsdruck dieser Gefäße über die A. vertebralis reicht aber nicht, um das ganze Rückenmark bis nach kaudal zu versorgen. Über „Zwischenstationen" erreichen daher segmental angeordnete kleinere Arterien, die als *Rr. spinales* den Interkostalarterien entspringen, das Rückenmark, und füllen über die sog. *Aa. radiculares* (*anterior* und *posterior*, entlang der Vorder- bzw. Hinterwurzel) die Aa. spinales immer wieder auf. Von kranial nach kaudal kommt diesen kleinen Segmentarterien (wegen des in dieser Richtung abnehmenden Füllungsdruckes durch die A. vertebralis) wachsende Bedeutung zu. Ziel ist also die über die ganze Ausdehnung des Rückenmarks garantierte ausreichende Befüllung der Aa. spinales; diese geben dann ihre Äste in das Rückenmark ab (**b**).





C Venöse Drainage des Gehirns

a Schematische Darstellung der oberflächlichen Venen am Gehirn, Ansicht von links; **b** Sicht auf die *Sinus durae matris,* Sicht in den eröffneten Schädel von rechts, hinten und oben.

Das Blut des Gehirns wird in tiefen Hirnvenen (*Vv. cerebri profundae,* hier nicht sichtbar) gesammelt und über die oberflächlichen Hirnvenen *(Vv. cerebri superficiales)* in Hohlräume (sog. *Sinus*) der Dura mater abgeleitet. Diese sog. *Sinus durae matris* sind venöse Blutleiter innerhalb der Dura mater, die im Gegensatz zu echten Venen keine muskuläre Wand haben: Die Sinuswand besteht nur aus Dura und einer einschichtigen Zellauskleidung, dem Endothel. Die Sinus, die alle untereinander verbunden sind, leiten ihr Blut letztlich in echte Venen, und zwar hauptsächlich in die paarig angelegte großkalibrige *V. jugularis interna,* die somit die Hauptdrainage des Gehirns darstellt. Die Sinus selbst enthalten wie auch die echten Venen am Kopf keine inneren Klappen: Blut kann im Sinus (und z. B. in der V. jugularis interna) in beide Richtungen fließen, die Flussrichtung wird ausschließlich vom vorherrschenden Druckgefälle gesteuert.

Beachte: Sinus durae matris gibt es nur im Schädel, nicht am Rückenmark, obwohl dort natürlich auch Dura vorkommt. Über die Verbindung der Sinus durae matris zu echten Venen außerhalb des Schädels können Bakterien von außen ohne Verletzung des Knochens oder der Hirnhäute in das Schädelinnere gelangen (s. S. 385).

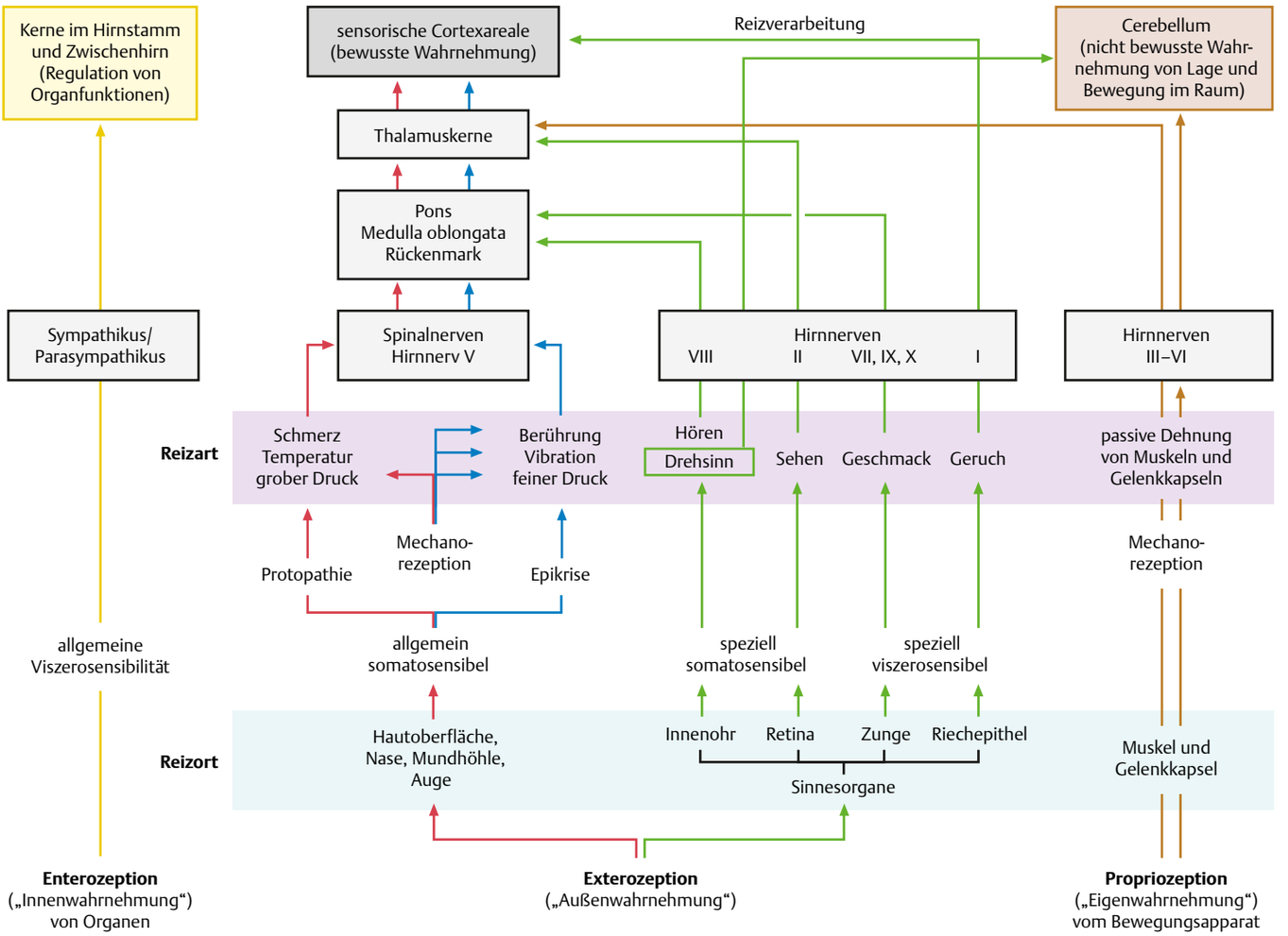
D Venöse Drainage des Rückenmarks

a Querschnitt durch ein Rückenmark, Ansicht von links, vorne und oben; **b** Sicht auf den eröffneten Wirbelkanal und das Rückenmark von dorsal.

Das venöse Blut des Rückenmarks wird in *Vv. spinales* (*anteriores* und *posteriores*) gesammelt und segmental in große, im Wirbelkanal gelegene Venengeflechte *(Plexus venosi vertebrales)* oder direkt in *Vv. intercostales* abgegeben. Ein Sinussystem wie im Schädel gibt es am Rückenmark nicht!

Beachte: Das umfangreiche Venensystem im Plexus venosus vertebralis enthält sehr viel mehr Venen, als für die Drainage des Blutes, das für den Rückenmarksstoffwechsel erforderlich ist, notwendig wären. Das Plexussystem hat nämlich eine weitere Aufgabe: Es dient auch dem Druckausgleich im Wirbelkanal. Durch Verschiebung großer Blutvolumina zwischen intra- und extravertebralen Plexus venosi (beide ohne Venenklappen) können Druckschwankungen im Wirbelkanal kompensiert werden (s. **B** u. **C**, S. 417).

1.10 Somatosensibilität



A Somatosensibilität: Einteilung und Übersicht

Bei der Sensibilität unterscheidet man *Somato-* und *Viszerosensibilität*. Die sog. *allgemeine Viszerosensibilität* – die Verarbeitung sensibler Reize aus den inneren Organen *(= Enterozeption)* – wird ebenso wie die *Viszeromotorik* auf S. 297 dargestellt und ist hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Die Somatosensibilität lässt sich nach Reiz*ort* und Reiz*art* unterteilen. Diese Unterscheidung ist deshalb so wichtig, weil es sowohl vom Reizort als auch von der Reizart abhängt, über welche Bahnen ein sensibles Signal geleitet wird. Unterteilung nach dem **Reizort:**

- Ist der Reizort die Haut, die Schleimhaut von Mund und Nase oder die Augen*oberfläche* (*nicht* der *Seh*sinn!), spricht man von *Außenwahrnehmung* (*Exterozeption,* Oberflächensensibilität).
- Ist der Reizort ein Dehnungsrezeptor in einem Muskel, einer Sehne oder in einer Gelenkkapsel (Dehnungsmessung!), spricht man von *Eigenwahrnehmung* (*Propriozeption,* Tiefensensibilität des Bewegungsapparates; sie dient der Lagekontrolle im Raum).

Unterteilung nach der **Reizart:** Zusätzlich untergliedert wird hierbei nur die Außenwahrnehmung, also die *Exterozeption:*

- Dabei stellt man der sog. *epikritischen* Wahrnehmung (Tastsinn, Vibration, leichte Berührung, leichter Druck = *feine* Mechanorezeption)
- die sog. *protopathische* Wahrnehmung (Schmerz, Temperatur, grobe mechanische Reize, also *grobe* Mechanorezeption) gegenüber.

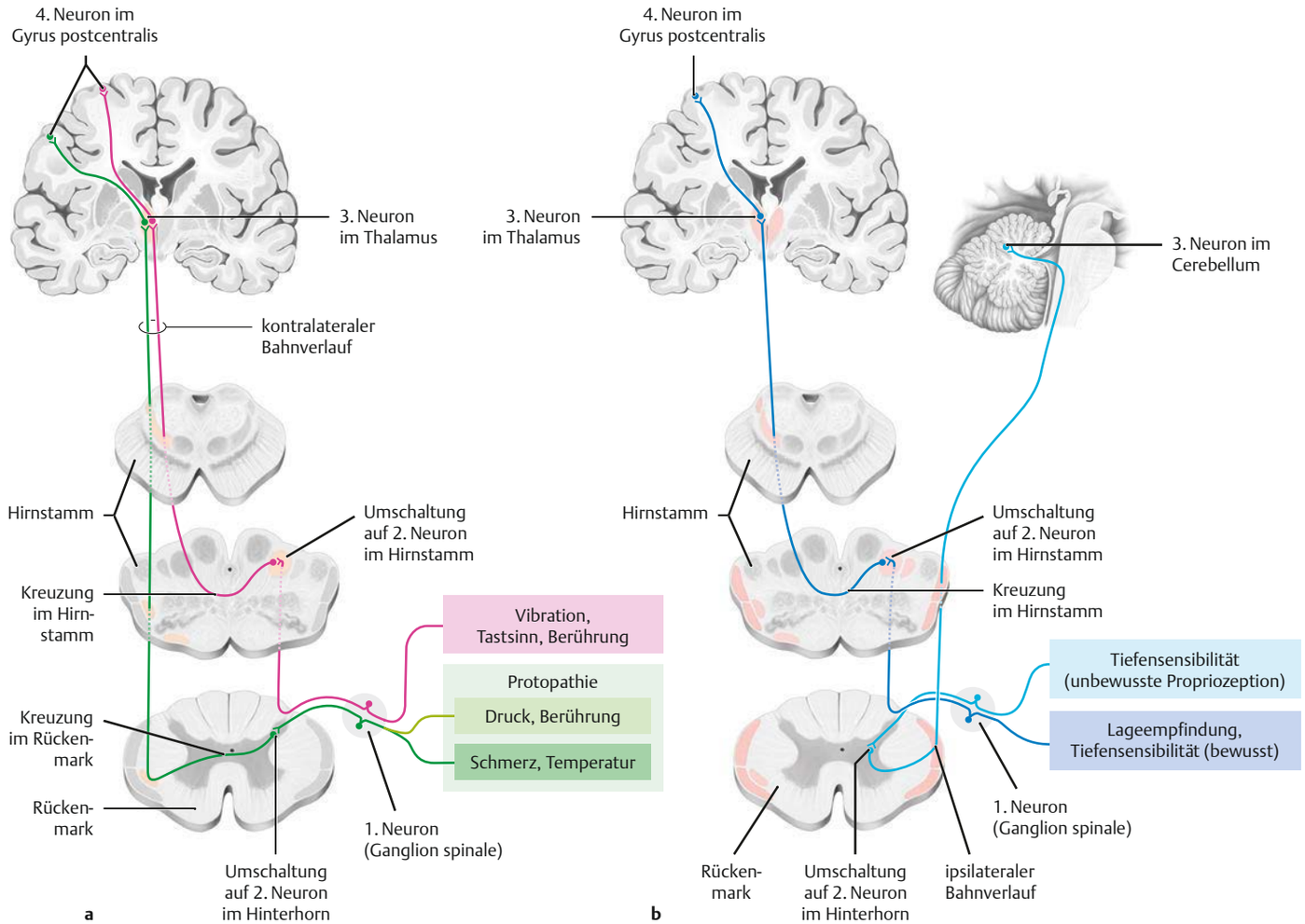
Die Propriozeption ist zwar ebenfalls eine Mechanorezeption, wird jedoch nicht weiter untergliedert.

Sowohl Exterozeption als auch Propriozeption laufen über Spinalnerven (Information von Rumpf, Hals, Extremitäten) oder über den N. trigeminus (N. V; propriozeptive Information vom Schädel).

Auch die **Wahrnehmung über Sinnesorgane** ist letztlich eine Form der *Exterozeption*. Sie wird ausschließlich über Hirnnerven vermittelt. Im Bereich der Sinnesorgane spielen neben *mechanischen* Reizen (Akustik) auch *chemische* Reize (Geschmack, Geruch) und *elektromagnetische* Wellen (Optik) eine Rolle. Aus entwicklungsgeschichtlichen wie aus terminologischen Gründen wird die Wahrnehmung der *physikalischen* Reize (Optik und Akustik) als sog. „*spezielle Somatosensibilität*“ bezeichnet, die Wahrnehmung *chemischer* Reize als „*spezielle Viszerosensibilität*“.

Beachte: Die spezielle Viszerosensibilität bei chemischen Reizen an zwei Sinnesorganen darf nicht mit der „allgemeinen Viszerosensibilität“ der inneren Organe verwechselt werden (gelber Pfeil ganz links).

Auch die unterschiedliche **Verarbeitung der Reize im ZNS** – bewusst oder nicht bewusst – dient der Einteilung der Sensibilität. Damit ein Sinneseindruck ins Bewusstsein gelangt (*bewusste* Sensibilität), muss er die sensible Rinde des Telencephalon erreichen. Dabei werden solche Sinneseindrücke meistens über den Thalamus geleitet. Sinneseindrücke, die nicht zur Endhirnrinde geleitet werden, sondern nur andere „untergeordnete“ Abschnitte des ZNS erreichen, werden nicht bewusst wahrgenommen (*nicht bewusste* Sensibilität). Somit lässt sich für einen Sinnesreiz neben Reizort und Reizart also noch die „*Endstation*“ *der Signalleitung* unterscheiden. Auch bei der Somato*sensibilität* existieren analog zur Somatomotorik spezielle Termini für spezielle Sinneswahrnehmungen.



B Somatosensibilität: Verschaltung und beteiligte Strukturen
An der Somatosensibilität sind das *ZNS* und das *PNS* sowie ein *Rezeptor* beteiligt.

a Weiterleitung eines Sinnesreizes aus der Haut an das Telencephalon (Großhirn) = epikritische und protopathische, bewusste Wahrnehmung);
b Weiterleitung eines Signals aus den Skelettmuskeln (Dehnungszustand der Muskeln, der über spezielle Dehnungsrezeptoren erfasst wird = propriozeptiv) an das Kleinhirn (nicht bewusst) und an das Großhirn (bewusst).

Die Signalleitung vom jeweiligen Sinnesrezeptor erfolgt dabei über einen Spinalnerv oder einen Hirnnerv. Die Leitungs*richtung* ist *afferent*, also zum ZNS hin. Wie bei der Motorik definiert man auch bei der Somatosensibilität eine „Signalchronologie" mit **Nummerierung der Neurone:**

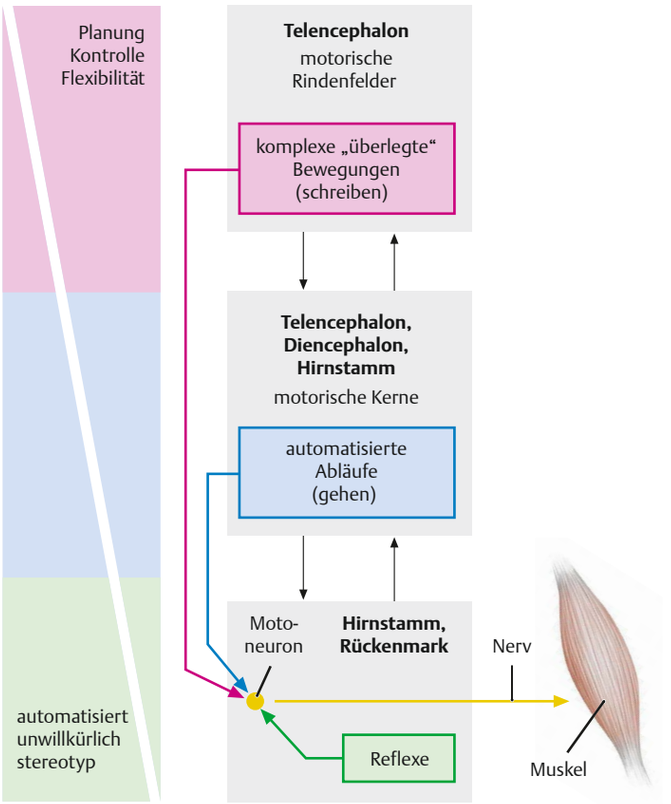
- Signale zum *Telencephalon* (bewusst) werden über *vier* Neurone geleitet,
- Signale zum *Kleinhirn* (nicht bewusst) über *drei*.

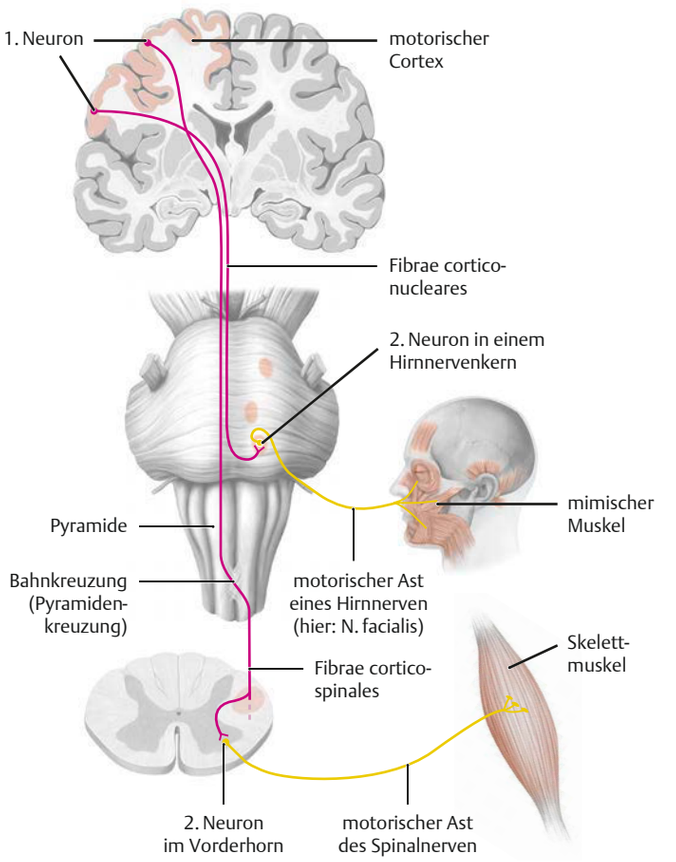
In jedem Fall liegt das *1. Neuron im PNS* in einem Spinalganglion oder einem Hirnnervenganglion (hier nicht dargestellt), das *2. Neuron* bereits *im ZNS* (Rückenmark oder Kerne im Hirnstamm). Ab hier unterscheidet sich die Anzahl der Neurone. Ursache für das eine zusätzliche Neuron auf dem Weg eines Signals zum Telencephalon ist, dass alle Neurone zum Telencephalon eine spezifische Kerngruppe im Zwischenhirn durchlaufen, den *Thalamus*. Er ist die zentrale Schaltstation für die bewusste Sensibilität, dem u. a. eine „Filterfunktion" für die Signalleitung („was hat Priorität?") zukommt. Im Thalamus liegt das *3. Neuron* („Filterneuron"). Das *4. Neuron* ist gleichsam die sensible Endstation im *Gyrus postcentralis* des Telencephalon. Für Signale, die zum Kleinhirn geleitet werden, also nur über drei Neurone, liegt das 3. Neuron in der Kleinhirnrinde.
Beachte: Das somato*sensible* System hat in allen Fällen *periphere* und *zentrale* Neurone. Signale zum Kleinhirn laufen nicht über den Thalamus und daher nur über drei Neurone.
Schmerz, Temperatur und *grobe Mechanorezeption (grober Druck) von Haut und Schleimhäuten* werden im Rückenmark in der *sensiblen Vorderseitenstrangbahn (Tractus spinothalamicus)* geleitet. *Feine Mechanorezeption (Vibration, feine Berührung)* wird im Rückenmark in der *Hinterstrangbahn (Fasciculus gracilis und cuneatus)* geleitet.
Beachte:

- Alle Bahnen, die *Exterozeption* vermitteln, *kreuzen* im ZNS auf die Gegenseite. Es ist immer das Axon des 2. Neurons, das kreuzt. Somit wird ein Reiz im linken Arm über den rechten Thalamus an die rechte Großhirnrinde geleitet und dort wahrgenommen.
- *Propriozeption* wird im Rückenmark hauptsächlich über die *Kleinhirnseitenstrangbahn (Tractus spinocerebellaris)* geleitet. 1. und 2. Neuron liegen im Spinalganglion bzw. im Rückenmark; das Axon des 2. Neurons erreicht *gleich*seitig (!) ein 3. Neuron in der *Klein*hirnrinde. Die Informationsverarbeitung erfolgt nicht bewusst.

Im Bereich des Schädels laufen alle Anteile der Sensibilität über den N. trigeminus und über die zentrale Trigeminusbahn.
Beachte: In einem geringeren Umfang kann Propriozeption auch mit der *Hinterstrangbahn* die *Großhirnrinde* zur *bewussten* Stellungsempfindung erreichen: Epikrise (gehört zur Exterozeption) und Propriozeption laufen dann parallel in der gleichen Bahn, schalten aber an verschiedenen Kernen um. Zu Einzelheiten s. S. 402 ff.

1.11 Somatomotorik





A Somatomotorik: Übersicht

Die Einteilung der Somatomotorik ist weniger komplex als die der Somatosensibilität. *Somatomotorik* ist die Aktivierung quergestreifter Skelettmuskulatur. Dies wird meist mit dem Begriff „Bewegungsapparat“ assoziiert. Aber auch Muskeln mit Funktionen wie Mimik, Kauen oder Augapfelbewegung sind histologisch gesehen quergestreifte Skelettmuskulatur, gehören aber im strengen Sinne nicht zum Bewegungsapparat, selbst wenn sie etwas bewegen, z. B. den Kiefer. Für solche „speziellen“ somatomotorischen Bewegungsfunktionen werden daher gelegentlich spezielle Termini benutzt (s. S. 112). Hier wird nur die Somatomotorik dargestellt; zu Viszeromotorik, also „Organmotorik“ s. S. 296.

Somatomotorische Aktionen lassen sich danach charakterisieren, ob sie eher *vollständig automatisiert* ablaufen (und dann stereotyp wirken), oder in hohem Maße einer *willkürlichen Kontrolle* unterliegen, was mit einer großen Flexibilität des Bewegungsmusters verbunden ist. Typischerweise sind Bewegungen Kombinationen von automatisierten Bewegungen und willkürlichen, kontrollierten Aktionen. Alle für solche somatomotorischen Funktionen notwendigen Verschaltungen im ZNS haben eine gemeinsame „Endstrecke“: Sie enden an einem Motoneuron, das im Rückenmark (für Spinalnerven) oder in motorischen Hirnstammkernen (für Hirnnerven) liegt. Dieses Motoneuron ist Signalgeber für den Muskel. Aus physiologischer Sicht werden α- und γ-Motoneurone unterschieden. Grob vereinfacht kann man sagen, dass das α-Motoneuron die Bewegung des Muskels auslöst, während das γ-Motoneuron eine auch unabhängig von einer konkreten Bewegung vorliegende „Grundspannung“ des Muskels reguliert. Der unterschiedlichen Komplexität von Bewegungen entspricht eine unterschiedliche Beteiligung verschieden komplexer Abschnitte des Nervensystems an der Verschaltung. Während einfache reflexartige Bewegungen z. B. nur auf Rückenmarksebene ablaufen, sind für die komplizierte Willkürmotorik das „Hinzuschalten des Großhirncortex“ und evtl. das Kleinhirn unerlässlich.

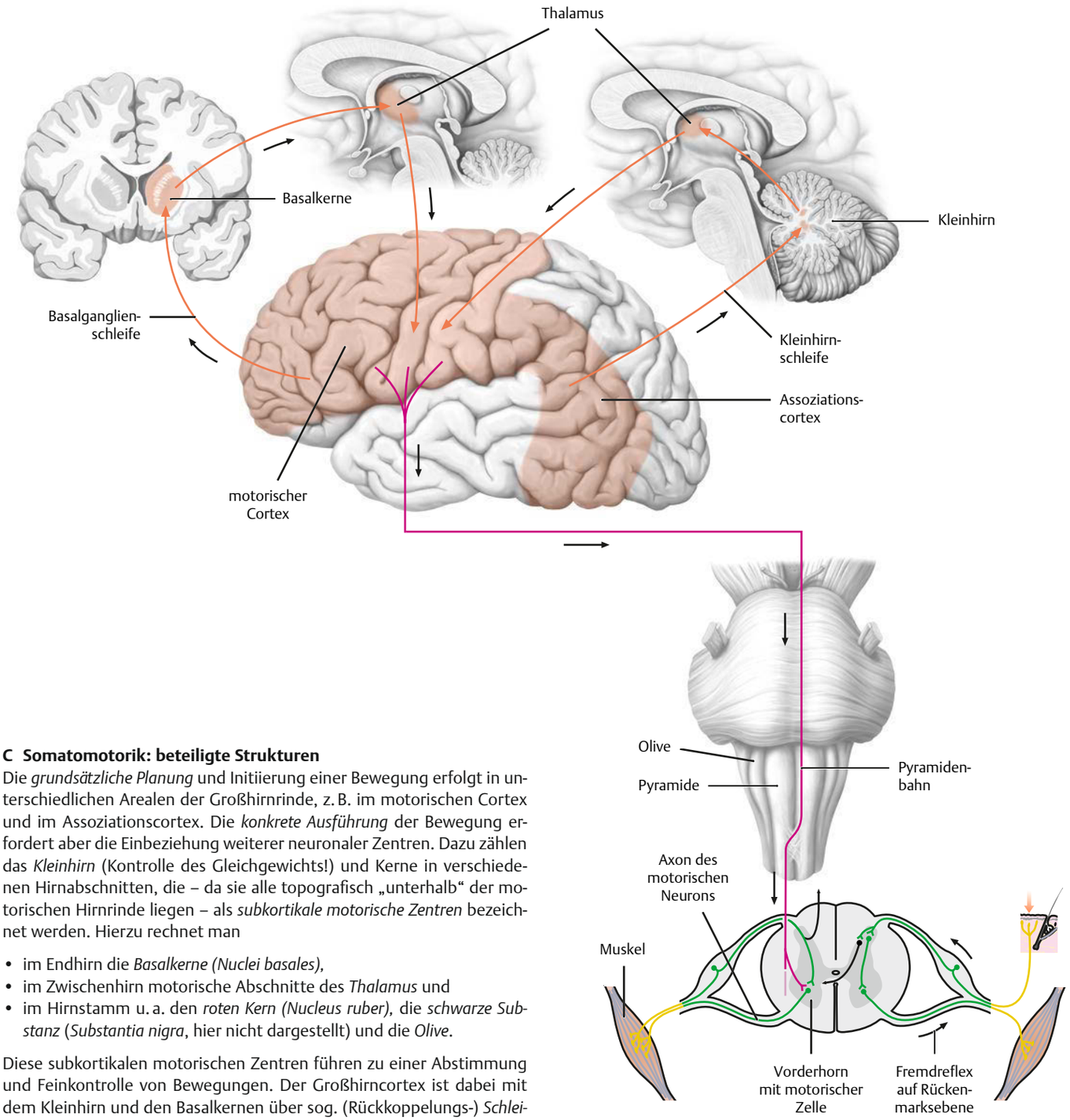
B Somatomotorik: neuronale Verschaltung

An der Somatomotorik sind das *ZNS* und das *PNS* sowie ein *Effektor* in charakteristischer Weise beteiligt. Dargestellt ist hier die willkürliche Aktivierung eines Muskels – des Effektors – durch das Großhirn.

Ein Neuron im ZNS gibt sein Signal über sein Axon an ein weiteres Neuron in einem anderen Abschnitt des ZNS. Dieses 2. Neuron nimmt das Signal auf und leitet es über sein eigenes Axon über das PNS an den Effektor weiter. Aufgrund der Richtung der Signalleitung (vom ZNS weg) handelt es sich um eine *efferente* Leitung (s. S. 266), und man kann die beteiligten Neurone gleichsam „signalchronologisch“ nummerieren: 1. und 2. (jeweils zentrales) Neuron. Die Axone vieler 1. Neurone bilden als weiße Substanz im ZNS definitionsgemäß eine Bahn (z. B. einen Tractus im Gehirn oder im Rückenmark), die Axone vieler 2. Neurone bilden definitionsgemäß – weil sie das ZNS verlassen – im PNS einen Nerv (s. **C**, S. 295). Das Axon des 2. Neurons endet am Muskel mit einer speziellen Struktur, der sog. *motorischen Endplatte*, die das Signal auf den Muskel überträgt.

Das 1. Neuron liegt in einem motorischen Abschnitt des *Telencephalon* in der sog. *primär motorischen Rinde.* Das 2. Neuron liegt entweder in der grauen Substanz des Rückenmarks: das Axon dieses Rückenmarksneurons erreicht die Muskeln des klassischen Bewegungsapparates als Rückenmarks- bzw. *Spinalnerv.* Oder das 2. Neuron liegt in bestimmten Zentren des Hirnstamms: das Axon dieses Hirnstammneurons erreicht Muskeln an Schädel und Hals etwa für die Mimik, das Kauen oder für die Bewegung von Augapfel und Zunge als *Hirnnerv.* Hirnnerven steuern somit – abgesehen von einer einzigen Ausnahme – nicht den „klassischen“ Bewegungsapparat.

Beachte: Das somatomotorische System hat *ausschließlich zentral liegende* Neurone. Nur das Axon des 2. Neurons zieht in das PNS.



C Somatomotorik: beteiligte Strukturen

Die *grundsätzliche Planung* und Initiierung einer Bewegung erfolgt in unterschiedlichen Arealen der Großhirnrinde, z. B. im motorischen Cortex und im Assoziationscortex. Die *konkrete Ausführung* der Bewegung erfordert aber die Einbeziehung weiterer neuronaler Zentren. Dazu zählen das *Kleinhirn* (Kontrolle des Gleichgewichts!) und Kerne in verschiedenen Hirnabschnitten, die – da sie alle topografisch „unterhalb" der motorischen Hirnrinde liegen – als *subkortikale motorische Zentren* bezeichnet werden. Hierzu rechnet man

- im Endhirn die *Basalkerne (Nuclei basales),*
- im Zwischenhirn motorische Abschnitte des *Thalamus* und
- im Hirnstamm u. a. den *roten Kern (Nucleus ruber),* die *schwarze Substanz* (*Substantia nigra*, hier nicht dargestellt) und die *Olive*.

Diese subkortikalen motorischen Zentren führen zu einer Abstimmung und Feinkontrolle von Bewegungen. Der Großhirncortex ist dabei mit dem Kleinhirn und den Basalkernen über sog. (Rückkoppelungs-) *Schleifen* verschaltet. Die in Abb. **B** dargestellte Bahn der motorischen Rinde zum Rückenmark zieht im Hirnstamm durch eine Struktur, die aufgrund ihrer Form als *Pyramide (Pyramis)* bezeichnet wird; die Bahn wird als *Pyramidenbahn* bezeichnet. Bahnen der subkortikalen Zentren des Hirnstamms selbst durchlaufen topografisch dagegen nicht die Pyramide und werden daher als *Extrapyramidalbahnen* bezeichnet. Beide Bahntypen erreichen das Rückenmark, in dem sie deszendierend verlaufen, und enden letztlich im Vorderhorn des Rückenmarks an dem Neuron, dessen Axon dann zum Muskel zieht. Die Pyramidenbahn *(Tractus corticospinalis*) ist die Bahn, die letztendlich eine Bewegung *auslöst.* Extrapyramidalbahnen der subkortikalen Zentren aus dem Hirnstamm dienen der *Feinabstimmung* und *Vorbereitung* dieser Bewegung.

Beachte: Der Tractus cortico*nuclearis* endet – wie der Tractus cortico*spinalis* auch vom motorischen Cortex kommend – an motorischen Kernen im Hirnstamm, die funktionell den Vorderhörnen des Rückenmarks entsprechen. Er vermittelt dieselbe Art von Motorik wie der Tractus corticospinalis, durchzieht jedoch nicht die Pyramide, sondern endet oberhalb von ihr (die Pyramide liegt im untersten Abschnitt des Hirnstamms). Wegen der analogen motorischen Funktion wird aber meist auch der Tractus corticonuclearis der Pyramidenbahn zugerechnet. Typischerweise kreuzen die Axone des 1. Neurons: Motorische Impulse der rechten Großhirnhemisphäre erreichen die linke Rückenmarkshälfte und damit über den linken Spinalnerv einen links gelegenen Effektor.

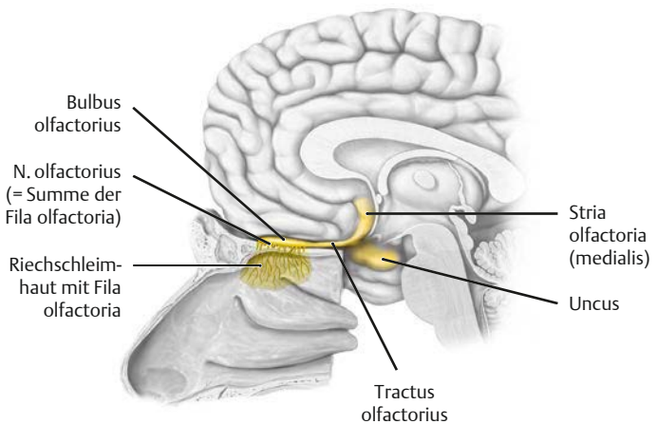
Sehr einfache motorische Abläufe wie Reflexe können ohne Einbeziehung höherer Zentren des ZNS direkt auf der Ebene des Rückenmarks (Rückenmarksreflexe) oder des Hirnstamms (Hirnstammreflexe) ablaufen.

1.12 Sinnesorgane

Übersicht

Sinnesorgane sind auf die Erfassung von Reizen spezialisiert. Spezifische Rezeptoren sind in ihnen in einem Organ – also einer morphologisch abgrenzbaren Einheit – zusammengefasst und nicht etwa verteilt über die ganze Haut. Typischerweise sind Sinnesorgane in der Lage, sehr komplexe Reizmuster zu erfassen. Umgangssprachlich spricht man daher auch von den „höheren Sinnen", die – wiederum nur umgangssprachlich – (scheinbar) einfachen Hautsinn gegenüber gestellt werden. Aus der Sicht der Reizerfassung besteht aber zwischen den Sinnesorganen und dem Hautsinn kein grundsätzlicher Unterschied. Allerdings erfordert die den Sinnesorganen vorbehaltene Erfassung besonders komplexer Reize in den meisten Fällen eine besonders komplexe zentralnervöse Verarbeitung: das Integrationsniveau (s. S. 266) für solche Reize ist typischerweise besonders hoch. Unter den „höheren Sinnen" versteht man üblicherweise Geruchssinn, Sehsinn, Geschmackssinn, Hörsinn und Gleichgewichtssinn, die fünf Sinne.

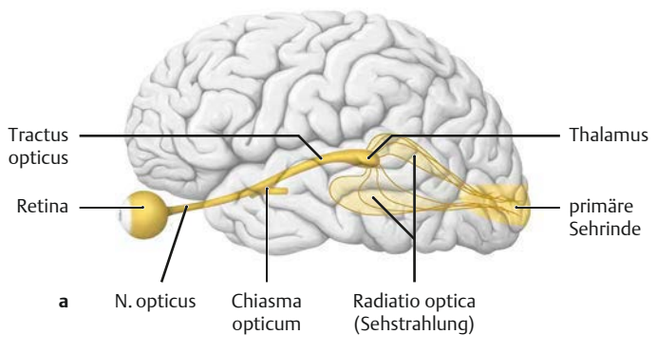
Beachte: Die hier genannte Reihenfolge der Funktionen, die auch der nachfolgenden Darstellung entspricht, orientiert sich an der Reihenfolge der beteiligten neuronalen Strukturen, hier der beteiligten Hirnnerven. Darum sind Riechen und Schmecken, die umgangssprachlich oft gemeinsam genannt werden, hier getrennt: Sie werden von völlig unterschiedlichen Strukturen des Nervensystems verarbeitet.

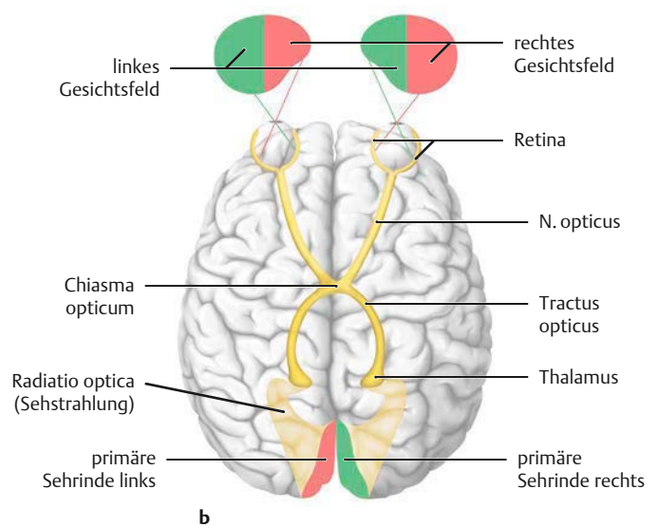


A Geruchssinn

Geruchsreize (olfaktorische Reize) werden über spezifische Rezeptoren von Riechzellen in der Nasenschleimhaut erfasst. Die axonalen Fortsätze dieser Riechzellen lagern sich zu Fila olfactoria zusammen. Die Rezeptorzellen leiten ohne Zwischenschaltung eines Ganglions ihre Information an das ZNS. Die beiden anderen äußerlich sichtbaren Bestandteile des olfaktorischen Systems *Bulbus* und *Tractus olfactorius* sind als vorgelagerte Ausstülpungen des Gehirns Bestandteile des ZNS (nicht des PNS!).

Vom N. olfactorius wird die Geruchsinformation über verschiedene Schaltstationen *(Bulbus olfactorius; Stria olfactoria)* letztlich an sehr alte Hirnrindenabschnitte (sog. *Paläokortex*, zum großen Teil lokalisiert im Temporallappen in der Nähe des sog. *Uncus*) in beide Hirnhälften (also gekreuzt und ungekreuzt) geleitet, wo sie bewusst verarbeitet wird. Die Geruchswahrnehmung wird als *„speziell viszerosensibel"* bezeichnet. „Wahrnehmungstechnisch" wird der Geruchssinn durch einen *chemischen* Reiz ausgelöst: eine chemische Verbindung (= der Geruchsstoff) bindet an einen Rezeptor in der Nasenschleimhaut.



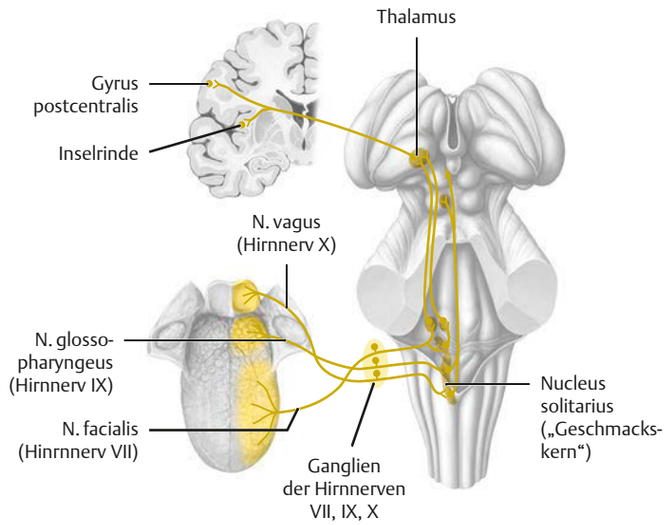


B Sehsinn

Lichtreize *(Photone)* werden ebenfalls ausschließlich über das ZNS erfasst: Die lichtempfindliche Netzhaut *(Retina)* des Auges ist ein (ausgestülpter) Teil des Zwischenhirns und der II. Hirnnerv *(N. opticus) kein echter Nerv*, sondern strukturell eine Bahn. Es existiert also ebenfalls kein Ganglion. Von der Retina (1.–3. Neuron), in der bereits eine neuronale Verarbeitung der Lichtreize erfolgt, ziehen Axone (des 3. Neurons) über den N. opticus und den *Tractus opticus* zum *Thalamus* (4. Neuron) im Zwischenhirn, von dort als *Sehstrahlung (Radiatio optica)* zur sog. *primären Sehrinde* (5. Neuron) am Okzipitalpol (**a**). Die Sehinformation kreuzt in einer spezifischen Weise an der sog. Sehnervkreuzung *(Chiasma opticum):* Visuelle Eindrücke der linken „Sehwelt" (des linken Gesichtsfeldes) erreichen die rechte Gehirnhälfte, und umgekehrt (**b**).

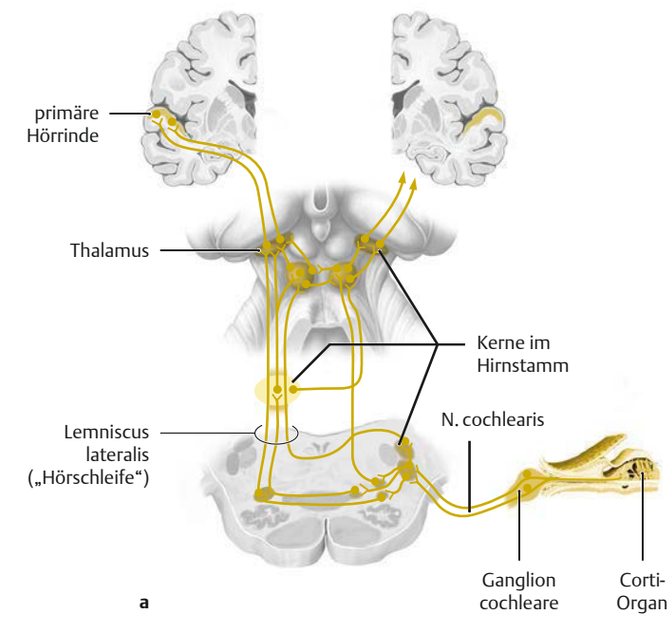
Beachte: Die Netzhaut ist im Auge konkav aufgespannt. Sie hat die Struktur eines Hohlspiegels, d. h. auf der Retina steht aus rein physikalischen Gründen „die visuelle Welt Kopf": oben und unten sind vertauscht. Durch einen neuronalen Prozess werden oben und unten wieder „in die richtige Position" gebracht. Der Sehsinn wird als *„speziell somatosensibel"* bezeichnet. „Wahrnehmungstechnisch" wird der Sehsinn durch einen *physikalischen* Reiz, und zwar durch elektromagnetische Wellen in einem bestimmten Frequenzbereich, ausgelöst.

Auch die Wahrnehmung von Wärme auf der Haut ist ein physikalischer Reiz, verursacht durch elektromagnetische Wellen. Licht im sog. Infrarotbereich (für die Rezeptoren im Auge nicht sichtbar) erregt die Temperaturrezeptoren. Manche Lebewesen – z. B. einige Schlangenarten – verfügen über Infrarotrezeptoren und können so die von einem Beutetier abgestrahlte Wärme sehen.

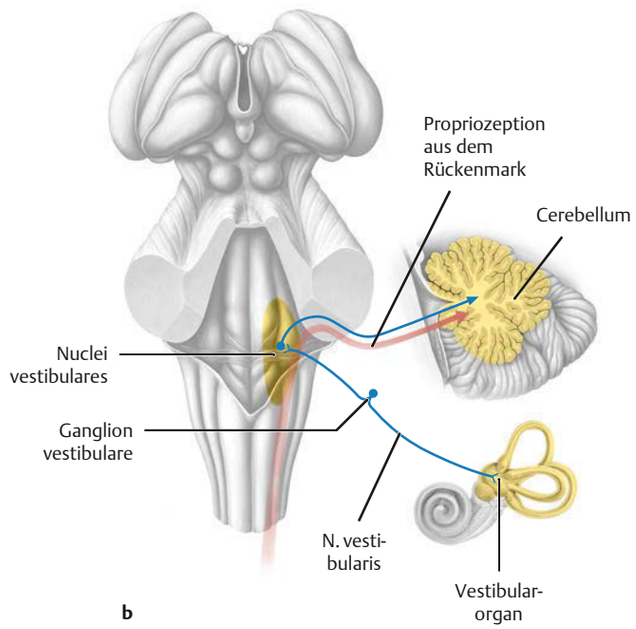


C Geschmackssinn

Die Wahrnehmung von Geschmack erfolgt vom Reizort Zunge (Geschmacksknospen) über drei echte Nerven, die Hirnnerven VII (*N. facialis;* hat den größten Anteil), IX *(N. glossopharyngeus)* und X (*N. vagus;* hat den kleinsten Anteil). Alle drei Nerven erfassen Geschmacksinformation von unterschiedlichen Zungenarealen. Als echte Nerven liegt in allen Fällen das 1. Neuron in einem sensiblen Ganglion, das 2. Neuron in einem für alle drei Nerven gemeinsamen Kern *(Nucleus solitarius*) im Hirnstamm. Über den Thalamus (3. Neuron) erreicht die Geschmacksbahn die Endhirnrinde beider Hirnhälften (4. Neuron). Als Besonderheit ist hier die Endigung an beidseits zwei Rindenbezirken (*Gyrus postcentralis* und *Inselrinde*) hervorzuheben. Die zentrale Bahn hat gekreuzte und ungekreuzte Anteile. Geschmack wird als „spezielle Viszerosensibilität“ bezeichnet. „Wahrnehmungstechnisch“ wird der Geschmackssinn durch einen *chemischen* Reiz ausgelöst: eine chemische Verbindung (= der Geschmacksstoff) bindet an einen Rezeptor auf der Zungenoberfläche. Unter den höheren Sinnen ist der Geschmackssinn vergleichsweise der einfachste.



a



b

D Hörsinn und Gleichgewichtssinn

Beide Informationen kommen jeweils von einem Organ im Innenohr, beide werden über den N. vestibulocochlearis geleitet. Darum werden sie hier gemeinsam besprochen.

a Hörsinn: Der Hörsinn ist eine besondere Form der *Mechanorezeption:* Luftdruckschwankungen werden wahrgenommen und analysiert. Laute Musik im Basstonbereich kann man als Schwingung („im Bauch“) sogar spüren. Dennoch wird der Hörsinn üblicherweise nicht der Mechanorezeption zugerechnet. Die Wahrnehmung von akustischen Reizen, die dem Innenohr als Druckschwankungen über das Mittelohr zugeleitet werden, erfolgt durch Sinneszellen im Innenohr (*Haarzellen* im sog. *Corti-Organ*) und wird vom *N. cochlearis* in das ZNS geleitet. Der N. cochlearis ist ein peripherer Nerv, das 1. Neuron liegt im *Ganglion cochleare,* sein Axon tritt am Hirnstamm in das ZNS ein. Über Neuronenstationen in Hirnstammkernen (v. a. in Pons und Mittelhirn) erreicht die Information über den Thalamus die *primäre Hörrinde* in beiden Hirnhälften im Temporallappen. Dort erfolgt die bewusste Hörwahrnehmung. Die gesamte Hörbahn, die im Hirnstamm als „seitliche Schleife“ *(Lemniscus lateralis)* oder „Hörschleife“ bezeichnet wird, kreuzt in Anteilen mehrfach: Die Information eines Ohres erreicht beide Großhirnhälften, eine Voraussetzung für das Richtungshören.

b Gleichgewichtssinn: Der Begriff „Gleichgewichts*sinn*“ ist nicht präzise, da Gleichgewicht keine durch einen einzelnen Reiz ausgelöste Sinneswahrnehmung ist, sondern die „innere Repräsentanz“ eines (Bewegungs- oder Ruhe-) Zustandes des Körpers. Dies beruht auf der Verarbeitung unterschiedlicher Sinneseindrücke. Die zentrale Instanz für die Repräsentanz des Gleichgewichtes ist das *Cerebellum*. Aus dem Innenohr wird vom sog. *Vestibularorgan* Information über Drehbeschleunigung (Kreisbewegung) oder über Transversalbeschleunigung (z. B. durch die Gravitationskraft) mittels des *N. vestibularis* (1. Neuron im Ganglion vestibulare) abgeleitet und über die Vestibulariskerne dem Cerebellum zugeleitet. Mittels Propriozeption erhält das Cerebellum aus den Skelettmuskeln Informationen über die Stellung von Kopf und Extremitäten zum Rumpf. Aus dieser „Haltung“ des Körpers und aus dessen Bewegung im Raum errechnet das Cerebellum das „Gleichgewicht“. N. cochlearis (Hören) und N. vestibularis (Beschleunigung) bilden gemeinsam den *N. vestibulocochlearis.* Hörsinn und die Wahrnehmung im Vestibularapparat werden als *„spezielle Somatosensibilität“* bezeichnet.

1.13 Prinzipien der neurologischen Untersuchung

Um eine neurologische Untersuchung durchführen und ihre Ergebnisse interpretieren zu können, muss der Untersucher über neuroanatomische Grundkenntnisse verfügen. Diese Lerneinheit stellt ausgewählte Aspekte der neurologischen Untersuchung dar und erklärt, warum vorschnell als zu detailliert empfundene neuroanatomische Zusammenhänge in Wirklichkeit „Essentials" und später für die Klinik unverzichtbar sind. Die hier dargestellte orientierende neurologische Untersuchung ist bereits Teil der generellen körperlichen Untersuchung eines Patienten.

A Überprüfung der Sensibilität

Sensibilität ist die Wahrnehmung unterschiedlicher Reize an Haut und Schleimhäuten, Muskeln und Gelenken sowie an inneren Organen. Bei der Sensibilitätsprüfung werden verschiedene Qualitäten der Sensibilität getestet. Die Überprüfung dieser unterschiedlichen *Qualitäten* von Reizen, ist deshalb erforderlich, weil für diese Reize z. T. verschiedene Rezeptoren verantwortlich sind und diese auf unterschiedlichen Bahnen zum Gehirn gelangen. Die Rezeptoren und deren Bahnen werden später ausführlich erörtert, hier genügt zunächst die Kenntnis der verschiedenen Sinnesqualitäten und ihrer Überprüfung. Bei allen hier dargestellten Sensibilitätsprüfungen sollte der Patient die Augen geschlossenen halten, damit eine Korrektur des Ergebnisses durch das Sehen unterbleibt. Zudem sind die Untersuchungen im Seitenvergleich vorzunehmen, um einseitig vorliegende Schäden zu erfassen.

Beachte: Alle hier dargestellten Tests erfordern die Mitarbeit des Patienten, können also nur am bewusstseinsklaren Patienten durchgeführt werden.

a Die **Berührungsempfindung** wird mit einem Pinsel, einem Wattebausch oder mit den Fingerkuppen geprüft. Hierbei streicht der Untersucher über die Haut und der Patient muss angeben, ob er die Berührung spürt. Ist die Empfindung vermindert, spricht man von *Hypästhesie,* fehlt sie ganz von *Anästhesie*.

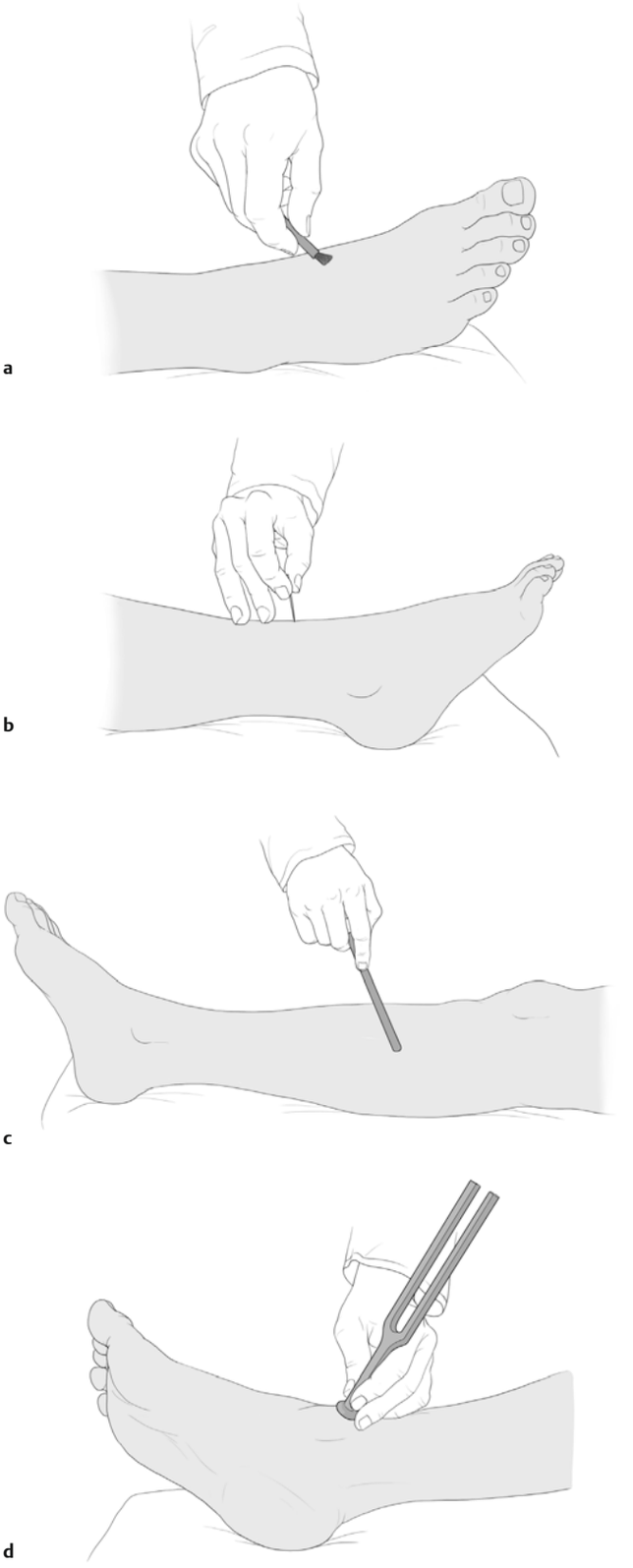
b Die **Schmerzempfindung** wird mit dem spitzen Ende einer Injektionnadel überprüft. Ist sie vermindert, spricht man von *Hypalgesie,* fehlt sie, von *Analgesie*.

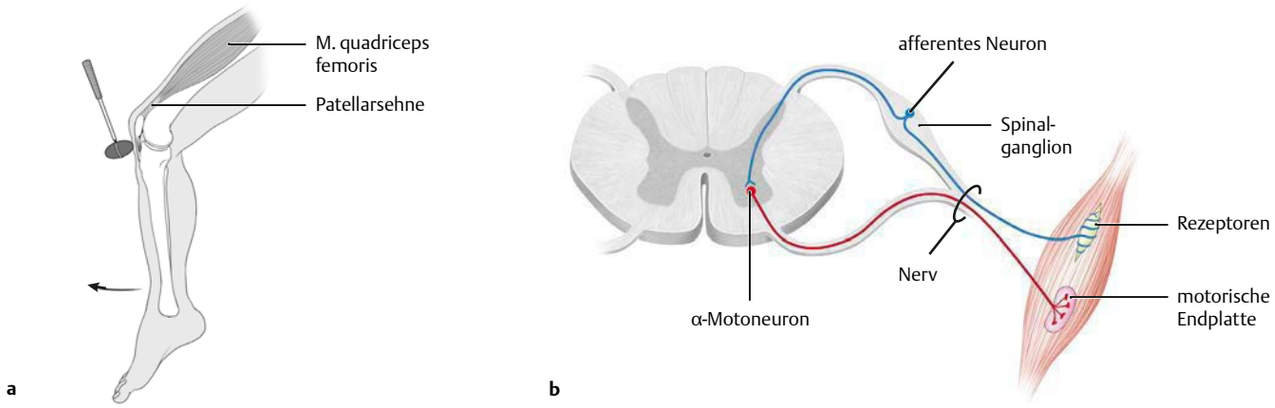
c Die **Temperaturempfindung** wird durch einen warmen oder kalten metallischen Gegenstand oder durch ein Reagenzglas mit kaltem/warmen Wasser überprüft. Dabei ist wichtig, dass das Wasser nicht so heiß ist, dass es neben der Temperatur- auch die Schmerzwahrnehmung anspricht. Ist das Temperaturempfinden gestört, spricht man von *Thermhypästhesie,* fehlt sie völlig von *Thermanästhesie.*
Schmerz- und Temperaturempfindung werden *als protopathische Sensibilität* bezeichnet (s. S. 284).

d Der **Vibrationssinn** wird mit einer Stimmgabel (64 oder 128 Hz) überprüft. Dafür setzt man die angestoßene Stimmgabel an einen Knöchel oder über dem Schienbein des Patienten auf, der dann angeben soll, ob er ein Vibrieren im Knochen spürt. Ist das Vibrationsempfinden vermindert, spricht man von *Pallhypästhesie,* fällt sie völlig aus von *Pallästhesie*. Berührungsempfinden und Vibrationssinn werden der *epikritischen Sensibilität* zugerechnet.

Eine weitere, hier nicht dargestellte Sinnesqualität ist der **Lagesinn** (Propriozeption). Er gibt Auskunft über die Lage von Extremitäten im Raum. Der Untersucher bewegt eine Extremität und befragt den Patienten nach ihrer Lage (z. B. Beuge- oder Streckstellung). Der maßgebliche Reiz ist dabei die Dehnung (Spannung) von Muskeln und Gelenkkapseln. Der Reiz kommt dabei nicht von der Oberfläche des Körpers, sondern sozusagen aus seiner Tiefe (Tiefensensibilität).

Die hier aufgeführten Sinnesqualitäten finden sich am ganzen Körper. Sie werden in der *klassischen* Neuroanatomie unter dem Begriff „Sensibilität" zusammengefasst. Die an speziellen Sinnesorganen wahrgenommenen Sinne (die klassischen „fünf Sinne": Geruchs-, Seh-, Geschmacks- sowie Hör- und Gleichgewichtssinn, s. S. 288) bezeichnete man früher als „Sensorik". Da Wahrnehmung und Weiterleitung von Impulsen jedoch bei Sensibilität und Sensorik prinzipiell gleich sind, fasst man heute meist beide unter dem Begriff „Sensorik" zusammen.

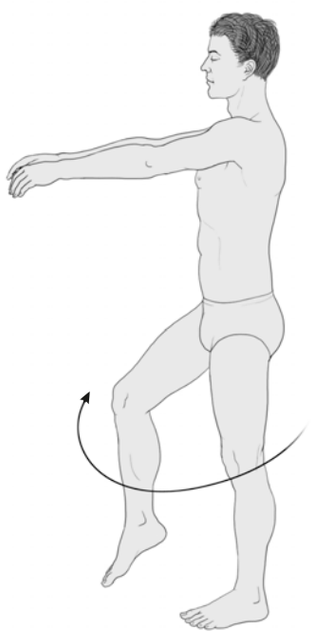




B Überprüfung der Motorik

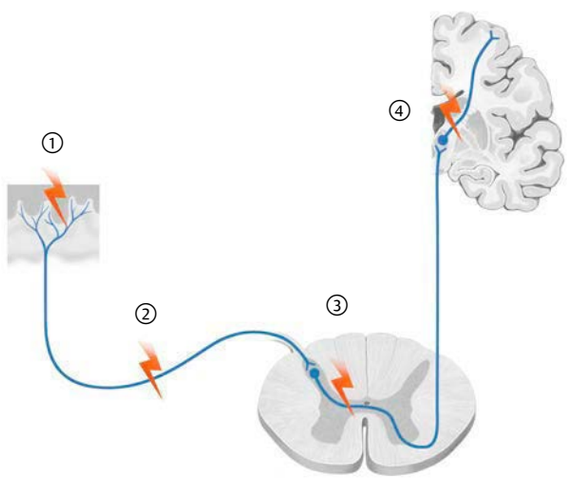
Die efferenten Systeme, welche die Bewegungen der Skelettmuskeln vermitteln, werden unter dem Begriff „motorische Systeme" oder kurz „Motorik" zusammengefasst. Ihre Überprüfung erfolgt klassischerweise durch die Untersuchung der Reflexe. Als Beispiel ist der Patellarsehnenreflex (**a**) aufgeführt. Beim Schlag mit dem Reflexhammer auf die Patellarsehne verkürzt sich der M. quadriceps femoris, so dass das Bein eine Streckbewegung im Knie durchführt. Ist das der Fall, ist der Reflexbogen (**b**) intakt. Was ist dabei passiert? Durch den Schlag auf die Sehne wird an dem Muskel gezogen, er verlängert sich. Diese Muskelverlängerung wird von Rezeptoren im Muskel wahrgenommen und an das Rückenmark gemeldet. Das Perikarion des gereizten afferenten Neurons liegt im Spinalganglion, sein Axon setzt einen Transmitter am α-Motoneuron im Rückenmark frei. Dieser Transmitter erregt das α-Motoneuron, das seinerseits Transmitter an der motorischen Endplatte freisetzt. Dieser Transmitter erregt die Muskelzelle, deshalb kommt es zu einer Kontraktion des Muskels und in der Folge zur Streckung im Kniegelenk: Der Unterschenkel zuckt nach vorne.

Beachte: Damit das α-Motoneuron erregt werden kann, bedarf es des Inputs über die intakte Sensibilität. Auf der Ebene des Reflexes sind Sensorik und Motorik eng miteinander verknüpft, man spricht deshalb in der Physiologie oft von Sensomotorik. Da eine intakte Sensorik Voraussetzung für eine intakte Motorik ist, wird sie dieser in diesem Buch vorangestellt.



C Überprüfung der Koordination

Neben den einfachen Sensibilitäts- und Reflexprüfungen werden bei der neurologischen Untersuchung auch komplexere Prozesse der Informationsverarbeitung mit untersucht. Als Beispiel einer solchen Prüfung ist hier der *Unterberger-Tretversuch* aufgeführt. Dabei tritt der Patient mit geschlossenen Augen und nach vorne gestreckten Armen auf der Stelle. Für diese komplexe Aufgabe ist die Koordination mehrerer Sinnessysteme erforderlich, insbesondere der durch das Innenohr vermittelte Lagesinn des Kopfes (s. S. 289) wird bei dieser Aufgabe gefordert. Sind die vestibulären Anteile eines Innenohres (Bogengangsorgane) ausgefallen, kommt es zu einem stärkeren Drehen zur erkrankten Seite, wie hier zur Drehung nach rechts (angedeutet durch den Pfeil) bei Ausfall des rechten Innenohres.

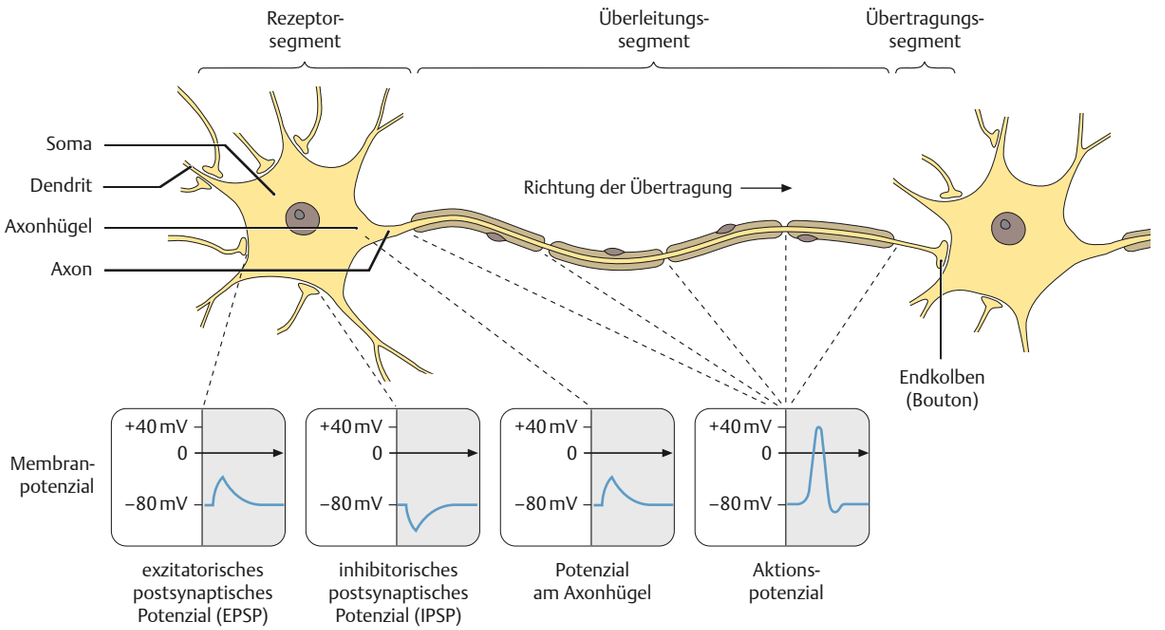


D Problem der neurologisch-topischen Diagnostik

Als Beispiel dient hier die Schmerzbahn, die sich von der Körperoberfläche bis in die sensible Hirnrinde erstreckt. Kommt es zu einer Unterbrechung dieser Bahn, erreicht die Information „Schmerz" nicht die sensible Hirnrinde. Dabei ist es für die sensible Hirnrinde unerheblich, wo diese Schädigung liegt, ob im rezeptiven Feld (1), im peripheren Nerv (2), im Rückenmark (3) oder im Gehirn selbst (4), im Endeffekt wird bei jedem dieser Schädigungsorte der Schmerz in der sensiblen Hirnrinde nicht wahrgenommen. Deshalb lokalisiert das Gehirn den Schaden immer als Ausfall der Schmerzempfindung im rezeptiven Feld (1), obwohl der Schadensort auch z. B. im Rückenmark (3) liegt. Der Arzt ist daher mit dem Problem konfrontiert, das Gehirn zu „überlisten" und den Ort dieser Unterbrechung zu identifizieren, da je nach Ort des Schadens die Therapie ganz verschieden sein kann.

Er muss also den Ort des Schadens, den Topos (griech. für Ort), identifizieren. Den Prozess der Identifizierung des Schädigungsortes nennt man die neurologisch-topische Diagnostik. Deshalb ist die subtile Kenntnis wichtiger Bahnverläufe für die neurologische Untersuchung des Patienten erforderlich.

2.1 Das Neuron und seine Verschaltung



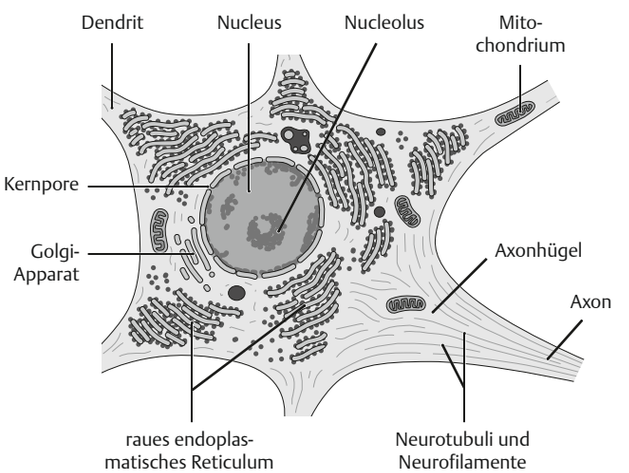
A Die Nervenzelle (Neuron) als Informationsträger
Der Grundaufbau einer Nervenzelle ist bereits auf S. 268, Abb. **A** erklärt. Überträgt man die dort genannten Begriffe „Signal*eingang*", „*-ausgang*" und „*-austausch*" auf die „funktionelle anatomische Gliederung" eines Neurons, kann man **drei Segmente** unterscheiden:

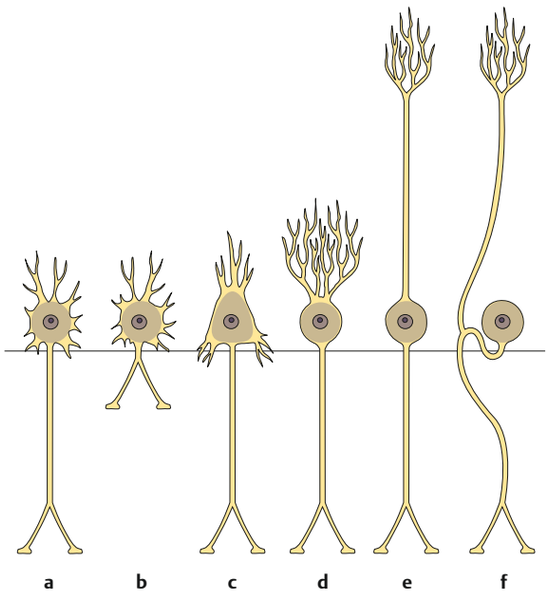
- Das *Rezeptorsegment* entspricht dem Zellkörper und den Dendriten.
- Das *Überleitungssegment* leitet die Information zur Zielzelle weiter, dieses Segment wird physiologisch und morphologisch als Axon bezeichnet. Wo eine schnelle Informationsweiterleitung nötig ist, hat das Axon eine Myelinscheide (zum Aufbau s. **C**, S. 295). Schnelle Informationsweiterleitung ist generell im ZNS erforderlich.
- Das *Übertragungssegment* dient der Informationsvermittlung an die Zielzelle. Es ist identisch mit den Strukturen, die eine Synapse bilden.

Am Rezeptorsegment des Zielneurons (links) enden Axone anderer Neurone, die mit dem Zielneuron Synapsen (vgl. **D**) bilden. In diesen werden entweder exzitatorische oder inhibitorische Neurotransmitter freigesetzt. Diese am Axonende freigesetzten Transmitter werden von Rezeptoren in der Zellmembran des Zielneurons gebunden, die daraufhin entweder das lokale Membranpotenzial heben (exzitatorisches postsynaptisches Potenzial, EPSP) oder senken (inhibitorisches postsynaptisches Potenzial, IPSP).

Eine Nervenzelle empfängt ständig inhibitorische und exzitatorische Signale. Diese lokalen Potenziale werden am Axonhügel gegeneinander verrechnet (integriert). Überwiegen exzitatorische Potenziale, wird ein Aktionspotenzial am Axonhügel generiert, das bis zum Endkolben (Bouton) nach dem Alles-oder-nichts-Gesetz weitergeleitet wird und am Axonende zu einer Transmitterausschüttung führt. Die freigesetzten Transmitter werden von Rezeptoren auf dem Zielneuron erkannt; daraufhin wird das lokale Membranpotenzial des Zielneurons in Abhängigkeit vom Transmitter und seinem Rezeptor gesenkt (IPSP) oder erhöht (EPSP). Diese letzte Strecke stellt das Übertragungssegment, die Synapse, dar.
Beachte: Die Übertragung zwischen zwei Nervenzellen erfolgt chemisch durch einen Botenstoff (Transmitter). Der Transmitter wird vom präsynaptischen Neuron freigesetzt und von einem Rezeptor auf der postsynaptischen Membran erkannt. Daraufhin wird lokal das Membranpotenzial der Nervenzelle erhöht (EPSP) oder gesenkt IPSP). Diese lokalen Spannungsveränderungen treten nur an Dendriten und am Soma auf. Im Axon treten bei der Weiterleitung konstante Potenzialänderungen nach dem Alles-oder-nichts Gesetz auf. An einem myelinisierten Axon kann die Potenzialänderung nur an speziellen, myelinfreien Abschnitten (Ranvier-Schnürringen, s. **B**, S. 294) gemessen werden.

B Elektronenmikroskopie des Neurons
Im Elektronenmikroskop lassen sich die Organellen von Neuronen auflösen. Neurone sind reich an rauem endoplasmatischem Reticulum (Proteinsynthese, aktiver Stoffwechsel). Dieses endoplasmatische Reticulum, das auch in der Lichtmikroskopie als *Nissl-Substanz* bezeichnet wird, ist durch kationische Farbstoffe in der Lichtmikroskopie gut darstellbar (kationische Farbstoffe binden an die anionische m- und rRNS der Ribosomen). Das Verteilungsmuster der Nissl-Substanz wird in der Neuropathologie zur Beurteilung der funktionellen Integrität von Neuronen herangezogen. Die im Elektronenmikroskop darstellbaren Neurotubuli und Neurofilamente werden in der *Lichtmikroskopie* unter dem Begriff Neurofibrillen zusammengefasst, da sie sich aufgrund ihres geringen Durchmessers lichtmikroskopisch nicht auflösen lassen. Neurofibrillen kann man in der Lichtmikroskopie durch Versilberungsmethoden darstellen. So ist z. B. die Verklumpung von Neurofibrillen ein histologisches Merkmal der Alzheimer-Erkrankung.

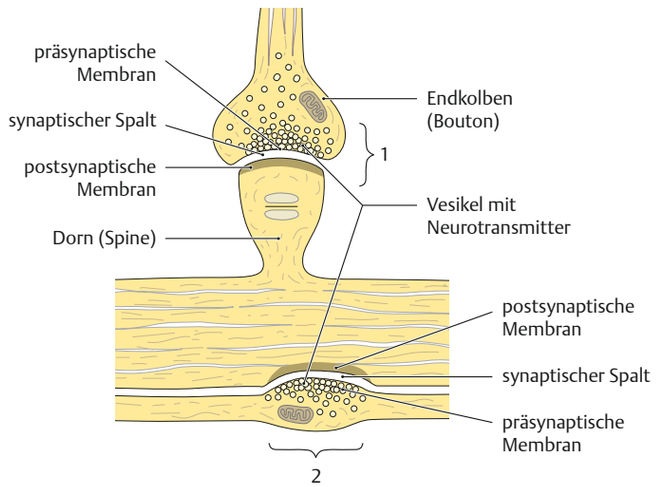




C Grundformen des Neurons und seine funktionsadaptierten Varianten

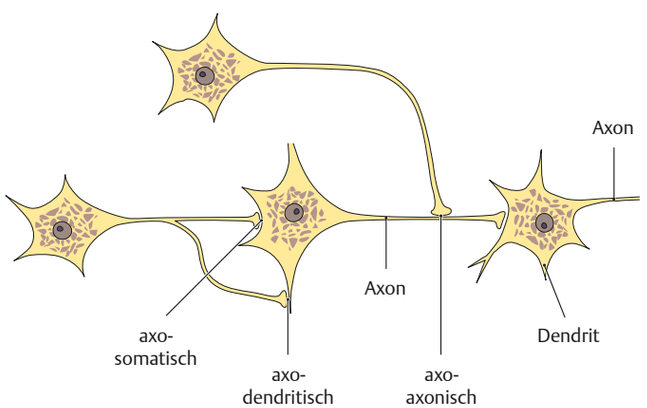
Der Querstrich markiert die Region des Axonhügels, der das Anfangssegment des Axons darstellt. (Zum Aufbau eines peripheren Nervs, der nur aus Axonen und Hüllgewebe besteht, s. **D**, S. 275.)

- **a** Multipolares Neuron (multiple Dendriten) mit langem Axon (= langem Übertragungsweg); Projektionsneuron wie z. B. α-Motoneuron im Rückenmark.
- **b** Multipolares Neuron mit kurzem Axon (= kurzem Übertragungsweg); Inter- oder Schaltneuron wie z. B. in der grauen Substanz von Gehirn und Rückenmark.
- **c** Pyramidenzelle: Dendriten sind nur an Spitze und Basis des dreizipfeligen Zellkörpers zu finden, das Axon ist lang; z. B. efferentes Neuron der motorischen Hirnrinde (s. S. 327 u. 457).
- **d** Purkinje-Zelle: ein reich verzweigter Dendritenbaum geht von *einer* umschriebenen Stelle des Zellkörpers ab; die Purkinje-Zelle der Kleinhirnrinde erhält viele synaptische Kontakte von anderen Neuronen (s. S. 369).
- **e** Bipolares Neuron: Der Dendrit verzweigt sich in der Peripherie; z. B. bipolare Zellen der Retina (s. **Ab**, S. 476).
- **f** Pseudounipolares Neuron: Dendrit und Axon sind nicht durch den Zellkörper getrennt; z. B. primär afferentes (= 1. sensibles) Neuron im Spinalganglion (s. S. 444 u. **C**, S. 273).
  Beachte: Bei einer pseudounipolaren Zelle trägt auch der Dendrit oft eine Myelinscheide (schnelle Signalleitung!), und im Gegensatz zum ansonsten typischerweise kurzen Dendriten ist der Dendrit der pseudounipolaren Nervenzellen meist lang (z. B. von einem Rezeptor an der Fußsohle bis zum Neuron im Spinalganglion 1 m!). Axon und Dendrit lassen sich somit strukturell nicht trennen, wohl aber anhand der Richtung der Erregungsleitung (Dendrit: zum Nervenzellkörper; Axon: vom Nervenzellkörper weg). Wegen seiner „Axonmorphologie" wird der Dendrit daher oft auch als „dendritisches Axon" bezeichnet; von ihm wird das „echte" Axon als „axonisches Axon" begrifflich abgegrenzt.



D Elektronenmikroskopische Darstellung der beiden häufigsten Synapsentypen im ZNS

Synapsen – strukturell das Korrelat des Übertragungssegmentes (s. **A**) – zeigen einen ihrer Funktion entsprechenden klaren Aufbau, der elektronenmikroskopisch gut darstellbar ist. Sie bestehen aus einer präsynaptischen Membran, einem synaptischen Spalt und einer postsynaptischen Membran. Bei der Dornen- oder Spine-Synapse (1) kontaktiert der synaptische Endkolben (Bouton) eine spezialisierte Ausstülpung (Dorn oder Spine) des Zielneurons. Lagert sich das Axon einem Zielneuron an, so spricht man von einem Parallelkontakt oder Bouton en Passage (2). Die Vesikel in den präsynaptischen Auftreibungen enthalten die Überträgerstoffe (Neurotransmitter), die bei Aktivierung durch Exozytose in den synaptischen Spalt freigesetzt werden. Von hier diffundieren die Neurotransmitter zur postsynaptischen Membran, wo ihre Rezeptoren lokalisiert sind. Eine Vielzahl von Medikamenten und Toxinen greift in die synaptische Übertragung ein (Antidepressiva, Muskelrelaxanzien, Giftgase, Botulinustoxin).



E Verschaltungen in einem kleinen Neuronenverband

Axone können an verschiedenen Orten des Zielneurons enden und dort ihre Synapsen ausbilden. Man spricht von axodendritischen, axosomatischen und axoaxonischen Synapsen. Am häufigsten sind axodendritische Synapsen (s. auch **A**). Die Hirnrinde besteht aus vielen kleinen Neuronenverbänden, die in funktionelle Einheiten, Kolumnen, zusammengefasst sind (s. S. 327).

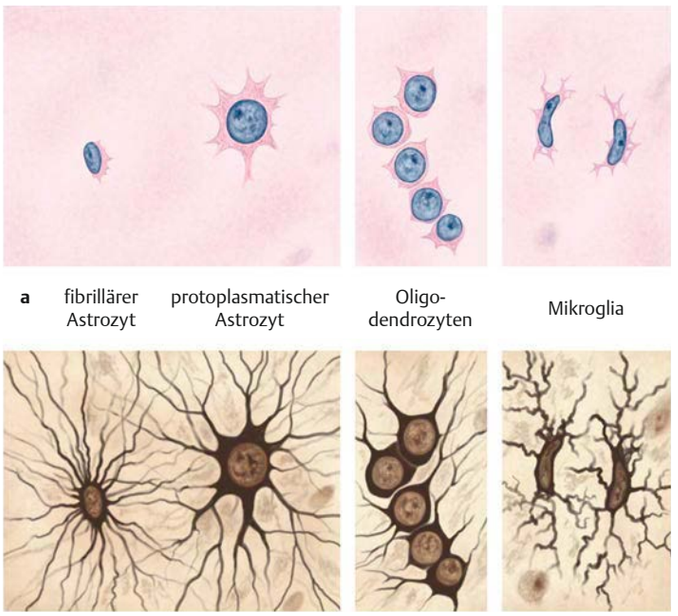
2.2 Neuroglia und Myelin

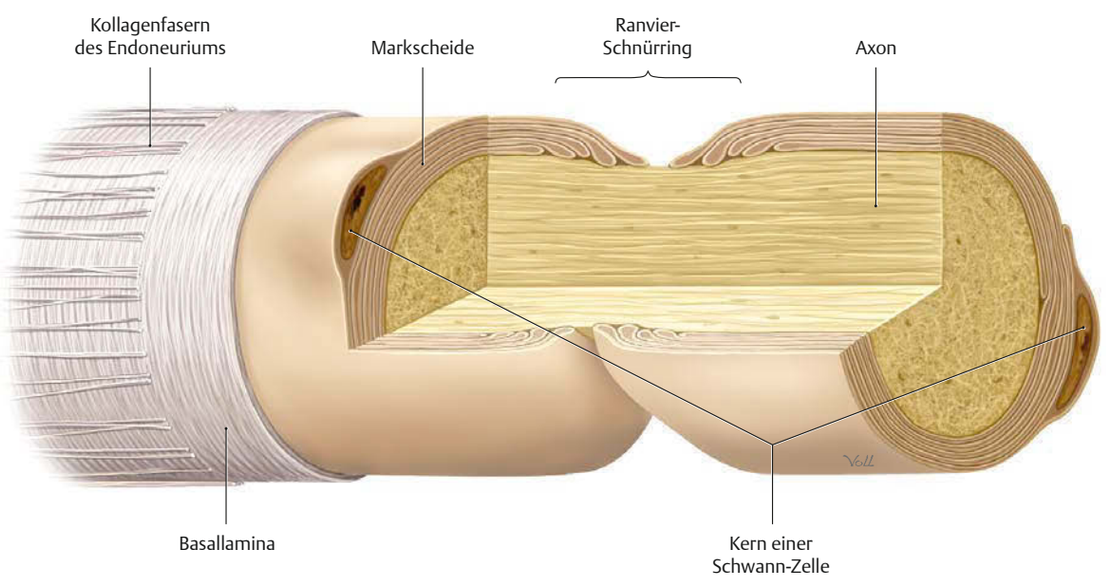
A Zellen der Neuroglia im ZNS

Die Zellen der Neuroglia umgeben und unterstützen die Neurone in ihrer Funktion (s. **D**). Durch verschiedene lichtmikroskopische Färbemethoden werden unterschiedliche Anteile der Neurogliazellen mehr oder weniger selektiv dargestellt:

a Darstellung der Zellkerne durch einen basischen Farbstoff;
b Darstellung des Zellleibes durch Silberimprägnation.

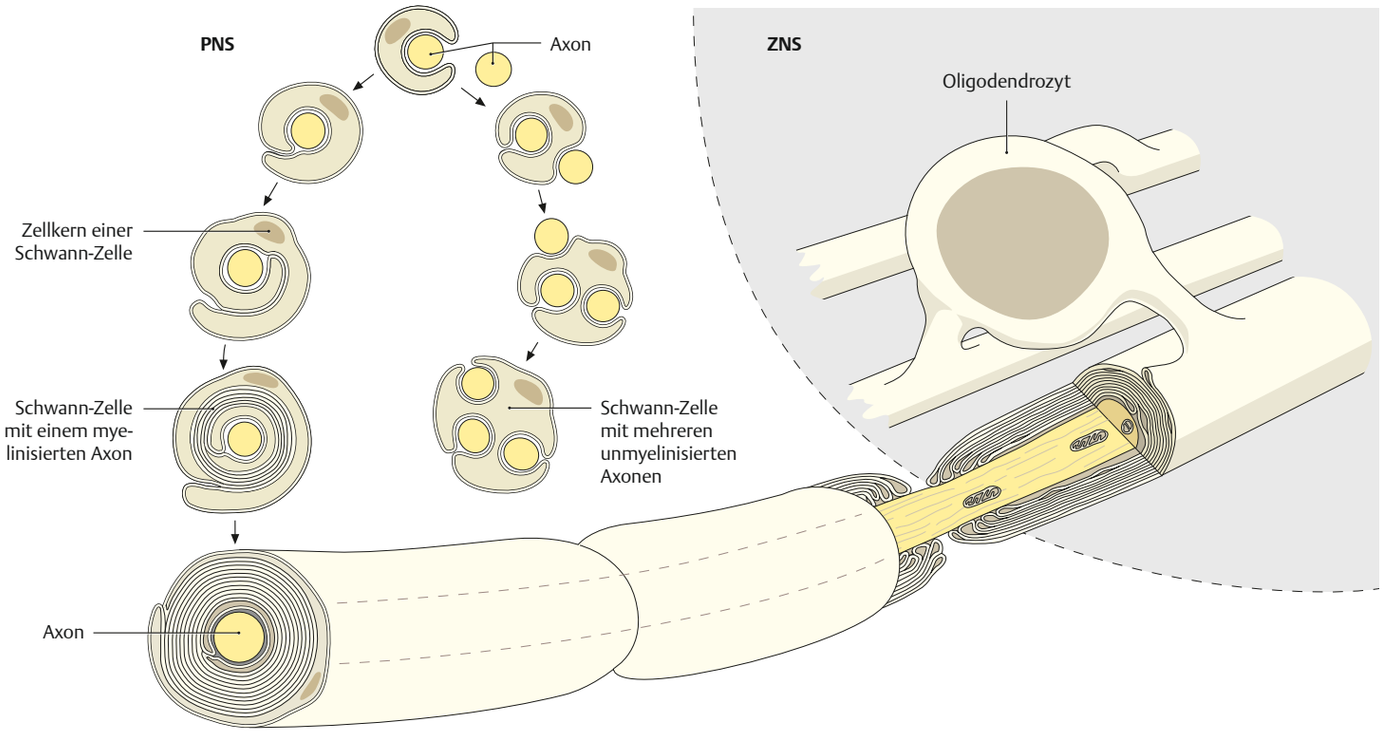
Neurone und Neuroglia kommen im ZNS nach neueren Untersuchungen etwa im Verhältnis 1:1 (bis etwa 1,6) vor. Neurogliazellen unterstützen die Neurone in ihrer Funktion ganz wesentlich. So nehmen z. B. Astrozyten überschüssige Neurotransmitter aus dem extrazellulären Milieu auf und entsorgen sie damit (Konstanterhaltung des inneren Milieus). Ebenso bauen Astrozyten alte und damit nicht mehr gebrauchte Synapsen ab; da der Synapsenumbau einen wesentlichen Prozess beim Lernen darstellt, sind Astrozyten dadurch indirekt in Lernprozesse eingeschaltet. Während Neurone sich nur in bestimmten Hirnregionen (Bulbus olfactorius, Hippocampus) teilen, können sich bestimmte Neurogliazellen lebenslang teilen. Klinisch bedeutet dies, dass die meisten hirneigenen Tumoren von den Neurogliazellen abstammen und nach der Ähnlichkeit ihrer Morphologie zu den normalen Neurogliazellen benannt werden: Astrozytom, Oligodendrogliom, Glioblastom. Die meisten Neurogliazellen stammen entwicklungsgeschichtlich aus den gleichen Ursprungszellen wie die Neurone; die Mikrogliazellen stellen die Ausnahme dar. Sie stammen von Vorläuferzellen aus dem Blut ab und werden zum mononukleär phagozytischen System gezählt.





B Myelinisiertes Axon im PNS

Die Axone im ZNS sind generell von einer Myelinscheide umgeben. Im PNS kommen auch nicht myelinisierte Axone vor (s. **C**). Die Myelinscheide bewirkt, dass die Erregung schneller im Axon weitergeleitet wird, da sie von einem *Ranvier-Schnürring* zum nächsten springt (saltatorische Erregungsüberleitung) und nicht kontinuierlich fortgeleitet wird wie beim nicht myelinisierten Axon.



C Unterschiede in der Myelinisierung von PNS und ZNS

Zweck der Myelinisierung ist die elektrische Isolierung der Axone. Dies führt aufgrund der saltatorischen (d. h. von Ranvier-Schnürring zu Ranvier-Schnürring springenden Potenziale) Erregungsleitung zu einer beträchtlichen Erhöhung der Nervenleitgeschwindigkeit (s. Physiologielehrbücher). Während im ZNS praktisch alle Axone (Nervenfasern) myelinisiert sind, ist dies im PNS nicht der Fall. Deshalb sind die Axone im PNS, wo schnelle Reaktionen benötigt werden (z. B. Kontraktion von Skelettmuskulatur), myelinisiert und dort, wo keine schnelle Informationsübertragung nötig ist (z. B. bei der Weiterleitung von Eingeweideschmerzen) unmyelinisiert. Zur Isolierung der Axone wickeln sich die sehr lipidreichen Membranen von myelinisierenden Zellen um die Axone. Dabei unterscheiden sich die myelinisierenden Zellen von ZNS und PNS. Im PNS bilden Schwann-Zellen (links) das Myelin, im ZNS Oligodendrozyten (rechts).

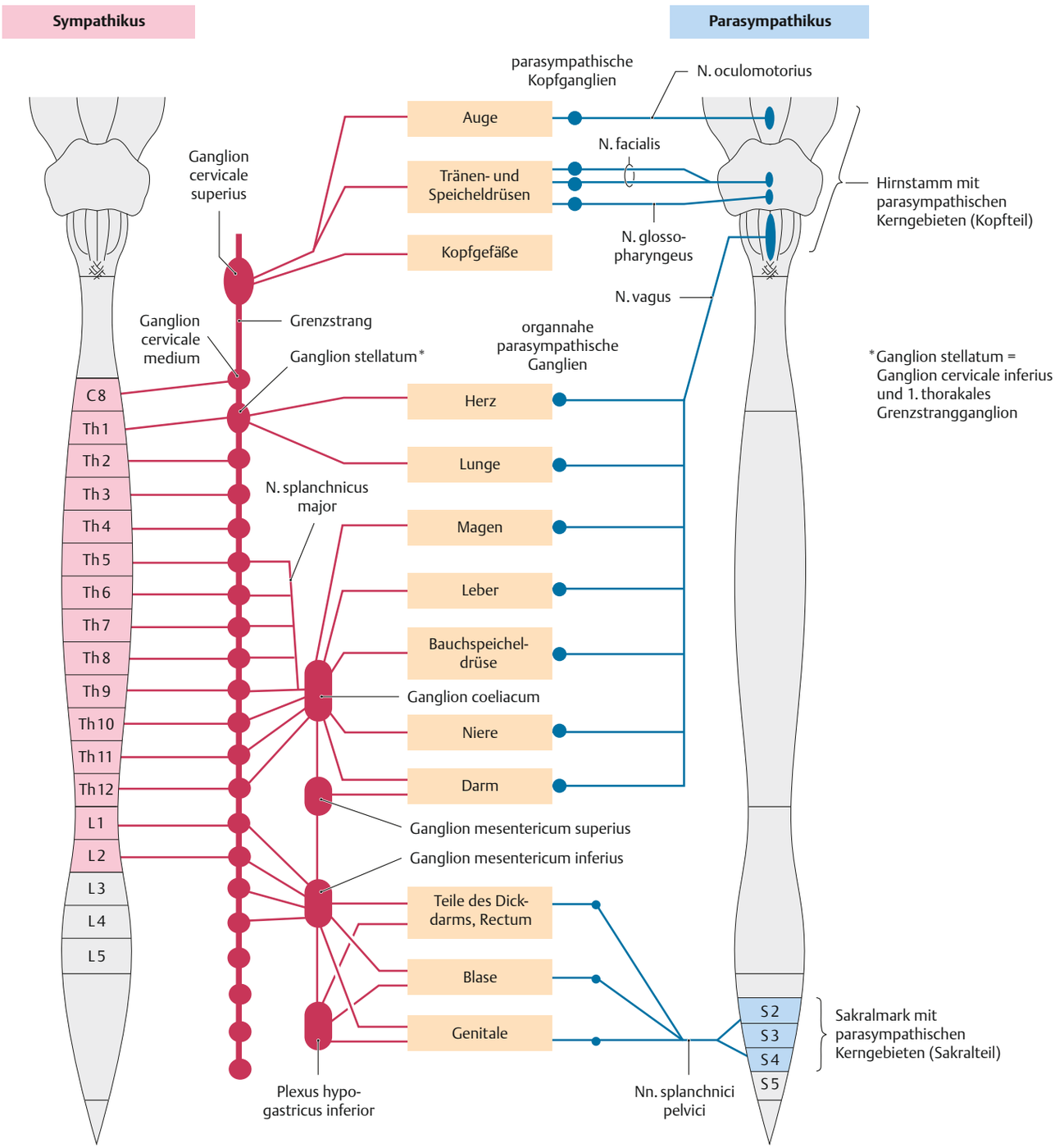
Beachte: Im ZNS umhüllt ein Oligodendrozyt immer mehrere Axone, im PNS umhüllt eine Schwann-Zelle immer nur ein Axon. Nur im Falle der nicht myelinisierten Nerven kann eine Schwann-Zelle mehrere Axone umhüllen.

Dieser Unterschied in der Myelinisierung ist klinisch bedeutsam, da z. B. bei der multiplen Sklerose die Oligodendrozyten beschädigt werden, nicht aber die Schwann-Zellen. Die Myelinscheide der peripheren Nerven bleibt also intakt, die der Axone im ZNS wird beschädigt.

D Zusammenfassung: Zellen des zentralen (ZNS) und des peripheren Nervensystems (PNS) und deren funktionelle Bedeutung

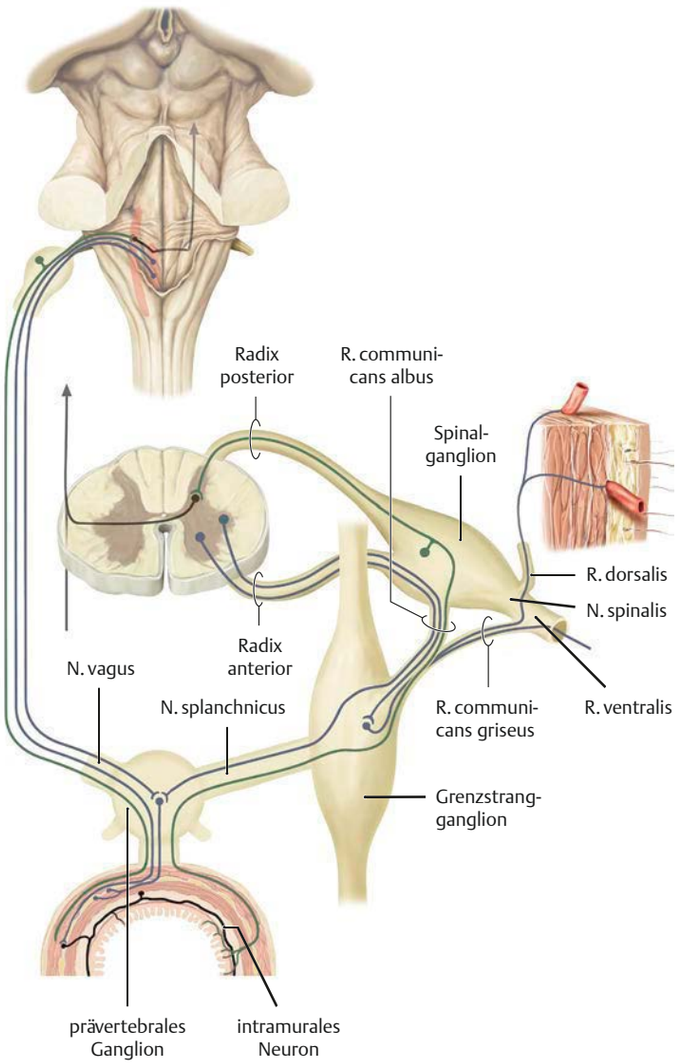
Zelltyp	Funktion
Neurone (ZNS und PNS)	1. Erregungsbildung 2. Erregungsleitung 3. Informationsverarbeitung
Gliazellen	
Astrozyten (nur ZNS) (auch *Makroglia* genannt)	1. Konstanthaltung des inneren Milieus im ZNS 2. Beteiligung am Aufbau der Blut-Hirn-Schranke 3. Phagozytose von abgestorbenen Synapsen 4. Narbenbildung im ZNS, z. B. nach Hirninfarkt, bei multipler Sklerose
Mikrogliazellen (nur ZNS)	auf Phagozytose und Antigenverarbeitung spezialisierte Zellen (Makrophagen des Gehirns und damit Teil des mononukleär phagozytischen Systems); sezernieren Zytokine und Wachstumsfaktoren
Oligodendrozyten (nur ZNS)	Bildung der Myelinscheide im ZNS
Ependymzellen (nur ZNS)	kleiden Hohlräume des ZNS aus
Zellen des Plexus choroideus (nur ZNS)	sezernieren Liquor cerebrospinalis
Schwann-Zellen (nur PNS)	Bildung der Myelinscheide im PNS
Satellitenzellen (nur PNS) (auch *Mantelzellen* genannt)	modifizierte Schwann-Zellen; umhüllen den Zellleib von Neuronen in Ganglien des PNS

3.1 Organisation von Sympathikus und Parasympathikus



A Aufbau des vegetativen Nervensystems

Dem somatomotorischen Nervensystem, das die willkürliche Skelettmuskulatur innerviert, wird das vegetative (autonome) oder Eingeweidenervensystem gegenübergestellt. Beim vegetativen Nervensystem unterscheidet man *Sympathikus* (rot dargestellt) und *Parasympathikus* (blau dargestellt, zur Funktion s. **C**). Die Neurone des Sympathikus liegen im Seitenhorn des Zervikal-, Thorakal- und Lumbalmarks, die Neurone des Parasympathikus in Teilen der Hirnnervenkerne und im Sakralmark. Die Axone der vegetativen Neurone bilden die Nn. splanchnici (Eingeweidenerven). Im Sympathikus erfolgt die Umschaltung vom 1. auf das 2. Neuron in den Grenzstrangganglien (Ganglien des Truncus sympathicus), in prävertebralen Ganglien, in organnahen Ganglien oder in den Organen selbst, im Parasympathikus entweder in Kopfganglien oder in organnahen Ganglien. Die Begriffe Sympathikus und Parasympathikus bezogen sich nach Langley (1905) ursprünglich nur auf die efferenten Neurone und ihre Axone (viszeroefferente Fasern; nur diese sind dargestellt). Inzwischen wurde nachgewiesen, dass in Sympathikus und Parasympathikus auch Afferenzen verlaufen (Viszeroafferenzen, Schmerz- und Dehnungsrezeptoren; hier nicht dargestellt, s. S. 302). Das *enterische Nervensystem* (Eingeweidenervensystem) wird inzwischen als eigener Teil des vegetativen Nervensystems angesehen (s. S. 304).



B Nerven und Ganglien im vegetativen Nervensystem

Obwohl Sympathikus und Parasympathikus an verschiedenen Orten aus dem Zentralnervensystem austreten (s. **A**), bilden sie in den Organen eine enge strukturelle und funktionelle Einheit. Die Perikarya der präganglionären, 1. Neurone des **Sympathikus** liegen im Seitenhorn des Rückenmarks. Ihre Axone verlassen es durch die Vorderwurzel (Radix anterior) und ziehen über den R. communicans albus (weiß, da myelinisiert) in das Grenzstrangganglion. Die Umschaltung auf das 2. Neuron kann an drei Orten erfolgen:

1. Die sympathischen Fasern für die Blutgefäße in Extremitäten und Rumpfwand sowie in der Haut werden im Grenzstrangganglion umgeschaltet und verlassen dies durch den R. communicans griseus (grau, da unmyelinisiert), um zum Spinalnerv (N. spinalis) zurückzuziehen. Zusammen mit dessen somatischen Fasern ziehen die sympathischen Axone in ihr peripheres Innervationsgebiet (z. B. über den R. dorsalis zur Haut und zu Blutgefäßen am Rücken).
2. Die sympathischen Fasern für die Eingeweide ziehen zumeist durch die Grenzstrangganglien hindurch, um in prävertebralen oder in organnahen Ganglien umgeschaltet zu werden. Von hier ziehen die Axone zu den Organen. Im hier dargestellten Organbeispiel Darm (intramurales Neuron) beeinflusst das sympathische Nervensystem dann nachgeschaltet das enterische Nervensystem, das als 3. Teil des vegetativen Nervensystems angesehen wird (s. S. 304).
3. Die sympathischen Fasern für das Nebennierenmark werden im Organ selbst umgeschaltet (nicht dargestellt).

Die präganglionären Neurone des **Parasympathikus** stammen von den Hirnnervenkernen (N. vagus als Beispiel dargestellt) oder aus dem Sakralmark (nicht dargestellt). Sie werden entweder in den organnahen Ganglien oder in den Organen selbst (intramural) und in Kopfganglien auf das 2. Neuron umgeschaltet.

Sowohl an die sympathischen als auch an die parasympathischen Nervenfasern lagern sich afferente Schmerzfasern an (hier grün dargestellt). Die Axone dieser Fasern stammen von pseudounipolaren Neuronen, die entweder im Spinalganglion oder in den Ganglien der parasympathischen Hirnnerven lokalisiert sind.

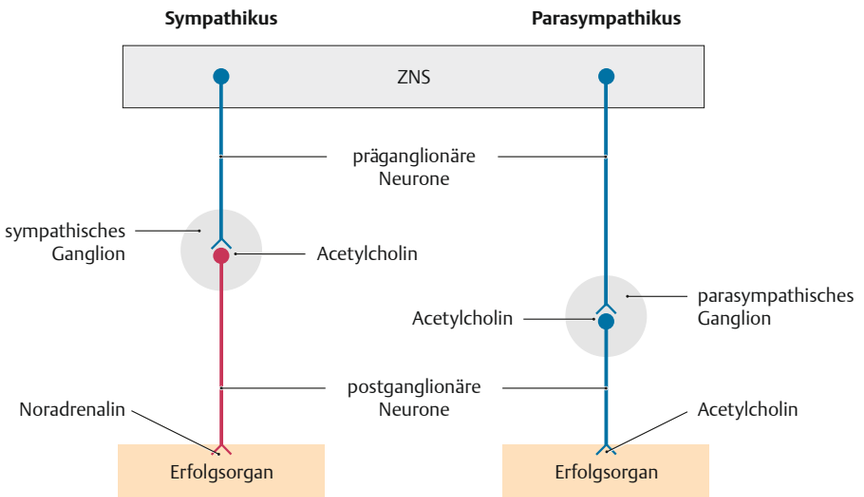
C Synopsis von Sympathikus und Parasympathikus

Sympathikus und Parasympathikus lösen an Organen z. T. gegensätzliche Wirkungen aus, die in dieser Tabelle zusammengefasst sind.

1. Der *Sympathikus* ist der anregende Teil des autonomen Nervensystems, Kämpfen oder Flüchten: *Fight or flight!*
2. Der *Parasympathikus* koordiniert Ruhe und Verdauungsphasen des Körpers: *Rest and digest!*
3. Obwohl beide Teile getrennte Kerngebiete enthalten, sind sie in der Peripherie anatomisch und funktionell eng verknüpft.
4. Der Transmitter am Erfolgsorgan ist beim Parasympathikus Acetylcholin, beim Sympathikus Noradrenalin (Ausnahme: Nebennierenmark).
5. Die Stimulation von Sympathikus und Parasympathikus erzeugt folgende unterschiedliche Wirkungen an einzelnen Organen:

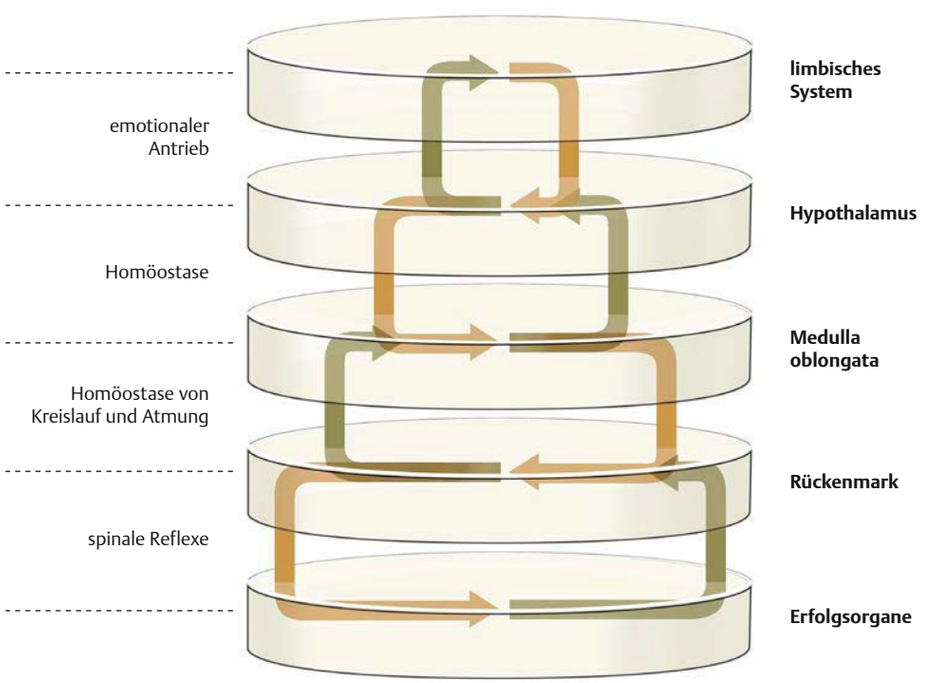
Organ	Sympathikus	Parasympathikus
Auge	Pupillenerweiterung	Pupillenverengung und stärkere Linsenkrümmung
Speicheldrüsen	Verminderung der Speichelsekretion (wenig, zäh)	Vermehrung der Speichelsekretion (viel, dünnflüssig)
Herz	Beschleunigung der Herzfrequenz	Verlangsamung der Herzfrequenz
Lungen	Verminderung von Bronchialsekret und Erweiterung der Bronchien	Vermehrung von Bronchialsekret und Verengung der Bronchien
Magen-Darm-Trakt	verminderte Sekretion/Motorik	vermehrte Sekretion/Motorik
Bauchspeicheldrüse	verminderte Sekretion des exokrinen Anteils	vermehrte Sekretion des exokrinen Anteils
männliche Sexualorgane	Ejakulation	Erektion
Haut	Gefäßverengung, Schweißsekretion, Aufstellen der Haare	keine Wirkung

3.2 Wirkung des vegetativen Nervensystems auf einzelne Organe und zentrale Verschaltungen des Sympathikus

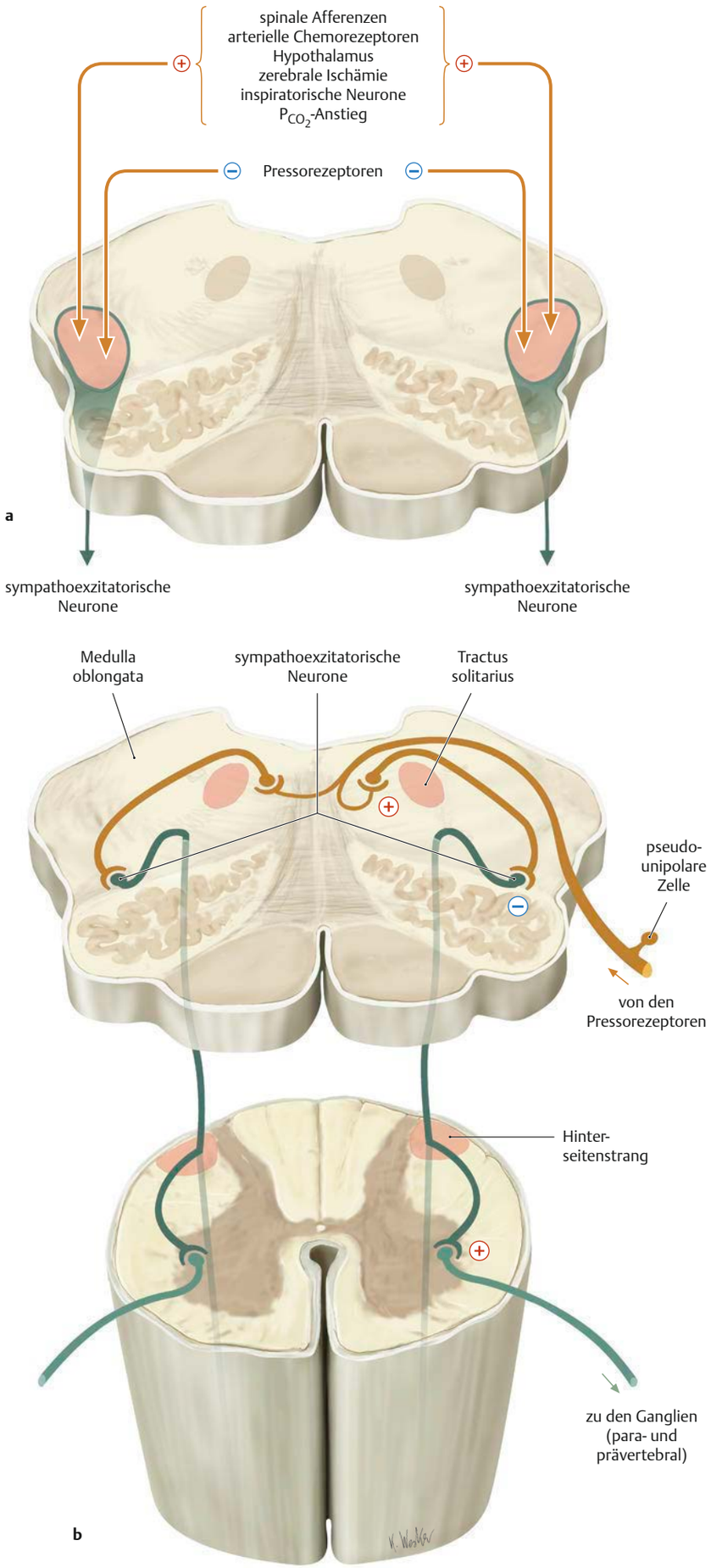


A Schaltschema des vegetativen Nervensystems
Das zentrale 1. Neuron (präganglionäres Neuron) enthält als Überträgersubstanz bei Sympathikus und Parasympathikus Acetylcholin (cholinerges Neuron, blau dargestellt); beim Sympathikus wird es in den Ganglien auf ein noradrenerges Neuron (rot dargestellt) umgeschaltet, beim Parasympathikus bleibt der Neurotransmitter Acetylcholin auch im 2. Neuron (postganglionäres Neuron) erhalten.

Beachte: Für Acetylcholin und für Noradrenalin gibt es verschiedene Rezeptortypen (= Sensoren für die Transmitter), die in der Zellmembran der Zielzelle lokalisiert sind. In Abhängigkeit vom Rezeptortyp können beide Transmitter somit ganz unterschiedliche Wirkungen hervorrufen.



B Steuerung des peripheren vegetativen Nervensystems durch höhere Zentren (nach Klinke u. Silbernagl)
Die Leistungen des vegetativen Nervensystems in der Peripherie werden auf verschiedenen Ebenen beeinflusst. Die oberste Ebene dieser Einflussnahme ist das limbische System, das über Zentren in Hypothalamus, Medulla oblongata und Rückenmark efferent die peripheren Erfolgsorgane (u. a. Herz, Lunge, Darm, Sympathikotonus, z. B. für die Regulation der Hautdurchblutung) beeinflusst. Je höher bzw. übergeordneter das Regulationszentrum liegt, um so geringer und komplexer ist sein Einfluss auf das Erfolgsorgan. Umgekehrt existieren afferente Rückkopplungsmechanismen von den Erfolgsorganen bis hin zum limbischen System.



C Erregende und hemmende Einflüsse auf sympathoexzitatorische Neurone in der Medulla oblongata

Querschnitt durch den Hirnstamm auf Höhe der Medulla oblongata. Um eine sympathische Grundaktivität zu generieren, müssen die präganglionären viszeroefferenten sympathischen Neurone im Rückenmark (Nucleus intermediolateralis und intermediomedialis) durch sympathoexzitatorische Neurone in der Medulla oblongata angeregt werden (**a**). Diese Neurone liegen beidseitig im ventrolateralen Bereich der Medulla oblongata; ihre Aktivität wird durch zahlreiche Faktoren gehemmt oder gesteigert. Eine entscheidende Rolle spielen diese Neurone u. a. bei der Regulation des Blutdrucks. Bei zu hohem Blutdruck wird der Sympathikus durch Afferenzen aus den Pressorezeptoren gebremst. Diese Afferenzen werden in medialen Kerngebieten des Nucleus tractus solitarii auf sekundäre Neurone umgeschaltet, die ihre Axone wieder zu den sympathoexzitatorischen Neuronen senden. Wenn diese Neurone gebremst werden, werden die Widerstandsgefäße in der Peripherie nicht so stark kontrahiert und der Blutdruck sinkt.

Diese sympathoexzitatorischen Neurone senden ihre Axone ipsilateral über den Hinterseitenstrang zu präganglionären sympathischen Neuronen im Seitenhorn des Rückenmarks (**b**).

3.3 Parasympathikus: Übersicht und Verschaltungen

A Übersicht: Kranialer Teil des Parasympathikus

Im Hirnstamm befinden sich vier parasympathische Kerngebiete:

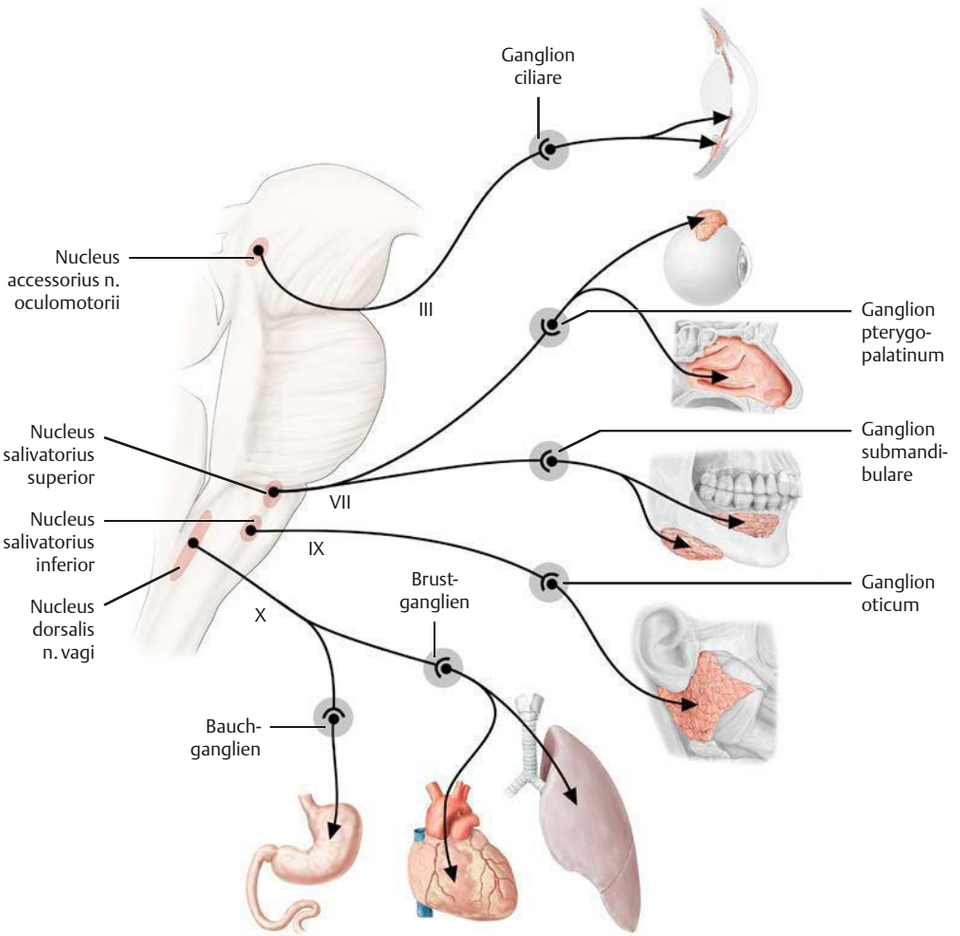
- Nucleus accessorius n. oculomotorii (Nucleus Edinger-Westphal),
- Nucleus salivatorius superior,
- Nucleus salivatorius inferior und
- Nucleus dorsalis n. vagi.

Die viszeroefferenten Fasern aus diesen Kerngebieten verlaufen mit folgenden Hirnnerven:

- N. oculomotorius (III),
- N. facialis (VII),
- N. glossopharyngeus (IX) und
- N. vagus (X).

Die präganglionären parasympathischen Fasern lagern sich im Kopfbereich oft mehreren Hirnnerven an, um so zum Zielorgan zu gelangen (Einzelheiten s. S. 534 u. **E**, S. 130). Der Kopfteil des Parasympathikus (N. vagus) versorgt alle Thorax- und Bauchorgane bis zum Cannon-Böhm-Punkt an der linken Kolonflexur.

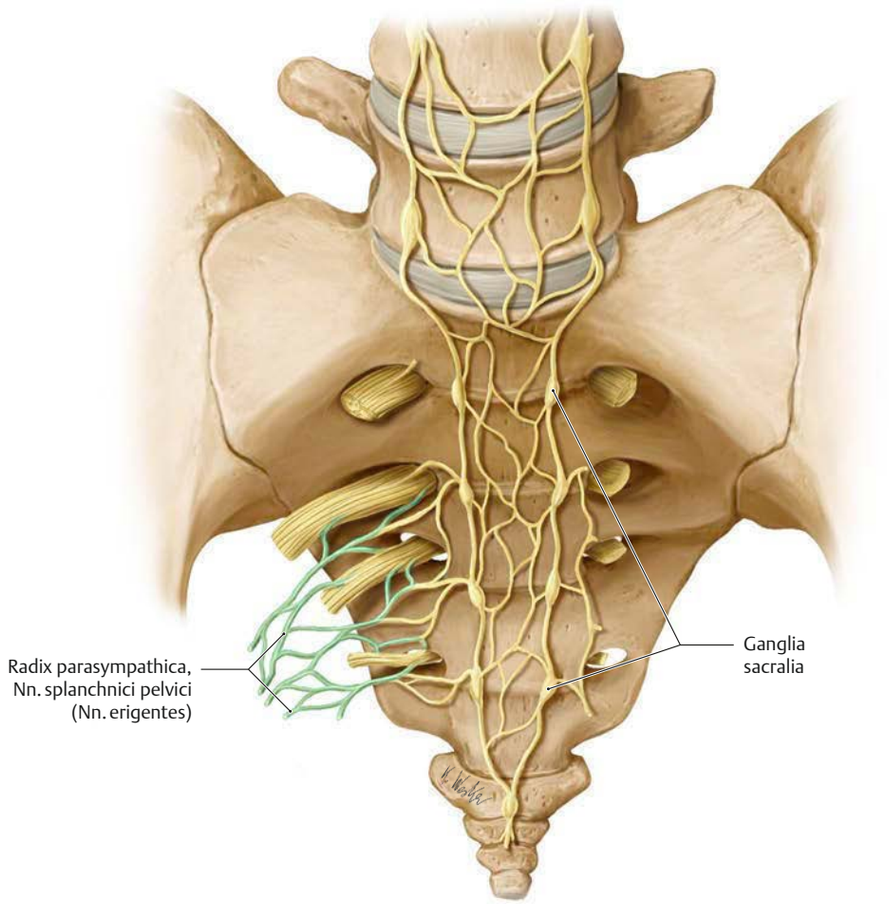
Beachte: Die sympathischen Fasern zum Kopf gelangen über die Arterien zu ihren Endorganen.



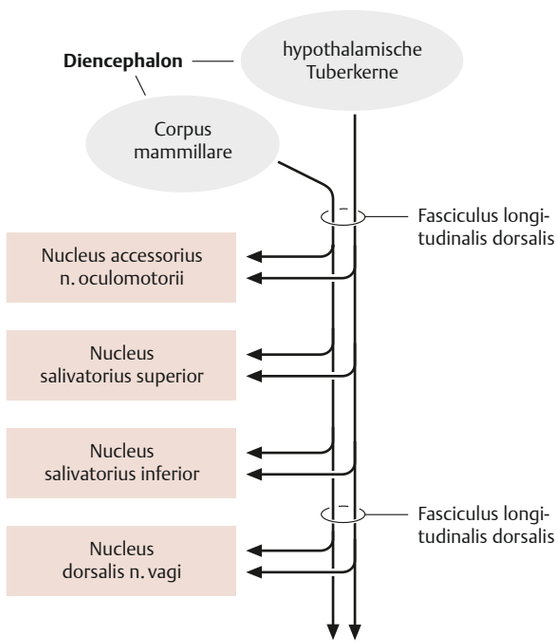
B Parasympathische Kopfganglien

Kerngebiet	Präganglionäre Fasern	Ganglion	Postganglionäre Fasern	Versorgungsgebiet
• Nucleus accessorius n. oculomotorii (Nucleus Edinger-Westphal)	• N. oculomotorius	• Ganglion ciliare	• Nn. ciliares breves	• M. ciliaris (Akkommodation) • M. sphincter pupillae (Miosis)
• Nucleus salivatorius superior	• N. intermedius (Fazialisanteil) teilt sich in:		• N. maxillaris → N. zygomaticus → Anastomose → N. lacrimalis	• Tränendrüse
	1. N. petrosus major → N. canalis pterygoidei	• Ganglion pterygopalatinum	• Rr. orbitales • Rr. nasales posteriores laterales • N. nasopalatinus • Nn. palatini	• Drüsen an: – hintere Siebbeinzellen – Nasenmuscheln – vorderer Gaumen – harter und weicher Gaumen
	2. Chorda tympani → N. lingualis	• Ganglion submandibulare	• Rr. glandulares	• Gl. submandibularis • Gl. sublingualis
• Nucleus salivatorius inferior	• N. glossopharyngeus → N. tympanicus → N. petrosus minor	• Ganglion oticum	• N. auriculotemporalis (V_3)	• Gl. parotis
• Nucleus dorsalis n. vagi	• N. vagus	• organnahe Ganglien	• feine Fasern, die in das Organ ziehen und nicht näher bezeichnet werden	• Brust- und Baucheingeweide

→ = geht über in



C Lumbosakraler Teil des Parasympathikus
Abschnitte des Darmrohrs, die aboral des Cannon-Böhm-Punktes liegen, sowie die Beckeneingeweide werden vom sakralen Parasympathikus versorgt. Seine Efferenzen ziehen mit den Vorderwurzeln der Segmente S2–4 aus den Foramina sacralia anteriora. Die Fasern bündeln sich zu den Nn. splanchnici pelvici (Nn. erigentes), vermischen sich mit den Sympathikusfasern und werden in den organnahen Ganglien umgeschaltet.



D Leitungsschema des Fasciculus longitudinalis dorsalis
Die erhöhte Speichelsekretion beim Essen resultiert aus der Stimulation der Speicheldrüsen durch den Parasympathikus. Für eine solche koordinierte Stimulation der verschiedenen Drüsen benötigen die parasympathischen, kranialen Kerngebiete Erregungsimpulse aus übergeordneten Zentren (Tuberkerne, Corpus mammillare). Sie regen dann die parasympathischen Kerngebiete zu vermehrter Speichelsekretion an. Die Verbindung zu diesen übergeordneten Zentren erfolgt über den Fasciculus longitudinalis dorsalis. Neben den abgebildeten Fasern, die zur Koordination der parasympathischen Kerngebiete dienen, enthält er noch weitere, hier nicht dargestellte Fasersysteme.

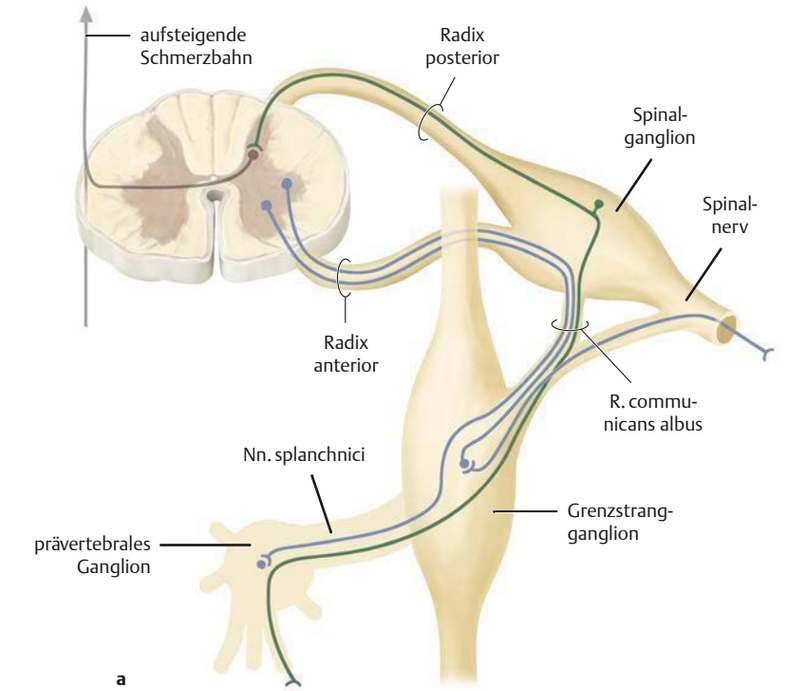
3.4 Eingeweideschmerzen

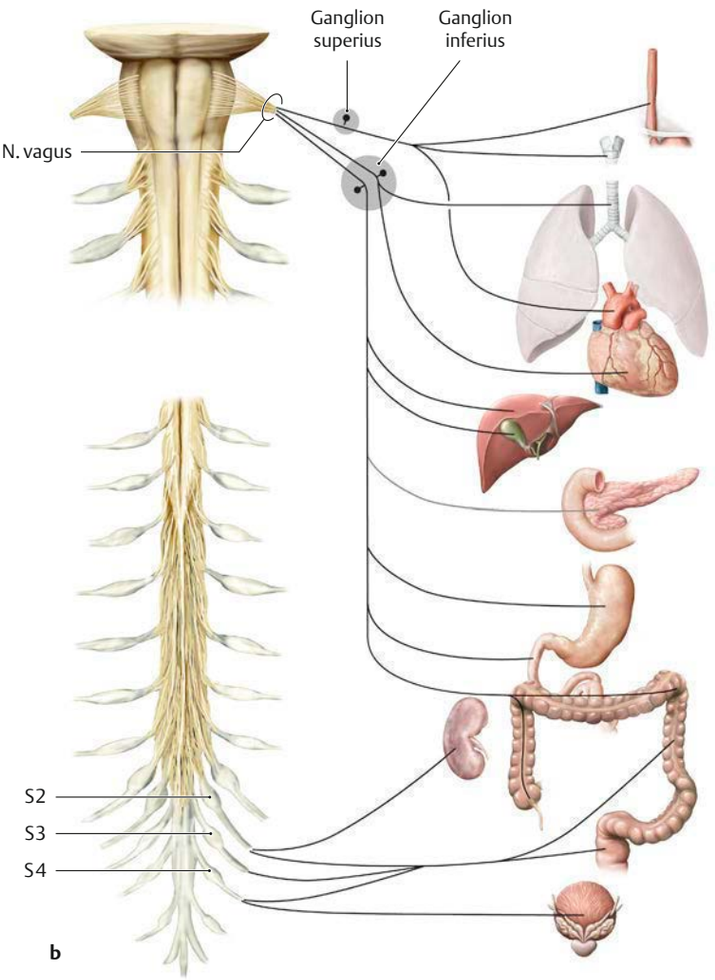
A Übertragung von Schmerzafferenzen aus den Eingeweiden über Sympathikus und Parasympathikus (nach Jänig)
a Schmerzfasern des Sympathikus; **b** Schmerzfasern des Parasympathikus.

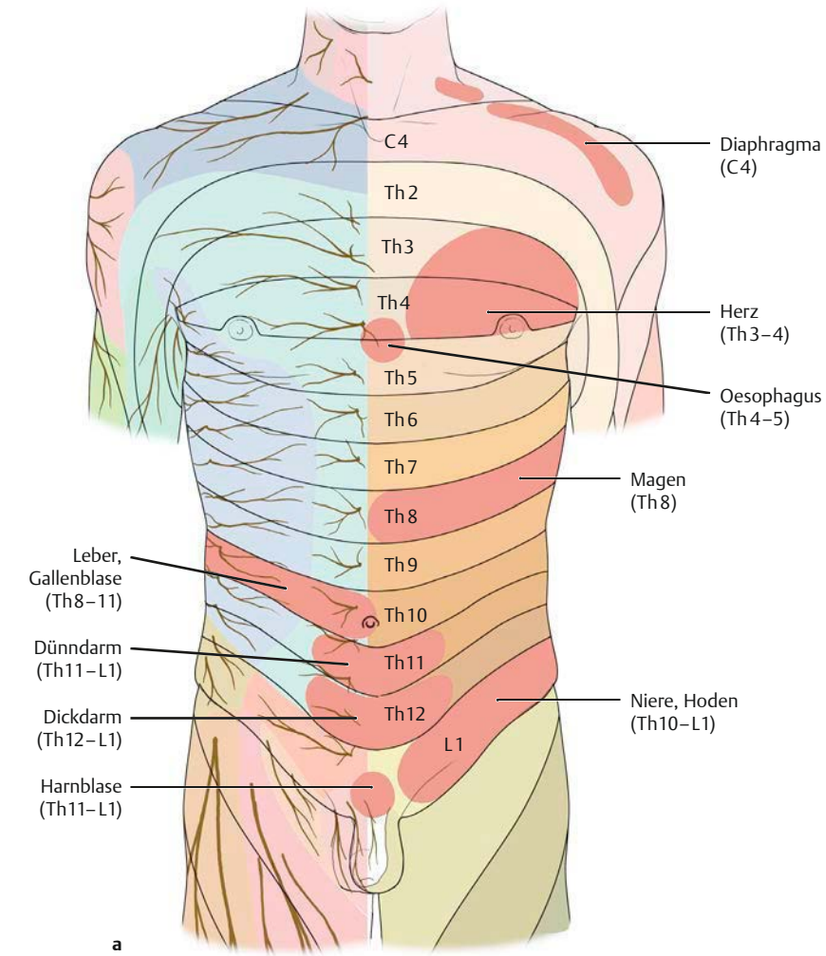
Ursprünglich ist man davon ausgegangen, dass Sympathikus und Parasympathikus nur Efferenzen zu den Eingeweiden weiterleiten. Neuere Forschungen haben jedoch gezeigt, dass in beiden Systemen – über große Teile parallel zu den Axonen der Viszeroefferenzen – auch Axone von Schmerzafferenzen ziehen, auch wenn diese insgesamt nur 5 % aller schmerzafferenten Fasern ausmachen. Quantitativ spielen sie deshalb eine untergeordnete Rolle. Viele dieser Fasern dürften bei normalen Organvorgängen nicht aktiv sein, sondern z. B. nur bei Läsionen in den Organen.

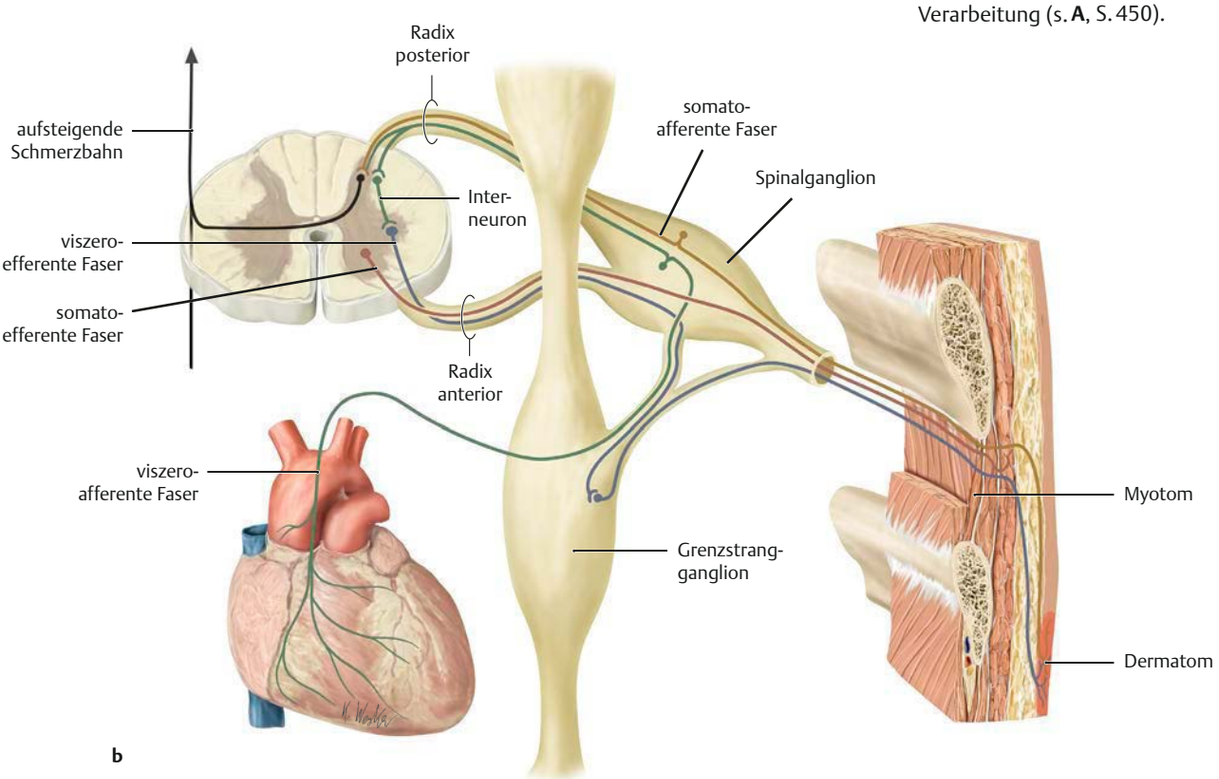
a Die schmerzleitenden (noziafferenten) Axone aus den Eingeweiden verlaufen mit den Nn. splanchnici zu den Grenzstrangganglien und gelangen über den R. communicans albus zum Spinalnerv; das Perikaryon dieser Neurone befindet sich im Spinalganglion. Vom Spinalnerv ziehen die Neurone über die posteriore Wurzel zum Hinterhorn des Rückenmarks weiter. Dort werden sie umgeschaltet und finden Anschluss an die aufsteigende Schmerzbahn. Alternativ kann über Interneurone (s. **Bb**) ein Reflexbogen geschlossen werden.
Beachte: Im Gegensatz zum efferenten System finden in den noziafferenten Fasern von Sympathikus und Parasympathikus keine Umschaltungen in den peripheren Ganglien statt.

b Die Perikarya der schmerzleitenden pseudounipolaren Neurone liegen beim *kranialen* Parasympathikus im Ganglion inferius bzw. superius des N. vagus, beim *sakralen* Parasympathikus in den sakralen Spinalganglien S2–4. Ihre Fasern verlaufen parallel zu den efferenten Vagusfasern. Sie finden dann zentral Anschluss an die schmerzverarbeitenden Systeme.





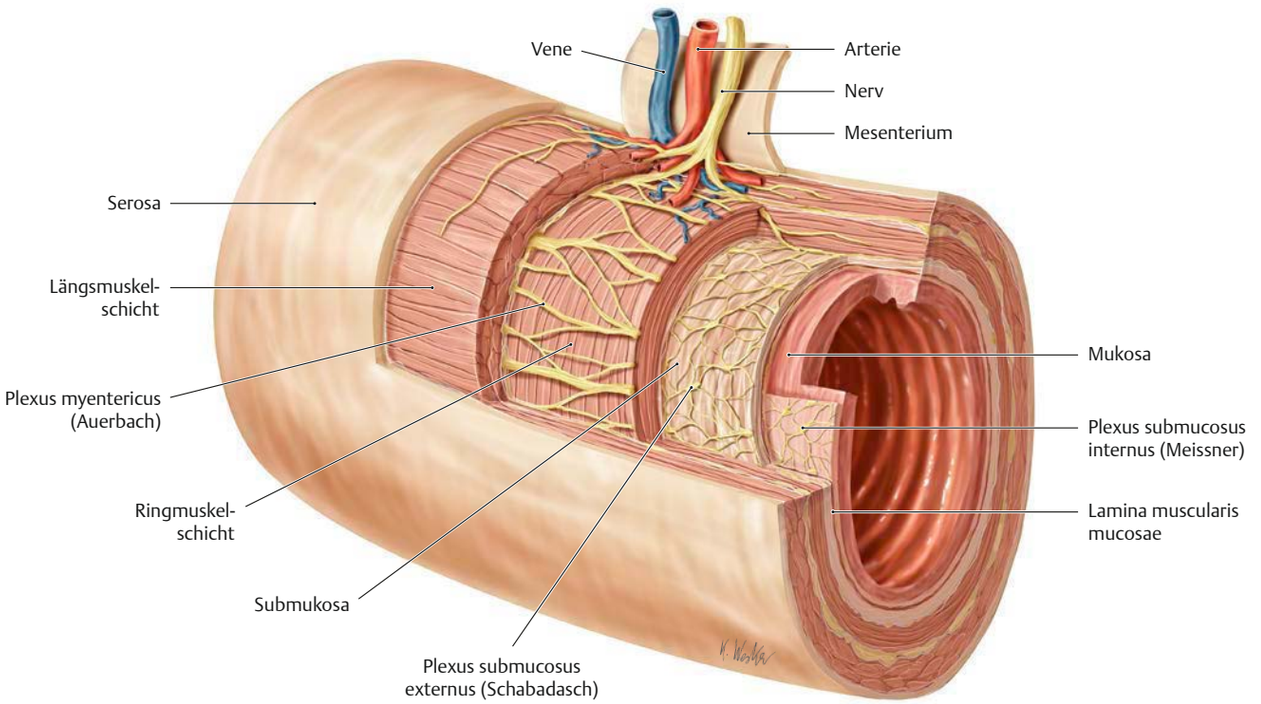




B Viszerokutaner Reflexbogen und Head-Zonen

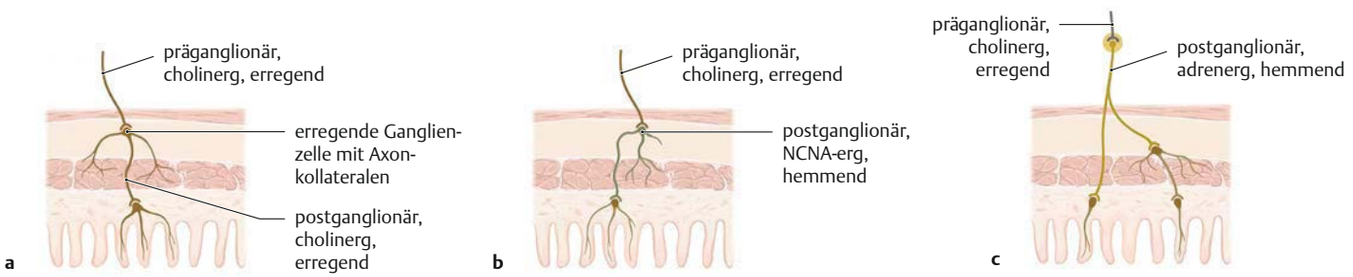
Man nimmt an, dass Schmerzafferenzen aus inneren Organen (viszerale Schmerzen) und Schmerzen aus Dermatomen (somatische Schmerzen) an den selben weiterverarbeitenden Neuronen im Hinterhorn des Rückenmarks enden. Durch diese Vermischung viszero- und somatoafferenter Fasern (s. **b**) geht die strikte Zuordnung von Schmerzentstehung und Schmerzwahrnehmung verloren. Der Cortex ordnet dann z. B. Schmerzimpulse aus dem Magen der Bauchwand zu. Dieses Phänomen bezeichnet man als weitergeleiteten Schmerz (referred pain). Da jedoch die Schmerzimpulse aus einem bestimmten inneren Organ immer auf dieselben, fest definierten Hautareale projiziert werden, liefert diese Schmerzprojektion entscheidende Hinweise darauf, welches Organ jeweils erkrankt ist. Die Hautareale, auf die bestimmte Organe ihre Schmerzimpulse projizieren, werden nach ihrem Erstbeschreiber, dem englischen Neurologen *Sir Henry Head*, als *Head-Zonen* bezeichnet. Im Bild sind Kernbereiche der Head-Zonen eingezeichnet, die aufgrund des diffusen Charakters der Schmerzen manchmal auch in benachbarte Dermatome überstrahlen können (s. Zahlenangaben). Dieses Erklärungsmodell berücksichtigt nur die periphere Verarbeitung von Impulsen, die im Cortex als Schmerzen wahrgenommen werden. Warum z. B. – umgekehrt – somatische Schmerzen nicht als Eingeweideschmerzen wahrgenommen werden, ist unklar. Insgesamt ist das Problem Schmerz komplexer und bedarf neben der peripheren auch der zentralen Verarbeitung (s. **A**, S. 450).

3.5 Eingeweidenervensystem



A Enterisches Nervensystem im Dünndarm

Das enterische Nervensystem gilt als Prototyp des Eingeweidenervensystems („The gut as a small brain"). Es besteht aus kleinen Neuronenverbänden, die in der Wand des Darmrohres mikroskopisch sichtbare Ganglien bilden, die untereinander verbunden sind. Grob unterscheidet man den *Plexus myentericus (Auerbach),* der zwischen Längs- und Ringmuskulatur liegt und den *Plexus submucosus* (in der Submukosa), der zusätzlich in einen Plexus submucosus externus (Schabadasch) und internus (Meissner) unterteilt wird (zu noch feineren Schichten des enterischen Nervensystems s. Histologielehrbücher). Diese Neuronenverbände sind die Grundlage autonomer Reflexbahnen. Sie können prinzipiell ohne äußere Innervation arbeiten, ihre Aktivität wird jedoch stark von Sympathikus und Parasympathikus beeinflusst. Beispiele für Aktivitäten, die durch das enterische Nervensystem beeinflusst werden, sind: enterische Motilität, Sekretion in das Darmrohr und lokale Durchblutung des Darmrohres.



B Modulation der Darminnervation durch das vegetative Nervensystem

Obwohl der Parasympathikus (rest and digest) grundsätzlich die Aktivitäten des Darmrohres (Sekretion, Motilität) fördert, kann er auch hemmende Aktivitäten entfalten.

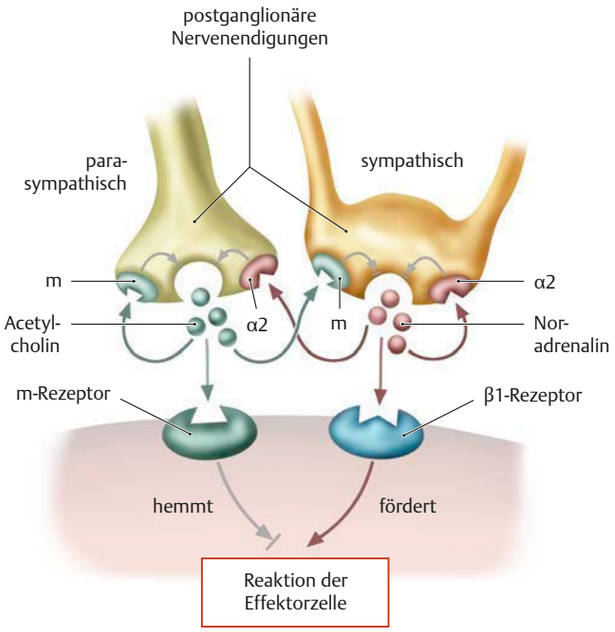
a Erregende präganglionäre cholinerge Parasympathikusfasern enden auf erregenden cholinergen Neuronen, die die Darmmotorik fördern (Durchmischung des Darminhaltes zur besseren Resorption).

b Bei einer inhibitorischen Parasympathikusfaser wird auf eine hemmende Ganglienzelle umgeschaltet, die nicht cholinerge, nicht adrenerge (NCNA-)Transmitter benutzt. Diese NCNA-Transmitter sezernieren meistens Neuropeptide, die die Darmmotorik hemmen.

c Sympathische Fasern sind in den Muskelschichten des Darmes eher selten. Die postganglionären adrenergen Fasern hemmen die motorischen und sekretorischen Neurone in den Plexus.

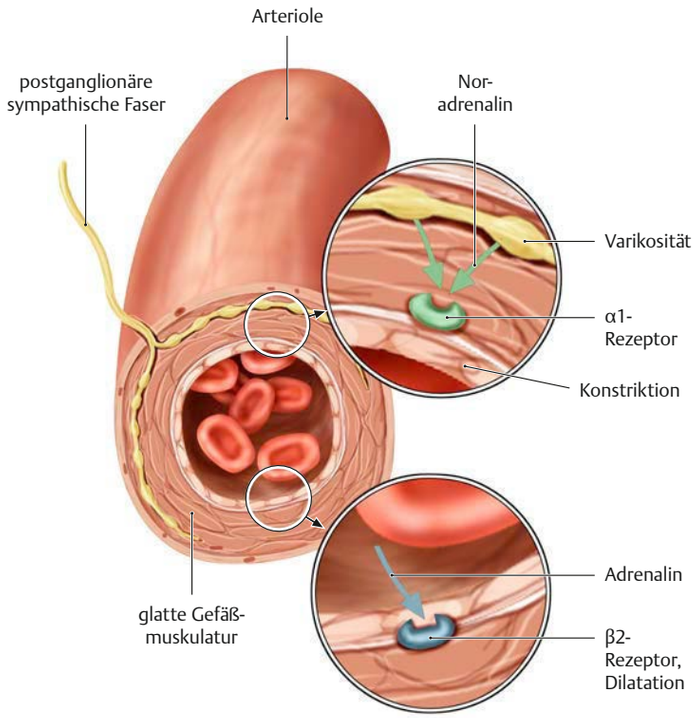
Die autonome Innervation des Darmes ist klinisch wichtig:

- Beim Schock werden die Gefäße im Darm enggestellt, so dass es zu einer Minderversorgung der Darmschleimhaut mit Sauerstoff kommt. Dadurch wird die Epithelbarriere gestört und kann leicht durch Keime aus dem Darmlumen penetriert werden. Dies ist ein wichtiger Prozess, der zum Multiorganversagen bei Schock beiträgt.
- Nach Operationen am Darm kann es aufgrund der Manipulation am Darmrohr zum Sistieren der Darmmotilität kommen (Darmatonie).
- Medikamente (insbesondere Opiate) können die Motilität des enterischen Nervensystems verlangsamen, was dann Verstopfung zur Folge hat.



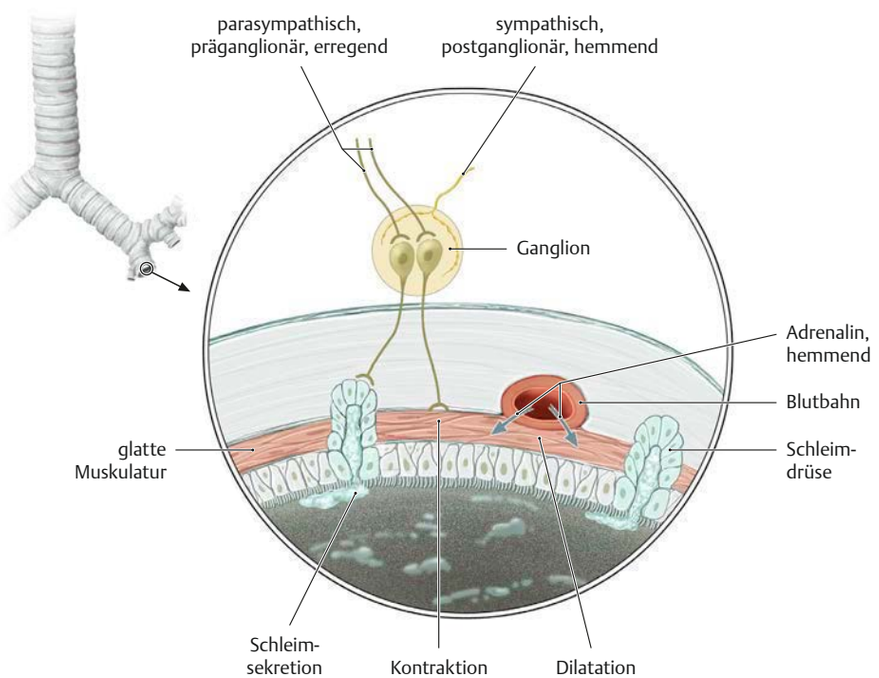
C Funktionelle Verflechtung von Sympathikus und Parasympathikus am Erfolgsorgan

Die Transmitter von Sympathikus (Noradrenalin) und Parasympathikus (Acetylcholin) können sich nach ihrer Freisetzung aus dem synaptischen Endknöpfchen gegenseitig beeinflussen: präsynaptische Interaktion.
An der Zielzelle gibt es wiederum verschiedene Rezeptoren für Acetylcholin (muskarinerge Rezeptoren) und Noradrenalin (β1-Rezeptoren), so dass je nach Art der Transmitterfreisetzung unterschiedliche und sogar gegensätzliche Effekte an der Zielzelle hervorgerufen werden können. Die Beeinflussung der Wirkung von den sympathischen und parasympathischen Transmittern auf eine Zielzelle kann also auf zwei Ebenen erfolgen. Diese Ebenen tragen zur Komplexität der Wirkungen der Neurotransmitter des vegetativen Nervensystems am Erfolgsorgan bei.



D Beeinflussung von Arterien durch den Sympathikus

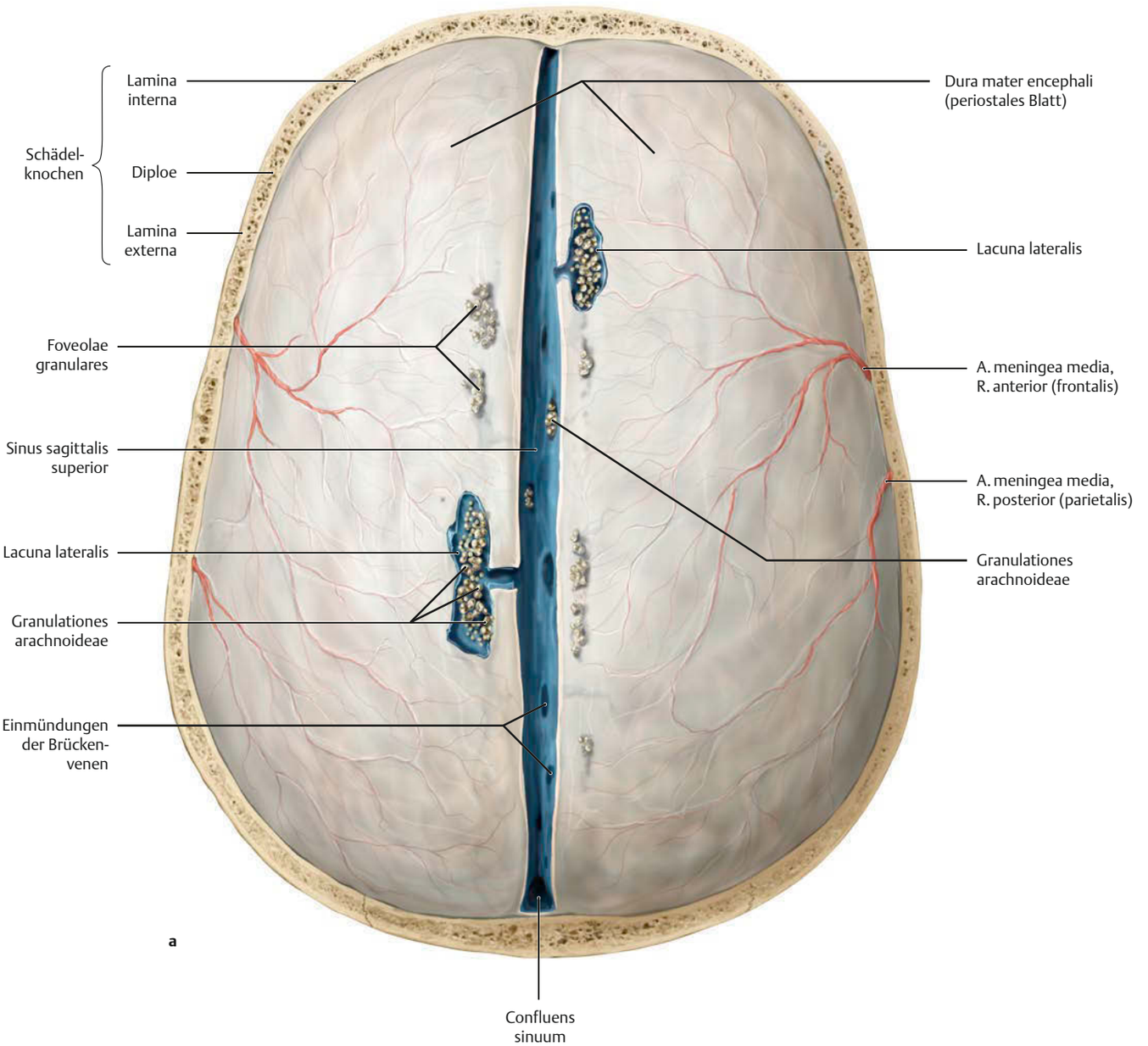
Eine wichtige Funktion des Sympathikus besteht in der Regulation der Gefäßweite in den Arteriolen (Blutdruckregulation!). Setzt der Sympathikus über seine Axone Noradrenalin in die Media der Arteriolen frei, vermittelt der α1-Rezeptor eine Kontraktion der glatten Muskulatur: der Blutdruck steigt. Aus dem Blut stammendes Adrenalin wirkt hingegen auf die β2-Rezeptoren im Sarkolemm der gleichen Zellen und löst eine Vasodilatation aus: der Blutdruck sinkt.
Beachte: Parasympathische Fasern enden nicht an den Gefäßen.



E Innervation von Trachea und Bronchien durch das autonome Nervensystem

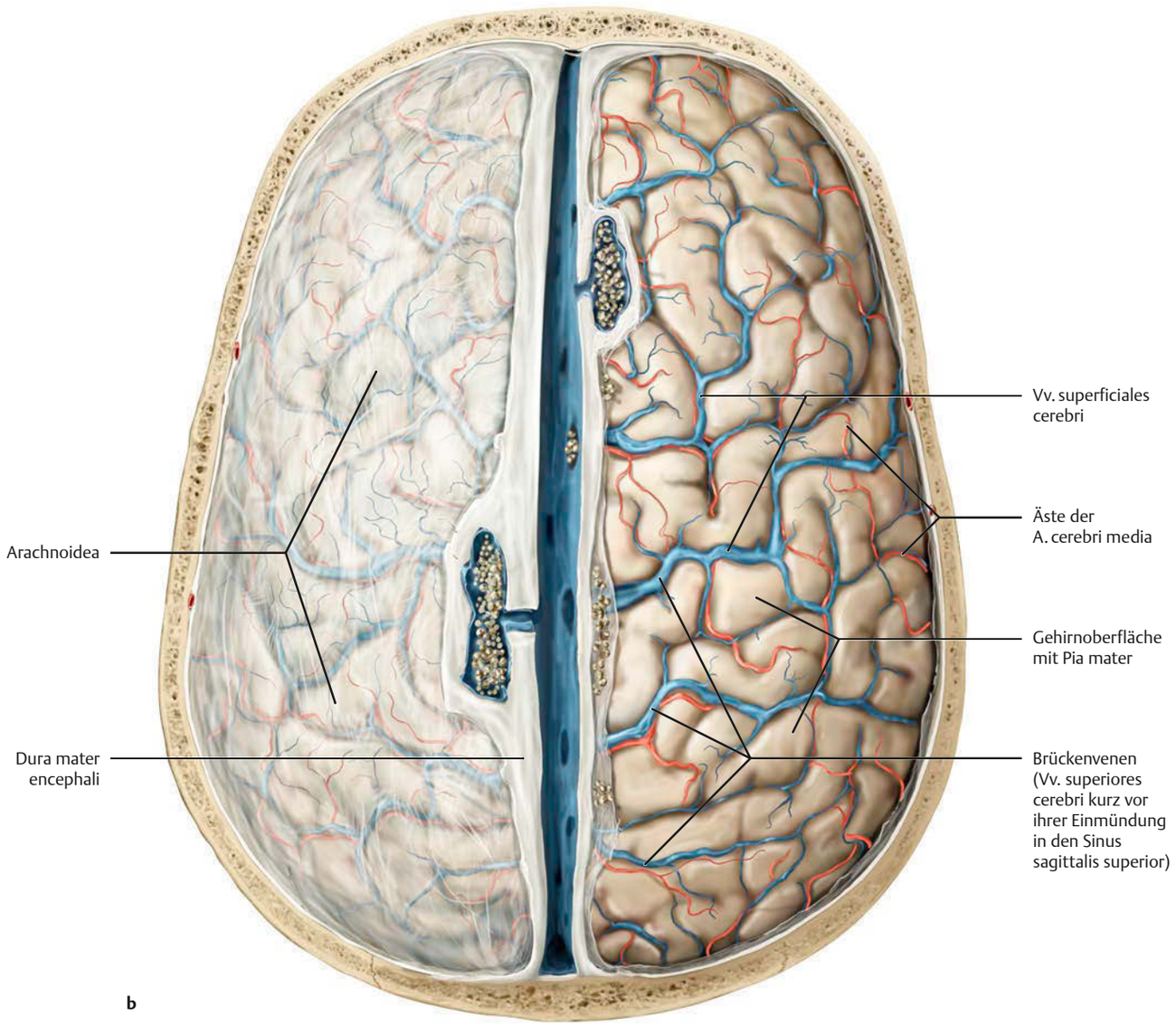
Durch *parasympathische* Stimulation der lokalen Ganglien wird die Sekretion der Bronchialdrüsen gesteigert, die Bronchien werden verengt. Deshalb stellt man den Parasympathikus vor der Bronchoskopie durch Medikamente (Atropin) ruhig, damit die Schleimhaut nicht durch Schleim abgedeckt wird. Umgekehrt kann durch *sympathische* Stimulation die Sekretion vermindert werden. Adrenalin aus der Blutbahn führt über adrenerge β2-Rezeptoren zur Bronchodilatation. Diesen Effekt macht man sich bei der Behandlung des Status asthmaticus (Verkrampfung der Atemwege) therapeutisch zu Nutze.

4.1 Hirnhäute



A Hirnhäute in situ
Sicht auf den eröffneten knöchernen Schädel von oben. **a** nach Entfernen der Schädelkalotte und Eröffnen des Sinus sagittalis superior und seiner Lacunae laterales; **b** nach Entfernen der Dura mater (linke Hirnhälfte) bzw. der Dura und der Arachnoidea (rechte Hirnhälfte).

a Nach Abheben der Schädelkalotte blickt man direkt auf die äußerste Schicht der Meningen, die Dura mater encephali. Durch ihren großen Gehalt an straffen Kollagenfasern, der ihr mechanische Festigkeit verleiht, ist sie fast undurchsichtig. Auf ihrer Oberfläche erkennt man Äste der epidural gelegenen Aa. meningeae, die im Relief des Schädelknochens entsprechende Rinnen – Sulci arteriosi (s. Abb. **A**, S. 18) – hinterlassen. Sie liegen also unmittelbar zwischen Dura und Knochen, was für die Lokalisation und Ausbreitung von verletzungsbedingten Blutungen aus Meningealarterien – die sog. epiduralen Blutungen (s. **Aa**, S. 390) – von Bedeutung ist. Da Dura mater encephali und inneres Schädelperiost strukturell und funktionell eine untrennbare Einheit bilden, spricht man gelegentlich von einem periostalen Blatt (hier sichtbar) und einem darunter gelegenen meningealen Blatt (hier nicht sichtbar, s. **C**, S. 311) der Dura mater encephali. In der Mittelebene sieht man einen solchen Sinus, den Sinus sagittalis superior, als einen der großen venösen Blutleiter im Gehirn (s. S. 382 ff), von dem seitliche Buchten (Lacunae laterales) ausgehen. Der Sinus ist hier in ganzer Länge eröffnet.

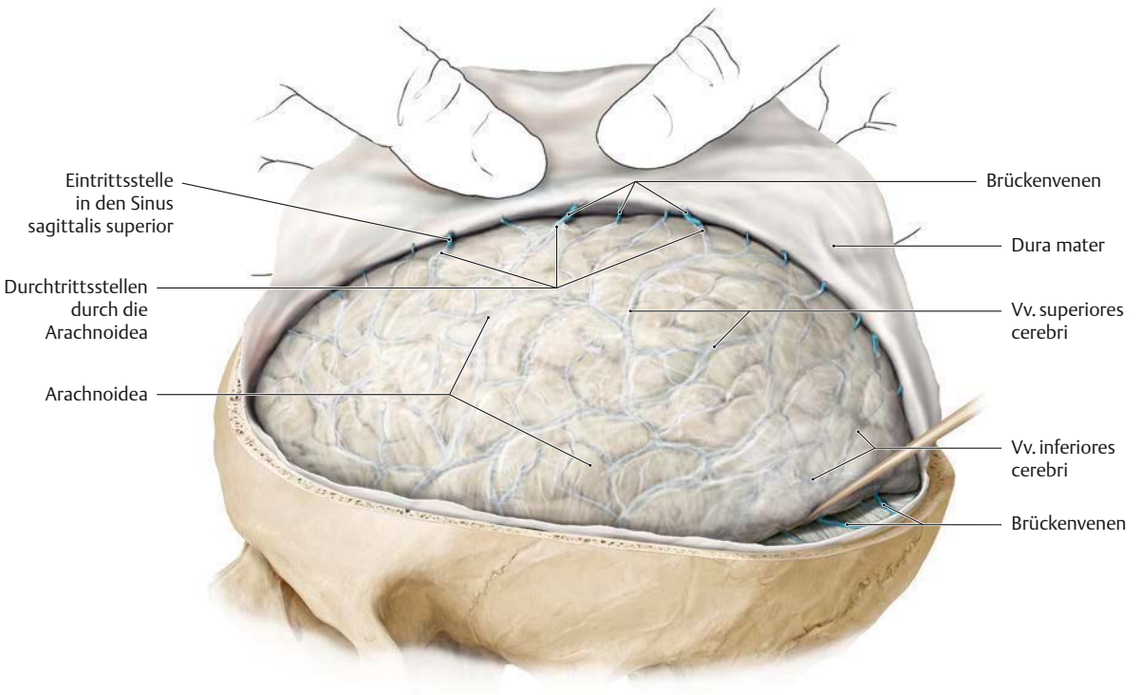


b

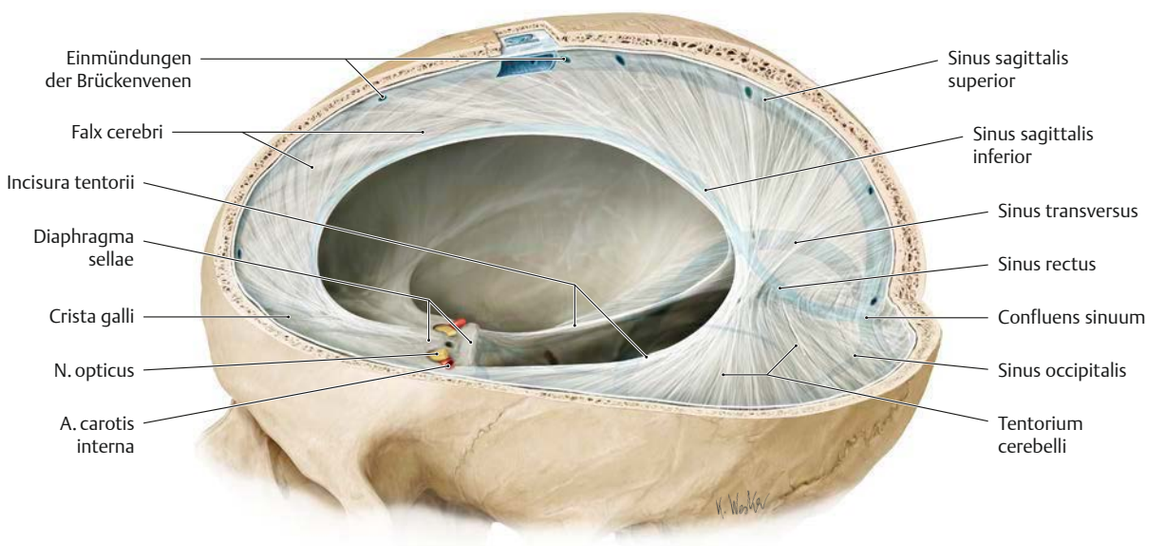
In Bild **b** blickt man nach Entfernung der Dura mater encephali auf die weiche Hirnhaut (Leptomeninx). Die Arachnoidea als deren äußere Schicht ist auf der linken Hirnhälfte in situ belassen, rechts ist sie entfernt, so dass man auf das von der Pia mater encephali (als innerer Schicht) bedeckte Gehirn sieht. Die Pia mater zieht im Gegensatz zur Arachnoidea auch in die Tiefe der Sulci hinein. Der unter der Arachnoidea gelegene, mit Liquor cerebrospinalis gefüllte Subarachnoidalraum (s. Abb. **C**, S. 311) ist links geschlossen erhalten, rechts eröffnet. Im Subarachnoidalraum verlaufen neben den großen zerebralen Arterien die oberflächlichen Hirnvenen (Vv. superficiales cerebri), die über sog. Brückenvenen v. a. in den Sinus sagittalis superior münden. Im Sinus sagittalis superior und seinen Lacunen erkennt man die sog. Granulationes arachnoideae (Pacchioni-Granulationen, Arachnoidalzotten), die für die Rückresorption von Liquor von Bedeutung sind (zu Einzelheiten s. **A**, S. 314).

Beachte: Im Gegensatz zum ZNS, das aus dem Neuralrohr entsteht, entwickeln sich die Meningen nicht aus dem Neuralrohr, sondern aus embryonalem Bindegewebe (Mesenchym), welches das Neuralrohr umgibt. Hirnhäute sind also nicht, wie der Name andeuten könnte, in irgendeiner Form „Hirngewebeabkömmlinge“. Im Gegenteil: Das ZNS – hier die Hirnoberfläche – grenzt sich durch dem Neuralrohr entstammende Gliazellen (Astrozyten) durch eine sog. Membrana glialis superficialis gegen die Pia mater ab. Diese ist nur mikroskopisch sichtbar.

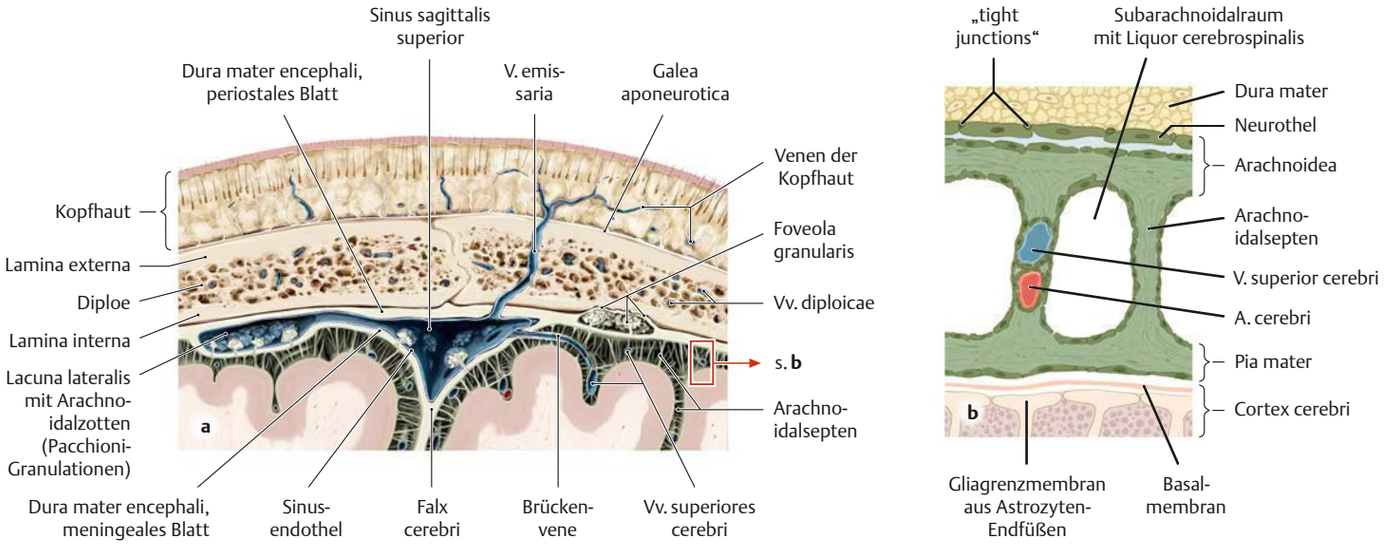
4.2 Hirnhäute und Durasepten



A Gehirn in situ mit teilweise abpräparierter Dura mater
Ansicht von links oben. Die Dura ist eröffnet und hochgeklappt, Arachnoidea und Pia mater darunter verbleiben auf dem Gehirn. Da die bedeckende Arachnoidea so zart ist, erahnt man unter ihr den Subarachnoidalraum mit den darin verlaufenden Gefäßen (s. **C**). Er enthält in diesem Präparationsstadium keinen Liquor cerebrospinalis mehr und ist daher in sich kollabiert. Bevor die oberflächlichen Hirnvenen in den Sinus enden, treten sie für eine kurze Strecke aus dem Subarachnoidalraum heraus und verlaufen zwischen dem Neurothel der Arachnoidea und dem meningealen Blatt der Dura mater zum Sinus sagittalis superior. Diesen Gefäßabschnitt der Hirnvenen nennt man Brückenvenen (vgl. **C**). Einige Brückenvenen, insbesondere die Vv. inferiores cerebri, münden in den Sinus transversus. Werden Brückenvenen verletzt, kommt es zur Subduralblutung, s. S. 311 u. **A**, S. 390).

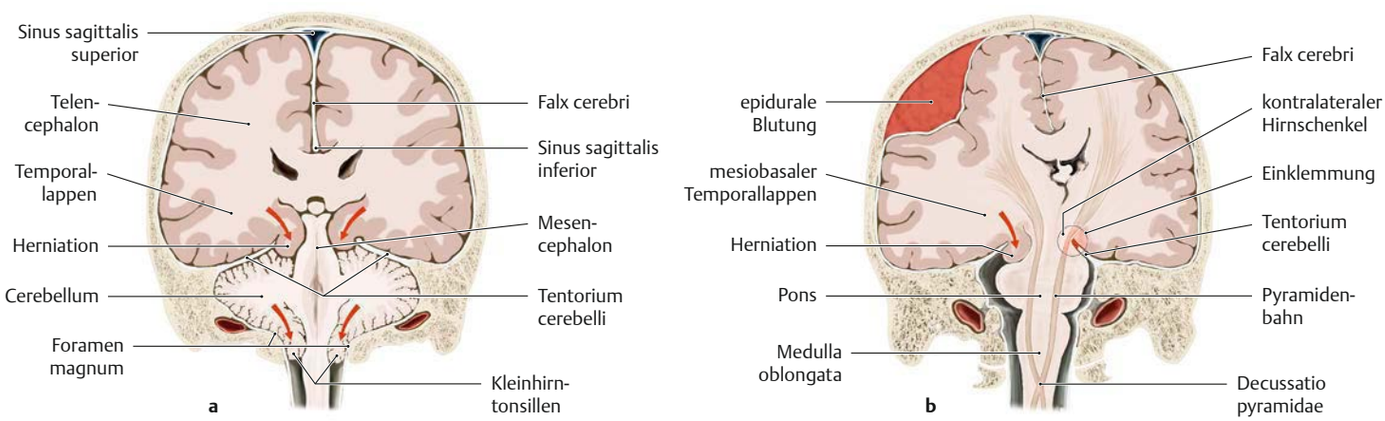


B Durasepten
Ansicht von schräg links vorn. Zur Darstellung der Durasepten wurde das Gehirn herausgeschält. Man sieht zum einen die Falx cerebri, die an der Crista galli des Os ethmoidale entspringt und die beiden Hirnhälften trennt. An der Anheftungsstelle zur Kalotte erweitert sich die Falx cerebri, um den Sinus sagittalis superior aufzunehmen. Weitere Septen sind das Tentorium cerebelli und die Falx cerebelli (hier nicht zu sehen). Das Tentorium cerebelli strahlt in die Furche zwischen Groß- und Kleinhirn ein; die Falx cerebelli trennt die beiden Kleinhirnhemisphären voneinander, in ihrer Wurzel verläuft der Sinus occipitalis. Da die Septen rigide sind, können unter ihren freien Rändern Hirnareale eingeklemmt werden (s. **D**). Als Incisura tentorii bezeichnet man die Öffnung im Tentorium cerebelli für den Durchtritt des Hirnstamms.



C Einbau der Hirnhäute in die Schädelkalotte

a Frontalschnitt, Ansicht von vorne. Dura mater encephali und inneres Schädelperiost stellen eine strukturelle Einheit dar. Sie bestehen aus straffem geflechtartigem Bindegewebe. Der dem Knochen zugewandte Durateil übernimmt die Aufgaben von Periost (periostales Durablatt). Das dem Hirn zugewandte meningeale Durablatt bildet an manchen Stellen Septen, die in die Spalten zwischen Hirnregionen einstrahlen. Im hier dargestellten Bereich der Mittellinie des Großhirns ist dies die Hirnsichel (Falx cerebri, s. **B** für weitere Septen). Innerhalb der Dura, also zwischen periostalem und meningealem Blatt, liegen die venösen Blutleiter des Gehirns, die Sinus durae matris (z. B. Sinus sagittalis superior). Ihre Wände bestehen aus Dura und Endothel. Pacchioni-Granulationen, die sich aus dem Subarachnoidalraum in den Sinus vorwölben, dienen dem Liquorstoffwechsel (Einzelheiten s. S. 314 ff). Die Vorwölbungen der Granulationen können sogar Impressionen in der Kalotte (Foveolae granulares) hervorrufen (s. S. 18). Die Ausschnittsvergrößerung (**b**) zeigt schematisch die Verhältnisse im Bereich der Leptomeninx, die als Spaltraum den Subarachnoidalraum (SAR) enthält. Unterteilt wird der Subarachnoidalraum durch arachnoidale Septen, die vom äußeren Blatt (Arachnoidea) zum inneren Blatt (Pia mater) verlaufen. An der Grenze zur Dura weist die Arachnoidea flache Zellen auf, die im Gegensatz zu den restlichen Meningealzellen durch „tight junctions“ miteinander verbunden sind (Neurothel) und die eigentliche Diffusionsbarriere (Blut-Liquor-Schranke, s. S. 317) darstellen.



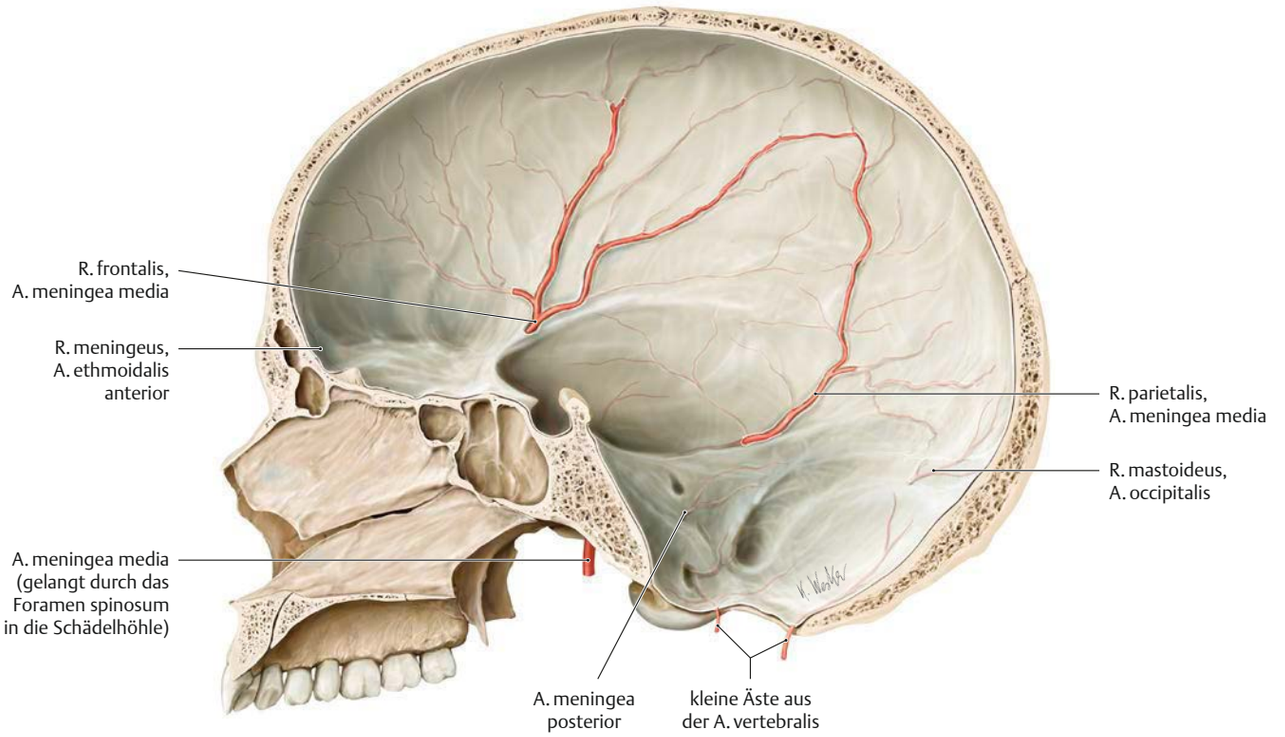
D Einklemmungen (Hernien) unter die freien Ränder der Meningen

Frontalschnitte, Ansicht von frontal. Durch das Tentorium cerebelli wird die Schädelhöhle in einen supra- und einen infratentoriellen Raum unterteilt: Das Telencephalon liegt supratentoriell, das Cerebellum infratentoriell (**a**). Die aus straffem kollagenem Bindegewebe bestehende Dura stellt dabei ein starres intrakranielles Gerüst dar. Bei raumfordernden Prozessen kann es deshalb zu Verschiebungen und damit zur Einklemmung von Hirnteilen (Hernien) unterhalb der starren Durasepten (= Duplikatur des meningealen Durablattes) kommen.

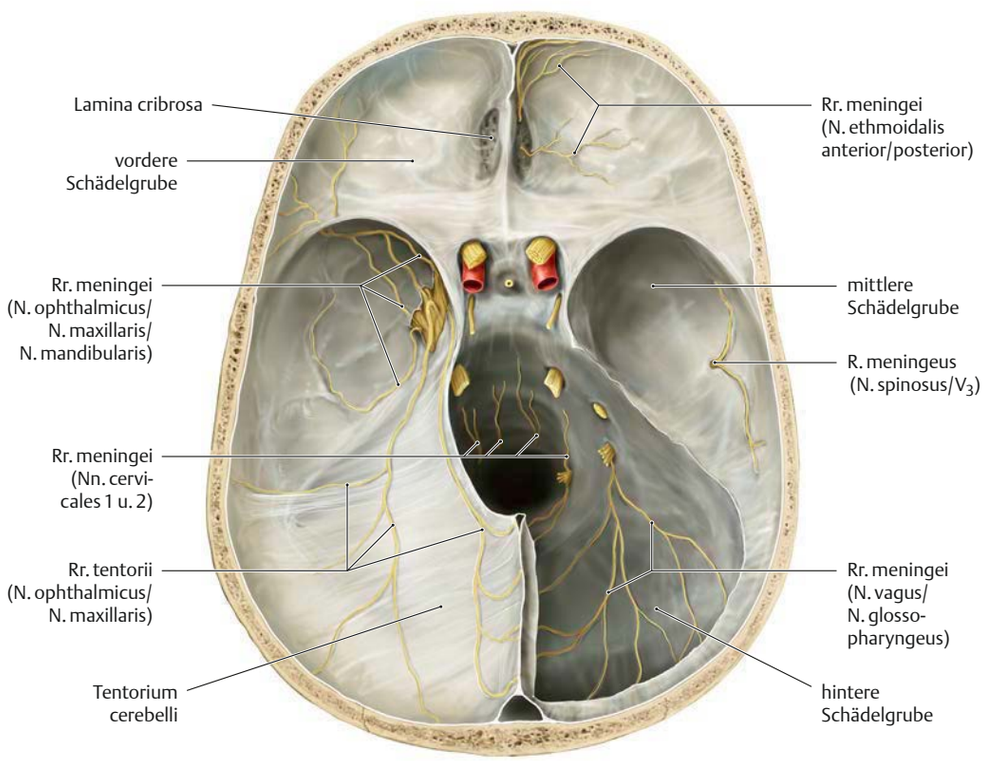
a Axiale Einklemmung. Die axiale Einklemmung wird meist durch ein Hirnödem verursacht. Bei dieser symmetrischen Einklemmung werden die mittleren und unteren Anteile beider Temporallappen in den Schlitz des Tentorium cerebelli gepresst und drücken zunächst im oberen Bereich auf das Mittelhirn: obere Einklemmung. Bleibt der Druck bestehen, werden die Kleinhirntonsillen in das Foramen magnum gedrängt und komprimieren den Hirnstamm zusätzlich im unteren Bereich: untere Einklemmung. Da im Hirnstamm Atem- und Kreislaufzentrum liegen, ist diese Einklemmung lebensgefährlich. Durch die gleichzeitige Kompression der Blutgefäße kommt es zu Infarkten im Hirnstamm.

b Laterale Einklemmung. Die laterale Einklemmung tritt bei einseitig raumfordernden Prozessen (Einblutung, Hirntumor) auf, wie hier auf der rechten Seite dargestellt. Die mesiobasalen Temporallappenanteile drücken die Hirnschenkel der Gegenseite auf die scharfe Kante des Tentoriums. Dadurch wird die Pyramidenbahn oberhalb ihrer Kreuzung geschädigt: Die Lähmung betrifft die Muskulatur der Rumpfhälfte und der Extremitäten der gegenüberliegenden Seite.

4.3 Hirn- und Rückenmarkshäute und ihre Räume



A Blutversorgung der Dura mater
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links; Äste der A. meningea media an einigen Stellen freigelegt. Der größte Teil der Dura mater in der Schädelhöhle wird durch die A. meningea media, einen Endast der A. maxillaris versorgt. Die anderen dargestellten Gefäße sind klinisch von untergeordneter Bedeutung. Die wesentliche Funktion der A. meningea media besteht aber nicht – wie der Name impliziert – in der Versorgung der Hirnhaut, sondern in der Blutversorgung der Kalotte. Bei Schädel-Hirn-Traumen kann die A. meningea media einreißen und zu lebensbedrohlichen Komplikationen führen (Epiduralblutungen, s. **C**, sowie S. 309 u. 390).

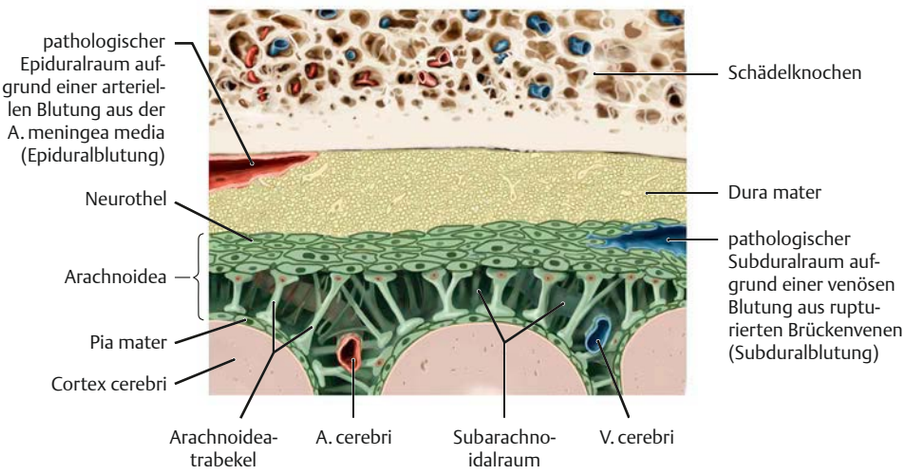


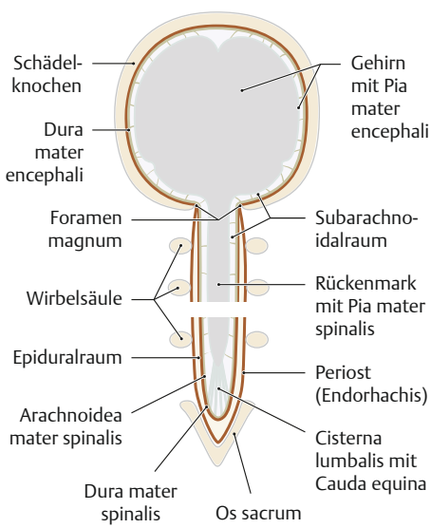
B Innervation der Dura mater im Bereich der Schädelhöhle
(nach von Lanz u. Wachsmuth)
Ansicht von oben; Tentorium cerebelli auf der rechten Seite entfernt. Die Innervation der Meningen innerhalb der Schädelhöhle erfolgt durch Rr. meningei aller drei Äste des N. trigeminus sowie durch Äste des N. vagus, des N. glossopharyngeus und Äste der ersten beiden Zervikalnerven. Werden diese sensiblen Fasern bei einer Hirnhautentzündung (Meningitis) gereizt, resultieren Kopfschmerzen und Nackensteifigkeit, die reflektorisch bedingt ist. Der Kopf wird dabei überstreckt, um die entzündeten Meningen zu entlasten. Das Gehirn selbst ist dagegen schmerzunempfindlich.

C Hirnhäute und ihre Räume

Horizontalschnitt durch die Kalotte (schematisiert). Man unterscheidet zwei nur unter pathologischen Bedingungen vorhandene Räume sowie einen physiologisch existierenden Raum:

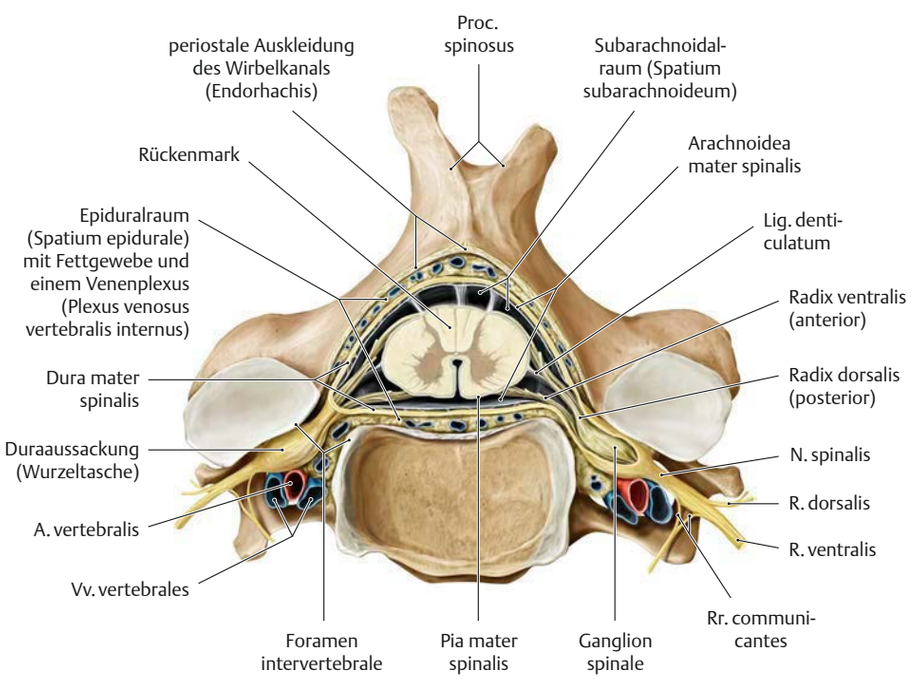
- Epiduralraum: Ein normalerweise im Schädel nicht vorhandener Raum (vgl. aber **E** zum physiologisch vorhandenen Epiduralraum im Wirbelkanal), der künstlich bei einer Blutung aus der A. meningea media oder einer ihrer Äste entsteht (arterielle Blutung). Die Blutung löst die Dura mater vom Knochen ab, so dass der Epiduralraum zwischen Lamina interna der Kalotte und Dura entsteht (epidurales Hämatom, s. S. 390).
- Subduralraum: Eine Blutung der Brückenvenen eröffnet künstlich den Subduralraum zwischen dem meningealen Blatt der Dura mater und der oberen Schicht der Arachnoidea (subdurales Hämatom, s. S. 390). Die Zellen der obersten Zellschicht der Arachnoidea (Neurothel) sind untereinander durch ein dichtes Netzwerk von „tight junctions“ verbunden, so dass hier eine Gewebeschranke entsteht (Blut-Liquor-Schranke).
- Subarachnoidalraum: Unterhalb der Arachnoidea befindet sich der mit Liquor cerebrospinalis gefüllte physiologische Subarachnoidalraum, in dem Blutgefäße verlaufen. Bei Einblutungen in diesen Raum (Subarachnoidalblutung) handelt es sich meist um arterielle Blutungen aus Aneurysmen (pathologische Gefäßaussackungen) der Hirnbasisarterien (s. S. 390).





D Meningen in Schädelhöhle und Wirbelkanal

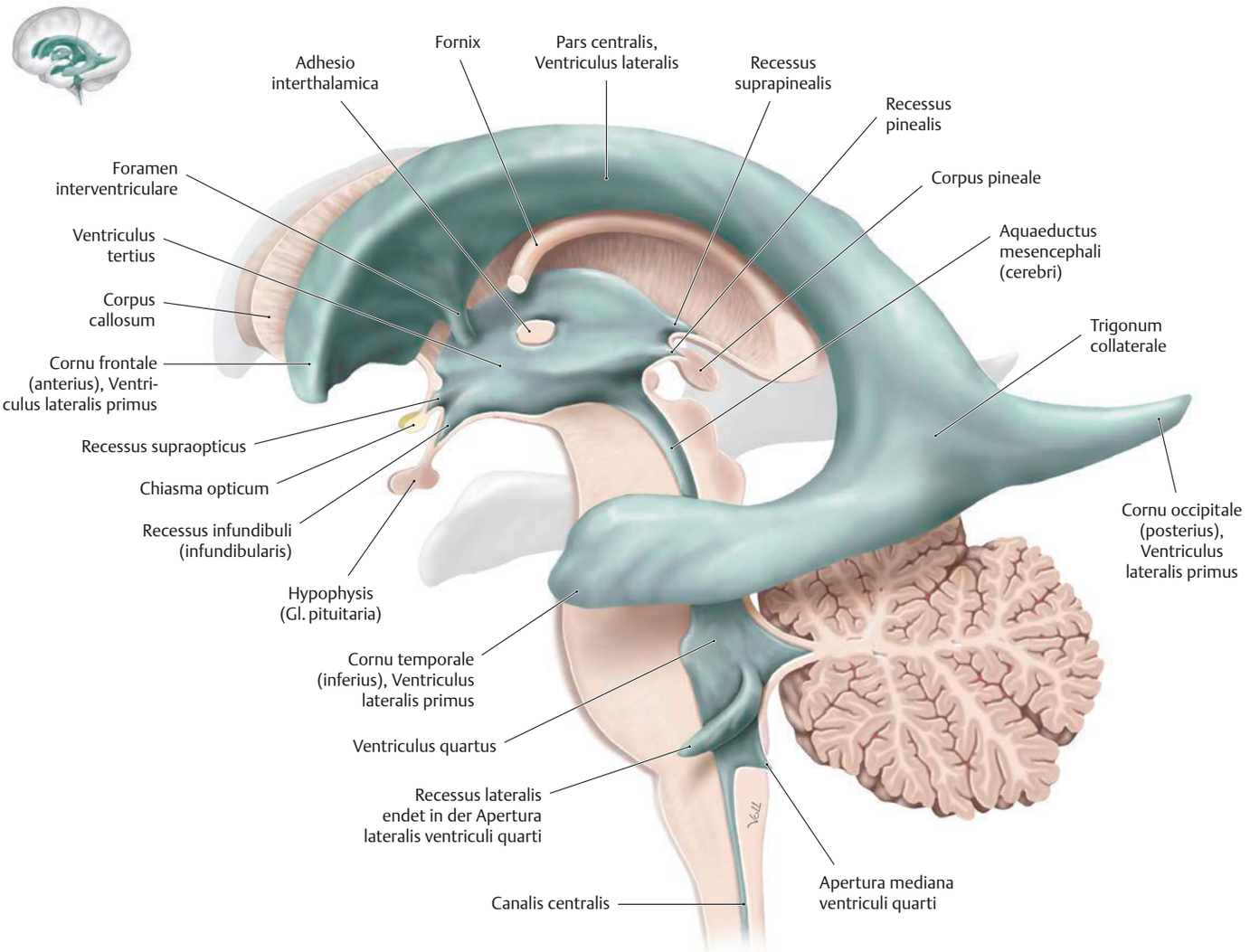
Während in der Schädelhöhle Dura mater *encephali* und Periost eine unteilbare strukturelle Einheit bilden, sind Dura mater *spinalis* und das Periost der Wirbelknochen im Spinalkanal – beginnend am Foramen magnum – aus funktionellen Gründen voneinander getrennt: Wegen der Beweglichkeit der Wirbelsäule müssen das Periost der Wirbel und der Durasack gegeneinander verschieblich sein. Als Verschiebespalt im Bereich des Wirbelkanals dient der Epiduralraum, den es physiologisch eben nur im Bereich des Wirbelkanals gibt. Er enthält Fett und Venengeflechte (s. **E**). Klinisch gesehen ist dieser Raum von großer Bedeutung, da in diesen Spaltraum die Lokalanästhetika bei der Epiduralanästhesie eingebracht werden.



E Rückenmarkshäute im Querschnitt

Querschnitt durch einen Halswirbel, Ansicht von kranial. Durch die Trennung von Dura mater und Periost im Wirbelkanal in zwei einzeln darstellbare Häute existiert im Bereich der Wirbelsäule mit dem Epiduralraum (Spatium epidurale) ein physiologischer Hohlraum. Seine Füllung mit Fett und ausgedehnten Venenplexus dient als „Druckpuffer“ bei Lageänderungen des Rückenmarks durch Bewegungen der Wirbelsäule. Im Durasack des Rückenmarks ziehen die dorsalen und ventralen Wurzeln der Spinalnerven, die im kaudalen Bereich des Durasacks die Cauda equina bilden (hier nicht dargestellt). In einer Duraaussackung im Bereich der Foramina intervertebralia vereinigen sich die dorsale und ventrale Wurzel zum N. spinalis. Nach der Verschmelzung der beiden Wurzeln hinter dem Spinalganglion zieht der Spinalnerv aus dem Durasack heraus. Die *Pia mater* bedeckt die Oberfläche von Gehirn und Rückenmark in gleicher Weise. Bei den Ligg. denticulata handelt es sich um piale Bindegewebsplatten, die vom Rückenmark zur Dura ziehen und frontal ausgerichtet sind.

5.1 Übersicht

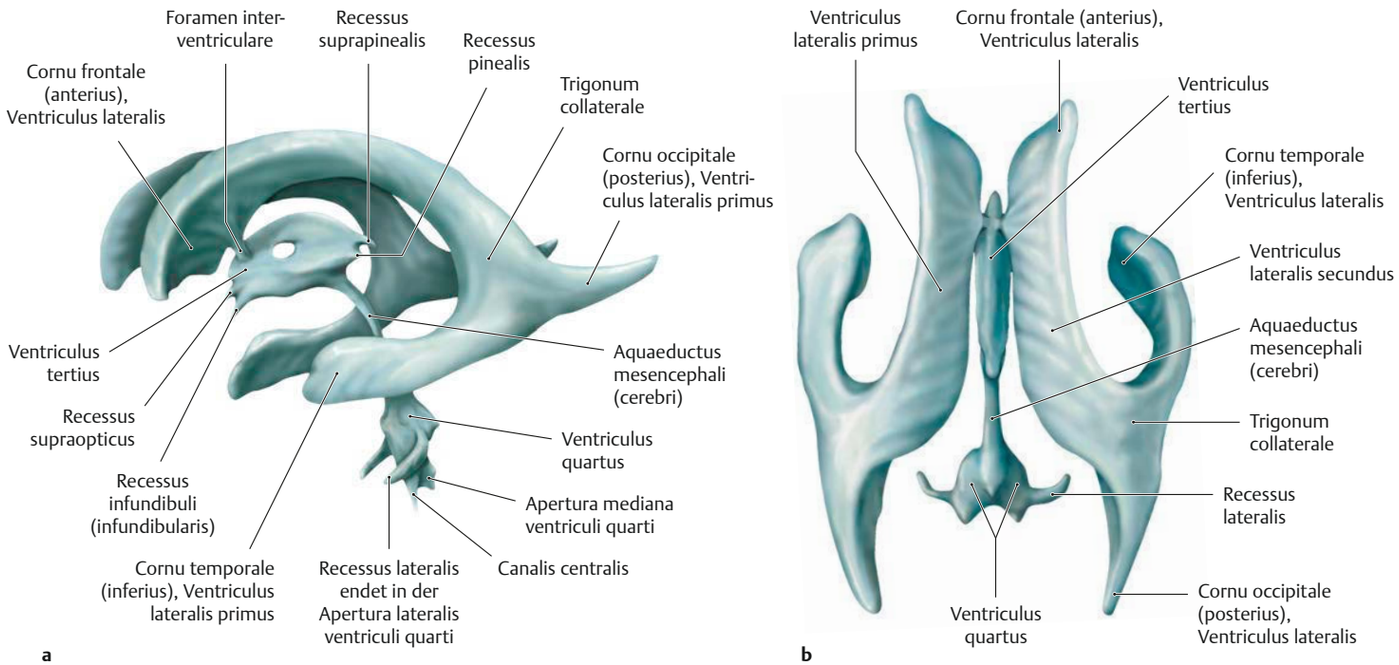


A Übersicht über das Ventrikelsystem und angrenzende Strukturen
Ansicht von links. Das Ventrikelsystem im Gehirn und der Zentralkanal (Canalis centralis) im Rückenmark entstehen aus dem Hohlraum des Neuralrohrs. Topografisch bilden sie den inneren Liquorraum. Die komplexe Form der Ventrikel resultiert aus der Entwicklung der Hirnbläschen. Ventrikel und Zentralkanal sind mit einem spezialisierten Epithel, dem Ependym (s. Abb. **D**, S. 317), ausgekleidet, das einen direkten Kontakt zwischen dem intraventrikulären Liquor cerebrospinalis und dem umgebenden Hirngewebe verhindert. Man unterscheidet:

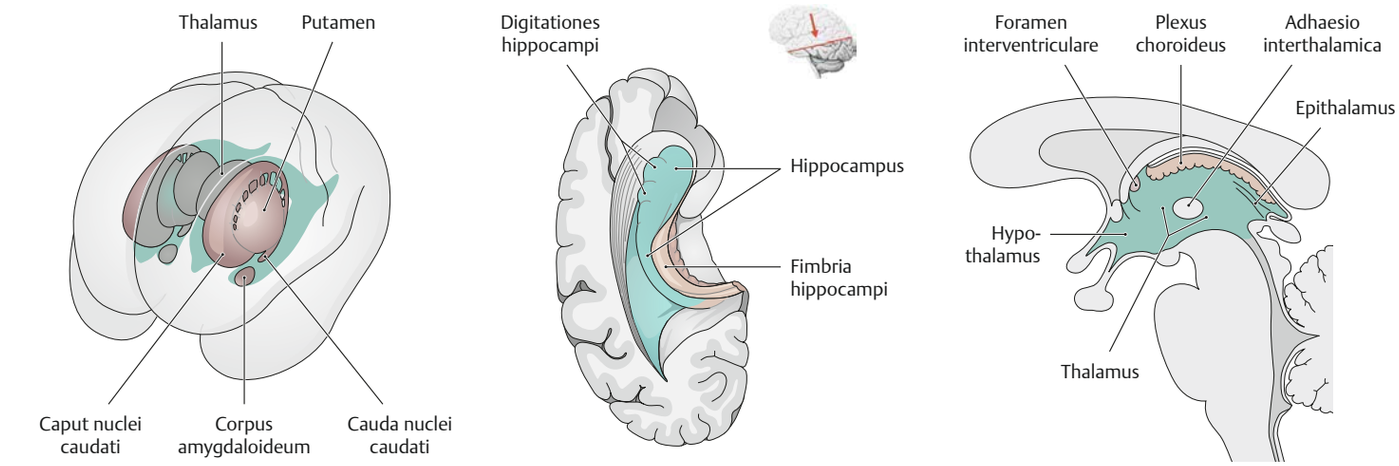
- den I. und II. Ventrikel (Ventriculi laterales primus und secundus, die *paarigen* Seitenventrikel), die jeweils durch das Foramen interventriculare mit dem *unpaaren*
- III. Ventrikel (Ventriculus tertius) verbunden sind, der wiederum durch den Aquaeductus mesencephali (cerebri) mit dem ebenfalls *unpaaren*
- IV. Ventrikel (Ventriculus quartus) in Verbindung steht; dieser hat Verbindungen zum Subarachnoidalraum, der auch als äußerer Liquorraum bezeichnet wird (vgl. **B**).

Den größten Hohlraum bilden die Seitenventrikel, die grob in Vorder-, Unter- und Hinterhorn und Zentralteil unterteilt werden. Bestimmte Abschnitte des Ventrikelsystems lassen sich definierten Hirnanteilen zuordnen: das Vorderhorn (Cornu frontale, -anterius) dem Frontallappen, das Unterhorn (Cornu temporale, -inferius) dem Temporallappen, das Hinterhorn (Cornu occipitale, -posterius) dem Okzipitallappen, der III. Ventrikel dem Zwischenhirn (Diencephalon), der Aquaeductus dem Mittelhirn (Mesencephalon) und der IV. Ventrikel dem Rautenhirn (Rhombencephalon). Die Nachbarschaftsbeziehungen des Ventrikelsystems werden auch in Frontal- und Horizontalschnitten deutlich (s. S. 420 u. 432).
Der Liquor wird hauptsächlich vom Plexus choroideus gebildet, einem Adergeflecht, von dem in jedem der vier Ventrikel Anteile vorhanden sind (s. S. 315), z. T. aber auch vom Ependym. Bei bestimmten Erkrankungen (z. B. bei Verminderung der Gehirnsubstanz bei der Alzheimer-Demenzerkrankung; innerer Hydrozephalus = Wasserkopf) ist das Ventrikelsystem krankhaft vergrößert. Zur Diagnostik dieser Erkrankungen wird die Ausdehnung des Ventrikelsystems in Schnittbildern des Gehirns beurteilt.

Diese Lerneinheit erläutert das Ventrikelsystem und seine angrenzenden Strukturen, anschließend wird der Weg des Liquors von der Produktion bis zum Abfluss nachvollzogen. Die letzte Einheit zu den Liquorräumen stellt die Spezialisierungen des Ependyms, die zirkumventrikulären Organe und die im Gehirn vorhandenen Schranken vor.



B Ausgusspräparat des Ventrikelsystems
Ansicht von links (**a**) und von oben (**b**). Ausgusspräparate verdeutlichen die Kommunikation der Ventrikel untereinander besonders gut: Die beiden Seitenventrikel (linker I. Ventrikel, rechter II. Ventrikel) kommunizieren jeweils über ein Foramen interventriculare mit dem III. Ventrikel. Dieser kommuniziert durch den Aquaeductus mesencephali (cerebri) mit dem IV. Ventrikel im Rautenhirn. Das Ventrikelsystem bezeichnet man auch als den *inneren Liquorraum* (etwa 30 ml), von dem man den *äußeren Liquorraum*, den Subarachnoidalraum (etwa 120 ml) abgrenzt. *Beachte* die drei Aperturen (eine paarige Apertura lateralis und eine unpaare Apertura mediana), über die der Liquor aus dem inneren Liquorraum in den äußeren Liquorraum abfließen kann.



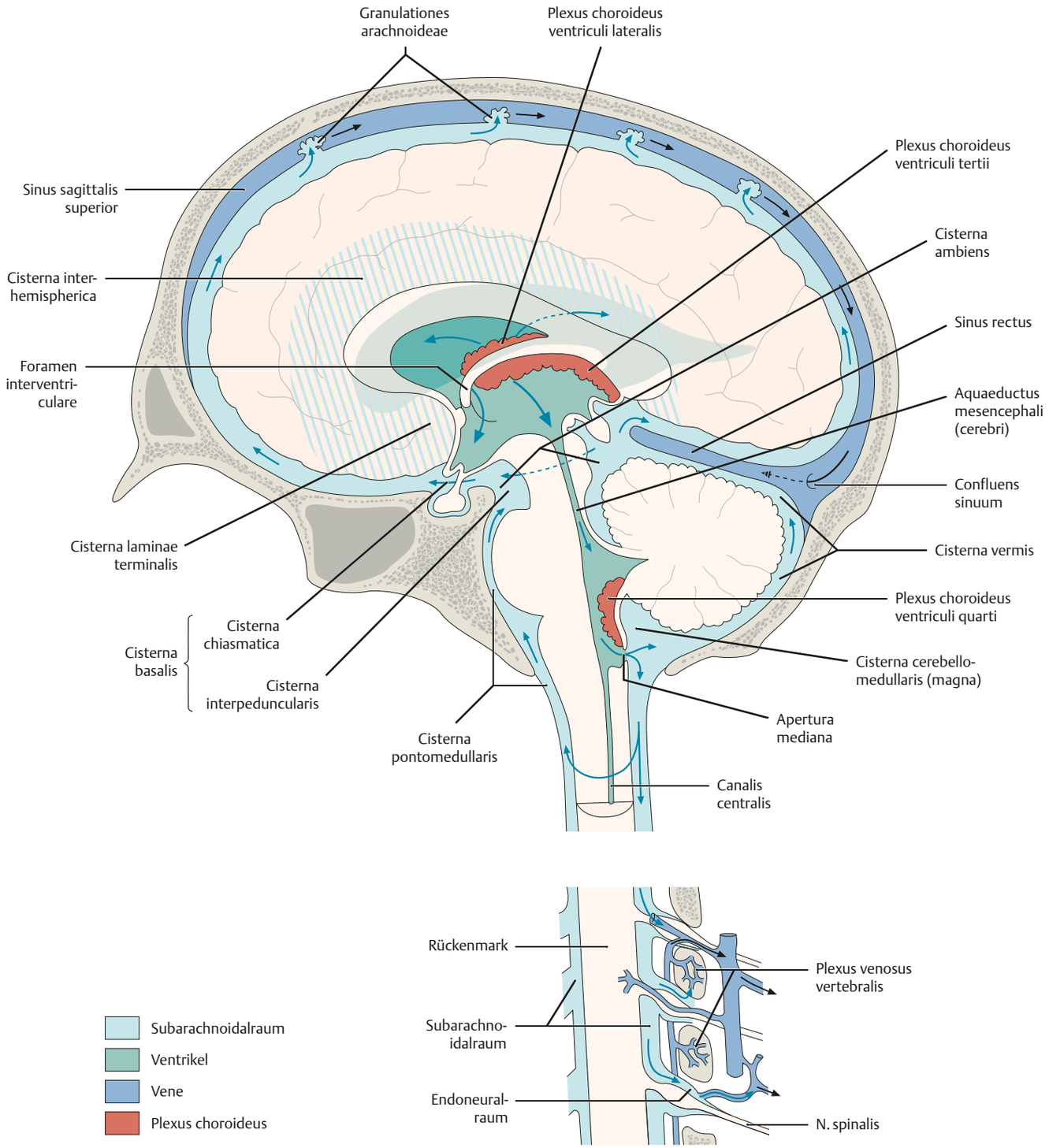
C Wichtige Hirnstrukturen, die an die Seitenventrikel angrenzen
a Sicht auf das Gehirn von links und oben;
b Sicht auf das Unterhorn des linken Seitenventrikels im eröffneten Temporallappen.

a Folgende Hirnstrukturen grenzen an die Seitenventrikel an:
- der Nucleus caudatus (die vordere laterale Wand des Vorderhorns),
- der Thalamus (die hintere laterale Wand des Vorderhorns) und
- das Putamen, das lateral vom Seitenventrikel liegt und daher nicht mehr direkt an ihn angrenzt.

b Im vorderen Abschnitt des Bodens des Unterhorns wird der Hippocampus (s. S. 333) sichtbar, der sich in seinen vorderen Abschnitten mit den Digitationes hippocampi in den Liquorraum vorwölbt.

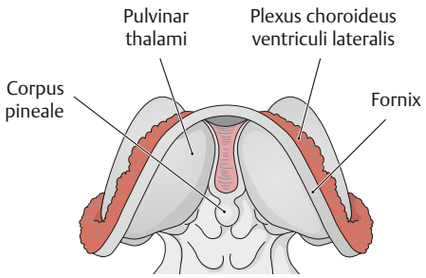
D Laterale Wand des III. Ventrikels
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links. Die laterale Wand des III. Ventrikels wird von Strukturen des Diencephalons (Epithalamus, Thalamus, Hypothalamus) gebildet. Ausbuchtungen der Thalami beiderseits (Adhesio interthalamica) können einander berühren, sind aber funktionell und anatomisch nicht miteinander verbunden, stellen also keine Kommissurenbahn dar.

5.2 Liquorzirkulation und Zisternen

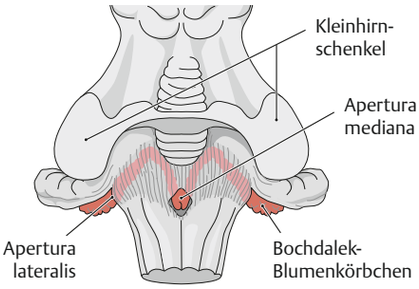


A Liquorzirkulation und Zisternen

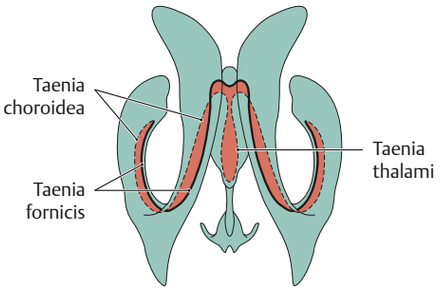
Der Liquor wird im Plexus choroideus gebildet, von dem in jedem der vier Hirnventrikel (innerer Liquorraum) Anteile liegen. Er gelangt über die Apertura mediana und die paarigen Aperturae laterales (nicht dargestellt, zur Lage s. S. 312) in den Subarachnoidalraum (äußerer Liquorraum), der seinerseits Erweiterungen hat, sog. Zisternen. Aus dem Subarachnoidalraum wird der Liquor entweder über die Granulationes arachnoideae (= Pacchioni-Granulationen, Nebenweg) oder entlang der Abgänge der Spinalnerven in venöse Plexus oder Lymphbahnen drainiert (Hauptabflussweg). Nach neueren Untersuchungen wird zusätzlich ein Abfluss des Liquors über Kapillaren und oberflächliche Hirnvenen (hier nicht dargestellt) diskutiert. Hirnventrikel und Subarachnoidalraum fassen zusammen ca. 150 ml Liquor (20% in den Ventrikeln und 80% im Subarachnoidalraum). Diese Menge wird 2–4-mal täglich komplett ausgetauscht, so dass pro Tag ca. 500 ml Liquor produziert werden müssen. Bei vermehrter Produktion oder Abflussstörungen des Liquors steigt der Hirndruck an (zur Bestimmung des Druckes s. Abb. **E**, S. 317).



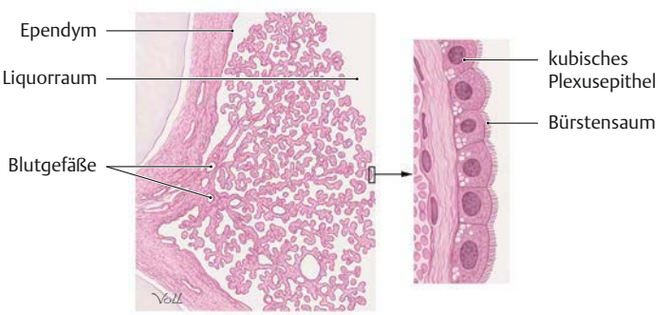
B Plexus choroideus in den Seitenventrikeln
Ansicht von okzipital auf den Thalamus. Bis auf den Boden der beiden Seitenventrikel, an denen der Plexus choroideus seinen Ursprung hat, ist die umgebende Hirnsubstanz entfernt worden. Da der Plexus nur an einer Stelle mit der Ventrikelwand verwachsen ist (s. **D**), flottiert er frei im Ventrikelsystem.



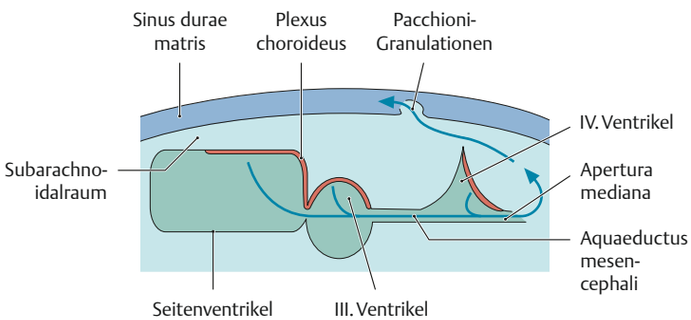
C Plexus choroideus im IV. Ventrikel
Ansicht von dorsal auf die teilweise eröffnete Rautengrube (Kleinhirn entfernt). Teile des Plexus choroideus sind am Dach des IV. Ventrikels befestigt und ziehen entlang der Aperturae laterales. Beiderseits können freie Enden durch die Aperturae laterales in den Subarachnoidalraum hineinreichen. Sie werden als Bochdalek-Blumenkörbchen bezeichnet.



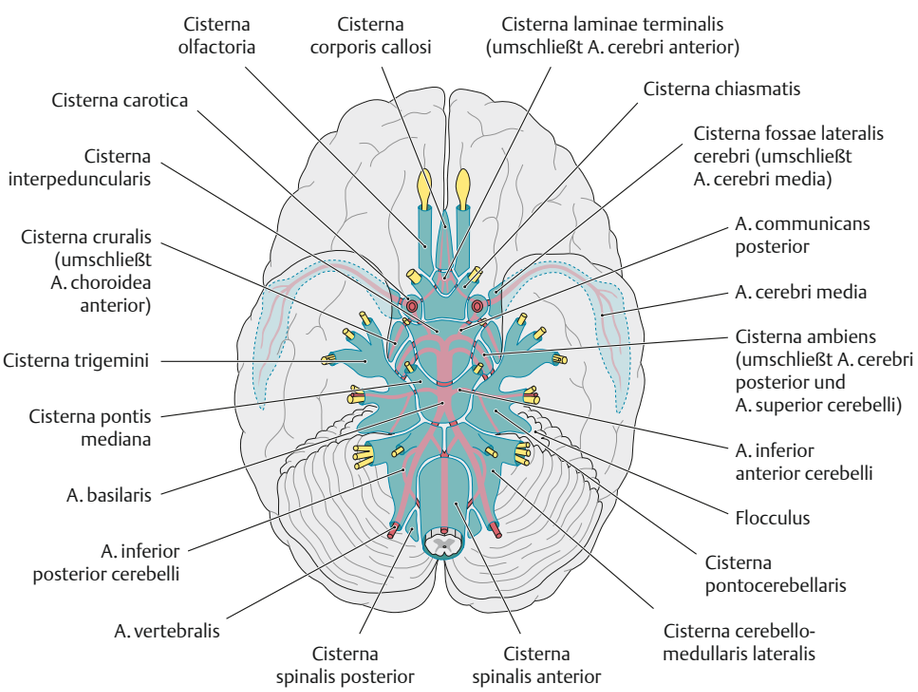
D Taenien des Plexus choroideus
Ansicht des Ventrikelsystems von oben. Der Plexus choroideus bildet sich durch Einwachsen von Gefäßschlingen in das Ependym, so dass er fest mit der Wand des jeweiligen Ventrikels verwachsen ist (s. **F**). Wird der Plexus mit der Pinzette entfernt, entstehen die Abrisslinien, Taenien.



E Histologischer Schnitt durch den Plexus choroideus, Ausschnitt: Aufbau des Plexusepithels (nach Kahle)
Der Plexus choroideus stellt eine Ausstülpung der jeweiligen Ventrikelwand dar. Da er an seiner Oberfläche zahlreiche Auffaltungen hat, wird er oft mit einem Blumenkohl verglichen. Das Plexusepithel ist einschichtig kubisch und trägt an seiner apikalen Oberfläche einen Bürstensaum (zusätzliche Oberflächenvergrößerung!).

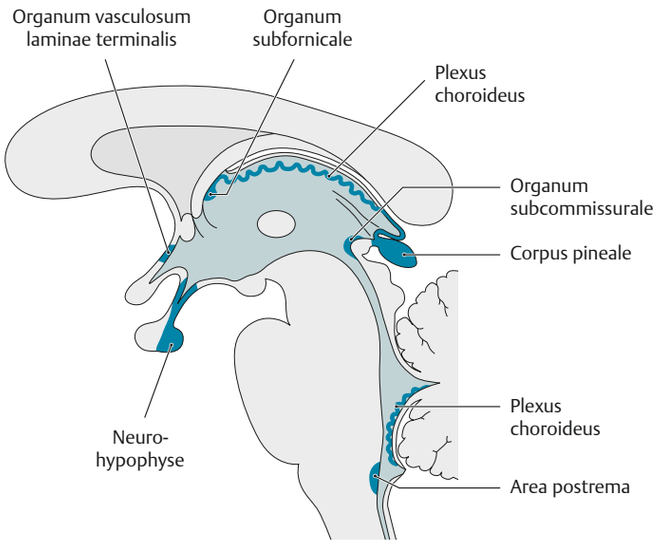


F Schema der Liquorzirkulation
Wie erwähnt, finden sich in jedem der vier Hirnventrikel Anteile des Plexus choroideus. Sie alle produzieren Liquor, der über die beiden Aperturae laterales (nicht zu sehen) und die Apertura mediana in den Subarachnoidalraum abfließt. Von hier gelangt der größte Teil des Liquors über die Nervenaustrittsstellen in die systemische Zirkulation (Lymphgefäße, venöses Blut).



G Cisternae subarachnoidales (nach Rauber/Kopsch)
Ansicht von basal. Die Zisternen stellen mit Liquor gefüllte Erweiterungen des Subarachnoidalraums dar. Sie können Anfangsteile von Hirnnerven und von Arterien der Hirnbasis (Venen nicht dargestellt) umscheiden. Bei arteriellen Blutungen, z. B. bei Einrissen von Aneurysmen (= krankhafte Aussackung der Arterien), gelangt deshalb Blut in den Subarachnoidalraum und damit in den Liquor. Eine solche Ruptur von Aneurysmen stellt eine häufige Ursache für das Auftreten von blutigem Liquor dar (zur Liquorgewinnung, s. S. 317).

5.3 Zirkumventrikuläre Organe und Gewebeschranken im Gehirn



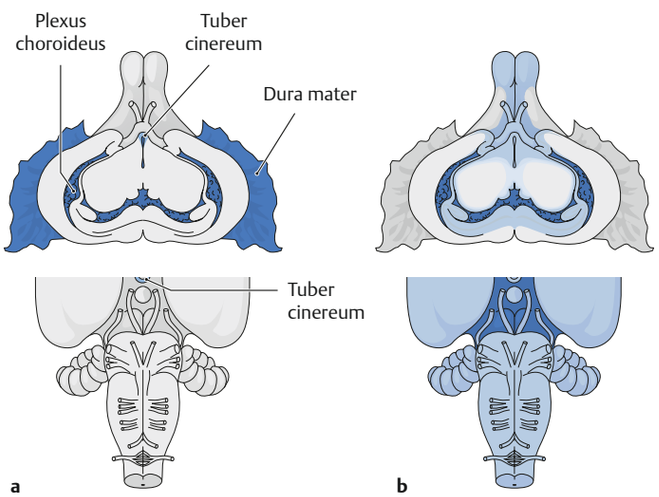
A Lage der zirkumventrikulären Organe
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links. Zu den zirkumventrikulären Organen zählen:

- Neurohypophyse mit neurohämaler Region (s. S. 350),
- Plexus choroideus (s. S. 315),
- Corpus pineale (= Gl. pinealis, s. Abb. **D**, S. 353) sowie
- Organum vasculosum laminae terminalis, Organum subfornicale, Organum subcommissurale und Area postrema (s. **B**).

Zirkumventrikuläre Organe oder Ependymorgane weisen gemeinsame Baumerkmale auf. Sie werden von einem modifizierten Ependym gebildet, grenzen zumeist an den inneren (Ventrikelliquor) und äußeren Liquorraum (Subarachnoidalliquor) an und liegen in der Medianebene (Ausnahme: Plexus choroideus, *entwickelt* sich aber aus einer unpaaren Anlage in der Medianebene). Die Blut-Hirn-Schranke ist in diesen Organen meist unterbrochen (s. **C** u. **D**; Ausnahme: Subkommissuralorgan).

B Zusammenfassung der kleineren zirkumventrikulären Organe
Neben diesen vier Regionen zählen noch Neurohypophyse, Plexus choroideus und Corpus pineale zu den zirkumventrikulären Organen. Die Befunde zur Funktion stammen meist aus Tierexperimenten.

Organ	Lokalisation	Funktion
Organum vasculosum laminae terminalis (OVLT)	Gefäßschlingen in der rostralen Wand des III. Ventrikels (Lamina terminalis); beim Menschen rudimentär ausgebildet	sezerniert die Steuerungshormone Somatostatin, Luliberin, Motilin; enthält Angiotensin-II-sensible Zellen; ist ein neuroendokriner Vermittler
Organum subfornicale (SFO)	fenestrierte Kapillaren zwischen den Foramina interventricularia und unter den Fornices	sezerniert Somatostatin und Luliberin aus Nervenendigungen; enthält Angiotensin-II-sensible Zellen; spielt eine zentrale Rolle in der Regulation des Flüssigkeitsgleichgewichts („Durstorgan“)
Organum subcommissurale (SCO)	schließt an das Corpus pineale an; bedeckt Commissura epithalamica am Übergang des III. Ventrikels in den Aquaeductus mesencephali	sezerniert glykoproteinhaltigen strukturlosen Faden in den Aquädukt, der bis in den Zentralkanal des Rückenmarkes reichen kann (Reissner-Faden); Blut-Hirn-Schranke erhalten; Funktion des gesamten Organs ungeklärt
Area postrema (AP)	paariges Organ im Boden des kaudalen Endes der Rautengrube, reichlich vaskularisiert	Triggerzone für den Brechreflex (Abwesenheit der Blut-Hirn-Schranke!); atrophiert beim Menschen in der 2. Lebenshälfte



C Nachweis von Gewebeschranken im Gehirn (nach Kahle)
a Blut-Hirn-Schranke, **b** Blut-Liquor-Schranke. Der obere Teil der Abbildung zeigt jeweils die Ansicht von kaudal auf einen Querschnitt durch das Gehirn eines Kaninchens, der untere Teil die Ansicht auf den Hirnstamm von basal. Die Funktion dieser Schranken besteht darin, das Gehirn von schädigenden Substanzen aus dem Blutstrom freizuhalten. Dies können neben Makromolekülen auch kleine Moleküle (Pharmaka!) sein, letzteres ist für die Pharmakotherapie von Bedeutung.

a Nachweis der Blut-Hirn-Schranke: Nach *intravenöser Injektion* des Farbstoffes Trypanblau (1. Goldmann-Versuch) färben sich fast alle Organe bis auf Gehirn und Rückenmark blau; Dura und Plexus choroideus sind ebenfalls intensiv blau gefärbt. Eine geringe Blaufärbung weisen das Tuber cinerum (neurohämale Region der Neurohypophyse), die Area postrema und die Spinalganglien auf (Unterbrechung der Blut-Hirn-Schranke in diesen Regionen). Bei *Gelbsucht* tritt genau diese Farbstoffverteilung natürlicherweise auf: Der Gallefarbstoff färbt dann – analog zum Trypanblau im 1. Goldmann-Versuch – alle Organe bis auf Gehirn und Rückenmark an.

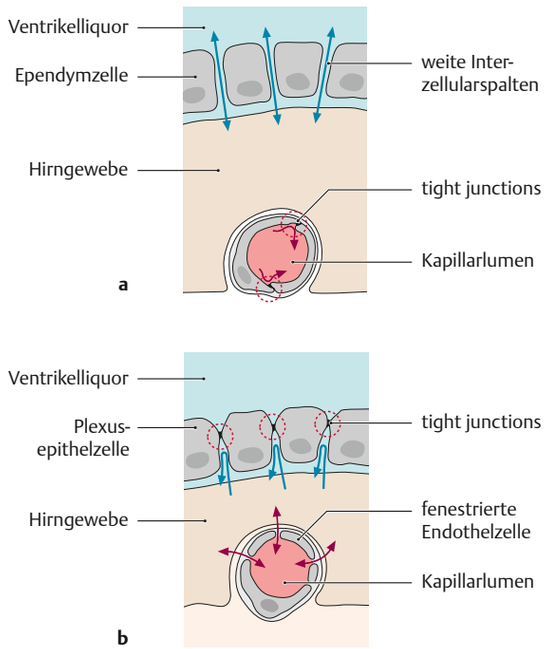
b Nachweis der Blut-Liquor-Schranke: Wird der Farbstoff *in den Liquor* injiziert (2. Goldmann-Versuch), färben sich Gehirn und Rückenmark (ZNS) von der Oberfläche her diffus an, der übrige Körper bleibt ungefärbt. Dies zeigt, dass zwischen Liquor und Blut eine Schranke existiert, nicht jedoch zwischen Liquor und ZNS.

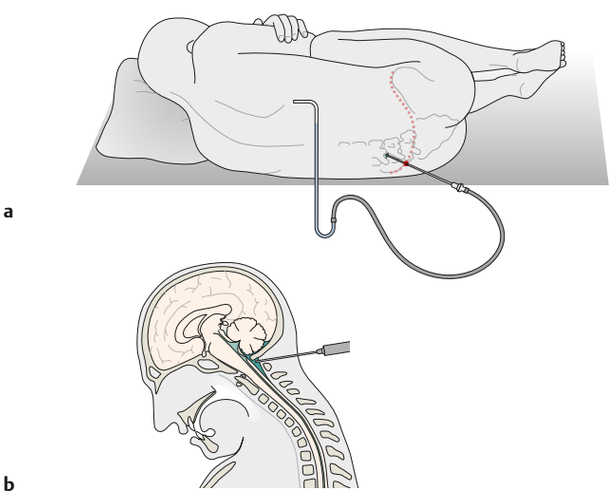
D Blut-Hirn- und Blut-Liquor-Schranke

a normales Hirngewebe mit Blut-Hirn-Schranke; **b** Blut-Liquor-Schranke im Plexus choroideus.

a Im normalen Hirngewebe besteht die Blut-Hirn-Schranke im wesentlichen aus den dichten „tight junctions" der Kapillarendothelien. Aus diesem Grund ist im ZNS der parazelluläre Durchtritt von hydrophilen Stoffen aus den Kapillaren in das umliegende Gewebe sowie in umgekehrter Richtung nicht möglich. Wichtige hydrophile Stoffe, auf deren Zufuhr das ZNS angewiesen ist, müssen mit Hilfe spezifischer Transportmechanismen durch die Schranke geschleust werden (z. B. Glucose mittels des insulinunabhängigen Transporters GLUT 1).

b Im Plexus choroideus sowie in den anderen zirkumventrikulären Organen (s. **A**) erlauben gefensterte Kapillarendothelien den ungehinderten Übertritt von Substanzen aus dem Blutstrom in das Hirngewebe und umgekehrt, es existiert also keine Blut-Hirn-Schranke. Die Schranke vom Hirngewebe zum Ventrikelliquor und umgekehrt wird in diesen Bereichen durch „tight junctions" im darüberliegenden Ependym (Plexusepithel) gebildet, d. h. die Diffusionsbarriere ist von den Gefäßendothelien zu den Ependym- bzw. Plexuszellen verlagert worden.





E Gewinnung von Liquor cerebrospinalis

a Lumbalpunktion: Sie ist die *Methode der Wahl* zur Liquorgewinnung. Eine Nadel wird streng median zwischen den Dornfortsätzen von L3/L4 eingeführt und der Durasack (Cisterna lumbalis) punktiert. Wird, wie dargestellt, eine Manometer an die Nadel angeschlossen, kann gleichzeitig der Liquordruck zu diagnostischen Zwecken gemessen werden. Bei stärkeren Hirndruckerhöhungen ist diese Methode nicht erlaubt, da sie zu einer plötzlichen Druckentlastung führt, wodurch der Hirnstamm im Foramen magnum eingeklemmt werden kann. Diese Einklemmung führt zu Druck auf lebenswichtige Zentren in der Medulla oblongata und damit möglicherweise zum Tode des Patienten. Vor einer Lumbalpunktion muss deshalb auf evtl. Anzeichen eines erhöhten Hirndrucks geachtet werden (u. a. Stauungspapille, s. S. 171).

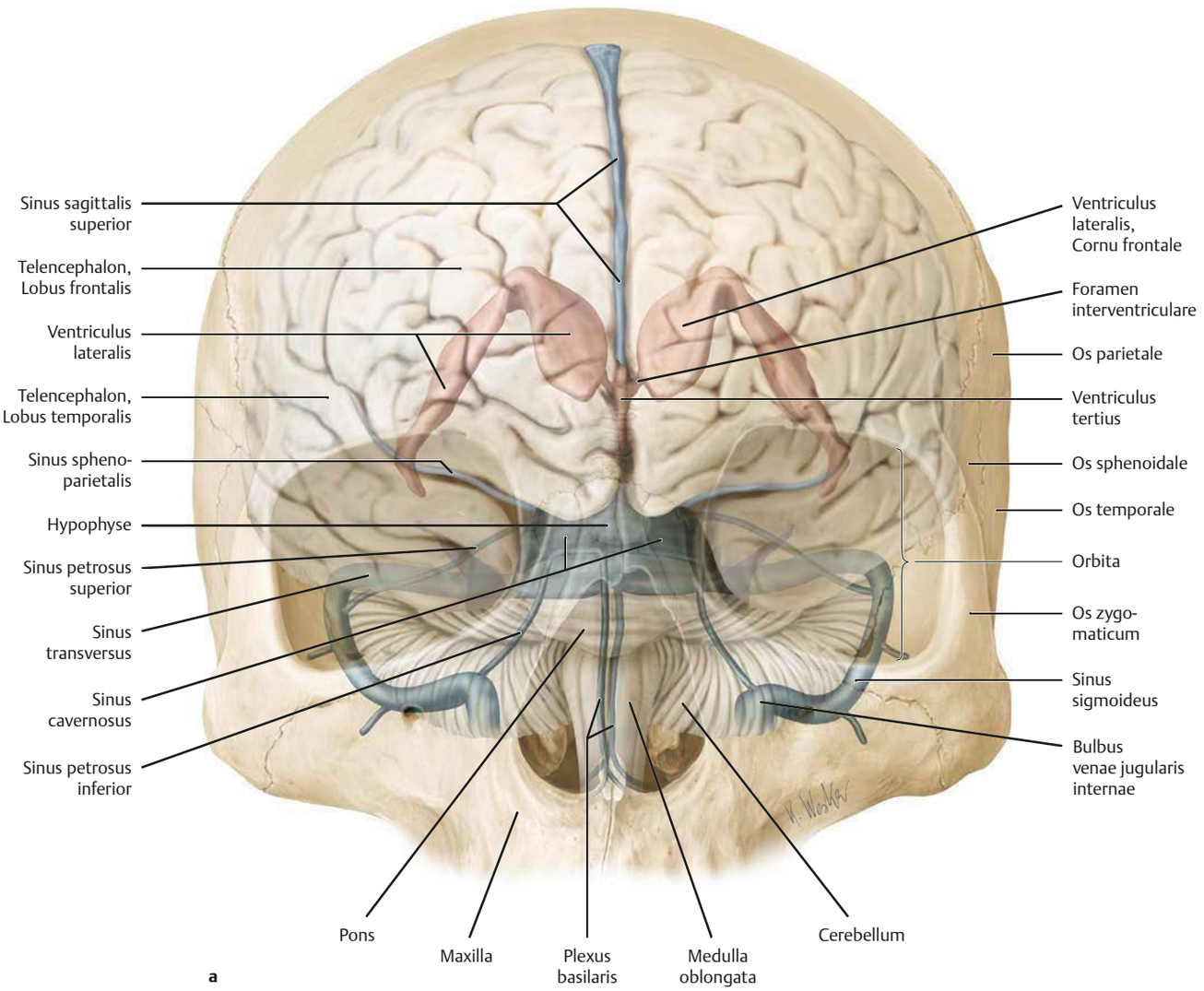
b Subokzipitalpunktion: Sie ist nur in *Ausnahmefällen* zur Liquorgewinnung geeignet, wenn eine Lumbalpunktion nicht möglich ist (kann bei einem Tumor im Bereich des Rückenmarks der Fall sein), da sie für den Patienten tödlich sein kann. Die letale Gefährdung ist dadurch gegeben, dass bei dieser Methode durch die Cisterna cerebellomedullaris (= magna) hindurch punktiert wird, so dass vitale Zentren der Medulla oblongata versehentlich getroffen werden können.

F Vergleich Liquor cerebrospinalis und Blutserum

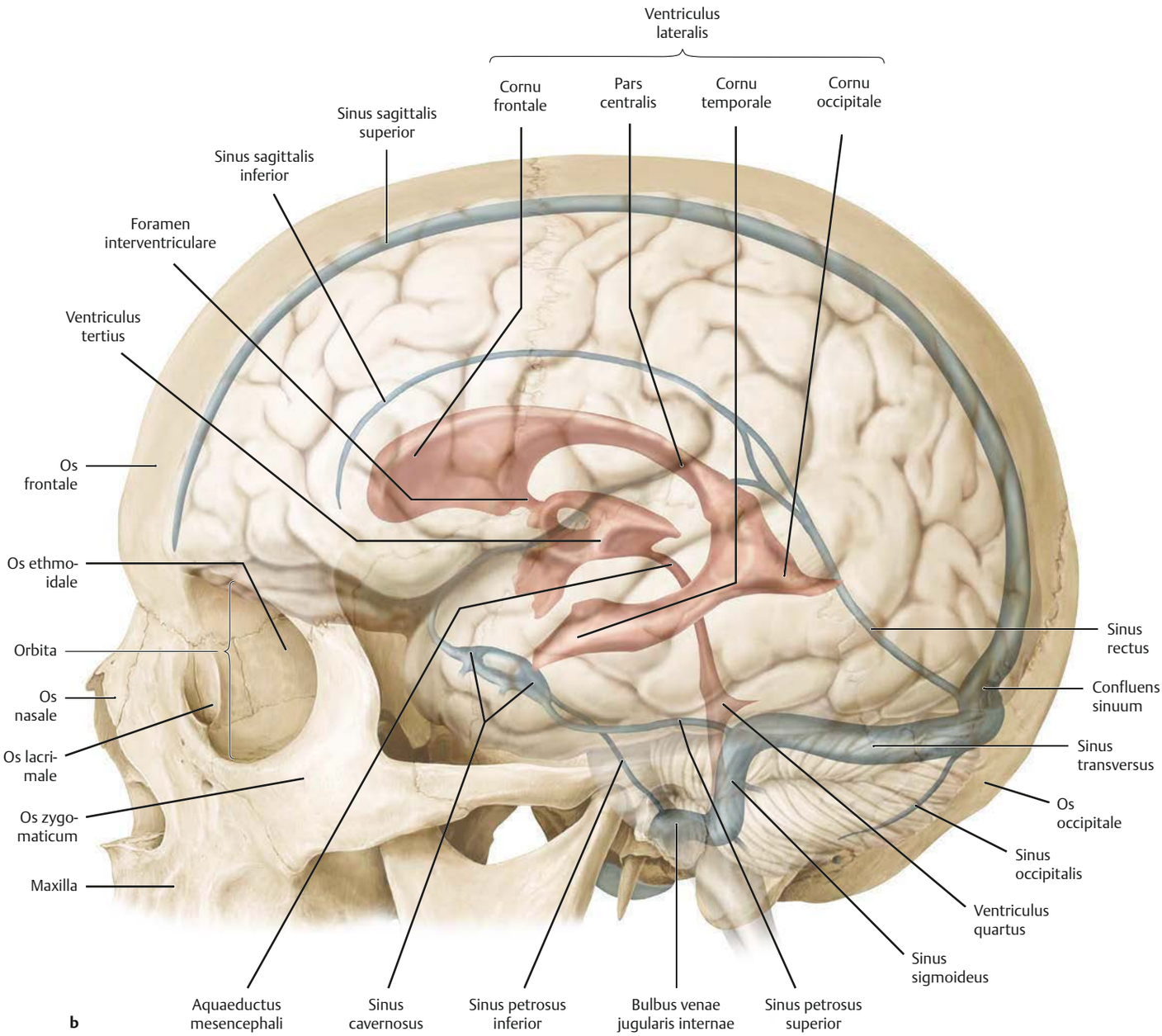
Liquor wird zu diagnostischen Zwecken gewonnen: Eine Entzündung des Gehirns und seiner Hüllen (Meningitis) sowie Blutungen in den Liquorraum und Tumorabsiedlungen können durch eine Liquoruntersuchung diagnostiziert werden. Wie aus der Tabelle ersichtlich, ist Liquor mehr als ein reines Ultrafiltrat des Blutserums; seine Hauptfunktion besteht darin, dem Gehirn Auftrieb zu geben. Durch das Aufschwimmen des ZNS auf dem Liquor wiegt das Gehirn nur noch etwa 50 g (statt ca. 1300 g).

	Liquor	Serum
Druck	5–18 cm H_2O	
Volumen	100–160 ml	
Osmolarität	292–297 mosm/l	285–295 mosm/l
Elektrolyte		
Natrium	137–145 mmol/l	136–145 mmol/l
Kalium	2,7–3,9 mmol/l	3,5–5,0 mmol/l
Calcium	1–1,5 mmol/l	2,2–2,6 mmol/l
Chlorid	116–122 mmol/l	98–106 mmol/l
pH	7,31–7,34	7,38–7,44
Glucose	2,2–3,9 mmol/l	4,2–6,4 mmol/l
Quotient Liquor-/Serumglucose	> 0,5–0,6	
Lactat	1–2 mmol/l	0,6–1,7 mmol/l
Gesamtprotein	0,2–0,5 g/l	55–80 g/l
Albumin	56–75 %	50–60 %
IgG	0,01–0,014 g/l	8–15 g/l
Leukozyten	< 4/µl	
Lymphozyten	60–70 %	

5.4 Projektion von Liquorräumen und weiteren wichtigen Hirnstrukturen auf den Schädel



A Projektion wichtiger Hirnstrukturen auf den Schädel
a Ansicht von frontal; **b** Ansicht von links.
Vom Großhirn (Telencephalon) dominieren der Frontal- und der Temporallappen (Lobus frontalis und temporalis). Die Hirnsichel (Falx cerebri) in der Mittellinie trennt die beiden Hemisphären des Telencephalons (hier nicht zu sehen). Vom Hirnstamm (Truncus encephali) sind der Pons und die Medulla oblongata beiderseits der Mittellinie unterhalb des Telencephalon zu erkennen. Von den venösen Blutleitern des Gehirns (Sinus durae matris) sieht man beiderseits den Sinus sigmoideus. Von den inneren Liquorräumen projiziert sich das Cornu frontale der beiden Seitenventrikel auf die Stirn.



In der Ansicht von links (**b**) wird die Beziehung einzelner Lappen des Gehirns zu den Schädelgruben (Fossa cranii) ersichtlich. Der Frontallappen liegt in der vorderen Schädelgrube, der Temporallappen in der mittleren und das Kleinhirn in der hinteren Schädelgrube. An wichtigen Sinus durae matris sind zu erwähnen: Sinus sagittalis superior und inferior, Sinus rectus, Sinus transversus, Sinus sigmoideus und Sinus cavernosus.

6.1 Entwicklung und äußere Struktur

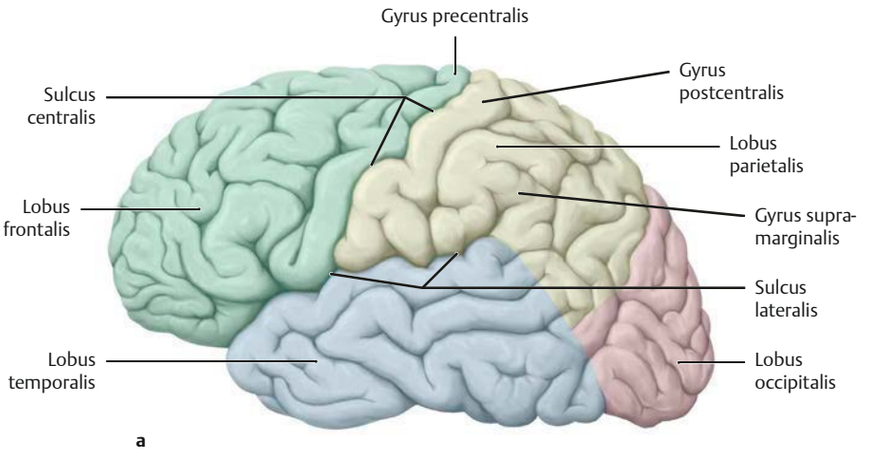
A Gliederung der Großhirnhemisphären
a Ansicht der linken Hemisphäre von links; **b** Ansicht der rechten Hemisphäre von links; **c** Sicht von basal auf das intakte Großhirn, N. opticus beidseits abgetrennt, Hirnstamm auf Höhe des Mittelhirns durchtrennt.

Obwohl beide Hemisphären *morphologisch* annähernd symmetrisch sind, bilden Lehrbücher häufiger die linke Hemisphäre ab. Grund ist die *funktionelle* Asymmetrie des Großhirns: einige Funktionen – so Sprachproduktion und Sprachverständnis – sind nur in einer Hemisphäre lokalisiert, und zwar links deutlich häufiger als rechts. Die linke Hemisphäre wird dann als „dominant" bezeichnet, weil sie sprachbegabt ist. Die auf den Hemisphären sichtbaren Sulci und Gyri verschaffen dem Großhirn eine Oberfläche für den bedeckenden Cortex von ca. 2 200 cm^2. Einige **„Leit"-Strukturen** lassen sich gut zur Orientierung nutzen:

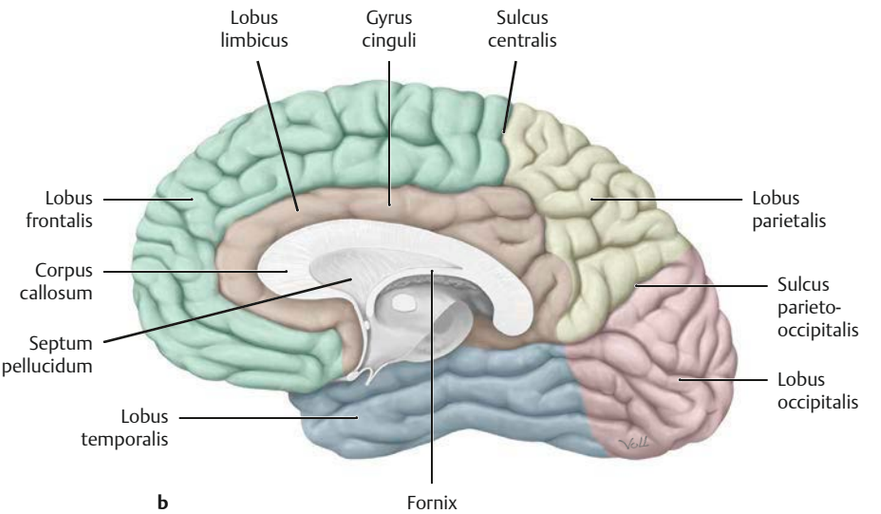
- Gyrus pre- und postcentralis fassen zwischen sich den Sulcus centralis.
- Oberhalb (= parietal) des Gyrus temporalis superior liegt der Sulcus lateralis, der am Gyrus supramarginalis (s. S. 322) blind endet.
- Hinten am Gehirn – oft besser auf der Medianseite erkennbar – liegt der Sulcus parietooccipitalis.
- Auf der Medianseite liegt das Corpus callosum (Kommissurenbahn), parietal von ihm der Gyrus cinguli.

Mit Hilfe dieser Strukturen lassen sich – teilweise entwicklungsgeschichtlich begründet, teilweise aber auch topografisch völlig willkürlich – die insgesamt **6 Lobi des Telencephalon** voneinander abgrenzen:

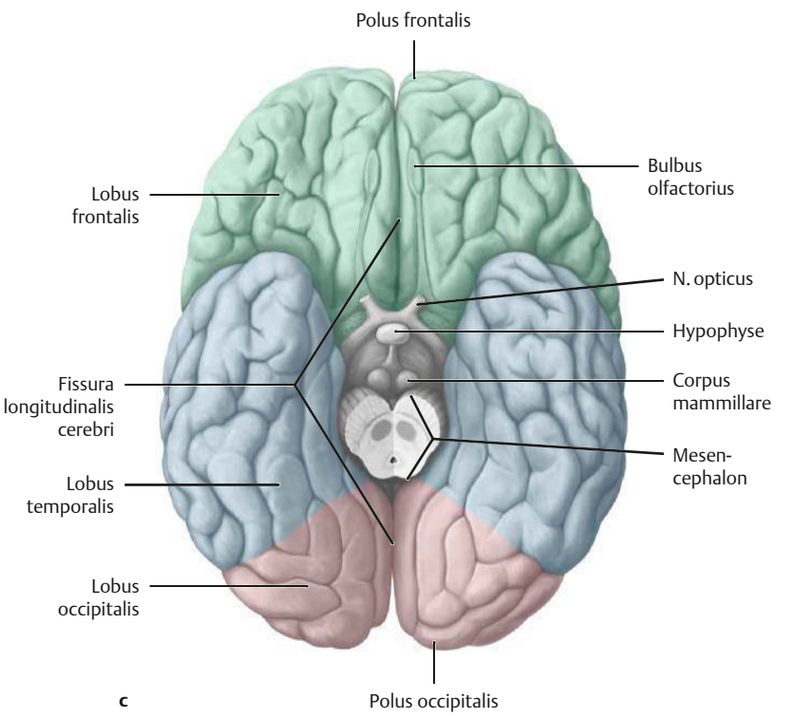
- Topografisch: Der Sulcus centralis trennt *Lobus frontalis* und *Lobus parietalis* (**a**); der Sulcus lateralis grenzt den *Lobus temporalis* nach oben ab (**a**); in der Tiefe des Sulcus lateralis liegt der *Lobus insularis* (Insula, **Ba**); der Sulcus parietooccipitalis (Name!) trennt *Lobus occipitalis* und *Lobus parietalis* (**b**).
- Entwicklungsgeschichtlich: Der *Lobus limbicus* – v. a. sichtbar auf der Medianseite durch den Gyrus cinguli (**b**) – ist entwicklungsgeschichtlich älter als die zuvor genannten Lappen.



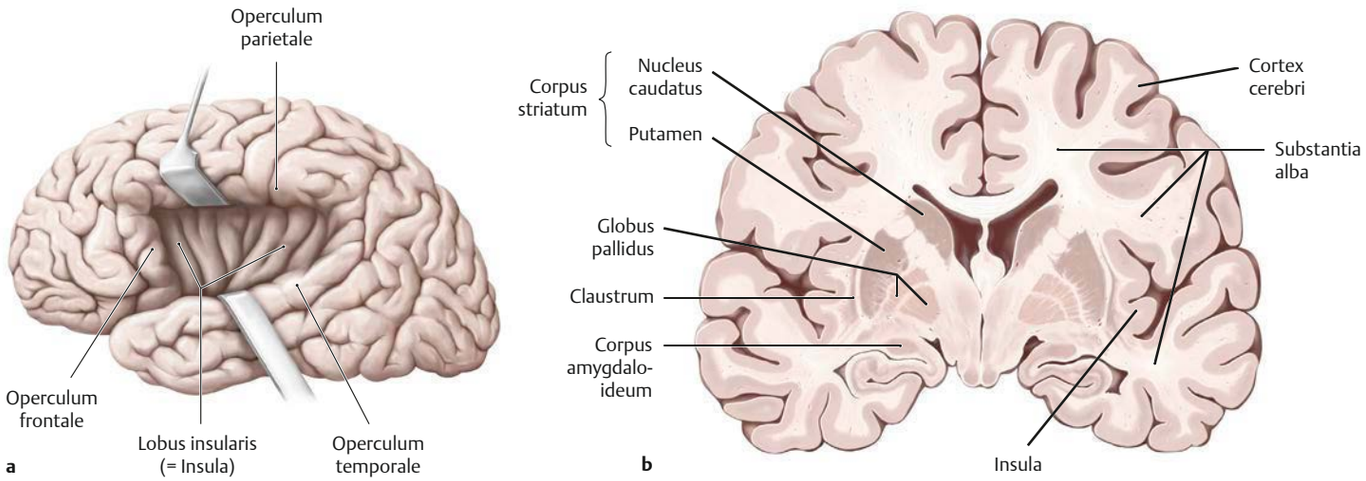
a



b



c

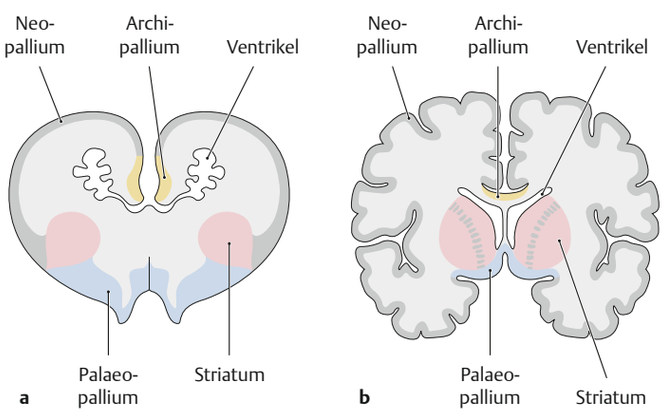


B Graue und weiße Substanz im Telencephalon

a linke Großhirnhemisphäre, Ansicht von links, Sulcus lateralis aufgespreizt; **b** Frontalschnitt durch das Gehirn.

a Die in die Tiefe verlagerte Insula wird nur nach Aufspreizen des Sulcus lateralis sichtbar; am intakten Gehirn wird sie außen von Teilen der benachbarten Lappen bedeckt. Diese Abschnitte nennt man Deckelchen (= Opercula).

b Am Frontalschnitt erkennt man die Verteilung von weißer und grauer Substanz. In Anlehnung an die Unterteilung des Palliums lässt sich der Cortex in Neo-, Archi- und Paläocortex untergliedern. Während der moderne Neocortex (auch Isocortex genannt) mikroskopisch aus 6 Schichten besteht, haben Archi- und Paleocortex (zusammen auch als Allocortex bezeichnet) eine geringere Schichtenzahl. Zu Einzelheiten s. S. 326 u. 330. In die weiße Substanz eingelagert – somit *subkortikal* = unterhalb der Rinde – liegen Neuronengruppen als sog. Kerne (Nuclei). Nucleus caudatus (= Schweifkern), Putamen (= Schale, zusammen wegen der Streifung als Corpus striatum [= Streifenkörper] bezeichnet) und Globus pallidus (= bleiche Kugel) werden aufgrund ihrer Lage an der Basis des Endhirns auch als Nuclei basales (Basalkerne, oft *fälschlich* auch als Basal*ganglien*) bezeichnet. Weitere, anatomisch nicht zu den *Basal*kernen gerechnete Kerne sind das Corpus amygdaloideum (Mandelkern) im Temporallappen und das Claustrum (Vormauer) direkt subkortikal der Inselrinde. Insula, die genannten Kerne und die Anschnitte der beiden Seitenventrikel prägen somit das Schnittbild.



C Entwicklung von Rinde und Basalkernen

a embryonales Gehirn; **b** adultes Gehirn; jeweils Frontalschnitt.

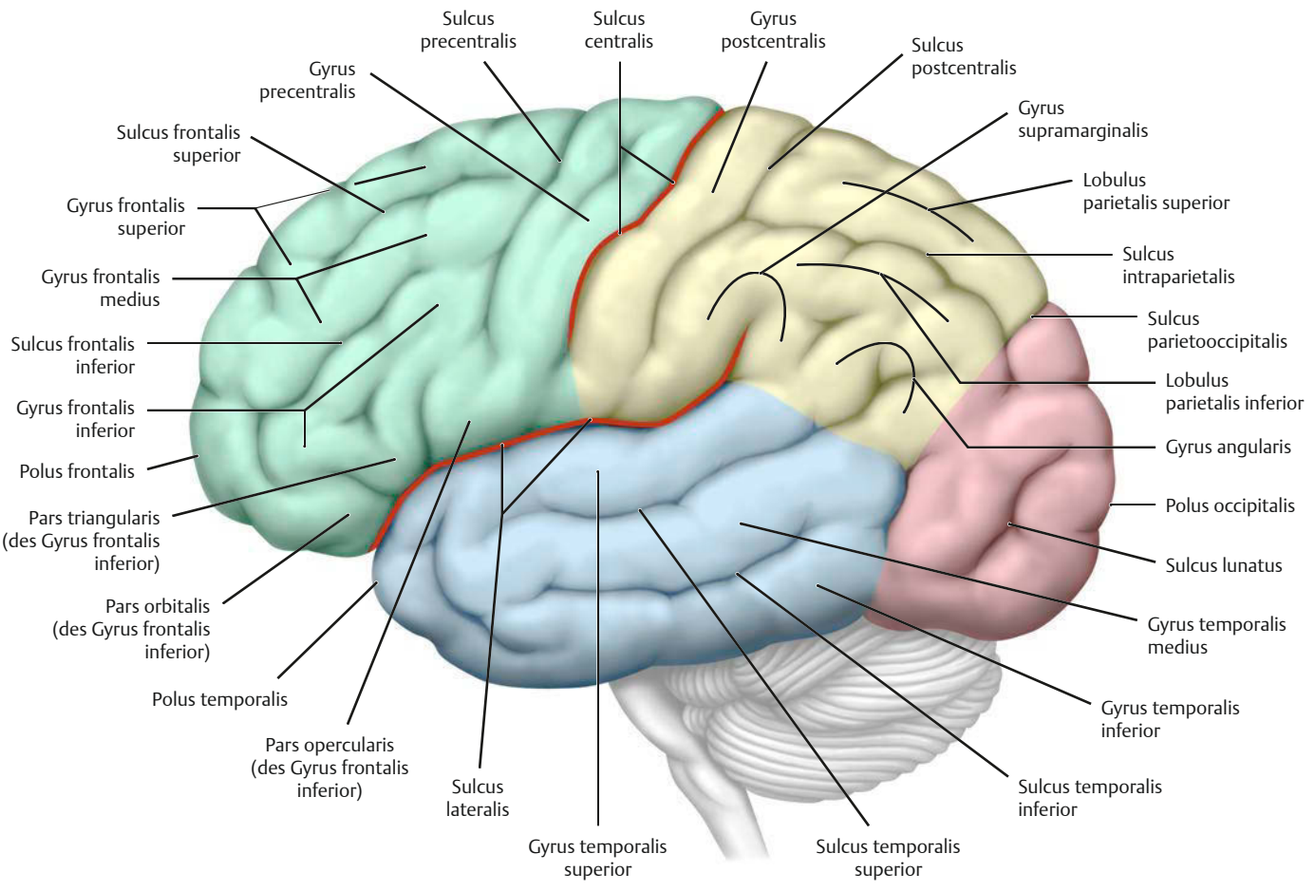
Das gesamte Großhirn lässt sich aus entwicklungsgeschichtlicher Sicht grob in 3 unterschiedlich alte Abschnitte gliedern. Dazu fasst man die weiße Substanz (Medulla = Mark) und die ihr außen aufliegende graue Substanz (Cortex = Rinde) unter dem Begriff Mantel = Pallium zusammen. Chronologisch lässt sich dann „nach abnehmendem Alter" ein *Paläopallium,* ein *Archipallium* und ein *Neopallium* unterscheiden (zu Einzelheiten s. **D**. Je moderner der Palliumabschnitt, umso größer ist sein Anteil am Großhirn. Im Rahmen der Embryonalentwicklung stülpt das Großhirn einen Teil des Neopalliums als sog. Insula ein (s. **Ba**) Zudem werden Neurone aus dem Rindenbereich des Neopalliums nach innen in das Mark verlagert und bilden dort einen Teil der sog. Basalkerne (das Striatum, s. S. 336). Insula und Basalkerne sind somit markante Leitstrukturen auf einem Frontalschnitt.

D Entwicklungsgeschichtliche Herleitung wichtiger Abschnitte des Telencephalon

Entwicklungsgeschichtliche Bezeichnung	Struktur im embryonalen Gehirn	Struktur/en im adulten Gehirn	Kortexaufbau
Paleopallium (ältester Anteil)	Boden der Hemisphären	• Rhinencephalon (= Bulbus olfactorius plus umliegende Region)	Allocortex, s. S. 330
Archipallium (alter Anteil)	medialer Abschnitt der Hemisphärenwand	• Cornu ammonis (größter Teil, hier nicht zu sehen) • Indusium griseum • Fornix (alle drei Strukturen s. S. 332 f)	Allocortex
Neopallium (jüngster Anteil)	größter Teil der Hirnoberfläche plus das nach innen verlagerte Corpus striatum (kurz: Striatum)	• Neocortex (= Cortex), größter Teil der Großhirnrinde • Insula • Corpus striatum	Isocortex, s. S. 326

6.2 Gyri und Sulci des Telencephalon: konvexe Hirnoberfläche und Endhirnbasis

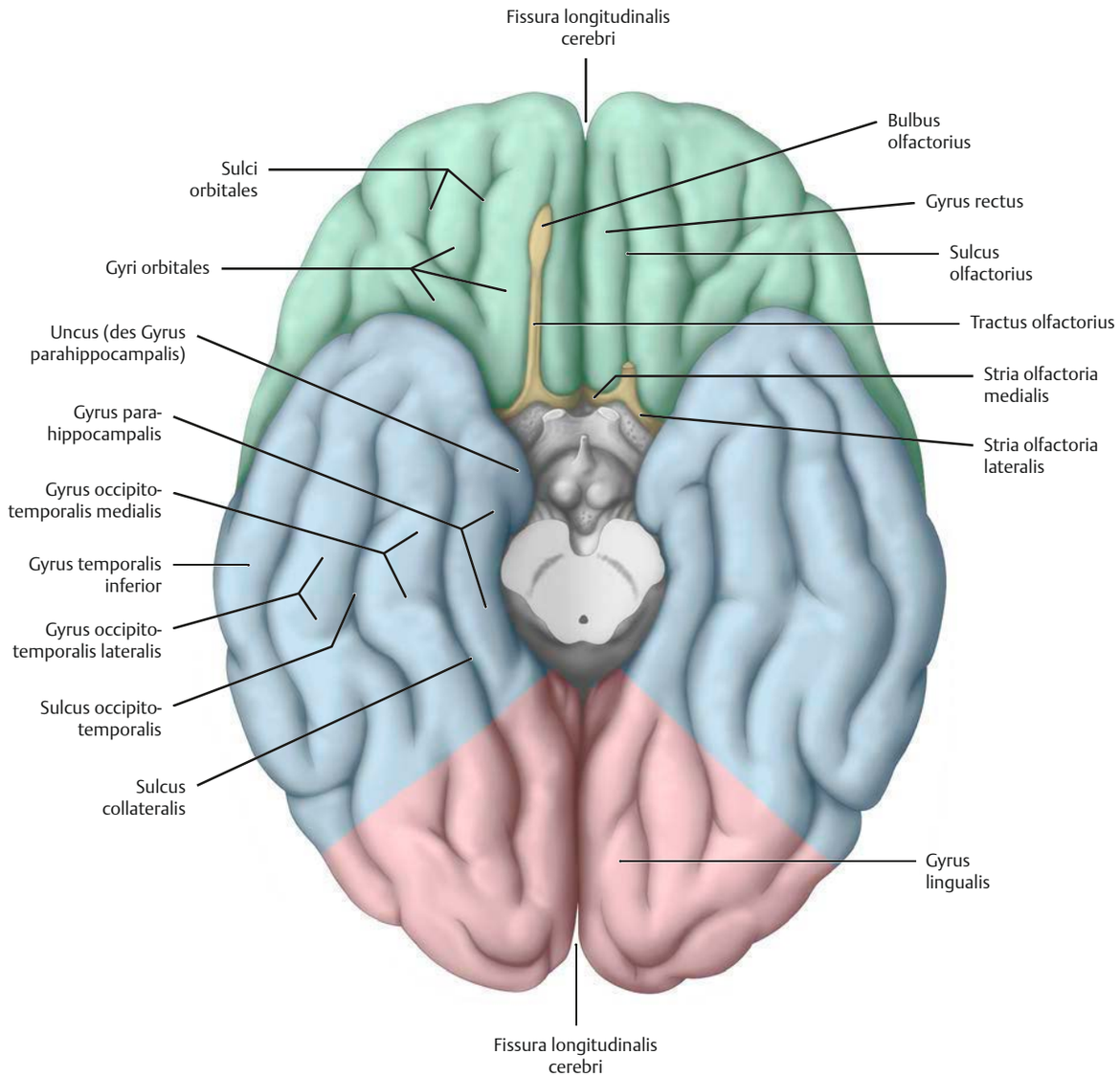
Einleitung
Die Oberfläche des Großhirns ist morphologisch durch zahlreiche *Windungen (Gyri)* charakterisiert, die durch zwischen ihnen liegende *Furchen (Sulci)* gegeneinander abgrenzbar sind. Die Ausprägung der Gyri und Sulci folgt beim Menschen einem Grundmuster, das jedoch stark variiert: Es können sogar an ein und demselben Gehirn Unterschiede zwischen links und rechts beobachtet werden. Dies erklärt, warum die konkrete „Oberflächenmorphologie" von Gehirnen in Lehrbüchern variiert: Lehrbücher können immer nur ein aus dem Aspekt vieler Gehirne gleichsam „gemitteltes" Bild zeigen. Die folgenden Abbildungen zeigen die in der Terminologia Anatomica offiziell genannten Gyri und Sulci.



A Gyri und Sulci der konvexen Hirnoberfläche
Linke Großhirnhemisphäre, Ansicht von lateral.
Der wichtigste Orientierungspunkt am Gehirn ist der *Sulcus centralis*, der hier besonders gut zu sehen ist. Er darf nicht mit den Sulci in seiner Nachbarschaft, dem *Sulcus pre-* und *postcentralis* verwechselt werden! Dem Sulcus centralis werden häufig drei morphologische Charakteristika zugeschrieben:

- längster Sulcus am Gehirn,
- zieht über die Mantelkante hinweg auf die mediale Gehirnoberfläche (s. **A**, S. 324),
- „mündet" in den Sulcus lateralis, der hier ebenfalls besonders gut zu sehen ist.

Tatsächlich weist der Sulcus centralis kaum jemals alle drei Charakteristika auf, nicht selten hat er sogar keine einzige dieser Eigenschaften. Dann kann man sich mit der *„Zwei-Finger-Regel"* behelfen, um diesen Sulcus an der Hirnoberfläche zu finden: Man legt Zeigefinger und Mittelfinger (die aneinander liegen) einer Hand von oben über die gleichseitige Hemisphäre des Gehirns, und zwar so, dass die Finger über den Windungen liegen, die am ehesten dem Längsverlauf beider Finger entsprechen, mithin also mehr oder weniger parallel verlaufen (und eben gerade nicht sehr stark gewunden sind). Der Zeigefinger liegt dann auf dem Gyrus precentralis, der Mittelfinger auf dem Gyrus postcentralis, der Spalt zwischen den Fingern entspricht dem Sulcus centralis.
Beachte: Die Vielfalt der Bezeichnungen kann man sich sehr viel besser einprägen, wenn man bedenkt, dass sehr viele Gyri nach ihrer Position im jeweiligen Lobus benannt sind (z. B. *Gyrus frontalis superior* mit seiner Lage oben im Lobus frontalis oder *Gyrus temporalis medius* mit seiner Lage als mittlerer von drei Gyri im Lobus temporalis).



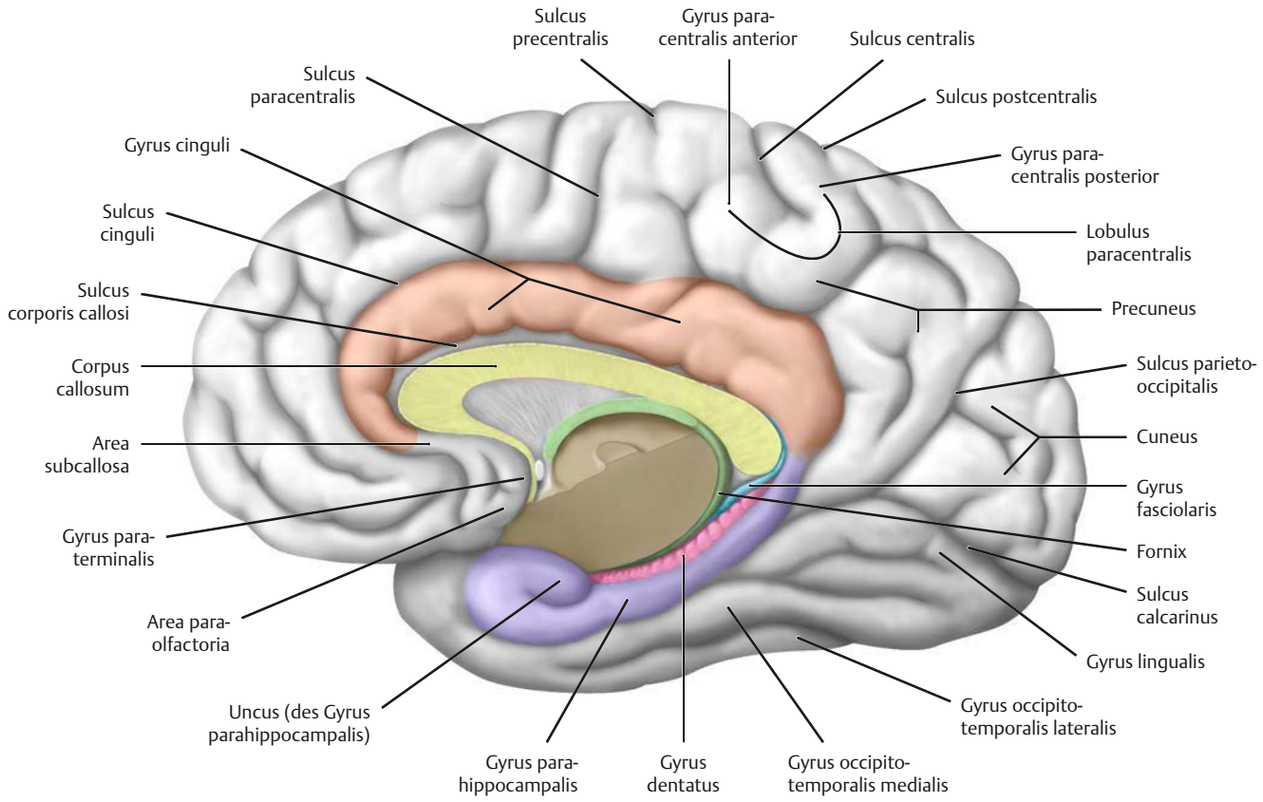
B Gyri und Sulci der Endhirnbasis

Sicht auf das Großhirn von basal (= von unten).

Insbesondere die Windungen an der Basis der Temporallappen sind topografisch manchmal kaum voneinander abzugrenzen. Dies gilt z. B. für die beiden *Gyri occipitotemporales*. Dementsprechend unterschiedlich sind Lehrbuchdarstellungen. Prominent sind dagegen die am Frontallappen liegenden *Gyri recti* (= die *geraden* Windungen, ein Widerspruch in sich), und die *Gyri orbitales*, die sich im Schädel direkt über dem Dach der Augenhöhle *(= Orbita)* befinden. Der Vergleich mit Abb. **A** zeigt die „Kantenlage" des *Gyrus temporalis inferior:* Er ist sowohl in der Seitenansicht sichtbar (als untere Begrenzung des Temporallappens) als auch in der Ansicht von unten (als laterale Begrenzung des Temporallappens). An der Hirnbasis fällt zudem ein sehr alter – paläokortikaler – Teil des Endhirns auf, der morphologisch eher an einen Nerv erinnert als an einen Cortexabschnitt, da er keine Windungen hat: der *Bulbus* und der *Tractus olfactorius*. Histologisch weist dieser Teil des Paläokortex jedoch Rindenstruktur auf.

Beachte: Im Okzipitallappen liegt ganz nahe der Fissura longitudinalis cerebri der Gyrus lingualis (= Zungenwindung). Seine „Zungenform" erkennt man aber nicht aus der Sicht von basal, sondern nur von medial (s. **A**, S. 324). Obwohl er morphologisch scheinbar den Gyrus parahippocampalis – die ganz medial liegende Windung im Temporallappen – sozusagen nach hinten fortsetzt, haben beide Windungen funktionell nichts miteinander zu tun: Während der *Gyrus parahippocampalis* zum limbischen System gehört, liegt am Oberrand des *Gyrus lingualis* ein Teil der Sehrinde. Die „Trennung" der beiden Gyri wird in Abb. **A**, S. 324 deutlich.

6.3 Gyri und Sulci des Telencephalon: mediale Hirnoberfläche und Insula

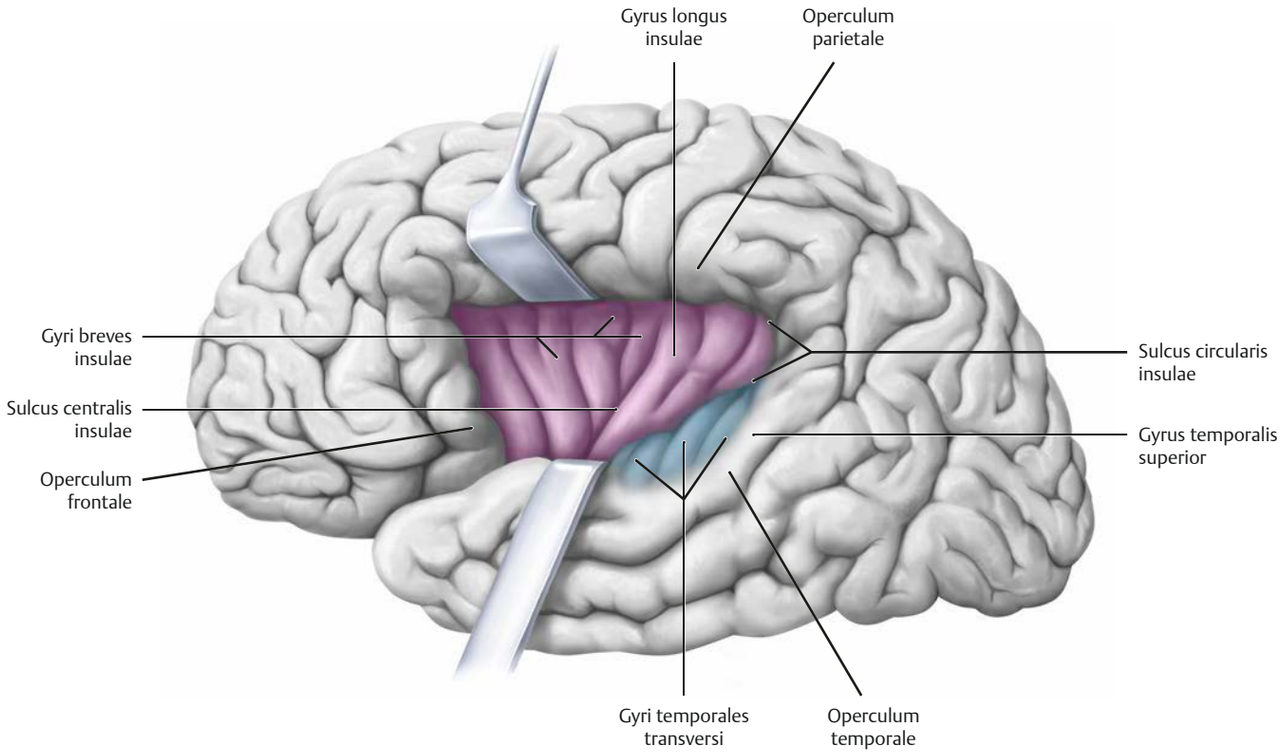


A Gyri und Sulci der medialen Hirnoberfläche
Rechte Großhirnhemisphäre, Ansicht von links; Hirnstamm und basale Teile des Zwischenhirns (Schnittfläche!) abgetrennt.
Der Mediansagittalschnitt gestattet den Blick auf die mediale Oberfläche des Gehirns. Als markanter Orientierungspunkt ist der Balken dargestellt (= Corpus callosum; keine Windung, sondern eine Bahn zur Verbindung der linken und rechten Hemisphäre). Gut zu erkennen sind folgende Strukturen:

- Direkt über dem Balken, ihn wie eine Zwinge (= Cingulum: Zwinge, Joch) umfassend, liegt der *Gyrus cinguli,* der zum limbischen System gehört.
- Basal vom Balken liegen Strukturen, die häufig als „Hippokampusformation" bezeichnet werden. Die Anteile der Hippokampusformation sind „nicht so einfach von außen" zu sehen. Es handelt sich um den sog. *Hippocampus proprius* (in seinem Namen kommt das Wort „Gyrus" gar nicht vor) und den *Gyrus dentatus* mit seiner gezahnten (Dens = Zahn) Oberfläche. Zur freien Sicht auf den Gyrus dentatus müssen am Präparat typischerweise Nachbarwindungen teilweise entfernt oder abgedrängt werden. Der Gyrus dentatus liegt dabei oben und etwas medial auf dem Hippocampus proprius, letzterer ist darum in dieser Darstellung „immer noch nicht" sichtbar. Der Gyrus dentatus und insbesondere der Hippocampus proprius liegen somit fast in das Gehirn „eingerollt" im Temporallappen; beide Strukturen zählen zum limbischen System und dienen der Verarbeitung von Funktionen im Zusammenhang von Lernen, Gedächtnis und Emotionen (zur Darstellung des Hippocampus proprius s. S. 330 – 333). Der ebenfalls gut sichtbare Fornix ist eine Bahn (des limbischen Systems), die vom Hippocampus zum Diencephalon zieht.

Auf dem Mediansagittalschnitt erkennt man zudem einige morphologische Charakteristika, die bei der Betrachtung der konvexen oder basalen Hirnoberfläche nicht so deutlich werden:

- Der Gyrus lingualis hat die Form einer Zunge, er grenzt nach oben an den Sulcus calcarinus, der seinerseits vom Cuneus (= Keil) bedeckt wird. Am Oberrand des Gyrus lingualis und am Unterrand des Cuneus – somit „randbegrenzend" um den Sulcus calcarinus – liegt die primäre Sehrinde (s. S. 329).
- Die Trennung von Gyrus lingualis und Gyrus parahippocampalis wird nun erkennbar.
- Der Gyrus parahippocampalis setzt sich nach hinten und oben in den Gyrus cinguli fort. Beide Windungen sind über eine lange, im Marklager der Gyri liegende und daher hier nicht sichtbare Assoziationsbahn – das Cingulum – verbunden.
- Das vordere Ende des Gyrus parahippocampalis ist hakenförmig „umgebogen" (Uncus = Haken).



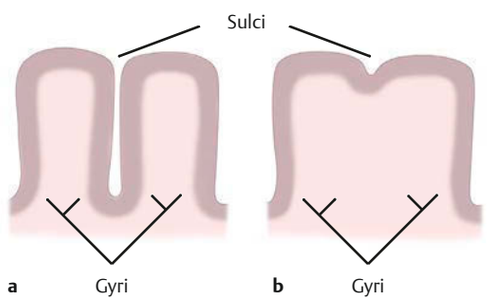
B Gyri und Sulci der Insula und des Heschl-Zentrums
Linke Großhirnhemisphäre, Ansicht von links; Sulcus lateralis mit Haken aufgespreizt, so dass ein „Blick in die Tiefe“ möglich ist. Sichtbar werden dadurch:

- die Insel (*Insula*, am intakten Gehirn nicht zu sehen) mit ihren *Gyri insulares* sowie
- die *Gyri temporales transversi* (= Heschl-Querwindungen, Heschl-Zentrum, kortikales Schaltzentrum der Hörbahn!) auf der Oberfläche des Gyrus temporalis superior an dessen okzipitalem Ende.

Gyri temporales transversi und Gyri insulares berühren sich nicht, sondern sind durch den Sulcus circularis insulae voneinander abgegrenzt. Die Insula liegt aber trotzdem keineswegs isoliert wie eine Insel da, sondern ist über ihre Rinde mit der Rinde der umgebenden Lappen verbunden. Die Teile dieser Lappen, die die Insel am intakten Gehirn von oben und unten wie kleine Deckel (Opercula) zudecken, sind hier durch die Haken weggezogen:

- das *Operculum parietale* (Teil des Parietallappens, der die Insel von oben bedeckt) und
- das *Operculum temporale* (Teil des Temporallappens, der die Insel von unten bedeckt).
- Ein kleiner Abschnitt des Frontallappens, der die Insula von frontal bedeckt, das *Operculum frontale,* ist in seiner Position belassen. Es ist insofern von Bedeutung, als im Operculum frontale – bei der Mehrzahl der Menschen links – das motorische Sprachzentrum nach *Broca* lokalisiert ist.

C Gyri und Sulci: Varianten
Die bisherigen Abbildungen zu den Gyri und Sulci (vgl. auch S. 322 f) stellen ein gleichsam standardisiertes Grundmuster ihrer Anordnung dar. Tatsächlich existieren aber erhebliche individuelle Variationen sowohl hinsichtlich der Form der Gyri als auch der Ausprägung der zwischen ihnen liegenden Sulci. Die Sulci können insbesondere bezüglich ihrer Tiefe erheblich variieren, immer sind aber benachbarte Gyri am Grund der Sulci miteinander verbunden. An Stellen, an denen die Sulci ohnehin typischerweise sehr seicht sind, können sie innerhalb der Variationsbreite so weit „verstreichen“, dass die von ihnen scheinbar getrennten Gyri nicht mehr als zwei getrennte Einheiten wahrgenommen werden: Die Verbindung der beiden Gyri wird an der Oberfläche sichtbar. An einem solchen Gehirn können dann evtl. einzelne Gyri – mangels Abgrenzbarkeit gegen die Nachbarschaft – schlichtweg nicht mehr identifiziert werden. Besonders häufig ist dies an der Hirnbasis der Fall, wo eine Abgrenzung der beiden Gyri occipitotemporales oft nicht gelingt. Im Sinne einer strengen Terminologie ist dann eine namentliche Zuordnung einzelner Gyri evtl. nicht möglich.



Die Abbildung hier zeigt jeweils einen Querschnitt durch zwei benachbarte Gyri mit dem zwischen ihnen liegenden Sulcus: In Teilbild **a** ist der Sulcus sehr tief, beide Gyri sind gut gegeneinander abgrenzbar; in Teilbild **b** ist der Sulcus so seicht, dass er ggf. bei einem Blick von außen auf die Oberfläche gar nicht wahrgenommen wird; eine morphologische Abgrenzung der Gyri wäre dann nicht möglich.

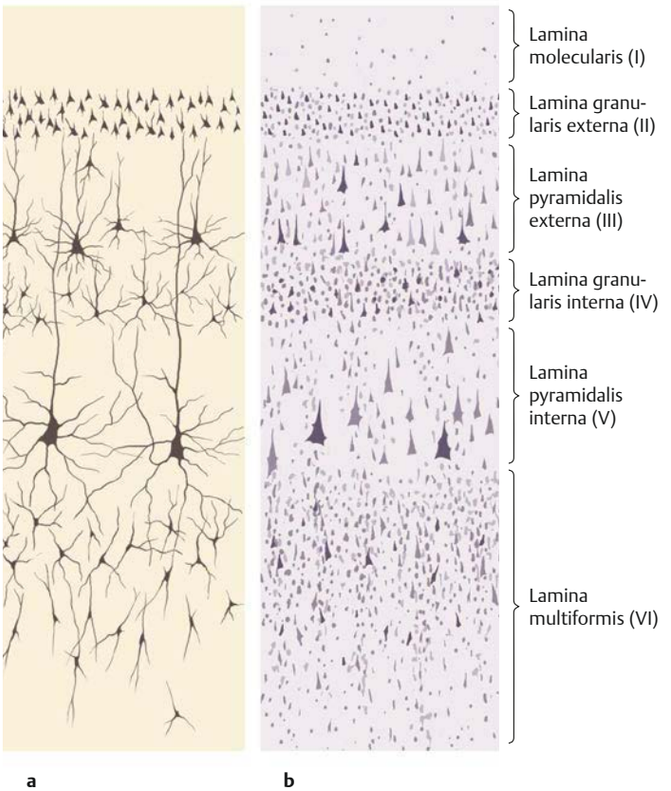
6.4 Histologischer Aufbau und funktionelle Organisation der Großhirnrinde

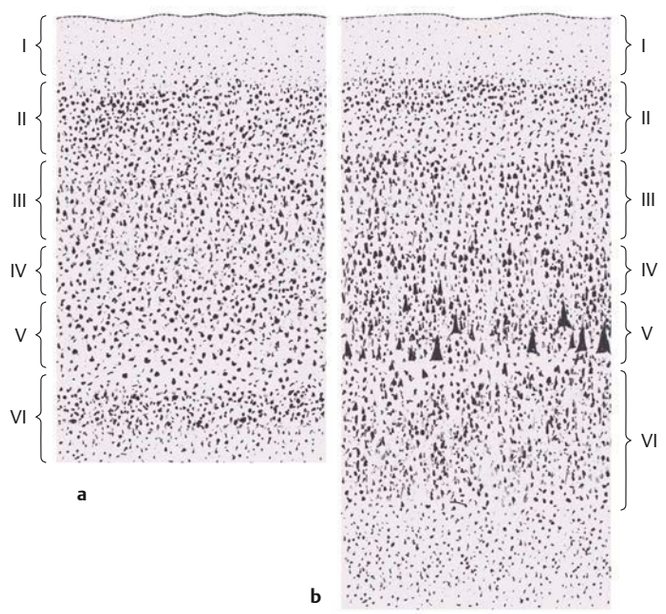
A Histologischer Aufbau der Großhirnrinde

Der Neocortex (= Isocortex) lässt sich mikroskopisch mit einer Silberimprägnationsmethode (**a**) oder einer Zelldarstellung nach Nissl (**b**) von außen nach innen in sechs Schichten gliedern. Dieser sechsschichtige (= laminäre) Aufbau ist typisch für den weitaus größten Teil des Isocortex. Die Schichten werden nach den in ihnen jeweils dominierenden Strukturen benannt (s. **D**) und mit römischen Ziffern von außen nach innen durchnummeriert:

I Molekularschicht (Lamina molecularis): zellarm;
II/IV äußere und innere Körnerschicht (Lamina granularis externa und interna): enthalten Sternzellen und kleine Pyramidenzellen;
III/V äußere und innere Pyramidenschicht (Lamina pyramidalis externa und interna): enthalten Pyramidenzellen: die äußere Schicht kleine, die innere große;
VI multiforme Schicht (Lamina multiformis): enthält polymorphkernige Zellen.

Rindenbezirke, die primär der Informationsverarbeitung dienen, sind reich an Körnerzellen *(granulärer Cortex),* die Körnerzellschichten in diesen Regionen deshalb besonders dick (typisch z. B. primär somatosensorische Rinde s. **Ba**). Rindenbezirke, in denen Information aus dem Cortex herausgeleitet werden, zeichnen sich durch ausgeprägte Pyramidenzellschichten aus (z. B. motorischer Cortex als Ursprungsort der Pyramidenbahn, s. **Bb**; sog. *agranulärer Cortex*). Die Analyse der Verteilung der Nervenzellen im Cortex bildet die Grundlage für die Einteilung des Gehirns in verschiedene Regionen, die sog. Zytoarchitektonik (s. **A**, S. 328).

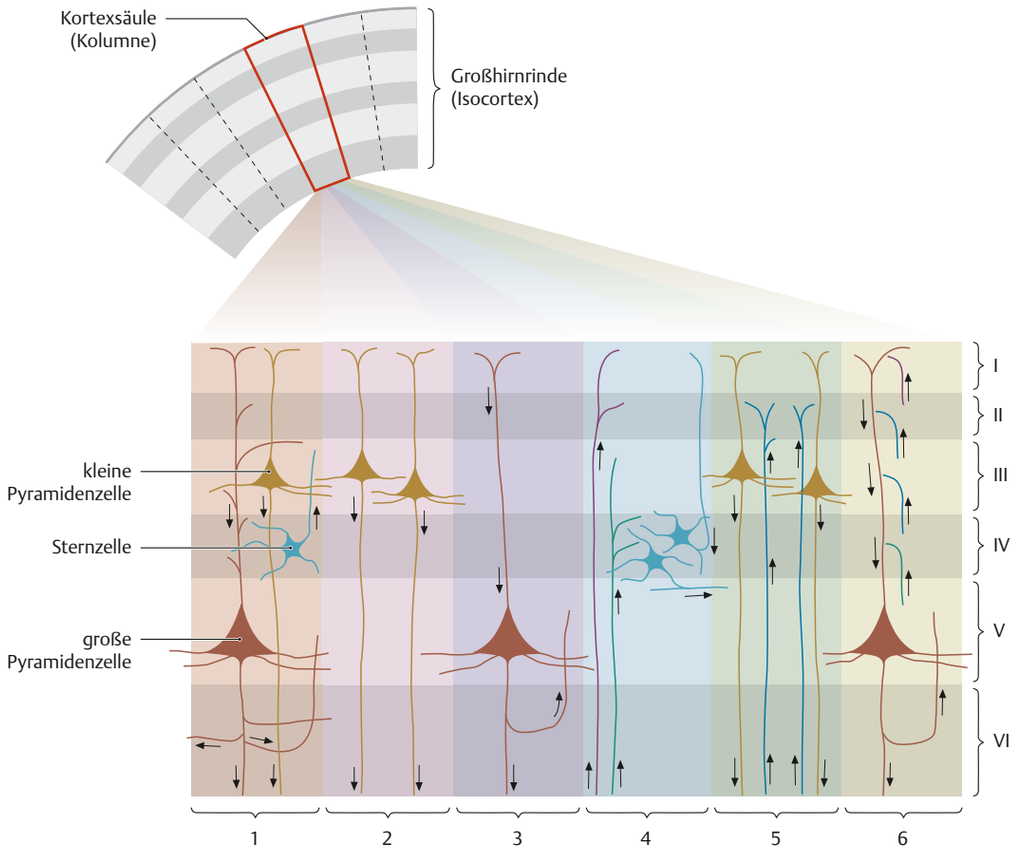




B Beispiele für granulären und agranulären Cortex

a Granulärer Cortex: Der primär somato*sensorische* Cortex, in dem die Afferenzen aus dem Thalamus enden, liegt im Gyrus *post*centralis; er ist insgesamt schmaler als der primär somato*motorische* Cortex (s. **b**). Im primär somatosensorischen Cortex fällt auf, dass die Körnerschichten II und IV (in letzterer enden die Afferenzen aus dem Thalamus) stark verbreitert sind (*granulärer* Cortex oder auch Koniocortex von griech. „konio" = Sand). In dieser Art von Kortexarealen enden die großen sensiblen Bahnen. Die Pyramidenzellschichten III und V treten hingegen zurück.

b Agranulärer Cortex: Die Efferenzen zu den motorischen Hirnnervenkernen und zum Rückenmark gehen vom primär somato*motorischen* Cortex aus. Er liegt im Gyrus *pre*centralis, in ihm sind die Pyramidenzellschichten III und V stark vergrößert (*agranulärer* Cortex). Besonders große Pyramidenzellen findet man in manchen Bereichen der Lamina V (nach ihrem Erstbeschreiber als sog. Betz-Pyramidenzellen bezeichnet). Ihre langen Axone reichen bis in das Sakralmark.

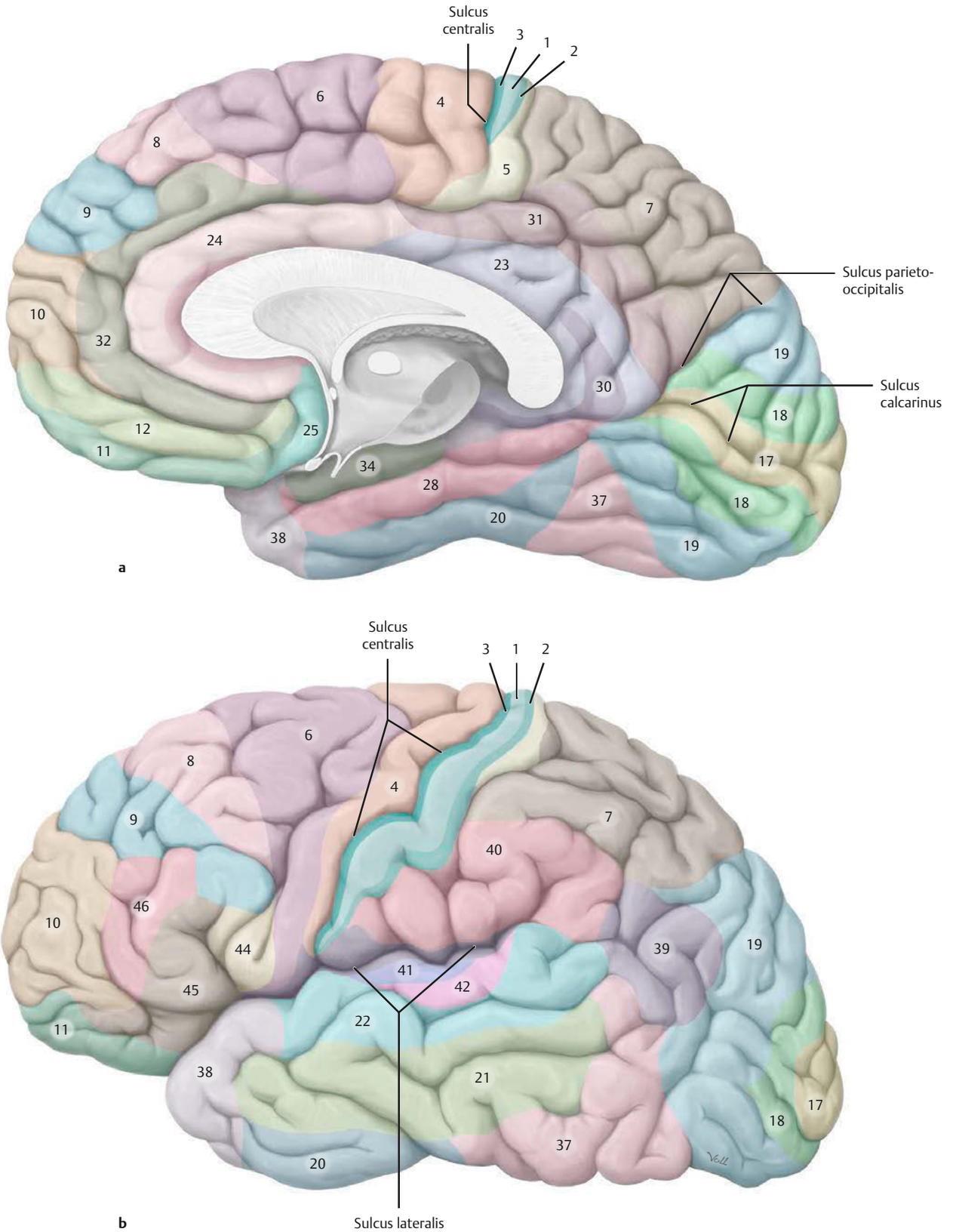


C Kolumnenorganisation des Cortex (nach Klinke u. Silbernagl)
Die morphologische Gliederung des Cortex in *horizontale* Schichten (= Laminae, s. **A**) stimmt nicht mit den Funktionseinheiten (Modulen) des Cortex überein, die jeweils alle sechs Schichten umfassen. Diese Module sind *vertikal* ausgerichtete, histologisch nicht klar abgrenzbare Kortexsäulen oder Kolumnen. Der Cortex enthält etwa vier Millionen solcher Module, von denen hier eines auseinandergezogen dargestellt ist, so dass die einzelnen Neurone sowie ihre Axone und Efferenzen bzw. Afferenzen getrennt voneinander sichtbar werden. Die *1. Säule* fasst die Neurone zusammen, die es im Cortex gibt: *Sternzellen* (etwa 2400/Modul) sowie *große* und *kleine Pyramidenzellen* (insgesamt etwa 100/Modul); vgl. **D**. Die *2. Säule* stellt gesondert die kleinen Pyramidenzellen dar, deren Axone innerhalb der Hirnrinde enden, sie stellen kortikokortikale Efferenzen her. Demgegenüber enden die Axone der großen Pyramidenzellen *(3. Säule)* in subkortikalen Kernen oder im Rückenmark; diese Zellen bilden also kortikobulbäre und kortikospinale Efferenzen. Daneben können diese Neurone zurückführende Axonkollateralen bilden. Afferenzen, die als spezifische Fasern aus dem Thalamus im Cortex enden *(4. Säule)*, enden an den Sternzellen der Lamina IV. Assoziations- und Kommissurenfasern von anderen Modulen enden oft an den Dendriten der kleinen Pyramidenzellen, dabei weisen sie oft keine Schichtspezifität auf *(5. Säule)*. Die oberste Integrationszentrale einer kortikalen Kolumne bilden jedoch die großen Pyramidenzellen in Lamina V, deren Spitzendendrit bis in die oberste Kortexschicht reicht *(6. Säule)*. Hier enden afferente Fasern aus vielen verschiedenen Hirnarealen.

D Neuronentypen (vereinfacht) der Großhirnrinde

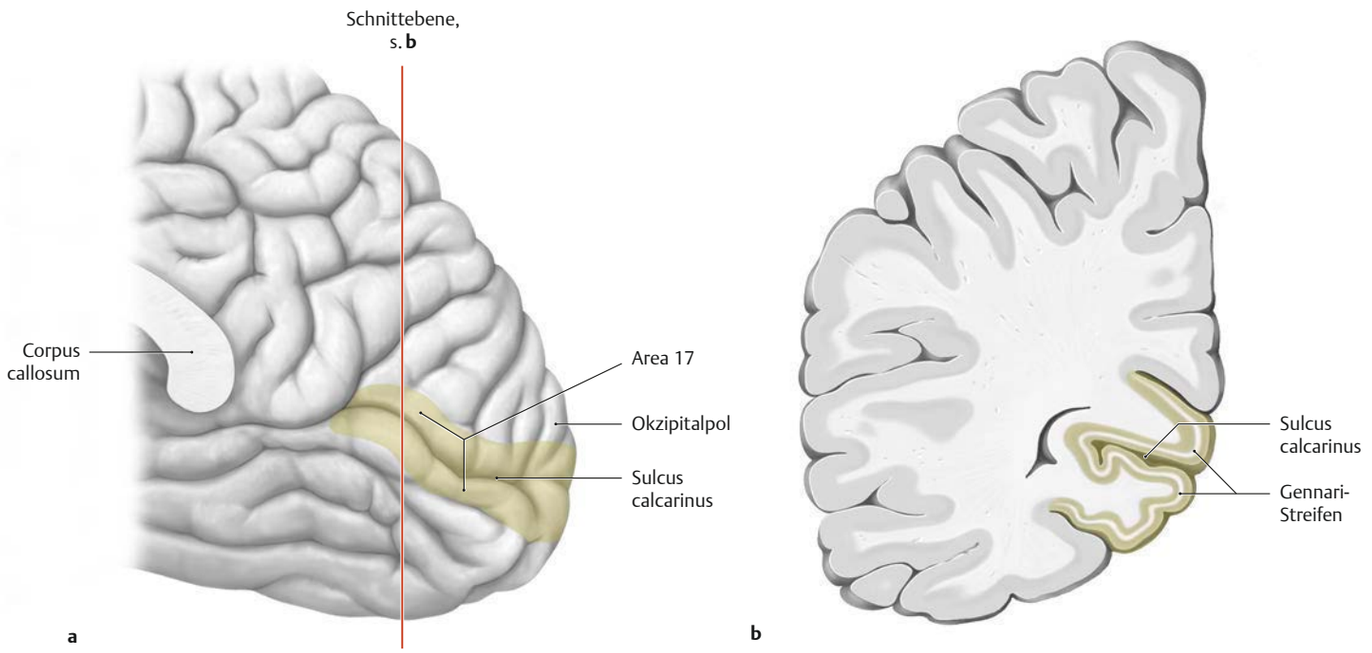
Bezeichnung	Definition	Qualität
Sternzelle (in Lamina II und IV gelegen)	Zelle mit kurzem Axon zur lokalen Informationsverarbeitung; verschiedene Zelltypen: Korbzellen, Kandelaberzellen, Double-bouquet-Zellen; Einzelheiten s. Histologielehrbücher	in den meisten Kortexarealen hemmende Zwischenneurone oder – v. a. in den primären Sinnesfeldern – die primär informationsverarbeitenden Neurone (in Lamina II gelegen)
kleine Pyramidenzelle (in Lamina III gelegen)	Zelle mit langem Axon, das innerhalb des Cortex endet, entweder als: • Assoziationsfaser: Axon endet in derselben Hirnhälfte, aber in einem anderen Kortexbereich oder als • Kommissurenfaser: Axon endet in der anderen Hirnhälfte, aber im funktionell gleichartigen Kortexbereich	erregende Projektionsneurone, deren Axone innerhalb des Cortex enden
große Pyramidenzelle (in Lamina V gelegen)	Zelle mit sehr langem Axon, das außerhalb des Cortex – z. T. weit außerhalb der Zellumgebung – endet	erregende Projektionsneurone, deren Axone außerhalb des Cortex enden
Körnerzelle	kein eigener Nervenzelltyp, umfasst kleine Pyramidenzellen und Sternzellen	abhängig vom Zelltyp (s. o.)

6.5 Rindenfelder im Neocortex



A Brodmann-Areale im Neocortex
a Ansicht auf die rechte Großhirnhemisphäre von links (Mediansagittalschnitt); **b** Ansicht auf die linke Großhirnhemisphäre von lateral.
Makroskopisch gliedert sich die Gehirnoberfläche wie bisher beschrieben in Lobi, Gyri und Sulci. Mikroskopisch lassen sich jedoch subtile Unterschiede in der Verteilung der Nervenzellen feststellen, die sich z. T. nicht an diese makroskopisch erkennbaren Strukturen halten. Mikroskopisch gleichartig gegliederte Abschnitte der Hirnrinde bezeichnet man als *Rindenfelder (Areae).* Diese Einteilung in Rindenfelder basiert auf der Verteilung von Neuronen in den verschiedenen Schichten des Cortex (sog. Zytoarchitektonik; s. **A**, S. 326). Man hat lange vermutet, dass die Rindenfelder die funktionelle Organisation des Cortex darstellen; moderne bildgebende Verfahren haben tatsächlich gezeigt, dass vielen Rindenfeldern bestimmte Funktionen zugeordnet werden können. Diese Rindenfelder sind in der hier dargestellten Hirnkarte durch verschiedene Farben voneinander abgegrenzt. Obwohl die Größe der dargestellten Rindenfelder individuell schwankt, hat sich die hier dargestellte Hirnkartierung als Referenzkarte bis heute erhalten. Sie wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts von Korbinian Brodmann an nur einem Gehirn in mühevoller, jahrelanger Kleinarbeit erstellt. Natürlich ist es nicht sinnvoll, die Lokalisation aller Rindenfelder auswendig zu lernen. Wichtige Bezugspunkte sind:

- Area 1, 2 und 3: primär somatosensorischer Cortex,
- Area 4: primär somatomotorischer Cortex,
- Area 17: Sehrinde (Area striata, auf der medialen Fläche am ausgedehntesten!),
- Area 41 und 42: primäre Hörrinde.

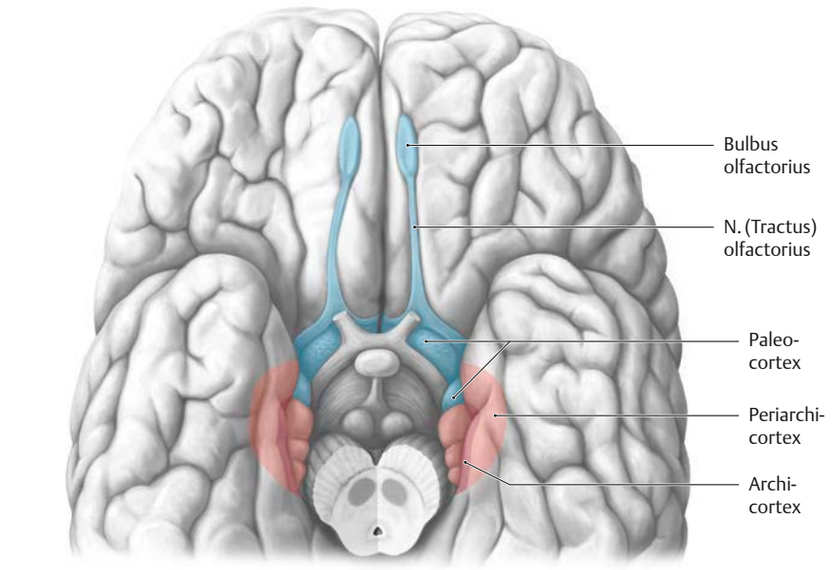


B Sehrinde (Area striata)
a Rechte Hemisphäre in der Ansicht von links; **b** Frontalschnitt (Schnittebene s. **a**) in der Ansicht von frontal.
Die primäre Sehrinde (Area striata = gestreift) ist das einzige Rindenfeld, das auch makroskopisch klar abgegrenzt werden kann (s. gelbe Einfärbung). Es liegt beiderseits entlang des Sulcus calcarinus am Okzipitalpol. Im Frontalschnitt (**b**) ist innerhalb dieses Rindenfeldes der sog. *Gennari-Streifen* zu erkennen (helle Zone bzw. weißer Streifen im gelb angefärbten Rindenbezirk). Er ist im ungefärbten Gehirn als feines weißes Band innerhalb der grauen Rinde zu erkennen. In diesem Streifen verlaufen die Axone der Sehstrahlung, die an den Neuronen der inneren Körnerschicht (Lamina IV) enden. Die Pyramidenzellschichten (Efferenzen!) sind in der Sehrinde stark vermindert, während die Körnerzellschichten, an denen die Afferenzen enden, stark vermehrt sind.

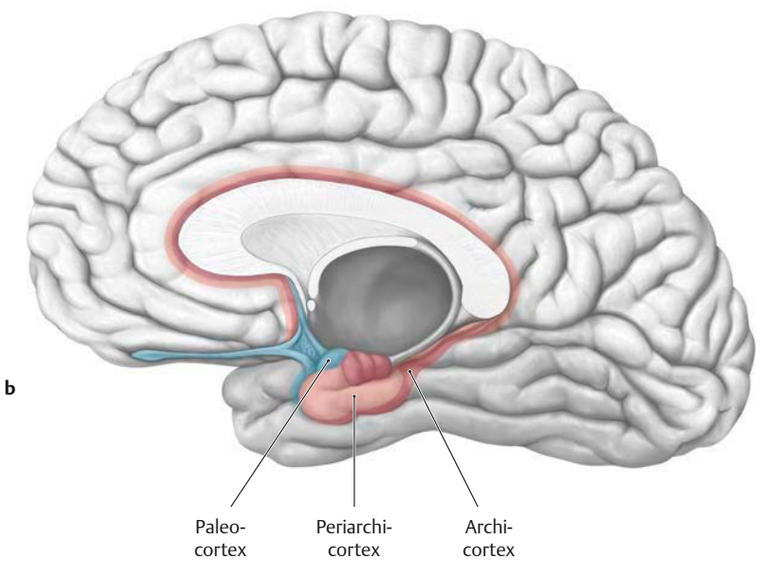
6.6 Allocortex: Übersicht

A Allocortex im Überblick
Ansicht von Hirnbasis (**a**) und Medianfläche der rechten Hemisphäre (**b**); Strukturen, die zum Allocortex gehören, sind farbig hervorgehoben).

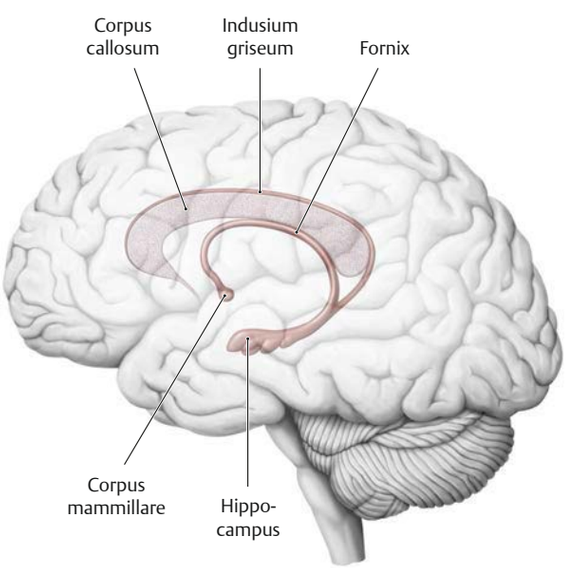
Der Allocortex umfasst die phylogenetisch alten Abschnitte des Cortex. Sein Anteil an der gesamten Großhirnrinde ist gering. Im Unterschied zum bereits bekannten Isocortex, der sechsschichtig aufgebaut ist, besteht der Allocortex (allo = anders) meist aus *drei* Schichten, die als Paleo- und Archicortex bezeichnet werden. Daneben gibt es *vier*schichtige Übergangsareale zum Isocortex, den *Peri*paleocortex (im Bild nicht extra markiert) und den *Peri*archicortex (hellrot markiert). Beide Übergangsareale werden auch unter dem Begriff *Mesocortex* zusammengefasst. Ein wichtiger Teil des Allocortex ist das *Riechhirn (Rhinencephalon).* Die über den Bulbus olfactorius wahrgenommenen olfaktorischen Impulse sind die einzigen sensorischen Afferenzen, die nicht über den Thalamus dorsalis zur Großhirnrinde gelangen. Ein weiterer wichtiger Teil des Allocortex ist der Archicortex und die mit ihm verbundenen Kerngebiete (s. S. 332). Wie beim Isocortex stimmt auch beim Allocortex die Gyrierung nicht immer mit der histologischen Gliederung überein.



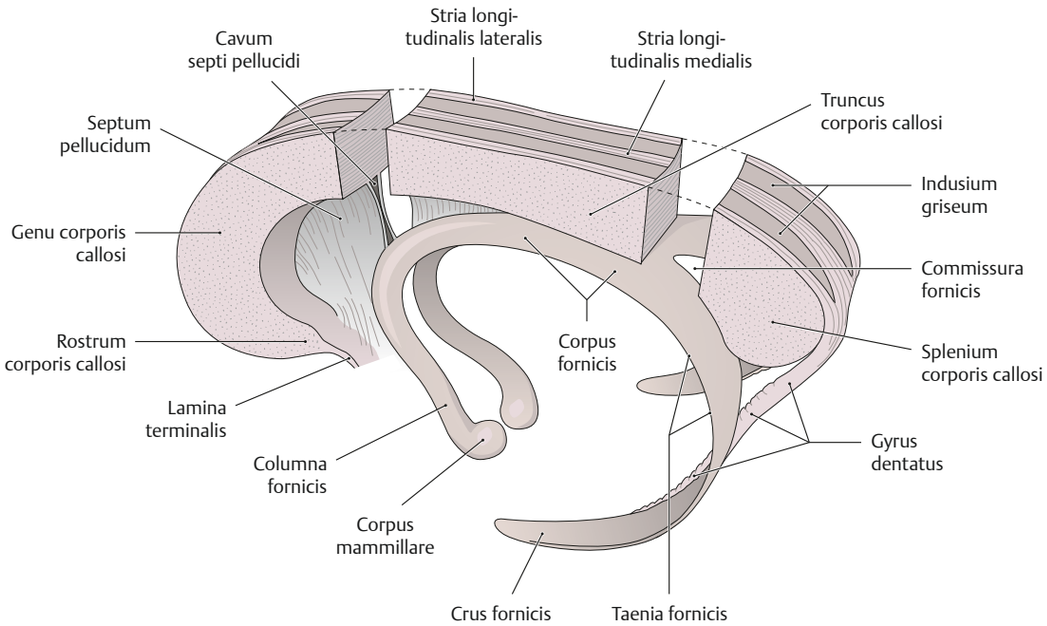
a



b

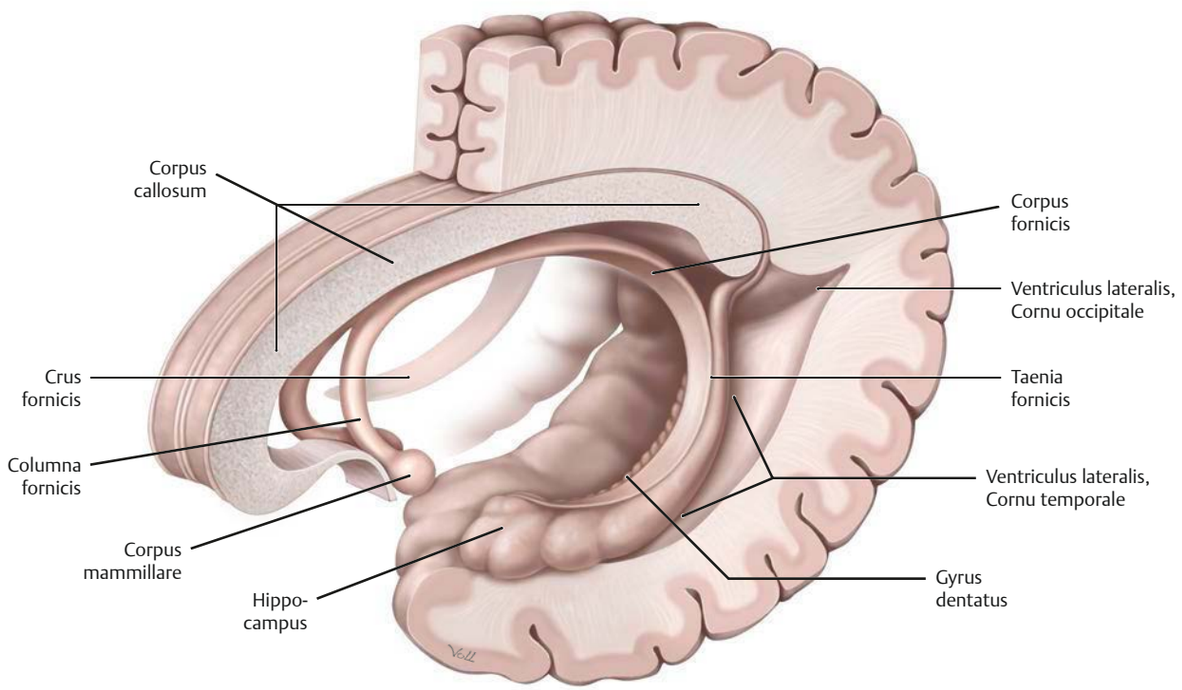


B Organisation des Archipallium: tiefer liegende Anteile
Linke Hemisphäre in der Ansicht von lateral. In **A** wurde u. a. der Archicortex beschrieben, *der* Teil des Archipallium, der an der Hirnoberfläche liegt. Die Bestandteile des Archipallium, die in der Tiefe der weißen Substanz liegen, sind Hippocampus (Seepferdchen), Indusium griseum (grauer Überzug) und Fornix (Gewölbe). Alle drei Strukturen sind Bestandteil des *limbischen Systems* (s. S. 492): Als Resultat ihrer Wanderungsbewegungen während der Entwicklung umgeben sie das Corpus callosum (Balken) wie ein Saum (= Limbus).



C Topografie von Fornix, Corpus callosum und Septum pellucidum (nach Feneis)

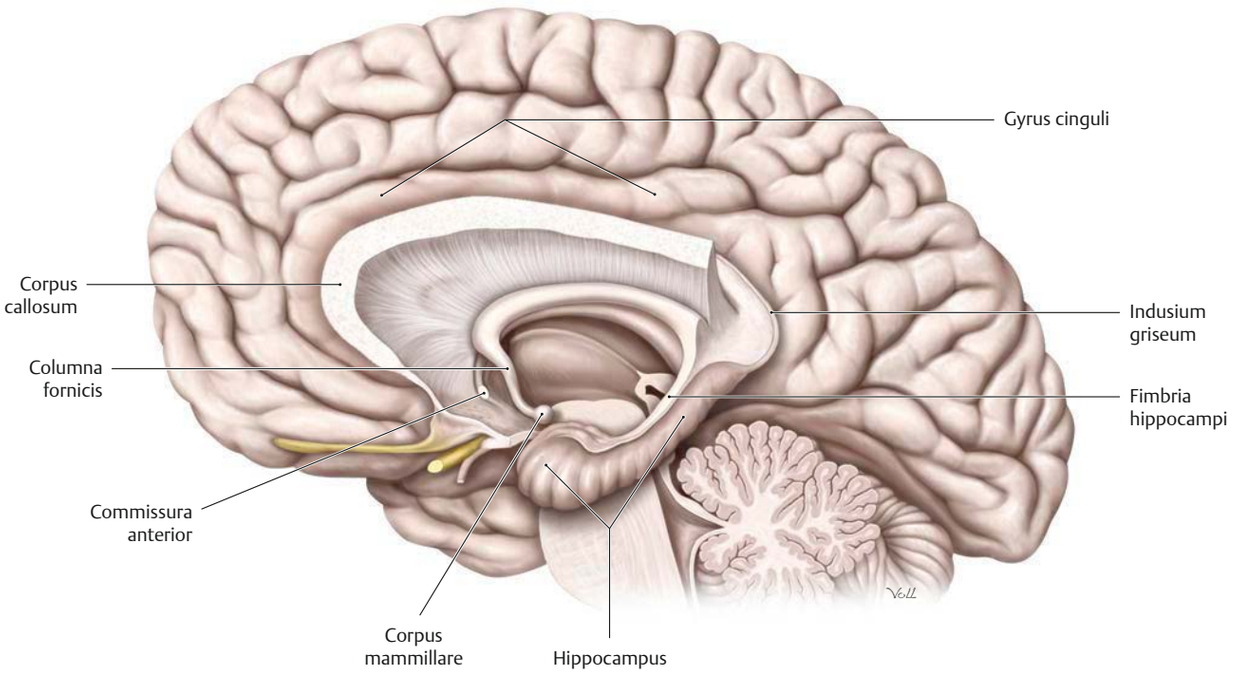
Ansicht von links, oben und okzipital. Das Gewölbe (Fornix) ist eine Bahn des Archipallium, die sich dem Corpus callosum anlagert. Das Corpus callosum ist die wichtigste neokortikale Kommissurenbahn zwischen den Hemisphären: Es verbindet gleichartige Rindenbezirke beider Hemisphären miteinander (s. **D**, S. 335). Zwischen Corpus callosum und Fornix spannt sich eine dünne Platte aus, das Septum pellucidum. Es begrenzt die Seitenventrikel nach medial. Zwischen beiden Septen befindet sich ein wechselnd großer Hohlraum, das *Cavum septi pellucidi*. Die cholinergen Kerne in den Septen, die an der Organisation des Gedächtnisses beteiligt sind, werden über den Fornix mit dem Hippocampus verbunden (s. S. 332).



D Topografie von Hippocampus, Fornix und Corpus callosum

Ansicht von oben, links und oral. In dieser Abbildung ist der Hippocampus am Boden des Unterhorns des Seitenventrikels dargestellt. Die Crura fornicis der linken und rechten Hemisphäre vereinigen sich zur *Commissura fornicis* (Psalterium, s. **C**) und bilden das *Corpus fornicis*, das sich oral wiederum in zwei *Columnae fornicis* teilt. Die Fornixbahn verbindet den Hippocampus mit den dienzephalen Corpora mammillaria. In ihr verlaufen efferente Bahnen zwischen Hippocampus und Hypothalamus. Diese wichtige Bahn ist Teil des limbischen Systems.

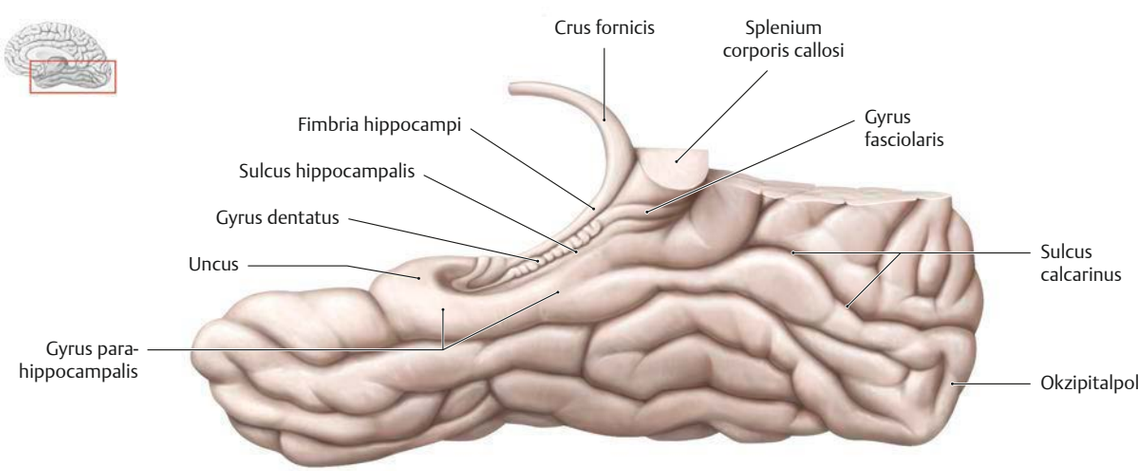
6.7 Allocortex: Hippocampus und Corpus amygdaloideum



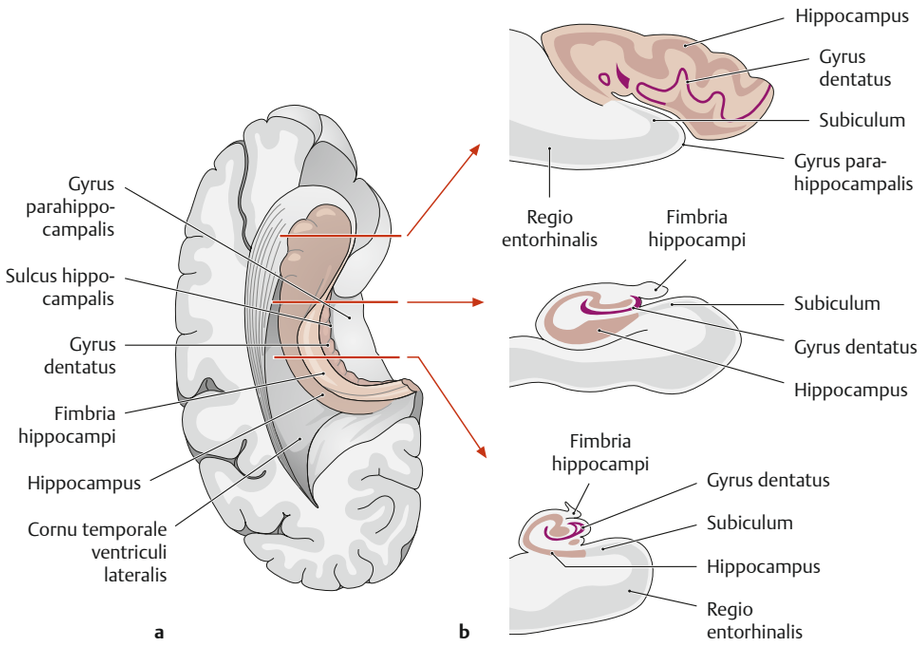
A Linke Hippokampusformation
Ansicht von lateral. In dieser Ansicht ist der größte Teil der linken Hemisphäre abpräpariert. Nur Corpus callosum, Fornix und Hippocampus wurden belassen. Im Hintergrund sieht man die in toto erhaltene rechte Hemisphäre.
Die Hippokampusformation ist ein wichtiger Bestandteil des limbischen Systems (s. S. 492). Sie besteht aus drei Teilen:

- Subiculum (s. **Cb**),
- Cornu ammonis (Hippocampus proprius; Hippocampus im engeren Sinne) und
- Gyrus dentatus (Fascia dentata).

Der Hippocampus ist durch die Faserbahn des Fornix mit dem Corpus mammillare verbunden. Neben dem Hippocampus, der den größten Teil des Archicortex darstellt, ist noch das Indusium griseum, ein weiterer Bestandteil des Archipallium, zu erkennen. Der Hippocampus ist das oberste Integrationsorgan des Endhirns, dessen Efferenzen endokrine, viszerale und emotionale Prozesse beeinflussen. Da der Hippocampus insbesondere der Organisator des Gedächtnisses ist, führt sein Ausfall bei einer Alzheimer-Erkrankung zur Störung des Kurzzeitgedächtnisses (s. **B**, S. 498).



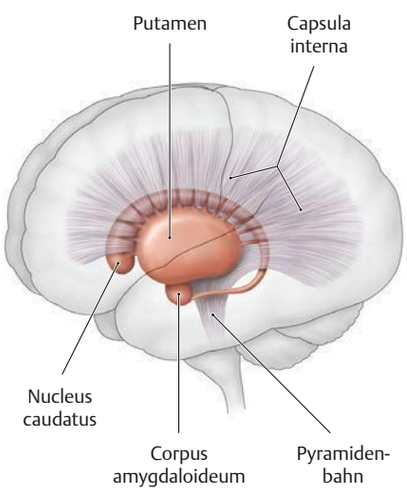
B Rechte Hippokampusformation und kaudaler Anteil des Fornix
Ansicht von links medial. Im Vergleich zur lateralen Blickrichtung in **A** sieht man hier von medial auf die rechte Hippokampusformation. Als Orientierungspunkt erkennt man den Sulcus calcarinus, der zum Okzipitalpol führt. In dieser Darstellung sieht man besonders gut die Rindenbezirke, die dem Hippocampus benachbart sind (z. B. Gyrus parahippocampalis).



C Linker Temporallappen mit freigelegtem Unterhorn des Seitenventrikels

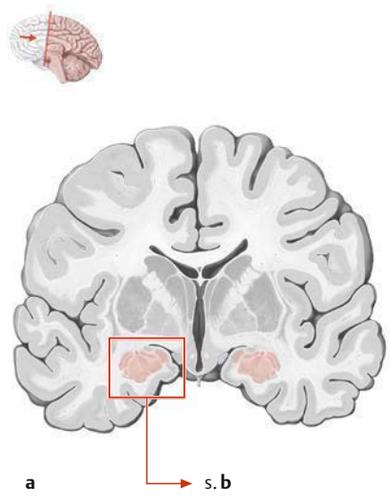
a Horizontalschnitt, Aufsicht von dorsal auf den Hippocampus am Boden des Unterhorns (Cornu temporale). Man erkennt von lateral nach medial Hippocampus, Fimbria hippocampi, Gyrus dentatus, Sulcus hippocampalis und Gyrus parahippocampalis.

b Frontalschnitte des linken Hippocampus. Der Hippocampus erscheint hier als eingerolltes Band (Cornu ammonis = Ammonshorn = Hippocampus proprius). Dieses variiert in den verschiedenen Abschnitten erheblich in seiner Struktur. Der Übergang zwischen der entorhinalen Rinde (Regio entorhinalis) im Gyrus parahippocampalis und dem Cornu ammonis wird durch ein Übergangsgebiet, das Subiculum, gebildet. Die Regio entorhinalis stellt das Eingangstor zum Hippocampus dar, aus ihr bezieht er die meisten afferenten Fasern.



D Lage des Corpus amygdaloideum zu Binnenstrukturen des Gehirns

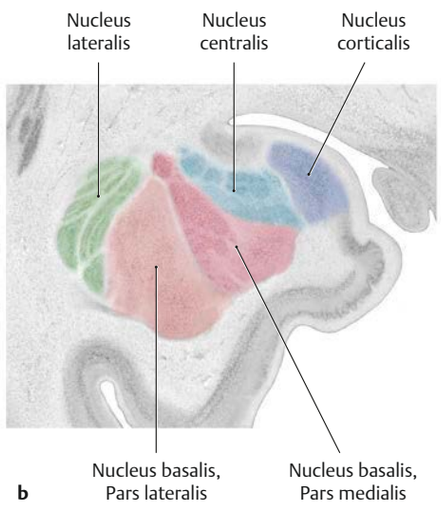
Sicht von lateral auf die linke Hirnhälfte. Das Corpus amygdaloideum liegt unterhalb des Putamen und vor dem Schwanz des Nucleus caudatus. Dorsal und medial des Corpus amygdaloideum ziehen die Fasern der Pyramidenbahn.



E Mandelkern (Corpus amygdaloideum)

a Frontalschnitt in Höhe des Foramen interventriculare. Das Corpus amygdaloideum reicht an seiner medialen Seite bis an die Unterseite der Rinde des Temporallappens heran. Aus diesem Grund gilt es teils als Rinde, teils als Kerngebiet, das in die weiße Substanz verlagert wurde. Die umgebende periamygdaläre Rinde und die kortikomediale Hälfte des Mandelkerns gehören zum primären olfaktorischen Cortex. Deshalb werden diese Teile des Mandelkerns unter Betonung des Rindencharakters zum Paleocortex gerechnet, während die tiefer liegende Gruppe als Kern angesehen wird.

b Ausschnitt aus **a**; Kerngruppen des Corpus amygdaloideum. Betont man jedoch den Kerncharakter des Corpus amygdaloideum (vgl. **a**), so unterscheidet man vier wesentliche Kerngruppen:



- phylogenetisch alte, kortikomediale Gruppe:
  - Nucleus corticalis und
  - Nucleus centralis;
- phylogenetisch junge, basolaterale Gruppe:
  - Nucleus basalis und
  - Nucleus lateralis.

Beim Nucleus basalis unterscheidet man zusätzlich einen kleinzelligen, medialen sowie einen großzelligen, lateralen Teil. Die Reizung des Mandelkerns führt beim Menschen zu Änderungen des Befindens: Wut und Angst oder Ruhe und Entspannung können ausgelöst werden. Die Reaktion hängt dabei wesentlich von der grundlegenden Stimmung des Patienten bei Beginn der Reizung ab (emotionale Verstärkerfunktion des Mandelkerns).

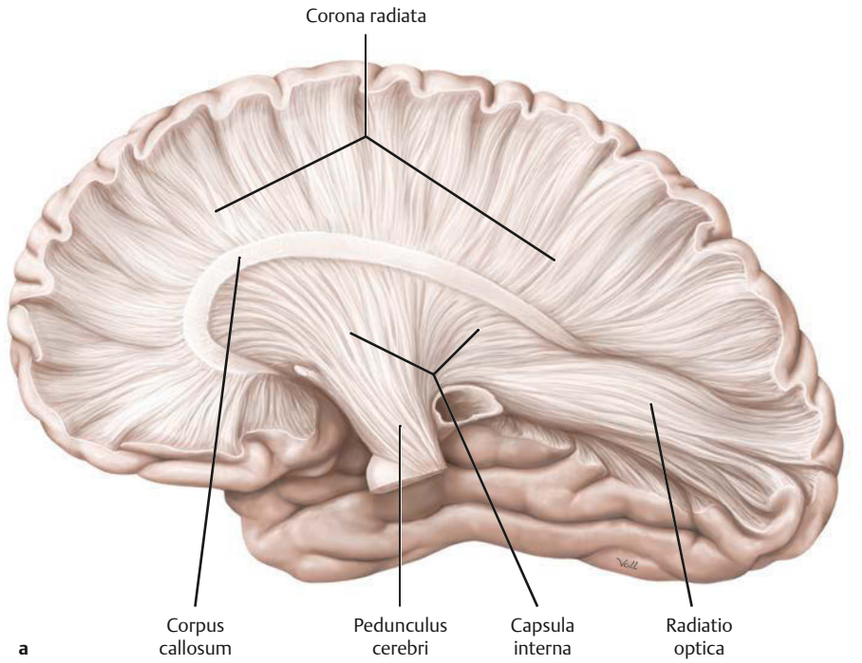
6.8 Die weiße Substanz

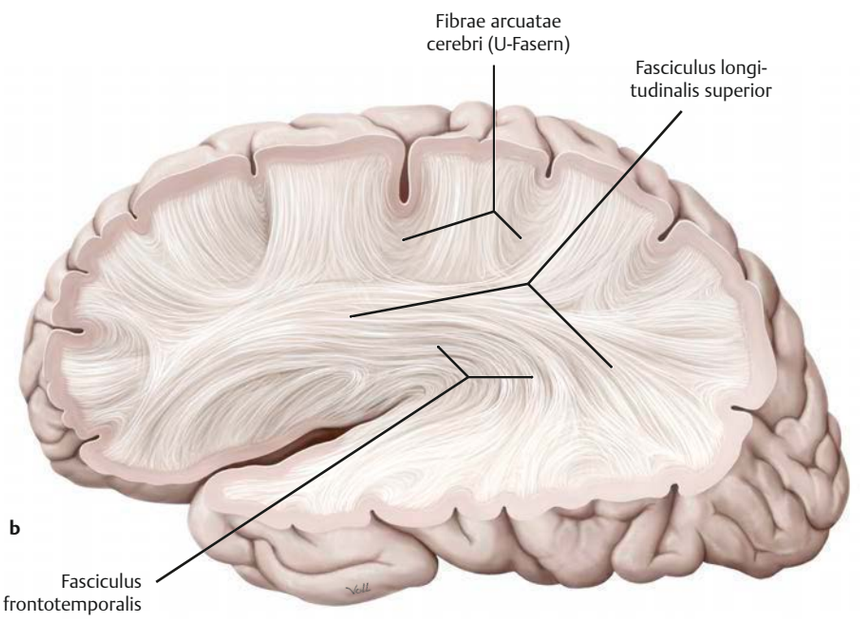
A Weiße Substanz im Telencephalon
a Ansicht der rechten Hemisphäre von links; **b** Ansicht der linken Hemisphäre von links, sog. *Abfaserungspräparate*.

Am intakten Zentralnervensystem erscheint die weiße Substanz strukturell homogen. Durch spezielle Präparationstechniken, die sich den unterschiedlichen Wassergehalt zentralnervöser Strukturen zunutze machen, lässt sich zeigen, dass die weiße Substanz aus *Bahnen* besteht (s. **D**, S. 269), also aus den markhaltigen Axonen von Nervenzellen. Die Funktion des Axons ist die Signalleitung: Bahnen sind somit „Datenautobahnen" für den schnellen Signalaustausch im ZNS. Obwohl Bahnen in der weißen Substanz des gesamten ZNS vorkommen, lassen sie sich technisch besonders gut in der weißen Substanz des Telencephalon – dem Marklager (Medulla) – zeigen. Nach der Richtung der Signalleitung bzw. nach der Lokalisation der durch eine Bahn verbundenen Abschnitte im ZNS teilt man alle Bahnen in drei Gruppen ein:

- Projektionsbahnen,
- Kommissurenbahnen (s. **D**) und
- Assoziationsbahnen (s. **C**).

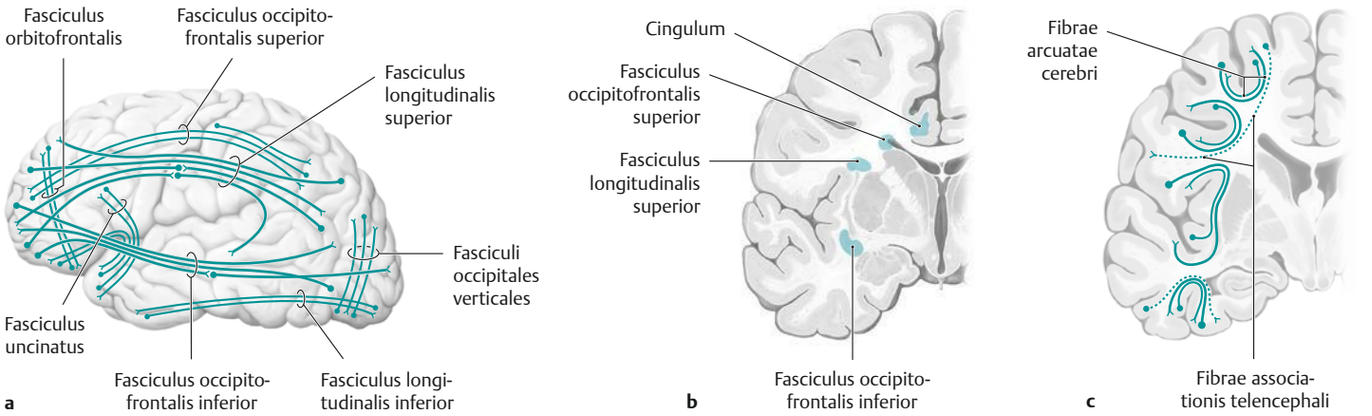
Werden Bahnen zerstört – z. B. im Rahmen einer Multiplen Sklerose – fallen die einer Bahn zugeordneten Funktionen aus. Aufgrund der funktionellen Vielfalt der Bahnen kann es zu so unterschiedlichen Symptomen kommen wie Lähmung, Störung der Hautsensibilität, Sehstörungen, Gedächtnisverlust. Da Bahnen immer zwei Strukturen im ZNS miteinander verbinden, ist es beim Lernen der Bahnen sehr wichtig, diese beteiligten Strukturen, gleichsam den Signalsender und den Signalempfänger, zu kennen. Zu Einzelheiten s. **B**.





B Bahnen im ZNS
Einteilung der Bahnen. Zwei Bahnen sind typischerweise auch am nicht speziell präparierten Gehirn makroskopisch sichtbar (und daher makroskopisch benannt!): Fornix (Gewölbe) und Corpus callosum (Balken).

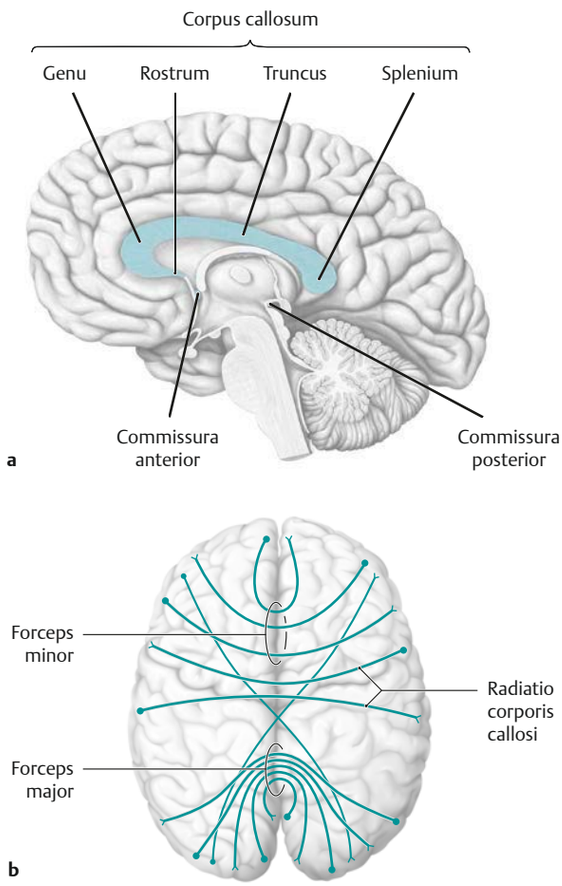
Projektionsfasern	verbinden die Hirnrinde mit subkortikalen Zentren, entweder auf- oder absteigend (Fornix = spezielle Projektionsbahn des limbischen Systems)
• **aufsteigende Fasern**	verbinden subkortikale Zentren mit der Hirnrinde
• **absteigende Fasern**	verbinden die Hirnrinde mit tiefer liegenden Zentren
Assoziationsfasern	verbinden verschiedene Rindenbezirke innerhalb einer Hirnhälfte (s. **C**)
Kommissurenfasern	verbinden gleichartige Rindenbezirke beider Hemisphären (s. **D**) (= interhemisphärische Assoziationsfasern); Corpus callosum = größte Kommissurenbahn der Hemisphären



C Assoziationsfasern

Lange Assoziationsfasern: **a** Ansicht der linken Hemisphäre von lateral; **b** rechte Hemisphäre, Ansicht von frontal; **c** kurze Assoziationsfasern, Ansicht von frontal.

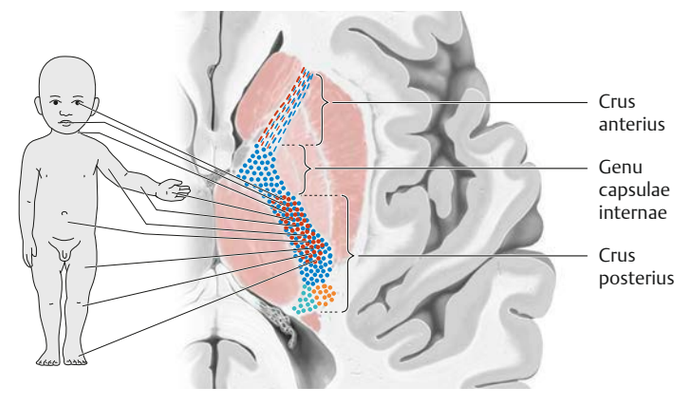
Lange Assoziationsfasern (Fibrae associationis longae) verbinden verschiedene Hirnareale, die zumeist in verschiedenen Lappen liegen, miteinander. Kurze Assoziationsfasern (Fibrae associationis breves) verbinden Kortexareale innerhalb eines Hirnlappens miteinander. Benachbarte Rindenabschnitte werden durch kurze U-Fasern (Fibrae arcuatae cerebri), die direkt unter dem Cortex verlaufen, miteinander verbunden.



D Kommissurenfasern

a Rechte Hemisphäre, Ansicht von medial; **b** durchscheinend dargestelltes Gehirn, Ansicht von dorsal.

Kommissurenfasern verbinden beide Hirnhälften miteinander. Die wichtigste Faserverbindung zwischen den Hemisphären stellt dabei der Balken, das Corpus callosum dar. Wird er bei einer Operation durchtrennt, können beide Hirnhälften nicht mehr miteinander kommunizieren (Splitbrain-Patienten, s. S. 496). Neben dem Balken existieren noch weitere kleinere Kommissurenbahnen (Commissura anterior, Commissura fornicis).

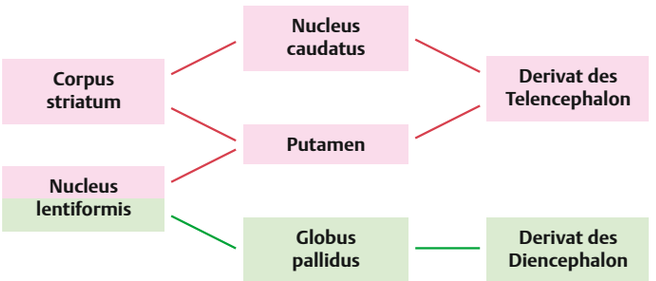


E Projektionsbahnen

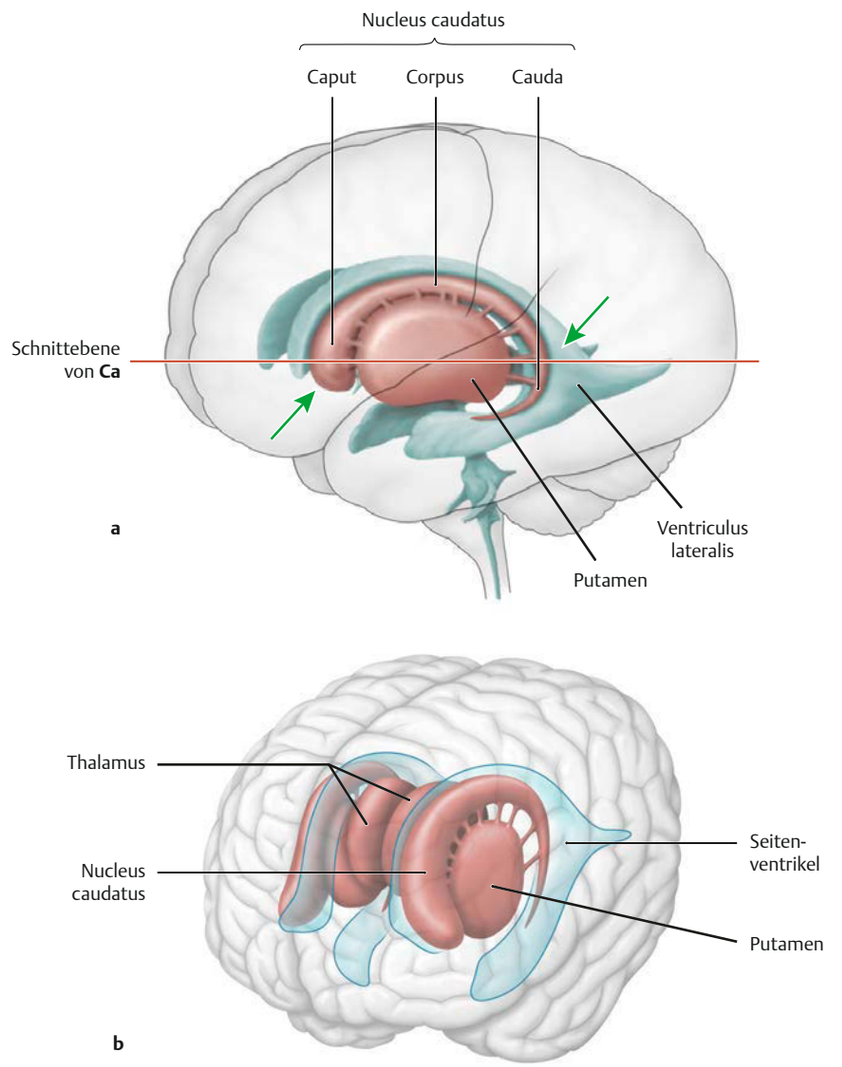
Horizontalschnitt durch die rechte Hemisphäre, Sicht von oben auf die Capsula interna. Durch die Capsula interna ziehen auf- und absteigenden Projektionsfasern. Wird die Durchblutung im Bereich der Capsula interna, z. B. bei einem Schlaganfall, unterbrochen, werden diese auf- und absteigenden Bahnen irreversibel geschädigt. Anhand des dargestellten Kindes kann man den Ort des Faserdurchzugs der Fasern der Pyramidenbahn durch die Capsula interna der Körperperipherie zuordnen. Somit können bei kleineren Läsionen der Capsula interna nur bestimmte Abschnitte des Körpers in ihrer zentralen Innervation (= spastische Lähmung) ausfallen. Daraus resultiert die große klinische Bedeutung dieser Struktur. Medial wird die Capsula interna von Thalamus und Caput nuclei caudati begrenzt, lateral vom Globus pallidus und vom Putamen. Bei der Capsula interna unterscheidet man Crus anterius (vorderer Schenkel), Genu capsulae internae und Crus posterius (hinterer Schenkel), durch die jeweils bestimmte Bahnen ziehen:

Crus anterius	• frontopontine Bahnen (rote Striche) • vorderer Thalamusstiel (blaue Striche)
Genu capsulae internae	• dorsaler Thalamusstiel (blaue Punkte)
Crus posterius	• Fibrae corticonucleares (rote Punkte) • Fibrae corticospinales (rote Punkte) • dorsaler Thalamusstiel (blaue Punkte) • Tractus temporopontinus (orange Punkte) • hinterer Thalamusstiel (hellblaue Punkte)

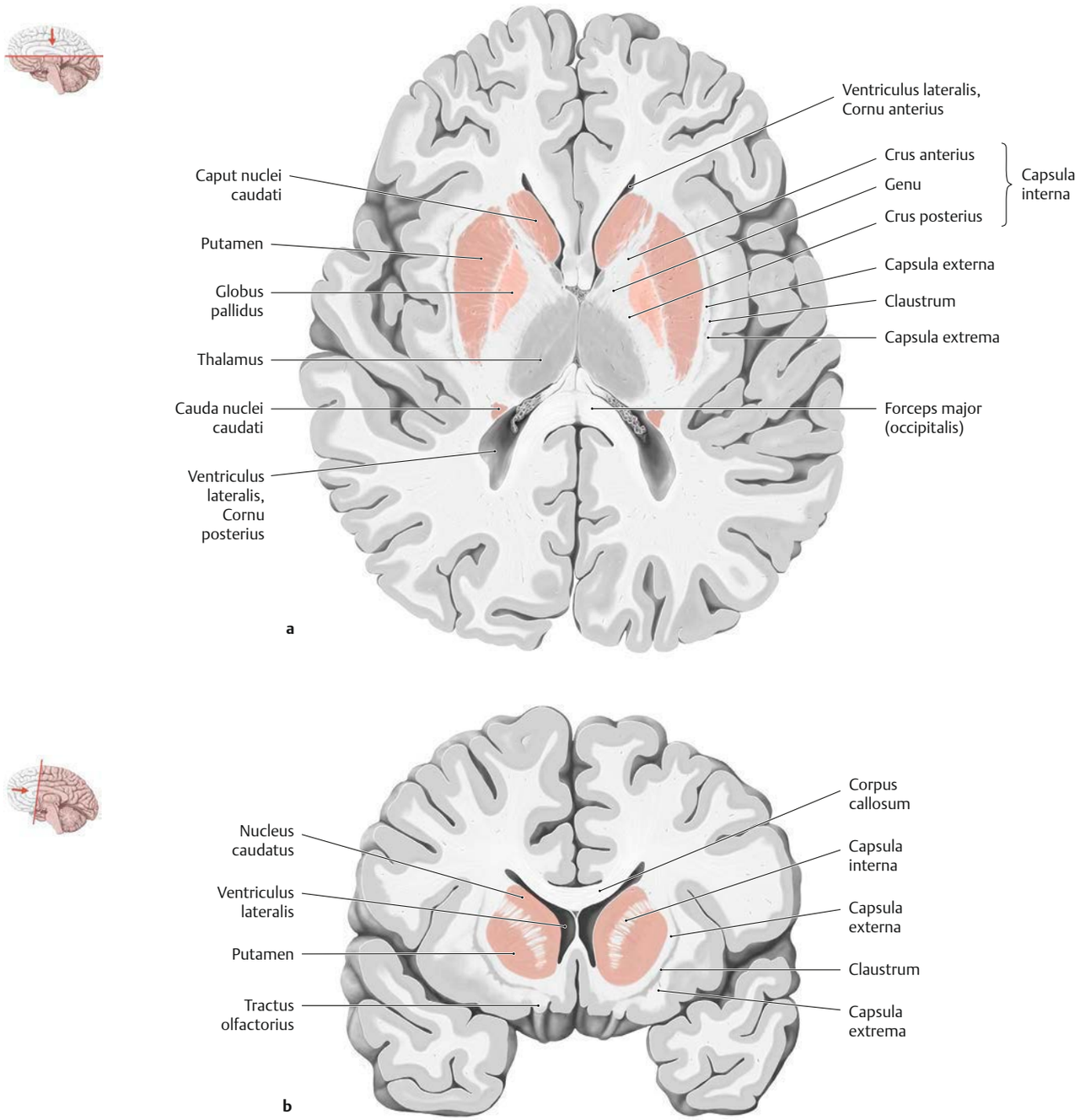
6.9 Nuclei basales (Basalkerne)



A Definition und Einteilung der Basalkerne
Der Begriff „Nuclei basales" (Basalkerne) umfasst drei jeweils paarig angelegte große Kerngebiete, die topografisch an der Basis (Name) des Endhirns an der Grenze zum Zwischenhirn liegen. Ganz *„offiziell"* werden sie als Nuclei basales *telencephali* bezeichnet, um sie von den im Zwischenhirn gelegenen Nuclei basales *thalami* eindeutig abzugrenzen. *Anatomisch* rechnet man den Nucleus caudatus (Schweifkern), das Putamen (Schale) und den Globus pallidus (bleiche Kugel) zu den Basalkernen. Unter – historisch bedingten – morphologisch rein beschreibenden Aspekten werden jeweils zwei Nuclei basales unter einem gemeinsamen Namen zusammengefasst: Putamen und Nucleus caudatus zum Corpus striatum (gestreifter Körper) und Putamen und Globus pallidus zum Nucleus lentiformis (linsenförmiger Kern). Entwicklungsgeschichtlich bedeutsam ist, dass Nucleus caudatus und Putamen Derivate des telenzephalen Cortex sind (s. **D**, S. 333), während der entwicklungsgeschichtlich ältere Globus pallidus ein Abkömmling des Diencephalon ist (aus einer Region, die dort als „Subthalamus" bezeichnet wird), s. **D**, S. 339. Nicht selten, insbesondere in der klinischen Literatur, findet man den Begriff „Basalganglien". Dies ist anatomisch streng genommen falsch: Ganglien sind definitionsgemäß Perikarien im PNS. Hier im ZNS liegen jedoch echte Kerne vor.
Beachte: Die Basalkerne sind in sehr erheblichem Maße in die Steuerung der Motorik eingebunden. Diese Funktion teilen sie mit weiteren Kerngebieten, z. B. der Substantia nigra und dem Nucleus ruber im Hirnstamm. In der Physiologie werden daher – ausschließlich wegen der gemeinsamen Funktion – diese beiden Hirnstammkerne gelegentlich zu den Basalkernen gerechnet. Dies ist aus funktioneller Sicht gerechtfertigt. Nachfolgend wird aber mit dem Begriff „Basalkerne" ausschließlich der anatomisch hier definierte Kernkomplex bezeichnet.



B Lage und Projektion der Basalkerne
Telencephalon. **a** Ansicht des Gehirns von links: Lage der Basalkerne vorne; **b** Ansicht von schräg links und vorne.
Die Lage der Basalkerne führt zu komplexen topografischen Zusammenhängen, die am besten aus einer „gedanklichen Kombination" von räumlicher Darstellung und Schnitt (s. **C**) nachvollziehbar sind. Der Nucleus caudatus mit seinen Abschnitten Caput, Corpus und Cauda „schmiegt" sich gewissermaßen in die konkave Wölbung des Seitenventrikels und folgt ihm fast auf ganzer Länge bis in den Temporallappen (**a**). An der konkaven Seite des Nucleus caudatus liegt das Putamen. Der vergleichsweise kleine Globus pallidus liegt „versteckt" medial vom Putamen und ist darum hier nicht sichtbar. Die Schrägansicht (**b**) zeigt nun zusätzlich den Thalamus im Diencephalon. In der Seitenansicht (**a**) liegt er ebenfalls verdeckt durch das Putamen. Der Thalamus ist *kein Basalkern*, befindet sich aber in räumlicher Nachbarschaft zu den Basalkernen, da diese an der Endhirnbasis an der Grenze zum Diencephalon liegen. Der Thalamus wird an dieser Stelle genannt, weil er für die Abgrenzung einer Endhirnbahn im Schnitt – der Capsula interna – als „Landmarke" von Bedeutung ist (s. Abb. **D**, S. 339).
Beachte: Sowohl auf Horizontalschnitten als auch auf Frontalschnitten kann bei geeigneter Lage der Schnittebene der Nucleus caudatus aufgrund seiner starken Krümmung zweimal (grüne Pfeile in **a**) angeschnitten sein.



C Basalkerne am Hirnschnitt: Nachbarschaftsbeziehungen

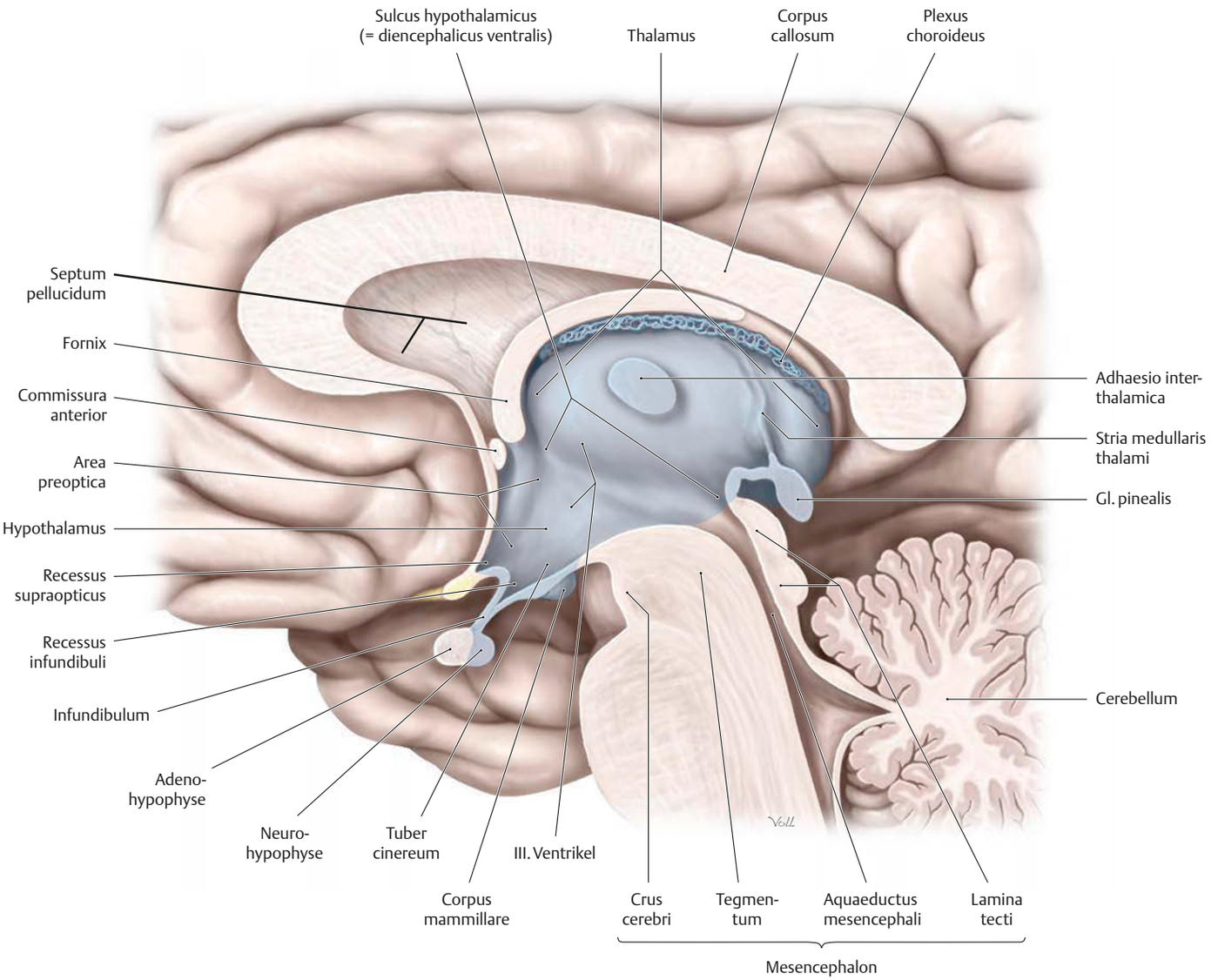
a Horizontalschnitt durch das Gehirn an der Grenze Telencephalon – Diencephalon, Ansicht von parietal; **b** Frontalschnitt durch das Telencephalon, Ansicht von frontal.

Schneidet man das Gehirn horizontal an der Endhirn-Zwischenhirn-Grenze, sind immer alle Basalkerne zu sehen. Der Nucleus caudatus ist zweimal getroffen (Caput und Cauda) und topografisch eng an den Seitenventrikel assoziiert (Cornua anterius und posterius). Der kleine Globus pallidus liegt medial des mächtigen Putamen (deshalb in der Seitenansicht, s. **B**, nicht sichtbar). Der dienzephale Thalamus liegt beidseits des sehr schmalen III. Ventrikels. Basalkerne einerseits und Thalamus andererseits gruppieren sich um eine boomerangförmige Masse weißer Substanz, die Capsula interna, die auf- und absteigende Projektionsbahnen enthält (s. **A**, S. 334). Der vordere Schenkel der Kapsel, das Crus anterius, verläuft zwischen den Basalkernen, also in einem Endhirnbereich; das Knie, Genu, und der hintere Schenkel, das Crus posterius, verlaufen zwischen Thalamus einerseits und Nucleus lentiformis andererseits. Sie bilden hier die Endhirn-Zwischenhirn-Grenze.

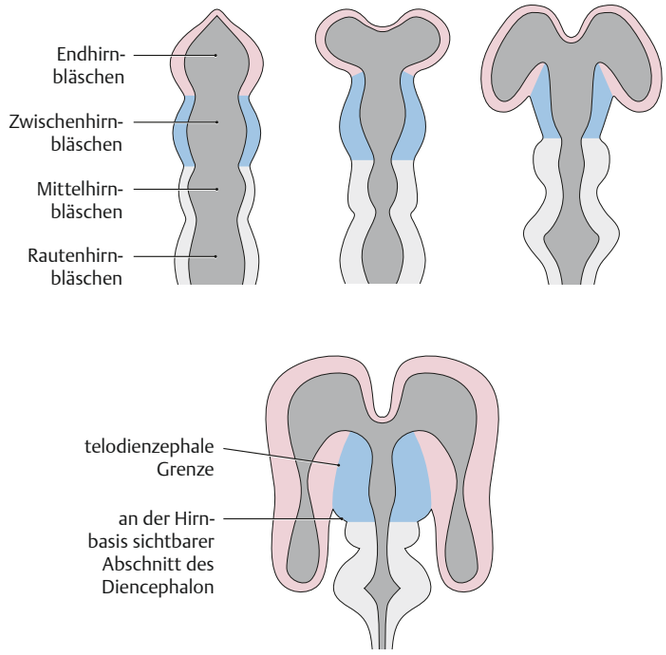
Beachte: Lateral des Putamen, und damit direkt medial der Inselrinde, liegt ein als Claustrum (Vormauer) bezeichneter Kern, umgeben von der weißen Substanz mit Capsula externa und extrema. Das Claustrum ist kein Basalkern (wurde allerdings früher dazu gerechnet); seine Funktion ist weitgehend unbekannt; seine Beteiligung bei Sexualfunktionen gilt als wahrscheinlich.

Der hier gewählte Frontalschnitt geht durch das Caput nuclei caudati, das sich eng an das Vorderhorn des Seitenventrikels legt. So weit frontal sind keine Zwischenhirnanteile mehr sichtbar: III. Ventrikel und Thalamus fehlen im Bild, ebenso ein Anschnitt des Globus pallidus. Das Crus anterius der Capsula interna zieht hier zwischen den eng aneinander liegenden Basalkernen hindurch und verleiht der grauen Substanz der Kerne durch die „Einsprenkelung“ der weißen Bahnen ein gestreiftes Aussehen (Corpus striatum). Auf dem Frontalschnitt (**b**) sieht man die enge topografische Beziehung des Nucleus caudatus zum Balken (Corpus callosum), der hier parietal des Nucleus caudatus liegt und „das Dach der Seitenventrikel“ bildet.

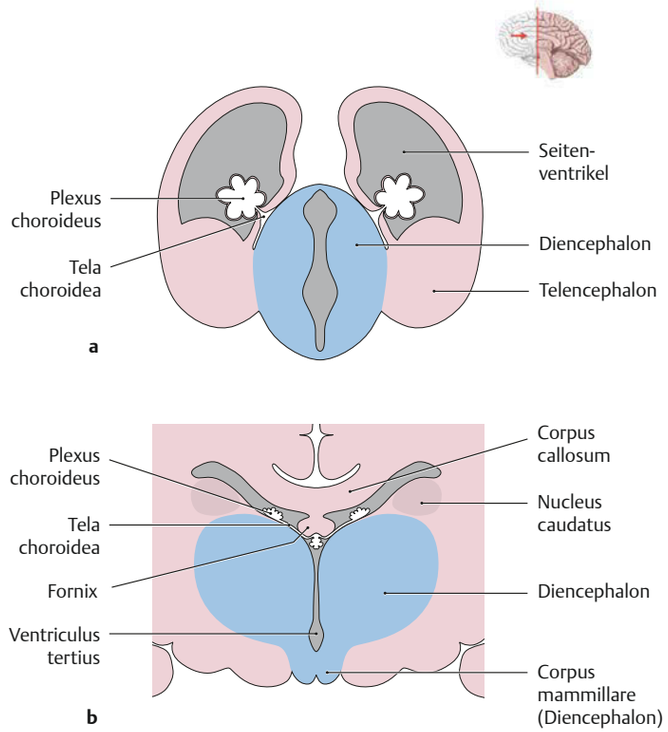
7.1 Übersicht und Entwicklung



A Diencephalon in situ
Mediansagittalschnitt; Ansicht der rechten Hemisphäre von links. Das Diencephalon (Zwischenhirn) liegt unterhalb der beiden Endhirnhemisphären und oberhalb des Hirnstamms. Vorne, oben und seitlich grenzt das Diencephalon direkt an das Endhirn an. Hinten liegt ein kleiner Abschnitt im Bereich der Gl. pinealis gleichsam frei (s. auch Abb. **B**, S. 352). Der Boden ist zweigeteilt: der hintere Bodenabschnitt liegt ohne scharfe Grenze am Mesencephalon, der vordere Bodenabschnitt – geprägt durch den Hypothalamus – liegt wiederum frei. Der in der Medianebene gelegene III. Ventrikel teilt das Diencephalon in zwei symmetrische Hälften, die entweder paarige Strukturen enthalten (diese liegen dann in der Seitenwand des III. Ventrikels, z. B. der Thalamus, sie sind in einem solchen Schnitt nie getroffen), oder unpaare Strukturen (diese sind dann „in der Mitte" und auf einem solchen Schnitt immer getroffen). Durch die Position der einzelnen Zwischenhirnabschnitte hat der III. Ventrikel mehrere spitz zulaufende Ausbuchtungen, sog. *Recessus*. Der Balken (Corpus callosum) und das Septum pellucidum (Trennwand zwischen den beiden Seitenventrikeln) sind zur Orientierung gut sichtbare Strukturen des Endhirns. Unterhalb des Corpus callosum nimmt der Thalamus den größten Teil der Seitenwand des III. Ventrikels ein. Er ist aufgrund seiner Vorwölbung in das Ventrikellumen hinein durch eine Furche – den Sulcus hypothalamicus – gegen die ebene Wand des Hypothalamus „abgetrennt". Oberhalb des Thalamus, diesen topografisch umfassend, läuft gewölbeartig eine Bahn, der Fornix (Gewölbe). Der Fornix zieht vom Endhirn (vom Hippocampus) zum Zwischenhirnboden (Corpus mammillare). Er gehört somit topografisch und funktionell als Projektionsbahn sowohl zum Endhirn als auch zum Zwischenhirn. Topografisch wird er gelegentlich als „Dach des III. Ventrikels" bezeichnet. Funktionell ist das Diencephalon außerordentlich facettenreich: Es dient als Schaltstation für Optik und Akustik, koordiniert Motorik, bestimmt den Tag-Nacht-Rhythmus, reguliert Hormondrüsen und ist „oberste Instanz" für wichtige vegetative Funktionen im Körper.
Beachte: Ein insbesondere für die Motorik sehr wichtiger Teil des Diencephalon, der Subthalamus, ist aufgrund seiner „weit lateralen" Lage nie im Mediansagittalschnitt zu sehen, sondern nur auf Frontal- (s. **B**, S. 343; **E**, S. 353 sowie S. 420 ff u. S. 433 f) oder Horizontalschnitten.



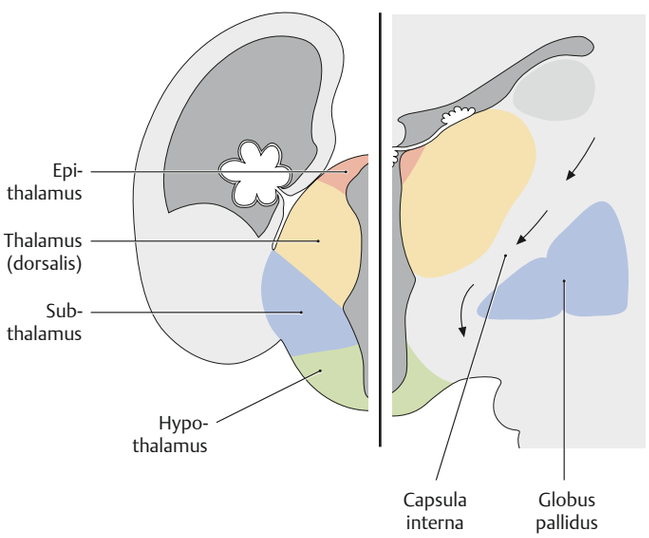
B Entwicklung des Diencephalon aus dem kranialen Neuralrohr
Ansicht von frontal. Um Lage und Ausdehnung des Diencephalon im Erwachsenengehirn verstehen zu können, muss man seine Entwicklung aus dem Neuralrohr kennen. Das Diencephalon entsteht zusammen mit dem Telencephalon aus dem Prosencephalon (Vorderhirnbläschen; s. S. 273). Im Laufe der Entwicklung wird das Diencephalonbläschen (blau) durch das Wachstum der beiden Hemisphären des Telencephalonbläschens (rot) überlagert. Durch diese Wachstumsverschiebungen verlagert sich die Grenze zwischen Tel- und Diencephalon, so dass beim Erwachsenen nur ein kleiner Abschnitt des Diencephalon an der Hirnbasis erkennbar ist.



C Dorsale telodienzephale Grenze
Frontalschnitte.

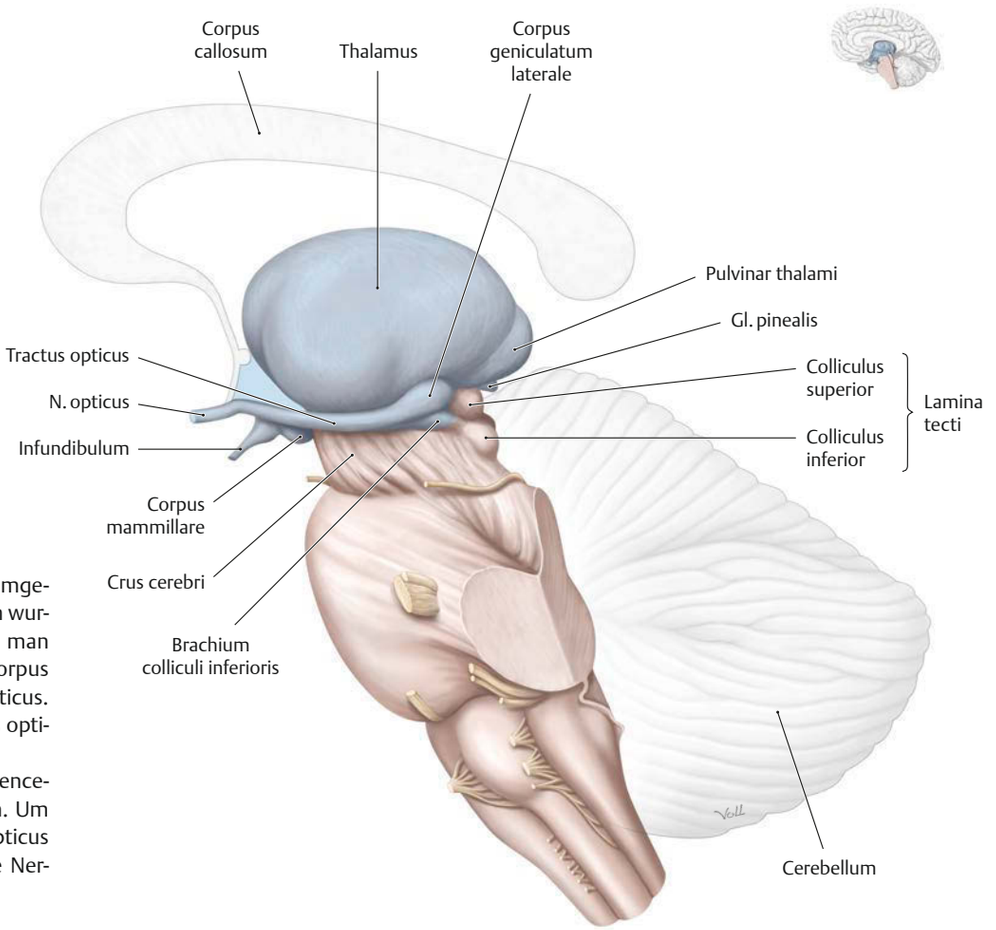
a Embryonales Gehirn: Im Vergleich zu **B** ist die Entwicklung des Telencephalon (rot) viel weiter fortgeschritten. Die Seitenventrikel mit dem Plexus choroideus haben das Diencephalon (blau) bereits vollständig von dorsal überwachsen. Die mediale Wand der Seitenventrikel ist sehr dünn und noch nicht mit dem Diencephalon verwachsen. Zwischen Tel- und Diencephalon zieht eine gefäßführende Bindegewebsplatte, die *Tela choroidea*.

b Adultes Gehirn: Tela choroidea und mediale Wand des Seitenventrikels sind mit dem Diencephalon verwachsen. Entfernt man den Plexus choroideus und die dünne Tela choroidea, blickt man direkt auf die mediale dorsale Begrenzung des Diencephalon (s. **B**, S. 340).

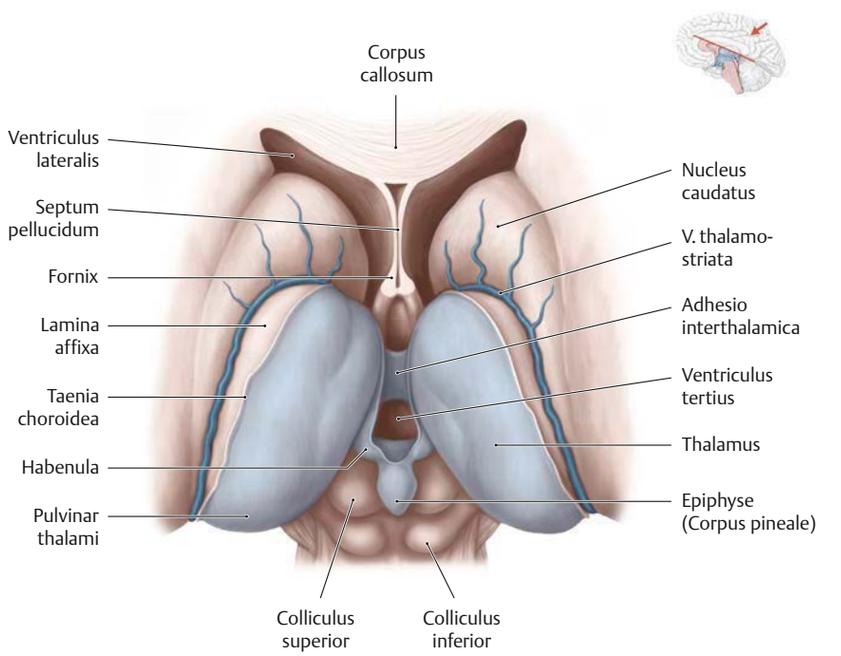


D Entwicklungsgeschichtliche Gliederung des Diencephalon
Frontalschnitt; linke Bildhälfte: embryonales Gehirn mit den Abschnitten des Diencephalon; rechte Bildhälfte: adultes Gehirn.
Da das Diencephalon im Erwachsenengehirn zwischen Tel- und Mesencephalon liegt, müssen sich die auf- und absteigenden Axone ihren Weg durch diesen Hirnabschnitt bahnen; diese Bahnen bilden die Capsula interna. Die Axonbündel, die die Capsula interna bilden, wandern durch den Subthalamus hindurch (schwarze Pfeile) und verdrängen so große Teile von ihm nach lateral. Dieser, nach lateral verdrängte Teil des Subthalamus wird als *Globus pallidus* bezeichnet. Der Globus pallidus ist zwar anatomisch in das Telencephalon verschoben und wird topografisch zu ihm gezählt, bleibt aber funktionell eng mit dem Subthalamus verbunden, da beide Teil der extrapyramidalen Motorik sind. *Der mediale Teil des Subthalamus verbleibt als eigentlicher Subthalamus im Diencephalon* (nicht in dieser Ebene angeschnitten). Damit bildet die telencephale Capsula interna die laterale Grenze des Diencephalon.
Während der Entwicklung wurde der größte Teil des Subthalamus, der Globus pallidus, durch die Axone der Capsula interna in das Telencephalon abgedrängt. Die einzelnen Abschnitte des Diencephalon wachsen zu unterschiedlichen Größen heran. Dabei wächst der Thalamus überdurchschnittlich, so dass er vier Fünftel des reifen Zwischenhirns einnimmt.

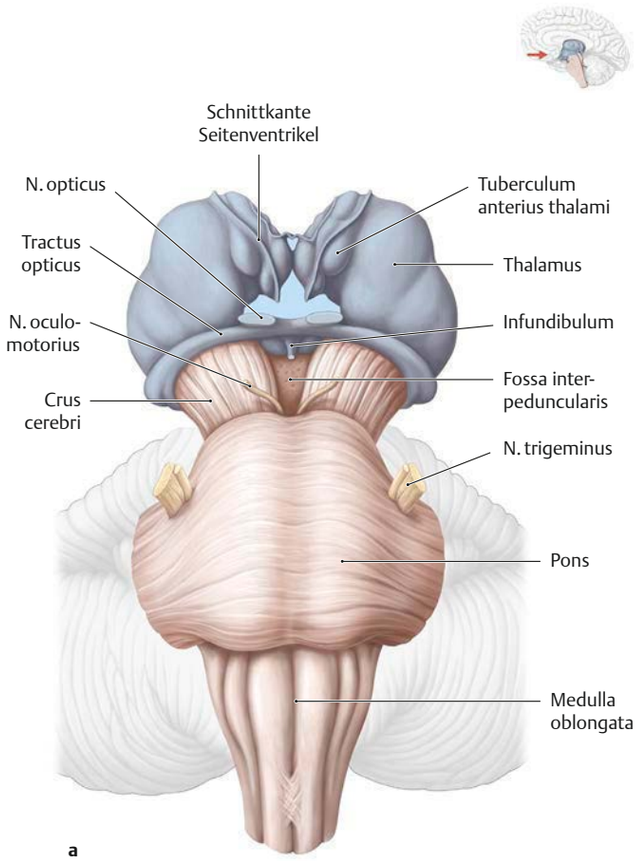
7.2 Äußere Struktur



A Zwischenhirn (Diencephalon) und Hirnstamm (Truncus cerebri)
Ansicht von links; das den Thalamus umgebende Telencephalon und das Cerebellum wurden entfernt. In dieser Ansicht erkennt man vom Diencephalon den Thalamus, das Corpus geniculatum laterale und den Tractus opticus. Corpus geniculatum laterale und Tractus opticus sind Bestandteile der Sehbahn.
Der N. opticus ist eine Ausstülpung des Diencephalon, wie man hier gut erkennen kann. Um diese Tatsache zu betonen, ist der N. opticus hier blau dargestellt und nicht – wie die Nerven sonst – gelb.



B Gruppierung des Diencephalon um den III. Ventrikel
Ansicht von parietal; schräger Horizontalschnitt durch das Telencephalon, Balken (Corpus callosum), Gewölbe (Fornix) und Plexus choroideus entfernt. Beim Entfernen des Plexus choroideus bleibt eine Abrisslinie übrig, die *Taenia choroidea.* Zusammen mit dem Plexus choroideus wurde die verdünnte Wand des III. Ventrikels entfernt, so dass medial der als Grenzlinie fungierenden Taenia choroidea der Thalamus als dienzephales Kerngebiet frei liegt. Lateral der Taenia choroidea verbleibt die dünne Ventrikelwand als *Lamina affixa* auf dem Thalamus liegen, so dass diese dünne, braun dargestellte telenzephale Schicht den blau dargestellten dienzephalen Thalamus bedeckt. Da die V. thalamostriata die Grenze zwischen Di- und Telencephalon bildet, ist sie hier hervorgehoben. Lateral von ihr liegt der Nucleus caudatus, ein Kern, der zum Telencephalon zählt (vgl. Abb. **D**, S. 339).

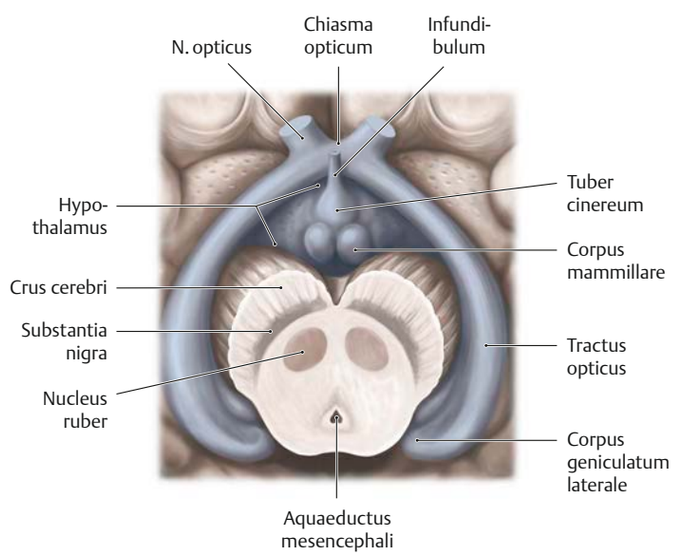


C Zwischenhirn und Hirnstamm

a Ansicht von ventral; **b** Ansicht von dorsal, Cerebellum und Telencephalon entfernt.

a Der Tractus opticus stellt die laterale Begrenzung des Diencephalon dar. Er umgreift die zum angrenzenden Mittelhirn (Mesencephalon) zählenden Hirnschenkel (Crura cerebri).

b In der Ansicht von dorsal ist der Epithalamus, der aus Zirbeldrüse (Corpus pineale) und zwei Zügeln (Habenulae) gebildet wird, besonders gut zu erkennen. Das Corpus geniculatum laterale ist eine wichtige Schaltstelle der Sehbahn, das Corpus geniculatum mediale eine wichtige Schaltstelle der Hörbahn, beide zählen zu den Kerngebieten des Thalamus. Sie werden auch unter dem Begriff des *Metathalamus* zusammengefasst und stellen eine Auslagerung der eigentlichen Kerngebiete des Thalamus dar. Insbesondere zwischen dem Corpus geniculatum mediale und dem Colliculus inferior des Mittelhirns gibt es im Rahmen der Hörwahrnehmung enge funktionelle Verbindungen. In dieser Ansicht imponiert besonders das Kerngebiet des Pulvinar thalami. Ihm werden ebenfalls Funktionen im Rahmen der optischen und akustischen Verschaltung zugesprochen.



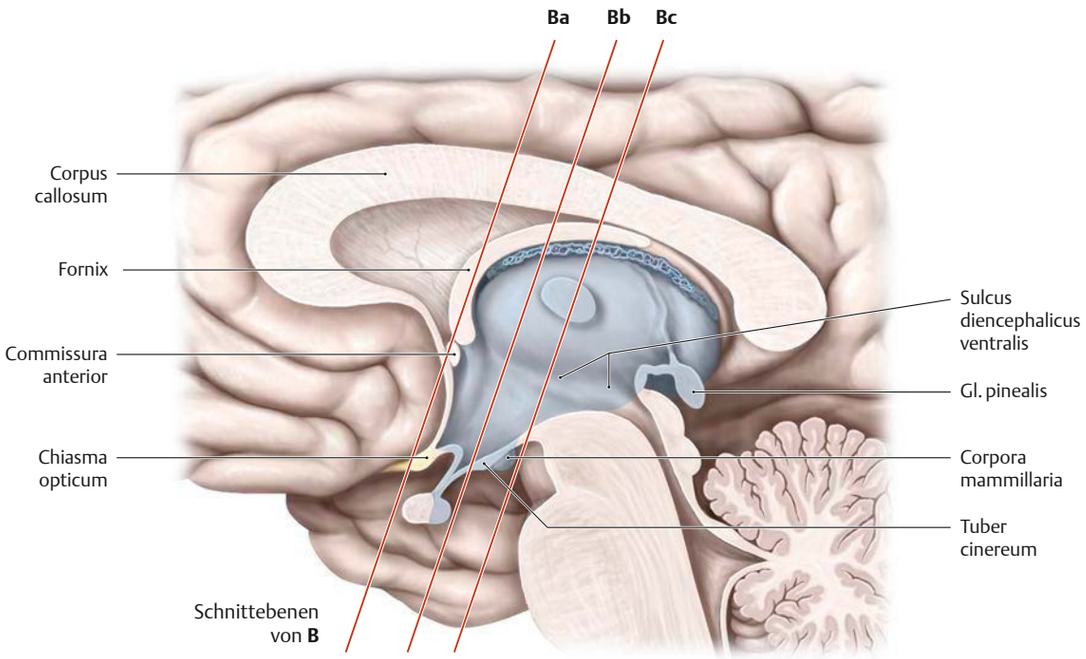
D Lage des Diencephalon im Erwachsenengehirn

Hirnbasis, Ansicht von basal (der Hirnstamm ist auf Höhe des Mesencephalon abgetrennt). Die in dieser Ansicht erkennbaren Strukturen des Diencephalon stellen die an der basalen Hirnoberfläche gelegenen Teile des Diencephalon dar. Aufgrund der Expansion des Telencephalon sind an der freien Hirnoberfläche vom Diencephalon nur wenige Strukturen verblieben:

- N. opticus
- Chiasma opticum,
- Tractus opticus,
- Tuber cinereum mit Infundibulum,
- Corpora mammillaria,
- Corpus geniculatum mediale (s. **Cb**),
- Corpus geniculatum laterale und
- Neurohypophyse (s. S. 350).

Auch in dieser Ansicht erkennt man das Umgreifen der dienzephalen Tractus optici um die mesenzephalen Crura cerebri gut.

7.3 Innenstruktur: Etagengliederung und Schnittserie



A Die vier Etagen des Diencephalon

Trennlinie	Abschnitt	Struktur im Erwachsenengehirn	Funktion
	Epithalamus	• Zirbeldrüse (Gl. pinealis, Epiphyse) • Zügel (Habenulae)	• Regulation Tag-Nacht-Rhythmus • Verschaltung des olfaktorischen Systems mit dem Hirnstamm
Sulcus diencephalicus dorsalis			
	Thalamus (= Thalamus-dorsalis)	• Thalamus	• sensorische Bahnen, Umschaltung und Projektion in den Cortex (Ausnahme: Riechbahn, bereits Teil des Telencephalon); daneben sendet der Thalamus Efferenzen zu verschiedenen motorischen Kerngebieten und greift damit in die Regulation der Motorik ein
Sulcus diencephalicus medius			
	Subthalamus (= Thalamus ventralis)	• Nucleus subthalamicus, Zona incerta (plus Globus pallidus, in das Telencephalon verschoben, s. **E**, S. 353)	• somatomotorische Zone des Diencephalon
Sulcus diencephalicus ventralis (= hypothalamicus)*			
	Hypothalamus	• Chiasma opticum, Tractus opticus • Tuber cinereum, Neurohypophyse • Corpora mammillaria	• Teil der Sehbahn • koordiniert vegetatives Nervensystem mit Hormonsystem • Koordination vegetatives Nervensystem

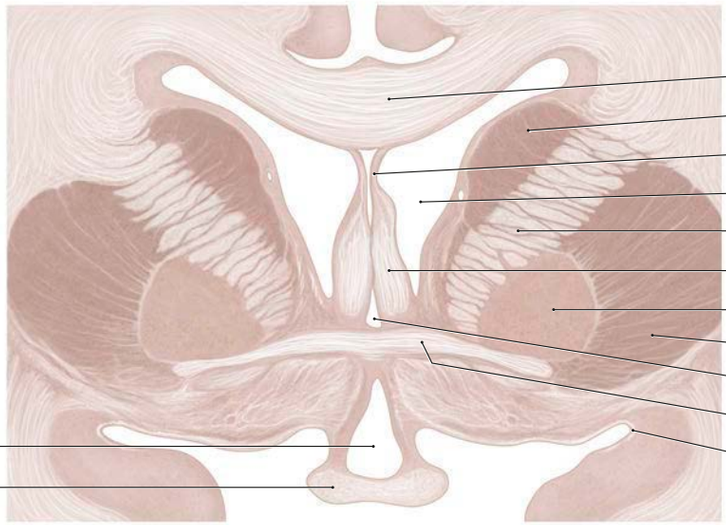
* nur dieser Sulcus ist in **A** zu erkennen

B Frontalschnitte durch das Diencephalon von frontal nach okzipital

a Höhe des Chiasma opticum: In diesem Schnitt sind Anteile von Di- und Telencephalon getroffen; die Lage des Diencephalon beiderseits des III. Ventrikels wird deutlich. Eine Ausbuchtung des III. Ventrikels, der Recesuss preopticus, liegt oberhalb des Chiasma opticum. Seine Verbindung zum III. Ventrikel liegt außerhalb der Schnittebene.

b Höhe des Tuber cinereum, dicht hinter dem Foramen interventriculare: Die Grenze zwischen Di- und Telencephalon ist nur im Bereich der Ventrikel klar zu erkennen, die darunter liegenden Kerngebiete gehen ohne erkennbare Grenze ineinander über. Im Bereich der Seitenventrikel wird die telodienzephale Grenze durch die Lamina affixa gebildet, eine dünne telenzephale Schicht, die sich dem dienzephalen Thalamus auflagert. Man erkennt, dass die Capsula interna im dorsalen Anteil von Lamellen von grauer Substanz durchzogen wird.

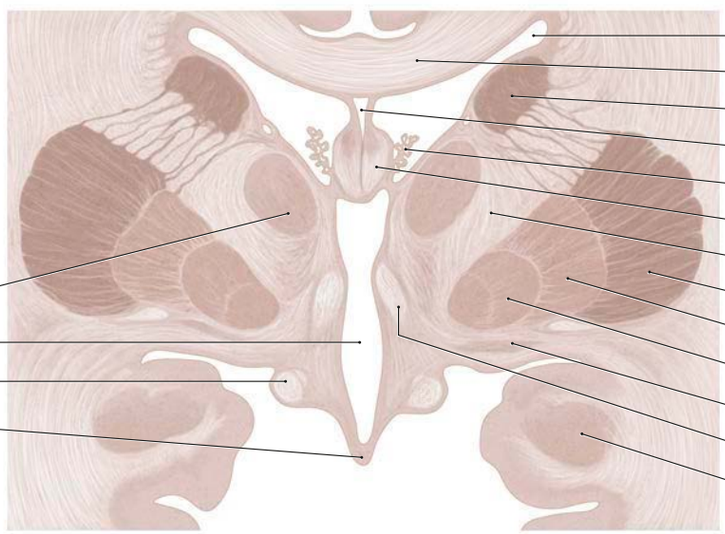
c Höhe der Corpora mammillaria: In diesem Schnitt imponieren die Kerngebiete des Thalamus. Es werden – je nach Nomenklatur – bis über 120 einzelne Kerne gezählt. Diese sind aber größtenteils makroskopisch in den Kurspräparaten nicht zu unterscheiden. Zu ihrer weiteren Unterteilung s. S. 344 (nach Kahle u. Frotscher; dort nach Villiger u. Ludwig).



Telencephalon
- Corpus callosum
- Nucleus caudatus
- Septum pellucidum
- Ventriculus lateralis
- Capsula interna
- Fornix
- Globus pallidus
- Putamen
- Cavum septi pellucidi
- Commissura anterior
- Stria olfactoria lateralis

Diencephalon
- Recessus preopticus
- Chiasma opticum

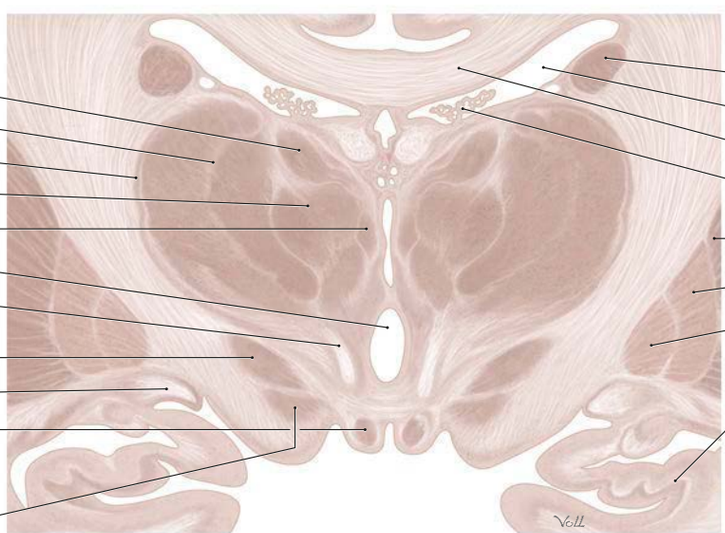
a



Telencephalon
- Ventriculus lateralis
- Corpus callosum
- Nucleus caudatus
- Cavum septi pellucidi
- Plexus choroideus
- Fornix
- Capsula interna
- Putamen
- Globus pallidus lateralis
- Globus pallidus medialis
- Nucleus basalis
- Fornix
- Corpus amygdaloideum

Diencephalon
- Thalamus
- Ventriculus tertius
- Tractus opticus
- Infundibulum

b



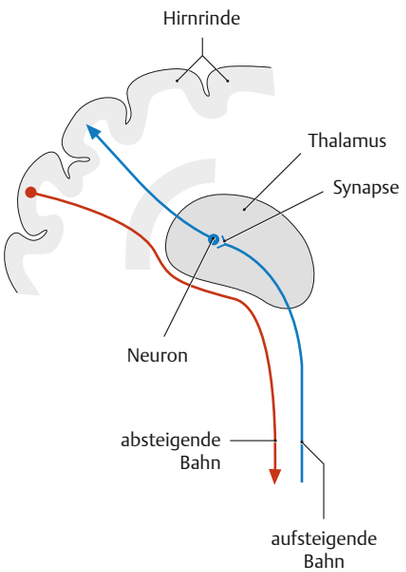
Telencephalon
- Nucleus caudatus
- Ventriculus lateralis
- Corpus callosum
- Plexus choroideus
- Putamen
- Globus pallidus lateralis
- Globus pallidus medialis
- Hippocampus

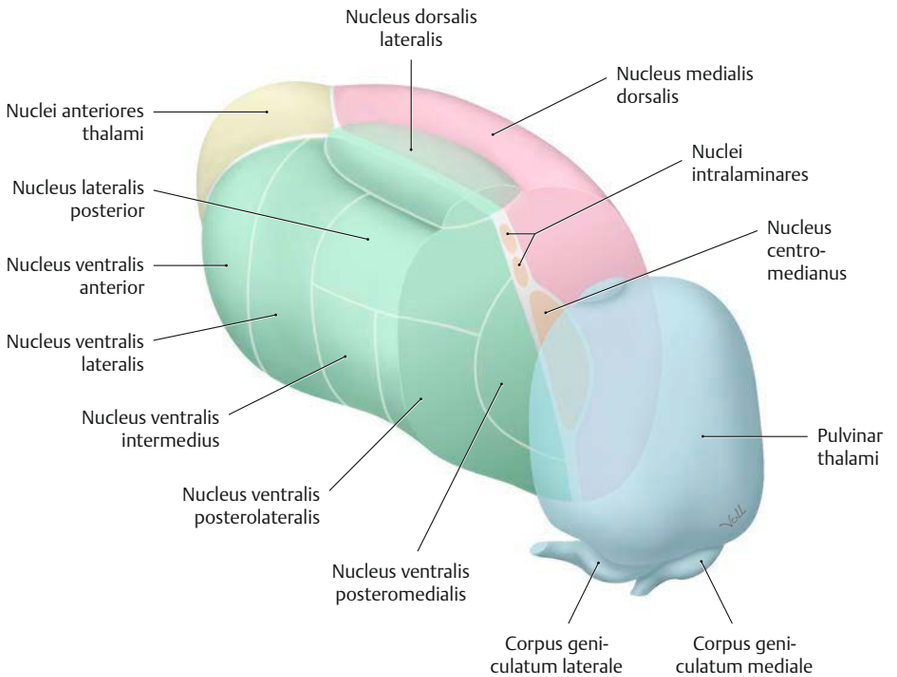
Diencephalon
- anteriore Kerngruppe
- Lamina medullaris medialis
- Nucleus reticularis thalami
- mediale Kerngruppe
- paraventrikuläre Kerne
- Ventriculus tertius
- Fasciculus mammillothalamicus
- Nucleus subthalamicus
- Tractus opticus
- Corpus mammillare

Mesencephalon
- Substantia nigra

c

7.4 Thalamus: Kerngebiete





A Funktionelle Einordnung des Thalamus
Fast alle Sinnesbahnen werden im Thalamus umgeschaltet und enden in der Hirnrinde (s. **G**, Radiatio thalami). Bei einer Läsion des Thalamus oder seiner Projektionsfasern zum Cortex, z. B. beim Hirninfarkt, kommt es deshalb auch zu Störungen der Sinneswahrnehmungen. Obwohl bei den Sinnesempfindungen eine diffuse Wahrnehmung bereits im Thalamus erfolgen kann (gilt besonders für Schmerzwahrnehmung), wird die unbewusste Wahrnehmung erst durch die kortikale (= telenzephale) Verarbeitung zur bewussten Wahrnehmung. Eine Ausnahme bildet das olfaktorische System, dessen Bulbus olfactorius bereits eine Ausstülpung des Telencephalon darstellt.
Beachte: Absteigende Bahnen aus dem Cortex ziehen im Allgemeinen nicht durch den Thalamus.

B Räumliche Anordnung der Kerngruppen des Thalamus
Ansicht des linken Thalamus von lateral und okzipital, etwas gedreht im Unterschied zu den Abbildungen auf S. 340. Der Thalamus ist eine Ansammlung von etwa 120 Kerngebieten, die sensorische Informationen verarbeiten. Man unterscheidet spezifische und unspezifische Thalamuskerne:

- *Spezifische* Kerne bzw. die von ihnen ausgehenden Fasern (Radiatio thalami, s. **G**) haben eine direkte Verbindung zu jeweils spezifischen Bereichen der *Hirnrinde* (= Pallium oder Cortex cerebri) und werden daher auch als Palliothalamus bezeichnet.
- *Unspezifische* Kerne haben keine direkte Verbindung zur Hirnrinde, aber zum *Hirnstamm* (= Truncus encephali) und werden deshalb auch als Truncothalamus bezeichnet.

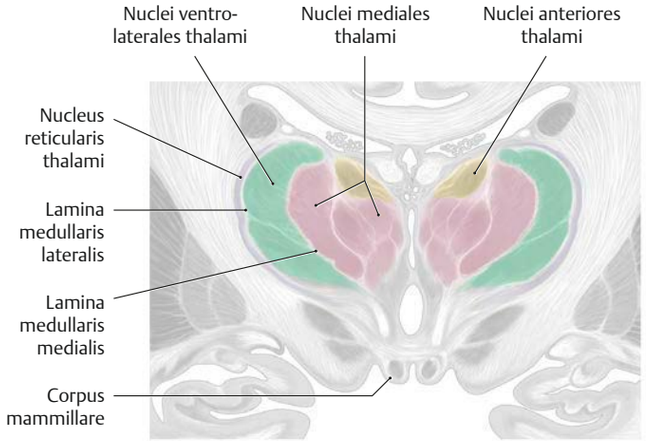
Von den unspezifischen Kernen sind hier nur der Nucleus centromedianus (orange) und einige intralaminäre Kerne als Beispiele dargestellt (Näheres s. **F**). Die *spezifischen* Thalamuskerne werden weiter in vier Gruppen unterteilt:

- Nuclei anteriores (gelb),
- Nuclei mediales (rot),
- Nuclei ventrolaterales (grün) und
- Nuclei dorsales (blau).

Letzteren liegen die beiden Kniehöcker an, die Corpora geniculata mediale und laterale. In ihnen liegen die *Nuclei corporis geniculati medialis bzw. lateralis*. Diese beiden, unter dem Polster des Thalamus (Pulvinar thalami) liegenden Kerngebiete werden zum *Metathalamus* zusammengefasst; sie zählen wie das Pulvinar thalami ebenfalls zu den spezifischen Thalamuskernen.

C Nomenklatur der Thalamuskerne

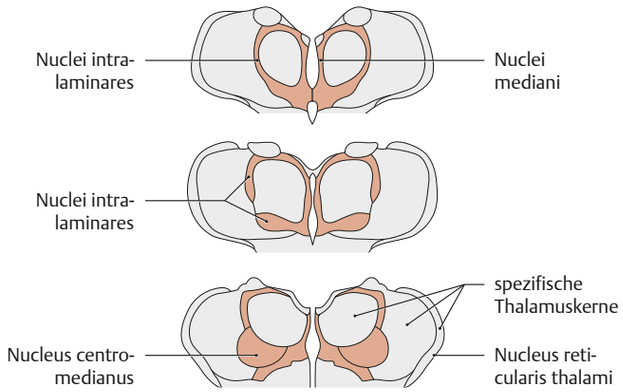
Name	Alternativname	Funktion
spezifische Thalamuskerne (rindenabhängige Kerne)	Palliothalamus	Projektion in die Hirnrinde
unspezifische Thalamuskerne (rindenunabhängige Kerne)	Truncothalamus	Projektion in den Hirnstamm, Diencephalon und Striatum
Integrationskerne		Projektion auf andere Kerne innerhalb des Thalamus – damit sind sie unspezifische Kerne
intralaminäre Kerne		in der weißen Substanz der Lamina medullaris interna liegende Kerne; sie zählen zu den unspezifischen Thalamuskernen



D Gliederung der Thalamuskerne durch Laminae medullares thalami

Frontalschnitt auf Höhe der Corpora mammillaria. Einige Kerngebiete des Thalamus werden durch makroskopisch erkennbare Faserschichten (= Laminae medullares thalami) getrennt und so in größere Kernkomplexe gegliedert. Von diesen Laminae sind hier folgende zu sehen:

- Lamina medullaris medialis zwischen den Nuclei mediales thalami und ventrolaterales thalami,
- Lamina medullaris lateralis zwischen dem lateralen Kerngebiet und dem Nucleus reticularis thalami.

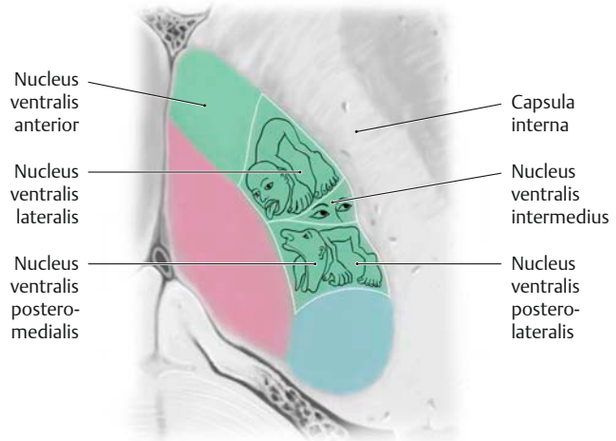


F Unspezifische Thalamuskerne

Frontalschnitte von oral nach kaudal. Die unspezifischen Thalamuskerne projizieren zum Hirnstamm, zu anderen Kernen des Diencephalon (einschließlich anderer Kerngebiete im Thalamus selbst) und zum Corpus striatum. Sie besitzen damit keine direkten Verbindungen zur Hirnrinde (= rindenunabhängige Kerne, die nur indirekt auf den Cortex wirken). Die medial liegenden *unspezifischen* Thalamuskerne werden in zwei Gruppen unterteilt:

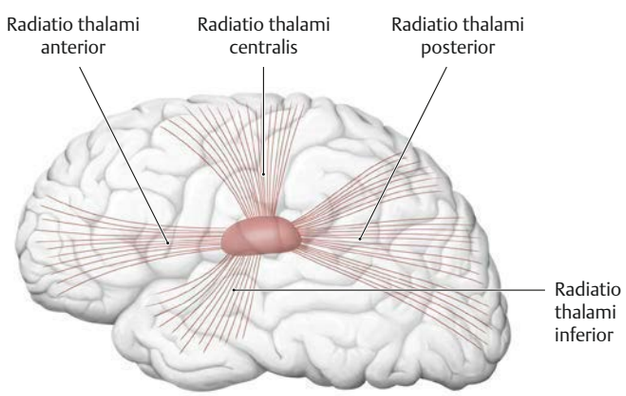
- Kerne des zentralen thalamischen Höhlengraus (Nuclei mediani): kleine Zellgruppen entlang der Wand des III. Ventrikels und
- intralaminäre Kerne (Nuclei intralaminares): in der Lamina medullaris medialis; größter Kern ist hier der Nucleus centromedianus.

Der hier ebenfalls dargestellte lateral gelegene *spezifische* Thalamuskern ist der Nucleus reticularis thalami; er liegt den übrigen spezifischen Thalamuskernen auf. Er ist der Impulsgeber für bestimmte elektrische Impulse, die im Elektroenzephalogramm (EEG) gemessen werden.



E Somatotopik der spezifischen Thalamuskerne

Horizontalschnitt. Das Prinzip der Somatotopie der spezifischen Thalamuskerne (s. **C** zu ihrer Definition) wird am Beispiel der ventrolateralen Kerngruppe erläutert. Die aus Rückenmark, Hirnstamm und Kleinhirn stammenden Afferenzen zum Thalamus sind somatotopisch angeordnet. Diese Somatotopie bleibt bis in die Hirnrinde erhalten. Im Nucleus ventralis lateralis enden Axone aus dem gekreuzten Pedunculus cerebellaris superior. Information über Körperhaltung, Koordination und Muskeltonus werden über diesen Weg zur motorischen Rinde weitergeleitet, die ebenfalls topisch gegliedert ist (motorischer Homunkulus, s. **B**, S. 457). Im Nucleus ventralis lateralis liegen die efferenten Neurone für die Weiterleitung der Impulse aus den Extremitäten *lateral*, die für die Weiterleitung der Impulse des Kopfes dagegen *medial*. Diesem Kern angelagert ist der Nucleus ventralis intermedius, der seine Afferenzen aus den Vestibulariskernen erhält. Diese Afferenzen dienen der Koordination der Blickwendung zur gleichen Seite. Die großen sensiblen Bahnen aus dem Rückenmark (Hinterstrangbahnen) enden im Nucleus ventralis postero*lateralis*. Im Nucleus ventralis poster*omedialis* endet das sensible System des Kopfes aus dem N. trigeminus (Lemniscus trigeminalis, s. S. 545). Auch hier bleibt die Somatotopik als wesentliches Ordnungsprinzip erhalten.



G Stabkranz (Radiatio thalami)

Ansicht von lateral auf die linke Hemisphäre. Die Axone des sog. Palliothalamus (= spezifische Thalamuskerne, da ihre Fasern mit jeweils bestimmten Rindenarealen verbunden sind) werden zu Bahnen zusammengefasst, die den Stabkranz (Radiatio thalami) bilden. Der Verlauf der Fasern zeigt, dass der Palliothalamus mit allen Rindenarealen des Cortex verbunden ist. Die Radiatio thalami anterior projiziert in den Frontallappen, die Radiatio thalami centralis zum Parietallappen, die Radiatio thalamica posterior zum Okzipitallappen und die Radiatio thalami inferior zum Temporallappen.

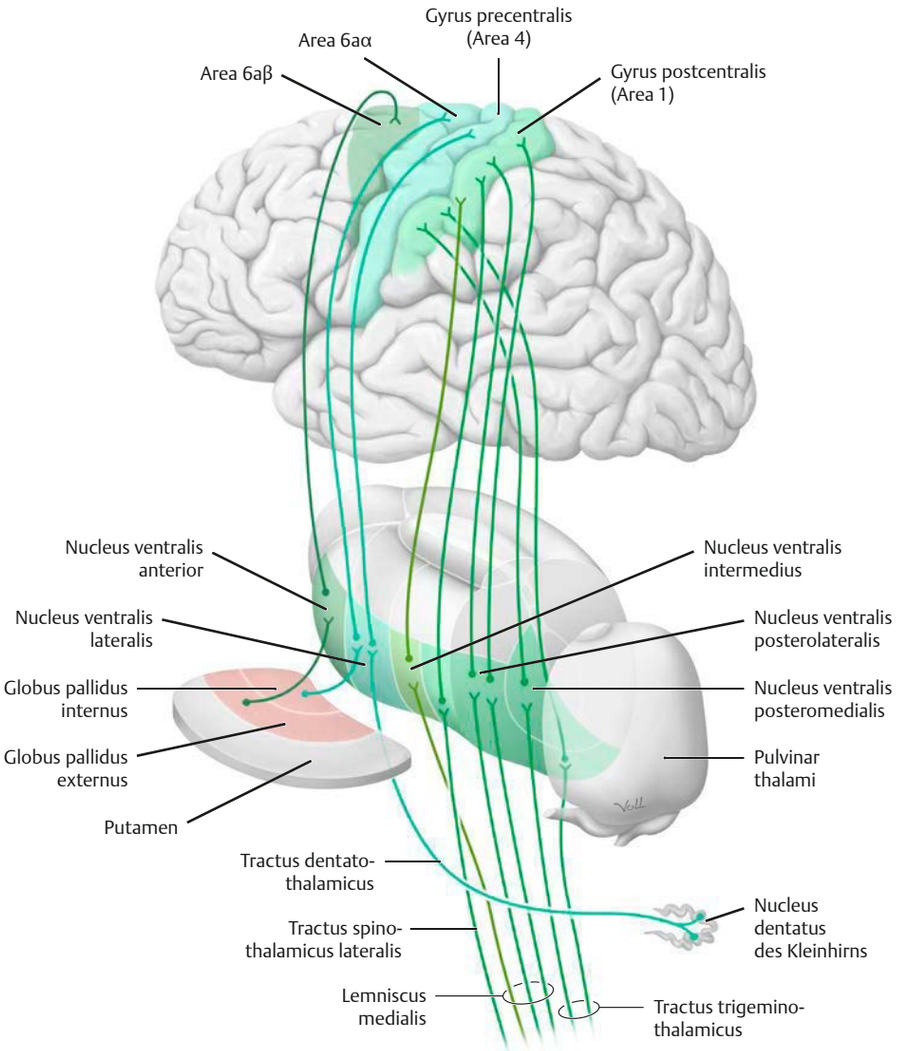
7.5 Thalamus: Projektionen der Thalamuskerne

A Nuclei ventrolaterales thalami: afferente und efferente Verbindungen

Im **Nucleus ventralis posterolateralis** (VPL) sowie im **Nucleus ventralis posteromedialis** (VPM) werden die 3. Neurone der sensiblen Bahnen aus der Körperperipherie umgeschaltet:

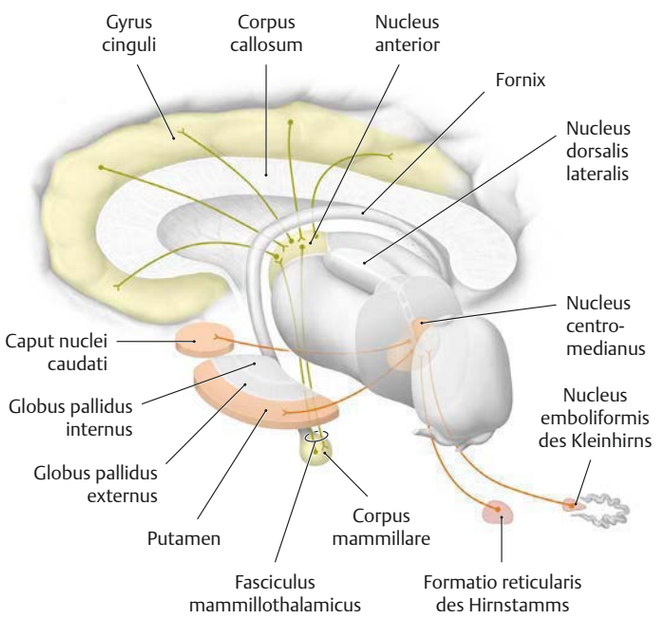
- Im *VPL* endet der *Lemniscus medialis*, der sensible Fasern für Lageempfindung, Vibration, Druck, Diskrimination und Tastsinn aus dem Nucleus gracilis und Nucleus cuneatus enthält.
- Schmerz und Temperaturfasern von Rumpf und Extremitäten gelangen über den *Tractus spinothalamicus lateralis* in lateral gelegene Abschnitte des *VPL*. Nach Umschaltung projizieren die Axone der in diesem Kern gelegenen 3. Neurone in den somatosensorischen Cortex.
- Afferenzen von 2. Neuronen *aus dem Kopfbereich* mit den gleichen Qualitäten werden über das *trigeminale System* (= Tractus trigeminothalamicus) in den *VPM* geleitet. Hier erfolgt analog eine Umschaltung auf das 3. Neuron, das dann in den Gyrus postcentralis (= somatosensorischer Cortex) projiziert.

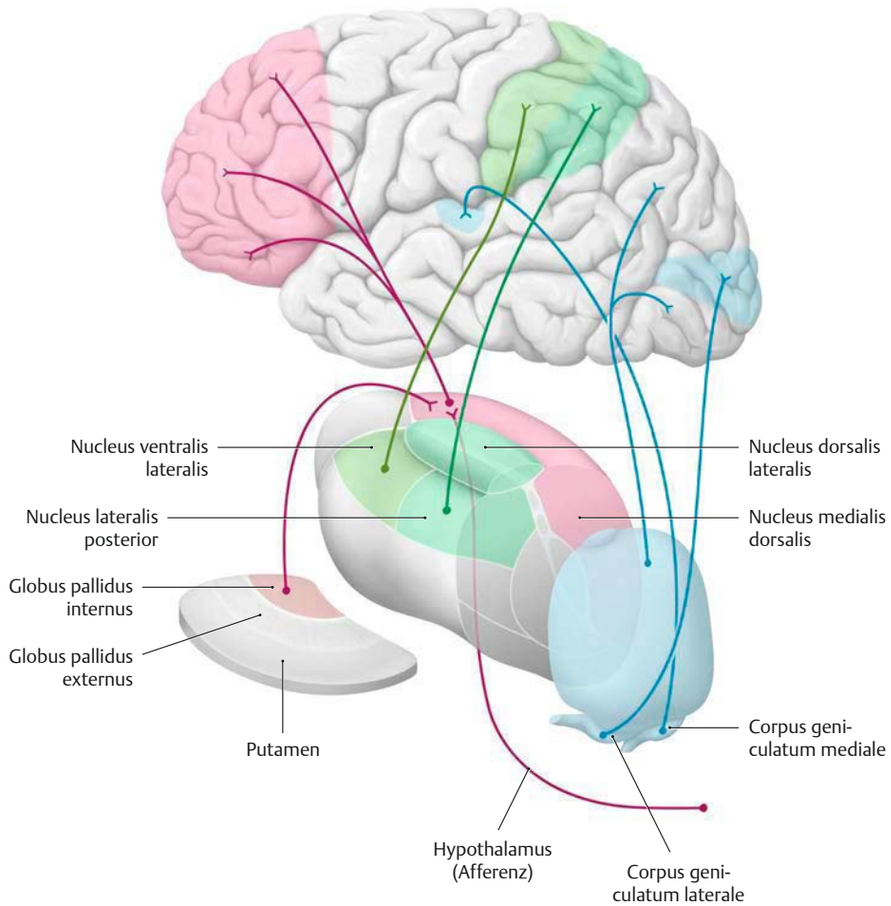
Bei *Schädigung des VPL* kommt es zu kontralateralen Störungen der Oberflächen- und Tiefensensibilität mit Missempfindungen und abnormen Schweregefühlen in den Extremitäten (Läsion des Lemniscus medialis). Da in den basalen Anteilen des Kerngebietes die Schmerzfasern des Tractus spinothalamicus lateralis enden, können bei Läsionen in diesen Gebieten zusätzlich schwere Schmerzsymptome („Thalamusschmerz") auftreten. Der **Nucleus ventralis lateralis** (VL) projiziert in die somatomotorischen Rindenfelder (Areae 6). Diese Kerngebiete bilden eine Rückkopplungsschleife mit den motorischen Rindenfeldern, so dass ihre Ausfälle durch Schädigungen im motorischen System gekennzeichnet sind.



B Nucleus anterior und Nucleus centromedianus: afferente und efferente Verbindungen

Der Nucleus anterior erhält über den Fasciculus mammillothalamicus (Vicq-d'Azyr-Bündel) *Afferenzen* aus dem Corpus mammillare. Der Nucleus anterior unterhält sowohl afferente als auch efferente Verbindungen zum telenzephalen Gyrus cinguli. Der größte unspezifische Thalamuskern ist der Nucleus centromedianus, der zu den intralaminären Kernen gehört. Er erhält *Afferenzen* von Cerebellum, Formatio reticularis und innerem Pallidum. Seine *Efferenzen* ziehen zu Caput nuclei caudati und Putamen. Der Nucleus centromedianus ist ein wichtiger Bestandteil des **a**szendierenden **r**etikulären **a**ktivierenden **S**ystem (ARAS, Arousal [Weck]-System). Das für das Bewusstsein unerlässliche ARAS beginnt in der Formatio reticularis des Hirnstamms und wird in diesem Kern umgeschaltet.





C Nuclei mediales, dorsales und laterales thalami: afferente und efferente Verbindungen

Die **Nuclei mediales thalami** erhalten ihre Afferenzen aus ventralen und intralaminären Thalamuskernen (nicht dargestellt) sowie aus dem Hypothalamus, dem Mesencephalon und dem Pallidum. Ihre Efferenzen ziehen in den Frontallappen und den prämotorischen Cortex. Afferenzen ziehen aus diesen Gebieten zurück in diesen Kern. Die Zerstörung dieser Bahnen führt zum *Stirnhirnsyndrom*, das durch Verlust der Selbstrepräsentation gekennzeichnet ist (kindlich witzelnd, aber zu anderen Zeiten auch misstrauisch, missmutig). Die **dorsale Kerngruppe** wird durch das Polster (Pulvinar thalami) gebildet. Es ist der größte Kernkomplex des Thalamus. Das Pulvinar thalami erhält Afferenzen aus anderen thalamischen Kerngebieten, insbesondere aus den intralaminären Kernen (nicht dargestellt). Seine Efferenzen enden in den Assoziationsgebieten des Parietal- und Okzipitallappens, mit denen reziproke Verbindungen existieren. Das Corpus geniculatum laterale als Teil der Sehbahn projiziert in den visuellen Cortex, das Corpus geniculatum mediale als Teil der Hörbahn in den auditorischen Cortex. Die **laterale Kerngruppe** wird aus dem Nucleus dorsalis lateralis und dem Nucleus lateralis posterior gebildet. Sie stellen den dorsalen Abschnitt der ventrolateralen Kerngruppe dar und erhalten ihre Afferenzen aus anderen Thalamuskernen (daher die Bezeichnung Integrationskerne, s. S. 344). Ihre Efferenzen enden im Parietallappen.

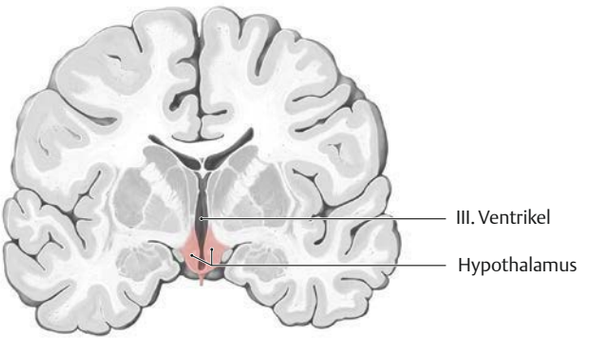
D Synopse einiger klinisch wichtiger Verbindungen der spezifischen Thalamuskerne

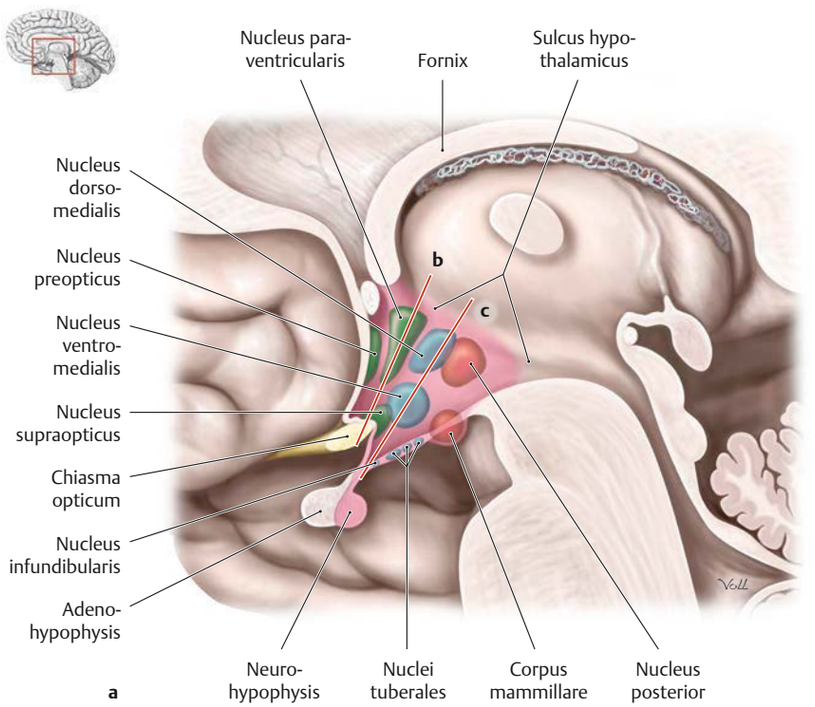
Die spezifischen Thalamuskerne projizieren in die Hirnrinde. Die Herkunft der in ihnen endenden Bahnen, ihre Kerngebiete und Projektionsorte sind hier zusammengefasst.

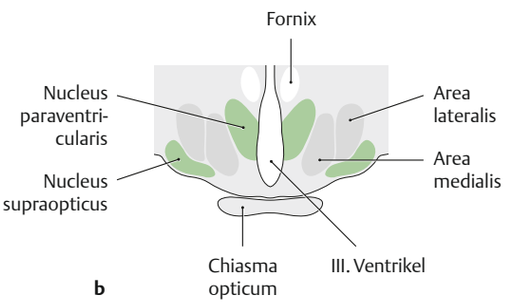
Thalamusafferenz	**Kerngebiet im Thalamus** (Abkürzung)	**Thalamusefferenz**
Corpus mammillare (Fasciculus mammillothalamicus)	Nucleus anterior (NA)	Gyrus cinguli (limbisches System)
Cerebellum, Nucleus ruber	Nucleus ventralis lateralis (VL)	prämotorischer Cortex (Areae 6aα, 6aβ)
Hinterstrang, Seitenstrang (Somatosensorik, Extremitäten und Rumpf)	Nucleus ventralis posterolateralis (VPL)	Gyrus postcentralis (sensorischer Cortex) = somatosensorischer Cortex (s. **A**)
Tractus trigeminothalamicus (Somatosensorik, Kopf)	Nucleus ventralis posteromedialis (VPM)	Gyrus postcentralis (sensorischer Cortex) = somatosensorischer Cortex (s. **A**)
Brachium colliculi inferioris (Teil der Hörbahn)	Nucleus (Corpus) geniculatus medialis (CGM)	Gyri temporales transversi (auditorischer Cortex)
Tractus opticus (Teil der Sehbahn)	Nucleus (Corpus) geniculatus lateralis (CGL)	Area striata (Sehrinde)

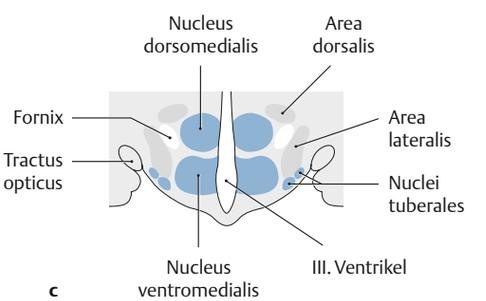
7.6 Hypothalamus

A Lage des Hypothalamus
Frontalschnitt. Der Hypothalamus ist die unterhalb (= hypo) des Thalamus liegende unterste Etage des Diencephalon. Er bildet den von außen sichtbaren Teil des Diencephalon (s. **D**, S. 341). Er liegt auf beiden Seiten dem III. Ventrikel an. Seine räumliche Ausdehnung sieht man deshalb am besten auf einem Mediansagittalschnitt, der den III. Ventrikel symmetrisch teilt (s. **Ba**).





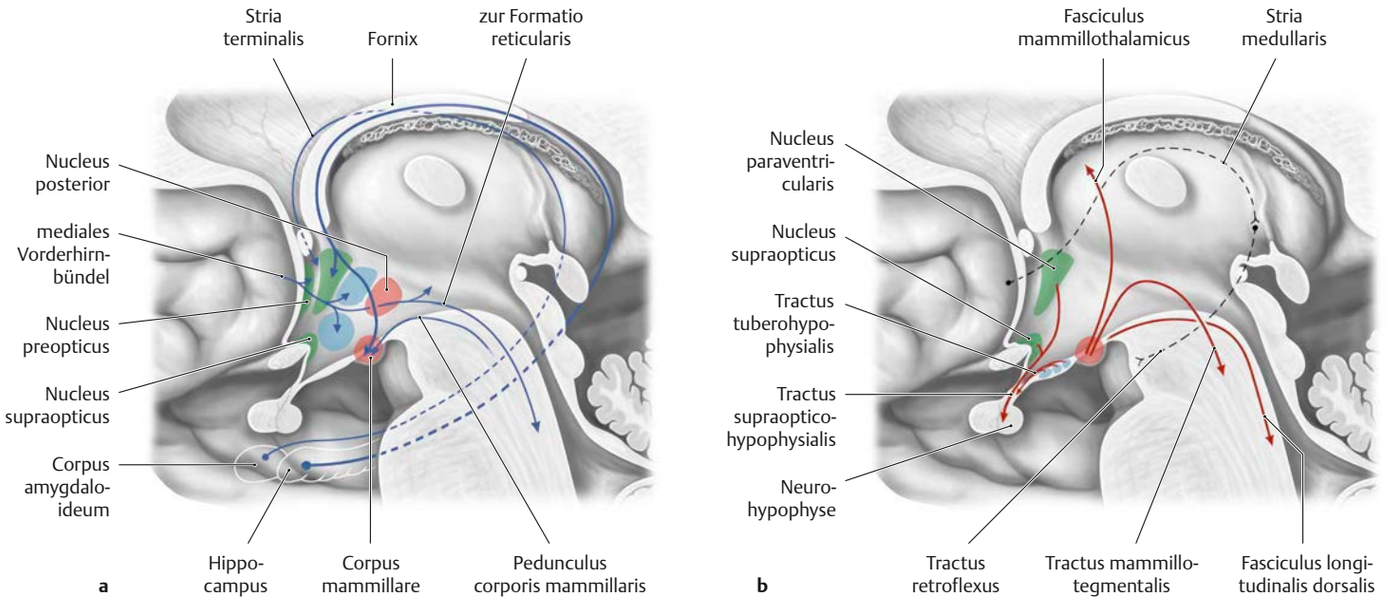




B Kerngebiete im rechten Hypothalamus
a Mediansagittalschnitt; Ansicht der rechten Hirnhälfte von medial. **b** u. **c** Frontalschnitte. Der Hypothalamus ist ein kleines, ventral des Thalamus liegendes Kerngebiet, von dem es durch den Sulcus hypothalamicus abgegrenzt ist. Trotz seiner geringen Größe stellt der Hypothalamus das übergeordnete Zentrum für alle vegetativen (= autonomen) Funktionen im Körper dar. In der Terminologia anatomica sind über 30 Kerngebiete bezeichnet, die in der Seitenwand sowie im Boden des III. Ventrikels liegen. Von diesen sind hier nur einige größere, klinisch wichtige Kerngebiete aufgeführt. Von oral nach kaudal unterscheidet man drei Kerngruppen mit folgenden Funktionen (vereinfacht):

- die vordere (anteriore, rostrale) Kerngruppe (grün) synthetisiert die in der Neurohypophyse freigesetzten Hormone und besteht aus:
  – Nucleus preopticus,
  – Nucleus paraventricularis und
  – Nucleus supraopticus;
- die mittlere (tuberale) Kerngruppe (blau) steuert die Hormonfreisetzung in der Adenohypophyse und besteht aus:
  – Nucleus dorsomedialis,
  – Nucleus ventromedialis und
  – Nuclei tuberales;
- die hintere (mammilläre, posteriore) Kerngruppe (rot) aktiviert bei Stimulierung den Sympathikus; sie wird deshalb auch als dynamogene Zone bezeichnet und besteht aus:
  – Nucleus posterior sowie
  – den in den Corpora mammillaria gelegenen Nuclei mammillares.

Im Frontalschnitt (**c**) erkennt man die zusätzliche Unterteilung des Hypothalamus durch die Fornixbahn. Sie unterteilt den Hypothalamus in einen lateralen und medialen Abschnitt. Die oben beschriebenen drei Kerngruppen werden dem *medialen* Abschnitt zugeordnet, im *lateralen* Abschnitt ist die Unterteilung in definierte Kerngruppen nicht möglich (s. z. B. Area lateralis statt eines Kerns; zum Verlauf der Fornixbahn s. S. 331). Eine beidseitige Schädigung der Corpora mammillaria mit ihren Kernen findet man beim *Korsakow-Syndrom*, das häufig mit chronischem Alkoholismus assoziiert ist (Ursache: Vitamin-B_1-Mangel). Die hierbei betroffene Gedächtnisstörung betrifft hauptsächlich das Kurzzeitgedächtnis, die Gedächtnislücken können dabei durch erfundene Begebenheiten ausgefüllt werden. Neuropathologisch findet man Einblutungen in die Corpora mammillaria, die bei der Hirnsektion in solchen Fällen angeschnitten werden: *„Säuferschnitt“* durch die Corpora mammillaria.



C Wichtige afferente und efferente Verbindungen des Hypothalamus

Mediansagittalschnitt; Ansicht der rechten Hirnhälfte von medial. Da der Hypothalamus alle vegetativen Funktionen des Körpers koordiniert, ist er mit vielen Hirnregionen afferent und efferent verbunden.

Folgende **afferente Verbindungen** (**a**) sind wichtig:

- Über die Fornixbahn ziehen Afferenzen aus dem Hippocampus in den Hypothalamus (wichtige Faserbahn des limbischen Systems!).
- Über das mediale Vorderhirnbündel gelangen Afferenzen aus den olfaktorischen Arealen zu den präoptischen Kernen.
- Über die Striae terminales ziehen Afferenzen von den Amygdala zum Hypothalamus (affektiv gefärbte Triebregungen).
- Über den Pedunculus corporis mammillaris gelangen viszerale Afferenzen und solche aus erogenen Zonen (Brustwarze, Genitalien) zum Hypothalamus.

Folgende **efferente Verbindungen** (**b**) sind wichtig:

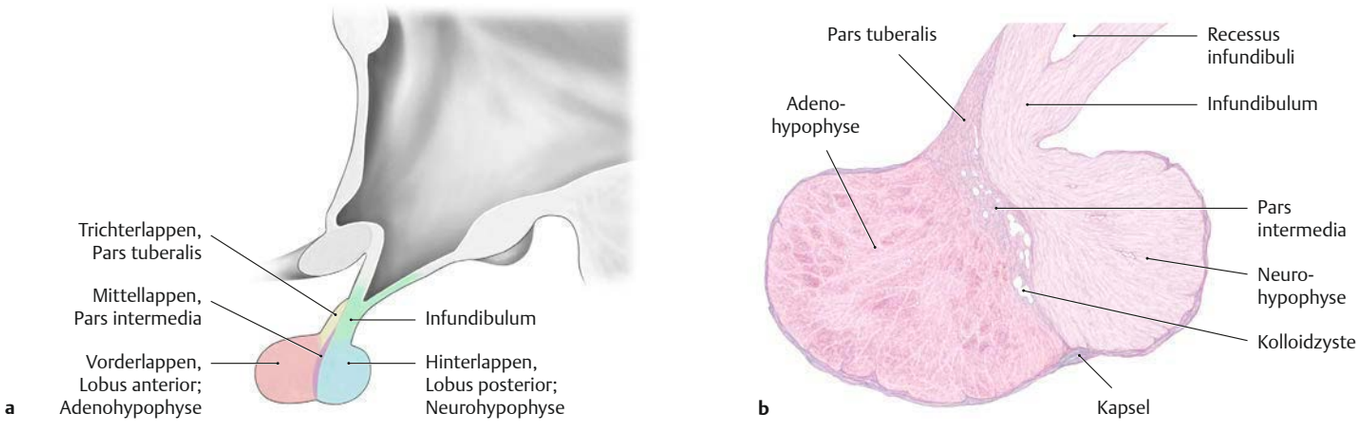
- Der Fasciculus longitudinalis dorsalis zieht zum Hirnstamm und erreicht über mehrere Umschaltungen die parasympathischen Kerngebiete im Hirnstamm.
- Der Tractus mammillotegmentalis sendet Efferenzen zum Tegmentum des Mittelhirns, die zur Formatio reticularis weiterziehen. Sie dienen der Vermittlung vegetativer Information zwischen Hypothalamus und Hirnnervenkernen und dem Spinalmark.
- Der Fasciculus mammillothalamicus (Vicq-d'Azyr-Bündel) verbindet den Hypothalamus mit dem Nucleus anterior thalami, der seinerseits mit dem Gyrus cinguli in Verbindung steht. Sie sind Teile des limbischen Systems (s. S. 492).
- Der Tractus supraopticohypophysialis und der Tractus tuberohypophysialis stellen efferente Bahnen zur Hypophyse dar (s. S. 350 f).

D Funktionen des Hypothalamus

Der Hypothalamus steuert als übergeordnetes Koordinationszentrum das vegetative Nervensystem. Bestimmte Funktionen können bestimmten Regionen bzw. Kerngebieten im Hypothalamus zugeordnet werden. Von diesen Zusammenhängen soll die Tabelle einen Eindruck vermitteln. Nicht alle dort erwähnten Regionen und Kerngebiete sind in den Abbildungen hier dargestellt.

Region bzw. Kerngebiet	Funktion
vordere präoptische Region	Konstanthaltung der Körpertemperatur (bei Schädigung: zentrale Hyperthermie)
hintere Region	Reaktion auf Temperaturänderung (z. B. Schwitzen; bei Schädigung: Hypothermie)
mittelvordere und hintere Region	bei Stimulation: Anregung Sympathikus (dynamogene Zone)
paraventrikuläre und vordere Region	bei Stimulation: Anregung Parasympathikus
supraoptische und paraventrikuläre Kerne	Regulation des Wasserhaushalts (bei Schädigung: Diabetes insipidus; aber auch fehlende Durstantwort mit Hyponatriämie als Folge)
vordere Kerne • medialer Abschnitt • lateraler Abschnitt	Regulation der Nahrungsaufnahme • bei Läsion: Übergewicht • bei Läsion: Appetitlosigkeit und Abmagerung

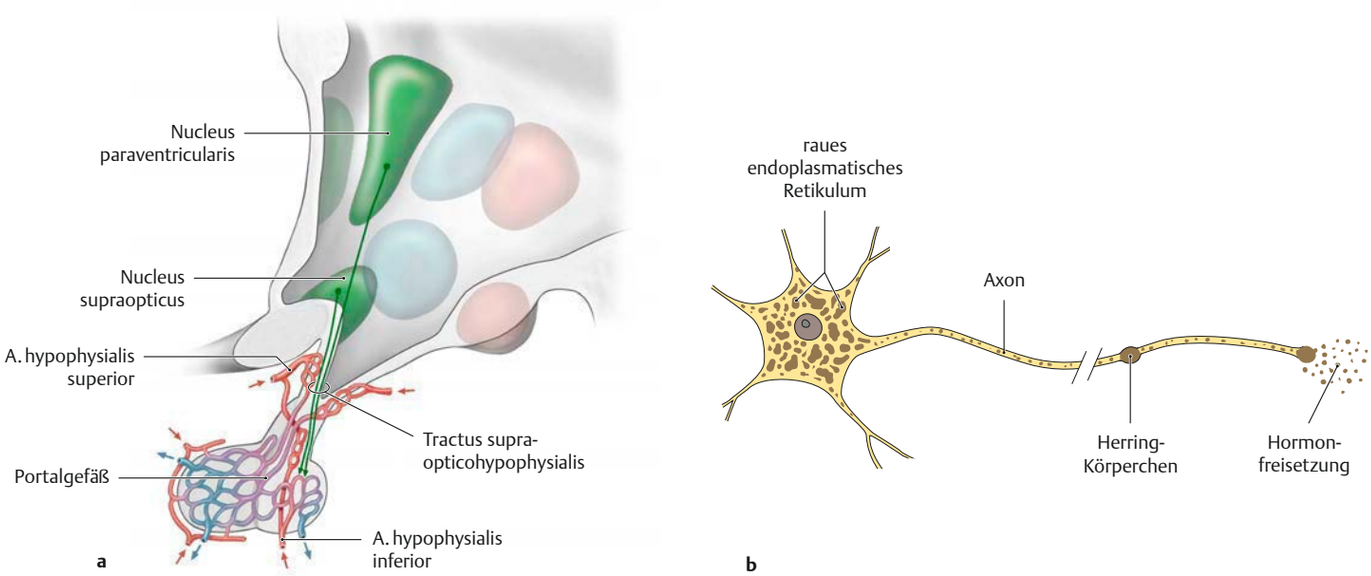
7.7 Hirnanhangsdrüse (Hypophyse, Glandula pituitaria)



A Gliederung der Hypophyse
Mediansagittalschnitte: **a** schematische; **b** histologische Darstellung.
Die erbsengroße Hypophyse liegt in der Sella turcica über der Keilbeinhöhle (operativer Zugangsweg bei Tumoren) und ist von einer Kapsel aus Bindegewebe umgeben. Vereinfacht wird sie unterteilt in

- einen Vorderlappen (= Lobus anterior = Adenohypophyse = hormon-*produzierender* Teil der Hypophyse, s. auch **D** u. **E**) und
- einen Hinterlappen (= Lobus posterior = Neurohypophyse = hormon-*sezernierender* Teil der Hypophyse).

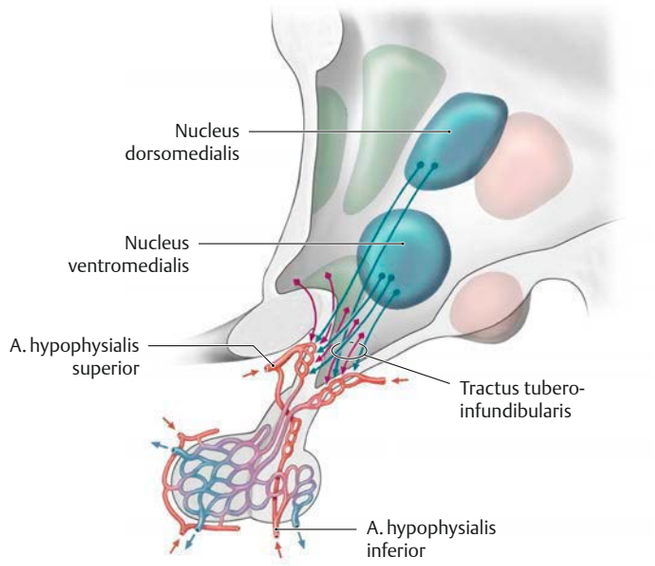
Während die Neurohypophyse eine Ausstülpung des Diencephalon ist, stammt die Adenohypophyse vom Epithel des Rachendachs ab. Sie legt sich während der Entwicklung an die Neurohypophyse an. Über den Hypophysenstiel (Infundibulum) sind dann beide Hypophysenteile direkt mit dem Hypothalamus verbunden (Hirnanhangsdrüse!), in dem die Perikarya der neurosekretorischen Neurone liegen.



B Anbindung der Hypothalamuskerne an die Neurohypophyse
a Hypothalamus-(Neuro)hypophysen-Achse; **b** neurosekretorisches Neuron im Hypothalamuskern.
Die hypophysären Hormone werden nicht in der *Neurohypophyse* synthetisiert, sondern in Neuronen, die in den Hypothalamuskernen Nucleus paraventricularis und Nucleus supraopticus liegen. Sie gelangen dann über Axone (Tractus supraopticohypophysialis) in die Neurohypophyse, wo sie bei Bedarf freigesetzt werden. Die Kommunikation zwischen den Kerngebieten im Hypothalamus (Nuclei paraventricularis und supraopticus) und der *Neurohypophyse* erfolgt *über die axonale Freisetzung* von zwei Peptidhormonen *(= Neurosekretion)*:

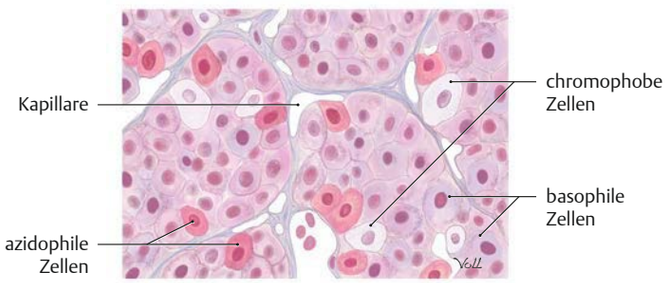
- **Oxytocin** aus den Neuronen des Nucleus paraventricularis und
- **Antidiuretisches Hormon** (ADH) bzw. **Vasopressin** aus den Neuronen des Nucleus supraopticus, die Axone verlaufen im Tractus supraopticohypophysialis.

Beide Kerne senden ihre Axone durch den Hypophysenstiel zur Neurohypophyse. Die genannten Peptidhormone werden im Perikaryon der neurosekretorischen Neurone in Vesikel (Herring-Körperchen) verpackt und durch den anterograden axoplasmatischen Transport in die Neurohypophyse befördert. Der Inhalt der Vesikel wird bei Stimulation durch Exozytose gefäßnah freigesetzt.



C Anbindung der Hypothalamuskerne an die Adenohypophyse und hypophysärer Portalkreislauf

Die Kommunikation zwischen Hypothalamus und Adenophyse erfolgt durch Steuerhormone, die *über den Blutweg* transportiert werden. Dazu bilden die Aa. hypophysiales *superiores* beider Körperhälften im Infundibulum ein Gefäßnetz, an dem die Axone von Neuronen aus hypothalamischen Kerngebieten enden. Diese Axone sezernieren Steuerhormone (s. u.) in die Gefäßschlingen. Das mit Hormonen angereicherte Blut wird dann in kleinen Venen gesammelt und in Form eines 2. venösen Kreislaufs (in Anlehnung an den 2. venösen Kreislauf an der Leber als hypophysärer Portalkreislauf bezeichnet) an die Adenohypophyse weitergeleitet. Die *Adenohypophyse* hat also zusätzlichen venösen Zustrom, dessen Blut mit Steuerhormonen angereichert ist. Dieser Kreislauf versorgt die Hypophyse zu etwa 80 % mit Blut. Die restlichen 20 % stammen aus kleinen Ästen der A. hypophysialis inferior. Die Steuerhormone beeinflussen an ihren nachgeschalteten Effektorzellen die Freisetzung der Hormone der Adenohyphyse. Es existieren *zwei gegensätzliche Arten* von Steuerhormonen: „releasing hormones" oder *Liberine* lösen die Hormonausschüttung in den Zellen der Adenohypophyse aus; „releasing inhibiting hormones" oder *Statine* hemmen die Hormonausschüttung in diesen Zellen.



D Histologie der Adenohypophyse

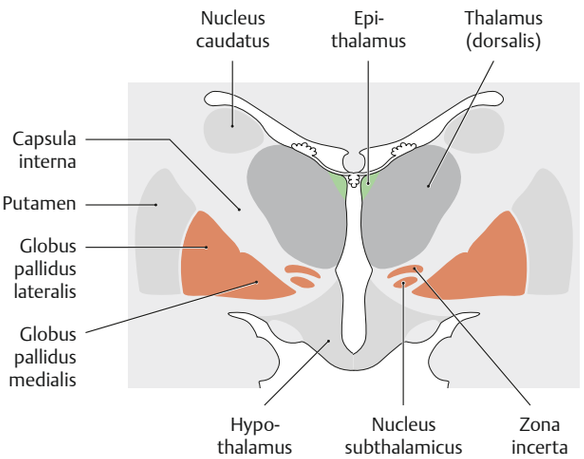
Mit klassischen histochemischen Methoden können drei Zellarten unterschieden werden: azidophile Zellen, basophile Zellen und wenig anfärbbare, chromophobe Zellen. Letztere sind Stammzellen und/oder Zellen, die ihre Hormone bereits abgegeben haben. Aus diesem Grund reagieren sie in der Immunhistochemie für den spezifischen Nachweis der Peptidhormone nicht und sind deshalb auch nicht in **E** aufgeführt. Die azidophilen (a) Zellen sezernieren Hormone, die direkt an Zielzellen wirken (nicht glandotrope Hormone), während die basophilen (b) Zellen nachgeordnete endokrine Zellen stimulieren (glandotrope Hormone).

E Hormone der Adenohypophyse

Bezeichnung der Hormone und deren Synonyme	Zellbezeichnung azidophil (a) oder basophil (b)	Wirkung des Hormons
Wachstumshormon somatotropes Hormon **Somatotropin – STH** growth hormone – GH	somatotrop (a)	stimuliert das Längenwachstum; Einfluss auf Kohlenhydrat- und Lipidstoffwechsel
mammotropes Hormon luteotropes Hormon **Prolaktin – PRL oder LTH**	mammotrop (a)	stimuliert die Proliferation des Brustdrüsengewebes und die Milchsekretion
Follikel-stimulierendes Hormon **Follitropin – FSH**	gonadotrop (b)	Wirkung auf die Gonaden; stimuliert die Follikelreifung und die Spermatogenese; stimuliert die Proliferation der Granulosazellen, die Östrogenbildung und die Expression von Lutropinrezeptoren
luteinisierendes Hormon **Lutropin – LH** oder interstitielle Zellen stimulierendes Hormon **– ICSH**	gonadotrop (b)	löst die Ovulation aus, stimuliert die Proliferation von Follikelepithelzellen und die Synthese von Progesteron; stimuliert die Testosteronbildung in den interstitiellen Zellen (Leydig-Zellen) des Hodens; allgemeine anabole Wirkung
Thyroidea-stimulierendes Hormon (thyrotropes Hormon) **Thyrotropin – TSH**	thyrotrop (b)	stimuliert die Aktivität der Schilddrüse (Steigerung der O_2-Aufnahme und der Eiweißsynthese, beeinflusst den Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel)
adrenokortikotropes Hormon **Corticotropin – ACTH**	adrenotrop (b)	stimuliert die Hormonbildung in der Nebennierenrinde, beeinflusst den Wasser- und Elektrolythaushalt und die Kohlenhydratbildung in der Leber
α-/β-**Melanotropin – MSH**	melanotrop (b)	Melaninbildung, Pigmentierung der Haut, Schutz vor UV-Strahlung*

* Beim Menschen kommt es in verschiedenen Gehirnregionen als Neurotransmitter von.

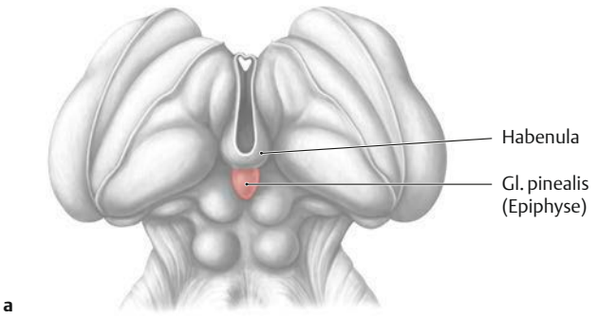
7.8 Epi- und Subthalamus



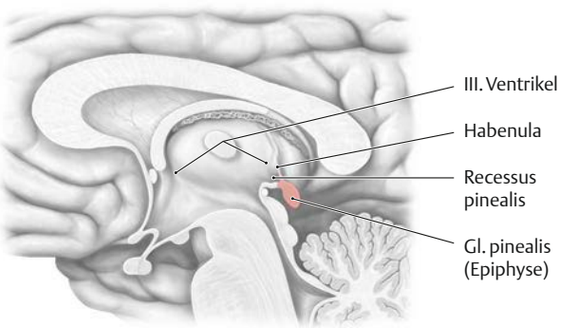
A Lage des Epi- und Subthalamus
Frontalschnitt. In dieser Schnittebene wird die Bezeichnung Epithalamus deutlich: Er sitzt dem Thalamus auf (epi = auf-, daraufsitzend).
Folgende Strukturen zählen zum **Epithalamus** (grün):

- Gl. pinealis (Epiphyse oder Zirbeldrüse), s. **B**,
- Habenulae mit Nuclei habenularum, s. **D**,
- Commissura habenularum, s. **C**,
- Stria medullaris thalami, s. **D** und
- Commissura epithalamica (posterior), s. **Ca**.

Das Gebiet des **Subthalamus** (orange), früher auch als Thalamus ventralis bezeichnet, liegt ursprünglich direkt unter dem Thalamus, wird jedoch im Laufe der Entwicklung größtenteils durch die durchziehenden Fasern der Capsula interna nach lateral ins Telencephalon verdrängt: *Globus pallidus* (s. **D**, S. 339). Der Subthalamus enthält Kerne des medialen motorischen Systems (motorische Zone des Diencephalon) und hat Verbindungen zu den motorischen Kernen der Mittelhirnhaube, als deren kraniale Verlängerung er angesehen wird.

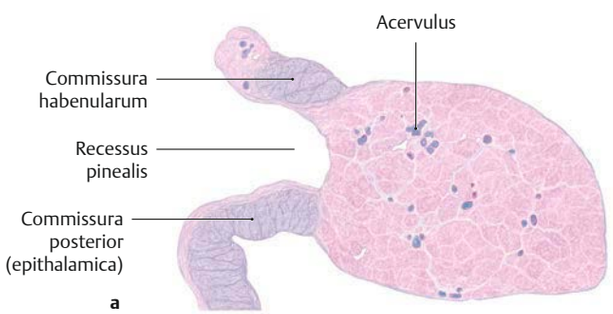


a

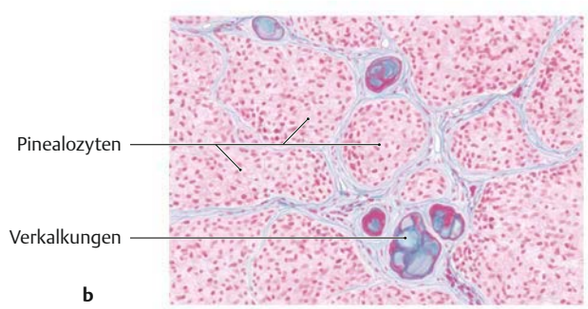


b

B Lage der Zirbeldrüse (Glandula pinealis)
a Ansicht von dorsal; **b** Mediansagittalschnitt, Ansicht auf die rechte Hemisphäre von medial.
Von dorsal betrachtet sieht die Zirbeldrüse (Gl. pinealis) wie ein Tannenzapfen aus. Sie ist durch die Habenulae, in denen afferente und efferente Bahnen ziehen, mit dem Diencephalon verbunden. Im Mediansagittalschnitt ist ihre topografische Beziehung zum III. Ventrikel besonders gut zu erkennen (Recessus pinealis). Bei Reptilien ist das Schädeldach über der Zirbeldrüse verdünnt, so dass sie Lichtreize empfangen kann, was beim Menschen nicht der Fall ist. Beim Menschen gelangen statt dessen retinale Afferenzen über Zwischenstationen im Hypothalamus und sympathischen Halsmark zur Zirbeldrüse, so dass sie über diese Verbindungen in die Regulation des Tag-Nacht-Rhythmus eingeschaltet ist.



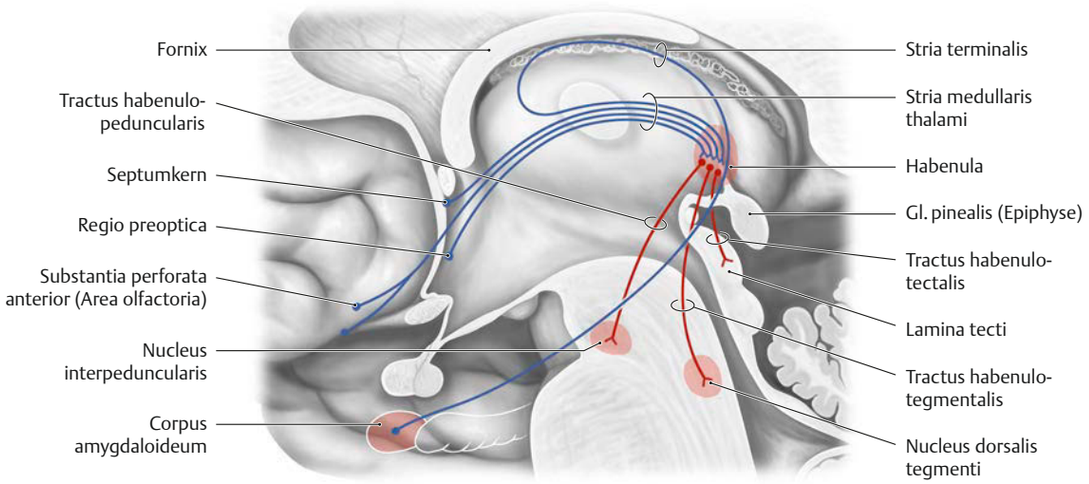
a



b

C Feinbau der Zirbeldrüse
a Mediansagittalschnitt, histologische Übersichtsvergrößerung; **b** Detailvergrößerung.

a In der Übersichtsvergrößerung erkennt man am oralen Ende der Zirbeldrüse die Commissura habenularum, kaudal davon liegt die Commissura posterior (epithalamica). Zwischen beiden Kommissuren liegt der mit Liquor gefüllte Recessus pinealis des III. Ventrikels. Darüber hinaus sind Verkalkungen (Acervulus) zu erkennen, die im Röntgenbild sichtbar sein können und keinen Krankheitswert besitzen.
b Im histologischen Präparat erkennt man die spezifischen Zellen der Zirbeldrüse, die *Pinealozyten*, die in ein bindegewebiges Grundgerüst eingebaut und von Astrozyten umgeben sind. Die Pinealozyten produzieren das *Melatonin*, das bei der Regulation des Tag-Nacht-Rhythmus eine funktionelle Rolle spielt. Es wird z. B. zur Verminderung der Effekte des Jetlags eingenommen. Bei Ausfall der Zirbeldrüse im Kindesalter kann es zur verfrühten Pubertät kommen, über die zugrunde liegenden Mechanismen wird noch spekuliert.

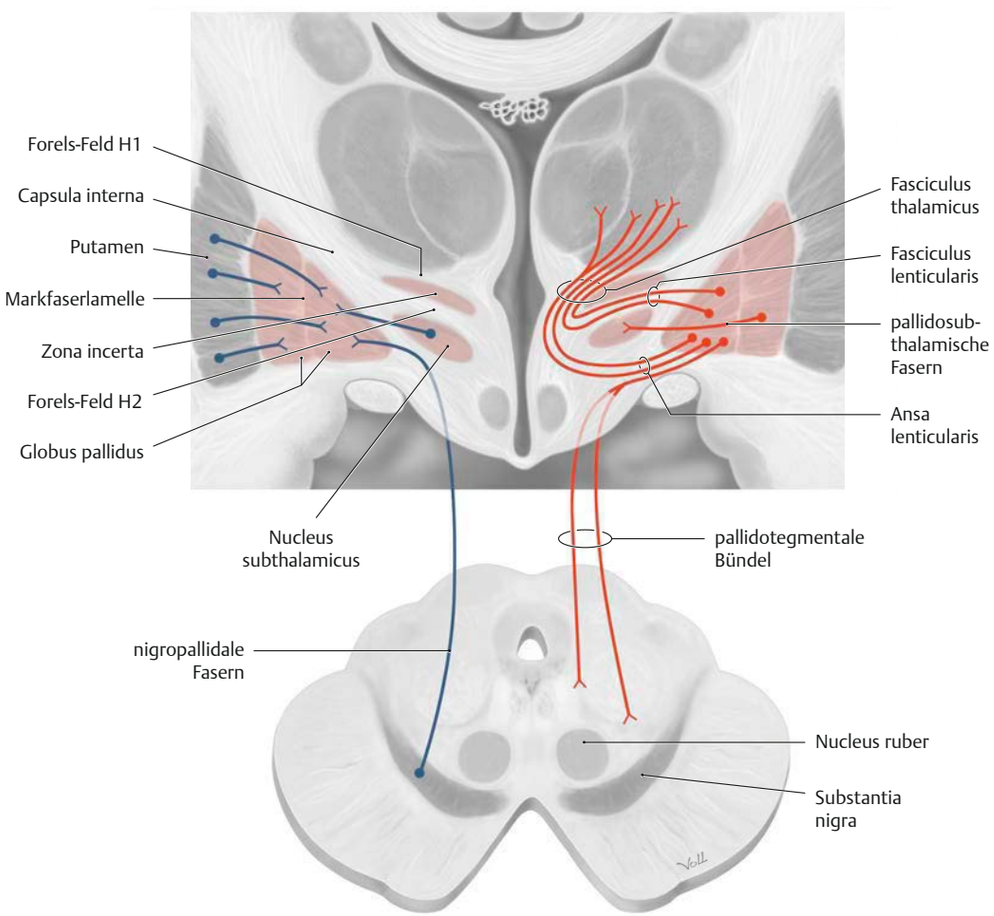


D Habenulakerne und ihre Faserverbindungen
Mediansagittalschnitt; Ansicht auf die rechte Hemisphäre von medial. Die Habenulae (Zügel) bilden mit ihren Kerngebieten eine Schaltstation, in der afferente olfaktorische Impulse umgeschaltet werden. Nach Umschaltung in den Habenulakernen ziehen ihre Efferenzen zu den salivatorischen und motorischen (Kauen!) Kernen des Hirnstamms weiter.

Afferenzen (blau): Über die Stria medullaris thalami gelangen die afferenten Impulse aus Substantia perforata anterior (Area olfactoria), Septumkernen und Regio preoptica zu den Habenulakernen, die zusätzlich über die Stria terminalis Impulse aus dem Corpus amygdaloideum empfangen.

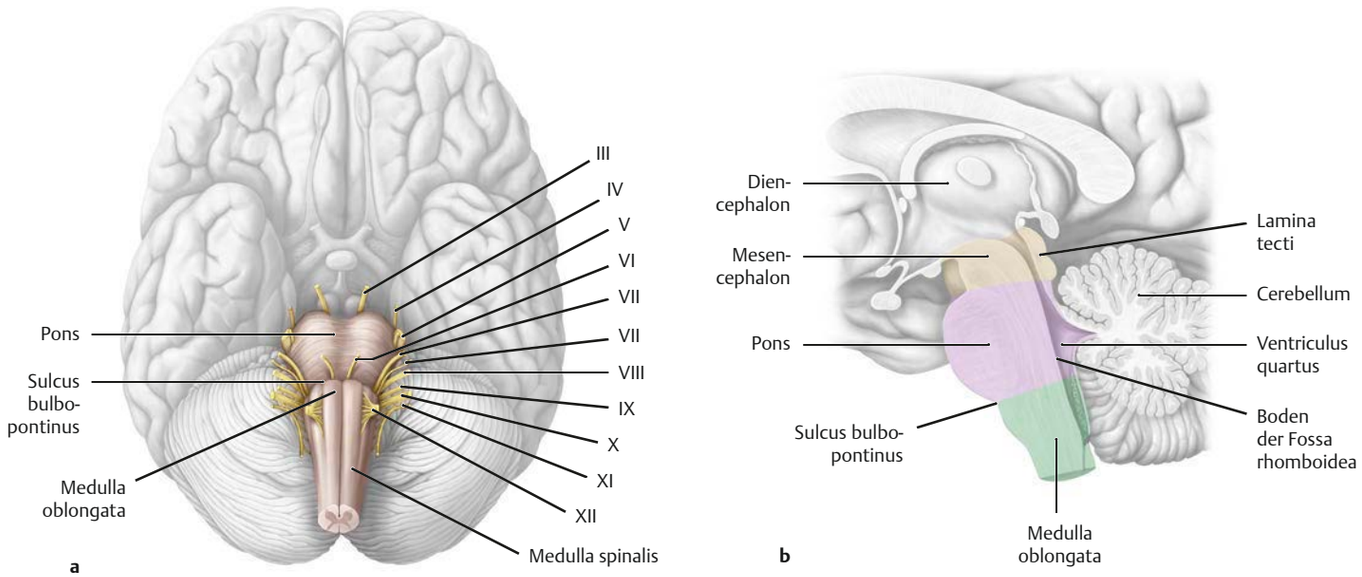
Efferenzen (rot): Nach Umschaltung in den Habenulakernen ziehen ihre Efferenzen über drei Tractus ins Mittelhirn:

- Tractus habenulotectalis: endet in der oberen Zweihügelplatte (Lamina tecti), versorgt sie mit olfaktorischen Impulsen;
- Tractus habenulotegmentalis: endet im Nucleus dorsalis tegmenti, hier Anschluss an das dorsale Längsbündel mit Verbindungen zu den salivatorischen und motorischen Hirnnervenkernen (Geruch von Speisen führt zur Speichel- und Magensaftsekretion: Pawlov!);
- Tractus habenulopeduncularis: endet im Nucleus interpeduncularis, der anschließend mit der Formatio reticularis in Verbindung tritt.



E Kerne des Subthalamus mit ihren Afferenzen (blau) und Efferenzen (rot)
Hauptkern des Subthalamus ist der durch die Capsula interna nach lateral in das Telencephalon verlagerte *Globus pallidus*, der durch eine Markfaserlamelle in ein inneres und äußeres Glied unterteilt wird (Globus pallidus medialis und lateralis). Medial verbleiben als kleine Kerngebiete die Zona incerta und der Nucleus subthalamicus (Corpus Luysi). Nucleus subthalamicus, Substantia nigra und Putamen senden Afferenzen in den Globus pallidus; der Globus pallidus sendet seinerseits Efferenzen zu diesen Gebieten und über die als Fasciculus lenticularis bezeichnete Bahn in den Thalamus. Diese Kerngebiete gehören funktionell zu den Basalkernen. Wenn sie geschädigt sind, führt dies zu einer Bewegungsstörung (kontralateraler Hemiballismus, zur funktionellen Rolle des Subthalamus s. S. 458 f).

8.1 Gliederung und äußere Struktur



A Hirnstamm (Truncus encephali)
a Sicht auf das intakte Gehirn von unten; **b** Mediansagittalschnitt, Ansicht von links.

Der Hirnstamm ist im Vergleich zum Großhirn so klein, dass seine drei Abschnitte erst im Mediansagittalschnitt gut zu erkennen sind (**b**). Charakteristisch für den Hirnstamm ist:

- einziger Hirnabschnitt, der Verbindung zum PNS hat (über die Hirnnerven III–XII);
- nur am Hirnstamm sind innerer (über den IV. Ventrikel) und äußerer Liquorraum (Spatium subarachnoideum) miteinander verbunden (s. **A**, S. 312 u. **C**, S. 315);
- der Hirnstamm hat Verbindung zum Rückenmark (= 2. Abschnitt des ZNS);
- nur über den Hirnstamm ist das Kleinhirn, das ihm dorsal aufsitzt, mit den anderen Abschnitten des ZNS verbunden (s. **A** u. **B**, S. 370).

Die *rein topografische* Abgrenzung der drei Hirnstammabschnitte von kranial nach kaudal ist durch seine äußere, makroskopische Gliederung bedingt. Das Mesencephalon beginnt unmittelbar am Diencephalon und reicht bis zur kranialen Querfurche des Pons, der sich an seinem kaudalen Ende durch den Sulcus bulbopontinus von der Medulla oblongata abgrenzt. Diese reicht bis zum Austritt des 1. Spinalnervs, danach beginnt das Rückenmark. Diese äußere Gliederung des Hirnstammes wird in seinem Inneren nicht nachvollzogen. Hier liegen u. a. die Kernsäulen von Hirnnerven, die entwicklungsgeschichtlich nach einem speziellen Muster angelegt sind, das für den ganzen Hirnstamm gilt (s. S. 114). Ebenfalls rein topografisch ist die Unterteilung jedes Hirnstammabschnitts in vier Bauanteile (s. **B**). Angesichts der vielen Funktionen des Hirnstamms lässt sich seine Binnenstruktur grob einteilen in:

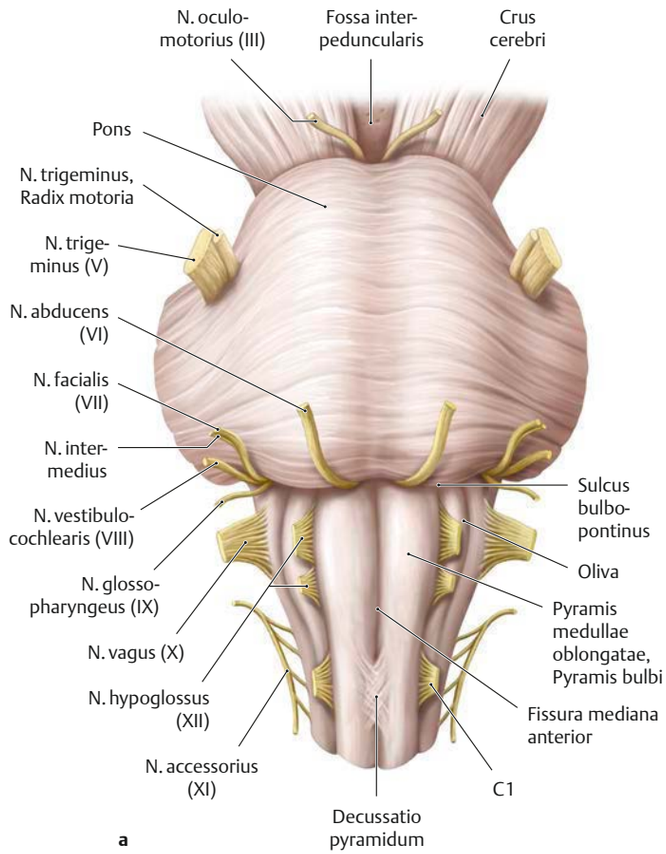
- Kerngebiete (Ansammlung von Perikarien von Neuronen), in denen Verschaltungen stattfinden – grob unterteilt in Kerne, die sich Hirnnerven zuordnen lassen und anderen, die sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktionen nicht zusammenfassen lassen (z. B. Nucleus ruber und Substantia nigra, beide motorisches System, sowie die Formatio reticularis, die vegetative Funktionen hat).
- Da der Hirnstamm zwischen Großhirn und Rückenmark liegt, ziehen durch ihn Axone, die zu Bahnen zusammengefasst werden. Durch diese Bahnen erfolgt die gesamte Kommunikation des Gehirns mit dem Rückenmark, damit mit dem Stamm und den Extremitäten. Je nach Informationsfluss unterscheidet man aufsteigende (= afferente, zum Großhirn hin) und absteigende (= efferente, vom Großhirn wegführende) Bahnen.

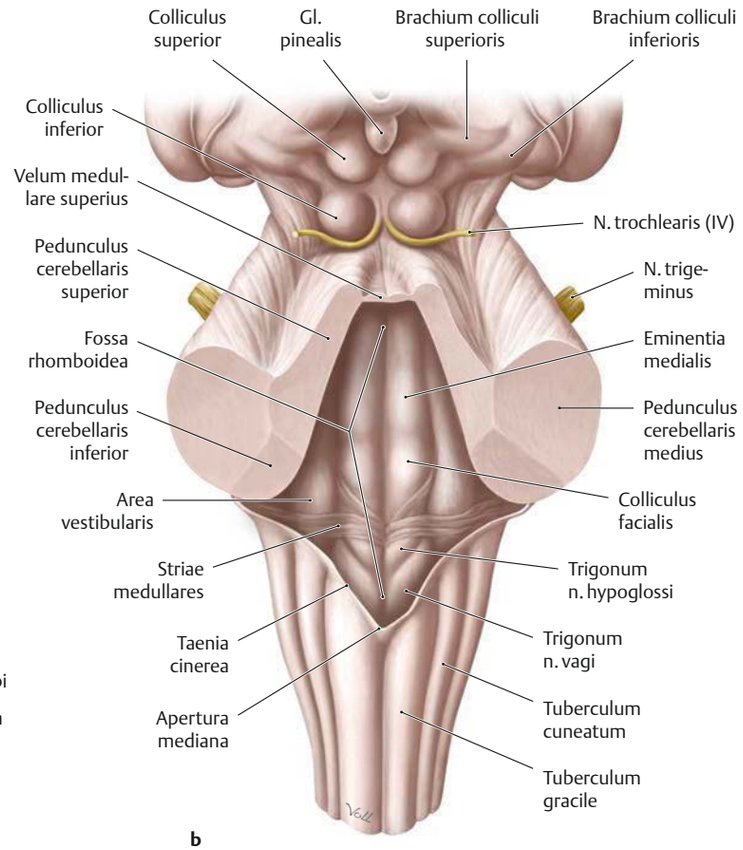
Beachte: Da im Hirnstamm so viele Kerne und Bahnen auf engstem Raum zusammen liegen, führen selbst kleine Läsionen, z. B. bei einer Einblutung („Schlaganfall", Hirnstamminfarkt) klinisch zu gravierenden Ausfällen.

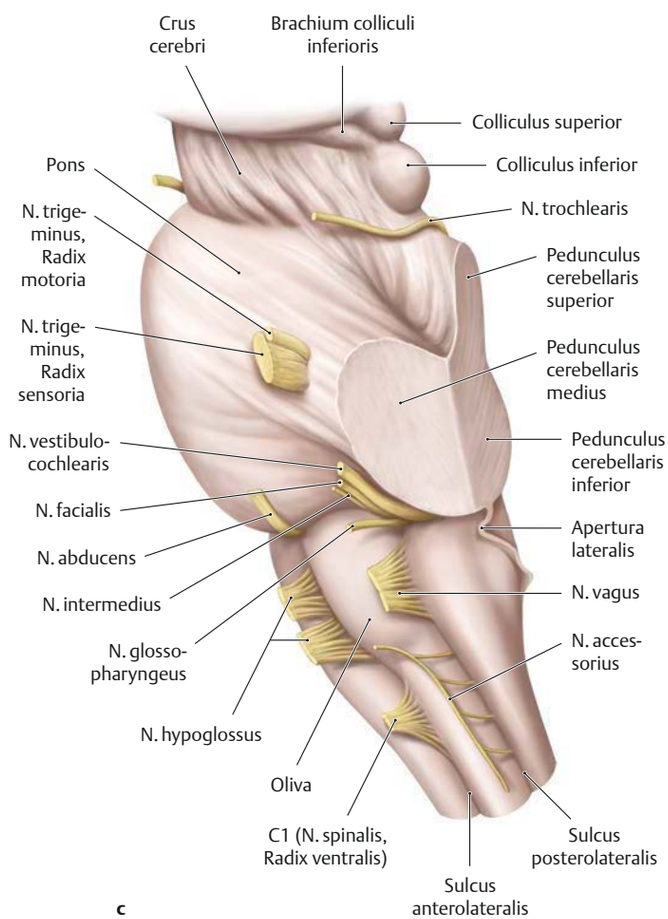
B Übersicht Hirnstamm

Topografische Gliederung
- *von kranial nach kaudal:*
  - Mesencephalon (Mittelhirn),
  - Pons (Brücke),
  - Medulla oblongata (verlängertes Mark);
- *von ventral nach dorsal:*
  - Basis (Mesencephalon: Crura cerebri; Pons: Pars basilaris pontis; Medulla oblongata: Pyramides),
  - Tegmentum (Haube; in allen drei Abschnitten so bezeichnet),
  - Abschnitt des inneren Liquorraums (oberer Teil: Aquaeductus mesencephali, IV. Ventrikel, Zentralkanal),
  - Tectum mesencephali (Dach; gibt es nur im Bereich des Mesencephalon, Vierhügelplatte = Lamina quadrigemina bzw. tecti).
- Das Cerebellum ist dem Hirnstamm dorsal angelagert.

Funktionelle Gliederung
- *Hirnstamm als „Funktionszentrum"*
  - Kerne für die Hirnnerven III–XII (gegliedert in vier longitudinale Kernsäulen)
  - motorische Koordinationszentren (Nucleus ruber, Substantia nigra)
  - Formatio reticularis (Motorik; Atmung; Kreislauf; vegetative Funktionen)
  - Nuclei pontis (Verschaltung zum Kleinhirn)
  - Hinterstrangkerne (Umschaltung sensibler Bahnen)
  - Verschaltung akustischer und optischer Reize (Lamina tecti)
- *Hirnstamm als „Durchgangsstraße"*
  - zum und vom Großhirn: absteigende (motorische) und aufsteigende (sensible) Bahnen
  - zum und vom Kleinhirn: Verbindung Rückenmark → Kleinhirn und Kleinhirn → Großhirn
  - vom Zwischenhirn: absteigende vegetative Bahnen







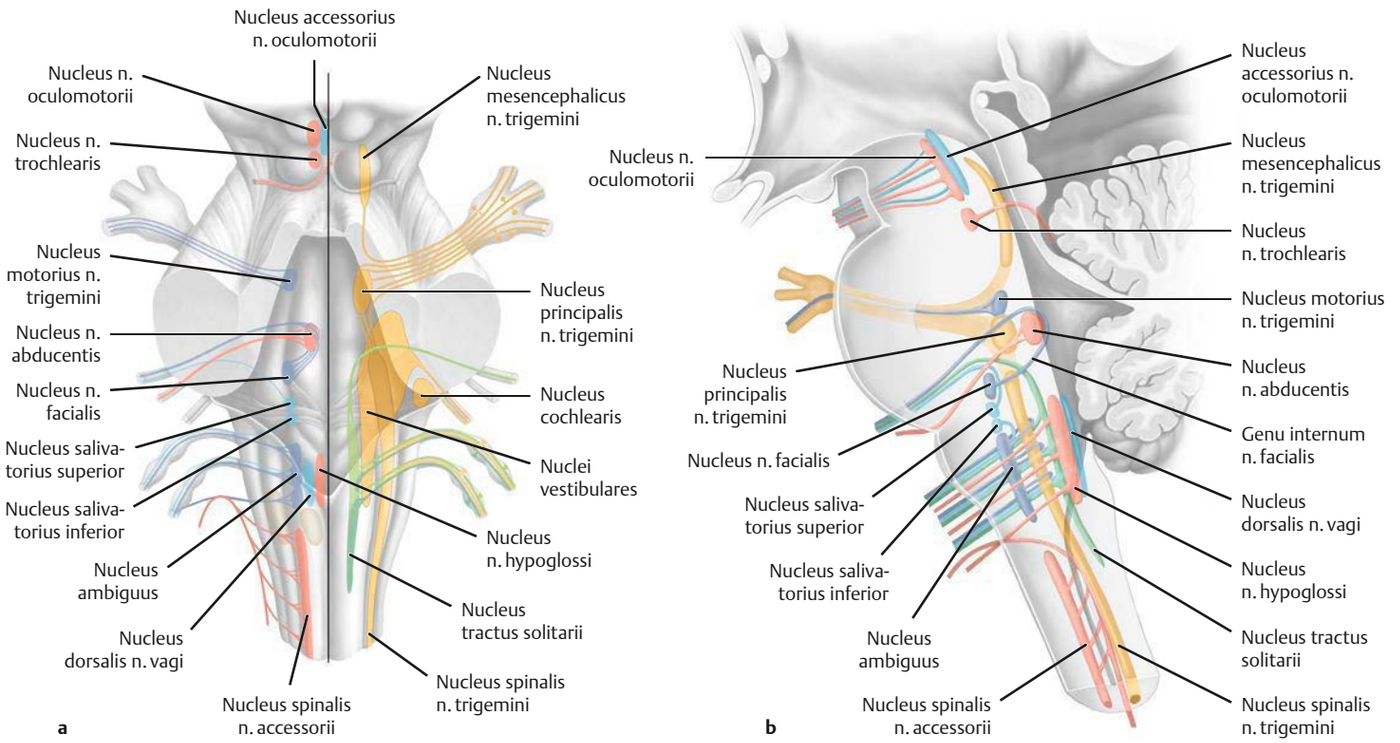
C Hirnstamm: äußere Form

a Ansicht von ventral. Die Ventralansicht ist geprägt vom Pons (einer Brücke, die scheinbar den längs gerichteten „Fluss“ des Hirnstamms quer überbrückt) und von den Austrittsstellen der Hirnnerven III und V–XII (IV tritt als einziger Hirnnerv dorsal aus, s. **b**). Kranial des Pons liegen die Hirnschenkel (Crus cerebri), die absteigende motorische Bahnen enthalten. Diese setzen sich in der Medulla oblongata in der Pyramide (Pyramis) fort (Pyramidenbahn!), teilweise unter Kreuzung der Seite in der Decussatio pyramidum. Lateral der Pyramide enthält die Oliva eine große motorische Kerngruppe, die Nuclei olivares.
Beachte: Definitionsgemäß beginnt mit der Wurzel des 1. Spinalnervs das Rückenmark. Die Pyramidenkreuzung liegt somit sehr nahe an der Grenze.

b Ansicht von dorsal. Auffällig ist der Blick in den rautenförmigen IV. Ventrikel, dessen Boden durch einige Hirnnervenkerne konturiert wird. Kranial liegt das Dach des Mesencephalon mit der Lamina tecti. Aus ihr tritt der IV. Hirnnerv aus. Die Lamina tecti enthält vier Colliculi (daher auch Lamina quadrigemina): Die Colliculi superiores sind optische, die Colliculi inferiores akustische Schaltzentren. Sie sind über „Arme“ (Brachium colliculi superioris und inferioris) mit entsprechenden Schaltzentren im Thalamus verbunden. Seitlich des IV. Ventrikels erkennt man jeweils die drei paarigen Kleinhirnstiele als topografischeVerbindung Kleinhirn – Hirnstamm: Pedunculus cerebellaris superior, medius und inferior.

c Ansicht von links: Hier wird deutlich sichtbar, dass sich die ventrale Wölbung des Pons in den Pedunculus cerebellaris medius fortsetzt. Über diesen Kleinhirnstiel ist das Großhirn gekreuzt mit dem Kleinhirn verbunden, die zur Verschaltung dieser Kreuzung notwendigen Kerne liegen in der Tiefe des Pons (Nuclei pontis). Direkt aus dem Pons tritt der V. Hirnnerv aus. Unmittelbar kaudal vom Pons ist die linke Olive als prominente Struktur zu erkennen.

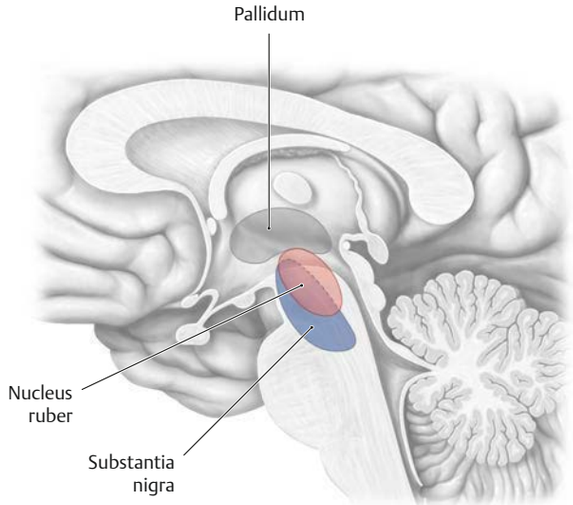
8.2 Hirnnervenkerne, Nucleus ruber und Substantia nigra



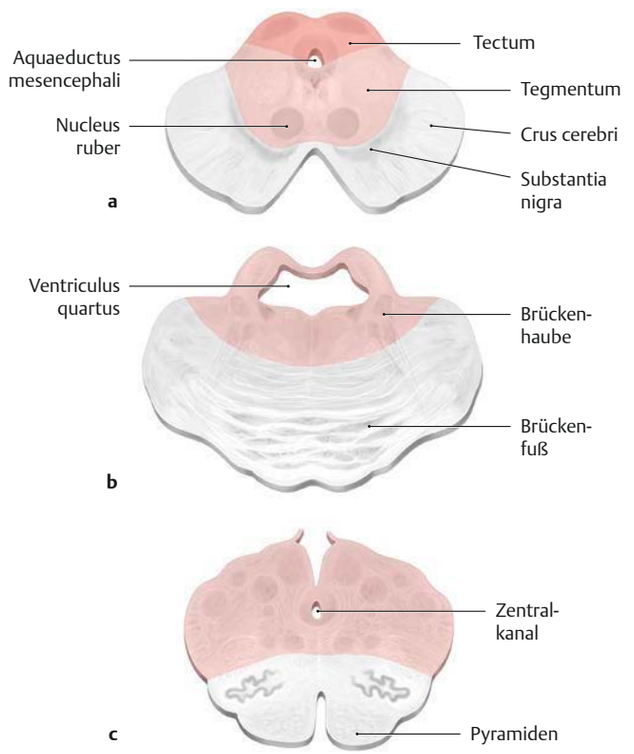
A Hirnnervenkerne im Hirnstamm
a Ansicht von dorsal, Kleinhirn entfernt, man erkennt die Rautengrube; **b** Mediansagittalschnitt, Sicht auf einen rechten Hirnstamm von links. Neben den Kerngebieten selbst ist der Verlauf der Bahnen von bzw. zu diesen Kerngebieten dargestellt (aus Platzgründen sind die Nuclei vestibularis und cochlearis nicht eingezeichnet).
Die Anordnung der Hirnnervenkerne lässt sich leichter verstehen, wenn man ihre Einteilung in funktionelle Kernsäulen nachvollzieht. Auf der linken Seite der Abbildung sind die Ursprungskerne *(Nuclei originis)* dargestellt; hier entspringen die efferenten Fasern. Rechts in **a** sieht man die Endkerne *(Nuclei terminationis),* in denen die afferenten Fasern enden. Die Anordnung der Kerngebiete lässt sich aus der Anordnung der Kerngebiete im Rückenmark herleiten (s. S. 114). Funktion und Verschaltungen einiger dieser Hirnnerven lassen sich in der Klinik durch Reflexe überprüfen, sog. *Hirnstammreflexe* (die Schaltzentren für diese Reflexe sind im Hirnstamm lokalisiert). Sie haben bei der Beurteilung komatöser Zustände Bedeutung. Die Pupillenreflexe, die einen wichtigen Teil dieser Reflexe darstellen, werden auf S. 481 näher besprochen.

B Übersicht über die Kerne der Hirnnerven III – XII

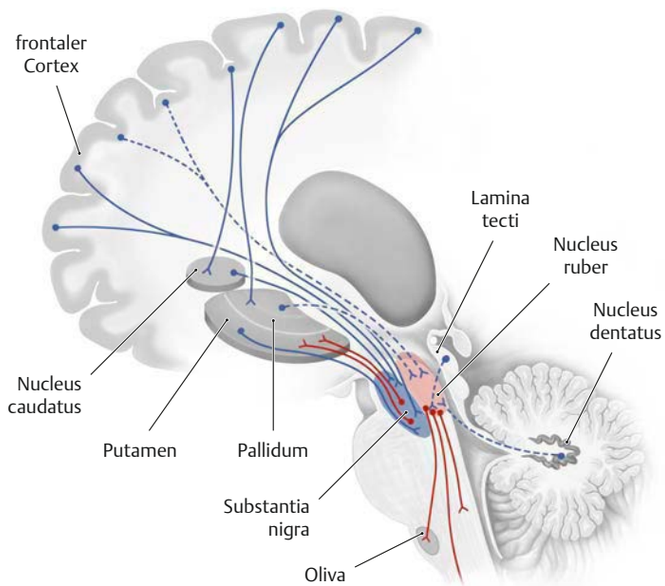
Nuclei originis (Ursprungskerne mit den Zellen der efferenten bzw. *motorischen* Fasern, links in **Aa**)	**Nuclei terminationis** (Endkerne, in denen die afferenten bzw. *sensiblen* Fasern enden, rechts in **Aa**)
Somatoefferente oder somatomotorische Kerne (rot): – Nucleus n. hypoglossi (XII) – Nucleus spinalis n. accessorii, Radix spinalis (XI) – Nucleus n. abducentis (VI) – Nucleus n. trochlearis (IV) – Nucleus n. oculomotorii (III) **Viszeroefferente oder viszseromotorische Kerne:** • Kerne, die zum Parasympathikus gehören (hellblau): – Nucleus dorsalis n. vagi (X) – Nucleus salivatorius inferior (IX = N. glossopharyngeus) – Nucleus salivatorius superior (VII = N. facialis) – Nucleus accessorius n. oculomotorii (III = N. oculomotorius) • Kerne der Kiemenbogennerven (dunkelblau): – Nucleus ambiguus (IX = N. glossopharyngeus, X = N. vagus und XI = N. accessorius [Radix cranialis]) – Nucleus n. facialis (VII) – Nucleus motorius n. trigemini (V)	**Viszeroafferente oder viszerosensible Kerne:** – Nuclei tractus solitarii, Pars inferior: allgemeine viszeroafferente Fasern aus Hirnnerv IX, X (dunkelgrün) – Nuclei tractus solitarii, Pars superior: spezielle viszeroafferente Fasern (Geschmacksfasern) aus Hirnnerv VII, IX und X (hellgrün) **Somatoafferente oder somatosensible Kerne (gelb):** • Kerngebiete des N. trigeminus (V): – Nucleus spinalis n. trigemini (im Zervikalmark; Schmerz, Temperatur) – Nucleus mesencephalicus n. trigemini (Besonderheit: pseudounipolare Nervenzellen [= verschobenes sensibles Ganglion] für die Afferenzen aus der Kaumuskulatur) – Nucleus principalis [= pontinus] n. trigemini • Kerngebiet des N. vestibulocochlearis (VIII), Vestibularisanteil: – Nucleus vestibularis medialis – Nucleus vestibularis lateralis – Nucleus vestibularis superior – Nucleus vestibularis inferior • Kerngebiet des N. vestibulocochlearis (VIII), Kochlearisanteil: – Nucleus cochlearis posterior – Nucleus cochlearis anterior



C Lage von Substantia nigra und Nucleus ruber im Mesencephalon
Beide Kerngebiete sind wie die Hirnnervenkerne gut abgrenzbare Strukturen, die funktionell zum *extrapyramidal-motorischen* System gerechnet werden. Die Substantia nigra wird anatomisch den Hirnschenkeln zugeordnet, damit liegt sie nicht im Tegmentum mesencephali (s. **A**, S. 362). Substantia nigra und Nucleus ruber sind aufgrund ihres hohen Melanin- bzw. Eisengehaltes in Schnitten durch frisches Hirngewebe braun bzw. rot gefärbt. Beide Kerne schieben sich bis ins Diencephalon vor, mit dessen Kernen sie durch Bahnen verbunden sind (s. **E**).



D Unterschiedlicher Bau der Hirnstammabschnitte im Querschnitt
Ansicht von kranial; Querschnitte durch **a** Mesencephalon; **b** Pons und **c** Medulla oblongata.
Allen drei Abschnitten gemeinsam ist der entwicklungsgeschichtlich alte Teil des Hirnstammes, die dorsal gelegene Haube (Tegmentum, mittelgrau). Der Begriff Tegmentum wird in der Entwicklungsgeschichte gebraucht, im Gehirn des Erwachsenen liegen in diesem Bereich die Kerne des Hirnstammes. Ventral des Tegmentum verlaufen die zum und vom Endhirn auf- und absteigenden großen Bahnen; dieser Abschnitt wird im Mesencephalon Hirnschenkel (Crus cerebri) genannt, im Bereich der Brücke Brückenfuß (Pars basilaris pontis) und in der Medulla oblongata Pyramiden. Das Tegmentum wird nur im Bereich des Mesencephalon dorsal vom Tectum (= entwicklungsgeschichtlicher Begriff für Dach) bedeckt. Dieser Abschnitt bildet im hier dargestellten ausgewachsenen Gehirn die Vierhügelplatte (Lamina tecti, zwei der Kerne sind angedeutet). In Höhe der Medulla oblongata und des Pons liegt dorsal das Kleinhirn auf, so dass es keinen entsprechenden Abschnitt des Tectum geben kann.



E Afferente (blau) und efferente (rot) Verbindungen von Nucleus ruber und Substantia nigra
Beide Kerngebiete sind wichtige Schaltstellen der Motorik. Der **Nucleus ruber** besteht aus einem größeren *Neorubrum* und einem kleineren *Paleorubrum*. Im Nucleus ruber enden Axone aus Nucleus dentatus (Tractus dentatorubralis); den oberen Zweihügeln (Tractus tectorubralis); dem inneren Pallidumglied (Tractus pallidorubralis) sowie der Hirnrinde (Tractus corticorubralis).
Der Nucleus ruber sendet seine Axone zu Olive (Fibrae rubroolivares und Fibrae reticuloolivares als Teil der zentralen Haubenbahn, Tractus tegmentalis centralis) und Rückenmark (Tractus rubrospinalis).
Der Nucleus ruber koordiniert Muskeltonus, Körperhaltung und Gehbewegung. Bei seiner Schädigung treten Ruhetremor, Veränderungen des Muskeltonus (wird als unwillkürlicher Muskelwiderstand der Gelenke beim entspannten Patienten geprüft) und choreatisch-athetotische Bewegungsunruhe (unwillkürliche, fahrige Bewegungen, meist an den distalen Enden der Extremitäten) auf.
Die **Substantia nigra** besteht aus der *Pars compacta* (melaninhaltig, dunkel) und der *Pars reticulata* (rötlich, eisenhaltig; der Einfachheit halber hier insgesamt dunkel dargestellt). Ihre Axone verlaufen oft diffus zu den anderen Hirnarealen und sind deshalb nicht zu Bahnen zusammengefasst. In der Substantia nigra enden Axone aus Nucleus caudatus (Fasciculus strionigralis); vorderer Hirnrinde (Fibrae corticonigrales); Putamen und präzentraler Hirnrinde.
Die Axone aus der Pars compacta enden im Striatum, die der Pars reticulata im Thalamus. Die Substantia nigra hat eine wichtige Starterfunktion bei Bewegungen, fällt sie aus, treten Muskelstarre, Ruhetremor und mimische Starre (Maskengesicht) auf.

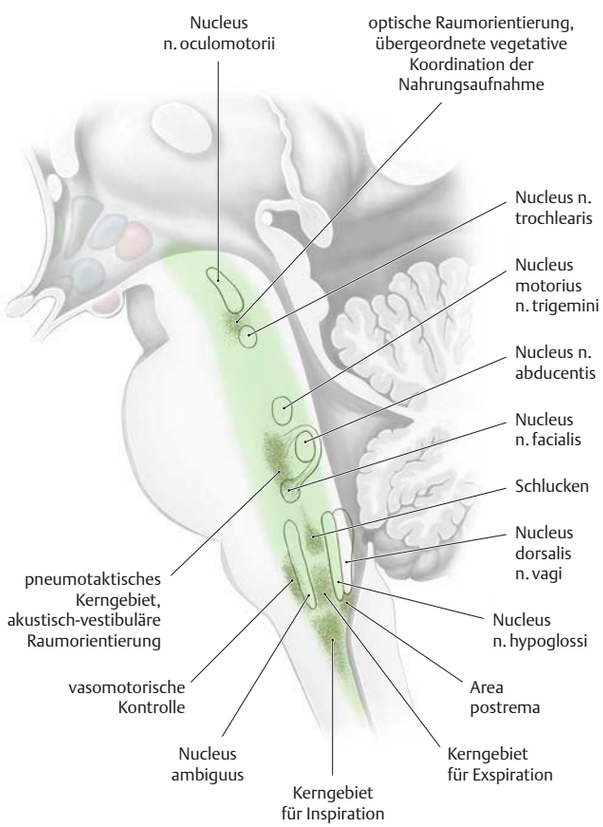
8.3 Formatio reticularis

A Definition, Abgrenzung und Einteilung

Die *Formatio reticularis (FR)* ist eine entwicklungsgeschichtlich alte, morphologisch nur ungenau abgrenzbare Ansammlung zahlreicher kleiner und kleinster Kerne im *Tegmentum* des Hirnstamms. Diese Kerne haben *völlig unterschiedliche Funktionen*. Der morphologische Begriff *„die Formatio reticularis"* suggeriert fälschlich eine Einheitlichkeit, obwohl es sich funktionell vielmehr um eine große Zahl verschiedenster Zentren handelt. Daher wäre es besser, grundsätzlich von den *Nuclei reticulares* zu sprechen, die teilweise morphologisch nur schlecht voneinander abzugrenzen sind. Die Nuclei reticulares nutzen für ihre verschiedenen Funktionen unterschiedliche Neurotransmitter. Unter Berücksichtigung dieser Fakten ergeben sich unterschiedliche Einteilungen der Formatio reticularis:

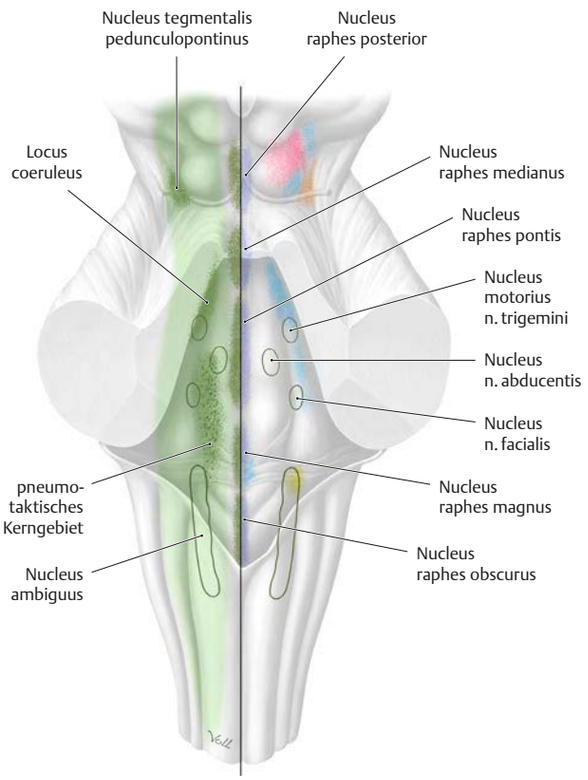
- die *Zytoarchitektonik* ist eine *morphologische* Einteilung und berücksichtigt Form und Architektur der Nuclei reticulares (s. **C**);
- die *Transmitterarchitektonik* ist eine *chemische* Einteilung und berücksichtigt die von den Zellen verwendeten Neurotransmitter (s. **C**);
- die *Einteilung nach funktionellen Zentren* ist eine *physiologische* Einteilung und erfasst die von den Kernen ausgeführten Funktionen (s. **B**).

Beachte: Hirnnervenkerne, die größtenteils ja auch im Tegmentum des Hirnstamms liegen (aber typischerweise morphologisch sehr gut abgrenzbar sind), gehören nicht zur FR, sind aber funktionell eng mit ihr verknüpft. Auch die im Tegmentum des Mesencephalon liegenden Kerngebiete „Nucleus ruber" und „Substantia nigra" werden ebenso wie die Nuclei pontis im Pons nicht zur FR gerechnet.



B Funktionelle Zentren

Sicht auf den halbierten Hirnstamm von links. Dargestellt ist die Lage einiger funktioneller Zentren sowie die Lage funktionell relevanter Hirnnervenkerne. Zu Einzelheiten der Funktionszentren s. **D**.



C Zyto- und Transmitterarchitektonik

Sicht auf den Hirnstamm von dorsal nach Entfernung des Kleinhirns; linke Hälfte: Zytoarchitektonik; rechte Hälfte: Transmitterarchitektonik.

Anhand der **Zytoarchitektonik** der Nuclei reticulares lassen sich in der FR beidseits je drei Längszonen unterscheiden:

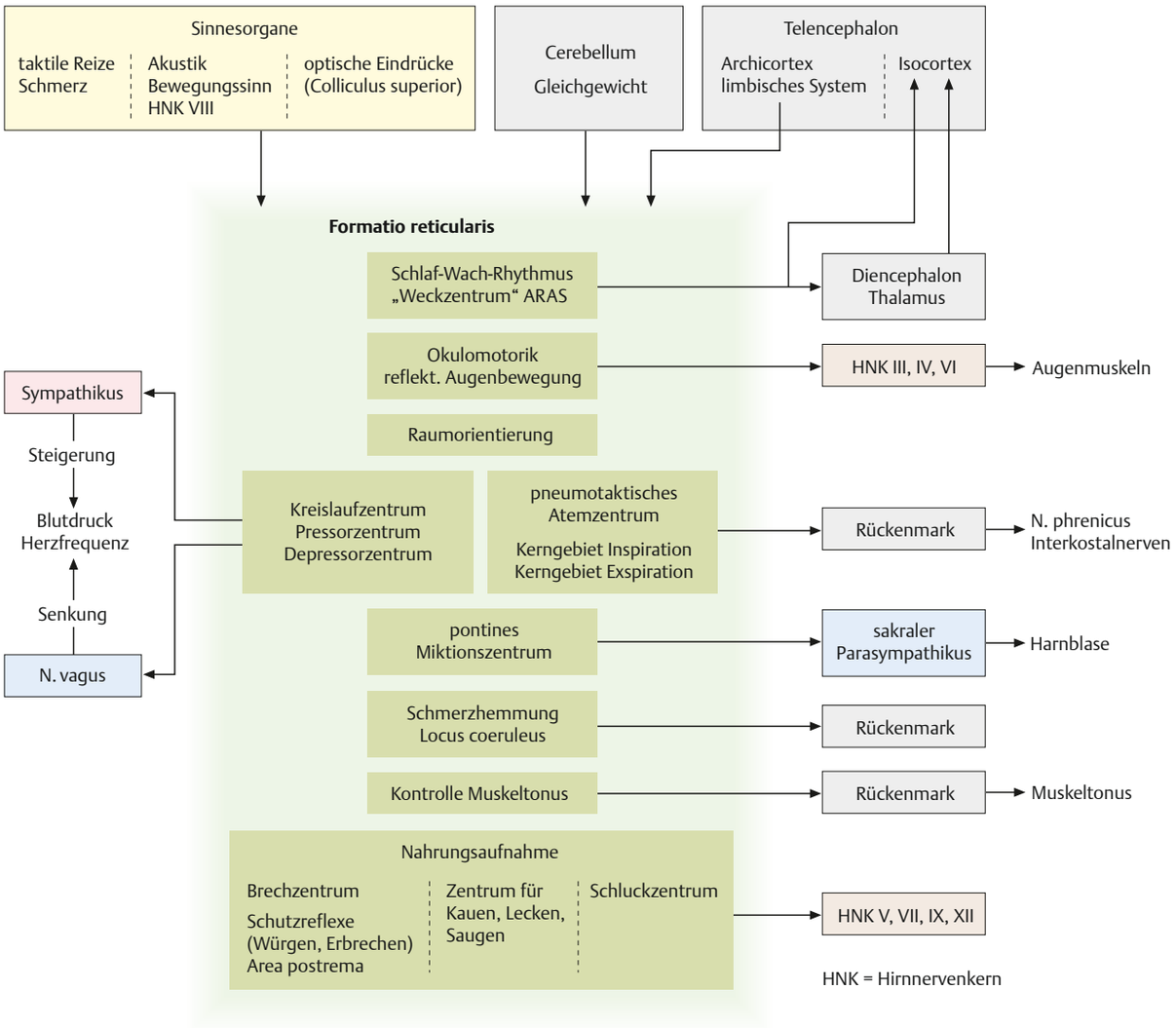
- *laterale Zone* mit kleinzelligen Kernen (*parvo*zelluläre Zone),
- *mediale Zone* mit großzelligen Kernen (*magno*zelluläre Zone), an diese grenzt nach medial eine
- *mediane Zone* (sie liegt beidseits an der „Mittelnaht" = *Raphe* des Hirnstamms, die in dieser Zone liegenden großzelligen Kerne werden daher auch *„Raphekerne"* = *Nuclei raphes* genannt).

Die Axone der medialen und medianen Zone erreichen nach einem langen Verlauf „weit entfernte" andere Kerne des ZNS, nach kranial bis zum Endhirn, nach kaudal bis zum Sakralmark. Diese beiden Zonen dienen also überwiegend der Verschaltung der FR mit anderen Hirnabschnitten, sie werden daher als *„effektorisch"* bezeichnet. Die Axone der lateralen Zone verbleiben dagegen meist innerhalb des Hirnstamms, verbinden dabei einzelne Abschnitte der FR untereinander oder sind mit Hirnnervenkernen im Hirnstamm verschaltet; man nennt sie deshalb auch *„Assoziationszone"* oder *„Assoziationsareal"*. Exemplarisch sind einige Kerne benannt.

Beachte: Die Dreiteilung in Längszonen ist nicht in allen Abschnitten des Hirnstamms gleichermaßen deutlich zu sehen. Am besten sichtbar ist sie in der Medulla oblongata. Die Hirnnervenkerne (sie gehören nicht zur FR, s. Einführung!), die enge Verschaltungen zur FR haben, sind zur Orientierung miteingezeichnet.

Mit der **Transmitterarchitektonik** lassen sich Areale identifizieren, in denen Neurone mit einem bestimmten Transmitter stark überwiegen. Katecholamine (Adrenalin, Noradrenalin, Dopamin) sowie Serotonin und Acetylcholin sind hier exemplarisch dargestellt.

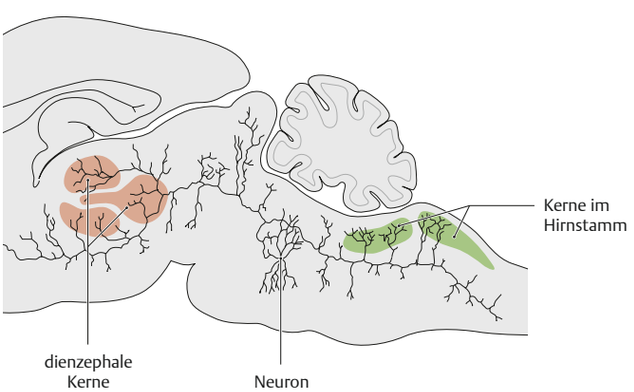
Beachte: Raphekerne (mediane Zone!), die ihre Axone in das limbische System entsenden (Modulation von Stimmungen und Gefühlen), nutzen Serotonin als Transmitter. Pharmakologisch soll man durch Einwirkung auf die Serotoninwirkung Emotionen bei Kranken beeinflussen können.



D Übersicht über die Funktionen der Formatio reticularis
Man unterscheidet folgende funktionelle Verbindungen der Formatio reticularis zu anderen Zentren im ZNS:

- **Afferenzen zur Formatio reticularis:** Diese kommen von Kernen fast aller Sinnesorgane, vom End- und Zwischenhirn sowie von Cerebellum und Rückenmark. Sie leiten akustische, optische, taktile Impulse und in besonderem Maße Schmerzempfindung, aber auch Informationen zur Muskelspannung, zum Gleichgewicht, zu Blutdruck und Sauerstoffsättigung im Blut und zu Parametern der Nahrungsaufnahme.
- **Efferenzen der Formatio reticularis:** Sie ziehen zu Endhirn und Zwischenhirn, aber auch zu den motorischen Hirnnervenkernen und ins Rückenmark. Diese Efferenzen haben ganz unterschiedliche Wirkungen:
  - Steuerung von Schlaf- und Wachrhythmus und Aufmerksamkeitszustand des Telencephalon (sog. „*ARAS*“: **A**ufsteigendes **R**etikuläres **A**ktivierendes **S**ystem),
  - Steuerung reflektorischer Augenbewegungen,
  - „vitale“ Funktionen wie Regulation von Blutdruck und Atmung,
  - Funktionen der Nahrungsaufnahme, wie Lecken, Saugen, Kauen,
  - Schutzreflexe wie Würgen und Erbrechen,
  - Kontrolle der Miktion,
  - Regulation des Muskeltonus im Rückenmark und
  - Schmerzhemmung im Rückenmark.

E Verzweigungen eines Neurons in der Formatio reticularis im Hirnstamm der Ratte (nach Scheibel)
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links. Durch die sog. Golgi-Versilberung können einzelne Neurone selektiv dargestellt werden. Das Axon des hier gezeigten Neurons teilt sich in einen auf- und einen absteigenden Ast auf. Der aufsteigende Ast tritt mit dienzephalen Kernen (braun dargestellt) in Kontakt, während der absteigende Ast mit Hirnnervenkernen in Pons und Medulla oblongata in Verbindung tritt (grün). Solche Neurone stellen die morphologische Grundlage der weitverzweigten Verschaltungen innerhalb der Formatio reticularis dar.

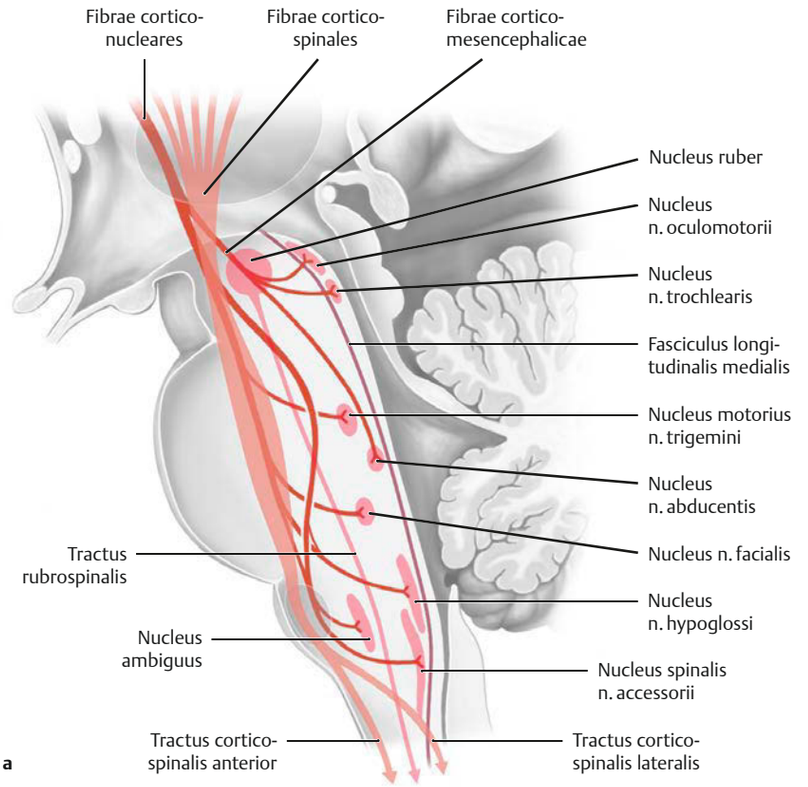


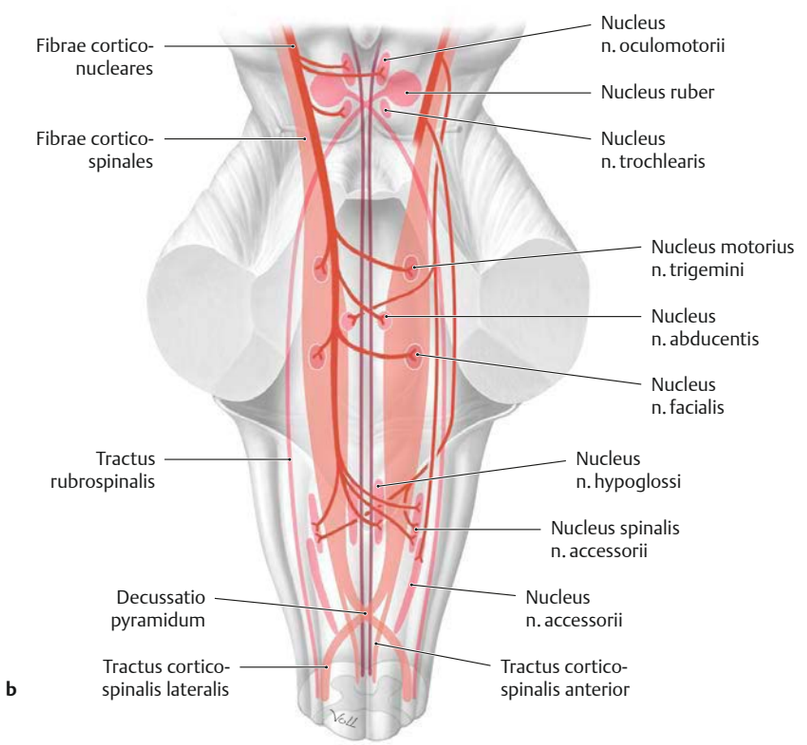
8.4 Ab- und aufsteigende Bahnen

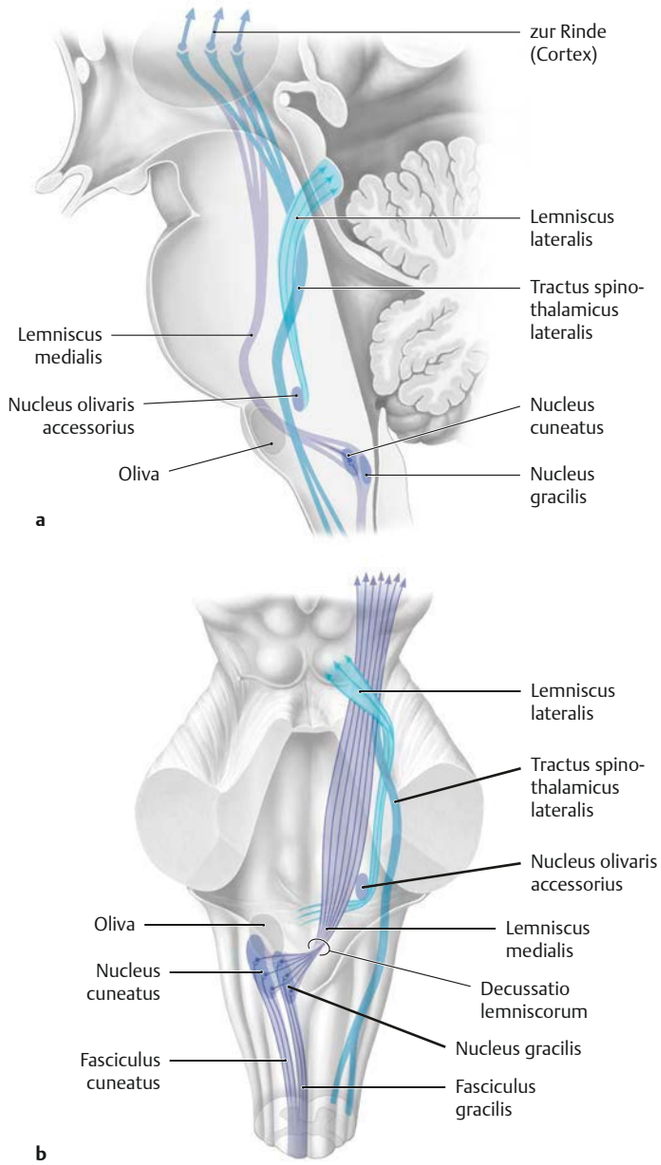
A Verlauf absteigender Bahnen durch den Hirnstamm
a Mediansagittalschnitt, Ansicht von links; **b** Ansicht von dorsal (Kleinhirn entfernt).
Die wichtigsten der hier dargestellten Bahnen beginnen im Telencephalon und enden zum kleineren Teil im Hirnstamm, zum größeren Teil im Rückenmark. Hier, im Rückenmark, endet die wichtigste durch den Hirnstamm durchziehende absteigende Bahn, der *Tractus corticospinalis.* In ihm ziehen Axone von Neuronen des primären motorischen Cortex. Sie enden an den α-Motoneuronen in den Vorderhörnern des Rückenmarks. Die Hauptmasse der Axone kreuzt im Bereich der Pyramiden zur Gegenseite. Diesen Teil der Pyramidenbahn, der durch den Hirnstamm zieht, nennt man *Fibrae corticospinales.* Die im Hirnstamm endenden Teile der Pyramidenbahn nennt man *Fibrae corticonucleares.* Sie verbinden die motorische Hirnrinde mit den motorischen Hirnnervenkernen. Von ihnen sind nur die linksseitigen dargestellt.
Beachte: Einige Hirnnervenkerne werden

- *bilateral (doppelseitig) versorgt:*
  - III (Nucleus n. oculomotorii),
  - V (Nucleus n. trigemini),
  - dorsaler Teil von VII (Nucleus n. facialis; Stirnmuskulatur),
  - X (Nucleus ambiguus);
- *andere nur kontralateral (gekreuzt):*
  - VI (Nucleus n. abducenti),
  - ventraler Teil von VII (Gesichtsmuskulatur bis auf Stirnast),
  - XII (Nucleus n. hypoglossi) oder
- *nur ipsilateral (ungekreuzt):*
  - IV (Nucleus n. trochlearis).

Die doppelseitige Innervation ist besonders bei der Diagnostik von Fazialislähmungen (VII) von Bedeutung (s. **D**, S. 124). Das mediale Längsbündel *(Fasciculus longitudinalis medialis)* ist ein ab- und aufsteigendes Bahnsystem, das die Kerne des Hirnstammes untereinander verknüpft (zur Funktion des Fasciculus s. **C**, S. 483).



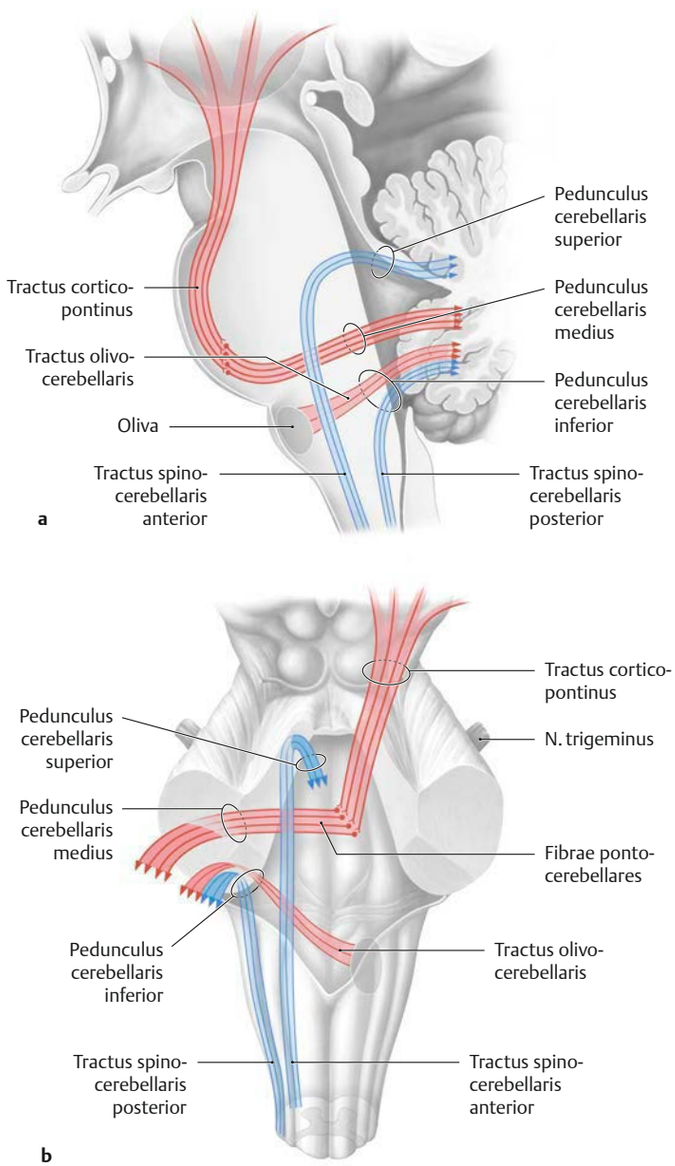




B Verlauf aufsteigender Bahnen durch den Hirnstamm
a Ansicht von links; **b** Ansicht von dorsal.
Zwei wesentliche aufsteigende Bahnen des Rückenmarks, der Tractus spinothalamicus lateralis und der Funiculus posterior (dessen Axone vom 2. Neuron im Lemniscus medialis verlaufen), leiten periphere *sensorische* Impulse aus dem Rückenmark zum Thalamus im Zwischenhirn (Diencephalon, s. S. 344 u. 346). Man erkennt zwei der Schleifenbahnen (s. S. 545), den *Lemniscus medialis und lateralis:*

- Im **Lemniscus medialis** verlaufen die Axone der 2. Neurone des Hinterstrangsystems (Druck, Vibration), deren Perikarya im Nucleus gracilis und im Nucleus cuneatus liegen. Die Afferenzen zu diesen Kernen stammen aus dem Fasciculus gracilis bzw. cuneatus. Die Axone aus dem Tractus spinothalamicus lateralis (Schmerz, Temperatur) schließen sich kranialwärts dem Lemniscus medialis an, bevor sie in den Thalamus einziehen.
- Der **Lemniscus lateralis** enthält Axone aus der Hörbahn, die zum Colliculus inferior der Vierhügelplatte ziehen.

Der Tractus spinothalamicus anterior ist nicht eingezeichnet, da seine Lage im Hirnstamm umstritten ist. Tractus spinothalamicus anterior und lateralis werden im Hirnstamm gelegentlich als Lemniscus spinalis zusammengefasst.

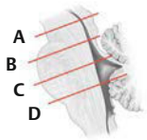


C Verlauf einiger Kleinhirnbahnen durch den Hirnstamm
a Mediansagittalschnitt, Ansicht von links; **b** Ansicht von dorsal (Kleinhirn entfernt).
Das Kleinhirn (Cerebellum) koordiniert die Feinabstimmung von Bewegungen sowie den Muskeltonus. Seine Bahnen bestehen aus zu ihm aufsteigenden (blau) und zu ihm absteigenden Tractus (rot). Sie gelangen über die drei Kleinhirnstiele, Pedunculi cerebellares (superior, medius, inferior), ins Kleinhirn.

- **Pedunculus cerebellaris superior:** Die meisten efferenten Bahnen aus den Kleinhirnkernen ziehen durch den Pedunculus cerebellaris superior (s. S. 370), als einzige afferente Bahn zieht der Tractus spinocerebellaris anterior durch diesen Pedunculus.
- **Pedunculus cerebellaris medius:** Durch ihn ziehen ausschließlich absteigende, afferente Bahnen, die ihren Ursprung in den verschiedenen Hirnlappen (1. Neuron) haben und als Tractus corticopontinus bezeichnet werden. Die Axone der 2. Neurone in den Brückenkernen kreuzen zur Gegenseite und ziehen dann als Fibrae pontocerebellares durch den mittleren Kleinhirnstiel ins Cerebellum.
- **Pedunculus cerebellaris inferior:** Tractus spinocerebellaris posterior (afferent) und Tractus olivocerebellaris (afferent) ziehen durch den Pedunculus cerebellaris inferior in das Kleinhirn.

Verlauf und Lokalisation der Kreuzungen der verschiedenen Kleinhirnbahnen werden in dieser Ansicht deutlich.

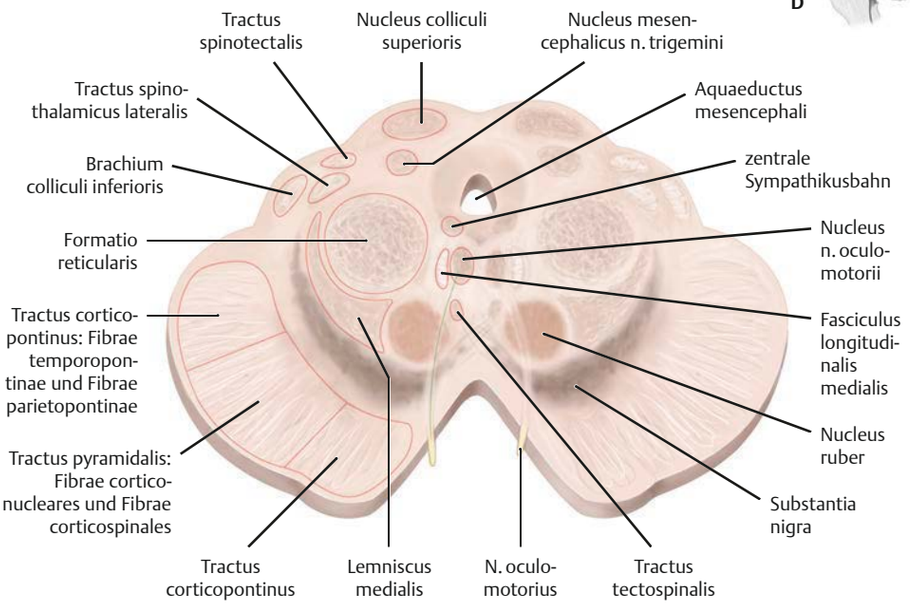
8.5 Querschnitte durch den Hirnstamm: Mittelhirn (Mesencephalon) und Brücke (Pons)



A Querschnitt durch das Mittelhirn (Mesencephalon)

Ansicht von kranial.

Kerne: Der erste echte Hirnnervenkern ist der relativ kleine *Nucleus n. oculomotorii* (s. **B**, S. 356; zu den Hirnnervenkernen s. auch S. 114). Am weitesten kranial liegt der *Nucleus mesencephalicus n. trigemini*, weiter kaudal lokalisierte Kerne des N. trigeminus werden in tiefer gelegenen Schnitten gefunden (s. **C**). Der Nucleus mesencephalicus n. trigemini enthält als einziger Hirnnervenkern pseudounipolare Nervenzellen. Damit stellt er einen nach innen verlagerten Teil eines sensiblen Ganglions dar, da die propriozeptiv-sensiblen Afferenzen aus der Kaumuskulatur diesen Kern ohne Umschaltung im Ganglion trigeminale erreichen. Der *Nucleus colliculi superioris* ist ein Teil der Sehbahn, *Nucleus ruber* und *Substantia nigra* sind Kerne des motorischen Systems, während die *Formatio reticularis* ein diffuses Kerngebiet für die Regulation vegetativer Prozesse darstellt. Sie wird in den folgenden Schnittebenen zum Teil an verschiedenen Orten wieder zu finden sein. Alle Hirnnervenkerne und der Nucleus ruber liegen im Tegmentum mesencephali, während die Substantia nigra bereits als dorsaler Teil der Hirnschenkel angesehen werden kann (s. **C**, S. 357).

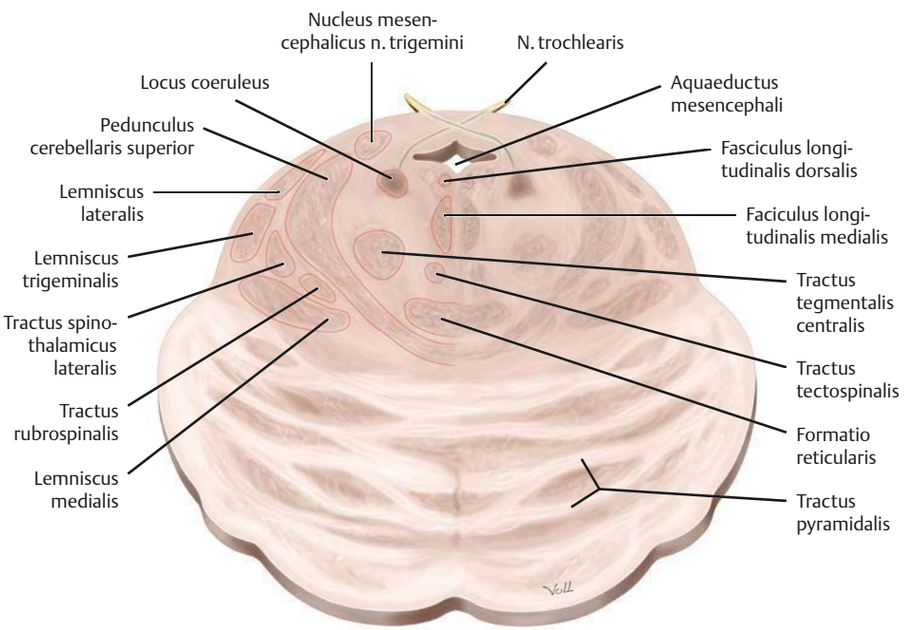


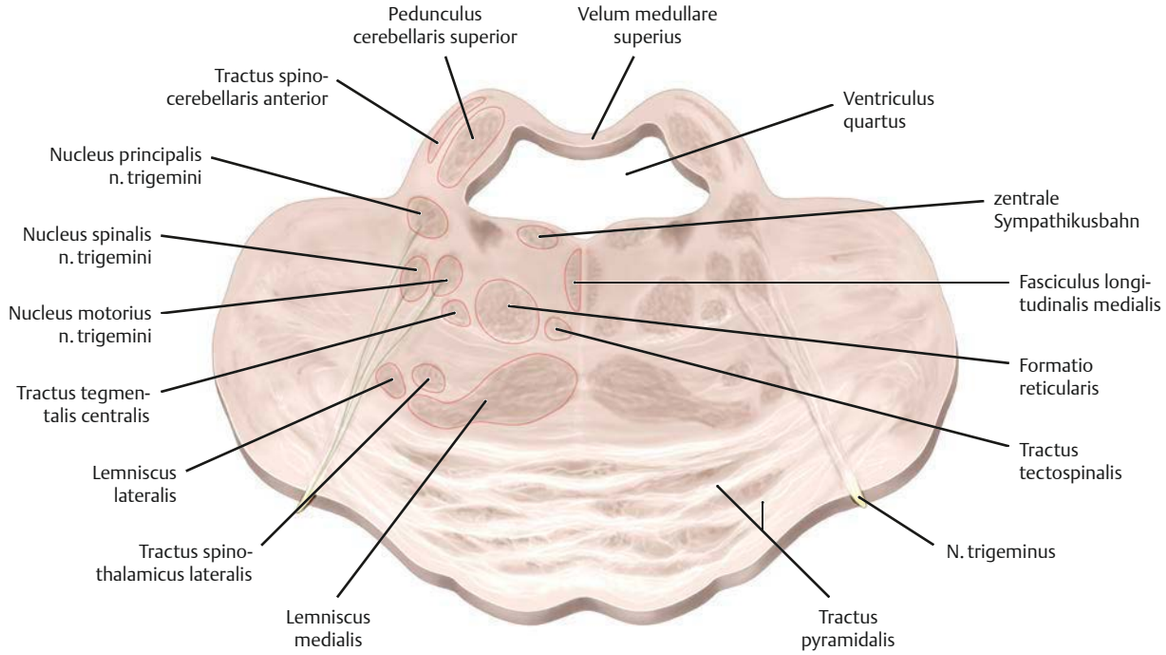
Bahnen: Sie liegen ventral der Kerngebiete; die meisten ziehen fast alle durch den ganzen Hirnstamm hindurch (Ausnahmen: Bahnen, die im Hirnstamm enden bzw. von ihm entspringen). Wichtige *absteigende* Bahnen sind: Tractus pyramidalis mit den daraus abzweigenden Fibrae corticonucleares bulbi. Wichtige *aufsteigende* Bahnen sind: Tractus spinothalamicus lateralis sowie der Lemniscus medialis als Fortsetzung der Hinterstrangbahnen.

B Querschnitt durch den kranialen Abschnitt des Pons

Kerne: Von den Hirnnervenkernen aus der vorherigen Abbildung ist in dieser Schnittebene nur noch der mesenzephale Trigeminuskern zu sehen (Nucleus mesencephalicus n. trigemini). Man sieht, dass die Fasern aus dem Nucleus nervi trochlearis (IV) noch innerhalb des Gehirns zur Gegenseite kreuzen.

Bahnen: Die ab- und aufsteigenden Bahnsysteme sind im Vergleich zur vorherigen und zur folgenden Abbildung gleich geblieben. Der Tractus pyramidalis erscheint in dieser Ebene im Vergleich zur vorigen Ebene aufgelockerter, da sich pontine Kerngebiete mit ihm durchmischen. Die zum oberen Kleinhirnstiel ziehenden, zumeist efferenten Bahnen sind angeschnitten. Der weit dorsal liegende Lemniscus lateralis ist ein Teil der Hörbahn. Der vergleichsweise große Fasciculus longitudinalis *medialis* reicht vom Mesencephalon (s. **A**) bis ins Rückenmark. Er verknüpft die Kerne des Hirnstammes untereinander und enthält verschiedenste Fasern, die in unterschiedlichen Höhen ein- und austreten *(„Autobahn der Hirnstammkerne“)*. Der kleinere Fasciculus longitudinalis *dorsalis* verbindet hypothalamische Kerngebiete mit den parasympathischen Hirnnervenkernen. Größe und Lage der Kerne der Formatio reticularis, die hier grafisch kompakt dargestellt sind, variieren mit der Schnittebene. Hier ist jeweils nur die ungefähre Lage der Formatio reticularis eingezeichnet; innerhalb dieser Regionen finden sich noch andere, kleinere Kerngebiete und Fasern.



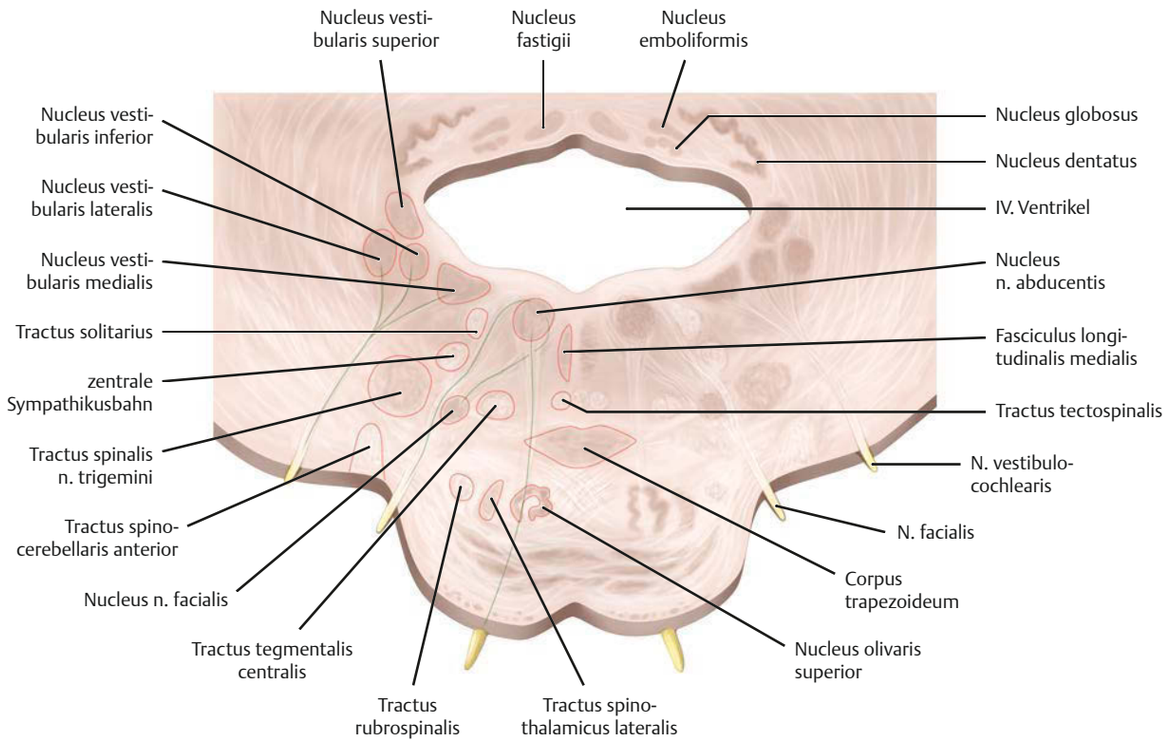


C Querschnitt durch den mittleren Abschnitt des Pons

Kerne: Im mittleren Abschnitt der Pons verlässt der N. trigeminus den Hirnstamm, seine verschiedenen Kerngebiete dominieren das Tegmentum pontis. Sein *Nucleus principalis* dient zur Umschaltung der Afferenzen für Berührungs- und Diskriminationsempfindungen, sein *Nucleus spinalis* für die Umschaltung der Schmerz- und Temperaturbahnen. Im Nucleus motorius n. trigemini liegen die Motoneurone der Kaumuskeln.

Bahnen: Der Tractus spinocerebellaris anterior ist angeschnitten. Er zieht zum Kleinhirn, das dem Pons dorsal aufgelagert ist.

Liquorraum: Der Aquaeductus mesencephali ist in den IV. Ventrikel übergegangen, der hier angeschnitten ist. Dorsal wird er vom Velum medullare bedeckt.

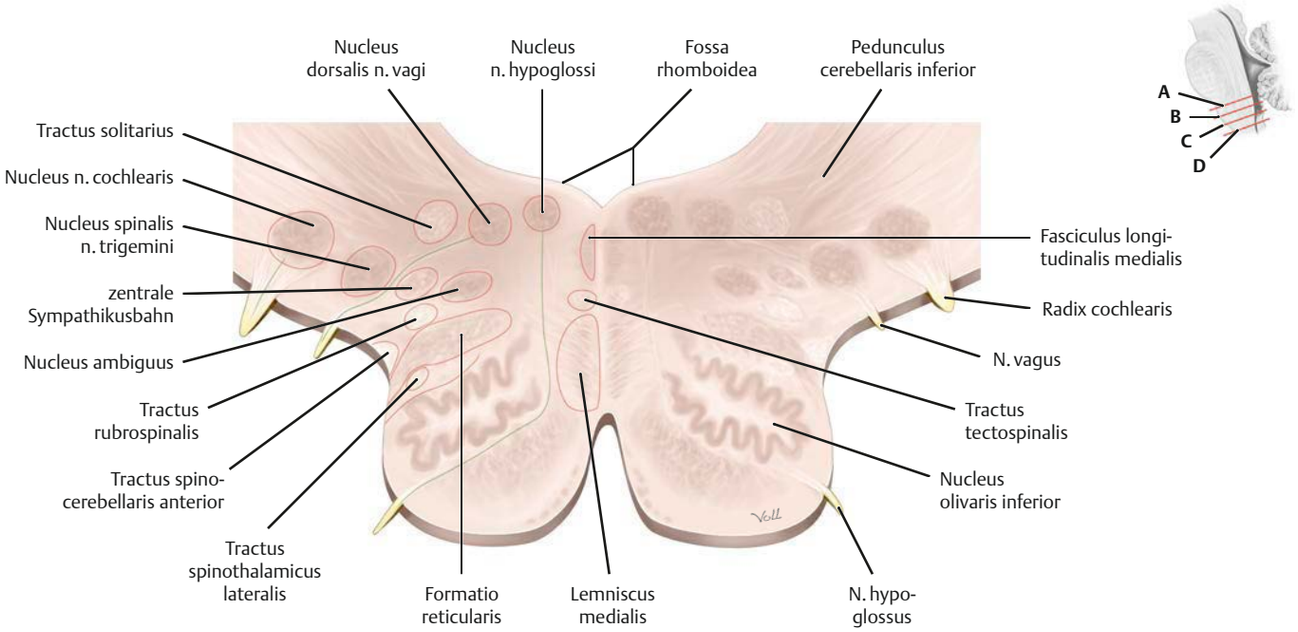


D Querschnitt durch den kaudalen Abschnitt des Pons

Kerne: Im kaudalen Abschnitt des Pons liegen viele Kerngebiete von Hirnnerven: Nuclei vestibulares, Nucleus n. abducentis, Nucleus n. facialis. Die Rautengrube wird dorsal vom Kleinhirn überdacht, dessen Kerne ebenfalls angeschnitten sind: Nucleus fastigii, Nucleus emboliformis, Nucleus globosus und Nucleus dentatus.

Bahnen: Das Corpus trapezoideum mit seinen Unterkernen ist eine wichtige Umschaltstation der Hörbahn (s. S. 484). Der *Tractus tegmentalis centralis* (zentrale Haubenbahn) ist ein wichtiges Bahnsystem des motorischen Systems.

8.6 Querschnitte durch den Hirnstamm: Medulla oblongata

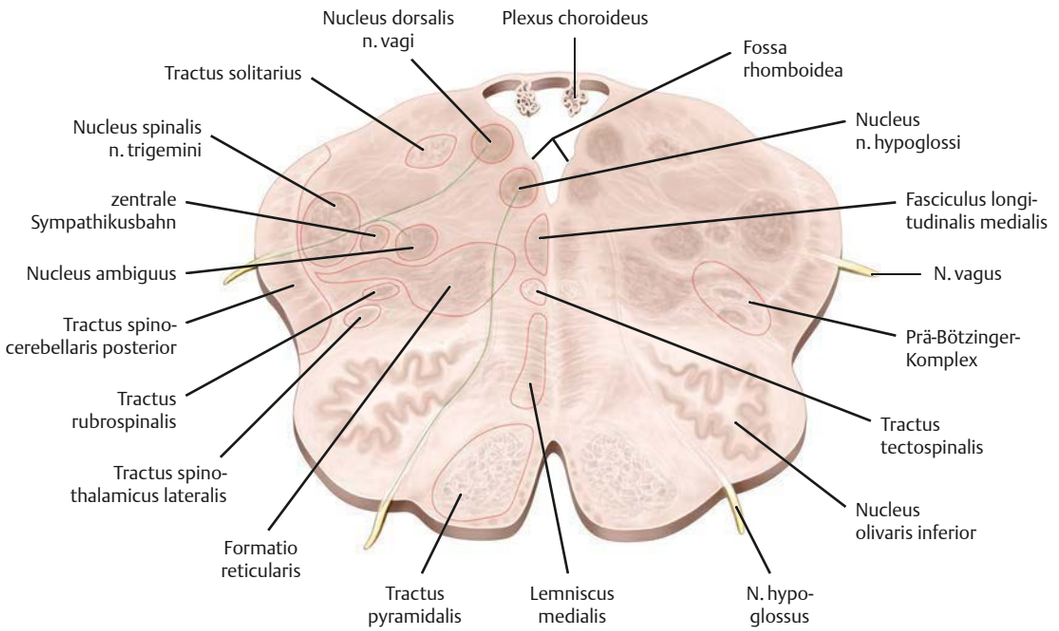


A Querschnitt durch die kraniale Medulla oblongata

Kerne: Die Kerne der Hirnnerven N. hypoglossus, N. vagus, N. cochlearis und N. spinalis n. trigemini sind im *dorsalen* Teil der Medulla oblongata, ihrem Tegmentum, angeschnitten. Der Nucleus olivaris inferior, der zum motorischen System gehört, liegt dagegen im *ventralen* Teil der Medulla oblongata. Zwischen Hirnnervenkernen und Nucleus olivaris inferior ist die Formatio reticularis interponiert, die in allen Querschnitten dieser Lerneinheit zu sehen ist und eine zentrale Schaltstelle des vegetativen Systems darstellt.

Bahnen: Die meisten ab- und aufsteigenden Bahnen entsprechen denen der vorherigen Lerneinheit; neu ist der *Pedunculus cerebellaris inferior.* Durch ihn verlaufen afferente Bahnen zum Kleinhirn (s. S. 361).

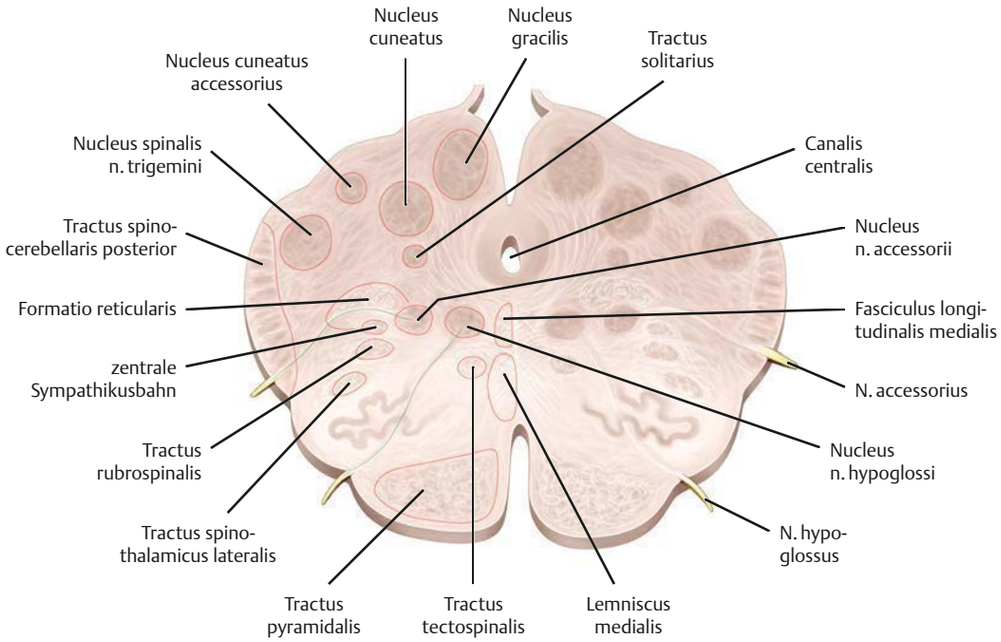
Liquorraum: Der Boden des IV. Ventrikels, der sich zur Rautengrube (Fossa rhomboidea) formiert, bildet den dorsalen Abschluss dieses Querschnitts.



B Querschnitt knapp oberhalb der Mitte der Medulla oblongata

Kerne: Von den Hirnnervenkernen sind noch die des N. hypoglossus, N. vagus und N. trigeminus im dorsalen Teil des Tegmentum übrig geblieben, der Nucleus olivaris inferior ist ventral noch mit angeschnitten, ebenso wie der Prä-Bötzinger-Komplex. Er besteht aus lose verteilten kleinen lipofuszinreichen Neuronen, die einen essenziellen Bestandteil des respiratorischen Netzwerkes und damit des Atemantriebs von Säugetieren in der Medulla oblongata darstellen.

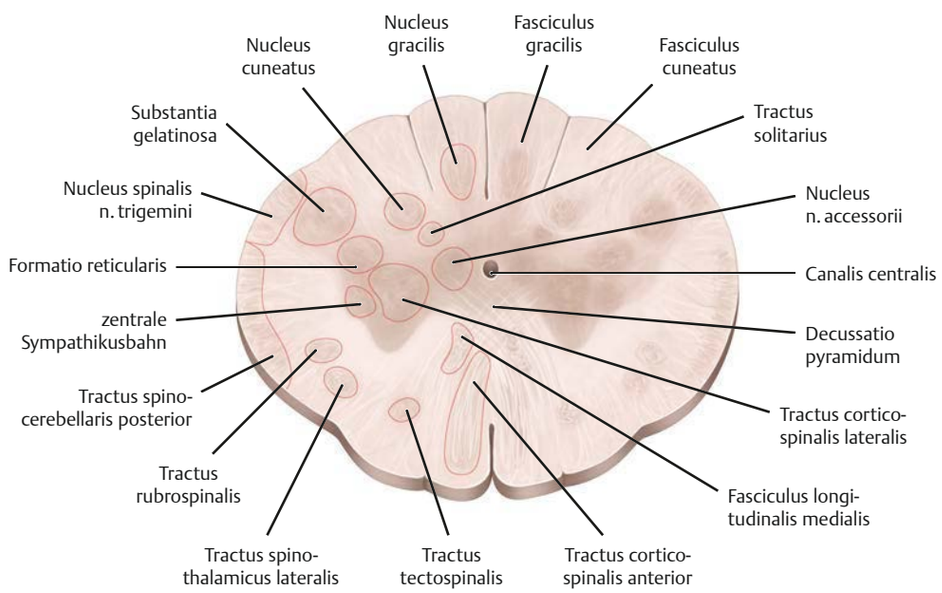
Bahnen: Die ab- und aufsteigenden Bahnen entsprechen denen der vorherigen Lerneinheit. Der *Lemniscus medialis* stellt eine Kreuzung aufsteigender sensibler Bahnen dar (Hinterstrang, Einzelheiten s. S. 404). Im *Tractus solitarius* ziehen die Geschmacksfasern der Hirnnerven VII, IX und X. Ihm dorsolateral angelagert befindet sich der Nucleus solitarius (nicht dargestellt). Der *Tractus pyramidalis* ist wieder als solide Struktur zu finden, da es keine dazwischengelagerten Kerne und Faserkreuzungen mehr gibt.



C Querschnitt knapp unterhalb der Mitte der Medulla oblongata

Kerne: Von den Hirnnervenkernen sind noch die des N. hypoglossus, N. vagus und N. trigeminus im Tegmentum vorhanden, der Nucleus olivaris inferior ist in der ventralen Medulla ebenfalls noch mit angeschnitten. Die Kerngebiete, in denen die Hinterstränge umgeschaltet werden, Nucleus cuneatus und Nucleus gracilis, dominieren den dorsalen Bereich. Die aus diesen Kernen hervorgehenden Bahnen kreuzen im Lemniscus medialis (s. o.).

Bahnen: Die ab- und aufsteigenden Bahnen entsprechen denen der vorherigen Abbildungen. Die Fossa rhomboidea als Boden des IV. Ventrikels hat sich deutlich zum Canalis centralis verschmälert.



D Querschnitt durch die kaudale Medulla oblongata

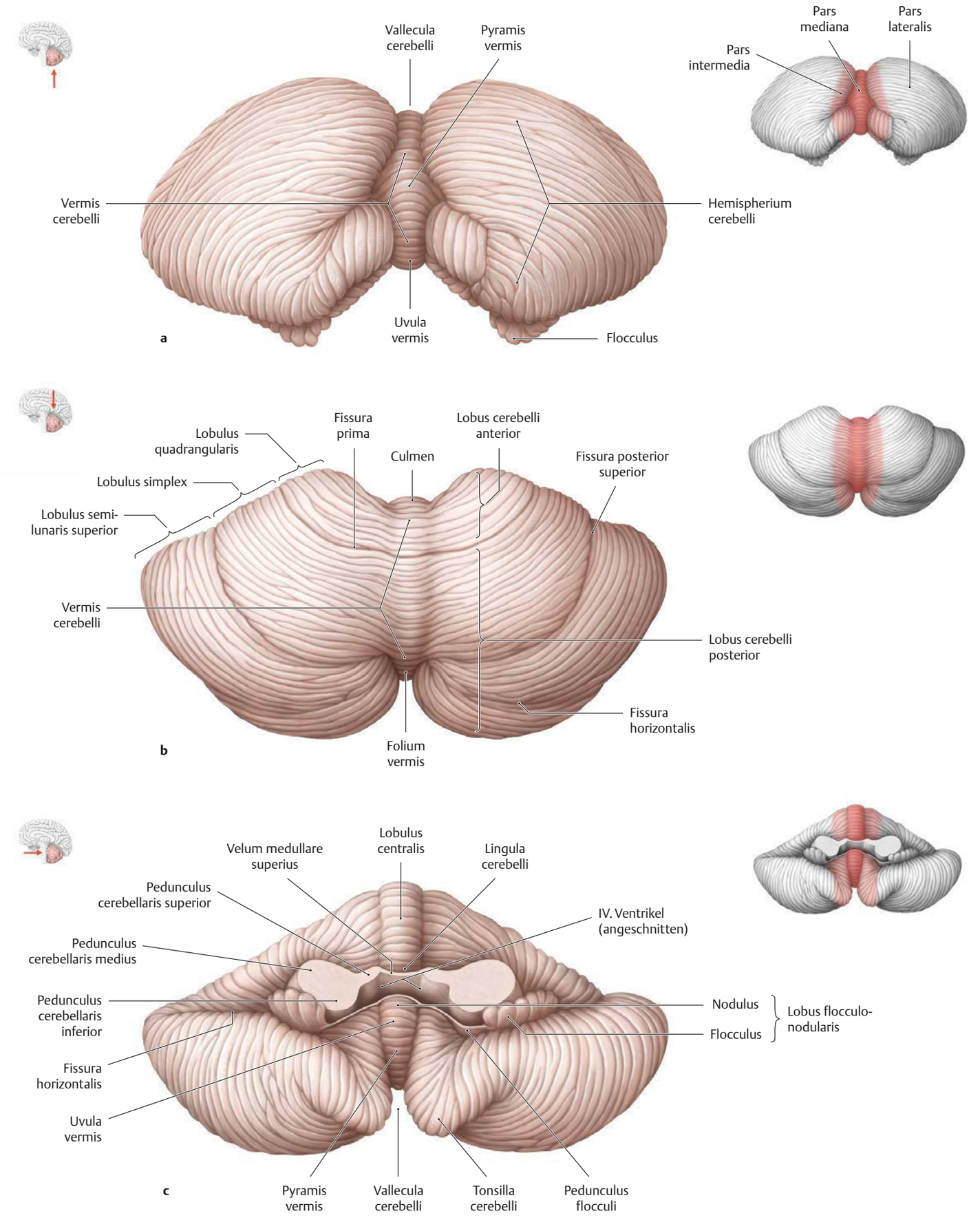
Die Medulla oblongata geht in diesem Bereich ohne scharfe Grenze in das Rückenmark über.

Kerne: Von den Hirnnervenkernen sind der spinale Teil des N. trigeminus sowie der Nucleus n. accessorii zu sehen. Die Kerngebiete der Umschaltstation der Hinterstränge, Nucleus cuneatus und Nucleus gracilis, sind an ihrem kaudalen Ende angeschnitten.

Bahnen: Die ab- und aufsteigenden Bahnen entsprechen denen der vorherigen Abbildungen dieser Lerneinheit. Die Pyramidenbahnkreuzung (Decussatio pyramidum) ist angeschnitten, man kann nun zwischen Tractus corticospinalis anterior (ungekreuzt) und lateralis (gekreuzt) unterscheiden (s. S. 409, 461).

Liquorraum: Als Abschnitt des Liquorsystems finden wir auch hier (vgl. **C**) einen Anschnitt des Zentralkanals (Canalis centralis), der hier deutlich schmaler als in **C** ist. Er kann stellenweise obliteriert sein; dies ist ohne klinische Bedeutung.

9.1 Äußere Struktur



A Kleinhirn: Gliederung und äußere Form

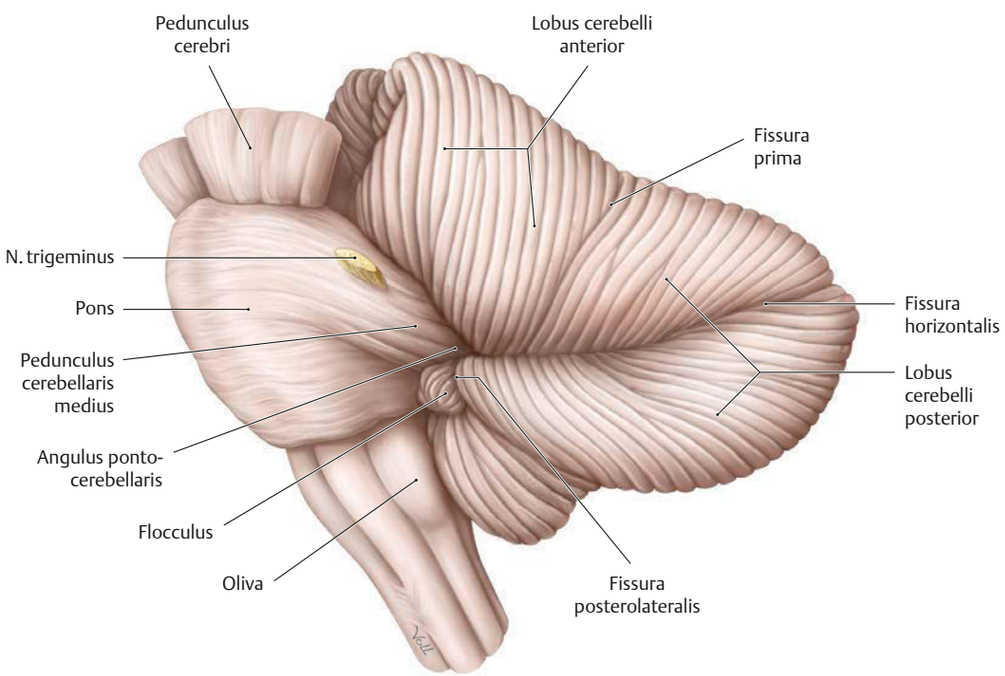
Ansicht von **a** kaudal, **b** kranial und **c** ventral; Kleinhirn an den Kleinhirnstielen (Pedunculi cerebellares) vom Hirnstamm abgetrennt.

Funktionell ist das Kleinhirn ein Teil des motorischen Systems. Es löst aber selbst keine bewussten Bewegungen aus, sondern dient der unbewussten Koordination und Feinregulierung von Bewegungsabläufen (s. **B**, S. 372). Wie beim Großhirn existieren auch beim Kleinhirn zwei Hemisphären (Hemispheria cerebelli). Während die beiden an sich getrennten *Großhirn*hemisphären jedoch „nur" durch Kommissurenbahnen – also Axone – verbunden sind, liegt zwischen den beiden *Kleinhirn*hemisphären mit dem unpaaren Wurm (Vermis cerebelli) ein eigener Kleinhirnanteil, der grundsätzlich den gleichen Aufbau aufweist wie die Hemisphären. Im Gegensatz zum Großhirn, wo alle Gyri und Sulci eine eigene Bezeichnung tragen, sind die ebenfalls der Oberflächenvergrößerung dienenden Folia cerebelli (Blätter) und Fissurae cerebelli (Spalten) nicht alle benannt. Fissurae cerebelli gliedern das Kleinhirn weiter in Lappen (Lobi cerebelli), z. B. trennt:

- die Fissura prima den Lobus cerebelli anterior vom Lobus cerebelli posterior (s. **b**),
- die Fissura posterolateralis den Lobus cerebelli posterior vom Lobus flocculonodularis (s. **B**).

Auf weitere, weniger wichtige Fissuren, die klinisch und funktionell ohne Bedeutung sind, wird hier nicht näher eingegangen. Neben dieser anatomischen Einteilung gibt es eine *phylogenetische* und eine *funktionelle* Einteilung (s. **B**, S. 372). Mit dem Hirnstamm ist das Kleinhirn über die drei sehr unterschiedlich großen Kleinhirnstiele (Pedunculi cerebellares superior, medius und inferior, s. **c**) verbunden, durch die die afferenten und efferenten Bahnen des Kleinhirns zur Verschaltung mit anderen Abschnitten des ZNS ziehen. Am Hirnstamm findet man dann die analogen Anschnitte der Kleinhirnstiele (s. **C**, **b** u. **c**, S. 355). Das Velum medullare superius (s. **c**), das zwischen den oberen Kleinhirnstielen ausgebreitet ist, schließt den IV. Ventrikel (s. **c**) nach kranial ab. Zur Mittellinie wölben sich beiderseits die Kleinhirntonsillen (Tonsillae cerebelli) vor. Sie liegen dem Foramen magnum der Schädelbasis (nicht dargestellt) an. Bei erhöhtem Hirndruck werden sie in das Foramen magnum verdrängt und drücken auf die zwischen ihnen liegenden lebenswichtigen Zentren im Hirnstamm. Dies kann zum Tode des Patienten führen (s. **D**, S. 309).

Funktionell unterscheidet man eine *Pars mediana* (rot), eine *Pars intermedia* (hellrot) und eine *Pars lateralis* (grau); diese funktionelle Einteilung hält sich nicht an die anatomisch definierten Lappengrenzen. Jeder dieser Teile projiziert auf einen spezifischen Kleinhirnkern (s. S. 368).



B Kleinhirn am Hirnstamm

Ansicht von links. Das dorsal dem Hirnstamm in Höhe des Pons aufliegende Kleinhirn trägt die gleichen Lage- und Richtungsbezeichnungen wie der Hirnstamm. In der Seitenansicht erkennt man vom Kleinhirn nur die Hemisphäre und den Flocculus, von den drei Kleinhirnstielen nur den Pedunculus cerebellaris medius mit seinem „Ursprung" aus dem Pons. Am Winkel zwischen Pons und Kleinhirn, dem Angulus pontocerebellaris (Kleinhirn-Brücken-Winkel) verlassen die Hirnnerven VII und VIII den Hirnstamm (hier nicht dargestellt, s. **Ca**, S. 355). Am Hirnnerv VIII (N. vestibulocochlearis; alte Bezeichnung N. statoacusticus) treten gelegentlich Tumore auf (sog. Akustikusneurinome), die nach ihrer Lokalisation dann als Kleinhirnbrückenwinkeltumore bezeichnet werden (s. **D**, S. 151). Aufgrund der Schädigung des Hirnnervs VIII stehen bei den betroffenen Patienten Hörstörungen und Beeinträchtigungen des Gleichgewichts im Vordergrund.

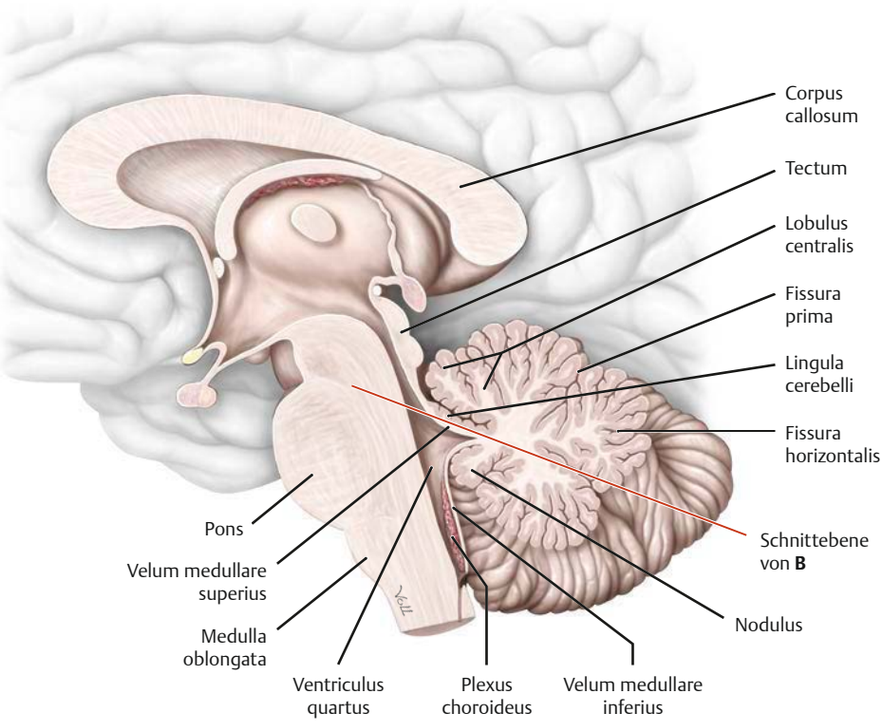
C Synopse der Gliederungsprinzipien des Kleinhirns

Phylogenetische Gliederung	Anatomische Gliederung	Funktionelle Gliederung nach der Herkunft der Afferenzen
• Archicerebellum (Urkleinhirn)	• Lobus flocculonodularis	• Vestibulocerebellum (Gleichgewichtserhaltung)
• Palaeocerebellum (Altkleinhirn)	• Lobus cerebelli anterior • Wurmanteile • mediale Teile des Lobus cerebelli posterior	• Spinocerebellum (Kontrolle des Muskeltonus)
• Neocerebellum (Neukleinhirn)	• laterale Teile des Lobus cerebelli posterior	• Pontocerebellum (= Cerebrocerebellum; zielgerichtete Ausführung motorischer Aktivitäten)

9.2 Innere Struktur

A Cerebellum: Lagebeziehung und Schnittfläche

Mediansagittalschnitt, Ansicht von links. Das Cerebellum erstreckt sich fast über die gesamte dorsale Länge des Hirnstamms und nähert sich kranial dem Tectum des Mesencephalons, kaudal der Medulla oblongata. Mit seinen oberen und unteren Kleinhirnsegeln (Velum medullare superius und inferius) verschließt es dorsal den IV. Ventrikel. Dem oberen Kleinhirnsegel liegt die Lingula cerebelli auf, dem unteren der Nodulus. Auf einem solchen Mediansagittalschnitt sieht man nur den Anschnitt des median gelegenen unpaaren Vermis; die lateral gelegenen Hemisphären bleiben intakt. Die Fissura prima, die schräg nach dorsal oben weist, trennt den Lobus anterior vom Lobus posterior, der v. a. mit seinen hier nicht sichtbaren lateralen Anteilen zu den entwicklungsgeschichtlich jungen Abschnitten des Cerebellums gehört (s. **C**, S. 368). Kleinhirnkerne, die im Marklager des Cerebellums liegen, erkennt man nur sehr schlecht auf Medianschnitten. Zur Sicht auf die Kleinhirnkerne nutzt man eine leicht nach dorsokaudal geneigte Schnittebene (s. **B**).

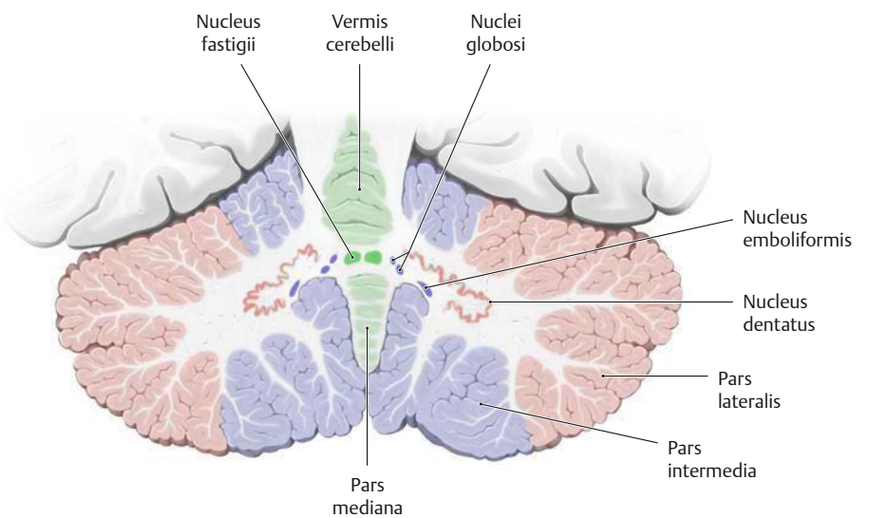


B Kerne des Kleinhirns

Schnitt durch die oberen Kleinhirnstiele (Schnittebene, s. **A**), Ansicht von dorsal. In der Tiefe der weißen Substanz des Kleinhirns liegen vier Kernpaare, die die *efferenten* Neurone des Kleinhirns enthalten:

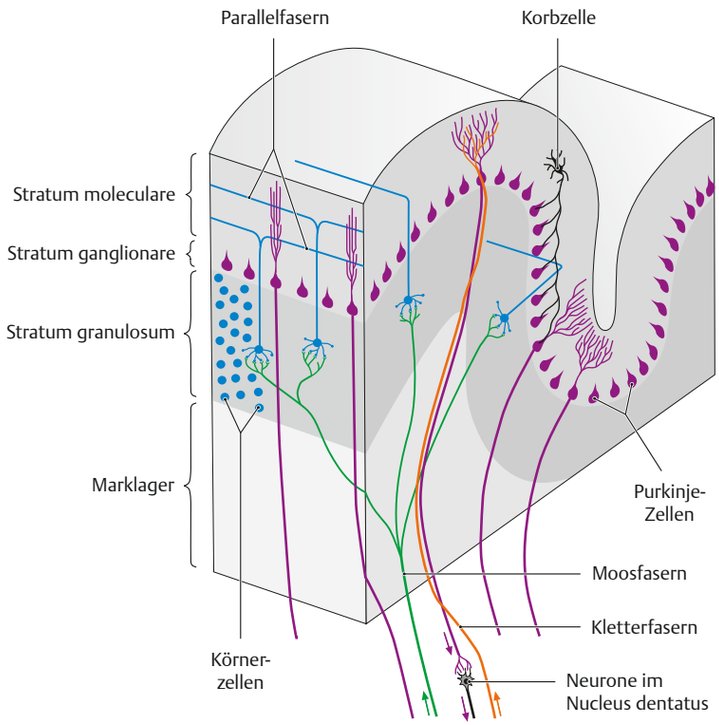
- Nucleus fastigii,
- Nucleus emboliformis,
- Nuclei globosi und
- Nucleus dentatus.

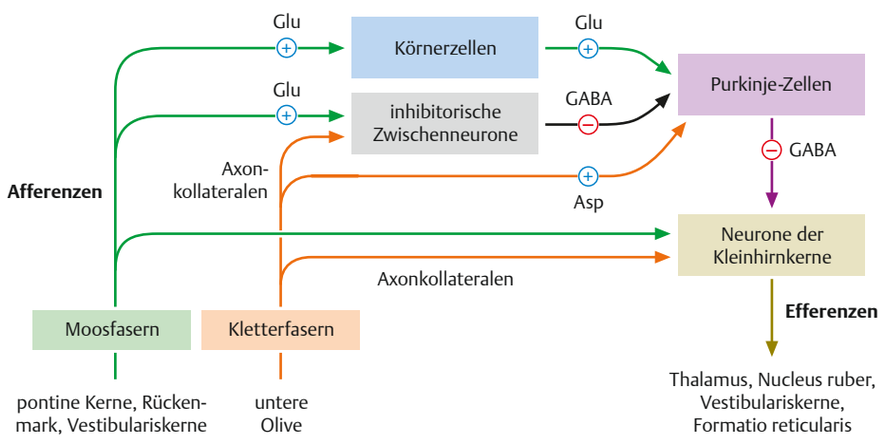
Der Nucleus dentatus ist der größte Kleinhirnkern und reicht bis in die Kleinhirnhemisphären hinein. Ihre *Afferenzen* beziehen die Kleinhirnkerne aus den farblich gleich dargestellten Arealen der Kleinhirnrinde (vgl. S. 366). Während die *Efferenzen* des Kleinhirns relativ einfach anatomischen Strukturen zuzuordnen sind, ist dies mit den Afferenzen nicht der Fall; zu ihrer Zuordnung s. S. 372.



C Kleinhirnkerne und Areale, in die ihre Axone ziehen (vgl. S. 371)

Kleinhirnkern mit efferenten Neuronen	Deutsche Bezeichnung und Synonyme	Kleinhirnrindenregion, die in den Kern projiziert
Nucleus dentatus	Zahnkern (Nucleus lateralis cerebelli)	Pars lateralis (laterale Teile der Kleinhirnhemisphären)
Nucleus emboliformis	Pfropfkern (Nucleus interpositus anterior)	Pars intermedia (mediale Teile der Kleinhirnhemisphären)
Nuclei globosi	Kugelkerne (Nucleus interpositus posterior)	Pars intermedia (mediale Teile der Kleinhirnhemisphären)
Nucleus fastigii	Giebelkern (Nucleus medialis cerebelli)	Pars mediana (Vermis cerebelli)





E Verschaltung im Kleinhirn (nach Bähr u. Frotscher)

Links Afferenzen, rechts Efferenzen. Obwohl das Kleinhirn nur etwa 10 % des gesamten Hirngewichts ausmacht, enthält es etwas mehr als 50 % seiner Neurone. Dies ist ein Zeichen für die Komplexität der motorischen Verschaltung im Kleinhirn. Die **Afferenzen** gelangen durch Kletter- und Moosfasern zum Kleinhirn: Die *Kletterfasern* enden am Dendritenbaum der Purkinje-Zellen und setzen dort ihren erregenden Transmitter Asparaginsäure (ASP) frei (vgl. **D**). Ihre Axonkollateralen ziehen zu inhibitorischen Zwischenneuronen sowie bevorzugt zu den Neuronen der Kleinhirnkerne. Die *Moosfasern* verzweigen sich weit und geben zahlreiche Axonkollateralen ab. Ein Teil der Moosfasern bildet Synapsen auf den Dendriten der Körnerzellen, die durch ihren Transmitter Glutamat erregend auf die Purkinje-Zellen wirken. Ein anderer Teil der Moosfasern endet auf inhibitorischen Zwischenneuronen, die durch ihren inhibitorischen Transmitter GABA die Purkinje-Zellen hemmen. Auch die Moosfasern senden funktionell wichtige Axonkollateralen zu den Kleinhirnkernen. Die **Efferenzen** des Kleinhirns sind – wie erwähnt – in den Kleinhirnkernen lokalisiert. Ihre Neurone senden prinzipiell efferente, exzitatorische Impulse in die Peripherie. Durch die Purkinje-Zellen, die ebenfalls den inhibitorischen Transmitter GABA enthalten, sowie durch die benachbarten Vestibulariskerne werden die Impulse aus den Kleinhirnkernen jedoch gezielt gehemmt. Dies sorgt für einen koordinierten Ablauf der Bewegungen. Wenn die Purkinje-Zellen ihrerseits durch die inhibitorischen Zwischenneurone gehemmt werden (s. *schwarzen* Pfeil), werden die Impulse aus den Kleinhirnkernen ungehemmt weitergeleitet, so dass die Bewegungsabläufe gestört sind (s. S. 373).

D Kleinhirnrinde (Cortex cerebelli)

Die Kleinhirnrinde besteht von außen nach innen aus drei Schichten:

- Stratum moleculare (Molekularschicht): enthält *Parallelfasern*, das sind Axone von Körnerzellen (blau) aus dem Stratum granulosum, die parallel zu den Kleinhirnwindungen verlaufen und hier in der Molekularschicht enden, wo sie Synapsen mit den ebenfalls hier lokalisierten Dendriten der Purkinje-Zellen bilden; Axone aus der unteren Olive und ihren Nebenkernen *(Kletterfasern)* sowie wenige inhibitorische Zwischenneurone *(Korb- und Sternzellen)*;
- Stratum ganglionare (Ganglien- oder Purkinje-Zellschicht; auch Stratum purkinjense): enthält *Purkinje-Zellen* (violett);
- Stratum granulosum (Körnerzellschicht): enthält fast ausschließlich *Körnerzellen* (blau), außerdem wenige *Moos- und Kletterfasern* (grün bzw. rosa) sowie *Golgi-Zellen* (nicht dargestellt; zu den Zellarten s. **F**).

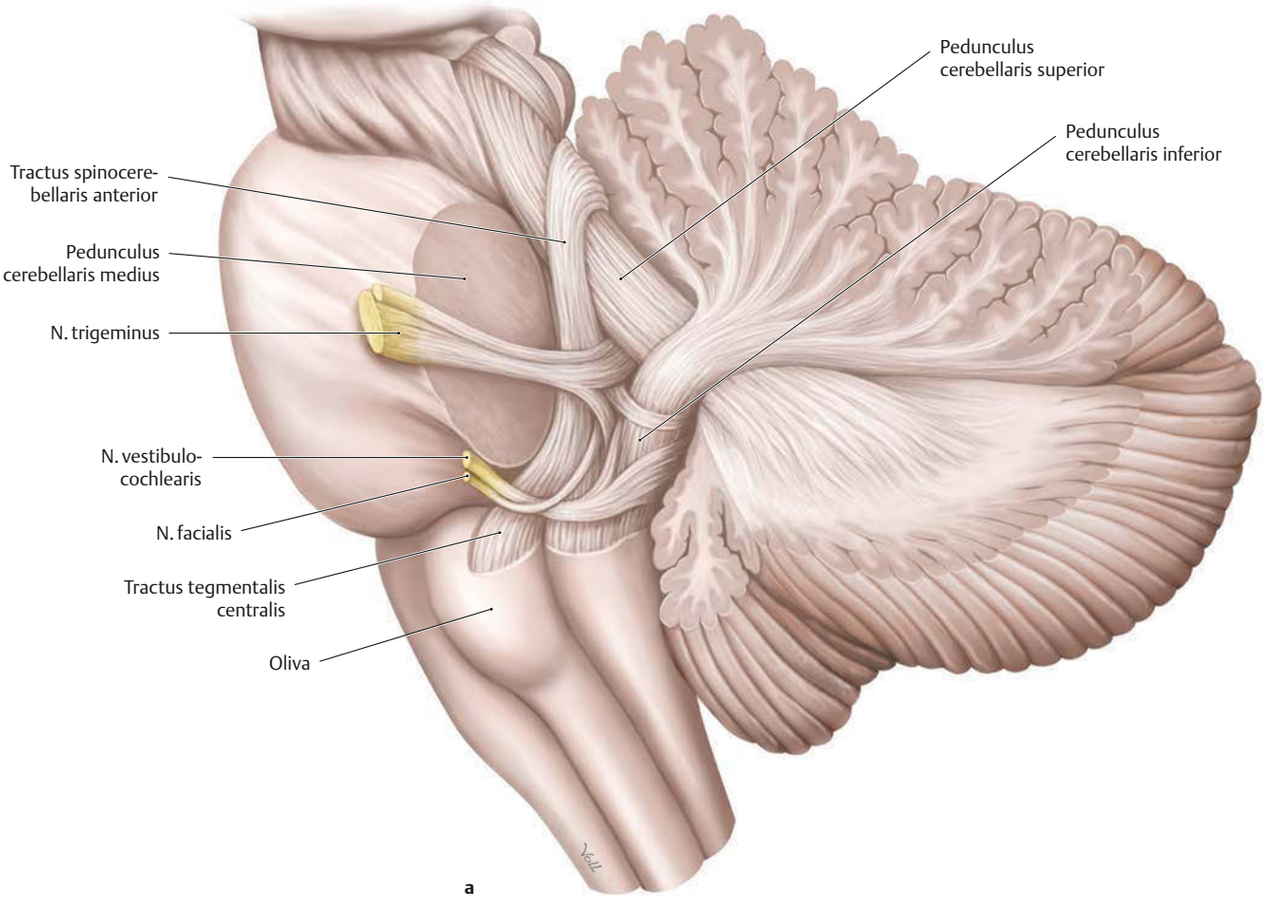
Unterhalb der Körnerzellschicht liegt die weiße Substanz (Marklager) des Kleinhirns.

Beachte: Die Purkinje-Zellen sind die einzigen efferenten Zellen der Kleinhirnrinde. Ihnen sind (als efferente Neurone) die in den Kleinhirnkernen lokalisierten Neurone nachgeschaltet.

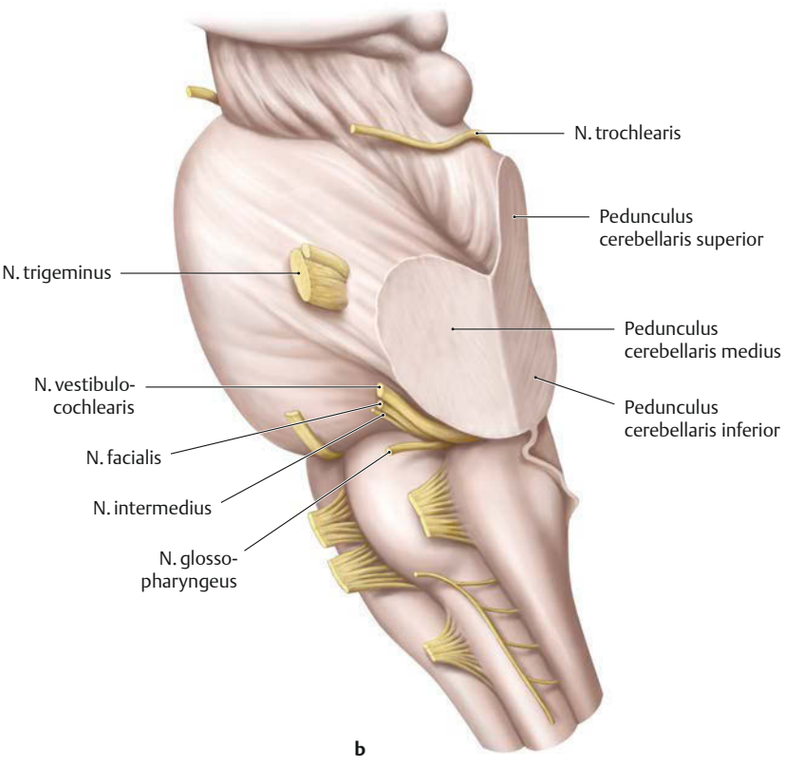
F Ausgewählte Neurone und Faserarten der Kleinhirnrinde

Bezeichnung	Definition
Kletterfasern	Axone von Neuronen der unteren Olive und ihrer Nebenkerne
Moosfasern	Axone von Neuronen aus pontinen Kernen, Rückenmark und Vestibulariskernen (pontozerebelläre und spinozerebelläre Bahnen sowie Vestibularis-bahnen)
Parallelfasern (s. **D**)	Axone der Körnerzellen
Körnerzellen	Interneurone in der Rinde
Purkinje-Zellen	einzige efferente Zellen der Hirnrinde mit inhibitorischer Wirkung

9.3 Kleinhirnstiele und -bahnen



a



b

A Kleinhirnstiele (Pedunculi cerebellares)

a Ansicht von links; kranialer Teil des Kleinhirns sowie laterale Teile der Brücke entfernt. In dieser Faserdarstellung wird der Verlauf der Kleinhirnbahnen besonders deutlich. Die Größe der Kleinhirnstiele und damit die Masse an ein- und austretenden Axonen ist beträchtlich und ein Hinweis auf die ausgiebige Verschaltung des Kleinhirns (s. S. 369). Das Kleinhirn benötigt diese vielen Verbindungen, da es ein zentrales Organ für die Feinabstimmung der Motorik ist. Es erhält insbesondere vestibuläre und propriozeptive Afferenzen, verarbeitet sie und moduliert motorische Kerne in anderen Hirnabschnitten und im Rückenmark. Die wichtigsten Afferenzen und Efferenzen des Kleinhirns fasst **B** zusammen.

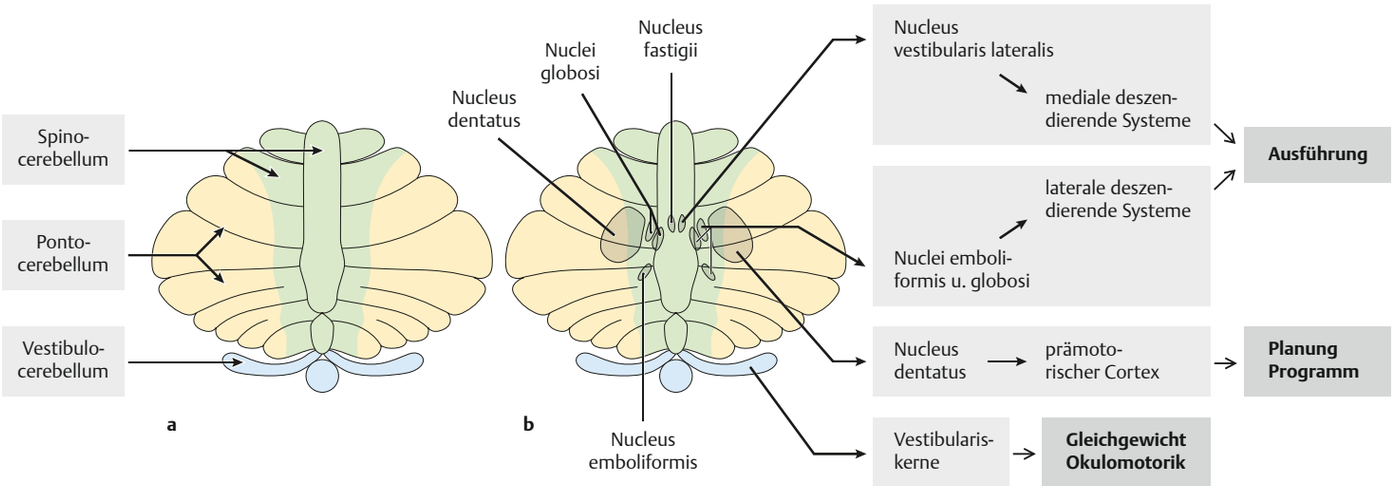
b Ansicht von links. Im Vergleich zu **a** ist hier das Kleinhirn an seinen Stielen abgetrennt worden, so dass man die komplementäre Schnittfläche der Kleinhirnstiele am Hirnstamm sieht (vgl. **Ac**, S. 366).

B Synopsis der Kleinhirnstiele mit ihren Bahnen

Durch die Pedunculi cerebellares ziehen in Bahnen geordnete, afferente und efferente Axone zum Kleinhirn und von ihm weg. Die afferenten Axone stammen aus Rückenmark, Vestibularorganen, Oliva inferior und Pons, die efferenten aus den Kleinhirnkernen (vgl. S. 368). Im Gegensatz zum Großhirn ist die Körperrepräsentation im Kleinhirn ipsilateral; Bahnen vom Kleinhirn zum Rückenmark wechseln deshalb nicht die Seite, Bahnen vom Kleinhirn zum Großhirn müssen dagegen auf die Gegenseite kreuzen. Vergleiche die Synopsis der sensiblen Bahnsysteme (S. 445).

Kleinhirnstiel mit Bahnen	Von wo? Bei Afferenz: Art der Afferenz	Wohin?
Pedunculus cerebellaris superior: enthält v. a. efferente Bahnen aus den Kleinhirnkernen; Kreuzung in der Decussatio pedunculorum cerebellarium superiorum (Wernekinck); danach Aufspaltung in einen schwächeren, *absteigenden* (zum Rückenmark) und einen stärkeren, *aufsteigenden* Schenkel (zum Mes- und Diencephalon).		
absteigende Anteile (efferent)	aus Nucleus fastigii und Nucleus globosus	Formatio reticularis (mediale Kerne im Bereich von Pons und Medulla oblongata); dort Umschaltung auf Tractus reticulospinalis
aufsteigende Anteile (efferent)	aus Nucleus dentatus (z. T. Nucleus emboliformis)	• Nucleus ruber (Mesencephalon) • Thalamus (Diencephalon)
Tractus spinocerebellaris anterior (Gowers) (afferent!)	unbewusste Propriozeption (Sehnenorgane, Muskelspindeln) der unteren Körperhälfte, Umschaltung im Hinterhorn des Rückenmarks, teilweise Kreuzung im Rückenmark und dann auch im Pons (durch doppelte Kreuzung wieder ipsilaterale Repräsentation)	enden als Moosfasern in Wurm, Pars intermedia des Lobus cerebelli anterior und Uvula vermis
Pedunculus cerebellaris medius: enthält ausschließlich afferente Bahnen		
Fibrae pontocerebellares	vom Cortex cerebri als • Fibrae temporopontinae (Türck-Bündel) und • Fibrae frontopontinae (Arnold-Bündel); dann Umschaltung in den Nuclei pontis auf diese Bahn; Kreuzung zur Gegenseite	enden größtenteils als Moosfasern der kontralateralen Kleinhirnhemisphäre (Cerebro- oder Pontocerebellum)
Pedunculus cerebellaris inferior: enthält afferente und efferente Bahnen		
Tractus spinocerebellaris posterior (Flechsig) (afferent)	Propriozeption (Sehnenorgane, Muskelspindeln) des Beins und unteren Rumpfes (entspricht funktionell dem Tractus spinocerebellaris anterior)	enden als Moosfasern im Wurm, in der Zona intermedia und in der Pyramide
Fibrae cuneocerebellares (afferent)	Propriozeption (Sehnenorgane, Muskelspindeln) von Arm und oberem Rumpf	enden als Moosfasern im Wurm, in der Zona intermedia und in der Pyramide
Tractus olivocerebellaris (afferent)	untere Olive, die als ventral verlagerter Kleinhirnkern betrachtet wird, empfängt ihre Afferenzen wiederum aus dem Rückenmark, der Großhirnrinde und von weiteren Kernen des motorischen Systems	enden als Kletterfasern in der Molekularschicht der Kleinhirnrinde
Tractus vestibulocerebellaris (afferent)	primäre und sekundäre (Umschaltung in Vestibularniskernen) Afferenzen aus den Bogengängen des Innenohrs	enden in Nodulus, Flocculus, Nucleus fastigii und Uvula vermis
trigeminozerebelläre Moosfasern (afferent)	im Wesentlichen taktile Impulse aus dem Gesicht	enden vermutlich an drei verschiedenen Kleinhirnabschnitten
Fibrae cerebelloolivares (efferent)	Nucleus dentatus	enden in der unteren Olive

9.4 Vereinfachte funktionelle Anatomie und Läsionen des Kleinhirns



A Vereinfachte funktionelle Anatomie des Kleinhirns
(nach Klinke u. Silbernagl)

Zweidimensionale Darstellung des Kleinhirns. Auf der linken Seite sind die afferenten Informationen aus der Peripherie zu sehen, die das Kleinhirn als Organ der Willkürmotorik benötigt; die funktionelle Gliederung des Kleinhirns nach der Herkunft seiner Afferenzen wird deutlich (Vestibulo-, Spino- und Pontocerebellum, s. S. 367 sowie **B**). Dabei enden die Afferenzen nicht an den äußerlich sichtbaren anatomischen Grenzen. Nach Verarbeitung der afferenten Informationen sendet die Kleinhirnrinde *efferente* Impulse an die *Kleinhirnkerne,* die letztendlichen Efferenzen aus dem Kleinhirn als Ganzes (rechts dargestellt):

- Nucleus fastigii und nachgeschaltet Nucleus vestibularis lateralis beeinflussen die Skelettmuskulatur und damit die Ausführung von Bewegungen über die *medialen* deszendierenden Systeme; Nucleus emboliformis sowie die Nuclei globosi über die *lateralen* deszendierenden Systeme (s. S. 410).
- Der Nucleus dentatus projiziert in den Cortex cerebri und beeinflusst damit die Planung und Programmierung von Bewegungen.
- Efferenzen aus dem Vestibulocerebellum beeinflussen das Gleichgewicht und die Okulomotorik.

Visuelle Eingänge werden bei dieser Gliederung nicht berücksichtigt.

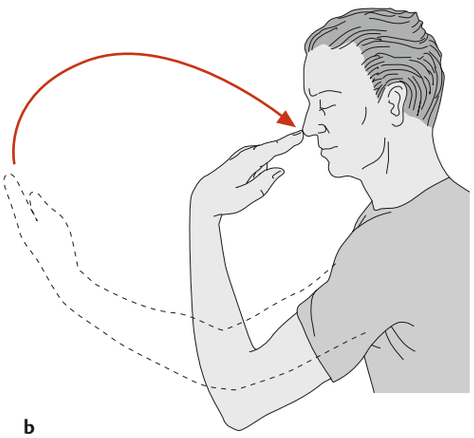
B Synopse der Untergliederung des Kleinhirns und Zuordnung motorischer Ausfälle

Diese Gliederung des Kleinhirns ist auch von klinischem Interesse, da aus lokalisierten Ausfällen des Kleinhirns typische Ausfallerscheinungen resultieren.

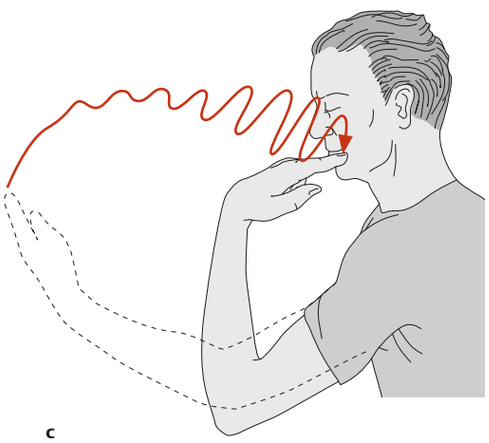
Phylogenetische Gliederung	Anatomische Gliederung	Funktionelle Gliederung	Ausfallsymptomatik (s. **C**)
• Archicerebellum (Urkleinhirn)	• Lobus flocculonodularis	• Vestibulocerebellum (Gleichgewichtserhaltung)	• Rumpf-Stand-Gang-Ataxie • Okulomotorikstörungen • Schwindel • Nystagmus • Erbrechen
• Paleocerebellum (Altkleinhirn)	• Lobus anterior, Wurmanteile • Lobus posterior, mediale Teile	• Spinocerebellum (Kontrolle des Muskeltonus)	• beinbetonte Ataxie • Sprechstörung (fehlende Synergie der Sprechmuskulatur)
• Neocerebellum (Neukleinhirn)	• Lobus posterior, Hemisphären	• Pontocerebellum (= Cerebrocerebellum; zielgerichtete Ausführung motorischer Aktivitäten)	• Dys- und Hypermetrie (positives Rebound-Phänomen) • Intentionstremor • Nystagmus • Muskelhypotonie



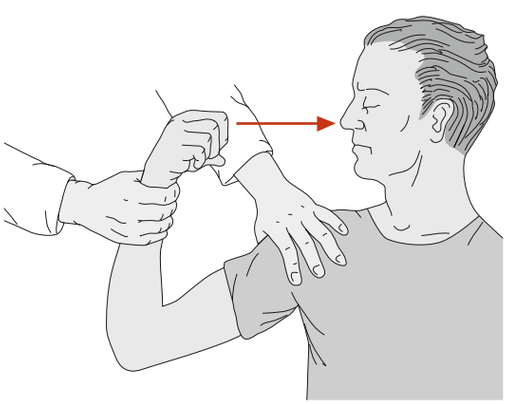
a



b



c



d

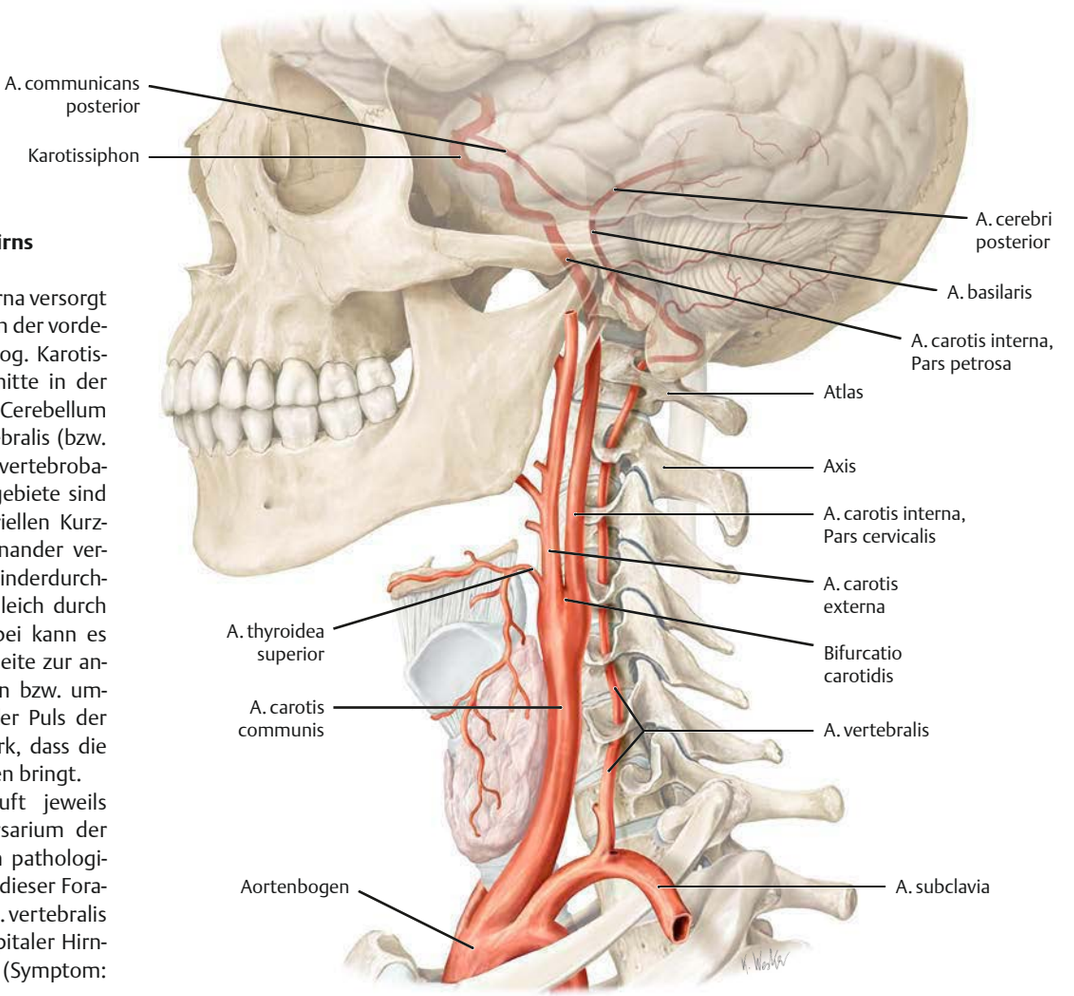
C Kleinhirnläsionen

Kleinhirnläsionen können klinisch lange unauffällig bleiben, da sie funktionell relativ gut von anderen Hirnbezirken kompensiert werden. Eine Ausnahme sind direkte Schäden der efferenten Kleinhirnkerne, die klinisch nicht kompensiert werden können.

Hauptkleinhirnsymptome:

Asynergie	Unmöglichkeit, insbesondere bei feineren Bewegungen, verschiedene Muskelgruppen exakt zusammenwirken zu lassen.
Ataxie	Ungeordnetes Zusammenspiel einzelner Bewegungsabläufe. Man unterscheidet Rumpfataxie (Kranker kann nicht ruhig und aufrecht sitzen bleiben) sowie Stand- und Gangataxie (gestörte Extremitätenmotorik, z. B. unsicherer Gang des Betrunkenen). Der Patient steht breitbeinig und hält sich an der Wand fest (**a**).
Muskelhypotonie	Muskelschwäche der ipsilateralen Muskulatur, leichte Ermüdungserscheinungen (Asthenie).
Intentionstremor	Unwillkürliche, rhythmisch schwingende Bewegung bei zielgerichteten Bewegungen, z. B. beim Finger-Nase-Versuch: **b** Normalbefund und **c** Finger-Nase-Versuch bei Kleinhirnläsion.
Rebound-Phänomen	Der Patient wird (bei geschlossenen Augen) gebeten, den Arm gegen Widerstand des Untersucher zu bewegen s. **d**. Lässt der Untersucher den Arm plötzlich los, erfolgt kräftiges Zurückschlagen des Armes (Hypermetrie).

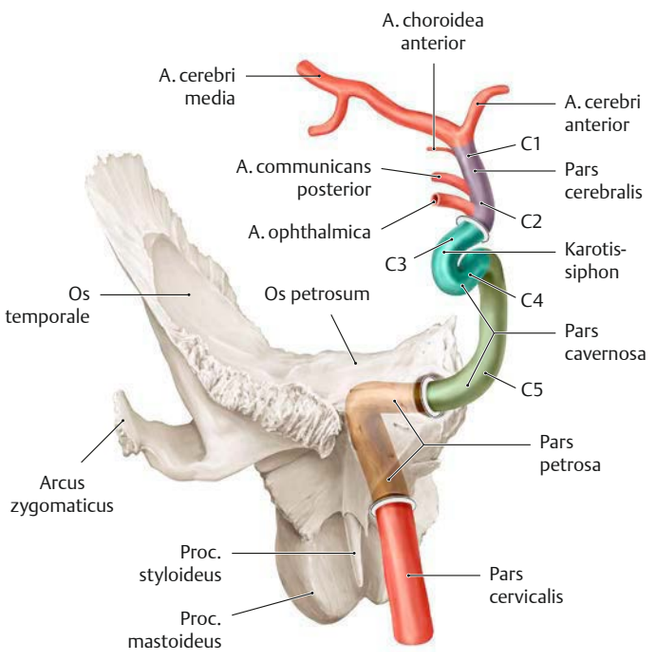
10.1 Zuführende Arterien und Circulus arteriosus



A Arterielle Versorgung des Gehirns im Überblick

Ansicht von links. Die A. carotis interna versorgt ganz überwiegend Hirnabschnitte in der vorderen und mittleren Schädelgrube (sog. Karotisstromgebiet), während Hirnabschnitte in der hinteren Schädelgrube (so auch Cerebellum und Hirnstamm) durch die A. vertebralis (bzw. A. basilaris) versorgt werden (sog. vertebrobasiläres Stromgebiet). Beide Stromgebiete sind durch einen „kreisförmigen" arteriellen Kurzschluss (Circulus arteriosus) miteinander verbunden, der in vielen Fällen bei Minderdurchblutung eines Gefäßes einen Ausgleich durch ein anderes Gefäß garantiert. Dabei kann es zu einem Blutshift von der einen Seite zur anderen oder von vorne nach hinten bzw. umgekehrt kommen. Insbesondere der Puls der dicken A. carotis interna ist so stark, dass die Pulswelle das Gehirn zum Schwingen bringt.

Beachte: Die A. vertebralis verläuft jeweils durch das sog. Foramen transversarium der Halswirbel C6–1. Kommt es durch pathologische Prozesse zur einer Einengung dieser Foramina, kann die Kompression der A. vertebralis zu einer Minderdurchblutung okzipitaler Hirnabschnitte und des Cerebellums (Symptom: Schwindel!) kommen.



B Die vier anatomischen Abschnitte der A. carotis interna

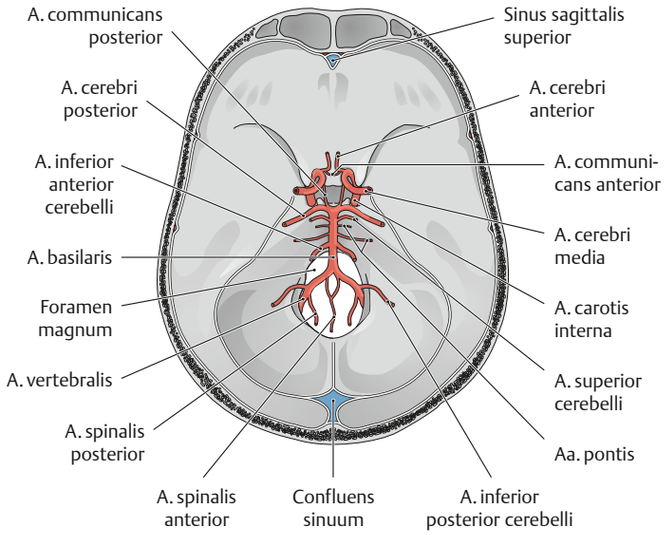
Rechte A. carotis interna in der Ansicht von vorne. Von der Karotisgabel (Bifurcatio carotidis) bis zu ihrer Aufzweigung in die Aa. cerebri media und anterior gliedert sich der Verlauf der A. carotis interna in vier topografisch unterschiedliche Abschnitte:

- Pars cervicalis (v. a. im Spatium lateropharyngeum),
- Pars petrosa (im Canalis caroticus des Felsenbeins),
- Pars cavernosa (entlang einer S-förmigen Krümmung im Sinus cavernosus) und
- Pars cerebralis (in der Cisterna chiasmatica des Subarachnoidalraums).

Bis auf die Pars cervicalis der A. carotis interna, die in der Regel keine eigenen Äste entlässt, weisen alle anderen Abschnitte zahlreiche Gefäßabgänge auf (hier z. T. nicht dargestellt, s. S. 102). Die *intrakraniellen* Abschnitte der A. carotis interna werden unter klinischen Gesichtspunkten zusätzlich noch in fünf Segmente (C1–5) unterteilt:

- C1–2 der Pars cerebralis bilden den supraklinoidalen Abschnitt, der oberhalb des Proc. clinoideus anterior des kleinen Keilbeinflügels liegt;
- C3–5 der Pars cavernosa bilden den infraklinoidalen Abschnitt.

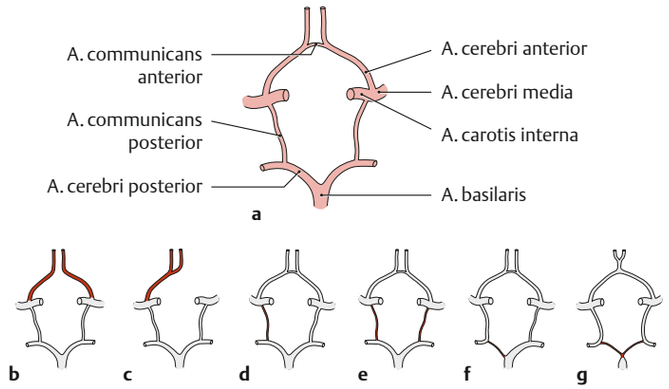
Die Segmente C2–4 gehören dabei zum Karotissiphon.



C Projektion des Circulus arteriosus cerebri (Willisii) auf die innere Schädelbasis

Ansicht von oben. Die beiden Aa. vertebrales gelangen durch das Foramen magnum in das Schädelinnere und fusionieren auf dem Clivus zur unpaaren A. basilaris. Aus dieser gehen dann die beiden Aa. cerebri posteriores hervor (zu den weiteren Gefäßen, die den Circulus arteriosus im Normalfall bilden, s. **D**).

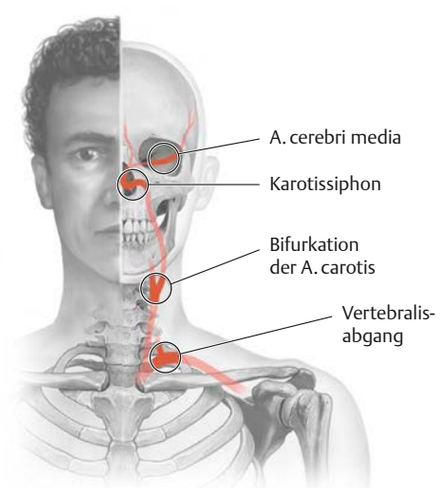
Beachte: Die A. cerebri media ist jeweils die direkte Fortsetzung des Karotisstromgebiets. Daher findet man viele arterielle Embolien, die im linken Herzen entstanden sind, im sog. Mediastromgebiet.



D Varianten des Circulus arteriosus cerebri (Willisii)
(nach Lippert u. Pabst)

Die Gefäßverbindungen innerhalb des Circulus arteriosus können individuell sehr unterschiedlich angelegt sein; die hier dargestellten Hypoplasien eines Gefäßabschnittes sind für die normale Funktion in der Regel unerheblich.

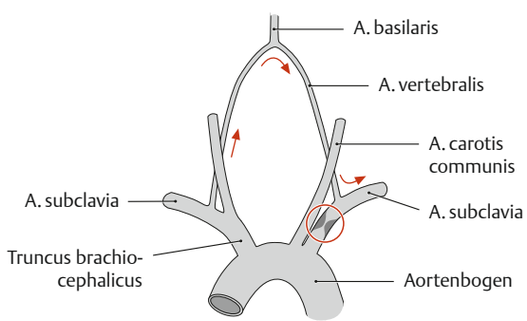
- **a** In 40 % der Fälle wird der Circulus arteriosus aus folgenden Arterien gebildet: A. communicans anterior, A. cerebri anterior, A. cerebri media, A. carotis interna, A. communicans posterior, A. cerebri posterior und A. basilaris;
- **b** die A. communicans anterior fehlt (1 % der Fälle);
- **c** beide Aa. cerebri anteriores kommen aus jeweils einer A. carotis interna (10 % der Fälle);
- **d** die A. communicans posterior ist einseitig schwach oder gar nicht ausgebildet (10 % der Fälle);
- **e** die A. communicans posterior ist beidseitig schwach ausgebildet oder fehlt (10 % der Fälle);
- **f** die A. cerebri posterior entspringt einseitig aus der A. carotis interna (10 % der Fälle);
- **g** die A. cerebri posterior entspringt beidseitig aus der A. carotis interna (5 % der Fälle).



E Einengungen und Verschlüsse der zuführenden Hirnarterien

Bei älteren Menschen kann es durch Arteriosklerose zu Einengungen (Stenosen) und manchmal sogar zum kompletten Verschluss der zuführenden Hirnarterien kommen. Stenosen sind meistens an Gefäßverzweigungen lokalisiert; die häufigsten Stellen sind hier eingezeichnet. Isolierte Stenosen, die sich langsam entwickeln, können über die anderen zuführenden Gefäße kompensiert werden. Wenn Stenosen jedoch an mehreren Stellen gleichzeitig auftreten, kann der Circulus arteriosus cerebri die Mangelversorgung nicht mehr ausgleichen. Es kommt zu Durchblutungsstörungen im Gehirn (zerebrale Ischämie unterschiedlicher Schweregrade, vgl. S. 392).

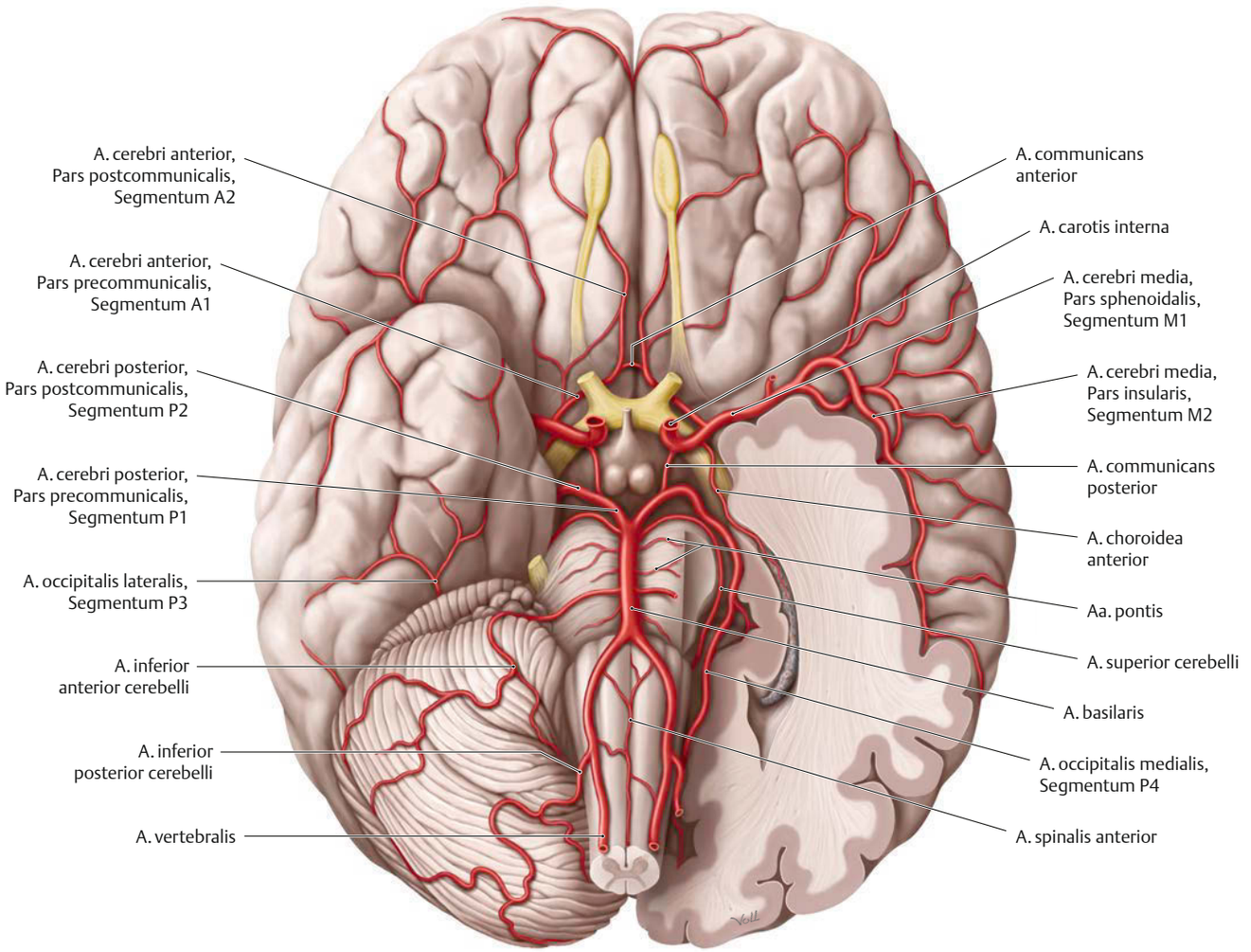
Beachte: Der Schaden macht sich im Gehirn bemerkbar, die Ursache liegt aber in den zuführenden Gefäßen. Da man solche Stenosen behandeln kann, hat ihre Diagnose eine therapeutische Konsequenz.



F Anatomische Grundlagen des Subclavian-steal-Syndroms

Die hier dargestellte Einengung der linken A. subclavia (roter Kreis) vor dem Abgang der A. vertebralis führt zum Subclavian-steal-Syndrom, wörtlich: Subklavia-Anzapf-Syndrom, wobei es sich eigentlich um ein Anzapfen der *A. vertebralis* handelt. Bei Belastung des linken Armes, z. B. bei Gartenarbeit, kann für die Mehrarbeit der Muskulatur nicht genügend Blut in den linken Arm geleitet werden (Patient klagt über Muskelschwäche). Deshalb wird Blut aus dem Kreislauf der A. vertebralis „abgezapft", es kommt zu einer Stromumkehr in der A. vertebralis der *betroffenen* Seite (Pfeile). Dies führt zu einer Minderversorgung im Stromgebiet der A. basilaris, die sich beim Betroffenen durch Schwindelgefühl äußert. Beim gesunden rechten Arm treten bei Belastung keine Symptome auf.

10.2 Oberflächlicher Verlauf der Großhirnarterien



A Arterien an der Hirnbasis

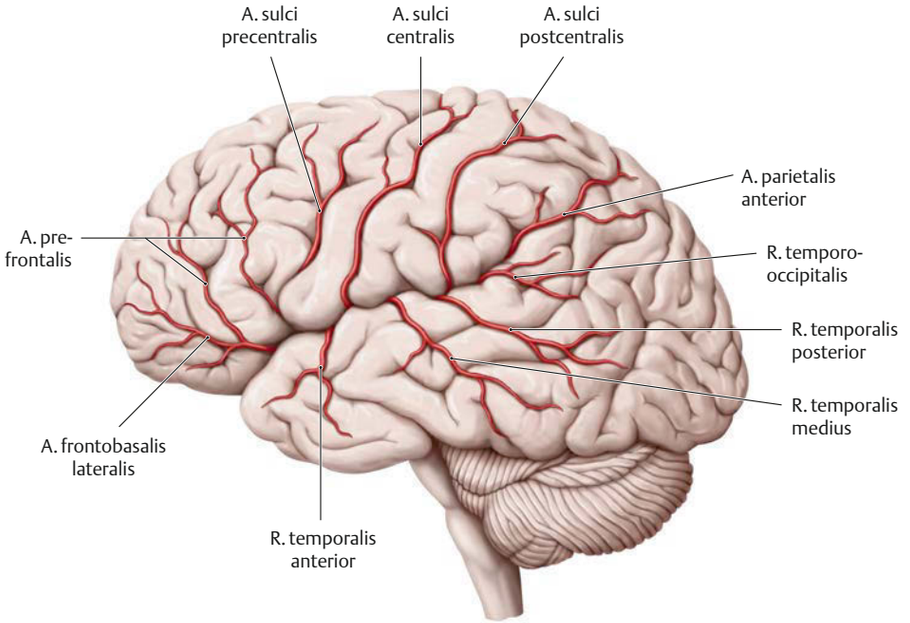
Kleinhirn und Temporallappen auf der linken Seite zur Freilegung des Verlaufs der A. cerebri posterior entfernt. Diese Ansicht wurde gewählt, weil ein großer Teil der Arterien, die das Gehirn versorgen, von der Hirnbasis her in das Großhirn eintritt.

Beachte die drei großen Gefäße des Großhirns: Aa. cerebri anterior, media und posterior. Die beiden erstgenannten Arterien sind Äste der A. carotis interna, die letztgenannte stammt aus dem Stromgebiet der Aa. vertebrales (s.S. 374f). Aus den Aa. vertebrales gehen noch Äste für das Rückenmark und den Hirnstamm sowie das Kleinhirn hervor (A. spinalis anterior und Aa. spinales posteriores sowie A. superior cerebelli und Aa. inferiores anterior und posterior cerebelli).

Beachte: Reißt der Circulus arteriosus oder eines seiner Stammgefäße aufgrund eines Gefäßwanddefektes (Aneurysma, s. **B**, S. 391), so strömt das Blut direkt in den Subarachnoidalraum (Subarachnoidalblutung; blutiger Liquor).

B Segmente der Aa. cerebri anterior, media und posterior

Arterienabschnitt	Partes	Segmente
A. cerebri anterior	• Pars precommunicalis • Pars postcommunicalis	• Segmentum A1 = Arterienabschnitt vor der A. communicans anterior • Segmentum A2 = Arterienabschnitt, der an die A. communicans anterior anschließt
A. cerebri media	• Pars sphenoidalis • Pars insularis	• Segmentum M1 = 1., horizontaler Abschnitt der Arterie (Pars horizontalis) • Segmentum M2 = Arterienabschnitt auf der Insel
A. cerebri posterior	• Pars precommunicalis • Pars postcommunicalis	• Segmentum P1 = Arterienabschnitt zwischen Gabelung der A. basilaris und A. communicans posterior • Segmentum P2 = Arterienabschnitt zwischen A. communicans posterior und Rr. temporales anteriores • Segmentum P3 = A. occipitalis lateralis • Segmentum P4 = A. occipitalis medialis

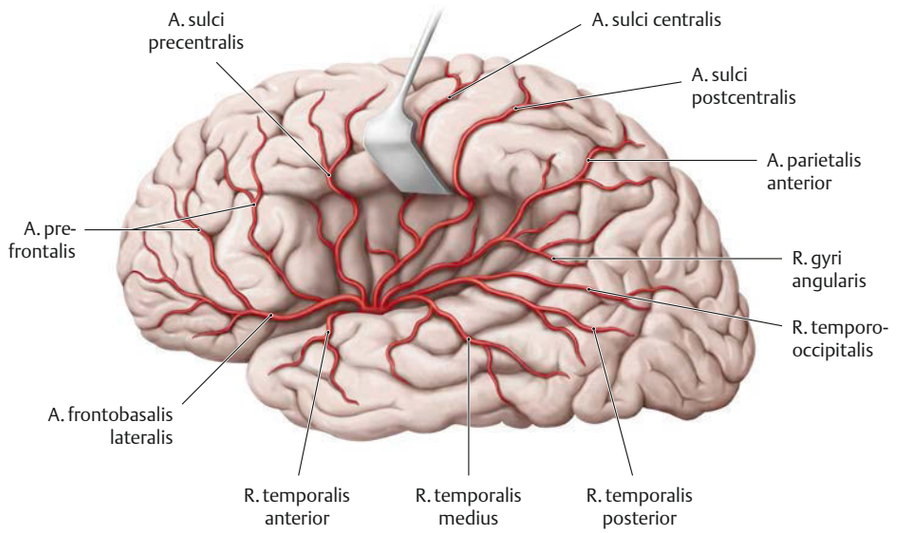


C Endäste der A. cerebri media an der lateralen Großhirnhemisphäre

Ansicht von links. Die meisten Blutgefäße an der lateralen Hirnoberfläche sind Endäste (= Rr. terminales) der A. cerebri media und bilden den letzten Abschnitt des Mediastromgebietes (Pars terminalis). Man kann sie grob in zwei Gruppen aufteilen:

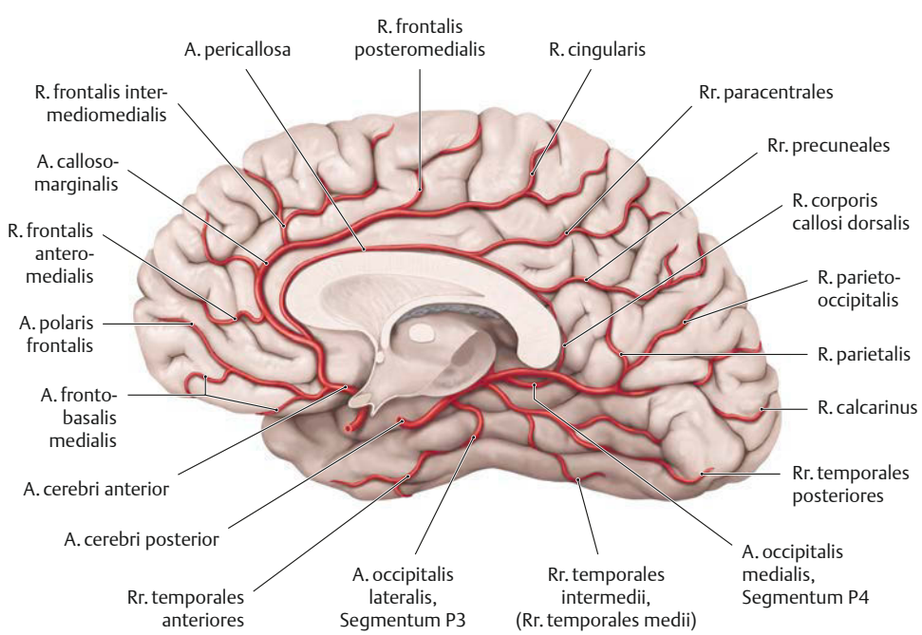
- Rr. terminales (corticales) inferiores: umfassen die Äste für die Rinde des Temporallappens und
- Rr. terminales (corticales) superiores: versorgen an der Hirnrinde Frontal- und Parietallappen.

Die tiefer liegenden Strukturen, die durch diese Äste versorgt werden, sind hier nicht dargestellt (s. S. 378).



D Verlauf der A. cerebri media in der Tiefe des Sulcus lateralis

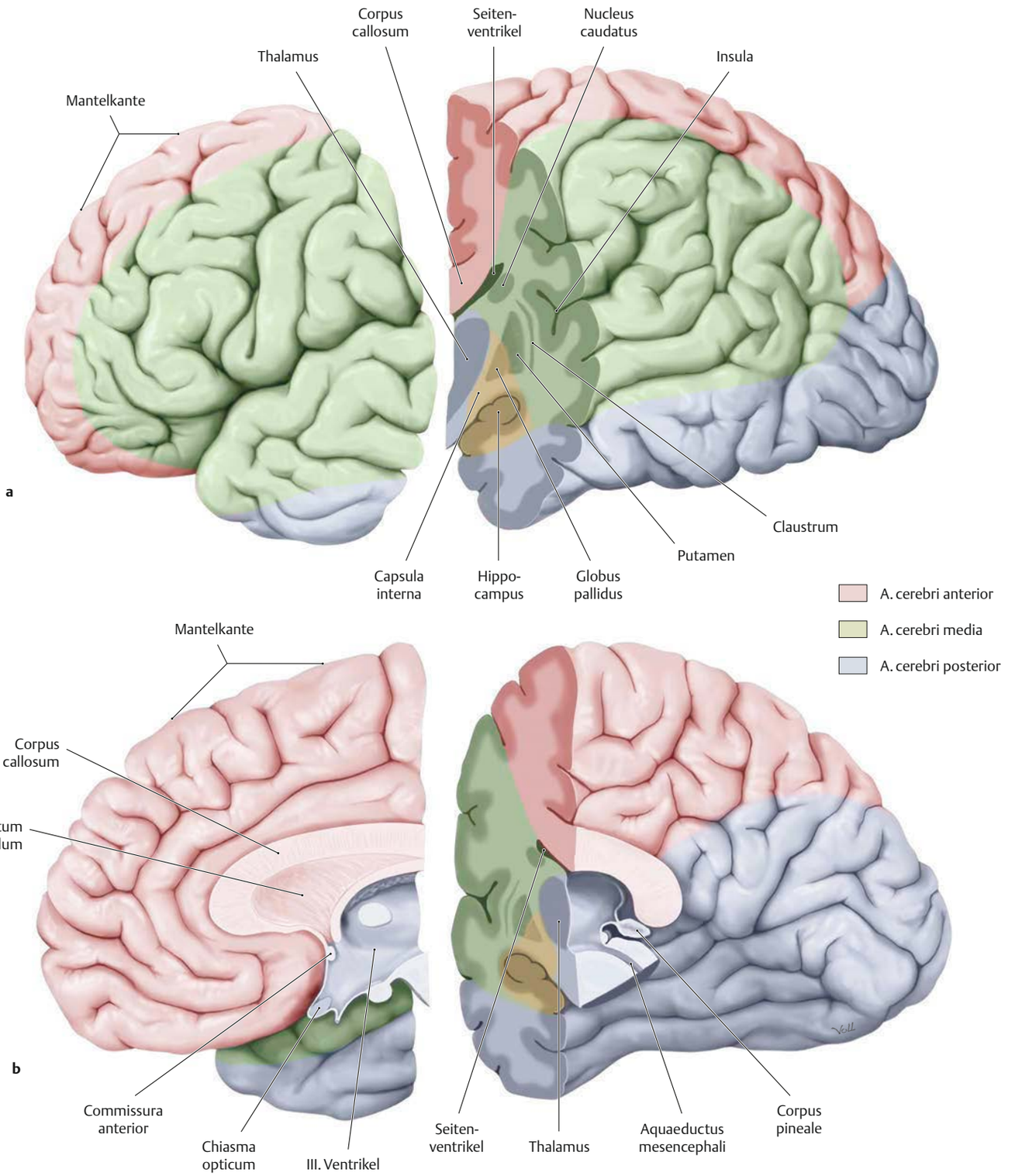
Ansicht von links. Auf ihrem Weg zur lateralen Oberfläche der Großhirnhemisphäre verläuft die A. cerebri media zunächst an der Hirnbasis als Pars sphenoidalis. Im weiteren Verlauf zieht sie durch den Sulcus lateralis vorbei an der Insel (Insula), einem in die Tiefe verlagerten Abschnitt der Großhirnrinde. Wenn, wie hier dargestellt, Temporal- und Parietallappen auseinandergedrängt werden, werden die Arterien der Insula sichtbar (die von der Pars insularis der A. cerebri media versorgt werden) (s. **A**). Bei der angiografischen Darstellung präsentieren sich die Aufzweigungen der Pars insularis wie die „Arme" eines Kandelabers, so dass diese Arterie den Beinamen „Kandelaberarterie" bekommen hat.



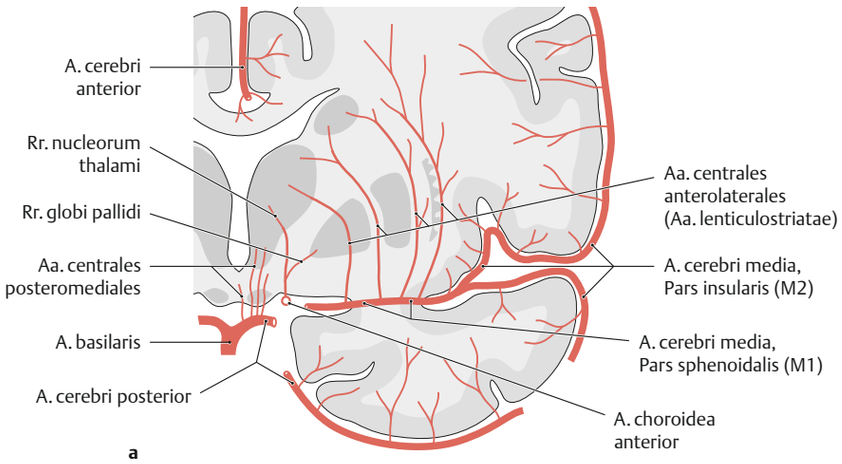
E Aufzweigungen der Aa. cerebri anterior und posterior an der medialen Oberfläche des Großhirns

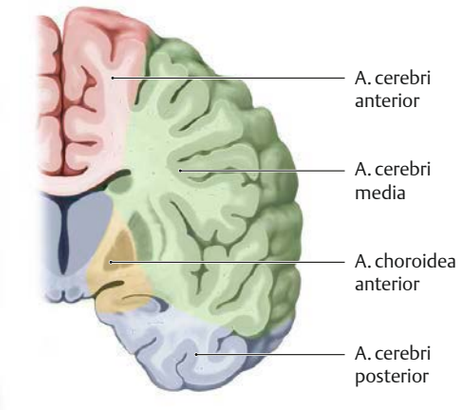
Ansicht von medial auf die rechte Großhirnhälfte nach Entfernen der linken Großhirnhemisphäre sowie des Hirnstammes. Die mediale Oberfläche des Gehirns wird von Ästen der A. cerebri anterior und posterior versorgt. Während die *A. cerebri anterior* aus der A. carotis interna stammt, kommt die *A. cerebri posterior* aus der A. basilaris (gemeinsamer Endast der linken und rechten A. vertebralis) und damit aus dem vertebrobasilären Stromgebiet.

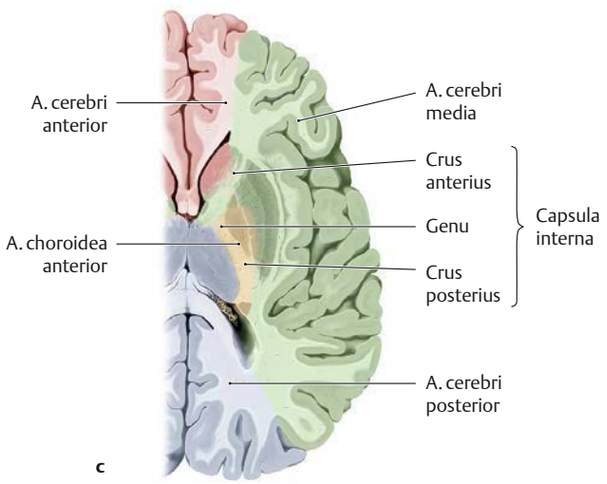
10.3 Versorgungsgebiete der drei großen Arterien im Großhirn (Arteriae cerebri anterior, media und posterior)



A Versorgungsgebiete der drei großen Hirnarterien
a linkes Großhirn von lateral; **b** rechtes Großhirn von medial. Der größte Teil der lateralen Oberfläche wird von der A. cerebri *media* (grün) versorgt, ihre Äste steigen aus der Tiefe der Insel zum Cortex auf. Die Äste der A. cerebri *anterior* versorgen den Frontalpol und die Kortexareale nahe der Mantelkante (rot bzw. rosa), die A. cerebri *posterior* versorgt den Okzipitalpol und die unteren Teile des Temporallappens (blau). Die Blutversorgung der im Zentrum liegenden grauen und weißen Substanz ist komplex (gelb: z. T. über die A. choroidea anterior). An der Medianfläche des Gehirns dominieren die Versorgungsareale der A. cerebri anterior und posterior.







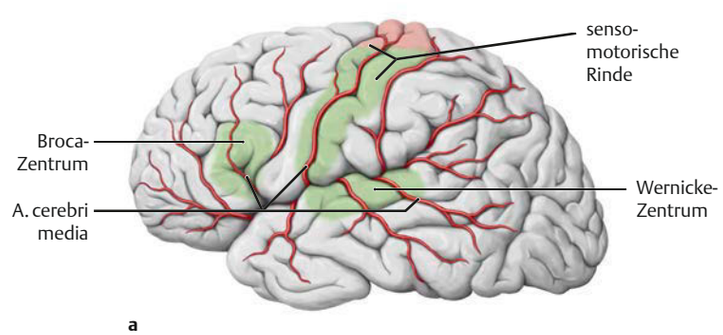
B Versorgungsgebiete der drei großen Hirnarterien im Horizontal- und Frontalschnitt

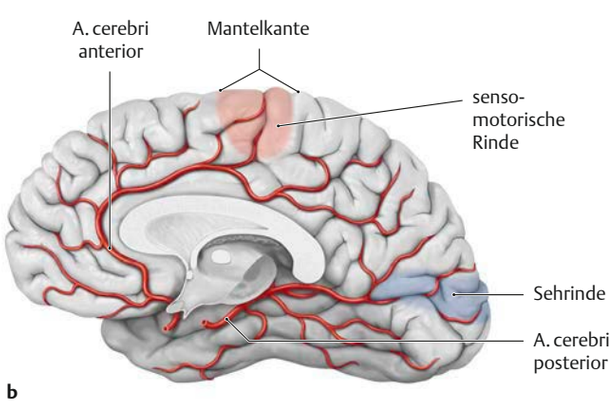
a u. **b** Frontalschnitt auf Höhe der Corpora mammillaria; **c** Horizontalschnitt auf Höhe der Capsula interna.

An der Blutversorgung der Capsula interna, der Basalganglien und des Thalamus sind im wesentlichen sog. Perforansäste der Gefäße beteiligt, die an der Hirnbasis verlaufen:

- A. choroidea anterior (aus der A. carotis interna),
- Aa. centrales anterolaterales (Aa. lenticulostriatae bzw. Rr. striati) mit ihren Endästen (aus der A. cerebri media),
- Aa. centrales posteromediales (aus der A. cerebri posterior) sowie
- Rr. perforantes (aus der A. communicans posterior).

Die Capsula interna, durch die u. a. die Pyramidenbahn zieht, wird größtenteils aus der A. cerebri media (Crus anterius und Genu) sowie aus der A. choroidea anterior (Crus posterius) versorgt. Kommt es zu einem Verschluss dieser Gefäße, wird u. a. die Pyramidenbahn unterbrochen. Die Folge sind Lähmungen der kontralateralen Körperhälfte (Schlaganfall: zentrale Lähmung s. **C**, S. 393).





C Funktionelle Zentren an der Großhirnoberfläche

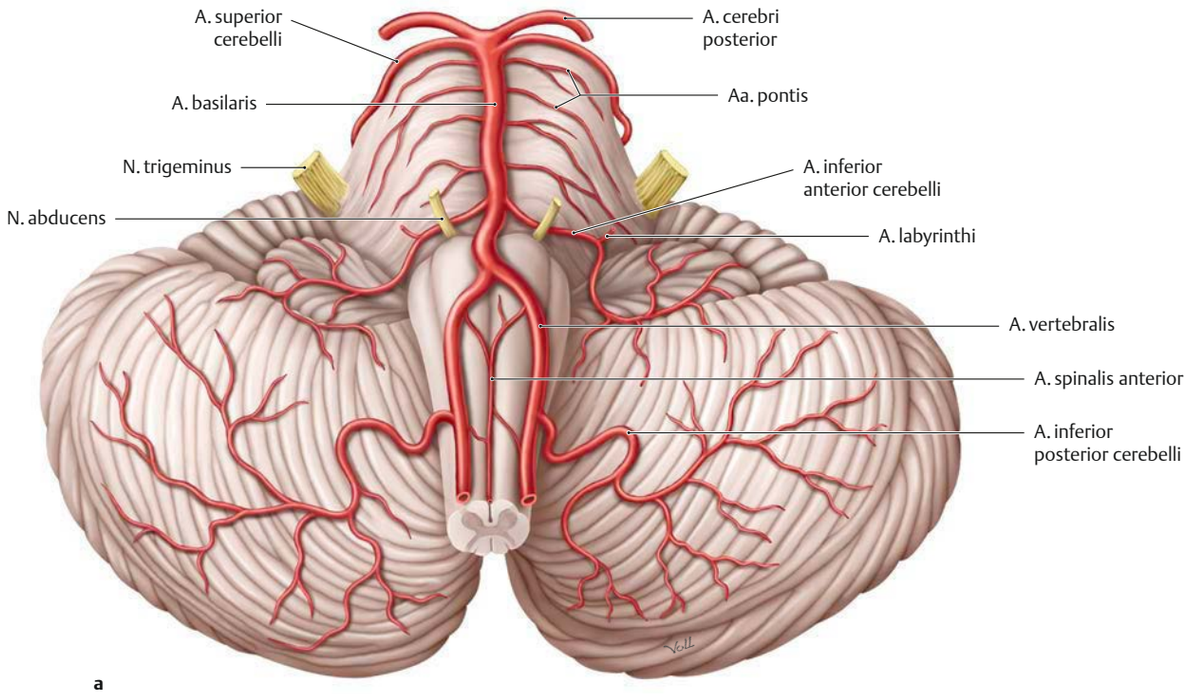
a Ansicht des linken Großhirns von lateral; Zentren, die von Ästen der A. cerebri media versorgt werden, grün markiert; **b** Ansicht der rechten Großhirnhemisphäre von medial; Zentren, die von Ästen der A. cerebri anterior versorgt werden, rot markiert; Zentren, die von Ästen der A. cerebri posterior versorgt werden, blau markiert.

Bestimmte Funktionen lassen sich fest definierten Bereichen im Großhirn zuordnen. Diese Bereiche werden von Ästen der drei großen Hirnarterien versorgt:

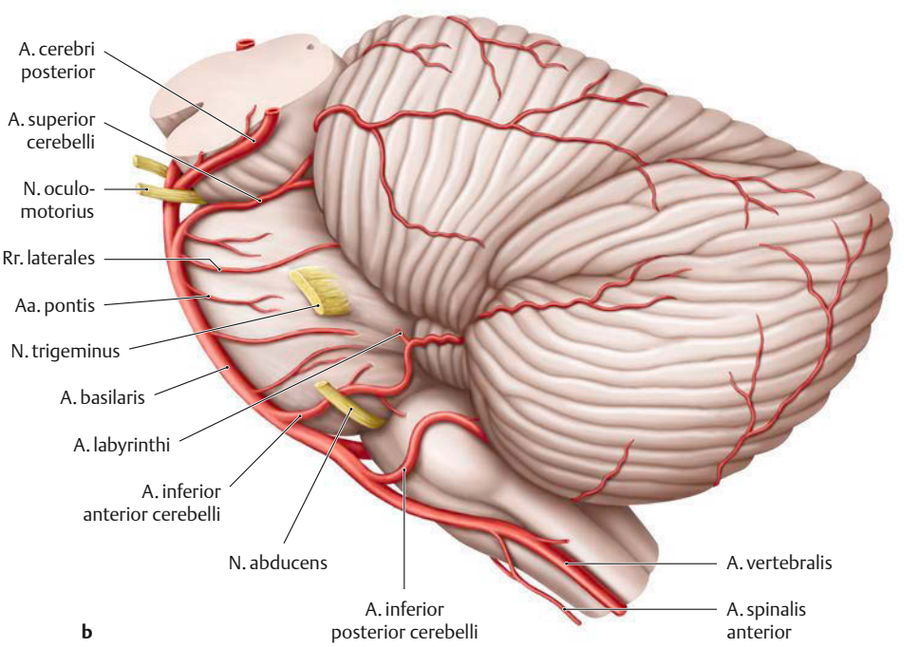
- die sensomotorische Rinde z. B. von Ästen der A. cerebri *media* (Gyrus pre- und postcentralis, s. **a**) *und* von Ästen der A. cerebri *anterior* (die Mantelkante der sensomotorischen Rinde, s. **b**);
- das Broca- und Wernicke-Zentrum (motorisches und sensorisches Sprachzentrum) z. B. von Ästen der A. cerebri *media* (s. **a**);
- die Sehrinde von Ästen der A. cerebri *posterior* (s. **b**).

Bestimmte Störungen und Ausfallerscheinungen lassen daher auf den Verschluss der jeweiligen Arterie schließen. So deutet z. B. ein Ausfall des Sprachzentrums auf den Verschluss der A. cerebri media, eine Hemianopsie auf einen Verschluss der A. cerebri posterior und beinbetonte Lähmungen und Sensibilitätsstörungen legen den Verschluss der A. cerebri anterior nahe (vgl. S. 393).

10.4 Arterien von Hirnstamm und Kleinhirn



a



b

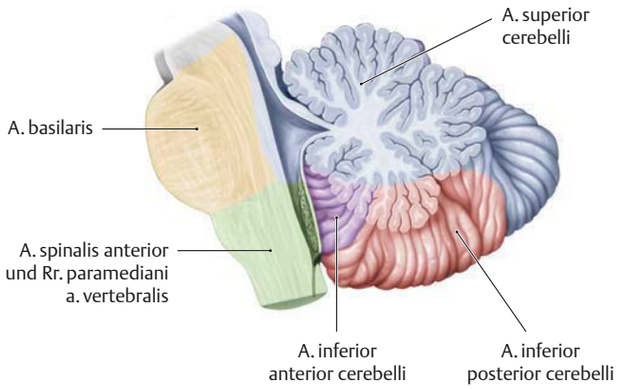
A Arterien von Hirnstamm und Kleinhirn
a Ansicht von basal; **b** Ansicht von links.

Hirnstamm und Kleinhirn werden von der A. basilaris sowie von den Aa. cerebelli (s. u.) versorgt. Da die A. basilaris aus der Verschmelzung der beiden Aa. vertebrales entsteht spricht man auch vom *vertebrobasilären Stromgebiet*. Die Gefäße, die den **Hirnstamm** (Mittelhirn, Brücke und verlängertes Mark) versorgen, entspringen entweder direkt aus der A. basilaris (z. B. Aa. pontis) und den Aa. vertebrales oder stammen aus deren Ästen. Je nach Lage ihrer Eintrittsstellen und Versorgungsgebiete unterscheidet man mediale, mediolaterale und laterale Äste (Rr. paramediani, Rr. circumferentes breves und longi). Eine Minderperfusion oder Verschlüsse dieser Gefäßäste führen zu vorübergehenden bzw. permanenten Durchblutungsstörungen (Hirnstammsyndrome) und können aufgrund der zahlreichen Kerngebiete und Bahnsysteme im Hirnstamm eine klinisch außerordentlich vielfältige Symptomatik aufweisen. Das sich an den Hirnstamm anschließende Rückenmark wird u. a. von der A. spinalis anterior versorgt (s. **b**), die aus der A. vertebralis hervorgeht (s. S. 414). Das **Kleinhirn** (Cerebellum) wird von drei großen Arterien versorgt:

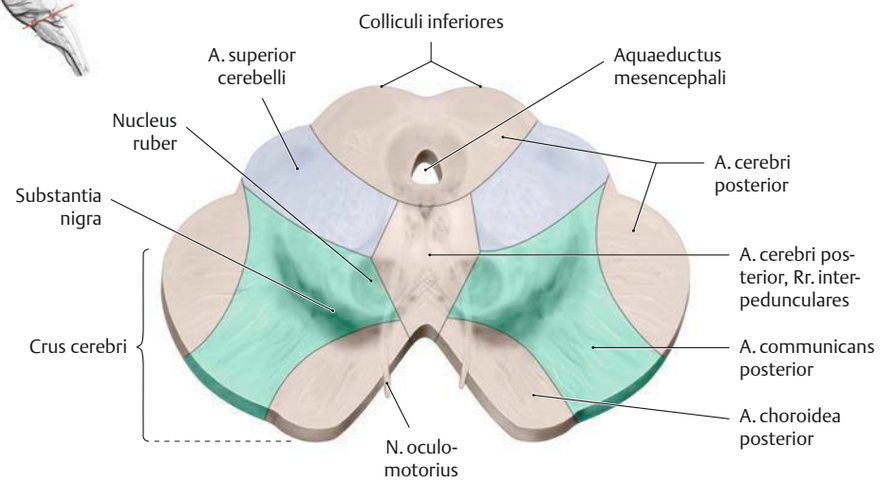
- A. inferior posterior cerebelli, der größte Ast der A. vertebralis. Im klinischen Sprachgebrauch wird diese Arterie als PICA (= posterior inferior cerebellar artery) bezeichnet;
- A. inferior anterior cerebelli (AICA), der 1. große Ast der A. basilaris;
- A. superior cerebelli (SUCA), der letzte große Ast der A. basilaris vor ihrer Aufzweigung in die Aa. cerebri posteriores.

Beachte die das Innenohr versorgende A. labyrinthi (vgl. **D**, S. 157), die zumeist wie in diesem Fall aus der A. inferior anterior cerebelli entspringt. Sie kann jedoch auch direkt aus der A. basilaris entspringen. Durchblutungsstörungen der A. labyrinthi führen zu einem akuten Hörausfall (Hörsturz) und häufig begleitendem Ohrgeräusch (Tinnitus) (vgl. **D**, S. 151).

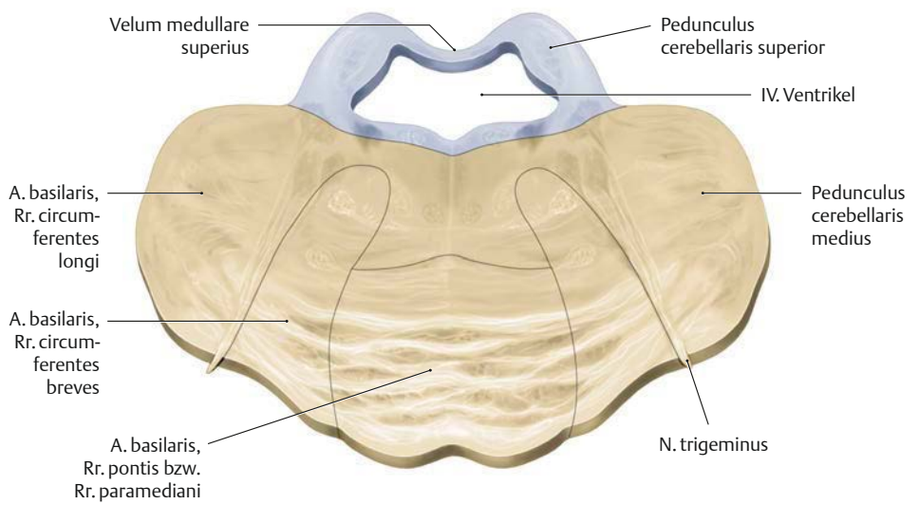
B Versorgungsgebiete der Arterien im Bereich von Hirnstamm und Kleinhirn im Mediansagittalschnitt (nach Bähr u. Frotscher)
Alle angeschnittenen Hirnabschnitte liegen im vertebrobasilären Stromgebiet. Die nun folgenden Querschnitte sind entsprechend des Blutflusses im vertebrobasilären Stromgebiet von kaudal nach kranial organisiert.



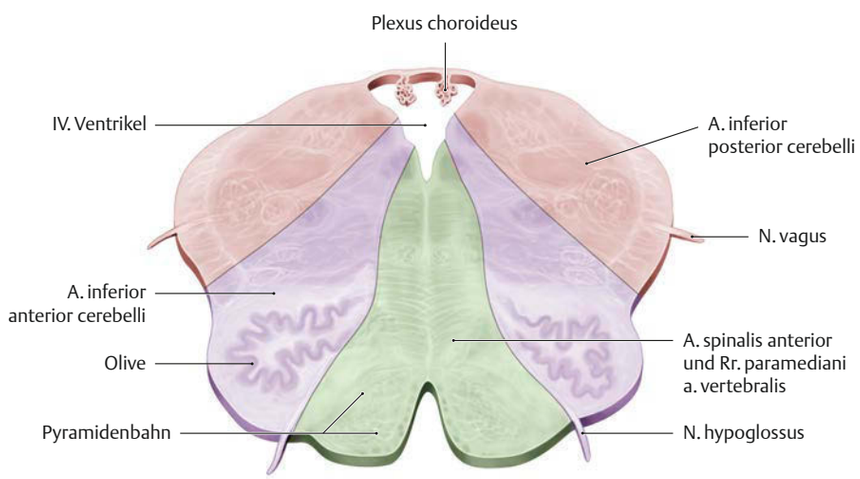




C Versorgungsgebiete der Arterien im Bereich des Mesencephalon im Querschnitt
Neben Ästen aus der A. superior cerebelli wird das Mittelhirn v. a. aus Ästen der A. cerebri posterior und der A. communicans posterior versorgt.



D Versorgungsgebiete der Arterien im Bereich des Pons im Querschnitt
Die Blutversorgung des Pons erfolgt aus kurzen und langen Ästen aus der A. basilaris.



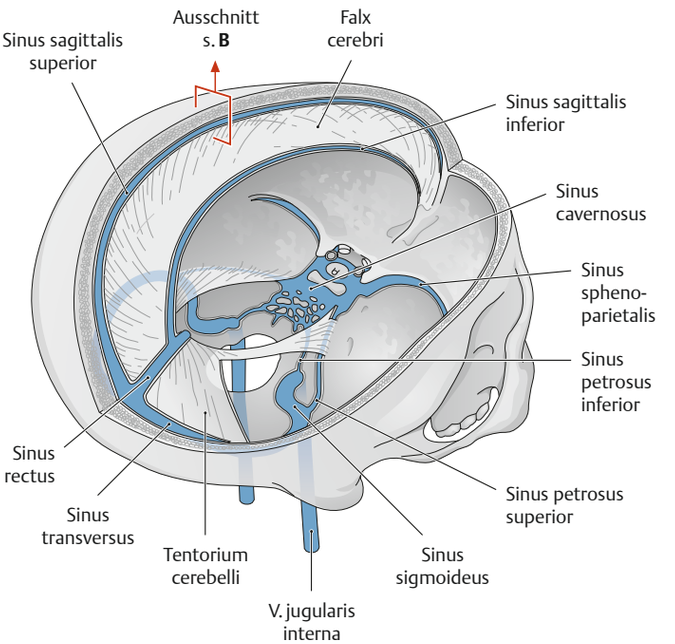
E Versorgungsgebiete der Arterien im Bereich der Medulla oblongata im Querschnitt
Die Blutversorgung im Bereich der Medulla oblongata erfolgt aus Ästen der A. spinalis anterior, aus der A. inferior posterior cerebelli (beide aus der A. vertebralis) und aus der A. inferior anterior cerebelli (1. großer Ast aus A. basilaris).

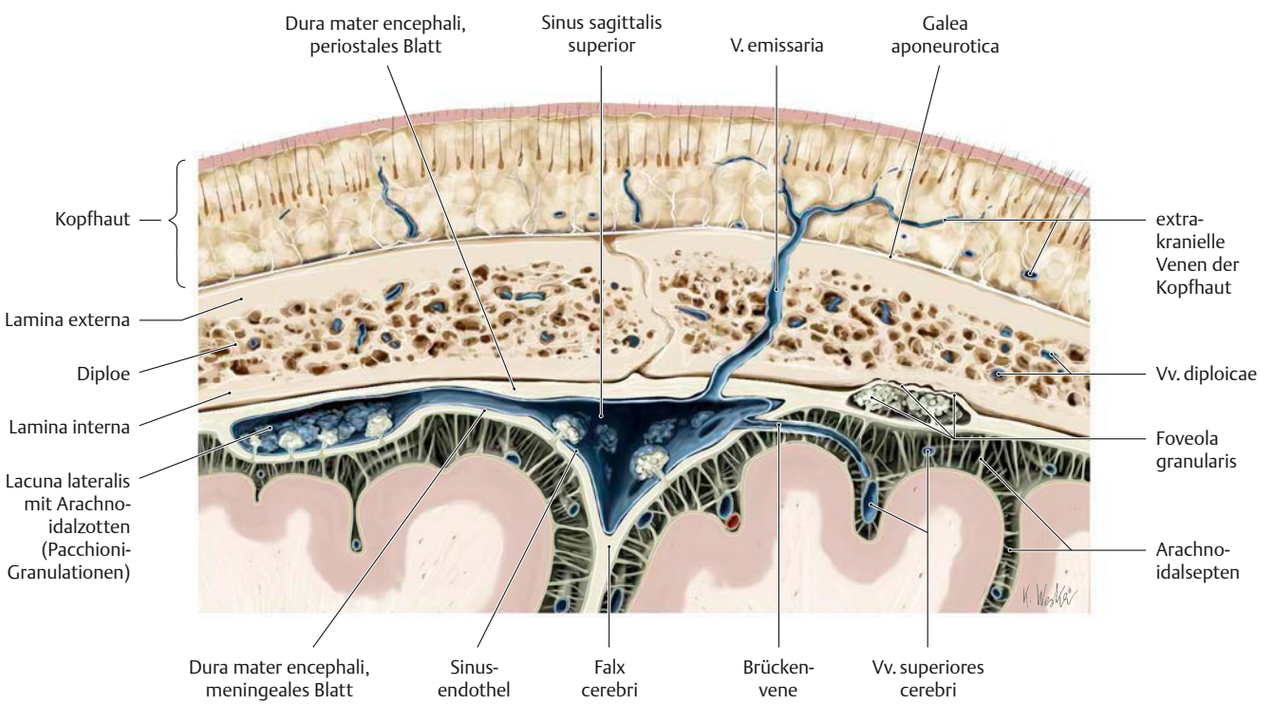
10.5 Sinus durae matris: Vorkommen und Aufbau

A Einbau der wichtigsten Sinus durae matris in den Schädel
Ansicht von rechts, oben und hinten (Gehirn entfernt, rechtes Tentorium cerebelli gefenstert). Sinus liegen typischerweise entweder am Rand eines Duraseptums (Falx cerebri, Tentorium cerebelli) oder an Anheftungsstellen der Dura innen am Schädelknochen (z. B. Sinus sagittalis superior). Der Wandbau aus Dura und einem auskleidenden Endothel macht sie starrwandig. Das Fehlen von Muskulatur in der Sinuswand bedeutet, dass sich Sinus bei einer Verletzung nicht aktiv kontrahieren und so im Gegensatz zu Venen „keinen Beitrag zur Blutstillung leisten". Sinusblutungen bei Schädelverletzungen können daher lebensbedrohlich sein. Die Sinus sammeln das Blut aus Gehirn, Orbita und Schädeldach. Da Sinus keine Klappen enthalten, ist die Richtung der Blutströmung abhängig von der Lage des Kopfes. Im Liegen und bei aufrechter Kopfhaltung leiten die Sinus das Blut in die Vv. jugulares internae ab, die beidseits am tiefsten Punkt der hinteren Schädelgrube liegen, die ihrerseits von allen Schädelgruben wiederum am tiefsten liegt. Das System der Durasinus wird in eine obere und eine untere Gruppe gegliedert:

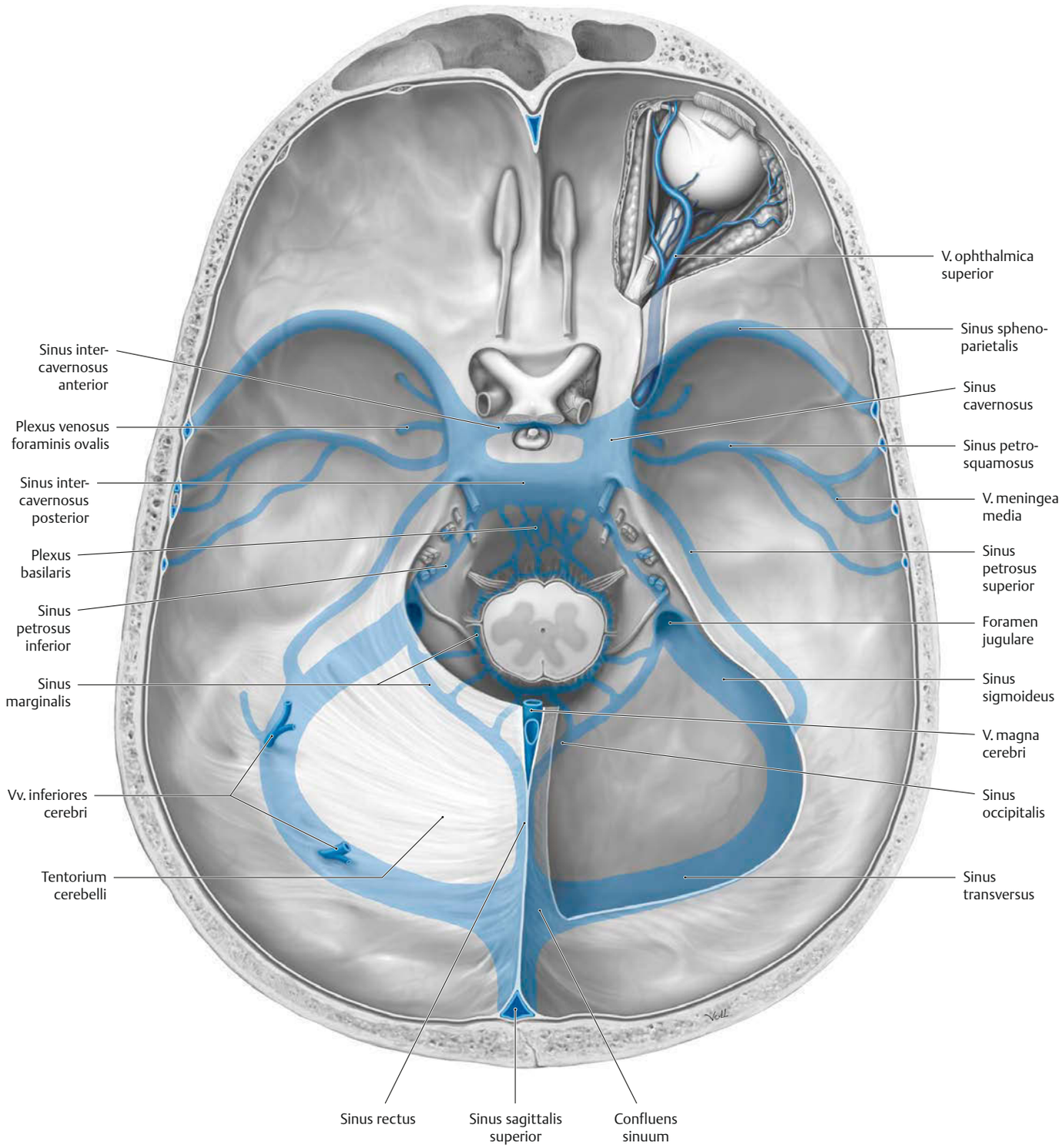
- **obere Gruppe:** Sinus sagittalis superior, Sinus sagittalis inferior, Sinus rectus, Sinus occipitalis, Confluens sinuum, Sinus transversus und Sinus sigmoideus;
- **untere Gruppe:** Sinus cavernosus mit Sinus intercavernosus anterior u. posterior, Sinus sphenoparietalis, Sinus petrosus superior u. inferior.

Über den Sinus marginalis am Eingang des Foramen magnum und den Plexus basilaris auf dem Clivus sind die Sinus beider Gruppen mit den Venengeflechten des Wirbelkanals verbunden (s. **C**).



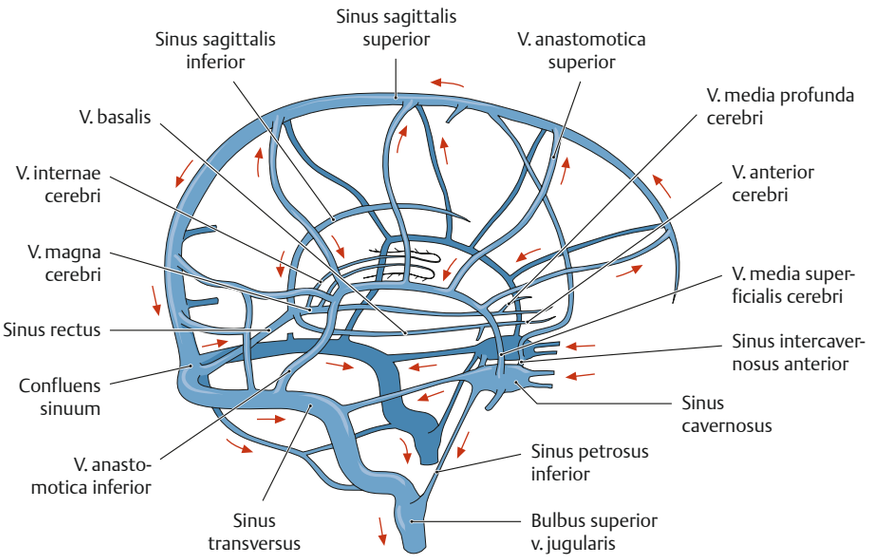


B Aufbau eines Sinus am Beispiel des Sinus sagittalis superior
Querschnitt in der Ansicht von okzipital (Ausschnitt aus **A**). Die Wand der Sinus besteht aus Endothel und festem kollagenem Durabindegewebe, das ein periostales und ein meningeales Blatt aufweist. Zwischen beiden Blättern liegt das Sinuslumen.
Beachte die seitlichen Lacunae laterales, in die v. a. Arachnoidalzotten münden. In den Sinus selbst münden einerseits oberflächliche Hirnvenen (Vv. superiores cerebri, Brückenvenen, s. S. 306 u. 308) sowie andererseits Vv. diploicae aus dem benachbarten Schädelknochen. Außerdem münden in den Sinus noch Vv. emissariae, das sind klappenlose Venen, die Sinus, Diploevenen und extrakranielle Venen der Kopfhaut miteinander verbinden.

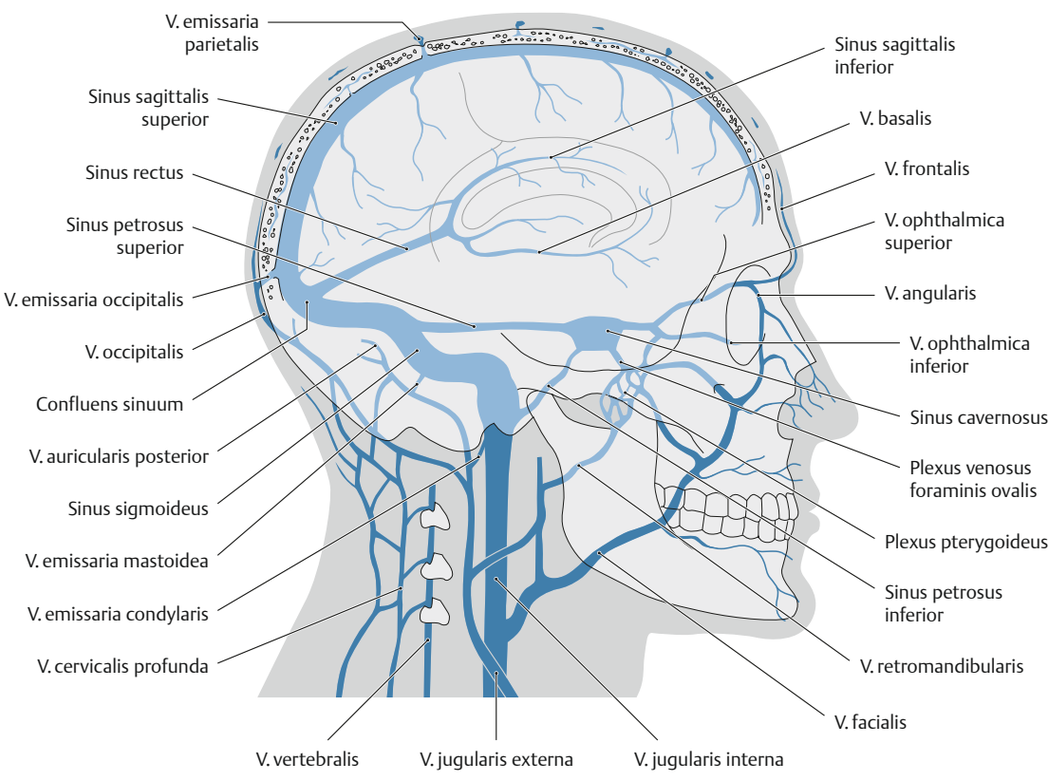


C Sinus durae matris an der Schädelbasis
Horizontalschnitt auf Höhe des Tentorium cerebelli in der Ansicht von kranial (Gehirn entfernt, Orbitadach und Tentorium cerebelli der rechten Seite gefenstert). Der Sinus cavernosus ist ringförmig um den Türkensattel angeordnet, wobei der linke und rechte Teil vorne und hinten durch jeweils einen Sinus intercavernosus (anterior und posterior) verbunden sind. Nach dorsal, also auf dem Clivus, folgt der Plexus basilaris, in den ebenfalls ein Teil des Blutes aus dem Sinus cavernosus abfließt.

10.6 Sinus durae matris: Zuflüsse und akzessorische Abflüsse

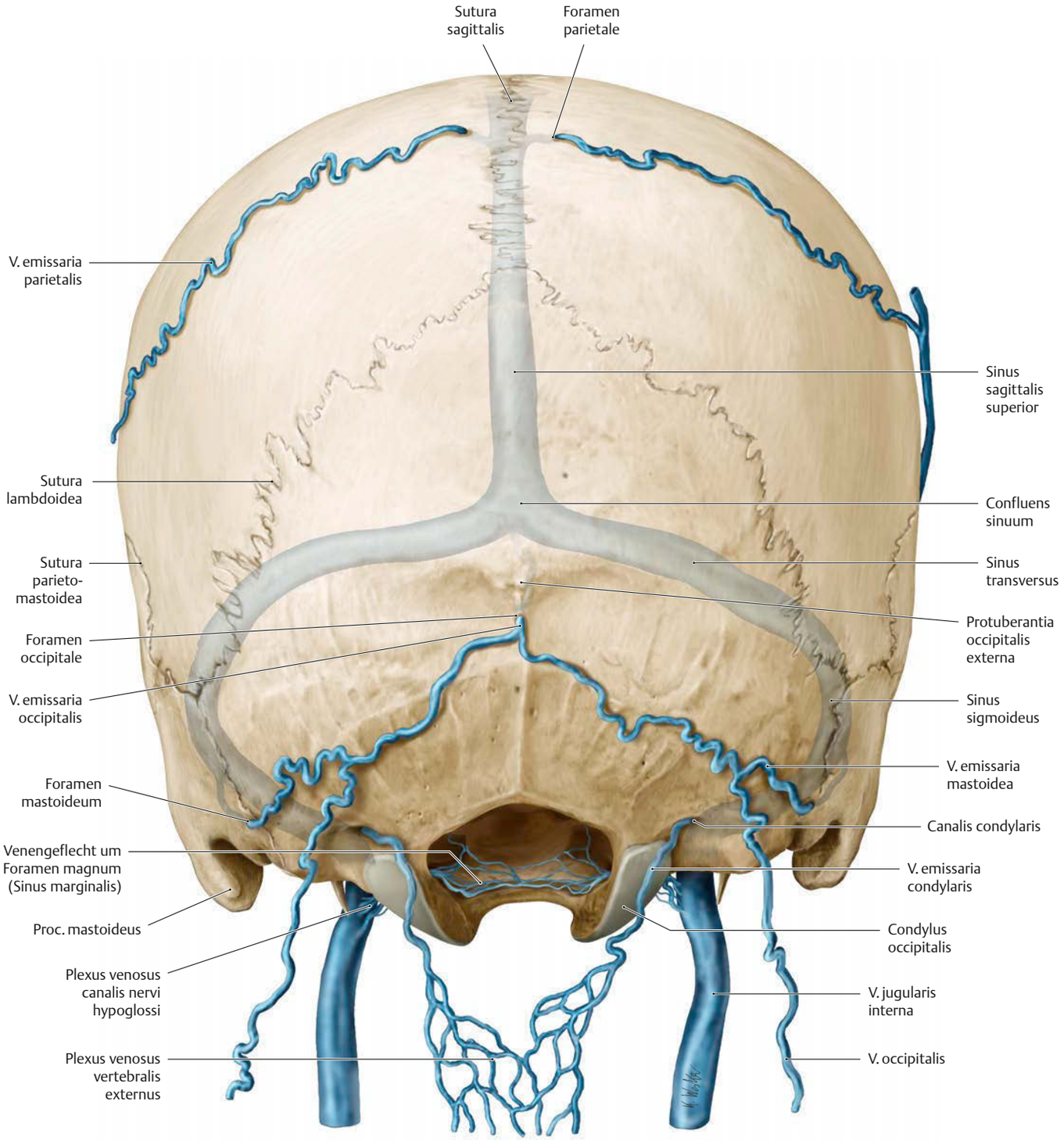


A Zuflüsse zu den Sinus durae matris aus den Vv. cerebri (nach Rauber/Kopsch)
Ansicht von rechts. Das aus der Tiefe des Hirngewebes gesammelte Blut wird sowohl über *oberflächliche* als auch tiefe Hirnvenen in die Sinus durae matris drainiert (s. S. 386). Die roten Pfeile in der Abbildung zeigen die bevorzugte Fließrichtung des Blutes in den großen Sinus. Aufgrund der zahlreichen Anastomosen können isolierte Verschlüsse selbst eines kompletten Sinusabschnittes klinisch symptomlos bleiben.



B Akzessorische Abflüsse der Sinus durae matris
Ansicht von rechts. Neben dem Hauptabfluss in die beiden Vv. jugulares internae existieren zahlreiche zusätzliche Abflusswege. Die Verbindungen zwischen den Sinus durae matris und den extrakraniellen Venen dienen v. a. dem Druckausgleich und der Temperaturregelung. Klinisch sind diese Anastomosen interessant, weil es in ihnen zu einer Strömungsumkehr kommen kann (keine Venenklappen!). Dann strömt Blut aus extrakraniellen Venen zurück in die Sinus durae matris. So können z. B. Infektionen von den Sinus zu einem Verschluss der Gefäße *(Sinusvenenthrombose)* führen. Zu den wichtigsten akzessorischen Abflüssen zählt man:

- Vv. emissariae (zu den Vv. diploicae und oberflächlichen Kopfvenen), s. **C**,
- V. ophthalmica superior (V. angularis, V. facialis),
- Plexus venosus foraminis ovalis (Plexus pterygoideus, V. retromandibularis) sowie
- Sinus marginalis und Plexus basilaris (Plexus venosus vertebralis internus und externus), s. **C**.

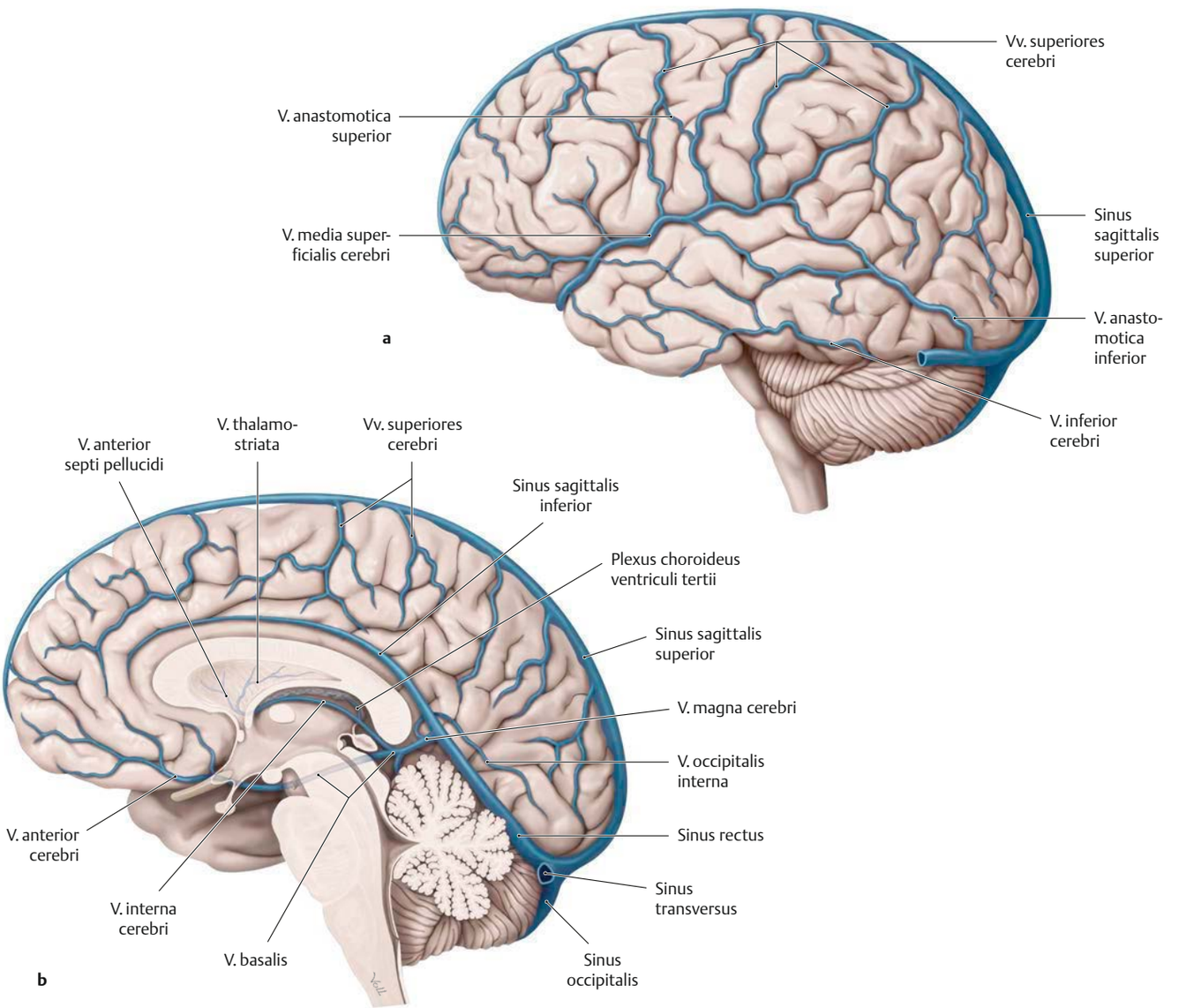


C Venae emissariae am Hinterhaupt

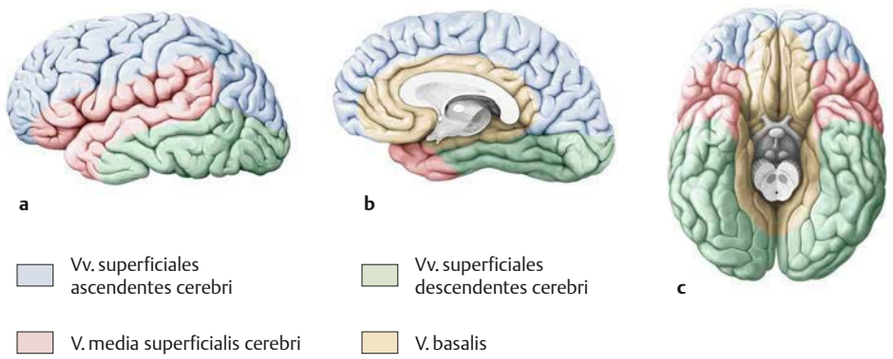
Emissarien stellen eine direkte Verbindung zwischen den Blutleitern der harten Hirnhaut (den Sinus durae matris) und den extrakraniellen Venen dar. Sie verlaufen über präformierte Schädelöffnungen wie das Foramen parietale und das Foramen mastoideum. Vv. emissariae sind deshalb von klinischem Interesse, weil entlang der Emissarien Bakterien von der Kopfschwarte bis nach innen zur harten Hirnhaut vordringen und so eine eitrige Meningitis verursachen können.

10.7 Oberflächliche und tiefe Venen des Gehirns

Da die Venen des Gehirns nicht parallel zu den Arterien verlaufen, sind arterielle und venöse Gefäßterritorien unterschiedlich. Während die Hirnarterien ausschließlich an der Hirnbasis in das Gehirn eintreten, wird das venöse Blut sowohl von der ganzen Hirnoberfläche einschließlich der Hirnbasis als auch aus dem Inneren des Gehirns drainiert. Grundsätzlich unterscheidet man aufgrund ihrer Lage und der von ihnen drainierten Hirnabschnitte zwei Gruppen bzw. zwei Abflussbereiche von Venen, die oberflächlichen *(Vv. superficiales cerebri)* und die tiefen *(Vv. profundae cerebri)* Venen. Während die oberflächlichen Venen das Blut aus der Hirnrinde (Vv. corticales) und aus der weißen Substanz (Vv. medullares) direkt in die Sinus durae matris leitet, fließt das Blut aus den tiefer liegenden Teilen des Marklagers, aus dem Bereich der Basalganglien und des Corpus callosum sowie aus dem Zwischenhirn über die tiefen Venen zunächst in die V. magna cerebri und weiter in den Sinus rectus. Beide Abflussbereiche sind durch zahlreiche intrazerebrale Anastomosen untereinander verbunden (s. **D**).



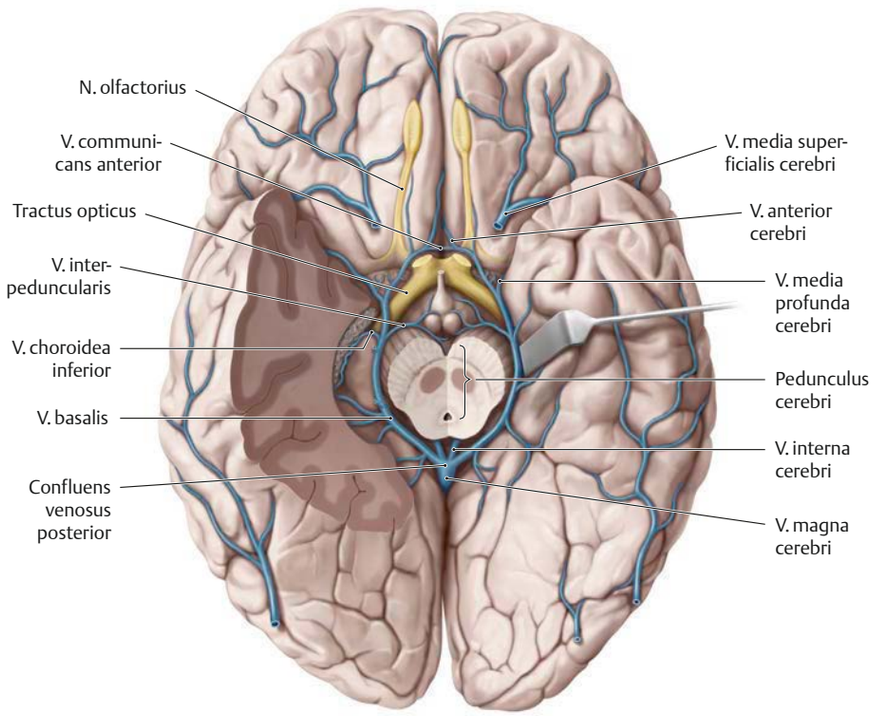
A Oberflächliche Venen des Gehirns (Vv. superficiales cerebri)
Ansicht von links lateral (**a**) und medial (**b**)
a u. **b** Die Vv. superficiales cerebri drainieren das Blut aus den kurzen Vv. corticales und den langen Vv. medullares (s. **D**) aus der weißen Substanz in die Sinus durae matris. Zur Abgrenzung des Drainagegebietes der tiefen Hirnvenen s. **C**, S. 389. Ihr Verlauf ist außerordentlich variabel; sie orientieren sich im Subarachnoidalraum weder an Arterien noch an Gyri oder Sulci. Deshalb sind hier nur die wichtigsten benannt. Kurz vor ihrer Einmündung in die Sinus durae matris verlassen die Venen den Subarachnoidalraum und verlaufen für eine kurze Strecke subdural, d. h. zwischen Dura mater und Arachnoidea. Diesen kurzen Venenabschnitt nennt man *Brückenvene.* Nicht zu verwechseln mit den Venen, die Blut aus der Brücke (Pons) drainieren! Die Brückenvenen sind klinisch von großer Bedeutung, da sie bei Schädel-Hirn-Traumen einreißen und die Blutungsquelle darstellen können (sog. subdurale Hämatome, s. S. 390).



B Drainagegebiete der oberflächlichen Hirnvenen (Vv. superficiales cerebri)

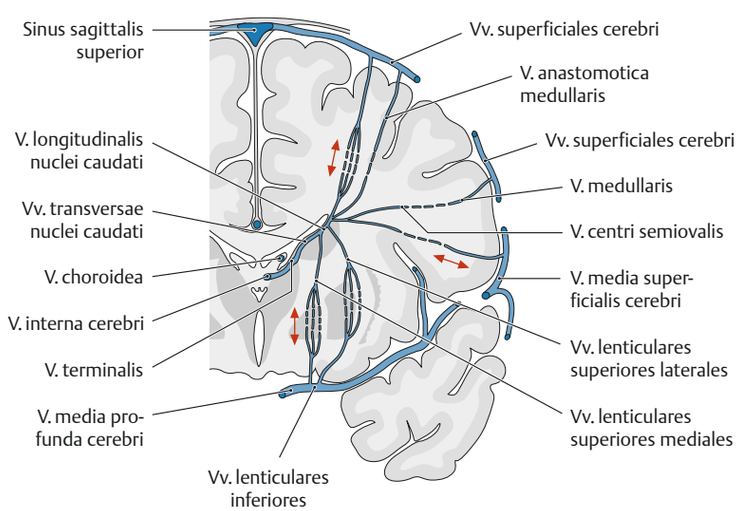
a Ansicht von links lateral; **b** Ansicht auf die mediale Fläche der rechten Hemisphäre; **c** Ansicht auf die Hirnbasis.

Entsprechend der Abflussrichtungen unterscheidet man an der lateralen Hirnoberfläche aszendierende Venen (aufsteigend, drainieren in den Sinus sagittalis superior) und deszendierende Venen (absteigend, drainieren in den Sinus transversus). Die V. media superficialis cerebri drainiert sowohl in den Sinus cavernosus als auch in den Sinus transversus (s. **A**, S. 384).



C Basales Hirnvenensystem

Das basale Hirnvenensystem drainiert Blut sowohl aus oberflächlichen als auch aus tiefen Hirnvenen. Analog zum arteriellen Circulus arteriosus existiert auch an der Hirnbasis ein venöser Ringschluss, der durch die Vv. basales (Rosenthal) gebildet wird (s. u.). Die V. basalis entsteht im Bereich der Substantia perforata anterior aus dem Zusammenfluss der V. anterior cerebri mit der V. media profunda cerebri. Den Tractus opticus als Leitstruktur nutzend, zieht die V. basalis nach dorsal um die Pedunculi cerebri, um sich an der Dorsalseite des Mesencephalons mit der V. basalis der Gegenseite zu vereinigen; in diese Vereinigungsstelle fließen ebenfalls die beiden Vv. internae cerebri: Confluens venosus posterior. Aus diesem entspringt die unpaare V. magna cerebri, die ihrerseits in den Sinus rectus mündet. Auf ihrem Weg nimmt die V. basalis zahlreiche venöse Zuflüsse aus tiefen Hirnregionen auf (z. B. Venen von Thalamus und Hypothalamus, vom Plexus choroideus des Unterhorns etc.). Durch die V. communicans anterior stehen die beiden Vv. anteriores cerebri miteinander in Verbindung, so dass ein geschlossenes venöses Ringdrainagesystem entsteht.

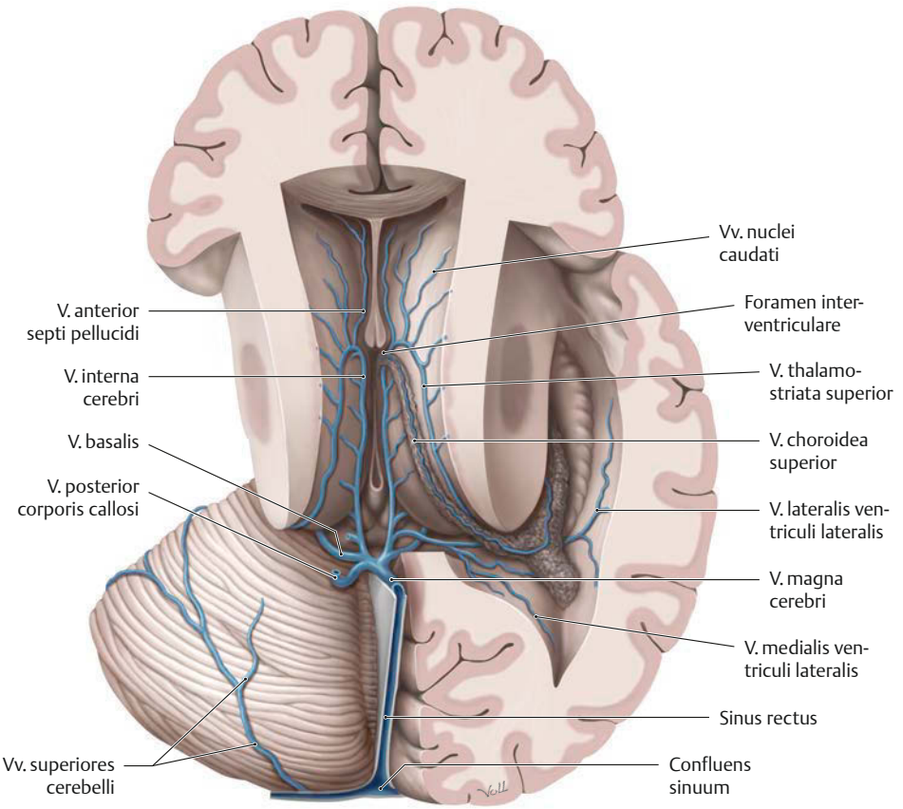


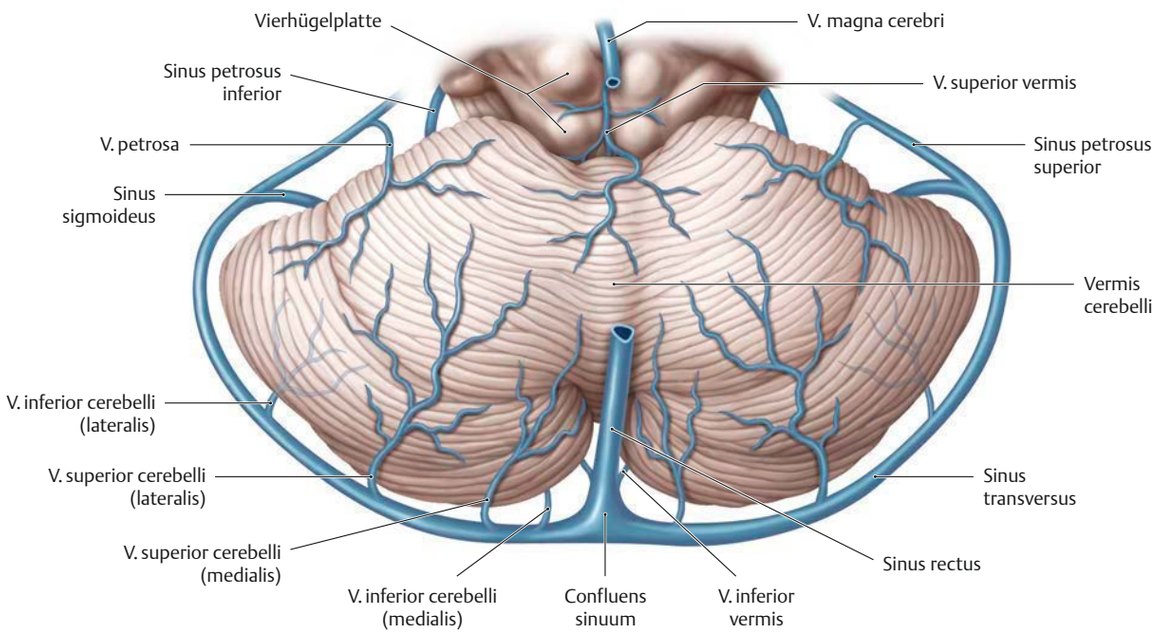
D Anastomosen zwischen Vv. superficiales und profundae cerebri

Querschnitt durch die linke Hemisphäre, Ansicht von frontal. Die oberflächlichen Hirnvenen haben über hier dargestellte Anastomosen Anschluss an die tiefen Hirnvenen (s. S. 388). In den Grenzgebieten zwischen beiden Stromgebieten ist eine Stromumkehr möglich (Doppelpfeile).

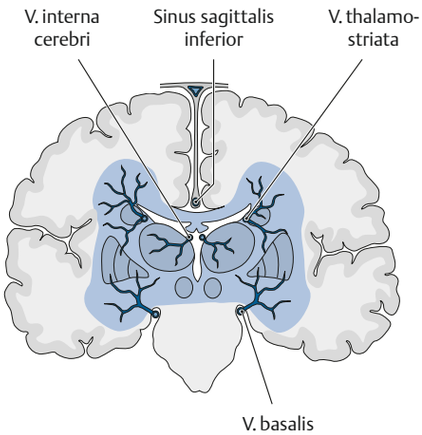
10.8 Tiefe Venen des Gehirns: Venen von Hirnstamm und Kleinhirn

A Tiefe Venen des Gehirns (Vv. profundae cerebri)
Horizontaler Stufenschnitt (mehrere Horizontalebenen miteinander kombiniert); Ansicht von kranial in die eröffneten Seitenventrikel. Temporal- und Okzipitallappen sowie Tentorium cerebelli auf der linken Seite entfernt, um einen Blick auf die Oberseite des Kleinhirns mit den Vv. superiores cerebelli zu ermöglichen. An den lateralen Wänden der Vorderhörner beider Seitenventrikel verläuft die V. thalamostriata superior im Sulcus terminalis zwischen Thalamus und Nucleus caudatus in Richtung Foramen interventriculare. Nach Aufnahme der V. anterior septi pellucidi und der V. choroidea superior bildet sie die V. interna cerebri und zieht durch das Foramen interventriculare entlang des Zwischenhirndaches in Richtung Vierhügelplatte, wo sie sich mit der V. interna cerebri der Gegenseite vereinigt. Zusammen mit den Vv. basales bildet sie den Confluens venosus posterior, den Beginn der V. magna cerebri.





B Kleinhirnvenen (Vv. cerebelli)
Dorsalansicht. Die Kleinhirnvenen verlaufen – wie die übrigen Hirnvenen – unabhängig von den Kleinhirnarterien. Größere Stämme überqueren Gyri und Sulci vorwiegend in sagittaler Richtung. Topografisch kann man grob eine *mediale* und eine *laterale* Gruppe unterscheiden. Die mediale Gruppe drainiert den Wurm (Vermis cerebelli) sowie die angrenzenden Teile der Kleinhirnhemisphären (V. precentralis, Vv. superior und inferior vermis) sowie die medial verlaufenden Anteile der Vv. superiores und inferiores cerebelli. Die *laterale Gruppe* (V. petrosa sowie die lateral verlaufenden Anteile der Vv. superiores und inferiores cerebelli) drainiert den größten Teil der beiden Kleinhirnhemisphären. Alle Kleinhirnvenen anastomosieren untereinander, ihre Abflüsse liegen jedoch ausschließlich infratentoriell (also unterhalb des Tentorium cerebelli).

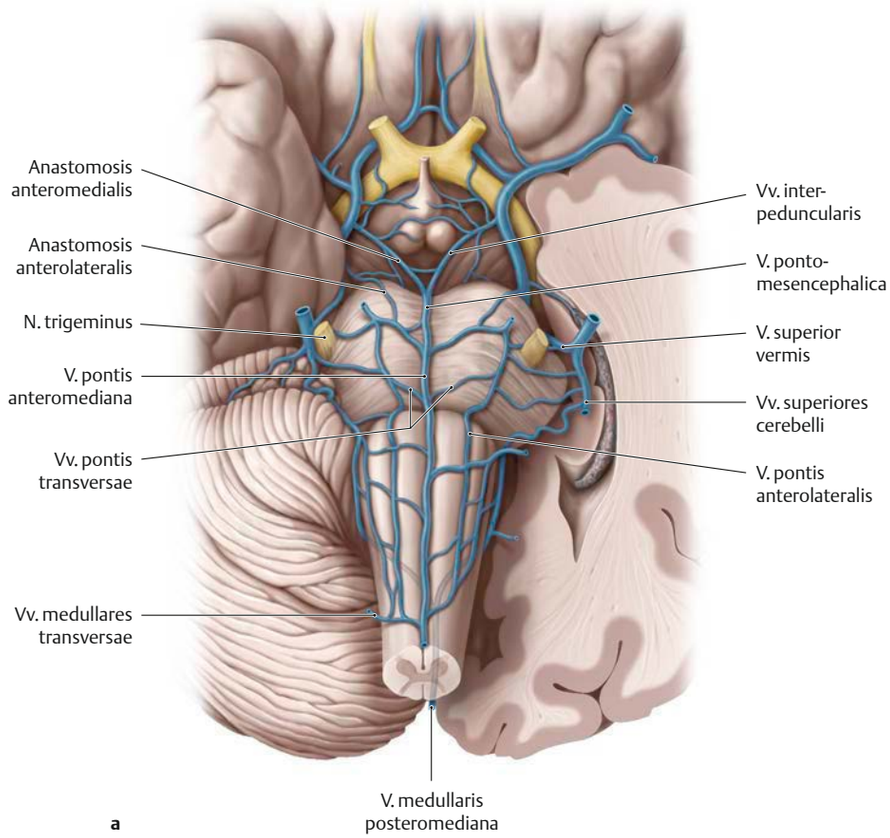


C Drainagegebiet der tiefen Hirnvenen (Vv. profundae cerebri) im Frontalschnitt

An jeder Hirnhälfte kann man von kranial nach kaudal drei große Venenabschnitte erkennen:

- V. thalamostriata,
- V. interna cerebri und
- V. basalis.

Das Drainagegebiet umfasst große Teile der Großhirnbasis, die Basalganglien, das Gebiet der Capsula interna, die Plexus choroidei ventriculi lateralis und ventriculi tertii, das Corpus callosum sowie Teile des Zwischen- und Mittelhirns.

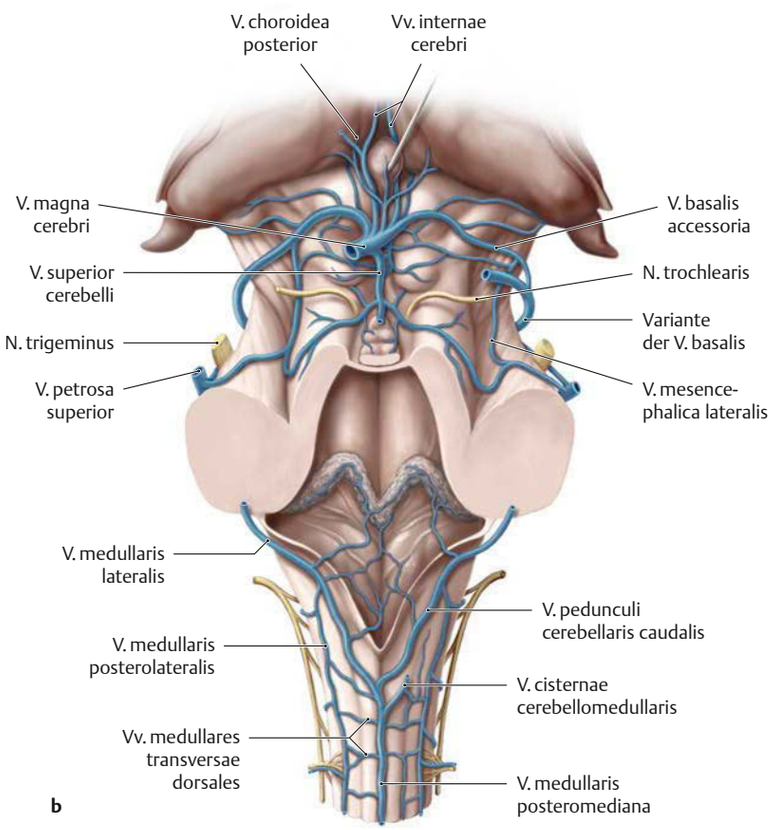


a

D Venen des Hirnstammes (Venae trunci encephali)

a Hirnstamm in situ in der Ansicht von ventral (auf der linken Seite ist das Kleinhirn und ein Teil des Lobus occipitalis entfernt); **b** isolierter Hirnstamm nach Entfernung des Kleinhirns in der Ansicht von dorsal.

Die Venen des Hirnstammens sind eine kontinuierliche Fortsetzung der Venen des Rückenmarks und verbinden diese mit den basalen Hirnvenen (Vv. basales). In ihren kaudalen Abschnitten bilden sie analog zu den Rückenmarksvenen ein kräftiger ausgebildetes *longitudinales* System und ein verzweigteres *transversales* System, so dass ein Venennetz entsteht. Venen der Medulla oblongata und des Pons gehören mit den Venen des Cerebellum zum infratentoriellen venösen System. An der Grenze zwischen infra- und supratentoriellem System (Pons – Mesencephalon), bestehen diverse Anastomosen (z. B. Anastomosis anteromedialis und lateralis).



b

10.9 Intrakranielle Blutungen

Bei intrakraniellen Blutungen unterscheidet man extra- und intrazerebrale Blutungen.

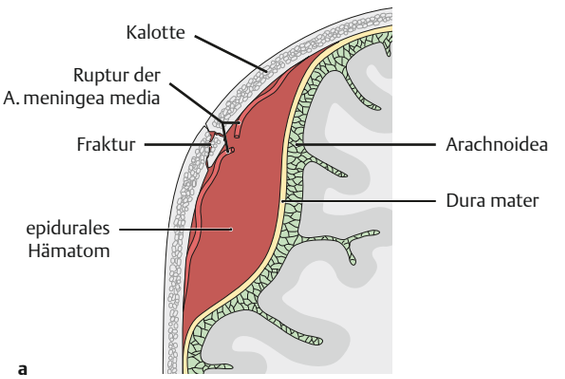
A Extrazerebrale Blutungen

Bei extrazerebralen Blutungen kommt es zu Einblutungen zwischen Kalotte und Gehirn. Da die feste Kalotte nicht zurückweichen kann, übt das sich entwickelnde Hämatom Druck auf das weiche Gehirn aus. Dies führt in Abhängigkeit der Blutung (venös/arteriell) zu einer sich unterschiedlich schnell entwickelnden Raumforderung mit intrakraniellem Druckanstieg, wobei nicht nur das Hirngewebe im Blutungsherd selbst, sondern auch weiter entfernt liegende Hirnareale geschädigt werden können. Nimmt man die harte Hirnhaut (Dura mater encephali) als Bezugspunkt, kann man verschiedene Typen intrakranieller Blutungen unterscheiden:

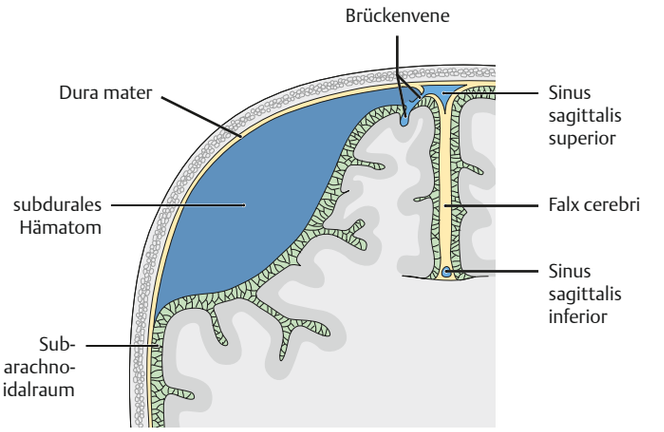
a Das **epidurale Hämatom** (epidural = oberhalb der Dura) entsteht in der Regel nach einem schweren Schädel-Hirn-Trauma mit Schädelfraktur, meist infolge einer arteriellen Einblutung aus der A. meningea media (durch die unmittelbare Nachbarschaftsbeziehung der A. meningea media zum Schädelknochen kann der zersplitterte Knochen die Arterie regelrecht aufschneiden). Das Hämatom bildet sich zwischen Kalotte und periostalem Blatt der Dura mater. Die Dura wird durch den Druck des Hämatoms von der Kalotte gelöst und verdrängt das Gehirn. Nach einer initialen Bewusstlosigkeit aufgrund des Traumas kommt es meist innerhalb kurzer Zeit (1–5 Stunden) zu einer erneuten Bewusstseinseintrübung, diesmal infolge einer Kompression des Gehirns durch die arterielle Blutung. Das Zeitintervall zwischen 1. und 2. Bewusstlosigkeit nennt man *„freies Intervall"* (typisch für etwa 30–40 % aller epiduralen Blutungen). Das Erkennen der Blutung (Computertomographie des Kopfes) und ein zeitnahes Ausräumen des Hämatoms sind lebensrettend.

b Beim **akuten subduralen Hämatom** (subdural = unterhalb der Dura) kommt es aufgrund eines Traumas zur Ruptur einer *Brückenvene* (s. S. 308) und somit zur venösen Einblutung zwischen Dura und Arachnoidea. Da die Brückenvenen zwischen Arachnoidea und Dura mater verlaufen, erfolgt die Einblutung in einen sog. subduralen Raum (der erst durch die Einblutung entsteht) und führt so zur Abhebung der Arachnoidea von der Dura (zu den Räumen s. **C**, S. 311). Da es sich um eine venöse Blutung handelt, verlaufen Druckanstieg und damit Raumforderung deutlich langsamer als bei einer arteriellen, epiduralen Blutung. Das subdurale Hämatom kann sich deshalb schon bei leichteren Traumen auch *chronisch* über Wochen entwickeln.

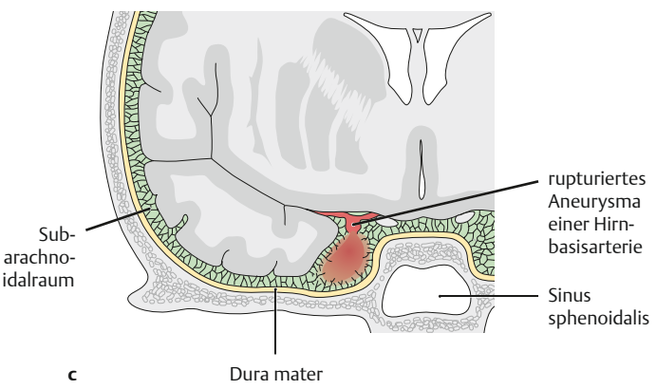
c Bei der **Subarachnoidalblutung** reißt ein arterielles Aneurysma (krankhafte Aussackung) der Hirnbasisarterien (s. **B**). Ursache hierfür ist häufig ein plötzlicher kurzfristiger Blutdruckanstieg, z. B. durch Erhöhung des intraabdominellen Drucks (Entleerung des Darms bzw. der Blase, Heben schwerer Gegenstände etc.). Da diese Arterien im vom Liquor umspülten Subarachnoidalraum liegen, blutet es in den Subarachnoidalraum hinein (Blut im Liquor bei Lumbalpunktion). Leitsymptom einer SAB (Subarachnoidalblutung) sind plötzlich auftretende starke Kopfschmerzen (sog. Vernichtungskopfschmerz) sowie eine durch die meningeale Reizung verursachte Nackensteifigkeit.



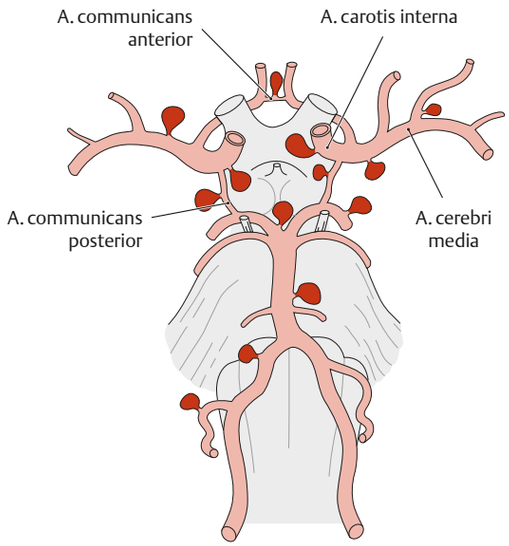
a



b

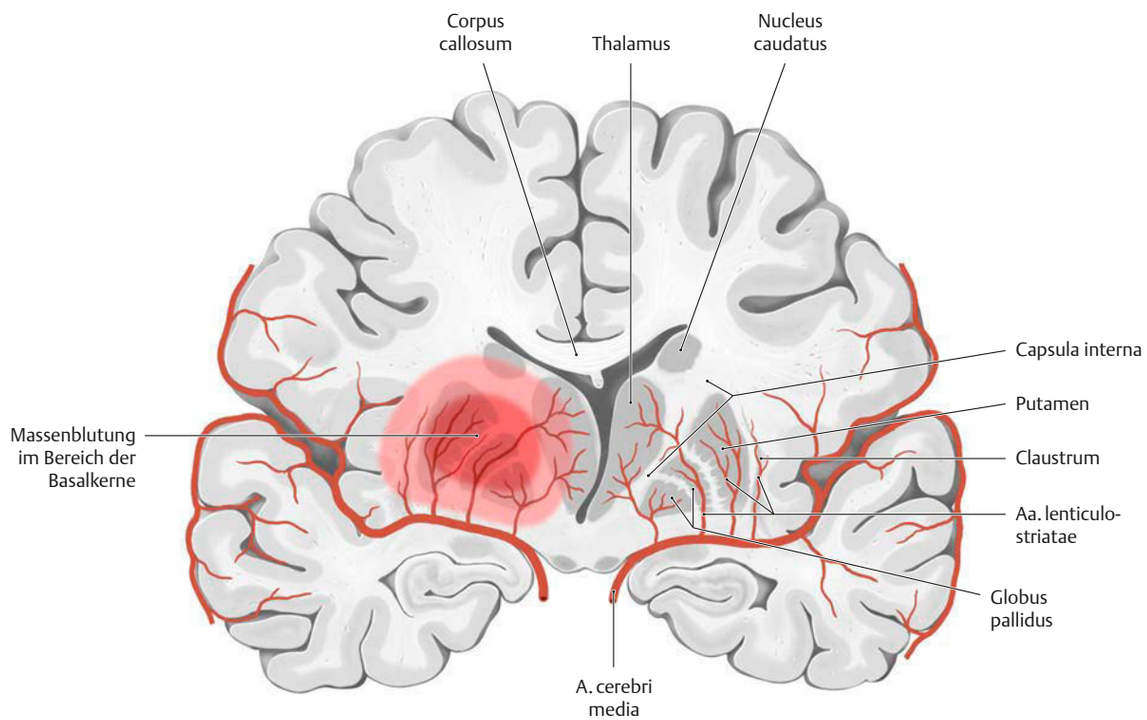


c



B Lokalisation von Hirnbasisaneurysmen (nach Bähr u. Frotscher; ehemals Duus)

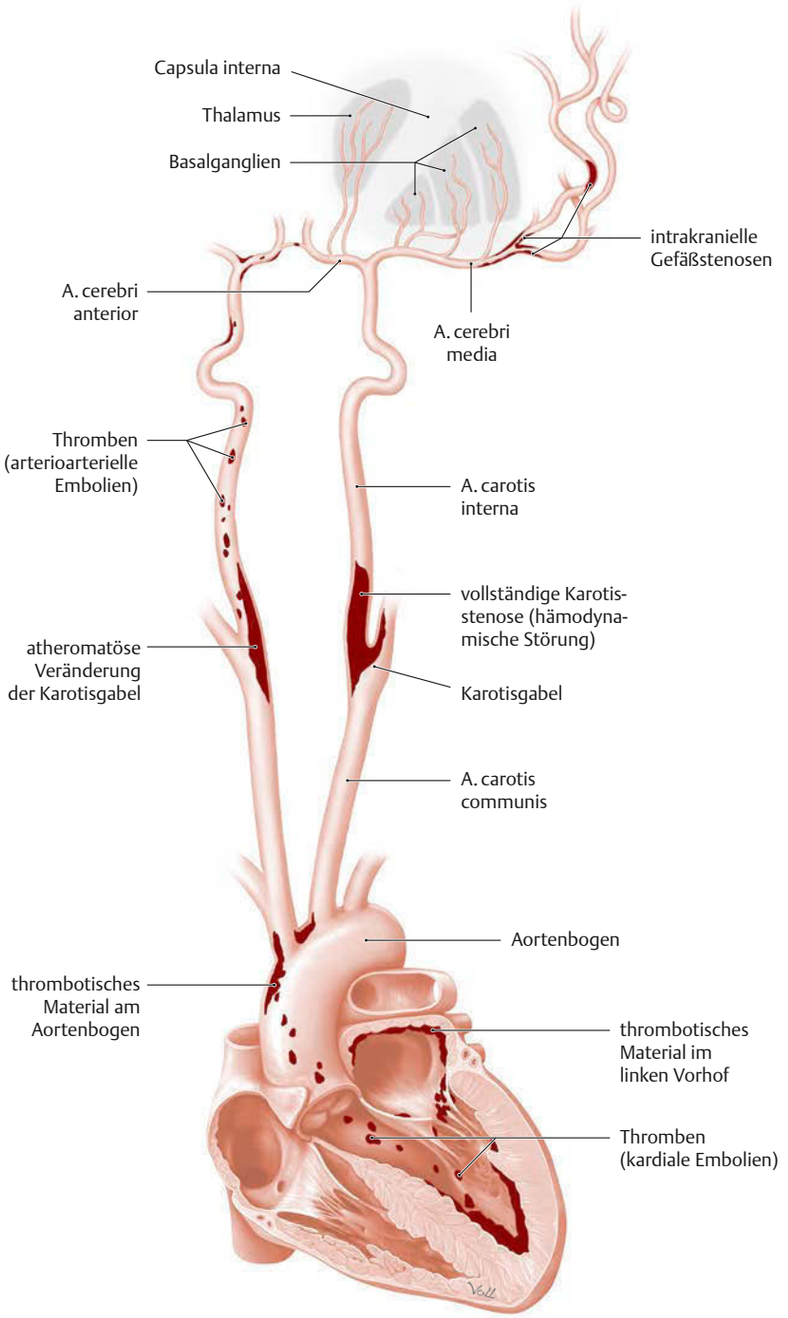
Die Ruptur angeborener bzw. erworbener Aneurysmen von Arterien an der Hirnbasis ist die häufigste Ursache einer Subarachnoidalblutung und macht etwa 5 % aller Schlaganfälle aus. Aneurysmen stellen krankhafte, meist sackförmige Aussackungen der Arterien des Circulus arteriosus dar. Wenn sie aufgrund ihrer dünnen Wand platzen, strömt arterielles Blut in den Subarachnoidalraum. Aneurysmen sind zumeist an den hier dargestellten typischen Stellen lokalisiert; am häufigsten findet man sie an der A. communicans anterior (etwa 30–35 %, gefolgt von der A. carotis interna, der A. communicans posterior und der A. cerebri media mit jeweils etwa 20 %).



C Intrazerebrale Blutungen

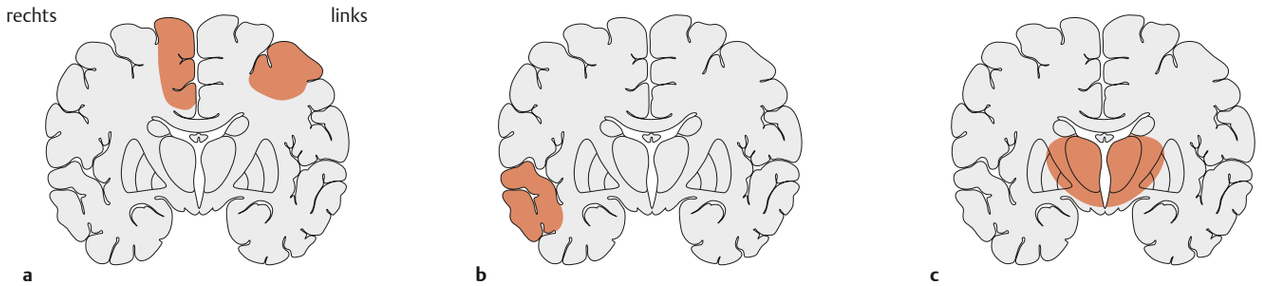
Frontalschnitt auf Höhe der Corpora mammillaria. Im Unterschied zu den intrakraniellen, aber extrazerebralen Blutungen (s. **A**) kommt es bei intrazerebralen Blutungen zu Einblutungen in die Substanz des Gehirns. Aufgrund des geringen Widerstands des weichen Gehirns kann daraus eine Massenblutung entstehen, die – anders als die extrazerebrale Blutung – intraoperativ nicht zu stillen ist! Ursache ist meist eine Gefäßruptur aufgrund zu hohen Blutdrucks. Durch die Einblutung kommt es zu einem Hirninfarkt mit zentraler (dunkelroter) Nekrosezone und hellerer Randzone. Diese Randzone wird als Penumbra (lat. „Halbschatten“) bezeichnet und ist im MRT gut von der zentralen Nekrosezone abzugrenzen. In der Penumbra liegt ein relativer Sauerstoffmangel vor. Es kommt daher initial zu einem kompletten Funktionsausfall der betroffenen Zone des Gehirns. Im Unterschied zum irreversibel untergegangenen Hirngewebe in der Nekrosezone kann sich das ischämische Gewebe der Penumbra aber gegebenenfalls wieder erholen. Von einer Gefäßruptur am häufigsten betroffen sind die sog. Arterien des Schlaganfalls, die Aa. centrales anterolaterales (Aa. lenticulostriatae) im Bereich der Capsula interna. Da durch die Capsula interna die Pyramidenbahn zieht (s. **E**, S. 335), kommt es unterhalb der Läsion u. a. zum Ausfall der Pyramidenbahn. Klinisch ist dies an einer spastischen Lähmung der Extremitäten auf der gegenüberliegenden Seite der Blutung zu erkennen (Kreuzung der Pyramidenbahn unterhalb der Läsion!). Neben Massenblutungen können kleinere Blutungen im Bereich der drei großen Hirnarterien auftreten, die häufig eine charakteristische Symptomatik aufweisen (sog. kleine Infarkte).

10.10 Zerebrale Durchblutungsstörungen



A Häufige Ursachen zerebraler Durchblutungsstörungen
(nach Mumenthaler)

Durchblutungsstörungen des Gehirns (zerebrale Ischämien) sowie die damit verbundene Unterbrechung der Sauerstoffzufuhr sind die häufigste Ursache zentraler neurologischer Ausfälle. Die folgenschwerste Komplikation ist der Schlaganfall („stroke"): 85 % aller Schlaganfälle werden durch zerebrale Ischämien verursacht (sog. *ischämischer Schlaganfall*) und sind damit 4–5-mal häufiger als blutungsbedingte *(hämorrhagische)* Schlaganfälle. In den westlichen Industrieländern ist der Schlaganfall bereits die dritthäufigste Todesursache (in Deutschland etwa 250 000 Schlaganfälle pro Jahr). Zerebrale Ischämien entstehen durch länger anhaltende Unterbrechungen der Blutzirkulation und betreffen zu 90 % das *Stromgebiet der A. carotis interna.* Deutlich seltener kommt es im Rahmen einer venösen Abflussbehinderung (Hirnvenenthrombose) zu einem Blutrückstau (s. **B**). Arterielle Durchblutungsstörungen im Karotisstromgebiet entstehen am häufigsten durch einen embolischen oder durch einen lokalen thrombotischen Verschluss. Ursprünge der meisten Embolien sind atheromatöse Veränderungen der Karotisgabel (arterioarterielle Embolien) sowie thrombotisches Material vom linken Vorhof (kardialer Embolien). Abgelöste Blutgerinnsel (Thromben) aus dem Herzen, z. B. als Folge einer Klappenerkrankung oder von Vorhofflimmern bei Herzrhythmusstörungen können als Emboli mit dem Blutstrom in das Gehirn transportiert werden und dort zum funktionellen Verschluss einer hirnversorgenden Arterie führen (sog. Territorialinfarkt). Am häufigsten ist in diesem Zusammenhang der *Mediaterritorialinfarkt*, der das gesamte Versorgungsgebiet der A. cerebri media (als direkte Fortsetzung der A. carotis interna) betrifft.



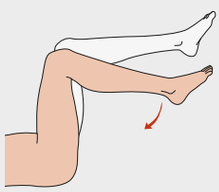
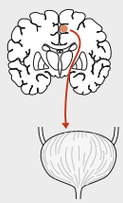
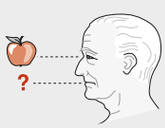
B Thrombosen der Hirnvenen im Frontalschnitt
Ansicht von frontal. Analog zu den Hirnarterien besitzen die Hirnvenen definierte Abflussgebiete (s. S. 386 u. 388). Neben den weitaus häufigeren arteriellen Durchblutungsstörungen können auch venöse Abflussstörungen zu ischämischen Infarkten führen. Bei einem thrombotischen Verschluss erhöht sich z. B. die Blutmenge und damit der venöse Druck im Quellgebiet des verschlossenen venösen Gefäßes. Dies bedingt eine Abnahme des kapillären Druckgradienten und einen vermehrten Flüssigkeitsübertritt aus den Blutkapillaren in das Hirngewebe (Ödem). Gleichzeitig wird die arterielle Blutzufuhr in das betroffene Gebiet und damit die Sauerstoffzufuhr gedrosselt. Der Verschluss einzelner Hirnvenen (z. B. bei Hirnvenenthrombose) führt zu Infarkten an definierten Orten:

a rechts: Thrombose und Infarkt im Einflussgebiet der Vv. superiores *mediales* cerebri (Symptom: kontralaterale Beinparese); links: Thrombose und Infarkt im Einflussgebiet der Vv. superiores *dorsales* cerebri (Symptom: kontralaterale Hemiparese; wenn die dominante Hemisphäre in Bezug auf das motorisch Sprachzentrum betroffen ist: motorische Aphasie).

b Aus einer Thrombose der rechten Vv. inferiores cerebri resultiert ein Infarkt im rechten Schläfenlappen (Symptome: sensorische Aphasie, kontralaterale Hemianopsie).

c Aus der beidseitigen Thrombose der Vv. internae cerebri resultiert ein symmetrischer Infarkt im Bereich der Thalami und Stammganglien. Es kommt rasch zu Bewusstseinsstörungen bis zum Koma.

Da die venösen Sinus ausgedehnte Anastomosen besitzen (s. S. 384), führt ein begrenzter Verschluss eines Sinusabschnittes im Gegensatz zu den hier beschriebenen zuführenden Venen häufig nicht zu ausgeprägten klinischen Symptomen.

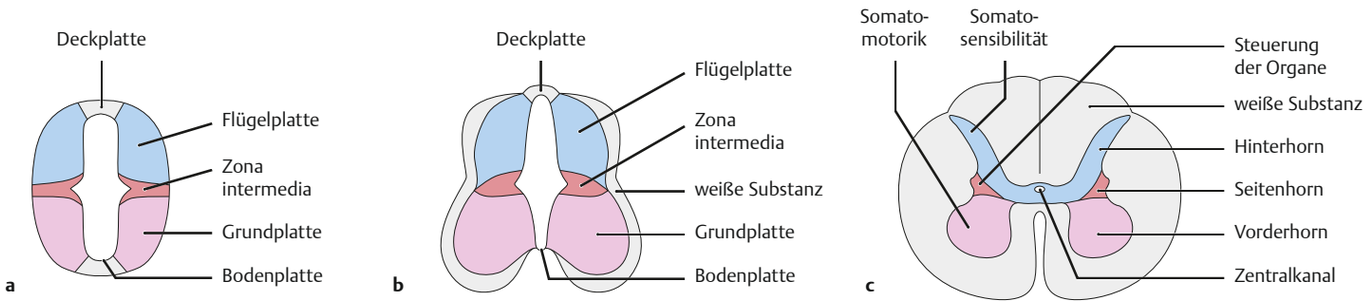
Gefäßregion	neurologische Symptomatik	
A. cerebri anterior	beinbetonte (senso-)-motorische Hemiparese 	zerebrale Blasenstörung 
A. cerebri media	brachiofazial betonte (senso-)-motorische Hemiparese (Typ Wernicke-Mann) 	Aphasie 
A. cerebri posterior	Hemihypästhesie 	Hemianopsie 

C Leitsymptome bei Durchblutungsstörungen einer der drei großen Äste der Hirnarterien (nach Masuhr u. Neumann)
Wenn die drei großen Hirnarterien *Aa. cerebri anterior, media* und *posterior* von einem Verschluss betroffen sind, kommt es in den von ihnen versorgten Hirnarealen durch die Minderversorgung mit Sauerstoff (s. S. 378) zu definierten Funktionsausfällen. Bei Schädigung einer der drei großen Äste entstehen diagnostisch wegweisende Schädigungsmuster:

- Blasenschwäche (kortikales Blasenzentrum) und Halbseitenlähmung des Beines (beinbetonte, [senso-]motorische Halbseitenlähmung) der kontralateralen Seite (s. motorischer und sensorischer Homunkulus S. 447 u. 457) deuten auf einen Infarkt im Bereich der **A. cerebri anterior**.
- Eine brachiofazial betonte Halbseitenlähmung der Gegenseite deutet auf einen Infarkt im Bereich der **A. cerebri media**; ist die dominante Hemisphäre betroffen, tritt zusätzlich eine motorische Aphasie auf (Patient kann z. B. Gegenstände nicht benennen).
- Sehstörungen im Bereich des kontralateralen Gesichtsfeldes (kontralaterale homonyme Hemianopsie) deuten u. a. auf einen Infarkt im Bereich der **A. cerebri posterior** hin, da diese Arterie u. a. den visuellen Cortex im Sulcus calcarinus des Lobus occipitalis versorgt. Sind auch die Äste zum Thalamus betroffen, können zusätzlich Sensibilitätsstörungen der kontralateralen Körperhälfte auftreten, da die afferenten sensiblen Fasern bereits vor dem Thalamus gekreuzt haben.

Das Ausmaß der Schädigung hängt u. a. davon ab, ob der Gefäßverschluss mehr proximal oder mehr distal lokalisiert ist. In der Regel führt ein proximaler Verschluss zu einem deutlich ausgedehnteren Infarkt als ein mehr distal gelegener Verschluss. Aufgrund der direkten Fortsetzung des Karotisstromgebietes in die A. cerebri media sind sog. „Mediainfarkte“ am häufigsten.

11.1 Übersicht: segmentaler Bau des Rückenmarks (Medulla spinalis)

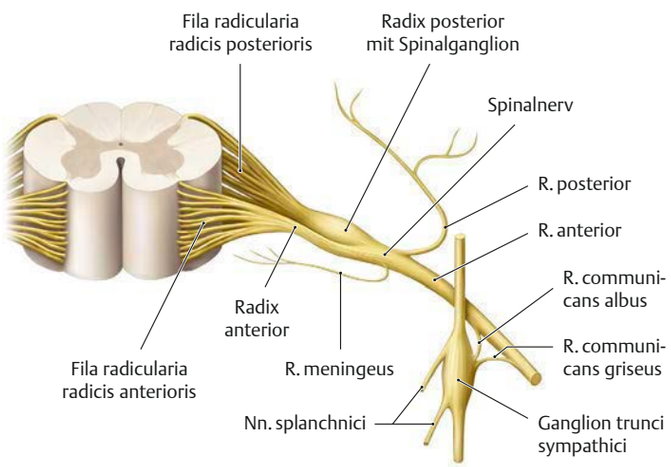


A Embryonalentwicklung des Rückenmarks
Querschnitt durch das Neuralrohr in Höhe des späteren Rückenmarks; Ansicht von kranial.
a frühes Neuralrohr; **b** intermediäres Stadium; **c** adultes Rückenmark.
Die Entwicklung des Rückenmarks ist bereits auf S. 273 dargestellt. Wie bei kaum einem anderen Abschnitt des ZNS trägt aber die Kenntnis der Embryonalentwicklung des Rückenmarks zum Verständnis von dessen Struktur und Funktion im reifen Organismus bei. Deshalb wird die Entwicklung an dieser Stelle kurz wiederholt und ergänzt.

- Das Rückenmark als Abschnitt des ZNS entwickelt sich aus dem Neuralrohr. Ein Querschnitt durch das frühe Neuralrohr (**a**) zeigt ein zentrales, mit Flüssigkeit (am reifen ZNS Liquor cerebrospinalis) gefülltes Lumen, das von sog. „Platten" umgeben ist:
  - von der jeweils unpaaren Boden- und Deckplatte sowie
  - von den jeweils paarigen Grund- und Flügelplatten.

  Grund- und Flügelplatte fassen *zwischen* sich eine *Zwischen*zone (Zona intermedia). In Grundplatte, Flügelplatte und Zona intermedia entwickeln sich zahlreiche Neurone. Sie bilden die **graue Substanz** (Substantia grisea). Dadurch vergrößern sich diese Bereiche und engen das zentrale Lumen immer mehr zum sog. Zentralkanal (Canalis centralis, funktionell innerer Liquorraum, **c**) ein, der sogar stellenweise verödet sein kann. Am reifen Rückenmark spricht man von Vorder-, Seiten- und Hinterhörnern.
- Die von den Neuronen ausgehenden Axone oder die an ihnen ankommenden Axone anderer Neurone bilden die **weiße Substanz** (Substantia alba), die sich topografisch in drei Stränge (Funiculus) und funktionell in zahlreiche Bahnen gliedern lässt (s. S. 396). Sie liegt außen um die graue Substanz herum.

Morphologisch stellt die allseitig von weißer Substanz umgebene graue Substanz des Rückenmarks somit letztlich einen Kern oder eine Kerngruppe dar. Den drei Hörnern kann grob eine Hauptfunktion ihrer Neurone zugeordnet werden: Vorderhorn: Somatomotorik; Hinterhorn: Somatosensibilität; Seitenhorn: vegetative Steuerung der Organe.



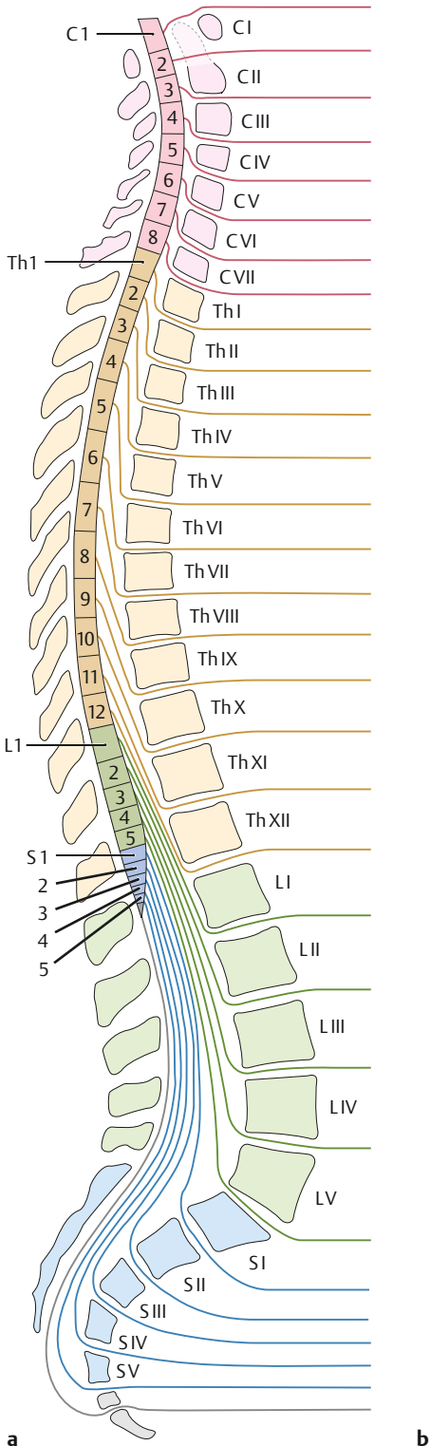
B Aufbau eines Rückenmarksegments
Ansicht eines Rückenmarksabschnittes sowie eines N. spinalis von vorne und oben.
Das Rückenmark liegt als kontinuierliches Gebilde im Wirbelkanal, eine funktionelle oder mophologische Untergliederung ist nicht erkennbar. Das Rückenmark als Abschnitt des ZNS hat in Form von sog. **Wurzelfäden (Fila radicularia)** kontinuierliche Verbindungen mit dem PNS. Diese Fila radicularia sind Gruppen von Axonen, die das Rückenmark

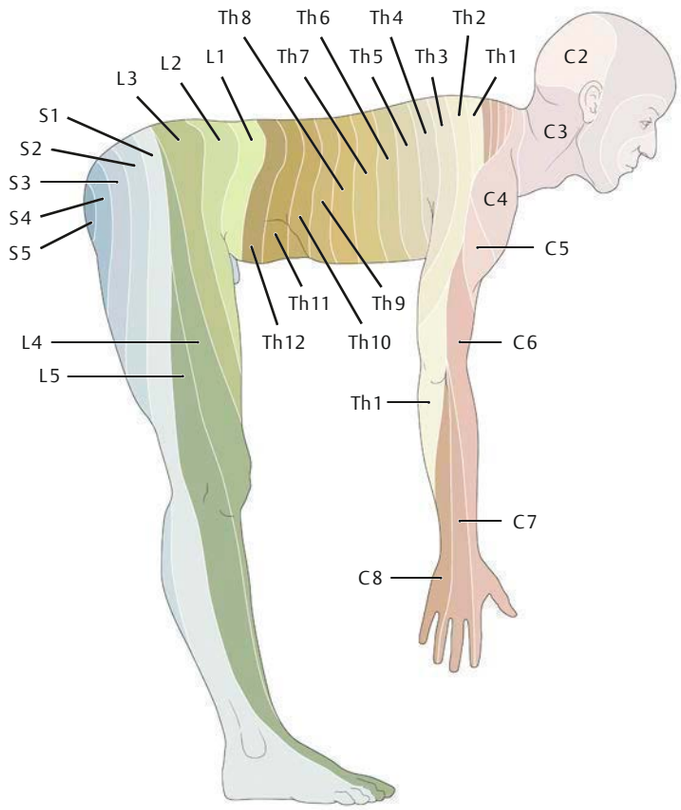
- an seiner Vorderseite verlassen (typischerweise Axone motorischer Neurone, die zu einem Effektor ziehen) oder
- an seiner Rückseite betreten (typischerweise Axone sensibler Neurone, die Informationen von einem Rezeptor liefern).

Der Wirbelkanal selbst ist aber durch den Aufbau der Wirbelsäule aus „Segmenten" – eben aus einzelnen Wirbeln – unterteilt (s. **C**). Er „zwingt" dem kontinuierlichen Rückenmark seinen eigenen segmentalen Bau gewissermaßen auf: Nur an den Öffnungen *zwischen* einzelnen Wirbeln – den Foramina *inter*vertebralia – können Fila radicularia den Wirbelkanal verlassen oder betreten. Sie tun dies nicht einzeln, sondern immer gruppenweise in einer sog. **Wurzel (Radix)** zusammengefasst:

- die vorderen Fila radicularia bilden eine Vorderwurzel (Radix anterior),
- die hinteren eine Hinterwurzel (Radix posterior).

Beide Wurzeln vereinigen sich zum **Spinalnerv (N. spinalis)**. Fila radicularia, Radix und N. spinalis sind Bestandteile des PNS. Aus dieser Verbindung eines *kontinuierlichen* Abschnitts des ZNS – eben des Rückenmarks – mit einem durch die Wirbelsäulenarchitektur zwangsläufig *diskontinuierlichen* Abschnitt des PNS – eben des N. spinalis und der ihn bildenden Fila und Radices – ergibt sich die **funktionelle Definition eines Rückenmarksegmentes:** Ein Rückenmarksegment ist der Abschnitt des Rückenmarks, in dem genau die (motorischen) Nervenzellen liegen, die genau eine Vorderwurzel bilden.
Beachte: Die Hinterwurzel ist nicht an der funktionellen Definition „beteiligt"! Denn die eintretenden Fila radicularia der Hinterwurzel enden keineswegs immer an Neuronen, die auf ihrer „Eintrittshöhe" am Rückenmark liegen, sondern evtl. erst in der Medulla oblongata. Da der N. spinalis sich aus (motorischer) Vorderwurzel und (sensibler) Hinterwurzel zusammensetzt, ist er funktionell gemischt. Einzige Ausnahme unter den Nn. spinales: Der N. spinalis aus dem Segment C1 hat keine Hinterwurzel (somit existieren dort auch keine hinteren Fila radicularia), er ist ausschließlich motorisch. Für alle anderen Spinalnerven könnte man aus morphologischer Sicht auch sagen, dass ein Segment der Rückenmarksabschnitt ist, an dem *die Fila radicularia, die sich zu einem Spinalnerv vereinigen,* das Rückenmark betreten oder verlassen.



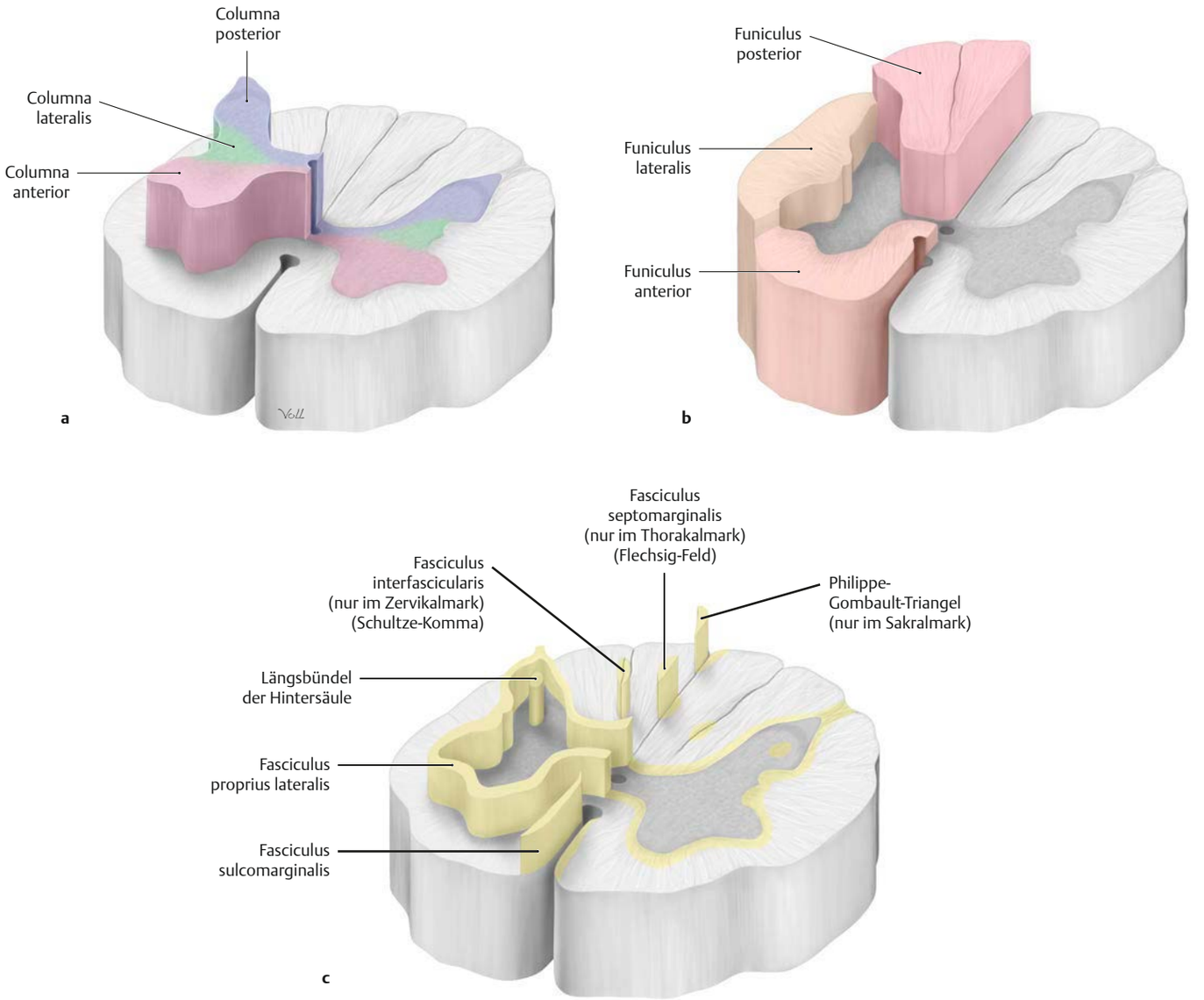


D Vereinfachtes Schema der segmentalen Innervation der Haut (nach Mumenthaler)
Verteilung der Dermatome am Körper. Die Verteilung der sensiblen Innervation der Haut korreliert mit den sensiblen Wurzeln der Spinalnerven der vorigen Abbildung: Jedes Rückenmarksegment (bis auf C1 s. u.) innerviert ein bestimmtes Hautfeld (= Dermatom) sensibel. Die Kenntnis der genauen Zuordnung von Dermatomen zu Rückenmarksegmenten ist klinisch von Bedeutung, da bei Sensibilitätsstörungen im Bereich eines Dermatoms auf die Höhe der Schädigung im Rückenmark geschlossen werden kann. Ist z. B. die Wurzel C8 ausgefallen, fehlt die Sensibilität an der Kleinfingerseite der Hand. *Beachte:* Ein C1-Dermatom gibt es nicht, da die Hinterwurzel fehlt. Propriozeptive Fasern der kurzen Nackenmuskeln im N. suboccipitalis ziehen über den Plexus cervicalis dorsalis in die Hinterwurzel von C2

RM-Segmente	Wirbelkörper	Dornfortsätze
C8	Unterkante C VI/Oberkante C VII	C VI
Th6	Th V	Th IV
Th12	Th X	Th IX
L5	Th XI	Th X
S1	Th XII	Th XII

C Zuordnung von Rückenmarkssegmenten zur Wirbelsäule beim Erwachsenen
a Mediansagittalschnitt der Wirbelsäule, Ansicht von rechts; **b** Rückenmarksegmente (Auswahl).
Ein Rückenmarksegment wird nach dem Zwischenwirbelloch benannt, an dem „sein" Spinalnerv austritt. Beim Embryo liegen Segment, Wirbelloch und Spinalnerv fast noch auf einer Höhe. Da die Wirbelsäule aber stärker in die Länge wächst als das Rückenmark, laufen die unteren Wirbel und damit die Zwischenwirbellöcher (mit ihrem dort austretenden Spinalnerv) dem Rückenmark gleichsam davon: Vorder- und Hinterwurzeln, die einen vergleichsweise weiten Weg von ihrem Segment bis zu ihrem Zwischenwirbelloch zurücklegen müssen, verlaufen als sog. Pferdeschwanz (Cauda equina) im Wirbelkanal nach kaudal. Das unterste Rückenmarksegment (Coccygeal 1) liegt topografisch auf Höhe des Wirbelkörpers L1. Die Kenntnis dieser topografischen Verhältnisse ist wichtig, wenn man den Liquorraum um das Rückenmark herum zur Gewinnung von Liquor cerebrospinalis punktieren möchte (s. **C**, **E**, S. 419). Einige Segmente sind zur Orientierung in **b** zusammen gefasst.
Beachte: Der N. spinalis C1 tritt zwischen Os occipitale und dem 1. Halswirbel (Atlas) aus, der N. spinalis C8 zwischen 7. Halswirbel und 1. Brustwirbel. Deshalb gibt es zwar 7 Halswirbel, aber 8 Nn. spinales cervicales (und 8 Halssegmente). Die mit Th1 folgenden Spinalnerven treten alle unterhalb „ihres" Wirbels aus. Verletzungen unterhalb des Wirbels L1 führen somit nicht mehr zur Schädigung des Rückenmarks selbst, sondern betreffen die Vorder- und Hinterwurzel (Cauda-equina-Syndrom).

11.2 Übersicht: Gliederung der Rückenmarkssegmente



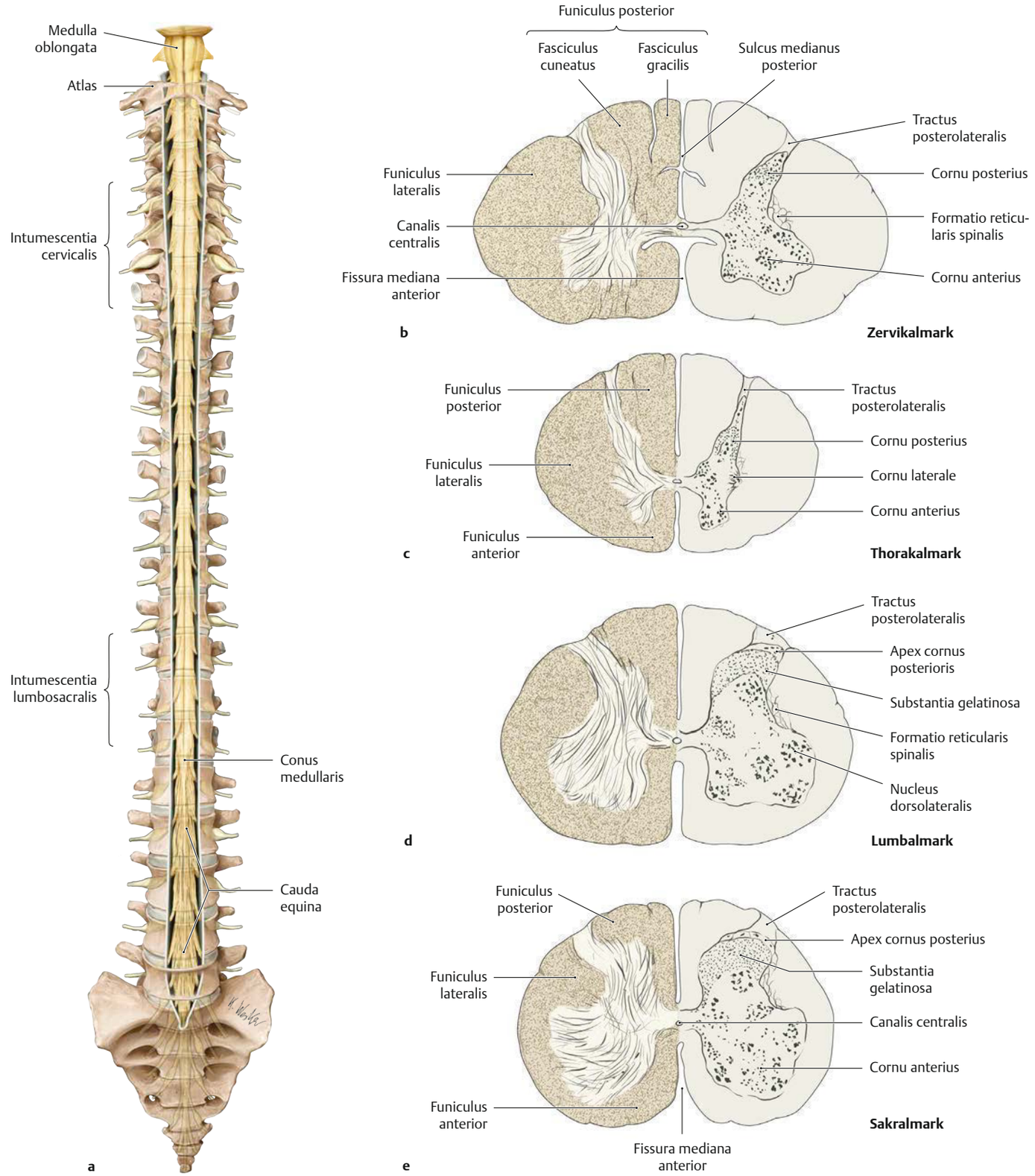
A Graue und weiße Substanz im Rückenmark
Dreidimensionale Darstellung des Rückenmarks, Schrägansicht von links, vorne und oben.
a graue Substanz; **b** weiße Substanz: die Funiculi; **c** weiße Substanz: die Grundbündel.

Die typische Schnittdarstellung des Rückenmarks täuscht darüber hinweg, dass die funktionelle Anordnung von Neuronen in Säulen (sog. Kernsäulen) erfolgt (s. **A**, S. 398). Darum ist die Darstellung der grauen Substanz in drei Säulen (**a**), Columna anterior, lateralis und posterior, deren Schnittbild das jeweilige Horn (Cornu) zeigt, mehr als nur eine topografische Facette: Für das funktionelle Verständnis von Muskeln durch Kernsäulen einerseits (s. S. 398) und für die Kenntnis der Funktion der Grundbündel (s. **c**) andererseits ist der Aspekt der Columna maßgeblich. Bezogen auf die Definition eines Segments (s. **B**, S. 394) ist die *Columna* anterior der Ort, in dem alle motorischen Neurone liegen, die gemeinsam eine *Radix* anterior bilden. Die Columna lateralis bzw. posterior enthalten vegetative bzw. sensible Neurone, wie bereits in **A**, S. 394 bei den entsprechenden Hörnern erwähnt. Die weiße Substanz enthält Bahnen. Diese lassen sich nach ihrem *Zielort* grundsätzlich unterteilen in:

b Bahnen, die das Rückenmark – ggf. nach Verschaltung innerhalb des Rückenmarks – durchziehen und *mit einem anderen Abschnitt des ZNS in Verbindung* stehen. Dabei handelt es sich um den *Fremdapparat* des Rückenmarks. Er ist in drei sog. Strängen organisiert: Funiculus anterior, lateralis und posterior: Vorder-, Seiten und Hinterstrang;

c Bahnen, die die Neurone in den Säulen *innerhalb des Rückenmarks* verbinden und der rückenmarkinternen Verschaltung dienen (sog. *Eigenapparat*). Die Axone dieser Bahnen entstammen Schaltneuronen (sog. Interneuronen), die in der grauen Substanz liegen. Der Eigenapparat ist in sog. Grundbündeln (Fasciculi proprii) organisiert und liegt typischerweise der grauen Substanz eng an. Grundbündel können auch horizontal verlaufen und Neurone innerhalb einer Ebene miteinander verbinden (hier nicht dargestellt).

In beiden Apparaten können die Bahnen aufsteigend (aszendierend) oder absteigend (deszendierend) sein. Aszendierende Bahnen des Fremdapparates sind sensibel, deszendierende Bahnen motorisch.



B Lage des Rückenmarks im Durasack

a Ansicht von ventral; Wirbelkörper gefenstert, um die Ventralseite des Rückenmarks freizulegen. Die Querschnitte (**b**–**e**) repräsentieren die topografisch wichtigsten Abschnitte des Rückenmarks; links im Schema nach Markscheidenfärbung, rechts nach Darstellung der Nervenzellkörper.

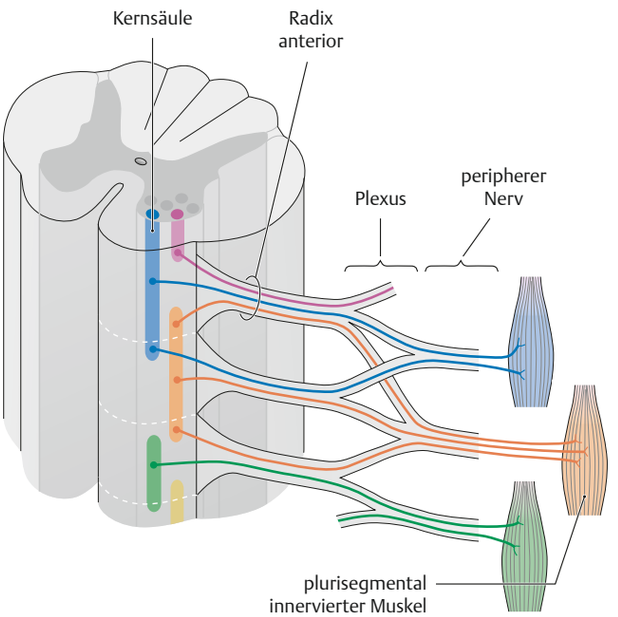
Beachte: In den Rückenmarksbereichen, die die Extremitäten versorgen (= Intumescentia cervicalis und Intumescentia lumbosacralis), nimmt die graue Substanz zu. Diese Größenzunahme resultiert aus der größeren Anzahl von Neuronen, welche die Muskulatur der Extremitäten motorisch und sensibel versorgen. Das Seitenhorn ist der Sitz der Sympathikusneurone, so dass es nur im unteren Zervikalmark, im Thorakalmark sowie im oberen Lumbalmark zu finden ist. Die Dicke der weißen Substanz nimmt von kaudal nach kranial zu, da in den kaudalen Abschnitten nur die Bahnen zum unteren Teil des Rumpfes und der unteren Extremität verlaufen, während durch das Zervikalmark zusätzlich noch die Bahnen der oberen Extremitäten verlaufen.

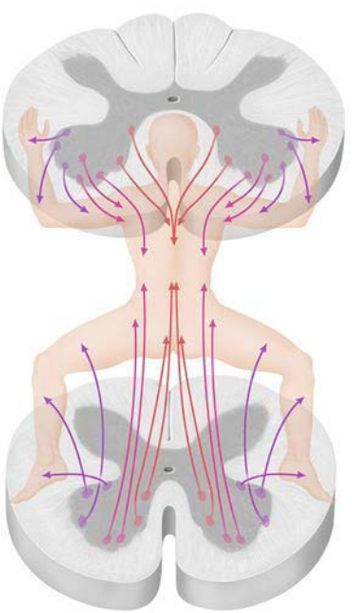
11.3 Graue Substanz (Substantia grisea): innere Gliederung

A Prinzip der Organisation der Zellsäulen in der Vordersäule des Rückenmarks

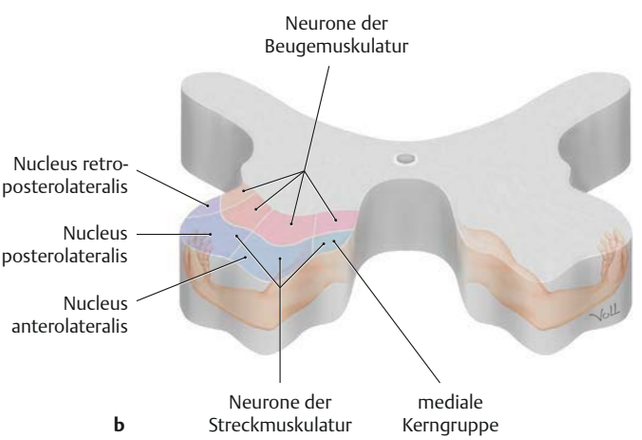
In der Vordersäule des Rückenmarks (Columna anterior) können jedem einzelnen Muskel definierte, säulenartige Kerngebiete zugeordnet werden. Da bei gleicher Innervationsdichte große Muskeln mehr Neurone benötigen als kleine, erstrecken sich die Kernsäulen dieser Muskeln über mehrere Segmente. Muskeln, deren Motoneurone ganz oder vorwiegend auf Höhe *eines* Rückenmarksegmentes angeordnet sind, bezeichnet man als *Kennmuskeln* dieses Segments (im Unterschied zu den plurisegmentalen Muskeln, s. u., deren Motoneurone aus mehreren Segmenten stammen). Ihre Kenntnis ist für die klinische Untersuchung von Bedeutung. Die Anordnung der Motoneurone eines Muskels in Kernsäulen ist die Grundlage der Somatotopik der Vordersäule (s. **B**). Im Unterschied zum Rumpf (segmentale Gliederung und Innervation) werden die Muskelanlagen für die Extremitäten aufgrund von Wanderungsbewegungen während der Entwicklung durchmischt. Bei dieser Wanderung ziehen diese Muskelanlagen ihre Innervation hinter sich her. Deshalb ist eine Durchmischung der hinterherziehenden Axone notwendig, die in den Plexus erfolgt. Bei großen Muskeln können sogar Nervenfasern aus mehreren Segmenten „gemischt" werden, so dass ein großer Muskel durch mehrere Rückenmarksegmente innerviert werden kann. Diese Muskeln nennt man *plurisegmental* (vgl. **B**, S. 400).

Beachte: Ein Muskel kann zwar aus mehreren Rückenmarksegmenten innerviert werden, aber immer nur aus einer Kernsäule, die sich bei großen Muskeln eben über mehrere Segmente erstreckt.





a



b

B Somatotopische Gliederung des Vorderhorns (nach Bossy)

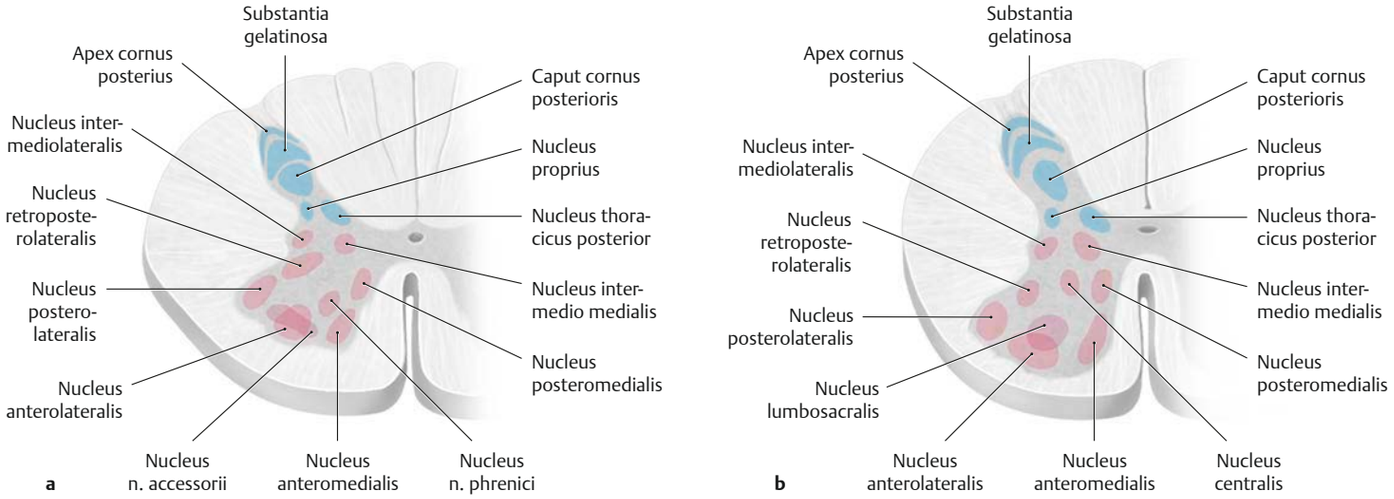
a Somatotopische Gliederung der Kernsäulen im Vorderhorn des gesamten Rückenmarks: Die Kernsäulen im Vorderhorn des Rückenmarks sind folgendermaßen angeordnet:

- In den medialen Kernsäulen befinden sich die Motoneurone der stammnahen Muskeln,
- in den lateralen Kernsäulen die Motoneurone der stammfernen Muskeln.

b Somatotopische Gliederung der Kernsäulen im Vorderhorn des Zervikalmarks:

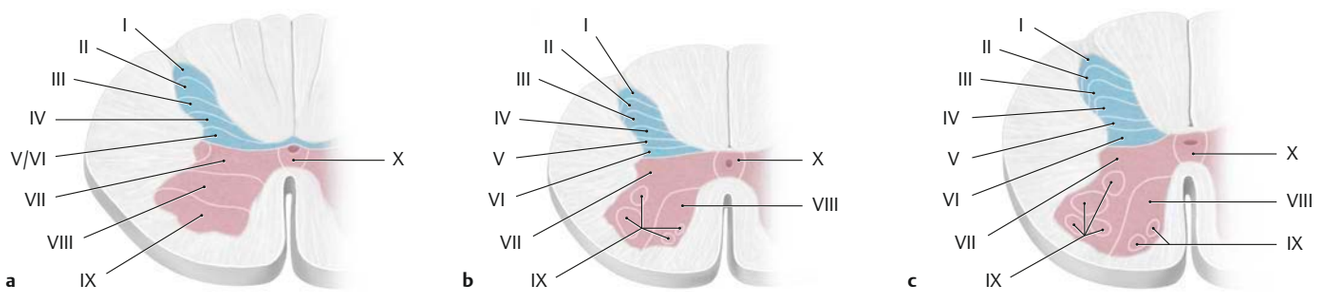
- Die medialen Kerngruppen (Nuclei ventromedialis und dorsomedialis – Kerne nicht gesondert dargestellt) innervieren Nacken- und Rückenmuskeln sowie Interkostal- und Abdominalmuskeln (s. **a**).
- Die lateralen Kerngruppen innervieren:
  - Schultergürtel- und Oberarmmuskulatur (Nucleus anterolateralis),
  - Unterarm- und Handmuskulatur (Nucleus posterolateralis) sowie
  - die kleinen Fingermuskeln (Nucleus retroposterolateralis).

Im ventralen Feld des Vorderhorns (blau) liegen die Kerngruppen für die Streckmuskulatur, im dorsalen Feld (rot) die für die Beugemuskulatur.



C Einteilung der grauen Substanz in Zellgruppen

a Zervikalmark; **b** Lumbalmark. Klassischerweise werden die Neurone in der grauen Substanz des Rückenmarks aufgrund ihrer Form und Lage zu Zellgruppen (= Kerngebieten) zusammengefasst. Wenn man die Neurone, die der lokalen Informationsverarbeitung dienen, nicht berücksichtigt, liegen im Vorderhorn im Wesentlichen die somatoefferenten Motoneurone. Dadurch ist das Vorderhorn deutlich größer als das Hinterhorn, in dem im Wesentlichen die Projektionsneurone der aufsteigenden Bahnen lokalisiert sind. Da sich die Lage der Kerngruppen in den verschiedenen Abschnitten unterscheiden kann, sind Zervikal- und Lumbalmark dargestellt. Einige Zellsäulen sind für den jeweiligen Abschnitt des Rückenmarks spezifisch, so findet man z. B. das Kerngebiet für den N. phrenicus nur im Zervikalmark. Im **Sakralmark** (hier nicht dargestellt) findet sich an der Ventralseite von Lamina IX (s. **D**) auf Höhe von (S1)–S2–S3 ein kleines Kerngebiet (durchschnittlich 625 Neurone), der Nucleus X nach Onuf. In ihm liegen Motoneurone des N. pudendus, die für Harn- und Stuhlkontinenz (externe Sphinkteren für Anus und Urethra) sowie für den Orgasmus (M. ischio- und bulbocavernosus) verantwortlich sind.



D Schichtengliederung der Kerngruppen nach Rexed

a Zervikalmark; **b** Thorakalmark; **c** Lumbalmark. Aufgrund der komplexen Organisation des ZNS gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Gliederung der grauen Substanz. Neben der oben geschilderten Einteilung der grauen Substanz in Kerngruppen wird die graue Substanz zytoarchitektonisch auch in Schichten (= Laminae I–X) nach Rexed unterteilt. Die Schichtenbildung ist im Hinterhorn besonders gut ausgeprägt, im Vorderhorn ähnelt die Anordnung der Laminae denen der Kerngruppen (s. **C**). Der Ort, an dem die sensiblen Axone aus den Spinalganglien enden, wird oft in der Lamina nach Rexed angegeben; diese Abbildung kann als Referenz dienen.

E Neurone der grauen Substanz des Rückenmarks

Wurzelzellen

Neurone, deren Axone aus der Vorderwurzel austreten. Man unterscheidet weiter:

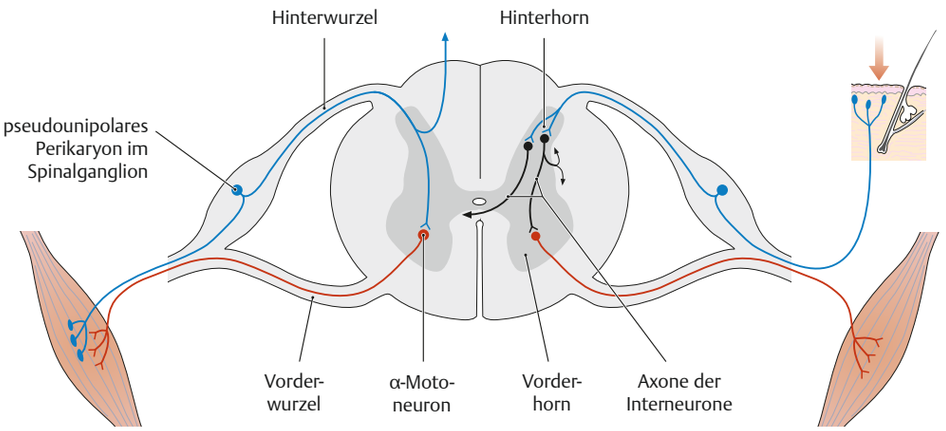
- somatomotorische Wurzelzellen (ziehen zu Skelettmuskeln; α- und γ-Motoneurone)
- viszeromotorische Wurzelzellen (ziehen zu Eingeweiden)

Binnenzellen

Neurone, deren Axone das ZNS nicht verlassen. Man unterscheidet weiter:

- *Strangzellen (Projektionsneurone):* Binnenzellen in der Columna posterior, deren Axone die graue Substanz verlassen und in der weißen Substanz als aufsteigende Bahnen (= Stränge) zu höheren Zentren ziehen. Sie stellen das 2. sensible Neuron dar, das 1. liegt im Spinalganglion (s. z. B. S. 403). Da ihre Axone in höheren Zentren enden, werden sie auch unter dem Oberbegriff Projektionsneurone zusammengefasst (analog den absteigenden Projektionsneuronen)
- *Interneurone:* In der ganzen grauen Substanz verteilte Neurone, deren Axone die graue Substanz nicht verlassen. Man unterscheidet weiter:
  - Schaltzellen: Neurone, deren Axone innerhalb einer Seite auf einer Segmenthöhe enden (s. z. B. **C**, S. 401)
  - Kommissurenzellen: Neurone, deren Axone in der Commissura alba zur Gegenseite ziehen (s. z. B. **C**, S. 401)
  - Assoziationszellen: Neurone, deren Axonkollateralen auf einer Seite verschiedene Segmente untereinander verbinden: intersegmentaler Korrelationsapparat (s. z. B. **C**, S. 401)
  - Renshaw-Zellen: Neurone, die durch Axonkollateralen des exzitatorischen α-Motoneurons stimuliert werden. Daraufhin setzen sie einen inhibitorischen Transmitter frei, der auf das stimulierende α-Motoneuron zurückwirkt: daher rekurrente (= zurückwirkende) Hemmung (s. z. B. **D**, S. 401)

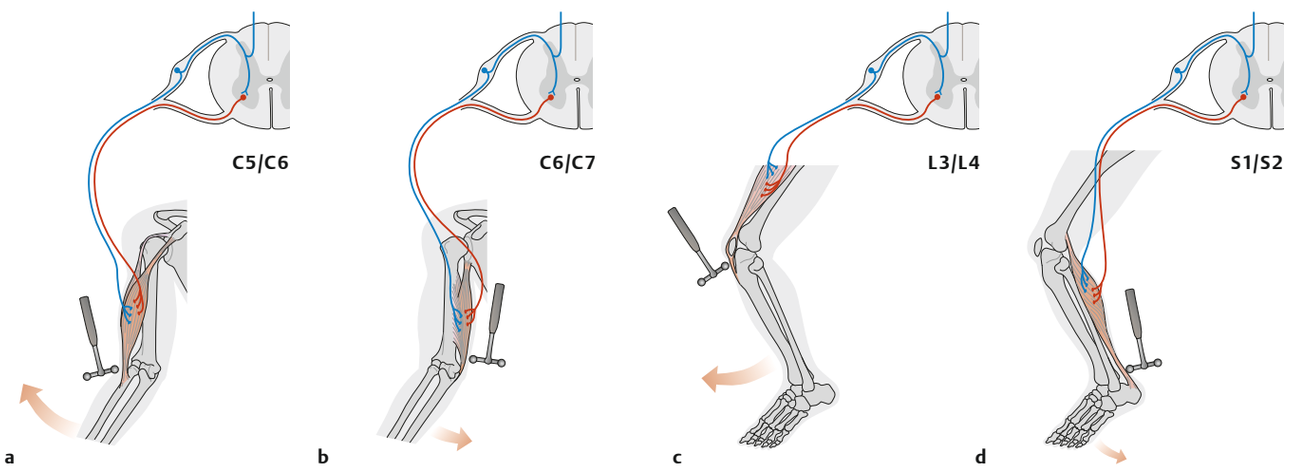
11.4 Substantia grisea: Reflexbogen und Eigenapparat des Rückenmarks



A Integrative Funktion der grauen Substanz des Rückenmarks: Generierung von Reflexen

Links: monosynaptischer Eigenreflex; rechts: polysynaptischer Fremdreflex.

Die graue Substanz des Rückenmarks hat u. a. die Aufgabe, die Muskelfunktion auf unbewusster (= reflektorischer) Ebene zu unterstützen: Durch sie wird der Körper beim Stehen aufrecht gehalten, Gehen und Laufen kann ohne unser Bewusstsein erfolgen. Für diese Koordinationsfunktion benötigen die Neurone der grauen Substanz Informationen aus den Muskeln und ihrer Umgebung. Sie bekommen sie über Axone von Neuronen, deren Perikarya im Spinalganglion liegen. Diese Axone ziehen über das *Hinterhorn* in die graue Substanz (zu den Afferenzen s. S. 446). Man unterscheidet zwei Arten von Reflexen: den monosynaptischen Eigenreflex und den polysynaptischen Fremdreflex. Beim **monosynaptischen Eigenreflex** kommt die Information aus der Peripherie vom Muskel selbst, z. B. Information über die Muskellänge und die Muskeldehnung. Wird der Muskel durch einen Schlag auf seine Sehne gedehnt, werden Rezeptoren im Muskel erregt, die diese Dehnungsinformation (über Neurone, deren Perikarya im Spinalganglion liegen) an die α-Motoneurone weiterleiten. Diese afferenten Neurone setzen erregende Transmitter am α-Motoneuron frei, das daraufhin eine Kontraktion dieses Muskels auslöst. Die erfolgte Kontraktion des Muskels ist ein Zeichen dafür, dass der ganze Reflexbogen intakt ist, d. h. afferente und efferente Fasern sowie der verarbeitende Apparat in der grauen Substanz und der Muskel selbst funktionsfähig sind. Beim **polysynaptischen Fremdreflex** werden Rezeptoren gereizt, die außerhalb des Muskels, z. B. in der Haut, liegen. Sie lösen dann über Interneurone die Muskelkontraktion aus. Da bei der Auslösung eines Fremdreflexes mehr als ein Neuron beteiligt ist, spricht man von einem polysynaptischen Fremdreflex. Die Neurone werden über den sog. Eigenapparat verschaltet (Näheres s. **C**).

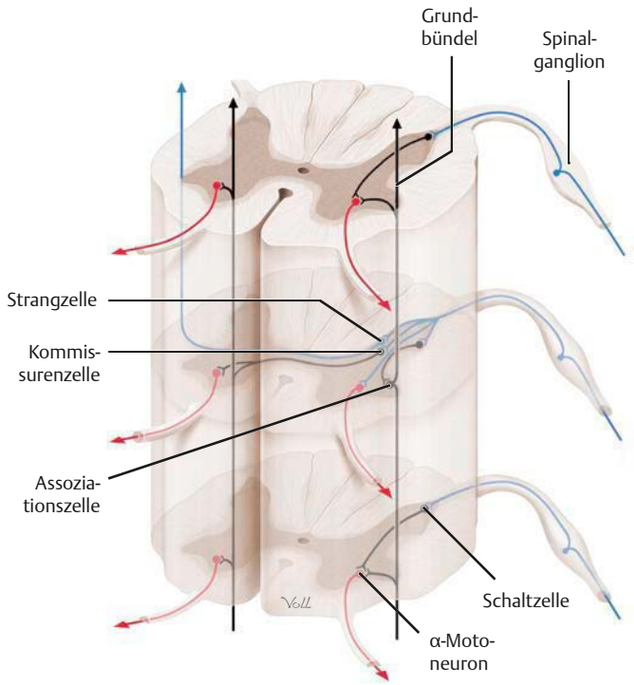


B Klinisch wichtige Eigenreflexe

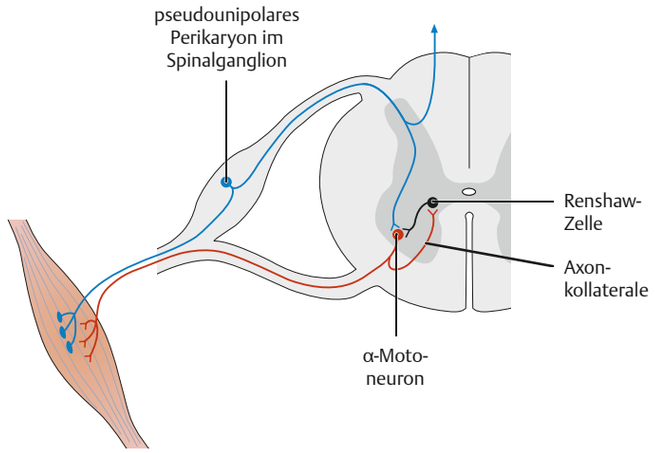
a Bizepsreflex; **b** Trizepsreflex; **c** Patellarsehnenreflex (Quadrizepsreflex); **d** Achillessehnenreflex.

Dargestellt sind Muskeln, Auslösepunkt der Reflexe, beteiligte Nerven (Afferenzen blau, Efferenzen rot) und korrespondierende Rückenmarksegmente.

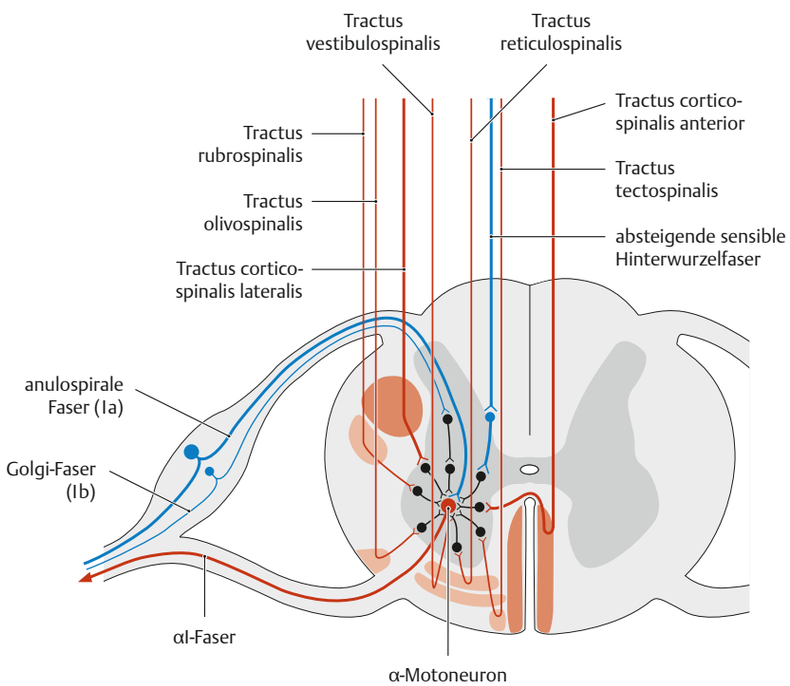
Die wichtigsten Muskeleigenreflexe sollten bei jeder klinischen Untersuchung überprüft werden. Ausgelöst wird der jeweilige Reflex durch einen kurzen Schlag mit dem Reflexhammer, meist auf die Sehne eines Muskels. Dadurch wird der Muskel gedehnt. Wenn sich der Muskel als Antwort auf diese Dehnung kontrahiert, ist der Reflexbogen intakt. Obwohl es sich um einen Muskel und einen ihn versorgenden Nerv handelt, sind mehrere Rückenmarksegmente an der Innervation beteiligt (= plurisegmentale Muskeln s. **A**, S. 398). Bei der klinischen Reflexprüfung sollte immer ein Seitenvergleich durchgeführt werden, da nur so *einseitige* Steigerungen, Abschwächungen oder pathologische Abweichungen festgestellt werden können.



C Verschaltungsschema des Eigenapparates des Rückenmarks
Afferente Neurone blau, efferente Neurone rot, Neurone des Eigenapparates schwarz dargestellt. Polysynaptische Fremdreflexe müssen auf Rückenmarksebene oft über mehrere Segmente koordiniert werden. Die eingehende Information wird durch Interneurone, deren Axone sich z. T. T-förmig aufzweigen, gekreuzt und ungekreuzt zu höher und tiefer gelegenen Segmenten geleitet (zu den Interneuronen s. **E**, S. 399). Diese, auf das Rückenmark beschränkten Interneuronenketten werden zusammenfassend als *Eigenapparat* des Rückenmarkes bezeichnet. Die Axone der Neurone des Eigenapparates ziehen in Grundbündeln (Fasciculi proprii), die zum Teil der grauen Substanz angelagert sind, zu den benachbarten Segmenten (s. **A**, S. 396). Damit sind die Grundbündel der Leitungsapparat des Eigenapparates.

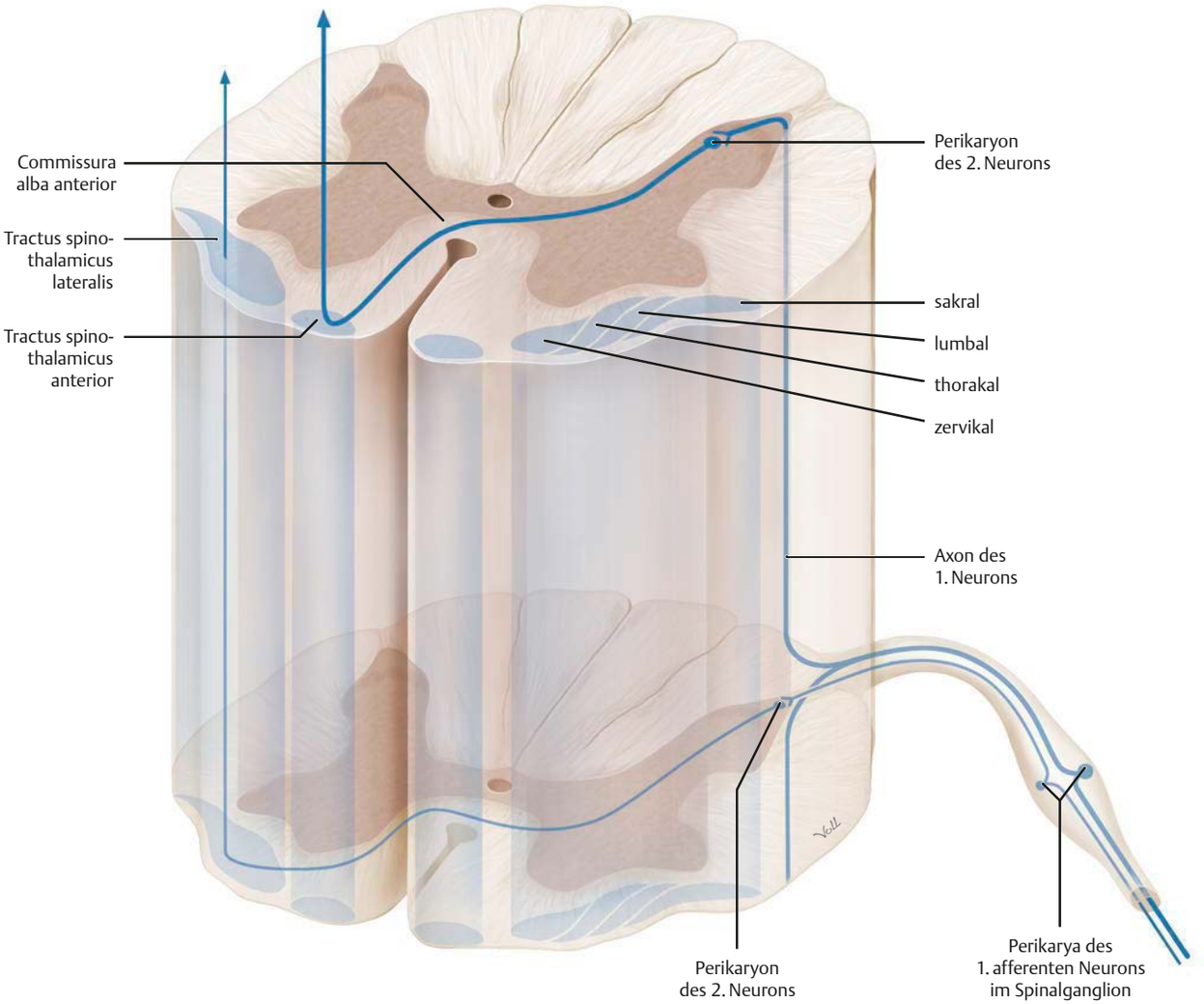


D Einflüsse auf das α-Motoneuron durch die Renshaw-Zelle
Beim monosynaptischen Eigenreflex stammen die Afferenzen von Neuronen aus dem Spinalganglion. Sie enden an den α-Motoneuronen und setzen dort den erregenden Transmitter Acetylcholin frei. Als Antwort auf diese Transmitterfreisetzung gibt das α-Motoneuron seinerseits erregende Impulse zur Nerv-Muskel-Synapse ab (Transmitter an der Synapse ebenfalls Acetylcholin). Zusätzlich existieren Axonkollateralen des erregenden α-Motoneurons, das auf diese Weise auch stimulierend auf eine Renshaw-Zelle, ein inhibierendes Interneuron, wirkt. Auf diese Stimulation hin setzt die Renshaw-Zelle den *inhibitorischen* Transmitter Glycin frei. Durch diesen, sich selbst inhibierenden Mechanismus wird eine Übererregung des α-Motoneurons vermieden (rekurrente Hemmung). Die funktionelle Bedeutung der Renshaw-Zellen zeigt sich klinisch eindrucksvoll beim Tetanus. Das Tetanustoxin hemmt die Freisetzung von Glycin aus den Renshaw-Zellen; die Hemmung der α-Motoneurone fällt weg und es kommt zu tetanischen Kontraktionen (Dauerkontraktion).



E Einflüsse auf das α-Motoneuron durch lange Bahnen
Das α-Motoneuron empfängt nicht nur Efferenzen aus dem Rückenmark selbst, sondern wird entscheidend durch Efferenzen aus langen Bahnen, die ihren Ursprung im Gehirn haben (Tractus), in seiner Aktivität moduliert. Die meisten dieser Efferenzen wirken hemmend auf das α-Motoneuron ein. Fallen z. B. diese Einflüsse bei einer Querschnittslähmung fort, resultiert aufgrund des überwiegenden Einflusses des Eigenapparates eine spastische Lähmung (s. S. 461).

11.5 Aufsteigende Bahnen im Vorderstrang: Tractus spinothalamici



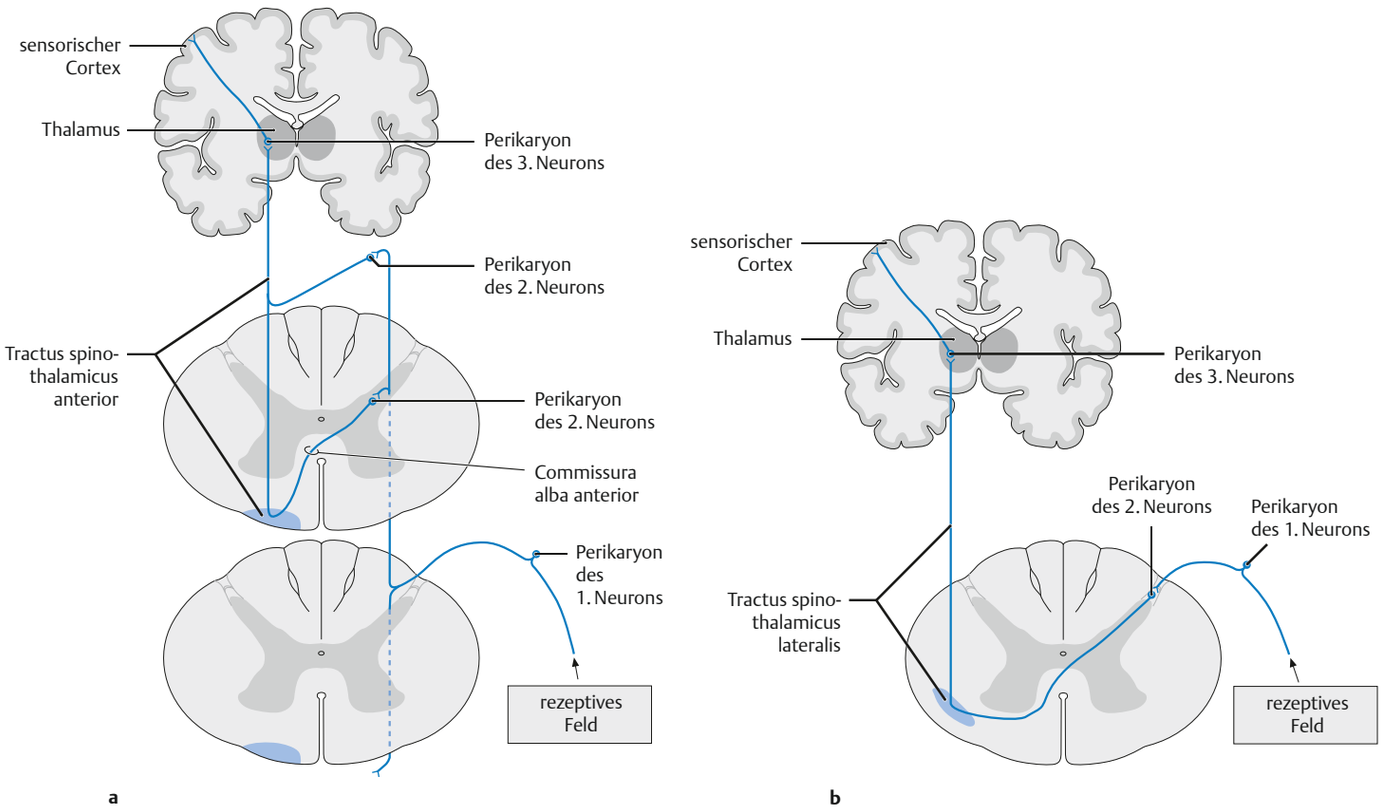
A Verlauf von Tractus spinothalamicus anterior und lateralis im Rückenmarksquerschnitt

Die Axone des Tractus spinothalamicus *anterior* verlaufen im Vorderstrang, die des Tractus spinothalamicus *lateralis* im Vorder- und im Seitenstrang des Rückenmarks. Daher werden beide Tractus auch als sensible *Vorderseitenstrangbahnen* bezeichnet.

- Der Tractus spinothalamicus anterior leitet grobe Berührungs- und Tasteindrücke sowie weniger abgestufte Druckempfindungen,
- der Tractus spinothalamicus lateralis Schmerz, Temperatur, Kitzeln, Jucken und sexuelle Empfindungen.

Die Perikarya der zuführenden (= primärafferenten) Neurone beider Tractus liegen in den Spinalganglien. Beide Tractus enthalten 2. Neurone und kreuzen in der Commissura alba anterior. Auf der linken Rückenmarkseite ist die Somatotopik des Tractus spinothalamicus lateralis dargestellt. Wenn man dorsal beginnt und sich im Uhrzeigersinn nach ventral bewegt, trifft man zunächst auf die sakralen Fasern und endet ventral mit den zervikalen.

Beachte: Der Tractus spinothalamicus ist im engeren Sinne *nicht Teil* der Commissura alba anterior, er kreuzt (= Decussatio) nur in ihr. Die Commissura alba *anterior* ist ebenso wie die hier nicht dargestellte Commissura alba *posterior* eine echte Kommissur von horizontal verlaufenden Grundbündelfasern: Hier verbinden Grundbündel als Eigenapparat linkes und rechtes Rückenmark. Die Commissura *alba* anterior darf nicht mit der Commissura anterior verwechselt werden. Dies ist zwar ebenfalls eine echte Kommissur, aber nicht im Rückenmark, sondern im Telencephalon, wo sie sowohl Teile des Riechhirns als auch Teile des Temporallappens von Seite zu Seite verbindet. Die Commissura *alba* posterior darf nicht mit der Commissura posterior verwechselt werden, die als echte Kommissur im Zwischenhirn liegt.



B Tractus spinothalamici und ihre zentralen Verbindungen
a Tractus spinothalamicus anterior; **b** Tractus spinothalamicus lateralis.
Beide Tractus spinothalamici erfassen Reize in rezeptiven Feldern der Haut, leiten jedoch Informationen über unterschiedliche **Sinnesqualitäten:**

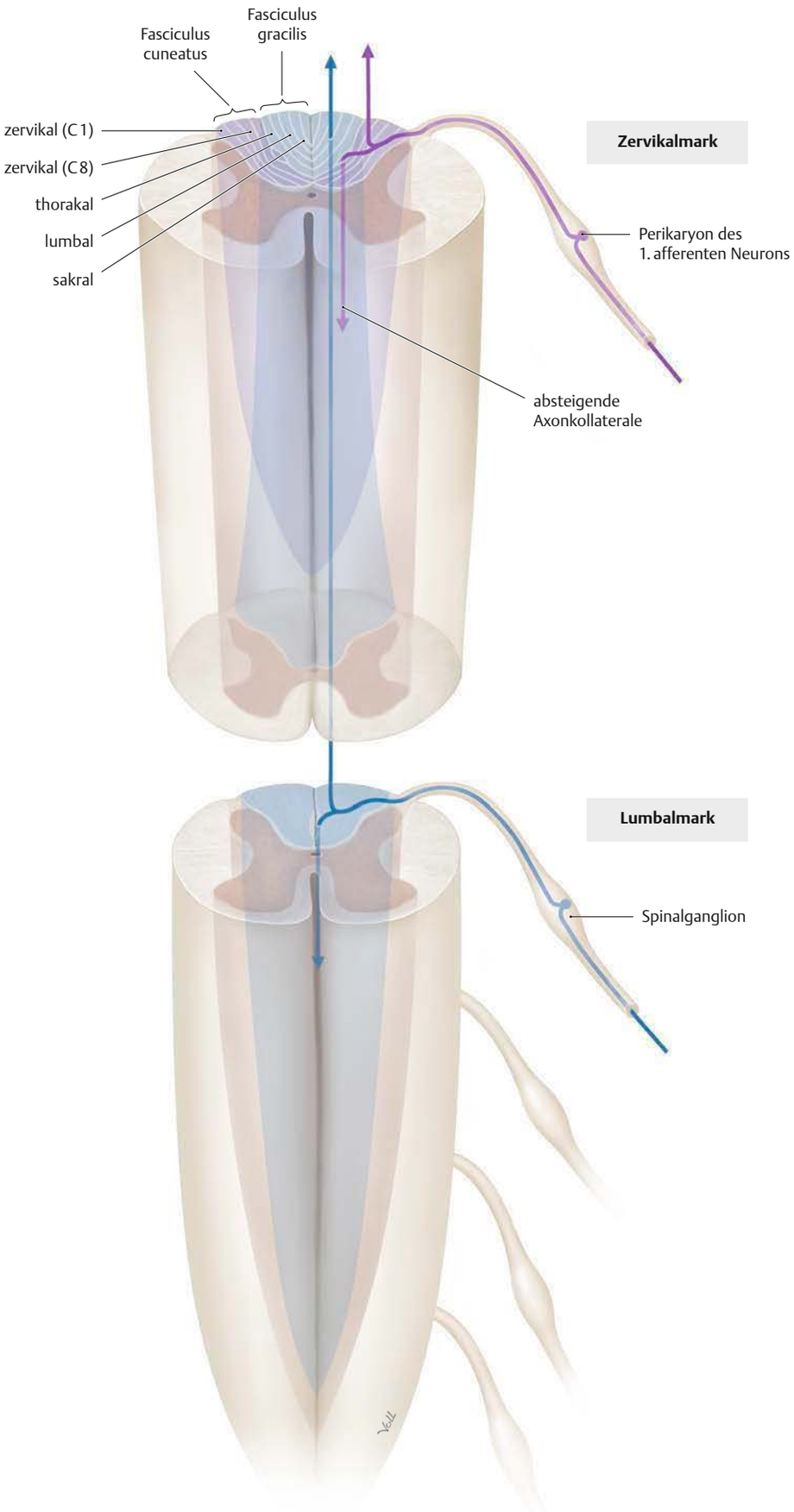
- Der Tractus spinothalamicus *anterior* empfängt seine Impulse von Tastkörperchen der Haut sowie Rezeptoren um die Haarfollikel (Mechanorezeption) über mittelstark myelinisierte (dendritische) Axone,
- der Tractus spinothalamicus *lateralis* über freie Nervenendigungen in der Haut für Schmerz und Temperatur.

Die *Perikarya der 1. Neurone* (primärafferent) liegen bei beiden Tractus in den *Spinalganglien.* Auch im weiteren Verlauf der Tractus spinothalamici gibt es Gemeinsamkeiten: Beide *Bahnen enden am sensorischen Cortex* im Gyrus postcentralis, die von ihnen weitergeleiteten Impulse werden also *bewusst* im Gehirn verarbeitet. Auf dem **Weg beider Tractus zum sensorischen Cortex** gibt es jedoch einen, auch klinisch bedeutenden Unterschied:

- Beim Tractus spinothalamicus *anterior* (**a**) verzweigen sich die Axone der 1. Neurone zunächst T-förmig, nachdem sie in das Rückenmark eingetreten sind und ziehen 1–2 Segmente nach unten sowie 2–15 Segmente nach oben. Erst dann, also nicht auf Höhe des Rückenmarksegmentes, auf dem sie eintreten, schalten sie an der Hintersäule auf das 2. Neuron um. Die Axone der 2. Neurone kreuzen dann über die vordere Kommissur auf die Gegenseite und ziehen im gegenüberliegenden *Vorder*(anterior!)strang zum Gehirn.
- Beim Tractus spinothalamicus *lateralis* (**b**) dagegen schalten die Axone der 1. Neurone sofort nach ihrem Eintritt in die graue Substanz des Rückenmarks auf das 2. Neuron um, also auf Höhe des Segmentes, in dem sie in das Rückenmark eintreten! Die Axone des 2. Neurons kreuzen dann ebenfalls über die vordere Kommissur auf die Gegenseite und ziehen im gegenüberliegenden Vorder*seiten*(lateralis!) strang zum Gehirn. Die Kenntnis dieser unterschiedlichen Umschaltstelle kann für die Beurteilung der Symptomatik beim sog. *Brown-Séquard-Syndrom* (s. **E**, S. 473) von Bedeutung sein.

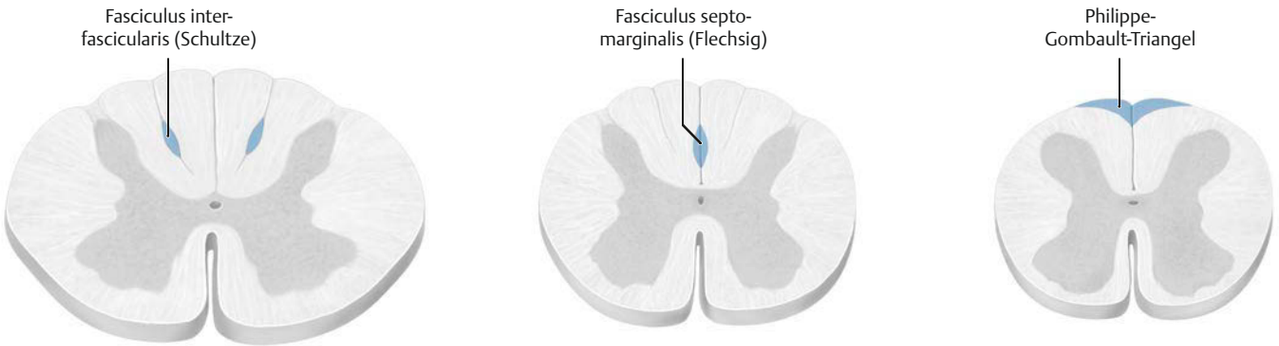
Beide Tractus spinothalamici (die im Hirnstamm auch als Fibrae spinothalamicae bezeichnet werden), ziehen dann im Hirnstamm in einer als Lemniscus spinalis (= Rückenmarksschleife) bezeichneten Bahngruppe zum Nucleus ventralis posterolateralis thalami, wo sie auf das 3. Neuron umschalten. Die Axone des 3. Neurons erreichen dann über die Capsula interna das 4. Neuron im Gyrus postcentralis.
Beachte: Bei einer Läsion der Tractus spinothalamici ist die Wahrnehmung verschiedener sensibler Reize wie Schmerz, Temperatur und grober Mechanorezeption eingeschränkt oder fällt komplett aus. Da beide Bahnen kaum trennbar nebeneinander liegen, kommt eine isolierte Läsion einer der beiden Bahnen praktisch nicht vor. Die Ausfälle, die durch diese Läsion verursacht werden, sind immer auf der Körperseite lokalisiert, auf der der Zellkörper des 1. Neurons (also des peripheren Neurons im Spinalganglion) der Bahn liegt. Grund hierfür ist die oben beschriebene Kreuzung der Bahn *nach* dem 2. Neuron: Ein Ausfall des 1. (peripheren) oder des 2. (zentralen) Neurons jeweils links führt genauso zu Symptomen auf der linken Körperseite wie ein Ausfall der kontralateral liegenden 3. und 4. (beide zentral) Neurone.

11.6 Aufsteigende Bahnen im Hinterstrang: Fasciculus gracilis und Fasciculus cuneatus



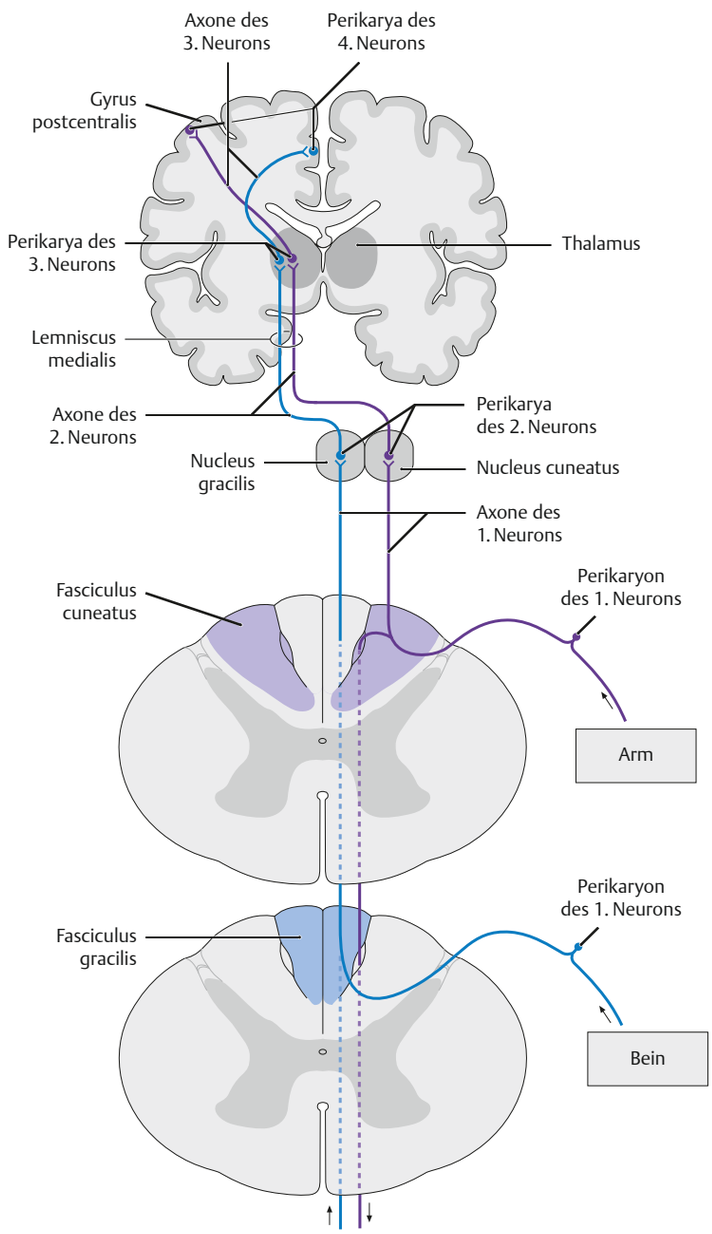
A Fasciculus gracilis und Fasciculus cuneatus (aufsteigende Axone)

Der Fasciculus gracilis (= schlank) und der Fasciculus cuneatus (= keilförmig) werden aufgrund ihrer dorsalen Lage im Rückenmarksquerschnitt als *Hinterstrangbahnen* zusammengefasst. Da sie in weiten Teilen analog zu den Tractus spinothalamici verlaufen und ebenfalls Information zur bewussten Wahrnehmung ins Großhirn leiten, sind sie hier direkt im Anschluss an diese dargestellt. In beiden Bahnen ziehen Fasern für Lageempfindung (bewusste Propriozeption) und feine Hautsensibilität (Vibration, feine Druckempfindung, 2-Punkte-Diskrimination, Tastsinn) – im Fasciculus cuneatus die Fasern aus der oberen Extremität, im Fasciculus gracilis die aus der unteren Extremität. Da der Fasciculus cuneatus die Fasern der oberen Extremität enthält, ist er unterhalb von Th 3 nicht angelegt. Die Perikarya der 1. Neurone liegen im Spinalganglion. Ihre markreichen und damit schnellleitenden Fasern ziehen ungekreuzt (zum Ort der Kreuzung s. **C**) zu den Hinterstrangkernen (Nucleus gracilis bzw. cuneatus s. **C**). Beide Kerngebiete liegen in der unteren Medulla oblongata. Die Fasciculi sind somatotopisch angelegt.



B Absteigende Axone in den Hinterstrangbahnen

Zusätzlich zu den in **A** gezeigten aufsteigenden Axonen, die im Fasciculus gracilis und cuneatus enthalten sind, werden absteigende Axonkollateralen zu tiefer gelegenen Segmenten gesandt. Diese Faserbahn organisiert sich im Zervikalmark zum Schultze-Komma (Fasciculus interfascicularis), im Thorakalmark zum ovalen Flechsig-Feld (Fasciculus septomarginalis) und im Sakralmark zur Philippe-Gombault-Triangel. Diese Bahnen sind an der sensomotorischen Integration auf Rückenmarksebene beteiligt und zählen deshalb zum Eigenapparat des Rückenmarks (s. S. 396, 400).

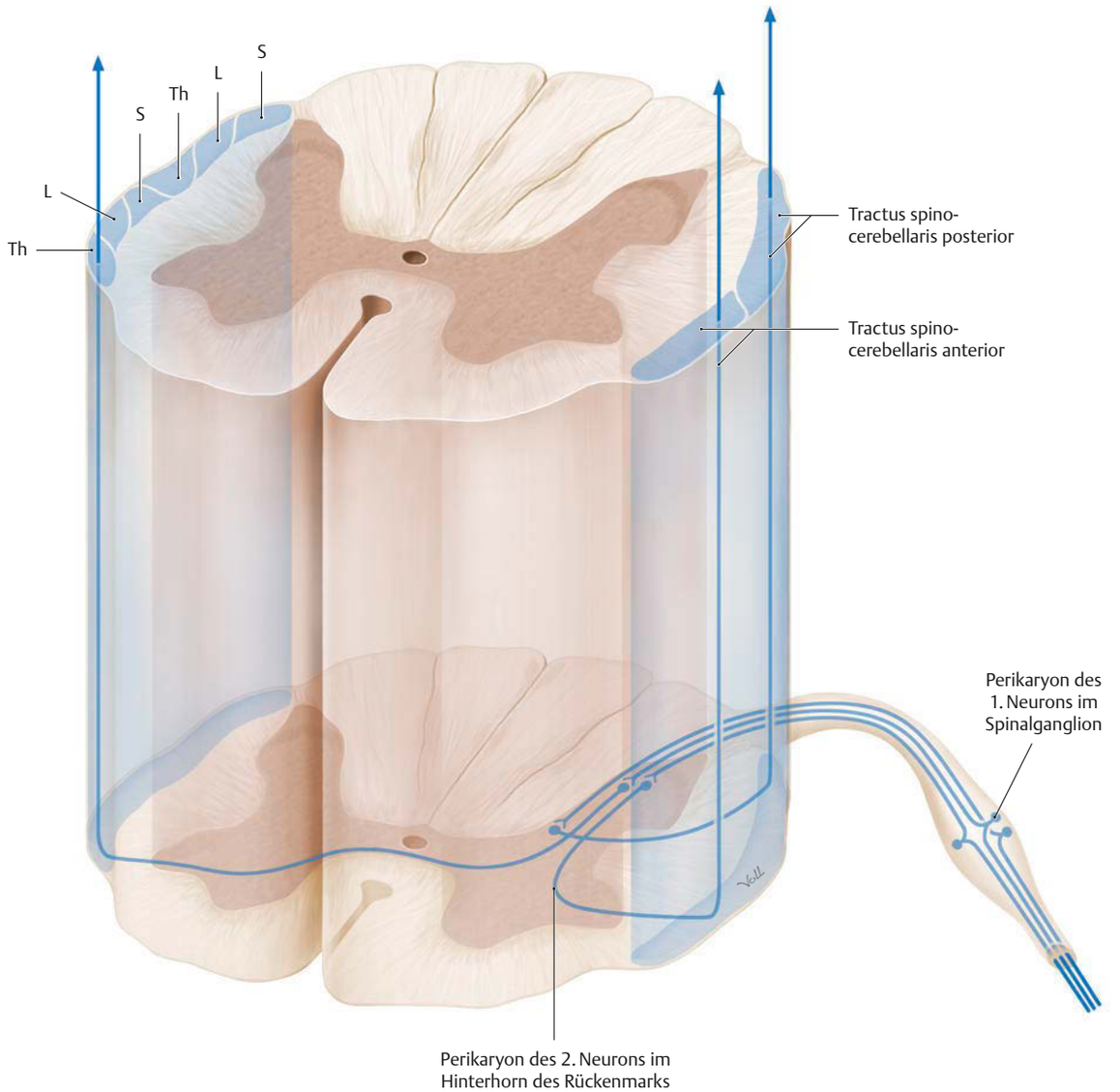


C Fasciculi gracilis und cuneatus und ihre zentralen Verbindungen

- Ebenso wie bei den Tractus spinothalamici (s. S. 402 f) enden auch bei den Hinterstrangbahnen die Axone des 3. Neurons im sensorischen Cortex des Großhirns, dem Gyrus postcentralis. Das heißt, die von diesen Bahnen weitergeleiteten Impulse werden ebenfalls *bewusst* wahrgenommen (= bewusste Propriozeption über Muskel- und Sehnenrezeptoren sowie Vibrationsempfinden über Vater-Pacini-Körperchen und feines Tastempfinden der Haut über Rezeptoren um die Haarkörbe u. a.).
- Wie bei den Tractus spinothalamici liegen die *Perikarya* der 1. Neurone in den Spinalganglien.
- Die *Axone der 1. Neurone* steigen ungekreuzt in den Hintersträngen zu den Hinterstrangkernen Nucleus cuneatus und Nucleus gracilis (2. Neuron) in der unteren Medulla oblongata auf.
- Erst die *Axone der 2. Neurone* – die im Hirnstamm als Lemniscus medialis bezeichnet werden – kreuzen dann über die Decussatio lemniscorum auf die Gegenseite und ziehen zum Thalamus *(3. Neuron)*.

Beachte: Bei einer Läsion der Fasciculi gracilis und cuneatus kommt es zu einer Minderung oder zu einem kompletten Ausfall der feinen Mechanorezeption und der bewussten Propriozeption. Die Ausfälle, die durch diese Läsion verursacht werden, sind immer auf der Körperseite lokalisiert, auf der der Zellkörper des 1. Neurons (also des peripheren Neurons im Spinalganglion) der Bahn liegt. Grund hierfür ist die oben beschriebene Kreuzung der Bahn *nach* dem 2. Neuron (das in der Medulla oblongata liegt, die 2. Neurone der anderen sensiblen Bahnen liegen im Rückenmark!): Ein Ausfall des 1. (peripheren) oder des 2. (zentralen) Neurons jeweils links führt genauso zu Symptomen auf der linken Körperseite wie ein Ausfall der kontralateral liegenden 3. und 4. (beide zentral) Neurone.

11.7 Aufsteigende Bahnen im Seitenstrang: Tractus spinocerebellares

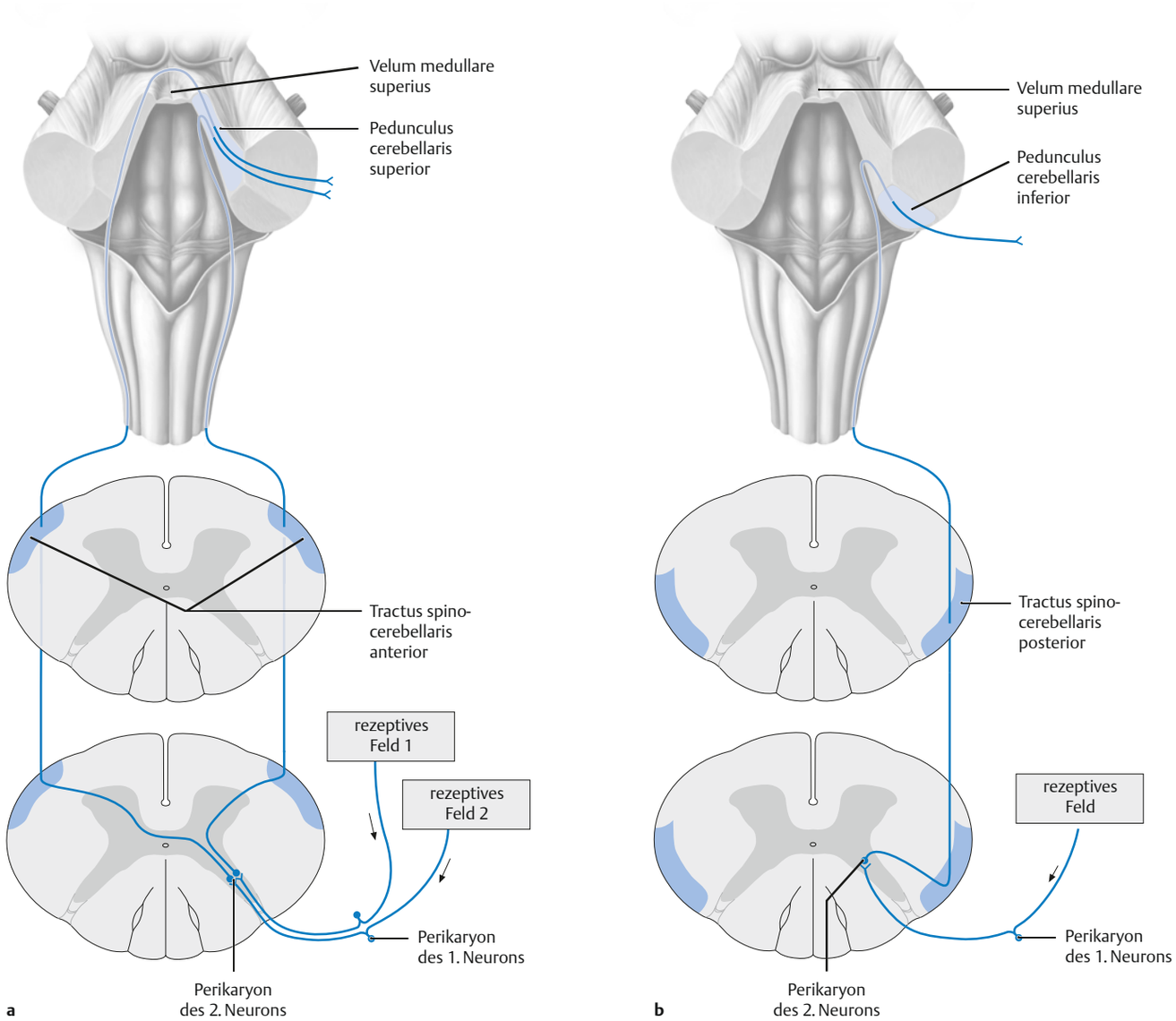


A Tractus spinocerebellares anterior und posterior (Kleinhirnseitenstrangbahnen)

Die Tractus spinocerebellares liegen im *Seitenstrang* des Rückenmarks und leiten im Unterschied zu den zuvor beschriebenen, aufsteigenden Bahnen des Rückenmarks ihre Informationen nicht zum Cortex des Großhirns, sondern zum *Kleinhirn* (= Cerebellum). Das heißt, die von ihnen weitergeleiteten Impulse werden *nicht bewusst* wahrgenommen. Ihre Afferenzen dienen der unbewussten Koordination der Motorik, wie z. B. beim Laufen oder Rad fahren (unbewusste Propriozeption). Beide Tractus weisen von ventral nach dorsal die gleiche Somatotopik auf (im Bild rechts im Uhrzeigersinn dargestellt):

- thorakal (Th),
- lumbal (L),
- sakral (S).

Fasern mit der gleichen Funktion aus den zervikalen Rückenmarkssegmenten ziehen über den Fasciculus cuneatus zum Nucleus cuneatus accessorius und von dort als Fibrae cuneocerebellares zum Kleinhirn. Aus diesem Grund besitzt der Tractus spinocerebellaris posterior keine Fasern für das Zervikalmark.



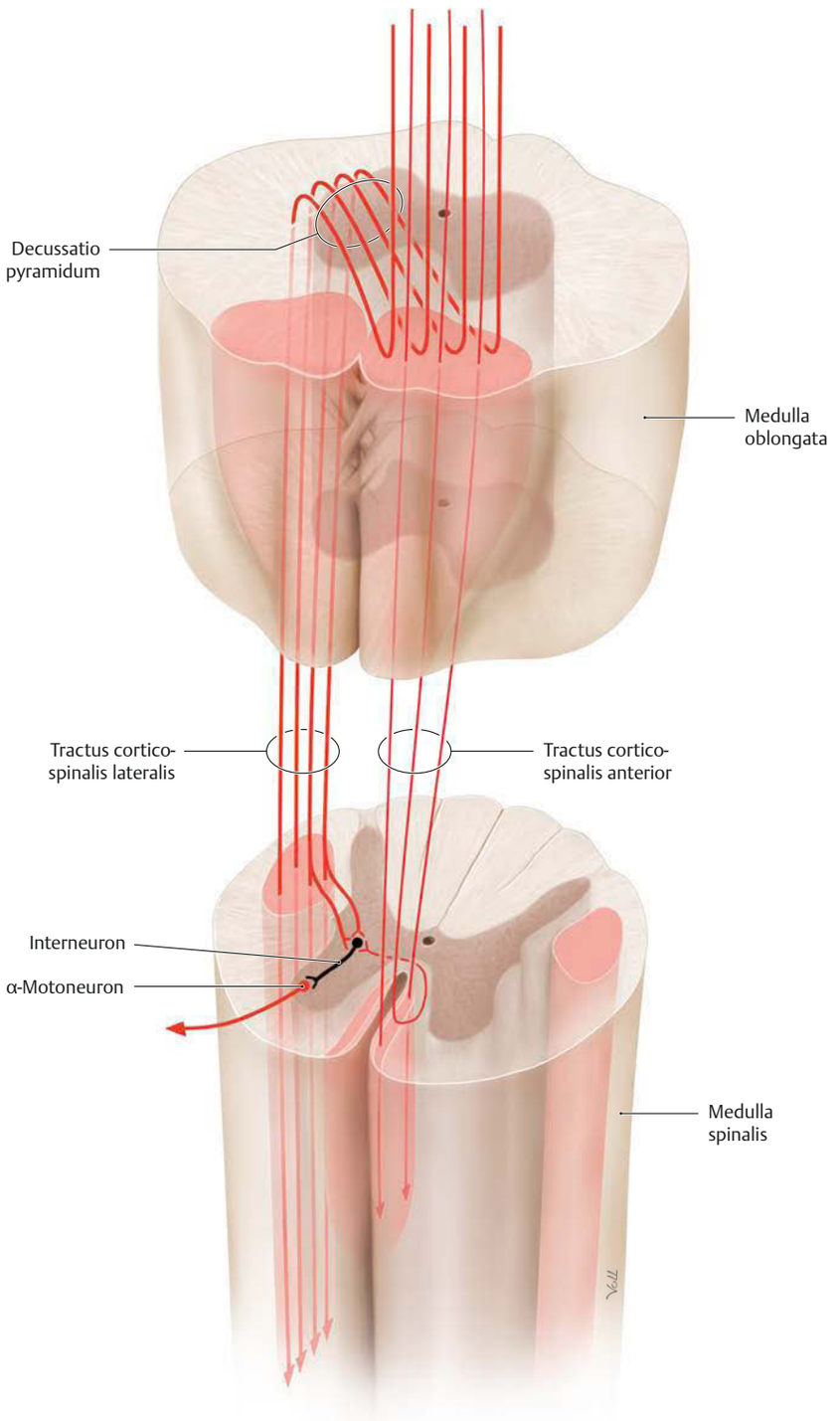
B Tractus spinocerebellares anterior und posterior und ihre zentralen Verbindungen

a Tractus spinocerebellaris anterior; **b** Tractus spinocerebellaris posterior.

- Im Unterschied zu den zuvor beschriebenen aufsteigenden Bahnen, enden beide Tractus spinocerebellares im Kleinhirn (keine bewusste Informationsverabeitung!) und zwar im Wurm, der hier wegen der Herkunft der afferenten Bahnen aus der Medulla spinalis funktionell als „*Spino*cerebellum“ bezeichnet wird. Sie erreichen das Cerebellum allerdings über unterschiedliche Kleinhirnstiele:
  - der Tractus spinocerebellaris anterior über den Pedunculus cerebellaris *superior* (= oberer Kleinhirnstiel),
  - der Tractus spinocerebellaris posterior über den Pedunculus cerebellaris *inferior* (= unterer Kleinhirnstiel).
- Wie bei allen anderen aufsteigenden Bahnen liegen die Perikarya der 1. Neurone für beide Bahnen in den Spinalganglien. Ihre Axone sind sog. IA-Fasern, also schnellleitende, myelinisierte Fasern. Sie leiten die Informationen aus Muskelspindeln und Sehnenrezeptoren zum 2. Neuron, das für beide Bahnen in der *Hintersäule des Rückenmarks* liegt, dort allerdings an unterschiedlichen Stellen:
  - das 2. Neuron des Tractus spinocerebellaris *anterior* liegt in der Mitte der Hintersäule,
  - das 2. Neuron des Tractus spinocerebellaris *posterior* im Nucleus thoracicus, der sich von C8–L2 erstreckt.

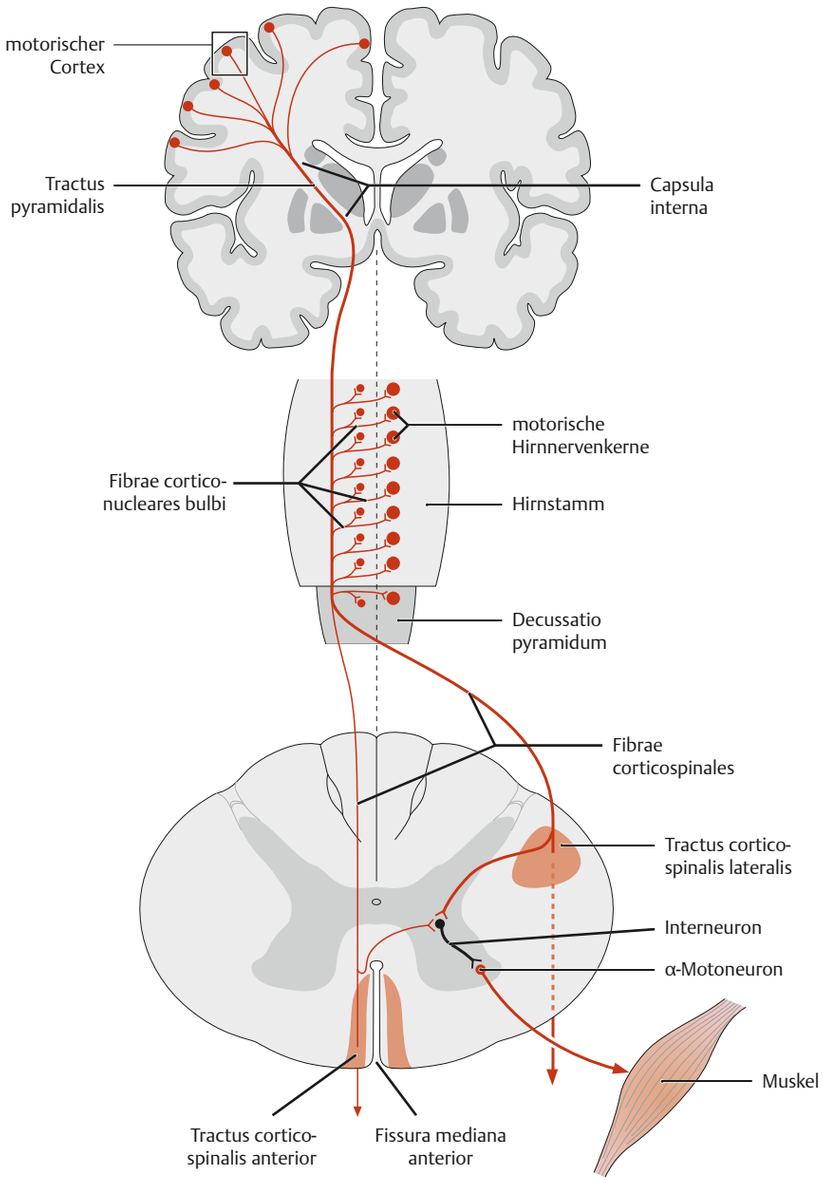
Die Axone des Tractus spinocerebellaris *posterior* ziehen *ausschließlich* ipsilateral zum Cerebellum; die Axone des Tractus spinocerebellaris *anterior* dagegen nur teilweise ipsilateral. Ein Teil der Fasern kreuzt im Rückenmark und läuft kontralateral hinauf zum Hirnstamm. Diese kontralateralen Fasern kreuzen dann über das Velum medullare superius zurück auf ihre „ursprüngliche“ Seite und erreichen somit dieselbe Kleinhirnseite wie die ungekreuzten Fasern.

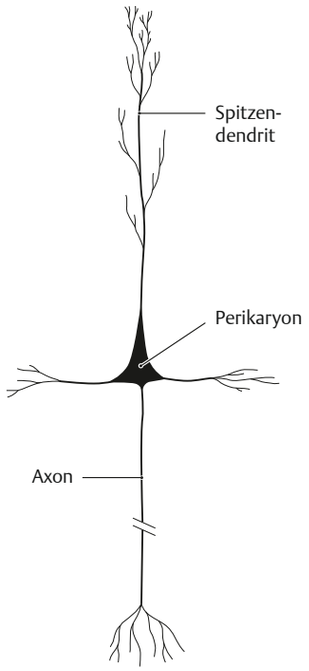
11.8 Absteigende Bahnen: Tractus corticospinales anterior und lateralis



A Verlauf von Tractus corticospinalis anterior und lateralis (= Pyramidenbahn) in der unteren Medulla oblongata und im Rückenmark

Die Pyramidenbahn (Tractus pyramidalis) ist die wichtigste Bahn für die Willkürmotorik. Sie beginnt im motorischen Cortex. Ein Teil ihrer Axone, die Fibrae corticonucleares bulbi, endet an den Hirnnervenkernen, ein weiterer Teil, die Fibrae corticospinales, an den motorischen Vorderhornzellen des Rückenmarks (Näheres s. **B**). Ein dritter Teil, die Fibrae corticoreticulares, ziehen zu Kernen der Formatio reticularis.





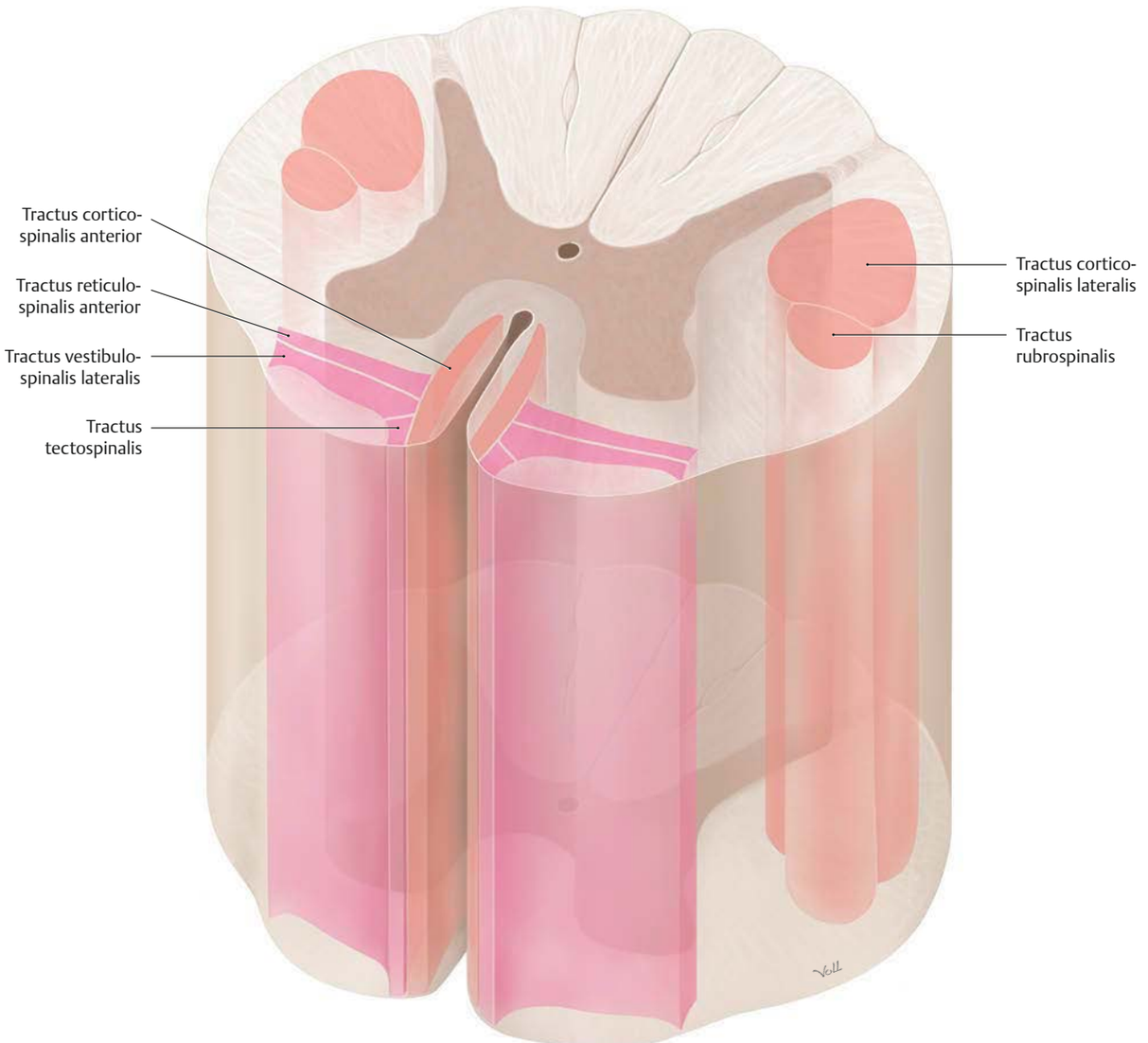
C Pyramidenzelle, Golgi-Bild
Durch diese Färbung werden die Neurone wie in einem Schattenriss dargestellt. Die Axone der Pyramidenzellen bilden die Pyramidenbahn. Sie liegen zu etwa 40 % im Bereich des motorischen Cortex (Area 4 nach Brodmann, s. S. 328).

B Verlauf der Pyramidenbahn (Tractus pyramidalis)

- Der Tractus pyramidalis beginnt im motorischen Cortex. Seine Ursprungszellen sind die Pyramidenzellen, große efferente Neurone mit pyramidenförmigen Perikarya (s. **C**). Es werden drei Anteile unterschieden: Fibrae corticonucleares bulbi für die Hirnnervenkerne, Fibrae corticospinales für das Rückenmark und Fibrae corticoreticulares zur Formatio reticularis. Alle drei Anteile ziehen durch die Capsula interna aus dem Telencephalon weiter in den Hirnstamm bzw. das Rückenmark.
- Im Hirnstamm ziehen die Fibrae cortico*nucleares* bulbi zu den motorischen Hirnnervenkernen.
- Die Fibrae cortico*spinales* ziehen weiter, um in der Pyramidenbahnkreuzung (Decussatio pyramidum), die in der unteren Medulla oblongata liegt, zu etwa 80 % zur Gegenseite zu kreuzen. Die Fasern ziehen weiter ins Rückenmark und bilden dort den *Tractus corticospinalis lateralis*, der somatotopisch organisiert ist: Die Fasern für das Sakralmark liegen am weitesten lateral, die für das Zervikalmark am weitesten medial.
- Die restlichen 20 % der Fasern ziehen ungekreuzt nach kaudal weiter; sie bilden den *Tractus corticospinalis anterior,* der im Rückenmarksquerschnitt der Fissura mediana anterior anliegt. Um an den gleichen Motoneuronen wie die schon vorher gekreuzten Fasern des Tractus corticospinalis lateralis enden zu können, kreuzen die meisten – aber nicht alle – seiner Fasern dann auf Segmentebene zu den Motoneuronen. Der Tractus corticospinalis anterior ist besonders im Zervikalmark ausgebildet, er endet im mittleren Thorakalmark.
- Die Axone der Pyramidenzellen enden über Schaltzellen an α- und γ-Motoneuronen, an Renshaw-Zellen und an hemmenden Interneuronen (nicht dargestellt).

Im Bereich der Capsula interna lagern sich weitere motorische Bahnen eng an die Pyramidenbahn an, sie werden in der nächsten Lerneinheit besprochen. Zur Läsion der Pyramidenbahn s. S. 461. Während die Pyramidenbahn die *bewusste* Bewegung steuert (Willkürmotorik), sind diese *supplementär motorischen Bahnen* besonders für unbewusst ablaufende motorische Prozesse erforderlich (z. B. Stehen, Gehen, Laufen), s. S. 460.

11.9 Absteigende Bahnen: extrapyramidale und vegetative Bahnen

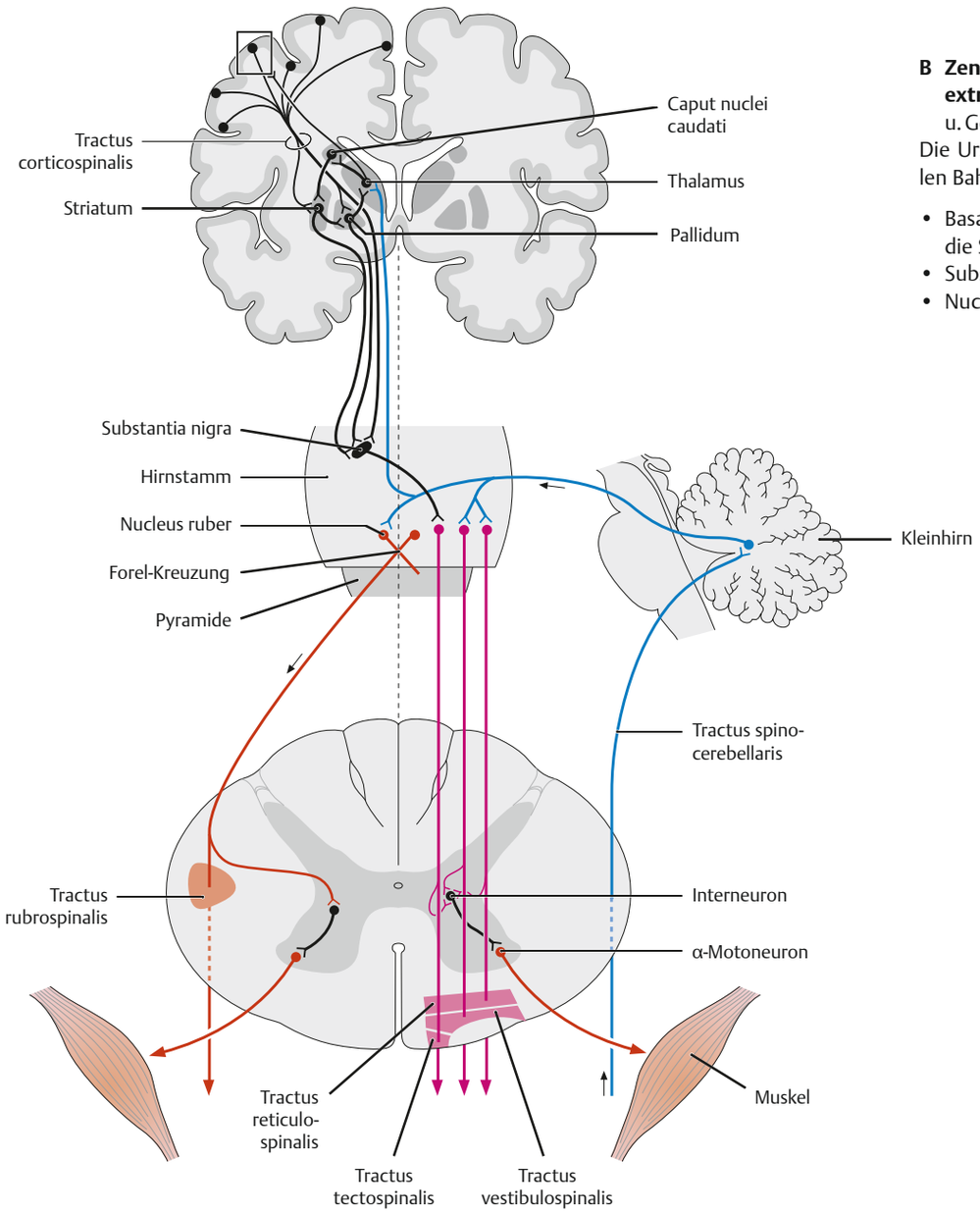


A Verlauf von Bahnen des extrapyramidal motorischen Systems im Rückenmark

Im Unterschied zur Pyramidenbahn, welche die *bewusste* Bewegung steuert (Willkürmotorik; Tasse zum Mund führen), ist das extrapyramidal motorische System (Kleinhirn, Basalkerne sowie motorische Kerngebiete des Hirnstamms) für *automatisierte* und *erlernte* motorische Prozesse erforderlich (z. B. Gehen, Laufen, Rad fahren). Die Unterscheidung in pyramidales und extrapyramidales System hat sich in der Klinik bewährt. Eine neuere alternative Klassifikation unterscheidet bei den absteigenden Bahnen ein laterales und ein mediales System. Zum *lateralen System* zählt demnach neben dem Tractus corticospinalis lateralis (s. S. 408), der *extrapyramidale* Tractus rubrospinalis, zum *medialen System* der Tractus corticospinalis anterior sowie die extrapyramidalen:

- Tractus reticulospinalis anterior,
- Tractus vestibulospinalis lateralis und
- Tractus tectospinalis.

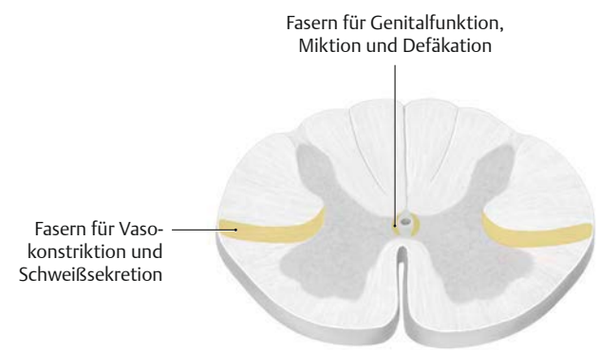
Das *laterale System* projiziert überwiegend zur distalen Muskulatur, insbesondere der oberen Extremität und beeinflusst damit wesentlich die differenzierte Feinmotorik von Hand und Arm. Das *mediale System* projiziert v. a. zu den Neuronen der Rumpf- und Beinmuskulatur und beeinflusst damit im Wesentlichen die Rumpf- und Standmotorik. Zur zentralen Verbindung dieses Systems s. **B**. Da Pyramidenbahn und extrapyramidale Bahnen eng miteinander verzahnt sind und anatomisch nebeneinander verlaufen, sind bei Schädigungen in der Regel beide Bahnsysteme gleichzeitig betroffen (s. S. 394), so dass isolierte Läsionen des einen oder anderen Systems auf Ebene des Rückenmarks praktisch nicht vorkommen.



B Zentraler Ursprung und Verlauf der extrapyramidalen Bahnen (nach Delank u. Gehlen)

Die Ursprungskerngebiete der extrapyramidalen Bahnen sind:

- Basalkerne mit Striatum und Pallidum, die die Substantia nigra beeinflussen,
- Substantia nigra und
- Nucleus ruber.

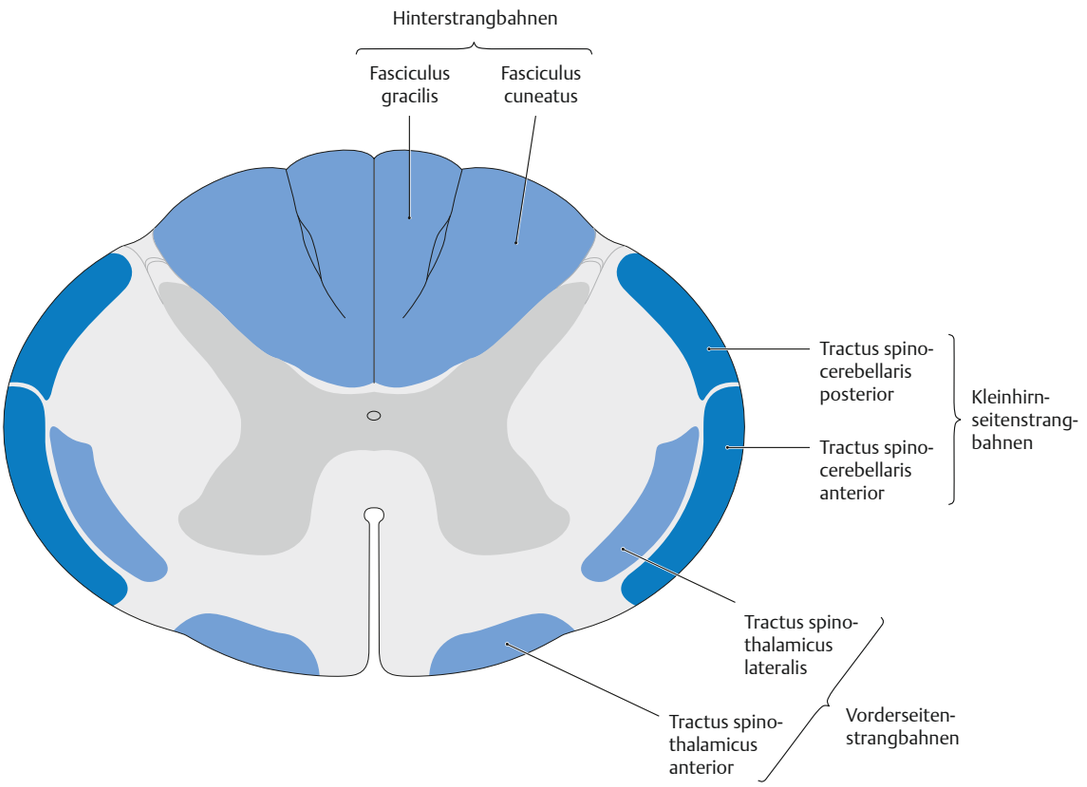


C Vegetative Bahnen des Rückenmarks

Vegetative Bahnen verlaufen eher diffus im Rückenmark und bilden bis auf zwei Bahnen selten geschlossenen Bahnsysteme.

1. Die absteigende zentrale sympathische Bahn für Vasokonstriktion und die Schweißsekretion legt sich ventral an die Pyramidenbahn an und zeigt die gleiche Somatotopik wie diese.
2. Der beiderseits des Zentralkanals verlaufende Tractus parependymalis mit ab- und aufsteigenden Fasern zieht vom Rückenmark bis zum Hypothalamus. Er ist bei Miktion, Defäkation und Genitalfunktionen beteiligt.

11.10 Synopsis der auf- und absteigenden Bahnsysteme im Rückenmark



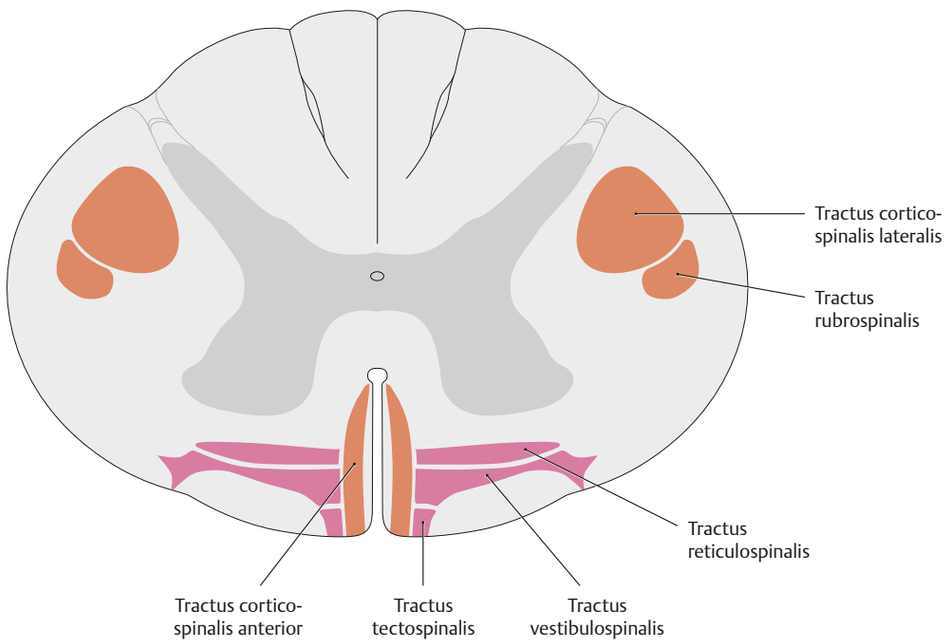
A Aufsteigende Bahnen im Rückenmark
Querschnitt durch das Rückenmark. Aufsteigende Bahnen sind afferente (= sensible) Bahnen, in denen Informationen von Rumpf und Extremitäten in das Gehirn gelangen. Die wichtigsten aufsteigenden Bahnen und ihre Funktion sind:

Vorderseitenstrangbahnen
- Tractus spinothalamicus anterior (grobe Tast- und Berührungsempfindungen)
- Tractus spinothalamicus lateralis (Schmerz- und Temperaturempfindungen)

Hinterstrangbahnen
- Fasciculus gracilis (feine Tast- und Berührungsinformationen, bewusste Propriozeption der *unteren* Extremität)
- Fasciculus cuneatus, wie Fasciculus gracilis, nur für die *obere* Extremität

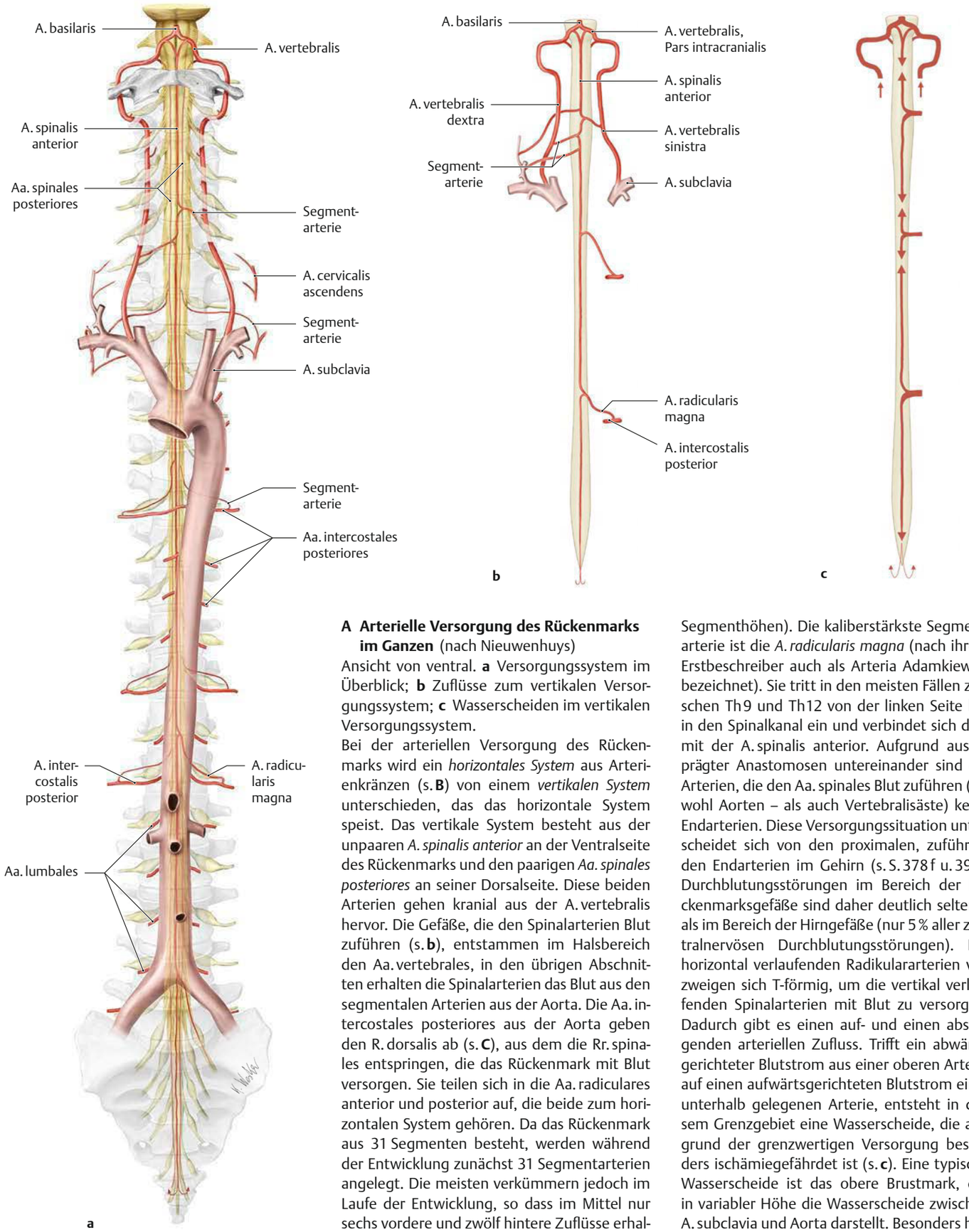
Kleinhirnseitenstrangbahnen
- Tractus spinocerebellaris anterior (unbewusste Propriozeption zum Kleinhirn)
- Tractus spinocerebellaris posterior (unbewusste Propriozeption zum Kleinhirn)

Die Propriozeption dient der räumlichen Wahrnehmung der Lage der Extremitäten („Lagesinn"). So wissen wir auch bei geschlossenen Augen, ob sich unser Arm vor oder hinter dem Thorax befindet. Die Informationen zur Propriozeption sind komplex: Man unterscheidet Stellungssinn (Stellung der Gelenke zueinander), Bewegungssinn (Geschwindigkeit und Richtung von Gelenkbewegungen) und Kraftsinn (Information über die Muskelkraft, welche die Gelenkbewegungen hervorruft). Weiterhin unterscheidet man bewusste (ich weiß, dass ich die Faust in der Hosentasche balle, ohne sie zu sehen) und unbewusste Propriozeption, die es mir ermöglicht, ohne nachzudenken Fahrrad zu fahren und Treppen zu steigen. Eine umfassende, tabellarische Synopsis aller aufsteigenden Bahnen zeigt die Tabelle auf S. 445.



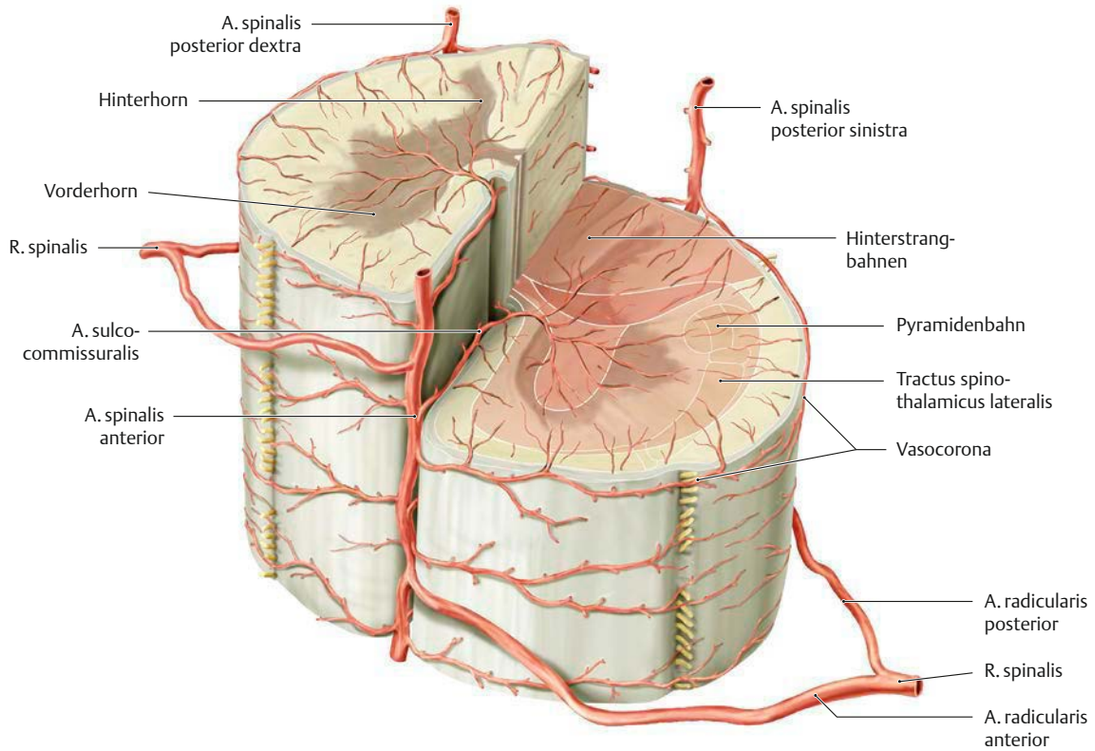
B Absteigende Bahnen im Rückenmark
Querschnitt durch das Rückenmark. Die absteigenden Bahnen des Rückenmarks dienen der Motorik. Sie leiten Informationen von höher gelegenen motorischen Zentren zu den Motoneuronen im Rückenmark. Legt man eine neuere Klassifikation zugrunde, die in der Klinik noch nicht vollständig akzeptiert ist, unterscheidet man dabei ein laterales und ein mediales motorisches System. Das **laterale motorische System** besteht hauptsächlich aus dem lateralen Teil der Pyramidenbahn (= Tractus corticospinalis lateralis) und dem Tractus rubrospinalis und ist besonders für die präzise und hochdifferenzierte Feinmotorik in den Händen zuständig.
Das **mediale motorische System** besteht im Wesentlichen aus Tractus reticulospinalis, Tractus tectospinalis und Tractus vestibulospinalis und innerviert hauptsächlich die medial liegenden Motoneurone für die Rumpf- und Standmotorik. Das motorische System ist bis auf die Pyramidenbahn, die vereinfacht als monosynaptisch angesehen wird, nicht so klar und eindeutig zu gliedern, da in der Programmierung des Bewegungsablaufes mehrere Rückkoppelungen auftreten (sog. motorische Schleifen, s. S. 459). Eine vereinfachte Tabelle der Bahnen erscheint daher nicht sinnvoll. Die Bahnen sind zwar auf Rückenmarksebene relativ gut voneinander abzugrenzen, ihre Efferenzen jedoch auf den höheren, kortikalen Ebenen so miteinander vermischt, dass isolierte motorische Störungen (im Unterschied zum sensorischen System) auf der Ebene des Rückenmarks praktisch nicht vorkommen.

11.11 Arterielle Versorgung



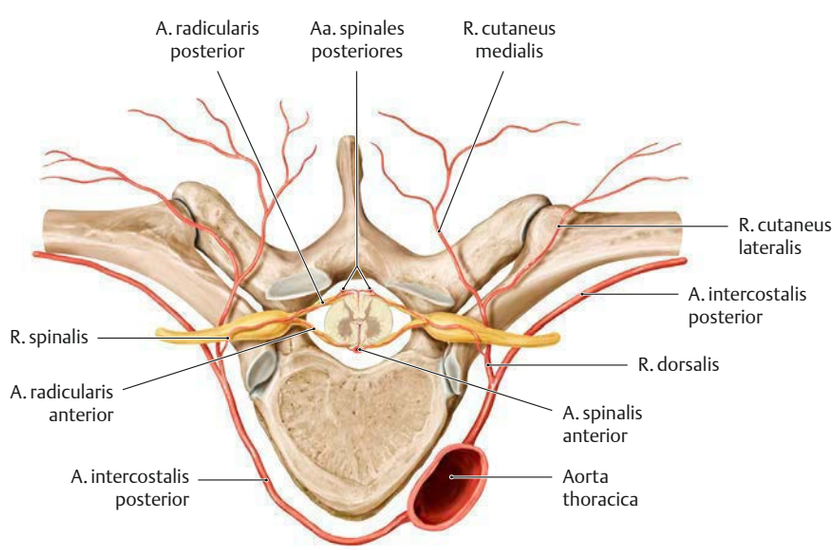
A Arterielle Versorgung des Rückenmarks im Ganzen (nach Nieuwenhuys)
Ansicht von ventral. **a** Versorgungssystem im Überblick; **b** Zuflüsse zum vertikalen Versorgungssystem; **c** Wasserscheiden im vertikalen Versorgungssystem.

Bei der arteriellen Versorgung des Rückenmarks wird ein *horizontales System* aus Arterienkränzen (s. **B**) von einem *vertikalen System* unterschieden, das das horizontale System speist. Das vertikale System besteht aus der unpaaren *A. spinalis anterior* an der Ventralseite des Rückenmarks und den paarigen *Aa. spinales posteriores* an seiner Dorsalseite. Diese beiden Arterien gehen kranial aus der A. vertebralis hervor. Die Gefäße, die den Spinalarterien Blut zuführen (s. **b**), entstammen im Halsbereich den Aa. vertebrales, in den übrigen Abschnitten erhalten die Spinalarterien das Blut aus den segmentalen Arterien aus der Aorta. Die Aa. intercostales posteriores aus der Aorta geben den R. dorsalis ab (s. **C**), aus dem die Rr. spinales entspringen, die das Rückenmark mit Blut versorgen. Sie teilen sich in die Aa. radiculares anterior und posterior auf, die beide zum horizontalen System gehören. Da das Rückenmark aus 31 Segmenten besteht, werden während der Entwicklung zunächst 31 Segmentarterien angelegt. Die meisten verkümmern jedoch im Laufe der Entwicklung, so dass im Mittel nur sechs vordere und zwölf hintere Zuflüsse erhalten bleiben (auf individuell unterschiedlichen Segmenthöhen). Die kaliberstärkste Segmentarterie ist die *A. radicularis magna* (nach ihrem Erstbeschreiber auch als Arteria Adamkiewicz bezeichnet). Sie tritt in den meisten Fällen zwischen Th9 und Th12 von der linken Seite her in den Spinalkanal ein und verbindet sich dort mit der A. spinalis anterior. Aufgrund ausgeprägter Anastomosen untereinander sind die Arterien, die den Aa. spinales Blut zuführen (sowohl Aorten – als auch Vertebralisäste) keine Endarterien. Diese Versorgungssituation unterscheidet sich von den proximalen, zuführenden Endarterien im Gehirn (s. S. 378 f u. 393). Durchblutungsstörungen im Bereich der Rückenmarksgefäße sind daher deutlich seltener als im Bereich der Hirngefäße (nur 5 % aller zentralnervösen Durchblutungsstörungen). Die horizontal verlaufenden Radikulararterien verzweigen sich T-förmig, um die vertikal verlaufenden Spinalarterien mit Blut zu versorgen. Dadurch gibt es einen auf- und einen absteigenden arteriellen Zufluss. Trifft ein abwärtsgerichteter Blutstrom aus einer oberen Arterie auf einen aufwärtsgerichteten Blutstrom einer unterhalb gelegenen Arterie, entsteht in diesem Grenzgebiet eine Wasserscheide, die aufgrund der grenzwertigen Versorgung besonders ischämiegefährdet ist (s. **c**). Eine typische Wasserscheide ist das obere Brustmark, das in variabler Höhe die Wasserscheide zwischen A. subclavia und Aorta darstellt. Besonders hier sind Infarkte gehäuft lokalisiert.



B Blutversorgung der Rückenmarksegmente

Vorderhörner und Vorderseitenstränge, also der größte Teil eines Rückenmarksegments, werden durch die unpaare A. spinalis anterior versorgt, Hinterhörner und Hinterstränge durch die paarigen Aa. spinales posteriores. Alle drei Gefäße werden von Radikulararterien gespeist. Zwischen der A. spinalis anterior und den beiden Aa. spinales posteriores besteht ein gürtelförmiger Gefäßkranz, der als *Vasacorona* bezeichnet wird. Aus der Vasocorona von außen in das Rückenmark eintretende kleine Arterien versorgen die Tractus spinothalamici und Teile der Pyramidenbahn. Die *Sulkokommissuralarterien* ziehen an der Fissura mediana anterior in das Rückenmark hinein und versorgen jeweils eine Hälfte des Rückenmarkes; sie sind die einzigen Endarterien im Rückenmark. Aufgrund der vielfältigen Anastomosen (s. **Ab**) bleiben proximale Verschlüsse selbst der versorgenden Segmentarterien in der Regel ohne klinische Symptome. Entsprechend ihrem Versorgungsgebiet (s. o.) werden bei Verschluss der A. spinalis anterior auf einer Segmenthöhe Vorderhörner und Vorderwurzeln geschädigt: Die Folge sind schlaffe Paresen der von den Segmenten versorgten Muskeln. Wenn auch die im Seitenstrang liegende Pyramidenbahn mitbetroffen ist, resultiert eine spastische Parese unterhalb der Läsion. Bei Verschluss der A. spinalis posterior auf Höhe eines oder mehrerer Segmente sind die Hinterhörner und die Hinterstränge betroffen: Die Folge sind Störungen der Tiefensensibilität, der Vibration, und des Druckempfindens. Die Pyramidenbahn kann mit betroffen sein, dies äußert sich in Form spastischer Paresen distal der Durchblutungsstörung.



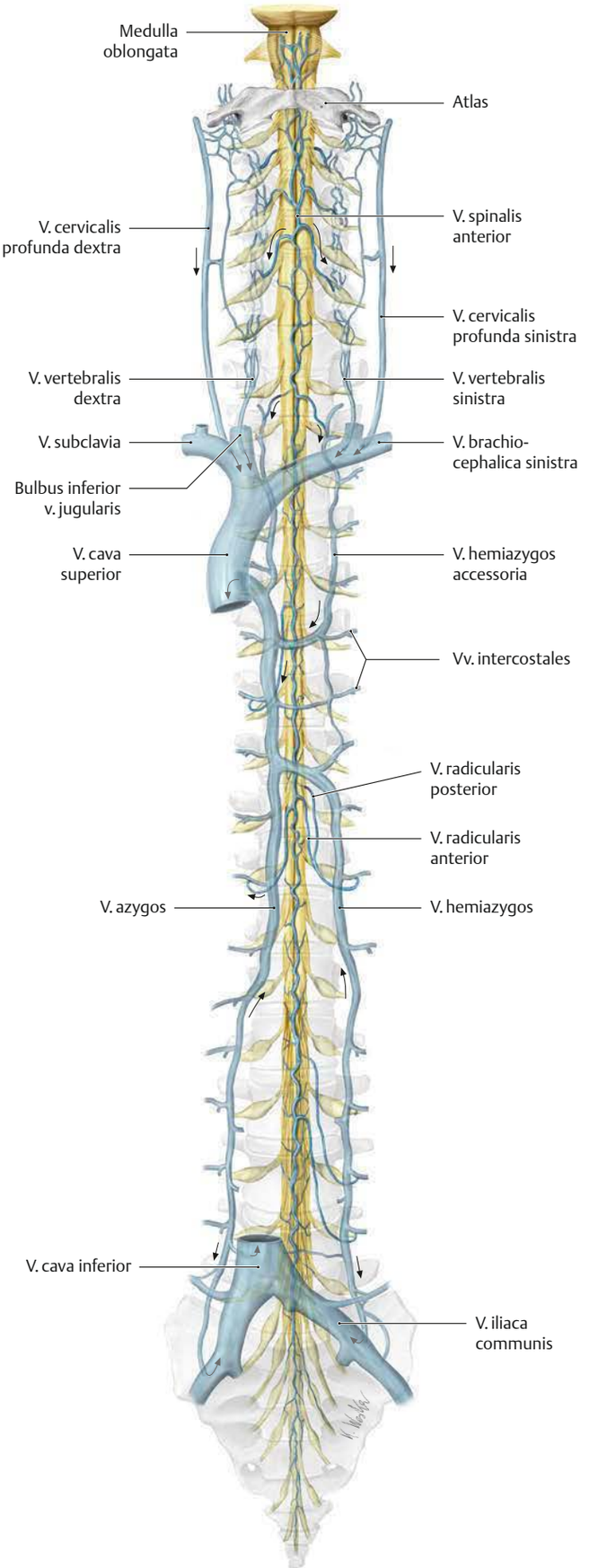
C Zuführende Blutgefäße zum Rückenmark

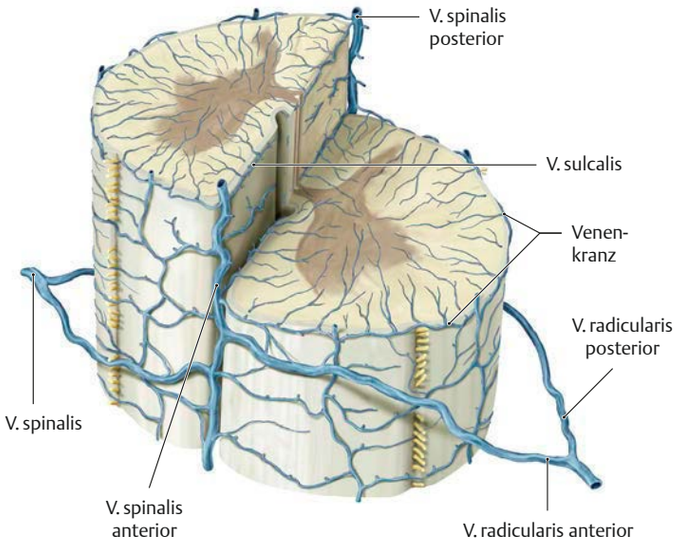
Brustwirbel in der Ansicht von kranial. Aus den Rr. dorsales der Segmentarterien entspringen die Rr. spinales. Diese zweigen sich in eine A. radicularis anterior und posterior auf. Diese verbinden sich mit dem Gefäßkranz um das Rückenmark. Bei einigen Segmenten ist dabei die Verbindung zu der A. spinalis anterior stärker ausgeprägt, bei anderen hingegen die Verbindung zu den Aa. spinales posteriores.

11.12 Venöse Drainage

A Venöse Drainage des Rückenmarks
(nach Nieuwenhuys)

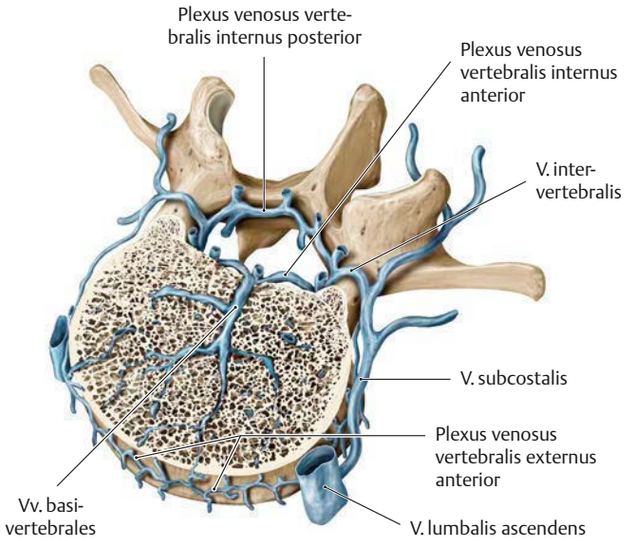
Ansicht von ventral. Analog zur arteriellen Versorgung gibt es auch bei der venösen Drainage ein horizontales (Venenkränze s. **B**) und ein vertikales System, in das diese Venenkränze drainieren. Dieses vertikale System ist hier dargestellt. Im Unterschied zur arteriellen Versorgung aus drei Gefäßen erfolgt die venöse Ableitung aus dem Inneren des Rückenmarks über Venenplexus in nur zwei Gefäße, eine *V. spinalis anterior* und eine *V. spinalis posterior* (s. **B**). Die V. spinalis anterior nimmt in ihrem kranialen Abschnitt Verbindungen zu Venen des Hirnstammes auf, kaudal endet sie im Filum terminale, einem Gliafaden, der vom Conus medullaris bis zum sakralen Ende des Duraschlauches zieht, wo er sich anheftet. Die stärkere V. spinalis posterior verbindet sich im Halsbereich mit den Wurzelvenen (Vv. radiculares) und endet am Conus terminalis. Die Wurzelvenen verbinden dieses, noch innerhalb der Pia mater liegende Venengeflecht mit dem Plexus venosus vertebralis internus (s. **C**). Im Bereich des Halsmarks wird das Blut in die V. vertebralis drainiert, die in die V. cava superior mündet; im Bereich des Thorakalmarks in die Interkostalvenen, die über das Azygos- bzw. Hemiazygossystem in die V. cava superior drainieren. Das Vorkommen der Wurzelvenen ist auf typische, hier dargestellte Segmente beschränkt, die interindividuell variieren.





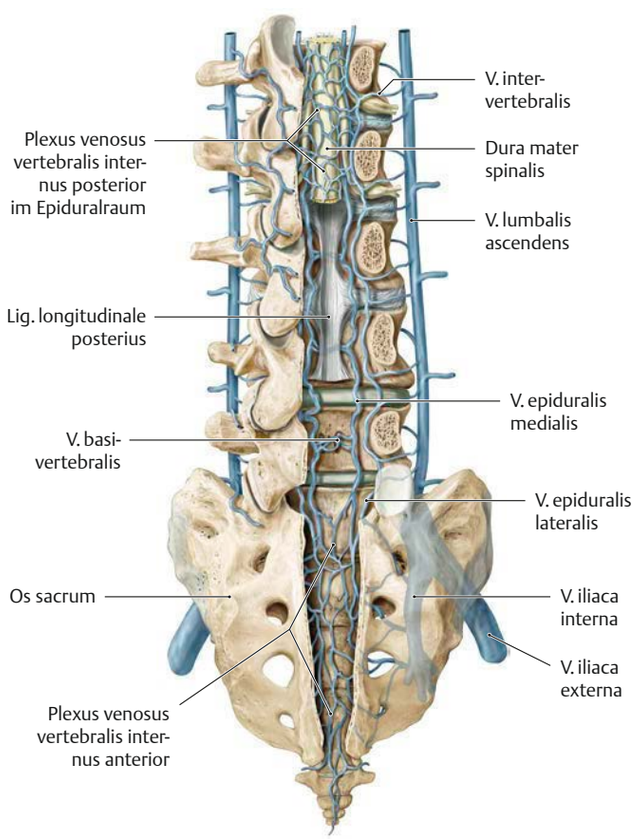
B Venöse Drainage eines Rückenmarksegments

Ansicht von ventral, kranial und links. Die venöse Drainage eines Rückenmarksegments erfolgt über die Vv. spinales anterior und posterior. Sie liegen innerhalb der Pia mater und sind durch einen Venenkranz miteinander verbunden. Beide Venen leiten das Blut über Vv. radiculares an den inneren Wirbelvenenplexus (Plexus venosus vertebralis internus, s. **C**) weiter. Im Unterschied zu den Vv. radiculares haben die Venen *innerhalb* des Rückenmarks keine Klappen, so dass das Rückenmark bei venösem Rückstau besonders durch den sich aufbauenden Druck gefährdet ist. Zu einer solchen Druckerhöhung im Rückenmark (intramedulläre Druckerhöhung) kann es typischerweise infolge einer arteriovenösen Fistel, einer offenen Verbindung zwischen einer Arterie und einer Vene im Rückenmark kommen. Da der Druck in den Arterien höher ist als in den Venen, wird das arterielle Blut in die Venen des Rückenmarks gepresst. Solange die Drainagekapazität der inneren Venen des Rückenmarks ausreicht, bleibt die Fistel symptomlos. Wird diese Drainagekapazität bei einer weiteren Ausdehnung der Fistel überschritten, reagiert das Rückenmark sehr empfindlich auf die nicht mehr zu kompensierende Drucksteigerung. Es kommt dann zu Gangstörungen, spastischen Paresen oder auch Sensibilitätsstörungen. Unbehandelt führt eine solche Fistel fortschreitend zur Querschnittlähmung. Therapie der Wahl ist daher die operative Beseitigung der Fistel.



C Wirbelvenenplexus

Querschnitt, Ansicht von schräg oben links. Die Venen des Rückenmarks und seiner Hüllen haben über die Vv. radiculares und spinales Anschluss an den Plexus venosus vertebralis internus. Er liegt im Fettgewebe des Epiduralraums und umschließt den Wirbelkanal von innen. Durch die V. intervertebralis und die V. basivertebralis ist der innere Venenplexus an den äußeren Venenplexus (Plexus venosus vertebralis externus) angeschlossen. Zwischen dem Abflussgebiet der vorderen und hinteren Venen gibt es Anastomosen. Insbesondere die im inneren des Rückenmarks verlaufenden Schräganastomosen, die sich zum Teil über mehrere Segmente erstrecken können (nicht dargestellt), dienen der Konstanthaltung des intramedullären venösen Drucks.



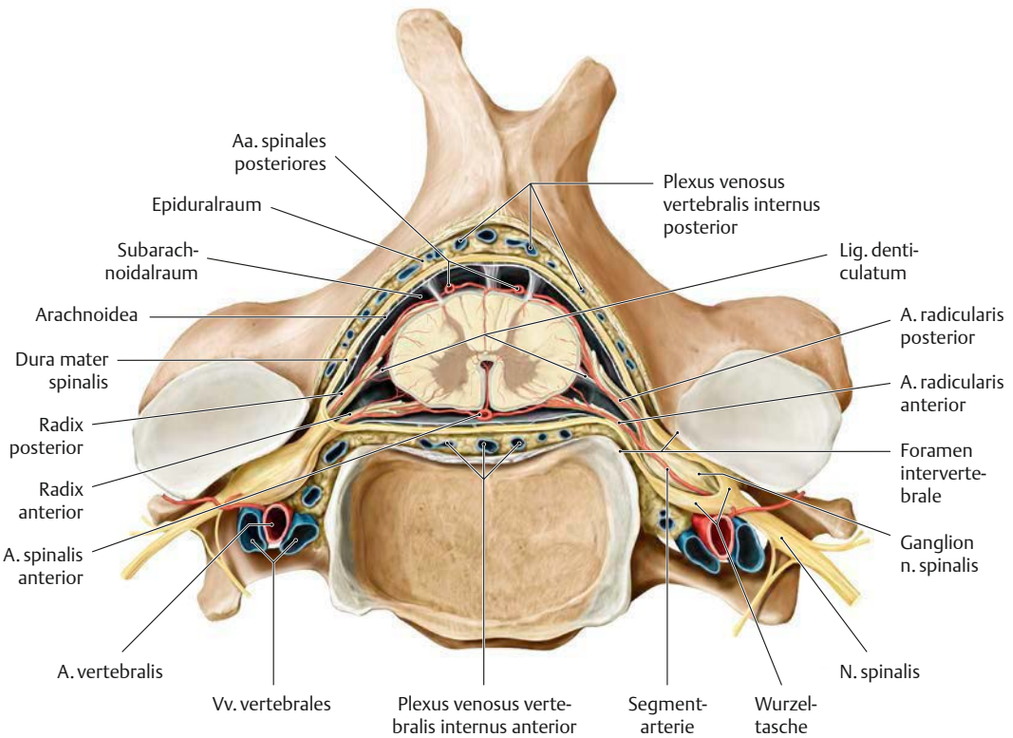
D Epidurale Venen im sakralen und lumbalen Wirbelkanal
(nach Nieuwenhuys)

Ansicht von dorsal (Wirbelkanal gefenstert). Die inneren Venen des Rückenmarks sind bis zum Durchtritt durch die Dura mater spinalis klappenlos. Dieser interne Venenplexus (= Plexus venosus vertebralis internus) ist mit (hier nicht dargestellten) weiteren klappenlosen Venen mit dem Plexus venosus der Prostata verbunden. Brechen Tumorzellen eines Prostatakarzinoms in den prostatischen Venenplexus ein, können sie relativ leicht entlang dieser Venen zum sakralen Venenplexus gelangen und das umliegende Gewebe zerstören. Deshalb kommt es beim Prostatakarzinom häufig zur Infiltration dieser Region mit Destruktion der umgebenden Knochen (starke Schmerzen!).

11.13 Topografie

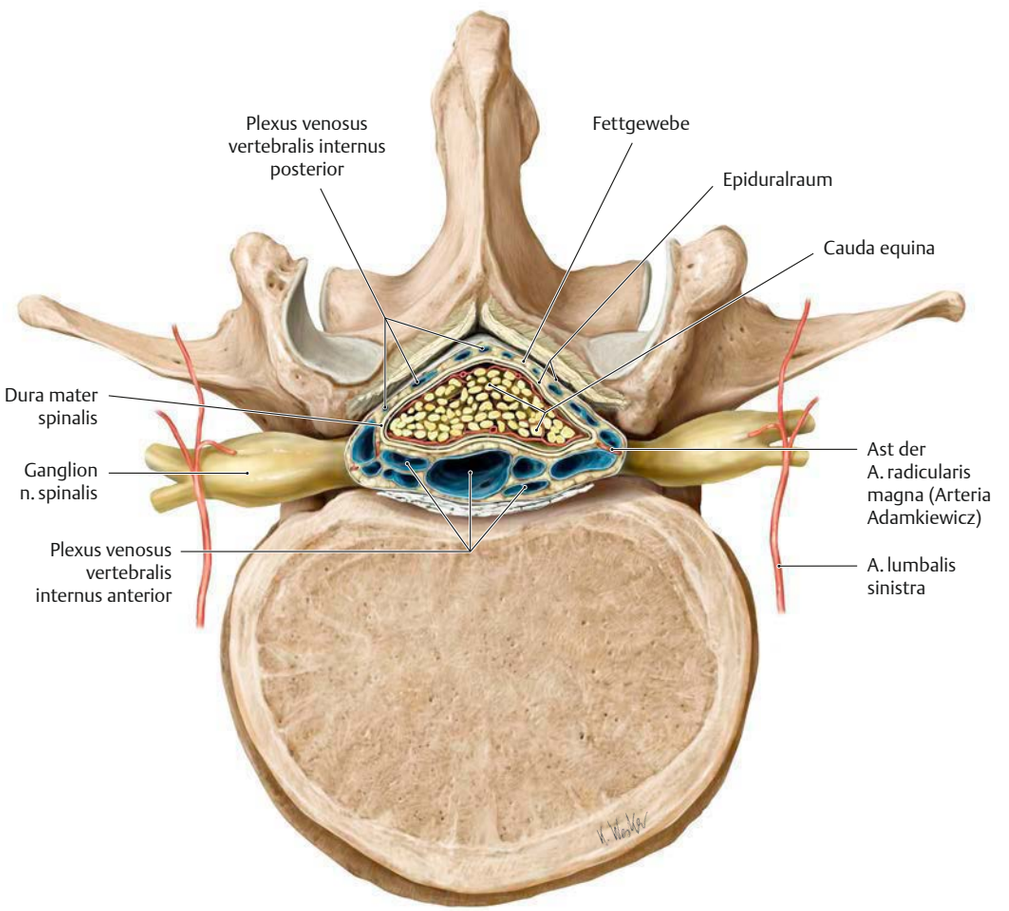
A Rückenmark und Spinalnerv im Wirbelkanal in Höhe des 4. Halswirbels

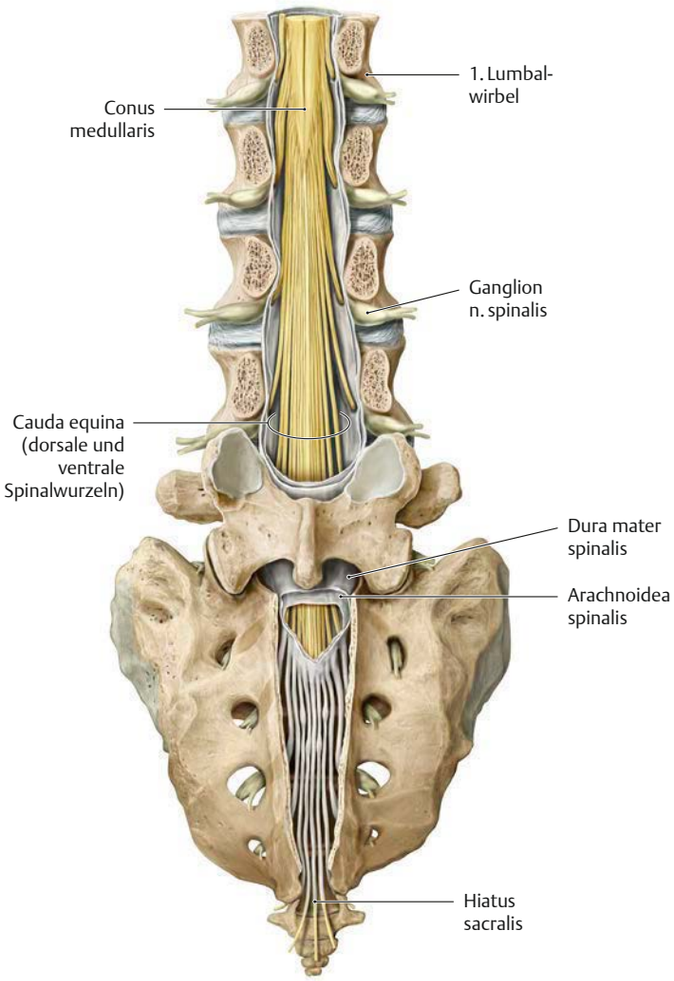
Querschnitt, Ansicht von kranial. Das Rückenmark liegt im Zentrum des Foramen vertebrale und ist von den Hirnhäuten umgeben. Nach außen schließt sich an die Dura mater spinalis der Epiduralraum an, der kranial mit der Verwachsung der Dura mit dem Periost des Schädels am Foramen magnum endet (s. S. 311). Venengeflechte, Fett- und Bindegewebe füllen diesen Raum aus. Das Spinalganglion liegt in einer Aussackung der Dura (Wurzeltasche) im Foramen intervertebrale. Die dorsale und ventrale Wurzel treten dabei durch zwei getrennte Löcher in die Duraaussackung ein. Das Lig. denticulatum verbindet das Rückenmark mit der Dura mater spinalis.



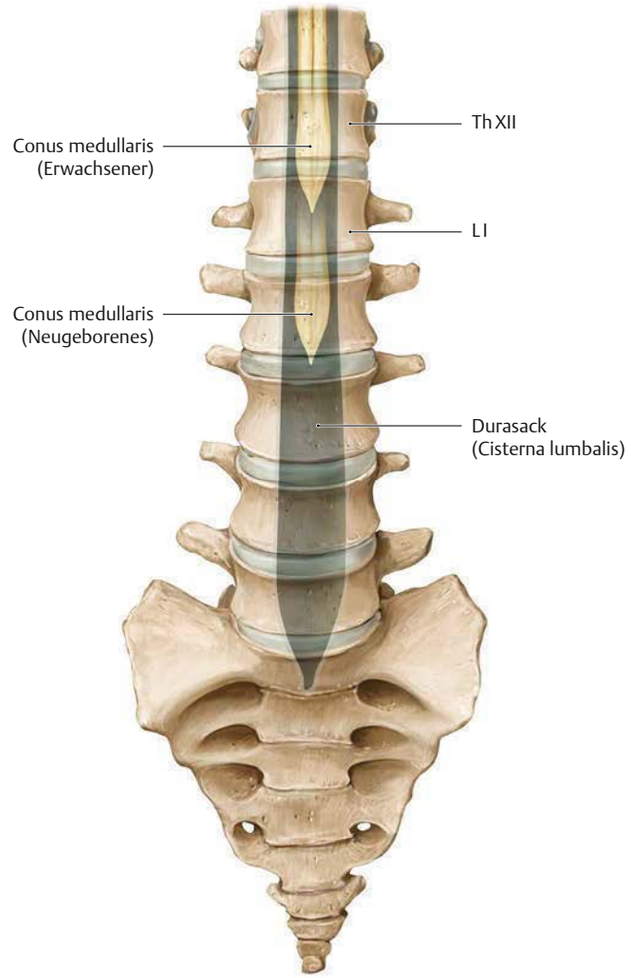
B Cauda equina in Höhe des 2. Lendenwirbels

Querschnitt, Ansicht von kranial. Das Rückenmark endet zumeist in Höhe des 1. Lendenwirbelkörpers. Distal finden sich nur noch die Cauda equina und das Filum terminale im Durasack (Cisterna lumbalis, s. S. 311), der auf Höhe des 2. Sakralwirbels endet (s. **C** u. **D**). Der Epiduralraum vergrößert sich hier und ist durch ausgedehnte Venenplexus und Fettgewebe ausgefüllt.

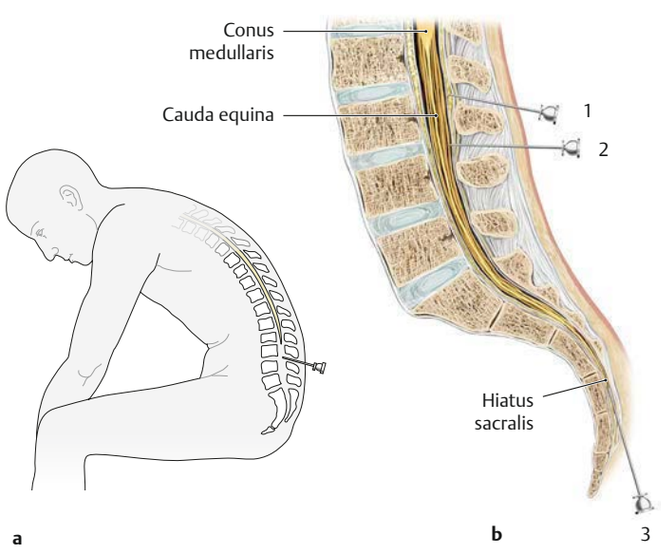




C Cauda equina im Wirbelkanal
Ansicht von dorsal, Wirbelbögen und Facies dorsalis des Os sacrum teilweise entfernt. Das Rückenmark endet beim Erwachsenen etwa in Höhe des 1. Lumbalwirbels. Die Gesamtheit der unter dem Ende des Rückenmarks (Conus medullaris) liegenden dorsalen und ventralen Spinalnervenwurzeln werden als Pferdeschwanz (Cauda equina) bezeichnet. Bei einer Lumbalpunktion im Subarachnoidalraum (Cisterna lumbalis) weichen diese der Punktionsnadel aus.

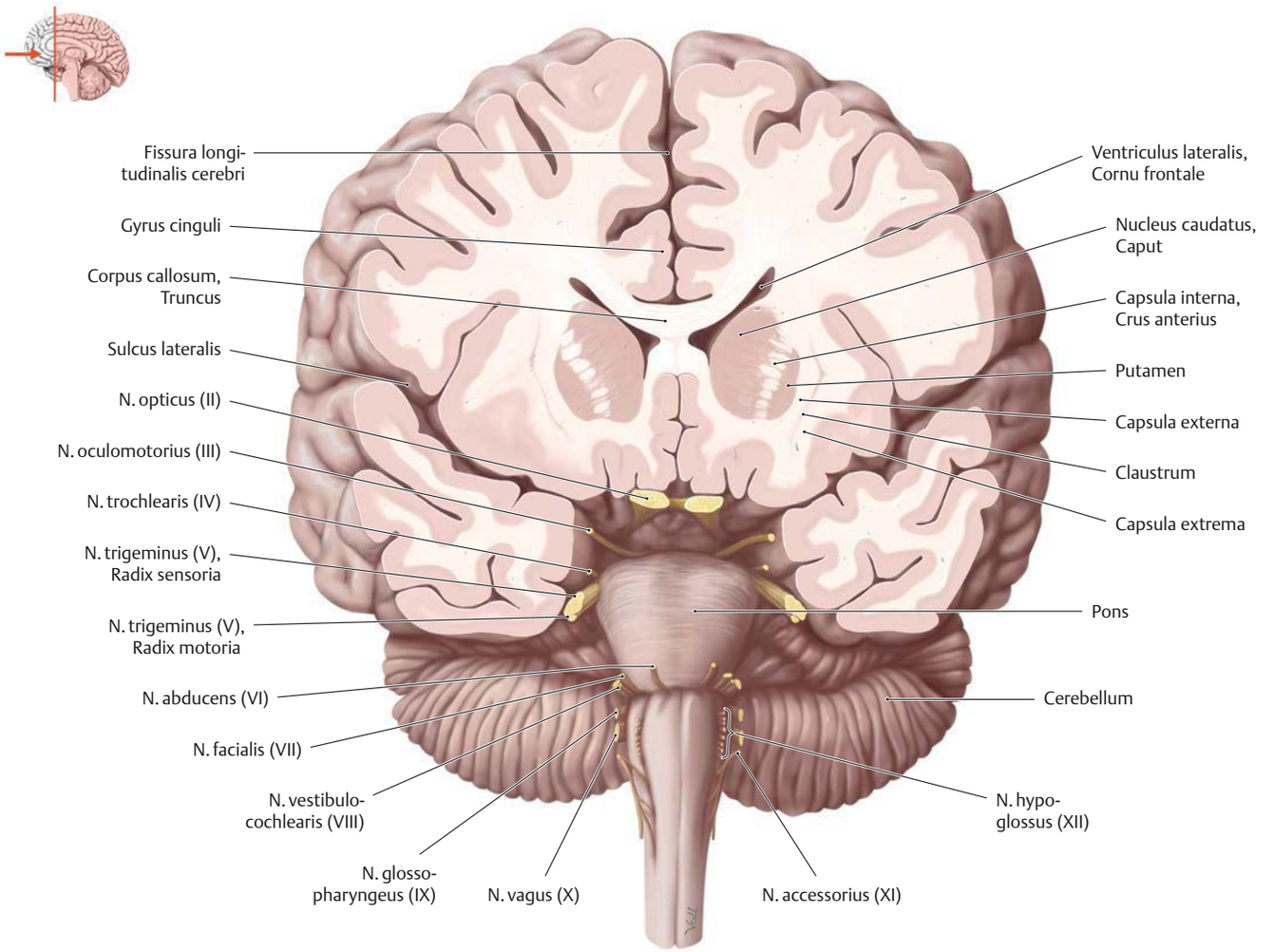


D Alters- und konstitutionsabhängige Projektion des Rückenmarks und des Durasacks auf die Wirbelsäule
Ansicht von ventral. Das Rückenmark bleibt während des Wachstums im Vergleich zur Wirbelsäule und zum Durasack zurück. Beim Neugeborenen liegt der distale Abschnitt des Rückenmarks, der Conus medullaris, auf Höhe des 3. Lendenwirbelkörpers (Achtung hier keine Lumbalpunktion!), beim Erwachsenen mit langem Rücken auf der Höhe von Th12–L1 (Hochstand), beim kurzen Rücken auf Höhe von L2/3 (Tiefstand). Der Durasack zieht immer bis in das Sacrum hinab. Diese anatomischen Verhältnisse müssen bei der Lumbalpunktion beachtet werden: man punktiert vorzugsweise zwischen L3/4.



E Lumbalpunktion; Epidural- und Lumbalanästhesie
Zur Durchführung einer **Lumbalpunktion** muss der Patient einen Katzenbuckel machen, damit die Dornfortsätze der Lendenwirbelsäule möglichst weit auseinander weichen. Die Punktionsnadel wird meist zwischen den Dornfortsätzen des 3. und 4. Lendenwirbels durch die Haut bis in den Durasack (Cisterna lumbalis) vorgeschoben, um aus ihm Liquor cerebrospinalis zu gewinnen. Diese diagnostische Maßnahme wird z. B. zur Diagnostik einer Hirnhautentzündung durchgeführt. Bei der **Epiduralanästhesie** wird ein Katheter in den Epiduralraum gelegt (1); der Durasack wird nicht penetriert. Bei der **Lumbalanästhesie** wird das Lokalanästhetikum in den Durasack eingebracht (2). Alternativ kann der Epiduralraum auch über den Hiatus sacralis punktiert werden (3).

12.1 Frontalschnitte I und II



Allgemeine Anmerkung zur Schnittbildanatomie

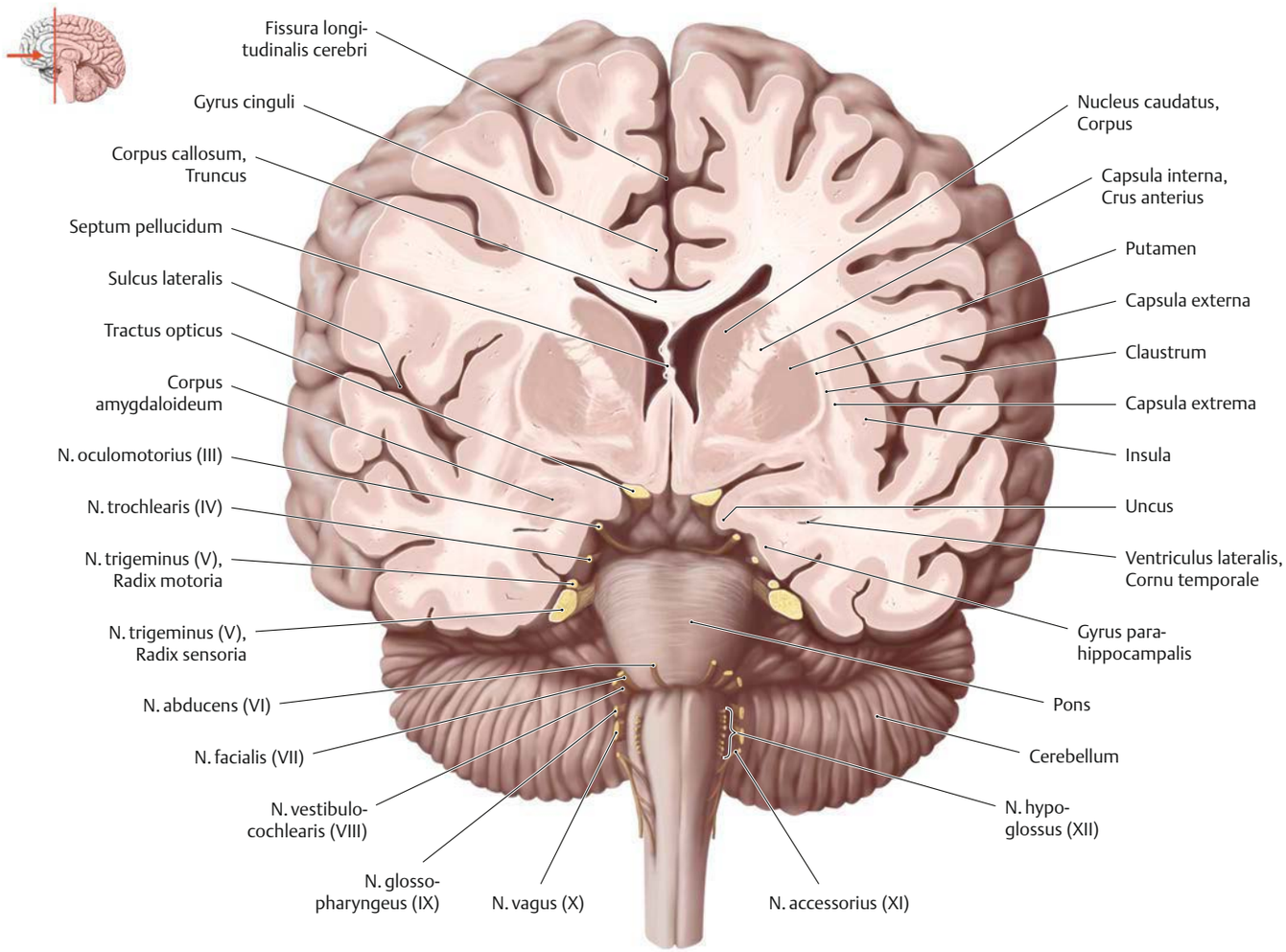
Die Schnittbildanatomie soll dabei helfen, sich eine eigene räumliche Vorstellung vom Bau des Gehirns zu erarbeiten. Dieses räumliche Bild ist notwendig, um moderne Schnittbilder interpretieren und auf dieser Grundlage eine Diagnose erstellen zu können (CT, MRT bei Verdacht auf Schlaganfall, Hirntumoren, Hirnhautentzündung und nach Unfällen). Voraussetzung für solch einen synoptischen Blick ist, dass der Leser sich anhand der vorangegangenen Kapitel einen Überblick verschafft hat und die Strukturen zumindest grob funktionell und systematisch einordnen kann. Die Legenden und insbesondere die zusätzlichen kleinen Schemazeichnungen sollen die räumliche Interpretation des zweidimensionalen Schnittes erleichtern (Schnittebenen der Abbildungen in den Schemata jeweils mit roten Linien markiert).

Beachte in diesem Zusammenhang die Bezeichnung der Lage nach der Forel-Vorderhirnachse bzw. im Bereich des Hirnstamms nach der Meynert-Hirnstammachse (s. S. 270).

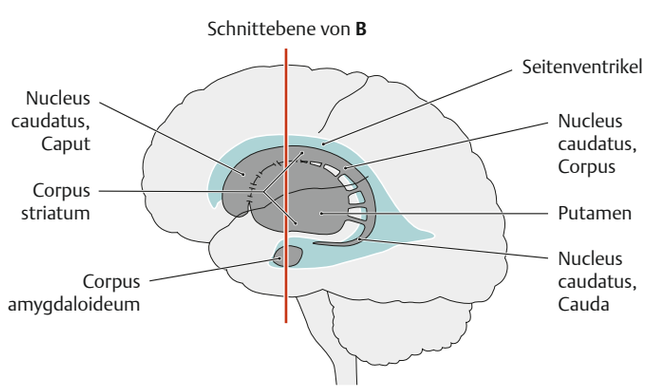
Die Schnittebenen wurden so gewählt, dass die *klinisch wichtigsten* Strukturen zu sehen sind – klarer, als dies bei realen Hirnschnitten manchmal der Fall ist, da die Möglichkeiten der Fixierung und Konservierung des Gehirns nicht immer optimal sind. Da die Schnitte auf der Grundlage von Präparaten verschiedener Menschen gezeichnet wurden, sind einzelne Strukturen nicht in jeder Abbildung an der gleichen Stelle zu finden. In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Strukturen des Gehirns seinen entwicklungsgeschichtlich definierten Abschnitten zugeordnet; eine Synopsis dieser Zuordnungen findet sich in **B**, S. 443 am Ende dieser Schnittserie.

A Frontalschnitt durch das Gehirn I

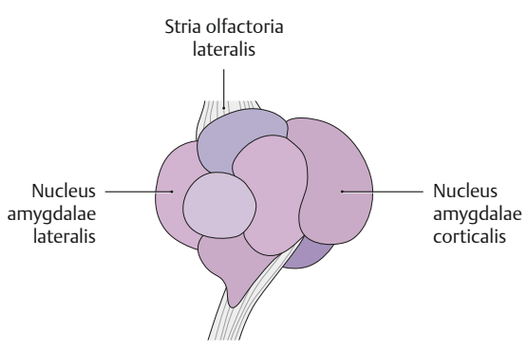
Leicht zu erkennen ist hier der Truncus des *Corpus callosum* (Balken), der die Hemisphären verbindet. Parietal des Corpus callosum liegt der *Gyrus cinguli*, der in den nächsten Schnitten weiterhin mit anzutreffen ist, ventral der *Nucleus caudatus* (Schweifkern). Er erscheint deshalb so groß, weil hier sein Kopf (Caput nuclei caudati) auf ganzer Länge getroffen wurde (s. **C**). Dies ändert sich auf den folgenden Schnitten, da sich der Kern nach okzipital zunehmend verjüngt und nur noch der Schweif (Cauda nuclei caudati) in der Schnittebene liegt (s. S. 422 f). In der schematischen Seitenansicht (**C**) wird deutlich, dass sich der Nucleus caudatus dem Verlauf des *Seitenventrikels* in dessen konkaver Wölbung eng anschmiegt. Zusammen mit dem *Putamen* bildet der Nucleus caudatus das *Corpus striatum*, den Streifenkörper. Die Streifung wird durch das Crus anterius der Capsula interna, einen Streifen weißer Substanz, hervorgerufen. Das Putamen wirkt hier noch recht klein, da nur seine vordere Spitze angeschnitten ist. Mit dem Wandern der Schnittebene nach okzipital nimmt seine Größe zu. *Vor* den Strukturen, die in dieser Ebene zu sehen sind, liegen im Wesentlichen Rinde und Mark des Frontalhirns, die als solche leicht zu erkennen sind; der Temporallappen, der hier noch eine losgelöste, eigenständige Struktur zu sein scheint, wird etwas weiter okzipital (s. S. 421) mit dem übrigen Telencephalon verbunden.



B Frontalschnitt durch das Gehirn II
Im Prinzip sind die gleichen Strukturen wie links angeschnitten, vom Nucleus caudatus ist jetzt der schlanke Körper *(Corpus nuclei caudati)* getroffen. Das Unterhorn *(Cornu temporale)* der Seitenventrikel ist als schlitzförmige Struktur gerade eben noch getroffen. Hieran kann man sich gut orientieren: Ventral des Unterhorns ist der *Gyrus parahippocampalis* angeschnitten, medial und parietal des Unterhorns liegen die Mandelkerne (*Corpora amygdaloidea,* hier zum 1. Mal getroffen, s. auch **D**). An sie fügt sich medial der *Uncus* an, das vordere hakenförmige Ende des Gyrus parahippocampalis. Die Capsula interna, die das Corpus striatum trennt, ist in dieser Schnittebene deutlich größer als noch in Abb. **A**, die Verbindung des Temporallappens mit dem übrigen Telencephalon wird deutlich; die *Inselrinde* wird deutlich sichtbar.

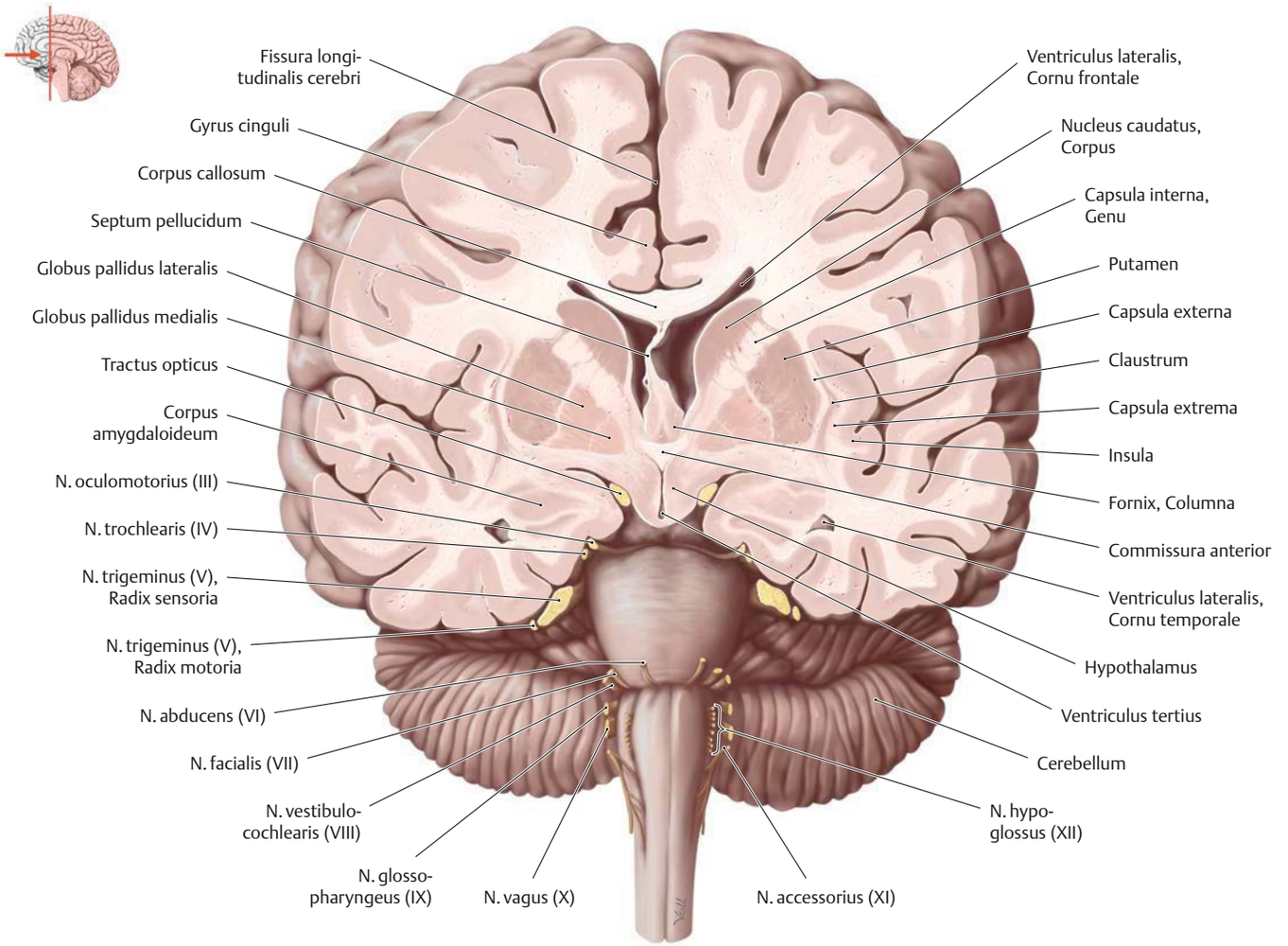


C Beziehung zwischen Nucleus caudatus und Seitenventrikel
Ansicht von links.

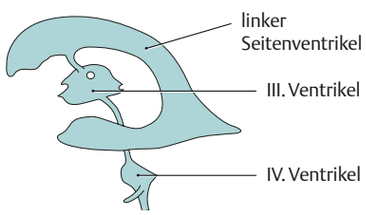


D Corpus amygdaloideum
Aufsicht von rechts.

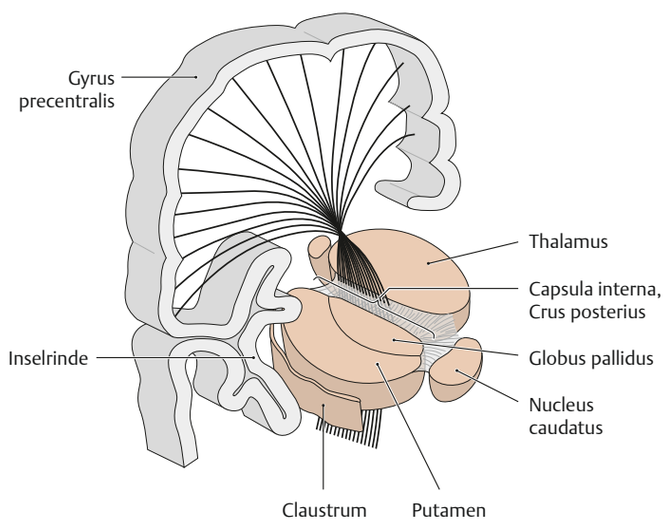
12.2 Frontalschnitte III und IV



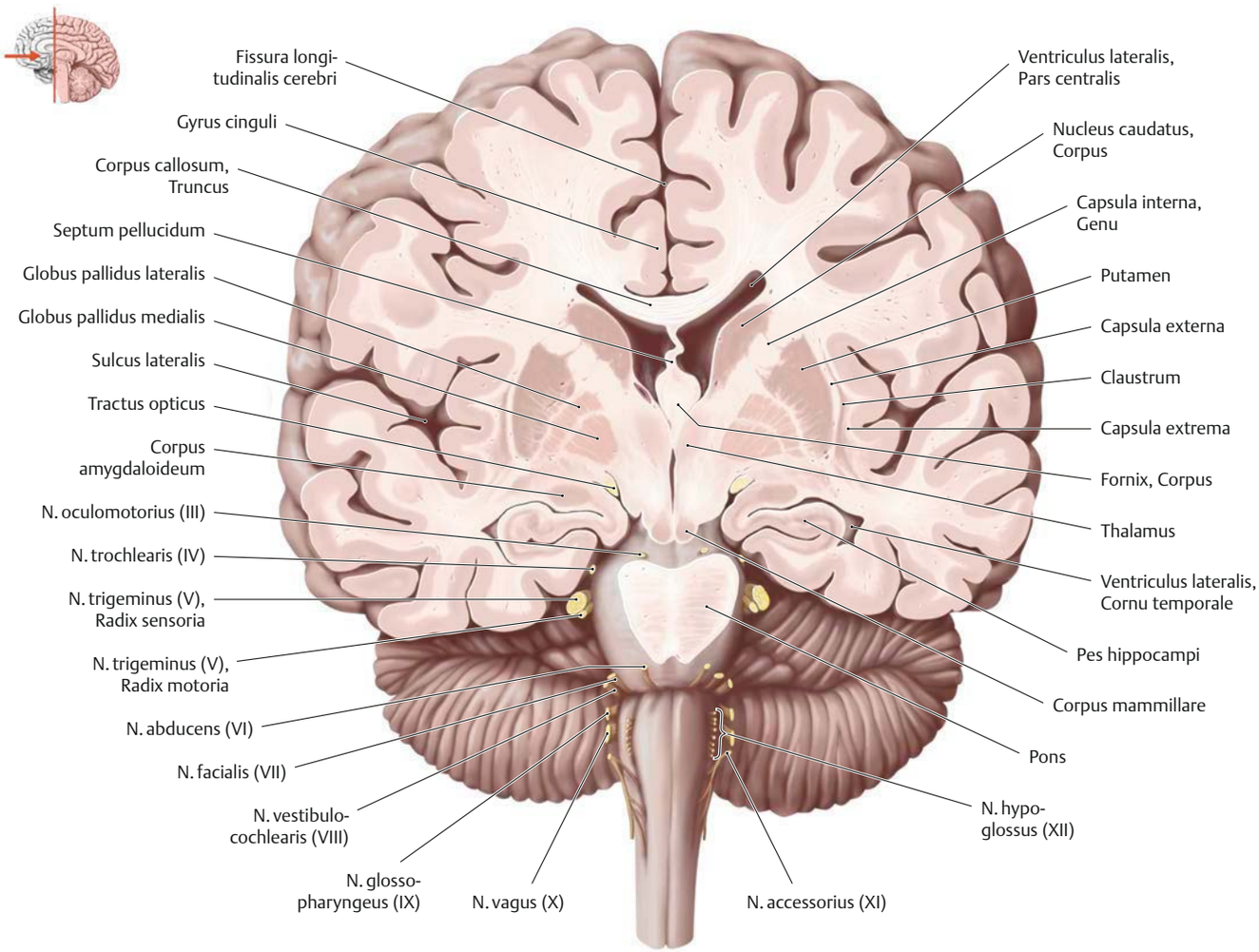
A Frontalschnitt durch das Gehirn III
Das Unterhorn der Seitenventrikel (Cornu temporale) ist jetzt etwas größer zu sehen. Vom Ventrikelsystem ist zusätzlich der Boden des *III. Ventrikels* (s. **B**) mit dem ihn umgebenden Hypothalamus angeschnitten. Der Thalamus ist noch nicht zu sehen, da er parietal direkt hinter dem Hypothalamus liegt. Neu in dieser Schnittebene sind auch die *Commissura anterior* sowie der *Globus pallidus*, der in einen medialen und lateralen Anteil unterteilt wird. Die große absteigende Bahn, der Tractus corticospinalis, zieht durch die *Capsula interna*, die somatotopisch organisiert ist. Durch das Knie (Genu), das in diesem Schnitt getroffen ist, ziehen die Axone für Schlund, Kehlkopf und Kiefer. Den Verlauf dieser Axone verdeutlicht **C** (zum Fornix, s. **D**).



B Ventrikelsystem
Ansicht von links.

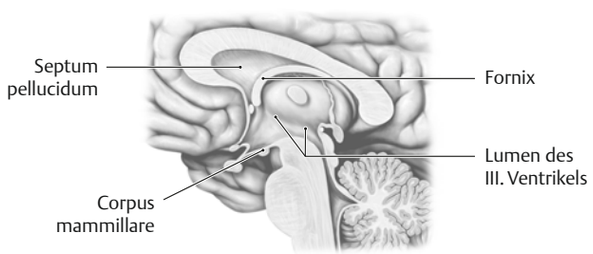


C Verlauf der Pyramidenbahn in der Capsula interna
Ansicht von rechts vorne.

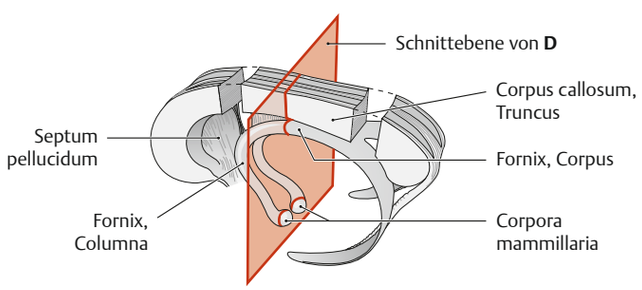


D Frontalschnitt durch das Gehirn IV

Die Aufteilung des Globus pallidus in einen medialen und lateralen Abschnitt ist jetzt ganz deutlich zu erkennen; das Unterhorn des Seitenventrikels ist in seiner vollen Breite angeschnitten. Während in Abb. **A** noch die Commissura anterior getroffen wurde, sind in diesem weiter okzipital liegenden Schnitt die *Corpora mammillaria* angeschnitten (s. **E**). Pathologische Veränderungen der Corpora mammillaria werden beim chronischen Alkoholismus gefunden, daher wird diese Schnittebene in der Pathologie umgangssprachlich als *„Säuferschnitt"* bezeichnet. Die Corpora mammillaria sind ein wichtiger Teil des limbischen Systems und über das Gewölbe *(Fornix)* mit dem Hippocampus verbunden, dessen *Pes hippocampi* hier prominent beiderseits lateral der Corpora mammillaria zu finden ist (s. **F**). Zwischen Fornix und Corpus callosum spannt sich das *Septum pellucidum* aus. Es stellt die mediale Begrenzung der Seitenventrikel dar; dies lässt sich auch in beiden Schnitten gut nachvollziehen. Aus dem gebogenen Verlauf des Fornix (s. **F**) folgt, dass in frontal gelegenen Schnitten die Columna fornicis (s. **A**) und weiter okzipital die deutlich voneinander getrennten Crura fornicis (s. **C**, S. 427) zu erkennen sind. Das *Claustrum,* dem eine wichtige Funktion bei der Regulation des Sexualverhaltens zugeschrieben wird, wird in diesem Schnitt in seiner vollen Breite sichtbar, die Brücke *(Pons)* als Struktur des Hirnstamms ist erstmals angeschnitten.

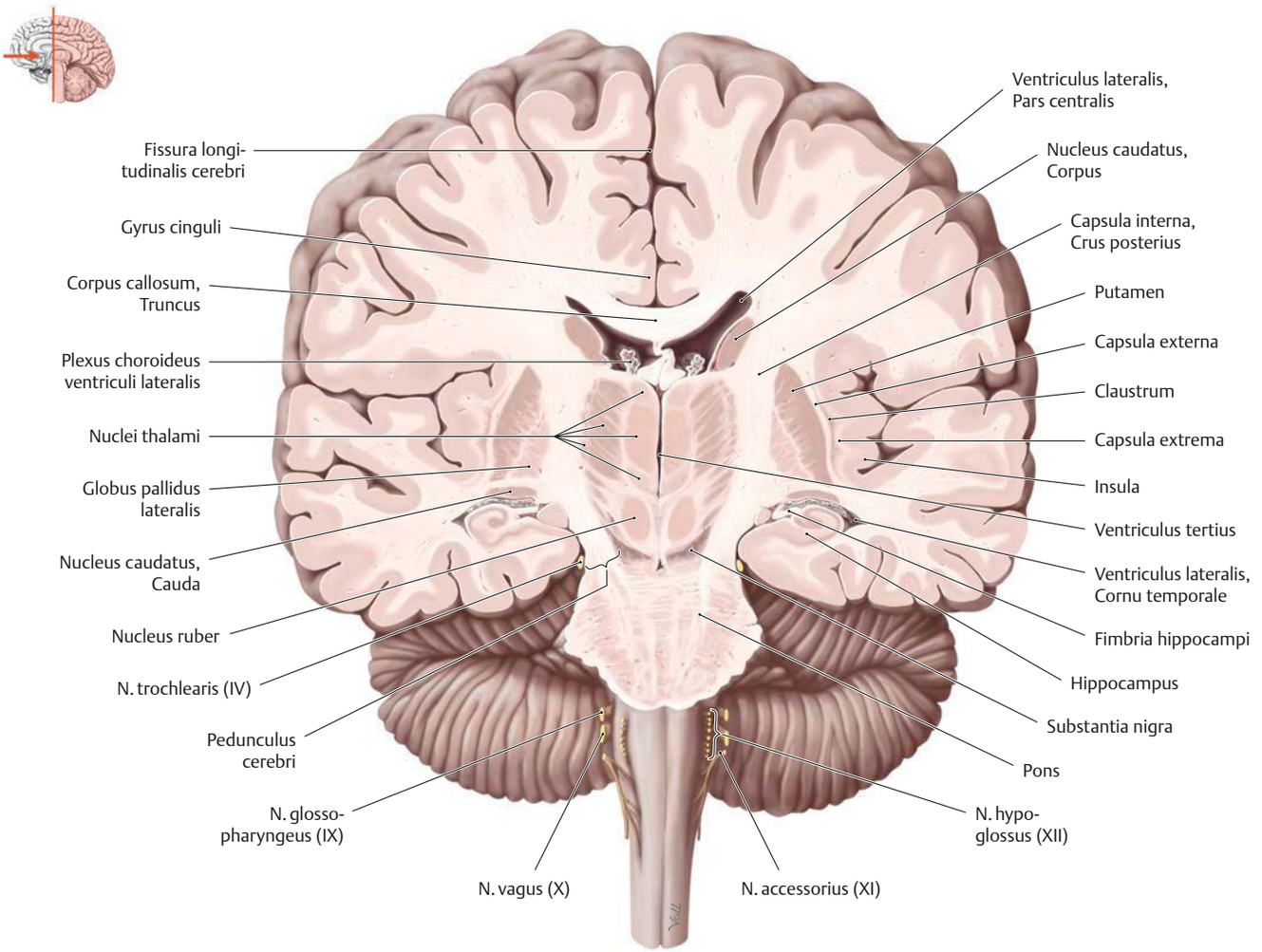


E Mediansagittalschnitt durch Zwischenhirn und Hirnstamm

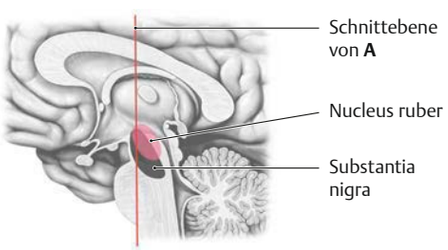


F Corpora mammillaria und Fornix

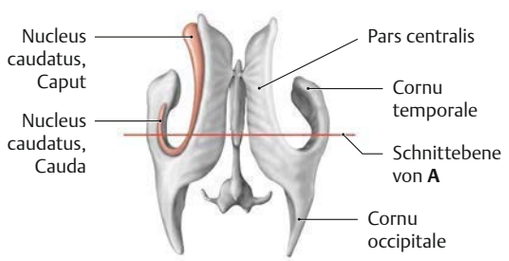
12.3 Frontalschnitte V und VI



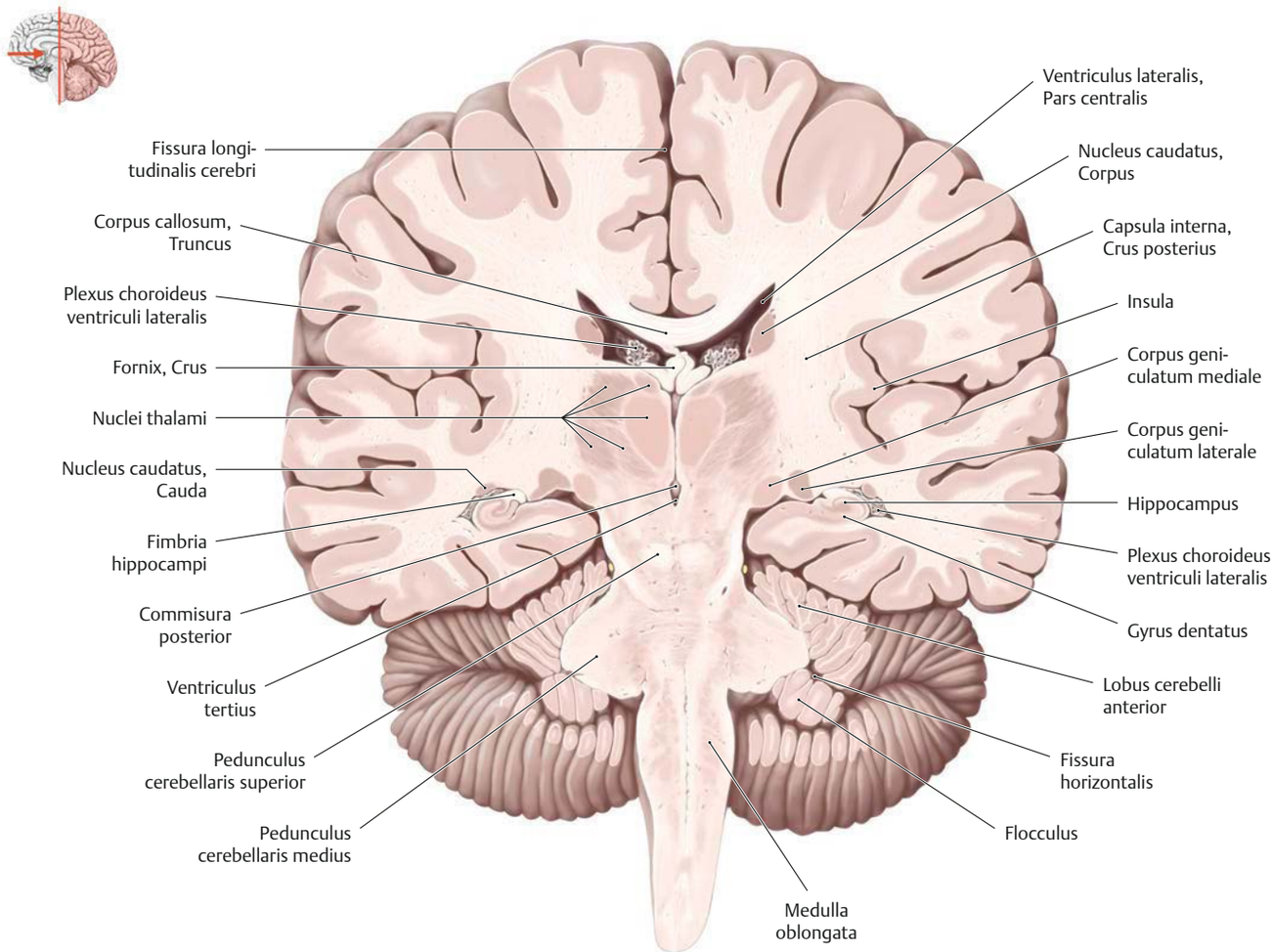
A Frontalschnitt durch das Gehirn V
Das Aussehen der zentralen Kernregion hat sich stark verändert. Der *Nucleus caudatus* ist zweimal angeschnitten, parietal erkennt man seinen Körper, basal einen kleinen Anschnitt seines Schweifs, der dem Unterhorn des Seitenventrikels aufliegt (s. **C** u. **E**). Da Kopf und Körper des Nucleus caudatus dem Vorderhorn und der Pars centralis des Seitenventrikels lateral anliegen, beschreibt der Nucleus caudatus einen ähnlichen Bogen wie das Ventrikelsystem (s. **C**). Die Cauda nuclei caudati liegt somit ventral und lateral von Caput und Corpus. **E** verdeutlicht, dass ein Frontalschnitt im Bereich des Kaudatusschwanzes die okzipitalen Anteile des *Putamen* anschneidet oder, wenn der Schnitt noch weiter okzipital liegt, auch schon keine Kernanteile mehr enthalten kann (s. **B**). Auch der zentrale Teil des Seitenventrikels ist deutlich enger geworden, bedingt durch den darunter liegenden *Thalamus*, der hier mit seinen Kernen angeschnitten ist. In der Pars centralis der Seitenventrikel ist erstmals der *Plexus choroideus* sichtbar, der vom hier nicht angeschnittenen Foramen interventriculare bis ins Unterhorn reicht. Da das Foramen vor dem Thalamus liegt, kann der Plexus erst auf Frontalschnitten auftauchen, wenn auch Thalamusstrukturen angeschnitten sind. Basal des Thalamus sind der *Nucleus ruber* und die *Substantia nigra* als wichtige Mittelhirnstrukturen angeschnitten, die sich in das Diencephalon vorwölben und fast bis an die Höhe des Globus pallidus (hier nicht zu sehen) reichen (s. **B**). Am Boden des Unterhorns liegt der *Hippocampus*, die Fimbria hippocampi ist zu erkennen. Der Verlauf der Fasern des Tractus corticospinalis durch das *Crus posterius* der Capsula interna und deren Fortsetzung in die Pedunculi cerebri und in den Pons ist gut nachzuvollziehen.



B Nucleus ruber und Substantia nigra
(Mediansagittalschnitt)

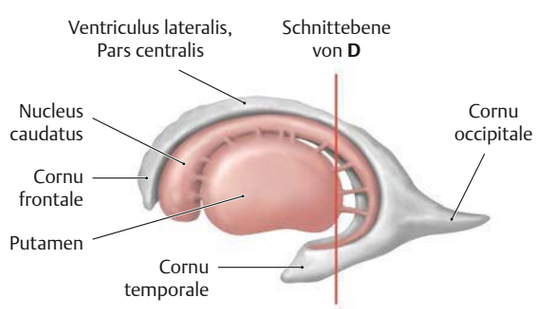


C Ventrikelsystem
Ansicht von oben.

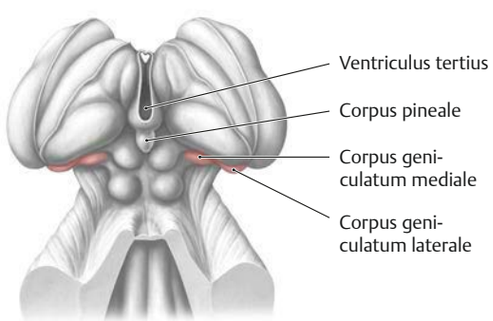


D Frontalschnitt durch das Gehirn VI

Die kaudal gelegenen Kerngebiete des Thalamus sind gut zu erkennen; sie grenzen von basal an die Seitenventrikel und von lateral an den III. Ventrikel. Das weiter oral gelegene Putamen ist nicht mehr angeschnitten (wie auch im Horizontalschnitt, S. 336, gut nachvollziehbar). Von der Capsula interna ist das *Crus posterius* angeschnitten (vgl. auch **C**, S. 422). Die hintere Kommissur *(Commissura posterior)* ist in ihrem frontalen Teil getroffen (s. **A**, S. 426 u. **D**, S. 427). Auf gleicher Höhe wie die Kommissur sieht man links und rechts jeweils zwei dunklere, den Thalamus lateral begrenzende Kerngebiete, die *Corpora geniculata mediale* und *laterale*, die Bestandteile der Hör- bzw. Sehbahn sind (s. **F**). Zwischen Thalamus und Balken findet man die Crura fornicis. Erstmals ist das *Cerebellum* (Kleinhirn) angeschnitten. Der mittlere Kleinhirnstiel *(Pedunculus cerebellaris medius)* drängt sich nach lateral in Richtung der Kleinhirnhemisphären vor.



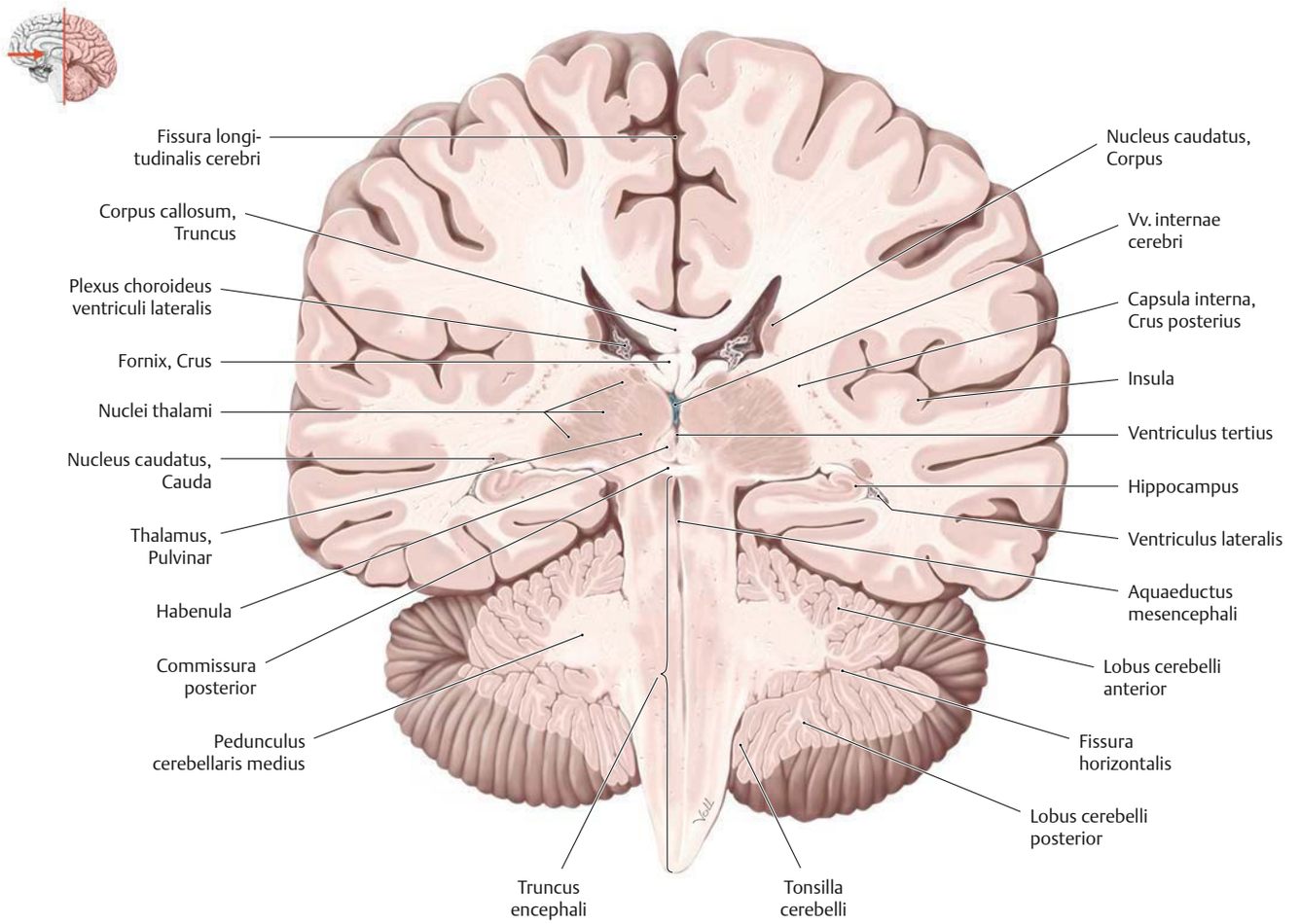
E Topografische Beziehung zwischen Nucleus caudatus und Ventrikelsystem



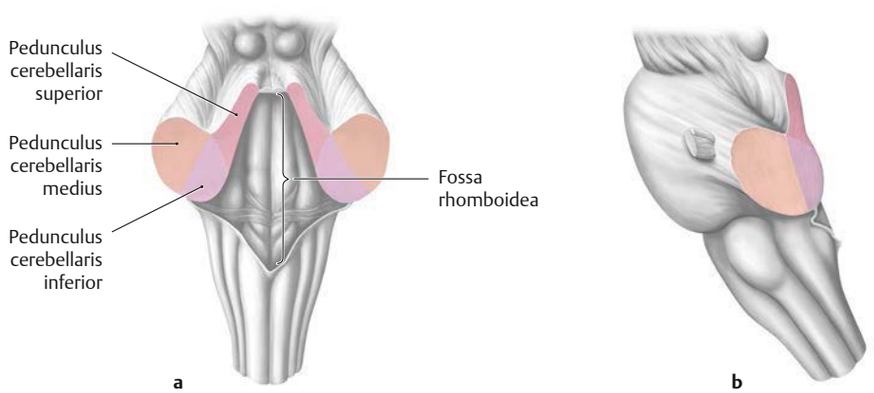
F Lage von Diencephalon (mit Corpora geniculata) und Hirnstamm

Ansicht von hinten.

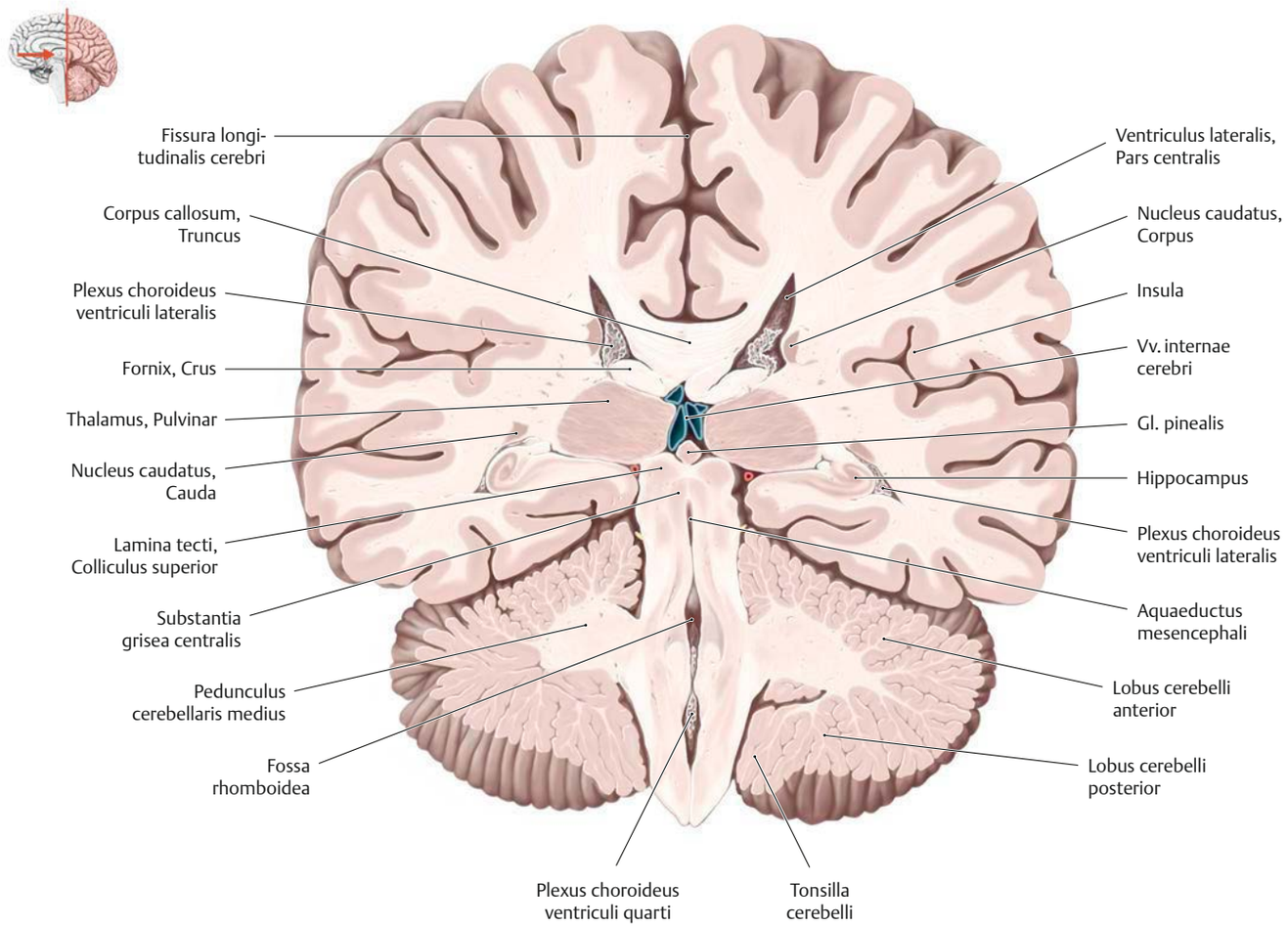
12.4 Frontalschnitte VII und VIII



A Frontalschnitt durch das Gehirn VII
Von den di- bzw. telenzephalen Kerngebieten sind noch Thalamus und okzipitale Abschnitte des Nucleus caudatus sichtbar, die auf den folgenden Schnitten zunehmend kleiner werden bzw. verschwinden (s. **C** u. S. 428). Unterhalb der medialen Wand des Seitenventrikels ist der okzipitale Abschnitt des *Hippocampus* sichtbar. Der Hirnstamm (Truncus encephali) ist entlang des *Aquaeductus mesencephali* angeschnitten (s. **C**). Das Kleinhirn ist mit dem Hirnstamm durch drei Kleinhirnstiele verbunden: *Pedunculus cerebellaris superior* (zumeist efferent), *medius* (afferent) und *inferior* (afferent und efferent). Da der *mittlere* Kleinhirnstiel von allen am weitesten nach ventral reicht (Achtung: Bezug Hirnstammachse!), wird er als erster in dieser frontookzipitalen Schnittserie angetroffen (s. auch **A**, S. 424 u. **D**, S. 425). Der *obere* Kleinhirnstiel formiert sich erst auf der Rückseite des Pons und ist dementsprechend später angeschnitten (s. **B**). Zwischen mittlerem und unterem Kleinhirnstil gibt es keine natürliche anatomische Grenzstruktur, letzterer ist deshalb auf den Schnitten auch nicht gesondert beschriftet. Bei der Präparation wurden die oberflächlichen Hirnvenen mit entfernt. In diesem und dem folgenden Schnitt sind daher nur die Vv. internae cerebri angeschnitten.

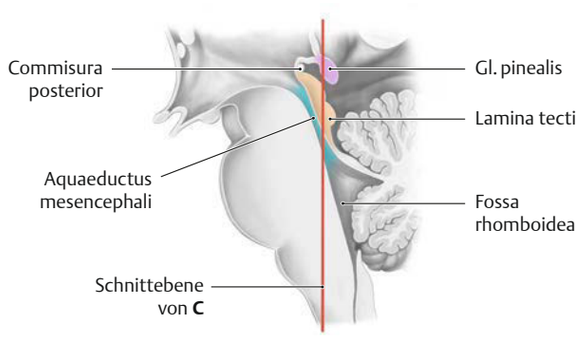


B Kleinhirnstiele am Hirnstamm
Ansicht von dorsal (**a**) und links (**b**).

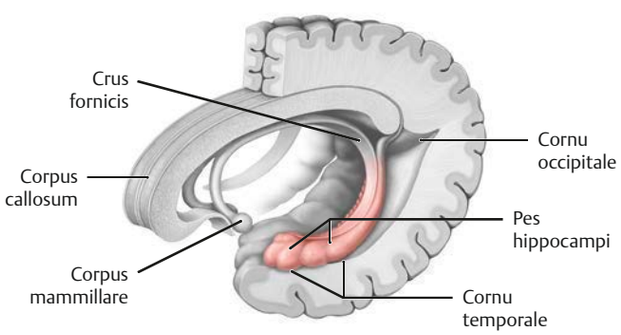


C Frontalschnitt durch das Gehirn VIII

Die Kerngebiete des Thalamus haben sich im Vergleich zur vorhergehenden Abbildung verschmälert, die Kleinhirnrinde nimmt weiter an Größe zu. Der Aquaeductus mesencephali ist hier teilweise angeschnitten. Gut zu sehen ist die im dorsalen Abschnitt des Hirnstamms liegende *Fossa rhomboidea,* die den Boden des IV. Ventrikels bildet (s. **D** u. **Ba**). Auch die *Lamina tecti* (= Lamina quadrigemina = Vierhügelplatte) ist in dieser Schnittebene gut getroffen, hier v. a. die kleineren Colliculi *superiores;* im nächsten Schnitt (s. **A**, S. 428) sind dann die Colliculi *inferiores* besser zu sehen. Die *Gl. pinealis* ist wegen ihrer etwas weiter okzipitalen Lage nur teilweise (s. **D**) angeschnitten; auf dem nächsten Schnitt (s. **A**, S. 428) ist sie in ihrem ganzen Durchmesser zu sehen. Die Auftrennung der paarigen Fornixbahn in ihre beiden *Crura fornicis* wird hier sichtbar. Der Hippocampus begegnet uns auch in diesem Schnitt. Er liegt jeweils am medialen Boden vom Unterhorn des Seitenventrikels, wölbt sich also größtenteils in den Boden des Unterhorns vor (s. auch **A** und **E**). Der Hippocampus ist ein wichtiger Bestandteil des limbischen Systems und eine der ersten Strukturen, bei denen man morphologische Veränderungen bei der Alzheimer-Erkrankung feststellen kann.



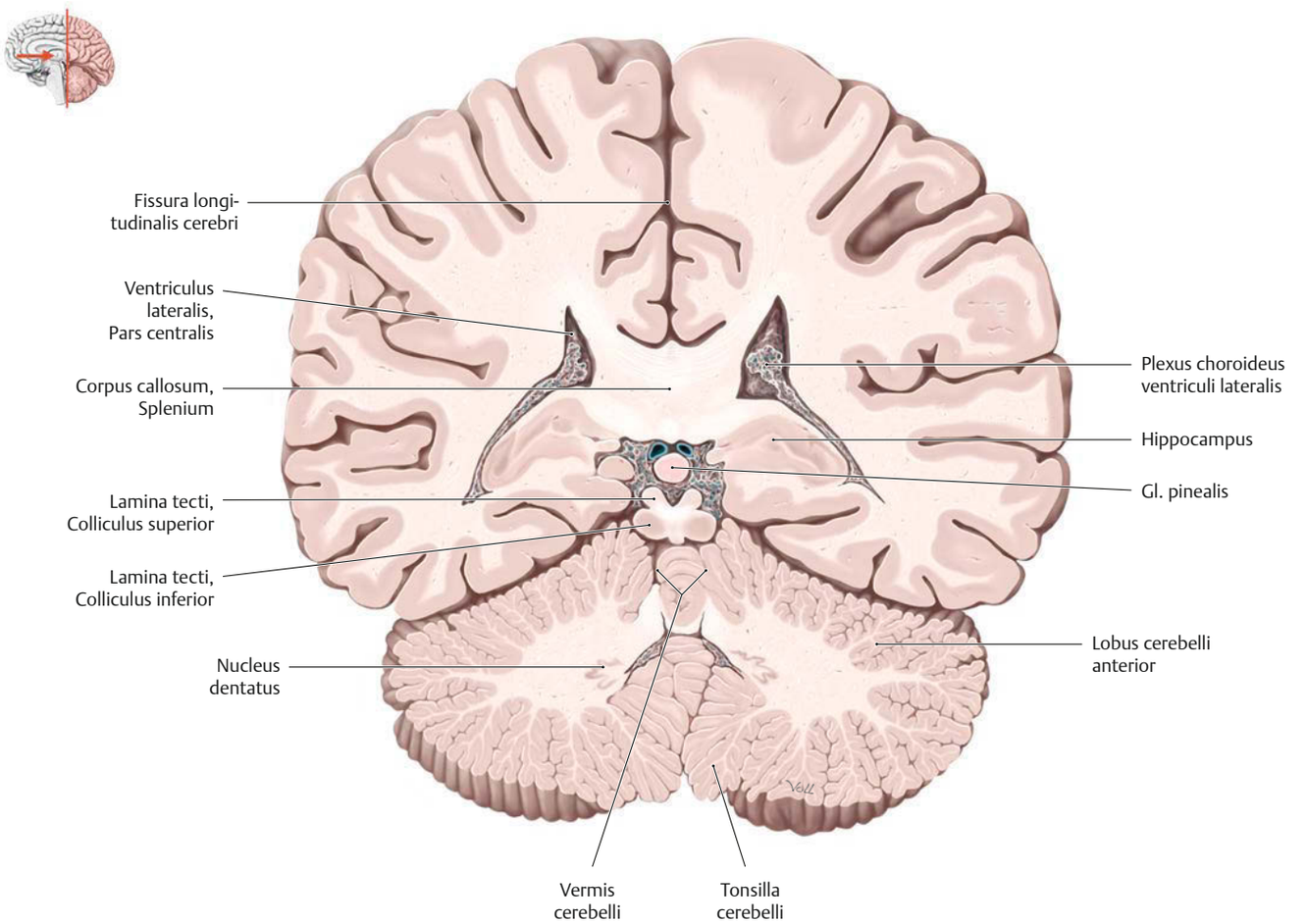
D Mediansagittalschnitt durch Rauten, Mittel- und Zwischenhirn



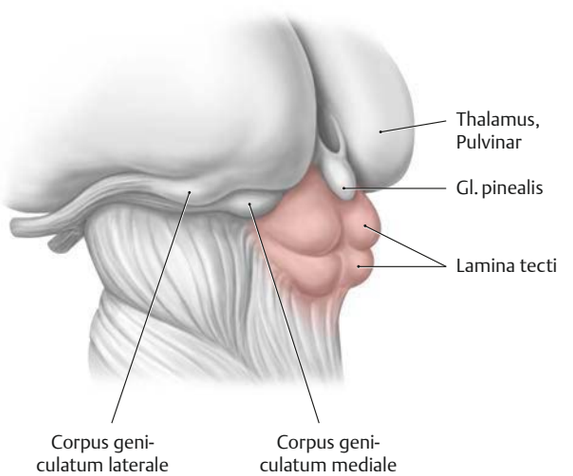
E Hippokampusformation

Ansicht von links.

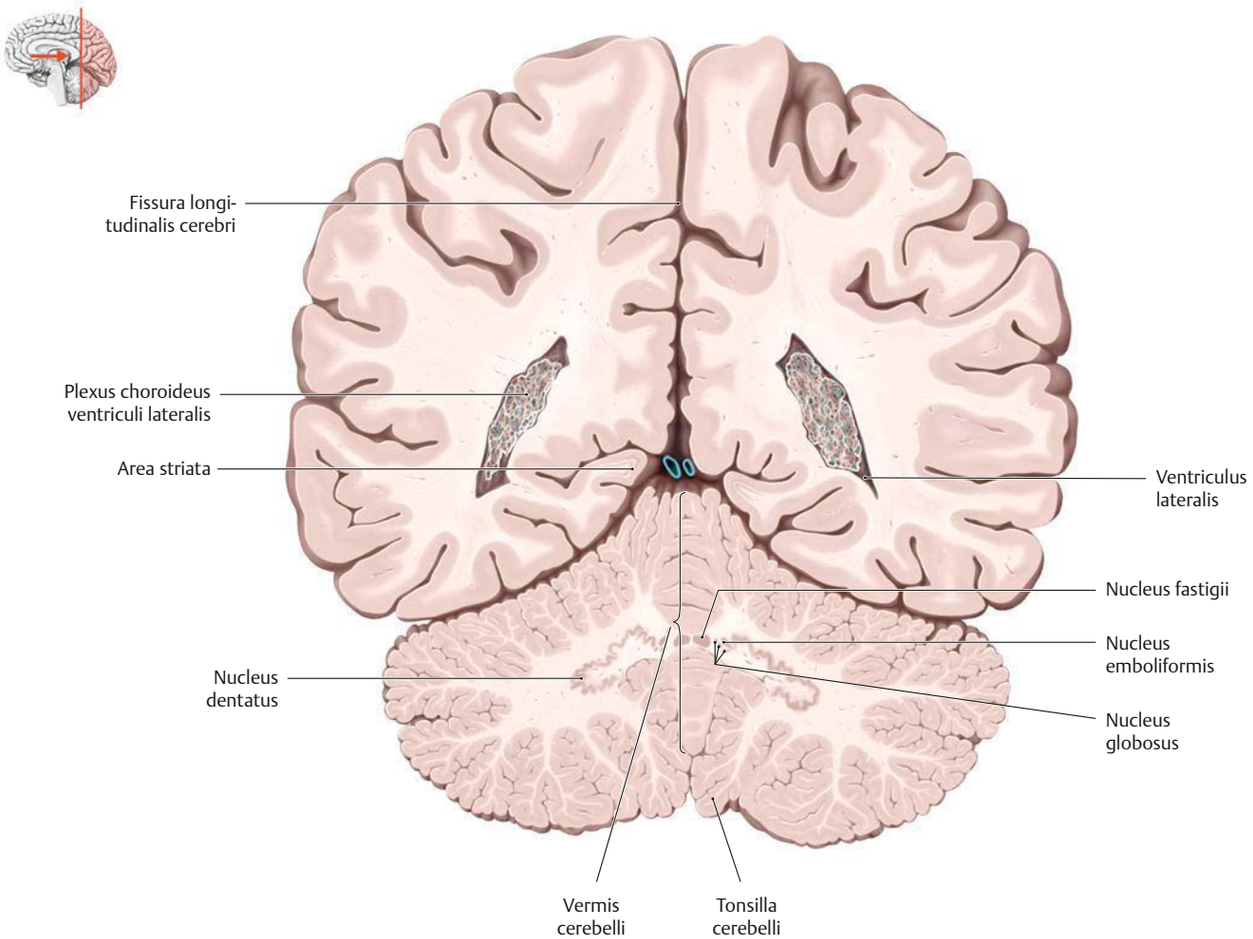
12.5 Frontalschnitte IX und X



A Frontalschnitt durch das Gehirn IX
In dieser Ebene sind die Kerne des Großhirns nicht mehr anzutreffen. Die *Gl. pinealis* ist im Vergleich zum vorherigen Schnitt (s. **C**, S. 427) voll getroffen (s. auch **D**, S. 427). Sie ist ein Schaltzentrum (Hell-Dunkel-Rhythmus) für die biologische Uhr. Von der Lamina tecti sind hier (aufgrund der Neigung des Hirnstamms und der dadurch bedingten leicht dorsaleren Lage) die größeren *Colliculi inferiores* besser zu sehen, während die kleineren Colliculi superiores im vorigen Schnitt besser zu sehen waren. Die Colliculi superiores sind Bestandteil der Sehbahn, die Colliculi inferiores Teil der Hörbahn. Die Vierhügelplatte ist der dorsale Abschnitt des *Mittelhirns* (Achtung: Bezug Hirnstammachse!). Im Bereich des *Kleinhirns* erkennt man den Wurm (*Vermis* cerebelli) als unpaare Mittellinienstruktur, von den Kleinhirnkernen erkennt man den in der weißen Substanz liegenden *Nucleus dentatus*.



B Lamina tecti (= Lamina quadrigemina = Vierhügelplatte)
Ansicht von schräg links hinten.



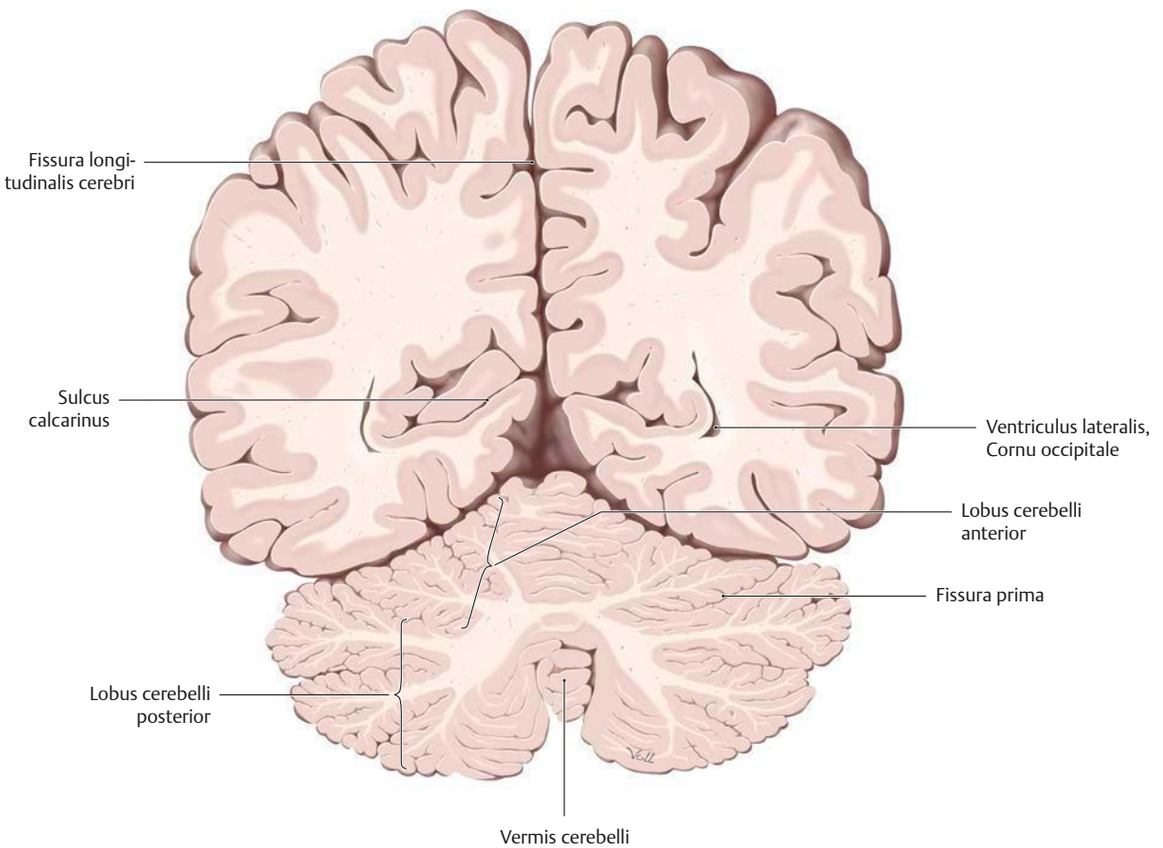
C Frontalschnitt durch das Gehirn X

In dieser Schnittebene sind keine Anteile des IV. Ventrikels mehr anzutreffen. Der hier in der Längsausdehnung markierte Wurm ist im Vergleich zur vorigen Abbildung auf einer größeren Fläche angeschnitten. In dieser Ebene befinden wir uns im Bereich der *Kleinhirnkerne*, von denen hier alle vier anzutreffen sind:

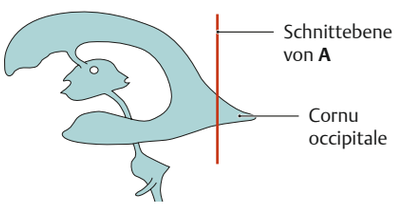
- Nucleus dentatus (Nucleus lateralis cerebelli),
- Nucleus emboliformis (Nucleus interpositus anterior),
- Nucleus globosus (Nucleus interpositus posterior) und
- Nucleus fastigii (Nucleus medialis cerebelli).

12.6 Frontalschnitte XI und XII

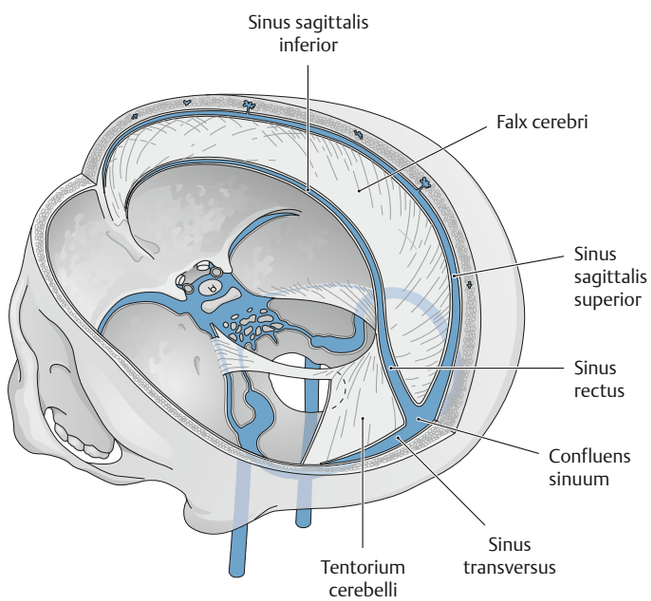




A Frontalschnitt durch das Gehirn XI
Zwischen Kleinhirn und Lobus occipitale des Großhirns liegt das Tentorium cerebelli, in dessen Mitte der Sinus rectus zum Confluens sinuum zieht. Er gehört zu den Sinus durae matris, die das Blut aus dem Gehirn drainieren. Da die Dura bei den meisten Präparationen vor der Anfertigung von Hirnschnitten entfernt wird, werden die in ihr liegenden Sinus mitentfernt. Der Sinus rectus beginnt am Zusammenfluss von V. magna cerebri und Sinus sagittalis inferior, der bei der Präparation der Falx cerebri mitentfernt wurde. Das Hinterhorn der Seitenventrikel *(Cornu occipitale)* ist hier beiderseits deutlich sichtbar; im nächsten Schnitt (s. **D**) nur noch als schmaler Spalt zu erkennen. Das Schema verdeutlicht noch einmal, dass das Hinterhorn nahezu eine Verlängerung des Unterhorns darstellt.

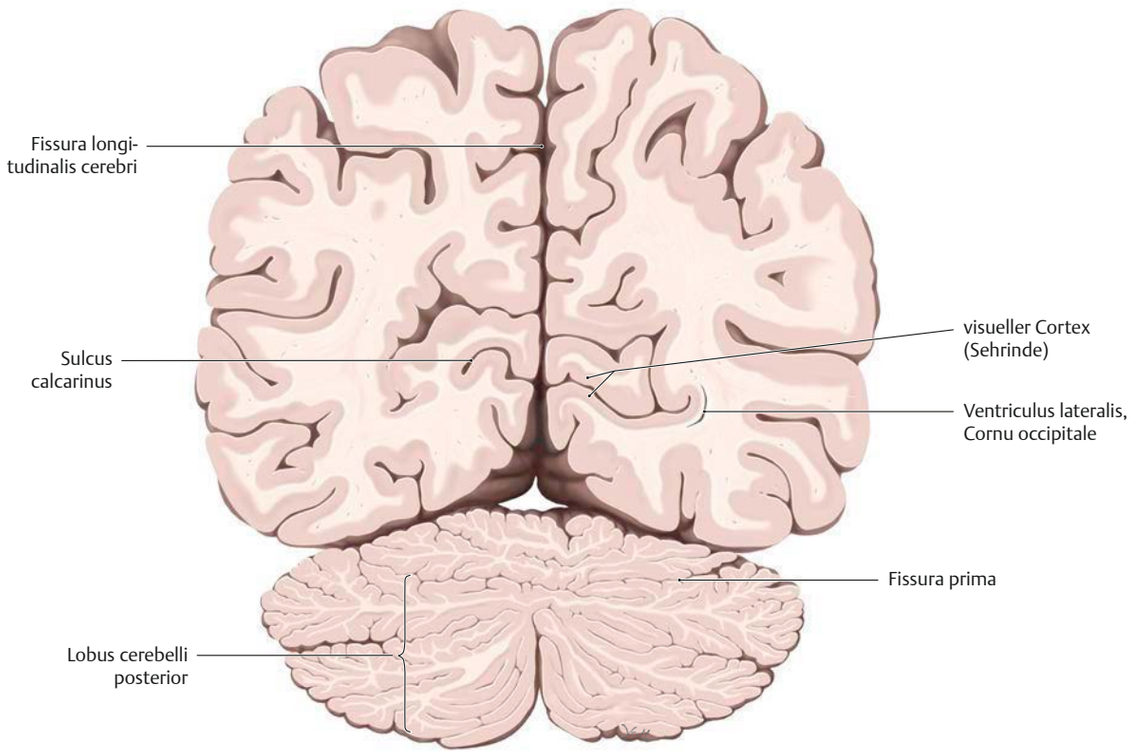


B Ventrikelsystem von links

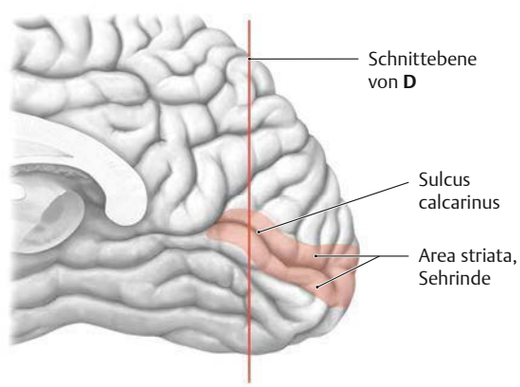


C Sinus durae matris
Ansicht von links-oben.



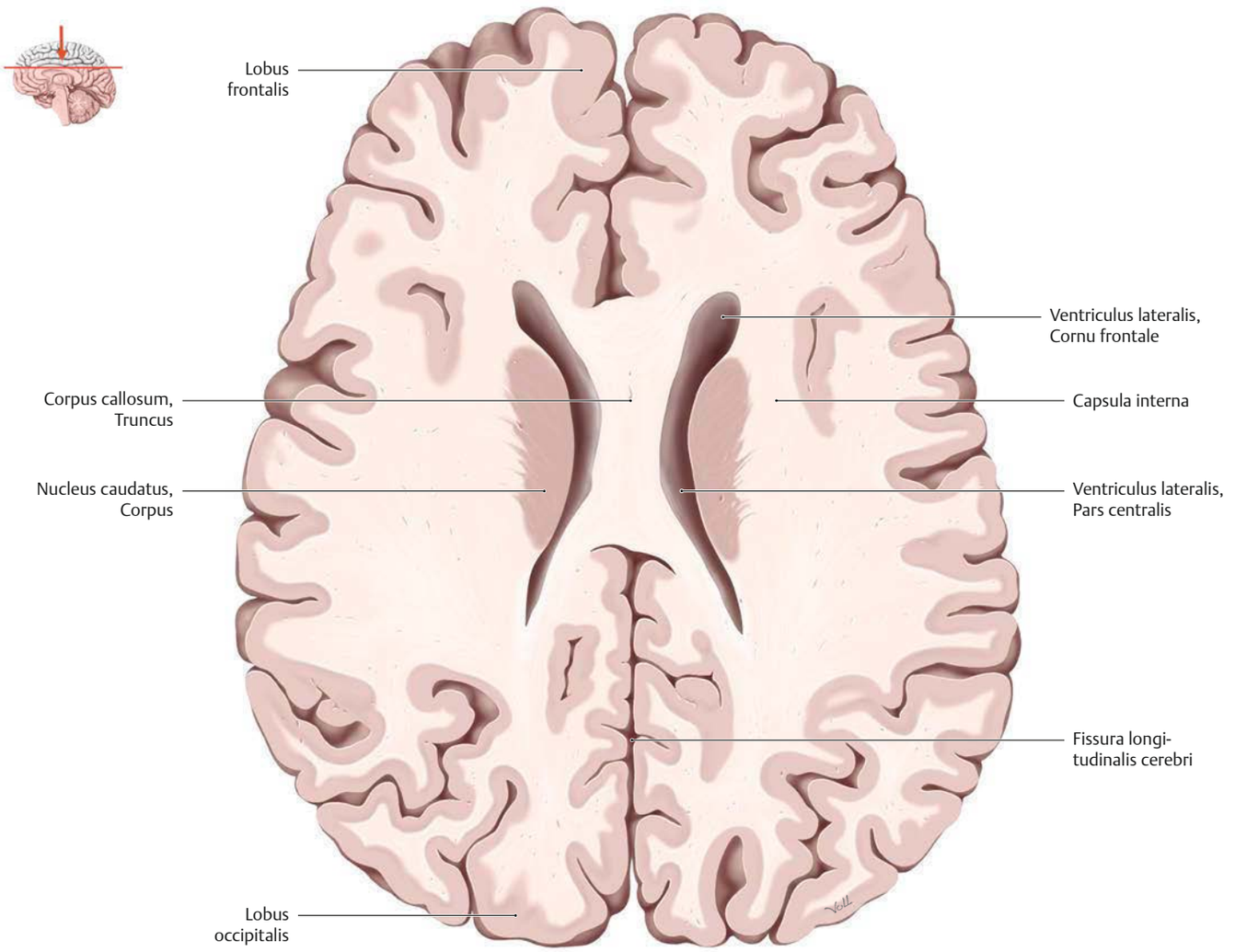


D Frontalschnitt durch das Gehirn XII
Das Hinterhorn *(Cornu occipitale)* des Seitenventrikels hat sich zu einem schmalen Schlitz verengt. Auf weiter okzipital liegende Schnitte wurde verzichtet, da sie nur noch Rinde und Mark aufweisen würden. Im Okzipitallappen des Großhirns ist der *Sulcus calcarinus* sichtbar. Da er relativ lang gezogen ist, sieht man ihn auch auf einigen der vorangegangenen Schnitte. Um den Sulcus calcarinus liegt die *Area striata,* die primäre Sehrinde (in der Brodmann-Hirnkarte auch als Area 17 bezeichnet), deren Ausdehnung an der medianen Fläche des Gehirns (s. **E**) besonders gut zu erkennen ist.



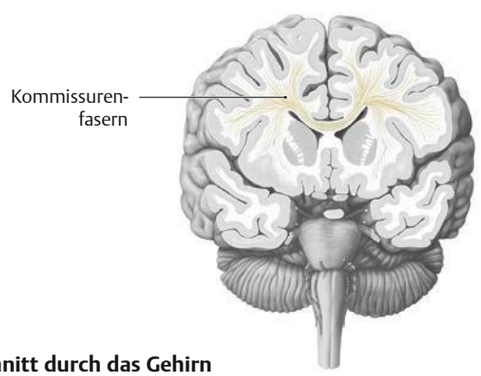
E Rechte Area striata (Sehrinde)
Ansicht von links auf die Medianfläche des rechten Gehirns.

12.7 Horizontalschnitte I und II

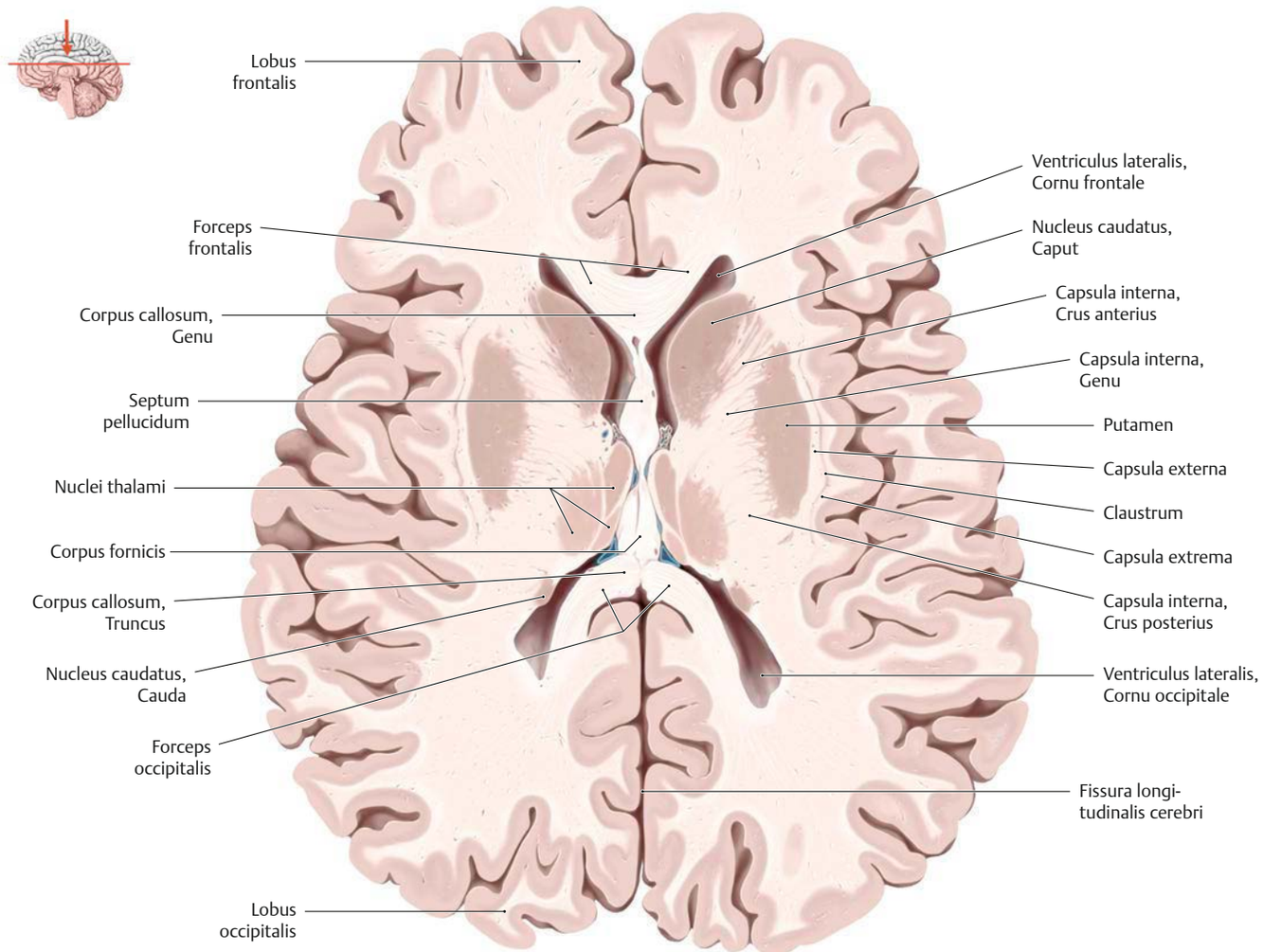


Allgemeine Anmerkung zu den Horizontalschnitten
Die Scheiben der horizontalen Schnittserie werden von dorsal aus betrachtet (zur Lage der Achsen s. S. 270), d. h. der Betrachter schaut auf die Oberfläche der Scheibe, wie dies bei einer Hirnsektion oder in der Neurochirurgie üblich ist. Folglich erscheint die linke Seite des Gehirns auch links in der Abbildung. Im Gegensatz dazu werden bei den bildgebenden Verfahren (CT, MRT) die Hirnscheiben immer von basal angesehen, d. h. die linke Hirnseite erscheint auf dem Bild rechts.

A Horizontalschnitt durch das Gehirn I
In dieser obersten Hirnscheibe sind okzipital liegende telenzephale Strukturen angeschnitten: die beiden *Seitenventrikel,* die beiderseits lateral an die Körper des Schweifkerns (Corpus nuclei caudati) angrenzen. Medial werden die Seitenventrikel durch den Stamm des Balkens *(Truncus corporis callosi)* begrenzt. Der Balken enthält Bahnen, die funktionell gleichartige Areale beider Hemisphären miteinander verbinden (sog. *Kommissurenbahnen*). Im Schnitt ist der Balken scheinbar durch die Ventrikel und den Schweifkern unterbrochen; die Bahnen des Corpus callosum ziehen aber um diese Strukturen herum. Der Verlauf der Bahnen von und zum Balken wird bei der Betrachtung eines Frontalschnitts verständlich (s. **B**). Das Corpus callosum bildet das Dach der Seitenventrikel.

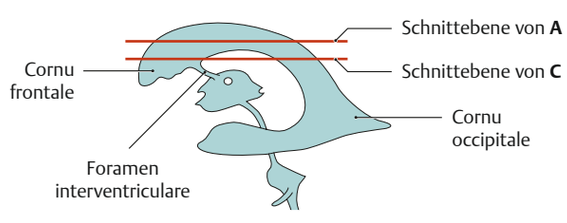


B Frontalschnitt durch das Gehirn

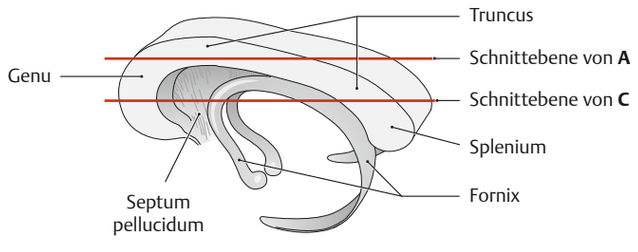


C Horizontalschnitt durch das Gehirn II

Der *Seitenventrikel* erscheint im Gegensatz zum letzten Schnitt jetzt *zweigeteilt:* Aufgrund der tieferen Lage der Schnittebene sind nur das Vorder- sowie das Hinterhorn (Cornu frontale und occipitale) des Seitenventrikels, nicht aber sein zentraler Teil getroffen (s. **D**). Von den Bahnen sind in dieser Ebene die *Capsula interna* mit Crus anterius, Genu und Crus posterius besonders breitflächig angeschnitten. In der weißen Substanz des Okzipitallappens verläuft die Sehstrahlung, die aufgrund ihrer fehlenden anatomischen Begrenzung nicht beschriftet ist. Das *Corpus callosum* erscheint ebenfalls *zweigeteilt:* in das frontal liegende Genu und den weiter okzipital liegenden Truncus. Diese scheinbare Zweiteilung ist das Resultat einer 2. Krümmung des Balkens im Bereich des Knies (Genu), wo der Balken in orokaudaler Richtung konvex nach dorsal gekrümmt ist (s. **E**). Das Schema verdeutlicht, warum bei diesem Schnitt nacheinander das Knie des Balkens, das Septum pellucidum und der Fornixkörper sowie schließlich der Truncus des Balkens getroffen werden. Das Septum pellucidum bildet die vordere mediale Wand der beiden Seitenventrikel. Im Septum selbst liegen kleine Kerngebiete. Von den Kerngebieten sind der Thalamus mit seinen drei Kerngebieten Nuclei ventralis lateralis, lateralis dorsalis und anteriores sowie Putamen und Nucleus caudatus gut sichtbar angeschnitten, vom letzteren liegt ein oraler und ein kaudaler Anschnitt vor (vgl. S. 336). Putamen und Nucleus caudatus sowie die dazwischen verlaufenden Fasern der Capsula interna werden auch zum Striatum zusammengefasst.

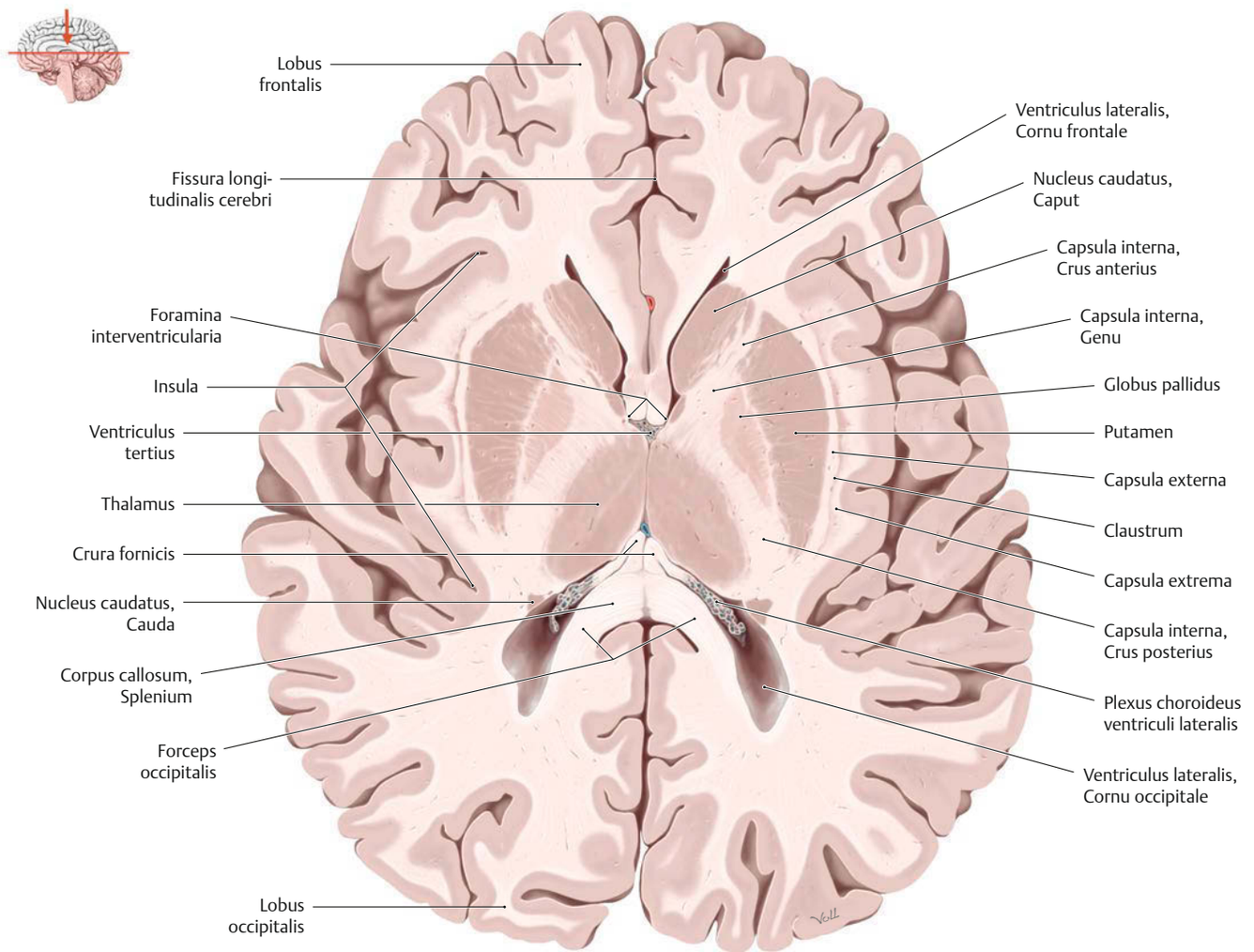


D Ventrikelsystem von lateral



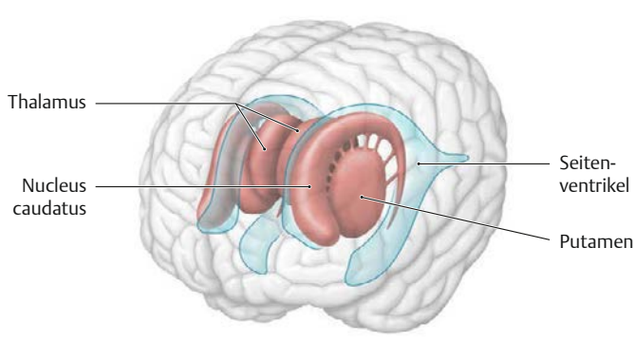
E Corpus callosum und Fornix

12.8 Horizontalschnitte III und IV



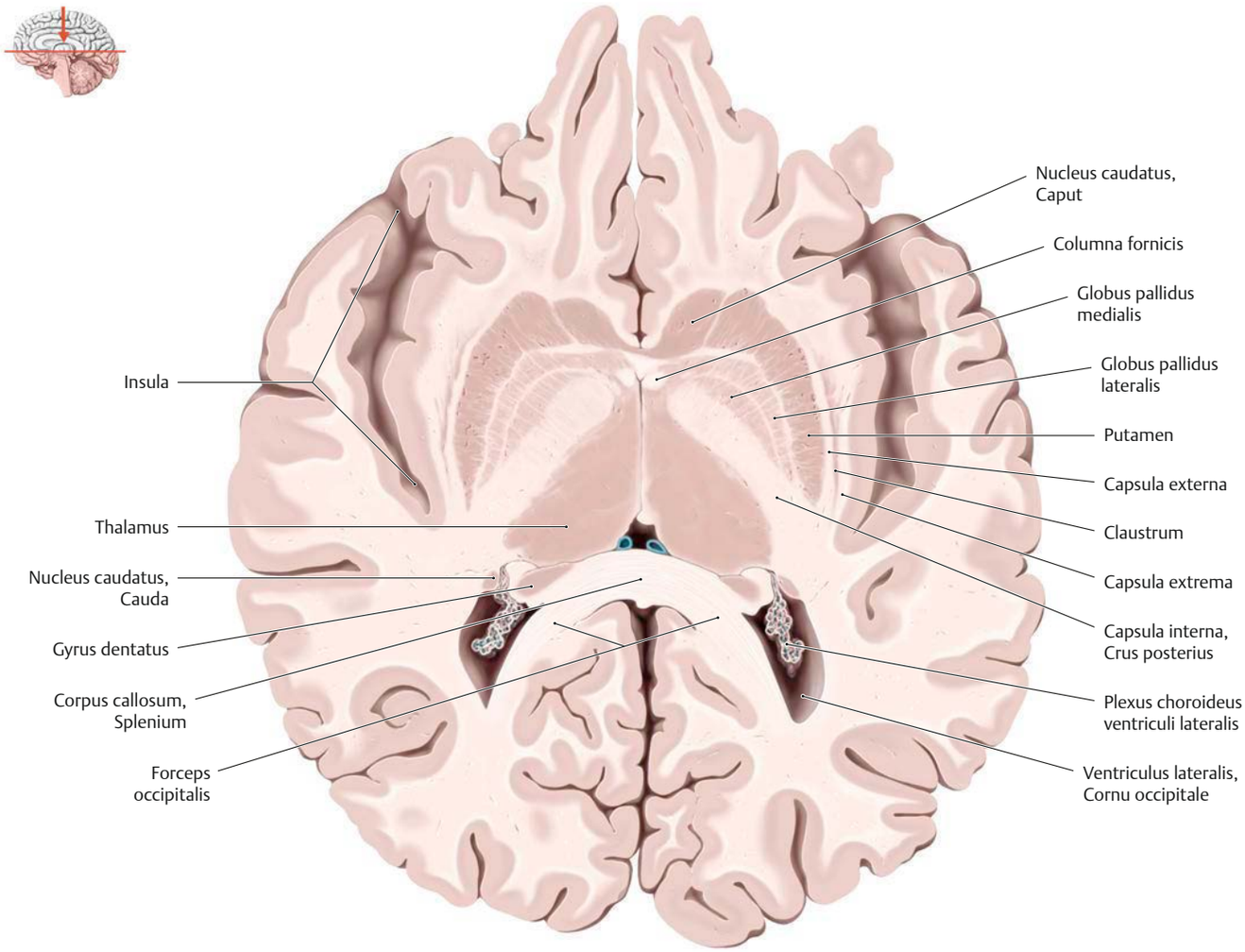
A Horizontalschnitt durch das Gehirn III

Die Seitenventrikel werden durch die *Foramina interventricularia* (Monroi) mit dem III. Ventrikel verbunden; sie liegen unmittelbar vor dem Thalamus (s. **D**, S. 433). Die Kerngebiete des Telencephalon bilden die zentrale graue Substanz des Großhirns. Die räumliche Beziehung zwischen Nucleus caudatus und Thalamus wird in **B** verdeutlicht. Frontal ist der Nucleus caudatus größer, okzipital der Thalamus. Während Nucleus caudatus und Putamen zum motorischen System und zum Telencephalon gehören, ist der Thalamus Teil des sensorischen Systems und wird dem Diencephalon zugeordnet. Der *Nucleus caudatus* wird im Horizontalschnitt wegen seines gekrümmten Verlaufs zweimal getroffen. Der Globus pallidus, der einen Teil des motorischen Systems darstellt, ist zum ersten Mal angeschnitten. Die Rinde der Insel (Insula) wird erkennbar, unmittelbar medial von ihr liegt das *Claustrum.* Die *Crura fornices* liegen dem Thalamus parietal an (s. auch **E**, S. 433), sie vereinigen sich etwas kranialer zum Corpus fornicis, das unmittelbar unterhalb des Balkens liegt und im vorangegangenen Schnitt getroffen ist (s. **C**, S. 433). Der Verlauf der Capsula interna ist in dieser Schnittebene ebenso deutlich wie in der vorhergehenden.

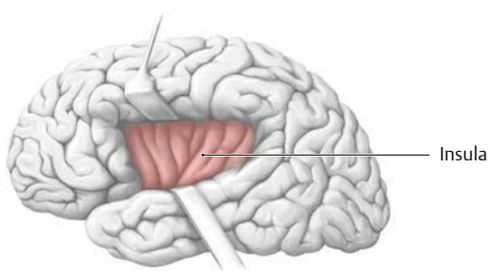


B Räumliche Beziehung zwischen Nucleus caudatus, Putamen, Thalamus und Seitenventrikeln

Ansicht von schräg vorne links.

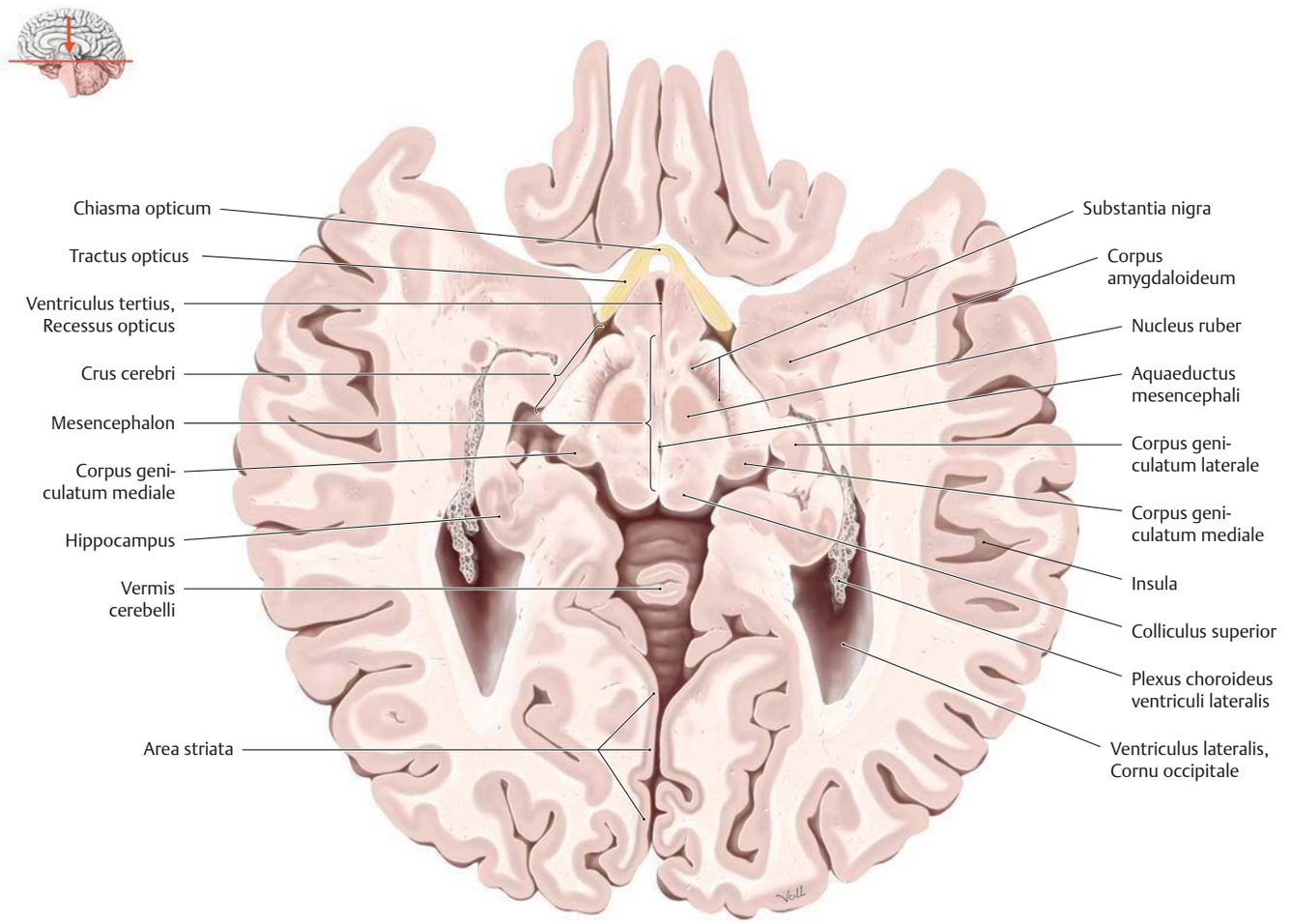


C Horizontalschnitt durch das Gehirn IV
Die schon in der vorigen Abbildung angeschnittenen Kerngebiete erscheinen als eine nahezu kreisrunde Masse in der Mitte des Gehirns. Sie wird von der grauen Substanz der Hirnrinde ummantelt, so dass in dieser Darstellung die Bezeichnung Pallium = Hirnmantel besonders deutlich wird. Vom Balken ist nur noch der okzipitale Abschnitt, das *Splenium corporis callosi,* angeschnitten (s. **E**, S. 433). Von der Insel *(Insula)* ist der basale Anteil angeschnitten. Die Insel ist ein Rindenabschnitt, der von außen durch andere Rindenbezirke überdeckt wurde (sog. Opercula). Vergleiche mit den vorigen Schnitten (z. B. mit **A** und Schema **D**). In den beiden Seitenventrikeln ist der Plexus choroideus zu erkennen.

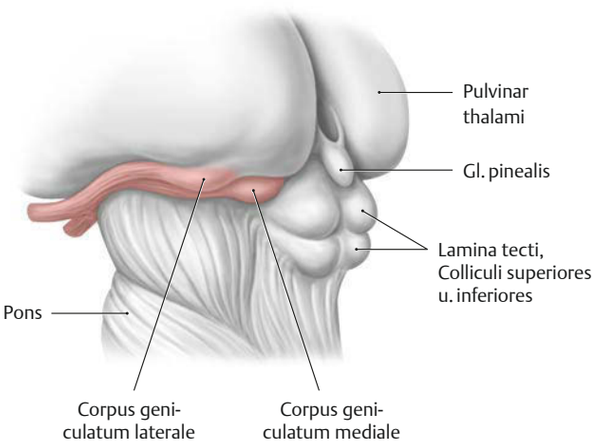


D Linke Inselregion
Ansicht von lateral.

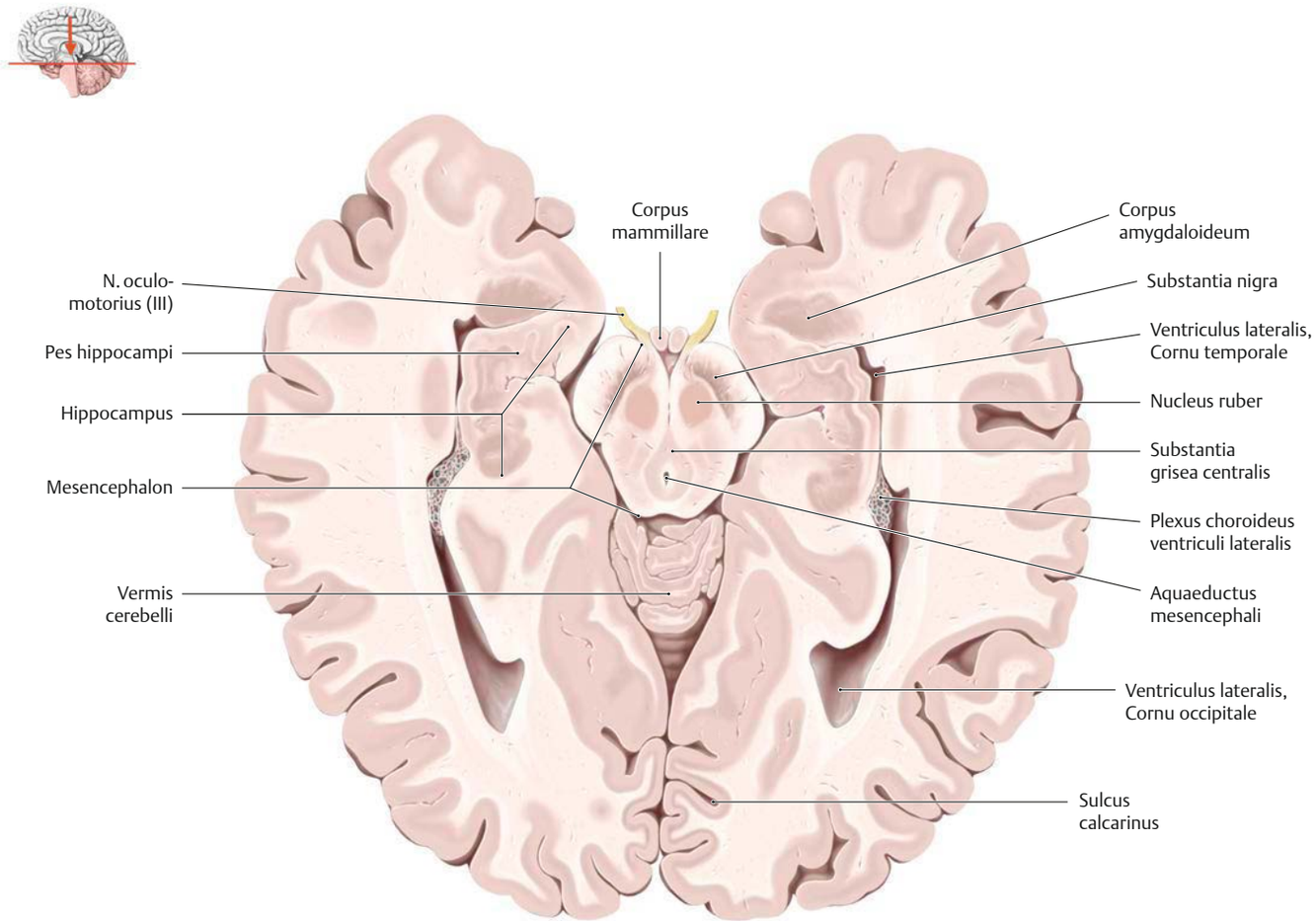
12.9 Horizontalschnitte V und VI



A Horizontalschnitt durch das Gehirn V
In diesem Schnitt sind der Aquaeductus mesencephali, der basale Abschnitt des III. Ventrikels (vgl. auch **B**, S. 422) und der *Recessus opticus* getroffen. Während der III. Ventrikel in dieser Ebene besonders schmal ist, ist das Ventrikelsystem im Übergang zu den beiden Cornua occipitalia sehr großflächig angeschnitten. Das Mittelhirn *(Mesencephalon)* ist in dieser Serie zum 1. Mal in seinem oralen Abschnitt angeschnitten (Achtung: Die Lagebezeichnung bezieht sich auf die Hirnstammachse!). Man erkennt die Hirnschenkel *(Crura cerebri),* die *Substantia nigra* und die oberen Hügel der Lamina tecti *(Colliculi superiores).* Als Struktur des *Diencephalon* erkennt man in der gleichen Ebene das *Corpus geniculatum mediale* und *laterale* (nur rechts angeschnitten, vgl. **B**) sowie den *Tractus opticus,* eine Ausstülpung des Diencephalon.
Beachte die unterschiedliche entwicklungsgeschichtliche Zuordnung eng benachbarter Strukturen: Corpus geniculatum mediale und laterale sind Teil des Diencephalon, Colliculus superior (und inferior, nicht angeschnitten), die zusammen die Lamina tecti (quadrigemina, Vierhügelplatte) bilden, sind Teil des Mesencephalon. Corpus geniculatum laterale und Colliculus superior sind Teil der Sehbahn; Corpus geniculatum mediale und Colliculus inferior Teil der Hörbahn.

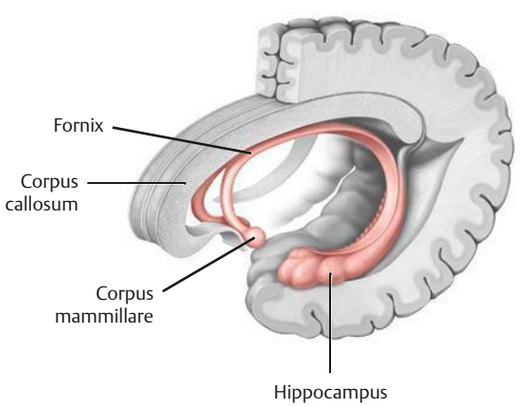


B Pons, Mittelhirn und angrenzendes Diencephalon
Ansicht von links schräg dorsal.



C Horizontalschnitt durch das Gehirn VI

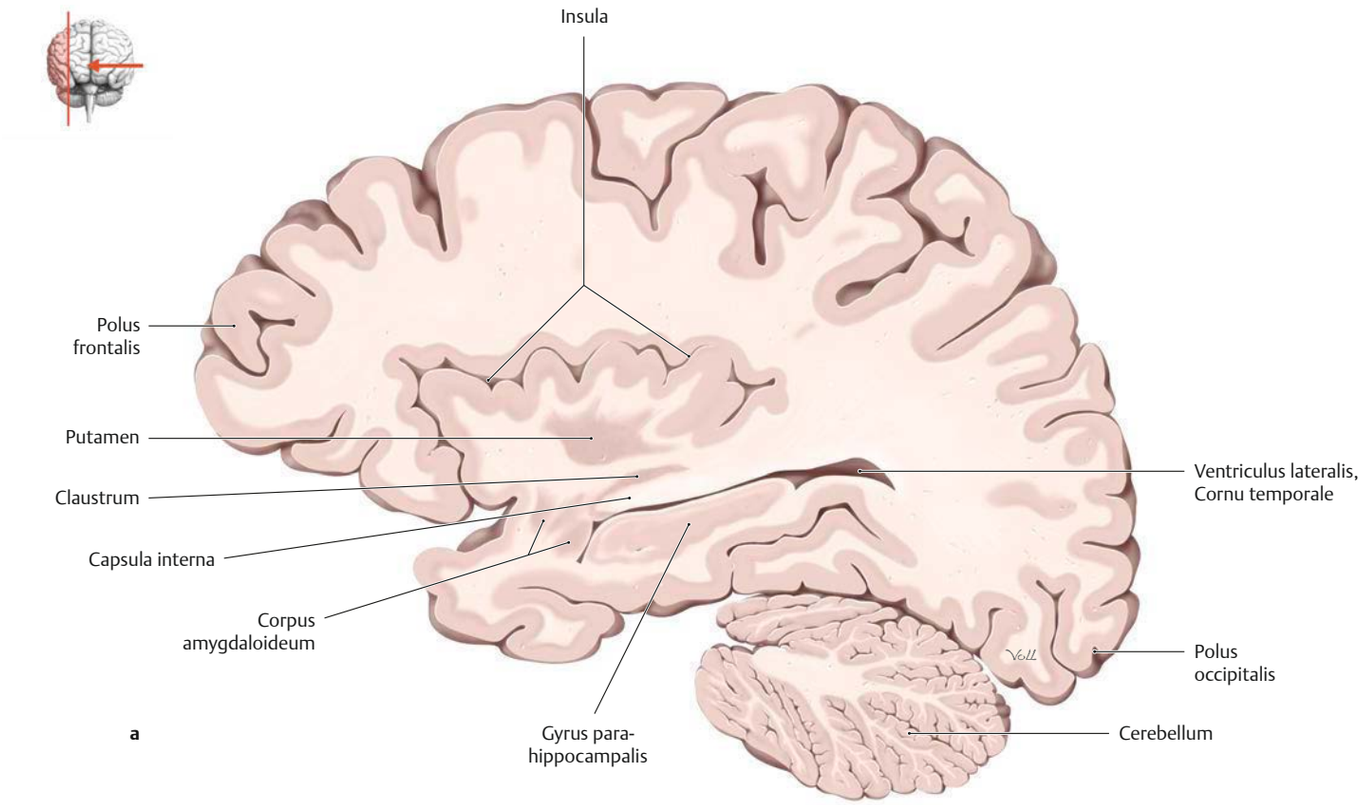
Der flächenmäßig größte Anteil in dieser Schnittebene gehört zum Telencephalon, nur um die Mittellinie liegen Teile des Mesencephalon und das Kleinhirn. Frontal sind an der Medianseite des Frontallappens des Telencephalon die *Corpora amygdaloidea* zu erkennen. Kaudal wird der *Sulcus calcarinus* mit der in der Umgebung liegenden Sehrinde angeschnitten. Das *Hinter- und das Unterhorn* des Seitenventrikels mit dem darin liegenden Plexus choroideus ist angeschnitten. Vom *Mesencephalon* sind die Substantia nigra und Nucleus ruber als wichtige Strukturen angeschnitten, beide sind Teil des motorischen Systems. Die Corpora mammillaria sind Teil des Zwischenhirns *(Diencephalon)* und werden über den hier nicht angeschnittenen Gewölbe (Fornix) mit dem Hippocampus (Teil des *Telencephalon*) verbunden. Corpora mammillaria und Hippocampus liegen in einer horizontalen Ebene, der Pes hippocampi liegt sogar fast in einer Frontalebene mit dem Mammillarkörper. Der Fornix hat also einen stark gekrümmten Verlauf (s. **D**). Weitere Horizontalschnitte in tieferen Schichten erbringen wenig zusätzliche Information für das Großhirn. Deshalb wurde darauf verzichtet. Den Strukturen des Hirnstammes, die unterhalb des Mesencephalon liegen, sind eigene Schnittserien gewidmet (s. S. 362 ff).



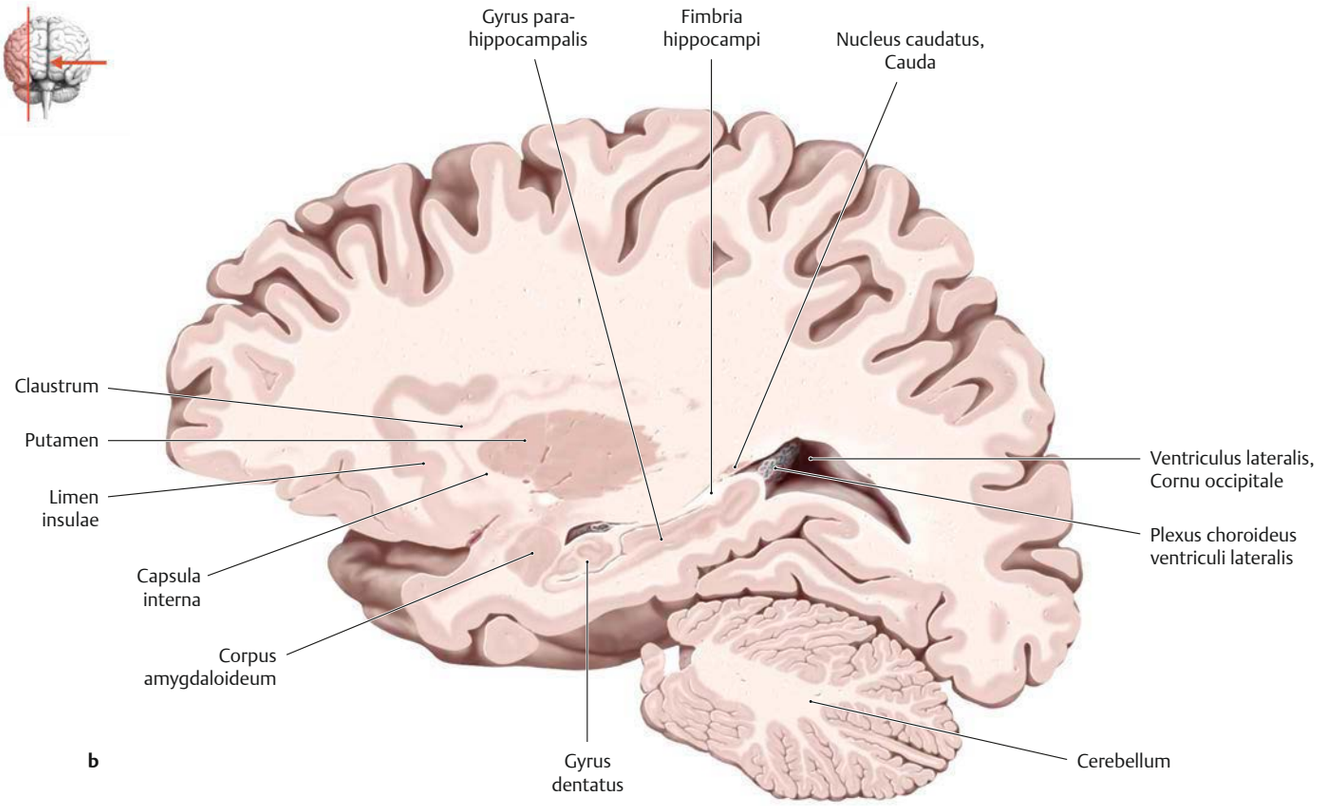
D Gewölbe (Fornix)

Ansicht von schräg vorne links.

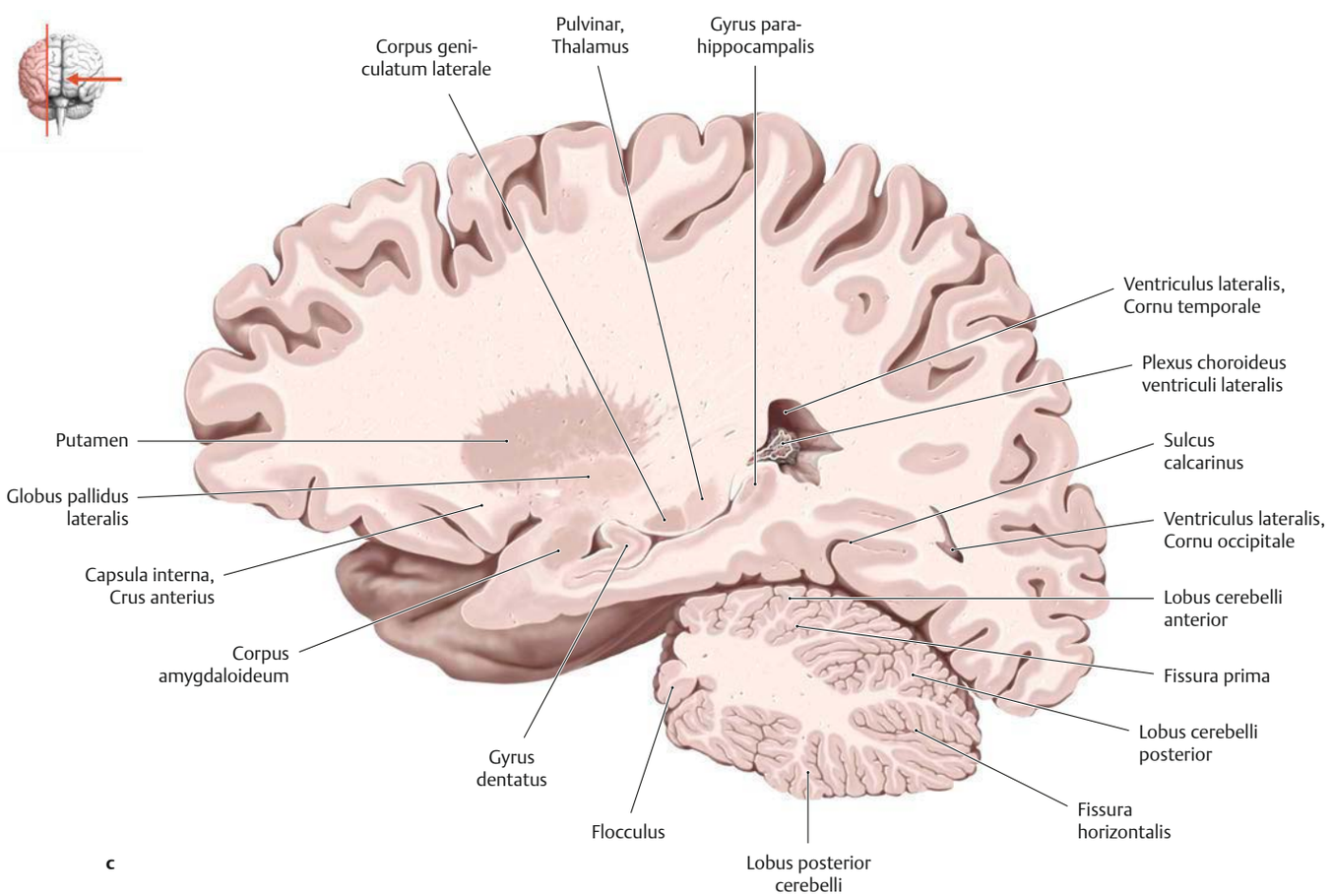
12.10 Sagittalschnitte I – III



A Sagittalschnitte durch das Gehirn I – III
Ansicht von links. Vom Ventrikelsystem ist in **a** das *Cornu temporale* des Seitenventrikels getroffen, in **b** u. **c** erkennt man zusätzlich das etwas medialer gelegene *Cornu occipitale;* die relative Lage der beiden Hörner verdeutlicht ein Schema (s. **C**, S. 424). Das *Corpus amygdaloideum* liegt unmittelbar frontal des Cornu temporale und in einer Sagittalebene mit dem Gyrus parahippocampalis (**a** – **c**), was auch im Horizontalschnitt gut zu sehen ist (s. **C**, S. 437). Als weitere wichtige Struktur ist in **a** die *Inselrinde* angeschnitten. Die Inselrinde ist ein in die Tiefe verlagerter Rindenabschnitt (vgl. die Frontalschnitte auf S. 421 und den folgenden Seiten) und nur im lateralsten Schnitt gut getroffen. Ganz medial (**c**) ist der *Sulcus calcarinus* erstmals erkennbar; er ist auf den folgenden Schnitten besser zu sehen (s. S. 440). Das *Putamen* ist der am weitesten lateral gelegene Basalkern des Telencephalon (vgl. **A**, S. 424). Er ist deshalb bereits im ersten Schnitt getroffen (**a**). In den medialer gelegenen Schnitten stellt er sich größer dar (**b** u. **c**). Vom *Nucleus caudatus* ist gerade noch der im Vergleich zu Kopf und Körper sehr weit lateral gelegene Schwanz angeschnitten (**b**; s. auch **C**, S. 424 u. **E**, S. 425). Ventral des Putamen ist noch etwas vom *Claustrum* zu sehen (**a**), dessen größter Teil allerdings lateral des Putamen liegt (s. z. B. **A**, S. 424) und hier bereits weggeschnitten ist. Der *Globus pallidus* (Pallidum) liegt medial des Putamen (s. **D**, S. 423); aufgrund der schalenförmigen Anordnung können aber in einem Sagittalschnitt wie hier beide getroffen werden, wobei das Pallidum dann *basal* des Putamen liegt (**c**). Mit dem *Corpus geniculatum laterale* ist eine der am laterokaudalsten gelegenen Thalamusstrukturen getroffen. Durch die Capsula interna (**b** u. **c**) ziehen die langen auf- und absteigenden Bahnen.

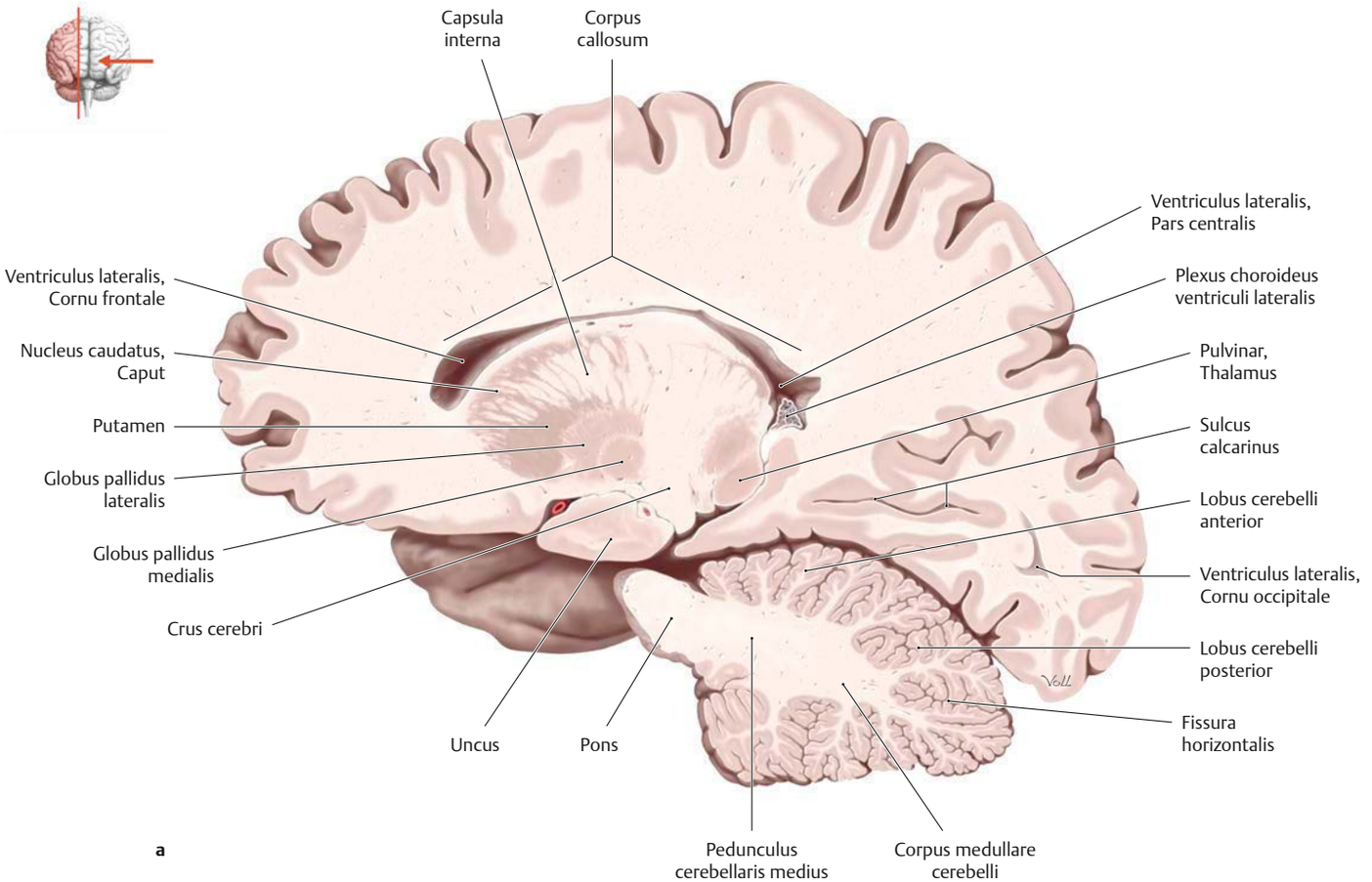

Gyrus para-
hippocampalis
Fimbria
hippocampi
Nucleus caudatus,
Cauda
Claustrum
Putamen
Limen
insulae
Capsula
interna
Corpus
amygdaloideum
Ventriculus lateralis,
Cornu occipitale
Plexus choroideus
ventriculi lateralis
Gyrus
dentatus
Cerebellum

b

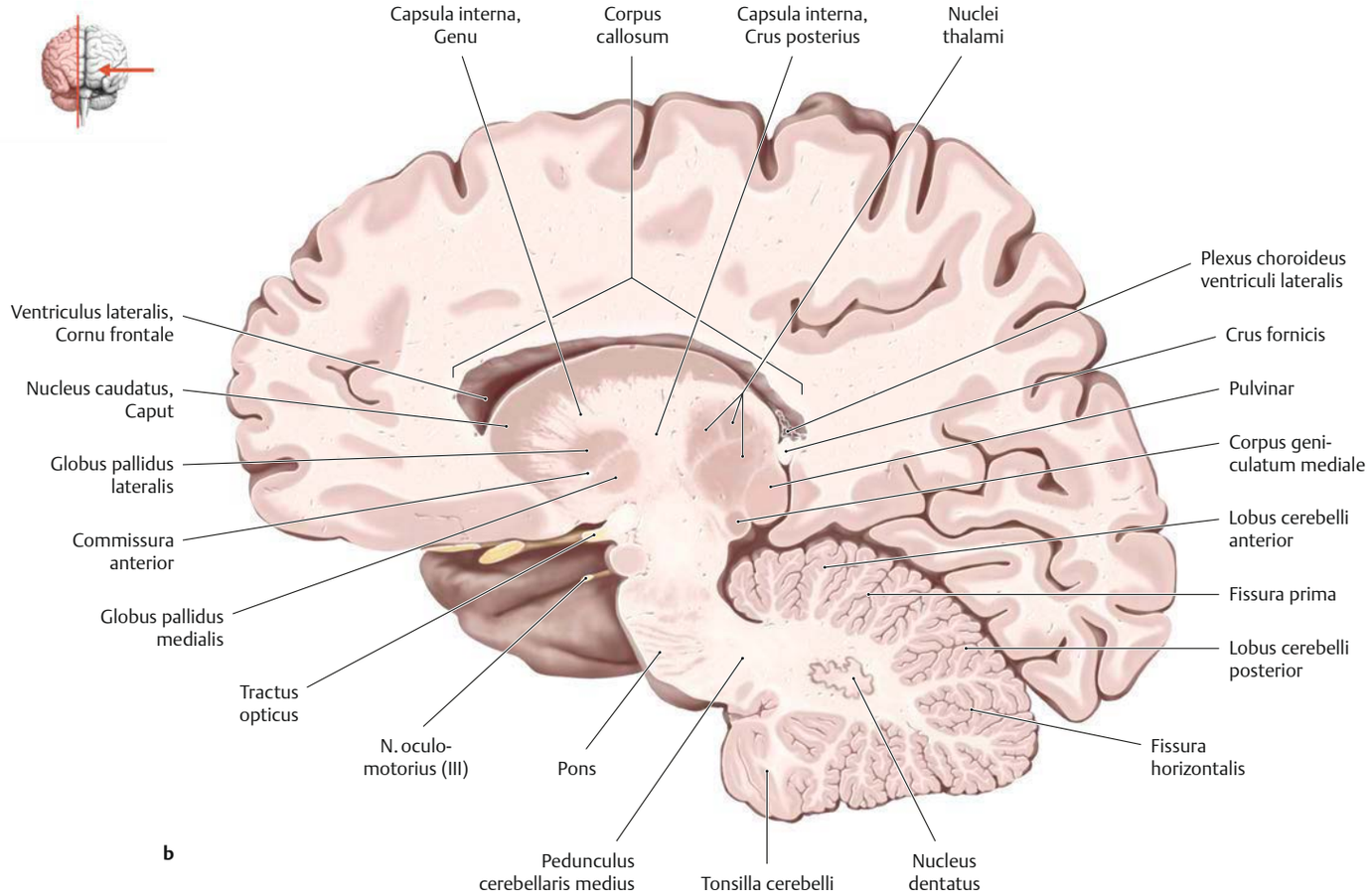

Corpus geni-
culatum laterale
Pulvinar,
Thalamus
Gyrus para-
hippocampalis
Ventriculus lateralis,
Cornu temporale
Plexus choroideus
ventriculi lateralis
Putamen
Globus pallidus
lateralis
Capsula interna,
Crus anterius
Corpus
amygdaloideum
Sulcus
calcarinus
Ventriculus lateralis,
Cornu occipitale
Lobus cerebelli
anterior
Fissura prima
Lobus cerebelli
posterior
Gyrus
dentatus
Flocculus
Fissura
horizontalis
Lobus posterior
cerebelli

c

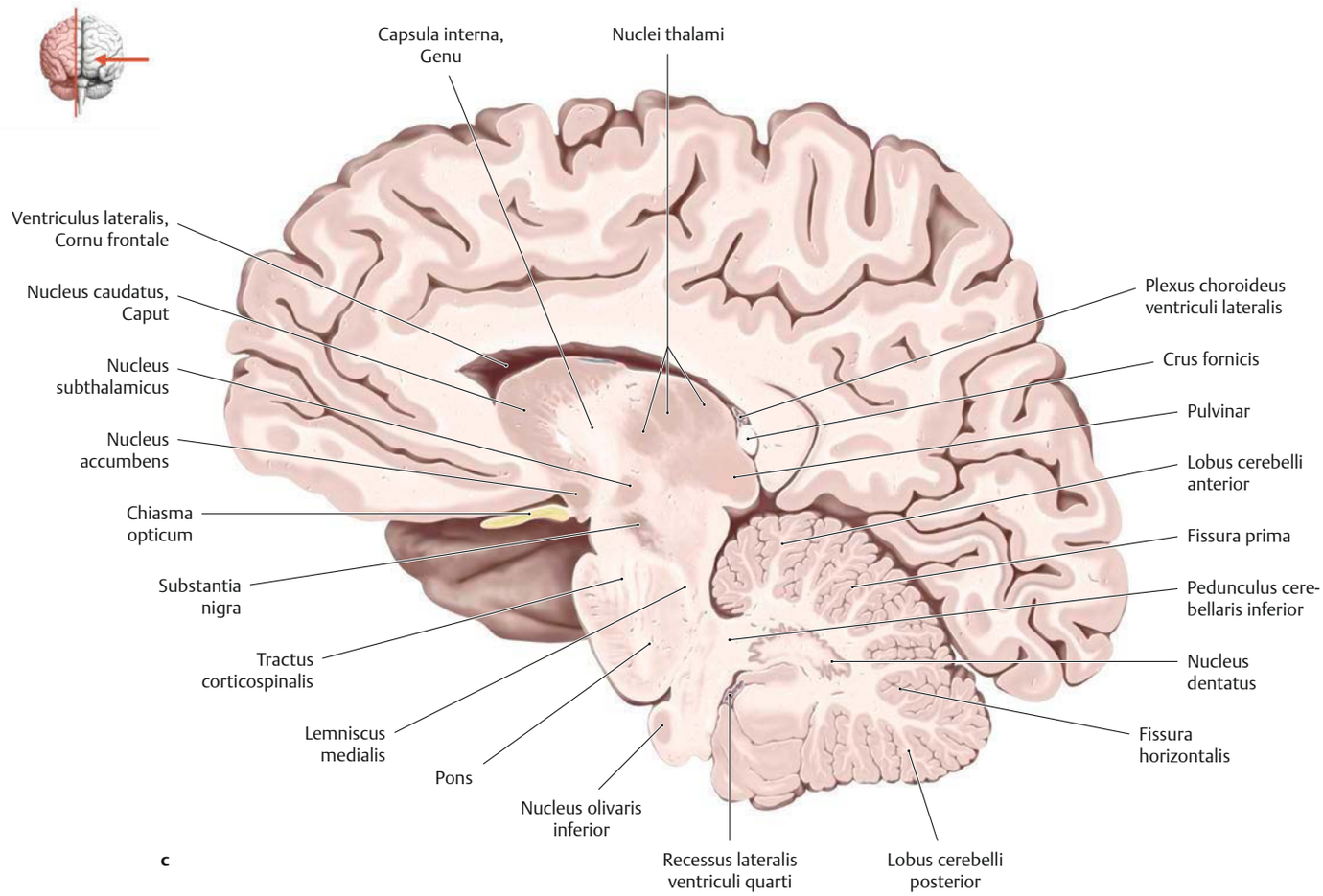
12.11 Sagittalschnitte IV–VI



A Sagittalschnitte durch das Gehirn IV–VI
Ansicht von links. Vom Ventrikelsystem dominieren auf allen drei Schnitten die *Seitenventrikel* mit dem Cornu frontale und der Pars centralis, während der Übergang in das lateraler liegende Cornu occipitale nur auf dem ersten Schnitt (**a**) gerade noch sichtbar ist. Vom IV. Ventrikel ist der Recessus lateralis in **c** gerade eben noch angeschnitten. In der weißen Substanz erkennt man das gegen die übrige weiße Substanz nicht scharf abzugrenzende *Corpus callosum,* durch das funktionell gleichartige Areale beider Hirnhälften miteinander verbunden werden (Kommissurenbahn, **a**–**c**). Vom *Globus pallidus* war bisher in den Sagittalschnitten nur der laterale Anteil zu sehen (s. S. 439), jetzt ist auch der mediale Teil angeschnitten (**a** u. **b**), im medialsten Schnitt (**c**) ist er dann nicht mehr vorhanden. Je weiter wir uns nach medial bewegen, desto kleiner wird das Putamen, während der Nucleus caudatus immer prominenter wird (**a**–**c**). Nucleus caudatus und Putamen werden als Streifenkörper *(Striatum)* bezeichnet, der Grund für diese Bezeichnung wird in **a** besonders evident. Die weiße Substanz, welche die grauen Anteile des Striatums trennt, ist die *Capsula interna.* In dem Maße wie Putamen und Globus pallidus (letzterer in **c** nicht mehr vorhanden) in den Hintergrund treten, werden die Kerngebiete des medialer liegenden Thalamus (in **c**: Nuclei ventrales anterior, posterior und lateralis; Teil des Diencephalon) unterhalb des Seitenventrikels sichtbar. Aus seiner Lage wird ersichtlich, warum der Thalamus auch als *Thalamus dorsalis* bezeichnet wird. In **c** ist im Mesencephalon, das unterhalb des Diencephalon liegt, die *Substantia nigra* angeschnitten, in der darunter gelegenen Medulla oblongata der Nucleus olivaris inferior angeschnitten. Im Kleinhirn wird der *Nucleus dentatus* sichtbar. Die auf- und absteigenden Bahnen, die bisher nur in der Capsula interna sichtbar waren, werden nun in ihrer Fortsetzung im Pons, einem Abschnitt des Hirnstamms, sichtbar (**c**, Tractus corticospinalis).
Der in **c** angeschnittene Nucleus accumbens ist ein wichtiger Teil des Belohnungssystems des Gehirns, das z. B. Suchtverhalten steuert und bei schweren Depressionen gestört sein kann.

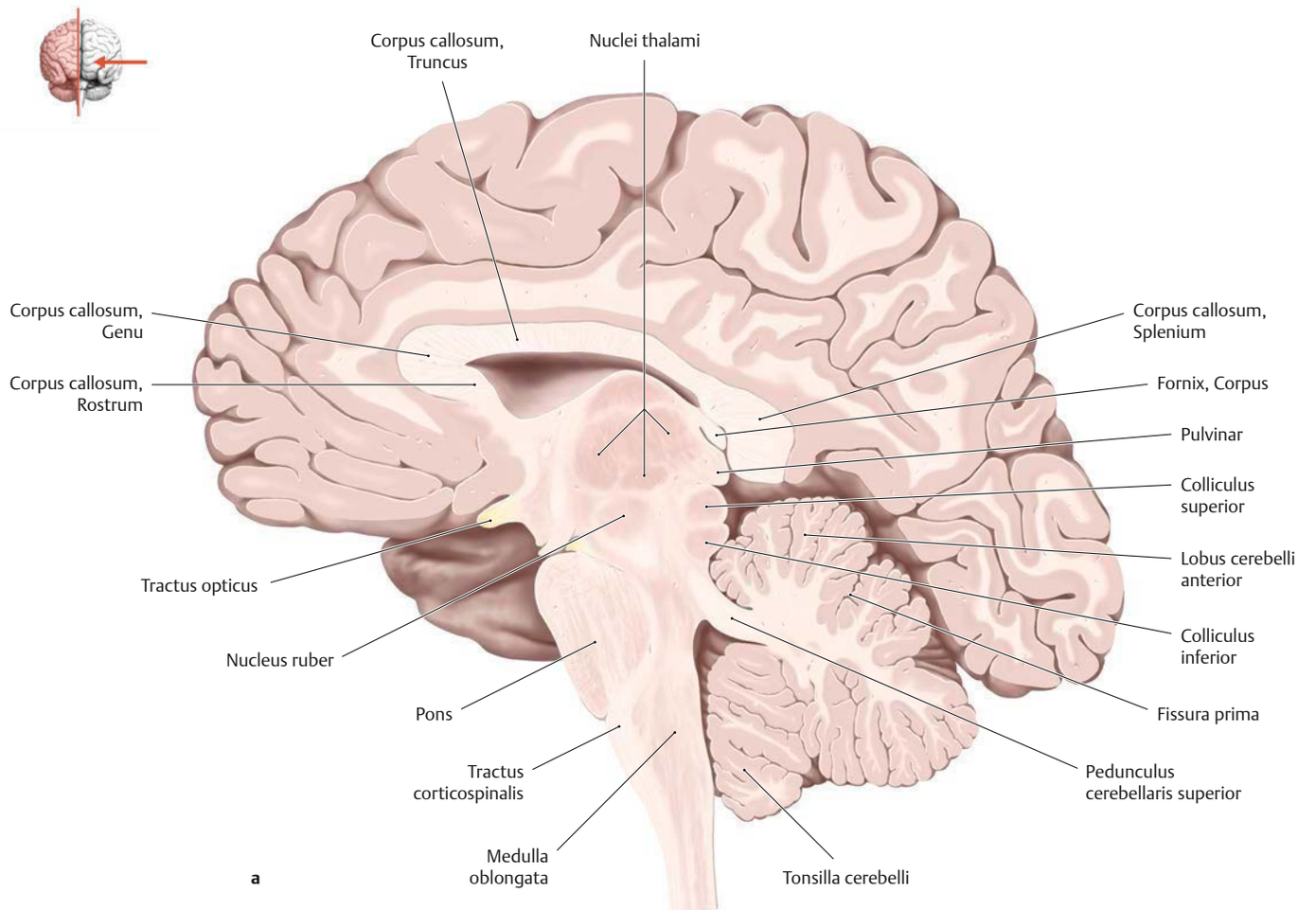

Capsula interna, Genu
Corpus callosum
Capsula interna, Crus posterius
Nuclei thalami
Plexus choroideus ventriculi lateralis
Ventriculus lateralis, Cornu frontale
Crus fornicis
Nucleus caudatus, Caput
Pulvinar
Globus pallidus lateralis
Corpus geni-culatum mediale
Commissura anterior
Lobus cerebelli anterior
Fissura prima
Globus pallidus medialis
Lobus cerebelli posterior
Tractus opticus
N. oculo-motorius (III)
Pons
Fissura horizontalis
Pedunculus cerebellaris medius
Tonsilla cerebelli
Nucleus dentatus

b

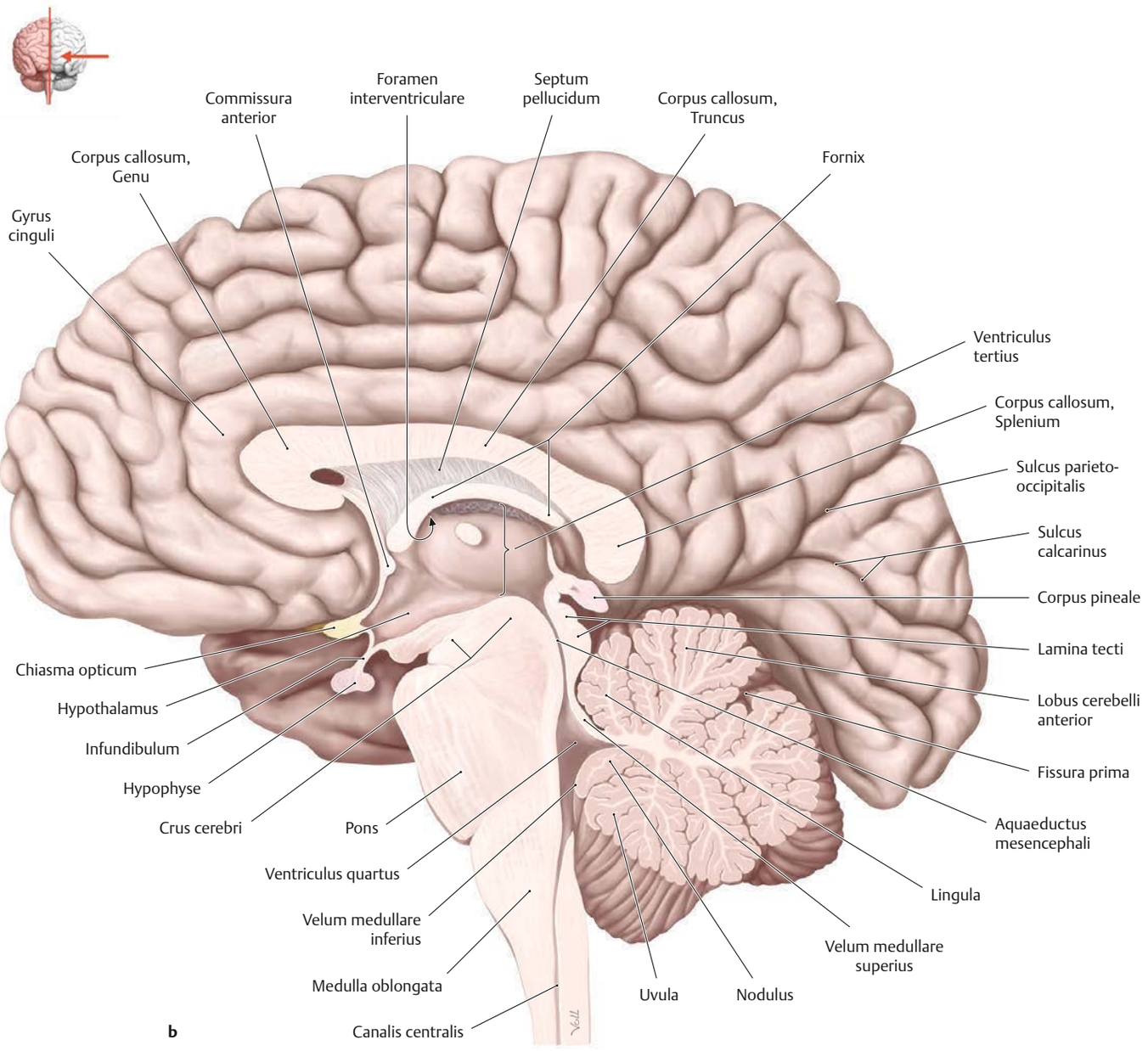

Capsula interna, Genu
Nuclei thalami
Ventriculus lateralis, Cornu frontale
Plexus choroideus ventriculi lateralis
Nucleus caudatus, Caput
Crus fornicis
Nucleus subthalamicus
Pulvinar
Nucleus accumbens
Lobus cerebelli anterior
Chiasma opticum
Fissura prima
Substantia nigra
Pedunculus cere-bellaris inferior
Tractus corticospinalis
Nucleus dentatus
Lemniscus medialis
Fissura horizontalis
Pons
Nucleus olivaris inferior
Recessus lateralis ventriculi quarti
Lobus cerebelli posterior

c

12.12 Sagittalschnitte VII und VIII



A Sagittalschnitte durch das Gehirn VII und VIII
Ansicht von links. Dieser Schnitt (**a**) liegt jetzt so weit medial, dass die wichtigsten Mittelhirnstrukturen angetroffen werden: Substantia nigra, Nucleus ruber und jeweils einer der oberen und unteren Vierhügel, Colliculus superior und inferior. Vor der unteren Olive verläuft im verlängerten Mark als Teil der Bahnsysteme die Pyramidenbahn (Tractus corticospinalis). Das Corpus callosum ist in seiner ganzen Ausdehnung getroffen. Die Fornixbahn ist zum größten Teil der Länge nach angeschnitten (**b**). Das Kleinhirn erreicht seine größte Ausdehnung, es bildet hier das Dach des IV. Ventrikels (**b**). Das Septum pellucidum, das sich zwischen Fornix und Corpus callosum ausspannt, ist z. T. mit angeschnitten.
Die in **b** dargestellte Hypophyse verbleibt bei einem entnommenen Gehirn in der Sella turcica, d. h. sie reißt bei der Herausnahme des Gehirns aus dem Schädel immer ab.



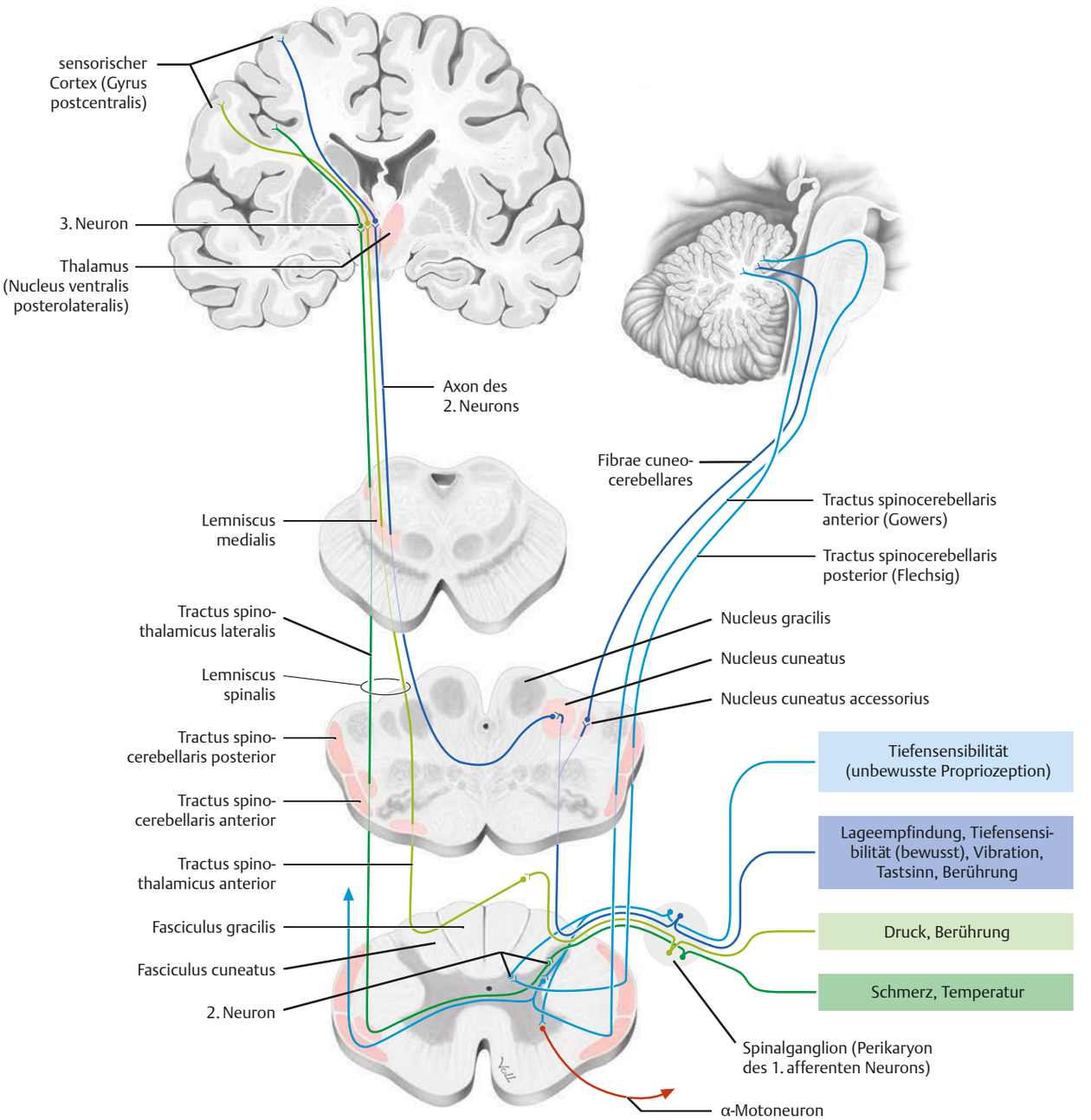
B Zuordnung der wichtigsten, in den Schnittserien erwähnten Strukturen zu den einzelnen Hirnabschnitten

Telencephalon (Endhirn)
- Capsula externa
- Capsula extrema
- Capsula interna
- Claustrum
- Commissura anterior
- Corpus amygdaloideum
- Corpus callosum
- Fornix
- Globus pallidus
- Gyrus cinguli
- Hippocampus
- Nucleus caudatus
- Putamen
- Septum pellucidum

Diencephalon (Zwischenhirn)
- Corpus geniculatum laterale
- Corpus geniculatum mediale
- Gl. pinealis
- Pulvinar thalami
- Thalamus
- Tractus opticus
- Corpora mammillaria

Mesencephalon (Mittelhirn)
- Aquaeductus mesencephali
- Colliculus superior
- Colliculus inferior
- Lamina tecti (= quadrigemina)
- Nucleus ruber
- Substantia nigra
- Crus cerebri

13.1 Sensorisches System: Synopse der Bahnsysteme



A Vereinfachtes Schema sensibler Rückenmarksbahnen

In der Körperperipherie werden die Reize durch unterschiedliche Rezeptoren wahrgenommen und über die hier dargestellten sensiblen (afferenten) Bahnen zu Groß- bzw. Kleinhirn weitergeleitet (Näheres s. **B**). Die **Propriozeption** dient der räumlichen Wahrnehmung der Lage der Extremitäten (= Lagesinn oder Lageempfindung). Die *Informationen* zur Propriozeption (= Tiefensensibilität) sind komplex: Man unterscheidet Stellungssinn (Stellung der Gelenke zueinander), Bewegungssinn (Geschwindigkeit und Richtung von Gelenkbewegungen) und Kraftsinn (Information über die Muskelkraft, die die Gelenkbewegungen hervorruft). Zudem unterscheidet man bewusste und unbewusste Propriozeption.

- Die *bewusste Propriozeption* wird über die Hinterstrangbahnen (Fasciculus gracilis und Fasciculus cuneatus) nach Umschaltung in deren Kernen (Nucleus gracilis bzw. cuneatus) zum *Thalamus* gemeldet und von dort an den *sensorischen Cortex* (Gyrus postcentralis) weitergeleitet, wo diese Information bewusst wird („Dass ich die linke Hand zur Faust geballt habe, weiß ich auch bei geschlossenen Augen.").
- Die *unbewusste Propriozeption*, die es mir ermöglicht, ohne nachzudenken Fahrrad zu fahren und Treppen zu steigen, wird über die Kleinhirnseitenstrangbahnen nur zum *Kleinhirn* geleitet, dort findet keine Bewusstseinsbildung statt.

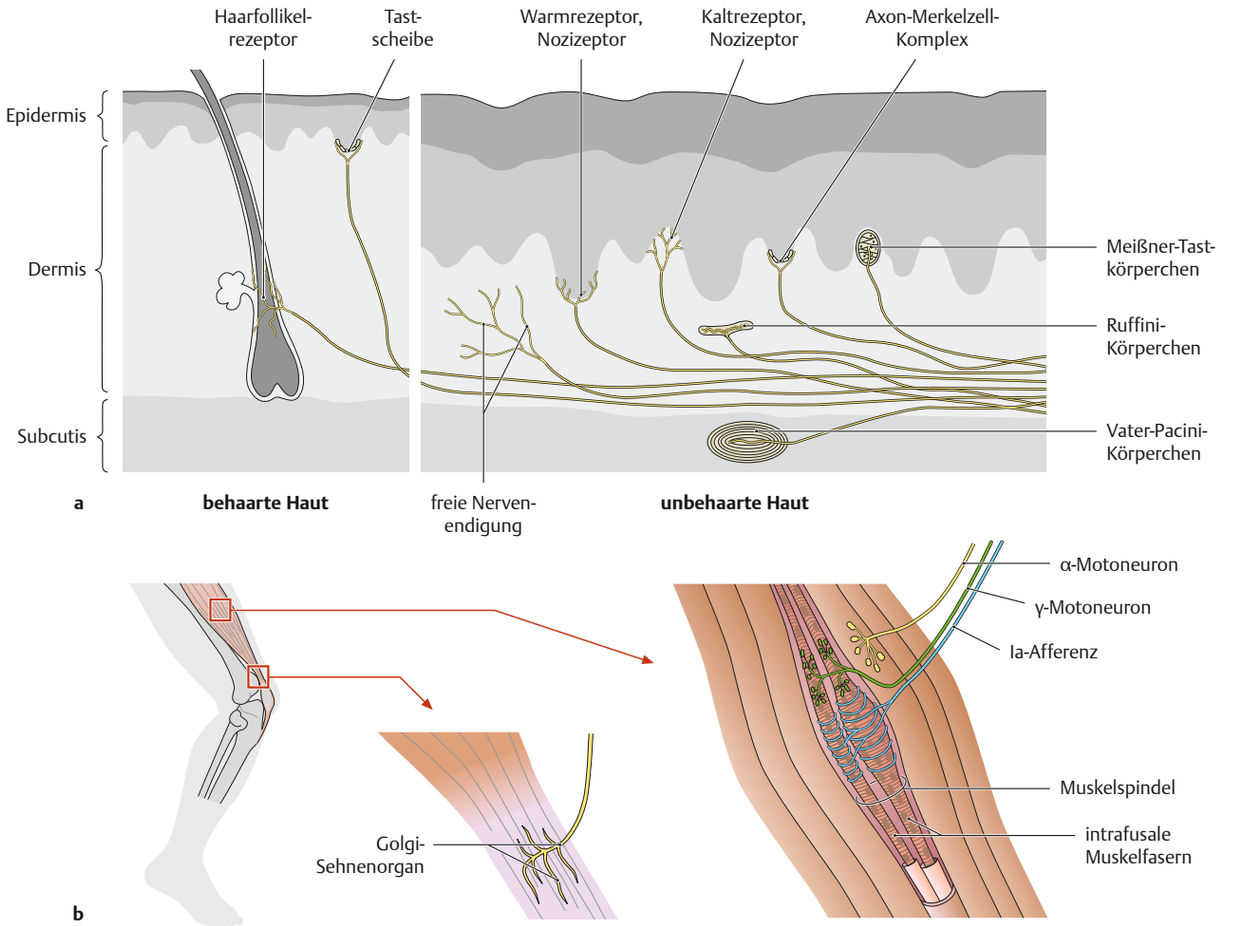
Die sensorische (= sensible) Information aus dem Kopfbereich wird über den N. trigeminus vermittelt und ist hier nicht dargestellt (s. S. 448).

B Synopse der sensiblen Bahnsysteme

Die verschiedenen Reize werden über unterschiedliche Rezeptoren aufgenommen und über die peripheren Nerven in das Rückenmark weitergeleitet. Die Perikarya der jeweils 1. afferenten Neurone (mit dem die Rezeptoren verbunden sind) liegen für alle Bahnen im Spinalganglion. Deren Axone ziehen auf unterschiedlichen Bahnen durch das Rückenmark zum 2. Neuron. Deren Axone ziehen entweder über eine weitere Umschaltung in einem 3. Neuron zum Großhirn oder auf direktem Wege zum Kleinhirn.

Name der Bahn	Qualität der Bahn	Rezeptor	Verlauf im Rückenmark	Zentraler Verlauf (oberhalb des Rückenmarks)
Vorderseitenstrangbahnen				
Tractus spinothalamicus anterior	• grobe Tast- und Berührungsempfindungen	• Haarkörbe • verschiedene Hautrezeptoren	Das Perikaryon des 2. Neurons liegt im Hinterhorn und kann bis zu 15 Segmente ober- bzw. bis zu 2 Segmente unterhalb des Eintritts des 1. Neurons liegen; seine Axone kreuzen in der Commissura anterior (s. S. 402)	Die Axone des 2. Neurons (Lemniscus spinalis) enden am Nucleus ventralis posterolateralis des Thalamus (s. **D**, S. 347); dort Umschaltung auf das 3. Neuron, dessen Axone im Gyrus postcentralis enden
Tractus spinothalamicus lateralis	• Schmerz- und Temperaturempfinden	• meist freie Nervenendigungen	Das Perikaryon des 2. Neurons liegt in der Substantia gelatinosa; sein Axon kreuzt auf gleicher Höhe in der Commissura anterior (s. S. 402)	Die Axone des 2. Neurons (Lemniscus spinalis) enden am Nucleus ventralis posterolateralis des Thalamus; dort Umschaltung auf das 3. Neuron, dessen Axone im Gyrus postcentralis enden
Hinterstrangbahnen				
Fasciculus gracilis	• feine Tast- und Berührungsempfindungen • bewusste Propriozeption der *unteren* Extremität	• Vater-Pacini-Körperchen • Muskel- und Sehnenrezeptoren	Die Axone des 1. Neurons ziehen zum Nucleus gracilis in der unteren Medulla oblongata (2. Neuron) (s. S. 404 u. **B**, S. 361)	Die Axone des 2. Neurons kreuzen im Hirnstamm und ziehen als Bestandteil des Lemniscus medialis (s. **B**, S. 361) zum Nucleus ventralis posterolateralis des Thalamus; dort Umschaltung auf das 3. Neuron, dessen Axone im Gyrus postcentralis enden
Fasciculus cuneatus	• feine Tast- und Berührungsempfindungen • bewusste Propriozeption der *oberen* Extremität	• Vater-Pacini-Körperchen • Muskel- und Sehnenrezeptoren	Die Axone des 1. Neurons ziehen zum Nucleus cuneatus in der unteren Medulla oblongata (2. Neuron) (s. S. 404 u. **B**, S. 361)	Die Axone des 2. Neurons kreuzen im Hirnstamm und ziehen als weiterer Bestandteil des Lemniscus medialis (s. **B**, S. 361) zum Nucleus ventralis posterolateralis des Thalamus; dort Umschaltung auf das 3. Neuron, dessen Axone im Gyrus postcentralis enden
Kleinhirnseitenstrangbahnen				
Tractus spinocerebellaris anterior (Gowers)	• unbewusste gekreuzte und ungekreuzte Extero- und Propriozeption zum Kleinhirn	• Muskelspindeln • Sehnenrezeptoren • Gelenkrezeptoren • Hautrezeptoren	Das 2. Neuron liegt in der Hintersäule, im mittleren Anteil der grauen Substanz; die Axone des 2. Neurons verlaufen sowohl gekreuzt als ungekreuzt ohne nochmalige Umschaltung direkt zum Kleinhirn (s. S. 406)	Die Axone des 2. Neurons ziehen durch den Pedunculus cerebellaris superior zum Wurmanteil des Spinocerebellum (kein 3. Neuron!) (s. auch S. S. 371)
Tractus spinocerebellaris posterior (Flechsig)	• unbewusste ungekreuzte Extero- und Propriozeption zum Kleinhirn	• Muskelspindeln • Sehnenrezeptoren • Gelenkrezeptoren • Hautrezeptoren	Das 2. Neuron liegt im Nucleus thoracicus (Clarke-Säule, Stilling-Kern), an der Basis des Hinterhorns in der grauen Substanz; die Axone des 2. Neurons verlaufen nur ungekreuzt direkt zum Kleinhirn (s. S. 406)	Die Axone des 2. Neurons ziehen durch den Pedunculus cerebellaris inferior zum Wurmanteil des Spinocerebellum (kein 3. Neuron!) (s. auch S. 371)

13.2 Sensorisches System: Prinzipien der Reizverarbeitung



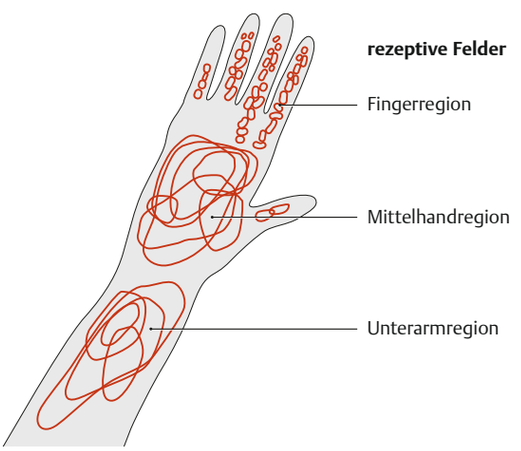
A Rezeptoren des somatosensorischen Systems

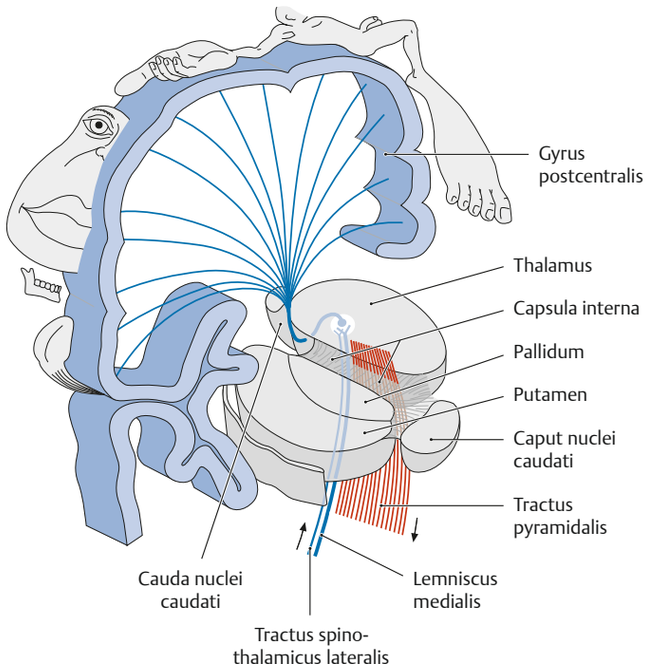
a Hautrezeptoren: Es gibt unterschiedliche Empfindungsqualitäten, die in der Körperperipherie durch verschiedene Rezeptoren wahrgenommen werden (hier dargestellt in einem Schnitt durch die behaarte und unbehaarte Haut). Sie nehmen die Reize auf und leiten sie über die peripheren Nerven in das Rückenmark weiter, wo sie umgeschaltet werden und durch definierte Bahnen in den sensorischen Cortex geleitet werden (s. S. 445). Nicht immer lassen sich Empfindungsqualitäten eindeutig bestimmten Rezeptoren zuordnen. Die Abbildung sagt auch nichts über die Häufigkeit der einzelnen Rezeptortypen aus. Nozizeptoren (= Schmerzrezeptoren) bestehen – wie Warm- und Kaltrezeptoren auch – aus freien Nervenendigungen. Die Nozizeptoren stellen etwa 50 % aller Rezeptoren dar.

b Gelenkrezeptoren: Die Tiefensensibilität (Propriozeption) umfasst Kraftsinn, Stellungssinn und Bewegungssinn. An ihrer Wahrnehmung sind Muskelspindeln, Sehnensensoren und Gelenksensoren (nicht gezeigt) beteiligt.

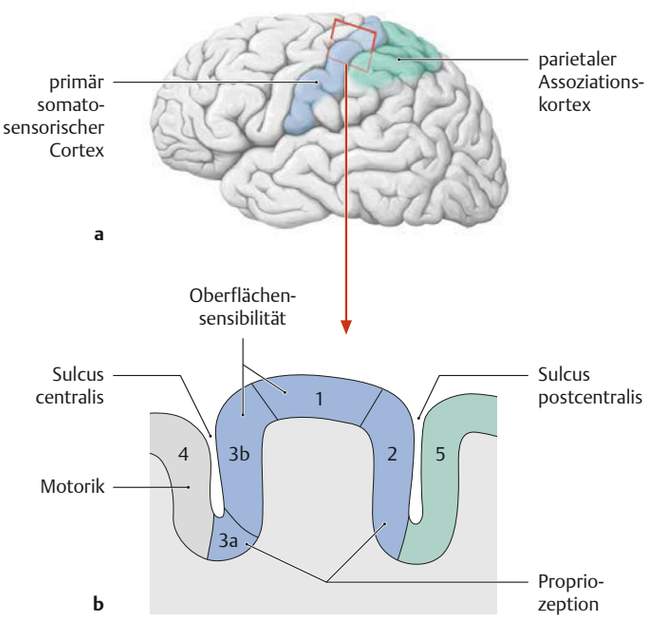
B Große rezeptive Felder kortikaler Module der oberen Extremität eines Primaten

Die kortikale Verarbeitung sensibler Informationen erfolgt durch sog. Module (s. **C**, S. 327). In dieser Abbildung wird die Größe der rezeptiven Felder eines Moduls deutlich. Dort, wo nicht so eine feine Auflösung der sensiblen Information nötig ist, versorgt ein Modul ein großes rezeptives Feld (z. B. Unterarm). An Orten, wo eine feinere Tastwahrnehmung erforderlich ist (z. B. Finger) versorgt ein Modul nur ein kleines rezeptives Feld. Die Größe dieser Felder bestimmt die Gestalt des sensorischen Homunkulus (s. **C**). Da ein Hautareal von mehreren Neuronen innerviert werden kann, überlappen sich rezeptive Felder. Vom rezeptiven Feld bis zum Cortex wird die Information über eine Kette von Neuronen und deren Axonen weitergeleitet. Diese Neurone bzw. deren Axone liegen an definierten Stellen im ZNS (Prinzip der Topik).

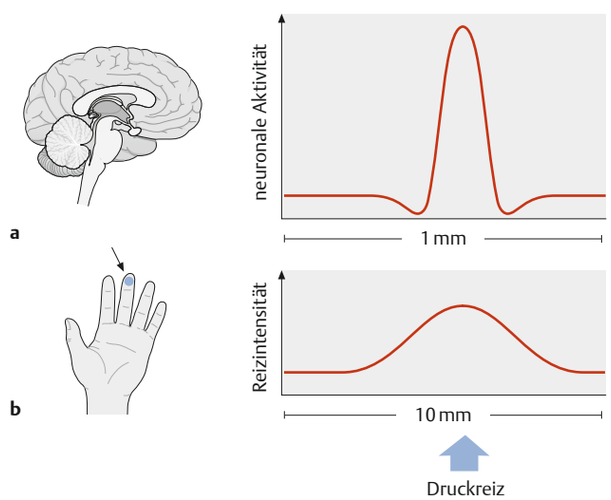




C Verlauf der sensorischen Bahnen im Großhirn
Ansicht von frontal auf den rechten Gyrus postcentralis. Die Perikarya der 3. Neurone der sensiblen Bahnen sind im Thalamus lokalisiert, ihre Axone projizieren in den Gyrus postcentralis, der den primären somatosensorischen Cortex bildet. Er ist somatotopisch gegliedert: Jede Körperregion ist in einem bestimmten Kortexareal repräsentiert. Dabei sind die Regionen des Körpers im Cortex nicht proportional zu ihrer Körperoberfläche repräsentiert, sondern entsprechend der sensiblen Innervationsdichte der Region. Finger und Kopf enthalten viele sensible Rezeptoren und sind entsprechend groß repräsentiert (vgl. **B**), Gesäß und Bein haben eine geringere sensible Innervationsdichte und sind entsprechend klein repräsentiert. Durch diese unterschiedliche Anzahl der Rezeptoren in der Peripherie, die ihre Entsprechung im Cortex besitzen, entsteht die Darstellung des sensiblen Homunkulus.
Beachte: Der Kopf des Homunkulus steht aufrecht, der Rumpf liegt kopfüber.
Die Axone der aus dem Thalamus aufsteigenden sensiblen Neurone lagern sich in der Capsula interna dorsal an die Axone an, die den Tractus pyramidalis (rot) bilden. Deshalb kommt es bei ausgedehnteren Hirnblutungen im Bereich der Capsula interna sowohl zu sensiblen als auch zu motorischen Ausfallerscheinungen (s. hierzu Kell u. a.).



D Primärer somatosensorischer Cortex sowie parietaler Assoziationskortex
a Ansicht von links. Die Nummern der Brodmann-Areale sind im Schnittbild (**b**) dargestellt. Im primär somatosensorischen Cortex ist die jeweils kontralaterale Körperhälfte repräsentiert (Ausnahme periorale Region, die beiderseits repräsentiert ist: Sprache!), er dient der somatosensorischen Wahrnehmung. Im parietalen Assoziationskortex werden Informationen aus beiden Körperhälften empfangen. Die Reizverarbeitung wird also in diesen Kortexarealen zunehmend komplexer.



E Aktivität kortikaler Zellsäulen im primär somatosensorischen Cortex
a Stärke der Reaktion der Neurone im primär somatosensorischen Cortex auf einen peripheren Druckreiz, dessen Intensität in **b** dargestellt ist. Die Abbildung verdeutlicht das Prinzip der sensorischen Informationsverarbeitung im Cortex. Wenn etwa 100 Intensitätsdetektoren in der Fingerbeere durch Druck gereizt werden, reagieren in der entsprechenden Zellsäule im primär somatosensorischen Cortex (s. Kolumnenorganisation des Cortex, **C**, S. 327) etwa 10 000 Neurone auf diesen Reiz. Da der Druckreiz in der Peripherie ein Reizzentrum (größte Reizintensität) und eine Reizumgebung (schwächere Reizintensität) hat, wird er auch im Cortex entsprechend verarbeitet. Dabei führt der Kontrast zwischen stärkerem und schwächerem Reiz in der Peripherie im primär somatosensorischen Cortex zu einer noch größeren Verstärkung des Druckreizes im Reizzentrum und zu einer noch deutlicheren Abschwächung des Reizes in der Umgebung (sog. Kontraststeigerung, s. deutlich stärker „ausschlagende" Kurve in **a**). Während das gereizte Areal in der Fingerbeere etwa 100 mm^2 entspricht, wird die Informationsverarbeitung in einem nur 1 mm^2 großen Areal im primär somatosensorischen Cortex geleistet.

13.3 Sensorisches System: Läsionen

A Lokalisation von Läsionen im Verlauf der sensiblen Bahnen (nach Bähr u. Frotscher)

Die zentralen Abschnitte der sensiblen Bahnen können von der spinalen Wurzel bis zum somatosensorischen Cortex an verschiedenen Orten durch Läsionen (Trauma, Raumforderung durch Tumoren, Einblutungen bei Hirninfarkten) geschädigt sein. Aus der jeweiligen Symptomatik der Schädigung kann auf den Ort des Schadens geschlossen werden. Im Folgenden werden nur die Schädigungen beschrieben, die in das Bewusstsein gelangen. Die Läsionen der *unbewussten* Kleinhirnbahnen, die zu sensomotorischen Ausfällen führen, sind nicht berücksichtigt. Zur Schädigung der peripheren sensiblen Bahnen im Rahmen von Nervenläsionen s. Prometheus, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Die Innervation von Rumpf und Extremitäten wird durch die Spinalnerven vermittelt, die des Kopfes durch den N. trigeminus, der eigene Kerngebiete besitzt (s. u.).

Kortikale oder subkortikale Läsion (1, 2): Sie äußert sich durch Parästhesien (Kribbeln) und Taubheitsgefühl in den entsprechenden Regionen von Rumpf und Extremitäten der *kontralateralen* Körperhälfte. Die Symptome können besonders distal ausgeprägt sein, da an den Fingern große rezeptive Felder vorliegen, am Rumpf dagegen nur kleine (s. S 447). Motorische und sensorische Rinde sind eng miteinander verknüpft, da in der motorischen Rinde auch Fasern der sensiblen Bahnen aus dem Thalamus enden. Zudem liegen die Rindenareale benachbart (Gyrus pre- und postcentralis). Diese Überlappung kann zum Übergreifen einer Läsion auf den motorischen Cortex mit daraus resultierenden epileptischen Anfällen (Jackson-Anfälle) führen.

Subthalamische Läsion (3): In der kontralateralen Körperhälfte sind alle sensiblen Wahrnehmungen aufgehoben (Thalamus als „Tor zum Bewusstsein"). Liegt nur ein partieller Schaden vor und bleiben die Bahnen für Schmerz und Temperatur erhalten (**4**), tritt kontralateral an Gesicht und Körper eine Hypästhesie (verminderte Berührungsempfindlichkeit) ein, Schmerz- und Temperaturempfindungen hingegen bleiben erhalten.

Läsion von Lemniscus trigeminalis und Tractus spinothalamicus lateralis (5): Bei einer Schädigung dieser Bahnen im Bereich des Hirnstammes fällt die Schmerz- und Temperaturempfindung in Gesicht und Körper kontralateral aus. Die übrigen sensiblen Qualitäten bleiben erhalten.

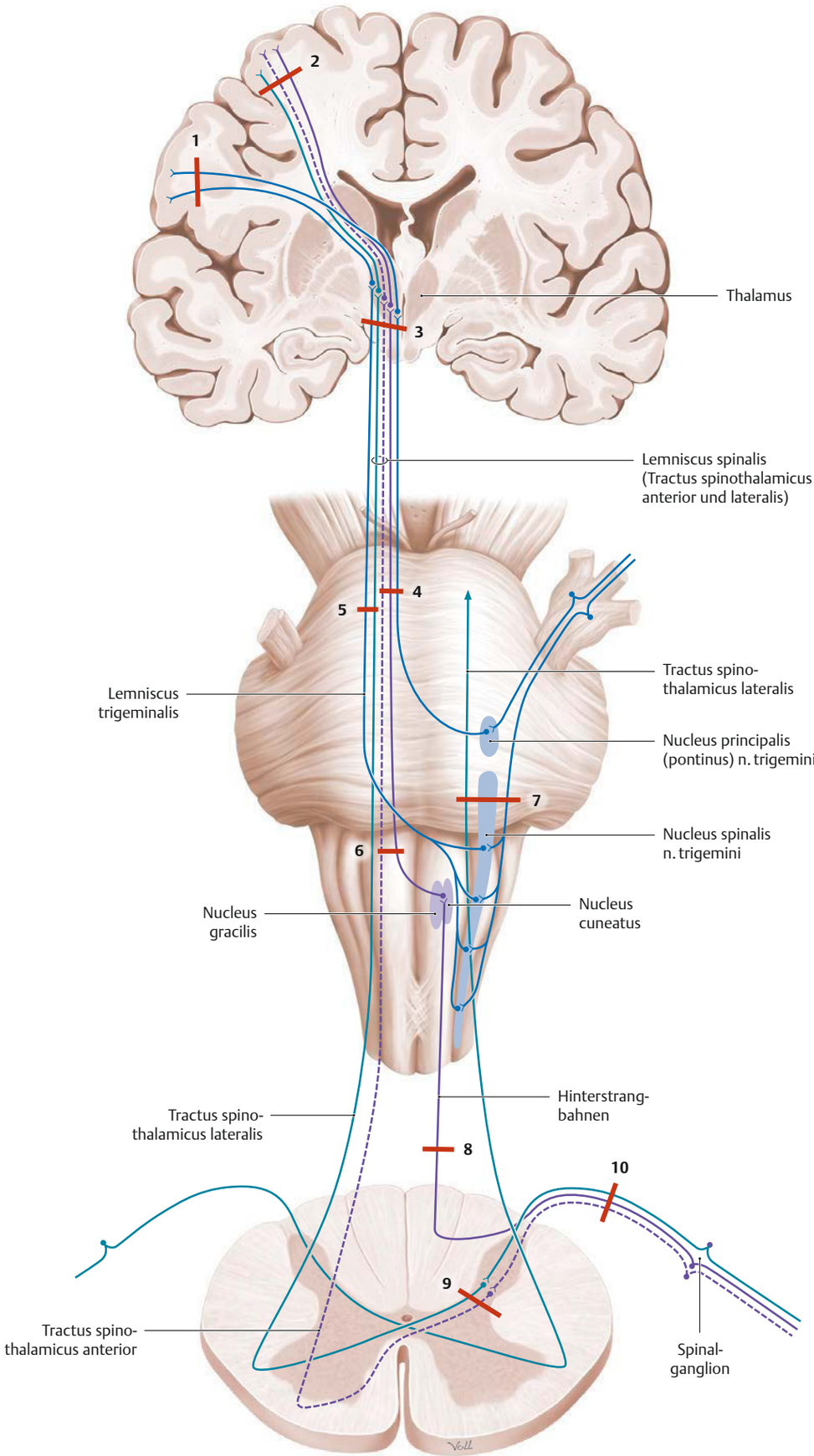
Läsion von Lemniscus medialis und Tractus spinothalamicus anterior (6): Mit Ausnahme von Schmerz und Temperatur sind alle sensiblen Qualitäten auf der kontralateralen Körperseite aufgehoben.
Im Lemniscus medialis ziehen die Axone der zweiten Neurone von Tractus spinothalamicus anterior und beider Hinterstrangbahnen.

Läsion von Nucleus und Tractus spinalis n. trigemini und Tractus spinothalamicus lateralis (7): Im Gesicht sind *ipsilateral* Schmerz- und Temperaturempfindung aufgehoben (ungekreuzte Axone des 2. Neurons im Ganglion trigeminale), im Körper *kontralateral* (Axone des gekreuzten 2. Neurons im Tractus spinothalamicus lateralis).

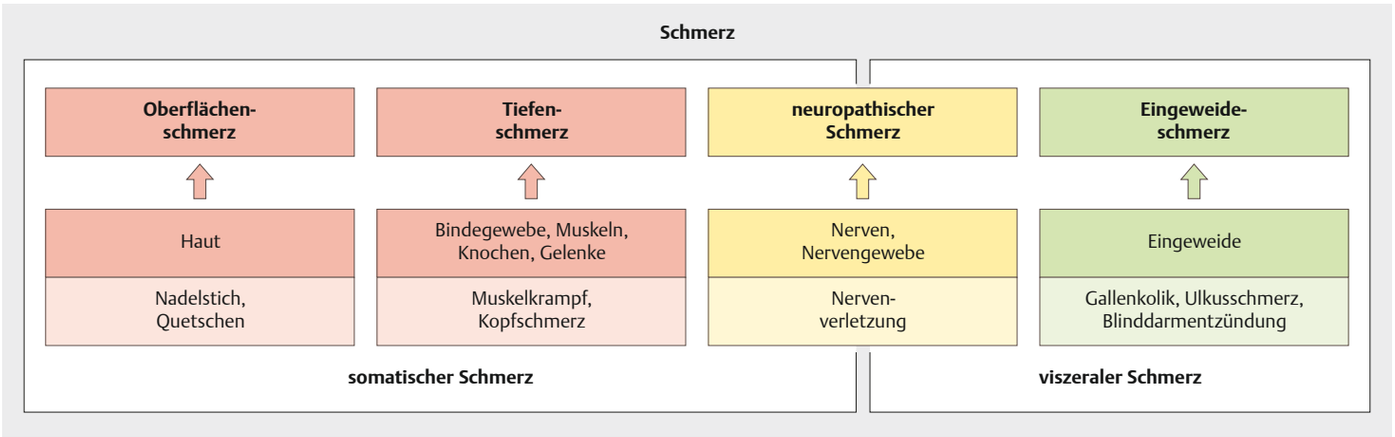
Läsion der Hinterstränge (8): Ipsilateral sind Lagesinn, Vibrationsempfinden und 2-Punkte-Diskrimination ausgefallen. Da die koordinierte Motorik auf sensorischen Input im Sinne eines Regelkreises angewiesen ist, kommt es aufgrund des mangelnden sensiblen Inputs zu einer ipsilateralen, sensorisch bedingten Ataxie.

Läsion des Hinterhorns (9): Bei einer lokal begrenzten Schädigung (ein oder wenige Segmente), gehen ipsilateral Schmerz- und Temperaturempfindung in diesem/diesen Segmenten verloren, da Schmerz und Temperaturempfindung lokal im Hinterhorn auf das 2. Neuron umgeschaltet werden. Die übrigen Qualitäten einschließlich der groben taktilen Reize werden im Hinterstrang geleitet und in den Hinterstrangkernen umgeschaltet; somit bleiben sie erhalten. Man spricht von einer dissoziierten Empfindungsstörung.

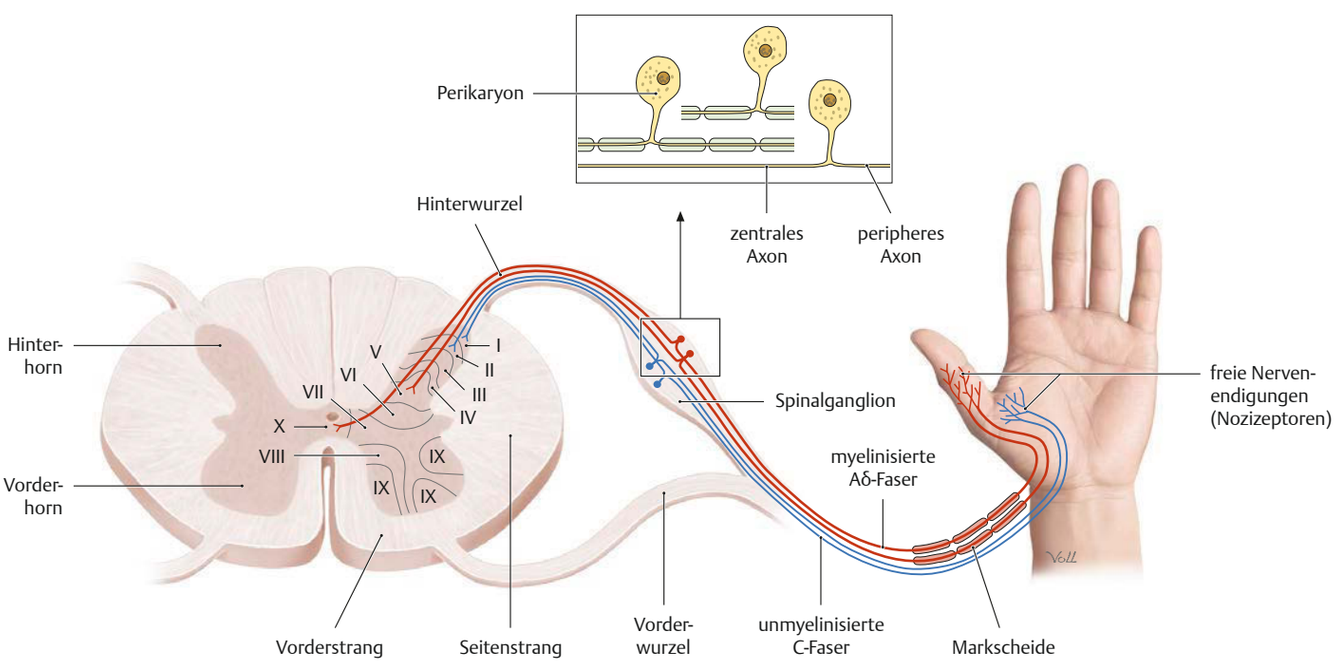
Läsion der Hinterwurzeln (10): Ipsilateral kommt es zu radikulären sensiblen Störungen, die von Schmerzen bei der Reizung der Wurzel bis zum kompletten sensiblen Ausfall reichen können. Wenn auch die Vorderwurzel mit betroffen ist, kommt es gleichzeitig zu Lähmungen, wie das bei Schädigungen der Bandscheibe der Fall sein kann (s. S. 463).


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Thalamus
Lemniscus spinalis
(Tractus spinothalamicus
anterior und lateralis)
Lemniscus
trigeminalis
Tractus spino-
thalamicus lateralis
Nucleus principalis
(pontinus) n. trigemini
Nucleus spinalis
n. trigemini
Nucleus
gracilis
Nucleus
cuneatus
Hinterstrang-
bahnen
Tractus spino-
thalamicus lateralis
Tractus spino-
thalamicus anterior
Spinal-
ganglion

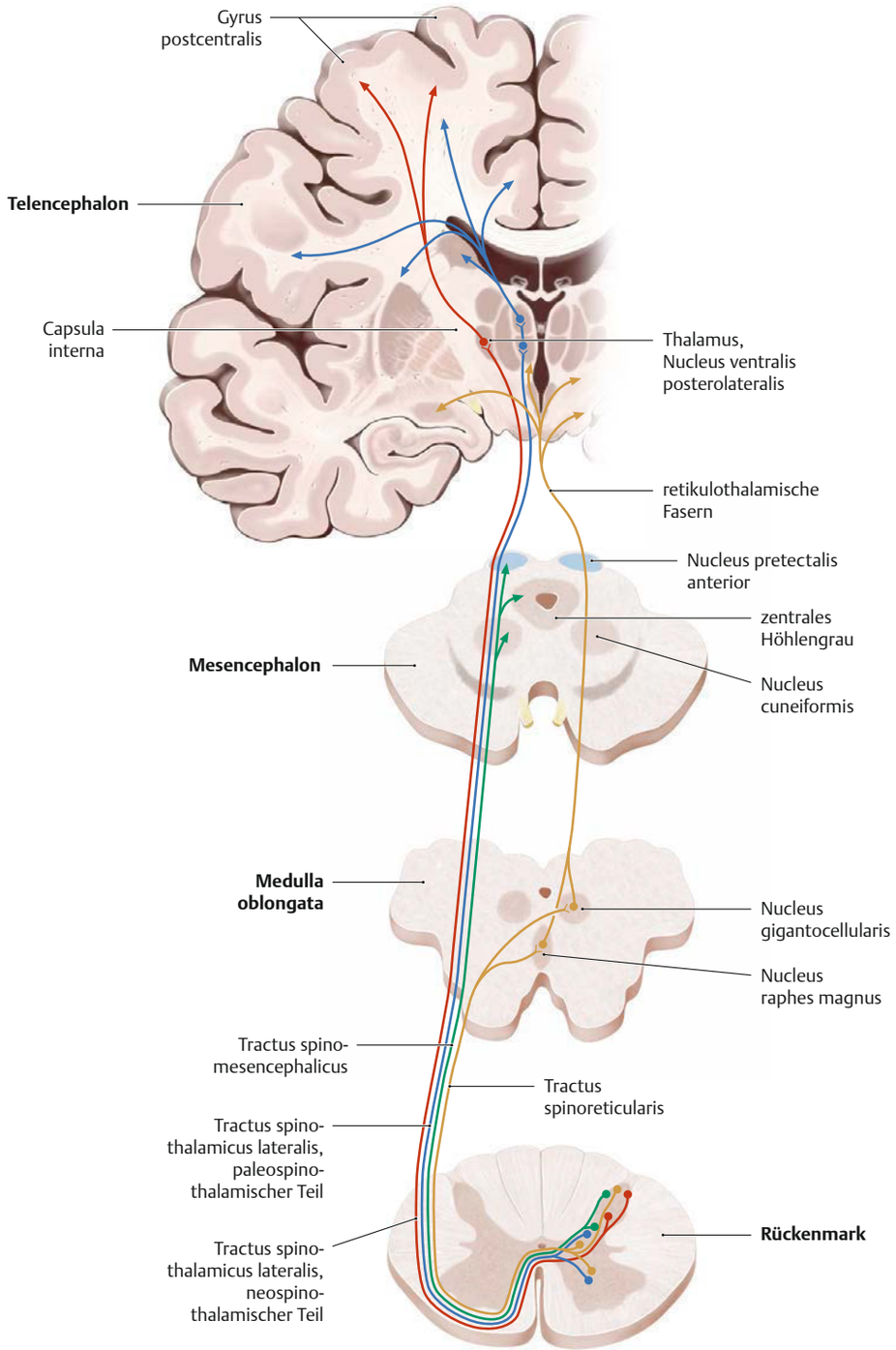
13.4 Sensorisches System: Schmerz



A Synopse der Schmerzmodalitäten
Nach der „International Association for the Study of Pain" ist Schmerz definiert als „unangenehme sensorische und emotionale Erfahrung, die mit tatsächlichen oder möglichen Gewebsschädigungen auftritt oder geschildert wird". Nach dem Ort der Schmerzentstehung unterscheidet man grob *somatische* und *viszerale* Schmerzen. Die somatischen Schmerzen entstehen im Bereich von Rumpf, Extremitäten und Kopf, die viszeralen im Bereich der inneren Organe. Eine Übergangsform zwischen diesen beiden Schmerzarten stellt der neuropathische Schmerz dar, der durch Schädigungen von Nerven selbst auftritt. Bei dieser Schmerzform können sowohl Nerven des somatischen und/oder des vegetativen Nervensystems betroffen sein. Die im Folgenden behandelten somatischen Schmerzfasern ziehen mit den Spinal- bzw. Hirnnerven, die viszeralen Schmerzfasern mit den vegetativen Nerven (s. S. 302).

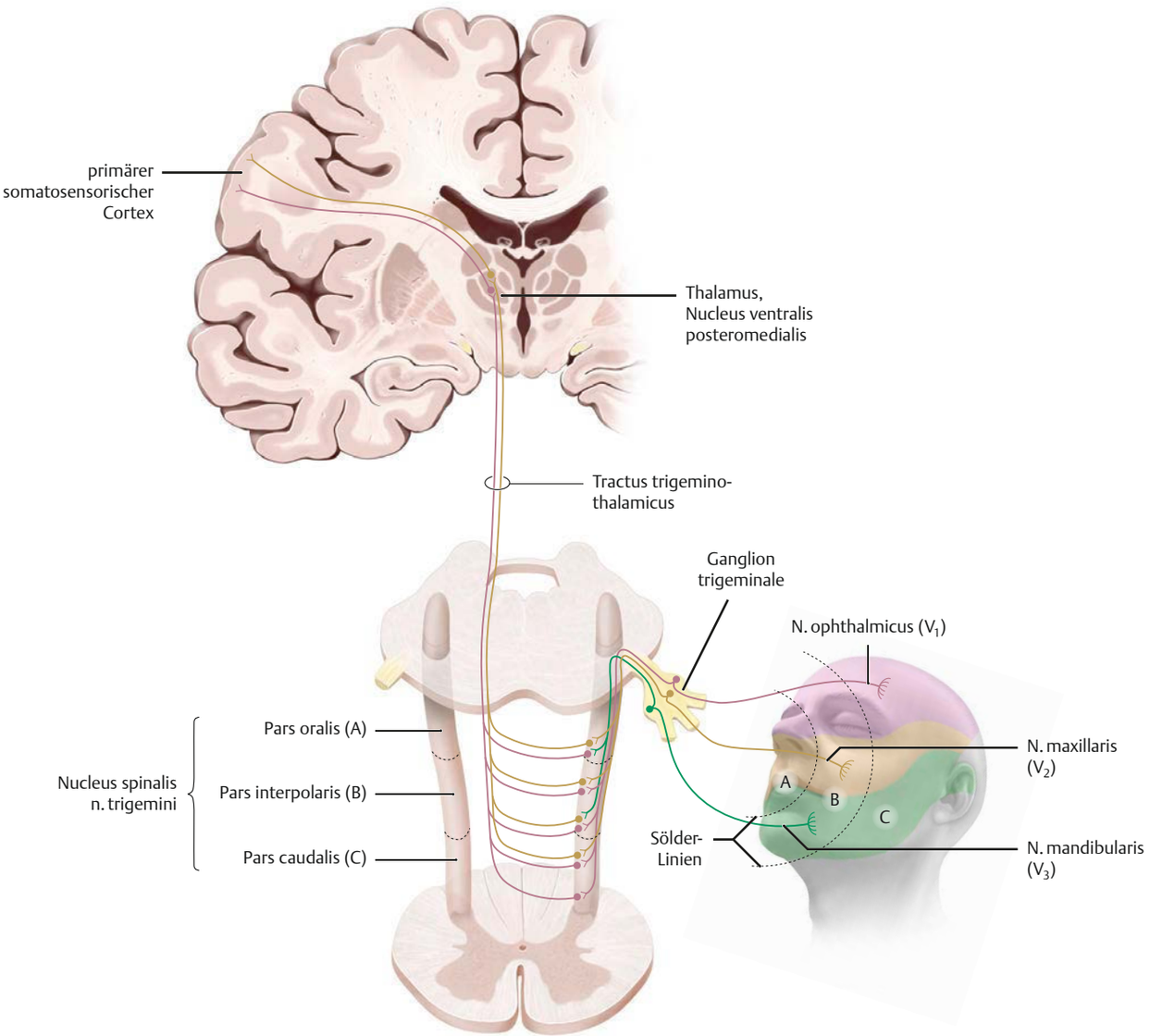


B Periphere somatische Schmerzleitung (nach Lorke)
Die somatische Schmerzleitung aus Rumpf und Extremitäten erfolgt sowohl durch myelinisierte Aδ-Fasern (Temperatur, Schmerz, Lage) als auch durch unmyelinisierte C-Fasern (Temperatur, Schmerz). Die Perikarya für diese afferenten Nervenfasern liegen im Spinalganglion (pseudounipolare Neurone). Ihre Axone enden im Hinterhorn des Rückenmarks, hauptsächlich in den Rexed-Laminae I, II und IV–VI. Nach Umschaltung im Hinterhorn ziehen die Schmerzafferenzen nach kranial weiter (s. **C**).
Beachte: Die meisten somatosensorischen Schmerzfasern sind myelinisiert, während die viszerosensiblen Fasern unmyelinisiert sind.



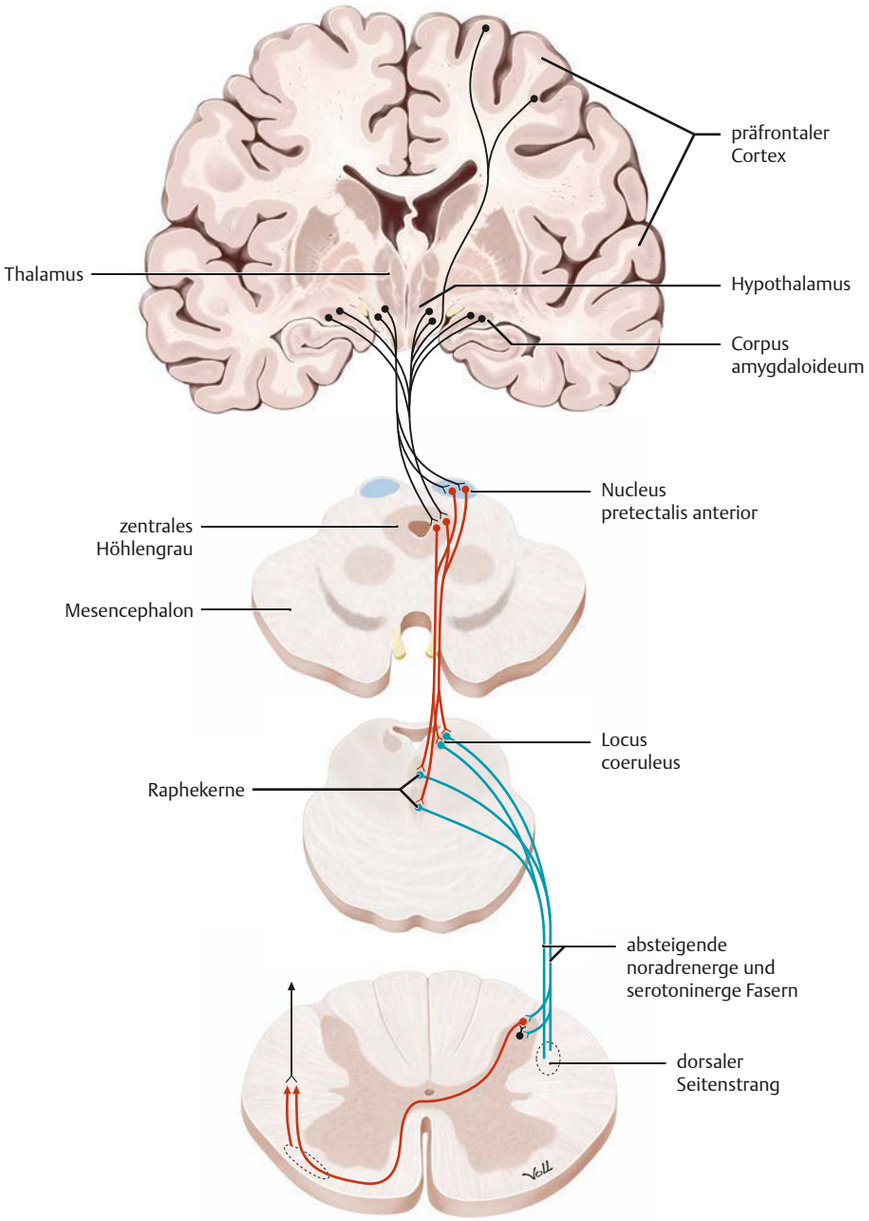
C Aufsteigende Schmerzbahnen aus Rumpf und Extremitäten
Die Axone der primärafferenten Neurone für die Schmerzwahrnehmung aus Rumpf und Extremitäten enden auf den hier dargestellten Projektionsneuronen im Hinterhorn des Rückenmarkgraus. Der Tractus spinothalamicus lateralis wird weiter in einen neospino- und einen palaeospinothalamischen Teil unterteilt. Das 2. Neuron des *neospinothalamischen Teils* der Schmerzbahn (rot) endet im Nucleus ventralis posterolateralis des Thalamus, das 3. Neuron projiziert dann in den primären somatosensorischen Cortex (Gyrus postcentralis). Das 2. Neuron des *paläospinothalamischen Trakts* (blau) endet in den intralaminären und medialen Kernen des Thalamus, deren 3. Neurone dann in verschiedenste Hirnregionen projizieren. Diese Schmerzbahn ist hauptsächlich für die affektive Komponente des Schmerzes verantwortlich (welche Bedeutung messe ich dem Schmerz bei?). Neben diesen Schmerzbahnen, die im Cortex enden, gibt es Schmerzbahnen, die in *subkortikalen* Gebieten enden, den Tractus spinomesencephalicus und den Tractus spinoreticularis. Das 2. Neuron des *spinomesenzephalen Trakts* (grün) endet v. a. im zentralen Höhlengrau, einer Zone grauer Substanz um den Aquaedukt, die der Schmerzverarbeitung dient. Andere Axone enden hingegen im Nucleus cuneiformis oder im Nucleus pretectalis anterior. Das 2. Neuron des *spinoretikulären Trakts* (ocker) endet in der Formatio reticularis, die hier durch den Nucleus raphes magnus und den Nucleus gigantocellularis repräsentiert sind. Retikulothalamische Fasern leiten die Schmerzimpulse weiter an den medialen Thalamus sowie den Hypothalamus und an das limbische System.

13.5 Schmerzbahnen des Kopfes und zentrales schmerzhemmendes System



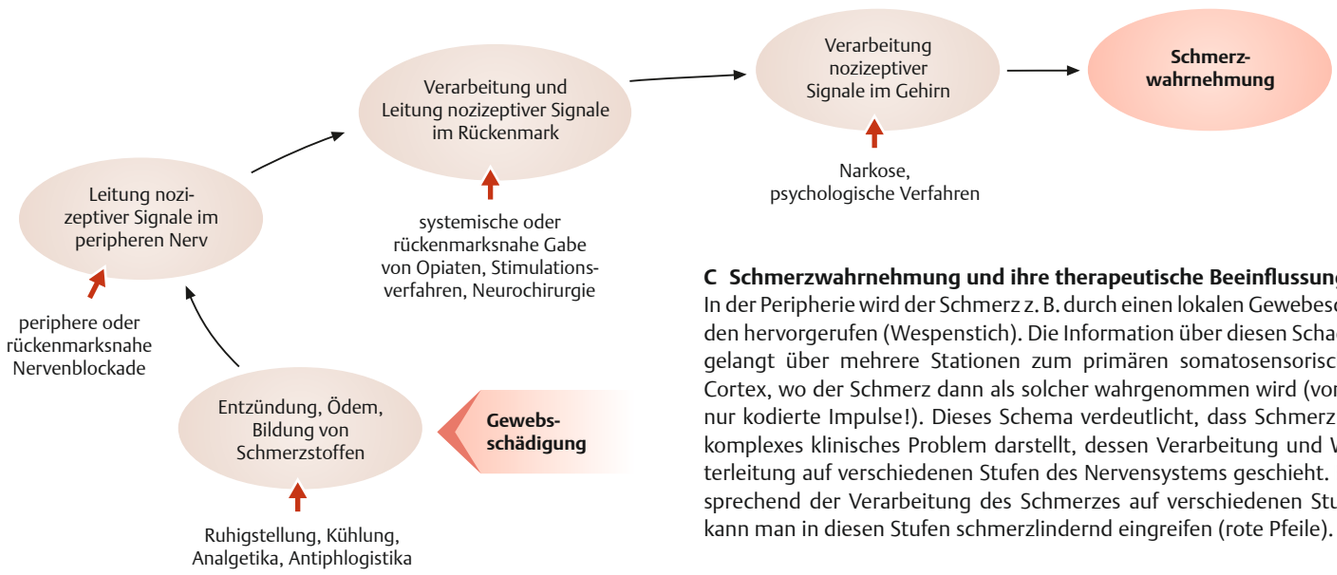
A Schmerzbahnen im Bereich des Kopfes (nach Lorke)
Die Schmerzfasern im Bereich des Kopfes verlaufen mit den Ästen des N. trigeminus (V_{1-3}). Die Perikarya dieser primärafferenten Neurone der Schmerzbahn liegen im Ganglion trigeminale, ihre Axone enden im Nucleus spinalis n. trigemini.
Beachte die somatotopische Organisation dieses Kerngebietes. Die periorale Region (A) liegt kranial, die okzipitalen Regionen (C) liegen kaudal. Bei zentralen Läsionen kommt es deshalb zu Ausfällen entlang der Sölder-Linien (s. **D**, S. 121).

Die Axone der 2. Neurone kreuzen und ziehen im Tractus trigeminothalamicus zum Nucleus ventralis posteromedialis und zu den intralaminären Kernen des Thalamus der Gegenseite, wo sie enden. Das 3. (thalamische) Neuron der Schmerzbahn aus dem Kopfbereich endet im primären somatosensorischen Cortex. In diesem Schema sind nur die Schmerzfasern des N. trigeminus dargestellt. Im N. trigeminus selbst ziehen die übrigen sensorischen Fasern parallel zu den Schmerzfasern, diese enden jedoch in verschiedenen Kerngebieten des N. trigeminus (s. S. 120).



B Bahnen des zentralen absteigenden schmerzhemmenden Systems
(nach Lorke)

Neben den aufsteigenden Bahnen, die das Schmerzempfinden zum primär somatosensorischen Cortex leiten, gibt es auch absteigende Bahnen, die Schmerzimpulse unterdrücken können (affektive Komponente des Schmerzes!). Die zentrale Schaltstelle für das absteigende, schmerzhemmende System ist das zentrale Höhlengrau des Mesencephalon. Es wird durch Afferenzen aus dem Hypothalamus, dem präfrontalen Cortex und den Corpora amygdaloidea (Teil des limbischen Systems!; nicht dargestellt) aktiviert. Zusätzlich erhält es Afferenzen aus dem Rückenmark (s. S. 450). Die erregenden glutaminergen Neurone (rot) des zentralen Höhlengraus enden mit ihren Axonen auf serotoninergen Neuronen in den Raphekernen und auf noradrenergen Neuronen im Locus coeruleus (beide schwarz). Die Axone dieser beiden Arten von Neuronen ziehen im dorsolateralen Seitenstrang abwärts. Sie enden entweder direkt oder indirekt (über inhibitorische Neurone) auf den schmerzleitenden Projektionsneuronen (2. afferentes Neuron der Schmerzbahn) und hemmen damit die Schmerzweiterleitung.



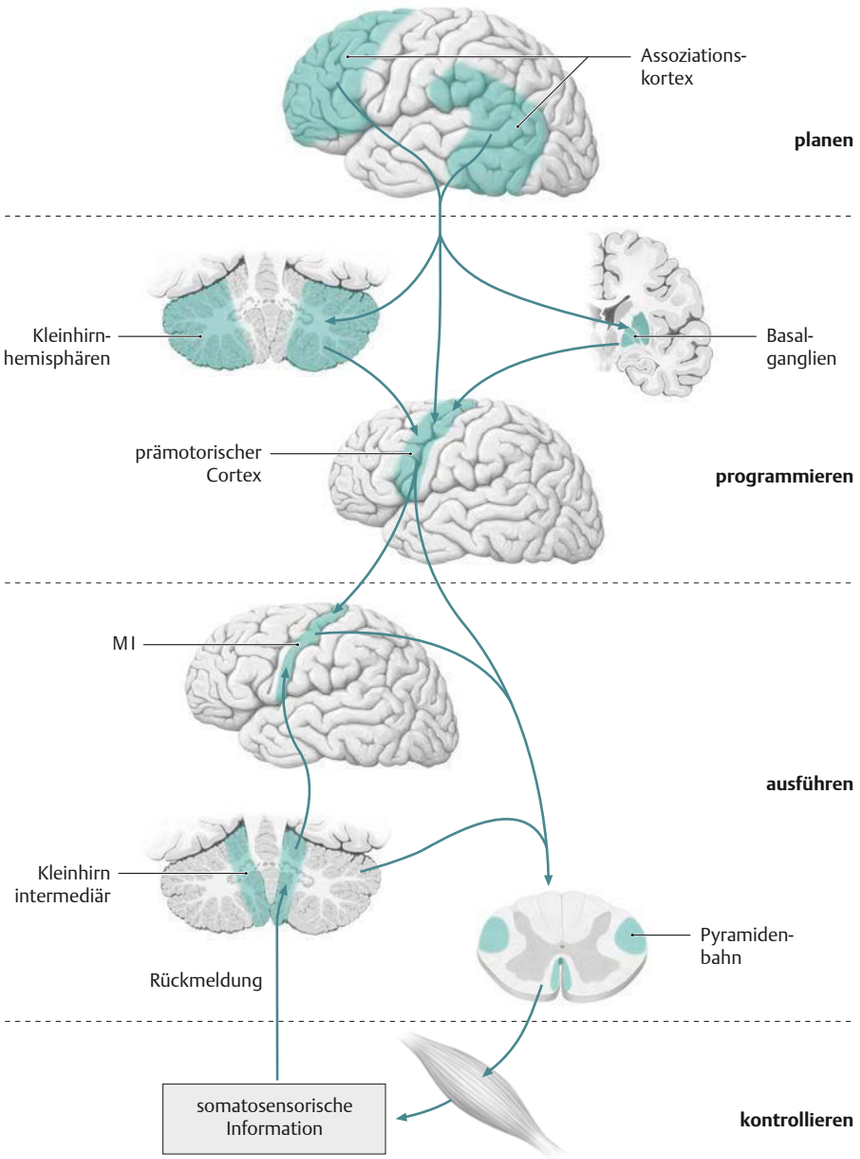
C Schmerzwahrnehmung und ihre therapeutische Beeinflussung

In der Peripherie wird der Schmerz z. B. durch einen lokalen Gewebeschaden hervorgerufen (Wespenstich). Die Information über diesen Schaden gelangt über mehrere Stationen zum primären somatosensorischen Cortex, wo der Schmerz dann als solcher wahrgenommen wird (vorher nur kodierte Impulse!). Dieses Schema verdeutlicht, dass Schmerz ein komplexes klinisches Problem darstellt, dessen Verarbeitung und Weiterleitung auf verschiedenen Stufen des Nervensystems geschieht. Entsprechend der Verarbeitung des Schmerzes auf verschiedenen Stufen kann man in diesen Stufen schmerzlindernd eingreifen (rote Pfeile).

13.6 Motorisches System: Übersicht und Prinzip

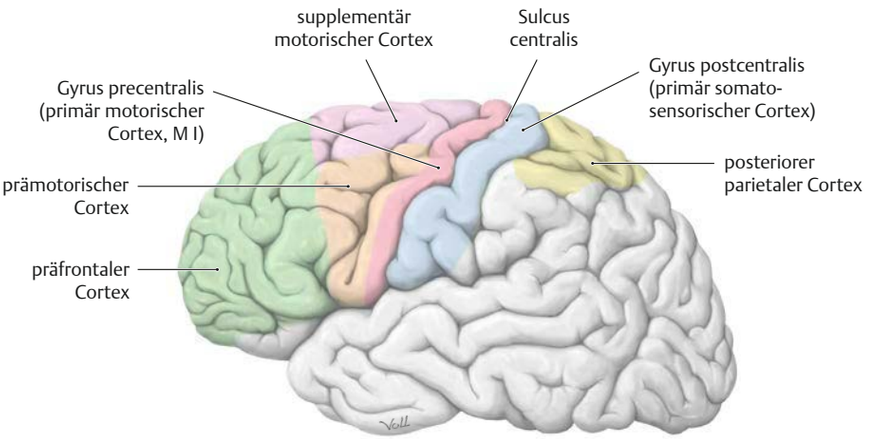
A Vereinfachte Darstellung der anatomischen Strukturen, die an einer zielgerichteten Bewegung beteiligt sind (pyramidal-motorisches System)
(nach Klinke u. Silbernagl)

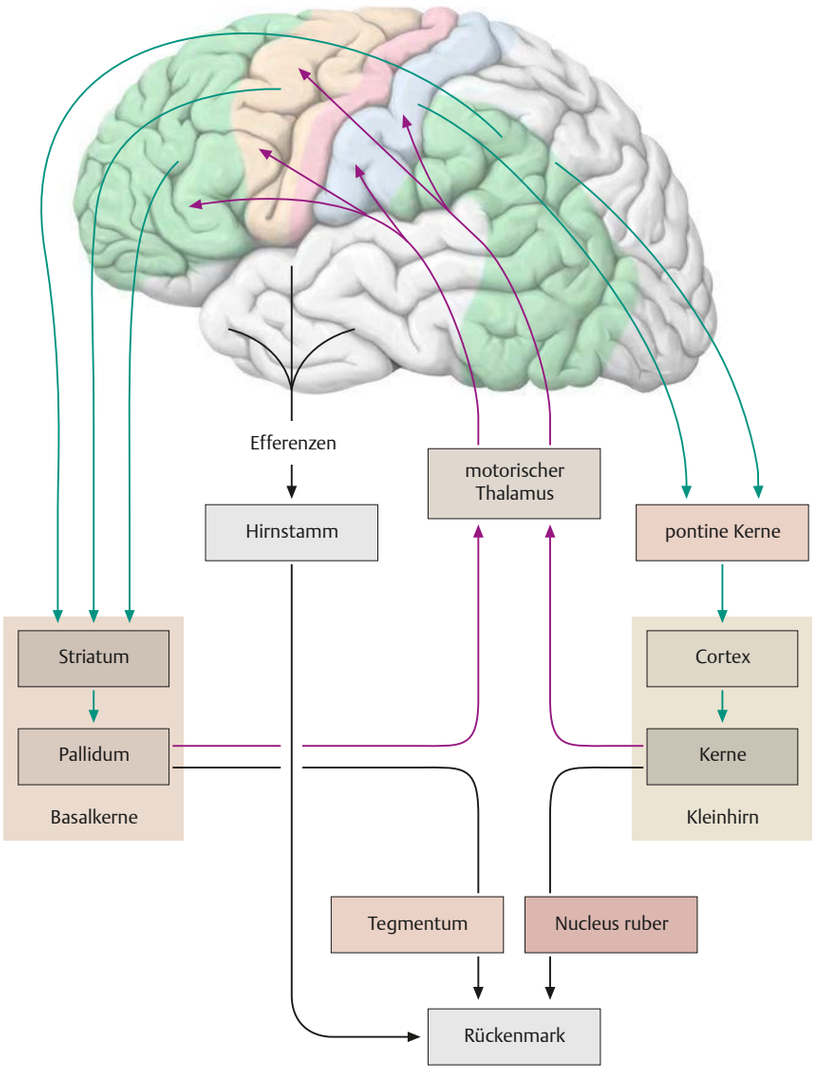
Gezielte Bewegungen beginnen mit ihrer Planung im Assoziationskortex (z. B. Wunsch: Ich möchte nach meiner Kaffeetasse greifen). Kleinhirnhemisphären und Basalkerne programmieren parallel den Bewegungsablauf und informieren den prämotorischen Cortex über das Ergebnis dieser Planungen. Dieser gibt die Information an den primär motorischen Cortex (M I) weiter, der die Information über die *Pyramidenbahn* an das α-Motoneuron weiterleitet *(pyramidal-motorisches System).* Vom α-Motoneuron aus setzt die Skelettmuskulatur das Programm in zielgerichtete Bewegung um. Dabei wichtige Rückkopplungsmechanismen existieren über die Sensomotorik (Wie weit ist die Bewegung fortgeschritten? Wie stark ist mein Griff am Henkel der Tasse? – Unterschied zum Griff um ein rohes Ei.). Auch wenn in einigen der folgenden Abbildungen immer vom primär motorischen Cortex als Startpunkt einer Willkürbewegung ausgegangen wird, zeigt diese Abbildung, dass zur Durchführung einer willkürlichen zielgerichteten Bewegung viele motorische Zentren involviert sind (u. a. auch das *extrapyramidal-motorische System*, s. **C** u. **D**; Kleinhirn). Aus praktischen Gründen startet man aber oft beim primär motorischen Cortex (M I).



B Kortexareale mit motorischer Funktion: Initiierung einer Bewegung

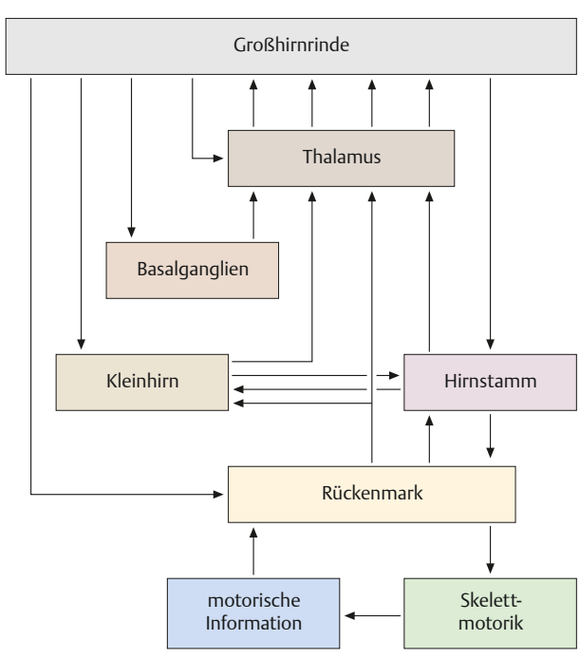
Sicht von lateral auf die linke Hemisphäre. Die Initiierung einer zielgerichteten Bewegung (Griff nach der Kaffeetasse) ist das Resultat des Zusammenwirkens verschiedener Kortexareale. Der *primär motorische* Cortex (M I, Area 4 nach Brodmann) ist im Gyrus precentralis lokalisiert (Ausführung der Bewegung). Die sich rostral anschließende Area 6 besteht aus dem lateral liegenden prämotorischen Cortex und dem medial liegenden supplementär motorischen Cortex (Initiierung der Bewegung). Durch Assoziationsfasern (s. S. 334) bestehen enge funktionelle Beziehungen zu den sensorischen Arealen 3, 1, 2 (Gyrus postcentralis mit primär somatosensorischem Cortex, S I) sowie zu den Areae 5 und 7 (= posteriorer parietaler Cortex), die eine assoziativ motorische Funktion haben. In ihnen ist die kortikale Repräsentation des Raumes lokalisiert, eine für präzise Greif- und Augenbewegungen wichtige Funktion.





C Verbindungen des Cortex mit Basalkernen und Kleinhirn: Programmierung komplexer Bewegungen

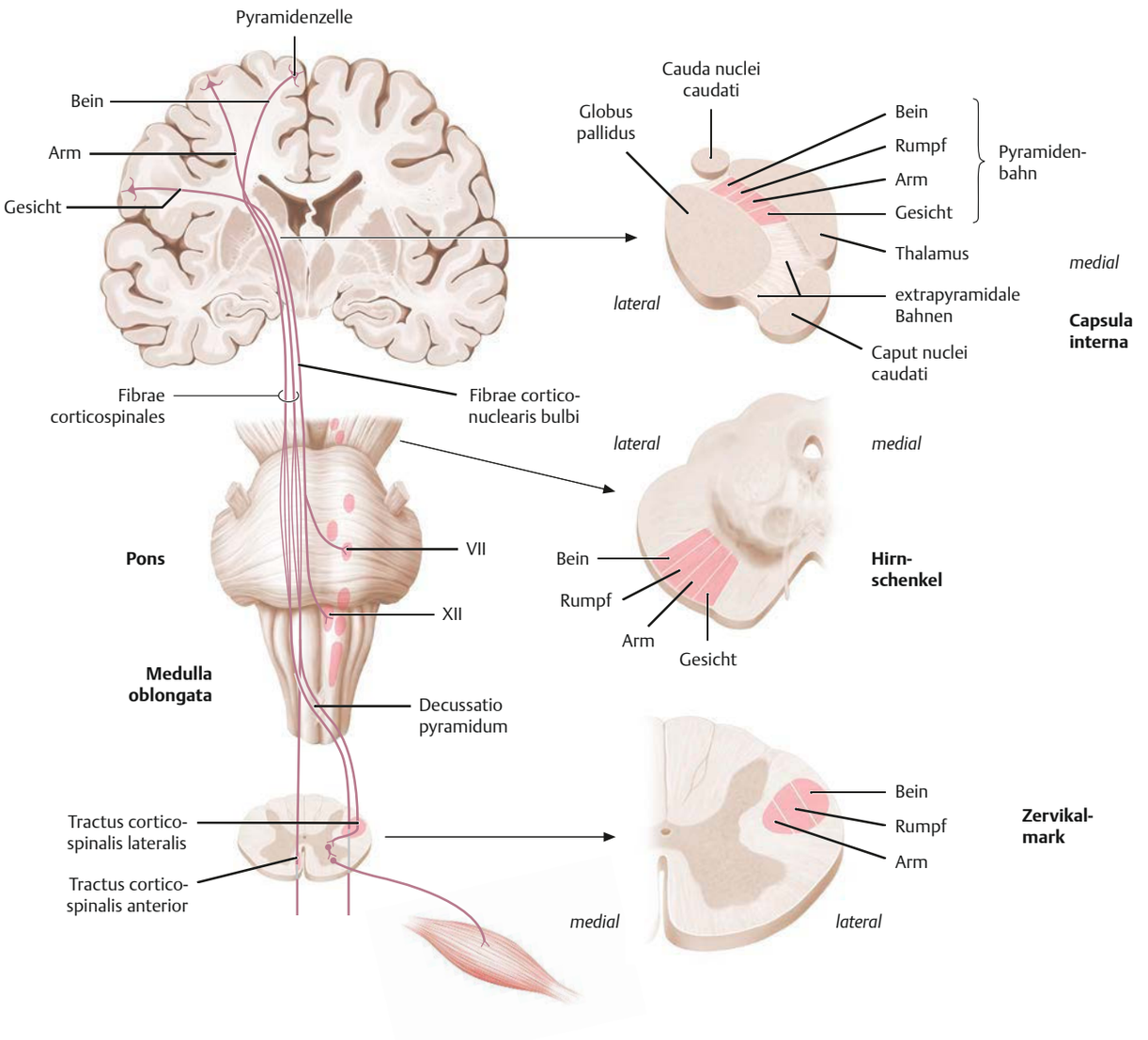
Bei der Planung und Programmierung komplexer Bewegungen wird das pyramidal-motorische System (motorischer Cortex und Pyramidenbahn, die vom primär motorischen Cortex stammt) durch die Basalkerne und das Kleinhirn unterstützt. Während Afferenzen aus den motorischen Cortexgebieten (grün) direkt ohne Umschaltung zu den Basalkernen (links) gelangen, wird das Kleinhirn indirekt über pontine Kerne angesteuert (rechts), s. **C**, S. 361. Über den motorischen Thalamus existiert für beide Strukturen eine Rückmeldeschleife (s. S. 459). Die Efferenzen von Basalkernen und Kleinhirn ziehen weiter zu tiefer liegenden Strukturen einschließlich des Rückenmarks. Die Bedeutung von Basalkernen und Kleinhirn für die Willkürbewegung wird anhand ihrer Erkrankungen deutlich. Während Start und Ablauf der Bewegung bei Basalkernerkrankungen gestört sind (z. B. Bewegungsarmut bei Morbus Parkinson), sind unkoordinierte und fahrige Bewegungen Zeichen einer Kleinhirnstörung (z. B. torkelnde Bewegungen eines Betrunkenen, bei dem ein temporärer toxischer Kleinhirnschaden vorliegt).



D Vereinfachtes Schema der Sensomotorik bei der Kontrolle von Bewegungen

Damit zielgerichtete Bewegungen nicht überschießen, bedürfen sie der ständigen Rückkoppelung aus der Peripherie (Muskelspindeln, Sehnenorgane). Weil die motorischen und sensorischen Systeme funktionell so eng miteinander verzahnt sind, spricht man von Sensomotorik. Rückenmark, Hirnstamm mit Kleinhirn und Großhirnrinde sind die drei Kontrollebenen der Sensomotorik. Alle Informationen aus der Peripherie, dem Kleinhirn und den Basalkernen gelangen über den Thalamus zum Cortex. Die Bedeutung der Sensorik für die Bewegungen wird klinisch dadurch deutlich, dass es bei ihrem Ausfall zu einer sensorischen Ataxie kommen kann (s. **D**, S. 471). Die in dieses System mit einbezogene Okulomotorik ist nicht dargestellt.

13.7 Motorisches System: Pyramidenbahn (Tractus pyramidalis)



A Verlauf der Pyramidenbahn (Tractus pyramidalis [cortico-spinalis])

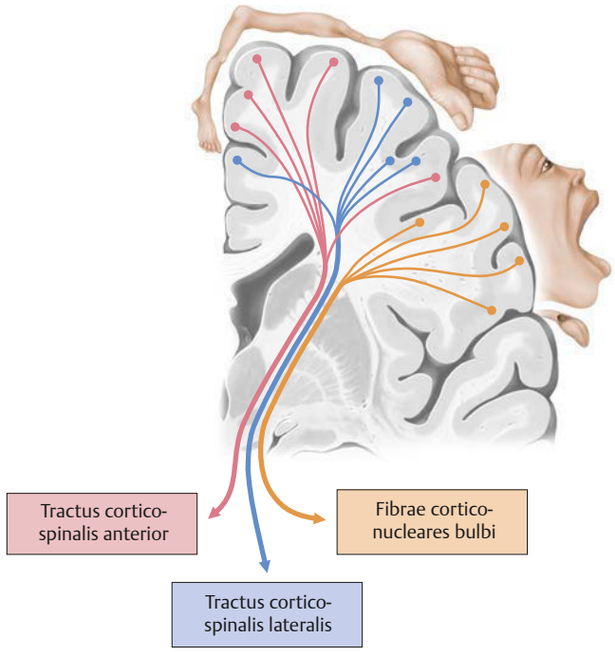
Der Tractus pyramidalis wird in drei weitere Bahnsysteme unterteilt: Fibrae corticospinales, Fibrae corticonucleares bulbi und Fibrae corticoreticulares (hier nicht dargestellt; sie ziehen zum Nucleus gigantocellularis der Formatio reticularis des Hirnstammes und werden im Weiteren nicht näher behandelt). Sie stellen die absteigenden motorischen Bahnen aus dem primär motorischen Cortex dar. Die Fibrae corticospinales ziehen zu den motorischen Vorderhornzellen im Rückenmark, die Fibrae corticonucleares bulbi zu den motorischen Hirnnervenkernen.

Fibrae corticospinales: Die Axone der Fibrae corticospinales stammen nur zum geringen Teil von den Pyramidenzellen ab, den großen Neuronen in der Lamina V des Gyrus precentralis (zum Aufbau der motorischen Rinde s. **D**). Die meisten Axone kommen von kleinen Pyramidenzellen und weiteren Neuronen aus den Laminae V und VI. Weitere Axone stammen aus den benachbarten Hirnregionen. Sie alle ziehen durch die Capsula interna kaudalwärts. 80 % der Fasern *kreuzen* in Höhe der Medulla oblongata (Decussatio pyramidum = Pyramidenbahnkreuzung) und ziehen als Pyramidenseitenstrangbahn *(Tractus corticospinalis [pyramidalis] lateralis)* im Rückenmark. Die *ungekreuzten* Fasern ziehen als Pyramidenvorderstrang *(Tractus corticospinalis [pyramidalis] anterior)* im Rückenmark und kreuzen später auf Segmentebene. Die meisten Axone enden an Schaltzellen, deren Synapsen an den Motoneuronen enden.

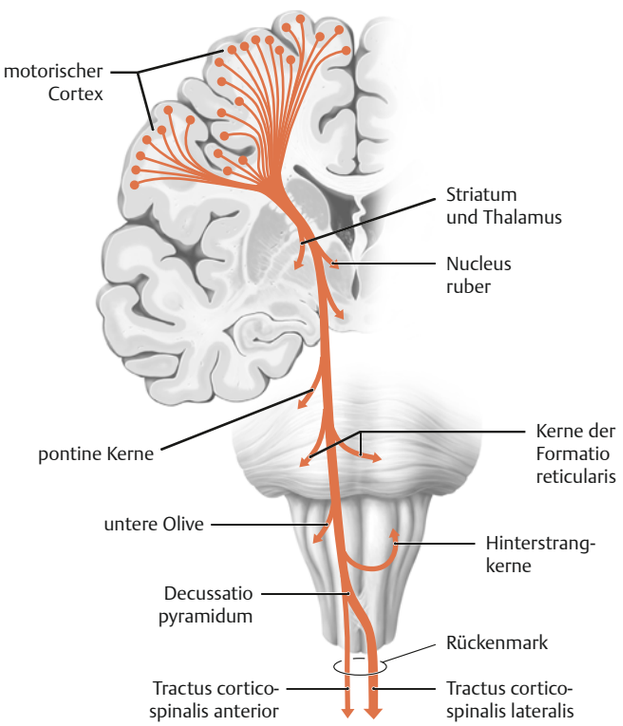
Beachte, dass die bereits auf Rückenmarksebene beschriebene Topik der Fasern sich im Prinzip in allen Abschnitten der Pyramidenbahn findet. Aufgrund dieser Topik kann auf den Ort von Läsionen der Pyramidenbahn geschlossen werden.

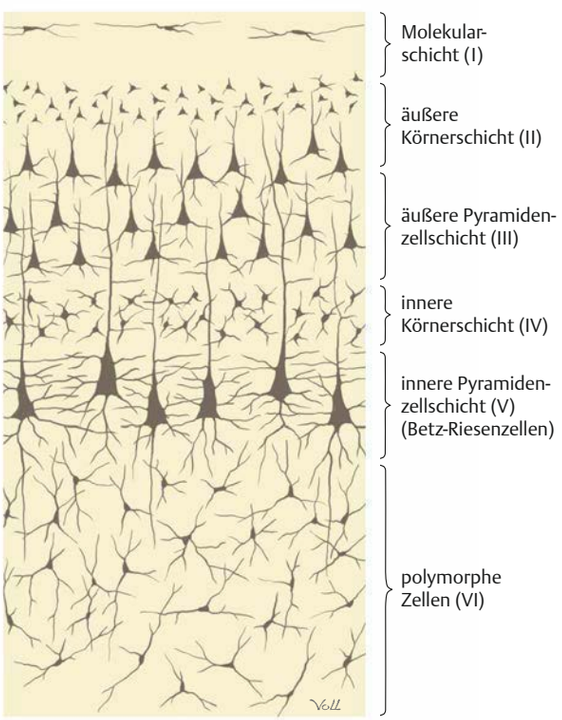
Fibrae corticonucleares bulbi: Die motorischen Hirnnervenkerne bzw. Hirnnervenkernabschnitte erhalten ihre Axone von Pyramidenzellen aus der Gesichtsregion des prämotorischen Cortex. Diese Fibrae cortinucleares bulbi ziehen zu den kontralateralen motorischen Hirnnervenkernen (III–VII, IX–XII) im Hirnstamm (zu den Fasern zu anderen Hirnnervenkernen s. **C**). Zusätzlich zur kontralateralen Innervation ziehen Axone zu einigen Hirnnervenkernen auf der gleichen (ipsilateralen) Seite, so dass daraus eine bilaterale Innervation resultiert (hier nicht dargestellt). Diese Doppelversorgung ist z. B. beim Stirnast des N. facialis von klinischer Bedeutung (Fazialisparese, s. **D**, S. 125).

Zum Begriff Pyramidenbahn: Als Pyramidenbahn im engeren Sinne bezeichnen manche Autoren erst den Trakt unterhalb der Decussatio pyramidum, während andere Autoren den Namen für den ganzen Trakt verwenden. Meistens, so auch in diesem Buch, wird der Begriff Pyramidenbahn jedoch als Oberbegriff für alle hier aufgeführten Bahnen verwendet. Auch bei der Namensgebung gibt es Unterschiede: einige Autoren leiten den Namen nicht von der Decussatio pyramidum, sondern von den Betz-Riesenzellen, also den großen Pyramidenzellen ab (s. **C**, S. 409).



B Somatotopische Repräsentation der Skelettmuskulatur im Gyrus precentralis (motorischer Homunkulus)
Ansicht von frontal. Regionen mit großer Innervationsdichte der Muskulatur (z. B. Hand) benötigen zu ihrer Innervation viele Neurone im Gyrus precentralis und beanspruchen folglich ein größeres Areal im Cortex als Regionen mit einer geringeren Innervationsdichte (z. B. Rumpf). Diese kortikale Repräsentation ist analog zu der bei der sensiblen Innervation, wo ebenfalls unterschiedlich große Areale im Cortex (Gyrus postcentralis) repräsentiert sind (vgl. sensiblen Homunkulus, s. **C**, S. 447). Rumpf und Extremitäten bilden ein zusammenhängendes Areal, der Kopf ein eigenes; die Axone aus dem Kopfbereich bilden die Fibrae corticonucleares bulbi, die aus dem Bereich von Extremitäten und Rumpf den Fibrae corticospinales. Er teilt sich unterhalb des Telencephalon in den Tractus corticospinalis lateralis und anterior auf.

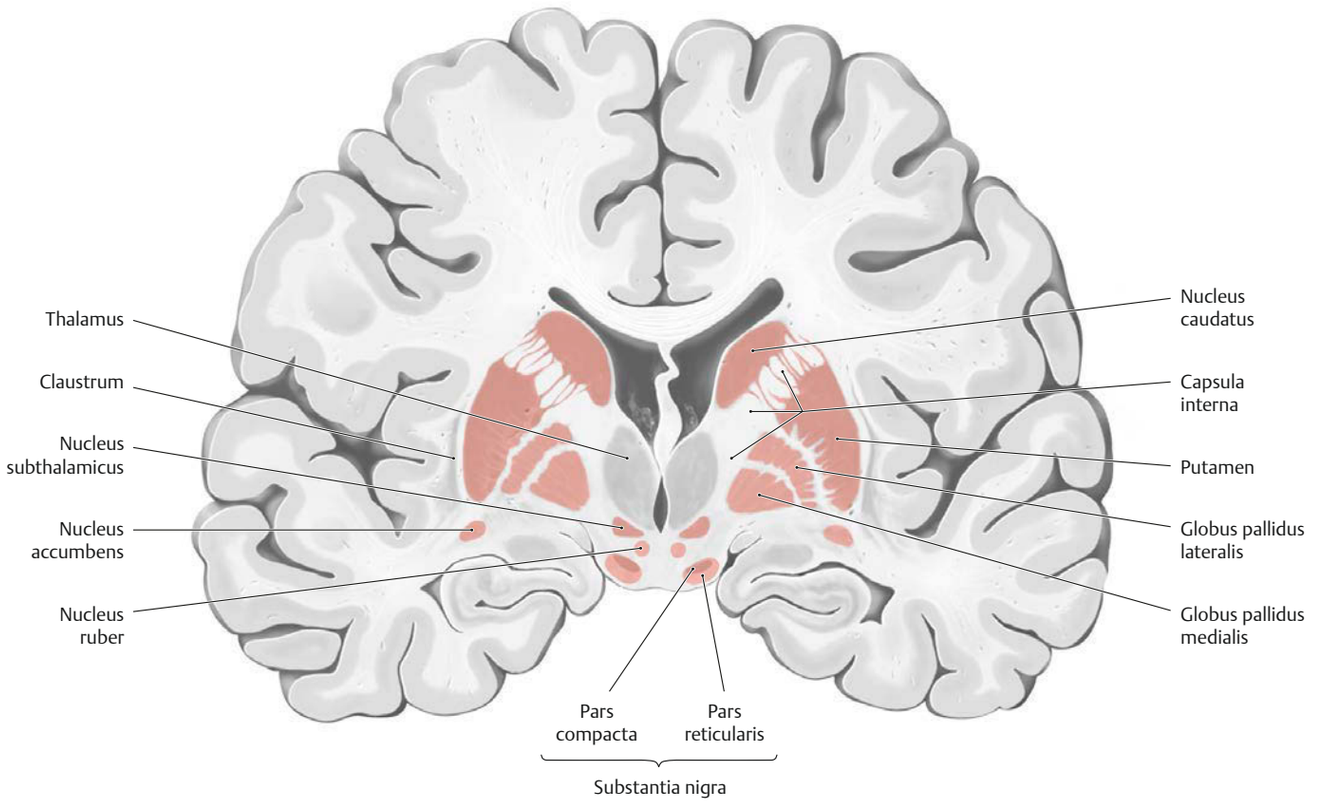




C Vielfalt der kortikalen Efferenzen
Ansicht von frontal. Neben den oben beschriebenen Fibrae corticospinales und corticonucleares bulbi sendet der Cortex eine Vielzahl von Axonen zu verschiedenen subkortikalen Gebieten und ins Rückenmark. Folgende subkortikale Gebiete erhalten ebenfalls kortikale Efferenzen: Striatum, Thalamus, Nucleus ruber, pontine Kerne, Formatio reticularis, untere Olive und Hinterstrangkerne (zu diesen Kerngebieten s. S. 460) sowie Rückenmark. Die oben aufgeführten supraspinalen Efferenzen sind teilweise Axonkollateralen von Neuronen der Pyramidenbahn, teilweise aber auch eigenständige Axone.

D Schichtenaufbau der motorischen Rinde (= Area 4 im Gyrus precentralis)
Die Axone der großen Pyramidenzellen (Betz-Riesenzellen) in Lamina V stellen nur zu einem geringen Teil (bis zu 4 %) den Ursprung der Axone dar, die den Tractus corticospinalis bilden. Kleine Pyramidenzellen und weitere Neurone aus den Laminae V und VI bilden den Rest der Axone. Insgesamt stammen aber nur 40 % der Axone der Pyramidenbahn aus der Area 4, die restlichen 60 % stammen von Neuronen aus den supplementär motorischen Feldern (s. S. 454).

13.8 Motorisches System: motorische Kerngebiete



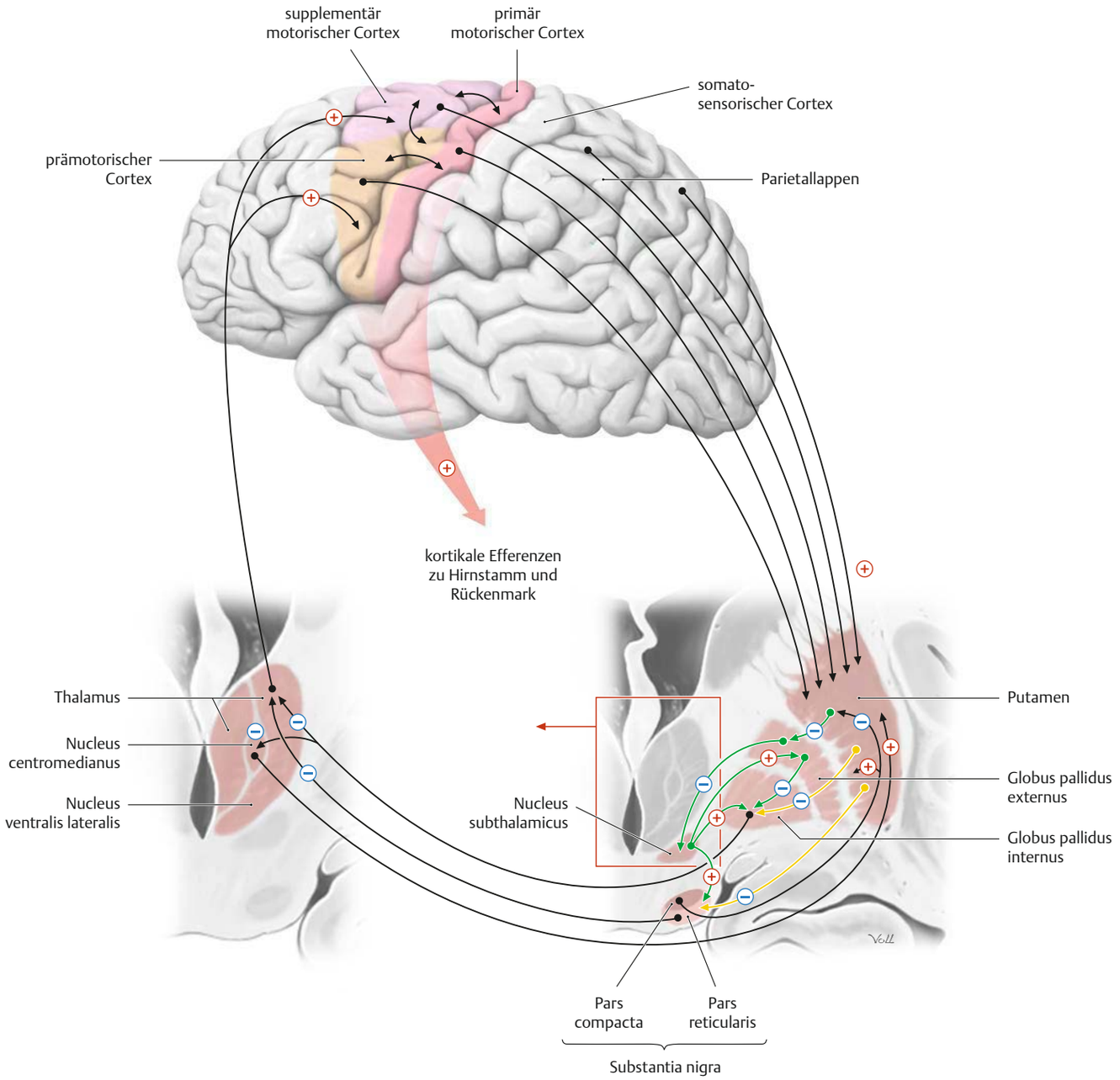
A Motorische Kerngebiete
Frontalschnitt. Die Basalkerne sind subkortikale Kerngebiete des Telencephalon, die bei der Planung und Durchführung von Bewegungen eine Rolle spielen. Sie sind die zentrale Schaltstelle des *extrapyramidal-motorischen Systems* und umfassen praktisch alle im Marklager lokalisierte graue Substanz. Einzige Ausnahme ist der Thalamus, der primär der Sensorik dient („Tor zum Bewusstsein") und damit nur sekundär – über Rückkopplungsmechanismen – in die Abläufe der Motorik eingebunden ist. Die drei größten Kerngebiete sind:

- Nucleus caudatus,
- Putamen und
- Globus pallidus (entwicklungsgeschichtlich eine Struktur des Diencephalon).

Die drei genannten Kerne werden zu unterschiedlichen Gruppen zusammengefasst:

- Der *Linsenkern (Nucleus lentiformis)* umfasst Putamen und Globus pallidus sowie dazwischen verlaufende Faserstränge.
- Der Streifenkörper *(Corpus striatum)* besteht aus: Putamen und Nucleus caudatus. Neben diesen drei Kerngebieten gibt es weitere Kerngebiete, die funktionell dem motorischen System zugeordnet werden (hier ebenfalls dargestellt).

Im streng anatomischen Sinne gehören nur die oben genannten telenzephalen Strukturen zu den Basalkernen. Aufgrund ihrer engen funktionellen Beziehung zu den Basalkernen zählen einige Lehrbücher jedoch – fälschlicherweise – auch den *Nucleus subthalamicus* im Diencephalon (s. S. 352) sowie die *Substantia nigra* im Mesencephalon (s. S. 357) zu den Basalkernen. Bei Fehlfunktion der Basalkerne kommt es zu Störungen im Bewegungsablauf (z. B. Schüttellähmung, Morbus Parkinson).
Früher wurden die Basalkerne auch als Basalganglien bezeichnet. Da aber Ganglien per definitionem nur im peripheren Nervensystem vorkommen, wurde die Bezeichnung Basalganglien zugunsten des definitorisch richtigen Namens Basalkerne fallen gelassen.
Der Nucleus accumbens gehört zum Belohnungssystem. Bei seiner Aktivierung werden z. B. Wünsche in die Tat umgesetzt.

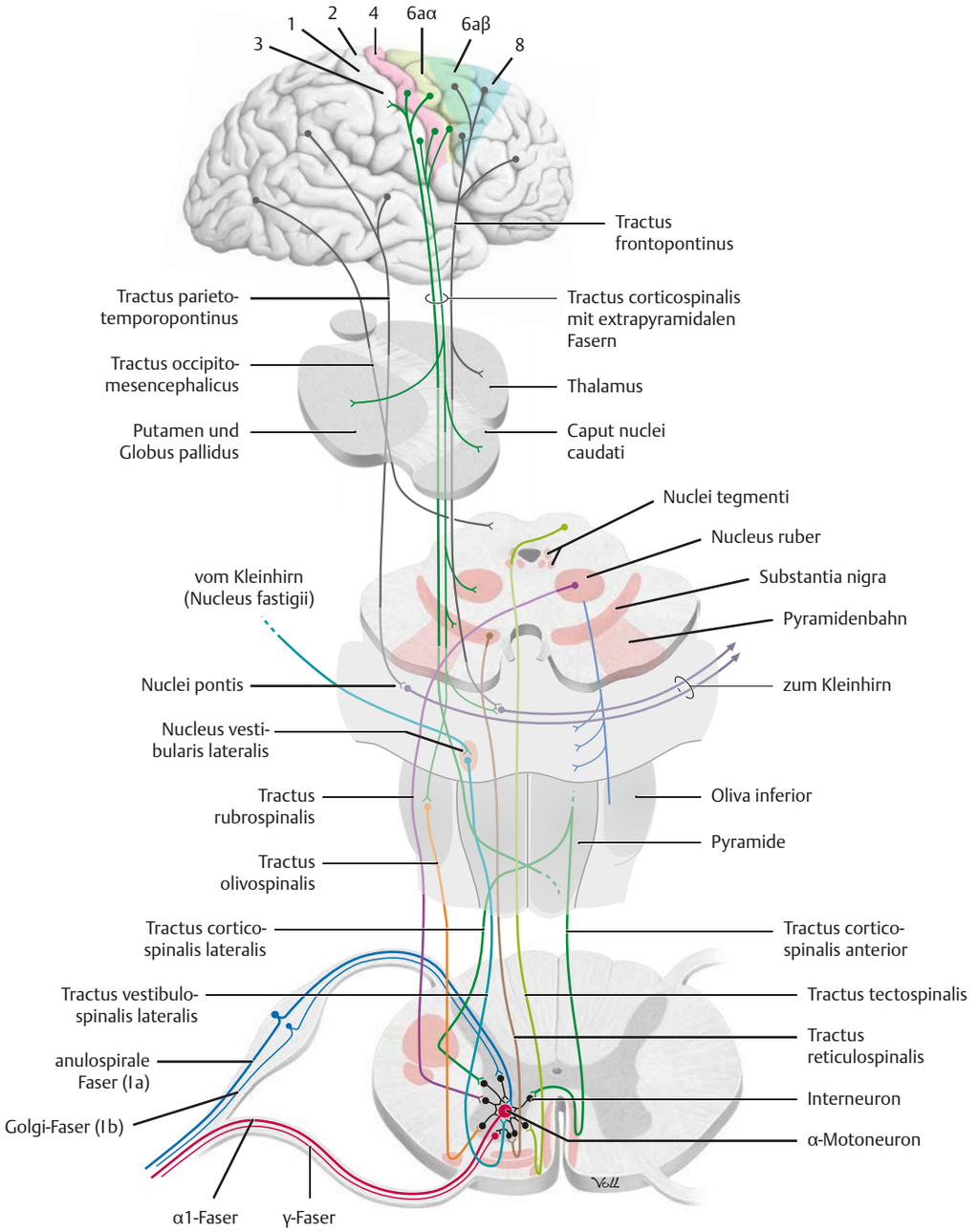


B Informationsfluss zwischen motorischen Kortexarealen und Basalkernen: motorische Schleife

Die Basalkerne sorgen für die kontrollierte und zielgerichtete Ausführung willkürlicher feinmotorischer Bewegungen (z. B. rohes Ei beim Anfassen nicht zerdrücken). Sie integrieren Informationen aus Cortex und subkortikalen Gebieten, die sie parallel verarbeiten und anschließend über den Thalamus wieder den motorischen Rindengebieten zuleiten (Rückkopplung). Neurone aus dem supplementär motorischen, dem prämotorischen, dem primär motorischen und dem somatosensorischen Cortex sowie dem Parietallappen senden ihre Axone in das Putamen (s. S. 337). Zur Weiterleitung der Information aus dem Putamen gibt es initial einen direkten (gelb) und einen indirekten (grün) Weg. Beide Wege führen schließlich über den Thalamus zum motorischen Cortex. Beim *direkten* Weg (gelb) projizieren die Neurone des Putamen in den Globus pallidus internus und die Pars reticularis der Substantia nigra. Beide Kerngebiete projizieren dann zur Rückkopplung in den motorischen Thalamus, der in motorische Kortexareale zurückprojiziert. Der *indirekte* Weg (grün) führt vom Putamen über den Umweg des Globus pallidus externus und des Nucleus subthalamicus zurück zum Globus pallidus internus, der dann in den Thalamus projiziert. Alternativ kann dieser Weg ab dem Nucleus subthalamicus zur Pars reticularis der Substantia nigra führen, die dann ihrerseits in den Thalamus projiziert. Wenn hemmende dopaminerge Neurone in der Pars compacta der Substantia nigra ausfallen, wird der indirekte Weg enthemmt und der direkte Weg nicht mehr gefördert. Beides führt zu einer verstärkten Hemmung thalamokortikaler Neurone. Infolgedessen werden Bewegungen reduziert = *hypokinetische Störung:* z. B. Schüttellähmung (Morbus Parkinson). Die reduzierte Aktivierung der Pars interna des Pallidum und der Pars reticulata der Substantia nigra führen zu einer verstärkten Aktivierung der thalamokortikalen Neurone, es resultieren Spontanbewegungen = *hyperkinetische Störung,* z. B. Chorea Huntington.

Die Ausschnittsvergrößerung (Thalamus) ist mit einem Kästchen markiert.

13.9 Motorisches System: extrapyramidal-motorisches System und Läsionen des motorischen Systems

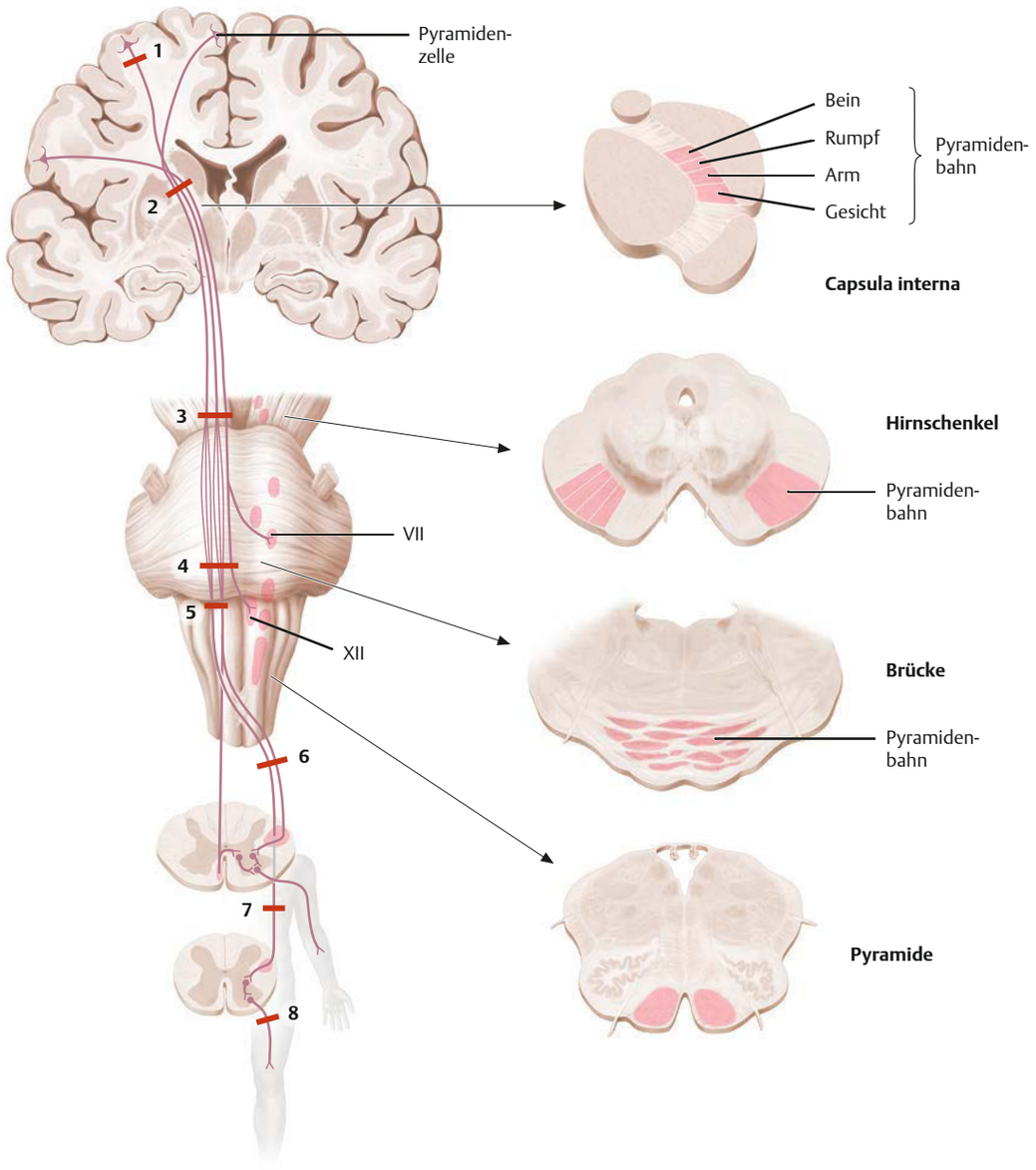


A Absteigende Bahnen des extrapyramidal-motorischen Systems
Die Ursprungsneurone der absteigenden Bahnen des extrapyramidal-motorischen Systems* stammen aus einer heterogenen Gruppe von Kerngebieten. Sie umfassen die Basalkerne (Putamen, Globus pallidus und Nucleus caudatus) sowie Nucleus ruber und Substantia nigra, teilweise stammen sie sogar aus motorischen Kortexarealen (z. B. Area 6). Folgende absteigende Bahnen zählen zum extrapyramidal-motorischen System:

- Tractus rubrospinalis,
- Tractus olivospinalis,
- Tractus vestibulospinalis,
- Tractus reticulospinalis und
- Tractus tectospinalis.

Diese langen absteigenden Bahnen enden auf Interneuronen, deren Synapsen wiederum an α- und γ-Motoneuronen enden und sie damit steuern. Zusätzlich zu diesen langen absteigenden motorischen Bahnen erhalten die Motoneurone noch sensiblen Input (blau). Alle Impulse dieser Bahnen werden vom α-Motoneuron integriert und beeinflussen seine Aktivität und damit die Muskelkontraktion. Die funktionelle Integrität des α-Motoneurons wird klinisch bei der Reflexprüfung getestet.

* Der Begriff extrapyramidal-motorisches System ist in die Kritik geraten, da die funktionellen und anatomischen Komponenten so eng mit dem pyramidal-motorischem System verzahnt sind, dass diese Trennung anatomisch willkürlich erscheint, zumal Kleinhirnbahnen, die ebenfalls in die Steuerung der Motorik mit einbezogen sind, nicht mit zu diesem System zählen. Da der Begriff extrapyramidal-motorisch aber in den neuesten Therapieleitlinien der Deutschen Neurologischen Gesellschaft verwendet wird, erscheint es angebracht, diese Systematik beizubehalten.



B Läsionen der zentralen motorischen Bahnen und ihre Folgen

Rindennahe Läsion (1): Lähmung der Muskulatur, die vom geschädigten Rindenareal innerviert wird. Da Gesicht und Hand im motorischen Cortex durch besonders große Areale repräsentiert sind (s. **B**, S. 457), treten besonders häufig brachiofazial (Arm und Gesicht sind betroffen) betonte Lähmungen auf. Gelähmt ist jeweils die kontralaterale Seite (Pyramidenbahnkreuzung!), wobei die Lähmung schlaff und nicht komplett *(Parese)* ist, da die extrapyramidalen Fasern *nicht* geschädigt sind. Wären die extrapyramidalen Fasern mitgeschädigt, käme es zur kompletten *(Plegie)* und *spastischen* Lähmung, s. u.

Läsion in Höhe der Capsula interna (2): Chronische, kontralaterale und *spastische* Hemi*plegie* (komplette Lähmung), da zusammen mit der Pyramidenbahn auch die extrapyramidal-motorischen Bahnen geschädigt sind*, die sich vor der Capsula interna mit den Fasern der Pyramidenbahn mischen (häufige Ursache: Schlaganfall).

Läsion in Höhe der Hirnschenkel (Crura cerebri) (3): Kontralaterale spastische Hemi*parese*.

Läsion in Höhe der Brücke (4): Je nach Größe der Läsion: kontralaterale Hemiparese oder beidseitige Parese. Da die Fasern der Pyramidenbahn in der Brücke weiter auseinander liegen als in der Capsula interna, werden oft nicht alle Fasern geschädigt. So verlaufen die Fasern für den N. facialis und den N. hypoglossus dorsaler, so dass sie meist nicht betroffen sind. Durch die Schädigung des Abduzenskerns kann es zu einer ipsilateralen Abduzens- und/oder Schädigung des Trigeminuskerns (nicht dargestellt) kommen.

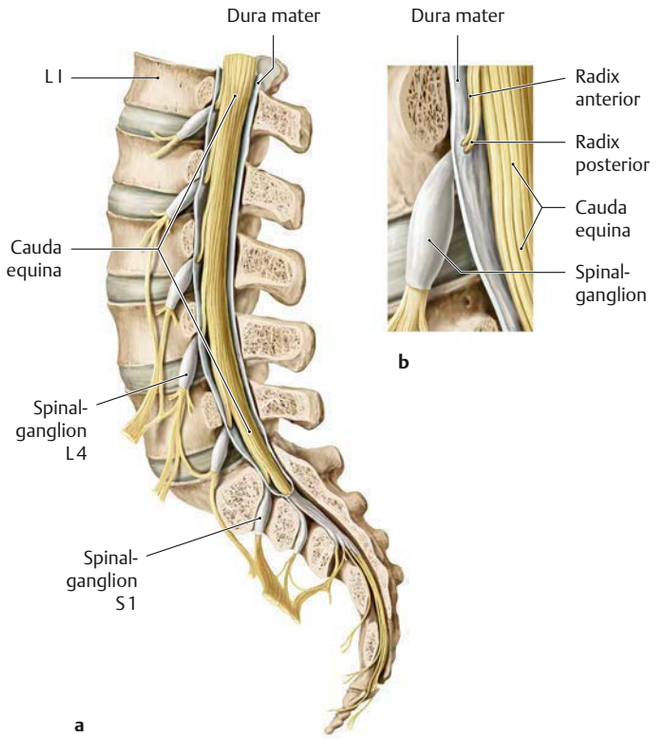
Läsion in Höhe der Pyramide (5): Schlaffe kontralaterale Parese, da die Fasern der extrapyramidal-motorischen Bahnen (z. B. Tractus rubro- und tectospinalis) weiter dorsal verlaufen als die der Pyramidenbahn und somit bei einer isolierten Läsion der Pyramide nicht mitbetroffen sind.

Läsion in Höhe des Rückenmarks (6, 7): Eine Läsion in Höhe des Halsmarks (6) führt zu einer ipsilateralen spastischen Hemiplegie, da die Fasern von pyramidalem und extrapyramidalem System in dieser Höhe eng miteinander verwoben sind und bereits gekreuzt haben. Eine Läsion in Höhe des Brustmarks (7) führt zu einer ipsilateralen spastischen Lähmung des Beines.

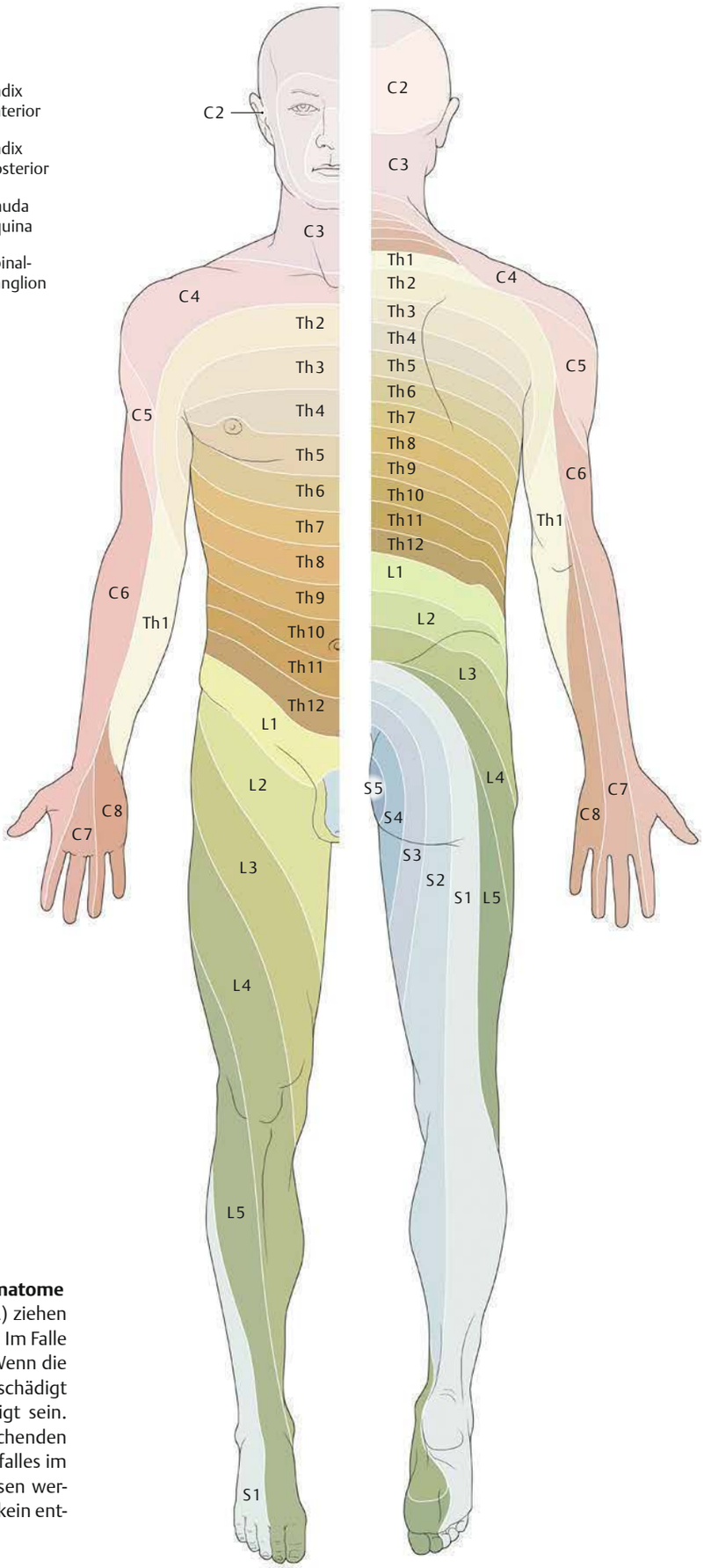
Läsion in Höhe des peripheren Nervs (8): Hier ist das Axon des α-Motoneurons geschädigt, so dass eine schlaffe Lähmung vorliegt.

* Somit ist die spastische Lähmung eigentlich das Zeichen einer Schädigung der extrapyramidal-motorischen Bahnen. Diese Tatsache war aber zum Zeitpunkt der Erstbeschreibung der Pyramidenbahnläsion nicht bekannt, so dass man annahm, die *Pyramidenbahnläsion* führe zur spastischen Lähmung. Da dieses Faktum praktisch keine Konsequenzen nach sich zieht, wird die Spastik in den Lehrbüchern manchmal noch der Pyramidenbahnläsion zugesprochen. Besser wäre es, spastische Lähmungen vereinfacht als zentrale Lähmungen anzusehen.

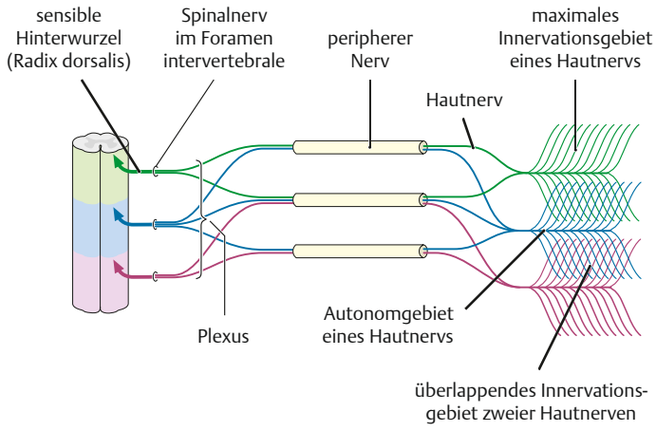
13.10 Radikuläre Läsionen: Überblick und sensible Schäden



A Kaudales Ende des Rückenmarks und Cauda equina im Wirbelkanal
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links. Das Rückenmark endet etwa in Höhe von L I, so dass im Wirbelkanal kaudal von L I nur noch die vorderen und hinteren Wurzeln (Radix anterior bzw. posterior) abwärts ziehen (vgl. S. 397). Die vordere motorische und die hintere sensible Wurzel vereinigen sich erst im Foramen intervertebrale zum Spinalnerv. Bei ihrem Eintritt in die Aussackung des Durasackes existieren noch zwei getrennte Öffnungen für beide Wurzeln (**b**). Dies ist die anatomische Ursache dafür, dass bei Kompression auf die Wurzeln sensible (Schmerzen, Sensibilitätsverluste) und motorische (Muskelschwächen bis hin zu Lähmungen) Ausfälle getrennt beobachtet werden können (s. **E**).

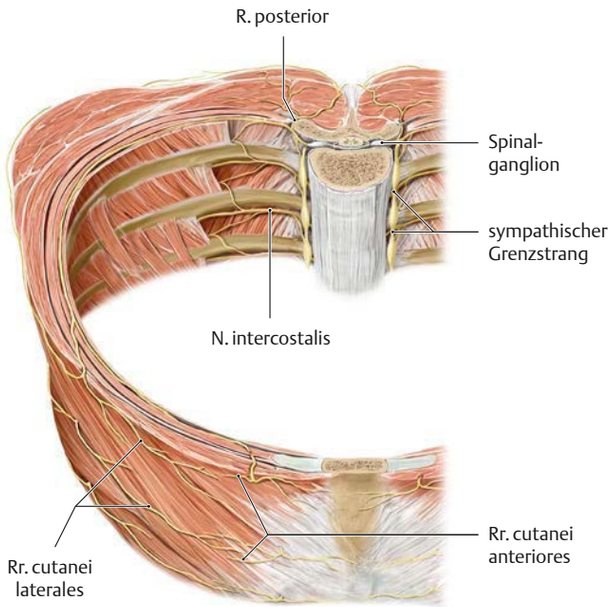


B Projektion der radikulären Innervation auf die Haut: Dermatome
Nach der Vereinigung der beiden Wurzeln zum Spinalnerv (s. **A**) ziehen die in ihnen enthaltenen Nervenfasern in ihr Innervationsgebiet. Im Falle der sensiblen Innervation wird dies als *Dermatom* bezeichnet. Wenn die hintere Wurzel, z. B. durch Vorwölbung einer Bandscheibe, geschädigt wird, kann die Sensibilität im Bereich dieser Wurzel geschädigt sein. Dies führt zu einem Sensibilitätsausfall im Bereich des entsprechenden Dermatoms. Deshalb kann aus dem Gebiet des Sensibilitätsausfalles im Bereich der Haut auf die jeweils geschädigte Wurzel geschlossen werden. Da das Segment C1 nur motorische Fasern enthält, gibt es kein entsprechendes Dermatom.



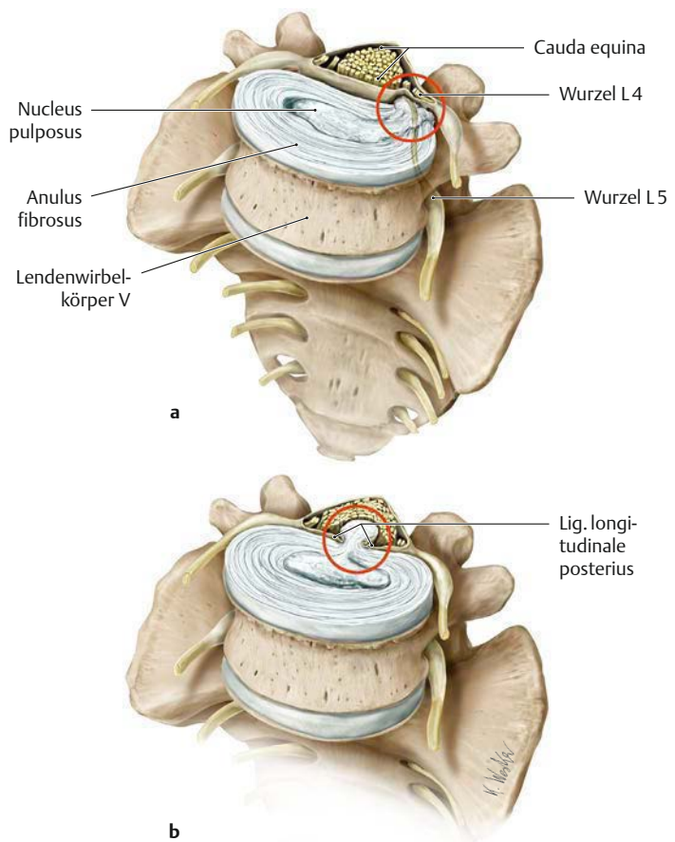
C Ort der radikulären Schädigung

Bei einer radikulären Schädigung liegt der Ort des Schadens entlang der vorderen motorischen bzw. der hinteren sensiblen Wurzel zwischen ihrem Austritt aus dem Rückenmark und der Fusion beider zum peripheren Nerv. Dementsprechend führt eine Läsion der Vorderwurzel zu motorischen Ausfällen (s. S. 464), eine Läsion der Hinterwurzel zu Sensibilitätsstörungen im jeweils versorgten Dermatom. Im Bereich der Extremitäten kommt es aufgrund von Wanderungsbewegungen während der Entwicklung zu Verschiebungen der Innervationsgebiete im Bereich der peripheren Nerven. Im Bereich des Stammes kommt dies nicht vor; hier bleibt die segmentale Innervation erhalten (s. **B** u. **D**). Aufgrund der Überlappung benachbarter Dermatome kann der Sensibilitätsausfall bei Schädigung eines Dermatoms kleiner ausfallen, als hier auf dem Bild dargestellt. Das Gehirn kennt den Ort der Schädigung nicht, sondern verrechnet die Information so, als wenn der Schaden im Bereich des Innervationsgebietes und damit des Dermatoms liegt.



D Radikuläre Innervation des Stammes

Im Bereich des Stammes bleibt die segmentale Anordnung der Muskulatur und damit auch ihrer Innervation erhalten. Da keine Plexusbildung erfolgt, setzt sich das radikuläre Innervationsmuster bis in die Peripherie des Innervationsgebietes eines Hautnervs fort (Th 2–12), s. **B**. Man erkennt, dass die sympathischen Zuflüsse aus dem Grenzstrang (Truncus sympathicus) distal der Wurzel zu den peripheren Nerven gelangen. Bei radikulären Schäden findet man deshalb zumeist keine vegetativen Ausfälle in den betroffenen Dermatomen.



E Druck auf die Spinalnervenwurzeln durch Bandscheibenschäden zwischen dem 4. und 5. Lendenwirbel

Ein Bandscheibenschaden kann zu Druck auf die Spinalnervenwurzel bzw. die Cauda equina führen. Die Bandscheibe besteht aus einem zentralen gallertigen Kern (Nucleus pulposus) und einem peripheren faserknorpeligen Ring (Anulus fibrosus). Wenn dieser Ring geschädigt ist, kann der gallertige Kern nach außen gedrückt werden und die Wurzel im Bereich des Eintritts in das Foramen intervertebrale durch Druck schädigen. Dies ist eine häufige Ursache für einen radikulären Schaden, bei dem zwei Schweregrade unterschieden werden:

- die Reizung der Nervenwurzel im Bereich des Foramen intervertebrale; sie führt zu einem lokalen Kreuzschmerz, dem sog. „Hexenschuss“ (= akute Lumboischialgie) und
- der Bandscheibenvorfall (Prolaps oder Diskushernie), also der Kompression der hinteren und/oder vorderen Spinalnervenwurzel durch vermehrten Austritt von Material aus dem Nucleus pulposus der Bandscheibe; dies führt neben starken Schmerzen zu sensiblen und – wenn auch die vordere Wurzel betroffen ist – zu motorischen Ausfällen.

a Mediolateraler Bandscheibenprolaps zwischen 4. und 5. Lendenwirbelkörper: Die hinter der Bandscheibe ziehende, 5. Lumbalwurzel wird geschädigt, nicht die auf gleicher Höhe liegende 4. Lumbalwurzel, die bereits (von kranial kommend) in das Foramen intervertebrale gezogen ist. Die Sensibilitätsausfälle äußern sich dementsprechend im Dermatom L 5 (s. **B**). Nur bei einem sehr weit lateral liegenden Prolaps wird die Wurzel geschädigt, die auf gleicher Höhe liegt wie der jeweilige Wirbelkörper.

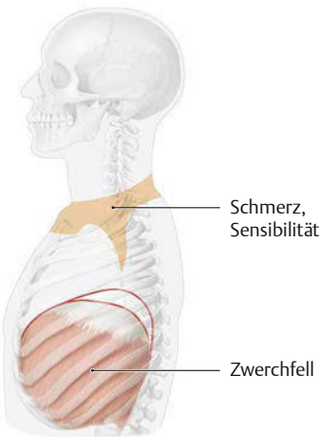
b Medialer Bandscheibenprolaps auf Höhe des 4. und 5. Lendenwirbelkörpers, der durch das hintere Längsband hindurch zum Druck auf die Cauda equina führt. Wenn bei einer Läsion in diesem Bereich mehrere Wurzeln betroffen sind, liegt ein *Kaudasyndrom* vor. Zur Lokalisation der Schädigung der einzelnen Wurzeln s. S. 464.

13.11 Radikuläre Läsionen: motorische Schäden

A Kennmuskeln der radikulären Schädigung im Bereich der Extremitäten und des Zwerchfells (nach Kunze)

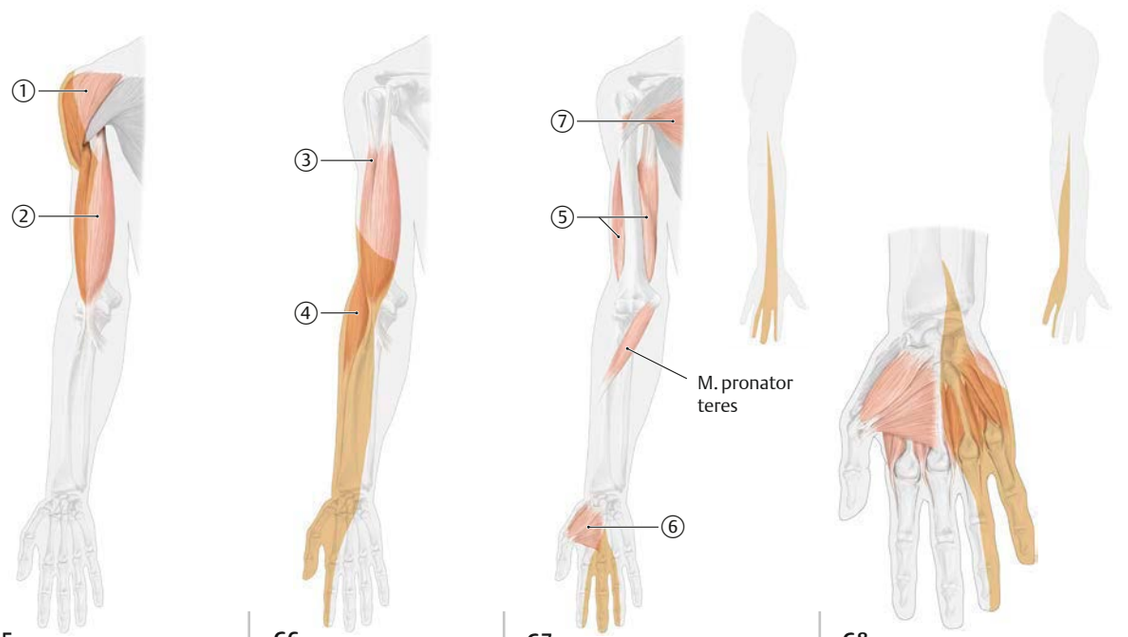
Während die zuvor (s. **C**, S. 463) beschriebene Läsion der *sensiblen Hinterwurzel* zu Sensibilitätsstörungen im Bereich einzelner Dermatome führt (s. S. 462), führt eine Läsion der *motorischen Vorderwurzel* zur Reduzierung der Muskelkraft einzelner Muskeln. Vom betroffenen Muskel lässt sich – ebenso wie vom betroffenen Dermatom – auf das jeweils geschädigte Rückenmarksegment bzw. dessen Wurzel schließen. Die vorwiegend von einem Segment versorgten Muskeln nennt man die *Kennmuskeln* dieses Segments. Sie entsprechen damit den Dermatomen der Hinterwurzel. Da die Kennmuskeln zwar vorwiegend, aber in der Regel nicht ausschließlich von einem einzigen Segment versorgt werden, führt die Läsion eines Segments/einer Spinalnervenwurzel meist nicht zur völligen Lähmung (Paralyse oder Plegie), sondern nur zur Muskelschwäche (Parese) dieses Muskels. Umgekehrt können Muskeln, die auch – aber nicht hauptsächlich – von diesem Segment bzw. dieser Wurzel innerviert werden, ebenfalls diskrete Paresen aufweisen. Im Folgenden sind die Kennmuskeln im Bereich der oberen und unteren Extremität aufgeführt. Während sensible Hinterwurzelschäden auch isoliert auftreten können, sind motorische Vorderwurzelschäden meist mit Hinterwurzelschäden kombiniert. Deshalb sind in dieser Tabelle auch die Dermatome mit aufgeführt.

Beachte, dass im Bereich des Stammes keine Plexusbildung stattfindet, so dass dort die segmentale Innervation mit der peripheren identisch ist.

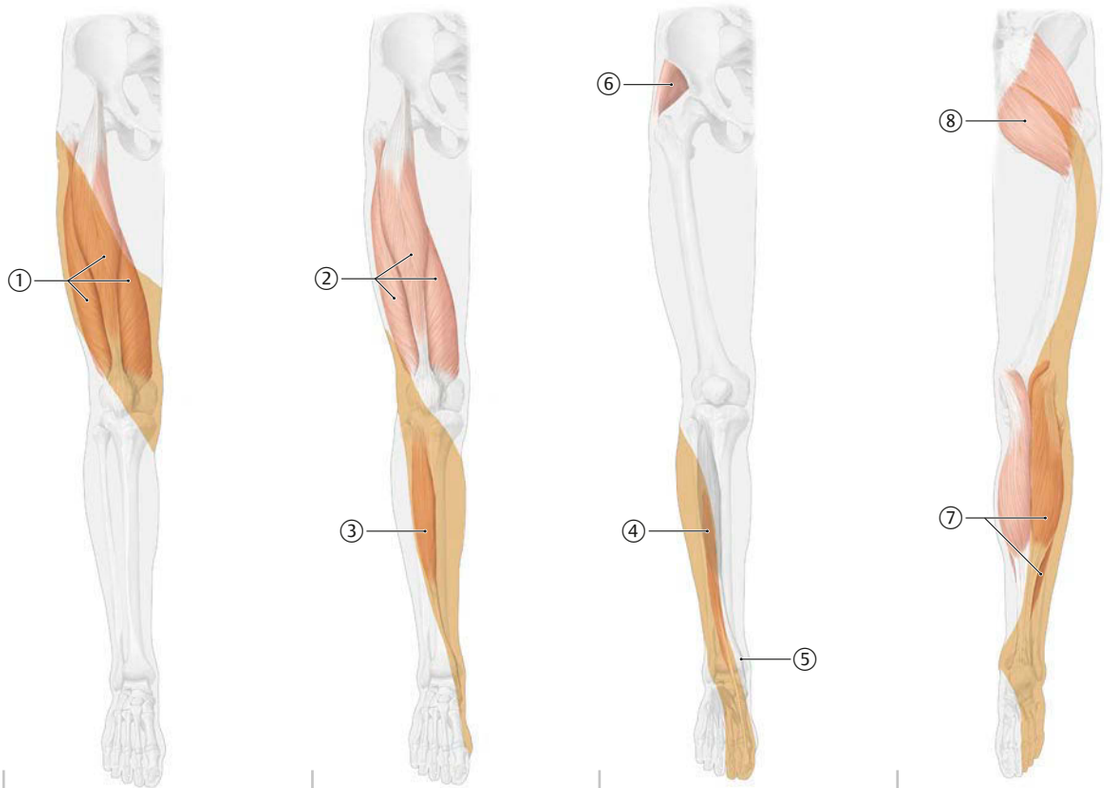


C4

Lokalisation von Schmerz/ Sensibilitätsstörung	Schulter
Kennmuskel	Zwerchfell
Reflexe, die bei Schädigung des Segments ausfallen	keine



	C5	C6	C7	C8
Lokalisation von Schmerz/Sensibilitätsstörung	Außen- und Rückseite der Schulter, Vorderaußenseite des proximalen Unterarms	dorsoradialer Oberarm, radialer Unterarm → Daumen	Rückseite Oberarm, Streckseite Unterarm → 2./3. (4.) Finger	ulnare Handseite bis in Kleinfinger und Ringfinger reichend
Kennmuskel (und mitbetroffener Muskel)	① M. deltoideus ② (M. biceps brachii)	③ M. biceps brachii ④ (M. brachioradialis)	⑤ M. triceps brachii, Hand- und Fingerbeuger sowie -strecker ⑥ Thenarmuskulatur ⑦ M. pectoralis major (Atrophie der Pars sternocostalis)	Kleinfingerballen, ulnare lange Fingerbeuger (M. triceps brachii, M. pectoralis major – Pars abdominalis)
Reflexe, die bei Schädigung des Segments ausfallen	Bizepsreflex	Bizepsreflex (Brachioradialisreflex)	Trizepsreflex (Trömner-Reflex)	Trizepsreflex (Trömner-Reflex)



	L3	L4	L5	S1
Lokalisation von Schmerz/Sensibilitätsstörung	Oberschenkelvorderseite, etwa vom Trochanter schräg abwärts zur Knieinnenseite	laterodorsaler Oberschenkel, Streckseite des Knies bis zur Vorderinnenseite des Unterschenkels	Dorsalseite Oberschenkel, Außenseite des Knies, vorderer lateraler Unterschenkel, Fußrücken bis zur Großzehe	Außenseite des Ober- und Unterschenkels, Ferse bis zum Fußaußenrand
Kennmuskel (und mitbetroffener Muskel)	① M. quadriceps femoris (Adduktoren)	② M. quadriceps femoris, besonders dessen M. vastus medialis ③ (M. tibialis anterior, Adduktoren)	④ M. extensor hallucis longus ⑤ M. tibialis anterior ⑥ M. gluteus medius	⑦ M. triceps surae, Mm. peronei, Oberschenkelbeuger ⑧ M. gluteus maximus
Reflexe, die bei Schädigung des Segments ausfallen	Quadrizepsreflex (= Patellarsehnenreflex = PSR)	Quadrizepsreflex (Adduktorenreflex)	Tibialis-posterior-Reflex	Triceps-surae-Reflex (= Achillessehnenreflex = ASR)

B Die wichtigsten Kennmuskeln der Rückenmarksegmente

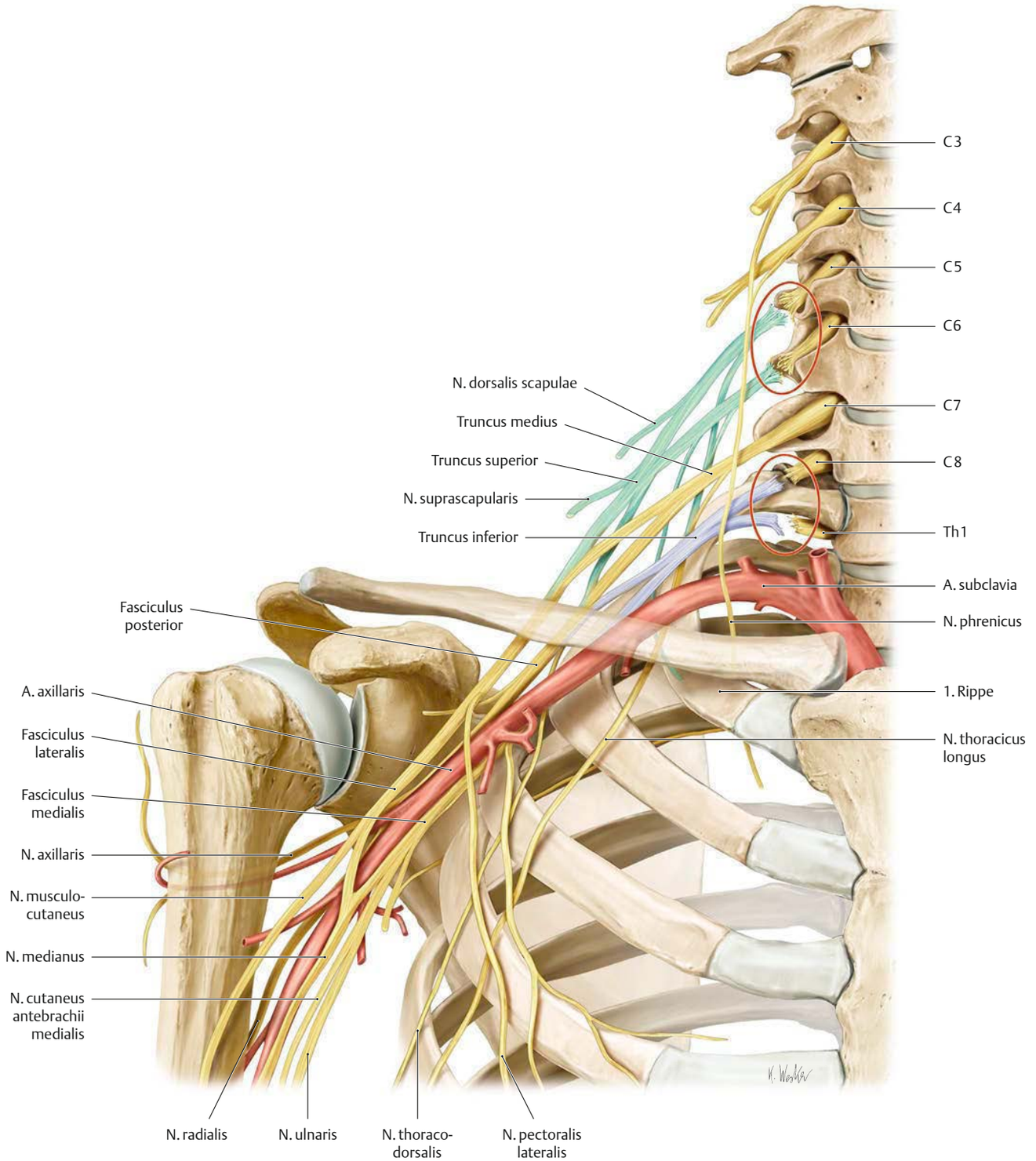
Die Tabelle führt die für ein Segment typischen Muskeln auf. Diese Kenntnis braucht man, um den Ausfall eines Segments gezielt feststellen zu können.

Segment	Kennmuskel
C4	Diaphragma
C5	M. deltoideus
C6	M. biceps brachii
C7	M. triceps brachii
C8	Kleinfingerballenmuskeln, ulnare lange Fingerbeuger
L3	M. quadriceps femoris
L4	M. quadriceps femoris, M. vastus medialis
L5	M. extensor hallucis longus, M. tibialis anterior
S1	M. triceps surae, Mm. peronei, M. gluteus maximus

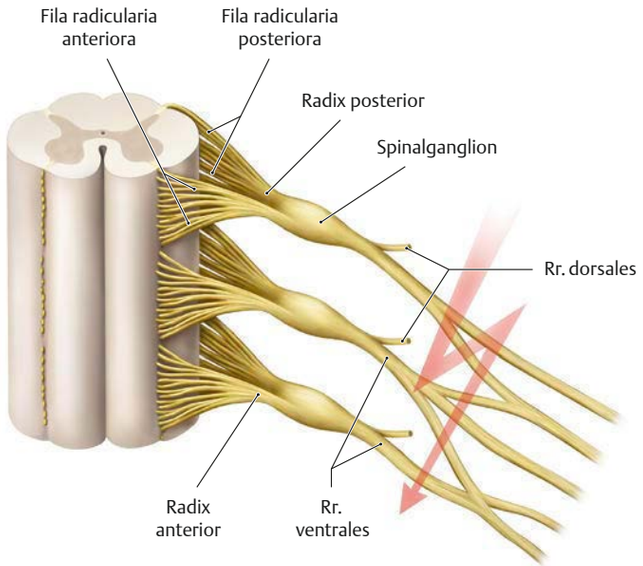
C Klinische Zeichen der Irritation von Nervenwurzeln

- Schmerzen im Bereich des betroffenen Dermatoms
- Sensibilitätsausfälle im Bereich des betroffenen Dermatoms
- Verstärkung der Schmerzen bei Husten, Niesen, Pressen
- Schmerzfasern stärker betroffen als übrige sensible Fasern
- motorische Ausfälle in den Kennmuskeln des Segments
- Reflexstörungen bzw. -ausfälle im Bereich des betroffenen Segments

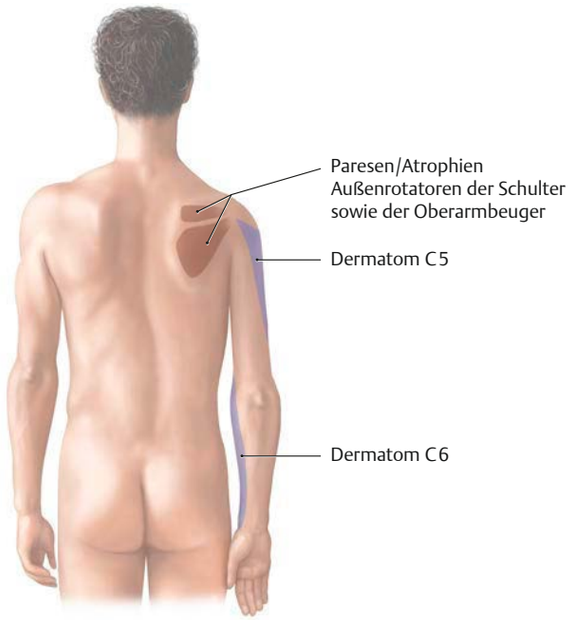
13.12 Armplexusläsion



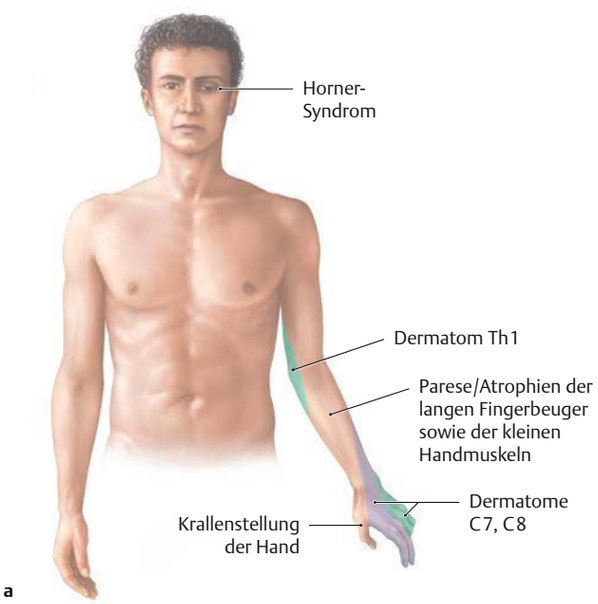
A Lähmungen des Plexus brachialis
Ansicht von ventral rechts. Definitionsgemäß unterscheidet man eine obere von einer unteren Plexuslähmung. Bei der *oberen Plexuslähmung* sind die Rr. ventrales von C5 und C6 geschädigt (s. **C**), bei der *unteren* die Rr. ventrales von C8 und Th1 (s. **D**); C7 stellt die „Wasserscheide" zwischen den beiden Lähmungstypen dar, sie ist typischerweise bei keiner der beiden Läsionen betroffen. Bei schweren Traumen kann es auch zu einer kompletten Läsion des Plexus brachialis kommen. Die arabischen Ziffern bezeichnen die Nervenwurzeln.

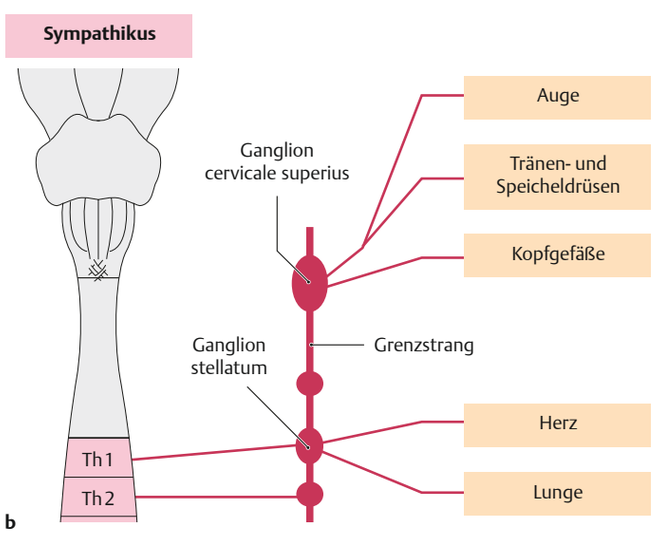


B Ort der Schädigung bei einer Plexuslähmung
Bei einer Plexusläsion werden die Rr. ventrales mehrerer Spinalnerven geschädigt, die die Zuflüsse zu den Plexus bilden. Sie enthalten sowohl motorische als auch sensible Fasern, so dass bei einer Plexusläsion immer motorische und sensible Störungen kombiniert auftreten. Die daraus resultierende Lähmung (s. **C**) ist immer schlaff, da es sich um eine periphere Lähmung (= Läsion des 2. motorischen Neurons) handelt.



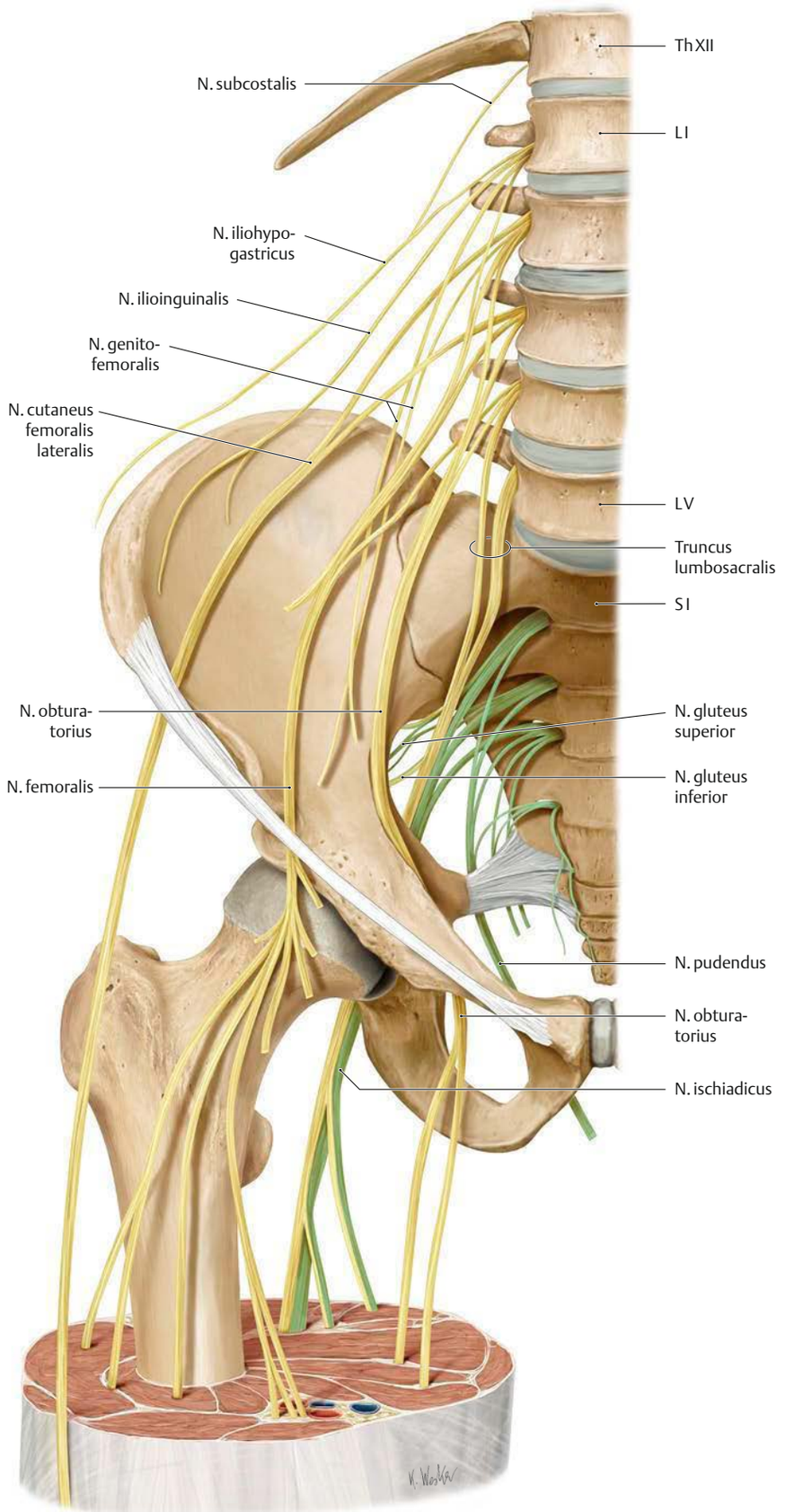
C Beispiel: obere (Erbsche) Armplexuslähmung
Bei dieser Lähmung sind die Rr. ventrales der Spinalnerven aus C5 und C6 geschädigt: Die Abduktoren und die Außenrotatoren des Schultergelenks sowie die Oberarmbeuger und der M. supinator fallen aus. Der Arm hängt schlaff herunter (Ausfall Oberarmbeuger), die Handfläche ist nach hinten gedreht (Ausfall M. supinator, Überwiegen der Pronatoren). Zusätzlich kann es zu Teillähmungen der Strecker des Ellenbogengelenks sowie der Hand kommen. Typischerweise treten Sensibilitätsstörungen an der Außenseite des Ober- und Unterarmes auf; sie können jedoch auch fehlen. Häufige Ursache für eine obere Armplexuslähmung sind Geburtstraumen (prominentes Beispiel: Kaiser Wilhelm II.).





D Beispiel: untere (Déjerine-Klumpke-) Armplexuslähmung
Bei dieser Lähmung fallen die Rr. ventrales der Spinalnerven aus C8 und Th1 aus (s. **a**). Neben den Handmuskeln sind auch die langen Fingerbeuger und die Flexoren im Handgelenk betroffen (Krallenhand mit Atrophie der kleinen Handmuskeln). Sensibilitätsstörungen treten im ulnaren Bezirk von Unterarm und Hand auf. Da die sympathischen Fasern für den Kopf das Rückenmark über Th1 verlassen (s. **b**), fällt die sympathische Innervation des Kopfes mit aus. Dies äußert sich in Form des *einseitigen Horner-Syndroms:* Miosis (Engstellung der Pupille durch Ausfall des M. dilatator pupillae), Verengung der Lidspalte (keine Ptosis!) durch Ausfall der sympathisch innervierten Mm. tarsales superior und inferior und Enophthalmus (in die Orbita zurückgesunkenes Auge), der jedoch durch die verengte Lidspalte nur vorgetäuscht ist.

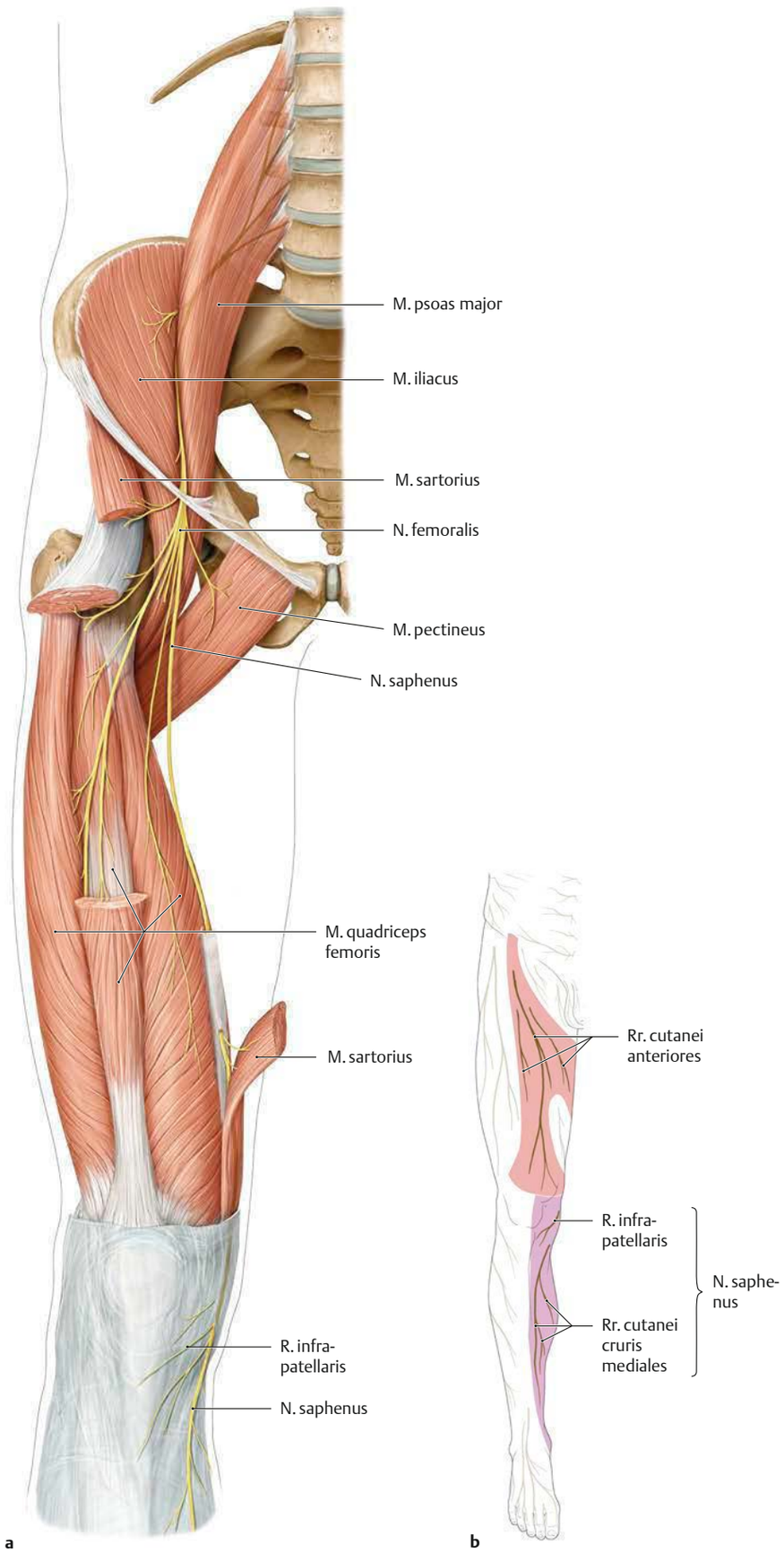
13.13 Beinplexusläsion



A Plexus lumbosacralis
Ansicht von ventral. Der Plexus lumbosacralis wird in einen Plexus lumbalis (gelb: Th12–L4) und einen Plexus sacralis (grün: L5–S4) unterteilt. Die unteren Fasern von L4 sowie alle Fasern von L5 vereinigen sich zum Truncus lumbosacralis, der die Verbindung zum Plexus sacralis herstellt. Letzterer zieht nach dorsal.
Beachte: Die meisten Nerven der lumbalen Anteile ziehen nach ventral, während alle sakralen Anteile nach dorsal ziehen. Da der Plexus lumbosacralis sehr geschützt in der Tiefe des Beckens liegt, ist er seltener von Läsionen betroffen als der Armplexus, der viel oberflächlicher verläuft. Läsionen des Plexus lumbosacralis treten auf bei Beckenringfrakturen, bei Fraktur des Os sacrum, bei Hüftgelenksfrakturen und als Folge von Hüftgelenksersatz.



B Läsion des linken Plexus lumbalis (Th12–L4)
Bei dieser Lähmung steht der Ausfall des N. femoralis klinisch im Vordergrund. Betroffen sind: Hüftflexoren, Knieextensoren sowie Außenrotatoren und Adduktoren des Oberschenkels (**a**). Die Sensibilität an der Vorderinnenseite des Ober- und Unterschenkels ist gestört. Die sympathischen Fasern für das Bein, die aus dem Lumbalmark stammen und im Plexus lumbalis mitziehen, fallen ebenfalls aus. Die Folgen sind (**b**): überwärmter Fuß (Vasokonstriktion durch Sympathikus fehlt) und Anhidrose der Fußsohle (keine Schweißsekretion, da die sympathische Innervation der Schweißdrüsen entfällt). Bei intakter Schweißsekretion ergibt der Ninhydrin-Test (Fußabdruck auf einem Bogen Papier färbt sich mit einer 1% Ninhydrin-Lösung violett) ein positives Färbeergebniss.
Beachte den Seitenvergleich zur gesunden Extremität rechts!



C Muskel- und Hautversorgungsareal des Nervus femoralis (L1–4)
Ansicht von ventral.



D Läsion des rechten Plexus sacralis (L5–S4)

Klinisch imponiert bei dieser Läsion der *Ausfall des N. ischiadicus* mit seinen beiden Hauptnerven N. tibialis und N. fibularis, die naturgemäß gemeinsam betroffen sind. Damit fallen die Plantarflexoren (N. tibialis, Zehengang unmöglich) sowie die Fuß- und Zehenextensoren aus (N. fibularis, Steppergang: der Patient muss beim Gehen die Knie abnorm hochziehen, um den herunterfallenden Vorderfuß nicht auf dem Boden schleifen zu lassen). Sensibilitätsstörungen treten an der Rückseite von Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß auf. Klinisch fällt ebenfalls die *Läsion des N. gluteus superior* auf, so dass die durch ihn innervierten Mm. glutei medius und minimus ausfallen. Beide Muskeln stabilisieren das Becken auf der Seite des Standbeins. Wenn beide Muskeln ausfallen, kippt das Becken in Richtung Spielbein ab: Die Folge ist ein „Watschelgang" wie bei der Ente (= sog. positives Trendelenburg-Zeichen). Der vom N. gluteus superior innervierte M. tensor fasciae latae, der beide Mm. glutei unterstützt, fällt ebenfalls aus. Zur Systematik der Läsionen der einzelnen peripheren Nerven s. Prometheus, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem.

13.14 Läsionen des Rückenmarks und der peripheren Nerven: sensible Ausfälle

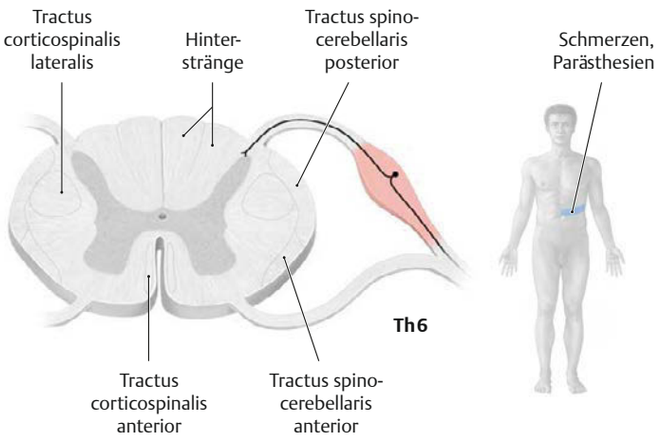
Übersicht über die nächsten drei Lerneinheiten (nach Bähr u. Frotscher)
Bei der Diagnostik von Läsionen des Rückenmarks muss man sich zwei Fragen stellen:

1. Welche Struktur(en) innerhalb des Rückenmarks*querschnitts* ist/sind betroffen? Hierbei wird systematisch von peripheren zu zentralen Abschnitten vorgegangen.
2. Auf welcher Höhe des Rückenmarks (Rückenmarkslängsschnitt) liegt die Läsion?

Hier werden die Ausfallerscheinungen (Syndrome) zunächst den Strukturen des Rückenmarksquerschnitts zugeordnet, dann wird die Höhe der Läsion besprochen. Diese Syndrome rufen Ausfallerscheinungen hervor, die aus der Schädigung definierter anatomischer Strukturen resultieren und somit anatomisch erklärt werden können. Anhand der hier beschriebenen Syndrome kann man sich daher selbst überprüfen und feststellen, ob das bisher gelernte Wissen zu einem Verständnis geführt hat und intellektuell umgesetzt werden kann.

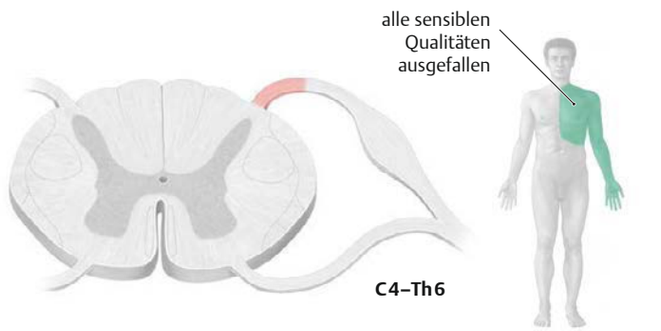
A Syndrom des Spinalganglions am Beispiel einer isolierten Läsion von Th6

Spinalganglien sorgen als Teil der Hinterwurzel für die Übertragung sensorischer Informationen (Sitz der Perikarya des 1. sensiblen Neurons). Wenn nur ein einziges Spinalganglion geschädigt ist (z. B. infolge einer viralen Infektion wie der Gürtelrose, treten nur in seinem sensiblen Innervationsgebiet (Dermatom) Schmerzen und Parästhesien auf. Da sich Dermatome stark überlappen, können benachbarte Dermatome im Randbereich die Funktion des ausgefallenen Dermatoms mit übernehmen. Der Bereich des absoluten Sensibilitätsausfalles, das sog. Autonomgebiet des Dermatoms, kann daher klein sein.



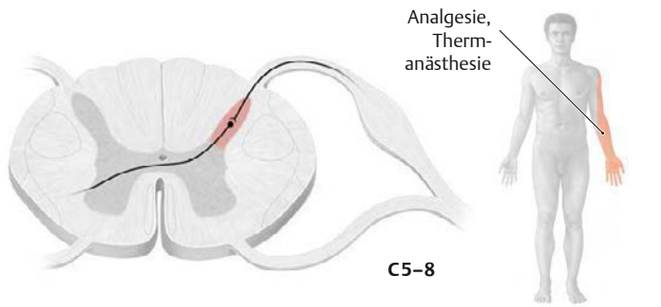
B Syndrom der Hinterwurzel am Beispiel einer Läsion in Höhe von C4–Th6

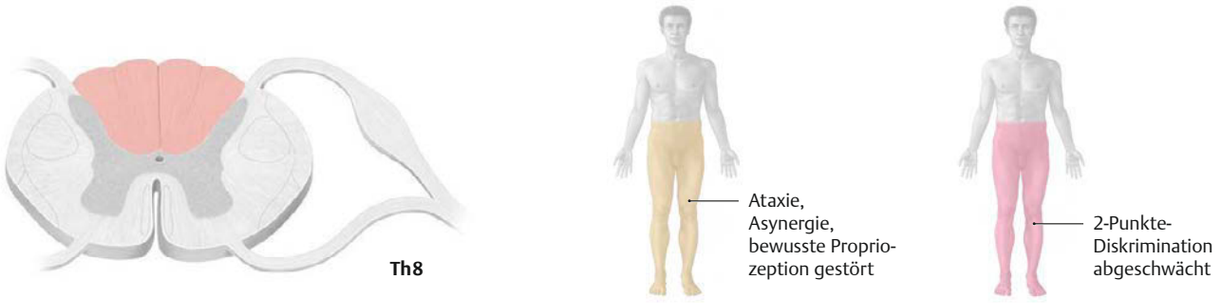
Sind – wie in diesem Beispiel – mehrere, aufeinanderfolgende Hinterwurzeln ausgeschaltet (Unfall, degenerative Veränderungen an der Wirbelsäule, Tumoren), liegt in den betroffenen Dermatomen ein vollständiger Sensibilitätsausfall vor. Wenn der afferente Schenkel eines Reflexes von diesem Sensibilitätsverlust betroffen ist, kommt es zu einer Hypo- oder Areflexie dieses Reflexes. Wenn die sensible Hinterwurzel nur gereizt, nicht aber durchtrennt wird, wie z. B. bei einem Bandscheibenvorfall, werden im betroffenen Dermatom z. T. starke Schmerzen wahrgenommen. Da sich Schmerzfasern nicht so stark überlappen wie andere sensible Fasern, kann man das betroffene Dermatom und damit das entsprechende Rückenmarkssegment besonders gut anhand der Lokalisation der Schmerzen bestimmen.



C Syndrom des Hinterhorns am Beispiel einer Läsion in Höhe von C5–8

Diese Läsion ähnelt der Läsion der Hinter*wurzel* der Spinalnerven: auch hier kommt es zur segmentalen Sensibilitätsstörung. Der Sensibilitätsausfall ist bei einer Läsion des Hinter*horns* des Rückenmarks im Gegensatz zur Hinter*wurzel* jedoch unvollständig. Schmerz- und Temperaturempfindung sind ipsilateral in den entsprechenden Dermatomen aufgehoben, da das 1. periphere/afferente Neuron des Tractus spinothalamicus lateralis im Hinterhorn umgeschaltet wird, also im geschädigten Gebiet liegt. Lage- und Vibrationsempfinden sind jedoch nicht betroffen, da ihre Fasern beide im Funiculus posterior geleitet werden und unter Umgehung des Hinterhorns direkt in den Hintersträngen zum Nucleus gracilis bzw. cuneatus ziehen, wo sie umgeschaltet werden (s. S. 404 f). Die Schädigung des Tractus spinothalamicus anterior fällt klinisch nicht auf. Diese Art der Schädigung (Schmerz- und Temperaturempfindung aufgehoben, Lage- und Vibrationsempfinden nicht) bezeichnet man als *dissoziierte Empfindungsstörung.* Unterhalb der Läsion sind Schmerz- und Temperaturempfindung erhalten, da die Bahnen in der weißen Substanz (Tractus spinothalamicus lateralis) nicht geschädigt sind. Eine solche dissoziierte Empfindungsstörung tritt bei der Syringomyelie auf, einer Fehlbildung, bei der das Neuralrohr dorsal nicht verschlossen wird.



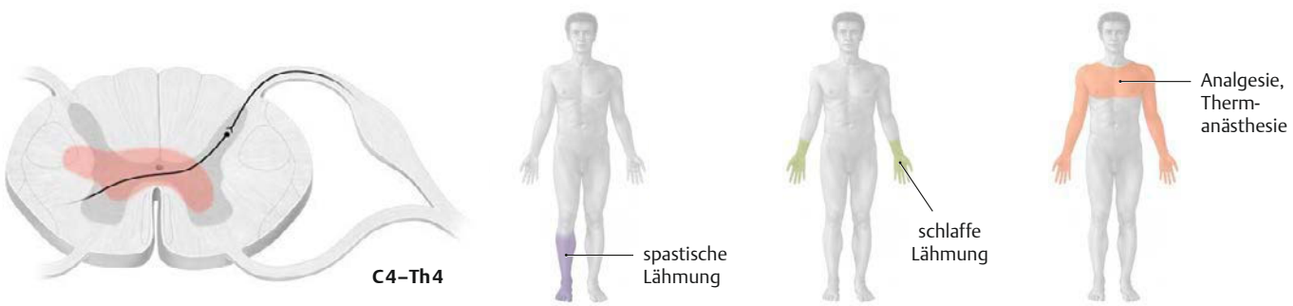


D Syndrom der Hinterstränge am Beispiel einer Läsion in Höhe von Th 8

Kennzeichen einer Hinterstrangschädigung (s. auch S. 404 f) sind der Verlust von:

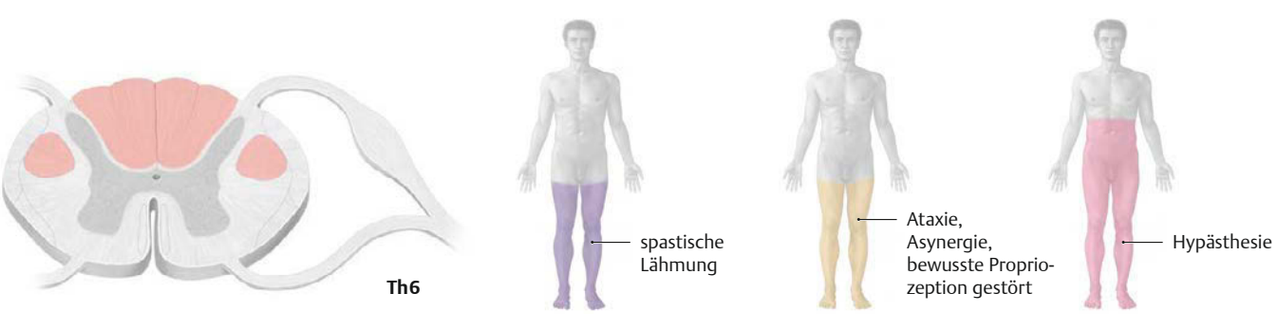
- Lagesinn,
- Vibrationsempfinden und
- Zweipunkte-Diskriminationsvermögen.

Diese Schäden treten distal der Läsion auf, bei Schädigung von Th 8, also im Bereich der Beine und des unteren Rumpfes. Wenn, wie im Beispiel hier, die Beine betroffen sind, kommt es infolge des fehlenden Lagesinns (wird durch Tiefensensibilität vermittelt, s. Propriozeption S. 290) zur Gangunsicherheit (Ataxie); ist der Arm betroffen (hier nicht dargestellt), kommt es naturgemäß nur zur Sensibilitätsstörung. Aufgrund der fehlenden Rückmeldung an das motorische System ist auch das exakte Zusammenspiel verschiedener Muskelgruppen bei feineren Bewegungen nicht möglich (Asynergie). Die Ataxie resultiert daraus, dass die Information über die Körperlage essentiell für die Ausführung von Bewegungen ist. Bei geöffneten Augen wird diese Information (teilweise) durch das Sehen kompensiert, bei geschlossenen Augen verschlimmert sich die Ataxie daher noch. Diese *sensorische Ataxie* unterscheidet sich von der *Kleinhirnataxie* dadurch, dass die Kleinhirnataxie nicht durch visuelle Kontrolle kompensiert werden kann.



E Syndrom der grauen Substanz am Beispiel einer Läsion in Höhe von C 4 – Th 4

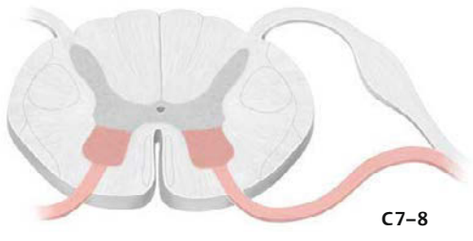
Diese Läsion geht von Prozessen (z. B. Tumoren) in und um den Zentralkanal aus. Alle Bahnen, die durch die graue Substanz kreuzen, sind geschädigt: Tractus spinothalamicus anterior und lateralis. Die Folge ist eine dissoziierte Empfindungsstörung (Analgesie, Thermanästhesie bei erhaltenem Lage-, Vibrations- und Berührungsempfinden), in diesem Fall im Bereich der Arme und des oberen Brustkorbs (vgl. **C**). Bei einer größeren Läsion können auch die Vorderhörner, in denen das α-Motoneuron liegt, mitbetroffen sein, so dass eine schlaffe Lähmung der distalen Teile der oberen Extremität vorliegt. Wird bei einer noch größeren Läsion zusätzlich noch die Pyramidenbahn mitgeschädigt, resultiert daraus eine spastische Lähmung der distal liegenden Muskeln (hier: Beine). Auch dieses Syndrom kann bei der Syringomyelie (s. **C**) oder bei Tumoren, die um den Zentralkanal herum lokalisiert sind, auftreten.



F Syndrom der gemeinsamen Erkrankung von Hintersträngen und Pyramidenbahn am Beispiel einer Läsion in Höhe von Th 6

Durch die *Hinterstrangschädigung* kommt es u. a. zum Verlust des Lagesinns und der Vibrationsempfindung. Die zusätzliche *Pyramidenbahnschädigung* führt darüber hinaus zu einer spastischen Lähmung der Beine und der Bauchmuskulatur distal des betroffenen Dermatoms, im Beispiel also distal von Th 6. Diese Läsion mit zervikothorakal betonten Schäden der Bahnen tritt typischerweise bei der funikulären Myelose (Vitamin-B_{12}-Mangel) auf, bei der zunächst die Hinterstränge und dann die Pyramidenbahn betroffen sind. Es kommt bei dieser Erkrankung zum Zerfall der Myelinscheiden.

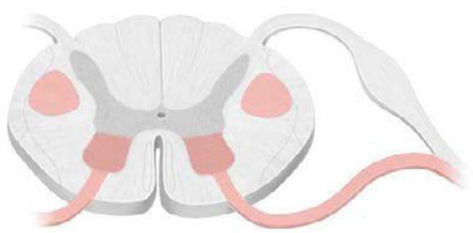
13.15 Läsionen des Rückenmarks und der peripheren Nerven: motorische Ausfälle





A Syndrom der Vorderhörner am Beispiel einer Läsion in Höhe von C7–8

Bei einer Schädigung der motorischen Vorderhornzellen treten ipsilateral Lähmungen auf, im Beispiel hier an Händen und Unterarmmuskulatur, da sich die Läsion in Höhe von C7–8 befindet und diese Segmente die Muskeln in diesem Bereich innervieren. Die Lähmung ist schlaff, da das α-Motoneuron, das die Muskulatur versorgt (lower motor neuron = 2. Motoneuron), ausgefallen ist. Da größere Muskeln nicht nur von einem einzigen Motoneuron aus einem einzigen Segment versorgt werden (s. **A**, S. 398), führt die Schädigung eines einzelnen Segments u. U. nur zu einer Muskelschwäche (Parese), nicht zu einer kompletten Lähmung (Paralyse, Plegie) der betroffenen Muskelgruppe. Wenn die Seitenhörner mitbefallen sind, sind zusätzlich Schweißsekretion und Vasomotorik gestört, da in den Seitenhörnern die Perikarya der sympathischen Neurone liegen, die für diese Funktionen verantwortlich sind. Solche Läsionen treten z. B. bei Kinderlähmung oder bei der spinalen Muskelatrophie auf. Letztere sind relativ seltene, permanent fortschreitende Erbkrankheiten.







B Syndrom der kombinierten Vorderhorn- und Pyramidenseitenstrangschädigung

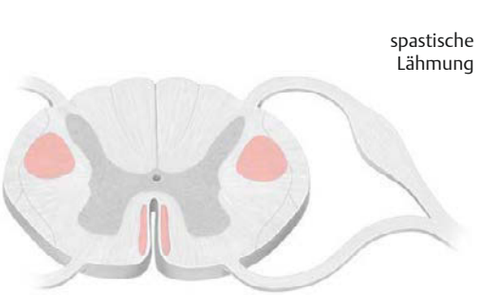
Bei dieser Läsion kommt es zu einer Kombination von schlaffen und spastischen Lähmungen: Der Schaden in den motorischen Vorderhörnern, also des „lower motor neuron" (= 2. Motoneuron) bedingt eine schlaffe Parese, die Läsion des Pyramidenbahnseitenstrangs, also des „upper motor neuron" (= 1. Motoneuron), eine spastische. Das Ausmaß der Schädigung der beiden Neuronentypen kann unterschiedlich und variabel sein, so dass es bei den hier dargestellten Lähmungserscheinungen in den Vorderhörnern auf Höhe von C7–8 zur schlaffen Lähmung in Unterarm und Hand kommt, während der Schaden des Pyramidenseitenstrangs auf Höhe von Th5 zur spastischen Lähmung der Bauch- und Beinmuskulatur führt.

Beachte: Wenn das 2. Motoneuron im Vorderhorn schon geschädigt ist (schlaffe Lähmung), macht sich eine zusätzliche Schädigung des Pyramidenseitenstrangs auf Höhe desselben Segments (spastische Lähmung) nicht bemerkbar.

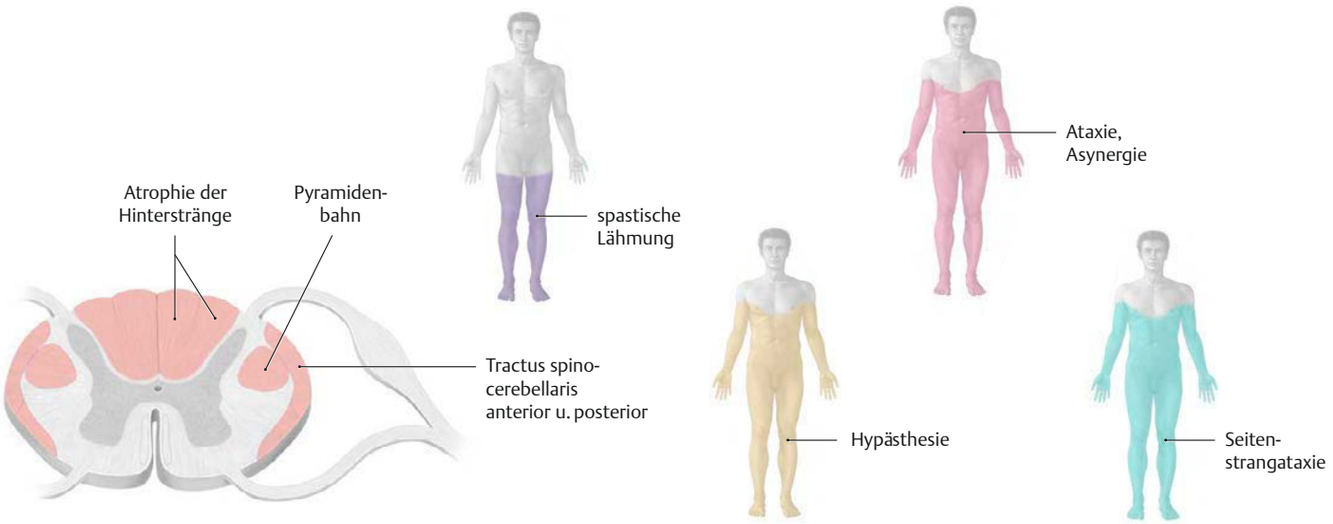
Dieses Läsionsmuster tritt bei der amyotrophen Lateralsklerose auf, bei der die 1., kortikalen (Läsion der Pyramidenbahn) und die 2., spinalen (Läsion der Vorderhörner) Motoneurone zunehmend degenerieren (Ursache unklar). Im Endstadium, wenn auch die motorischen Hirnnervenkerne mitbetroffen sind, kommt es zu Schluck- und Sprachstörungen (Bulbärparalyse). Prominentestes Opfer dieser Erkrankung ist der Astrophysiker Stephen Hawking.

C Syndrom der kortikospinalen Bahnen

Bei der progressiven spastischen Spinalparalyse (Erb-Charcot-Strümpell) gehen die kortikalen Neurone der motorischen Rinde fortschreitend zugrunde, so dass die kortikospinalen Bahnen zunehmend ausfallen (Zerfall der Axone des 1. Motoneurons). Im Verlauf der Erkrankung kommt es zu progressiven spastischen Lähmungen der Extremitäten, die im Bein beginnen und erst sehr viel später die Arme erreichen.

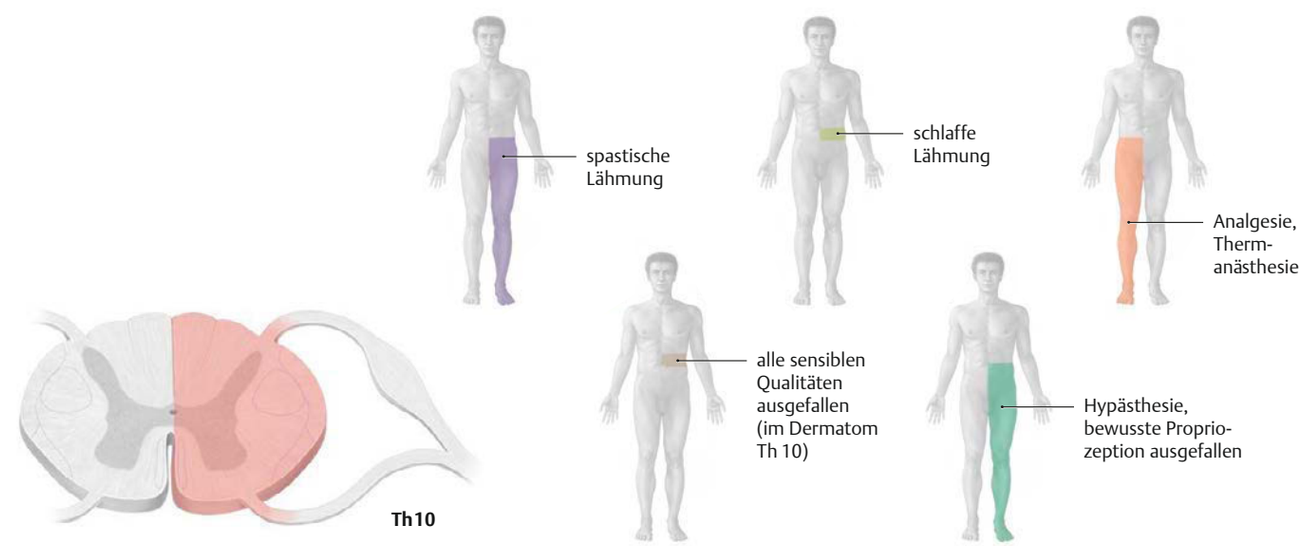






D Syndrom der kombinierten Schädigung von Hinterstrang, spinozerebellären Bahnen und Pyramidenbahn

Bei dieser Läsion gehen zunächst die Neurone in den Spinalganglien zugrunde, die die Informationen für bewussten Lagesinn (Ausfall: Ataxie, Asynergie), Vibrationsempfinden und Zweipunkte-Diskrimination weiterleiten. Dadurch kommt es zu einer Atrophie der Hinterstränge. Schmerz- und Temperaturempfinden, die im nicht betroffenen Tractus spinothalamicus lateralis nach zentral weitergeleitet werden, sind nicht bzw. weniger betroffen. Der sensible Ausfall der bewussten Propriozeption alleine bedingt schon eine sensorische Ataxie (fehlende Rückmeldung an das motorische System s. **D**, S. 471). Da aber zusätzlich noch die spinozerebellären Bahnen (unbewusste Propriozeption) betroffen sind, deren alleinige Schädigung ebenfalls zu einer Ataxie führt, ist die Ataxie bei diesem Doppelausfall bewusster und unbewusster Propriozeption ganz besonders ausgeprägt; sie steht im Vordergrund der Erkrankung. Durch den Ausfall der Pyramidenbahn kommt es zusätzlich zu spastischen Lähmungen. Prototyp dieser Erkrankung ist die erbliche Friedreich-Ataxie, von der es mehrere Varianten gibt; man hat das Gen auf dem Chromosom 19 lokalisiert.



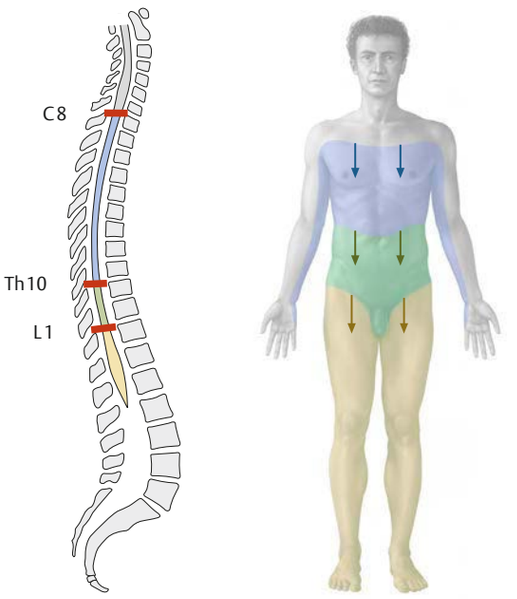
E Syndrom der spinalen Halbseitenlähmung (Brown-Sequard-Syndrom) am Beispiel einer Läsion in Höhe Th10 links

Diese Läsion kommt zwar sehr selten vor (z. B. nach Stichverletzung), ist aber didaktisch hervorragend geeignet, um zu überprüfen, ob man die Funktion und den Verlauf der Bahnen im Rückenmark verstanden hat. Auf der Seite der Läsion kommt es (unterhalb der Läsion) zur spastischen Lähmung (Durchtrennung der Pyramidenbahn; s. Kommentar auf S. 461). Aufgrund der Durchtrennung der Hinterstränge (Bahn der bewussten Propriozeption) kommt es auf der Läsionsseite zur Aufhebung des Lagesinns, des Vibrationsempfindens und der Zweipunkte-Diskrimination. Unterhalb der Läsion kommt es nach Abklingen des spinalen Schocks zu einer spastischen Lähmung, hier des linken Beines. Aufgrund dieser Lähmung tritt eine Ataxie, wie man sie bei einer Durchtrennung der Hinterstränge erwarten würde, naturgemäß nicht zu Tage. Wenn im lokal geschädigten Segment (hier: Th10) die α-Motoneurone zugrunde gehen, tritt in diesem Segment ipsilateral eine schlaffe Lähmung auf. Da die Axone des Tractus spinothalamicus lateralis unterhalb der Läsion bereits auf die gesunde Seite gekreuzt haben, sind – unterhalb der Läsion – Schmerz- und Temperaturempfinden *ipsilateral* nicht beeinträchtigt. *Kontralateral* sind jedoch beide Empfindungen nicht mehr vorhanden, da die gekreuzten Axone der Gegenseite auf der Höhe der Läsion durchtrennt sind. Sind die Wurzeln in Höhe der Läsion gereizt, können radikuläre Schmerzen aufgrund des absteigenden Verlaufs der sensiblen (und motorischen) Wurzeln im Segment oberhalb der Läsion auftreten (s. **E**, S. 463).

13.16 Bestimmung der Höhe einer spinalen Läsion

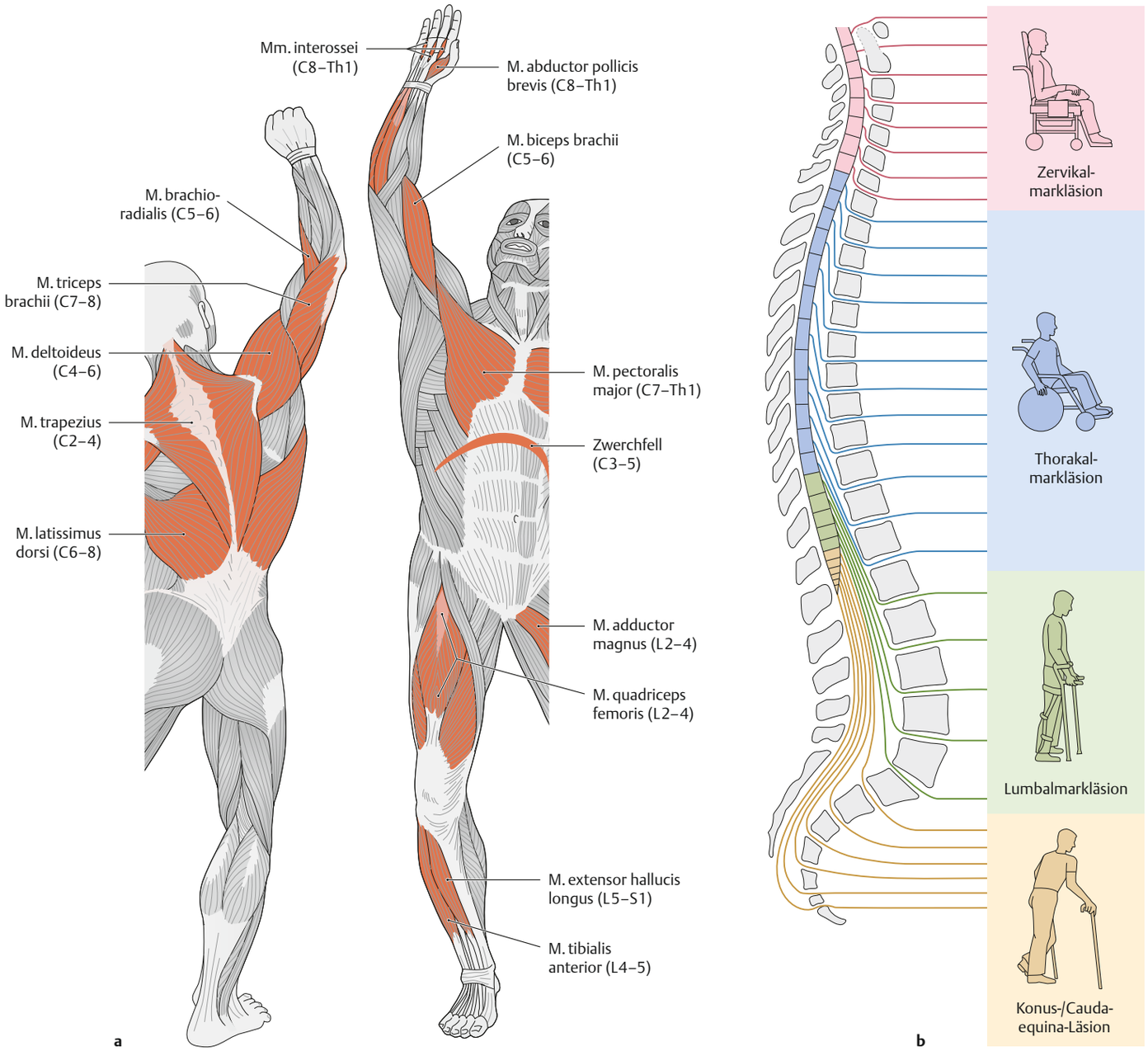
A Ausfallerscheinungen bei Querschnittlähmungen auf unterschiedlicher Höhe des Rückenmarks

Nach den Läsionserscheinungen im Querschnitt des Rückenmarks werden jetzt die Läsionen im Längsschnitt behandelt. Als Beispiel dient die *komplette Querschnittlähmung*, die akut nach schweren Unfällen auftritt und wesentlich häufiger ist als die vorhin beschriebene Halbseitenlähmung (s. **E**, S. 473). Bei der kompletten Querschnittlähmung tritt nach dem akuten Trauma zunächst ein sog. *spinaler Schock* auf, der in seinen pathophysiologischen Einzelheiten wenig verstanden ist. In diesem Zustand liegt unterhalb des Läsionsortes eine komplette schlaffe Lähmung vor, alle sensiblen Qualitäten sind vom Läsionsort abwärts aufgehoben; Blasen- und Mastdarmentleerung sind nicht mehr möglich, die Potenz ist erloschen. Da die sympathischen Fasern ebenfalls unterbrochen sind, sind Schweißsekretion und Wärmeregulation gestört. Nach Tagen bis zu acht Wochen erholt sich die graue Substanz des Rückenmarks, spinale Reflexe kehren zurück, aus der schlaffen Lähmung wird eine spastische. Blasen und Mastdarmentleerung funktionieren wieder, allerdings nur reflektorisch, eine willkürliche Kontrolle ist nicht mehr möglich. Die Potenz kehrt nicht mehr zurück. **Läsionen des Zervikalmarks** oberhalb von C3 sind sofort tödlich, da der N. phrenicus (Hauptwurzel C4), der das Zwerchfell innerviert und damit für die Bauchatmung sorgt, ausfällt. Zusätzlich unterbleibt die Innervation der Interkostalmuskeln (Ausfall der Brustatmung). Bei einer Schädigung des unteren Halsmarks sind alle vier Extremitäten gelähmt, die Atmung aufgrund des Ausfalles der Interkostalmuskeln gefährdet. **Läsionen** im *oberen* Bereich **des Thorakalmarks** (abwärts Th2) verschonen die Arme, die Atmung ist aufgrund der Plegie der Bauchmuskulatur gestört. Bei einer Läsion der *unteren* Thorakalsegmente (genaue Lokalisation unwichtig!) sind die Bauchmuskeln weniger bzw. nicht betroffen, die Atmung ist nicht gestört. Wenn die sympathischen Nn. splanchnici mit geschädigt sind, kann es zu Störungen der Eingeweidemotorik bis hin zum paralytischen Darmverschluss kommen (s. S. 304). Bei **Läsionen im Bereich des Lumbalmarks** unterscheidet man das Epikonussyndrom (L4–S2) vom Konussyndrom (von S3 an abwärts). Beim *Epikonussyndrom* sind die Beine schlaff gelähmt (es sind nur die Wurzeln betroffen, periphere Lähmung!), Blase und Rectum können nur noch reflektorisch entleert werden, die Potenz ist erloschen. Beim *Konussyndrom* fehlt die Lähmung der Beine, nur die eben geschilderten vegetativen Störungen sind vorhanden. Zu den hier geschilderten motorischen Ausfällen kommen noch die sensorischen (s. **B**).



B Ausfallerscheinungen bei einer Querschnittslähmung in Abhängigkeit von der Höhe der Läsion (nach Rohkamm)

Höhe der Läsion	Motorische Ausfallerscheinungen	Sensible Ausfallerscheinungen	Vegetative Ausfallerscheinungen
C1–3 (hohe Halsmarkläsion)	• Tetraplegie • Parese der Nackenmuskulatur • Spastik • Atemlähmung (daher ohne Beatmung sofort letal)	• Ausfall ab Hinterkopf/Unterkieferrand • Schmerzen an Hinterkopf, Nacken und in der Schulterregion	• reflektorische Funktionen der Eingeweide (Blase, Darm) ohne willkürliche Steuerung • Horner-Syndrom
C4–5	• Tetraplegie • ausschließlich Zwerchfellatmung	• Ausfall ab Clavicula/Schulterhöhe	• s. o.
C6–8 (untere Halsmarkläsion)	• Tetraplegie • Zwerchfellatmung • Spastik	• Ausfall ab oberem Brustwand- bzw. Rückenbereich sowie an den Armen (Schultern ausgespart)	• s. o.
Th1–5	• Paraplegie • Atemvolumen verringert	• Ausfall ab Innenseite Unterarm, oberem Brustwand-/Rückenbereich	• reflektorische Funktion von Blase, Mastdarm • Erektion ohne willkürliche Steuerung
Th5–10	• Paraplegie, Spastik	• Ausfall ab entsprechender Höhe im Brustwand-/Rückenbereich	• s. o.
Th11–L3	• Paraplegie	• je nach Läsionsort Ausfall ab Leistenregion/Oberschenkelvorderseite	• s. o.
L4–S2 (Epikonus, Spinalnervenwurzeln gelähmt)	• distale Paraplegie	• je nach Läsionsort Ausfall ab Unterschenkelvorderseite/Fußrücken, Fußsohle/Oberschenkelrückseite	• schlaffe Lähmung von Blase und Mastdarm • keine Erektion
S3–5 (Konus)	• keine Ausfälle	• Ausfall perianal und an der Oberschenkelinnenseite	• s. o.

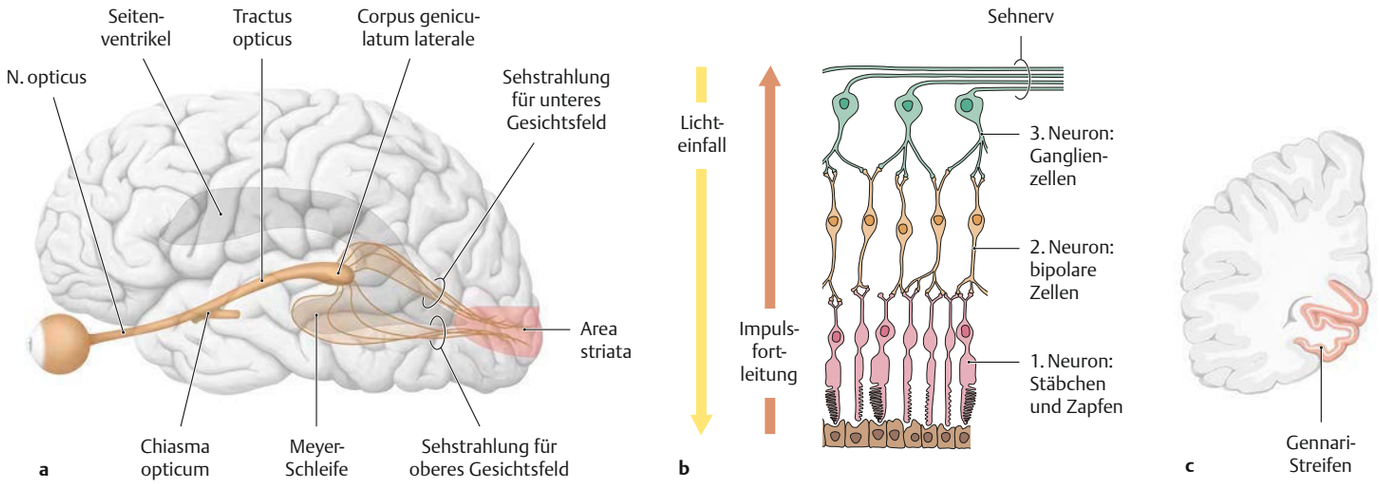


C Höhendiagnostik von Rückenmarksläsionen

a Muskeln und Rückenmarksegmente, aus denen sie innerviert werden. Die meisten Muskeln sind plurisegmental, d. h. an ihrer Innervation sind mehrere Rückenmarksegmente beteiligt. Deshalb muss z. B. der M. latissimus dorsi bei einer Läsion auf Höhe von C7 nicht komplett ausfallen, da er auch noch durch C6 mitinnerviert wird. Anders liegt der Fall bei den Muskeln, die fast ausschließlich aus einem einzigen Segment versorgt werden, den sog. Kennmuskeln (s. **B**, S. 465). Liegt die Läsion beispielsweise auf Höhe von L3, fällt u. a. der M. quadriceps femoris mehr oder weniger komplett aus, da er fast ausschließlich durch L3 innerviert wird.

b Unterschiedlicher Grad der Behinderung in Abhängigkeit von der Höhe der Querschnittlähmung.

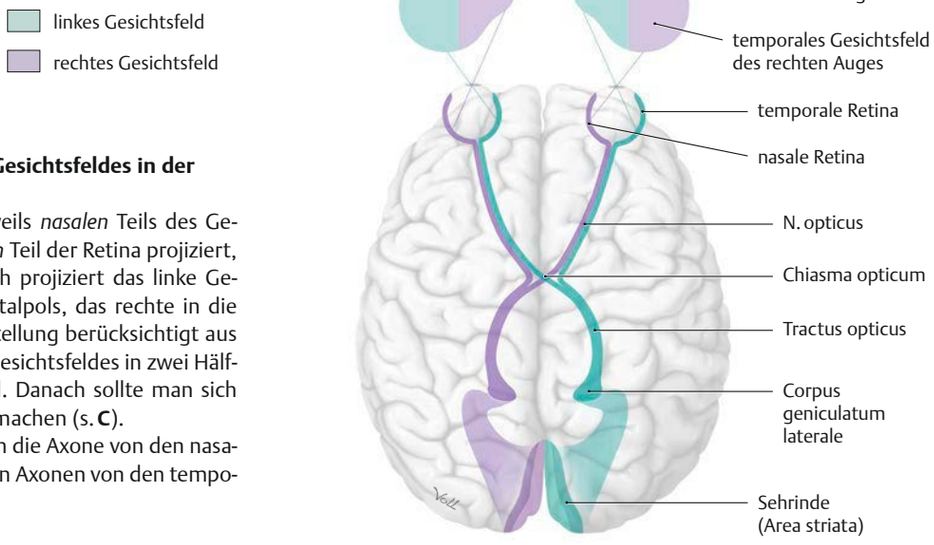
13.17 Visuelles System: genikulärer Anteil



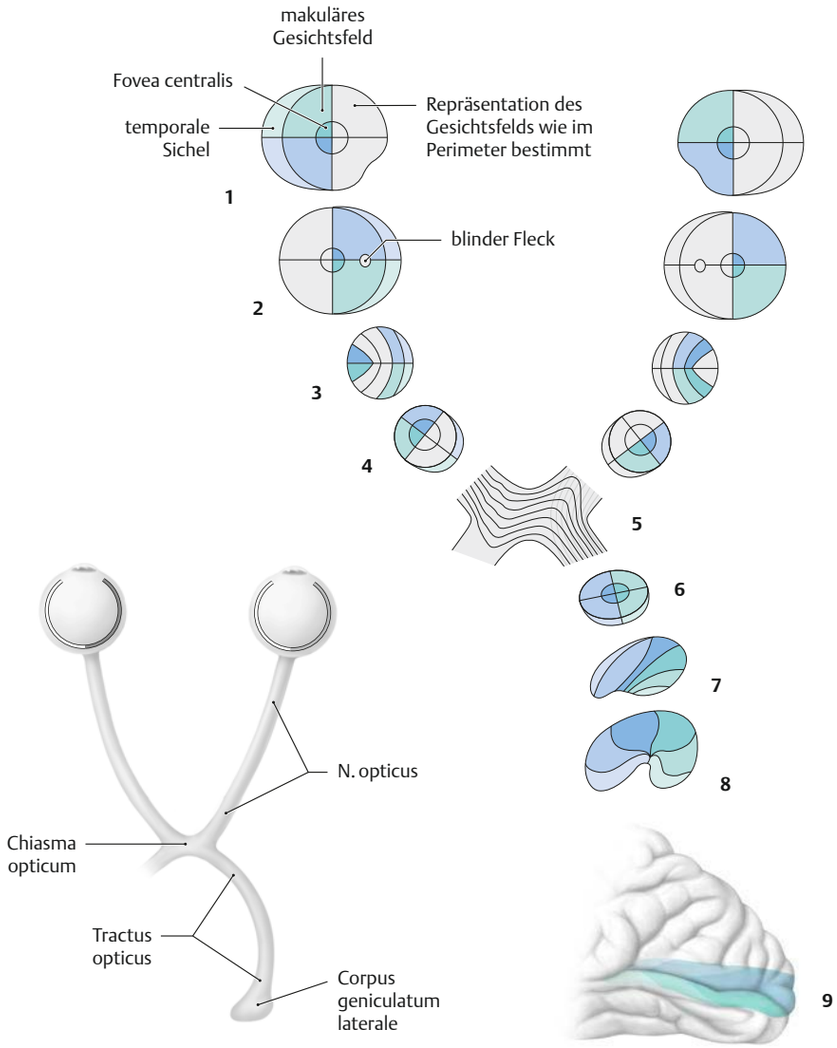
A Übersicht über die Sehbahn
Ansicht von links. Die Sehbahn erstreckt sich von der Netzhaut, einer Ausstülpung des Diencephalon, bis zum Okzipitalpol, also fast über die gesamte Länge des Gehirns. Zur Sehbahn gehören:
Retina (Netzhaut): In ihr liegen die ersten drei Neurone der Sehbahn (s. **b**):

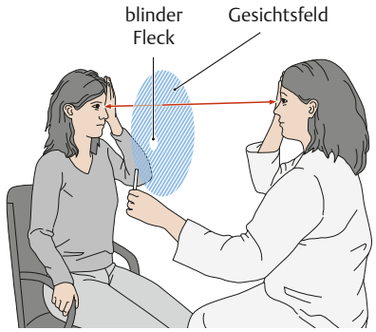
- 1. Neuron: zugleich Stäbchen und Zapfen als Photorezeptoren, die an der dem Licht abgewandten Seite der Retina liegen (Inversion der Retina),
- 2. Neuron: bipolare Zellen und
- 3. Neuron: Ganglienzellen, deren Axone sich zum N. opticus zusammenlagern.

N. opticus (Sehnerv; II. Hirnnerv), **Chiasma opticum** (Sehnervkreuzung) und **Tractus opticus:** Dieser Teil der Sehbahn gehört wie die Retina komplett zum ZNS, und zwar zum Diencephalon, und ist von Hirnhäuten umgeben. Der Sehnerv ist also kein Nerv, sondern eine dienzephale Bahn. Der N. opticus bildet an der Basis des Diencephalon mit dem N. opticus der Gegenseite das Chiasma opticum, das sich in die beiden Tractus optici aufweigt, die sich wiederum in eine Radix lateralis und medialis aufteilen.
Corpus geniculatum laterale: 90 % der Axone des 3. Neurons (= 90 % der Fasern des N. opticus) enden im Corpus geniculatum laterale auf Neuronen, die in die Area striata (Sehrinde, s. u.) projizieren = *genikulärer Anteil der Sehbahn* (wird hier besprochen). Sie dient der *bewussten* Sehwahrnehmung und wird über die Radix lateralis des Tractus opticus weitergeleitet. Die restlichen 10 % der Axone des 3. Neurons der Sehbahn enden nicht im Corpus geniculatum laterale = *nicht genikulärer Anteil der Sehbahn* (mediale Wurzel, s. **B**, S. 479), ihre Impulse werden nicht bewusst.
Sehstrahlung (Radiatio optica) und **Sehrinde** (Area striata): Die Sehstrahlung, die im Corpus geniculatum laterale beginnt, zieht bandförmig um Unter- und Hinterhorn der Seitenventrikel und endet in der Sehrinde, der Area striata (= Area 17 nach Brodmann). Die im Okzipitallappen liegende Sehrinde ist makroskopisch durch einen Streifen weißer Substanz in der Hirnrinde zu erkennen (Gennari-Streifen s. **c**). Er verläuft parallel zur Hirnoberfläche und ist im Inset, in dem die graue Substanz der Sehrinde rötlich eingefärbt ist, zu erkennen.



B Repräsentation des linken bzw. rechten Gesichtsfeldes in der jeweils kontralateralen Sehrinde
Ansicht von dorsal. Die Lichtstrahlen des jeweils *nasalen* Teils des Gesichtsfeldes werden auf den jeweils *temporalen* Teil der Retina projiziert, die temporalen auf den nasalen Teil. Dadurch projiziert das linke Gesichtsfeld in die Sehrinde des rechten Okzipitalpols, das rechte in die Sehrinde des linken Okzipitalpols. Diese Darstellung berücksichtigt aus Übersichtsgründen nur die Unterteilung des Gesichtsfeldes in zwei Hälften, die zunächst einmal verstanden sein will. Danach sollte man sich die Unterteilung in vier Quadranten zu eigen machen (s. **C**).
Beachte: In Höhe des Chiasma opticum kreuzen die Axone von den nasalen Retinahälften um sich den nicht kreuzenden Axonen von den temporalen Retinahälften anzuschließen.





D Orientierende Bestimmung des Gesichtsfeldes mit dem Konfrontationstest

Die Bestimmung des Gesichtsfeldes ist eine der Grundlagen für die Diagnostik von Störungen der Sehbahn (s. **A**, S. 478). Das Gesichtsfeld kann *orientierend* mit einem **Konfrontationstest** erfasst werden, bei dem der Arzt sein intaktes Gesichtsfeld mit dem gegenüberliegenden Gesichtsfeld des Patienten konfrontiert. Arzt und Patient fixieren einander so, dass die Fixierlinien beider Augen identisch sind. Der Arzt führt seinen bewegten Zeigefinger von außen in das Gesichtsfeld hinein, der Patient muss angeben, wann er den Finger sieht. Durch den Konfrontationstest lassen sich mögliche Gesichtsfeldausfälle grob erfassen. *Exakt* lässt sich der Umfang des jeweiligen Gesichtsfeldes mit einem **Perimeter** erfassen, bei dem Leuchtpunkte den Zeigefinger des Arztes ersetzen. Die Ergebnisse des Tests werden dann in Schemata eingetragen, wie sie z. B. in **C** zu sehen sind.

C Topik des genikulären Anteils der Sehbahn

Die Fovea centralis, der Punkt des schärfsten Sehens auf der Netzhaut, hat eine hohe Rezeptordichte. Die Rezeptoren senden dementsprechend viele Axone nach zentral, so dass die Fovea centralis durch einen überdurchschnittlich großen Bereich in der Sehrinde repräsentiert ist. Andere, weiter peripher liegende Netzhautbereiche, enthalten weniger Rezeptoren und damit weniger Axone, so dass sie dementsprechend geringer in der Sehrinde repräsentiert sind. Die Abbildung soll sowohl diesen Sachverhalt als auch den Verlauf der Nervenfasern aus den unterschiedlichen Abschnitten der Retina veranschaulichen.
Beachte: Es ist nur das linke Gesichtsfeld dargestellt, das in vier Quadranten (**1**) unterteilt ist (*oben* temporal und nasal sowie *unten* temporal und nasal); die Repräsentation dieser Unterteilung setzt sich bis in die Sehrinde fort.

1 Die drei Zonen, die jeweils einem bestimmten **Gesichtsfeld** (= links) entsprechen, sind jeweils links mit abnehmender Farbintensität markiert:

- die kleinste und dunkelste Zone in der Mitte ist die Fovea centralis, ihr entspricht das zentrale Gesichtsfeld;
- die größte Zone ist das makuläre Gesichtsfeld, in dem auch der „blinde Fleck" (= Papilla n. optici, s. **2**) liegt;
- jeweils temporal ist der monokuläre Gesichtsfeldanteil zu erkennen („temporale Sichel"),
- jeweils medial der mediale Gesichtsfeldanteil mit der Einengung durch die Nase (kleine mediale Delle).

2 Durch die Lichtbrechung in der Linse werden oben und unten sowie temporal und nasal genau umgekehrt auf der **Retina** abgebildet.

3 u. **4** Am Beginn des **N. opticus** liegen die Fasern, die das makuläre Gesichtsfeld repräsentieren, lateral, um dann zunehmend ins Zentrum des Nervs zu gelangen (**4**).

5 Im **Chiasma opticum** kreuzen die nasalen Fasern des N. opticus bogenförmig auf die Gegenseite.

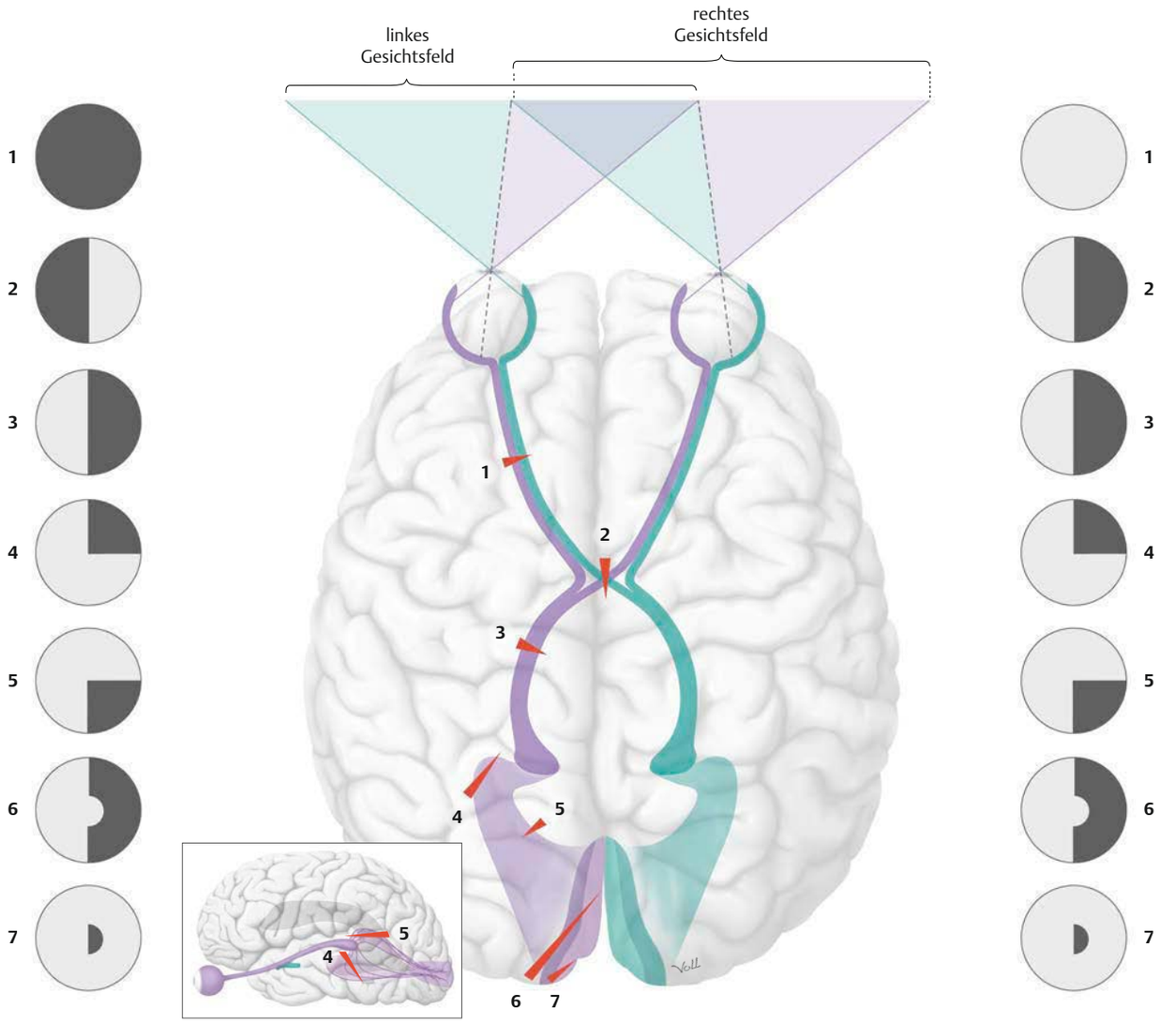
6 Zu **Beginn des Tractus opticus** werden die Fasern der korrespondierenden Retinahälften vereinigt: rechter Tractus – rechte Retinahälften und linker Tractus – linke Retinahälften; das rechte Gesichtsfeld endet schließlich in der linken Area striata. Die Makulafasern liegen zunächst weiterhin zentral im Tractus opticus.

7 Am **Ende des Tractus opticus**, kurz vor dessen Eintritt in das Corpus geniculatum laterale, gruppieren sich die Fasern zu einem Keil um.

8 Im **Corpus geniculatum laterale** bleibt die Keilform erhalten, die makulären Fasern nehmen fast seine Hälfte ein. Nach der Umschaltung auf das 4. Neuron werden sie zum hinteren Ende des Okzipitalpols (= Sehrinde) projiziert.

9 Hier wird deutlich, dass das zentrale Gesichtsfeld – im Vergleich zu allen anderen Gesichtsfeldern – in der **Sehrinde** durch die größte Fläche repräsentiert wird. Grund hierfür ist die große Zahl von Axonen, welche die Fovea centralis in den Sehnerv entsendet. Diese hohe Anzahl von Axonen bleibt bis hin zur Sehrinde erhalten, so dass die Fovea centralis mit der Sehrinde eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung hat. Die anderen Gesichtsfelder haben genauso eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung, bestehen aber aus weniger Axonen. Die zentrale *untere* Gesichtsfeldhälfte ist mit einem großen Areal direkt am Okzipitalpol *oberhalb* des Sulcus calcarinus repräsentiert, die zentrale *obere* Gesichtsfeldhälfte *unterhalb*. Auch im Corpus geniculatum laterale (s. **8**) beansprucht der Bereich des zentralen Sehens den größten Platz.

13.18 Visuelles System: Läsionen des genikulären Anteils und nicht genikuläre Projektionen



A Gesichtsfeldausfälle (Skotome) und ihre Lokalisation entlang der Sehbahn

Gesichtsfeldausfälle und Läsionsort sind einseitig für die linke Sehbahn dargestellt. Die Sehbahn kann bei einer Vielzahl von neurologischen Erkrankungen geschädigt sein. Der Patient nimmt diese Schädigung als Sehstörungen wahr. Da die Art des Gesichtsfeldausfalls oft auf den Ort der Schädigung verweist, ist die Kenntnis der Ausfallmuster klinisch von Bedeutung. Zur Lokalisation der Schäden unterteilt man das Gesichtsfeld in vier Quadranten: oberer und unterer temporaler sowie oberer und unterer nasaler Quadrant (s. auch S. 477).

1 Bei einseitiger Schädigung des N. opticus ist ausschließlich das betroffene Auge vollständig erblindet: Amaurose.

2 Bei Schädigung des Chiasma opticum kommt es zur bitemporalen Hemianopsie („Scheuklappen"), weil die Fasern der nasal liegenden Retinaabschnitte (nur die kreuzen im Chiasma opticum!), welche die temporalen Gesichtsfelder repräsentieren, unterbrochen sind.

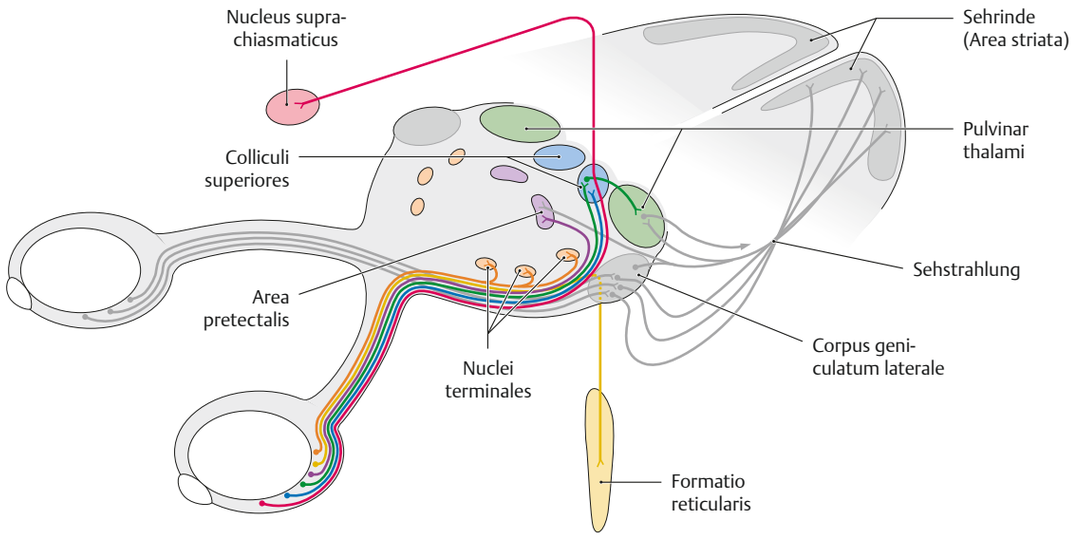
3 Eine einseitige Schädigung des Tractus opticus führt zur homonymen Hemianopsie zur Gegenseite, weil die *temporalen* Retinaabschnitte des Auges auf der gleichen Seite sowie die *nasalen* Abschnitte des Auges auf der Gegenseite unterbrochen sind.
Beachte: Alle homonymen Gesichtsfeldausfälle haben ihre Ursache retrochiasmal.

4 Bei einseitiger Schädigung der Sehstrahlung im vorderen Temporallappen (Meyer-Schlinge) entsteht eine obere Quadrantenanopsie zur Gegenseite. Sie ist dadurch bedingt, dass diese Fasern um das im Temporallappen liegende Unterhorn des Seitenventrikels ziehen und von den Fasern der unteren Gesichtsfeldhälfte getrennt sind (s. S. 476).

5 Aus der einseitigen Schädigung der inneren Sehstrahlung im Bereich des Parietallappens resultiert eine untere Quadrantenanopsie zur Gegenseite; sie ist dadurch bedingt, dass diese Fasern weiter kranial ziehen als die für den oberen Quadranten in der Meyer-Schleife (s. S. 476).

6 Die Läsion des Okzipitallappens führt zur homonymen Hemianopsie. Da sich die Sehstrahlung vor ihrem Eintritt in die Sehrinde weit auffächert, sind Läsionen im Okzipitallappen beschrieben, bei denen die Sehkraft, wie hier dargestellt, in der Fovea centralis erhalten blieb. Solche Läsionen sind meist durch intrazerebrale Blutungen verursacht. Aufgrund der unterschiedlichen Größe der Blutungen können die Gesichtsfeldausfälle sehr variabel sein.

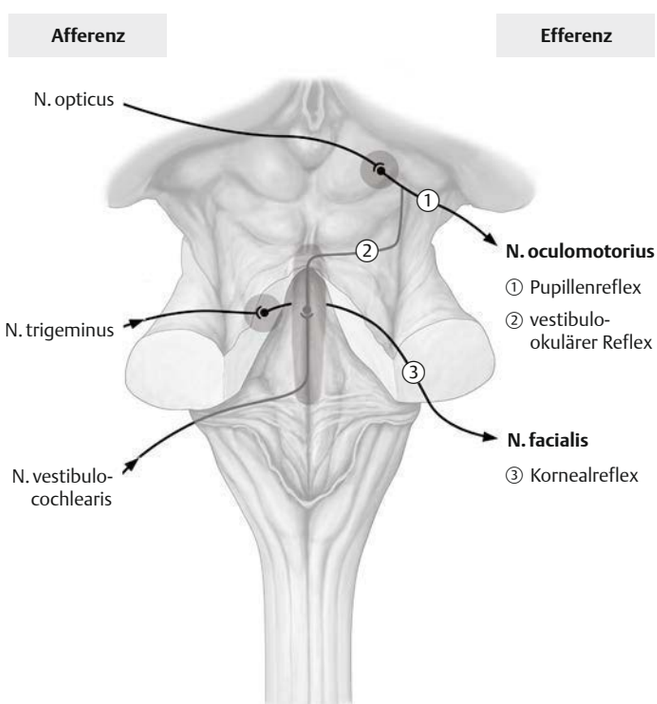
7 Wenn am Okzipitalpol nur die Kortexareale geschädigt sind, die die Makula repräsentieren, entsteht ein homonym-hemianoptisches Zentralskotom.



B Nicht genikulärer Teil der Sehbahn

Etwa 10 % der Axone des N. opticus enden nicht auf Neuronen im Corpus geniculatum laterale, die dann auf die Sehrinde projizieren, sondern ziehen in der medialen Wurzel des Tractus opticus weiter: *nicht genikulärer* Teil der Sehbahn. Die Informationen aus diesen Bahnen gelangen nicht in das Bewusstsein, spielen aber eine wichtige Rolle bei der unbewussten Regulation diverser, mit dem Sehen verbundener Vorgänge sowie bei der Verschaltung von Reflexen (z. B. afferenter Schenkel des Lichtreflexes). Axone des nicht genikulären Teils der Sehbahn enden in folgenden Regionen:

- Axone zum Colliculus superior: übertragen Bewegungsinformationen, die zur Fixierung bewegter Objekte durch unbewusste Augen- und Kopfbewegungen nötig sind (retinotektales System).
- Axone zur Area pretectalis: Afferenzen für Pupillen- und Akkommodationsreflexe (retinopretektales System). Die Unterteilung in einzelne Kerngebiete ist beim Menschen noch nicht vorgenommen worden, deshalb wird der Begriff Area verwendet.
- Axone zum Nucleus suprachiasmaticus des Hypothalamus: Beeinflussung der zirkadianen Rhythmik.
- Axone zu den Nuclei terminales (tractus optici) im Tegmentum mesencephali und zu den Nuclei vestibulares: Afferenzen für den optokinetischen Nystagmus (= physiologische, ruckartige Augenbewegungen beim Blick auf schnell vorbeiziehende Objekte): akzessorisches optisches System.
- Axone zum Pulvinar thalami: visueller Assoziationskortex für die Okulomotorik (Umschaltung der Neurone im Colliculus superior).
- Axone zum Nucleus parvocellularis der Formatio reticularis: Weckfunktion.



C Hirnstammreflexe: Klinische Bedeutung der nicht genikulären Anteile der Sehbahn

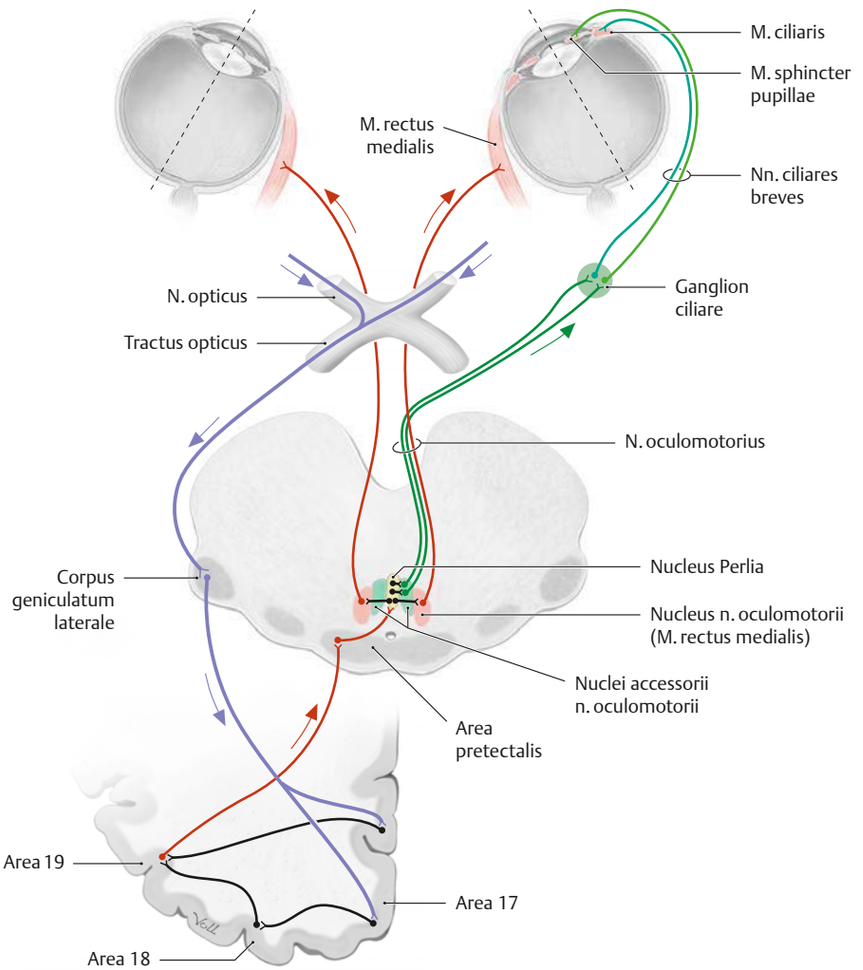
Hirnstammreflexe spielen eine wichtige Rolle bei der Beurteilung komatöser Patienten: Ihr Ausfall ist ein Zeichen für den Hirntod. Drei von ihnen sollen ausführlicher geschildert werden.

Pupillenreflex: Hier spielen die nicht genikulären Anteile der Sehbahn eine entscheidende Rolle (s. S. 481). Die Afferenzen zu diesem Reflex stammen vom dienzephalen N. opticus (Das Diencephalon ist nicht Teil des Hirnstamms, deshalb ist „Hirnstammreflex" eine etwas unglückliche Bezeichnung!), die Efferenzen gehen vom akzessorischen Kern des N. oculomotorius (III. Hirnnerv) aus, der im Hirnstamm liegt. Wenn der Pupillenreflex ausfällt, kann dies also sowohl ein Zeichen für die Schädigung des Di(Zwischenhirn)- als auch des Mesencephalon (Mittelhirn) sein.

Kornealreflex: Er wird nicht über die Sehbahn vermittelt. Die Afferenzen für diesen Reflex (ausgelöst durch Reizung der Cornea z. B. mit einem sterilen Wattetupfer) verlaufen über den N. trigeminus, die Efferenzen (Kontraktion des M. orbicularis oculi als Folge der Korneareizung) über den N. facialis. Das Schaltzentrum für den Kornealreflex liegt im pontinen Teil des Hirnstamms.

Vestibulookulärer Reflex: Wenn man den Gehörgang mit kaltem Wasser spült, kommt es bei Gesunden zum Nystagmus der Gegenseite (Afferenz über N. vestibulocochlearis = VIII. Hirnnerv; Efferenz über N. oculomotorius = III. Hirnnerv). Wenn dieser Reflex bei einem komatösen Patienten komplett ausfällt, gilt dies als schlechtes Zeichen, da dieser Reflex der zuverlässigste klinische Test für die Beurteilung der Hirnstammfunktion ist.

13.19 Visuelles System: Reflexe



A Verschaltungen für Konvergenz und Akkommodation

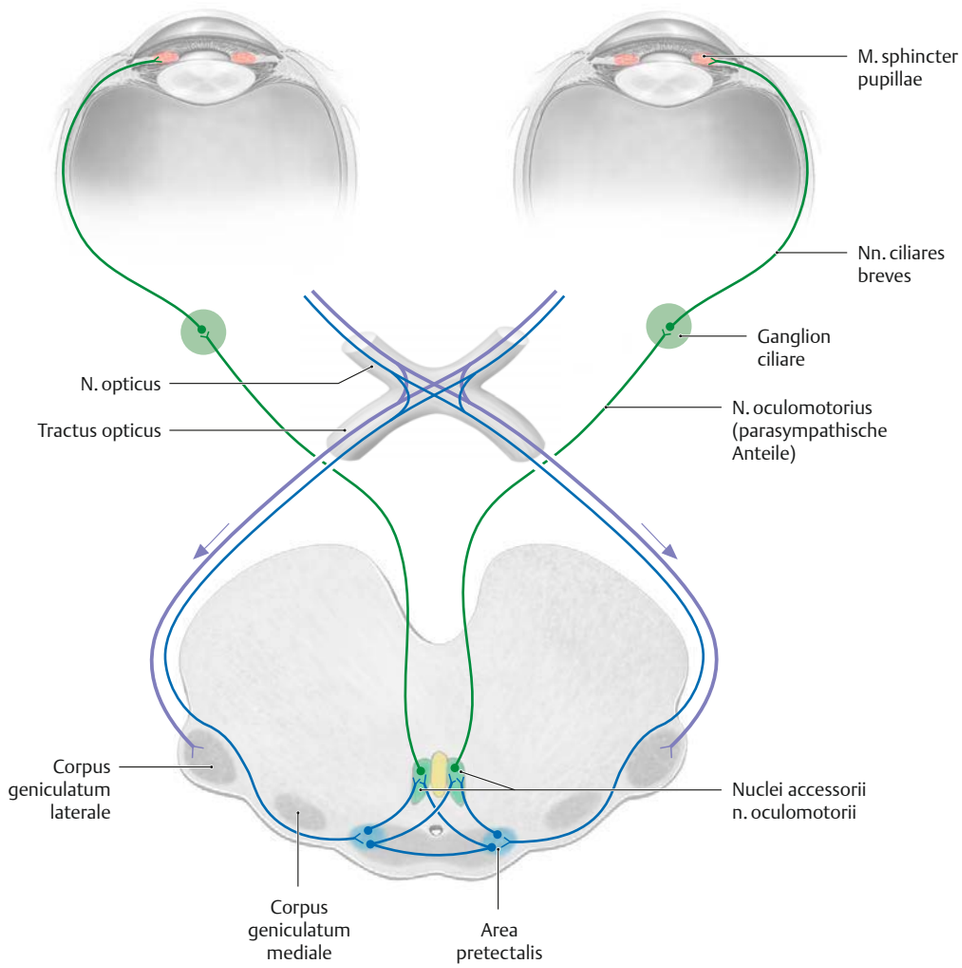
Wenn sich dem Auge ein Objekt nähert, müssen die Sehachsen beider Augen aufeinander zugehen (Konvergenz), *gleichzeitig* muss die Linse ihre Brennweite ändern (Akkommodation). Nur so entsteht ein scharfer räumlicher Seheindruck. Diese beiden gekoppelten Vorgänge können in drei Teilprozesse gegliedert werden:

1. Bei der **Konvergenz** führen die beiden Mm. recti mediales die Pupillen und damit die Augenachse nach innen, so dass sich das nähernde Objekt immer in der Fovea centralis abbildet.
2. Bei der **Akkommodation** wird die Linse gerundet, so dass das sich nähernde Objekt scharf auf der Retina abgebildet wird. Die Linse wird durch den Zug der Linsenfasern, die im M. ciliaris verankert sind, flach gehalten. Kontrahiert sich der M. ciliaris im Zuge der Akkommodation, werden diese Linsenfasern entspannt und die Linse kann sich durch ihren Eigendruck runden.
3. Zur Erhöhung der Sehschärfe wird zusätzlich noch die Pupille durch den M. sphincter pupillae verengt.

Konvergenz und Akkommodation können bewusst (Fixierung eines nahen Gegenstandes) oder unbewusst (Fixierung auf ein sich näherndes Fahrzeug) ablaufen. Die meisten Axone des 3. Neurons der Sehbahn verlaufen im N. opticus über das Corpus geniculatum laterale, wo sie auf das 4. Neuron umgeschaltet werden, dessen Axone dann zur primären Sehrinde (Area 17) ziehen. Mittels Umschaltungen über Zwischenneurone ziehen schließlich Axone aus der sekundären visuellen Area 19 in die Area pretectalis. Dort findet eine weitere Umschaltung statt, die Axone dieser Neurone enden im Nucleus Perlia. Dieser liegt zwischen den beiden Edinger-Westphal-Kernen (= Nuclei accessorii n. oculomotorii). Im Nucleus Perlia sind zwei funktionell verschiedene Neuronengruppen lokalisiert:

- Eine schaltet für die Konvergenzbewegungen auf den *somatomotorischen* Okulomotoriuskern um, der seine Axone direkt zum M. rectus medialis sendet.
- Die andere Neuronengruppe schaltet die für Akkommodation und Pupillenverengung verantwortlichen Neurone in den *viszeromotorischen* (parasympathischen) Nuclei accessorii n. oculomotorii (Edinger-Westphal) um (parasympathische Innervation im Folgenden nur einseitig dargestellt).

Nach Umschaltung in diesem Kerngebiet ziehen die präganglionären, parasympathischen Axone zum Ganglion ciliare, wo die Umschaltung vom zentralen auf das periphere parasympathische Neuron erfolgt. Auch hier gibt es zwei Neuronengruppen: die eine zieht zum M. ciliaris (Akkommodation), die andere zum M. sphincter pupillae (Pupillenverengung). Bei Spätstadien der Lues (Infektion mit Treponema pallidum = Syphilis) ist die Lichtreaktion (M. sphincter pupillae) erloschen, während Akkommodation (M. ciliaris) und Konvergenz erhalten sind. Diese Kombination nennt man Argyll-Robertson-Pupille. Aus diesem Befund hat man geschlossen, dass die Verbindungen zum M. ciliaris und zum M. sphincter pupillae durch unterschiedliche Bahnen vermittelt wird, deren anatomischer Verlauf jedoch noch nicht klar identifiziert ist.



B Regulation der Pupillenweite, Lichtreflex

Der Lichtreflex ermöglicht es dem Auge, sich auf wechselnde Helligkeiten einzustellen. Bei verstärktem Lichteinfall (z. B. Strahl einer Taschenlampe) verengt sich die Pupille (Schutz der Photorezeptoren in der Retina), bei Verdunkelung erweitert sie sich. Wie der Name Reflex schon sagt, geschieht diese Adaptation ohne unser Bewusstsein (*nicht genikulärer* Teil der Sehbahn!).

Afferenter Schenkel des Lichtreflexes: Die ersten drei Neurone (1. Neurone: Stäbchen und Zapfen; 2. Neurone: bipolare Zellen; 3. Neurone: Ganglienzellen) der *afferenten* Bahn dieses Reflexes liegen in der Retina. Die Axone der Ganglienzellen bilden den N. opticus. Die für den Lichtreflex verantwortlichen Axone (blau) ziehen mit der medialen Wurzel des Tractus opticus zur Area pretectalis (nicht genikulärer Anteil der Sehbahn; die übrigen Axone zum Corpus geniculatum laterale (violett). Nach Umschaltung im Nucleus pretectalis ziehen die Axone der 4. Neurone zu den parasympathischen Kerngebieten (Nuclei accessorii n. oculomotorii = Edinger-Westphal) *beider* Seiten des N. oculomotorius. Da beide Seiten innerviert werden, wird eine *konsensuelle Lichtreaktion* ermöglicht (s. u.).

Efferenter Schenkel des Lichtreflexes: Die 5. Neurone, die im Edinger-Westphal-Kern liegen (*zentrale* parasympathische Neurone), senden ihre Axone zum Ganglion ciliare. Dort findet eine Umschaltung auf die 6. Neurone (*periphere* parasympathische Neurone) statt, deren Axone dann zum M. sphincter pupillae ziehen.

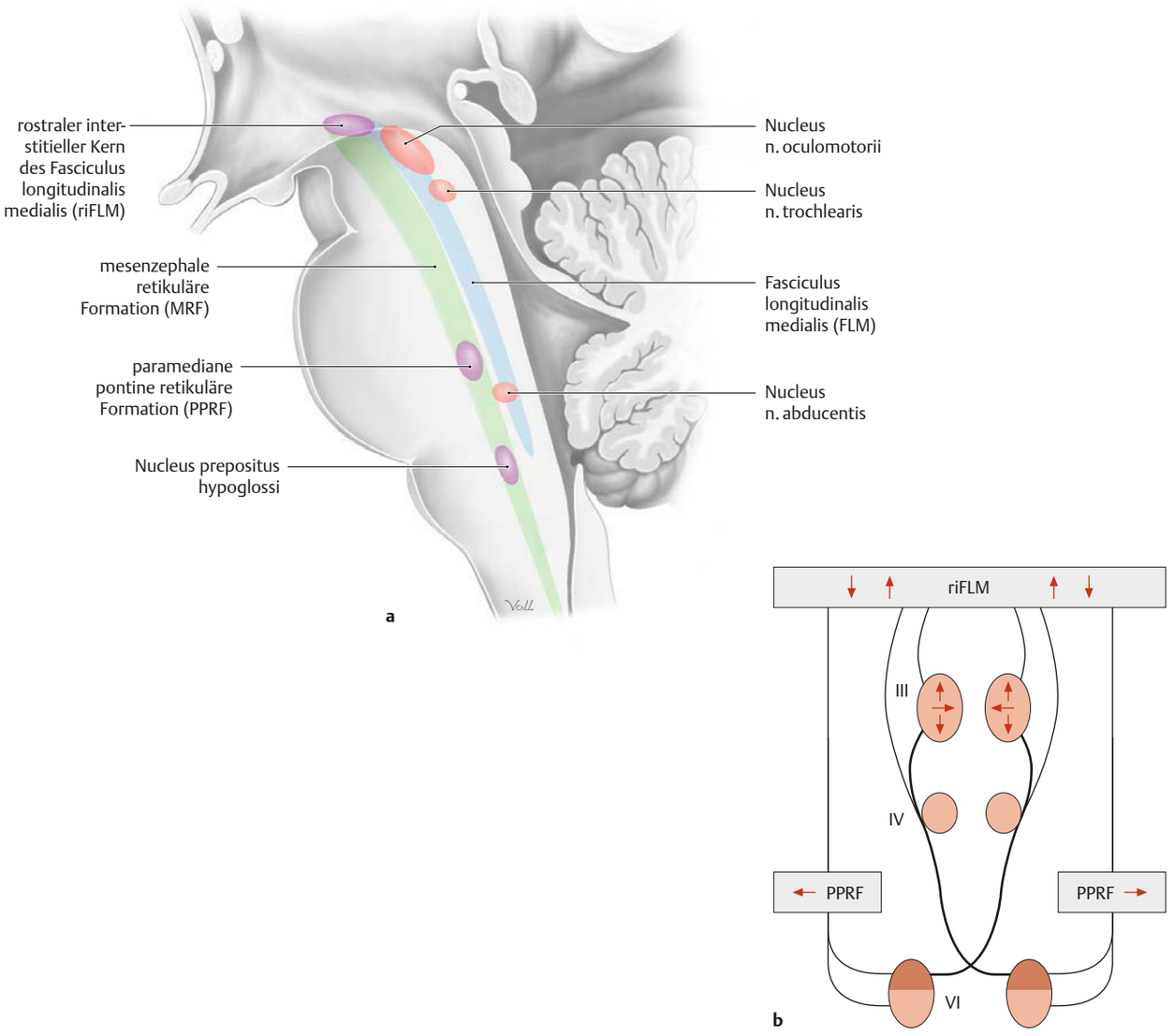
Bei der Lichtreaktion unterscheidet man eine direkte und indirekte Lichtrektion:

Um die **direkte Lichtreaktion** zu testen, bedeckt man beim wachen und kooperativen Patienten beide Augen und gibt dann ein Auge frei. Nach einer kurzen Latenzzeit verengt sich die Pupille des gerade aufgedeckten Auges.

Um die **indirekte Lichtreaktion** zu testen, legt der Untersucher seine Hand auf die Nasenwurzel des Patienten, so dass bei der anschließenden Beleuchtung mit einer Taschenlampe nur ein Auge belichtet wird. Getestet wird, ob sich – wie es normalerweise der Fall ist – bei Beleuchtung des direkt beleuchteten Auges auch die Pupille des nicht beleuchteten Auges mitverengt (konsensuelle Lichtreaktion).

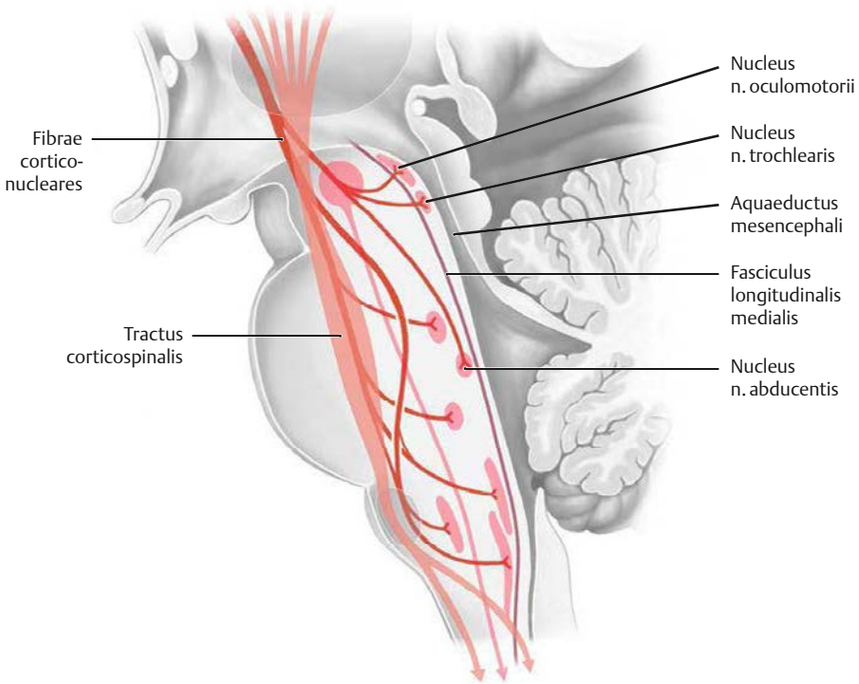
Ausfall der Lichtreaktion bei bestimmten Schädigungen: Ist der N. opticus einseitig geschädigt, fällt – bei Beleuchtung der *betroffenen* Seite – die direkte Lichtreaktion der betroffenen Seite aus. Ferner fällt die konsensuelle Lichtreaktion auf der Gegenseite aus, da der afferente Schenkel des Lichtreflexes auf der betroffenen Seite gestört ist. Bei Beleuchtung der *nicht betroffenen* Seite tritt auf der nicht betroffenen Seite – natürlich – eine Pupillenverengung auf (direkte Lichtreaktion); die konsensuelle Lichtreaktion tritt ebenfalls auf, da die Afferenz für diesen Reflex über die nicht betroffene Seite vermittelt wird, während die Efferenzen nicht über den N. opticus vermittelt werden. Wenn der parasympathische Okulomotoriuskern oder das Ganglion ciliare geschädigt sind, fällt der efferente Teil des Reflexes aus. In beiden Fällen unterbleiben direkte und indirekte Lichtreaktionen der Augen. Eine Schädigung der Sehstrahlung oder der Sehrinde (*genikulärer* Anteil der Sehbahn) führen naturgemäß nicht zum Ausfall dieses Reflexes, da dieser über den nicht genikulären Anteil der Sehbahn vermittelt wird.

13.20 Visuelles System: Koordination der Augenbewegungen



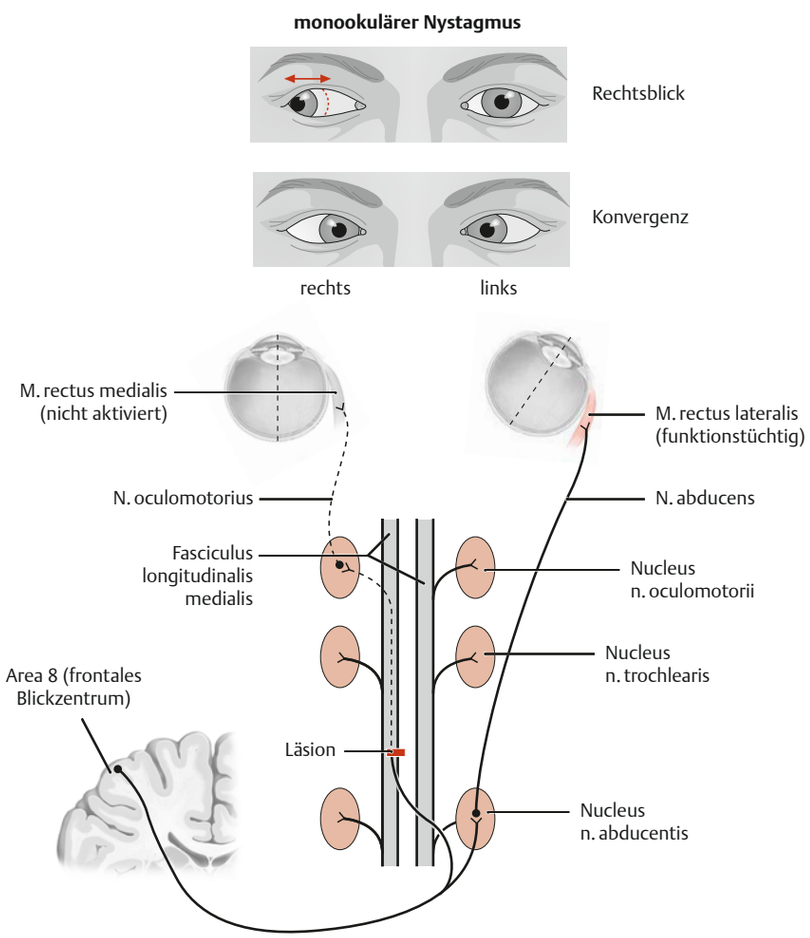
A Blickmotorische Kerne und ihre übergeordnete Verschaltung im Hirnstamm
a Mediansagittalschnitt, Ansicht von links; **b** Schaltschema für die supranukleäre Organisation der Augenbewegungen.

Beim Blick auf ein neues Objekt bewegen wir die Fovea centralis unserer Augen ruckartig auf das Ziel zu. Diese schnellen und präzisen, sozusagen ballistischen Bewegungen werden als *Sakkaden* bezeichnet. Sie sind vorprogrammiert und während ihres Ablaufes nicht mehr zu ändern. An der Ausführung dieser Bewegungen sind die Kerne sämtlicher motorischer Augenmuskelnerven beteiligt (Kerne der Hirnnerven III, IV und VI; rot dargestellt). Sie sind zu diesem Zweck durch den *Fasciculus longitudinalis medialis* (bläulich) untereinander verbunden (zu seiner Lage s. **B**). Da an solchen komplexen Augenbewegungen im Prinzip alle Augenmuskelnervenkerne mit den von ihnen innervierten Augenmuskeln beteiligt sind, muss die Aktivität der Kerne übergeordnet, also *supranukleär* koordiniert werden. Das bedeutet z. B. beim Blick nach rechts für das *rechte* Auge, dass der rechte M. rectus lateralis (N. VI, Abduzenskern aktiviert) sich kontrahieren, der rechte M. rectus medialis (N. III, Okulomotoriuskern inhibiert) erschlaffen muss; für das *linke* Auge, dass der linke M. rectus lateralis (N. VI) erschlaffen, der linke M. rectus medialis (N. III) sich dagegen kontrahieren muss. Solche Augenbewegungen, an denen beide Augen beteiligt sind, werden als *konjugierte Augenbewegungen* bezeichnet. Für die Koordination dieser Bewegungen gibt es mehrere Zentren (prämotorische Kerne, violett dargestellt). Die Programmierung horizontaler Blickbewegungen erfolgt im Kerngebiet der paramedianen pontinen Formatio reticularis (PPRF), während vertikale Blickbewegungen im rostralen interstitiellen Kern des Fasciculus longitudinalis medialis (riFLM) programmiert werden. Beide Blickzentren stehen beiderseits in Kontakt zu den Hirnnervenkernen III, IV, VI. Die Signale für den Haltetonus der neuen Augenposition stammen vom Nucleus prepositus hypoglossi (s. **a**).



B Verlauf des Fasciculus longitudinalis medialis im Hirnstamm

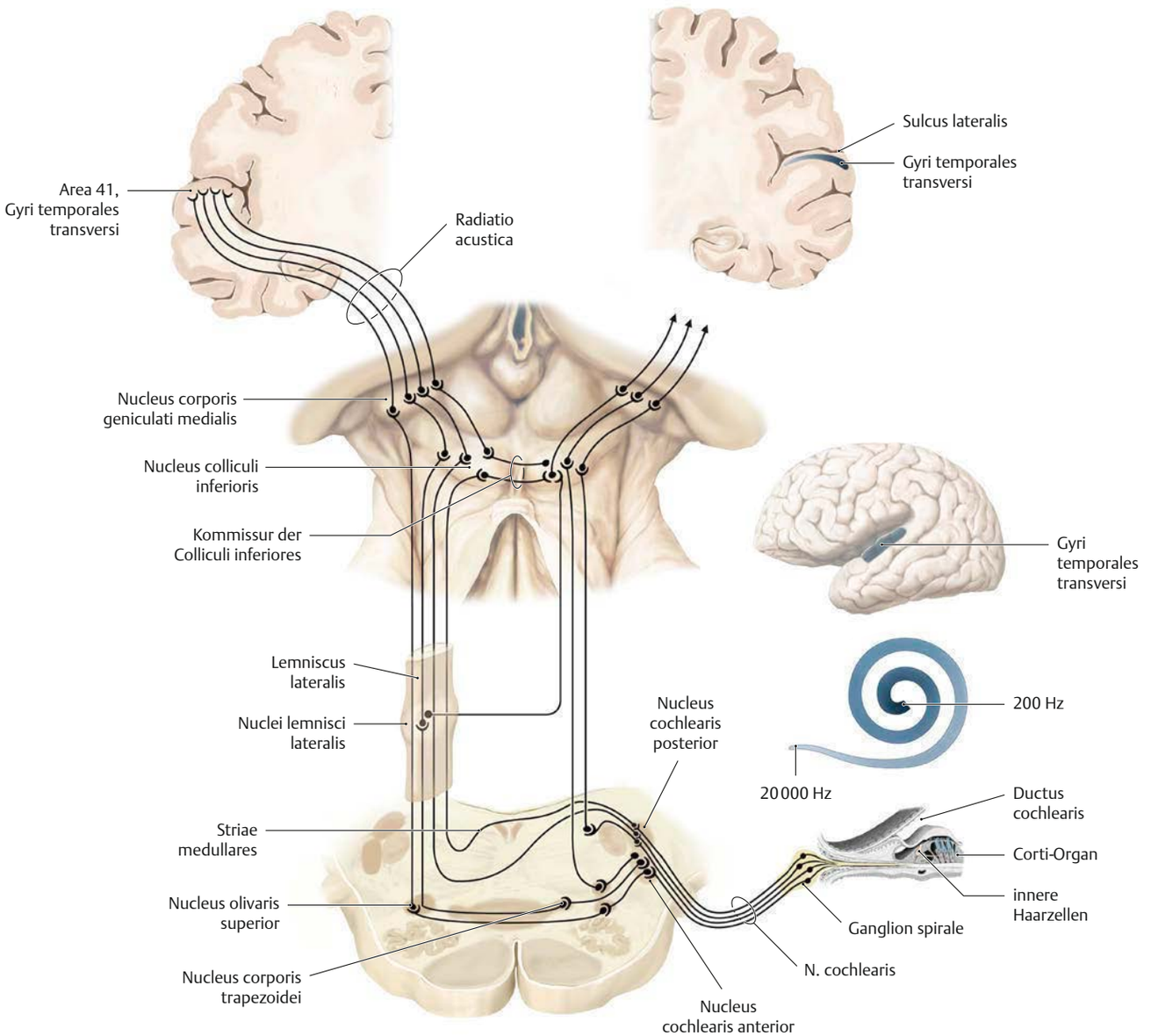
Mediansagittalschnitt, Ansicht von links. Der Fasciculus longitudinalis medialis verläuft beiderseits ventral des Aquaeductus mesencephali und zieht vom Mesencephalon weiter bis zum Halsmark. In ihm verlaufen die Fasern für die Koordination der konjugierten Augenbewegungen. Aus seiner Schädigung resultiert eine internukleäre Ophthalmoplegie (s. **C**).



C Schädigung des Fasciculus longitudinalis medialis und internukleäre Ophthalmoplegie

Der Fasciculus longitudinalis medialis verbindet die Augenmuskelkerne untereinander; diese Verbindung schließt die Verknüpfung mit der Gegenseite ein. Wenn diese „Datenautobahn" geschädigt wird, liegt eine internukleäre Ophthalmoplegie vor. Am häufigsten tritt eine solche Schädigung zwischen dem Kern des N. abducens und des N. oculomotorius auf („Unfallschwerpunkt"). Sie kann ein- oder beidseitig sein. Ursachen hierfür sind multiple Sklerose oder Durchblutungsstörungen. Die Schädigung macht sich durch den Ausfall konjugierter Augenbewegungen bemerkbar. Wenn, wie hier dargestellt, eine Schädigung des linken Fasciculus longitudinalis medialis vorliegt, kann der linke M. rectus medialis bei Blick nach rechts nicht mehr aktiviert werden. Auf der Seite der Läsion ist die Bewegung des Auges nach *innen* nicht möglich (Ausfall M. rectus medialis), auf der Gegenseite kommt es zum Augenzittern in Richtung der gewünschten Blickrichtung (M. rectus lateralis durch N. abducens innerviert, intakt). Reflektorische Bewegungen, wie z. B. die Konvergenzreaktion, sind nicht beeinträchtigt, da weder eine periphere noch eine nukleäre Läsion vorliegt und diese Reaktion nicht über den Fasciculus longitudinalis medialis vermittelt wird.

13.21 Hörbahn

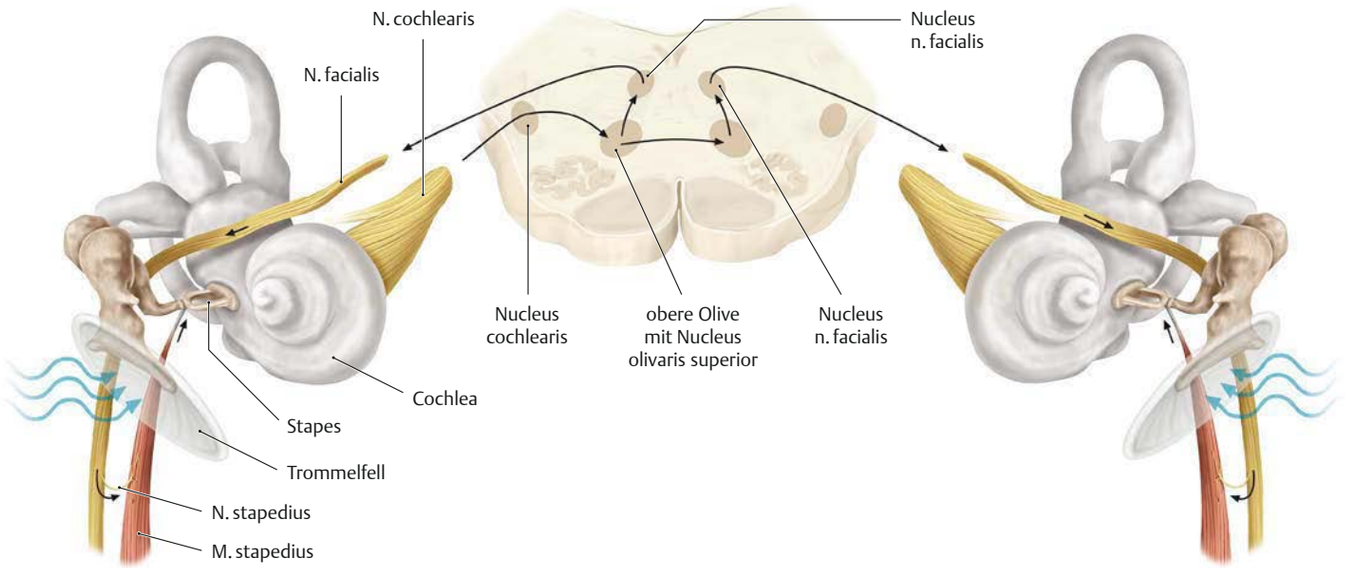


A Afferente Hörbahn des linken Ohres

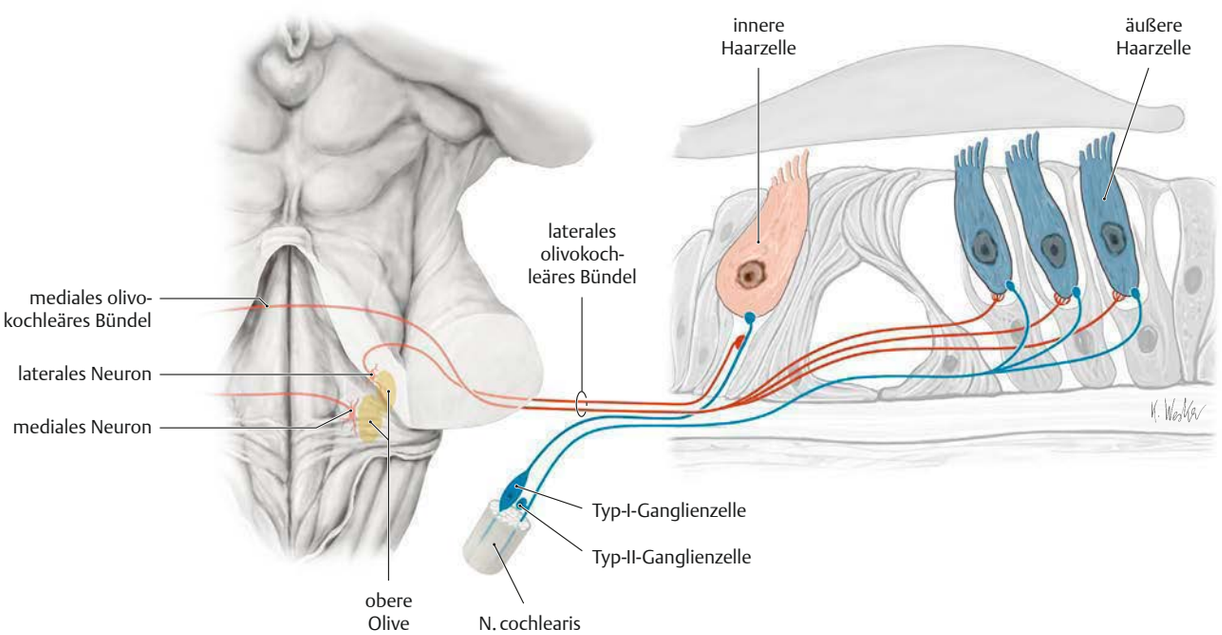
Die Rezeptoren der Hörbahn sind die inneren Haarzellen im Corti-Organ. Da sie keine Nervenfortsätze haben, werden sie als *sekundäre Sinneszellen* bezeichnet. Sie sitzen im Ductus cochlearis der Basilarmembran auf und tragen an ihrer Oberfläche Stereozilien, die bei Ausschlägen der Wanderwelle durch die Tektorialmembran abgeschert werden. Dadurch kommt es zu Verbiegungen der Sterozilien (s. S. 153). Diese Verbiegungen stellen den Reiz für die Auslösung der Signalkaskade dar. Dendritische Fortsätze der bipolaren Neurone im Ganglion spirale nehmen den Reiz auf und senden ihn mit ihren Axonen, die insgesamt den N. cochlearis bilden, in die Nuclei cochleares anterior und posterior. Erst in diesem Kerngebiet erfolgt die Umschaltung auf das 2. Neuron der Hörbahn und damit die Auswertung der Schallinformation. Die Information aus den Kochleariskernen wird dann über Umschaltung in 4–6 Kernen in den primären auditorischen Cortex weitergeleitet, wo die Hörinformation – analog zur Sehrinde – bewusst wird. Der primär auditorische Cortex liegt in der Inselrinde in den Gyri temporales transversi (Heschl-Querwindungen oder Area 41 nach Brodmann). Prinzipiell unterscheidet man bei der Hörbahn folgende Stationen:

- innere Haarzellen im Corti-Organ,
- Ganglion spirale,
- Nuclei cochlearis anterior und posterior,
- Nuclei corporis trapezoidei und Nucleus olivaris superior,
- Nucleus lemnisci lateralis,
- Nucleus colliculi inferioris,
- Nucleus corporis geniculati medialis und
- primären auditorischen Cortex im Lobus temporalis (Gyri temporales transversi = Heschl-Querwindungen oder Area 41 nach Brodmann).

Den einzelnen Abschnitten der Cochlea sind ebensolche Abschnitte in der Hörrinde und deren Zwischenstationen zugeordnet; man spricht deshalb von einer *tonotopen Organisation der Hörbahn.* Damit liegt ein gleiches Organisationsprinzip vor wie bei der Sehbahn. Die binaurale Verarbeitung der Hörinformation (= Stereohören) erfolgt zuerst auf der Stufe des Nucleus olivaris superior. Auch auf allen weiteren Stufen der Hörbahn gibt es Kreuzungen zwischen der rechten und der linken Hörbahn, sie sind im Interesse der Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet. Eine ausgefallene Cochlea kann durch ein Kochleaimplantat ersetzt werden.

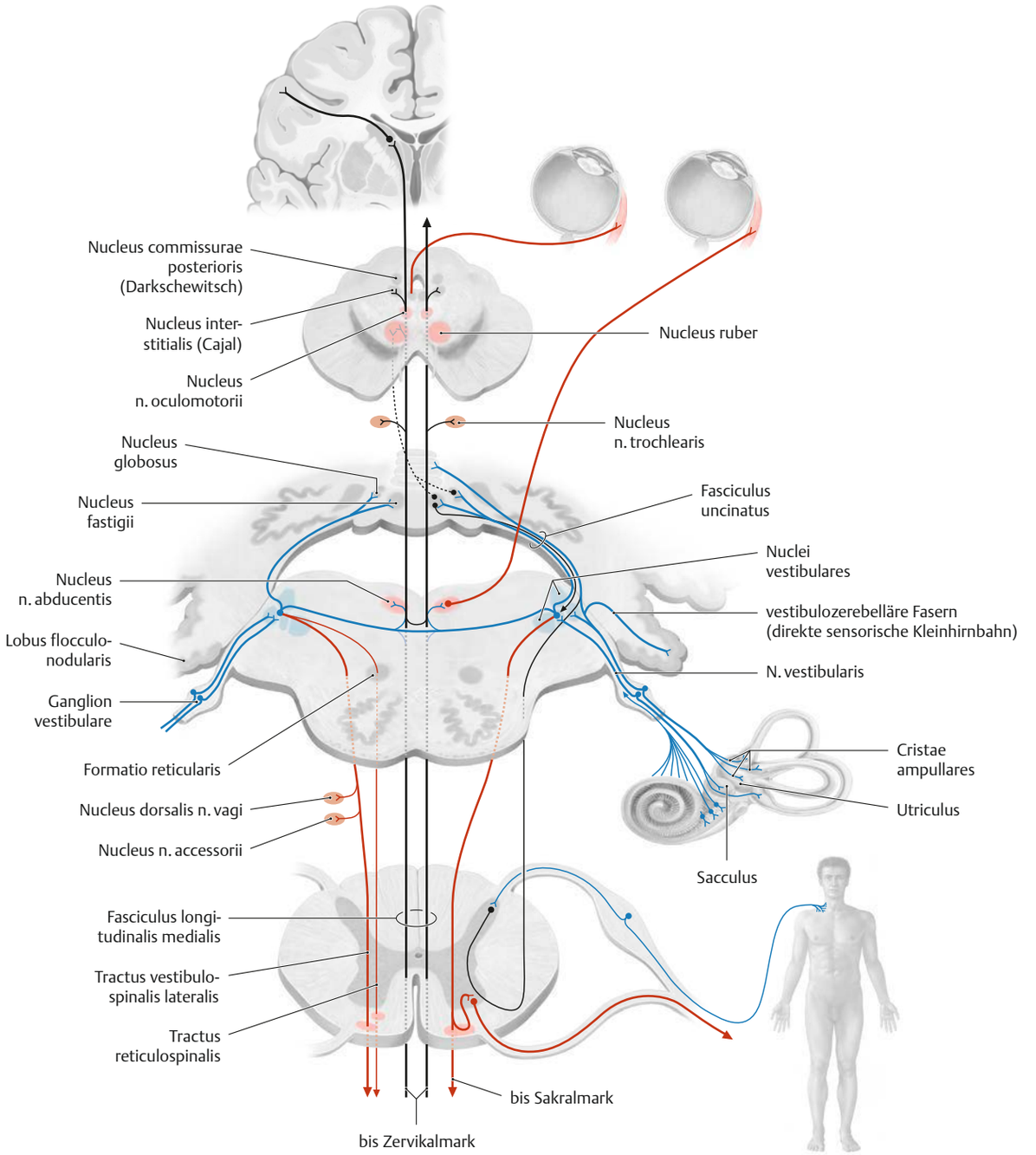


B Schema des Stapediusreflexes
Erreicht die Lautheit des akustischen Signals eine bestimmte Schwelle, wird über den Stapediusreflex eine Kontraktion des M. stapedius ausgelöst. Über diesen Reflex kann das Hörvermögen ohne Mithilfe des Patienten audiologisch getestet werden (sog. objektive Hörprüfung). Zur Messung wird ein Mikrophon in einer Sonde in den Gehörgang eingeführt und darüber das Trommelfell beschallt. Wenn bei Erreichen der Schwelle der Stapediusreflex ausgelöst wird, versteift sich das Trommelfell. Die Änderung des Trommelfellwiderstands wird dann aufgezeichnet. Der *afferente* Schenkel dieses Reflexes verläuft im N. cochlearis. Über den oberen Olivenkomplex (= Nucleus olivaris superior) wird die Information beidseitig zum Fazialiskern (nicht dargestellt) weitergeleitet. Der *efferente* Schenkel dieses Reflexes läuft über die speziell viszeromotorischen Fasern des N. facialis.



C Efferente Fasern aus der Olive zum Corti-Organ
Neben den afferenten Fasern aus dem Corti-Organ (vgl. **A**, hier blau dargestellt), die den Hörnerv bilden, gibt es auch Efferenzen (rot) zum Corti-Organ im Innenohr, die der aktiven Schallvorverarbeitung („Cochlear amplifier") sowie der Schallprotektion dienen sollen. Die efferenten Fasern stammen aus Neuronen, die entweder lateral oder medial in der oberen Olive liegen und von dort zur Cochlea ziehen (laterales bzw. mediales olivokochleäres Bündel). Die Fasern der lateralen Neurone ziehen *ungekreuzt* zu den Dendriten der *inneren* Haarzellen, die Fasern der medialen Neurone ziehen *gekreuzt* zur Gegenseite und enden an der Basis der *äußeren* Haarzellen, deren Aktivität sie beeinflussen. Nach Erregung können die äußeren Haarzellen die Wanderwelle aktiv verstärken. Damit wird die Empfindlichkeit der inneren Haarzellen (der eigentlichen Rezeptorzellen) gesteigert. Die Wirkung der Efferenzen aus der Olive können als otoakustische Emissionen (OAE) abgeleitet werden, ein Umstand, den man zum Hörscreening bei Neugeborenen nutzt.

13.22 Vestibuläres System



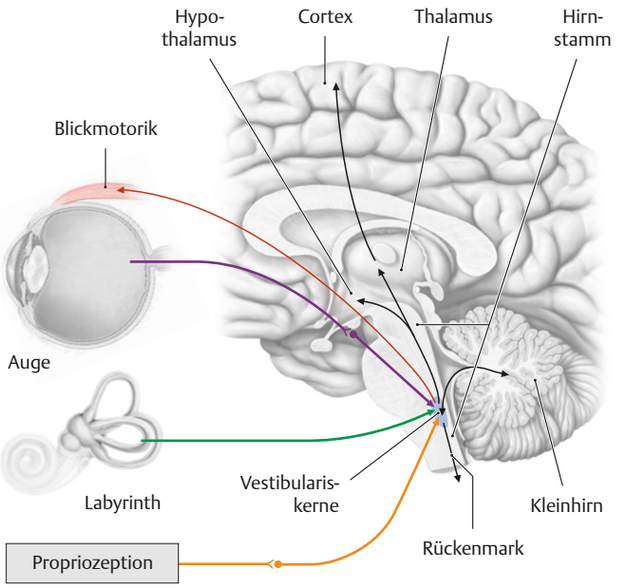
A Zentrale Verbindungen des N. vestibularis

Unsere Gleichgewichtsregulation wird von drei Systemen beeinflusst:

- vestibuläres System,
- propriozeptives System und
- optisches System.

Die beiden letztgenannten Systeme wurden bereits besprochen. Die peripheren Rezeptoren des *vestibulären Systems* sind im häutigen Labyrinth (s. Felsenbein, S. 142 u. 154) lokalisiert, das aus Utriculus und Sacculus sowie den Ampullen der drei Bogengänge besteht. Macula utriculi und Macula sacculi messen die lineare Beschleunigung, die Bogengangsorgane in den Cristae ampullares die Winkelbeschleunigung. Wie die Haarzellen des Innenohrs, sind auch die Rezeptoren des vestibulären Systems *sekundäre* Sinneszellen. Basal sind die sekundären Sinneszellen von dendritischen Fortsätzen bipolarer Neuronen umgeben. Ihre Perikarya liegen im Ganglion vestibulare. Die Axone dieser Neurone bilden den N. vestibularis und enden in den vier Vestibulariskernen (s. **C**). Neben dem Input aus dem Vestibularapparat erhalten diese Kerne weiteren sensorischen Input (s. **B**). Die Vestibulariskerne sind topisch organisiert (s. **C**) und senden ihre Efferenzen zu drei Zielen:

- über den Tractus vestibulospinalis lateralis werden Motoneurone im Rückenmark erreicht, die den aufrechten Stand unterstützen; es werden also bevorzugt Streckerneurone tonisiert;
- über vestibulozerebelläre Fasern (direkte sensorische Kleinhirnbahn) wird der Lobus flocculonodularis des Kleinhirns (Archicerebellum) erreicht;
- über den aszendierenden Teil des Fasciculus longitudinalis medialis werden die Augenmuskelkerne ipsi- und kontralateral erreicht.



B Zentrale Rolle der Vestibulariskerne bei der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts

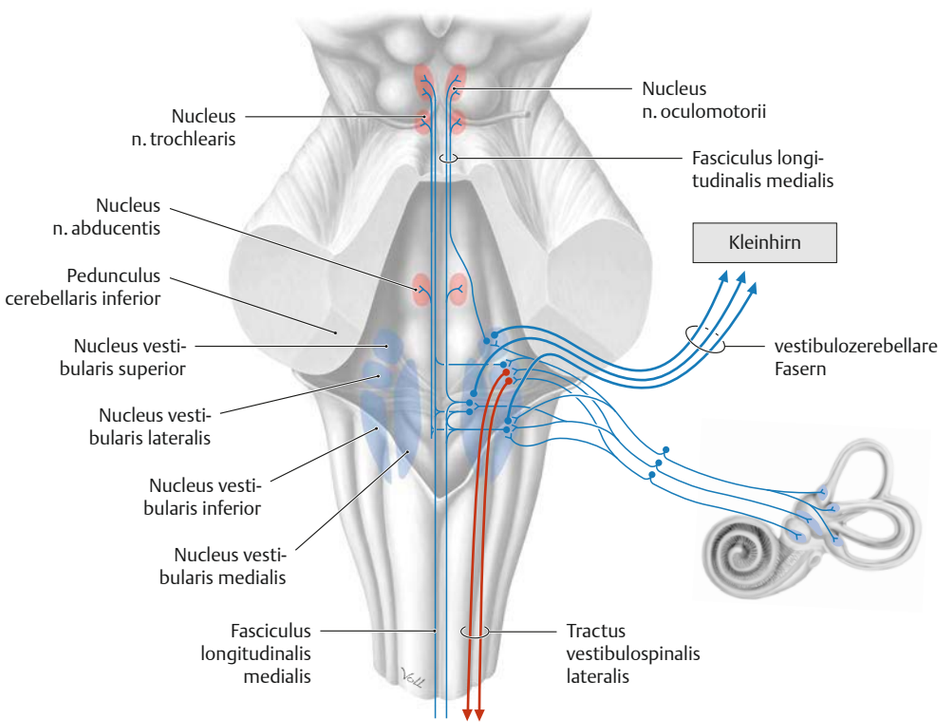
Die Afferenzen zu den Vestibulariskernen und die Efferenzen, die von ihnen ausgehen, zeigen, welche zentrale Rolle diese Kerne für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts spielen. Afferenzen bekommen die Vestibulariskerne aus dem vestibulären, dem propriozeptiven (Lagesinn, Muskeln und Gelenke) und dem optischen System, Efferenzen entsenden sie folglich zu Kerngebieten, die die für das Gleichgewicht wichtigen motorischen Systeme steuern. Dies sind Kerngebiete in:

- Rückenmark (Stützmotorik),
- Kleinhirn (Feinkontrolle der Motorik) und
- Hirnstamm (Augenmuskelkerne – Blickmotorik).

Weiterhin ziehen Efferenzen aus den Vestibulariskernen zu folgenden Regionen:

- Thalamus und Cortex (Raumempfinden) sowie
- Hypothalamus (vegetative Regulation: Erbrechen bei Schwindel).

Beachte: Ein akuter Ausfall des vestibulären Systems macht sich durch Drehschwindel bemerkbar.



C Vestibulariskerne: Topik und zentrale Verbindungen

Man unterscheidet vier Kerne:

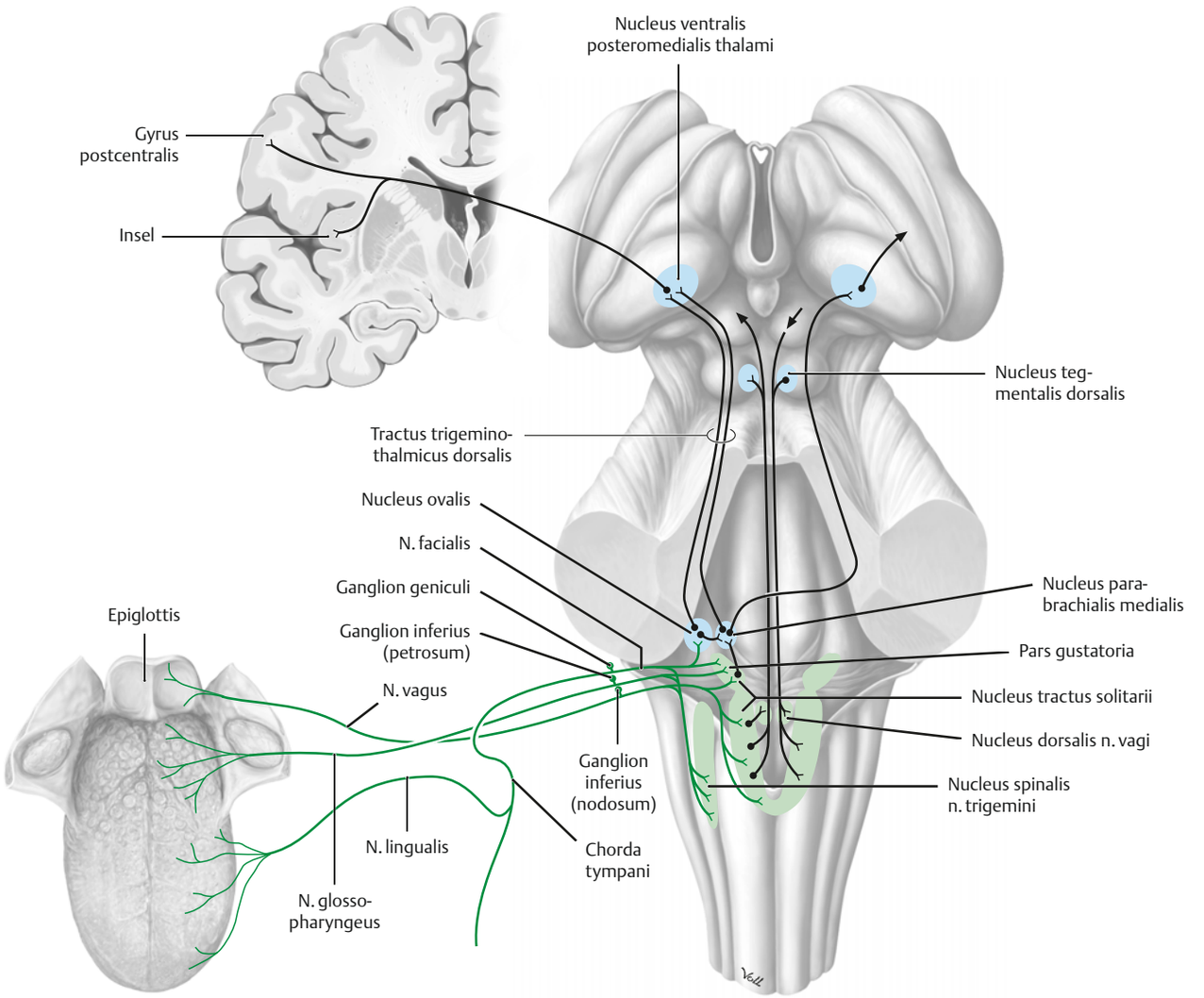
- Nucleus vestibularis superior (Bechterew),
- Nucleus vestibularis lateralis (Deiters),
- Nucleus vestibularis medialis (Schwalbe) und
- Nucleus vestibularis inferior (Roller).

Das vestibuläre System ist topisch organisiert:

- Die afferenten Fasern der Macula sacculi enden in Nucleus vestibularis inferior und Nucleus vestibularis lateralis;
- die afferenten Fasern der Macula utriculi im medialen Teil des Nucleus vestibularis inferior und im lateralen Teil des Nucleus vestibularis medialis sowie im Nucleus vestibularis lateralis;
- die afferenten Fasern aus den Cristae ampullares der Bogengangsorgane enden im Nucleus vestibularis superior, im oberen Abschnitt des Nucleus vestibularis inferior und im Nucleus vestibularis lateralis.

Die Efferenzen aus dem Nucleus vestibularis lateralis ziehen zum Tractus vestibulospinalis lateralis. Dieser Tractus erstreckt sich bis ins Sakralmark, seine Axone enden an Motoneuronen. Funktionell dient er der Aufrechterhaltung des Körpers (besonders Tonisierung der Streckmuskulatur). Die vestibulozerebellären Fasern aus den übrigen drei Kernen vermitteln über das Kleinhirn einen tonisierenden Einfluss auf die Muskulatur. Alle vier Vestibulariskerne senden über den Fasciculus longitudinalis medialis ipsi- und kontralaterale Axone zu den drei motorischen Augenmuskelkernen (Nuclei n. abducentis, trochlearis und oculomotorii).

13.23 Geschmackssinn

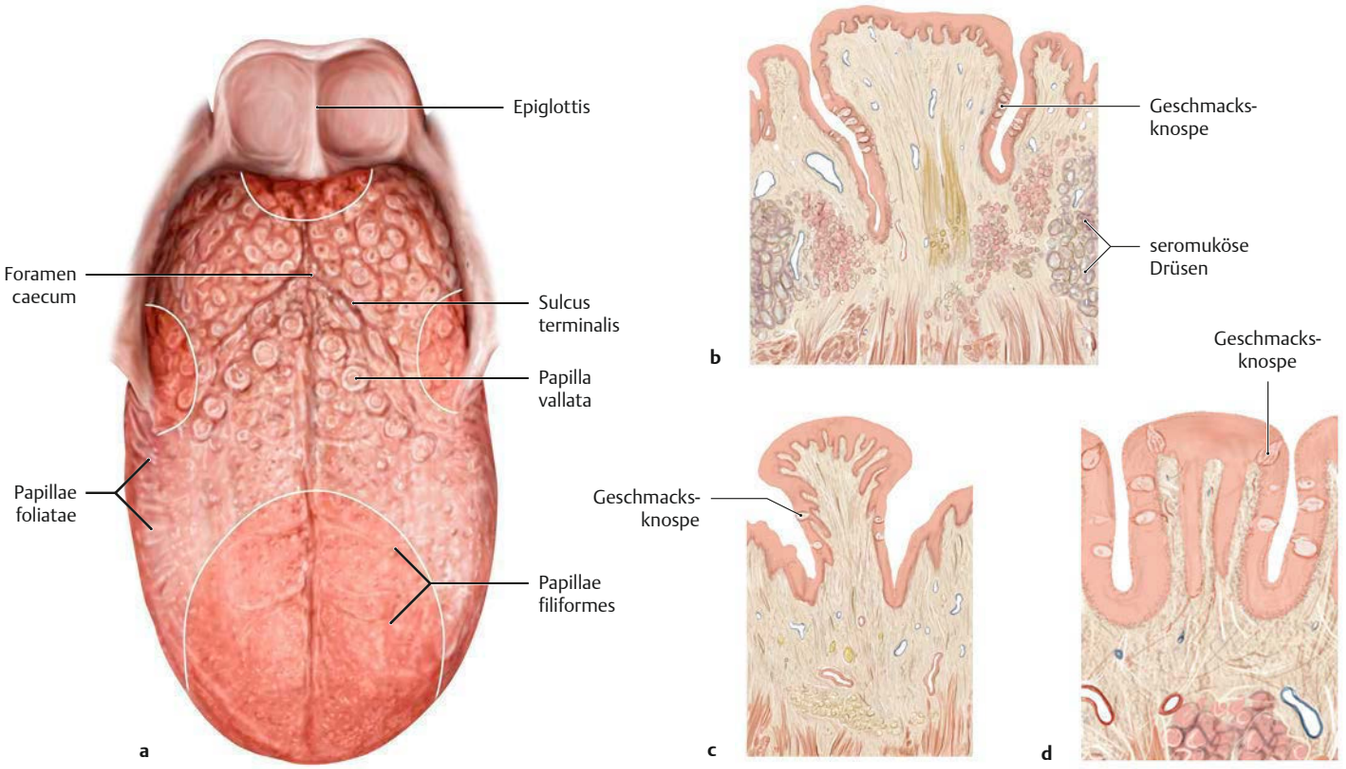


A Geschmacksbahn

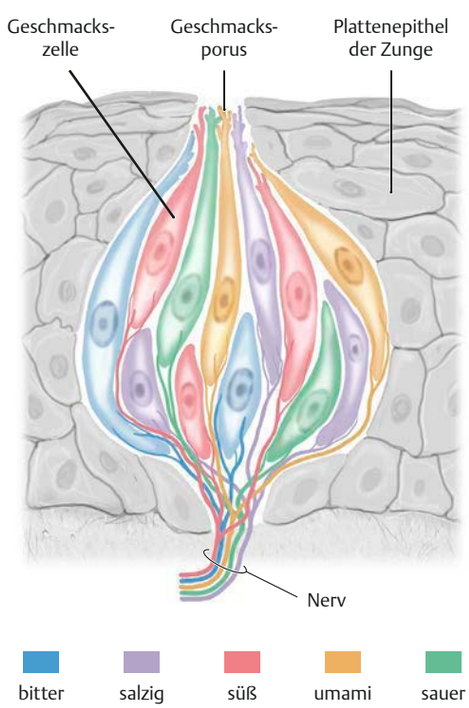
Die Wahrnehmung eines Geschmacks erfolgt in den Geschmacksknospen der Zunge (s. **B**). Im Gegensatz zu anderen Rezeptorzellen handelt es sich bei den Rezeptorzellen der Geschmacksknospen um spezialisierte Epithelzellen (sekundäre Sinneszellen, da sie kein Axon enthalten). Nach Erregung durch einen Geschmacksstoff setzen diese Epithelzellen basal Glutamat frei, das periphere Fortsätze von afferenten Hirnnerven erregt. Je nach Zungenabschnitt stammen diese von drei verschiedenen Hirnnerven, so dass ein kompletter Ausfall der Geschmackswahrnehmung (Ageusie) selten ist:

- von den *vorderen zwei Dritteln der Zunge* über den N. facialis (N. VII), wobei die afferenten Fasern zunächst mit dem N. lingualis (Trigeminusast) und dann mit der Chorda tympani zum Ganglion geniculi des N. facialis ziehen;
- vom *hinteren Drittel der Zunge* sowie von den *Papillae vallatae* über den N. glossopharyngeus (N. IX) und
- von der *Epiglottis* über den N. vagus (N. X).

An den Geschmacksknospen enden periphere Fortsätze von pseudounipolaren Ganglienzellen (entsprechen den pseudounipolaren Spinalganglienzellen), welche die Geschmacksinformation über ihre zentralen Fortsätze zur Pars gustatoria der Nuclei tractus solitarii leiten. Somit stellen sie das 1. afferente Neuron der Geschmacksbahn dar. Ihre Perikarya liegen für den N. facialis im Ganglion geniculi, für den N. glossopharyngeus im Ganglion inferius (= Ganglion petrosum) und für den N. vagus im Ganglion inferius (= Ganglion nodosum). Nach Umschaltung auf das 2. Neuron in der Pars gustatoria der Nuclei tractus solitarii laufen die Axone ipsi- und kontralateral mit dem Tractus trigeminothalamicus zum Nucleus ventralis posteromedialis (VPM) thalami, wo die Umschaltung auf das 3. Neuron erfolgt. Diese Neurone projizieren dann auf das 4. Neuron der Geschmacksbahn im Gyrus postcentralis bzw. in der Inselrinde. Ein Teil der Axone des 2. Neurons verläuft über eine weitere Zwischenstation im Hirnstamm, den Nucleus parabrachialis medialis. Für diese Neurone erfolgt bereits dort die Umschaltung auf das 3. Neuron, dementsprechend liegt im Thalamus das 4. Neuron, in Inselrinde bzw. Gyrus postcentralis dann das 5. Neuron. Kollateralen des 1. und 2. Neurons der Geschmacksafferenzen ziehen zu den Nuclei salivatorii superiores und inferiores. Über diese Afferenzen wird die Speichelsekretion beim Essen angeregt („Speichelreflex"). Über die Hirnnerven VII und IX ziehen die parasympathischen präganglionären Fasern aus dem Hirnstamm (Details siehe bei den jeweiligen Hirnnerven). Neben dieser reinen Geschmacksbahn können bei scharfen Speisen auch Trigeminusfasern gereizt werden (nicht dargestellt), welche mit zum Geschmackseindruck beitragen.

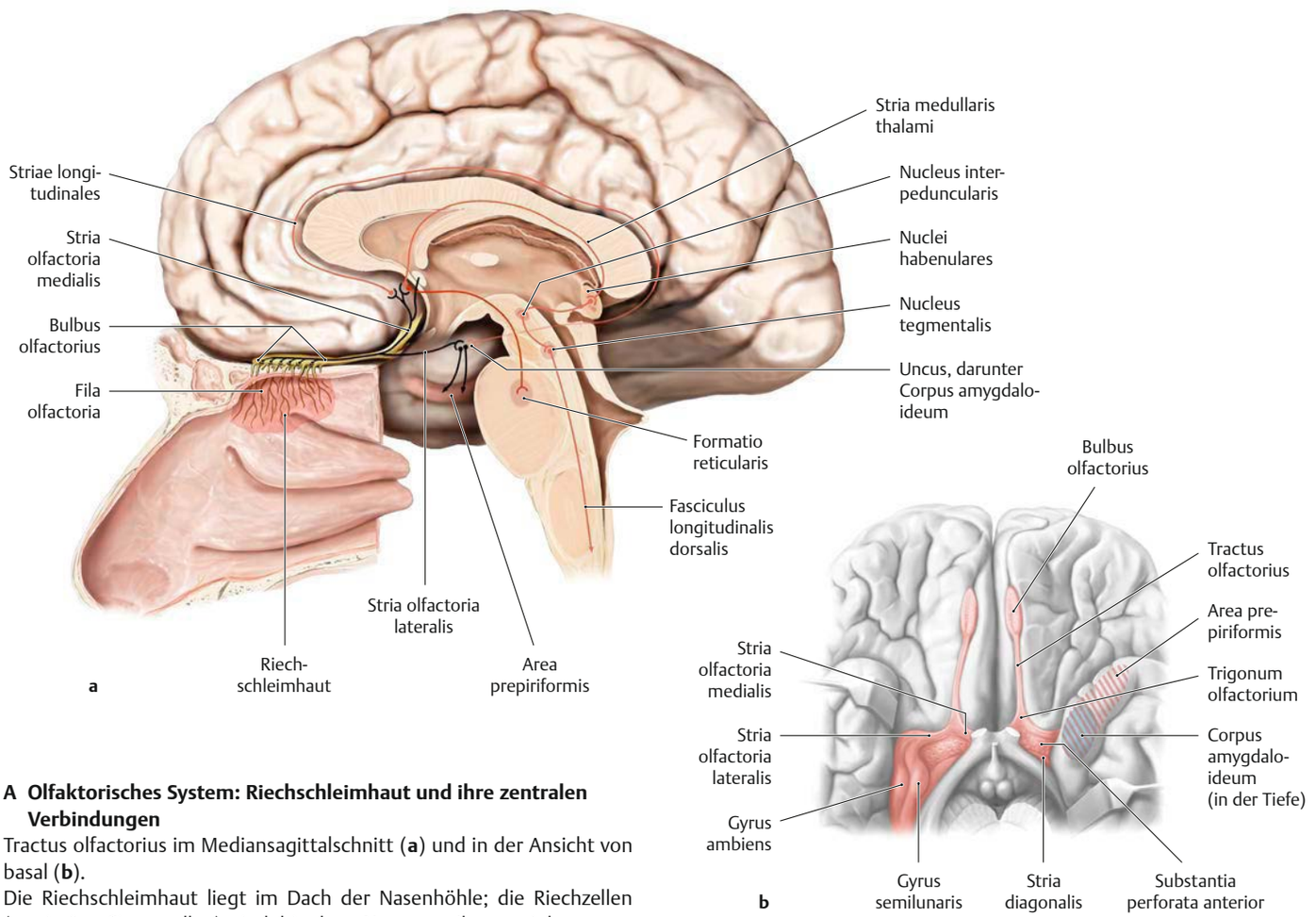


B Organisation der Geschmacksrezeptoren in der Zunge
Die Zunge des Menschen enthält etwa 4600 Geschmacksknospen, in denen die sekundären Sinneszellen für die Geschmackswahrnehmung gebündelt sind. Sie sind in den weiß umrandeten Regionen konzentriert. Die Geschmacksknospen (s. **C**) sind in das Epithel der Zungenschleimhaut eingebettet und an den Oberflächenvergrößerungen der Zungenschleimhaut, den Wallpapillen, Papillae vallatae (Hauptort) (**b**), den Pilzpapillen (Papillae fungiformes) (**c**) und den Blattpapillen (Papillae foliatae) (**d**) lokalisiert. Daneben finden sich vereinzelt Geschmacksknospen in der Schleimhaut des weichen Gaumens und des Pharynx. Umliegende Spüldrüsen, die v. a. an den Wallpapillen zu finden sind, waschen die Geschmacksknospen ständig frei, so dass deren Rezeptoren von neuen geschmacksaktiven Molekülen besetzt werden können. Folgende Geschmacksqualitäten werden unterschieden: süß, sauer, salzig und bitter und die Geschmacksqualität umami, die durch Glutamat (Geschmacksverstärker) erregt wird.



C Feinbau einer Geschmacksknospe (nach: Chandrashekar, Hoon et al.)
Die Bildung von Geschmacksknospen in der Mundschleimhaut wird durch Nerven induziert. Axone von den drei oben erwähnten Hirnnerven, die von zentral in die Mundschleimhaut einwachsen, induzieren eine Differenzierung des Epithels zu den hier dargestellten Geschmackszellen (= modifizierte Epithelzellen), deren Mikrovilli an den Geschmacksporus heranreichen. Spezialisierte Geschmacksrezeptorproteine in der Zellmembran der Mikrovilli der Geschmackszellen sind dabei für die Geschmackswahrnehmung verantwortlich (Einzelheiten, s. Lehrbücher der Physiologie). Nach Bindung der niedermolekularen Geschmacksstoffe an die Rezeptorproteine wird eine Signaltransduktion angeregt, die zur Freisetzung von Glutamat führt. Dieses wiederum führt zur Erregung der peripheren Fortsätze der pseudounipolaren Neurone der drei Hirnnervenganglien. Dabei ist jede Rezeptorzelle aufgrund ihrer Rezeptorausstattung auf eine der fünf Geschmacksrichtung (s. Farbkodierung) spezialisiert; innerhalb einer Geschmacksknospe wird dabei das ganze Spektrum der Geschmackswahrnehmung kodiert. Dieser Befund erklärt, warum die früher übliche Lokalisation der Geschmacksqualitäten zu bestimmten Arealen der Zunge nicht zutrifft. Die Geschmackszellen haben eine Lebensdauer von etwa 12 Tagen und regenerieren sich aus den Basalzellen am Boden einer Geschmacksknospe, die sich dann zu den Geschmackszellen differenzieren.

13.24 Geruchssinn



A Olfaktorisches System: Riechschleimhaut und ihre zentralen Verbindungen

Tractus olfactorius im Mediansagittalschnitt (**a**) und in der Ansicht von basal (**b**).

Die Riechschleimhaut liegt im Dach der Nasenhöhle; die Riechzellen (= primäre Sinneszellen) sind bipolare Neurone. Ihre peripheren rezeptortragenden Fortsätze enden im Nasenschleimhautepithel, ihre zentralen Fortsätze ziehen in den Bulbus olfactorius, zum Verlauf im Detail s. **B**. Der *Bulbus olfactorius,* in dem die 2. Neurone der Riechbahn (Mitral- und Büschelzellen) lokalisiert sind, ist ein vorgelagerter Teil des Telencephalon. Die Axone dieser 2. Neurone ziehen als *Tractus olfactorius* nach zentral. Vor der Substantia perforata anterior teilt sich der Tractus olfactorius in eine Stria olfactoria lateralis und medialis; in der Aufteilungsstelle befindet sich das Trigonum olfactorium.

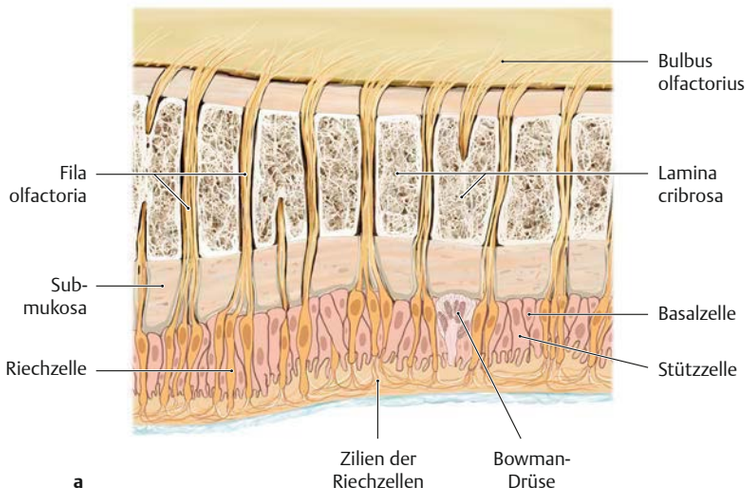
- Ein **1. Teil der Axone** des Tractus olfactorius zieht in der Stria olfactoria *lateralis* zu den Riechzentren Corpus amygdaloideum, Gyrus semilunaris und Gyrus ambiens. Die Area prepiriformis (Brodmann-Area 28) betrachtet man als primäre Riechrinde im engeren Sinne. In ihr liegen die 3. Neurone des primären olfaktorischen Cortex.
  Beachte: Die Area prepiriformis ist in **b** schraffiert dargestellt, da sie am Übergang „Basalseite Frontallappen" in „Medialseite Temporallappen" liegt.
- Ein **2. Teil der Axone** des Tractus olfactorius zieht in der Stria olfactoria *medialis* zu Kernen in der Area septalis (= subcallosa), die einen Teil des limbischen Systems darstellt (s. S. 492), und zum Tuberculum olfactorium, einer kleinen Erhebung im Bereich der Substantia perforata anterior.
- Ein **3. Teil der Axone** des Tractus olfactorius endet im Nucleus olfactorius anterior, in dem die Fasern, die zur Gegenseite ziehen, umgeschaltet werden und abzweigen. Dieser Kern liegt im Trigonum olfactorium, das zwischen beiden Schenkeln der Striae olfactoriae und vor der Substantia perforata anterior liegt.

Beachte: Keine dieser drei Bahnen zieht über den Thalamus. Damit ist das olfaktorische System das einzige sensorische System, das primär nicht über eine Umschaltung im Thalamus zum Cortex gelangt. Über den Thalamus existiert aber ein indirekter Weg zum Neocortex, der über primäre Riechrinde, Thalamus und basales Vorderhirn verläuft. In diesen basalen Vorderhirnabschnitten wird der Riecheindruck weiter analysiert (nicht dargestellt).

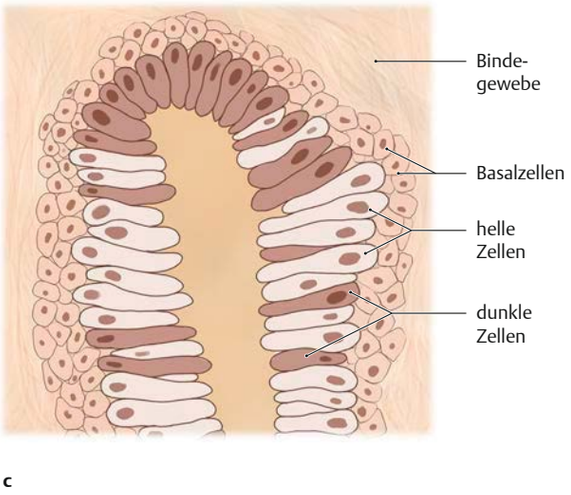
Das olfaktorische System ist weit über die primär olfaktorischen Rindenbezirke hinaus mit anderen Hirnarealen verschaltet, so dass es nach Geruchsreizen zu komplexen Verhaltensreaktionen kommen kann. Üble Gerüche lösen Brechreiz aus, bei appetitanregenden „läuft einem das Wasser im Munde zusammen", andere Menschen kann man „nicht riechen". Die Verarbeitung dieser Empfindungen geschieht vermutlich über Hypothalamus, Thalamus und limbisches System (s. S 492). Dabei stellen das mediale Vorderhirnbündel sowie die Striae medullares thalami die Hauptverbindungen dar. Das mediale Vorderhirnbündel gibt Axone zu folgenden Strukturen ab:

- hypothalamische Kerne,
- Formatio reticularis,
- Nuclei salivatorii und
- Nucleus dorsalis n. vagi.

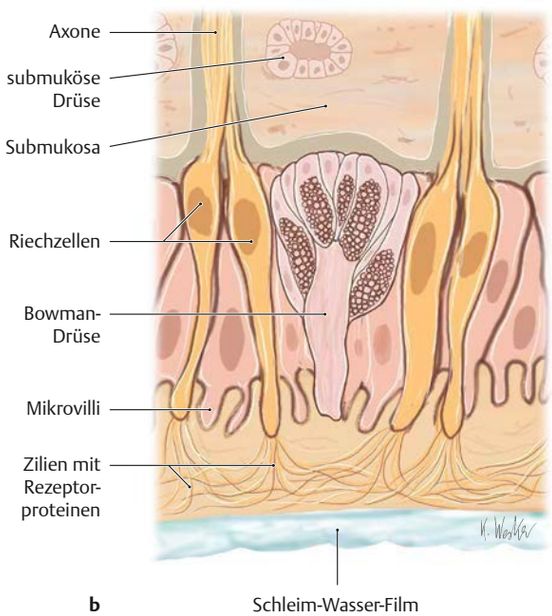
Die in den Striae medullares thalami verlaufenden Axone enden in den Nuclei habenulae. Auch diese Bahn zieht anschließend in den Hirnstamm weiter, um so die Speichelsekretion nach Geruchsreiz anzuregen.



a

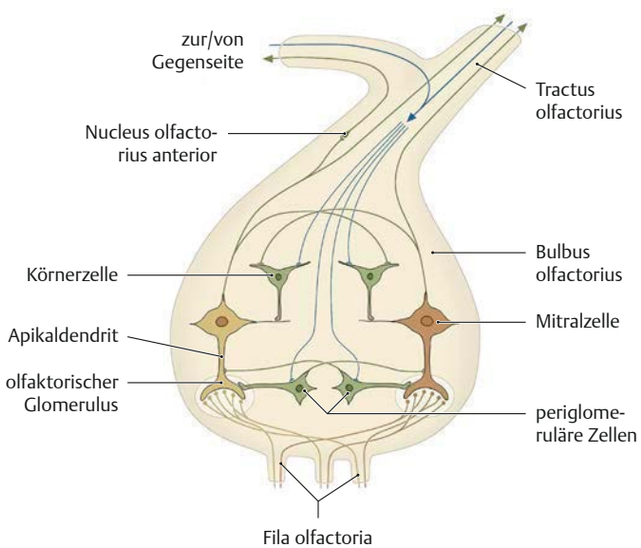


c



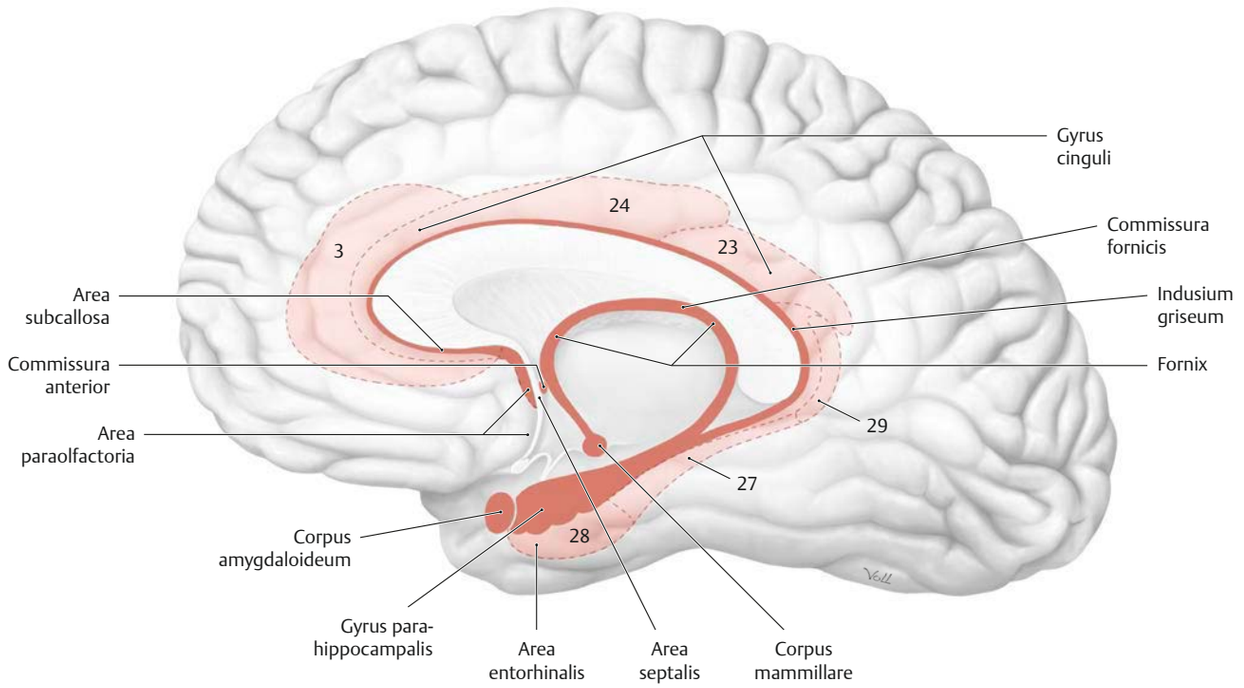
b

B Riechschleimhaut und vomeronasales Organ (VNO)
Die **Riechschleimhaut** umfasst ein 2 cm^2 großes Areal am Dach jeder Nasenhöhle, in dem 10^7 primäre olfaktorische Sinneszellen konzentriert sind (**a**, **b**). Molekular gesehen liegen die olfaktorischen Rezeptorproteine in den Zilien der Sinneszellen. Jede Sinneszelle besitzt nur ein spezialisiertes Rezeptorprotein, das nach Bindung des Geruchsstoffes die Signaltransduktion vermittelt. Obwohl der Mensch Mikrosmatiker ist und damit für Säugetiere keinen sehr guten Geruchssinn besitzt, machen die olfaktorischen Rezeptorproteine 2 % seines Genoms aus. Dies unterstreicht die Bedeutung des Geruchssinns für den Menschen. Die primären olfaktorischen Sinneszellen leben etwa 60 Tage und regenerieren sich aus den Basalzellen (lebenslange Teilung von Neuronen!). Die gebündelten zentralen Fortsätze (= Axone) von Hunderten von Riechzellen ziehen als Fila olfactoria (**a**) durch die Lamina cribrosa des Siebbeins und enden im *Bulbus olfactorius* (s. **C**), der oberhalb der Lamina cribrosa liegt. Das **vomeronasale Organ** (in **c** dargestellt) liegt beiderseits im Bereich der vorderen Nasenscheidewand. Seine zentralen Verschaltungen sind beim Menschen unbekannt. Es reagiert auf Steroide und löst unbewusste Reaktionen bei Probanden aus (Einfluss auf die Partnerwahl?). Bei vielen Tierarten wird die Partnerwahl über olfaktorische Impulse, die im vomeronasalen Organ wahrgenommen werden, vermittelt.



C Verschaltungen in einem Bulbus olfactorius
Spezialisierte Neurone im Bulbus olfactorius, die Mitralzellen, bilden apikale Dendriten, an denen die Axone von Tausenden von primären Sinneszellen Synapsen ausbilden. Dendrit plus Synapsen bilden die *olfaktorischen Glomeruli.* Dabei liegt eine ausgeprägte Topie vor, d. h., Axone von Sinneszellen mit gleichem Rezeptorprotein bilden mit nur einer oder nur ganz wenigen Mitralzellen Glomeruli. Die basal liegenden Axone der Mitralzellen bilden den Tractus olfactorius; die in ihm verlaufenden Axone ziehen primär zum olfaktorischen Cortex, aber auch noch zu anderen Kerngebieten im ZNS. Die Axonkollateralen der Mitralzellen ziehen zu Körnerzellen: Sowohl Körnerzellen als auch periglomeruläre Zellen hemmen die Aktivität der Mitralzellen. Dadurch werden weniger Sinneseindrücke nach zentral gemeldet. Durch solche Hemmprozesse soll die Kontrastbildung gefördert werden, was der exakteren Geruchswahrnehmung dient. Die Büschelzellen, die ebenfalls in den primären olfaktorischen Cortex projizieren, sind nicht dargestellt.

13.25 Limbisches System



A Limbisches System im teilweise durchscheinend dargestellten Cortex

Ansicht von medial auf die rechte Hirnhälfte. Der Begriff „limbisches System“ (Limbus = lat. Saum, Kante) geht auf Broca 1878 zurück, der die Hirnwindungen um Balken, Zwischenhirn und Basalkernen zu einem „grand lobe limbique“ zusammenfasste. Das limbische System umfasst dabei neo-, archi- und palaeokortikale Bezirke sowie subkortikale Kerngebiete. Aufgrund dieser Ausdehnung können Informationen zwischen Telencephalon (Hirnrinde), Diencephalon und Mesencephalon ausgetauscht und integriert werden. An der medialen Hemisphäre kann man einen inneren und einen äußeren Bogen des limbischen Systems unterscheiden.

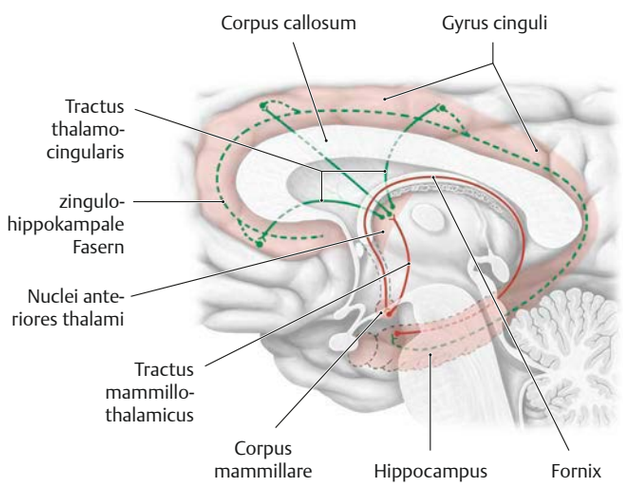
Der **äußere Bogen** wird gebildet von:

- Gyrus parahippocampalis,
- Gyrus cinguli (auch Gyrus limbicus genannt, Namensgeber),
- Area subcallosa (Area paraolfactoria).

Der **innere Bogen** wird gebildet von:

- Indusium griseum,
- Hippokampusformation,
- Fornix,
- Area septalis (kurz Septum[region]),
- diagonales Band nach Broca (in dieser Ansicht nicht sichtbar) und
- Gyrus paraterminalis.

Zum limbischen System zählen außerdem: Corpus amygdaloideum und Corpus mammillare.
Die folgenden Kerngebiete zählen dazu, sind aber nicht dargestellt: Nucleus anterior thalami, Nucleus habenularis, Nucleus tegmentalis posterior und Nucleus interpeduncularis.
Das limbische System beteiligt sich an der Regulation des Trieb- und Affektverhaltens und ist für Lernen und Gedächtnis von entscheidender Bedeutung. Die Zahlen in der Abbildung beziehen sich auf die Brodmann-Areale.

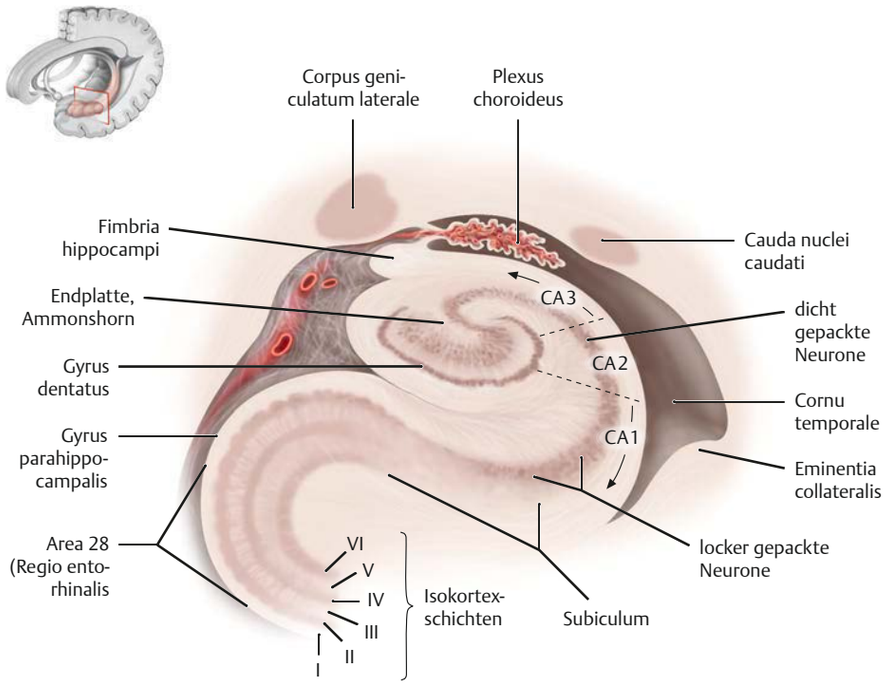


B Neuronenkreis nach Papez

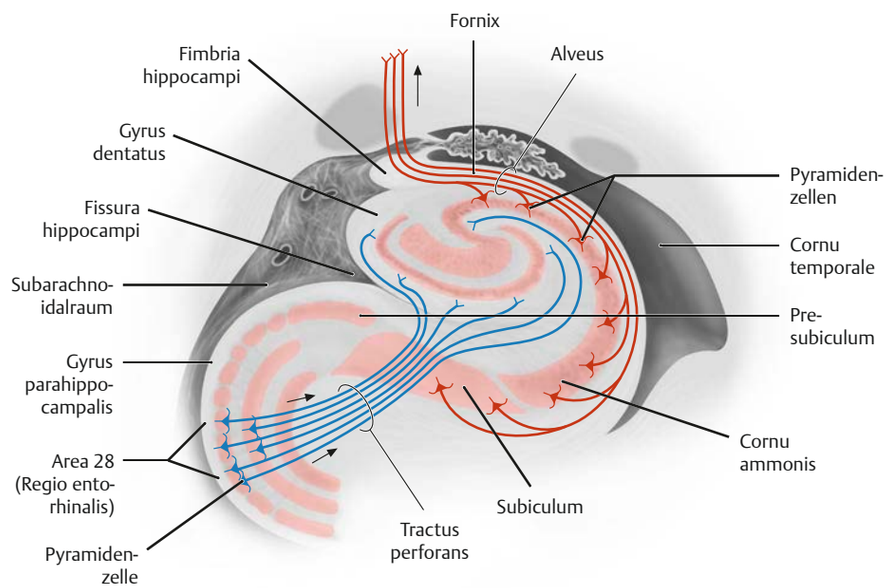
Sicht auf die Medianfläche des rechten Gehirns. Einige Kerngebiete des limbischen Systems werden durch einen **Neuronenkreis** (s. u.) miteinander verbunden, der nach seinem Erstbeschreiber Papez (1937) benannt ist. Er wurde später (1949) von MacLean um den Begriff des limbischen Systems erweitert. Aufgeführt sind jeweils die Kerngebiete (normal gedruckt) sowie die Bahnen (**fett** gedruckt), die zur nächsten Station des Neuronenkreises führen:

Hippocampus → **Fornix** → Corpus mammillare → **Tractus mammillothalamicus** (Vicq-d’Azyr-Bündel) → Nuclei anteriores thalami → **Tractus (Radiatio) thalamocingularis** → Gyrus cinguli → **zingulohippokampale Fasern** → Hippocampus.

Durch diesen Neuronenkreis werden die entwicklungsgeschichtlich verschiedenen Abschnitte des limbischen Systems miteinander verknüpft. Dadurch werden im Unbewussten (subkortikale Areale) gespeicherte Informationen (das „Es“ im Sinne Freuds) mit bewussten Handlungen verknüpft (Kortexareale, „Ich“ und „Über-Ich“ im Sinne Freuds).



C Zytoarchitektur der Hippokampusformation (nach Bähr u. Frotscher)
Ansicht von links-frontal.
Beachte: In der Hippokampusformation liegt statt eines sechsschichtigen Isocortex (unten links im Bild) ein dreischichtiger Allocortex vor, diese Struktur ist entwicklungsgeschichtlich bedingt: Der Hippocampus ist eine phylogenetisch ältere Struktur als der Isocortex. In der Mitte des Allocortex liegt ein Band von Neuronen, das die Neuronenschicht des eigentlichen Hippocampus (= Hippocampus proprius = Cornu ammonis, CA) bildet. Der Hauptzelltyp in diesem Band sind Pyramidenzellen. Aufgrund der unterschiedlichen Zelldichte der Pyramidenzellen kann man die Region CA 1–3 unterscheiden. Der sog. *„Sommer-Sektor" – Region CA1* ist in der Neuropathologie von Bedeutung: Der Untergang von Neuronen in diesem Sektor ist das erste, morphologisch fassbare Zeichen einer Hypoxie des Gehirns. Neben dem eigentlichen Hippocampus erkennt man noch das Zellband des Gyrus dentatus (Fascia dentata), dessen Hauptzelltyp die Körnerzelle ist.



D Verbindungen des Hippocampus
Ansicht von links-frontal. Die wichtigste afferente Bahn zum Hippocampus ist der Tractus perforans (blau), der von der Regio entorhinalis (durch dreieckige Pyramidenzellen repräsentiert = Area 28 nach Brodmann) zum Hippocampus zieht (dort Endigung der Synapsen). Die Neurone, die von dort in den Hippocampus projizieren, erhalten ihre Afferenzen aus vielen Hirnregionen. Damit stellt die Regio entorhinalis das Tor zum Hippocampus dar. Die Pyramidenzellen des Cornu ammonis (Dreiecke) senden ihre Axone in den Fornix, die in ihm verlaufenden Axone ziehen zu den Corpora mammillaria (Papez-Neuronenkreis) oder zu septalen Kernen weiter.

E Wichtige Definitionen zum limbischen System

Archicortex
phylogenetisch alte Strukturen der Hirnrinde, kein sechsschichtiger Aufbau

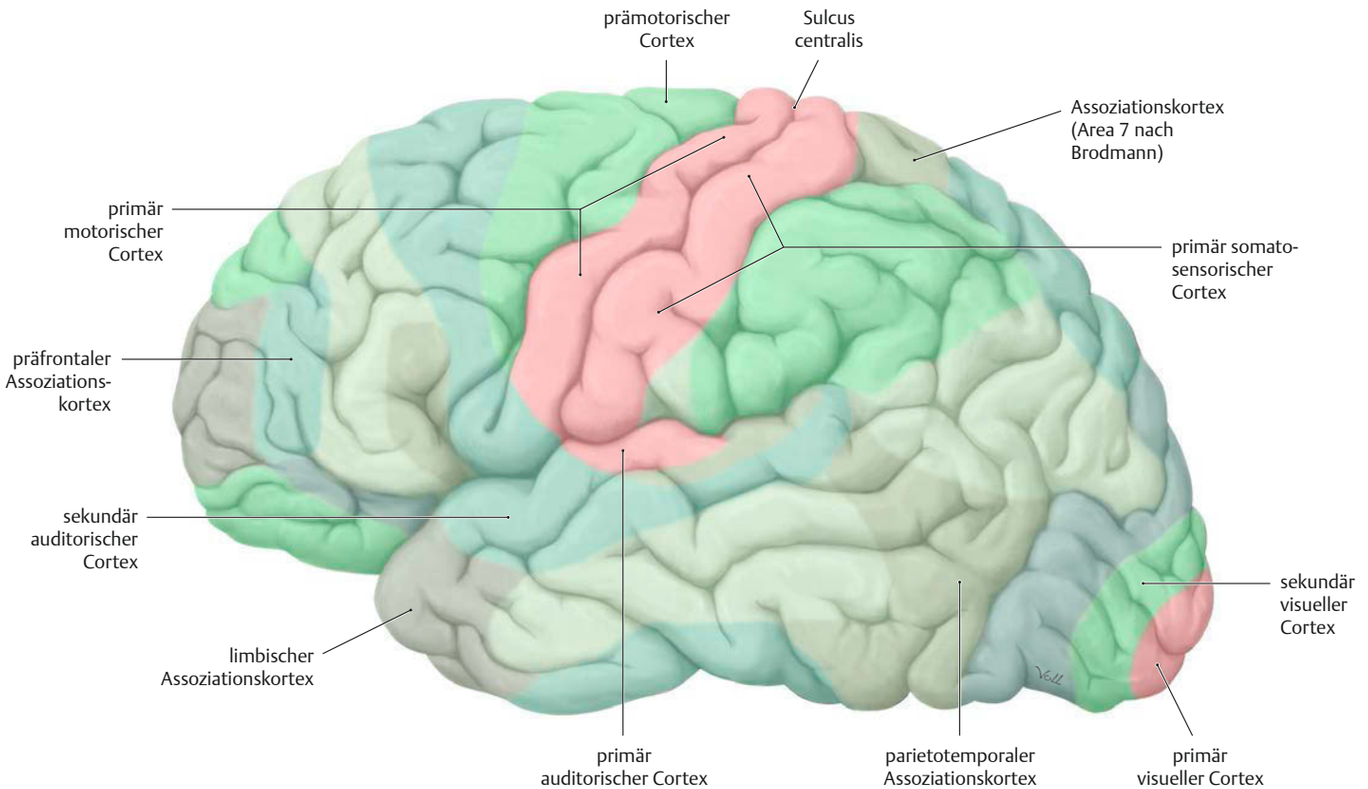
Hippocampus (retrocommissuralis)
Cornu ammonis (Hippocampus proprius), Gyrus dentatus (alternativ: Fascia dentata), Subiculum (wird von manchen Autoren schon zur Hippokampusformation und nicht zum Hippocampus selbst gezählt)

Hippokampusformation
Hippocampus plus Area entorhinalis des Gyrus parahippocampalis

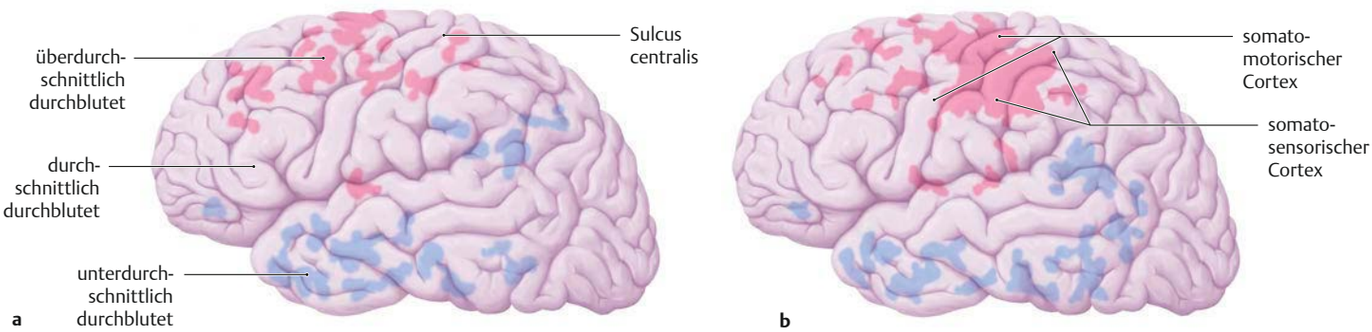
Limbisches System
wichtiges Koordinationssystem für Gedächtnis und Emotionen; umfasst folgende *telenzephale* Strukturen: Gyrus cinguli, Gyrus parahippocampalis, Hippokampusformation, Septumkerne und Corpus amygdaloideum. Vom *Diencephalon* werden Nucleus anterior thalami, Corpora mammillaria, Nucleus accumbens und Habenula mit hinzugerechnet, vom *Hirnstamm* die Raphekerne. Das mediale Vorderhirnbündel sowie der Fasciculus longitudinalis dorsalis sind teilweise Bahnen des limbischen Systems

Periarchicortex
breite Übergangszone um den Hippocampus, bestehend aus Gyrus cinguli, Isthmus gyrus cinguli und Gyrus parahippocampalis

13.26 Kortexgliederung, Assoziationsgebiete



A Gliederung des Neocortex nach funktionellen Gesichtspunkten
Ansicht von links; primär sensorische und motorische Areale sind rot dargestellt, die Areale des Assoziationskortex sind in verschiedenen Grüntönen dargestellt. In den primär motorischen oder sensorischen Arealen beginnen bzw. enden Projektionsbahnen. Über 80 % der Kortexoberfläche sind Assoziationskortex, die mit den primär sensorischen bzw. primär motorischen Arealen sekundär verbunden sind. Die neuronale Verarbeitung von differenziertem Verhalten und intellektuellen Leistungen findet im Assoziationskortex statt, der während der Evolution zum Menschen stark an Größe zugenommen hat. Die hier dargestellte Zuordnung von Aufgaben wie z. B. der Lokalisation des primär motorischen Cortex in der Region vor dem Sulcus centralis zu eben diesem Hirnareal kann seit einigen Jahren durch moderne bildgebende Verfahren am Lebenden nachgewiesen werden. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen werden in den nächsten Abbildungen exemplarisch dargestellt. Bemerkenswerterweise stimmen die Zuordnungen aus diesen Untersuchungen relativ oft mit den Kortexarealen nach Brodmann überein.



B Funktionelle Analyse der Hirnfunktion durch Untersuchungen der regionalen Hirndurchblutung
Ansicht des Gehirns von links. Wenn Neurone aktiviert werden, verbrauchen sie vermehrt Glucose und Sauerstoff, die durch den Blutstrom herantransportiert werden müssen. Dadurch kann es zu einer erhöhten regionalen Durchblutung kommen. Eine Hirnkarte mit Darstellung der lokalen Durchblutung in Ruhe (**a**) und bei Bewegung (**b**) der rechten Hand ist hier dargestellt. Bei Bewegung der rechten Hand kommt es zu einer vermehrten Durchblutung im Bereich des Abschnitts des kontralateralen linken motorischen Cortex (Pyramidenbahnkreuzung) in der Präzentralregion, wo die Hand repräsentiert ist (s. motorischer Homunkulus, s. **B**, S. 457). Gleichzeitig wird auch der sensorische Cortex in der Postzentralregion aktiviert. Dies zeigt, dass bei motorischen Funktionen auch der sensorische Cortex mit aktiviert wird (Rückkopplungsschleife).



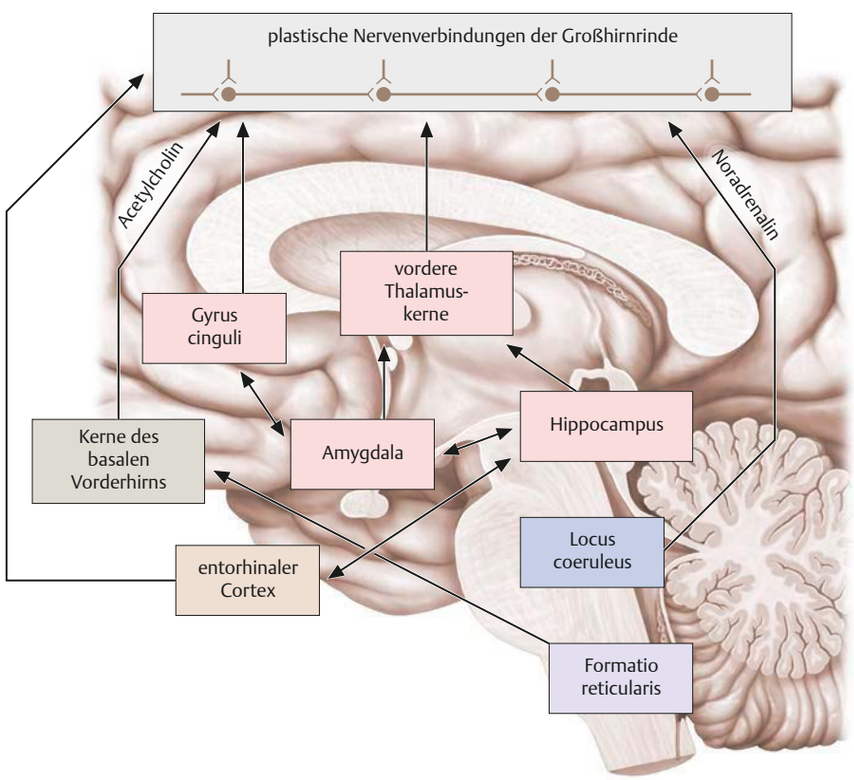
Frauen



Männer

C Geschlechtsunterschiede bei der neuronalen Verarbeitung
(nach Stoppe, Hentschel u. Munz)

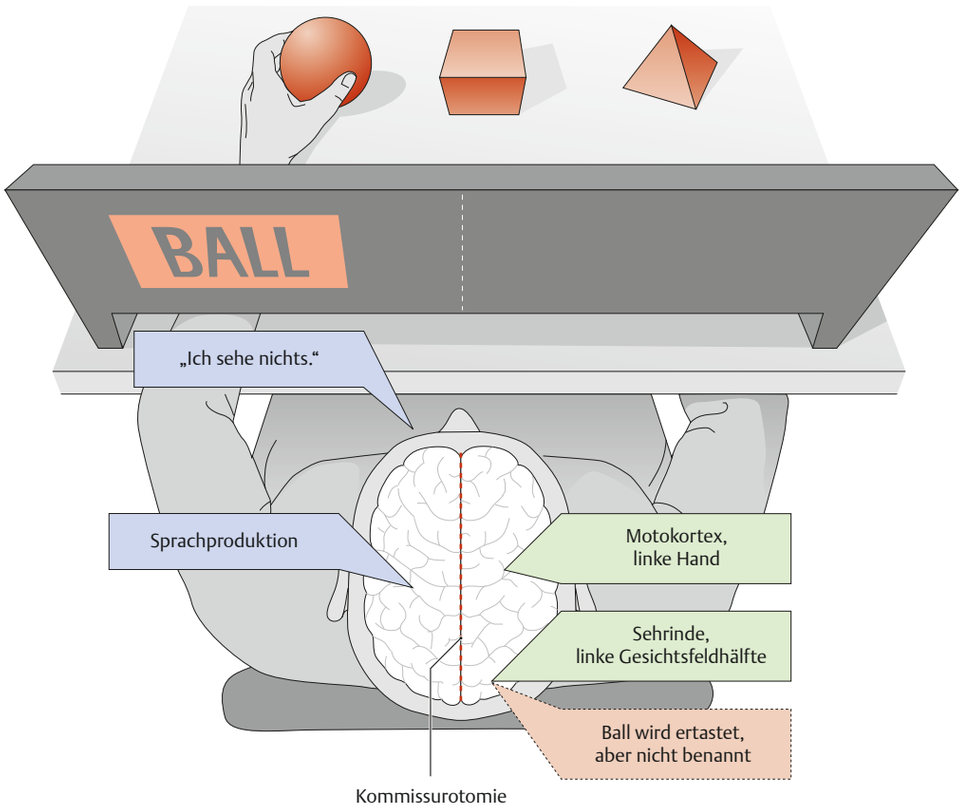
Eine weitere Methode zur Darstellung der Gehirnaktivität ist die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT). Bei diesem Verfahren wird die Stoffwechselaktivität im Gehirn nicht invasiv dargestellt. Da kein Menschenhirn dem anderen komplett gleicht, kommt es beim Vergleich mehrerer Gehirne zu geringfügigen Unterschieden hinsichtlich der Lokalisation einzelner Funktionen in bestimmten Hirnarealen. Um dieses Problem bei der Lokalisation von Gehirnfunktionen ansatzweise zu lösen, projiziert man die Ergebnisse von Untersuchungen verschiedener Gehirne übereinander. Links ist eine solche Summationskarte von Frauengehirnen, rechts eine von Männergehirnen dargestellt. Beiden Gruppen wurde phonologische Aufgaben gestellt, d. h. die Probanden mussten Bedeutungsunterschiede von Sprachlauten erkennen. Während Frauen zur Lösung solcher Aufgaben beide Hirnhälften aktivierten, geschah dies bei Männern primär nur links (Betrachtung der Bilder von kaudal). Diese Befunde zeigen deutlich, dass sich die Gehirne von Frauen und Männern in der Signalverarbeitung unterscheiden. „Männer und Frauen passen einfach nicht zusammen!“ (Loriot an seinem 80. Geburtstag).



D Modulierende subkortikale Zentren

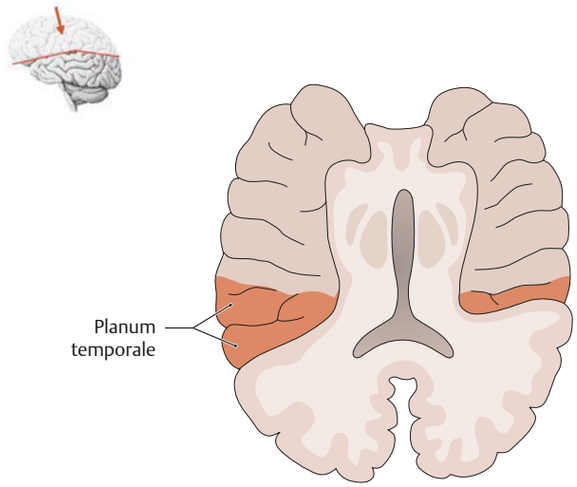
Der Cortex als Ort unseres bewussten Erlebens und Handelns wird über verschiedene subkortikale Zentren beeinflusst. Die für das Lernen und das Gedächtnis besonders wichtigen Bestandteile des limbischen Systems sind rot dargestellt. Die Beeinflussung unseres Bewusstseins und unseres Handelns durch diese subkortikalen Zentren wird von einigen Neurobiologen als so dominierend eingeschätzt, dass sie einen freien Willen negieren. „Der Mensch fühlt sich dann frei, wenn er tun kann was er muss“; d. h. wenn er das tut, was sein Unterbewusstsein ihm zu tun vorgibt.

13.27 Hemisphärendominanz

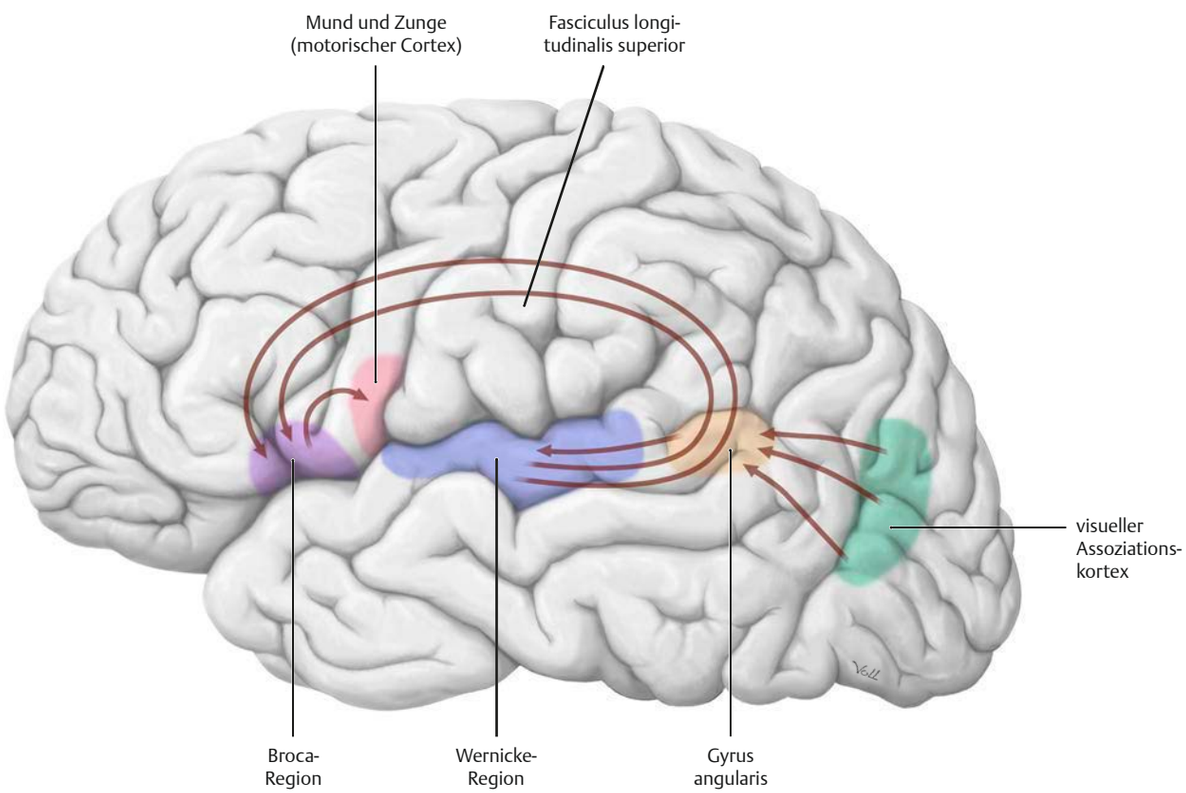


A Nachweis der Hemisphärendominanz bei Patienten mit durchtrenntem Corpus callosum (nach Klinke, Pape u. Silbernagl)

Das Corpus callosum stellt die bei weitem wichtigste Kommissurenbahn dar, die Hirnareale mit gleicher Funktion beider Hirnhälften miteinander verbindet. Da dem Corpus callosum früher keine Funktion zugeordnet werden konnte, wurde es bei Epileptikern zusammen mit der Commissura anterior durchtrennt, um eine Überleitung von epileptischen Anfällen auf die gegenüberliegende Seite zu verhindern (Kommissurotomie). Bei diesen Patienten wurde also die Kommunikation im *oberen Telencephalon* unterbunden, während die Kommunikation im tiefer liegenden *Diencephalon* mit seinem Tractus opticus nicht unterbrochen wurde. Solche Patienten werden als Split-brain-Patienten bezeichnet. Sie sind grob klinisch unauffällig, differenzierte neuropsychologische Untersuchungen konnten jedoch Defekte nachweisen, die viel zum Verständnis der Hirnfunktion beigetragen haben. Bei einer solchen Untersuchung sitzt der Patient vor einem Bildschirm, auf den Worte projiziert werden. Gleichzeitig kann der Patient hinter dem Bildschirm Gegenstände ertasten. Wird einem Split-brain-Patienten das Wort „Ball" links kurzzeitig auf den Bildschirm projiziert, nimmt er es in der *rechten* Sehrinde wahr (Tractus opticus bei Kommissurotomie nicht betroffen!). Da die Sprachproduktion bei 97 % der Menschen in der *linken* Hemisphäre lokalisiert ist, kann der Patient nicht verbalisieren, welches Wort projiziert wurde, da ja die Kommunikation zwischen den Hirnhälften auf Ebene des Telencephalon (Sitz der Sprachproduktion) unterbunden ist. Er ist aber trotzdem in der Lage, den Ball zu ertasten und aus anderen Gegenständen herauszusuchen. Man nimmt an, dass die Hemisphärendominanz während der Evolution dadurch entstanden ist, dass sich Hirnbezirke von ihrer spezifischen Funktion, z. B. der Sprachfunktion, losgelöst haben, so dass sie für die Entwicklung unserer Intelligenz frei wurden. Das Corpus callosum ermöglicht nun beiden Hemisphären (die z. T. unabhängige Funktionen wahrnehmen können und dadurch flexibler einsetzbar geworden sind) im Bedarfsfall doch miteinander zu kommunizieren. Aufgrund der Hemisphärendominanz ist das Corpus callosum beim Menschen im Vergleich zu anderen Tierarten besonders stark ausgeprägt. Bei Männern und Frauen ist die Belegung kortikaler Areale unterschiedlich. So wird z. B. bei der Lösung von sprachlichen Aufgaben bei Männern nur eine Hirnhälfte aktiviert, Frauen aktivieren beide Hirnhälften (s. **C**, S. 495). Diese Tatsache soll auch auf die Struktur des Corpus callosum Auswirkungen haben. So sollen z. B. bei Frauen, bei denen das Sprachverständnis und -vermögen ausgeprägter als bei Männern vorhanden sein soll (Ein Mann ein Wort – eine Frau ein Wörterbuch), nach einigen Studien im Isthmus des Corpus callosum mehr Axone verlaufen als bei Männern (etwa 25 % größerer Isthmusbereich!). Das Ergebnis solcher Studien ist allerdings stark umstritten.



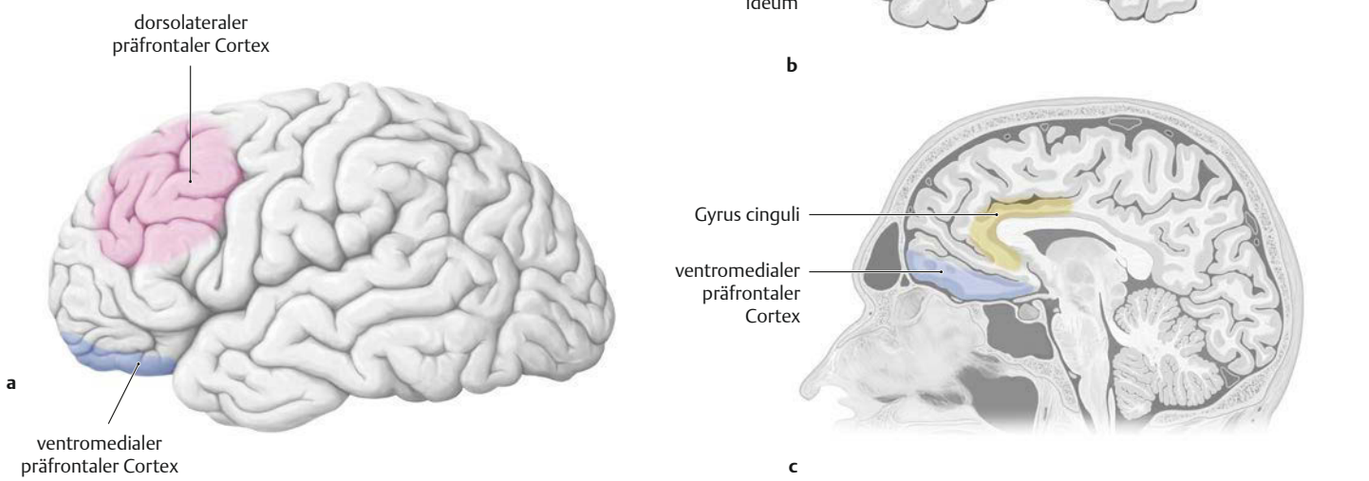
B Hemisphärenasymmetrie (nach Klinke u. Silbernagl)
Ansicht von dorsal auf den Temporallappen nach Schnitt entlang der Fissura lateralis. Das Planum temporale ist in den Hirnhälften unterschiedlich stark konturiert; bei zwei Dritteln aller Menschen ist es links stärker ausgebildet als rechts. Die funktionelle Bedeutung dieser Asymmetrie ist unklar. Auf die Tatsache, dass die Wernicke-Sprachregion in diesem Areal des Temporallappens liegt und es deshalb links stärker ausgeprägt ist als rechts, lässt sich die Asymmetrie jedoch nicht so einfach zurückführen: Während nur 67 % der Menschen eine solche Hemisphärenasymmetrie aufweisen, ist bei 97 % der Menschen links die Sprachregion lokalisiert.



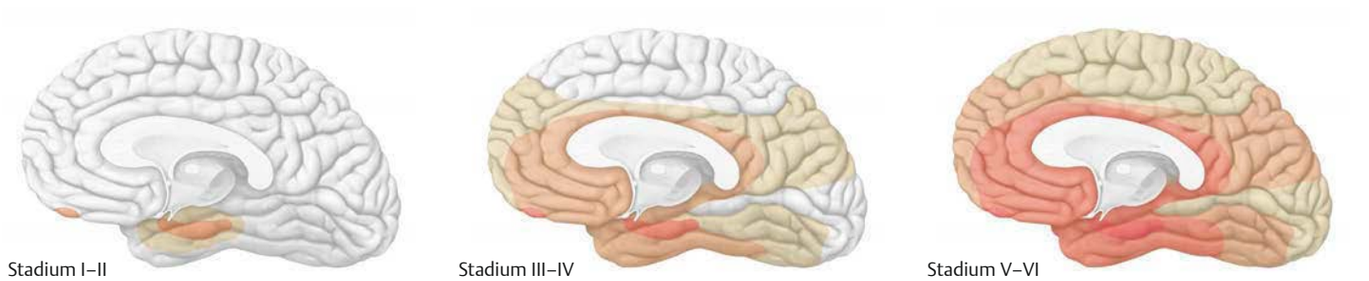
C Sprachregionen der normalerweise dominanten linken Hemisphäre
Ansicht von lateral. Es gibt mehrere Sprachregionen, deren Ausfall zu jeweils typischen klinischen Symptomen führt. Die *Wernicke-Region* (hinterer Anteil der Area 22) wird für das Sprachverständnis benötigt, die *Broca-Region* (Area 44) für die Sprachproduktion. Beide Sprachzentren sind durch den Fasciculus longitudinalis superior (= arcuatus) miteinander verbunden. Die Broca-Region aktiviert für das eigentliche Sprechen die Mund- und Zungenregion des motorischen Cortex. Der Gyrus angularis koordiniert die Eingänge vom visuellen, akustischen und somatosensorischen Cortex und beeinflusst die Wernicke-Region.

13.28 Korrelation klinischer Symptome mit neuroanatomischen Befunden

Die Abbildungen in dieser Lerneinheit sind Beispiele für die Korrelation, die zwischen bestimmten Hirnarealen und klinischen Befunden gefunden wurden. Durch solche Untersuchungen ist es möglich, bestimmte z. T. auffällige Verhaltensweisen und/oder klinische Symptome mit spezifischen Arealen im Gehirn zu verknüpfen.



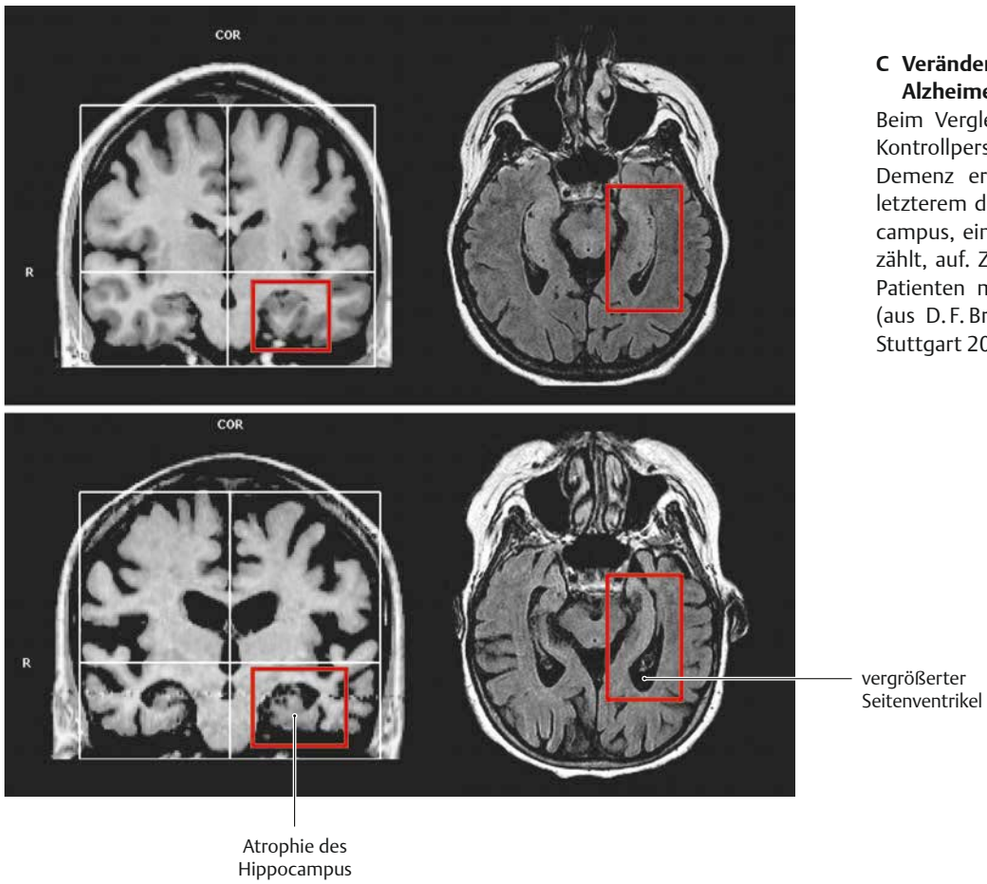
A Neuroanatomie der Emotionen (nach Braus)
a Ansicht auf die linke Hemisphäre von lateral; **b** Ansicht von frontal, Schnittebene in Höhe der Amygdala; **c** Mediansagittalschnitt, Ansicht auf die rechte Hemisphäre von medial.
Emotionen sind an bestimmte Hirnregionen gebunden. Der ventromediale, präfrontale Cortex ist primär mit den Corpora amygdaloidea verbunden und soll Emotionen modulieren, während der dorsolaterale, präfrontale Cortex primär mit dem Hippocampus verbunden ist. In diesem Kortexareal werden Gedächtnisinhalte mit emotionaler Tönung abgespeichert. Störungen dieses Netzwerkes sollen die Ursache von Depressionen sein.



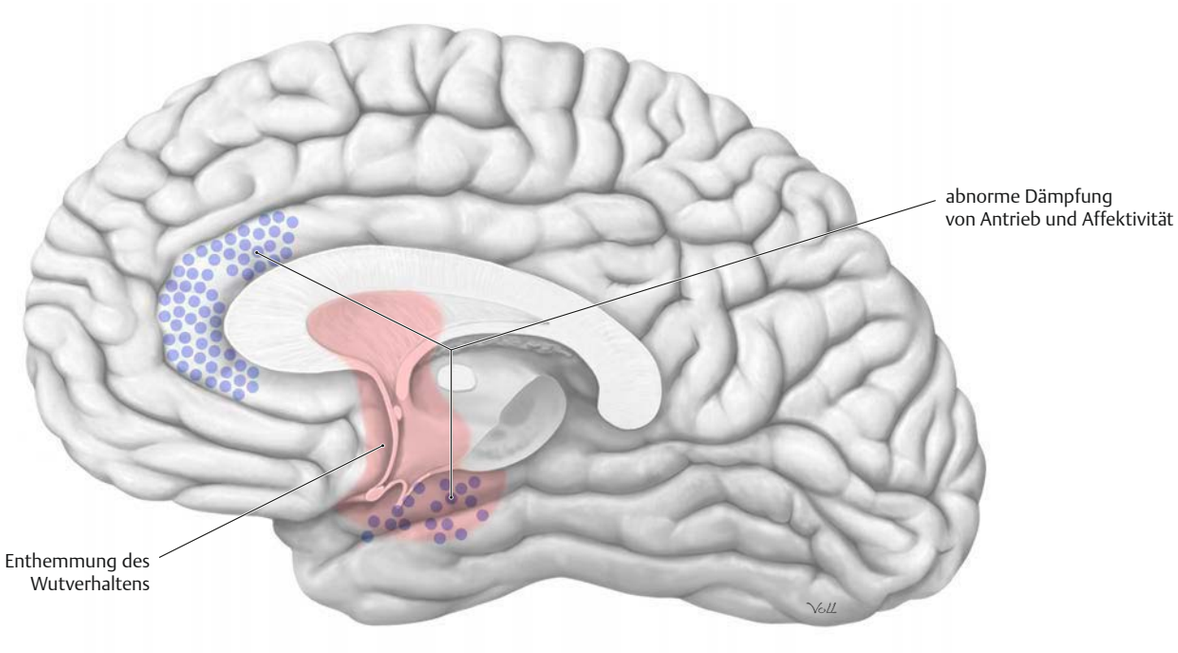
B Ausbreitung der Alzheimer-Erkrankung über das Gehirn (nach Braak u. Braak)
Ansicht der rechten Hemisphäre von medial. Die Alzheimer-Erkrankung ist eine unablässig fortschreitende Erkrankung der Hirnrinde, die schließlich zum Verlust des Gedächtnisses führt (Alzheimer-Demenz). Das Fortschreiten der Erkrankung lässt sich mit Hilfe spezieller Färbemethoden darstellen und nach Braak u. Braak in verschiedene Stadien einteilen:

- Stadium I–II: Das Aussehen der Nervenzellen verändert sich im Randbereich der entorhinalen Rinde (= transentorhinale Region), die zum Allocortex (s. S. 330) zählt, es treten noch keine klinischen Symptome auf.
- Stadium III–IV: Das limbische System (ebenfalls noch Allocortex!) ist mitbetroffen, erste klinische Symptome treten auf. Dieses Stadium kann unter Umständen schon mit bildgebenden Verfahren erfasst werden.
- Stadium V–VI: Der gesamte Isocortex ist mitbetroffen, das klinische Vollbild der Erkrankung ist erreicht.

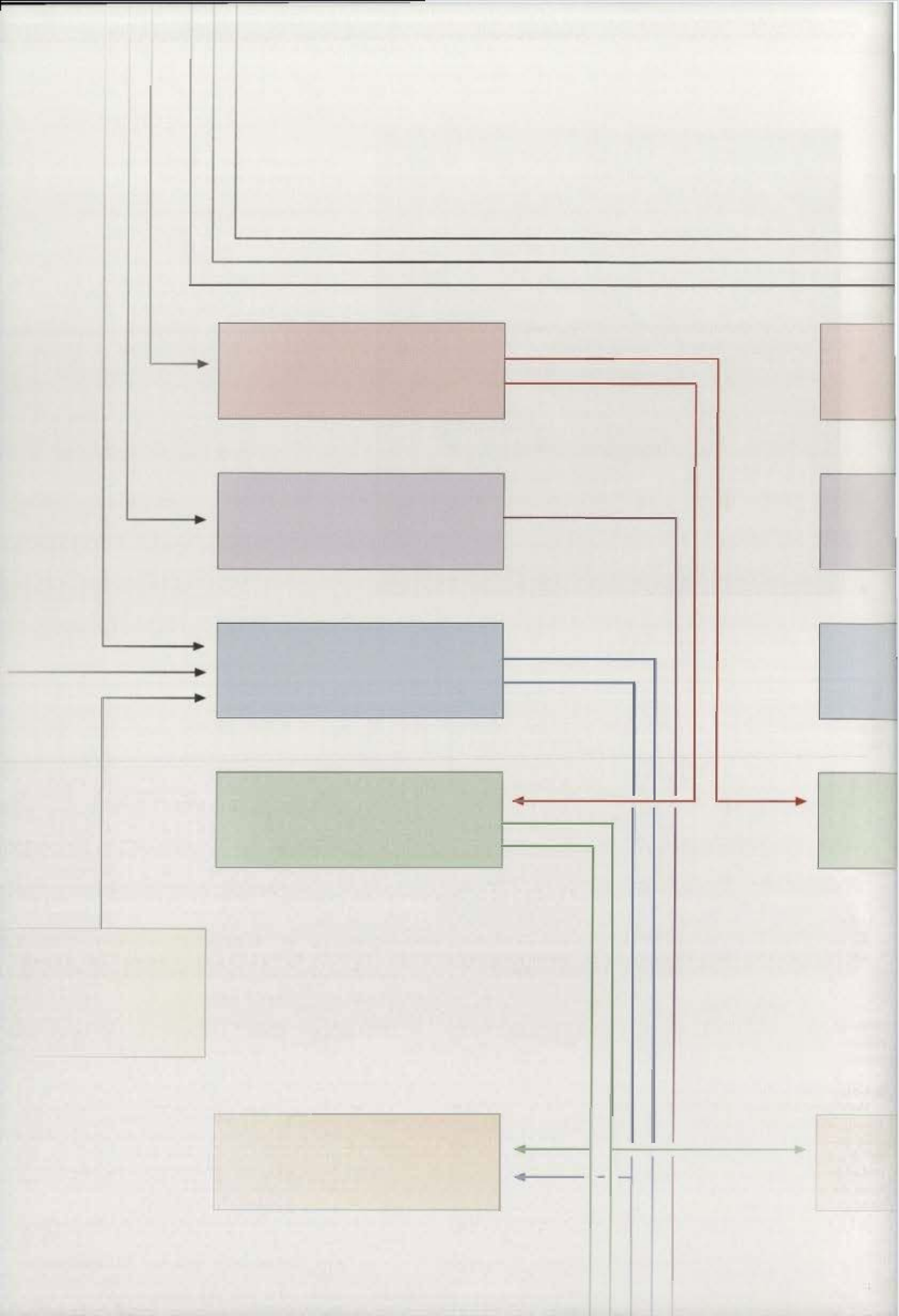
Der Allocortex spielt also in der Hirnpathologie als Ursprungsort der Alzheimer-Demenz eine wichtige pathophysiologische Rolle, auch wenn er nur 5 % der Hirnrinde ausmacht.



C Veränderungen im Hippocampus bei Alzheimer-Demenz im MRI
Beim Vergleich des Gehirns einer gesunden Kontrollperson (**a**) mit einem an Alzheimer-Demenz erkrankten Patienten (**b**) fällt bei letzterem die Atrophie im Bereich des Hippocampus, einer Hirnregion, die zum Allocortex zählt, auf. Zudem sind die Seitenventrikel bei Patienten mit Alzheimer-Demenz vergrößert (aus D. F. Braus: EinBlick ins Gehirn. Thieme, Stuttgart 2004).



D Läsionen von bestimmten Hirnarealen und damit verknüpfte Verhaltensänderungen (nach Poeck u. Hartje)
Ansicht auf die rechte Hemisphäre von medial. Bei bilateraler Schädigung des medialen Temporallappens und des frontalen Anteils des Gyrus cinguli (blaue Punkte) kommt es zu einer Dämpfung von Antrieb und Affektivität. Patienten, die von einer solchen Schädigung von Strukturen des limbischen Systems betroffenen sind, sind gleichgültig, arm an Mimik, sprechen monoton und wirken stumpf und aspontan. Ursache können Tumoren, Durchblutungsstörungen oder Traumen sein. Bei Tumoren, die um das Septum pellucidum und den Hypothalamus lokalisiert sind (rötliches Areal), sowie bei bestimmten Formen von Epilepsien kann es zu einer Enthemmung des Wutverhaltens kommen. Die Patienten reagieren auf an sich unbedeutende Ereignisse mit Wutausbrüchen, Schreien und Beißen. Das pathologische Wutverhalten ist unter anderem durch seinen ziellosen Ablauf und seine Unermüdbarkeit gekennzeichnet.



ZNS: Glossar und Synopsen

1 Glossar 502
2 Synopsen 508

1.1 Substantia grisea (graue Substanz)

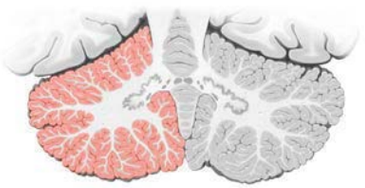
- **Definition „graue Substanz“:**
  Ansammlung von Nervenzell*körpern* (= Perikarya = Somata);
- **Vorkommen:**
  - im ZNS als Rinde (Cortex) und Kern (Nucleus),
  - im PNS als Ganglion (sensibel oder vegetativ).

Graue Substanz im ZNS, morphologische Termini

Rinde (Cortex):
- *Definition:* schichtartige Anordnung von Nervenzellkörpern an der Außenfläche des ZNS, daher von außen sichtbar;
- *Vorkommen:*
  - Endhirn (Cortex cerebri) und
  - Kleinhirn (Cortex cerebelli).



Cortex cerebri



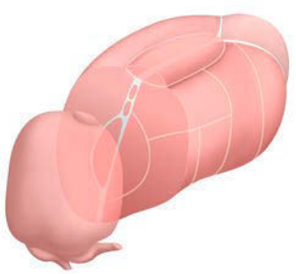
Cortex cerebelli

Nucleus (Kern):
- *Definition:* umschriebene, nach allen Seiten abgegrenzte Anordnung von Nervenzellkörpern innerhalb der weißen Substanz (s. S. 504 f), daher nur an Schnitten sichtbar;
- *Vorkommen: alle Abschnitte* des ZNS, im *Rückenmark* auch in besonderen morphologischen Anordnungen:
  - als *Säule (= Columna):* Bezeichnung, wenn dreidimensionale Darstellung der kernartig angeordneten Nervenzellen bzw. *Horn (= Cornu):* Bezeichnung, wenn zweidimensionale Darstellung, also Säule im Querschnitt. Alle Säulen gemeinsam auf einem Querschnitt ergeben die typische „Schmetterlingsform“ der grauen Substanz im Rückenmark;
  - als *Formatio reticularis* (Netzformation; Reticulum = Netz); netzartige Anordnung zahlreicher, sehr kleiner Kerne, die aufgrund ihrer geringen Größe morphologisch kaum als Kerne zu erkennen sind; graue und weiße Substanz erscheinen netzartig „durchmischt“. Formatio reticularis gibt es auch im Hirnstamm.

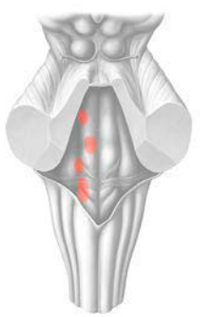
Beachte: Kerne gibt es definitionsgemäß nur im ZNS, nie im PNS!



Kerne im Telencephalon
(Basal„ganglien“ = Nuclei basales)



Kerne im Diencephalon (hier: Thalamus
als Ansammlung von Kernen = Kerngebiet)



Kerne im Hirnstamm
(hier: Hirnnervenkerne)



Kerne im Rückenmark



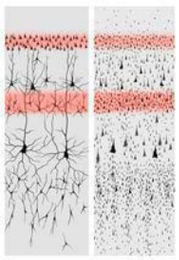
Anordnung als Columna
im Rückenmark



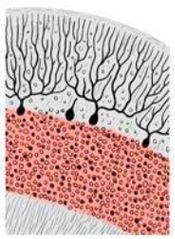
Anordnung als „Netz“ im Rückenmark
(= Formatio reticularis)

Lamina (Schicht):

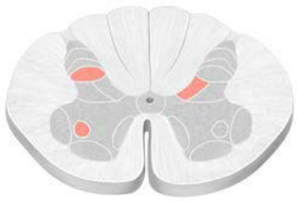
- *Definition:* schichtartige Anordnung von Nervenzellen; mikroskopisch oder gerade noch makroskopisch sichtbar. Schichtung wird am Kleinhirn und am Hippocampus auch als Stratum bezeichnet;
- *Vorkommen:* Cortex und Kerne (nicht in allen Kernen!) und Rückenmark; die Schichten im Rückenmark werden nach Rexed zytomorphologisch eingeteilt, auch, wenn sie nicht immer eine klassische Schichtform haben.



Rinde des Endhirns (hier: Isocortex): Lamina



Rinde des Kleinhirns: Stratum



Rückenmark: Laminae nach Rexed

Graue Substanz im ZNS, funktionelle Termini: Ursprungs- und Zielkerne

- **Nucleus originis (Ursprungskern) [A]:** von ihm geht eine Faserbahn aus (Ursprungsneuron)
- **Nucleus terminationis (Zielkern) [B]:** an ihm endet eine Faserbahn (Zielneuron)
- **Nucleus motorius (motorischer Kern):** ist immer Ursprungskern; von ihm geht eine motorische Faserbahn aus.
  Beachte jedoch: Nicht jeder Ursprungskern ist motorisch!
- **Nucleus sensorius (sensorischer Kern):** ist immer ein Zielkern, an ihm endet eine sensorische Bahn.
  Beachte jedoch: Nicht jeder Zielkern ist sensorisch!

Graue Substanz im ZNS, terminologische Besonderheiten

Beachte: Einige Kerne tragen aus historischen Gründen nicht die Bezeichnung „Nucleus", sondern einen Eigennamen. Wichtige Beispiele sind:

- **Endhirn (Telencephalon)**
  - Putamen (= Schale)
  - Globus pallidus (= bleiche Kugel)
  - Claustrum (= Vormauer)
- **Zwischenhirn (Diencephalon)**
  - Thalamus (= Sehhügel)
  - Zona incerta (= unsichere Zone)
- **Mittelhirn (Mesencephalon)**
  - Substantia nigra (= schwarze Substanz)
- **Hirnstamm (Truncus cerebri):**
  - Substantia grisea centralis (= zentrales Höhlengrau)

Graue Substanz im PNS, morphologische Termini

Ganglion (= Zellhaufen): isolierte Ansammlung von Nervenzellkörpern im PNS. Nach der Funktion (s. u.) werden unterschieden:

- Ganglion sensoricum (somatisches Nervensystem) und
- Ganglion autonomicum (vegetatives Nervensystem).

Beachte: Ganglien kommen per definitionem nur im PNS vor. Somit ist die Bezeichnung „Basalganglien" falsch. Korrekt muss es Basal*kerne* heißen, was sich auch in der lateinischen Bezeichnung „*Nuclei* basales" ausdrückt.

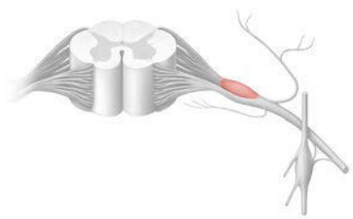
Ganglion sensoricum (sensorisches Ganglion; auch Ganglion craniospinale sensoricum):
Ganglion des somatischen Nervensystems; liegt vor als:

- Ganglion sensoricum nervi spinalis rückenmarksnah in der Hinterwurzel eines Spinalnervs oder als
- Ganglion sensoricum nervi cranialis im Verlauf eines sensiblen Hirnnervs.

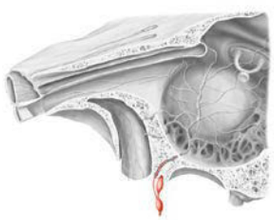
Beachte: In sensorischen Ganglien erfolgt keine Umschaltung – nur in autonomen.

Ganglion autonomicum (autonomes Ganglion):
Ganglion des vegetativen Nervensystems, liegt vor als:

- Ganglion sympathicum paravertebral im Grenzstrang oder zusätzlich prävertebral (nur in Abdomen und Becken);
- Ganglion parasympathicum organnah; oft sehr klein (Ganglion ciliare).



Ganglion sensoricum n. spinalis (Spinalnerv, sensibles Ganglion, Hinterwurzel)



Ganglion sensoricum n. cranialis (N. glossopharyngeus, Ganglia superius und inferius)



Ganglion sympathicum: Truncus sympathicus und prävertebrale Ganglien



Ganglion parasympathicum: Ganglion pterygopalatinum

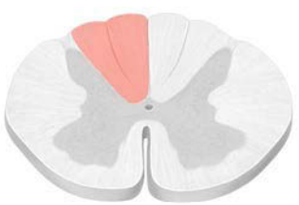
1.2 Substantia alba (weiße Substanz)

- **Definition „weiße Substanz“:**
  Ansammlung gebündelter markhaltiger Axone, die im nativen Schnittpräparat des ZNS weiß erscheinen, weil die Markscheiden v. a. aus Lipiden bestehen (vgl. Schinkenspeck);
- **Vorkommen:**
  – in Endhirn und Kleinhirn als Mark (Medulla, unterhalb der Rinde liegend); erscheint morphologisch homogen, ist jedoch funktionell in mikroskopisch nachweisbare Bahnen unterteilbar,
  – im PNS stellt die weiße Substanz den Nerv dar.

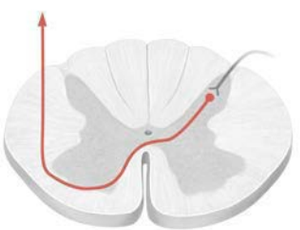
Die Abgrenzung der folgenden Begriffe gegeneinander ist nicht immer scharf und wird nicht völlig einheitlich gehandhabt.

Morphologische Termini

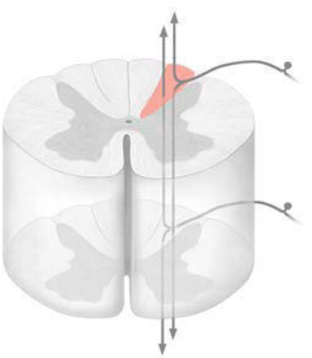
Funiculus (Strang):
- strangförmige, morphologisch nicht scharf abgegrenzte Anordnung der weißen Substanz; Leitungsbündel;
- Beispiel: Funiculus posterior (Hinterstrang) im Rückenmark.



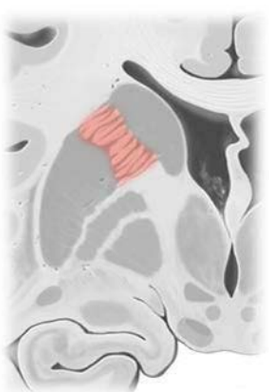
Tractus (Bahn):
- Gruppe von Nervenfasern mit gemeinsamem Ursprung und einem gemeinsamen Ziel;
- Beispiel: Tractus spinothalamicus vom Hinterhorn des Rückenmarks zum Thalamus.



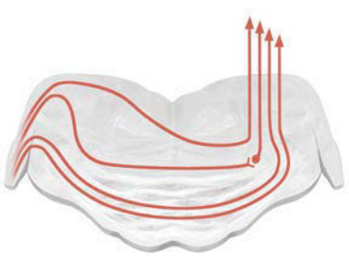
Fasciculus (Bündel):
- morphologisch scharf umgrenzte Ansammlung von Nervenfasern; enthält mindestens einen, ggf. mehrere Tractus;
- Beispiel: Fasciculus cuneatus.



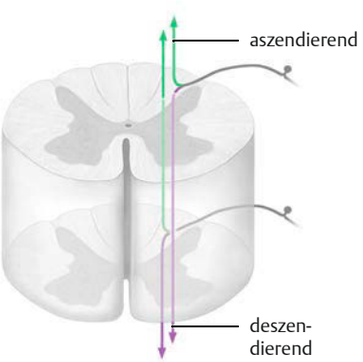
Stria (Streifen):
- streifenartige Ansammlung von Bündeln weißer Substanz;
- Beispiel: Streifenkörper (Corpus striatum) bei den Basalganglien des Endhirns: die Bündel weißer Substanz „zerlegen“ aufgrund ihres schnellen Wachstums diese Ansammlung von Nervenzellen (Kern) gleichsam „zebrastreifenförmig“.



Lemniscus (Schleife):
historisch begründeter Begriff, speziell für 4 sensorische Bahnen im Hirnstamm, die einen schleifenförmigen Verlauf zeigen: Lemniscus medialis, lateralis, spinalis und trigeminalis.



Bahnverlauf:
überall im ZNS, insbesondere jedoch in Rückenmark und Hirnstamm, unterscheidet man aszendierende (von kaudal nach kranial aufsteigende) und deszendierende (von kranial nach kaudal absteigende) Bahnverläufe.



Terminologische Besonderheiten bei Bahnen

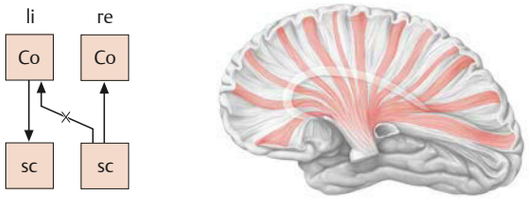
Beachte: Einige Bahnen tragen aus historischen Gründen nicht die Bezeichnung „Tractus“ oder „Fasciculus“, sondern einen Eigennamen. Wichtige Beispiele hierfür sind:

- **Endhirn (Telencephalon):** Capsula interna, externa und extrema (= innere, äußere und äußerste Kapsel); Corpus callosum (= Balken),
- **Zwischenhirn (Diencephalon) und Endhirn:** Fornix (= Gewölbe),
- **Hirnstamm (Truncus cerebri):** Lemniscus (= Schleife).

Weiße Substanz im ZNS, funktionelle Termini

Fibrae projectiones (Projektionsfasern):
- Bündel weißer Substanz, die die Endhirnrinde (Co = Cortex) mit sog. subkortikalen Strukturen (sc) verbinden;
- Verlauf: entweder von der Rinde weg (kortikofugal, z. B. Tractus pyramidalis) oder zur Rinde hin (kortikopetal, z. B. Fibrae thalamocorticales).

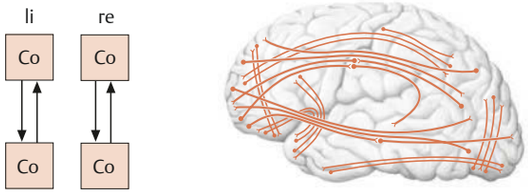
Beachte: Projektionsfaserbündel leiten nur in eine Richtung.



Zielneuron ipsi- oder kontralateral zu Ursprungsneuron

Fibrae associationis (Assoziationsfasern):
- Bündel weißer Substanz, die Areale in der gleichen Endhirnhemisphäre miteinander verbinden (vgl. S. 536);
- Beispiel: Fasciculus longitudinalis superior.

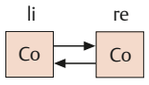
Beachte: Assoziationsfaserbündel leiten meist in beide Richtungen.



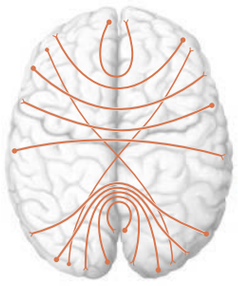
Zielneuron *ipsi*lateral zu Ursprungsneuron

Commissura (Verbindungsbahn):
- abgegrenzte Faserbahnen, die analoge Strukturen in den beiden Hälften des ZNS links ↔ rechts miteinander verbinden;
- Beispiel: Commissura anterior (vgl. S. 546);
- **Fibrae commissurales** (Verbindungsfasern): die Faserbündel in einer Kommissur.

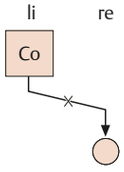
Beachte: Kommissuren leiten immer in beide Richtungen.



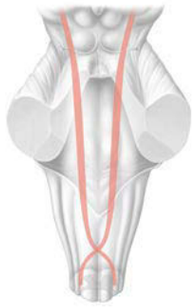
Zielneuron *kontra*lateral zu Ursprungsneuron



Decussatio (Kreuzung):
- Kreuzung einer Bahn über die Mittellinie des ZNS auf die andere Seite;
- verbindet unterschiedliche Strukturen miteinander;
- Beispiel: Pyramidenkreuzung (Kreuzung des Tractus pyramidalis; vgl. S. 547).



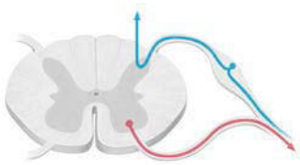
Zielneuron *kontra*lateral zu Ursprungsneuron



Weiße Substanz im PNS, funktionelle Termini

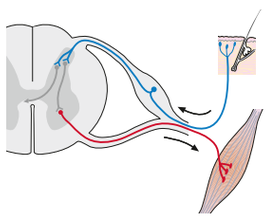
Neurofibrae afferentes (blau): zum ZNS hinleitende Nervenfaser in einem Nerv.

Neurofibrae efferentes (rot): vom ZNS wegleitende Nervenfaser in einem Nerv.



Neurofibrae somaticae: Fasern zur Skelettmuskulatur oder von der Haut.

Neurofibrae autonomicae: Fasern von und zu den Eingeweiden (nicht dargestellt).

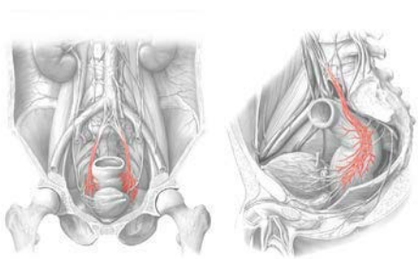


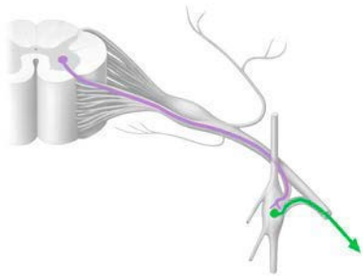
Neurofibrae preganglionicae (violett):
- Nervenfasern vom ZNS zum Ganglion;
- im sympathischen Nervensystem als R. communicans albus zum Grenzstrangganglion oder als N. splanchnicus zu einem prävertebralen Ganglion.

Neurofibrae postganglionicae (grün):
- Nervenfasern vom Ganglion zum Zielorgan;
- im sympathischen Nervensystem als R. communicans griseus mit dem Spinalnerv oder als Plexus autonomicus zum Zielorgan.

Plexus autonomicus:
- Geflecht aus Neurofibrae autonomicae;
- Beispiel: Plexus hypogastricus inferior.

Plexus visceralis:
- spezieller Abschnitt eines Plexus autonomicus unmittelbar am Organ;
- Beispiel: Plexus rectalis.

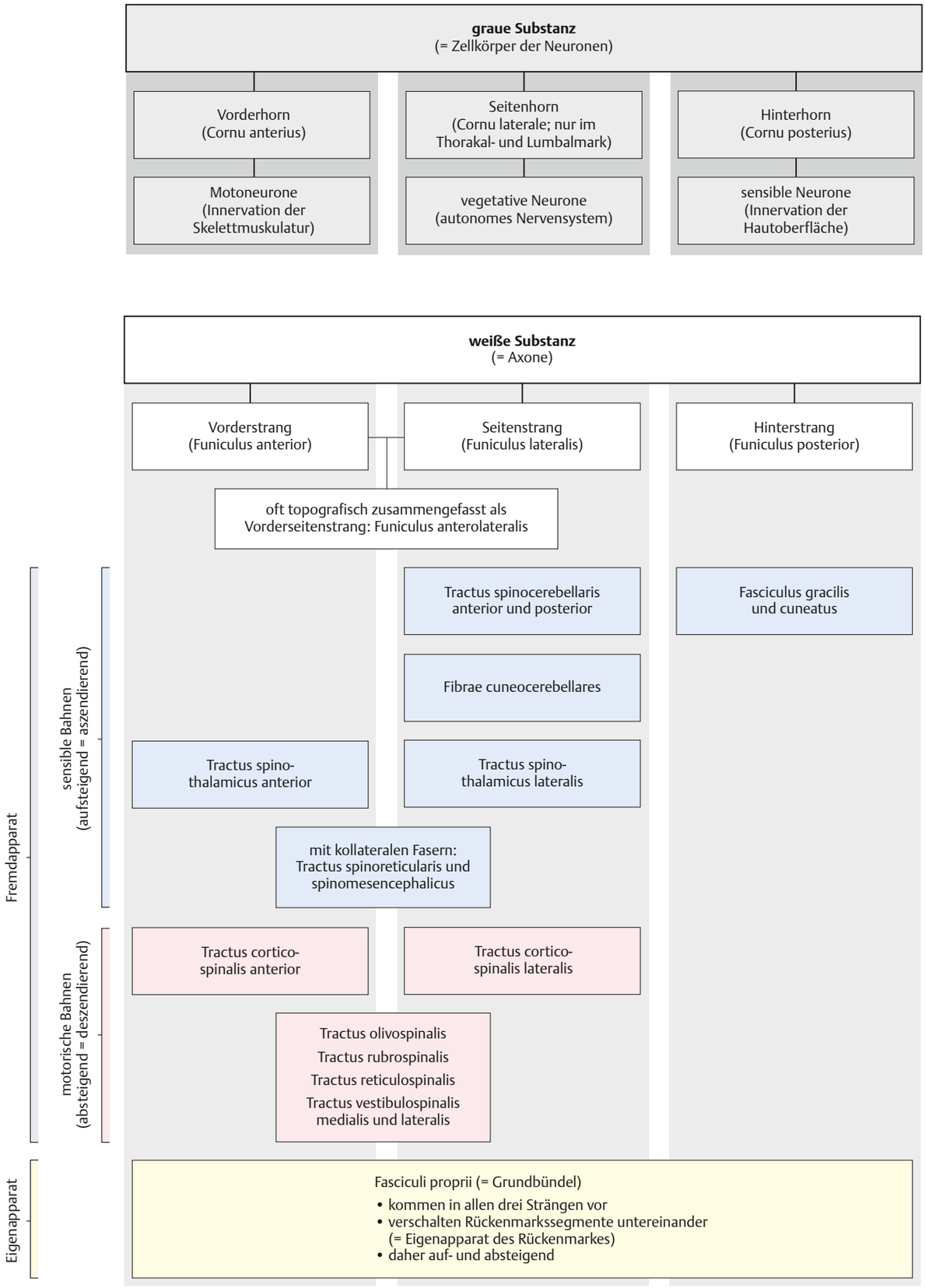




1.3 Sensibilität und Motorik; Übersicht Rückenmark und Rückenmarksbahnen

A Sensibilität und Motorik in ZNS und PNS – gebräuchliche Termini

Sensible Anteile in ZNS und PNS	Motorische Anteile in ZNS und PNS
Somatosensibilität: • allgemeine Somatosensibilität: hierzu gehören: – *Exterozeption* (= Außenwahrnehmung, auch Oberflächensensibilität): Impulsverarbeitung aus der Haut und – *Propriozeption* (= Eigenwahrnehmung, auch Tiefensensibilität) Impulsverarbeitung von Muskelspindeln und Dehnungsrezeptoren in Sehnen und Gelenkkapseln (verläuft über die sensiblen Anteile von Hirn- und Spinalnerven); • bei der *Exterozeption* wird je nach spezieller Qualität der Sensibilität weiter unterschieden in: – *epikritische Sensibilität* (feine Berührung; Vibration; 2-Punkte-Diskrimination) und – *protopathische Sensibilität* (grobe Berührung und Druck; Temperatur und Schmerz); • spezielle Somatosensibilität: Impulsverarbeitung aus Retina (Sehen) und Innenohr (Gehör; Beschleunigung); verläuft mit dem N. opticus bzw. dem N. vestibulocochlearis. *Beachte:* Die von den „Sinnesorganen" Auge, Innenohr, Riechschleimhaut und Zunge (Geschmack!) geleiteten sensiblen Impulse werden auch oft als „Sensorik" bezeichnet. Sensibilität und Sensorik werden unter Berücksichtigung der Tatsache, dass auch die Haut als „Sinnesorgan" bezeichnet werden kann, oft synonym verwendet. Die Trennung der Begriffe ist unscharf.	**Somatomotorik:** Innervation der *quergestreiften* Muskulatur an Rumpf, Extremitäten und Hals und der Muskulatur für die Bewegung des Augapfels. Sie erfolgt über die motorischen Anteile von Hirnnerven und Spinalnerven.
Viszerosensibilität: • allgemeine Viszerosensibilität: Impulsverarbeitung aus den inneren Organen und Blutgefäßen (Wandspannung, aber auch Blutdruck, Sauerstoffgehalt im Blut); läuft über vegetative Fasern, (überwiegend über sympathische Fasern), hauptsächlich über die Nn. splanchnici, aber auch über die Hirnnerven IX und X; • spezielle Viszerosensibilität: Impulsverarbeitung der Geschmacksknospen (über die Hirnnerven VII, IX und X) und der Riechschleimhaut (über Tractus und Bulbus olfactorius). *Beachte:* Die Perikarien der pseudounipolaren Neuronen, welche die Viszerosensibilität vermitteln, liegen in den Spinalganglien bzw. in den Hirnnervenganglien (z. B. N. vagus).	**Viszeromotorik** (Innervation der „*inneren Organe*"): • allgemeine Viszeromotorik: Innervation der *glatten* Muskulatur der Organe (Viscera) und der Blutgefäße sowie von Drüsen und Herz. Sie wird durch das *vegetative* Nervensystem vermittelt und erfolgt über *parasympathische* und *sympathische* Nervenfasern, die z. T. mit Spinal- oder Hirnnerven (letztere nur parasympathisch), z. T. selbstständig verlaufen (z. B. als Nn. splanchnici) und • spezielle Viszeromotorik: *embryologischer* Begriff. Innerviert wird die *quergestreifte* (!) Muskulatur im Innervationsbereich der Kiemenbogennerven: Kauen (V_3); Mimik (VII); Rachen und Kehlkopf (IX und X) sowie kraniofugale Muskulatur (XI). Unter physiologischen Aspekten handelt es sich um eine somatomotorische Innervation (von Muskeln, die bei Fischen „Organmuskeln" waren).



B Übersicht Rückenmark und Rückenmarksbahnen
Beachte: Im Hirnstamm setzt sich der Tractus spinothalamicus als Lemniscus spinalis fort, die Fasciculi gracilis und cuneatus setzen sich als Lemniscus medialis fort, s. S. 514 f.

2.1 Leitungsbahnen der Nase

A Arterien und Nerven der Nase
Die arterielle Versorgung der Nase und die sensible Innervation der Nasenschleimhaut folgen gemeinsamen Prinzipien:
Es gibt **zwei Versorgungsgebiete** in der Nasenhöhle (Cavitas nasi):

- das medial gelegene *Nasenseptum* (s. **a** u. **c**, Ansicht von links) und
- die laterale *Nasenwand* (s. **b** u. **d**, Sicht von rechts auf die linke laterale Nasenwand).

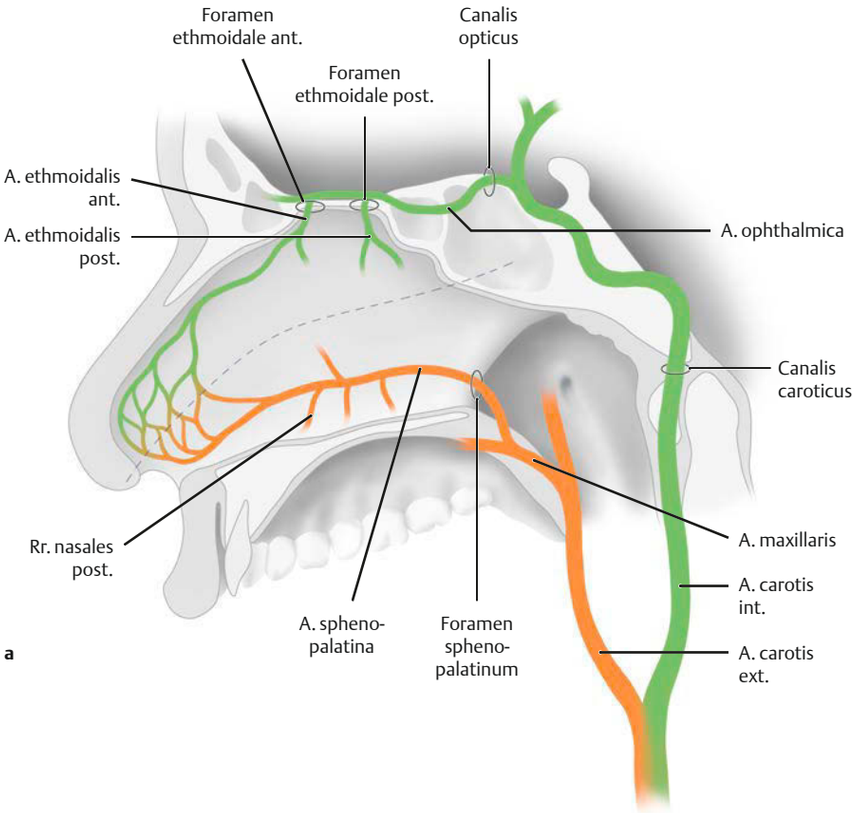
Zu beiden Versorgungsgebieten haben Gefäße und Nerven **jeweils zwei Zugangswege:**

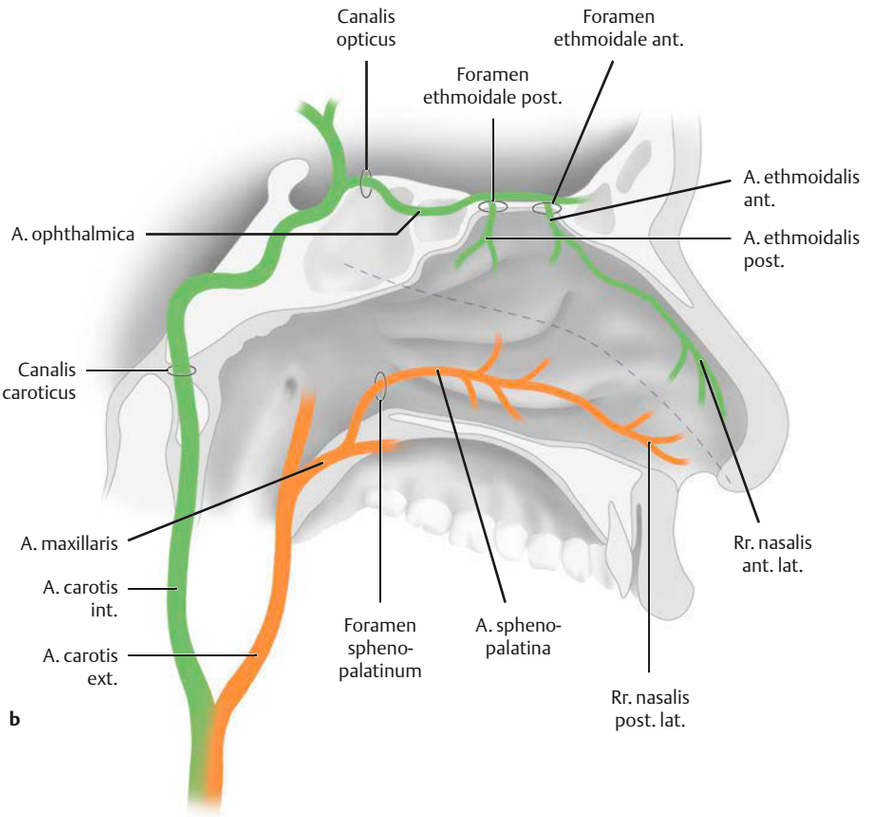
- einen *von kranial* (aus der Orbita) und
- einen *von dorsal* (aus der Fossa pterygopalatina durch das Foramen sphenopalatinum).

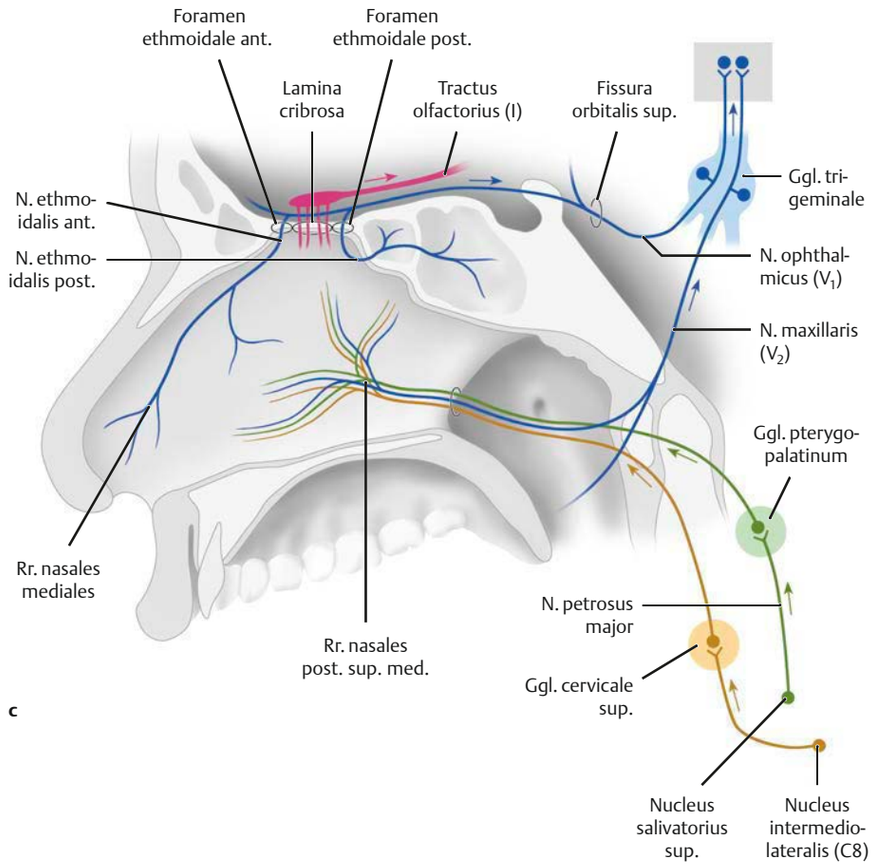
Beachte: Die Lage der Öffnungen, die von Leitungsbahnen durchtreten werden, ist aus Gründen der Übersichtlichkeit weder maßstabsgetreu dargestellt, noch entspricht sie topografisch völlig der Realität.

Arterieller Zufluss: Die Arterien der Nasenhöhle entstammen zwei Stromgebieten: A. carotis interna (grün) und A. carotis externa (orange).

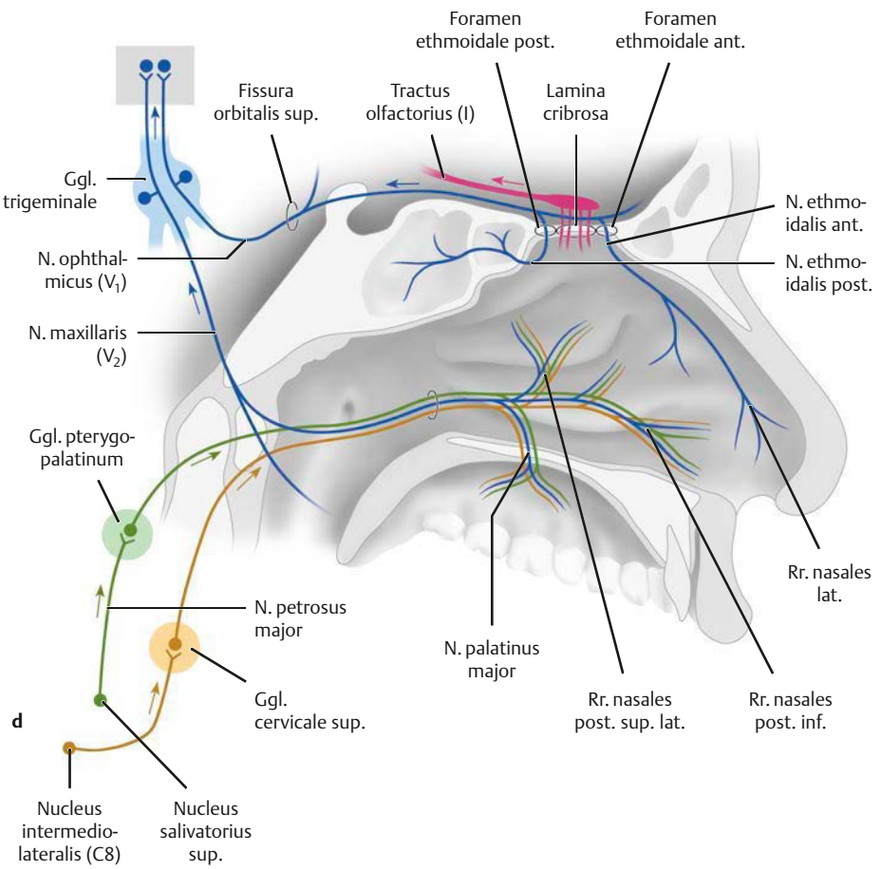
- Die *A. carotis interna* betritt die Schädelhöhle durch den Canalis caroticus und gibt die A. ophthalmica ab. Diese zieht durch den Canalis opticus in die Orbita und entlässt dort die A. ethmoidalis anterior und posterior, die durch das Foramen ethmoidale anterius und posterius in die Nasenhöhle gelangen. Dort teilen sie sich in Äste für Septum und laterale Nasenwand auf. Die A. ophthalmica versorgt somit die Nase von *kranial*.
- Die *A. carotis externa* gibt die A. maxillaris ab, deren Ast – die A. sphenopalatina – die Nasenhöhle durch das Foramen sphenopalatinum betritt und ebenfalls Äste für Septum und laterale Nasenwand abgibt. Die A. sphenopalatina versorgt die Nase von *dorsal*. Diese systematische Trennung der Versorgungsgebiete ist durch die gestrichelte Linie angedeutet.







c



d

Sensible Innervation:

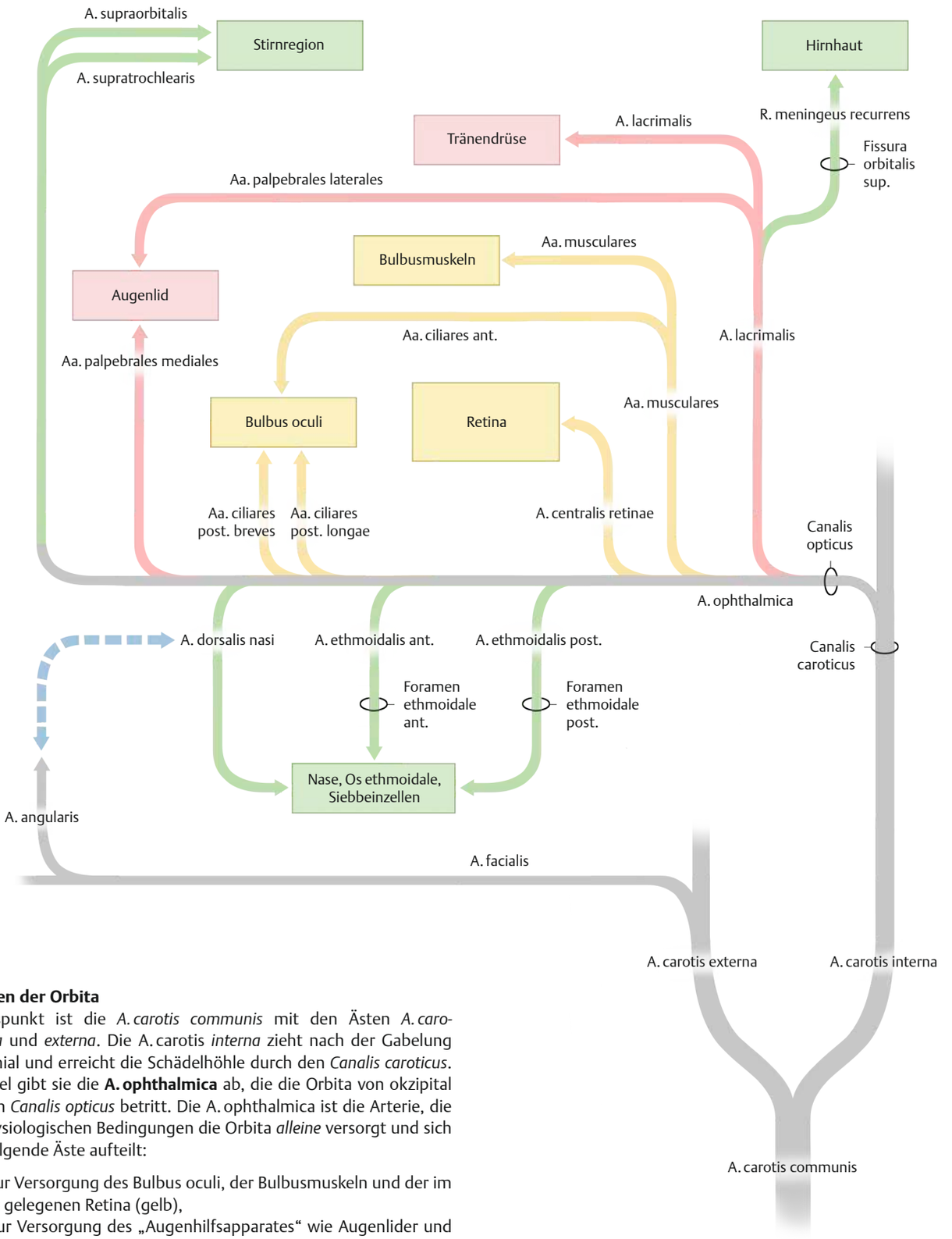
- Die Nn. ethmoidales anterior und posterior ziehen durch die Foramina ethmoidalia anterius und posterius zum N. ophthalmicus (V_1), der durch die Fissura orbitalis superior zum Ganglion trigeminale zieht. Der N. ophthalmicus versorgt die Nase septal und lateral von *oben*.
- Feine Rr. nasales posteriores (superiores mediales und laterales) versorgen Septum und laterale Nasenwand von hinten, verlassen die Nase durch das Foramen sphenopalatinum und ziehen zum N. maxillaris (V_2). Der N. maxillaris versorgt die Nase von *dorsal*.

Beachte: Die Innervation für *Geruch* erfolgt *nur von kranial* durch den N. olfactorius (I), der das Os ethmoidale in der Lamina cribrosa durchtritt und die Regio olfactoria ganz oben in der Nase erreicht. Die *vegetative Innervation* der Nase erfolgt *nur von dorsal*, indem parasympathische Fasern aus dem Ganglion pterygopalatinum (grün) und sympathische Fasern aus dem Ganglion cervicale superius (braun) die Nasenhöhle von dorsal betreten und sich in der lateralen und der septalen Wand aufteilen zur Innervation der Nasendrüsen.

Im Überblick:

- Arterielle Versorgung und sensible Innervation von Septum und lateraler Nasenwand von kranial: A. ophthalmica und N. ophthalmicus.
- Arterielle Versorgung und sensible Innervation von Septum und lateraler Nasenwand von dorsal: A. sphenopalatina und N. maxillaris.

2.2 Gefäße der Orbita

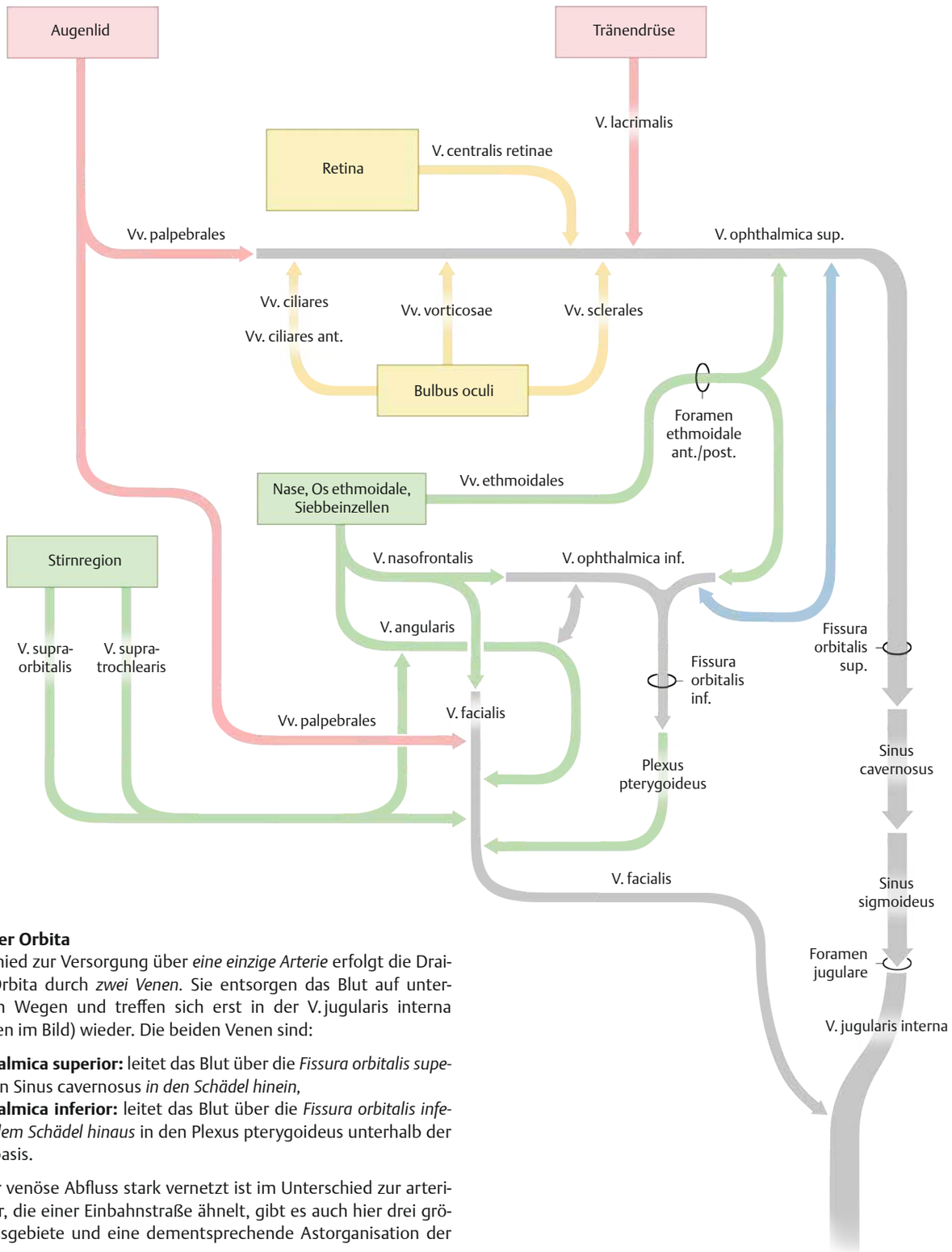


A Arterien der Orbita

Ausgangspunkt ist die *A. carotis communis* mit den Ästen *A. carotis interna* und *externa*. Die A. carotis *interna* zieht nach der Gabelung nach kranial und erreicht die Schädelhöhle durch den *Canalis caroticus*. Im Schädel gibt sie die **A. ophthalmica** ab, die die Orbita von okzipital durch den *Canalis opticus* betritt. Die A. ophthalmica ist die Arterie, die unter physiologischen Bedingungen die Orbita *alleine* versorgt und sich dort in folgende Äste aufteilt:

- Äste zur Versorgung des Bulbus oculi, der Bulbusmuskeln und der im Bulbus gelegenen Retina (gelb),
- Äste zur Versorgung des „Augenhilfsapparates" wie Augenlider und Tränendrüse (rot),
- Äste, die die „Umgebung der Orbita" versorgen: Stirn, Nase und Nasennebenhöhlen, Hirnhaut (grün).

Die *A. carotis externa* spielt in Bezug auf die Versorgung der Orbita nur eine Rolle, wenn die Versorgung durch die A. ophthalmica nicht mehr gewährleistet ist, also unter pathologischen Bedingungen. Dann kompensiert die Kurzschlussverbindung (*Anastomose*, s. blaue gestrichelte Linie) zwischen *A. angularis* (verläuft zum Angulus oculi = Augenwinkel) und *A. dorsalis nasi* (Ast der A. ophthalmica) die Minderdurchblutung bis zu einem gewissen Grad. Die A. angularis erreicht die Orbita von frontal.



B Venen der Orbita

Im Unterschied zur Versorgung über *eine einzige Arterie* erfolgt die Drainage der Orbita durch *zwei Venen*. Sie entsorgen das Blut auf unterschiedlichen Wegen und treffen sich erst in der V. jugularis interna (rechts unten im Bild) wieder. Die beiden Venen sind:

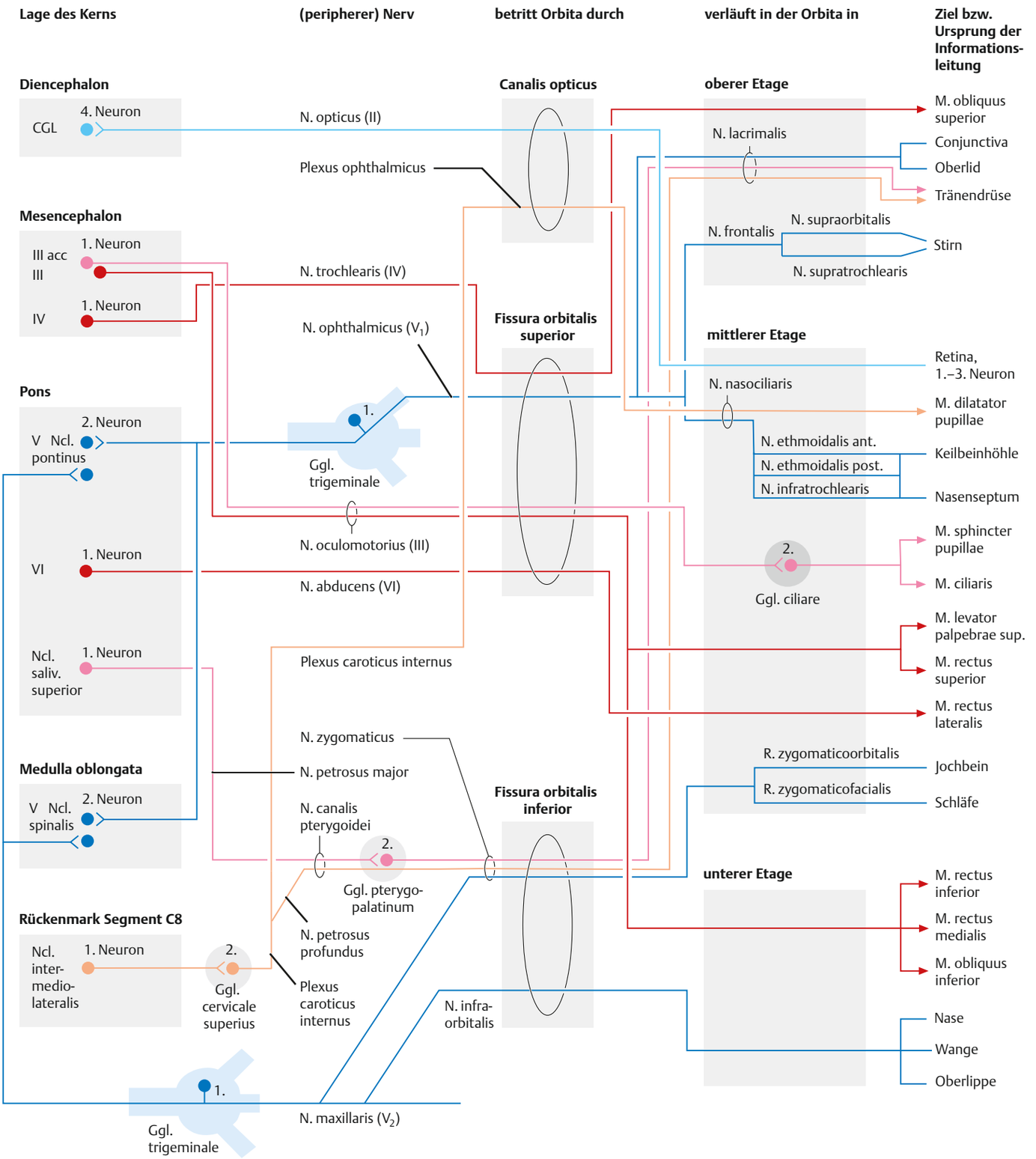
- **V. ophthalmica superior:** leitet das Blut über die *Fissura orbitalis superior* in den Sinus cavernosus *in den Schädel hinein*,
- **V. ophthalmica inferior:** leitet das Blut über die *Fissura orbitalis inferior aus dem Schädel hinaus* in den Plexus pterygoideus unterhalb der Schädelbasis.

Obwohl der venöse Abfluss stark vernetzt ist im Unterschied zur arteriellen Zufuhr, die einer Einbahnstraße ähnelt, gibt es auch hier drei größere Abflussgebiete und eine dementsprechende Astorganisation der Venen:

- Äste, die das Blut aus dem Bulbus oculi und der im Bulbus gelegenen Retina entsorgen (gelb),
- Äste, die das Blut aus dem „Augenhilfsapparat", also aus Augenlidern und Tränendrüsen entsorgen (rot) und
- Äste, die das Blut aus der „Umgebung der Orbita", also aus Stirn, Nase und Nasennebenhöhlen entsorgen (grün).

Die beiden Vv. opthalmicae sind immer physiologisch durch eine ausgeprägte Anastomose (s. blaue durchgehende Linie) miteinander verbunden. Zudem gibt es eine Anastomose zwischen der V. angularis und der V. ophthalmica inferior, die besondere klinische Bedeutung hat. Da sich die Strömungsrichtung des Blutes in den klappenlosen Venen des Schädels mit ihrem niedrigen Blutdruck leicht umkehren kann, besteht bei Infektionen im Nasen-Gesichts-Bereich die Gefahr, dass Blut vom Drainagegebiet der V. angularis (v. a. Haut in der Umgebung der Nase) zur V. ophthalmica fließt (statt umgekehrt) und so Keime in die Orbita und weiter in das Sinussystem verschleppt.

2.3 Nerven der Orbita



A Nerven der Orbita

Die Verlauf von Nerven innerhalb der Orbita ist sehr komplex. Um sie umfassend zu verstehen, sind systematische, funktionelle und topografische Besonderheiten zu berücksichtigen. Dieser Text soll Ihnen die Orientierung an der Abbildung ähnlich wie bei einem Stadtplan erleichtern. Das vorliegende Schema gliedert diesen Stadtplan in 5 senkrechte „Informationssäulen".

Topografische Aspekte

Die Orbita als Raum (Informationssäule 4 = „verläuft in der Orbita in"): Die Orbita lässt sich in *drei Etagen* unterteilen. Jede Etage ist vereinfacht durch einen grauen Kasten dargestellt. Zur topografischen Abgrenzung der Etagen finden Sie wichtige Informationen in den Abbildungen auf S. 174. Alle Leitungsbahnen der Orbita, so auch die zahlreichen Nerven, verlaufen in einer der drei Etagen. Die *mittlere* Etage ist mit Abstand die größte. Sie enthält als Orientierung den Augapfel (s. **A**, S. 174).

Zutritt zur Orbita (Informationssäule 3 = „betritt Orbita durch"): Die Orbita wird von okzipital – im Bild von links – durch *drei Öffnungen* betreten, *den Canalis opticus* sowie die *Fissurae orbitales superior* und *inferior* (s. die Ellipsen in den drei grauen Kästen).

Beachte: Nur der Canalis opticus und die Fissura orbitalis *superior* verbinden die Orbita mit der Schädelhöhle (Cavitas cranii). Diese beiden Öffnungen liegen somit *oberhalb* des Niveaus der Schädelbasis und verschaffen der Orbita eine *intrakranielle Verbindung zur inneren Schädelbasis*.

Die Fissura orbitalis *inferior* liegt dagegen *unterhalb* des Niveaus der Schädelbasis; sie verschafft der Orbita einen Zugang zur *äußeren Schädelbasis nach extrakraniell*. Alle Leitungsbahnen, die von okzipital in die Orbita ziehen bzw. diese nach okzipital verlassen, müssen somit durch eine der drei Öffnungen. Zum Verständnis des Leitungsbahnverlaufs ist es wichtig, zu erkennen, dass etwa Strukturen, die die Orbita durch die Fissura orbitalis inferior betreten, innerhalb der Orbita durchaus bis zur oberen Etage aufsteigen können: ein „Niveauwechsel" ist möglich. Detaillierte Informationen zu den Orbitaöffnungen finden Sie in Abb. **B**, S. 36.

Funktionelle Aspekte

Die Schaltzentralen (Informationssäule 1 = „Lage des Kerns"): Die Nerven der Orbita vermitteln motorische und sensible Information. Deren Verschaltung findet im ZNS im Diencephalon, den drei Abschnitten des Hirnstamms (*Mesencephalon, Pons* und *Medulla oblongata*) sowie im Rückenmark statt. In diesen Abschnitten des ZNS liegen zwei **Typen von Kernen:**

- (motorische) Kerne, von denen Information ausgeht: Nuclei originis und
- (sensible) Kerne, zu denen Information gelangt: Nuclei terminationis.

Die **Nuclei origines** senden Informationen an Muskeln und Drüsen und sind entweder *somato*motorisch (dunkelrot, für die Nuclei motorii der Hirnnerven **III, IV** und **VI**) oder *viszero*motorisch. Viszeromotorische Kerne gehören zum Parasympathikus (blassrot für **IIIacc** = Nucleus accessorius n. oculomotorii und Nucleus salivatorius superior) oder zum Sympathikus (orange für den Nucleus intermediolateralis im Rückenmarkssegment C8). Der Informationsfluss wird von links nach rechts geleitet.

Die **Nuclei terminationes** empfangen Information im Sehsystem *(Corpus geniculatum laterale [CGL])* von der Retina oder Oberflächensensibilität von Haut, Schleimhaut und Augenoberfläche über zwei der drei Äste des N. trigeminus (*Nucleus pontinus* und *spinalis n. trigemini* für epikritische und protopathische Sensibilität). Sensible Kerne sind blau dargestellt. Der Informationsfluss wird von rechts nach links geleitet.

Das Erfolgsorgan (Informationssäule 5 = „Ziel und Ursprung der Informationsleitung"): Ursprungsort der sensiblen Information und Zielort der motorischen Information sind die „Erfolgsorgane", die ganz rechts im Bild angeordnet sind.

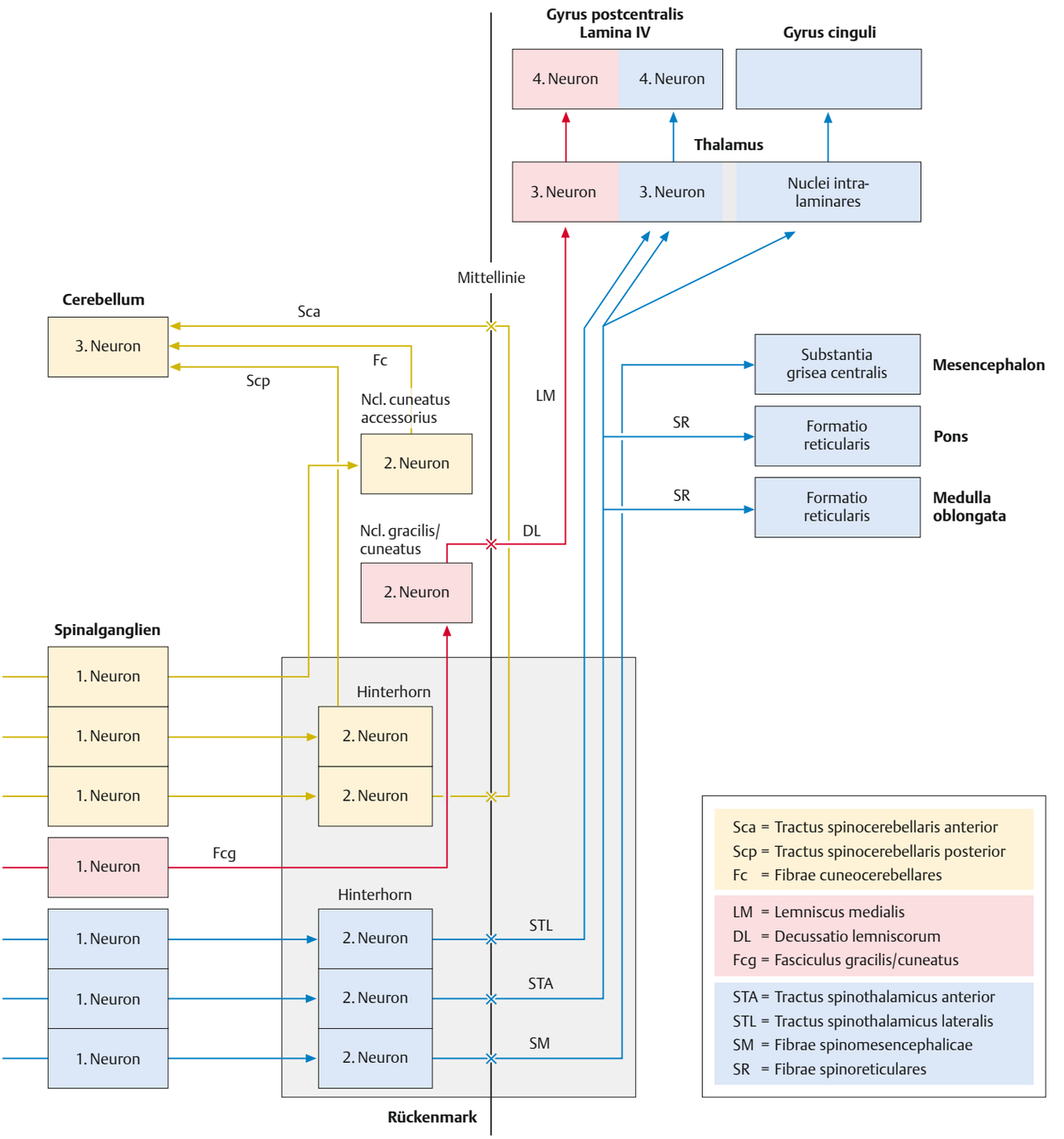
Systematische Aspekte

Benennung der Leitungsbahnen (Informationssäule 2 = „peripherer Nerv"): Geleitet werden die Information über Nerven, deren Terminologie topografischen, funktionellen oder phänomenologischen Kriterien folgt. Sie sind in Säule 2 zusammengefasst. Für sensible Nerven sind sensible Ganglien in den Verlauf eingeschaltet (blau). In diesen Ganglien liegt bei der Informationsleitung von rechts nach links das 1. Neuron einer Neuronenkette ohne synaptische Verschaltung. Für viszeromotorische Informationsleitung sind vegetative Ganglien in den Verlauf eingeschaltet (graue Kreise). Sie enthalten im Informationsfluss von links nach rechts das 2. Neuron einer Neuronenkette (mit synaptischer Umschaltung).

Sie möchten

- das motorische Zielgebiet eines somato- oder viszeromotorischen Kerns lernen? Beginnen Sie in Informationssäule 1 und folgen sie dem Nerv nach rechts bis zur Säule 5. Beachten Sie ggf. graue Ganglien;
- den Kern für ein sensibles Ursprungsgebiet lernen? Beginnen Sie in Informationssäule 5 und folgen Sie dem Verlauf nach links zur Säule 1. Beachten Sie ggf. blaue Ganglien. In der Orbita erfolgt evtl. eine Verzweigung in Unteräste.
- Die Säulen 2–4, auf die Sie im Verlauf stoßen, informieren Sie dann über Etagen, Zutrittsöffnungen und die Namen der Nerven.

2.4 Sensible Bahnen im Rückenmark



Definition und Funktion

Die sensiblen Bahnen im Rückenmark leiten alle somatosensiblen Qualitäten von Rumpf, Hals und Extremitäten zum Cerebellum oder zum Telencephalon. Da sie wichtige Eigenschaften teilen, werden sie hier gemeinsam dargestellt. Die übersichtlichste Einteilung der Bahnen ist die nach der Art der weitergeleiteten Information:

- ein Teil der Sensibilität kann bewusst wahrgenommen werden; dieser Teil erreicht das Telencephalon über den Thalamus *(spinokortikal)* und läuft über eine Kette von 4 Neuronen;
- ein anderer Teil wird grundsätzlich nicht bewusst, zieht ohne Beteiligung des Thalamus zum Cerebellum *(spinozerebellär)* und läuft über eine Kette von 3 Neuronen.

Beachte: Leitungen zum Telencephalon verlaufen gekreuzt, Leitungen zum Cerebellum ungekreuzt. Selbst der Tractus spinocerebellaris anterior endet letztlich ipsilateral, wenn er auch zunächst kreuzt.

Qualitäten der Somatosensiblität

- Exterozeption (*bewusste* Außenwahrnehmung von der Haut):
  - epikritische Wahrnehmung läuft im *Fasciculus gracilis* und *cuneatus* (= sensible Hinterstrangbahn),
  - protopathische Wahrnehmung läuft im *Tractus spinothalamicus anterior* und *lateralis* (= sensible Vorderseitenstrangbahn); für diese Bahn existieren wichtige Kollateralen (s. u.);
- Propriozeption (zum allergrößten Teil *unbewusst*); die zuständigen Bahnen verlaufen zum Kleinhirn als
  - *Tractus spinocerebellaris anterior* und *posterior* (= Kleinhirnseitenstrangbahn, zuständig für die untere Körperhälfte) und
  - als *Fibrae cuneocerebellares* (zuständig für die obere Körperhälfte, s. u.).
- Ein kleiner Teil der Propriozeption erfolgt *bewusst* und wird über den *Fasciculus gracilis* und *cuneatus* zum Telencephalon geleitet (damit leiten Fasciculus gracilis/cuneatus Extero- *und* Propriozeption).

Verschaltung der Neurone und Topografie der Bahnen

4 (spinokortikal) oder 3 (spinozerebellär) hintereinander geschaltete Neurone. Für alle (!) Bahnen liegt das 1. Neuron im Ganglion spinale. Für die zum Telencephalon ziehenden Bahnen liegen auch das 3. und teilweise das 4. Neuron an gleicher Stelle:

1. Neuron:
pseudounipolare Zelle im Spinalganglion; sie greift die Information mit ihrem dendritischen Axon von einem Rezeptor ab (für die Schmerzleitung ist das Axon selbst der Rezeptor) und leitet sie mit ihrem axonischen Axon über die Radix dorsalis des Spinalnervs in das Rückenmark.

2. Neuron:
- *Fasciculus gracilis* und *cuneatus:* in der Medulla oblongata ipsilateral im Nucleus gracilis und cuneatus. Die Axone des 2. Neurons werden als „mediale Schleife" (Lemniscus medialis) bezeichnet. Sie kreuzen unmittelbar oberhalb des 2. Neurons in der Lemniskenkreuzung (Decussatio lemniscorum oder auch Decussatio lemnisci medialis) auf die andere Seite, der jeweilige Lemniscus medialis läuft folglich kontralateral zum 3. Neuron. Der Fasciculus gracilis/cuneatus besteht somit aus Axonen der 1. Neurone;
- *Tractus spinothalamicus anterior* und *lateralis:* im ipsilateralen Hinterhorn des Rückenmarks. Das Axon des 2. Neurons kreuzt auf die Gegenseite und zieht im *kontralateralen* Vorderseitenstrang (Funiculus anterolateralis) nach kranial bis zum Thalamus. Die Axone des 2. Neurons werden im Hirnstamm als „Rückenmarksschleife" (Lemniscus spinalis) bezeichnet. Axone dieser 2. Neurone können auch zur Formatio reticularis *(Fibrae spinoreticulares)* oder zum Mesencephalon *(Fibrae spinomesencephalicae)* ziehen zur subkortikalen Verarbeitung von Schmerzreizen (z. B. Weckreaktion des Schmerzes über die Formatio reticularis);
- *Tractus spinocerebellaris anterior* und *posterior:* entweder an der *Basis* des ipsilateralen Hinterhorns im sog. Nucleus dorsalis (Nucleus thoracicus dorsalis, Stilling-Clarke; Axone dieses 2. Neurons bleiben ungekreuzt und ziehen ipsilateral im Seitenstrang des Rückenmarks als Tractus spinocerebellaris *posterior* zum Hirnstamm) oder in der *Mitte* des ipsilateralen Hinterhorns. Axone dieses 2. Neurons laufen gekreuzt (Kreuzung in der sog. Commissura alba anterior) und ungekreuzt kontra- und ipsilateral im Seitenstrang des Rückenmarks als Tractus spinocerebellaris *anterior* zum Hirnstamm. Die Axone des Tractus spinocerebellaris *posterior* ziehen durch den unteren Kleinhirnstiel (Pedunculus cerebellaris inferior) in das ipsilaterale Cerebellum.
  Beachte: Eine Kollaterale des Tractus spinocerebellaris posterior zieht zu einem Hirnstammkern („Nucleus Z"; Nähe Nucleus gracilis), schaltet dort um und zieht mit dem Lemniscus medialis über den Thalamus (Nucleus VPL) zum Gyrus postcentralis (bewusste Propriozeption unterer Körperanteile, hier nicht dargestellt). Die Axone des Tractus spinocerebellaris *anterior* ziehen bis zum Mesencephalon und dann durch den oberen Kleinhirnstiel (Pedunculus cerebellaris superior) in das Cerebellum. Die im Rückenmark kreuzenden Fasern kreuzen wieder zurück auf die Ursprungsseite!
- *Fibrae cuneocerebellares:* liegen in der Medulla oblongata unmittelbar neben dem Nucleus cuneatus als Nucleus cuneatus accessorius. Die Fasern des 2. Neurons ziehen als Fibrae cuneocerebellares ungekreuzt durch den ipsilateralen unteren Kleinhirnstiel (Pedunculus cerebellaris inferior) zum 3. Neuron. Eine Kollaterale zieht wie die Kollaterale des Tractus spinocerebellaris posterior über den Thalamus zum Telencephalon (bewusste Propriozeption oberer Körperanteile).

3. Neuron:
- *Fasciculus gracilis/cuneatus* und *Tractus spinothalamicus anterior/lateralis:* im Diencephalon im Nucleus **v**entralis **p**ostero-**l**ateralis (VPL) des Thalamus; von dort in der Thalamusstrahlung (Radiatio thalami) im Crus posterius der Capsula interna zum 4. Neuron;
- *nur für Tractus spinothalamici:* 3. Neurone auch in den Nuclei intralaminares thalami, von dort zum Gyrus cinguli (limbisches System; emotionale Tönung von Schmerz);
- *Tractus spinocerebellares* und *Fibrae cuneocerebellares:* liegen im Cerebellum in Kleinhirnkernen (überwiegend Nucleus emboliformis und globosus) oder als Körnerzelle in der Rinde des *Spino*cerebellum (in Lobus anterior, Vermis, paramediane Zone); synaptische Endigung an Körnerzellen als Moosfaser.

4. Neuron:
- *Fasciculus gracilis/cuneatus* und *Tractus spinothalamici:* Gyrus postcentralis, Lamina granularis interna (IV); für den Tractus spinothalamicus auch im Gyrus cinguli;
- die Bahnen zum Cerebellum haben kein 4. Neuron.

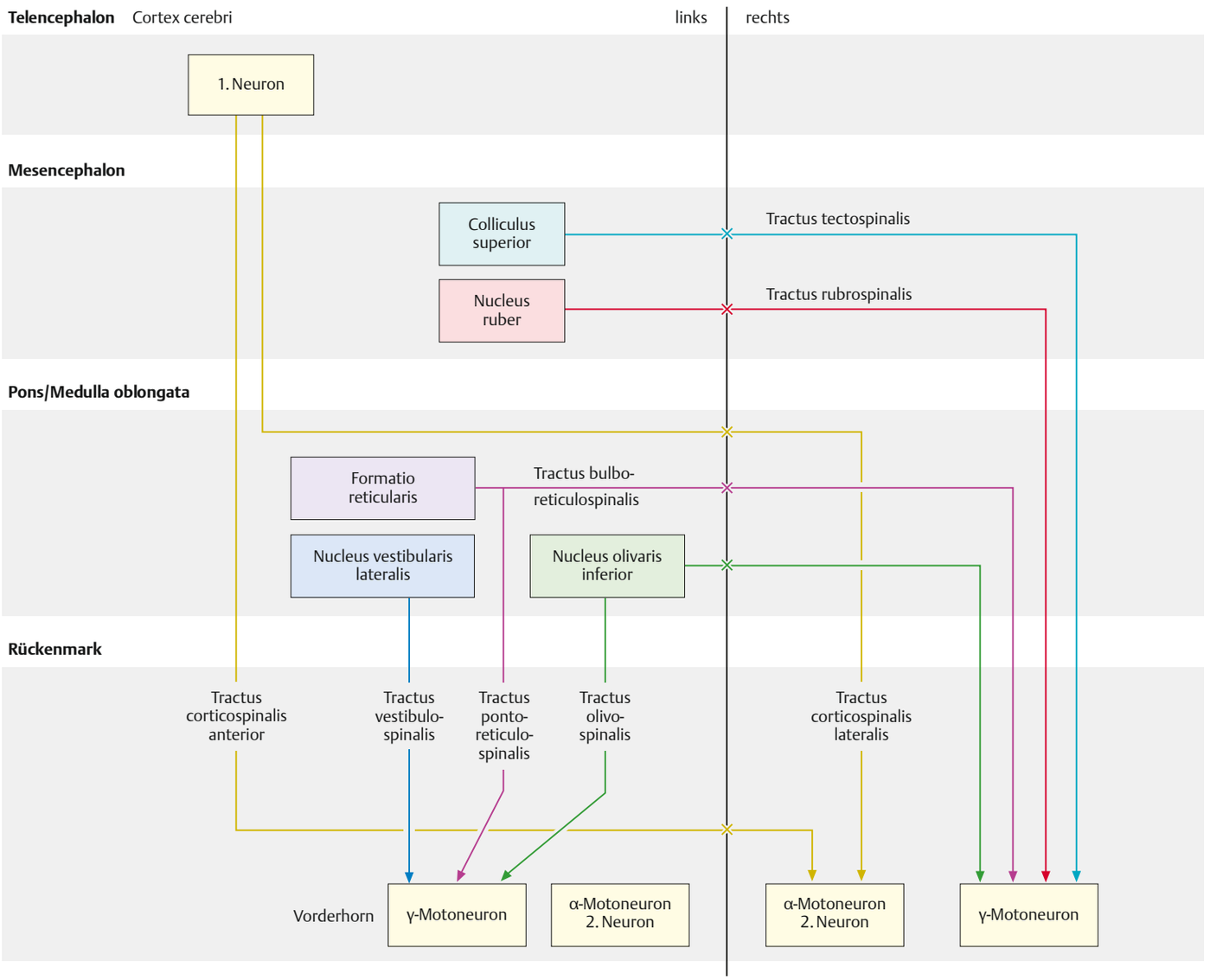
Somatotope Gliederung der Bahn

Fasern sakraler Segmente liegen medial oder dorsal, Fasern zervikaler Segmente lateral oder ventral.

Klinik

- Ausfall des Fasciculus gracilis führt zu einer Störung der epikritischen Wahrnehmung (Taubheitsgefühl der Haut);
- Ausfall des Tractus spinothalamicus führt zu einer Störung der Wahrnehmung von Schmerz und Temperatur;
- Ausfall spinozerebellärer Bahnen führt zu einer Störung der Gang- und Standmotorik (sensible Ataxie).

2.5 Motorische Bahnen im Rückenmark



Definition und Funktion

Motorische Rückenmarksbahnen lassen sich nach ihrem Verlauf in zwei Gruppen unterteilen:

- pyramidale Fasern (durchziehen die Pyramide in der Medulla oblongata) und
- extrapyramidale Fasern (laufen nicht in der Pyramide nach kaudal, sondern überwiegend in der Haubenregion des Hirnstamms).

Pyramidenfasern haben ihren Ursprung im Cortex des Telencephalon, extrapyramidale Bahnen entspringen an Kerngebieten im Hirnstamm. In einer groben funktionellen Klassifikation, die im klinischen Sprachgebrauch noch üblich ist, kann man analog zu den Bahnen auch von pyramidaler und extrapyramidaler Motorik sprechen. Physiologisch wirken aber beide Systeme sehr eng zusammen.

Pyramidale Fasern im Rückenmark (Tractus corticospinalis anterior und lateralis)

Definition und Funktion:

- wichtige Bahn der Motorik (Willkürmotorik; bewusste Bewegungssteuerung von Hals, Rumpf und Extremitäten);
- der Teil der sog. *Pyramidenbahn*, der vom primären motorischen *Cortex* zum Rückenmark (Medulla *spinalis*) zieht. Erst im Rückenmark heißt er *Tractus* corticospinalis; vor dem Eintritt ins Rückenmark werden die Fasern dieser absteigenden Projektionsbahn als *Fibrae* corticospinales bezeichnet. Sie sind, wie die anderen Fasern der Pyramidenbahn (Fibrae cortico*nucleares bulbi* zu den Hirnnervenkernen und Fibrae cortico*reticulares* zur Formatio reticularis), Axone der großen Pyramidenzellen.

Bahncharakter:
somatomotorisch; absteigend (deszendierend); efferent.
Beachte: Definitionsgemäß wären die Fibrae corticonucleares und corticoreticulares nicht streng als Teile der Pyramidenbahn zu bezeichnen, da sie oberhalb der Pyramide enden, diese somit nicht durchziehen. Wegen der völligen systematischen Übereinstimmung mit den Fibrae corticospinales in funktioneller Hinsicht und bezüglich der Ursprungsneurone rechnet man sie aber meist auch zu den „Pyramidenfasern".

Verschaltung der Neurone und Topografie der Bahn (kortikospinale Fasern): insgesamt 2 Neurone:

1. Neuron:
große Pyramidenzellen in der Lamina pyramidalis interna (Schicht V) des Gyrus praecentralis (= primärer motorischer Cortex); sie liegen zu 40 % in Brodmann-Areal 4; die restlichen 60 % liegen in benachbarten Hirnregionen.

Bahnverlauf der Axone des 1. Neurons: vom Telencephalon absteigend bis zur Pyramidenkreuzung (= Decussatio pyramidum) als *Fibrae corticospinales* mit folgenden Stationen:

- primärer motorischer Cortex → Capsula interna, Crus posterius (Telencephalon) → Crus cerebri (Mesencephalon) → Basis der Brücke (= Basis pontis) → Basis des verlängerten Marks (= Pyramis medullae oblongatae),
- an der Decussatio pyramidum, also oberhalb des Rückenmarks, kreuzen 80 % der Fasern auf die Gegenseite; ab da verlaufen:
  - die ungekreuzten 20 % der Fasern *ipsilateral* im Rückenmark als Tractus corticospinalis *anterior;* sie kreuzen erst auf Höhe des Segments, in dem der jeweilige Abschnitt des Tractus corticospinalis anterior endet, in der Commissura alba des Rückenmarks. Dieser Bahnanteil endet im mittleren Thorakalmark;
  - die gekreuzten Fasern *kontralateral* im Rückenmark als Tractus corticospinalis *lateralis* (alle Rückenmarkssegmente erhalten Anteile des Tractus corticospinalis lateralis!);

2. Neuron:
α- oder γ-Motoneurone im Vorderhorn (Crus anterius) der grauen Substanz des Rückenmarks, überwiegend in den Laminae A–C nach Rexed; an ihnen enden die Axone des Tractus corticospinalis mit erregenden (exzitatorischen) Synapsen. Die Axone des 2. Neurons enden am Erfolgsorgan, in diesem Fall an Muskeln. Transmitter ist Acetylcholin.
Beachte: Der Tractus corticospinalis endet am 2. Neuron. Das Axon des 2. Neurons bildet den motorischen Teil des Spinalnervs.

Extrayramidale Fasern im Rückenmark

Definition und Funktion:
wichtige Bahnen der Motorik (überwiegend Feinregulation der Bewegung).

Bahncharakter:
somatomotorisch; absteigend (deszendierend); efferent.
Die extrapyramidalen Bahnen gehen von Kernen des Hirnstamms (1. Neuron) und von prämotorischen Cortexarealen aus, enden überwiegend an γ-Motoneuronen im Rückenmark (2. Neuron) und werden üblicherweise als sog. „extrapyramidal motorische" Bahnen zusammen gefasst. Sie dienen der *Feinregulation der Motorik* sowie der subkortikalen Vorbereitung einer kortikal (= pyramidal) ausgelösten Bewegung. Topografisch verlaufen sie im Vorderstrang oder im Seitenstrang.

Wichtige extrapyramidale Bahnen sind:
- Tractus vestibulospinalis lateralis/medialis: Ursprung im Nucleus vestibularis lateralis,
- Tractus olivospinalis: Ursprung im Nucleus olivaris inferior,
- Tractus ponto- bzw. bulboreticulospinalis: Ursprung an Kernen der Formatio reticularis im Pons bzw. in der Medulla oblongata,
- Tractus rubrospinalis: Ursprung im Nucleus ruber und
- Tractus tectospinalis: Ursprung im Nucleus colliculi superioris des Tectum mesencephali; Bahn nur im Halsmark nachweisbar.

Extrapyramidale Bahnen kreuzen überwiegend (entweder vollständig oder teilweise). Nur für den Tractus vestibulospinalis lateralis ist eine Kreuzung nicht nachgewiesen.

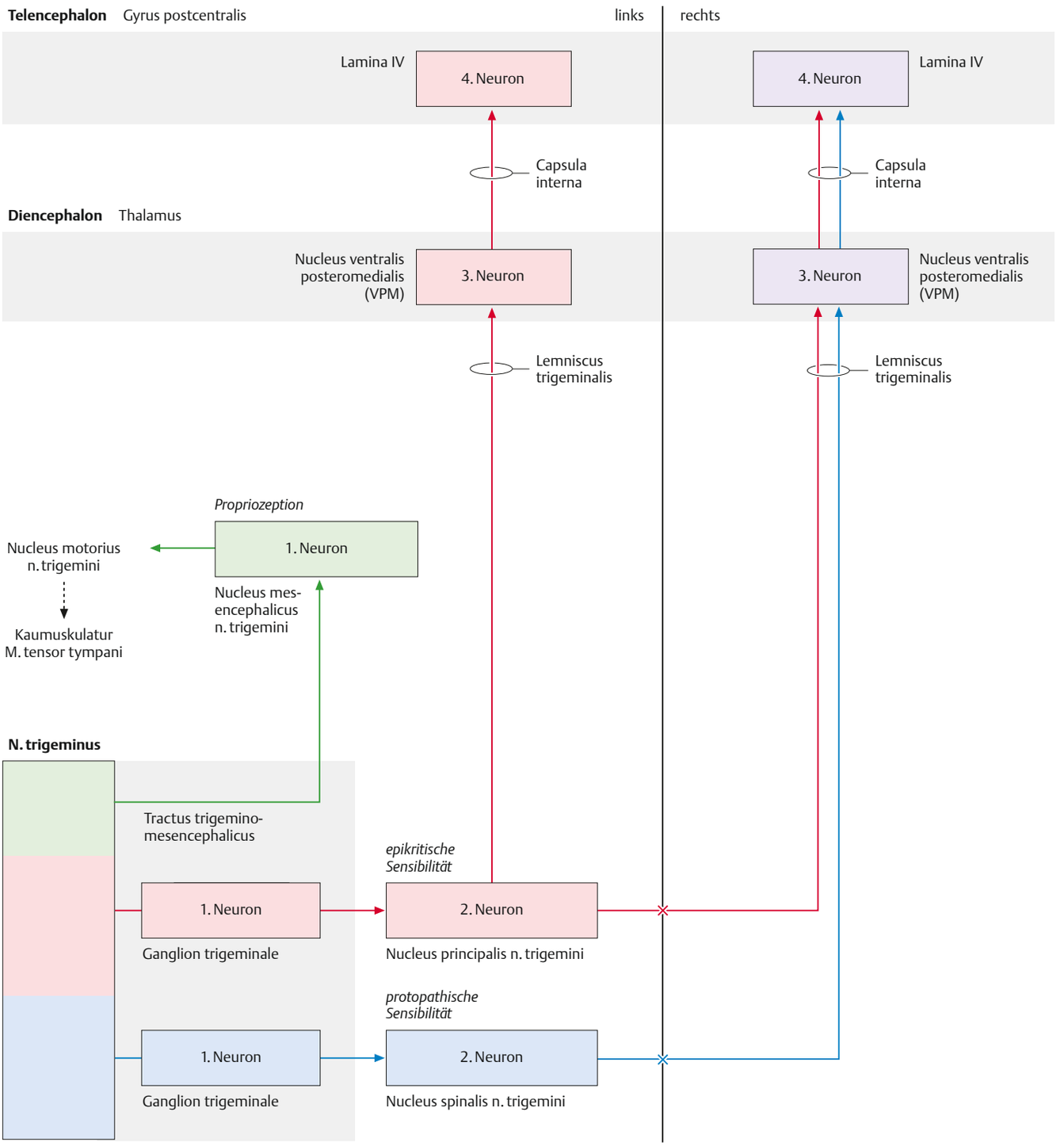
Somatotope Gliederung des Tractus corticospinalis anterior und lateralis
(für die extrapyramidalen Bahnen beim Menschen nicht bekannt)

- Capsula interna: im Crus posterius; zervikale Fasern rostral; sakrale Fasern okzipital;
- Mesencephalon: im Crus cerebri; zervikale Fasern medial; sakrale Fasern lateral;
- Medulla spinalis: im Vorderseitenstrang; zervikale Fasern medial; sakrale Fasern lateral.

Klinik

Ein Ausfall des *Tractus corticospinalis* führt zu einer Störung der Willkürmotorik an Hals, Rumpf und Extremitäten. Je nach Ausmaß der Schädigung kommt es zur Parese (Verlust der groben Kraft) oder Plegie (vollständige Lähmung) von Muskeln oder Muskelgruppen. Da eine Schädigung der Fibrae corticospinales oder des Tractus corticospinalis aufgrund des Schädigungsmechanismus (Durchblutungsstörung im Hirnstamm; Querschnittsverletzung im Rückenmark) meist auch die *extrapyramidalen Bahnen* betrifft, die einen hemmenden Einfluss auf die Erregung im Rückenmark haben, ist die Lähmung (Ausfall des Tractus corticospinalis) von einer Spastik (Muskeltonus erhöht, Reflexe verstärkt) begleitet.
Beachte: Störungen des 1. Neurons der Pyramidenbahn verursachen eine sog. zentrale Lähmung. Störungen des 2. Neurons verursachen eine sog. periphere Lähmung (gleiche Symptomatik wie beim Ausfall der motorischen Fasern eines peripheren Nervs).

2.6 Sensible Trigeminusbahn



Definition und Funktion

Wichtige Bahn der Oberflächensensibilität und der (teilweise bewussten) Tiefensensibilität.

- Oberflächensensibilität (= Exterozeption): leitet Informationen von spezifischen Rezeptoren der Oberfläche von Haut und Schleimhäuten am Schädel in das Endhirn zur bewussten Wahrnehmung von:
  - feinen Berührungen, 2-Punkte-Diskrimination und Vibration (*epikritische* Wahrnehmung) sowie
  - grobem Druck, Schmerz und Temperatur (*protopathische* Wahrnehmung). Schmerzrezeptoren liegen außer in Haut und Schleimhäuten auch in den Meningen.
- Tiefensensibilität (= Propriozeption): leitet Informationen von spezifischen Rezeptoren der Muskeln, Sehnen und Gelenkkapseln am Schädel in das Endhirn zur bewussten Wahrnehmung (oder auch unbewussten reflexhaften Verarbeitung) von deren Dehnung (*propriozeptive* Wahrnehmung).

Bahncharakter

Somatosensibel, aufsteigend (aszendierend); afferent.
Beachte: Sämtliche Informationen zu Oberflächen- und Tiefensensibilität am Schädel werden über eine einzige sensible Trigeminusbahn vermittelt. Für Rumpf und Extremitäten werden die entsprechenden Informationen dagegen in zwei Bahnen geleitet: Vorderseitenstrangbahn (Protopathie, also Schmerz und Temperatur) und Hinterstrangbahn (Epikrise, bewusste Propriozeption).

Verschaltung der Neurone und Topografie der Bahn

Insgesamt 4 hintereinander geschaltete Neurone:

- **1. Neuron:** pseudounipolare Zelle im Ganglion trigeminale in der mittleren Schädelgrube. Dieses greift die Information mit seinem dendritischen Axon (= ein Ast des N. trigeminus) von einem Rezeptor ab und leitet sie in den Hirnstamm (Eintritt seitlich am Pons) zu den ipsilateralen 2. Neuronen in den Trigeminuskernen.
  Beachte: Das 1. Neuron für die Qualität „Propriozeption" liegt nicht im Ganglion trigeminale, sondern in einem Kerngebiet im Mittelhirn, dem Nucleus mesencephalicus des Trigeminus. Dieser mesenzephale Kern ist somit definitionsgemäß ein nach zentral verlagertes Trigeminusganglion und enthält pseudounipolare Zellen.
- **2. Neuron:** für die epikritische Sensibilität im Pons (Nucleus *pontinus* = Nucleus *principalis* n. trigemini); für die protopathische Sensibilität im verlängerten Mark bis in das Rückenmark im Nucleus *spinalis* n. trigemini. Die Axone des 2. Neurons ziehen nun als Tractus trigeminothalamicus zum Thalamus. Die Fasern lagern sich dabei als sog. Lemniscus trigeminalis dem Lemniscus medialis an.
  Beachte: Die Axone des 2. Neurons des Nucleus principalis verlaufen gekreuzt und ungekreuzt, die des Nucleus spinalis n. trigemini gekreuzt zum Thalamus. Die epikritische Sensibilität des N. trigeminus ist daher sowohl kontra- als auch ipsilateral auf dem Gyrus postcentralis repräsentiert.
- **3. Neuron:** im Diencephalon im Nucleus **v**entralis **p**oster**o****m**edialis (VPM) des ipsi- und kontralateralen Thalamus. Von dort verlaufen die Axone des 3. Neurons in der Thalamusstrahlung (Radiatio thalami) im Crus posterius der Capsula interna zum 4. Neuron.
- **4. Neuron:** im Telencephalon im Gyrus postcentralis, Lamina granularis interna (IV).

Beachte: Der N. trigeminus hat über den Nucleus motorius n. trigemini auch eine motorische Komponente für die Kaumuskulatur und den M. tensor tympani im Mittelohr. Die kortikale Kontrolle dieses motorischen Kerns hat jedoch eine Besonderheit. Er wird deshalb nicht hier besprochen, sondern bei „Kontrolle der motorischen Hirnnervenkerne", s. S. 526 f.

Somatotope Gliederung der Bahn

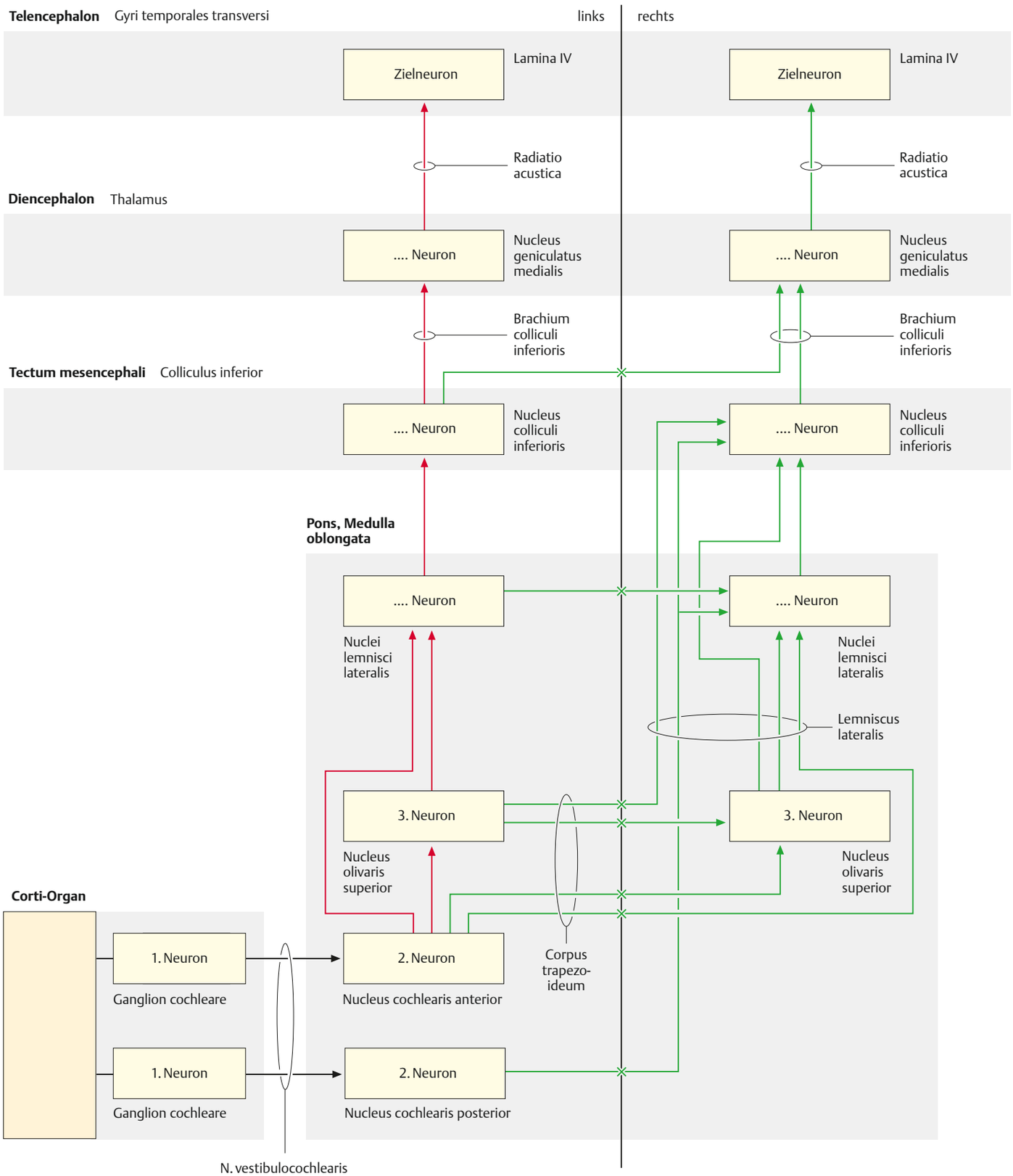
Die Fasern des 4. Neurons enden im Telencephalon auf dem Gyrus postcentralis (Stirn) in einem Bereich, der oberhalb des Sulcus centralis beginnt und sich bis etwa zur Mitte des Gyrus postcentralis nach parietal ausdehnt.

Klinik

Der Ausfall der sensiblen Trigeminusbahn (z. B. infolge von Durchblutungsstörungen, Schädelbruch oder Tumor) führt zu einer Störung der bewussten Wahrnehmung von grobem und leichtem Druck, grober und feiner Berührung, Schmerz, Temperatur und Propriozeption.
Beachte: Aufgrund der (teilweisen!) Kreuzung der Bahn im Hirnstamm führt

- eine Läsion der Bahn vom N. trigeminus bis einschließlich zum 2. Neuron zu einem ipsilateralen Ausfall der Sensibilität;
- eine Läsion ab dem Thalamus bis zum Gyrus postcentralis
  - für die ausschließlich kontralateral projizierende Protopathie zu einer kontralateralen Störung,
  - für die Epikrise aufgrund der doppelseitigen Repräsentation auf dem Gyrus postcentralis zu einer ipsi- und kontralateralen Störung – wegen der doppelseitigen Leitung i. Allg. aber nicht zu einem kompletten Ausfall.

2.7 Hörbahn


Telencephalon Gyri temporales transversi
links
rechts
Zielneuron
Lamina IV
Zielneuron
Lamina IV
Radiatio acustica
Radiatio acustica
Diencephalon Thalamus
.... Neuron
Nucleus geniculatus medialis
.... Neuron
Nucleus geniculatus medialis
Brachium colliculi inferioris
Brachium colliculi inferioris
Tectum mesencephali Colliculus inferior
.... Neuron
Nucleus colliculi inferioris
.... Neuron
Nucleus colliculi inferioris
Pons, Medulla oblongata
.... Neuron
.... Neuron
Nuclei lemnisci lateralis
Nuclei lemnisci lateralis
Lemniscus lateralis
3. Neuron
3. Neuron
Nucleus olivaris superior
Nucleus olivaris superior
Corti-Organ
1. Neuron
2. Neuron
Corpus trapezo-ideum
Ganglion cochleare
Nucleus cochlearis anterior
1. Neuron
2. Neuron
Ganglion cochleare
Nucleus cochlearis posterior
N. vestibulocochlearis

Definition und Funktion

Bahn für die Wahrnehmung akustischer Reize mit Information über die Lautstärke (Amplitude), Höhe (Frequenz) und räumliche Position eines Tones.

Bahncharakter

(speziell) somatosensibel (sensorisch); afferent.
Beachte: Die Information wird von einem Sinnesorgan im Os temporale, der Schnecke (Cochlea), abgeleitet. Diese trägt in sich spezifische Sinneszellen (Corti-Organ), deren letztlich mechanische Reizung zu einer Hörwahrnehmung führt. Die Reizleitung erfolgt im N. cochlearis, einem Teil des N. vestibulocochlearis (VIII).

Verschaltung der Neurone und Topografie der Bahn

Insgesamt mindestens 6 hintereinander geschaltete Neurone:

- **1. Neuron:** bipolare Zelle im Ganglion cochleare (= Ganglion spirale cochleae). Diese greift mit ihrem dendritischen Axon von einer Rezeptorzelle (Haarzelle = „innere Haarzelle im Corti-Organ“) die Information ab. Das axonische Axon der Ganglienzelle zieht ipsilateral in den Hirnstamm zum 2. Neuron; Eintritt in den Hirnstamm am sog. Kleinhirnbrückenwinkel.
- **2. Neuron:** im Hirnstamm im Boden des IV. Ventrikels nahe am Recessus lateralis im Nucleus cochlearis anterior/posterior. Axone des 2. Neurons laufen gekreuzt und ungekreuzt zum 3. Neuron. Alle Fasern, die nach kranial aufsteigend die Eintrittsebene des 1. Neurons auf Höhe der Nuclei cochleares verlassen, werden als laterale Schleife (Lemniscus lateralis) zusammengefasst.
- **3. Neuron:** Nucleus olivaris superior (Axone des 2. Neurons kommen überwiegend aus Nucleus cochlearis anterior). Vom Nucleus olivaris superior ziehen ebenso wie vom Nucleus cochlearis anterior Fasern zur Gegenseite. Diese können (müssen aber nicht zwangsläufig) bei der Kreuzung an einer kleinen Kerngruppe (hier nicht dargestellt) umschalten, die als Nuclei corporis trapezoidei bezeichnet werden. Die Gesamtheit dieser kleinen Kerne zusammen mit den kreuzenden Fasern wird als Trapezkörper (Corpus trapezoideum) bezeichnet.

Beachte: Ein Charakteristikum der Hörbahn ist, dass die nun nachfolgenden Neuronenstationen nicht immer von allen Bahnanteilen gemeinsam angesteuert werden. Gruppen von Axonen können einzelne, hier dargestellte Neuronenstationen überspringen. Nur 1., ganglionäres, 2. (Nuclei cochleares) und letztes, kortikales Neuron (s. Zielneuron) sind konstante Neuronenstationen. Damit ist die weitere strenge Auf*zählung* der Neurone nach dem 3. Neuron nicht mehr sinnvoll.

- **Weitere Neuronenstationen:**
  - Nuclei lemnisci lateralis (erhalten Axone aus beiden Nuclei cochleares),
  - Nucleus colliculi inferioris (im Colliculus inferior des Mesencephalon); von hier im Brachium colliculi inferioris zum Thalamus,
  - Nucleus geniculatus medialis (Corpus geniculatum mediale) des Thalamus. Von hier als Radiatio acustica zur primären Hörrinde.
- **Zielneuron:** primäre Hörrinde, Lamina granularis interna (IV) in den Gyri temporales transversi (Heschl-Querwindung), Area 41 nach Brodmann.

Beachte: Die ausgeprägte Kreuzung der Fasern ab dem 2. Neuron führt dazu, dass die primäre Hörrinde (Gyri temporales transversi) Informationen beider Cochlea-Organe empfängt. Dies trägt ganz wesentlich zur akustischen Raumempfindung bei.

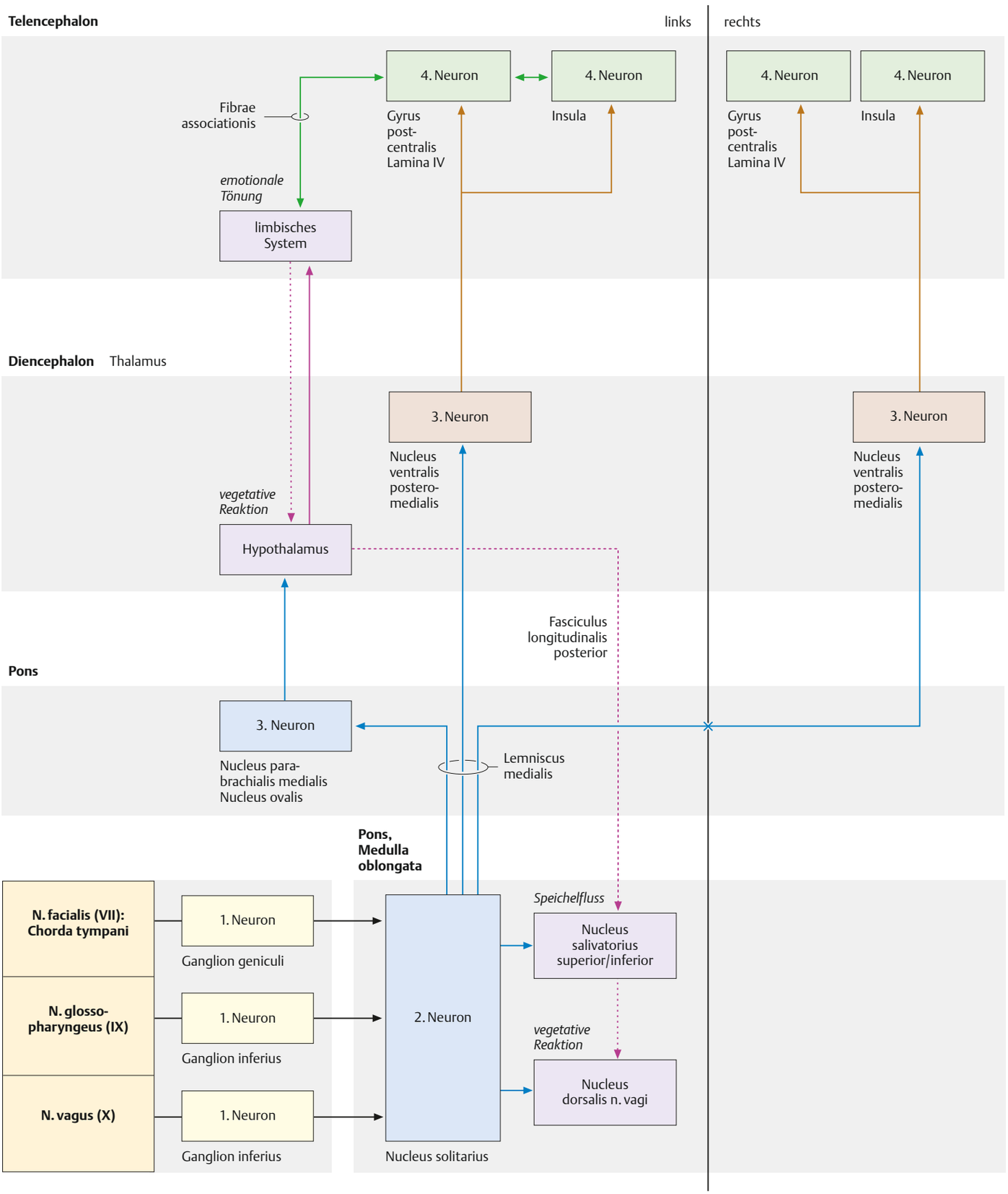
Somatotope (= in diesem Fall tonotope) Gliederung der Bahn

Die Tonotopie im audiotorischen Cortex passt sich der Struktur der Herschl-Querfurchen an. In der primären Hörrinde sind hohe Frequenzen eher okzipital, tiefe Frequenzen eher frontal lokalisiert.

Klinik

Ein kompletter Ausfall der Hörbahn auf einer Seite führt zu einer Störung der akustischen Raumorientierung. Ausfall der Hörbahn beidseits führt zu Taubheit.

2.8 Geschmacksbahn



Definition und Funktion

Bahn der bewussten Sensibilität der Zunge für die Qualität „Geschmack“ (Wahrnehmung von süß, sauer, salzig, bitter, „umami“).

Bahncharakter

(speziell) viszerosensibel (sensorisch); afferent.
Beachte: Geschmack wird über 3 Hirnnerven geleitet: N. facialis (VII), N. glossopharyngeus (IX) und N. vagus (X). Sie alle greifen ihre Information von Geschmacksrezeptoren der Zungenoberfläche ab und leiten sie zunächst auf *einen* gemeinsamen, zentral liegenden Kern weiter, den *Nucleus solitarius*. Im Cortex enden die Fasern dann an zwei unterschiedlich lokalisierten Neuronen, ein Neuron liegt in der Insel, eines im Gyrus postcentralis.

Verschaltung der Neurone und Topografie der Bahn

- **1. Neuron:** pseudounipolare Zelle *im Ganglion des jeweiligen Hirnnervs.* Diese greift die Information mit ihrem dendritischen Axon von einem Geschmacksrezeptor ab. Das axonische Axon der pseudounipolaren Zelle im Ganglion des Hirnnervs zieht ipsilateral in den Hirnstamm zum 2. Neuron im Nucleus solitarius.
  Beachte: Die afferenten Fasern des N. facialis verlaufen zunächst im N. lingualis, trennen sich dann von ihm ab (als sog. Chorda tympani) und treffen im Os temporale auf die somatomotorischen Fasern des N. facialis, an welche sie angelagert zum Hirnstamm verlaufen.
- **2. Neuron:** in der Medulla oblongata ipsilateral im Nucleus solitarius (Pars gustatoria). Das Axon des 2. Neurons zieht ungekreuzt zum Pons (und schalten dort auf ein 3. Neuron um) oder unter Umgehung pontiner Kerne unter Anlagerung an den Lemniscus medialis direkt ipsi- (und offenbar in geringem Umfang kontralateral) zum Thalamus (dann dort ein 3. Neuron).
- **3. Neuron:**
  – im *Pons:* in einer pontinen Kerngruppe nahe am Recessus lateralis des IV. Ventrikels: Nucleus parabrachialis und Nucleus ovalis. Von dort zieht die Bahn ungekreuzt zum Hypothalamus und weiter zu Anteilen des limbischen Systems;
  – im *Thalamus:* liegt im Nucleus ventralis posteromedialis. Von dort ziehen die Fasern in der Thalamusstrahlung (Radiatio thalami) im Crus posterius der Capsula interna zum
- **4. Neuron** im *Gyrus postcentralis* (Lamina granularis interna [IV]) oder in der *Rinde der Insula.*

Beachte: Die Geschmacksbahn endet somit an zwei unterschiedlich lokalisierten kortikalen Neuronen, wo offenbar unterschiedliche Informationen verarbeitet werden. Kollateralen vom Nucleus parabrachialis und Nucleus ovalis erreichen den Hypothalamus (vegetative Reaktion) und Areale des limbischen Systems (emotionale Tönung der Geschmacksempfindung). Vom 2. Neuron ziehen Kollateralen zu den Nuclei salivatorii (reflektorische Auslösung von Speichelfluss). Über den Fasciculus longitudinalis posterior (FLP) kann der Hypothalamus mittels der vegetativen Kerne im Hirnstamm vegetative Reaktionen kontrollieren.

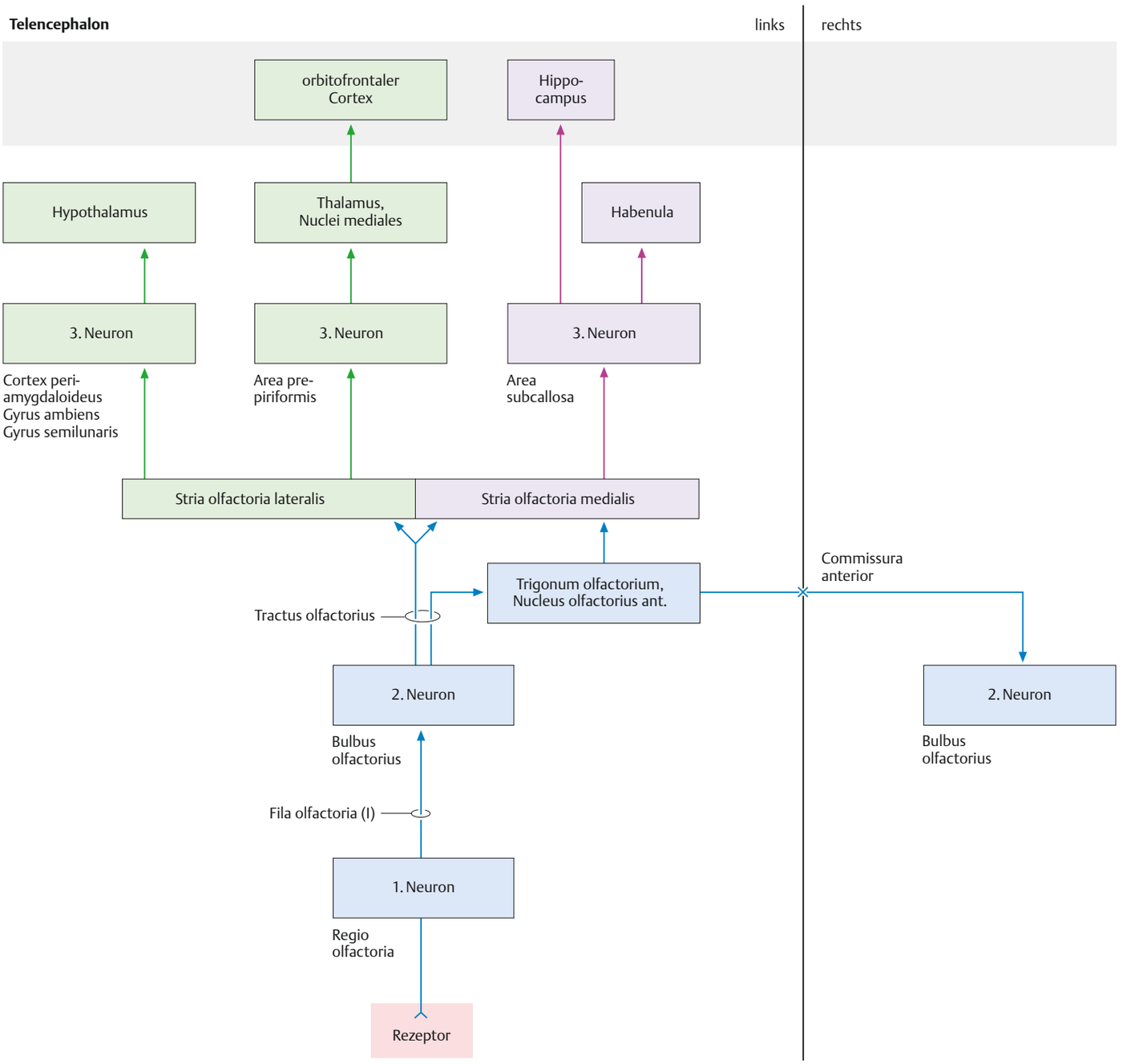
Somatotope Gliederung der Bahn

Nicht bekannt.

Klinik

Ein kompletter Ausfall der Geschmacksbahn führt zu einem Verlust der Geschmackswahrnehmung (Ageusie), ist aber äußerst selten, da eine doppelseitige periphere Läsion der Nn. VII, IX und X sehr unwahrscheinlich ist und eine zentrale Läsion der Bahn etwa im Hirnstamm viele andere Strukturen so in Mitleidenschaft zieht, die in ihrer Schwere das Krankheitsbild dominieren.

2.9 Riechbahn



Definition und Funktion

Bahn der bewussten Sensibilität des olfaktorischen Systems zur Wahrnehmung von Geruchsreizen.

Bahncharakter

(speziell) viszerosensibel (sensorisch); afferent.
Beachte: I. Hirnnerv (N. olfactorius), Bulbus olfactorius und Tractus olfactorius sind Anteile der Riechbahn. Bulbus und Tractus olfactorius sind Teile des telenzephalen Cortex (in diesem Fall des Paläocortex), also des ZNS.

- Sie sind deshalb von Meningen umgeben,
- von Liquor cerebrospinalis umspült und
- die Axone der in ihnen enthaltenen Neurone sind von zentraler Glia (Oligodendrozyten) umhüllt.

Der N. olfactorius dagegen ist keine einheitlich darstellbare Struktur, sondern setzt sich aus der Summe der einzeln verlaufenden sog. Riechfäden (Fila olfactoria) zusammen. Die Fila olfactoria sind die Axone der primären Sinneszellen (Rezeptorzellen) des Riechepithels. Der N. olfactorius ist definitionsgemäß Bestandteil des peripheren Nervensystems.

Verschaltung der Neurone und Topografie der Bahn

Insgesamt mindestens 3 hintereinander geschaltete Neurone:

- **1. Neuron:** liegt als Rezeptorzelle (primäre Sinneszelle) im Dach der Nasenhöhlen. Ein peripherer Fortsatz endet mit einem Rezeptor in der Nasenschleimhaut. Der zentrale Fortsatz (Fila olfactoria) durchzieht das Os ethmoidale in der Lamina cribrosa zum 2. Neuron.
- **2. Neuron:** intrakraniell in der Fossa cranii anterior auf dem Os ethmoidale im sog. Bulbus olfactorius. 2 Typen von 2. Neuronen: Mitralzellen und Büschelzellen. Das Axon des 2. Neurons zieht als Tractus olfactorius nach okzipital. Der Tractus olfactorius teilt sich in Stria olfactoria medialis und lateralis.
- **3. Neuron:** die 3. Neurone, die ihrerseits auf nachfolgende Neurone projizieren, liegen an drei Stellen:
  - für die Stria olfactoria lateralis: in der *Area prepiriformis* (Brodmann-Areal 28); Weiterleitung der Afferenzen über den Thalamus (Nuclei mediales) zum orbitofrontalen Cortex - oder Neurone im *Cortex periamygdaloideus* (Gyrus semilunaris und Gyrus ambiens); Weiterleitung der Afferenzen zum Hypothalamus;
  - für die Stria olfactoria medialis: Kerne in der Area subcallosa (mit Nuclei septales) Weiterleitung der Afferenzen zu Habenula und Hippocampus. Beide Afferenzen bleiben ipsilateral;
  - für kreuzende Fasern: Nucleus olfactorius anterior (im Trigonum olfactorium) mit Weiterleitung der Afferenzen zum Bulbus olfactorius.

Beachte: Das 2. Neuron erreicht mit der Stria olfactoria lateralis (archikortikale) Cortexareale (Cortex periamygdaloideus, Area prepiriformis) ohne Einschaltung des Thalamus. Die Riechbahn ist damit nach jetzigem Kenntnisstand die einzige Afferenz, die ohne Umschaltung im Thalamus telenzephale Neurone erreichen kann. Die umfangreiche Projektion der Stria olfactoria auf Neurone des limbischen Systems (v. a. Cortex periamygdaloideus) erklärt die starke emotionale Einfärbung von Geruchseindrücken. Die Projektion auf den Hypothalamus ist verantwortlich für vegetative Reaktionen (z. B. Übelkeit, ggf. Erbrechen) auf unangenehme Geruchsempfindungen.

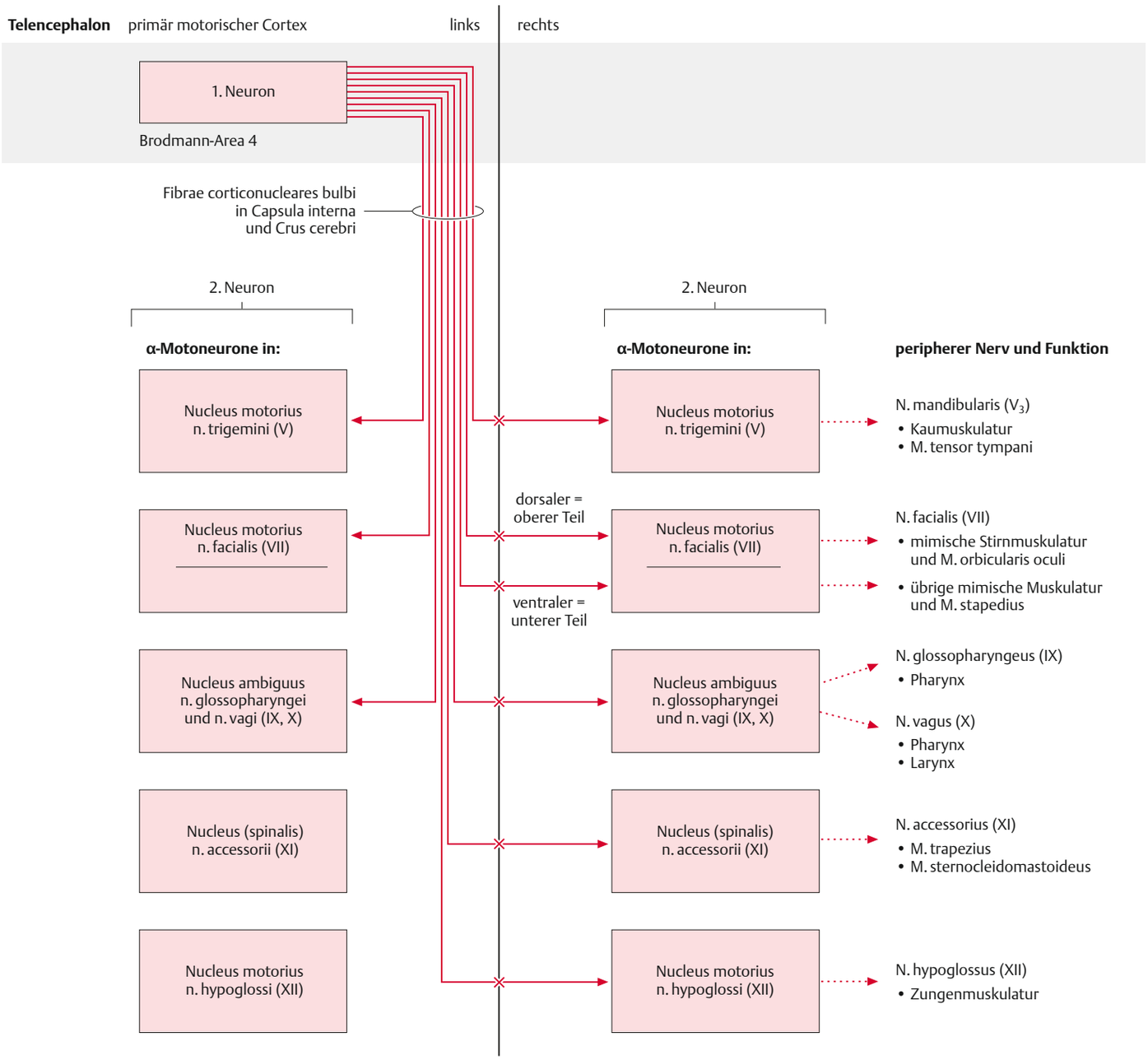
Somatotope Gliederung der Bahn

Nicht bekannt.

Klinik

Vollständiger Ausfall der Riechbahn führt zur sog. Anosmie. Sie kann bei Verletzungen beider Bulbi oder beider Tractus olfactorii bei Schädelbasisbrüchen vorkommen.

2.10 Kontrolle der motorischen Hirnnervenkerne



Einteilung der motorischen Hirnnervenkerne

Funktionell werden zwei Gruppen unterschieden:

- Kerne für die Motorik der Augenmuskeln (III, IV und VI) und
- Kerne für die übrigen motorischen Funktionen der Hirnnerven (Vmot; VII, IX, X, XI und XII).

Grundsätzlich erfolgt die kortikale Kontrolle aller Hirnnervenkerne über eine gemeinsame Bahn, die Fibrae corticonucleares bulbi. Diese Bahn teilt sich jedoch funktionell in zwei Teile: einen für die Augenmuskeln, einen für die übrigen Funktionen. Die Kontrolle der Augenmuskeln verläuft mit dem einen Bahnanteil über mehrere Zentren im Hirnstamm, bevor die Augenmuskelkerne über den Fasciculus longitudinalis medialis erreicht werden (s. dazu „Kontrolle der Augenmotorik“, S. 528 f). Nachfolgend ist nur die Kontrolle der übrigen motorischen Hirnnervenkerne dargestellt, die *direkt* von dem 2. Anteil der Fibrae corticonucleares bulbi erreicht werden, analog der kortikalen Projektion auf Motoneurone im Rückenmark über die Fibrae corticospinales.

Definition und Funktion der Fibrae corticonucleares bulbi für die Kontrolle der motorischen Hirnnervenkerne

- wichtige Bahn der Willkürmotorik: bewusste Bewegungssteuerung von Kaumuskulatur, mimischen Muskeln, Zunge, kraniofugalen Muskeln sowie unbewusste motorische Steuerung von Rachen- und Kehlkopfmuskulatur;
- der Teil der sog. *Pyramidenbahn,* der vom primären motorischen Cortex zu motorischen Kernen (Nuclei motorii) im Hirnstamm (Truncus encephali, überwiegend Pons) zieht. Die Fasern sind wie die anderen Fasern der Pyramidenbahn (also Fibrae cortico*spinales* zum Rückenmark und Fibrae cortico*reticulares* zur Formatio reticularis), Axone der großen Pyramidenzellen.

Bahncharakter

somatomotorisch; absteigend (deszendierend); efferent.

Verschaltung der Neurone und Topografie der Bahn

Insgesamt 2 hintereinander geschaltete Neurone:

- **1. Neuron:** große Pyramidenzellen in der Lamina pyramidalis interna (Schicht V) des Gyrus precentralis (= primärer motorischer Cortex); sie liegen im Brodmann-Areal 4 sowie zumeist in benachbarten Hirnregionen. Die Axone des 1. Neurons passieren vom Telencephalon absteigend bis zum Hirnstamm folgende Stationen:

  primärer motorischer Cortex → Capsula interna, Crus posterius (Telencephalon) → Crus cerebri (Mesencephalon) → Haube der Brücke (= Pars tegmentalis pontis);

  Kreuzung der Axone des 1. Neurons: kreuzen nur teilweise (dann überwiegend im Pons), so dass die Projektion des motorischen Cortex auf das 2. Neuron sowohl gekreuzt als auch ungekreuzt erfolgt.

  Ausschließlich *kontralaterale* Axone *des 1. Neurons* enden an:
  - Nucleus motorius n. facialis, Pars inferior (Mimik mit Ausnahme der Stirnmuskeln),
  - Nucleus spinalis n. accessorii,
  - Nucleus motorius n. hypoglossi.

  Kontra- und ipsilaterale Axone des 1. Neurons enden an:
  - Nucleus motorius n. trigemini,
  - Nucleus motorius n. facialis, Pars superior (Mimik der Stirnmuskeln und M. orbicularis oculi),
  - Nucleus ambiguus (Innervation von Pharynx und Larynx).

- **2. Neuron:** überwiegend α-Motoneurone in:
  - Nucleus motorius n. trigemini (Kaumuskulatur und M. tensor tympani),
  - Nucleus motorius n. facialis (mimische Muskeln),
  - Nucleus ambiguus n. glossopharyngei und n. vagi (Pharynx und Larynx),
  - Nucleus spinalis n. accessorii (Mm. trapezius und sternocleidomastoideus) und
  - Nucleus motorius n. hypoglossi (Zungenmuskulatur).

  An diesen Kernen enden die Axone der Fibrae corticonucleares bulbi mit erregenden (exzitatorischen) Synapsen. Die Axone des 2. Neurons enden am Erfolgsorgan, in diesem Fall an Muskeln, sie bilden damit also den motorischen Teil des jeweiligen Hirnnervs! Transmitter ist Acetylcholin.
  Beachte: Die Fibrae corticonucleares bulbi enden am 2. Neuron. Das Axon des 2. Neurons bildet den motorischen Teil des jeweiligen Hirnnervs.

Somatotope Gliederung der Bahn

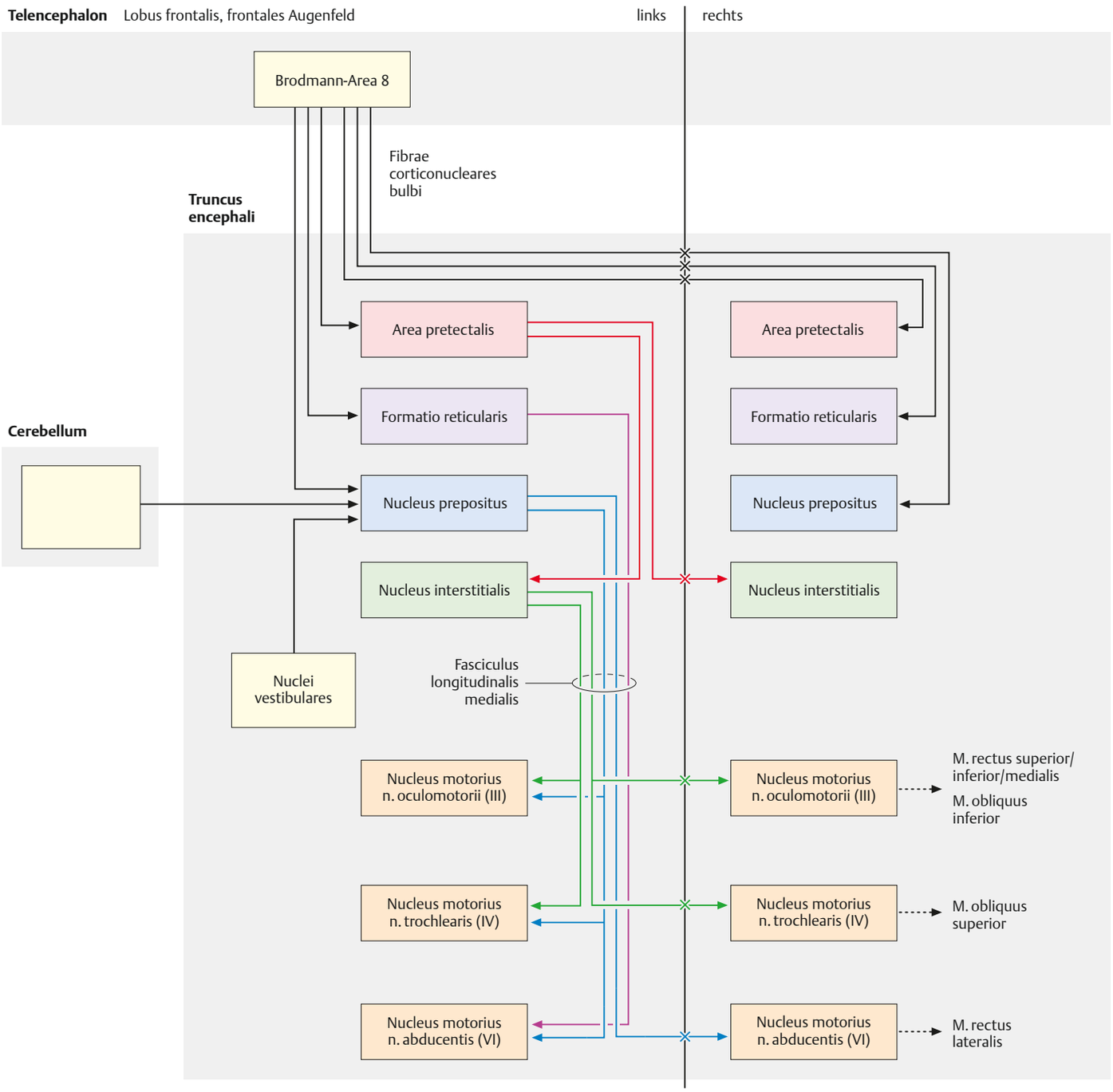
- Capsula interna: im Crus posterius; rostral der Fibrae corticospinales;
- Mesencephalon: im Crus cerebri; medial der Fibrae corticospinales.

Klinik

Ausfall der Fibrae corticonucleares bulbi führt zu einer Störung der Willkürmotorik am Schädel für die Funktionen Kauen (N. trigeminus), Mimik (N. facialis), Kopfwendebewegungen (N. accessorius) und Zunge (N. hypoglossus).
Beachte: Störungen des 1. Neurons verursachen eine sog. *zentrale,* Störungen des 2. Neurons eine sog. *periphere* Lähmung (gleiche Symptomatik wie beim Ausfall der motorischen Fasern des peripheren Hirnnervs).
Da nur ein Teil des Fazialiskerns ipsi- und kontralateral innerviert wird, kann man beim N. facialis die periphere (= sog. infranukleäre Läsion) (2. Neuron oder peripherer Nerv betroffen) von der zentralen (= supranukleäre Läsion) Lähmung (1. Neuron oder sein Axon betroffen) unterscheiden:

- bei der peripheren Lähmung fallen alle Fasern aus (Stirnmuskeln und der M. orbicularis oculi auch gelähmt),
- bei der zentralen Lähmung wird das 2. Neuron (aber nur der Stirnteil der Kerns) noch von Fasern des anderen motorischen Cortex erreicht: die Stirnmuskeln und der M. orbicularis oculi sind nicht gelähmt.

2.11 Kontrolle der Augenmotorik



Definition und Funktion

Die Kontrolle der Augenbewegungen ist äußerst komplex. Um einen eindeutigen Seheindruck zu gewährleisten, muss Licht von einem Bildpunkt auf korrespondierende Stellen der Retina fallen. Dazu müssen beide Augen koordiniert bewegt werden. Geschieht das nicht, entstehen durch Lichteinfall auf nicht korrespondierende Retinastellen Doppelbilder. Die Kontrolle der Augenmotorik erfolgt überwiegend „reflexhaft" durch subkortikale Zentren (s. „Projektionen der Retina", S. 532 f). Eine willkürliche Steuerung der Augenbewegungen ist aber möglich. Sie wird jedoch nicht durch den Gyrus precentralis (Somatomotorik) ausgelöst, sondern durch ein spezialisiertes übergeordnetes Zentrum im Lobus frontalis kontrolliert, das sog. frontale Augenfeld (Area 8 nach Brodmann). Dieses sendet seine Efferenzen (im Gegensatz zum Gyrus precentralis) aber *nicht direkt* an α-Motoneurone in den motorischen Hirnnervenkernen, sondern zunächst an Kontrollzentren an der Grenze Mittelhirn – Zwischenhirn und im Hirnstamm, wo dann eine weitere Umschaltung auf die motorischen Augenmuskelkerne erfolgt.

Bahncharakter

somatomotorisch; absteigend (deszendierend); efferent.

Verschaltung der Neurone und Topografie der Bahn

Das Ursprungsneuron liegt im sog. frontalen Augenfeld (Neurone werden hier üblicherweise nicht durchgezählt, daher die Bezeichnung „Ursprungsneuron" statt „1. Neuron"). Seine *Axone* verlaufen gemeinsam mit Axonen von Neuronen des Gyrus precentralis in der Capsula interna als Fibrae corticonucleares bulbi. Die *Neurone* der Area 8 ziehen aber ipsi- und kontralateral zu Neuronen in der Area pretectalis (am Übergang Diencephalon – Mesencephalon) und zu Formatio reticularis und Nucleus prepositus. Von der Area pretectalis ziehen Neurone beidseits zum sog. Nucleus interstitialis. Nucleus prepositus und Nucleus interstitialis sind die Ausgangskerne für die Projektion auf die nachfolgend genannten motorischen Augenmuskelkerne III, IV und VI. Dabei erreicht

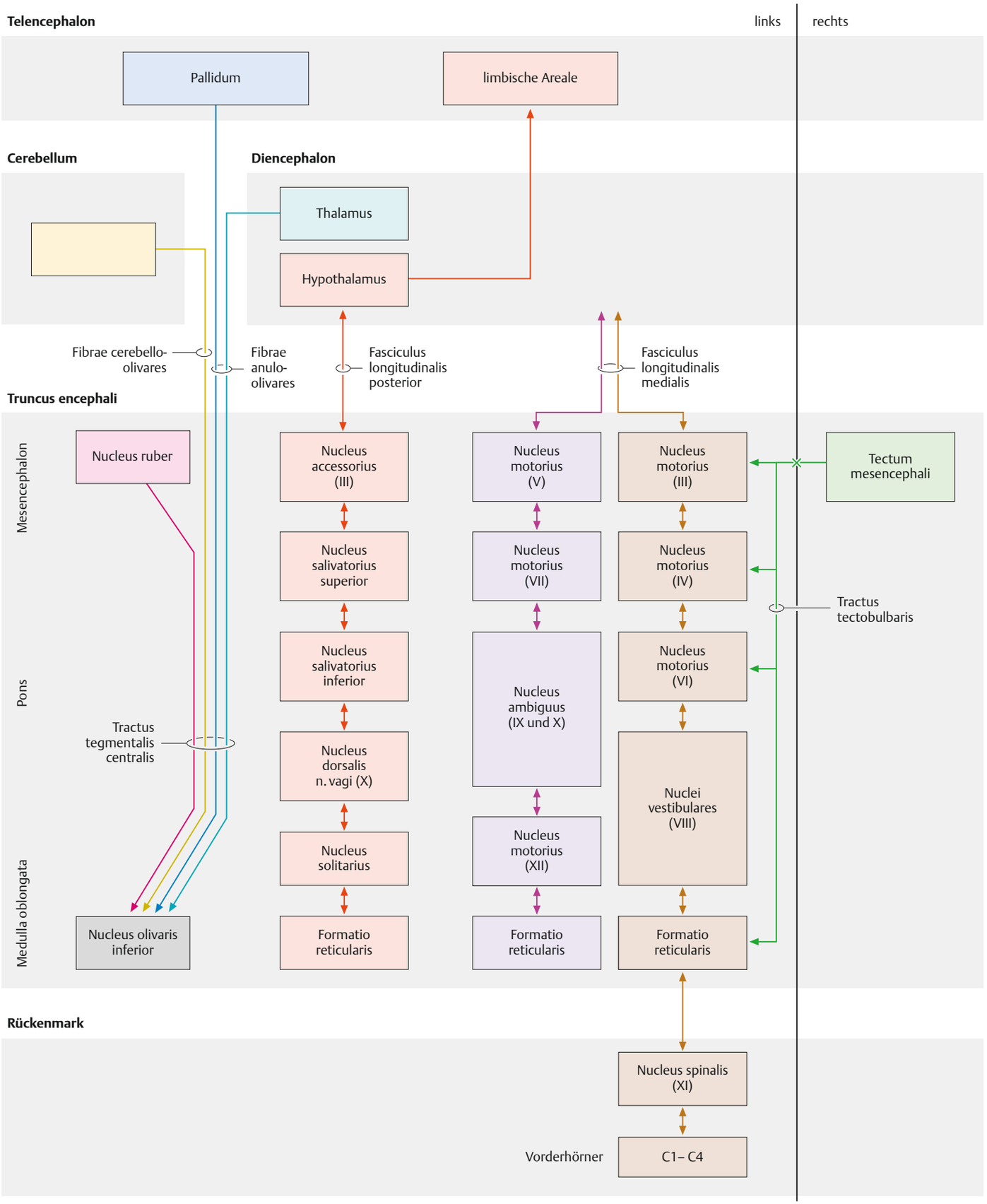
- der Nucleus prepositus alle Kerne ipsilateral und den Nucleus n. VI auch kontralateral,
- der Nucleus interstitialis die Kerne III und IV ipsi- und kontralateral,
- der Nucleus VI wird ipsilateral auch noch von Axonen von Neuronen der Formatio reticularis des Hirnstamms erreicht.

Die Verbindungen des Cerebellum und der Nuclei vestibulares, insbesondere zum Nucleus prepositus, koordinieren Gleichgewichtsinformationen mit Augenbewegungen (z. B. beim vestibulären Nystagmus = unwillkürliche Augenbewegung bei Drehbewegung des Kopfes) z. B. beim Autofahren.
Im Hirnstamm verlaufen die Bahnanteile zur Verschaltung der Augenmuskelkerne untereinander, mit den übergeordneten Zentren und mit dem Vestibularissystem als sog. *Fasciculus longitudinalis medialis* (s. auch „Bahnen im Hirnstamm", S. 530 f).

Klinik

- Nur Ausfälle eines einzelnen motorischen Augenmuskelkerns führen zu Ausfällen eines einzelnen Muskels oder einer Gruppe von Muskeln an einem Auge;
- Störungen in den übergeordneten Zentren (z. B. bei Durchblutungsstörungen im Hirnstamm bei Hirnstamminfarkt) oder Störungen im Bereich des frontalen Augenfeldes sind immer mit komplexen Beeinträchtigungen der Blickmotorik beider Augen verbunden.

2.12 Bahnen im Hirnstamm



Grundsätzlich kann man im Hirnstamm zwei Gruppen von Bahnen unterscheiden:

- Bahnen, die den Hirnstamm ausschließlich oder überwiegend durchziehen,
- Bahnen, die innerhalb des Hirnstamms komplex verschalten.

Die vier wichtigsten Hirnstammverschaltungen sind hier dargestellt.

Durchziehende Bahnen (hier nicht dargestellt)

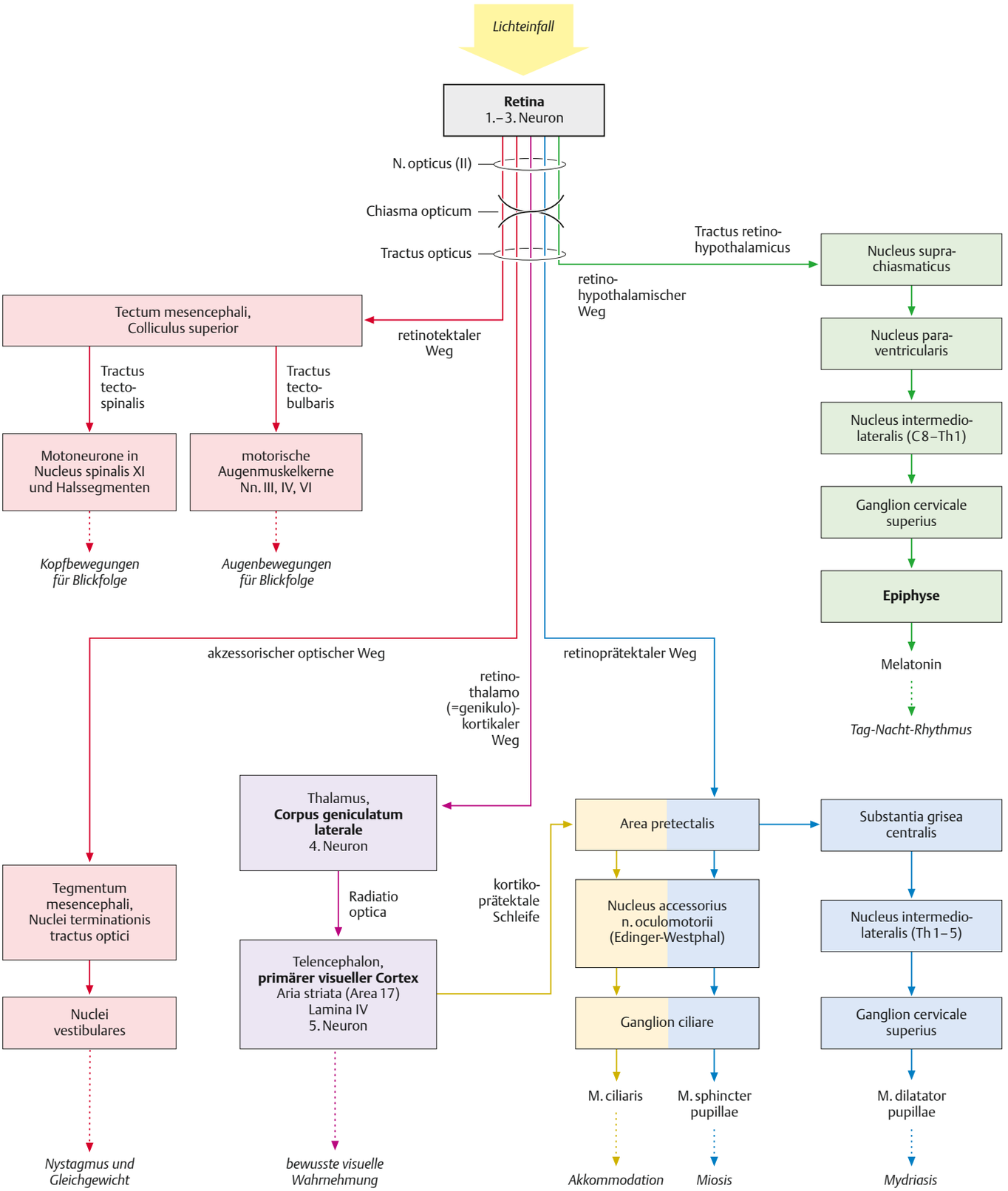
entweder absteigend (deszendierend), also vorwiegend somato- oder viszeromotorisch, oder aufsteigend (aszendierend), also vorwiegend sensibel:

- absteigende Bahnen:
  - **Tractus pyramidalis** (mit seinen unterschiedlichen Anteilen, s. S. 516 f),
  - **Tractus corticopontinus** als Teil des Tractus corticopontocerebellaris (s. S. 516 f);
- aufsteigende Bahnen: die 4 sog. Schleifenbahnen (Lemnisken):
  - **Lemniscus medialis** (Fortsetzung der Hinterstrangbahn, s. S. 514) und
  - **Lemniscus spinalis** (Fortsetzung der sensiblen Vorderseitenstrangbahn, s. S. 514),
  - **Lemniscus trigeminalis** als Fortsetzung der Trigeminusbahn (s. S. 518 f),
  - **Lemniscus lateralis** als Fortsetzung der Hörbahn (s. S. 520 f).

Intern verschaltende Bahnen

- **Tractus tegmentalis centralis:** absteigende Bahn; wichtigste Bahn des extrapyramidalen Systems im Hirnstamm. Mehrere Teilbahnen: Fasern stammen von Telencephalon (Pallidum), Diencephalon (Thalamus), Cerebellum sowie – aus dem Hirnstamm selbst – vom Nucleus ruber. Diese einzelnen Bahnen vereinigen sich zur sog. zentralen Haubenbahn (Tractus tegmentalis centralis), die an der unteren Olive, dem Nucleus olivaris inferior endet. Die untere Olive ist damit ein zentraler Hirnstammschaltkern der extrapyramidalen Motorik.
- **Fasciculus longitudinalis posterior** (= hinteres Längsbündel): Diese in beiden Richtungen – also auf- und absteigend – organisierte Bahn verschaltet „das Vegetativum". Der Hypothalamus als oberstes vegetatives Kontrollzentrum verschaltet parasympathische Kerne untereinander und mit dem Geschmackskern. Gleichzeitig gibt es Kollateralen auf die motorischen Hirnnervenkerne, die Kauen, Schlucken, Saugen und Würgen ermöglichen; *reflektorischer* Zugriff auf diese Funktionen über die motorischen Kerne V, VII, Nucleus ambiguus (für die Hirnnerven IX und X), XII. Die Bahn kreuzt ausgiebig (hier nicht dargestellt).
- **Fasciculus longitudinalis medialis** (= mittleres Längsbündel): Diese funktionell uneinheitliche Bahn – ebenfalls in beide Richtungen organisiert – verschaltet einerseits motorische Kerne der Okulomotorik (III, IV, VI) und der Kopfmotorik (XI, Vorderhorn C1–C4) mit Nuclei vestibulares (Gleichgewicht) für Blickfolgebewegungen, andererseits aber auch motorische Hirnnervenkerne für Kauen, Schlucken, Saugen (*willkürlicher* Zugriff auf diese Funktionen). Diese motorischen Hirnnervenkerne sind somit in beide Faszikel eingeschaltet. Die Bahn kreuzt ausgiebig (hier nicht dargestellt).
- **Tractus tectobulbaris:** Diese kreuzende Bahn entspringt dem Nucleus colliculi superioris (im Tectum mesencephali) und projiziert auf die motorischen Augenmuskelkerne und die Formatio reticularis für die *reflektorische* Blickmotorik.

2.13 Projektionen der Retina



Das optische System dient der Verarbeitung optischer Reize. Dies beinhaltet nicht nur die bewusste Wahrnehmung von Seheindrücken, sondern umfasst 5 unterschiedliche funktionelle Wege, deren gemeinsamer Ausgangspunkt die Retina, ein Abkömmling des Diencephalon, ist:

Retinothalamo (= retinogenikulo-) kortikaler Weg („sog. Sehbahn")

Vermittelt bewusste Wahrnehmung und Verarbeitung eines Seheindrucks (Farbe, Form, Größe, Position, Bewegung etc. eines Objekts),

- morphologisch größter Teil des optischen Systems;
- führt über den *Thalamus* (4. Neuron im Corpus *geniculatum* laterale; 1.–3. Neuron in der Retina) zum primären visuellen *Cortex* (= primäre Sehrinde); endet dort ober- und unterhalb des Sulcus calcarinus in der gestreiften Rinde (Area striata) von Cuneus und Gyrus lingualis;
- von der primären Sehrinde ziehen Assoziationsbahnen zu sekundären und tertiären Sehrindenabschnitten zur weiteren Verarbeitung komplexer Seheindrücke (nicht dargestellt).

Retinoprätektaler Weg

- vermittelt durch Kontrolle der viszeromotorischen Innervation die von der glatten Muskulatur gesteuerte Motorik von Pupille und Linse;
- führt zur *Area pretectalis,* einem Kerngebiet kranial der Colliculi superiores des Mittelhirns, das topografisch zum Diencephalon (Epithalamus) gerechnet wird;
- die Area pretectalis projiziert auf den parasympathischen Edinger-Westphal-Kern im Mittelhirn und über das zentrale Höhlengrau des Hirnstamms (Substantia grisea centralis) auf Sympathikusneurone im Rückenmark (C8–Th1); dabei vermittelt der Edinger-Westphal-Kern die Pupillenengstellung (Miosis) und die durch Muskeln herbeigeführte verstärkte Krümmung der Linse (Akkommodation für Nahbereich), die Sympathikusneurone die muskuläre Weitstellung der Pupille (Mydriasis);
- die Area pretectalis steht so funktionell im Zentrum zweier Schaltkreise: einem *ohne* Einschaltung von Thalamus und Sehrinde (= retinoprätektaler Weg) und einem *mit* Einschaltung der Sehrinde (= kortikoprätektale Schleife); über den 1. Weg läuft die Information über die in das Auge einfallende *Lichtmenge,* die zur Weiter- oder Engerstellung der Pupille führt. Diese Reaktion kann man – da die telenzephale Sehrinde nicht beteiligt ist – auch am *bewusstlosen* Patienten auslösen; über den 2. Weg laufen die Informationen über die *Bildschärfe,* die zur Nah-Fern-Einstellung der Linse (und damit zur Scharfstellung des Bildes) führt. Dies erfordert ein Erfassen der aktuellen Bildschärfe durch die telenzephale Sehrinde, so dass diese Reaktion nur am *bewusstseinsklaren* Menschen funktioniert.

Retinotektaler Weg

- dient der sog. reflektorischen Blickfolge und Blickeinstellung;
- führt über die Colliculi superiores im Mittelhirndach (*Tectum* mesencephali) und über den Tractus *tecto*spinalis bzw. *tecto*bulbaris zu motorischen Neuronen, die verschiedene quergestreifte Muskeln aktivieren; mit diesen können Kopfwende- bzw. Augenbewegungen durchgeführt werden. Dadurch ist es möglich, dass bei bewegtem Objekt und/oder Betrachter Kopf und Augen dem Objekt automatisch so „nachgeführt" werden, dass dessen Bild immer auf die Stelle schärfsten Sehens beider Augen fällt.

Akzessorischer optischer Weg

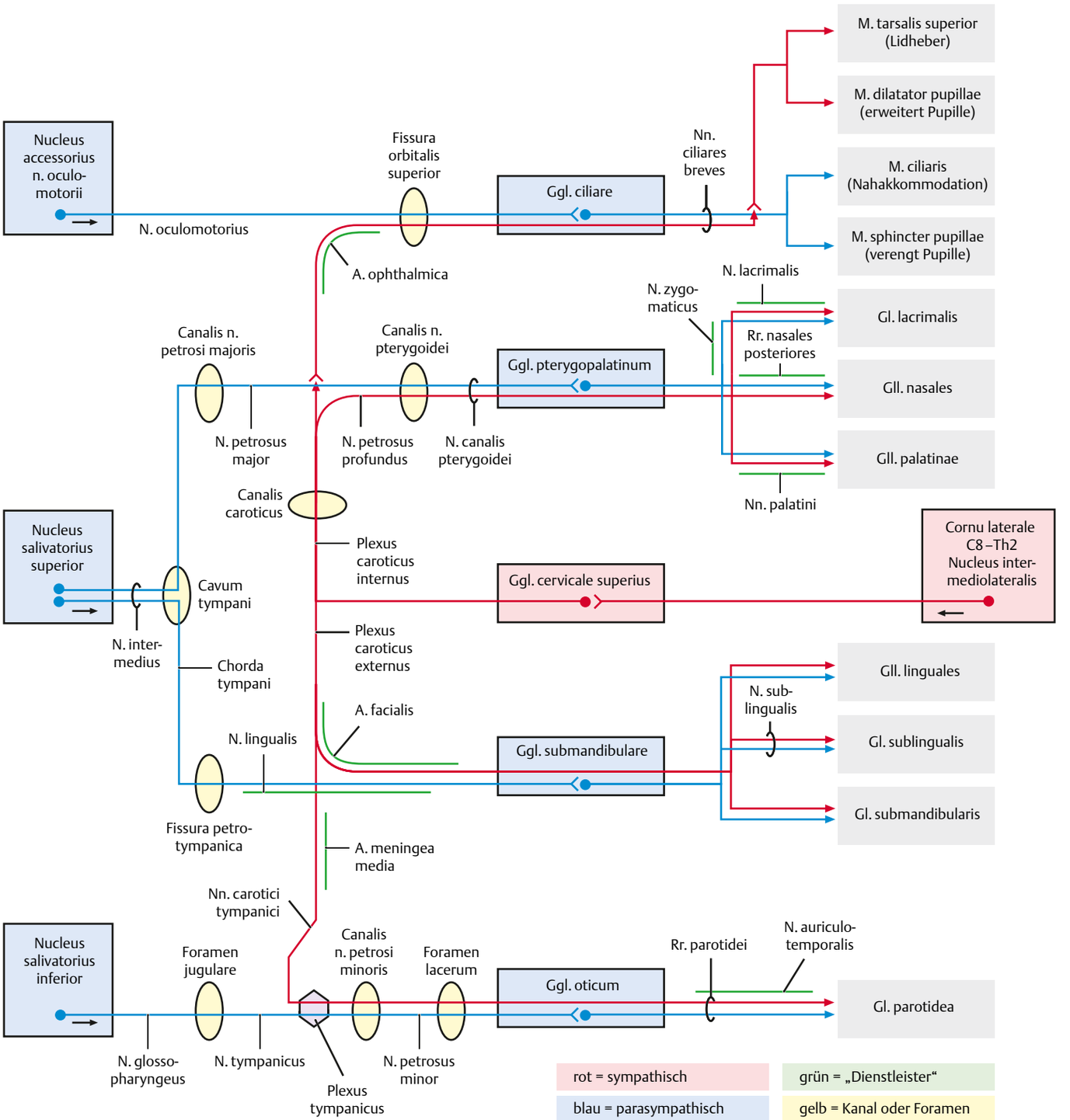
Verschaltet Seheindrücke über das Mittelhirn mit dem Vestibularsystem (Messung von Bewegungen des Kopfes). So werden z. B. Gleichgewicht und Augenbewegungen miteinander koordiniert (z. B. reflektorische Kompensationsbewegung der Augen bei Kopfdrehung). Der akzessorische optische Weg ist damit eine Unterstützung (= akzessorisch) des retinotektalen Wegs.

Retinohypothalamischer Weg

Beeinflusst über die Messung des täglichen Lichteinfalls („Lichtmenge") innere Rhythmen des Körpers (z. B. Tag-Nacht-Rhythmus). Über den Hypothalamus wird über mehrere Schaltstellen die Epiphyse erreicht (Melatoninproduktion und -ausschüttung).

Beachte: Im Chiasma opticum kreuzen die Axone, die von den nasalen Abschnitten der Retina kommen (ca. 48 % aller Fasern). Somit gelangen für alle o. g. Wege Axone beider Augen an die jeweiligen Schaltstationen, die Information wird also bilateral verarbeitet. In diesem Schema ist aus Gründen der Übersicht lediglich das Chiasma opticum als Kreuzungsstelle zwischen N. opticus und Tractus opticus eingezeichnet. Kreuzende Fasern selbst sind nicht dargestellt.

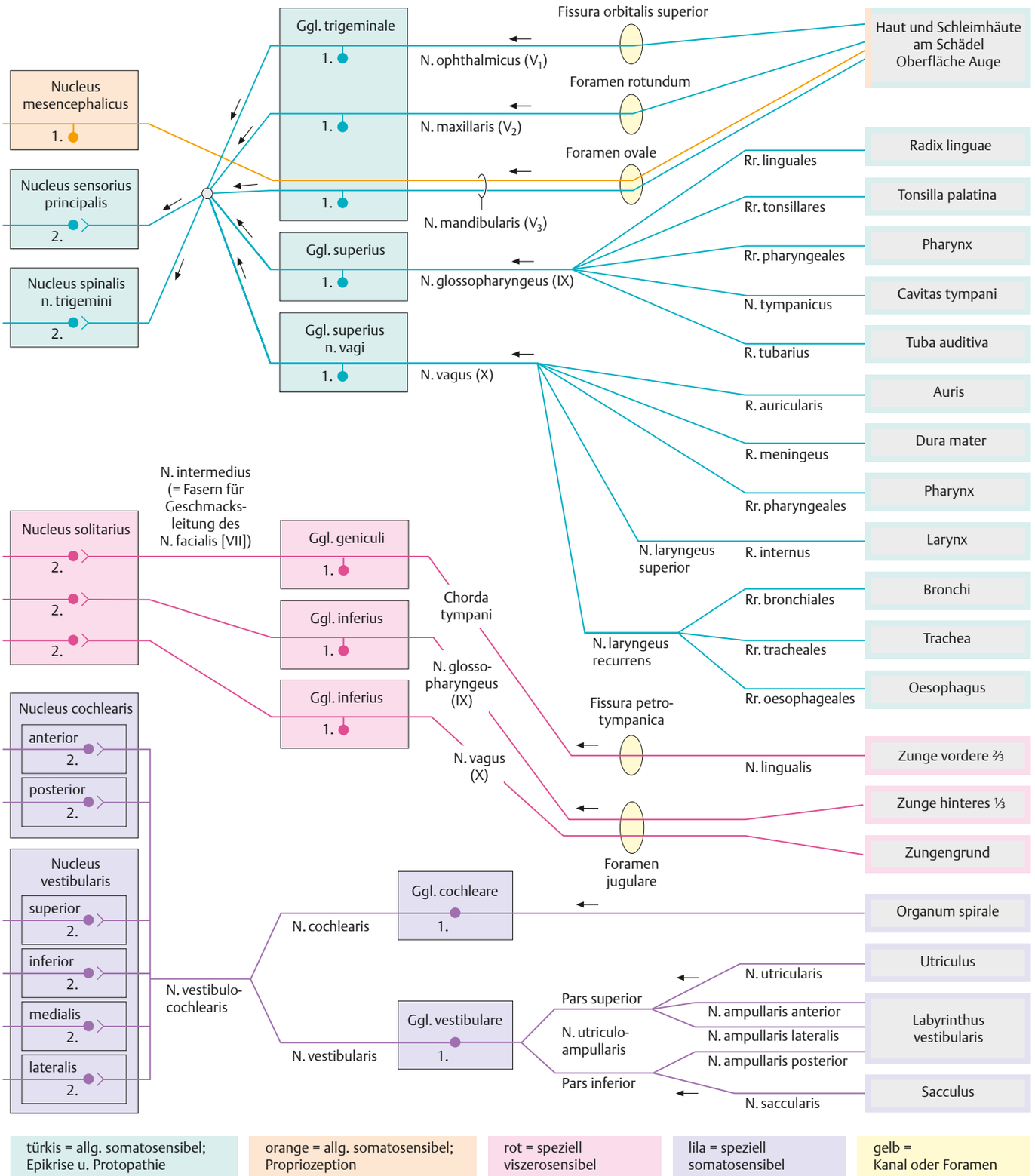
2.14 Vegetative und sensible Ganglien am Kopf



A Vegetative Ganglien am Kopf

Vegetative und sensible Ganglien am Kopf lassen sich leicht verwechseln. Deshalb sind hier beide im Überblick dargestellt, zusammen mit der Richtung, in die die jeweiligen Ganglien Impulse leiten (s. Richtungspfeile).

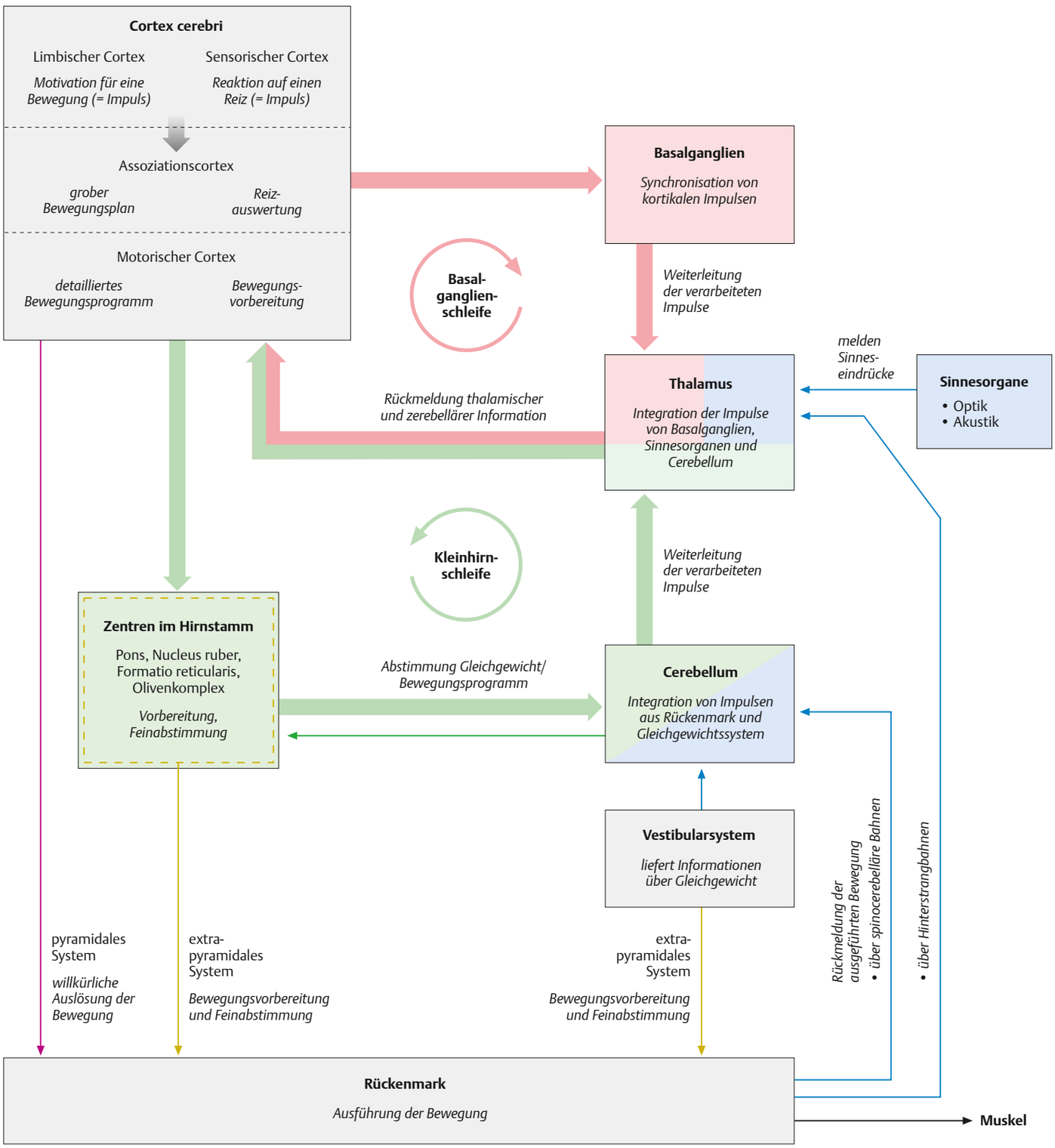
Die vegetativen Ganglien des Kopfes sind immer parasympathisch. In ihnen schalten die Fasern aus dem 1. efferenten Neuron im Hirnstamm auf die Perikarya des 2. efferenten Neurons um, dessen Fasern zum Erfolgsorgan ziehen. Auf diesem Weg zum Erfolgsorgan nutzen die sehr dünnen und damit mechanisch sehr empfindlichen Fasern andere Strukturen, an die sie sich als „Dienstleister“ anlagern. Das können z. B. Blutgefäße oder auch andere Nerven sein, die in die gleiche Region ziehen wie die vegetativen Fasern, obwohl sie andere Aufgaben haben. Eben dies ist zunächst verwirrend. Darum sind hier die vegetativen Fasern blau (parasympathisch) bzw. rot (sympathisch) dargestellt, die „Hauptfasern“, die nichts mit den vegetativen Fasern zu tun haben, dagegen grün. Alle genannten Strukturen treten am Schädel durch bestimmte Öffnungen (Kanäle und Foramina) hindurch, diese sind gelb markiert.



B Sensible Ganglien am Kopf

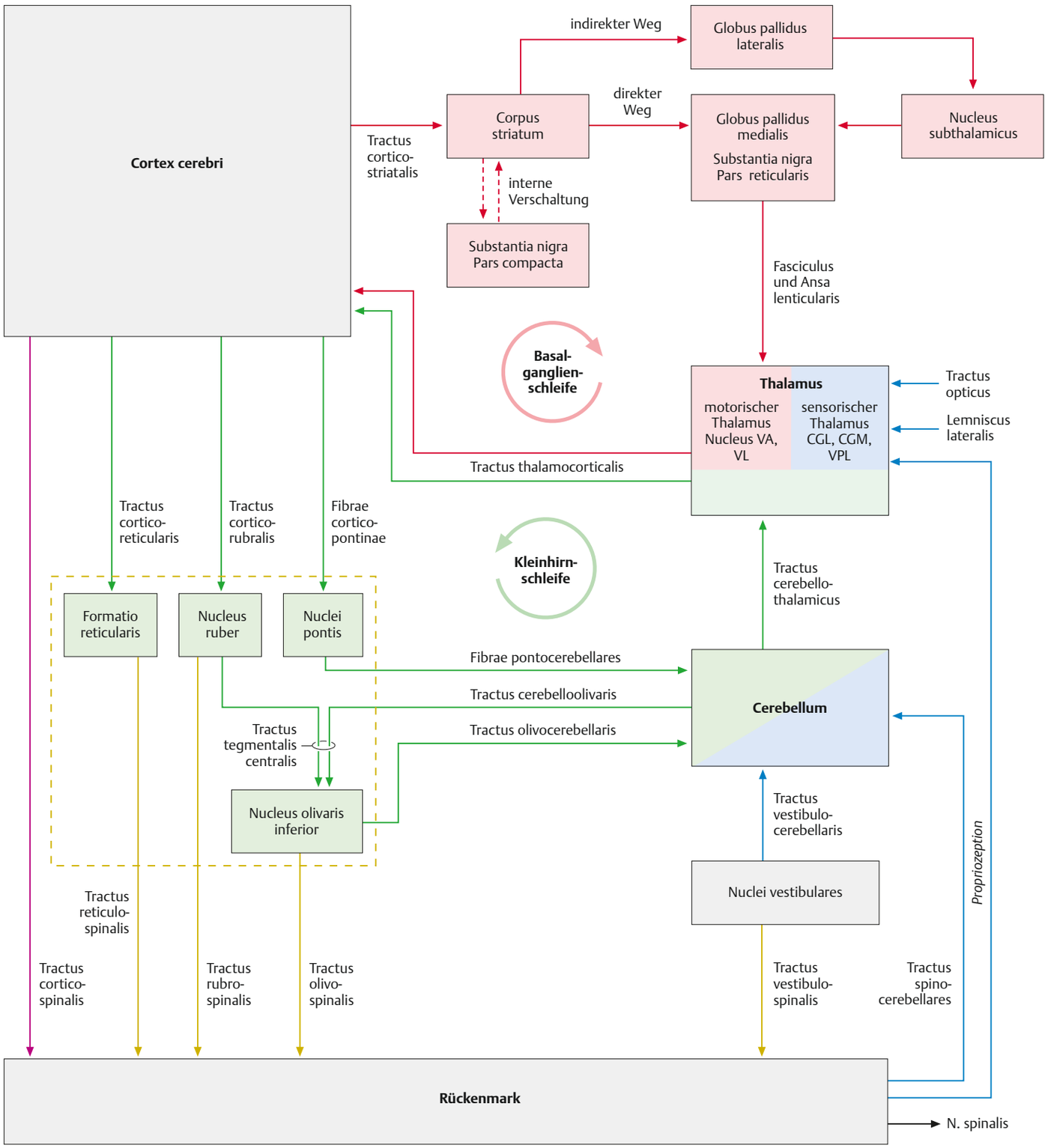
Im Unterschied zu den vegetativen Ganglien findet in den sensiblen Ganglien keine Umschaltung statt. Die sensiblen Ganglien enthalten die Perikarya der pseudounipolaren oder bipolaren (N. vestibulocochlearis) Nervenzellen (= primärafferentes Neuron). Ihr peripherer Fortsatz kommt von einem Rezeptor, ihr nach zentral gerichteter Fortsatz endet im ZNS. Nimmt man z. B. den N. glossopharyngeus, so leitet dieser u. a. Geschmacksinformationen aus dem hinteren Drittel der Zunge, die Fasern ziehen durch das Ganglion inferius und enden im ZNS im Nucleus solitarius. Diese Informationen sind *speziell viszerosensibel* (hier rot dargestellt). Der N. glossopharyngeus leitet aber auch Informationen aus dem Pharynx, in diesem Fall *allgemein somatosensible*, seine Fasern ziehen dann durch das Ganglion superius und enden im Nucleus spinalis n. trigemini, an dem protopathische Information mehrerer Hirnnerven (also nicht nur des namengebenden N. trigeminus!) verschaltet wird. Temperatur- und Schmerzempfindung des Rachens (sehr heißes Getränk!) kann so über den N. glosspharyngeus erfasst werden. Auch der N. vagus leitet (über sein Ganglion superius n. vagi) protopathische Information (überwiegend Schmerz) aus dem Larynx an den Nucleus spinalis n. trigemini (Schmerzen bei Kehlkopfentzündung).

2.15 Verschaltung der Motorik



Links sind die Funktionen der Neuronen und Bahnen und ihr Zusammenwirken im Überblick dargestellt, rechts die Bahnstrukturen und Kerne im Einzelnen.

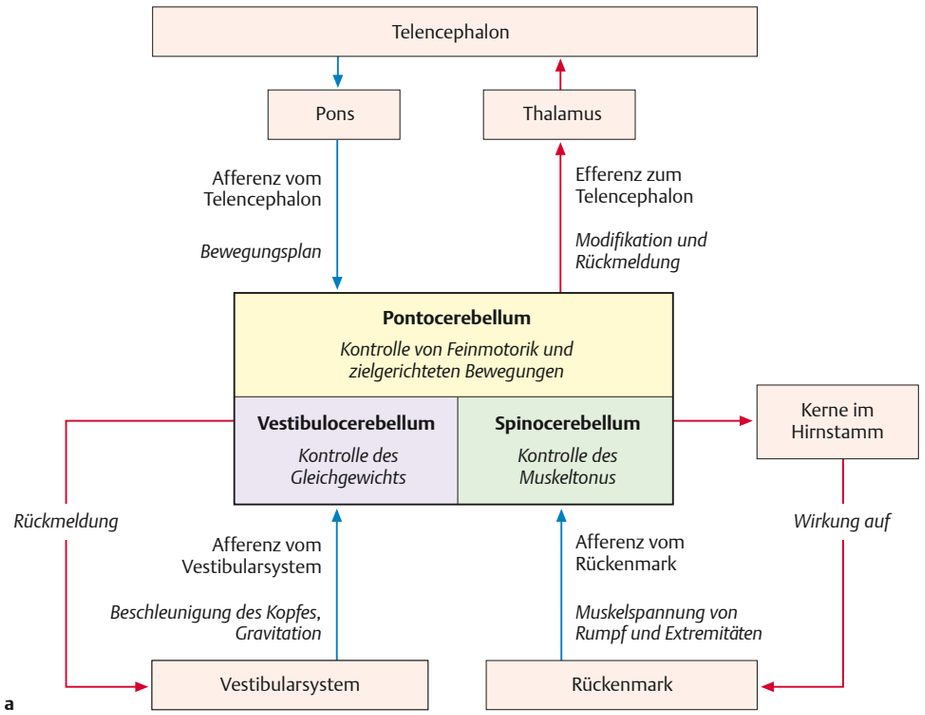
Beachte: Der Cortex ist Ausgangs- und Zielpunkt von 2 Schleifen, der Basalganglien- und der Kleinhirnschleife. In beide Schleifen ist obligat der Thalamus („motorischer Thalamus") eingeschaltet. Er nimmt Impulse der Basalganglien und des Cerebellum auf und sendet das integrierte Impulsmuster an den motorischen Cortex. Gleichzeitig empfängt der Thalamus Signale aus den Sinnesorganen („sensorischer Thalamus"). Sind diese Signale für die Bewegung relevant, werden sie vom Thalamus in das Impulsmuster eingespeist. Der Thalamus ist somit das zentrale Integrationszentrum für beide Schleifen und für den sensorischen Input.

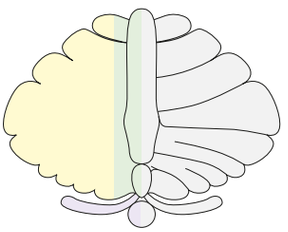


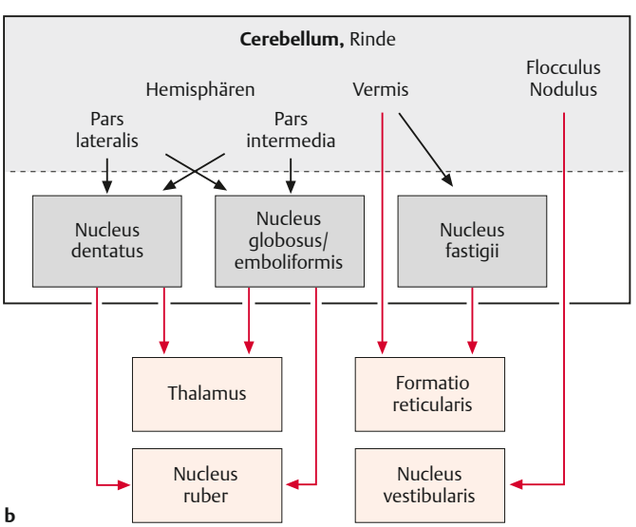
Die thalamischen Impulse führen im motorischen Cortex schließlich zu einem „fertigen“ detaillierten Bewegungsprogramm. Dieses wird zur Feinregulation an Hirnstammzentren (Nucleus ruber, Formatio reticularis, untere Olive) geschickt. Der Nucleus olivaris inferior ist dabei ein besonders wichtiger „Ausgang“ aus der Kleinhirnschleife Richtung Rückenmark. Ausgelöst wird die Bewegung letztlich durch Impulse des motorischen Cortex (ganz überwiegend Gyrus precentralis), die über die Pyramidenbahn (Tractus pyramidalis, hier Tractus corticospinalis) das Rückenmark erreichen (willkürliche Auslösung).

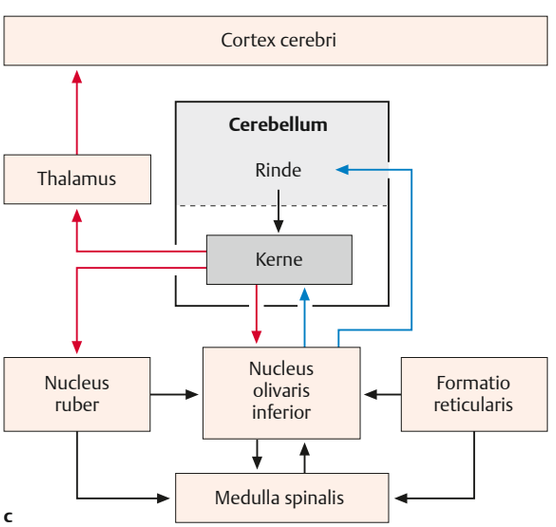
Das Rückenmark selbst führt die Bewegung aus und meldet den Impuls über den N. spinalis an den relevanten Muskel. Über spinozerebelläre Bahnen meldet das Rückenmark die „Ausführung der Bewegung“ an das Kleinhirn zurück, das diese Information für die stetig erneut erforderliche Berechnung des Gleichgewichtes nutzt. Das Kleinhirn hat keinen direkten Zugriff auf das Rückenmark, kann aber indirekt über den Nucleus olivaris inferior auf das Rückenmark einwirken.

2.16 Verschaltungen des Kleinhirns (Cerebellum)







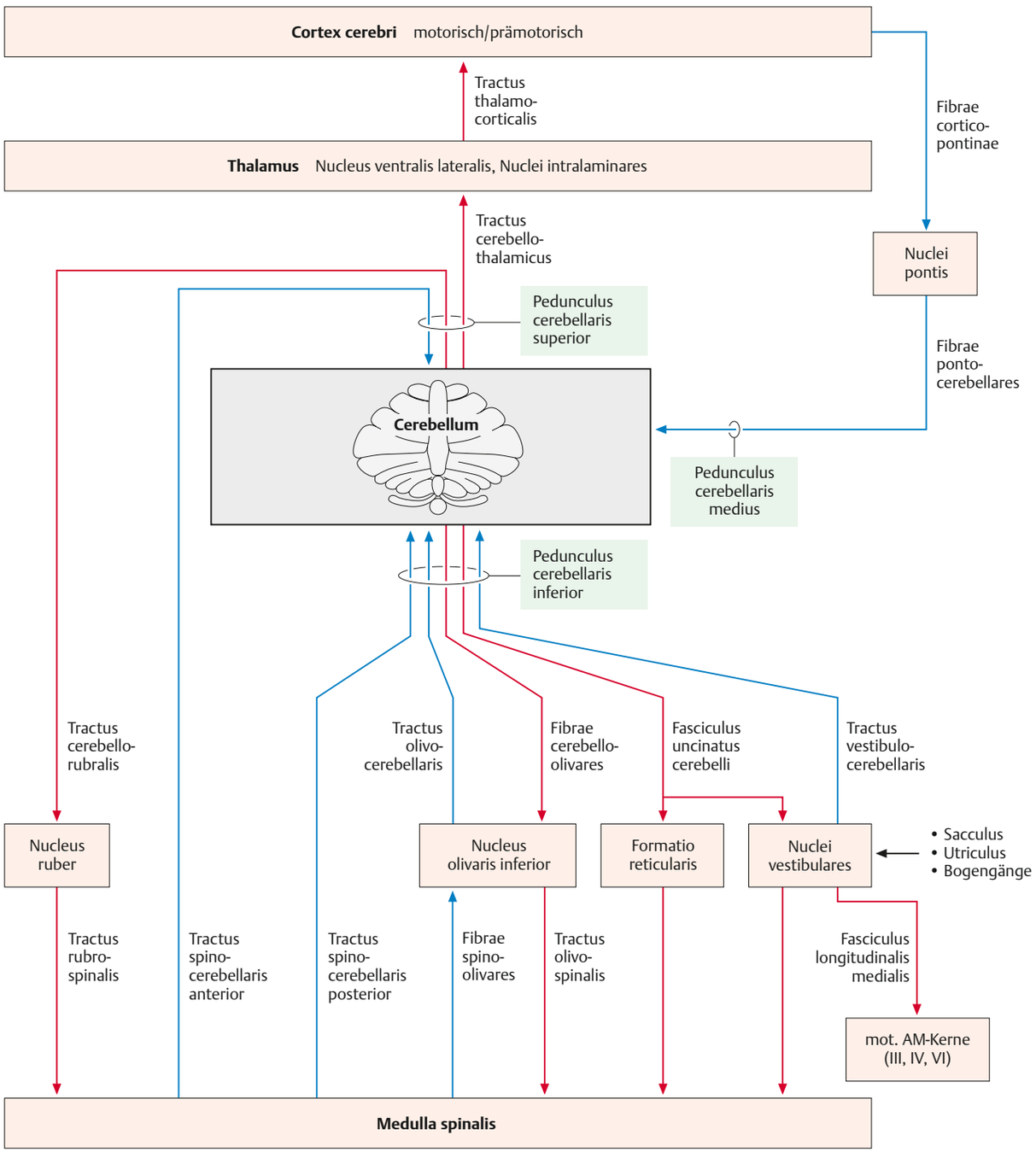


Die funktionelle Einteilung des Cerebellum in Ponto-, Spino- und Vestibulocerebellum (**a**) berücksichtigt die **Hauptafferenzen zum Kleinhirn:**

- vom Telencephalon (über Pons) für die Feinmotorik im Rahmen eines Bewegungsplanes,
- vom Rückenmark für die Regulation des Muskeltonus und
- vom Vestibularsystem für die Kontrolle von Lage und Beschleunigung des Kopfes.

Rückmeldeschleifen des Kleinhirns existieren direkt zum Vestibularsystem und indirekt über den Thalamus zum Telencephalon und über Hirnstammkerne zum Rückenmark.

Die **Haupteferenzen des Kleinhirns** (**b**) gehen überwiegend nicht von der Rinde aus, sondern von Kernen, die jeweils überwiegend einem bestimmten Rindenbezirk zugeordnet sind. Diese Kerne projizieren ihrerseits auf den Thalamus oder auf Kerngebiete im Hirnstamm. Eine besondere Rolle nimmt dabei der Nucleus olivaris inferior im Hirnstamm ein (**c**): Er projiziert sowohl auf das Kleinhirn als auch auf das Rückenmark und erhält seinerseits Afferenzen von beiden Gebieten. Zusätzlich erhält die Olive Afferenzen von anderen Hirnstammkernen (Nucleus ruber und Formatio reticularis). Die Olive integriert somit zerebelläre und spinale Impulse. Ziel dieser komplexen Verschaltung ist letztlich, dass das Kleinhirn indirekt – und zwar über die Kerne des Hirnstamms – die motorische Aktivität des Rückenmarks zum Erhalt des Gleichgewichts und für die Fein- und Zielmotorik steuern kann.



Bahnsysteme des Kleinhirns

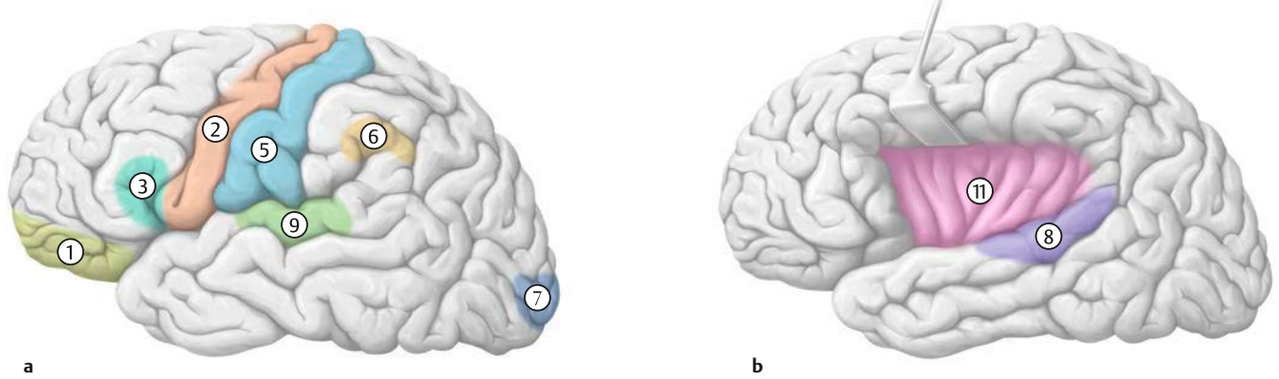
Alle Bahnen von und zum Kleinhirn ziehen über einen der drei Kleinhirnstiele (Pedunculi cerebellares). Der mittlere Kleinhirnstiel führt nur Afferenzen. Alle **Afferenzen** enden an der Rinde und zusätzlich mit Kollateralen an Kleinhirnkernen (hier nicht gesondert dargestellt); histologisch gehört die olivozerebelläre Bahn als einzige zum sog. Kletterfasertyp (zu den Purkinje-Zellen der Rinde), alle (!) anderen Afferenzen enden als sog. Moosfasertyp (an den Körnerzellen der Rinde). Die **Efferenzen** des Kleinhirns gehen ganz überwiegend von den Kernen aus (s. linke Seite, **b**) und ziehen einerseits zum Thalamus (Rückmeldeschleife an das Telencephalon (s. linke Seite, **a**), andererseits zu Kernen des Hirnstamms, die ihrerseits mit sog. extrapyramidalen Bahnen auf das Rückenmark projizieren und somit die Motorik steuern (vgl. „Tractus pyramidalis“ und „Bahnen im Hirnstamm“). Durch die Projektion der Vestibulariskerne auf die Kerne der Augenmotorik wird eine bei Bewegungen des Kopfes sinnvolle Kompensationsbewegung der Augen gesteuert.

Beachte: Eine direkte Projektion des Kleinhirns auf das Rückenmark ist beim Menschen bisher nicht nachgewiesen worden.

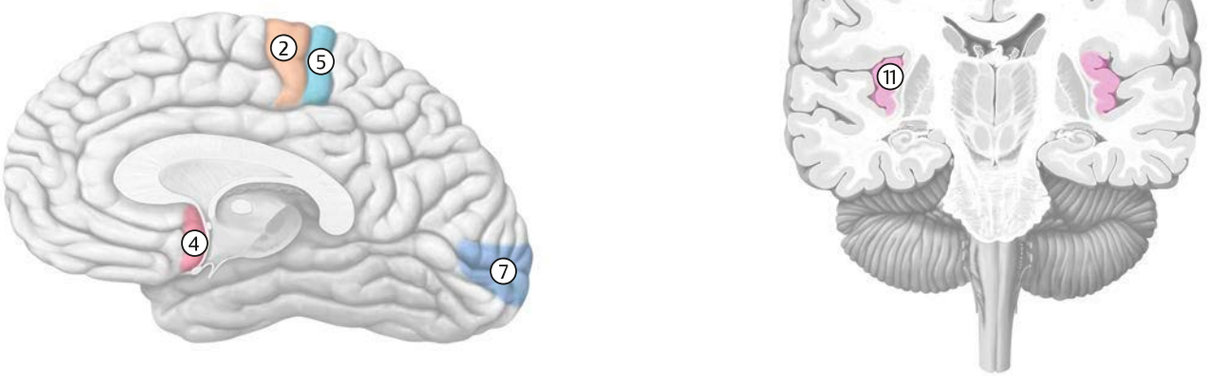
2.17 Funktionelle Cortexareale

A Funktionelle Cortexareale

Lappen	Funktionelle Spezialisierung	Lokalisation	Ausfallsymptome
Lobus frontalis	Persönlichkeit	① Lobus frontalis, basale Windungen	Antriebsarmut; verminderte Fähigkeit zu zielgerichtetem Verhalten; Witzelsucht („Stirnhirnsyndrom“)
	Somatomotorik (primärer Motorcortex)	② Gyrus precentralis	kontralaterale Lähmungen; Ausfälle abhängig von der Lokalisation einer Störung auf der Rinde („motorischer Homunculus“)
	motorisches Sprachzentrum (Broca)	③ Gyrus frontalis inferior (Pars opercularis; Pars triangularis); einseitig (dominante Hemisphäre, meist links)	motorische Aphasie/Broca-Aphasie: Unfähigkeit zur Formulierung mehr oder weniger komplizierter Sätze und Satzfolgen
	Riechrinde	④ Substantia perforata anterior, Gyrus ambiens, Gyrus semilunaris	Anosmie
Lobus parietalis	Somatosensorik (primärer sensorischer Cortex)	⑤ Gyrus postcentralis	Ausfall des Tastempfindens, der Temperaturwahrnehmung und/oder der Schmerzlokalisation
	abstraktes (nicht bildhaftes) Denken; Lesen	⑥ Gyrus angularis und Gyrus supramarginalis; einseitig (dominante Hemisphäre)	abstraktes Denken, Lesen, Rechnen nicht möglich
Lobus occipitalis	Sehrinde (primärer visueller Cortex)	⑦ oberhalb und unterhalb des Sulcus calcarinus im Cuneus und Gyrus lingualis	halbseitiger Gesichtsfeldausfall (homonyme Hemianopsie) auf der Gegenseite oder kontralateraler Quadrantenausfall
Lobus temporalis	Hörrinde (primärer auditorischer Cortex)	⑧ Gyri temporales transversi (Heschl)	nur bei beidseitiger Schädigung: Hörwahrnehmung gestört
	sensorisches Sprachzentrum (Wernicke)	⑨ Gyrus temporalis superior	sensorische Aphasie/Wernicke-Aphasie: Unfähigkeit, Sätze oder Satzfolgen zu verstehen
Lobus limbicus	Lernen, Gedächtnis, emotionale Reaktion	⑩ Hippokampusformation	nur bei beidseitiger Schädigung: Störung des expliziten Gedächtnisses; ggf. inadäquate emotionale Reaktionen
Insula	gustatorische Rinde	⑪ Gyri insulae	ggf. Ageusie



B Linke Großhirnhemisphäre
a Ansicht von lateral; **b** Ansicht von lateral, Sulcus lateralis durch Haken aufgespreizt.



C Rechte Großhirnhemisphäre
Ansicht von medial.

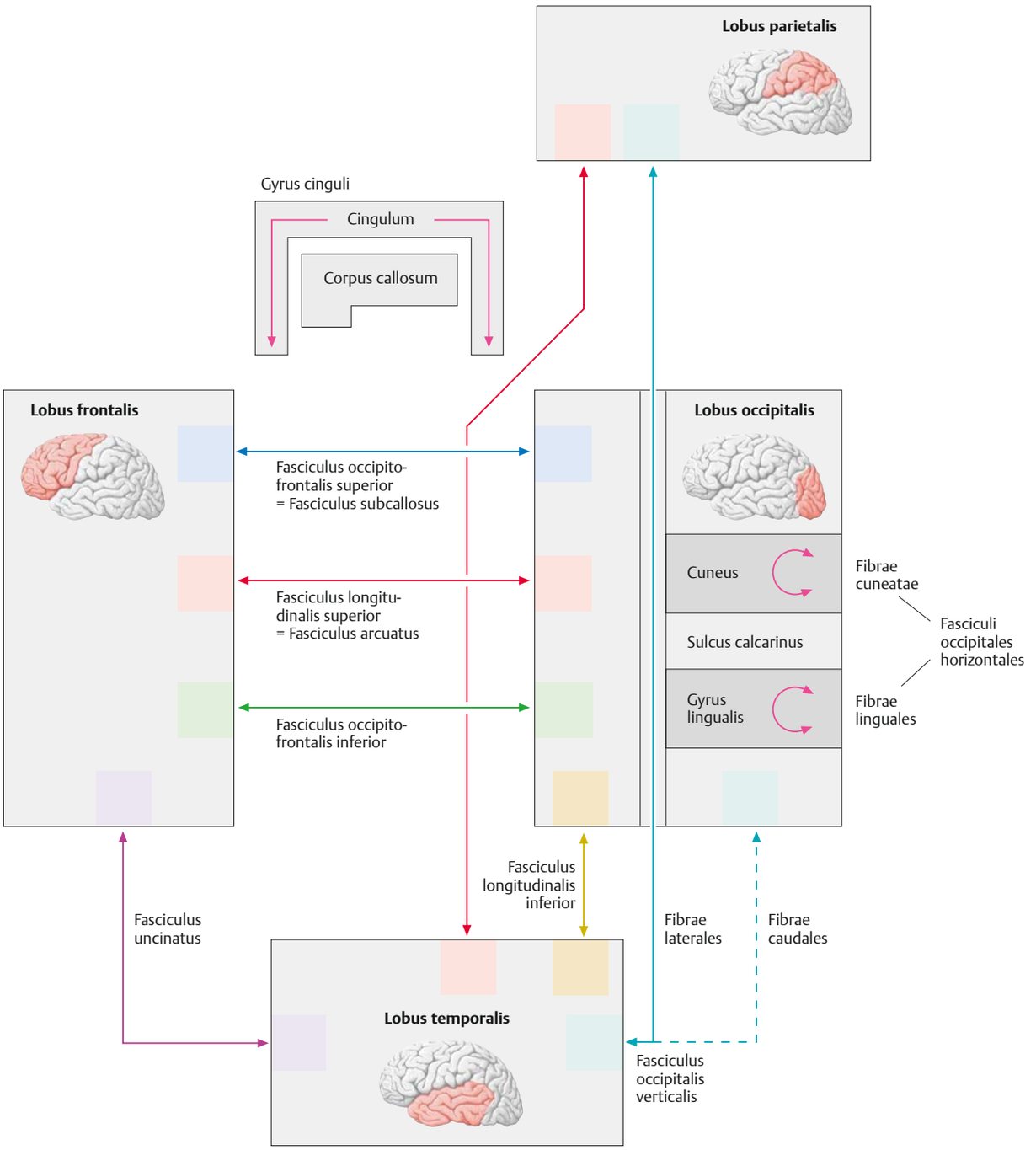
D Frontalschnitt durch das Großhirn
Ansicht von vorne.



E Rostrale Teile der Großhirnhemisphären
Ansicht von basal.

F Linke Hippokampusformation
Ansicht von vorne, links und oben.

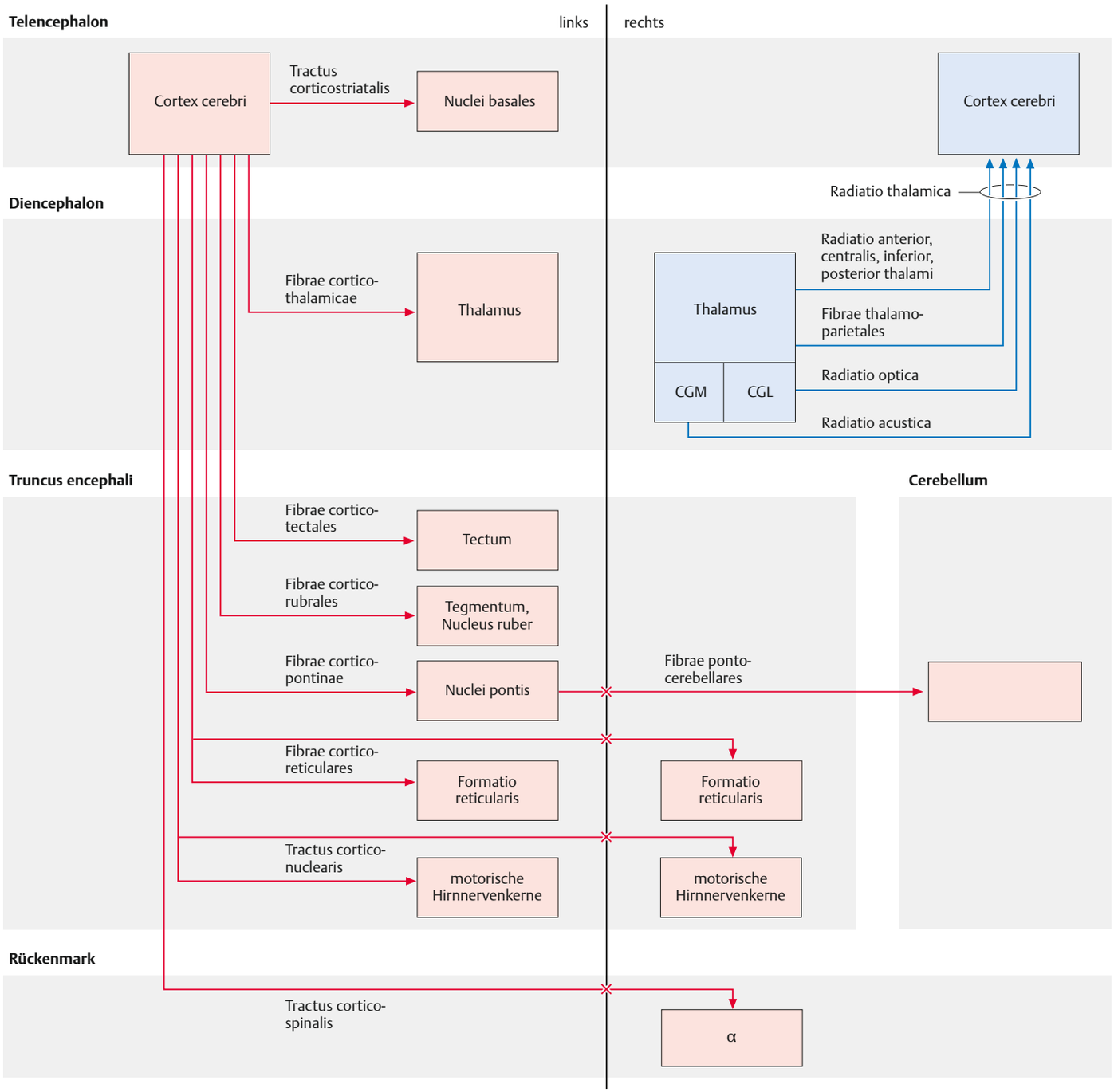
2.18 Assoziations- und Projektionsbahnen



A Assoziationsbahnen (Fibrae associationes telencephali)
Assoziationsbahnen verknüpfen unterschiedliche Gehirnfunktionen, um z. B. die Einheitlichkeit der Empfindung von visuellem und akustischem Eindruck herzustellen. Obwohl solche funktionellen Verknüpfungen in allen Abschnitten des ZNS stattfinden, ist der Begriff „Assoziationsbahn" auf Bahnen im Telencephalon beschränkt. Dort verbinden Assoziationsbahnen unterschiedliche Kortexareale in der gleichen Hemisphäre, sie *kreuzen also nie.* Unterschieden werden drei Verläufe:

- Fibrae *arcuatae* (hier nicht dargestellt) verbinden unmittelbar benachbarte Windungen,
- Fibrae associationes *breves* verbinden Areale innerhalb eines Lobus (hier nur die Fibrae occipitales horizontales, die mediale mit lateralen Abschnitten des Lobus occipitalis verbinden),
- Fibrae associationes *longae* verbinden Kortexareale in unterschiedlichen Lobi. Diese Fibrae erhalten immer Eigennamen.

Beachte: Die Fasciculi occipitales verticales verbinden mit ihren Fibrae laterales Temporal- und Parietallappen und durchziehen den Okzipitallappen.



B Projektionsbahnen

Bahnverlauf und Projektion:

- kortikofugale (motorische) Projektionsbahnen (rot) *können* ungekreuzt verlaufen, kreuzen jedoch meist. Motorische Impulse des Cortex cerebri laufen daher zu *kontralateralen* subkortikalen Zentren und beeinflussen die Motorik der kontralateralen Körperhälfte;
- kortikopetale (sensible) Projektionsbahnen (blau) *kreuzen nie,* erreichen also den Cortex cerebri nur vom ipsilateralen Thalamus aus. Dieser wird aber seinerseits von Bahnen untergeordneter Zentren erreicht, die meist *kontralateral* liegen. Sensible Impulse zum Cortex cerebri stammen damit letztendlich auch überwiegend von der kontralateralen Körperhälfte.

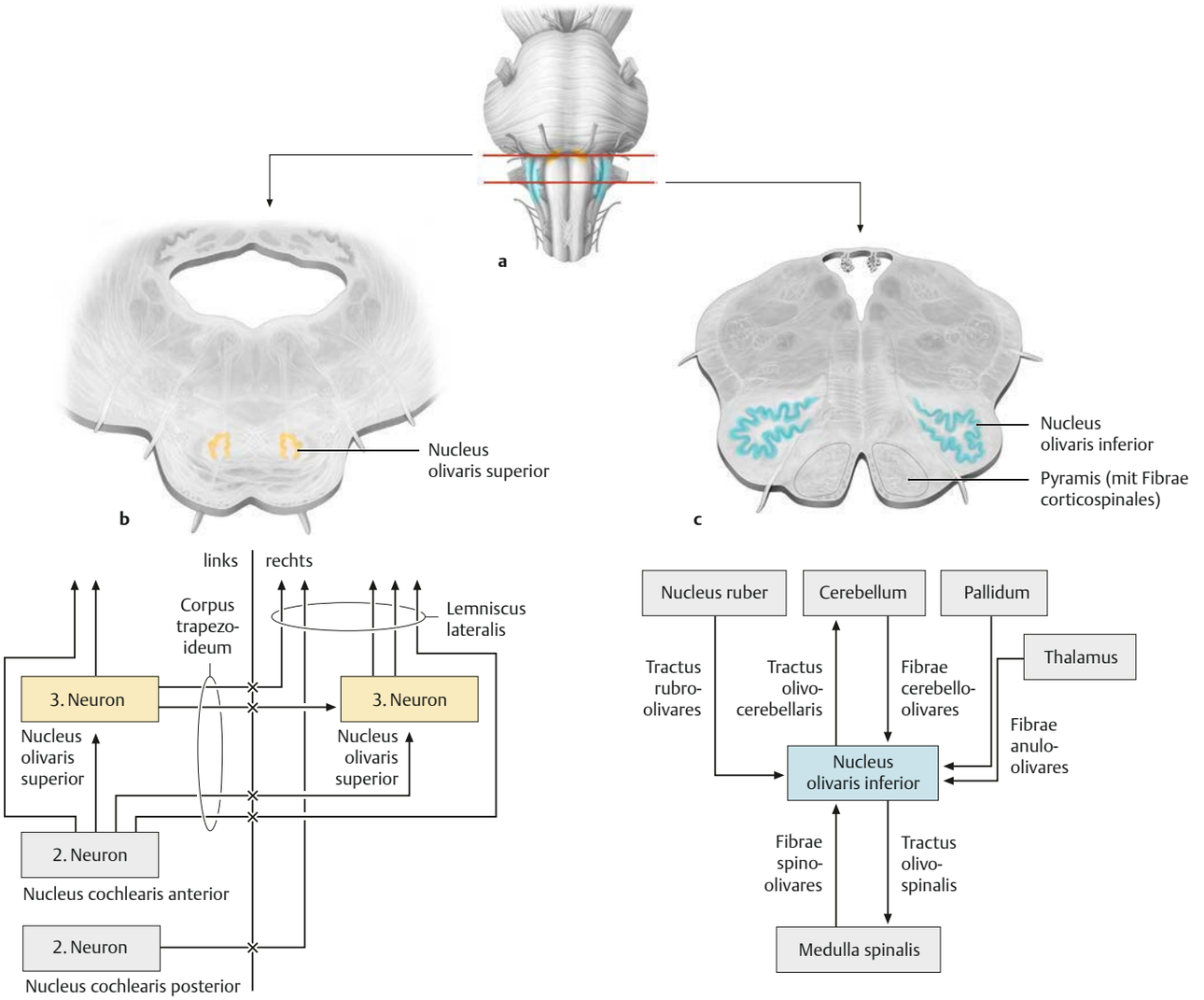
Ausnahmen von diesem Grundprinzip:

- Motorik: kortikale Projektion auf einzelne motorische Hirnnervenkerne (s. S. 526 f u. 528 f),
- Sensibilität: Innervation am Schädel durch den N. trigeminus (s. S. 518),
- Sensorik: Riechbahn, Geschmacksbahn, Hörbahn, Sehbahn (s. jeweiligen Schaltplan).

Folgende **wichtige Bahnen** werden unterschieden:

- im Telencephalon: zu den Basalganglien (Nuclei basales), insbesondere zum Corpus striatum (kortikofugal: Tractus corticostriatalis), hier nicht dargestellt, s. „Verschaltung der Motorik“, S. 536 f,
- im Diencephalon: zum und vom Thalamus (kortikofugal: Fibrae corticothalamicae; kortikopetal: Radiatio thalami),
- zum Hirnstamm: z. B. Fibrae corticopontinae, corticonucleares, corticorubrales, corticoreticulares,
- im Rückenmark: Tractus corticospinalis.

2.19 Obere und untere Olive sowie die vier Lemnisken



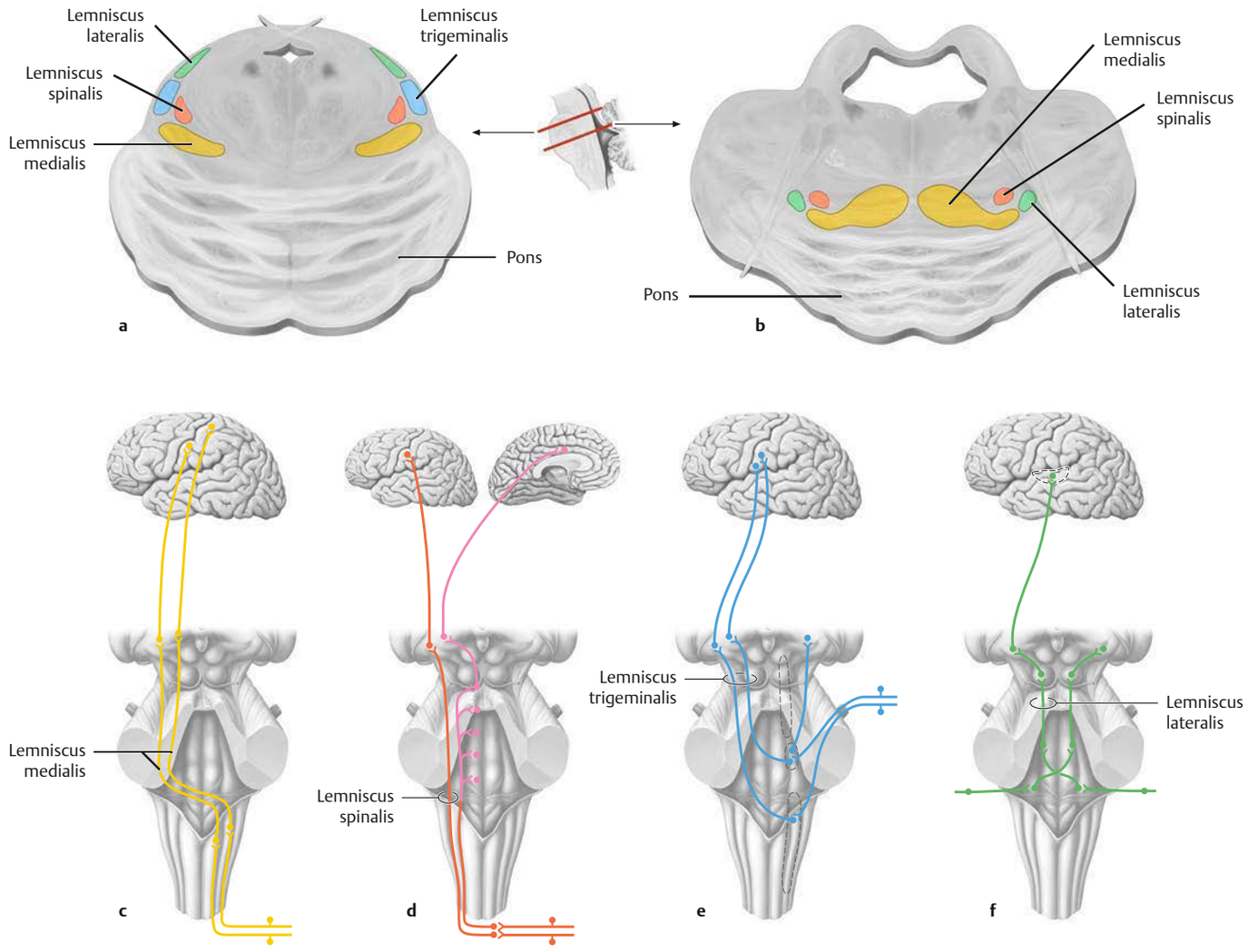
A Definition der Begriffe „Olive", „untere" und „obere Olive" und Verbindungen beider Oliven

a Hirnstamm von ventral; **b** oberer Querschnitt durch die Medulla oblongata nahe dem Pons; **c** unterer Querschnitt durch die Medulla oblongata.

- **Olive** *(Oliva)*: Die Olive ist eine an der Ventralseite der Medulla oblongata deutlich sichtbare *oliven*förmige Ausstülpung, die lateral der Pyramide *(Pyramis)* liegt. Die Bezeichnung „Olive" ist somit ein beschreibender Begriff der Makroskopie (**a**).
- **Obere Olive** *(Nucleus olivaris superior)*: Die obere Olive ist deutlich kleiner als die untere; sie alleine würde keine sichtbare Ausstülpung hervorrufen. Sie liegt im Inneren der Medulla oblongata, mediodorsal und überwiegend kranial der unteren Olive und ist deshalb auf Querschnitten direkt unterhalb des Pons gut zu sehen (**b**). Die obere Olive setzt sich bis in die untersten Abschnitte des Pons fort. Wegen der teilweisen räumlichen Überlappung der unteren und oberen Olive kann man auf Querschnitten gelegentlich beide Kernkomplexe gemeinsam sehen. Obere und untere Olive tragen sehr ähnliche Bezeichnungen und sind topografisch eng benachbart. Funktionell sind sie aber nicht verbunden und müssen streng getrennt werden.
- **Verbindungen der oberen Olive:** Die obere Olive ist ein wichtiger Kern für das Richtungshören und für die Verschaltung des Stapediusreflexes (eines Schutzreflexes im Hörsinn, s. S. 485). Sie erhält Afferenzen vom Nucleus cochlearis anterior (sowohl ipsi- wie kontralateral); beide oberen Oliven sind miteinander verschaltet und projizieren über die *Lemniscus lateralis* genannte Bahn ipsi- und kontralateral auf übergeordnete Kerne der Hörbahn. Zu Einzelheiten s. S. 484 f u. 520.
- **Untere Olive** *(Complexus olivaris inferior; Nuclei olivares inferiores)* (**c**): Die untere Olive ist ein im Inneren der Medulla oblongata gelegener, aus mehreren Kernen bestehender Kernkomplex, der darum oft auch als „unterer Olivenkern*komplex*" bezeichnet wird. Aufgrund seiner Größe ruft der untere Olivenkernkomplex die *„Olive"* genannte Ausstülpung am ventralen Hirnstamm hervor. Nicht alle zum Komplex gehörenden Einzelkerne sind mit bloßem Auge gut sichtbar.

Verbindungen der unteren Olive: Die untere Olive ist in die Koordination der Motorik eingebunden und daher mit anderen, der Motorik dienenden Neuronengebieten ausgiebig verschaltet:

- Tractus olivocerebellaris und cerebelloolivaris: Verbindungen mit dem Kleinhirn,
- Tractus rubroolivaris: Bahn vom Mittelhirn,
- Tractus olivospinalis: Bahn zum Vorderhorn des Rückenmarks,
- Fibrae spinoolivares: Bahn vom Rückenmark,
- Fibrae anuloolivares: Bahn von den Basalkernen und vom Zwischenhirn (zu Einzelheiten s. S. 520 u. 537–539).



B Die vier Lemnisken im Hirnstamm
a u. **b** oberer bzw. mittlerer Querschnitt durch den Pons; **c**–**f** schematisierte Darstellung der vier Lemnisken.
Der Begriff *„Lemniscus" (= Schleife)* bezeichnet den *schleifen*artigen Verlauf von insgesamt vier speziellen *afferenten* Bahnen im Hirnstamm. Ein Lemniscus ist keine „neue" Bahn, sondern die besondere Benennung eines Bahn*abschnitts*. Die spezifische **Bezeichnung der einzelnen Lemnisken** erfolgt

- nach ihrer Lage zueinander im Hirnstamm (Lemniscus medialis und lateralis),
- nach ihrer Herkunft aus dem Rückenmark (Lemniscus spinalis) bzw.
- aus einem Hirnnerv (Lemniscus trigeminalis).

Die Bezeichnungen sind historisch bedingt; ihnen liegt keine Systematik zugrunde. **a** und **b** zeigen auf zwei exemplarischen Querschnitten die jeweilige Lage der Lemnisken. Ein Lemniskus enthält Axone der im ZNS gelegenen 2. Neurone. Er beginnt mit dem Verlauf dieses 2. Axons im Hirnstamm und endet mit dem Eintritt in einen Thalamuskern (Diencephalon). Alle Lemnisken haben gekreuzte Anteile. Die **Lemnisken im Einzelnen:**

- *Lemniscus medialis* (**c**): Fortsetzung des Fasciculus gracilis bzw. cuneatus. 2. Neuron (Nucleus gracilis bzw. cuneatus) schon im Hirnstamm; der ganze Lemniscus kreuzt (Decussatio lemnisci medialis) und endet im kontralateralen Nucleus ventralis posterolateralis des Thalamus. Leitet die epikritische Sensibilität von Rumpf, Extremitäten und Hinterkopf;
- *Lemniscus spinalis* (**d**): Fortsetzung des Tractus spinothalamicus anterior und lateralis. 2. Neuron im Hinterhorn des Rückenmarks; der ganze Tractus kreuzt noch im Rückenmark, so dass der Lemniscus spinalis selbst nicht mehr kreuzt. Er endet im Nucleus ventralis posterolateralis des Thalamus. Der Lemniscus spinalis lagert sich dem Lemniscus medialis so dicht an, dass ein „eigener" Verlauf oft nicht beschrieben wird. Leitet die protopathische Sensibilität von Rumpf, Extremitäten und Hinterkopf.
  Beachte: Der Begriff „Lemniscus spinalis" wird im Gegensatz zu den anderen drei Bezeichnungen nicht oft verwendet; gelegentlich steht er auch als Synonym nur für den Tractus spinothalamicus *lateralis*.
- *Lemniscus trigeminalis* (= Tractus trigeminothalamicus; **e**): Afferenz des N. trigeminus; 2. Neuron (Nucleus pontinus bzw. spinalis) im Hirnstamm; *kreuzt nur zum Teil* und endet im kontra- und (!) ipsilateralen Nucleus ventralis posteromedialis des Thalamus. Leitet die epikritische und protopathische Sensibilität des Kopfes (ohne Hinterkopf). Besonderheit: teilt sich in einen Tractus trigeminothalamicus *anterior* (gekreuzter Anteil) und *posterior* (ungekreuzter Anteil). Aufgrund einer Sonderrolle, die an anderer Stelle besprochen wird, ist der Nucleus mesencephalicus in dieser Abbildung nicht in die Trigeminusbahn eingeschaltet.
- *Lemniscus lateralis* (**f**): Hörbahn. 2. Neuron (Nucleus cochlearis anterior) im Hirnstamm; hat gekreuzte und ungekreuzte Anteile und endet im kontra- und ipsilateralen *Nucleus geniculatus medialis* (Corpus geniculatum mediale) des Thalamus. Leitet die Information des Hörorgans. *Besonderheit:* in den Lemniscus sind „eigene Kerne" (Nuclei lemnisci lateralis) als Schaltstationen der Hörbahn eingefügt. Umschaltung im Mesencephalon: Nucleus colliculi inferioris.

2.20 Links-rechts-Verschaltungen im ZNS: Kommissuren und Kreuzungen

A Kommissuren (Commissurae)
Beachte: Kommissuren verbinden spezifische Areale links im ZNS mit den analogen Arealen rechts und umgekehrt, verschalten also z. B. spezielle Anteile der Sehrinde links und rechts miteinander. Eine Kommissur zieht somit per definitionem auf die andere Seite, also nach kontralateral. Der Begriff Kommissur wird dabei üblicherweise für die gesamte Bahn verwendet. Die Stelle, an der diese Bahn die Mittellinie überschreitet, trägt keine eigene Bezeichnung. Siehe dazu auch den Begriff „Decussatio".

Bezeichnung der Bahn	Lage/Verlauf	Strukturen, die die Bahn miteinander verbindet
Kommissuren des Endhirns (Telencephalon)		
Corpus callosum • Forceps frontalis (Lobus frontalis) • Forceps occipitalis (Lobus parietalis und occipitalis)	Telencephalon, Dach und Vorderwand der Seitenventrikel	Endhirnhemisphären mit Ausnahme der Temporallappen; diese werden durch die Pars posterior der Commissura anterior miteinander verbunden
Commissura anterior • Pars anterior • Pars posterior	unmittelbar an der Lamina terminalis (Vorderwand des III. Ventrikels)	• Pars anterior: Nuclei olfactorii • Pars posterior: Gyri temporales medius und inferior
Commissura fornicis (= Commissura hippocampi)	Grenze Telencephalon/ Diencephalon, Crus fornicis	linker und rechter Hippocampus über die Fimbria fornicis
Commissura habenularum	Epithalamus, parietal des Recessus pinealis	Verbindung der linken und rechten Nuclei habenularum
Kommissuren des Zwischenhirns (Diencephalon)		
Commissura posterior (= Commissura epithalamica)	zwischen Recessus pinealis und Aquaeductus cerebri	Verbindung zwischen linkem und rechtem Epithalamus
Kommissuren des Hirnstamms (Truncus cerebri = Medulla oblongata, Pons, Mesencephalon)		
Commissura supraoptica ventralis/dorsalis	zieht teilweise durch das Diencephalon oberhalb des Chiasma opticum	Verbindung zwischen linkem und rechtem Pons und Mesencephalon: die Kommissur läuft also durch das Zwischenhirn, verbindet aber Hirnstammanteile!
Commissura colliculi superioris	Mesencephalon, Tectum	Colliculi superiores
Commissura colliculi inferioris	Mesencephalon, Tectum	Colliculi inferiores
Commissura cochlearis pontis	Pons, Pars tegmentalis (im sog. Corpus trapezoideum)	Nuclei cochleares anteriores
Commissura cerebelli	Cerebellum; Mark; Nähe Nucleus fastigii	Hemisphären des Cerebellum
Bahnen des Rückenmarks (Medulla spinalis)		
Commissura alba anterior/posterior	jeweils zwischen den Vorder- und Hinterhörnern	Verbindung analoger Rückenmarkshälften durch Kommissurenzellen; Teil der Fasciculi proprii
Commissura grisea anterior/posterior	jeweils vor und hinter dem Canalis centralis	Schicht grauer Substanz; keine *funktionelle* Kommissur!

B Kreuzungen (Decussationes)

Beachte: Mit dem Begriff „Decussationes" bezeichnet man Kreuzungen von Bahnen, die nicht zu einer analogen Stelle auf der anderen Seite ziehen, sondern zu einer topografisch anderen Region. So zieht der Tractus pyramidalis von (z. B. der linken) Großhirnhälfte in die (dann rechte) Rückenmarkshälfte. Die Stelle des Seitenwechsels – also das Überschreiten der Mittellinie – liegt bei diesen Bahnen (die als Tractus, Fasciculi, Funiculi oder Fibrae bezeichnet werden) nicht – wie bei den Kommissuren – einfach in der Mitte zwischen linker und rechter analoger Struktur, sondern in der Medianebene des ZNS irgendwo im Verlauf der gesamten Bahn. Deshalb wird der jeweilige Ort der Kreuzung exakt benannt (vgl. dazu den Begriff „Kommissur").

Bezeichnung der Kreuzung	Lage	Bezeichnung der jeweils kreuzenden Bahn/en	Strukturen, die die Bahn/en verbindet/en
Decussatio tegmentalis anterior (ventrale Haubenkreuzung)	Mesencephalon; Tegmentum, Höhe der Colliculi superiores	Fasern des Tractus rubrospinalis	verbindet Nucleus ruber im Mesencephalon mit γ-Motoneuronen im Cornu anterius des Rückenmarks
Decussatio tegmentalis posterior (dorsale Haubenkreuzung)	Mesencephalon; Tegmentum, Höhe der Colliculi superiores	Fasern des Tractus tectospinalis und tectobulbaris	verbindet Colliculus superior mit γ-Motoneuronen im Cornu anterius des Rückenmarks
Decussatio pedunculorum cerebellarium superiorum (Kleinhirnstielkreuzung)	Mesencephalon; Tegmentum, Höhe der Colliculi inferiores	Bahnen des oberen Kleinhirnstiels (Einzelheiten s. rechte Spalte)	• Tractus spinocerebellaris anterior: verbindet Rückenmark mit Rinde und Kernen im Kleinhirn (Strangneuron) • Fasciculus dentatothalamicus (= cerebellothalamicus): vom Nucleus dentatus im Cerebellum zum Thalamus • Fasciculus cerebellorubralis: von den Kleinhirnkernen zum Nucleus ruber im Mesencephalon
Decussatio fibrarum nervorum trochlearium (Trochleariskreuzung)	Mesencephalon; Tectum, in der weißen Substanz	Kreuzung der Axone der Nn. trochleares; einzige Kreuzung eines peripheren Nervs!	N. trochlearis zieht hier zur Gegenseite, um M. obliquus superior zu innervieren
Decussatio lemnisci medialis (Schleifenkreuzung)	Medulla oblongata, Höhe der Olive	Kreuzung der Axone der Nuclei gracilis/cuneatus (ziehen bogenförmig zur Kreuzung, daher die Bezeichnung „Fibrae arcuatae internae")	verbindet Nuclei gracilis/cuneatus mit Nucleus ventralis posterolateralis (VPL) im Thalamus
Decussatio pyramidum (Pyramidenkreuzung)	Medulla oblongata; Basis, Höhe der Pyramide	Kreuzung von ca. 80 % der Fasern des Tractus pyramidalis	verbindet Gyrus precentralis im Cortex cerebri mit α-Motoneuronen im Cornu anterius des Rückenmarks

Beachte: Mit Ausnahme des N. trochlearis, wo ein peripherer Nerv kreuzt, kreuzen in den angegebenen Decussationes Bahnen von zentralen Neuronen.

2.21 Kerne im Diencephalon und Kerngebiete des Thalamus

A Kerne im Diencephalon

Abschnitt	Kernareal	Funktion
Epithalamus	• Nuclei habenulares (in der Habenula) • Glandula pinealis (Epiphyse)	• Schaltstelle für vegetative Verarbeitung olfaktorischer Impulse • zirkadianer Rhythmus mit Melatoninproduktion
Thalamus	• Nuclei anteriores • Nuclei mediales • Nucleus intermedius • Nucleus reticularis • Nucleus ventralis posterolateralis (VPL) • Nucleus ventralis posteromedialis (VPM) • Nucleus ventralis anterior • Nuclei pulvinares • Nucleus geniculatus medialis • Nucleus geniculatus lateralis	• limbisches System • emotionale Steuerung • zerebelläre Verbindung • intrathalamische Verschaltung • epikritische, protopathische und propriozeptive Information von Rumpf und Extremitäten • epikritische, protopathische und propriozeptive Information des N. trigeminus • zerebelläre Information • Assoziationsfunktion zum Cortex • Schaltneuron der Hörbahn • Schaltneuron der Sehbahn
Hypothalamus	• Nucleus infundibularis • Nucleus mammillaris medialis und lateralis (in Corpus mammillare) • Nucleus paraventricularis • Nucleus supraopticus • Nucleus suprachiasmaticus	• Releasing- und -inhibiting-Hormone für die Hypophyse • limbisches System • Oxytocin • antidiuretisches Hormon • zirkadianer Rhythmus
Subthalamus	• Nucleus subthalamicus • Zona incerta	• (extrapyramidale) Motorik

B Kerngebiete des Thalamus

Kerngebiet	Afferenz von	Efferenz zu	Funktion
Nuclei anteriores	Nucleus mammillaris medialis und lateralis des Corpus mammillare über Tractus mammillothalamicus	• Gyrus cinguli • Gyrus parahippocampalis	• limbisches System • Beziehung zu Papez-Neuronenkreis
Nuclei mediales	• Nucleus amygdaloideus • Riechkortex	frontalen Rindenfeldern	Affektsteuerung
Nuclei mediani	• Telencephalon: Gyrus cinguli • Diencephalon: Hypothalamus • Hirnstamm: Formatio reticularis	Gyrus cinguli; Hippocampus; Nucleus amygdaloideus	Wachheitszustand; Aufmerksamkeit
Nuclei ventrales • Nuclei ventrales anteriores/laterales • Nucleus ventralis posterolateralis • Nucleus ventralis posteromedialis	• Globus pallidus; Substantia nigra; Kleinhirnkerne • Lemniscus medialis; Tractus spinothalamicus • Lemniscus trigeminalis	• motorischen Kortexarealen • Gyrus postcentralis • Gyrus postcentralis	• Motorik • Sensibilität von Extremitäten und Rumpf • Sensibilität des Kopfes
Nuclei dorsales • Nuclei pulvinares • Nuclei intralaminares • Nuclei reticulares	• Area pretectalis; Colliculus superior • weite Teile des Cortex; Hirnstamm; Rückenmark • Cortex und Thalamuskerne	• Assoziationskortex • Cortex; Basalganglien • Thalamuskerne	• motorische Kontrolle der Augen • motorisches System; Wachheit (ARAS) • intrathalamische Verschaltung (überwiegend Hemmung)

2.22 Kerne der Hirnnerven und vegetative Kerne

A Kerne der Hirnnerven (Nuclei nervorum cranialium)

Kernname	Lage	Verlauf mit Nerv	Erfolgsorgan
Somatoefferente Kerne (allgemein somatomotorisch); die Axone aller dieser Nerven enden ohne Umschaltung direkt am Zielorgan			
Nucleus motorius n. oculomotorii	Mesencephalon, Höhe Colliculi superiores	N. oculomotorius (III)	M. obliquus inferior, Mm. recti medialis, superior u. inferior bulbi, M. levator palpebrae superioris
Nucleus n. trochlearis	Mesencephalon, Höhe Colliculi inferiores	N. trochlearis (IV)	M. obliquus superior bulbi
Nucleus n. abducentis	Mitte des Pons, Boden des IV. Ventrikels	N. abducens (VI)	M. rectus lateralis bulbi
Nucleus spinalis n. accessorii	Medulla spinalis bis Segment C6 (!)	Radix spinalis n. accessorii (XI)	Mm. trapezius u. sternocleidomastoideus
Nucleus n. hypoglossi	Medulla oblongata, Boden des IV. Ventrikels	N. hypoglossus (XII)	Zungenmuskulatur
Viszeroefferente Kerne (speziell viszeromotorisch) (embryologischer Begriff; Zielmuskel strukturell quergestreift; auch als Schlundbogennerv = Kiemenbogennerv bezeichnet); alle Nerven enden ohne Umschaltung direkt am Zielorgan			
Nucleus motorius n. trigemini	Mitte des Pons	N. mandibularis (V_3)	Kaumuskulatur, M. tensor tympani, M. tensor veli palatini; M. digastricus (Venter anterior); M. mylohyoideus
Nucleus n. facialis	Pons, kaudaler Abschnitt	N. facialis (VII)	mimische Muskeln, M. stapedius
Nucleus ambiguus	Medulla oblongata	• N. glossopharyngeus (IX) • N. vagus (X) • N. accessorius, Radix cranialis (XI)	• Pharynxmuskeln • Pharynx- und Larynxmuskeln • Larynxmuskeln, Fasern ziehen zum N. vagus zurück
Viszeroefferente Kerne (allgemein viszeromotorisch) (glatte Muskulatur der Eingeweide, der Drüsen und des Auges) Nucleus accessorius n. oculomotorii; Nuclei salivatorii superior und inferior; Nucleus dorsalis n. vagi: s. dazu **B**.			
Somatoafferente Kerne (somatosensibel); alle diese Kerne stellen jeweils das 2. Neuron einer Afferenz dar, deren 1. Neuron in einem Hirnnervenganglion liegt			
Nucleus principalis n. trigemini (Nucleus pontinus)	Pons, kranialer Abschnitt	alle drei Äste des N. trigeminus; 1. Neuron im Ggl. trigeminale	Haut und Schleimhäute: Epikrise
Nucleus spinalis n. trigemini	Medulla spinalis bis Segment C6 (!)	alle drei Äste des N. trigeminus; 1. Neuron im Ggl. trigeminale	Haut und Schleimhäute: Protopathie
Nucleus mesencephalicus n. trigemini	Mesencephalon, Tegmentum	N. mandibularis; 1. Neuron im Nucleus mesencephalicus (!)	Kaumuskulatur, Kiefergelenk: Propriozeption
Nuclei vestibulares med., lat., sup., inf.	Pons bis Medulla oblongata	N. vestibulocochlearis, Pars vestibularis (VIII); 1. Neuron im Ggl. vestibulare	Cristae ampullares in den Bogengängen; Maculae utriculi u. sacculi; Gleichgewicht
Nuclei cochleares anteriores/posteriores	Übergang Pons – Medulla oblongata am Recessus lateralis des IV. Ventrikels	N. vestibulocochlearis, Pars cochlearis (VIII); 1. Neuron im Ggl. cochleare	Corti-Organ in der Cochlea; Hören
Viszeroafferente Kerne (viszerosensibel); der Kern stellt das 2. Neuron einer Afferenz dar, deren 1. Neuron in einem Hirnnervenganglion liegt			
Nucleus solitarius (= Nucleus tractus solitarii) • Pars superior • Pars inferior	Medulla oblongata	• speziell viszeroafferent: N. VII; IX u. X; 1. Neuron im Ggl. geniculi bzw. Ggl. inferius IX u. X • allgemein viszeroafferent: N. IX u. X; 1. Neuron im Ggl. superius IX u. X	• Geschmackspapillen der Zunge; Geschmack • Lunge u. Karotisgabel; Glomus caroticum; Dehnungsrezeptoren der Lunge

B Vegetative Kerne

Kerngebiet	1. (= zentrales) Neuron, Lage und Axonverlauf der präganglionären Faser	2. (= peripheres) Neuron, Lage im Ganglion und Axonverlauf der postganglionären Faser	Erfolgsorgan/ Versorgungsgebiet
Parasympathische Kerne			
Nucleus accessorius n. oculomotorii (Edinger-Westphal)	Mesencephalon, Tegmentum; Verlauf mit N. III	Orbita, Ganglion ciliare, ab da als Nn. ciliares breves	M. sphincter pupillae; M. ciliaris
Nucleus salivatorius superior	Pons, Tegmentum; Verlauf zunächst mit N. intermedius (Teil des N. VII), dann mit Chorda tympani	Ganglion submandibulare; Rr. glandulares zu den Drüsen	Gl. sublingualis; Gl. submandibularis
	oder als N. petrosus major	Ggl. pterygopalatinum; Rr. orbitales; Rr. nasales; Nn. palatini	Gl. lacrimalis; Drüsen an Nase und Gaumen
Nucleus salivatorius inferior	Pons, Tegmentum; Verlauf zunächst mit N. IX dann als N. tympanicus und N. petrosus minor	Ganglion oticum mit N. auriculotemporalis	Gl. parotis
Nucleus dorsalis n. vagi	Pons/Medulla oblongata; Verlauf mit N. X	organnahe Ganglien von da als Plexus mit Organbezeichnung oder ohne jede Bezeichung	Organe von Hals bis Abdomen, Darm bis zur Flexura coli sinistra
Nuclei parasympathici sacrales	Medulla spinalis, Cornu laterale, S 2–4; Nn. splanchnici pelvici	organnahe Ganglien im Plexus hypogastricus inferior	Urogenitalorgane, Darm ab Flexura coli sinistra
Sympathische Kerne			
Nucleus intermediolateralis und intermediomedialis	Medulla spinalis, Cornu laterale, C8 – L2		
	als R. communicans albus zu Ganglien des Truncus sympathicus in den Segmenten C8 – L2	alle Ganglien: R. communicans *griseus* zum N. spinalis	Rumpf und Extremitäten: Blutgefäße; Schweißdrüsen
		Ganglia thoracica I–VI als Plexus oder Nn. cardiaci	Thoraxorgane
	von den Ganglien des Truncus sympathicus *ohne* Umschaltung Th 5 –12: Nn. splanchnici major und minor; L1 – 4: Nn. splanchnici lumbales	prävertebrale Ganglien: Ganglion coeliacum; Ganglion mesentericum superius; Ganglion mesentericum inferius (variable Bezeichnung als Plexus)	Abdominalorgane bis zur Flexura coli sinistra
	S 1–4: Nn. splanchnici sacrales	Plexus hypogastricus inferior	Abdominalorgane ab Flexura coli sinistra und Urogenitalorgane

Anhang

Literaturverzeichnis 555
Sachverzeichnis 557

Literaturverzeichnis

Abboud B. Anatomie topographique et vascularisation artérielle de parathyroides. Presse Med 1996; 25: 1156–61
Anschütz F. Die körperliche Untersuchung. 3. Aufl. Heidelberg: Springer; 1978

Barr ML, Kiernan JA. The Human Nervous System. 5th ed. Philadelphia: JB Lippincott; 1988
Bähr M, Frotscher M. Duus' Neurologisch-topische Diagnostik. 8. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2003
Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neuroscience. Exploring the Brain. 2. Aufl. Baltimore: Williams u. Wilkins; 2000
Becker W, Naumann HH, Pfaltz CR. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme; 1983
Becker W, Naumann HH, Pfaltz CR. Ear, Nose and Throat Diseases. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme; 1994
Berghaus A, Rettinger G, Böhme G. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. Duale Reihe. Stuttgart: Thieme; 1996
Bossy JG, Ferratier R. Studies of the spinal cord of Galago senegalensis, compared to that in man. J Comp Neurol 1968 Mar; 132(3): 485–98. PubMed PMID: 5657526
Braak H, Braak E. Neuroanatomie. In: Beyreuther K, Einhäupl KM, Förstl H, Kurz A, Hrsg. Demenzen. Stuttgart: Thieme; 2002: 118–129
Braus DF. EinBlick ins Gehirn. Stuttgart: Thieme; 2004

Calabria G, Rolando M. Strutture e funzioni del film lacrimale. Genua: Proceedings of the 6th Symposium of the Italian Ophthalmological Society (S.O.I.); 1984: 9–35
Camper P. De Hominis Varietate (1792). Deutsche Fassung von S. Th. Sömmering (nach Kobes LWR. Quellenstudie zu Petrus Camper und der nach ihm benannten Schädelebene). Dtsch Zahnärztl Z; 1983: 38: 268–270
Carlsson GE, Haraldson T, Mohl ND. The dentition. In Mohl ND, Zarb GH, Carlsson GE, Rugh JD. A Textbook of Occlusion. Chicago: Quintessence Books; 1988
Chandrashekar J, Hoon MA, Ryba NJ, Zuker CS. The receptors and cells for mammalian taste. Nature 2006; 444: 288–294

Da Costa S, van der Zwaag W, Marques JP, Frackowiak RS, Clarke S, Saenz M. Human primary auditory cortex follows the shape of Heschl's gyrus. J Neurosci. 2011 Oct 5; 31(40): 14067-75. PubMed PMID: 21976491.
Delank HW, Gehlen W. Neurologie. 10. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2003
Duus P. Neurologisch-topische Diagnostik. 7. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2001

Faller A, Schünke M. Der Körper des Menschen. 14. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2004
Feneis H, Dauber W. Anatomisches Bildwörterbuch. 9. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2005
Frick H, Leonhardt H, Starck D. Allgemeine und spezielle Anatomie. Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie. Bd. 1 und 2. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme; 1992
Fritsch H, Kühnel W. Taschenatlas der Anatomie. Bd. 2. 7. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2001
Füeßl H S, Middecke M. Anamnese und klinische Untersuchung. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2005

Hegglin J. Chirurgische Untersuchung. Stuttgart: Thieme; 1976
Hempelmann G, Krier C, Schulte am Esch J, Hrsg. Gesamtreihe ains. 4 Bände. Stuttgart: Thieme; 2001
Herrick J C. Brains of Rats and Men. Chicago: University of Chicago Press; 1926
Holodny et al. Diffusion tensor tractography of the motor white matter tracts in man – Current controversies and future directions. Ann N Y Acad Sci 2005; 1064: 88–97

Ingvar D H. Functional landscapes of the dominant hemisphere. Brain Res 1976; 107: 181–197

Jänig W. Visceral afferent neurones: Neuroanatomy and functions, organ regulations and sensations. In: Vaitl D, Schandry R, eds. From the heart to the brain. Frankfurt am Main: Peter Lang; 1995: 5–34

Kahle W, Frotscher M. Taschenatlas der Anatomie. Bd. 3. 9. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2005
Kell Ch A, von Kriegstein K, Rösler A, Kleinschmidt A, Laufs H. The Sensory Cortical Representation of the Human Penis: Revisiting Somatotopy in the Male Homunculus. J Neurosci Jun 2005; 25: 5984–5987
Kim et al. Corticospinal tract location in internal capsule of human brain: diffusion tensor tractography and functional MRI study. Neuroreport 2008; Vol 19, No 8
Klinke R, Pape HC, Silbernagl S. Physiologie. 5. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2005
Kunze K. Lehrbuch der Neurologie. Stuttgart: Thieme; 1992
Kuwert T, Grünwald F, Haberkorn U, Krause T. Nuklearmedizin. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2008

Lang, G. Augenheilkunde. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2008
Lehmann KM, Hellwig E, Wenz H-J. Zahnärztliche Propädeutik. 11. Aufl. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2008
Lippert H, Pabst R. Arterial Variations in Man. München: Bergman; 1985
Lorke D. Schmerzrelevante Neuroanatomie. In: Beck H, Martin E, Motsch J, Schulte am Esch J, Hrsg. ains. Bd. 4. Schmerztherapie. Stuttgart: Thieme; 2001: 13–28

Masuhr K F, Neumann M. Neurologie. Duale Reihe. 5. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2005
Maurer J. Neurootologie. Stuttgart: Thieme; 1999
Meyer W. Die Zahn-Mund- und Kiefer-Heilkunde. Bd. 1. München: Urban & Schwarzenberg; 1958
Mühlreiter F. Anatomie des menschlichen Gebisses. Leipzig: Felix; 1912
Mumenthaler M, Stöhr M, Müller-Vahl H. Läsion peripherer Nerven und radikuläre Syndrome. 8. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2003

Nieuwenhuys R, Voogd J, van Huijzen Chr. Das Zentralnervensystem des Menschen. 2. Aufl. Berlin: Springer; 1991

Platzer W. Atlas der topografischen Anatomie. Stuttgart: Thieme; 1982
Poeck K, Hartje W. Störungen von Antrieb und Affektivität. In: Hartje W, Poeck K, Hrsg. Klinische Neuropsychologie. 5. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2002: 412–422
Poisel S, Golth D. Zur Variabilität der großen Arterien im Trigonum caroticum. Wiener medizinische Wochenschrift 1974; 124: 229–232
Probst R, Grevers G, Iro H. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2004
Rauber/Kopsch. Anatomie des Menschen. Bd. 1–4. Stuttgart: Thieme; Bd. 1, 2. Aufl.; 1997, Bd. 2 und 3; 1987, Bd. 4; 1988

Robbins KT, Medina JE, Wolfe GT, Levine PA, Sessions RB, Pruet CW. Standardizing neck dissection terminology. Official report of the Academy's Committee for Head and Neck Surgery and Oncology. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1991 Jun;117(6): 601-5. PubMed PMID: 2036180
Rohkamm R. Taschenatlas Neurologie. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2003
Romer A S, Parson TS. Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere. 5. Aufl. Hamburg und Berlin: Paul Parey; 1983

Sachsenweger M. Augenheilkunde. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2003
Sadler T W. Medizinische Embryologie. 10. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2003
Scheibel M E, Scheibel A B. Activity cycles in neurons of the reticular formation. Recent Adv Biol Psychiatry. 1965; 8: 283–93
Schmidt F. Zur Innervation der Articulatio temporomandibularis. Gegenbaurs morphol Jb 1967; 110: 554–573
Schroeder H E. Orale Strukturbiologie. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme; 1987
Schumacher G H: Funktionelle Anatomie des orofazialen Systems. Heidelberg: Hüthig; 1985
Schumacher G H, Aumüller G. Topographische Anatomie des Menschen. 6. Aufl. Stuttgart: G. Fischer; 1994
Schumacher GH, Schmidt H. Anatomie und Biochemie der Zähne. Stuttgart: G. Fischer; 1976
Siegenthaler W. Klinische Pathophysiologie. 8. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2000
Stammberger H, Hawke M. Essentials of functional endoscopic sinus surgery. 2. Aufl. St. Louis: Mosby; 1993
Steiniger B, Schwarzbach H, Stachniss, V. Mikroskopische Anatomie der Zähne und des Parodonts. Stuttgart: Thieme; 2010
Stoppe G, Hentschel F, Munz DL. Bildgebende Verfahren in der Psychiatrie. Stuttgart: Thieme; 2000
Strup JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M. Curriculum Prothetik (Band I). 2. Aufl. Berlin Quintessenz 1999

Tillmann B. Farbatlas der Anatomie Zahnmedizin-Humanmedizin. Stuttgart: Thieme; 1997
Töndury G. Angewandte und topographische Anatomie. 5. Aufl. Stuttgart: Thieme; 1981

Vahlensieck M, Reiser M. MRT des Bewegungsapparates. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2006
Van Aken H, Wulf H (Hrsg.). Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie. begr. von HCh Niesel. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2010
von Lanz T, Wachsmuth W. Praktische Anatomie. Bd. 1/1B Kopf. Gehirn- und Augenschädel. Berlin: Springer; 2004
von Lanz T, Wachsmuth W. In: von Loeweneck u Feifel, Hrsg. Praktische Anatomie. Bd. 2, 6. Teil. Berlin: Springer; 1993
von Lanz T, Wachsmuth W. Praktische Anatomie. Bd. 1/2. Hals, Berlin: Springer; 1955
von Spee Graf F. Die Verschiebungsbahn des Unterkiefers am Schädel. Arch Anat Entwicklungsgesch. 1890; 285–294

Warshawsky H. The teeth. In Weiss L. Cell and Tissue Biology – a textbook of histology. 6. Aufl. München: Urban & Schwarzenberg; 1988
Wolpert L, Beddington R, Brockes J, Jessel T, Lawrence P, Meyerowitz E. Entwicklungsbiologie. Weinheim: Spektrum Verlag; 1999

Sachverzeichnis

Begriffe, die nicht Bestandteil der aktuellen Terminologia anatomica sind, wurden mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet.

Halbfette Zahlen bezeichnen Seiten mit detaillierter Darstellung oder deutlicher Abbildung der gesuchten Struktur.

A

Abduzensbrücke 179
Abduzensparese 118, 178, 461
– Kopfhaltung 179
– bei Mittelohrentzündung 147
Abszess
– epiduraler 27
– zerebraler 27
Acetylcholin 297, **298**, 305
– Nuclei reticulares 358
Achillessehnenreflex 400
– Ausfall 465
Achse
– optische 163
– orale 220
– pharyngeale 220
– tracheale 220
Acromion 4, 88
ACTH (adrenokortikotropes Hormon) 351
Adamkiewicz-Arterie 414
Adamsapfel 212
Adduktorenreflex, Ausfall 465
Aδ-Fasern, myelinisierte 450
Adenohypophyse (Hypophysenvorderlappen) **350**
– Anbindung der Hypothalamuskerne 351
– Histologie 351
Adenohypophysenhormone (Hypophysenvorderlappenhormone) **351**
– glandotrope 351
– nicht glandotrope 351
Adenohypophysenzellen
– azidophile 351
– basophile 351
– chromophobe 351
Adenoide 197
Aderhaut 162, 166
ADH (Antidiuretisches Hormon) **350,** 548
Adhesio interthalamica 277, **312,** 340
Aditus
– ad antrum mastoideum 146
– laryngis (Kehlkopfeingang) 200, 214, 219, **221**, 257
– – Intubation 220
Adrenalin 64
Affektivitätsdämpfung 499
Affektsteuerung 549
Affektverhaltenregulation 492
Ageusie 488, 523, 540
AICA (Anterior inferior cerebellar Artery; Arteria inferior anterior cerebelli) **380**
Akkommodation 162, **164**, **480**, 533
– fehlende 118, 172
Akkommodationsreflex 479
Aktionspotenzial 268
Akustikusneurinom 128, 151, 367
Ala
– major ossis sphenoidalis 12, 14, 23, 28, **34**, 36, 38, 238
– – Facies orbitalis **35**
– – Facies temporalis **35**
– – Horizontalschnitt 252
– minor ossis sphenoidalis 14, 22, 36, 38, **35**
– nasi (Nasenflügel) 40
– vomeris 33
Alkoholismus 348
Allocortex 321, **330**, **332**
– Alzheimer-Erkrankung 498
– Hippokampusformation 493
– Schichten 330
Altkleinhirn 367
Alveolarfortsatz
– mandibulärer 57
– maxillärer 57
Alveolarknochen 49
– Aufbau **57**
– Enstehung 61
– kaufunktionelle Beanspruchung 57
Alveolarknochenatrophie 57
Alveolarknochenkamm 56
Alveolarschleimhaut 56
Alveoli dentales (Zahnfächer) **48**, 57
Alveus hippocampi 493
Alzheimer-Erkrankung 292, 312
– Ausbreitung über das Gehirn 498
– Hippocampus-Veränderungen 332, 427, 499
Amboss 145, 146, **148**
– Schlundbogenherkunft 10
Ameloblasten 61
– sekretorische 61
Ammonshorn 493
Ampulla membranacea 154
– anterior 14
– lateralis 155
– posterior 155
Amygdala s. Corpus amygdaloideum
Analgesie 290, 470
Analgetika 453
Anämie, Bindehautinspektion 159
Anästhesie 290
Anastomosen
– arterielle, faziale 98, 103
– venöse
– – faziale 107
– – Halsvenen 108
– – intraspinale 417
Anastomosis
– anterolateralis* 389
– anteromedialis* 389
Aneurysma, aortales 133
– linksseitiges 215
Aneurysmablutung, intrakranielle 311, 315
Anfälle, epileptische 448
Angulus
– mandibulae 3, **46**, 57, 192
– – altersabhängige Veränderung 47
– – im Orthopantomogramm 62
– oris (Mundwinkel) 186
– pontocerebellaris (Kleinhirn-Brücken-Winkel) 124, 151, **279**, 367, 521
Anhidrose, Fußsohle 468
Anisokorie 166
Anosmie 540
Ansa
– cervicalis 242
– – Ramus thyrohyoideus 140
– cervicalis profunda 90, 135, **140**, 242
– – Radix inferior 139, **140**, 195
– – Radix superior 139, **140**, 195
– cervicalis superficialis* 240
– lenticularis 353, 537
Anthelix 143
Anticus s. Musculus cricothyroideus
Antidiuretisches Hormon **350**
Antiphlogistika 453
Antitragus 143
Antrieb, emotionaler 298
Antriebsdämpfung 499, 540
Antrum mastoideum 157
Anulus
– fibrosus 463
– tendineus communis 119, **172**, 176
Aorta
– ascendens 96
– descendens 96
Aortenaneurysma 133
– linksseitiges 215
Aortenbogen 374
AP (Area postrema) 316
Apertura
– lateralis ventriculi quarti 312, 314, 355
– mediana ventriculi quarti 312, **314**
– piriformis 14, 41, 32
– sinus sphenoidalis **34**, **45**
Apex
– cartilaginis arytaenoideae 213
– cornus posterioris 397
– dentis 61, 73
– linguae (Zungenspitze) 188
– partis petrosae ossis temporalis 29
– radicis dentis 49
Aphasie 393
– motorische 540
– sensorische 393, 540
Apikaldendrit 491
Aponeurosis
– linguae 188
– palatina 187
– stylopharyngea 204
Approximalfläche, dentale, Krümmungsradius 51
Approximalpunkte, dentale 52
Aquaeductus
– cochleae 146, 150
– mesencephali (cerebri) 118, 275, 278, **312**, **314**, 354
– – im Frontalschnitt 426
– – im Horizontalschnitt 250, 436
– – Projektion auf den Schädel 319
– – im Sagittalschnitt 443
– vestibuli 150
Arachnoidalsepten 382
Arachnoidalzotten 307, 382
Arachnoidea mater (Spinngewebshaut) 274, **307**
– Brückenvenendurchtritt 308
– encephali 274
– spinalis 274, 311
– Zellen mit Tight junctions 309, 311
Arachnoideatrabekel 311
ARAS (Aszendierendes retikuläres aktivierendes System) 346, 359, 549
Arbor vitae (Lebensbaum) 279, 368
Arborisation 368
Archicerebellum (Urkleinhirn) 367, 486
Archicortex 276, 330, 493
Archipallium 321
– Organisation 330
– tiefer liegende Anteile 330
Arcus
– anterior atlantis 71, 73, **75**
– aortae 96, 133
– axis 71
– cartilaginis cricoideae 213
– – im Kehlkopfspiegelbild 217
– dentalis (Zahnbogen) **52**
– dentalis inferior **52**
– dentalis superior **52**
– nervi hypoglossi 140
– palatoglossus 186, **188**, 192, 202

Arcus
– palatopharyngeus 181, 186, 188, 192
– palpebralis inferior 103
– palpebralis superior 103
– posterior atlantis 70, 73, 74, **75**
– superciliaris 26
– venosus jugularis 108, **109**, **228**
– vertebrae (Wirbelbogen) 70
– – CVII im Horizontalschnitt 257
– vertebrae cervicalis 71
– zygomaticus 3, 12, 21, 82
– – im Frontalschnitt 247, 248
– – im Horizontalschnitt 253
Area
– entorhinalis 492
– lateralis hypothalami 348
– medialis hypothalami 348
– olfactoria, Verbindung zu Habenulakernen 353
– paraolfactoria 324, 492
– postrema 316, 358
– prepiriformis 116, 490, 525
– pretectalis 481, 529, 533
– – Funktion 533
– – retinopretektales System 479
– primär somatomotorische 329
– primär somatosensorische 329
– septalis 490, 492
– striata (primäre Sehrinde) **329**, 347, **476**
– – im Frontalschnitt 429, 431
– – im Horizontalschnitt 436
– subcallosa 324, 490, 492, 508, 525
– vestibularis 355
Areae corticis cerebri **328**
Areflexie 470
Armplexuslähmung **466**
– obere 467
– Schädigungsort 467
– untere 467
– Wasserscheide 466
Armplexusläsion **466**
Arnold-Bündel (Fibrae fronto-pontinae) 371
Arousal-System 346
Arteria s. auch Arteriae
– alveolaris inferior 100, 233, 235, 236
– – im Frontalschnitt 246, 248
– – Ramus mentalis 100, 226, 233
– – Ramus mylohyoideus 100
– – im Sagittalschnitt 263
– alveolaris superior anterior 101
– alveolaris superior posterior 100, 235, 236, 238
– angularis 94, 98, 158, 185, 226, 233, 510
– – Anastomose mit der Arteria dorsalis nasi 98
– auricularis posterior 94, 97
– – Äste 98
– – Ramus auricularis 99
– – Ramus occipitalis 99
– – Ramus parotideus 99
– auricularis profunda 100, 156
– basilaris 94, 252, 282, **375**, 376, 380
– – im Horizontalschnitt 251, 253
– – Versorgungsgebiet 381
– buccalis 100, 236, 238
– callosomarginalis 377
– canalis pterygoidei 101, 102, 238
– caroticotympanicae 102, 156
– carotis communis 94, **96**, 208, 230, 242, 282, **374, 510**
– – Entzündungsausbreitung 204
– carotis communis dextra 96, 229
– carotis externa 183, 206, 232, 242, **374,** 508, 510
– – Äste **94**, **96**
– – – dorsale **94**, 97
– – – mediale **94**, 97
– – – oberflächliche 233
– – – Varianten 97
– – – ventrale **94**, 97
– – Äste
– – – dorsale **98**
– – – mediale **88**
– – – ventrale **98**
– – Endäste **94**, 97, **100**
– – Lagevarianten 243
– – Unterbindung bei Nasenbluten 185
– – ventrale Äste 243
– – Versorgung der Regio orbitalis 158
– – Versorgungsgebiet 94, **97**, **99**
– – – im Gesicht 158, 227
– carotis interna 28, 94, **96**, 151, 176, 206, 242, 282, 308, 508, 510
– – Äste für extrazerebrale Strukturen **102**
– – Beziehung zum Mittelohr 146
– – im Frontalschnitt 249
– – gefährliche Schleife 209
– – im Horizontalschnitt 204, 251, 252, 254
– – intrakranielle Segmente 374
– – Kollateralen 95, 97, 103
– – Lagevarianten 243
– – Pars cavernosa **102**, 178, **374**
– – Pars cerebralis **102**, **374**
– – Pars cervicalis **102**, **374**
– – Pars petrosa **102**, 374
– – Ramus basilaris tentorii 102
– – Ramus ganglionaris trigeminalis 102
– – Ramus marginalis tentorii 102
– – Ramus meningeus 102
– – Ramus nervorum 102
– – Ramus sinus cavernosi 102
– – Sagittalschnitt 262
– – Schädelbasis 207
– – Stenose 95, 103
– – topografische Beziehung zum Foramen lacerum 20
– – Versorgung der Regio orbitalis 158
– – Versorgungsgebiet 94
– – – im Gesicht 158, 227
– centralis retinae 103, 162, 169, **170**, 175, 510
– – Ophthalmoskopiebefund 171
– cerebri anterior 375, **376**
– – Aufzweigungen 377
– – im Frontalschnitt 249
– – Pars postcommunicalis 376
– – Pars precommunicalis 376
– – Segmente **376**
– – Verschluss 379, 393
– – Versorgungsgebiet **378**
– cerebri media 375
– – Endäste 377
– – Pars insularis 376, 379
– – Pars sphenoidalis 376, 379
– – Rami terminales 377
– – Ramus gyri angularis 377
– – Ramus temporalis anterior 377
– – Ramus temporalis medius 377
– – Ramus temporalis posterior 377
– – Ramus temporooccipitalis 377
– – Segmente **376**
– – im Sulcus lateralis cerebri 377
– – Verlauf 377
– – Verschluss 379, 393
– – Versorgungsgebiet **378**
– cerebri posterior 374, **376**, 379
– – Aufzweigungen 377
– – Pars postcommunicalis 376
– – Pars precommunicalis 376
– – Segmente **376**
– – Varianten 375
– – Verschluss 379, 393
– – Versorgungsgebiet **378**
– cervicalis ascendens 94, 242, **414**
– cervicalis profunda 94
– cervicalis superficialis 94, 240, 243
– choroidea anterior 102, 376, 379
– cochlearis communis 157
– cochlearis propria 157
– communicans anterior **375**, 376
– communicans posterior 102, **374**, 376
– – Varianten 375
– conjunctivalis anterior 170
– cruralis anterior 156
– cruralis posterior 156
– dorsalis nasi **98**, 103, 158, 175, 185, 227, 510
– – Anastomose mit der Arteria angularis 98
– dorsalis scapulae 94
– epigastrica superior 94
– ethmoidalis, Unterbindung bei Nasenbluten 185
– ethmoidalis anterior 36, 103, 175, 177, **182**, 185, 508, 510
– – Rami septales anteriores 182
– – Ramus meningeus 310
– – Ramus nasalis anterior lateralis 508
– ethmoidalis posterior 36, 103, 175, 177, **182**, 185, 508, 510
– facialis 94, 97, 98, 158, 226, 233, 236, 242, 510
– – Abgangsvariante 97
– – Äste 98
– – Endast 98
– – Pulspalpation 98
– – Rami tonsillares 205
– – Versorgungsgebiet 97
– frontobasalis lateralis 377
– frontobasalis medialis 377
– hypophysialis inferior 102, 350
– hypophysialis superior 102, 350
– incudomallearis 149
– inferior anterior cerebelli 375, 376, **380**
– – Versorgungsgebiet 381
– inferior posterior cerebelli 94, 375, 376, **380**
– – Versorgungsgebiet 381
– infraorbitalis 36, 100, **101**, 158, 226, 236, 238
– intercostalis posterior 414
– – Ramus dorsalis 415
– intercostalis suprema 94
– labialis inferior 94, 98, 233
– labialis superior 94, 98, 233
– labyrinthi 151, 156, 157, 380
– – Durchblutungsstörung 380
– – Ursprungsvariante 380
– – Vasospasmus 151
– lacrimalis 103, 175, 177, 510
– – Ramus anastomoticus mit der Arteria meningea media 101, 103
– – Ramus meningeus recurrens 510
– laryngea inferior 215
– laryngea superior 94, 96, 99, 205, 208, **215**, 218, 224, 229
– – Durchtritt durch die Membrana thyrohyoidea 212
– lenticulostriata 379
– – Ruptur 391
– lingualis **94**, 97, 98, 190, 210, 242
– – Abgangsvariante 97
– – Äste 99
– – Rami dorsales linguae 99, 209
– – Ramus suprahyoideus 99
– – Versorgungsgebiet 97
– masseterica 100, 238
– mastoidea 156
– maxillaris 94, 97, 98, **100**, 103, 183, 233, 236, 508
– – Äste 238
– – im Horizontalschnitt 255
– – Pars mandibularis 100, 238
– – Pars pterygoidea 100, 238
– – Pars pterygopalatina 100, 238
– – Rami pterygoidei 100, 238
– – Rami septales posteriores 100, 183
– – – Anastomose 187
– – Unterbindung bei Nasenbluten 185
– – Varianten **237**
– – Versorgungsgebiet 97, 100
– meningea media 27, 100, **101**

– – Rami dentales 101
– – Ramus anastomoticus mit der Arteria lacrimalis 101, 103
– – Ramus frontalis 101, 306, **310**
– – Ramus parietalis 101, 306, **310**
– – Ramus petrosus 101
– – Schlinge des Nervus auriculotemporalis 236
– – Verlauf 18
– – Verletzung 101, **390**
– – Versorgungsgebiet 100
– meningea posterior 99, 310
– – im Sagittalschnitt 262
– musculophrenica 94
– occipitalis 94, 97, 98, 208, 232, 234, 244
– – Äste 98
– – im Horizontalschnitt 255
– – Kollateralkreislauf bei Karotisstenose 95
– – Rami occipitales 98
– – Ramus descendens 98
– – Ramus mastoideus 310
– – Ramus posterior 97
– – Versorgungsgebiet 97
– occipitalis lateralis 376, 377
– occipitalis medialis 376, 377
– ophthalmica 36, 95, 102, **103**, 176, 183, 185, 508, 510
– – Äste 175, 510
– – Eintritt in die Orbita 176
– – Endast 98, 174
– – Kollateralkreislauf bei Karotisstenose 95
– – Versorgungsgebiet 103
– palatina ascendens 98
– – Rami tonsillares 98, 205, 209
– palatina descendens 100, **101**, 182, 238
– – Rami septales posteriores 100
– – Ramus pharyngeus 209
– palatina major 101, 183, 187, 238
– – im Frontalschnitt 246
– palatina minor 101, 187, 238
– palpebralis lateralis 103
– – Anastomose mit der Arteria temporalis superficialis 103
– palpebralis medialis 103, 175
– parietalis anterior 377
– pericallosa 377
– pericardiacophrenica 94
– petrosa superficialis 156
– pharyngea ascendens 94, 96, 99, 204, 206
– – Äste **99**
– – Rami pharyngeales 99
– – Rami tonsillares 205, 209
– – Ursprung 99
– – Ursprungsvarianten 99
– – Versorgungsgebiet 97
– pontis 375, 376, **380**
– prefrontalis 377
– profunda linguae 99, 190
– radicularis anterior 282, 415
– radicularis magna 282, 414
– radicularis posterior 282, 415
– sphenopalatina **101**, **183**, 185, 236, 238, 508
– – Äste, Blutung 101
– – Nasenhöhlenversorgung 101, 103
– – Rami nasales posteriores 508
– – Rami septales posteriores **101**
– – Unterbindung bei Nasenbluten 185
– spinalis anterior 94, 282, 375, 376, **414**, 415
– – Verschluss 415
– – Versorgungsgebiet 381, 415
– spinalis posterior 94, 375, **414**
– – Verschluss 415
– sternocleidomastoidea 242
– stylomastoidea 99, 149, 156
– – Ramus tympanicus posterior 156
– subclavia 96, 242, 282, 374
– – Äste **94**
– – Stenose 375
– subclavia dextra 215
– subclavia sinistra 208
– sublingualis 99, 190
– submentalis 98, 190, 233
– sulci centralis 377
– sulci postcentralis 377
– sulci precentralis 377
– sulcocommissuralis 415
– superior cerebelli 375, 376, **380**
– – Versorgungsgebiet 381
– supraorbitalis 36, 101, 103, 158, 175, 510
– – Anastomose mit der Arteria temporalis superficialis 103
– suprascapularis 94, 231, 241, 242
– supratrochlearis 36, 98, 103, 175, 177, 510
– temporalis media 101, 233
– temporalis superficialis 94, 97, **100**, **143**, 211, 226, 232, 235, 236
– – Äste 100
– – im Horizontalschnitt 253
– – Ramus frontalis 100, **101**, 232
– – – Anastomosen 103
– – Ramus parietalis 100, 232
– – Versorgungsgebiet 97, 100
– thoracica interna 242
– – Äste 94
– – Rami intercostales anteriores 94
– – Rami mammarii 94
– – Rami mediastinales 94
– – Rami thymici 94
– – Verlauf 242
– thyroidea ima 96, 99
– thyroidea inferior 94, 205, 208, 218, **223**, 224, 242
– – Äste 224
– – Nervus-laryngeus-recurrens-Verlauf 224
– thyroidea superior 215, **223**, 224, 229, 242, 374
– – Abgangsvariante 97
– – Äste **94**, **99**
– – Rami glandulares 94, 96, 99
– – Ramus cricothyroideus 94, 96, 99
– – Ramus infrahyoideus 94, 96, 99
– – Ramus sternocleidomastoideus 94, 96, 99
– – Versorgungsgebiet 97
– transversa cervicis 230, 242
– – Ramus profundus 94
– – Ramus superficialis 94
– transversa faciei 100, 226, 232
– tympanica anterior 100, 149, 156
– tympanica inferior 99, 156
– tympanica posterior 99, 149, 156
– – Ramus parotideus 98
– – Ramus stapedius 156
– tympanica superior 156
– vertebralis 96, 204, 231, 242, 245, 282, 310, **374**, **376**, 380, 414
– – Abgangsstenose 375
– – Anastomosen 95
– – Äste 94, **376**
– – Beziehung zum Processus uncinatus **76**
– – Blutstromumkehr 375
– – im Horizontalschnitt 254, 258
– – Kompression 77, 374
– – Pars intracranialis 414
– – Rami paramediani, Versorgungsgebiet 381
– – Rami spinales 94
– – Ramus meningeus 94
– – im Sagittalschnitt 261
– – Stenose 375
– – Verlauf **77**
– vestibuli 157
– vestibulocochlearis 157
– zygomaticoorbitalis 100, 232
Arteriae s. auch Arteria; s. auch Arterien
– auriculares anteriores 143
– – Rami perforantes 143
– centrales anterolaterales 379, 391
– centrales posteromediales 379
– ciliares anteriores 170, 510
– ciliares posteriores breves 103, **170**, 175, 177, 510
– ciliares posteriores longae 103, **170**, 175, 510
– intercostales, Rami spinales 282
– lumbales 414
– musculares 510
– nasales **101**
– nasales posteriores laterales 100, **101**, 182
– palatinae minores 209
– palpebrales laterales 227, 510
– palpebrales mediales 227, 510
– spinales posteriores 282
– temporales profundae 100, 235, 236, 238
Arterien
– Hirnbasis **376**
– Hirnstamm **380**
– Kleinhirn **380**
– orbitale **510**
– des Schlaganfalls 391
– Sympathikuswirkung 305
– Versorgung des Gehirns **374**
Arteriitis temporalis 101
Arteriolenweite, Sympathikuswirkung 305
Arteriosklerose, Hirnarterien 375
Articulatio
– atlantoaxialis **74**
– – Horizontalschnitt 255
– – Mediansagittalschnitt 260
– atlantoaxialis lateralis **74**, 76
– – Capsula articularis **72**
– atlantoaxialis mediana **72**, **75**, 255, 260
– atlantooccipitalis **72**, **74**
– – Lateralflexion 92
– – Ventralflexion 92
– cricoarytaenoidea 212
– cricothyroidea 212
– incudomallearis 148
– incudostapedialis 148, 157
– sternoclavicularis 3
– temporomandibularis (Kiefergelenk) 46, **66**, 83
– zygapophysialis 70, 77
– – Capsula articularis **72**, 74
ASR s. Achillessehnenreflex
Assoziationsbahnen **542**
Assoziationsfaserbündel 505
Assoziationsfasern 327, **334**, 505
Assoziationskortex 287, **494**
– limbischer 494
– Motorik **536**
– parietaler 447
– parietotemporaler 494
– präfrontaler 494
– visueller 479, 497
– Willkürbewegung 454
Assoziationszellen **399**, 401
Astrozyten 307
– fibrilläre 294
– Funktion 294, 295
– protoplasmatische 294
Asynergie 471
Aszendierendes retikuläres aktivierendes System **346**, 359, 549
Ataxie
– Hinterstrang-Syndrom 471
– sensorische 471, 473, 515
– zerebelläre 471
Atlantoaxialgelenk s. Articulatio atlantoaxialis
Atlantookkzipitalgelenk s. Articulatio atlantooccipitalis
Atlas **70**, 72, 74, 202
– Facies articularis superior 70, **75**
– im Horizontalschnitt 255
– im Mediansagittalschnitt 260
Atmungsregulation, Formatio-reticularis-Funktion 359
Attikus 149
Auerbach-Plexus (Plexus myentericus) 304
Aufmerksamkeit 359

Augapfel **162**
– Äquator 163
– arterielle Versorgung 511
– Blutversorgung **170**
– Meridian 163
– Mobilitätsprüfung 172
– venöse Drainage 170, 511
Auge
– Austrocknung 80, 161
– brechende Medien **164**
– Embryonalentwicklung 8
– emmetropes 163
– Fremdkörperschutzreflex 80
– Lichtbrechung 163
– Oberflächenanatomie 159
– Orientierungslinien 163
– Orientierungspunkte 163
– Parasympathikuswirkung 297
– rotes 159
– Sympathikuswirkung 297
– vegetative Innervation 296
Augenbecher, embryonaler 273
Augenbewegungen
– Formatio-reticularis-Funktion 359
– konjugierte 482
– Koordination **482**
– bei Kopfdrehung 533
– reflektorische 359
Augenbrauenrunzler 81
Augenbrauensenker 81
Augenfarbe 167
Augenfehlstellung 172
Augenfeld, frontales 529
Augenhintergrundspiegelung 171
– Normalbefund 171
Augenhöhle s. Orbita
Augeninnendruck 167, 169
Augenkammer
– arterielle Versorgung 511
– hintere 162, 164, **166**
– venöser Abfluss 511
– vordere 162, 164, **166**
Augenlid (s. auch Lid) **159**
– Außenblatt 159
– – Innervation 159
– Innenblatt 159
Augenmotorik **529**, 549
Augenmuskelkerne 486
Augenmuskellähmung **172,** 179
– bei Nervus-trochlearis-Schädigung 118
Augenmuskeln
– äußere **172**
– – Ansatz 172
– – im Frontalschnitt 246
– – Innervation 118, 172
– – Lähmung 118, 173
– – Ursprung 172, 176
– – Zugwirkung 173
– Funktion 173
– Hirnnervenkerne **527**
– Horizontalmotoren 173
– innere
– – Innervation 118, 177
– – Lähmung 118, 173
– Vertikalmotoren
– – gerade 173
– – schräge 173
Augenmuskelnerven **118**
– Verlauf 119
Augenschließmuskel **80**
Augenspiegelung 117
Augenstellungen, Blickrichtungen, diagnostische 173
Auricula (Ohrmuschel) **142**
Auris (Ohr) **142**
– interna (Innenohr) **142**, **150**
– media (Mittelohr) **142**, **146**
Axis **70**, 72, 74
– Corpus 73
– lentis 165
Axon 268, **292**
– axonisches 293
– dendritisches 293
– Endkolben 292
– Erregungsleitungsrichtung 293
– markloses **269**
– myelinisiertes **269**, 294
– nichtmyelinisiertes 294
– Parallelkontakt **293**
Axon-Merkelzell-Komplex 446
Axonhügel 292
Axonkollaterale, zurückführende **268**, 327, 399, 401

B

Backenzahn **48**
– Höcker 51
– Kauflächenaufbau 51
Backenzähne
– bleibende
– – Anlagen 59
– – Durchbruchzeit 58
– Höckerzahl **49**
– Morphologie **54**, **55**
– Wurzelkanäle **49**
– Wurzelzahl **49**
Bahnen 269, **444**, 504, 506
– absteigende 281, 344, 354, **360**, 394, **408**, **410**, 413, 504, 507
– – laterales System 410, 413
– – mediales System 410, 413
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– afferente s. Bahnen, aufsteigende
– aszendierende s. Bahnen, aufsteigende
– aufsteigende 281, 354, **361**, 394, 412, 504, 507
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– – Umschaltung im Thalamus 344
– deszendierende s. Bahnen, absteigende
– efferente s. Bahnen, absteigende
– Eigennamen 504
– Einfluss auf das α-Motoneuron 401
– extrapyramidal motorisches System **410**
– – zentrale Verbindungen 411
– Hirnstamm **531**
– kortikospinale, Läsion 472
– motorische **360**, **408**, 503, 507, **516**
– – in der Capsula interna 409
– – extrapyramidale 287, 516
– – Läsion **461**
– – – periphere 461
– – – rindennahe **461**
– – pyramidale 516
– Rückenmark 394, 396, **507**
– sensible (s. auch Bahnen, aufsteigende) **444,** 507, **514**
– – spinokortikale 514
– – spinozerebelläre 514
– – Verschaltung 515
– sensorische **447**, 503
– spinozerebelläre 514
– – Ausfall 515
– vegetative **411**
– zentrales absteigendes schmerzhemmendes System **453**
Bahnkreuzung 281
Balken s. Corpus callosum
Band, diagonales, nach Broca 492
Bandhafte 16
Bandscheibenprolaps 470
– medialer 463
– mediolateraler 463
Bandscheibenschaden, Druckschädigung der Spinalnervenwurzel 463
Basalganglien s. Basalkerne
Basalganglienschleife 287, 536
Basalkerne 276, 287, 321, **336**, 411, **458**, 502
– Bewegungsablaufprogrammierung 454
– Definition 503
– Einteilung **336**
– Fehlfunktion 455, 458
– im Frontalschnitt 337
– im Horizontalschnitt 337
– Massenblutung 391
– Schleife, motorische **459**, **536**
– venöse Drainage 389
Basallamina
– Hornhaut 165
– Mundhöhlenepithel 60
– Zahnfleischsaumepithel 56
Basilarmembran 152
Basis
– cranii externa s. Schädelbasis von außen
– cranii interna s. Schädelbasis von innen
– stapedis 148
Bauchganglien 300
Bauchmuskulaturlähmung, spastische 472
Bauchspeicheldrüse
– Innervation, vegetative 296
– Parasympathikuswirkung 297
– Sympathikuswirkung 297
Becherzellen **161**
– konjunktivale 161
– Nasenschleimhaut 184
Bechterew-Kern (Nucleus vestibularis superior) 487
Beinmuskulaturlähmung, spastische 472
Beinparese 393
Beinplexus **468**
Beinplexusläsion **468**
Bell-Phänomen 125
Belohnungssystem 440, 458
Bennet-Winkel 68
Berger-Raum 163
Berührungsempfinden 120, **284**, 363, 444
– Prüfung **290**
– Reizleitung 402
Berührungsempfindlichkeit, verminderte 448
Betz-Pyramidenzellen 326, 456
Beugemuskulatur, Neurone im zervikalen Vorderhorn 398
Bewegung
– komplexe 286
– – Programmierung 455
– zielgerichtete **454**, 538
– – Ablaufprogrammierung 454
Bewegungen
– unkoordinierte 455
– Wahrnehmung 284
Bewegungsablaufstörung 458
Bewegungsapparat, Eigenwahrnehmung s. Propriozeption
Bewegungsfeinabstimmung 361, 370, 517, 537
Bewegungsprogramm 537
Bewegungssinn 412, 444
– Rezeptoren 446
Bewegungsstörung 353
– choreatisch-athetotische 357
Bifurcatio carotidis (Karotisgabel) 94, 243, **374**
– Stenose 375
Bifurkation, Zahnwurzel 49
Bildschärfe 533
Bindegewebe
– Ganglionhülle 275
– gingivales 56
– Nervensystem 274
– Nervenummantelung 274, **275**
Bindehaut 159
– Becherzellenverteilung 161
– Gefäßzeichnung 159
– Innervation 512
Bindehautentzündung 159
Bindehautsack 159
– Funktion 159
Bissflügelaufnahme 63
Bizepsreflex 400
– Ausfall 464
Blickbewegung, horizontale 482
Blickeinstellung 533
Blickfolge, reflektorische 533
Blickmotorik, Gleichgewichtsregulation 487
Blickrichtungen **172**
– diagnostische, Augenstellungen 173
Blickzentrum, frontales 483
Blutdruckregulation 140, 305

– Formatio-reticularis-Funktion 359
Blut-Hirn-Schranke 269, **317**
– Nachweis 316
– Unterbrechung 316
Blutleiter, venöse **19**, 108, 274, 283, 309, 319, **382**, **384**, 430
– Projektion auf den Schädel 318
Blut-Liquor-Schranke 309, 311, **317**
– Nachweis 316
Blutserum, Zusammensetzung **317**
Blutung
– epidurale 306, 311, **390**
– – Hirnteileinklemmung 309
– extrazerebrale **390,** 391
– intrakranielle **390**
– – arterielle 390
– – freies Intervall 390
– – venöse 386, 390
– intrazerebrale **391**
– nasopharyngeale 101
– subarachnoidale 311, 315, **390**
– subdurale 311, **390**
BMPs (Bone morphogenetic Proteins) 61
Bochdalek-Blumenkörbchen 315
Bodenplatte, embryonale 114, **273**, 394
Bogengänge 129, 142, 150
– kontralaterale, Zusammenwirkung 155
– Lage 150
Bogengangsorgane 486
– Ausfall 291
Bone morphogenetic Proteins 61
Botulinustoxin 78
Bouton 292
Bowman-Drüse 491
Bowman-Membran 165
Brachioradialisreflex, Ausfall 464
Brachium colliculi
– inferioris 340, 347, 355, 520
– superioris 355
Branchialbogen, Mundbodenmuskeln 195
Broca-Aphasie 540
Broca-Zentrum 497
– arterielle Versorgung 379
– Cortexareal 540
– Lokalisation 325
Brodmann-Areale 329
Bronchialdrüsensekretion 305
Bronchialkarzinom, Rekurrensläsion 219
Bronchien Innervation
– somatosensible 535
– vegetative 305
Bronchienverengung 305
Bronchodilatation 305
Bronchoskopie 305
Brown-Séquard-Syndrom 403, 473
Bruch-Membran 164, **169**
Brücke s. Pons
Brückenfuß 357
Brückenvenen **307**, **308**, 382, 386
– Einmündung 306, 308
– Ruptur 386, **390**
Brustganglien 300
Bulbärparalyse 472
Bulbus
– inferior venae jugularis dexter 223
– inferior venae jugularis sinister 223
– oculi (Augapfel) **162**
– – arterielle Versorgung 511
– – venöser Abfluss 511
– olfactorius **116**, 182, 288, 323, 330, **490**, 525
– – im Frontalschnitt 247
– – im Mediansagittalschnitt 260
– – Verschaltung 491
– superior venae jugularis internae 384
– venae jugularis internae 146
– – Projektion auf den Schädel 318
Blubusmuskeln, arterielle Versorgung 511
Bulla ethmoidalis 25, 42, 43, 180
Bündel s. auch Fasciculus
– olivokochleäres
– – laterales 485
– – mediales 485
– pallidotegmentale 353
Bürstensaum, Plexus choroideus 315
Büschelzellen 490
Button en Passage **293**

C

Cajal-Kern (Nucleus interstitialis) 486
Calvaria (Schädeldach) **18**
– Lamina externa **19**, 306
– Lamina interna **19**, 306
Camera
– anterior bulbi oculi (vordere Augenkammer) 162, 164, **166**
– posterior bulbi oculi (hintere Augenkammer) 162, 164, **166**
Camper-Ebene **52**
Canales s. auch Canalis
– palatini minores, durchtretende Leitungsbahnen 239
– semicirculares (Bogengänge) 142
Canaliculus
– lacrimalis communis*, Stenose 161
– lacrimalis inferior* **160**
– – Stenose 161
– lacrimalis superior* **160**
– mastoideus 144
Canalis s. auch Canales
– caroticus 21, **29,** 508, 510
– – durchtretende Leitungsbahnen 136, 207
– – topografische Beziehung zum Foramen lacerum 20
– carotis 282
– centralis 362, 365, 397
– – Entwicklung 273
– – im Sagittalschnitt 443
– centralis (Rückenmarkkanal) 280, 312
– condylaris 21, 24, 385
– – durchtretende Leitungsbahnen 136, 207
– incisivus 30, 41, 45
– – durchtretende Leitungsbahnen 136
– infraorbitalis 37, 38, 122
– – durchziehende Leitungsbahnen 36
– – Frontalschnitt 246
– mandibulae 57, 123
– – im Orthopantomogramm 62
– musculotubarius 207
– nasolacrimalis 36
– nervi facialis 147, 237
– nervi hypoglossi 21, 23, 24, 73, 135, 207
– – durchtretende Leitungsbahn 136
– nervi petrosi majoris 550
– nervi petrosi minoris 550
– opticus 23, 34, 36, 38, 45, 117, 508, 510, 512
– – durchtretende Leitungsbahnen 136, 176
– – Einengung 21
– – im Horizontalschnitt 251
– palatinus major 39, 45
– – durchtretende Leitungsbahnen 239
– pterygoideus 39, **35**, 45, **127**
– – durchtretende Leitungsbahnen 239
– radicis dentis (Zahnwurzelkanal) 49, **56**, 61
– semicircularis anterior 146, 150, **154**
– semicircularis lateralis 146, 150
– semicircularis posterior 146, 150
– spinalis, Topografie **418**
– vertebralis 280
– zygomaticus 32
Cannon-Böhm-Punkt 132
Capsula
– articularis, Wirbelbogengelenk 73
– articularis articulationis atlantoaxialis **72**
– articularis articulationis temporomandibularis **66**, 69, 83
– – Histologie 67
– articularis articulationis zygapophysialis **72**, 74
– externa 337
– – Frontalschnitt 420, 422, 424
– – glandulae thyroideae 222
– – Horizontalschnitt 433, 434
– – Sagittalschnitt 262
– extrema
– – Frontalschnitt 420, 422, 424
– – Horizontalschnitt 434
– – Sagittalschnitt 262
– interna 276, 333, **334**, 337, 343, 458
– – arterielle Versorgung 379
– – Begrenzung 335
– – Blutung 447
– – Frontalschnitt 249, 343, 420, 422, 424, 426
– – Horizontalschnitt 432, 433, 434
– – Infarkt 391
– – Läsion 335, 461
– – motorische Bahnen 409
– – – Läsion 461
– – Pyramidenbahnverlauf 422
– – im Sagittalschnitt 261, 262, 438, 440
– – Schmerzleitung 451
– – venöse Drainage 389
– interna glandulae thyroideae 222
Caput
– mallei 148
– mandibulae **46**, 48, 57, **66**, 69, 192
– – im Horizontalschnitt 253
– – Rotationsachse 68
– – transversale Achse 68
– nuclei caudati **336**, 411
– – im Frontalschnitt 249, 420, 426
– – im Horizontalschnitt 276, 433, 434
– – Lage zum Ventrikelsystem 313, 424
– – im Sagittalschnitt 261, 440
– stapedis 148
Cartilago
– alaris major 40
– – Crus mediale 41, 254
– alaris minor 40
– arytaenoidea (Stellknorpel) 212, **213**
– – Horizontalschnitt 256, 259
– auriculae 143
– corniculata (Spitzenknorpel) 212, **213**
– cricoidea (Ringknorpel) 3, 202, **212**, 221
– – Facies articularis arytaenoidea 213
– – Facies articularis thyroidea 213
– – Horizontalschnitt 258
– – Lamina 213
– – Schlundbogenherkunft 10
– epiglottica (Kehldeckelknorpel) 203, 212, **213**
– septi nasi 40, 180
– – im Horizontalschnitt 252
– thyroidea (Schildknorpel) 90, 203, **212**, 221, 224, 242
– – im Horizontalschnitt 256, 259
– – Lamina dextra 213
– – Lamina sinistra 212, 262
– – Schlundbogenherkunft 10
Caruncula
– lacrimalis 160
– sublingualis 210

Cauda
– equina **280**, **394**, 397, **419**, 462
– – Druckschädigung 463
– – Topografie **418**
– nuclei caudati **336**, 420
– – im Frontalschnitt 424, 426
– – im Horizontalschnitt 276, 433, 434
– – Lage zum Ventrikelsystem 313, 424
– – im Sagittalschnitt 439
– – sensorische Leitungsbahn 447
Cauda-equina-Syndrom 395
– Behinderungsgrad 475
Cavitas
– dentis (Zahnhöhle) 49, 56
– infraglottica 214
– laryngis (Larynxinnenraum) 214
– laryngis intermedia 214
– nasi (Nasenhöhle) 15, 508
– oris (s. auch Mundhöhle) **186**
– oris propria 186
– pharyngis (Schlundhöhle) **202**
– tympani (Paukenhöhle) 28, **146**, 149, 534
– – Paries caroticus 146
– – Paries jugularis 146
– – Paries labyrinthicus 146
– – Paries mastoideus 146
– – Paries membranaceus 146
– – Paries tegmentalis 146
Cavum
– Meckeli 178
– septi pellucidi 331, 343
– trigeminale 178
C5–C8-Hinterhornläsion 470
C7–C8-Vorderhorn-Syndrom 472
Cellulae
– ethmoidales (Siebbeinzellen) 15, 25, 38, 180
– – Frontalschnitt 85, 246, 248
– – im Horizontalschnitt 250
– – Projektion auf den Schädel 42
– – im Sagittalschnitt 261
– ethmoidales anteriores 43, 180
– ethmoidales posteriores 180
– mastoidei 28, 146
– – Infektionsweg 28, 146
Cementum 49, **56**
Cerebellum (Kleinhirn) 270, 278, **279**
– Afferenzen **369**, **538**
– – Kletterfasertyp 539
– – Moosfasertyp 539
– Arterien **380**
– – Versorgungsgebiet 381
– Aufbau
– – äußerer 279
– – innerer 279
– äußere Struktur **366**
– Bahnen, sensible 514
– Bahnsysteme 539
– Beteiligung bei Willkürbewegung 454
– Efferenzen 368, **369**, **538**
– Embryonalentwicklung 273
– Funktion 361
– Gleichgewichtssinn 289
– Gliederung **367**
– – funktionelle 367
– graue Substanz **502**
– im Horizontalschnitt 251, 252
– innere Struktur **368**
– Lage zum Hirnstamm 367
– Lagebeziehung 279
– Lagewahrnehmung 284
– Motorik 536
– Pars intermedia 366, **368**
– Pars lateralis 366, **368**
– Pars mediana 366, **368**
– Projektion auf den Schädel 318
– Rückmeldeschleifen 538
– im Sagittalschnitt 261, 438
– Venen **388**
– Verschaltung 369, 538
– weiße Substanz 368
Cerebrocerebellum 367
Cerumen (Ohrschmalz) 145
– obturans 145
Cervix dentis (Zahnhals) 49
C-Fasern, unmyelinisierte 450
Cheilognathopalatoschisis 9
Cheilognathoschisis 9
Cheiloschisis 9
Chemorezeptoren
– arterielle 299
– Glomus caroticum 130, 132
Chiasma opticum **117**, 176, 277, 288, 341, **476**, 533
– im Horizontalschnitt 250, 436
– Schädigung 478
Choana 21, 33, 41, 44, 181, 182
– im Horizontalschnitt 254
– im Mediansagittalschnitt 260
Chondrocranium 13
Chorda
– dorsalis 272
– tympani 28, 120, **124**, **126**, 146, 149, 152, 157, 190, 195, 237, 300, 535
– – Durchtritt durch die Schädelbasis 207
– – Geschmacksbahn 488, 523
Choriokapillaris 169, 170
Choroidea (Aderhaut) 162, 166, 170
Cingulum 324
Circulus
– arteriosus cerebri 282, **374**
– – Gefäßruptur 376
– – Projektion auf die Schädelbasis 375
– – Varianten 375
– arteriosus iridis major 167, **170**
– arteriosus iridis minor 167, **170**
– arteriosus oris 98
– arteriosus Zinnii 171
Cisterna
– ambiens **314**
– basalis **314**
– carotica 315
– cerebellomedullaris **314**
– – Magnetresonanztomografie 73
– – Punktion 317
– cerebellomedullaris lateralis 315
– chiasmatica **314**
– communicans posterior 315
– corporis callosi 315
– cruralis 315
– fossae lateralis cerebri 315
– hemispherica **314**
– interpeduncularis **314**
– laminae terminalis **314**
– lumbalis 311, 418
– – Punktion 419
– olfactoria 315
– pontis mediana 315
– pontocerebellaris 315
– – im Horizontalschnitt 253
– – im Sagittalschnitt 261
– pontomedullaris **314**
– spinalis anterior 315
– spinalis posterior 315
– trigemini 315
– vermis **314**
Cisternae subarachnoidales **314**
Claustrum 321, 337, 458
– Frontalschnitt 420, 422, 424
– im Horizontalschnitt 434
– Sagittalschnitt 262, 438
Clavicula 3, 4, 88, 240
– Ossifikation 13
Clivus 23, 178, 179, 181, 252, 278
– im Horizontalschnitt 253
– im Mediansagittalschnitt 260
Cloquet-Kanal 163
Cochlea (Gehörschnecke) 129, 146, **150**, 521
– Aufbau **152**
– Lage 152
– Wanderwellenentstehung 153
Cochlear amplifier 485
Colliculus
– cartilaginis arytaenoideae 213
– facialis 355
– inferior 278, 340, 355, 361, 436, 484
– – im Frontalschnitt 428
– – Funktion 428
– – im Sagittalschnitt 442
– superior 278, 340, 355, 533
– – im Frontalschnitt 427, 428
– – Funktion 428
– – im Horizontalschnitt 436
– – motorische Bahnen 516
– – retinotektales System 479
– – im Sagittalschnitt 442
Collum (Hals) **228**
– mallei 148
– mandibulae **66**
Columna (Kernsäule) 502
– anterior medullae spinalis (Vordersäule) 280, 396, **398**
– fornicis 331, 332, 423
– – im Frontalschnitt 422
– lateralis medullae spinalis (Seitensäule) 280, 396
– posterior medullae spinalis (Hintersäule) 280, 396
– – Binnenzellen 399
Commissura (Verbindungsbahn) 505, **546**
– alba anterior medullae spinalis 402, 546
– alba posterior medullae spinalis 402, 546
– anterior 332, **335**, 402, 492, 546
– – im Frontalschnitt 422
– – Pars anterior 546
– – Pars posterior 546
– – im Sagittalschnitt 441, 443
– cerebelli 546
– cochlearis pontis 546
– colliculi inferioris 546
– colliculi superioris 546
– Definition 546
– epithalamica (posterior) 352, 546
– fornicis 331, 492, 546
– grisea anterior medullae spinalis 546
– grisea posterior medullae spinalis 546
– habenularum 352, 546
– hippocampi 546
– lateralis palpebrarum 159
– medialis palpebrarum 159
– posterior **335**, 402, 425, 426, 427, 546
– supraoptica dorsalis 546
– supraoptica ventralis 546
Complexus olivaris inferior **544**
Computertomografie, Gehirn **420**
Concha
– auriculae 143
– nasalis inferior 14, 20, 38, **40**, 40, 43, 160, **180**
– – Frontalschnitt 246
– – Rhinoskopiebefund 185
– – im Sagittalschnitt 261
– nasalis media 14, 25, 38, **40**, 43, 44, **180**
– – Frontalschnitt 246
– – Rhinoskopiebefund 185
– – im Sagittalschnitt 261
– nasalis superior 25, 38, **41**, 43, **181**
– – Regio olfactoria 116
Condylus
– mandibulae (Caput mandibulae)
– – ruhender, bei Mahlbewegung 68
– – schwingender, bei Mahlbewegung 68
– occipitalis 16, 21, **24**, 74, 192
Confluens
– sinuum 19, 106, 306, 308, **314**, **383**, 384, 388, 430
– – im Mediansagittalschnitt 260
– – Projektion auf den Schädel 319, 385
– venosus posterior 387, 388
Conjunctiva (Bindehaut) **159**
– bulbi 159, 162
– fornicis 159
– Innervation 512
– palpebrae 159
– tarsi 159

Conus
– elasticus 213, 214, **216**, 219
– medullaris **280**, 397, 419
Cornea (Hornhaut) 159, 162, **164**
Cornu (Horn) 502
– ammonis 321, 332, 493
– anterius medullae spinalis (Vorderhorn) 280, 396, **396**, 398, 507
– – Laminae 399
– frontale (anterius) ventriculi lateralis **312**
– – im Frontalschnitt 420, 422
– – im Horizontalschnitt 434
– – Projektion auf den Schädel 318
– – im Sagittalschnitt 440
– inferius cartilaginis thyroideae 212
– laterale medullae spinalis (Seitenhorn) 280, 396, 507
– majus ossis hyoidei **47**, 199, 212
– – im Sagittalschnitt 262
– minus ossis hyoidei **47**, 212
– – im Sagittalschnitt 262
– occipitale (posterius) ventriculi lateralis 250, **312**, 331, 424
– – im Frontalschnitt 430
– – im Horizontalschnitt 433, 434, 436
– – Projektion auf den Schädel 319
– – im Sagittalschnitt 439, 440
– posterius medullae spinalis (Hinterhorn) 280, **396**, 507
– – Laminae 399
– superius cartilaginis thyroideae 212
– temporale (inferius) ventriculi lateralis **312**, 333, 424, 493
– – im Frontalschnitt 421, 422, 424
– – im Sagittalschnitt 438
Corona
– dentis (Zahnkrone) 49, 61
– radiata **334**
Corpora mammillaria 277, 391
Corpus
– adiposum buccae 204
– – Frontalschnitt 248
– – im Horizontalschnitt 253
– adiposum orbitae 174
– – im Frontalschnitt 246
– – im Horizontalschnitt 250, 252
– amygdaloideum 116, 321, 349, 421, 492
– – im Frontalschnitt 421, 422
– – Funktion 333
– – im Horizontalschnitt 436
– – Kerngruppen 333
– – Lage 333
– – – zum Ventrikelsystem 313
– – modulierender Einfluss auf die Großhirnrinde 495
– – Riechbahn 490
– – im Sagittalschnitt 262, 438
– – zentrales absteigendes schmerzhemmendes System 453
– axis **70**, 73
– callosum (Balken) 276, 312, 320, 324, 330, **331**, **334**, 337, 427, 546
– – im Frontalschnitt 249, 420, 428
– – Funktion 331
– – im Horizontalschnitt 432
– – im Mediansagittalschnitt 260
– – operative Durchtrennung **496**
– – im Sagittalschnitt 440, 442
– – Topografie 331
– – venöse Drainage 389
– ciliare (Ziliarkörper) 159, 162, 166
– – Pars plana 164
– – Pars plicata 164
– fornicis 423, 434
– – im Horizontalschnitt 433
– – im Sagittalschnitt 442
– geniculatum laterale **117**, 340, 425, 428, 436, **476**, 512, 532
– – im Frontalschnitt 425
– – im Horizontalschnitt 436
– – Projektionen 347
– – im Sagittalschnitt 439
– geniculatum mediale 117, 425, 428, 436, 481, 521, 545
– – im Frontalschnitt 425
– – im Horizontalschnitt 436
– – Projektionen 347
– – im Sagittalschnitt 441
– incudis 148
– linguae (Zungenkörper) 188
– mammillare 277, 301, 320, 330, 332, 347, **423**, 427, 437, 492
– – beidseitige Schädigung 348
– – Einblutung 348
– – im Frontalschnitt 423
– – Säuferschnitt 348, 423
– mandibulae **46**, 90
– maxillae 30
– medullare cerebelli (Kleinhirnmark) 279
– – im Sagittalschnitt 440
– nuclei caudati **336**
– – im Frontalschnitt 421, 422, 424, 426
– – im Horizontalschnitt 432
– ossis hyoidei 3, **47**
– ossis sphenoidalis 41, 42, **35**, 253
– pineale (Epiphyse; Zirbeldrüse) s. Glandula pinealis
– striatum (Streifenkörper) 321, **336**, 420, 504
– – Entwicklung 321
– – Motorik 458, 537
– trapezoideum 521
– – Ponsquerschnitt 363
– vertebrae (Wirbelkörper) 70
– vertebrae cervicalis 70
– vertebrae cervicalis VII 70, 73
– vitreum (Glaskörper) **162**
Cortex 269
– cerebelli (Kleinhirnrinde) 279, 368, **369**, 502, 538
– – Stratum ganglionare 369
– – Stratum granulosum 369
– – Stratum moleculare 369
– cerebri (Großhirnrinde) 276, 311, **321**, 452, 502
– – Afferenzen 327
– – agranulärer 326
– – Area s. Area; s. Areae
– – auditorischer 347, **484**
– – Efferenzen 327
– – entorhinaler 493
– – – modulierender Einfluss auf die Großhirnrinde 495
– – – Nervenzellenveränderung 498
– – Entwicklung 321
– – frontaler, Efferenzen 357
– – funktionelle Areale **540**
– – Funktionseinheit 327
– – Gliederung **494**
– – granulärer 326
– – gustatorischer 540
– – Histologie **326**
– – Kolumnenorganisation **327**
– – Lamina granularis externa 326
– – Lamina granularis interna 326
– – Lamina molecularis 326
– – Lamina multiformis 326
– – Lamina pyramidalis externa 326
– – Lamina pyramidalis interna 326
– – limbischer, Motorik **536**
– – Modul (Funktionseinheit) 327
– – motorischer 281, **286**, 360, 409, **536**
– – – Schichtenaufbau **457**
– – – Schleife, motorische 287, **459**
– – – Verknüpfung mit sensorischem Cortex 448
– – Neuronentypen 327
– – Neuronenverbände 293
– – orbitofrontaler 525
– – periamygdalärer 333, 525
– – plastische Nervenverbindungen **495**
– – präfrontaler
– – – dorsolateraler 498
– – – motorische Funktion 454
– – – ventromedialer 498
– – – zentrales absteigendes schmerzhemmendes System 453
– – prämotorischer **347**, 454, 494
– – primär auditorischer 494, 540
– – primär motorischer 454, 494, 517, 527
– – primär somatomotorischer 326, 329
– – primär somatosensorischer 326, 329, 447, 452, **494**, 540
– – – Zellsäulenaktivität 447
– – primär visueller 288, 494, 532, 540
– – sekundär auditorischer 494
– – sekundär visueller 494
– – sensibler 281
– – sensomotorischer, arterielle Versorgung 379
– – sensorischer 284, 403, 444, **447**
– – – Motorik **536**
– – – Verknüpfung mit motorischem Cortex 448
– – somatosensorischer 346
– – supplementät motorischer 454
– – Verbindung mit subkortikalen Zentren 334, 505
– – visueller 347
– – – im Frontalschnitt 430
– – Zytoarchitektonik 326, 329
Corti-Organ 128, 150, 152, **153**, 289, **484**, 521
– Fasern von der Olive 485
Corti-Tunnel 152
Corticotropin 351
Cranium (Schädel) **12**
Crista
– ampullaris 150, **154**, 486
– conchalis 33
– frontalis 18, 23, 26
– galli 23, **25**, 38, 41, 42, **43**, 308
– – im Frontalschnitt 247
– – im Horizontalschnitt 250
– infratemporalis 39
– lacrimalis anterior 37
– lacrimalis posterior 37, 80
– marginalis (Kauflächenrandleiste) 51
– nasalis 33, 41, **45**
– occipitalis externa **24**
– sphenoidalis 41, **35**
– transversa meati acustici interni 151
– zygomaticoalveolaris 14
– – intraorale Palpation 14
Crohn, Morbus 192
Crus
– anterius capsulae internae 335, 420
– – Frontalschnitt 420
– – Horizontalschnitt 433, 434
– anterius stapedis 148
– anthelicis 143
– breve incudis 148
– cerebri (Hirnschenkel) 118, 278, 341, 357
– – im Horizontalschnitt 250, 357, 436
– – Läsion 461
– – im Sagittalschnitt 440
– fornicis 331, 332, 425, 426, 427
– – im Horizontalschnitt 434
– – im Sagittalschnitt 441
– laterale cartilaginis alaris majoris 40
– longum incudis 148
– mediale cartilaginis alaris majoris 40, 41
– – im Horizontalschnitt 254
– posterius capsulae internae 335, 422
– – Frontalschnitt 424, 426
– – Horizontalschnitt 433, 434
– – im Sagittalschnitt 441

Crus
– posterius stapedis 148
C4–Th6-Hinterwurzel, Läsion 470
C4–Th4-Läsion der grauen Substanz 471
Cuff 220
Cuff-Druck 221
Culmen 366
Cuneus 324, 540, 542
Cupula 154
Cuspis
– dentis (Zahnhöcker) 51
– distalis dentis 51
– distobuccalis 51
– distopalatinalis 51
– mediolingualis 51
– mesiobuccalis 51
– mesiopalatinalis 51
C4-Wurzelläsion **464**
C5-Wurzelläsion **464**
C6-Wurzelläsion **464**
C7-Wurzelläsion **464**
C8-Wurzelläsion **464**
Cymba conchae 143
C-Zellen 11

D

Danger space 5, **204**, 262
Darkschewitsch-Kern (Nucleus commissurae posterioris) 486
Darmatonie, postoperative 304
Darminnervation **304**
– Modulation
– – durch den Parasympathikus **304**
– – durch den Sympathikus **304**
– vegetative 296
Deckplatte, embryonale 114, **273**, 394
Decussatio (Kreuzung) **546**
– Definition 505, 547
– fibrarum nervorum trochlearium (Trochleariskreuzung) 547
– lemnisci medialis (Schleifenkreuzung) **545**, 547
– lemniscorum 514
– pedunculorum cerebellarium superiorum (Kleinhirnstielkreuzung) 547
– pyramidum (Pyramidenbahnkreuzung) 286, 309, 355, **360**, **408**, 456, 517, 547
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 365
– tegmentalis anterior 547
– tegmentalis posterior 547
Defäkation, Leitungsbahn 411
Dehnungsrezeptoren, viszerale 296
Deiters-Kern (Nucleus vestibularis lateralis) **114**, **128**, 460, 487, 535, 550
Déjerine-Klumpke-Armplexuslähmung **467**
Delphi-Lymphknoten 110
Dendrit 268, **292**
– Erregungsleitungsrichtung 293
Denken, abstraktes, Cortexareal 540
Dens
– axis **70**, 72, **75**, 202
– – Facies articularis
– – – posterior 74
– – im Horizontalschnitt 255
– – Mediansagittalschnitt 260
– caninus (Eckzahn) **48**, **54**, 59
– incisivus (Schneidezahn) **48**, **54**, 59
– incisivus lateralis 49
– incisivus medialis 49
– molaris (Mahlzahn) 48, **55**, 59
– molaris primus 49
– molaris secundus 49
– molaris tertius 49, 55
– premolaris (Backenzahn) **48**, **55**, 59
– premolaris primus 49
– premolaris secundus 49
– sapientae 49, 55
– serotinus 49, 55
Dentes **48**
– decidui (Milchzähne) **58**
– permanentes (bleibende Zähne) **48**, **54**
– serotini 49, 55
Dentin-Schmelz-Grenze 61
Dentinkanälchen 57
Dentinmatrix 61
Dentinum (Zahnbein) 49, 56
– mineralisiertes 61
Dentition
– erste 58
– zweite 58
Depression 498
Dermatom 303, **395**
– Autonomgebiet **462**, 470
– Schmerzen 465, 470
– Zuordnung zum Rückenmarksegment **395**
Descemet-Membran 165
Desmocranium 13
Desmodontium (Zahnwurzelhaut) 56, **57**
– Entstehung 61
Diabetes insipidus 349
Diagnostik, neurologisch-topische **291**
Diaphragma s. auch Zwerchfell
– oris (Mundboden) **194**
– sellae 308
Dickdarm
– Head-Zone 303
– Innervation, vegetative 296
Diencephalon (Zwischenhirn) 270, **277**, 278, 348, 354, 436
– Anteil des Ventrikelsystems 312
– äußere Struktur **340**
– Begrenzung, laterale 341
– Einteilung 277
– Embryonalentwicklung 272
– Etagengliederung **342**
– Frontalschnitt 277, **342**
– Hirnnerv 112
– Horizontalschnitt 277
– Innenstruktur **342**
– Kerne 284, 502, **548**
– – motorische 286
– Kommissuren 546
– Lage 277, 341
– Mediansagittalschnitt 277, 423
– Strukturen 443
– Teile an der basalen Hirnoberfläche 341, 348
Digitationes hippocampi 313
Diphodontie 48
Diploe **19**, 382
Diploevenen 19
Diplopie 172, 529
Discus
– articularis articulationis temporomandibularis 67, 69, 84
– – Abschnitt
– – – hinterer 67
– – – vorderer 67
– – bilaminäre Zone 67
– – Hostologie 67
– intervertebralis cervicalis 72, 74
– – Abflachung 77
– – horizontale Spaltbildung 77
– – Horizontalschnitt 258
– – Magnetresonanztomografie 73
Diskriminationsempfinden 363
Doppelbilder 118, 172, 179, 529
Dorellos-Kanal 179
Dornen-Synapse **293**
Dornfortsatz 70
– gegabelter 70
Dorsum
– linguae **188**
– sellae 22, 181
Drehbeschleunigung 154
Drehbewegung des Kopfes 154, **155**
Drehschwindel 487
Dreiecksschädel 17
Druck, venöser, intramedullärer 417
Druckanstieg
– intrakranieller, blutungsbedingter 390
– intramedullärer 417
Druckempfinden **284**, 444
– Reizleitung **402**
Druckreizumgebung 447
Druckreizzentrum 447
Ductus
– cochlearis (Schneckengang) **150**, 152, 155, 484
– endolymphaticus 150, **154**
– lymphaticus dexter 110
– nasolacrimalis (Tränen-Nasen-Gang) 36, **42**, **160**
– – Mündung 42
– – Öffnung 37
– parotideus 204, 210, 226, 232
– – Mündung 232
– perilymphaticus 150
– reuniens 150, 154
– semicircularis anterior 150, **154**
– semicircularis lateralis 150, **154**
– semicircularis posterior 150, **154**
– submandibularis 210
– thoracicus 110, 231, 242
– – Mündung 108, 242
Dünndarm, Head-Zone 303
Dura mater (harte Hirnhaut) 274, 280
– Blutversorgung **310**
– encephali **306**, 382
– – im Frontalschnitt 85
– – Innervation 122, **310**
– – meningeales Blatt 306, 382
– – – Duplikatur 309
– –venöse Blutleiter 19
– – periostales Blatt 306, **309**, 382
– Innervation 535
– spinalis 280, **418**, 462
– – meningeales Blatt 311
– – periostales Blatt 311
Duralsack
– Beziehung zur Wirbelsäule 419
– Rückenmarklage 397
– des Rückenmarks **311**
Durasepten **308**
Durchblutungsstörung, zerebrale 375, **392**
Durstorgan 316
Dysostosis cleidocranialis 13

E

von-Ebner-Spüldrüsen 188
Eckzahn **48**
– bleibender, Anlagen 59
– Kauflächenaufbau 51
– Morphologie **54**
Edinger-Westphal-Kern (Nucleus accessorius nervi oculomotorii) **114**, 118, **300**, 356, 480, 528, 532, 533,534, 550, 551
Effektor 266, 281
Efferenzen
– kortikale 457
– kortikobulbäre 327
– kortikokortikale 327
– kortikospinale 327
Eigenreflex **400**
Eingeweidefaszie, zervikale **4**
Eingeweidenerven 296
Eingeweidenervensystem 296, **304**
Eingeweideschmerz **302**, 450
Einheit, osteomeatale, der Nase **43**, 184
Einzahn-zu-Zweizahn-Okklusion, Seitenzahnbereich 53
Eisenmangelanämie 192
Ektoderm 11
Elektrolytkonzentration
– Blutserum 317
– Liquor cerebrospinalis 317
Embolie
– arterielle, im Mediastromgebiet 375

– arterioarterielle 392
– kardiale 392
Embryonalentwicklung
– Auge 8
– Hals 10
– Hirnstamm 114
– Somatomotorik 114
– Somatosensibilität 114
– Viszeromotorik 114
– Viszerosensibilität 114
Embryonalkern der Linse 165
Eminentia
– collateralis ventriculi lateralis 493
– cruciformis 24
– medialis fossae rhomboideae 355
Emission, otoakustische 485
Emotion, Hirnregionen 498
Emotionale Reaktion, Cortexareal 540
Empfindungsstörung, dissoziierte 448, **470**
Empyem 27
Enamelum (Zahnschmelz) 49
Encephalon (Gehirn) 270
Endhirn s. Großhirn
Endkern **114**
Endkolben, synaptischer 292
Endoderm 11
Endolymphe 150
Endolymphraum 150, 152
Endoneuralraum, Liquordrainage 314
Endoneurium 275, 294
Endorhachis 311
Endoskopie, Kieferhöhle **185**
Endotrachealtubus **220**
– Lagekontrolle 221
– Markierung 220
– Platzierung 220
Endplatte, motorische 291
Enophthalmus 467
Enterozeption **284**
Ependymorgane s. Organe, zirkumventrikuläre
Ependymzellen 317
– Funktion 295, 312
Epidermis 272
Epiduralanästhesie 311, 419
Epiduralblutung 306, 311
– Hirnteileinklemmung 309
Epiduralraum **311**
– pathologischer 311
– im Wirbelkanal 274, **311**, **418**
– – Punktion 419
Epiglottis (Kehldeckel) 181, 186, 200, 202, 205, **212**
– im Frontalschnitt 249
– Geschmacksknospen, Innervation 132
– im Kehlkopfspiegelbild 217
– laryngoskopischer Blick 221
– Mediansagittalschnitt 260
Epikonussyndrom 474
Epineurium 274, **275**
Epipharynx s. Nasopharynx
Epiphyse s. Glandula pinealis
Epithalamus 277, 341, **342**, **352**, 533
– Funktion 342
– Kerne **548**
– Lage zum Ventrikelsystem 313
Epithel-Mesenchym-Interaktion, Zahnentwicklung 61
Epithel, odontogenes 60
Epithelkörperchen s. Nebenschilddrüse
Epitympanon 149
EPSP (exzitatorisches postsynaptisches Potenzial) 292
Erb-Armplexuslähmung **467**
Erb-Charcot-Strümpell, Morbus 472
Erblindung
– Glaukom 167
– Makuladegeneration 171
– Netzhautablösung 169
Erb-Punkt 240
Erbrechen 359
Erregungsüberleitung
– kontinuierliche 294
– saltatorische 294
– schnelle 295
Ersatzzahnleiste 60
Erwachsenenkern der Linse 165
Excavatio disci nervi optici 171
Exenteratio orbitae 31
Exozytose, Neurotransmitter 293
Exspiration, Kerrngebiet 358
Exterozeption (Außenwahrnehmung) **284**, 506, **515**
– Bahnverlauf 285
– epikritische 284
– protopathische 284
– Trigeminusbahn **519**
Extrapyramidal-motorisches System 357, **410**, **460**, 536
– absteigende Bahnen 460
– Basalkerne **458**
– Leitungsbahnenläsion 461
Extrapyramidalbahn 287

F

Facies
– anterolateralis cartilaginis arytaenoideae 213
– articularis anterior axis 70
– articularis arytaenoidea cricoideae 213
– articularis inferior atlantis 70
– articularis inferior axis 70
– articularis inferior vertebrae cervicalis 70
– articularis posterior axis 70
– articularis posterior dentis axis 74
– articularis superior atlantis 70, **75**
– articularis superior axis 70
– articularis superior vertebrae cervicalis 70, 76
– articularis thyroidea cricoideae 213
– infratemporalis 30
– orbitalis alae majoris ossis sphenoidalis **35**
– orbitalis ossis zygomatici 32
– temporalis alae majoris ossis sphenoidalis **35**
– temporalis partis squamosae ossis temporalis 26, 29
Falx
– cerebelli 308
– – im Horizontalschnitt 254
– cerebri (Hirnsichel) 18, 25, 283, **308**, 318, 382
– – im Frontalschnitt 85, 247
– – im Horizontalschnitt 251, 252
– – in situ 274
Farbstoff, basischer, Zellkerne der Neuroglia 294
Fascia
– buccopharyngea 204
– cervicalis (Halsfaszie) **4**
– – Lamina pretrachealis **4**, 228, 240
– – Lamina prevertebralis **4**, 240
– – – im Sagittalschnitt 262
– – Lamina superficialis **4**, **228**, 240
– dentata 332
– longitudinalis dorsalis 349
– nuchae 244
– parotidea 204
– pharyngobasilaris 199, 206
Fasciculi
– longitudinales 73, **74**
– occipitales horizontales 542
– occipitales verticales **335**, 542
– proprii 281, 396
Fasciculus (Bündel) 269, 504
– arcuatus (Fasciculus longitudinalis superior) 542
– cuneatus 361, **404**, 412, 444, **445**, 507, 514, 545
– – Mechanorezeption 285
– – Neurone 404
– – Verlauf 445
– – zentrale Verbindungen 405, 445
– frontotemporalis 334
– gracilis 361, **404**, 412, 444, **445**, 507, 514, 545
– – Ausfall 515
– – Mechanorezeption 285
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 365
– – Neurone 404
– – Rückenmarkquerschnitt 397
– – Verlauf 445
– – zentrale Verbindungen 405, 445
– interfascicularis 396, **405**
– lateralis plexus brachialis 466
– lenticularis 353, 537
– longitudinalis dorsalis **301**, 490
– – Ponsquerschnitt 362
– longitudinalis inferior **335**
– longitudinalis medialis 360, 482, 486, 529, 531, 539
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– – Ponsquerschnitt 362
– – rostraler interstitieller Kern 482
– – Schädigung 483
– – Verlauf 483
– longitudinalis posterior 531
– longitudinalis superior **334**, 542
– mammillothalamicus 346, 347, 349, 492
– medialis plexus brachialis 466
– occipitofrontalis inferior 335, 542
– occipitofrontalis superior **335**, 542
– orbitofrontalis 335
– posterior plexus brachialis 466
– proprius (Grundbündel) 396, 401, 507
– proprius lateralis 396
– septomarginalis 396, **405**
– strionigralis 357
– sulcomarginalis 396
– thalamicus 353
– uncinatus **335**, 486, 542
– uncinatus cerebelli 539
α_1-Faser 401, 460
γ-Faser 460
Fasern 269
– anulospirale 401, 460
– nigropallidale 353
– noradrenerge, absteigende 453
– pallidosubthalamische 353
– parasympathische, angelagerte Schmerzfasern 297
– retikulothalamische 451
– serotoninerge, absteigende 453
– somatische 112
– sympathische, angelagerte Schmerzfasern 297
– vestibulozerebelläre 486
– viszerale 112
– zingulohypokampale 492
Faszienraum, prävertebraler 262
Faszikel, peripherer Nerv 275
Fauces (Schlund) 186
Fazialisknie
– äußeres 126
– inneres 124
Fazialislähmung 80, 124
– bei Akustikusneurinom 151
– Lidschluss 81
– bei Mittelohrentzündung 147
– periphere **125**, 526
– – nach Felsenbeinfraktur 126
– – Lidspaltenweite 159
– zentrale 81, **125**, 526
Feinmotorik 410, 413, 538
Feld, rezeptives **446**
Felsenbein 12, 16, 20, **28**
– Arteria carotis interna 102
– Blutversorgung **156**
– Durchtrittsstellen 28
– im Horizontalschnitt 252
– von innen 22
– Innenohrlage 150

Felsenbein
– Mittelohrausdehnung 146
– Nervus-facialis-Aufteilung 124, **126**
– Nervus-facialis-Verlauf **126**
– im Sagittalschnitt 263
Felsenbeinfraktur, Nervenschädigung 126
Felsenbeinnerven **127**
Felsenbeinpyramide 29
Fenestra
– cochleae 150, 153
– vestibuli 147, 148, 150, 153
Fenster
– ovales 142, 153
– rundes 153
Fernsicht 165
Fetalkern der Linse 165
Fettgewebe
– intraspinales 418
– orbitales 176
– – im Frontalschnitt 246
FGFs (Fibroblast Growth Factors) 61
Fibrae
– alveologingivales 56
– anuloolivares 544
– arcuatae cerebri 334, **335**, **542**
– arcuatae internae 547
– associationis telencephali (Assoziationsfasern) 327, **334**, 505, **542**
– associationis telencephali breves **335**, **542**
– associationis telencephali longae **335**, **542**
– cerebelloolivares 371, 539
– circulares 57
– commissurales 505
– corticomesencephalicae 360
– corticonigrales 357
– corticonucleares 125, 134, **360**, 517, 543
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– corticonucleares bulbi **408**, **455**
– – Augenmotorik **529**
– – Ausfall 526
– – zu Hirnnervenkernen **527**
– corticopontinae 537, 543
– corticoreticulares **408**, 456, 517, 543
– corticorubrales 543
– corticospinales 360, **408**, **456**, 527
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– corticotectales 543
– corticothalamicae 543
– cuneocerebellares 371, 444, 507, 514
– dentoalveolares 57
– dentogingivales 56
– frontopontinae 371
– interdentales decussatae 57
– occipitales horizontales 542
– parietopontinae, Mittelhirnquerschnitt 362
– pontocerebellares 361, 371, 537
– projectionis s. Projektionsfasern
– reticuloolivares 357
– rubroolivares 357
– spinomesencephalicae 514
– spinoolivares 539
– spinoreticulares 514
– spinothalamicae 403
– temporopontinae 371
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– thalamoparietales 543
– zonulares (Zonulafasern) 162, 164
Fibroblast Growth Factors 61
Fibroblasten, desmodontale 57
Fila
– olfactoria (Riechfäden) 23, 25, 112, **116**, 182, 288, **525**
– radicularia radicis anterioris **394**
– radicularia radicis posterioris **394**
Fimbria hippocampi 313, **332**, 493
– im Frontalschnitt 424
– im Sagittalschnitt 439
Fissur, Kaufläche 51
Fissura
– hippocampi 493
– horizontalis cerebelli 366
– – im Frontalschnitt 425, 426
– – im Sagittalschnitt 439, 440
– longitudinalis cerebri 276, 320, **323**
– – im Frontalschnitt 420, 422, 424, 426, 428, 430
– – im Horizontalschnitt 432, 434
– mediana anterior medullae oblongatae 355
– mediana anterior medullae spinalis 397
– orbitalis inferior 21, 37, 38, 39, 45, 122, 172, 176, 238, 511, 512
– – durchtretende Leitungsbahnen 36, 239
– – im Frontalschnitt 247
– – im Horizontalschnitt 252
– orbitalis superior 23, 37, 38, **34**, 45, 118, 120, 122, 172, 509, 510, 512
– – durchtretende Leitungsbahnen 36, 136, 176, 534
– petrosquamosa 207
– petrotympanica 29, 66, 124, 126, 149, 207
– – durchtretende Leitungsbahnen 136, 535
– posterolateralis cerebelli 367
– prima cerebelli 366
– – im Frontalschnitt 430
– – im Sagittalschnitt 439, 441, 442
– pterygomaxillaris 238
– – durchtretende Leitungsbahn 239
– sphenopetrosa 207
– tympanomastoidea 29, 144
– tympanosquamosa 29, 207
Fissurae cerebelli 279
Fistel, arteriovenöse, intramedulläre 417
Flechsig-Bahn s. Tractus spinocerebellaris posterior
Flechsig-Feld **405**
Fleck
– blinder 163; **169**, 477
– gelber 168, **169**
Flimmerepithel, respiratorisches 15, 147, 180
– laryngeales 219
– nasales 184
Flocculus cerebelli 129, 366, 538
– im Frontalschnitt 425
– im Sagittalschnitt 439
Flügelfortsatzpfeiler 22
Flügelgaumengrube s. Fossa pterygopalatina
Flügelplatte, embryonale 114, **273**, 394
Flüssigkeitsgleichgewicht, Regulation 316, 349
Folia cerebelli (Kleinhirnwindungen) 279, 368
Folium vermis 366
Follitropin 351
Fontana-Räume 167
Fontanelle 17
– hintere 17
– vordere 17
Fonticulus
– anterior **17**
– – Verschluss 17
– mastoideus 17
– – Verschluss 17
– posterior 17
– – Verschluss 17
– sphenoidalis 17
– – Verschluss 17
Foramen
– alveolare 30
– caecum 11, 26, **188**
– ethmoidale anterius 37, **25,** 508, 510
– – durchziehende Leitungsbahnen 36
– ethmoidale posterius 37, **25,** 508, 510
– – durchziehende Leitungsbahnen 36
– incisivum 16, 21, **45**
– – Entstehung 9
– – Lokalanästhetikuminjektion 65
– infraorbitale 3, 12, 14, 30, 37, 160
– – Druckschmerz 123, 158
– interventriculare **312**, **314**, 388, 433, 443
– – im Horizontalschnitt 434
– – Projektion auf den Schädel 318
– intervertebrale 73, 74, 462
– – Einengung 77
– – Nervenwurzelreizung 463
– – Topografie 418
– jugulare 21, 23, 104, 130, 132, 134, 511
– – durchtretende Leitungsbahnen 136, 207, 534
– lacerum 21, 23, 126
– – durchtretende Leitungsbahnen 136, 534
– – topografische Beziehung zum Canalis caroticus **20**
– magnum **20**, 22, **24**, 74, 192
– – durchtretende Leitungsbahnen 136
– – im Mediansagittalschnitt 260
– – Venengeflecht 107, 385
– mandibulae 16, **46**, 57, **66**, 123, 193
– – Lingula 193
– – Lokalanästhetikuminjektion 65
– mastoideum 16, 21, 29, 385
– – durchtretende Leitungsbahnen 136
– mentale 3, 12, 14, **46**
– – Druckschmerz 46, 123
– occipitale 385
– ovale 21, 23, 39, 34, 45, 120, 123
– – durchtretende Leitungsbahnen 136, 237, 535
– palatinum majus 21, 39, **45**, 187
– – durchtretende Leitungsbahnen 136
– – Lokalanästhetikuminjektion 65
– palatinum minus 21, 39, **45**
– – durchtretende Leitungsbahnen 136
– parietale 18, 27, 385
– rotundum 23, 37, 39, **34**, 120, 122
– – durchtretende Leitungsbahnen 136, 239, 535
– sphenopalatinum 39, 42, 183, 508
– – durchtretende Leitungsbahnen 239
– spinosum 21, 23, 39, **34**, 101, 310
– – durchtretende Leitungsbahnen 136
– stylomastoideum 21, 23, 29, 124, 126, 195, 237
– – durchtretende Leitungsbahnen 136
– supraorbitale 12, 14, 26
– – Druckschmerz 36, 123, 158
– – durchziehende Leitungsbahnen 36
– transversarium 70, 76
– transversarium atlantis 70
– transversarium axis 70
– transversarium vertebrae cervicalis 70, 72
– transversarium vertebrae cervicalis VII 70
– vertebrale 71
– zygomaticofaciale 32
– zygomaticoorbitale 32, 37

– – durchziehende Leitungsbahn 36
– zygomaticotemporale 32
Forceps
– frontalis 546
– – im Horizontalschnitt 433
– major **334**
– minor **335**
– occipitalis 546
– – im Horizontalschnitt 433, 434
Forel-Achse 270, 420
– Lagebezeichnungen 270
Forel-Kreuzung 411
Forels-Feld H1 353
Forels-Feld H2 353
Formatio reticularis **358**, 502, 528
– Afferenzen 359
– Assoziationszone 358
– Definition 358
– effektorische Zonen 358
– Efferenzen 359
– Einteilung 358
– Funktion 359
– funktionelle Zentren 358
– des Hirnstamms 354
– – aszendierendes retikuläres aktivierendes System 346
– kortikale Axone 457
– Längszone
– – laterale 358
– – mediale 358
– – mediane 358
– magnozelluläre Zone 358
– Medulla oblongata 364
– – sensible Bahnen 514
– mesenzephale 482, 529
– Mittelhirnquerschnitt 362
– modulierender Einfluss auf die Großhirnrinde 495
– motorische Bahnen 516, 537
– Neuronverzweigung 359
– parvozelluläre Zone 358
– Ponsquerschnitt 362
– pontine
– – paramediane 482
– – sensible Bahnen 514
– Rückenmark 502
– schmerzleitende Neurone 451
– spinalis 397
– Transmitterarchitektonik 358
– Zytoarchitektonik 358
Fornix 277, 312, 320, 324, 330, 334, **423**, 433, 437, 492, 493
– conjunctivae inferior 159
– conjunctivae superior 159
– Entwicklung 321
– im Frontalschnitt 422, 425, 426
– im Sagittalschnitt 443
– Topografie 331
Fornixbahn 331
– Hypothalamusunterteilung 348
Fossa **239**
– canina 30
– centralis 162
– cerebellaris 23
– cerebralis 23
– cranii anterior **22**, 41, 42, 319
– – Beziehung
– – – zur Nasenhöhle 42
– – – zur Orbita 38
– – Durchtrittsstellen 137
– cranii media 20, **22**, 319
– – Beziehung zur Orbita 38
– – Durchtrittsstellen 137
– – Frontalschnitt 249
– cranii posterior **22**, 279, 319
– – Durchtrittsstellen 137
– digastrica 46
– glandulae lacrimalis 160
– hyaloidea 162
– hypophysialis 23, 41, 42, 34, **179**, 181
– – Frontalschnitt 249
– incisiva **45**, **48**
– infratemporalis (Unterschläfengrube) 39, 123, **236**
– – im Frontalschnitt 247
– – im Horizontalschnitt 250, 252
– – oberflächliche Schicht 236
– – tiefe Schicht 236
– interpeduncularis 355
– – im Horizontalschnitt 251
– jugularis 2, 29
– mandibularis 21, **28**, **66**, 69
– – im Orthopantomogramm 62
– pterygoidea **34**, 45, 82
– pterygopalatina (Flügelgaumengrube) 37, **39**, 120, 122, 238, 508
– – Arterienverlauf 238
– – Begrenzung 238
– – benachbarte Strukturen **39**
– – Nervenverlauf **239**
– – Unterbindung der Arteria sphenopalatina 101
– – Zugangsweg 39, **239**
– retromandibularis 2
– retromolaris 192
– rhomboidea (Rautengrube) 355, 364, 426
– – Boden 354
– – im Frontalschnitt 427
– – Hypoglossuskerne 135
– sacci lacrimalis 37
– supraclavicularis major 2
– supraclavicularis minor 2
– temporalis 82
– triangularis 143
Fossae dentis (Zahngrübchen) 49
Fossula fenestrae cochleae 147
Fovea
– centralis dentis 51
– centralis retinae 162, **168**, 477
– – Aufbau 169
– – Gefäßversorgung 171
– – Ophthalmoskopiebefund 171
– dentis atlantis 71, 72
– distalis dentis 51
– mesialis 51
– pterygoidea **46**, 57, **66**
– sublingualis 46
– submandibularis 46
Foveolae
– granulares 18, 306, 309
– Kaufläche 51
Fraktur
– frontobasale 26
– – Einteilung nach Escher 27
– – hohe 27
– – mittlere 27
– – tiefe 27
– lateroorbitale 27
Frankfurter Horizontale **52**, 150
Fremdkörperschutzreflex, Auge 80
Fremdreflex **400**
Friedreich-Ataxie 473
Frontallappen 276, 318, 320, **347**
– Anteil des Ventrikelsystems 312
– Assoziationsbahnen 542
– Frontalschnitt 85, 246, 248
– funktionelle Areale **540**
– – Horizontalschnitt 432, 434
– – Projektion auf den Schädel 318
Frontzähne 48
FSH (Follikel-stimulierendes Hormon) 351
Funiculus (Strang) 504
– anterior medullae spinalis 280, **396**, 507
– anterolateralis* medullae spinalis 280, 507
– cuneatus 397
– lateralis medullae spinalis 280, **396**, 507
– posterior medullae spinalis 280, **361**, **396**, 507
Fuß, überwärmter 468
Fußextensorenausfall 469
Fußsohlenanhidrose 468

G

Galea aponeurotica **78**, 382
Galen-Anastomose 218
Gallenblase, Head-Zone 303
Ganglia autonomica 271
Ganglien 418
– organnahe
– – parasympathische 296
– – sympathische 296
– parasympathische **300**
– prävertebrale 115, 132, 296, 503
– sensible 271
– – Hirnnerven **115**
– – Kopf **535**
– vegetative 271
– – Hirnnerven **115**
– – Kopf **534**
Ganglienzellen
– pseudounipolare 120, 124
– – Geschmacksbahn 488
– Retina 169, 476
Ganglienzellschicht, Kleinhirnrinde 369
Ganglion 267, 269, 271, 503
– autonomicum 503
– cervicale inferius 296
– cervicale medium 208, 242, **296**
– cervicale superius **140**, 160, 206, 208, 242, **296**, 467, 509, 512, 532, **534**
– cervicothoracicum (Ganglion stellatum) 141
– ciliare 115, **118**, 122, 175, **175**, 300, 480, 512, 532, **534**
– – Lage 177
– cochleare 289, **535**
– coeliacum 296
– craniospinale sensoricum 503
– Definition 503
– geniculi 115, 124, **126**, 151, 152, 195, **535**
– – Geschmacksbahn 488
– inferius nervi glossopharyngei (Ganglion petrosum) 115, 130, **140**, 203, 503, **535**
– – Geschmacksbahn 488
– inferius nervi vagi (Ganglion nodosum) 115, **132**, 141, 203, 219, 302, **535**
– – Geschmacksbahn 488
– intramurale 115, 132
– mesentericum inferius 296
– mesentericum superius 296
– nervi cranialis 271
– nervi spinalis s. Spinalganglion
– nodosum 115, **132**, 141, 203, 219, 302, **535**
– – Geschmacksbahn 488
– oticum 130, **237**, 300, **534**
– – Radix parasympathica 237
– parasympathicum **296**, 298, 503
– peripheres, Bindegewebshülle 275
– petrosum 115, 130, **140**, 203, 503, **535**
– – Geschmacksbahn 488
– pterygopalatinum 37, 115, 122, 124, **126**, 182, 233, 239, 300, 503, 509, 512, **534**
– sensoricum 503
– sensoricum nervi cranialis 503
– sensoricum nervi spinalis 503
– spirale cochleae 115, **128**, 151, 152, 484, 521
– stellatum 141, 242, **296**, 467
– submandibulare 115, 124, **127**, 190, 195, 300, **534**
– superius nervi glossopharyngei 115, 130, **140**, 503, **535**
– superius nervi vagi 115, **132**, 141, 219, 302, **535**
– sympathicum **296**, 298, 503
– trigeminale 115, **122**, 126, 175, 176, 178, **179**, 183, 195, 237, 509, 512, 519, **535**
– – im Sagittalschnitt 262
– – Schlundbogen 10
– – Schmerzbahn 452
– vestibulare 115, **128**, 151, 157, 486, **535**
– – Pars inferior 129, 151, **154**
– – Pars superior 129, 151, **154**
Garnier-Raum 163
Gaumen
– harter **44**, 181, 186

harter Gaumen
– – Frontalschnitt 246
– – im Horizontalschnitt 255
– – Leitungsbahnen 187
– – im Mediansagittalschnitt 260
– – Schädelbasis **44**
– – Spaltbildung 45
– primärer 9
– sekundärer 9
– weicher 181, **186**, 202, 203
– – Frontalschnitt 248
– – Innervation 130, 132
– – im Mediansagittalschnitt 260
– – Muskulatur **187**
Gaumenbein 16, 20, 21, **32,** 44
– Lamina horizontalis 41, 42
– laterale Nasenwand 40
– Nasenseptum 40
– Orbita 36
Gaumenmandel **196**, 202
– Aufbau 197
– Untersuchung 196
– vergrößerte 196
Gaumenplatte, verschmolzene 9
Gaumenschleimhaut, sensible Innervation 187
Gaumensegelmuskeln 201
Gaumenspalte 9, 45
Gebiss
– diphodontes 48
– heterodontes 48
– Infektionsabwehr 56
– Schmerzempfinden 56
– thekodontes 48
Geburtstrauma, Armplexuslähmung 467
Gedächtnis, Hippocampusfunktion 332, 540
Gedächtnisstörung 348, 540
Gefäße, orbitale **510**
Gefäßsystem, uveosklerales 167
Gehbewegung 357
Gehirn (s. auch Hirn) 267, 270
– arterielle Blutversorgung 282, **374**
– Blutfluss 282
– Einblutung in das Gewebe 391
– Einteilung **276**
– Embryonalentwicklung 272, 321
– Frontalschnitt **420**, **422**, **424**, **426**, **428**, **430**
– Gewebeschrankennachweis 316
– Herzminutenvolumenanteil 282
– Horizontalschnitt **432**, **434**, **436**
– Sagittalschnitt **438**, **440**, **442**
– Schnittbildanatomie 420
– in situ **306**, **308**
– Zytoarchitektonik 326
Gehörgang, äußerer 29, 66, **142**, **145**
– Krümmung 145
– Schlundfurchenherkunft 11
Gehörgangsspülung 150
Gehörknöchelchen 145, 146, **148**
– arterielle Versorgung 157
– Bewegungsachse 148
Gehörknöchelchenkette
– Beweglichkeit 148
– Funktion 148
Gehörschnecke 150
Gelbsucht, Wirkung der Blut-Hirn-Schranke 316
Gelenkkapseldehnung, passive, Wahrnehmung 284, 290
Gelenkrezeptoren 444
Genitale, Innervation, vegetative 296
Genitalfunktion, Leitungsbahn 411
Gennari-Streifen 329, **476**
Genu
– capsulae internae 335
– – Frontalschnitt 422
– – im Horizontalschnitt 433, 434
– – im Sagittalschnitt 441
– corporis callosi 331, **335**, 433
– – im Horizontalschnitt 433
– – im Sagittalschnitt 442
– internum nervi facialis 124, 356
Geruchsbahn 116
Geruchseindruck
– limbisches System 525
– vegetative Reaktion 525
Geruchsreiz, Verhaltensreaktion 490
Geruchssinn **288**, **490**
– Innervation 509
Geruchswahrnehmung 288, 525
Geschmack 284
– Leitungsbahn 203
Geschmacksbahn **488**, **523**, 551
Geschmacksfasern 120, **190**
– Chorda tympani 124, **126**, **190**, **488**, **523**
– Hirnnerven 191, **488**, **523**
– Nervus glossopharyngeus 488, **523**
– Nervus intermedius 124
– Nervus vagus 132, **488**, **523**
– Tractus solitarius 364
Geschmacksknospen **188**, 289, 488, **489**, 523
– Drüsen 188, 489
– Feinbau **489**
– Impulsverarbeitung 506
Geschmacksneurone, pseudounipolare, afferente 127, 488
Geschmacksqualitäten 489
Geschmackssinn **289**, **488**
– Hirnnerven 488
Geschmackssinnstörung 191
– nach Felsenbeinfraktur 126
Geschmackswahrnehmung **489**
– Ausfall, kompletter 488, 523
– emotionale Tönung 523
Geschmackszelle
– dunkle 489
– helle 489
Gesicht
– Anastomosen
– – arterielle 98, 103
– – venöse 98
– Gefäßbeziehungen 227
– Nervenaustrittspunkte 6, 123, 227
– Spaltbildung **8**
– venöse Verbindungen zu den Sinus durae matris 227
– Versorgungsgebiet
– – der Arteria carotis externa 227
– – der Arteria carotis interna 227
– Warndreieck 227
Gesichtsfeld
– Bestimmung 477
– makuläres 477
– Quadranten 477, 478
– Quadrantenausfall 540
– temporale Sichel 477
– zentrales 477
Gesichtsfeldausfall 21, 478
– halbseitiger s. Hemianopsie
Gesichtshaut
– Bewegung 78
– Innervation 120
Gesichtsregion, vordere **226**
Gesichtsschädel 13, **14**
– Abriss von der Schädelbasis 15
– Ausdehnung 14
– Bruchlinien **15**
– Hauptkraftlinien **15**
– Mediansagittalschnitt **260**
– Nervenaustrittsöffnungen 14, **123**, 158
– Orientierungsebenen **52**
– Pfeiler 15
– pneumatisierte Knochen 15
– Rahmenkonstruktion 15
– Siebbein **25**
Gesichtswülste, embryonale 8
– Derivate 8
Gewebe
– lymphatisches
– – Histologie 197
– – Mukosa-assoziiertes 197
– – Rachenring **196**, 202
– lymphoepitheliales 197
Gewölbe s. Fornix
Giebelkern 368, 538
Gingiva (Zahnfleisch) 49, **56**
– besfestigte 56
– freie 56
– Kollagenfasernverlauf 57
– Pars fixa 56
– Pars libera 56
Gingivaepithel, orales 56
Gingivafurche 56
Glabella 26, 40
Glandula
– lacrimalis (Tränendrüse) 122, 175, 177
– – im Horizontalschnitt 251
– – Innervation 124, **127**, 534
– – Pars orbitalis 158, 160
– – Pars palpebralis 158, 160
– parathyroidea (Nebenschilddrüse) 11, **222**
– – Lage 222
– parotidea (Ohrspeicheldrüse) 144, **210**, 232
– – Ausführungsgang 210, 232
– – bösartiger Tumor 211
– – Entzündungsausbreitung 204
– – im Frontalschnitt 85
– – im Horizontalschnitt 204, 254
– – Innervation 114, 130, 534
– – Pars superficialis 211
– – regionäre Lymphknoten 211
– pinealis (Corpus pineale; Epiphyse; Zirbeldrüse) 277, 341, **352**, 436, 443, 533
– – Feinbau 352
– – Frontalschnitt 427, 428
– – Funktion 342
– – Lage 352
– – retinale Afferenz 352
– pituitaria s. Hypophyse
– sebaceae 145, 159
– sublingualis (Unterzungenspeicheldrüse) 124, **210**
– – bimanuelle Untersuchung 211
– – Innervation 114, **127**, 190, 534
– submandibularis (Unterkieferspeicheldrüse) **210**, 242
– – Ausführungsgang 210
– – bimanuelle Untersuchung 211
– – im Frontalschnitt 85
– – Innervation 114, 124, **127**, 190, 534
– tarsales 159
– thyroidea (Schilddrüse) 202, 218, **222**, 229, 230
Glandulae
– buccales, Innervation 120
– ceruminosae 145
– ciliares 159
– labiales 211
– – Innervation 120
– linguales, Innervation 534
– nasales, Innervation 127, 534
– palatinae 211
– – Innervation 534
– pharyngeales 211
Glaser-Spalte 207
Glashaut 19
Glaskörper **162**
– Anheftung
– – an der hinteren Linsenkapsel 163
– – an der Ora serrata 163
– – an der Papilla nervi optici 163
– Frontalschnitt 246
– Horizontalschnitt 250
Glaukom (grüner Star) 167
Gleichgewichtsorgan 128, **142**, 150, **154**
– afferente Impulse 151
– Aufbau 154
– thermische Funktionsprüfung 150
Gleichgewichtsregulation 486, 538
– Formatio-reticularis-Funktion 359
– Vestibulariskerne 487
Gleichgewichtssinn **289**, 367, 532
– Koordination mit Augenbewegungen 529, 533

– Motorik 536
Gleichgewichtstest **128**
Gleitraum, zervikaler 204
Gliazellen **269**, 307
– Färbemethode 294
– Funktion 269, 295
Globus
– pallidus 276, 321, **336**, 352
– – im Horizontalschnitt 434
– – Motorik 458
– pallidus externus 346
– – motorische Schleife **459**
– pallidus internus 346
– – motorische Schleife **459**
– pallidus lateralis 343
– – im Frontalschnitt 422, 424
– – im Horizontalschnitt 435
– – Motorik 537
– – im Sagittalschnitt 440
– pallidus medialis 343
– – im Frontalschnitt 422
– – im Horizontalschnitt 435
– – Motorik 537
– – im Sagittalschnitt 261, 440
Glomerulus, olfaktorischer 491
Glomus caroticum 94, **130**, 206, 242
Glossitis, atrophische 192
Glottis
– im Kehlkopfspiegelbild 217
– Phonationsstellung 217
– Respirationsstellung 217
Glottisöffnung 217
Glottisverschluss 217
Glucosekonzentration, Liquor/Serum-Quotient 317
Glutamat 153, 155, 488
Golgi-Apparat, Nervenzelle 292
Golgi-Faser 401, 460
Gomphosis 56
Gowers-Bahn s. Tractus spinocerebellaris anterior
Gradenigo-Syndrom 147
Granulationes arachnoideae 306, 309, **314**, 382
– Liquorabfluss 314
Graue Substanz 269, **502**
– Großhirn 276, 321, **502**
– Kleinhirn **502**
– peripheres Nervensystem 269
– Rückenmark 280, 394, **396**, **398**, 507
– – Kerngebiete **399**
– – Läsion 471
– – Säulen 280, 396, 398
– – Schmetterlingsform 280, 502
– Schichtengliederung nach Rexed 399, 503
– Ursprungskern **114**, **356**, 503
– Zentralnervensystem 269
– Zielkern **114**, **356**, 503
Grenzdivertikel 199
Grenzlinie, mukogingivale 56
Grenzstrang, sympathischer 138, 140, **296**, 467
Grenzstrangganglion **296**
– Schmerzafferenzen, viszerale 302
– thorakales, erstes 296
Großhirn 270, 318, 343
– äußere Einteilung 276, **320**
– Embryonalentwicklung 272
– Entwicklung 321
– Frontalschnitt 276, 321
– funktionelle Asymmetrie 320
– graue Substanz 276, 321
– Hirnnerv 112
– Horizontalschnitt 276
– innerer Aufbau 276
– Kerne 502
– – motorische 286
– Kommissuren 546
– Oberflächenmorphologie **322**
– sensorische Leitungsbahnen 447
– Strukturen 443
– weiße Substanz 276, 321, **334**, 504
– – Struktur 504
Großhirnbasis 323
Großhirnfurchen 276
– basale 323
– mediale 324
Großhirnhemisphäre 276
– Abfaserungspräparat 334
– äußere Einteilung 320, **322**
– dominante 320
Großhirnlappen 276, 320
Großhirnoberfläche, funktionelle Zentren 379
Großhirnrinde s. Cortex cerebri
Großhirnwindungen (s. auch Gyri; s. auch Gyrus) 276
Gruber-Ligament **179**
Grundplatte, embryonale 114, **273**, 394
Gürtelrose 470
Gyri **320**
– breves insulae **325**
– cerebri **322**
– – Varianten 325
– insulae 540
– occipitotemporales, Abgrenzung 325
– orbitales 323
– temporales transversi **325**, 347
– – funktionelle Spezialisierung 540
Gyrus
– ambiens 116, 525
– – Riechbahn 490, 540
– angularis **322**, 497
– – funktionelle Spezialisierung 540
– cinguli **320**, **324**, 332, 347, 443, 492, 514
– – im Frontalschnitt 420, 422, 424
– – modulierender Einfluss auf die Großhirnrinde 495
– – Schädigung 499
– dentatus 262, **324**, 331, 332, **333**, 493
– – im Frontalschnitt 425
– – im Horizontalschnitt 435
– – im Sagittalschnitt 439
– fasciolaris 324, 332
– frontalis inferior **322**
– – Pars opercularis **322**, 540
– – Pars orbitalis **322**
– – Pars triangularis **322**, 540
– frontalis medius **322**
– frontalis superior **322**
– limbicus 492
– lingualis **323**, 324
– – funktionelle Spezialisierung 540
– longus insulae **325**
– occipitotemporalis lateralis **323**, 324
– occipitotemporalis medialis **323**, 324
– paracentralis anterior 324
– paracentralis posterior 324
– parahippocampalis **323**, 332, 492
– – im Frontalschnitt 421
– – im Sagittalschnitt 438
– paraterminalis 324, 492
– postcentralis **320**, **322**, 326, 346, 405, 444, 447, 451, 452, 514, 519
– – Assoziation mit motorischem Cortex 454
– – funktionelle Spezialisierung 540
– – Geschmacksbahn 289, 523
– – Somatosensibilität 285
– precentralis 125, 135, **320**, **322**, 326, 422, 454, 527, 540
– – Somatotopik **457**
– rectus **323**
– semilunaris 116, 525
– – Riechbahn 490, 540
– supramarginalis **320**, **322**, 540
– temporalis inferior **322**
– temporalis medius **322**
– temporalis superior 320, **322**, **325**
– – funktionelle Spezialisierung 540
– temporalis transversus 484, 521

H

Haarfollikelrezeptor 446
Haarzellen 289
– äußere 152, 485
– innere 152, 484, 521
Habenula 340, **352**
– im Frontalschnitt 426
– Riechbahn 525
Habenulakerne 353
– Afferenzen 353
– Efferenzen 353
Halbseitenlähmung, spinale 473
Haller-Zinn-Gefäßkranz 171
Hals
– arterielle Versorgung **94**
– Blutdrainage 105
– Embryonalentwicklung 10
– Grenzflächen 4
– Hautmuskel (Platysma) 78, 81, **89**, **228**
– – im Frontalschnitt 246
– – Ursprung 86
– Hirnnerven **138**
– – vegetative Funktion **140**
– Horizontalschnitt 256, 258
– klinische Anatomie **7**
– kongestionierter 7
– Lymphbahnenkreuzung 111
– Lymphknotenstationen 6
– mimische Muskeln **81**
– Nervensystem 138
– – vegetatives **140**
– seitlicher, Innervation
– – motorische **139**
– – sensible **139**
– tastbare Knochenpunkte 3
– von ventral
– – Innervation
– – – motorische **139**
– – – sensible **139**
– – mittlere Schicht 229
– – oberflächliche Schicht **228**
– – tiefe Schicht **230**
Halsarterien **94**
Halsbasis **242**
– linke **242**
– – zentraler Lymphraum 111
Halsdreieck, laterales 240
Halsfaszie **4, 228**, 240, 262
– im Querschnitt 4
Halsfaszienblätter
– Entzündungsausbreitung 5
– Halsvenenlage 104
Halsfistel
– inkomplette 11
– laterale 11
– mediane 11
– vollständige 11
Halsgrenzstrang **141**
Halslordose 256
Halslymphknoten **110**
– Lymphströmungsrichtung **111**
– oberflächliche **110**
– Schwellung 111
– systematische Palpation 111
– tiefe **110**, 243
– – Metastasen 110
– – Regionen 110
Halsmuskeln **88**
– gerade, tiefe 88
– oberflächliche **88**
– prävertebrale 88, **92**, 204
– seitliche, tiefe 88, **92**
Halsregion **2**
– hintere **244**
– – Hautinnervation 245
– seitliche
– – oberflächliche 240
– – tiefe 241, 243
Halsvenen **108**
– Anastomosen 108
– erweiterte 7
– oberflächliche **104**
Halsvenenstauung 109
Halsweichteile, Entzündungsausbreitung 204

Halswirbel **70**
Halswirbel
– Charakteristika 70
– Mediansagittalschnitt 260
1. Halswirbel s. Atlas
2. Halswirbel s. Axis
7. Halswirbel 2, **70**, 72, 256, 259
Halswirbelsäule **70**
– Bandapparat **72**
– – Magnetresonanztomografie 73
– degenerative Veränderungen **77**
– Instabilität 77
– Kehlkopflage 212
– Lateralflexion 92
– Magnetresonanztomografie 73
– Nativröntgenbild 73
– proximale 75
– Rotation 92
– Unkovertebralgelenke **76**
– Ventralflexion 92
Halswirbelsäulenverletzung 220
Halszyste
– laterale 11
– mediane 11
Hämatom
– epidurales 27, 101, **391**
– subdurales 311, 386
– – akutes **391**
– – chronisches 390
Hammer 145, 146, **148**
– Schlundbogenherkunft 10
Hammergriff 145, **148**
Hamulus pterygoideus 39, **35**, 187, 192
Hannover-Raum 163
Harnblase
– Head-Zone 303
– Innervation, vegetative 296
Harnblasenstörung, zerebral bedingte 393
Haube 278, 354
Haubenbahn, zentrale 357
Haubenkreuzung
– dorsale 547
– ventrale 547
Hauptblickrichtungen **172**
Haut
– Exterozeption 284
– Sympathikuswirkung 297
Hautinnervation
– okzipito-zervikale 245
– segmentale 395
Hautmuskel des Halses (Platysma) 78, 81, 86, **89**, **228**, 246
Hautnerv, Innervationsgebiet 463
Hautrezeptoren 445
Hautsensibilität 404
Head-Zone **303**
Heiserkeit 132, 216
Helicotrema 150, 152
Helix 143
Hell-Dunkel-Rhythmus 428
Hemianopsie 379, 393
– bitemporale 478
– homonyme 478, 540
Hemiarthroses laterales 76
Hemiballismus 353
Hemidesmosomen 56
Hemihypästhesie 393
Hemiparese 393, 461
– beinbetonte 393
– brachiofazial betonte 393
Hemiplegie, spastische 461
Hemisphärenasymmetrie 497
Hemisphärendominanz **496**
Hemispherium
– cerebelli (Kleinhirnhemisphäre) 279, 367
– cerebri 276
– – Abfaserungspräparat 334
– – äußere Einteilung 320, **322**
– – dominante 320
Hemmung, rekurrente 268, 399, 401
Hernie, intrakranielle **309**
Herring-Körperchen 350
Hertwig-Scheide 61
Herz
– Head-Zone 303
– Innervation, vegetative 296
– Parasympathikuswirkung 297
– Sympathikuswirkung 297
Herzminutenvolumen, Anteil des Gehirns 282
Herzschlagfrequenz, Regulation 140
Herzvorwölbung, embryonale 10
Heschl-Querwindungen (Gyrus temporalis transversus) 484, 521, 540
Heterodontie 48
Hiatus
– canalis nervi petrosi majoris 126
– – durchtretende Leitungsbahnen 136
– canalis nervi petrosi minoris 131
– – durchtretende Leitungsbahnen 136
– maxillaris 37, 42
– sacralis 419
Hinterhauptsbein 12, **18**, 22, **24,** 28
– von außen **24**
– im Horizontalschnitt 255
– von innen 22, **24**
– Schädelbasis 20, **24**
– Venae emissariae 385
Hinterhauptsregion 244
– Nervenaustrittspunkte 245
Hinterhauptsvenen **107**
Hinterhorn s. Rückenmark, Hinterhorn
Hinterhorn-Syndrom 470
Hinterseitenstrang 299
Hinterstrang 280, **396**, **404,** 507
Hinterstrangbahn 345, 347, **404**, 412, 444, **445**, 449
– absteigende Axone 404
– Atrophie 473
– Blutversorgung 415
– Durchblutungsstörung 415
– Exterozeptionsleitung 285
– Läsion 448
– – mit Pyramidenbahnläsion 471
– Mechanorezeption 285
– Propriozeptionsleitung 285
Hinterstrangkerne, kortikale Axone 457
Hinterstrang-Syndrom 471
Hinterstrangsystem 361
Hinterwurzel 281, 297, 311, **394**, 418
– C4-Th6, Läsion 470
– Kompression 462
– Läsion 448
– Reflexbogen **400**
– Schmerzleitung 450
Hinterwurzelfaser, sensible, aufsteigende 401
Hinterwurzel-Syndrom 470
Hippocampus 276, 330, **331**, **332**, 343, 349, 437
– Endplatte 493
– im Frontalschnitt 424, 426, 428
– Funktion 332
– im Horizontalschnitt 436
– Lage zum Ventrikelsystem 313
– modulierender Einfluss auf die Großhirnrinde 495
– Neuronenschicht 493
– proprius **324**, **332**, 493
– retrocommissuralis 493
– Riechbahn 525
– Sommer-Sektor 493
– Topografie 331
– Verbindungen 493
Hippocampusatrophie 499
Hippokampusformation **324**, **332**, 427, **493**
– Definition 493
– funktionelle Spezialisierung 540
– Zytoarchitektur 493
Hirn s. auch Gehirn
Hirnabszess 27
Hirnanhangdrüse s. Hypophyse
Hirnarterien, zuführende **374**
– Einengung 375
– Verschluss 375
Hirnatrophie 312
Hirnbasis
– Arterien **376**
– oberflächliche Diencephalonteile 341
Hirnbasisaneurysma
– Blutung 311
– Lokalisation 391
– Ruptur 390
Hirnbläschen 272
Hirndurchblutung, regionale, Hirnfunktion 494
Hirnfunktion
– Durchblutung, regionale 494
– funktionelle Magnetresonanztomografie 495
Hirnhaut **308**
– arterielle Versorgung 511
– harte s. Dura mater
– Nervus opticus 169
– weiche 274, **307**
Hirnhäute **306**
– Entwicklung 307
– Räume **311**
– in der Schädelkalotte **309**
– in situ **306**
– im Wirbelkanal **418**
Hirninfarkt
– hämorrhagischer 391
– – kleiner 391
– ischämischer
– – Arterienverschluss 392
– – Venenthrombose 393
Hirnkammer s. Ventriculus; s. Ventrikel
Hirnkartierung **328**
Hirnmantel 321, 435
I. Hirnnerv s. Nervus olfactorius
II. Hirnnerv s. Nervus opticus
III. Hirnnerv s. Nervus oculomotorius
IV. Hirnnerv s. Nervus trochlearis
V. Hirnnerv s. Nervus trigeminus
VI. Hirnnerv s. Nervus abducens
VII. Hirnnerv s. Nervus facialis
VIII. Hirnnerv s. Nervus vestibulocochlearis
IX. Hirnnerv s. Nervus glossopharyngeus
X. Hirnnerv s. Nervus vagus
XI. Hirnnerv s. Nervus accessorius
XII. Hirnnerv s. Nervus hypoglossus
Hirnnerven **112**, 271
– Afferenzen
– – somatische **112**
– – speziell somatische **112**
– – speziell viszerale **112**
– – viszerale **112**
– echte 271, 278
– Efferenzen
– – branchiogene 112
– – somatische **112**
– – speziell viszerale **112**
– – viszerale **112**
– Ganglien **115**
– Gehirnfrontalschnitt 420, 422, 424
– Geschmacksfasern 191
– Geschmackssinn 289
– im Hals **138**
– im Meatus acusticus internus 151
– zur Orbita ziehende 178
– Schlundbögen 10
– Somatosensibilität 284
– unechte 271
– Verlauf im Sinus cavernosus 176
– viszeroefferente Fasern **300**
– – an Trigeminusästen 120
Hirnnervenganglion 271
Hirnnervenkerne **114**, 296, **356**, 358, **550**
– Embryogenese 114
– Hirnstamm **115**
– kortikale Kontrolle 527
– motorische 360, 409, **527**
– – beidseitig versorgte 360, **456**
– – Fibrae corticonucleares bulbi **456**, **527**

– – ipsilaterale Versorgung 360, **456**
– – kontralaterale Versorgung 360, **456**
– somatoafferente **114**, **356**, 550
– somatoefferente **114**, **356**, 550
– somatomotorische **356**
– somatosensible **356**, 550
– speziell viszeroafferente **114**
– speziell viszeroefferente **114**
– viszeroafferente **114**, **356**, 551
– viszeroefferente **114**, **356**, 550
– viszeromotorische **356**, 550
– viszerosensible **356**
Hirnödem 309
Hirnrindenfeld s. Area; s. auch Areae
Hirnschädel 13
– Mediansagittalschnitt **260**
Hirnschenkel 118, 278, 341, 357
– im Horizontalschnitt 250, 357, 436
– Kompression am Tentorium cerebelli 309
– Läsion 461
– im Sagittalschnitt 440
Hirnsichel 25, **308**, 318
– Anheftung 18
– im Frontalschnitt 85
– in situ 274
Hirnstamm 270, 276, **278**, 340, **354**, 367
– Arterien **380**
– – Versorgungsgebiet 381
– Aufbau 278
– – innerer 278
– Augenmuskelnerven **118**
– äußere Form 278
– Bahnen 354, **531**
– – absteigende **360**
– – aufsteigende **361**
– – durchziehende 531
– Bahnkreuzung 281
– Entwicklung, embryonale 114
– Formatio reticularis 346
– Gliederung 278
– – funktionelle 354
– Hirnnervenkerne **115**, **356**
– Kerne 284, 354, **358**, 502
– – motorische 286
– Kernsäule 356
– – somatoafferente **114**
– – somatoefferente **114**
– – viszeroafferente **114**
– – viszeroefferente **114**
– Kleinhirnbahnen 361
– Kommissuren 546
– Lage 278
– Mediansagittalschnitt **354**, 423
– parasympathische Kerngebiete 296, **300**
– Projektion auf den Schädel 318
– Querschnitt 357, **362**
– Raphe 358
– Transmitterarchitektonik 358
– Venen **389**
– – longitudinales System 389
– – transversales System 389
– Zytoarchitektonik 358
Hirnstamminfarkt 309
Hirnstammkerne
– salivatorische 353
– Verknüpfung untereinander 360
Hirnstammkompression 309
Hirnstammläsion 354
– Vagusläsion 219
Hirnstammreflexe 356, **479**
Hirnstammzentren, Motorik 536
Hirnteileinklemmung **309**
– axiale 309
– laterale 309
– obere 309
– untere 309
Hirnvenen
– oberflächliche 307, 308, **386**
– – Anastomosen mit tiefen Hirnvenen 387
– – Drainagegebiete 387
– tiefe **388**
– – Anastomosen mit oberflächlichen Hirnvenen 387
– Zuflüsse zu den Sinus durae matris **384**
Hirnvenensystem, basales 387
Hirnvenenthrombose 393
Hirnventrikel s. Ventriculus; s. Ventrikel
Höcker s. Zahnhöcker
Hoden, Head-Zone 303
Höhlengrau, zentrales 118, 345
– Schmerzverarbeitung 451
– zentrales absteigendes schmerzhemmendes System 453
Homöostase 298
Homunkulus
– motorischer 457, 540
– sensibler 447
Hörbahn 347, 361, 363, 428, 436, **484**, **521**, 545
– Rezeptoren 484
– tonotope Organisation 484
– Verbindung von der oberen Olive 544
– Verschaltung 289, 521
Horizontalzelle, retinale 169
Hormon
– adrenokortikotropes 351
– antidiuretisches **350**, 548
– Follikel-stimulierendes 351
– interstitielle Zellen stimulierendes 351
– luteinisierendes 351
– luteotropes 351
– mammotropes 351
– somatotropes 351
– Thyroidea-stimulierendes 351
Horn s. Cornu
Horner-Muskel 80
Horner-Syndrom 166, **467**
Hörnervfasern, afferente 153
Hornhaut 159, 162
– Aufbau 165
– Brechkraft 165
Hornhautendothel 165
Hornhautepithel 165
Hornhautstroma 165
Hornhauttransplantation 165
Hörorgan 128, **142**, 150, **152**
– afferente Impulse 151
– Sinnesepithel 150
Hörprüfung, objektive 485
Hörrinde
– Areal 540
– primäre 289, 329, 521
Hörschleife 289
Hörscreening beim Neugeborenen 485
Hörsinn **289**
Hörsturz 151, 380
Hörtest **128**
Horton-Arteriitis 101
Hörwahrnehmung **153**
– gestörte 540
Hydrozephalus 17
– innerer 312
Hyoidbogen 10
Hypalgesie 290
Hypästhesie 290
– einseitige 448
Hyperakusis nach Felsenbeinfraktur 126
Hyperkalzämie 223
Hyperkalzurie 223
Hyperkinetische Störung 459
Hyperopie (Weitsichtigkeit) 163
Hyperparathyreoidismus 223
Hyperphosphaturie 223
Hypoglossuslähmung
– einseitige **189**
– periphere 135
– zentrale 135
Hypokinetische Störung 459
Hypoparathyreoidismus 223
Hypopharynx 186, **202**
– im Horizontalschnitt 256
Hypopharynxdivertikel 199
Hypophosphatämie 223
Hypophyse 43, 277, 312, 320, **350**
– Anlage 273
– Bahnen vom Hypothalamus 349
– im Frontalschnitt 249
– im Horizontalschnitt 251
– hormonproduzierender Teil 350
– hormonsezernierender Teil 350
– Kopfhorizontalschnitt 251
– im Mediansagittalschnitt 260
– Portalgefäß 350
– Projektion auf den Schädel 318
Hypophysenhinterlappen (Neurohypophyse) **316, 350**
Hypophysenoperation, transnasale 43
Hypophysenstiel 350
Hypophysenvorderlappen (Adenohypophyse) **350**
Hypophysenvorderlappenhormone **351**
Hypophysis cerebri s. Hypophyse
Hyporeflexie 470
Hypothalamus 277, 342, **348**, 443, 487, 530
– Afferenzen 349
– dynamogene Zone 349
– Efferenzen 349
– im Frontalschnitt 422
– Funktion 348, **349**
– Kerne 348, **548**
– Lage 348
– – zum Ventrikelsystem 313
– lateraler 348
– medialer 348
– Region
– – hintere 349
– – mittelvordere 349
– – paraventrikuläre 349
– – präoptische, vordere 349
– – supraoptische 349
– Riechbahn 525
– Riecheindruckanalyse 490
– zentrales absteigendes schmerzhemmendes System 453
Hypothalamus-Adenohypophysen-Kommunikation, Steuerhormone 351
Hypothalamuskerne
– Anbindung
– – an die Adenohypophyse 351
– – an die Neurohypophyse 350
– anteriore 348
– mammilläre 348
– mittlere 348
– posteriore 348
– tuberale 348
Hypotympanon 149
Hypoxie, zerebrale 493

I

ICSH (interstitielle Zellen stimulierendes Hormon) 351
Immunabwehr, Zahnfleischsaumepithel 56
Impedanzwellen, Schallwellen 148
Impulse, olfaktorische, afferente 353
Incisura
– ethmoidalis 26
– frontalis 3, 14, 26, 37
– – durchziehende Leitungsbahnen 36
– interarytaenoidea 205
– – im Kehlkopfspiegelbild 217
– intertragica 143
– mandibulae **46**, 67
– mastoidea 21, 29, 90
– sphenopalatina 33
– supraorbitalis 3
– tentorii **308**
– thyroidea inferior 213
– thyroidea superior 3, 213
– tympanica 145
– vertebralis superior 77
Incus (Amboss) 145, 146, **148**
– Schlundbogenherkunft 10
Indusium griseum **330**, 332, 492
– Entwicklung 321
Infektion, aufsteigende, in das Sinussystem 511

Infektionsabwehr, Gebiss 56
Infiltrationsanästhesie 64
Information
– sensible, kortikale Verarbeitung 446
– im Unbewussten gespeicherte 492
Informationsleitung, rückenmarksinterne 281
Informationsniveau 266
Infundibulum
– ethmoidale 25
– hypophysis 178, 443
Innenohr **142**, **150**
– Funktionsstörung, akute 151
– Impulsverarbeitung 506
– Somatosensibilität 284
– Zusammenwirkung mit dem Mittelohr 153
Innervation, radikuläre
– Projektion auf die Haut **462**
– des Stammes 463
Insellappen 276, 320
Inspiration, Musculi-scaleni-Funktion 92
Insula (Insel) 276, 320, 435
– Arterien 377
– auditorischer Cortex 484
– Embryonalentwicklung 273, 321
– im Frontalschnitt 421, 422, 424, 426
– funktionelles Areal **540**
– Geschmacksbahn 289, 523
– Gyri **325**
– im Horizontalschnitt 434, 436
– Lage 321
– im Sagittalschnitt 438
– Sulci **325**
Integrationskerne, thalamische 344, 347
Interinzisialwinkel 53
Interkuspidation, maximale 53
Interneuron (Zwischenneuron) 268, **293**, **396**, 409
– Entwicklung 273
– inhibitorisches 369
– Rückenmark **399**, 400
Intervall, freies, bei intrakranieller Blutung 390
Intubation
– endotracheale **220**
– nasotracheale 220
– orotracheale 220
– pertracheale 220
Intumescentia
– cervicalis 280, **397**
– lumbosacralis 280, **397**
Inzisalpunkt **52**
IPSP (inhibitatorisches postsynaptisches Potenzial) 292
Iris (Regenbogenhaut) 159, 162, **166**
– Gefäßkranz
– – äußerer 167
– – innerer 167
Irisepithel 167
Irisstroma 167
Ischämie, zerebrale 299, 375, **392**
Isocortex s. Neocortex
Isthmus
– faucium (Schlundenge) 186, 192, 200
– glandulae thyroideae 222
– tubae auditivae 207

J

Jochbein **32**
Jochbeinfraktur 32
– dislozierte 14
Jochbogenmuskel
– großer 78, 81
– kleiner 78, 81
Jochpfeiler
– horizontaler 15, 22
– senkrechter 15, 22
Juga alveolaria 48
Jugularvenen 105
Jugularvenenstauung 109
Jugulum sterni 4
Jugum
– alveolare **46**
– sphenoidale 22, **35**

K

Kahnschädel 17
Kalotte, Blutversorgung 101
Kälterezeptor 446
Kammerwasserabfluss **167**
– gestörter 167
– Pupillarwiderstand 167
– Trabekelwiderstand 167
– uveoskleraler 167
Kammerwasserproduktion 162, **167**
Kammerwinkel 162, **167**
– blockierter 167
– Trabekelwerk 164
Kandelaberarterie 377
Kapillarendothel
– fenestriertes 317
– Tight junctions **317**
– – Blut-Hirn-Schranke 317
Karies
– Bissflügelaufnahme 63
– Prädilektionsstellen 51
Karotisaneurysma, intrakavernöses 178
– infraklinoidales 179
– supraklinoidales 179
Karotisbifurkation 94
Karotisdreieck **242**
Karotisgabel 94, 243, **374**
– atheromatöse Veränderung 392
Karotissiphon 95, 179, 249, 374
– Stenose 375
Karotisstenose, Kollateralkreislauf 95, 103
Karotisstromgebiet **374**
– Durchblutungsstörung **392**
Karotisverschluss
– embolischer 392
– thrombotischer 392
Katarakt (grauer Star) 165
Katecholamine, Nuclei reticulares 358
Kaudasyndrom 463
Kauebene **52**
Kauen, Musculus-buccinator-Funktion 80
Kaufläche
– anatomische 51
– funktionelle 51
Kauflächenaufbau 51
Kauflächenfissur 51
Kauflächenhöcker s. Zahnhöcker
Kauflächenlängsfissur 51
Kauflächenrandleiste 51
Kauflächenspalte 51
Kaumuskeln **82**
– Ansätze 82, **86**
– Bewegungssteuerung, bewusste 527
– Frontalschnitt **85**
– Funktionsstörung 526
– Innervation 78, 114, 120, 237
– oberflächliche **82**
– Schlundbogenherkunft 10
– tiefe **84**
– Ursprünge 82, **86**
Kaumuskelschlinge **84**
Kauspitze 49, 51
Kehldeckel s. Epiglottis
Kehldeckelknorpel 203, 212, **213**
Kehlkopf s. Larynx
Kehlkopfspiegelung
– direkte 220
– indirekte 217
Keilbein 12, 16, 20, 28, 41, 42, **34**
– von innen 22, **34**
– Lage 34
– Nasenseptum 40
– Orbita 36
– Schädelbasis 34
Keilbeinhöhle 15, 20, 41, 42, 43, 180
– Frontalschnitt 83, 249
– im Horizontalschnitt 252
– Mediansagittalschnitt 260
– Öffnung **34**
– Projektion auf den Schädel 42
– im Sagittalschnitt 262
Kennmuskeln 398, **464**
– Lumbalwurzelschädigung 465
– Rückenmarksegmentzuordnung 465
– Zervikalwurzelschädigung 464
Kern, rostraler, interstitieller, des Fasciculus longitudinalis medialis 482
Kerne (s. auch Nuclei; s. auch Nucleus) 269, 276
– basales Vorderhirn, modulierender Einfluss auf die Großhirnrinde 495
– blickmotorische 482
– dienzephale 359
– melaninhaltige 357
– motorische 286
– parasympathische **551**
– pontine, kortikale Axone 457
– sympathische **551**
– vegetative **551**
Kerngebiet
– motorisches **458**
– pneumotaktisches 358
Kerngruppengliederung im Rückenmark **399**
Kernkatarakt 165
Kernsäulen 502
– Rückenmarkvorderhorn 398
Kiefergelenk 46, **66**
– Bandapparat **66**
– Bewegung **69**
– – muskulo-disko-kapsuläres System **69**
– Beziehung zum äußeren Gehörgang 145
– Biomechanik 68
– Histologie 67
– Kammer
– – diskomandibuläre 67
– – diskotemporale 67
– Kollateralbänder 66
– Mahlbewegung 68, 82
– retroartikuläres Polster 67
– Rotationsbewegung 68
– Translationsbewegung 68
Kiefergelenkkapsel **66**, 69, 237
– Histologie 67
– sensible Versorgung **66**
Kieferhöhle 15, 37, 44
– Beziehung
– – zu den Molarenwurzeln 43
– – zur Orbita 38, 180
– chirurgischer Zugang 31
– Endoskopie **185**
– Entzündung 31
– Flüssigkeitsstrom 184
– Frontalschnitt 246, 248
– im Horizontalschnitt 253
– Öffnung 43
– Pneumatisation, altersabhängige **42**
– Projektion auf den Schädel 42
– im Sagittalschnitt 262
– Tumor 31
– Zilienschlag 184
Kieferwinkellymphknoten 111
Kiemenbögen **10**
1. Kiemenbogen 120
2. Kiemenbogen 124
Kiemenbogennerven 506
– Hirnnervenkerne **114**
– Kerne **356**
Killian-Dreieck 199
Killian-Schleudermuskel 199
Kinderlähmung 472
Kinnmuskel 81
Kinozilium 154, 184
Kleinfingerballenmuskulatur, Parese 464
Kleinhirn s. auch Cerebellum
Kleinhirnbahnen, durch den Hirnstamm ziehende 361

Kleinhirn-Brücken-Winkel 124, 151, **279**, 367, 521
Kleinhirn-Brücken-Winkel-Tumor 128, 151
Kleinhirnhemisphäre 367, 538
– venöse Drainage 388
Kleinhirnkerne 279, 368
– Efferenzen 361
Kleinhirnmark 279
Kleinhirnrinde 279, 368
– efferente Zellen 369
– Purkinje-Zelle **293**, **369**
– Schichten 369
Kleinhirnschaden 455
Kleinhirnschleife **287**, 536
Kleinhirnsegel 279
Kleinhirnseitenstrangbahn 412, 444, **445**
– Propriozeptionsleitung 285
Kleinhirnstiele 355, 361, **370**, 407, 426
Kleinhirnstielkreuzung 547
Kleinhirnvenen **388**
– laterale Gruppe 388
– mediale Gruppe 388
Kleinhirnwindungen 368
Kleinhirnwurm 279
Kleinhirnzelt 279, **308**, 382, 430
– im Horizontalschnitt 251, 252
– in situ 274
Kletterfasern 369, 371
Knochenabbau 223
Knochentuberkulose, Senkungsabszess 5
Knochenwachstumsstörung, Einengung von Schädelbasisöffnungen 21
Kochleaimplantat 484
Kochleariskerne **114**, **128**, 484
Kokainabusus 166
Kollagenfasern
– dentoalveoläre 57
– zementoalveoläre 57
Kollagensynthese im Desmodont 57
Koma, Reflexprüfung 479
Kommissur **546**
– der Colliculi inferiores 484
Kommissurenbahn 320
– neokortikale 331
Kommissurenfasern 327, **334**, 432
Kommissurenzellen **399**, 401
Kompakta, mandibuläre 57
Konfrontationstest, Gesichtsfeldbestimmung 477
Koniokortex 326
Koniotomie 218, 220
Kontaktpunkte, dentale 52
Kontrollzentrum, vegetatives 277
Konussyndrom 474
– Behinderungsgrad 475
Konvergenz, Signalübertragung 268
Konvergenzbewegung der Augen 480
Koordinationsprüfung **291**
Kopf
– arterielle Versorgung **94**
– Blutdrainage 105
– Drehbewegung 154, **155**
– Frontalschnitt **246**, 248
– Ganglien
– – sensible **535**
– – vegetative **534**
– Gefäße
– – mittlere, seitliche Schicht 234
– – oberflächliche, seitliche **232**
– – tiefe Schicht 235
– Horizontalschnitt **250**, 252, 254
– klinische Anatomie **6**
– Lymphknotenstationen 6, **110**
– Mediansagittalschnitt **260**
– Nerven
– – mittlere, seitliche Schicht 234
– – oberflächliche, seitliche **232**
– – tiefe Schicht 235
– Sagittalschnitt **261**, 262
– Schmerzbahnen **452**
– Spaltlinien 6
– Spannungslinien 6
Kopfarterien **94**
Kopfaufrichter
– Ansatz 86
– Ursprung 87
Kopfdrehung, Augenbewegung 533
Kopfganglien, parasympathische 296, **300**
Kopfgefäße, Innervation, vegetative 296
Kopfgelenk
– oberes **72**, **74**
– – Bandapparat **75**
– unteres **72**, **74**
– – Bandapparat **75**
Kopf-Hals-Bereich, seitlicher, Nervenversorgungsareale 233
Kopfhaltung, kompensatorische 179
Kopfhautvenen 382
Kopfregionen **2**
Kopfschmerzen 101, 390
Kopfschwarte **19**
– Infektionsausbreitung 19
Kopfspeicheldrüsen **210**
– Innervation 210
– seromuköse 210
– seröse 210
Kopfvenen
– erweiterte 7
– oberflächliche **104**
– tiefe **106**
Kopfwendebewegung, Ausfall 526
Kopfwender
– Ansatz 86
– Ursprung 87
Kopfzwanghaltung 173
Korbzelle 369
Kornealreflex 120, 165, **479**
Körnerzellen
– Bulbus olfactorius 491
– Hippocampus 493
Körnerzellschicht
– äußere, motorische Großhirnrinde 457
– innere, motorische Großhirnrinde 457
– Kleinhirnrinde 369
Körperaufrechterhaltung 487
Körperfunktionen, vegetative, Hypothalamusfunktion 348
Körperhaltung 357
Körpertemperaturregulation
– Hypothalamusfunktion 349
– Ohrmuschelarterien 143
Körperzellen 326
Korsakow-Syndrom 348
Kraftsinn 412, 444
– Rezeptoren 446
Krause-Drüse 160
Kreislaufzentrum 358
Kreuzband des Atlas **74**
Kreuzungen **547**
Kugelkern 368, 486, 538
Kuppelraum 149
Kurzsichtigkeit 163
Kurzzeitgedächtnisstörung 332, 348

L

Labium
– inferius 186
– superius 186
Labyrinth
– arterielle Versorgung 157
– häutiges 486
– Innervation 535
– kochleäres 150
– vestibuläres 150
Labyrinthus
– membranaceus 150
– osseus 150
Lachmuskel 81
Lackzunge 192
Lacuna lateralis 306, 382
Lageempfindung 346, 444
– Bahnen 404
Lagesinn **412**
– einseitiger Ausfall 448
– Prüfung **290**
– Verlust 471
Lagewahrnehmung 284
Lähmung
– beinbetonte 379
– brachiofazial betonte 461
– kombiniert spastische/schlaffe 472
– komplette 461
– periphere 517
– schlaffe 415, 461, 467, 471
– spastische 391, 415, 417, 461, 471
– – progressive 472
– – Querschnittslähmung 401
– zentrale 379, 461, 517
Laimer-Dreieck 199
Lamina (Schicht) 213, 345, 382, 503
– affixa 340
– arcus vertebrae 71
– arcus vertebrae cervicalis VII 71
– basilaris 153
– cartilaginis cricoideae 213
– – im Horizontalschnitt 259
– cementoblastica 61
– choroidocapillaris 170
– cribriformis 48, 56, 57
– cribrosa ossis ethmoidalis (Siebbeinplatte) 23, **25**, 41, 42, **43**, 116, 177, 182, 509, 525
– – durchtretende Leitungsbahnen 136, 525
– – Fraktur 25
– – Verletzung 116
– cribrosa sclerae 162, 169
– Definition 503
– densa 56
– dextra cartilaginis thyroideae 213
– externa calvariae **19**, 382
– granularis externa isocorticis 326
– granularis interna isocorticis 326, 519, 521, 523
– horizontalis ossis palatini 33, 41, 42
– – Facies nasalis 33
– – Facies palatina 33
– interna calvariae **19**, 382
– lateralis processus pterygoidei ossis sphenoidalis 21, 39, 41, **34**, 44, 82, 187, 238
– limitans anterior corneae 165
– limitans posterior corneae 165
– medialis processus pterygoidei ossis sphenoidalis 21, 39, 41, 42, **34**, 45, 67, 187, 199
– medullaris lateralis thalami 345
– medullaris medialis thalami 343, 345
– membranacea 207
– molecularis isocorticis 326
– multiformis isocorticis 326
– muscularis mucosae 304
– orbitalis ossis ethmoidalis 38, **25**
– osteoblastica 61
– papyracea 38, 43, 246
– periodontoblastica 61
– perpendicularis 14, **25**, 38, 41, 180
– – Facies maxillaris 33
– – Facies nasalis 33
– pretrachealis fasciae cervicalis **4**, 204, **228**, 240
– prevertebralis fasciae cervicalis **4**, **204**, 240
– – im Horizontalschnitt **204**
– – im Sagittalschnitt 262
– propria, Nasenschleimhaut 184
– pyramidalis externa isocorticis 326
– pyramidalis interna isocorticis 326, 517, 527
– quadrigemina s. Lamina tecti
– rara 56
– sinistra cartilaginis thyroideae 212, 262

Lamina
– spiralis ossea 152
– superficialis fasciae cervicalis **4**, 204, **228**, 240
– tecti (Vierhügelplatte) **118**, 153, 277, 278, **340**, 353, 354, 357, 428, 436, 533
– – im Frontalschnitt 427, 428
– – im Sagittalschnitt 443
– terminalis 331
– vitrea (Glashaut) 19
Längsbalken, medianer, Schädelbasis 22
Längsbündel, mediales 360
Laryngopharynx 186, **202**
– Frontalschnitt 249
Laryngoskop 220
– Platzierung 220
Laryngoskopie 217
– direkte 220
– indirekte 217
Larynx (Kehlkopf) **212**, 215
– Blutversorgung 215, 218
– Etagengliederung 214
– Innenrelief 214
– Innervation 215, 218, 535
– Lage zur Halswirbelsäule 212
– Spiegelbild 217
– tastbare Punkte 3
– Topografie **218**
– venöse Drainage 215
– Zugangsweg 218
Larynxeingang 200, 214, 219, **221**, 257
– Intubation 220
Larynxinnenraum 214
Larynxmuskulatur **216**
– äußere 216
– Funktion 217
– innere 216
– – Innervation 216
– Innervation 114, 132, 134, 141
– unbewusste motorische Steuerung 527
– Zugrichtung 217
Larynxödem 214, 218
– chronisches 219
Larynxschleimhaut 214
– Innervation 132, 141, 218
– Rinnen 214
– subglottische 219
Läsion
– radikuläre **462**, 465
– – Kennmuskeln **464**
– – Lokalisation 463
– – motorische Schäden **464**
– – Schmerzverstärkung 465
– – zervikale 464
– spinale **470**, **472**
– – Höhenbestimmung **474**
– – lumbale 474
– – sakrale 474
– – thorakale 474
– – zervikale 474
Lateralis s. Musculus cricoarytaenoideus lateralis
Lateralsklerose, amyotrophe 472
Lebensbaum 368
Leber
– Head-Zone 303
– Innervation, vegetative 296
Lederhaut 162
Le-Fort-I-Mittelgesichtsfraktur **15**
Le-Fort-II-Mittelgesichtsfraktur **15**
Le-Fort-III-Mittelgesichtsfraktur **15**, 27
Leitungsanästhesie 64
– Injektionsorte 65
Leitungsbahn s. auch Bahn 504
Leitungsbahnenfaszie, zervikale 4
Lemniscus (Schleife) 504, **545**
– lateralis 289, **361**, 484, 521, 531, **544**, **545**
– – Ponsquerschnitt 362
– medialis 346, **361**, 405, 444, 447, 514, 519, 531, **545**
– – Läsion 346, 448
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– – Ponsquerschnitt 362
– – im Sagittalschnitt 441
– spinalis 361, 403, 449, 531, **545**
– trigeminalis 203, 345, 449, 519, 531, **545**
– – Läsion 448
– – Ponsquerschnitt 362
Lens cristallina s. Linse
Leptomeninx (weiche Hirnhaut) 274, **307**
Lernen, Cortexareal 540
Lesen, Cortexareal 540
LH (luteinisierendes Hormon) 351
Liberine 351
Lichtbrechung im Auge 163
Lichtreaktion
– Ausfall 481
– direkte 481
– indirekte 481
– konsensuelle 481
Lichtreflex **481**
– afferenter Schenkel 479, 481
– efferenter Schenkel 481
– auf dem Trommelfell 145
Lidbindehaut 159
Lidheberlähmung 118, 173
Lidplatte 159
Lidschlag 159
Lidschluss **80**
– fehlender 161
Lidschlussreflex 159
– fehlender 125
Lidspalte, mimische Muskeln **80**
Lidspaltenverengung 467
Lidspaltenweite 159
Ligamentum
– alare 74
– anulare stapedis 146, 149
– apicis dentis 73, 74
– atlantooccipitale **72**
– atlantooccipitale laterale 74
– cricoarytaenoideum 212
– cricothyroideum 212, 221
– – Durchtrennung 220
– cricothyroideum medianum 212, 214, **216**, 218
– – Spaltung 218
– cricotracheale 212
– cruciforme atlantis **74**
– denticulatum 311, 418
– flavum **72**, 74
– hyoepiglotticum 214
– incudis posterius 149
– incudis superius 149
– interspinale 73
– intertransversarium 75
– laterale articulationis temporomandibularis **66**, 83
– longitudinale anterius **72**
– longitudinale posterius 73, **74**, 463
– mallei anterius 149
– mallei laterale 145, 149
– mallei superius 149
– nuchae 5, **72**, 74
– – Magnetresonanztomografie 73
– – im Mediansagittalschnitt 260
– palpebrale laterale 158
– palpebrale mediale 158, 160
– pterygospinale 67
– sphenomandibulare 67, 193
– spirale 152
– stylohyoideum, Schlundbogenherkunft 10
– stylomandibulare **66**
– supraspinale 73
– thyroepiglotticum 212
– thyrohyoideum 202, 212, 214
– thyrohyoideum medianum 218, 242
– transversum atlantis 72, **74**
– – im Horizontalschnitt 255
– – im Mediansagittalschnitt 260
– vestibulare 212, 214
– vocale (Stimmband) **213**, 214, 219
Limbisches System 323, 324, 330, 332, 347, 349, 358, 427, 490, **492**, 548
– Beteiligung bei Alzheimer-Erkrankung 498
– Bogen
– – äußerer 492
– – innerer 492
– Definition 493
– Geruchseindruck 525
– Geschmackswahrnehmung 523
– Neuronenkreis 492
– Raphekernaxone 358
– Riecheindruckanalyse 490
– schmerzleitende Neurone 451
Limbus
– corneae 162
– laminae spiralis 152
– spiralis 152
Limen
– insulae 439
– nasi 181
Linea
– mylohyoidea **46**, 90, 194
– nuchalis inferior **16**, 21, 24, 72
– nuchalis superior **16**, 21, 24, 72
– nuchalis suprema **16**, 21, 24
– obliqua cartilaginis thyroideae 213
– obliqua mandibulae **46**
– temporalis inferior 27, 82
– temporalis superior 27
Linearbeschleunigung 154, 486
Lingua (Zunge) 85, **188**, 192
– Pars anterior 188
– Pars posterior 188
– Pars postsulcalis 188
– Pars presulcalis 188
Lingula
– cerebelli 366, 368
– – im Sagittalschnitt 443
– mandibulae 57, **66,** 193
Linse 159, 162, **164**
– Bezugslinien 165
– Brechkraft 165
– Dynamik 164
– Embryonalkern 165
– Erwachsenenkern 165
– Fetalkern 165
– Halteapparat 164
– im Horizontalschnitt 251
– infantiler Kern 165
– Krümmungsgrad **165**
– Lichtbrechung 165
– Wachstum 165
– Zonierung 165
Linsenäquator 165
Linsenfasern 164
Linsenkapsel 165
Linsenkern 458
Linsenmotorik 533
Lippen **186**
Lippenfarbe 186
Lippenfurche, embryonale 60
Lippenfurchen 186
Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte 9, 45
Lippen-Kiefer-Spalte 9, 45
– beidseitige 9
Lippenspalte 9
Lippenwall, embryonaler 60
Liquor cerebrospinalis 307
– Ablauf über die Nase 25, 27, 116
– Bildung 312, **314**
– blutiger 315, 390
– Gewinnung 317, 419
– Hauptfunktion 317
– intrakranielle Zunahme 17
– Produktion 275
– Resorption 275, 307, 309
– Zusammensetzung **317**
Liquoraustrittsstellen 275
Liquordruck 317
Liquorpunktion 275
– vordere Fontanelle 17
Liquorraum 275, **312**
– äußerer 274, 312, 314
– – Entstehung 275
– Embryonalentwicklung 272
– Entzündungsausbreitung 204
– innerer 274, **312**, 314, 354
– – Entwicklung 275

Liquor-/Serumglucose-Quotient 317
Liquorzirkulation **314**
Lobulus
– auriculae 143
– centralis cerebelli 366
– flocculonodularis cerebelli 279, 366
– paracentralis 324
– parietalis inferior **322**
– parietalis superior **322**
– quadrangularis cerebelli 366
– semilunaris superior cerebelli 366
– simplex cerebelli 366
Lobus
– anterior hypophysis (Adenohypophyse; Hypophysenvorderlappen) **350**
– cerebelli anterior 366
– – im Frontalschnitt 425, 426, 428, 430
– – im Sagittalschnitt 439, 440
– cerebelli posterior 366
– – im Frontalschnitt 426, 430
– – im Horizontalschnitt 253
– – im Sagittalschnitt 439, 440
– dexter glandulae thyroideae 222
– flocculonodularis cerebelli 486
– frontalis (Frontallappen) 276, 318, 320, **347**
– – Anteil des Ventrikelsystems 312
– – Assoziationsbahnen 542
– – Frontalschnitt 85, 246, 248
– – funktionelle Areale **540**
– – Horizontalschnitt 432, 434
– – Projektion auf den Schädel 318
– insularis (Insellappen) 276, 320
– limbicus 276
– – Entwicklung 320
– – funktionelles Areal **540**
– occipitalis (Okzipitallappen) 276, 320
– – Anteil des Ventrikelsystems 312
– – Assoziationsbahnen 542
– – funktionelle Areale **540**
– – im Horizontalschnitt 253, 432, 434
– parietalis (Scheitellappen) 276, 320
– – Assoziationsbahnen 542
– – Frontalschnitt 249
– – funktionelle Areale **540**
– posterior hypophysis (Neurohypophyse; Hypophysenhinterlappen) **350**
– pyramidalis glandulae thyroideae 222, 230
– sinister glandulae thyroideae 222
– temporalis (Temporallappen) 180, 276, 320
– – Anteil des Ventrikelsystems 312
– – Assoziationsbahnen 542
– – Frontalschnitt 85, 249
– – funktionelle Areale **540**
– – medialer, Schädigung 499
– – mesobasialer 309
– – Projektion auf den Schädel 318
Locus
– coeruleus 358
– – modulierender Einfluss auf die Großhirnrinde 495
– – Ponsquerschnitt 362
– – zentrales absteigendes schmerzhemmendes System 453
– Kiesselbachi 103, **182**, 185
Lokalanästhesie, zahnärztliche **64**
– Technik **64**
Lower motor neuron 472
LTH (luteotropes Hormon) 351
Luftröhre s. Trachea
Luftweg, oberer, Verschluss beim Schluckakt 203
Luftweg-Speiseweg-Kreuzung 186
Lumbalanästhesie 419
Lumbalmark
– graue Substanz, Kerngebiete **399**
– Kerngruppengliederung 399
Lumbalmarkläsion, Behinderungsgrad 475
Lumbalmarkquerschnitt 397
Lumbalpunktion 317, 395, 419
– Vorzugslokalisation 419
Lumbalwurzelschädigung 463, **465**
Lunge
– Innervation, vegetative 296
– Parasympathikuswirkung 297
– Sympathikuswirkung 297
L3-Wurzelläsion **465**
L4-Wurzelläsion **465**
L5-Wurzelläsion **465**
Lymphatisches Gewebe
– Histologie 197
– Rachenring **196**
Lymphbahnen, spinale 314
Lymphfollikel, Rachenring **196**
Lymphknoten s. auch Nodi lymphoidei
– entlang des Nervus accessorius 111
– intraparotideale 211
– juguläre 191, 211
– am jugulofazialen Venenwinkel 191
– laryngotracheothyroidale 111
– am Musculus sternocleidomastoideus 111
– nuchale 6, 111
– okzipitale 6, 111
– parotideal-aurikuläre 111
– präaurikuläre 6
– regionäre 110
– – Ohrmuschel 144
– retroaurikuläre 6
– submandibuläre 6, 211
– submental-submandibuläre 111
– submentale 6
– supraklavikuläre 6, 111
– – Metastasen 111
– an der Vena jugularis interna 111
– zervikale, tiefe 6
Lymphknotenbiopsie, präskalenische, Akzessoriusschädigung 141
Lymphknotenmetastasen, Rekurrensschädigung 133
Lymphom, Halslymphknotenbeteiligung 111
Lymphraum, zentraler, der linken Halsbasis 111
Lymphzirkulation, systemische 111

M

Macintosh-Laryngoskop 220
Macula
– lutea (gelber Fleck) 168, **169**
– – Ophthalmoskopiebefund 171
– sacculi 150, **154**, 486
– – Aufbau 154
– statica 154
– utriculi 150, **154**, 486
– – Aufbau 154
Magen
– Head-Zone 303
– Innervation, vegetative 296
Magen-Darm-Trakt
– Parasympathikuswirkung 297
– Sympathikuswirkung 297
Magenkarzinom, metastasierendes 111
Magill-Tubus 220
Magnetresonanztomografie
– funktionelle 495
– Gehirn **420,** 495
Mahlzahn 48
– Höcker 51
– Kauflächenaufbau 51
Mahlzähne
– bleibende 60
– – Anlagen 59
– – Durchbruchzeit 58
– Höckerzahl **49**
– Morphologie **54**, **55**
– Wurzelkanäle **49**
– Wurzelzahl **49**
Makroglia 295
Makuladegeneration 171
Malleus (Hammer) 145, 146, **148**
– Schlundbogenherkunft 10
MALT (Mukosa-assoziiertes lymphatisches Gewebe) 197
Mammillarhöcker 273
Mandelkern s. Corpus amygdaloideum
Mandeln, Rachenring **196**
Mandibula (Unterkiefer) 12, 14, 16, **46**
– Adduktion 82
– altersabhängige Veränderung 47
– Frontalschnitt 85
– Laterotrusion 68
– Leitungsanästhesie 65
– Medianebene 68
– Mediansagittalschnitt 260
– Mediotrusion 68
– Pars alveolaris **46**
– Protrusion 68, 82
– Retrusion 68, 82
– Unterrand 4
Mandibularbogen 10
– Mundbodenmuskeln 195
Mantelzellen (Satellitenzellen), Funktion 295
Manubrium
– mallei (Hammergriff) 145, **148**, 157
– sterni 3, 90
Margo
– frontalis ossis parietalis 27
– gingivalis (Zahnfleischsaum) 56
– infraorbitalis 14, 30
– lacrimalis 30
– nasalis 26
– occipitalis ossis parietalis 27
– parietalis 26
– sagittalis 27
– sphenoidalis 26
– squamosus 27
– superior partis petrosae ossis temporalis 22
– superior scapulae **90**
– supraorbitalis 14, 26
Mark, verlängertes s. Medulla oblongata
Marklager
– Großhirn 276
– Kleinhirn 368
Markscheide 269, **292**, **294**
– Zerfall 471
Martegiani-Ring 163
Maskengesicht 357
Massa lateralis atlantis 71, 74, 92
Massenblutung, intrazerebrale 391
Mastoiditis 147
Maxilla (Oberkiefer) 12, 14, 20, **30**, 44
– Crista lacrimalis anterior 37
– Facies nasalis 30
– Facies orbitalis 30, 37
– im Horizontalschnitt 255
Meatus
– acusticus externus (äußerer Gehörgang) 29, 66, 143, **145**, 146
– acusticus externus **145**
– acusticus internus 128, 151
– – Hirnnervendurchtritt 151
– – im Sagittalschnitt 263
– nasi inferior 41, 43, 147, **180**
– – Frontalschnitt 246
– nasi medius 41, 43, 147, **181**
– – Frontalschnitt 246
– nasi superior 25, 41, 43, 147, **181**
Mechanorezeption 284
– gestörte 405
– Hörsinn 289

Meckel-Knorpel 10, 60
Mediainfarkt 393
Mediastinitis 204
Mediastromgebiet 375
Medikamente, Einfluss auf die synaptische Übertragung 293
Medulla (Mark) 504
– oblongata 270, 278, 354, 512
– – arterielle Versorgung 381
– – Embryonalentwicklung 272
– – Formatio reticularis 358
– – im Frontalschnitt 425
– – Hirnnerven 112
– – im Horizontalschnitt 254
– – Hypoglossuskerne 135
– – Neurone, sympathoexzitatorische 299
– – Projektion auf den Schädel 318
– – Querschnitt **364**
– – im Sagittalschnitt 442
– – Schmerzleitung 451
– – Vestibulariskerne 128
– spinalis s. Rückenmark
Meibom-Drüsen 159
Meissner-Plexus (Plexus submucosus internus) 304
Meißner-Tastkörperchen 446
Melanoblasten 272
α/β-Melanotropin 351
Melanozyten, Iris 167
Melatonin 352, 533, 548
Membran
– postsynaptische **293**
– präsynaptische **293**
Membrana
– atlantooccipitalis anterior **72**
– atlantooccipitalis posterior **72**, **74**
– glialis superficialis 307
– preformativa 60
– quadrangularis 214
– stapedialis 148
– tectoria 73, 74, 152
– thyrohyoidea 212, 218, 230
– tympanica (Trommelfell) 28, 142, **145**, 146, 148
– – Pars flaccida 145
– – Pars tensa 145
Membranpotenzial 292
Meningealzellen 274
Meningen (Hirnhäute) **306**
– Entwicklung 307
– Innervation in der Schädelhöhle **310**
– Schädelhöhle 311
– in situ 274
– Wirbelkanal 280, 311, **418**
Meningitis
– Infektionsweg von der Kopfschwarte 19, 385
– bei Mittelohrentzündung 147
– posttraumatische 27
– Reizung sensibler Nerven 310
– nach Schädelbasisbruch 23
Mesencephalon (Mittelhirn) 117, 270, 278, 354, 512
– Anteil des Ventrikelsystems 312
– arterielle Versorgung 381
– Dach 277, 278
– Embryonalentwicklung 272
– Hirnnerven 112
– im Horizontalschnitt 436
– Querschnitt **362**
– Sagittalschnitt 442
– Schmerzleitung 451
– Strukturen 443
Mesenchym, determiniertes, Zahnentwicklung 60
Mesocortex 330
Mesopharynx (Oropharynx) 186, **202**
– Frontalschnitt 249
Mesotympanon 149
Metathalamus 344
Metencephalon 272, 279
Meyer-Schlinge 478
Meynert-Achse 270, 420
Mikrocephalus 17
Mikroglia 294
Mikrogliazellen, Funktion 295
Miktion, Leitungsbahn 411
Miktionskontrolle 359
Miktionszentrum, pontines 358
Milchbackenzähne **58**
Milcheckzahn **58**
Milchschneidezähne **58**
Milchzahnanlage 61
Milchzähne **58**
– Diphodontie 48
– Durchbruchzeit 58
– Zahnformel 59
Millieu, inneres 267
– Regulation 267
Mimik **81**
Miosis **166**, 467, 533
Miotika 166
Mitochondrium, Nervenzelle 292
Mitralzellen 490, **491**
– Feinbau 491
Mittelgesicht
– Pyramidenbruch 15
– Querbruch, unterer 15
Mittelgesichtsfraktur **15**, 40
– Bruchlinien **15**
– Le Fort-Einteilung **15**
– transversale 27
– vertikale 27
Mittelhirn s. Mesencephalon
Mittelohr **142**, **146**
– Belüftung 147
– Infektion über die Ohrtrompete 147
– Zusammenwirkung mit dem Innenohr 153
Mittelohrentzündung 147
– Keimausbreitung 147
Modiolus 151
Module, kortikale Verarbeitung sensibler Informationen 446
Molekularschicht
– Kleinhirnrinde 369
– motorische Großhirnrinde 457
Moll-Drüsen 159
Mononukleär phagozytisches System 294
Monroi-Foramen s. Foramen interventriculare
Moosfasern 369
– trigeminozerebelläre 371
Morgagni-Raum 219
Morphinabusus 166
Motokortex 496
Motoneuron 286, 507
α-Motoneuron 293, 360, 399, 409, 516
– Axonschädigung 461
– Einfluss langer Bahnen 401
– Entwicklung 273
– extrapyramidal-motorisches System 460
– Funktionsprüfung 460
– hemmender Einfluss 401
– Hemmung, rekurrente 399, 401
– in Hirnnervenkernen 527
– Patellarsehnenreflex 291
– pyramidal-motorisches System 454
– Renshaw-Zellen-Einfluss 401
– sensibler Input 460
γ-Motoneuron 399, 409, 516
Motorik 266, **286**, **506**
– automatisierte 286, 408
– Basalkernfunktion **336**
– erlernte 408
– Feinkontrolle 487
– Funktion der unteren Olive **544**
– Überprüfung **291**
– Verschaltung **536**
– willkürliche 408
Motorisches System 399, **454**, 549
– extrapyramidales 410, **460**
– Kerngebiete **458**
– laterales 410, 413
– mediales 410, 413
– Pyramidenbahn **456**
MRF (mesenzephale Formatio reticularis) 482
MSH (α/β-Melanotropin) 351
Mukosa-assoziiertes lymphatisches Gewebe 197
Müller-Zellen 169
Multiorganversagen 304
Multiple Sklerose 334
Mumps 228
Mund
– geschlossener, Caput-mandibulae-Position 69
– mimische Muskeln **80**
Mundatmung 197
Mundboden **194**, 203
– Lymphabfluss **191**
Mundbodenmuskulatur 186, **194**, 203
– Innervation 120, **195**
Mundhöhle **186, 192**
– Begrenzung 186
– Frontalschnitt 85, 246
– Gliederung 186
– Inspektion 192
– Palpation 192
– Plattenepithelkarzinom 186
– Richtungsbezeichnungen 50
– Schleimhautverhältnisse **192**
– Topografie **192**
Mundhöhlenepithel, embryonales 60
Mundhöhlenschleimhaut 186
Mundöffnung 84, 192, 194
– Caput-mandibulae-Position 69
– Discus-articularis-Position 69
Mundschließmuskel 81, 83
Mundspalte 186
Mundwinkel 186
Mundwinkelheber 81
Mundwinkelsenker 81
Musculi s. auch Musculus
– constrictores pharyngis (Schlundschnürer) 199
– – Innervation 203
– infrahyoidei 194
– levatores pharyngis (Schlundheber) **201**
– linguae **189**
– masticatorii s. Kaumuskeln
– peronei, Parese 465
– pterygoidei, Innervation 123
– suprahyoidei 194
Musculus (s. auch Musculi) 90
– abductor pollicis brevis, Rückenmarksegment 475
– adductor magnus, Rückenmarksegment 475
– antitragicus 143
– aryepiglotticus (Muskelzug in der Plica aryepiglottica) 216
– arytaenoideus obliquus 201, **216**
– arytaenoideus transversus 201, **216**
– auricularis anterior 79, 143
– auricularis posterior 79, 143
– auricularis superior 79, 143
– biceps brachii
– – Parese 464
– – Rückenmarksegment 475
– brachioradialis, Rückenmarksegment 475
– buccinator 78, **80**, 192, 198, 204, 232, 235
– – Frontalschnitt 246
– – Horizontalschnitt 255
– – mimische Funktion 81
– – Ursprung 86
– ciliaris 162, 164, 166, 480, 532
– – Innervation 114, 118, 177, 512, 534
– – Lähmung 173
– constrictor pharyngis inferior 140, **198**, 216, 218
– – Pars cricopharyngea 198
– – Pars fundiformis 199
– – Pars obliqua 199
– – Pars thyropharyngea 198
– constrictor pharyngis medius 198, 201
– – Pars ceratopharyngea 198
– – Pars chondropharyngea 198
– constrictor pharyngis superior 198, 201, 204
– – kontrahierter 203

– – Pars buccopharyngea 192, 198
– – Pars glossopharyngea 198
– – Pars mylopharyngea 198
– – Pars pterygopharyngea 198
– corrugator supercilii 78, 80
– – mimische Funktion 81
– – Ursprung 86
– cricoarytaenoideus lateralis **216**, 218
– cricoarytaenoideus lateralis Wirkung an der Stimmritze **216**
– cricoarytaenoideus posterior 201, 205, **216**, 218
– – Innervation 132
– – Parese 216
– cricothyroideus 215, **216**, 224, 242
– – Innervation 132, 141, 216, 218
– – Pars obliqua 198, **216**, 218
– – Pars recta 198, **216**, 218
– deltoideus
– – Parese 464
– – Rückenmarksegment 475
– depressor anguli oris 78, 80
– – mimische Funktion 81
– – Ursprung 86
– depressor labii inferioris 78, 80
– – mimische Funktion 81
– – Ursprung 86
– depressor septi nasi (Nasenlochverenger) 81
– – Ursprung 86
– depressor supercilii 78, 80, 158
– digastricus **90**
– – Ansatz 90
– – im Frontalschnitt 85, 246, 248
– – Funktion 90
– – im Horizontalschnitt 204
– – Venter anterior 3, 85, **90**, **194**, 198, 230
– – – Ansatz 86
– – – Innervation 90, 233
– – Venter posterior 3, **90**, **194,** 198
– – – Innervation 90, 124, 126, 233
– – – Ursprung 87
– – Zwischensehne 194
– dilatator pupillae 166, 532
– – Innervation 166, 177, 512, 534
– epicranius 79
– erector spinae 88
– extensor hallucis longus
– – Parese 465
– – Rückenmarksegment 475
– externi bulbi oculi **172**
– genioglossus **189**
– – Frontalschnitt 246, 248
– – gelähmter 189
– – Innervation 135, 140
– – Mediansagittalschnitt 260
– geniohyoideus **90**, 140, **189**, 194, 202, 210
– – Ansatz 90
– – Frontalschnitt 85, 246, 248
– – Funktion 90
– – Innervation 90, 139
– – Ursprung 90
– glenohyoideus, Ursprung 86
– gluteus maximus, Parese 465
– gluteus medius
– – Ausfall 469
– – Parese 465
– gluteus minimus, Ausfall 469
– helicis major 143
– helicis minor 143
– hyoglossus 140, **189**, 194, 198
– – Innervation 135
– intertransversarius posterior cervicis 245
– latissimus dorsi, Rückenmarksegment 475
– levator anguli oris 78, 80
– – im Horizontalschnitt 255
– – mimische Funktion 81
– – Ursprung 86
– levator labii superioris 78, 80, 86
– levator labii superioris aleque nasi 78, 80, 81, 158
– – Ursprung 86
– levator palpebrae superioris 119, 158, 160, 172, 174, 177
– – im Frontalschnitt 246
– – im Horizontalschnitt 250
– – Innervation 118, 512
– – Lähmung 173
– levator veli palatini 147, **187**, 198, **201**
– – Ausfall 219
– – Funktion 187
– – Ursprung 87
– longissimus capitis 245
– – Ansatz 86
– longitudinalis inferior linguae **189**
– longitudinalis superior linguae **189**
– longus capitis **92**
– – Ansatz 87, **92**
– – Funktion 92
– – Innervation 92
– – Ursprung 92
– longus colli (cervicis) **92**
– – Ansatz 92
– – Funktion 92
– – Innervation 92
– – Pars obliqua inferior 92
– – Pars obliqua superior 92
– – Pars recta 92
– – Ursprung 92
– masseter 78, **82**, 232, 234
– – Ansatz 82, **86**
– – im Frontalschnitt 85, 247, 248
– – Funktion 82
– – im Horizontalschnitt 204, 253, 254
– – Innervation 82, 123, 233, 237
– – Pars profunda 82, **83**, 84, 199, 247
– – Pars superficialis 82, **83**, 84, 199, 247
– – Ursprung 82, **86**
– mentalis 78, 80
– – mimische Funktion 81
– mylohyoideus **90**, **189**, **194**, 198, 230
– – Frontalschnitt 85, 246, 248
– – Funktion 90
– – Innervation 90, 233
– – Mediansagittalschnitt 260
– – Ursprung 86, 90
– nasalis 78, 80, 158
– – mimische Funktion 81
– – Pars alaris, Ursprung 86
– – Pars transversa, Ursprung 86
– obliquus auriculae 143
– obliquus capitis inferior 245
– obliquus capitis superior, Ansatz 86
– obliquus inferior 119, **172**, 174
– – im Frontalschnitt 246
– – im Horizontalschnitt 252
– – Innervation 118, 512
– – Lähmung 173
– obliquus superior 119, 158, **172**, 177
– – im Frontalschnitt 247, 248
– – im Horizontalschnitt 250
– – Innervation 512
– – Lähmung **118**, 173
– – Sehne 172
– occipitofrontalis
– – Venter frontalis 78
– – Venter occipitalis 79
– – – Innervation 125
– – – Ursprung 86
– omohyoideus **90**, 140, 241
– – Funktion **90**
– – Innervation **90**, 139
– – Venter inferior 91, 243
– – Venter superior 91
– – Zwischensehne 91
– orbicularis oculi 78, **80**
– – im Frontalschnitt 246
– – Funktionsprüfung 80
– – mimische Funktion 81
– – Pars lacrimalis 80
– – – Ursprung 86
– – Pars orbitalis 80, 158
– – – Ursprung 86
– – Pars palpebralis 80, 158
– – Präparation 80
– orbicularis oris 78, **80**
– – Funktionsprüfung 80
– – Insertio mandibularis 86
– – mimische Funktion 81
– – Ursprung 86
– palatoglossus **189**, 193, 204, 209
– – Innervation 135, 189, 190
– palatopharyngeus 193, **201**, 204
– – Innervation 130
– – im Sagittalschnitt 261
– pectineus 469
– pectoralis major
– – Parese 464
– – Rückenmarksegment 475
– procerus 78, 158, 262
– pterygoideus lateralis **82**, **84**, 235, 236, 237
– – Ansatz 46, 82, **86**
– – Arteria-maxillaris-Verlauf 237
– – Caput inferius **69**, **84**, 85, 263
– – – Ansatz 67
– – Caput superius **69**, **84**, 85, 263
– – – Ansatz 67
– – Frontalschnitt 85, 249
– – Funktion 82
– – im Horizontalschnitt 253, 254
– – Innervation 82
– – im Sagittalschnitt 262
– – Ursprung 82, **86**
– pterygoideus medialis 34, **82**, **84**, 193, 199, 235, 236, 237
– – Ansatz 82, **86**
– – Frontalschnitt 85, 248
– – Funktion 82
– – im Horizontalschnitt 204, 255
– – Innervation 82, 237
– – im Sagittalschnitt 262
– – Ursprung 82, **86**
– quadriceps femoris 291
– – Innervation 469
– – Parese 465
– – Rückenmarksegment 475
– rectus capitis anterior **92**
– – Ansatz 87
– – Funktion 92
– – Innervation 92
– – Ursprung 92
– rectus capitis lateralis **92**
– – Ansatz 87, **92**
– – Funktion 92
– rectus capitis posterior major 245
– – Ansatz 86
– rectus capitis posterior minor 245
– – Ansatz 86
– rectus inferior 119, **172**, 174
– – im Frontalschnitt 246, 248
– – im Horizontalschnitt 252
– – Innervation 118, 512
– – Lähmung 173
– rectus lateralis 119, 162, 163, **172**, 177, 483
– – im Frontalschnitt 247, 248
– – im Horizontalschnitt 251
– – Innervation 118, 512
– – Lähmung **118**, 173
– – im Sagittalschnitt 262
– rectus medialis 119, 162, 163, **172**, 177, 480, 483
– – im Frontalschnitt 246, 248
– – im Horizontalschnitt 251
– – Innervation 118, 512
– – Lähmung 173
– rectus superior 119, 159, 163, **172**, 174, 177
– – im Frontalschnitt 247, 248
– – im Horizontalschnitt 250
– – Innervation 118, 512
– – Lähmung 173
– – im Sagittalschnitt 262
– risorius 78, 80
– – mimische Funktion 81

Musculus
– salpingopharyngeus 147, **201**
– – Innervation 130
– sartorius, Innervation 469
– scalenus anterior **92**, 139, 230, 241, 242
– – Ansatz 92
– – Funktion 92
– – im Horizontalschnitt 257
– – Ursprung 92
– scalenus medius 139, 230, 241, 243
– – im Horizontalschnitt 257
– scalenus posterior 241
– – im Horizontalschnitt 257
– semispinalis capitis 244
– – Ansatz 86
– – im Horizontalschnitt 254
– semispinalis cervicis 256
– sphincter pupillae 166, 480, 532
– – Innervation 114, 118, 166, 177, 512, 534
– – Lähmung 173
– splenius capitis 244
– – Ansatz 86
– – im Horizontalschnitt 255, 256
– stapedius 148, **485**
– – Ansatzsehne 146, 148
– – Ausfall nach Felsenbeinfraktur 126
– – Funktion 149, 485
– – Innervation 124
– sternocleidomastoideus 3, **88**, 229, 232, 234, 242, 244
– – Ansatz 86, 88
– – Caput claviculare 88
– – Caput sternale 88
– – Funktion 88
– – im Horizontalschnitt 204, 256
– – Innervation 88, 134, **141**
– – Schädigung 134
– – seitliches Halsdreieck 240
– – Ursprung 88
– – verkürzter 7
– sternohyoideus 3, **90**, 140, 198, 229, 243
– – Ansatz 90
– – Funktion 90
– – Innervation 90, 139
– – Ursprung 90
– sternothyroideus **90**, 140, 229, 242
– – Innervation 139
– styloglossus 140, **189**, 198, 204
– – Innervation 135
– – Ursprung 87
– stylohyoideus **90**, 126, 198, 204
– – Innervation 124, 233
– – Ursprung 87
– stylopharyngeus 140, 198, **201**, 204
– – Innervation 130, 140, 201
– supinator, Parese 467
– tarsalis inferior 159
– tarsalis Müller 159
– tarsalis superior 158
– – Innervation 534
– temporalis **82**
– – Ansatz 82, 86
– – Caput accessorium 247
– – Frontalschnitt 85, 247, 248
– – Funktion 82
– – Innervation 82, 123
– – Ursprung 82, **86**
– temporoparietalis 79
– tensor fasciae latae, Ausfall 469
– tensor tympani **146**, 148, 156, 237, 527
– – Funktion 149
– – Innervation 120, 123
– tensor veli palatini 147, **187**, 198, **201**
– – Funktion 187
– – Innervation 120, 123
– – Ursprung 87
– thyroarytaenoideus 214, **216**, 218
– – Pars thyroepiglottica* **216**
– thyroepiglotticus (Pars thyroepiglottica musculi thyroarytaenoidei) 216
– thyrohyoideus **90**, 140, 198, 203, 218, 229, 242
– – Funktion **90**
– – Innervation **90**, 139, 140
– tibialis anterior
– – Parese 465
– – Rückenmarksegment 475
– tragicus 143
– transversus auriculae 143
– transversus linguae **189**
– trapezius
– – Ansatz 88
– – Ausfall 134
– – Funktion 88
– – im Horizontalschnitt 256
– – Innervation 88, 134, **141**
– – Pars ascendens 88
– – Pars descendens 88
– – Pars transversa 88
– – Rückenmarksegment 475
– – seitliches Halsdreieck 240
– – Ursprung 86, **88**
– triceps brachii
– – Parese 464
– – Rückenmarksegment 475
– triceps surae, Parese 465
– uvulae 187, 193, 201
– vastus medialis, Parese 465
– ventricularis 219
– verticalis linguae **189**
– vocalis **216**, 219
– – im Horizontalschnitt 259
– vocalis (Stimmmuskel) 214
– zygomaticus major 78, 80
– – mimische Funktion 81
– – Ursprung 86
– zygomaticus minor 78, 80
– – Ursprung 86
Muskelatrophie, spinale 472
Muskeldehnung, passive, Wahrnehmung 284, 290
Muskelfaszie, zervikale 4
Muskelfunktion, reflektorische Unterstützung 400
Muskelkontraktion, tetanische 401
Muskeln
– branchiogene 112
– infrahyoidale 88, **90**, 194
– Motoneurone in Kernsäulen 398
– plurisegmental innervierte 398
– prävertebrale **92**
– Rückenmarksegmentzuordnung 475
– Schlundbogenherkunft 10
– suprahyoidale 88, **90**, 194, 216
Muskelspindel 371, 444
Muskelstarre 357
Muskeltonus 357, 361, 367, **538**
– Formatio-reticularis-Funktion 359
Muskelwiderstand, unwillkürlicher 357
Muskulatur
– glatte, Innervation 506
– mimische **78**, 143, 226
– – Ansätze **86**
– – Bewegungssteuerung, bewusste 527
– – Funktion 80
– – Funktionsstörung 526
– – Innervation 78, **124**, 226
– – Lidspalte **80**
– – Schlundbogenherkunft 10
– – Stirn 81
– – Ursprünge **86**
– prävertebrale, Ansätze 87
– quergestreifte, Innervation 506
Muskulo-disko-kapsuläres System, Kiefergelenkbewegung **69**
Muzine, Tränenflüssigkeit 161
Mydriasis **166**, 173, 533
– Okulomotoriusparese 118, 166, 172
Mydriatika 166
Myelinisierung
– peripheres Nervensystem **295**
– Zentralnervensystem **295**
Myelinscheide 269, **292**, **294**
Myelinscheidenzerfall 471
Myelose, funikuläre 471
Myoepithel 167
Myopie (Kurzsichtigkeit) 163
Myotom 303

N

Nachhirn 272, 279
Nackemuskulatur 88
– Ansatz 86
Nackenregion Innervation
– motorische **138**
– sensible **138**
Nackensteifigkeit 310
Nahakkommodation, fehlende 173
Nahrungsaufnahme
– Regulation, Hypothalamusfunktion 349
– vegetative Koordination 358
Naris 40
Narkose 453
Nase (Nasus) **40, 180**
– arterielle Versorgung **508**, 511
– äußere **40**
– Innervation
– – sensible **508**
– – vegetative 509
– Leitungsbahnen **508**
– mimische Muskeln **80**
– osteomeatale Einheit **43**, 184
– Schleimhautrelief **181**
– venöser Abfluss 511
Nasenbein **32**
– Fraktur, Reposition 32
Nasenbluten 182
– arterielle Unterbindung **185**
Nasenflügel 40
Nasenflügelheber 81
Nasengang
– Luftstrom 41
– mittlerer 41, 43
– Nasennebenhöhlenmündung 43
– oberer 41, 43, 25
– unterer 41, 43
Nasenhöhle 15, **180**
– Beziehung zur Fossa cranii anterior 42
– Boden 40
– Dach 40
– Frontalschnitt 246, 248
– Funktion 14
– Gefäßversorgung **182**
– im Horizontalschnitt 251, 252, 254
– knöcherne Struktur 14, **43**
– knöcherne Wände **40**
– Luftstrom 41
– Nachbarstrukturen 180
– Nervenversorgung **182**
– Sekretfluss 184
– Versorgungsgebiete **508**
– Wand
– – laterale **41**, **42**
– – mediale 40, **41**
Nasenknorpel **40**
Nasenloch, hinteres 181
Nasenlochverenger 81
Nasenmuschel s. Concha nasalis
Nasennebenhöhlen 15, 30, **42**, 180
– Drainagewege 42, **43**
– Entzündung 15, 42, 184
– Frontalschnitt 246
– Hautareale 6
– knöcherne Struktur **43**
– Mündungen **43**
– Ostiumverschluss 184
– Projektion auf den Schädel 15, **42**
Nasen-Rachen-Fibrom, Zugang 39
Nasen-Rachen-Schleimhaut, Innervation 120
Nasenrücken 32
Nasenschleimhaut
– Drüsen 184
– Epithel 184

– Funktion 184
– Histologie **184**
– Innervation, sensible **508**
Nasenschleimhautrelief 43
Nasenschleimhautschwellung 43
Nasenseptum 33, **41**
– Abweichung 41
– arterielle Versorgung 103, 182, **508**
– Frontalschnitt 246, 248
– im Horizontalschnitt 252, 254
– Innervation, sensible **508**
– Knochen **40**
– Korrektur 33
– im Mediansagittalschnitt 260
– Nerven 182
– im Orthopantomogramm 62
Nasenskelett **40**
Nasenwand, laterale
– Gefäße 182
– Nerven 182
Nasenwulst
– lateraler, embryonaler 8
– medialer, embryonaler 8
Nasenwurzelrunzler 81
Nasolabialfalte, tiefe 186
Nasopharynx 186, **202**
– Frontalschnitt 85, 249
– Horizontalschnitt 254
– Mediansagittalschnitt 260
Nasus s. Nase
NCNA-Transmitter 304
Nebennierenmark 272
Nebenschilddrüse **222**
– Adenom 223
– Histologie 223
– Schlundbogenherkunft 11
Neck dissection 109, 110
Neocerebellum (Neukleinhirn) 367
Neocortex 276, 321
– Alzheimer-Erkrankung 498
– Area s. Area; s. auch Areae
– Gliederung **494**
– Histologie 326
– Schichten 326, 493
Neopallium 321
Neorubrum 357
Nerv 267, 269, 271, 504
– Bindegewebsummantelung 274, **275**
– peripherer
– – Aufbau **275**
– – Embryonalentwicklung 273
– vegetativer 271
Nerven, orbitale **512**
Nervenaustrittspunkte
– faziale 14, **123**, 158
– okzipitale 245
Nervenblockade, schmerztherapeutische 453
Nervenendigungen, freie 445, 446, 450
Nervenfasern s. Fasern
Nervenfaszikel 275
Nervenleitgeschwindigkeit 295
Nervensystem **266**
– Afferens 266
– autonomes 267
– Bindegewebe 274
– Efferens 266
– Einteilung
– – funktionelle 267
– – topografische 267
– Embryonalentwicklung **272**
– enterisches 296, **304**
– Funktionsorte 266
– Grundfunktion **266**
– Hals **138**
– Integrationsaufgabe 266, 288
– Kontakt
– – zur äußeren Umwelt 267
– – mit den Organen 267
– makroskopische Struktur 266
– Morphologie 270
– peripheres **267**
– – Embryonalentwicklung 272
– – graue Substanz 269, **271**
– – Morphologie 271
– – Myelinisierung **295**
– – Signalleitungsrichtung 267
– – in situ 274
– – Verbindung mit dem ZNS 281
– – weiße Substanz 269, **271**
– räumliche Orientierung 270
– Signalausgabe 266
– Signalleitung 267
– – zentrifugale 266
– – zentripetale 266
– Signalübertragung **268**
– Signalverarbeitung 266, 267
– in situ 274
– somatisches 267
– – Ganglion 503
– strukturelle Gliederung **269**
– Topografie 266
– vegetatives 267, 507
– – Aufbau **296**
– – Bronchieninnervation 305
– – Einfluss auf den Darm 304
– – Ganglion 503
– – Hypothalamusfunktion **349**
– – peripheres, Steuerung 298
– – Schaltschema **298**
– – Tracheainnervation 305
– viszerales 267
– Zellen **268**
– zentrales s. Zentralnervensystem
Nervenwurzelschädigung s. Läsion, radikuläre
Nervenzelle s. Neuron
Nervenzellkörper 268
Nervi s. auch Nervus
– alveolares maxillares posteriores, Leitungsanästhesie 64
– alveolares superiores, Rami alveolares superiores posteriores 236, 239
– alveolares superiores posteriores 122
– ciliares breves 122, **175**, 177, 300, **480**, 534
– ciliares longi 122, **175**
– craniales s. Hirnnerven
– erigentes 301
– palatini 534
– palatini minores 182, 187, 239
– – Rami tonsillares 209
– splanchnici (Eingeweidenerven) 271, 296
– – noziafferente Axone 302
– splanchnici pelvici 296, 301
– supraclaviculares 138, **228**
– – Hautinnervation 245
– supraclaviculares intermedii 240
– supraclaviculares laterales 240
– supraclaviculares mediales 240
– temporales profundi 66, 82, **123**, 235, 237
– viscerales 271
Nervus s. auch Nervi
– abducens 36, **112**, **118**, 172, **175,** 178, 512
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Eintritt in die Orbita 176
– – extraduraler Verlauf 179
– – im Frontalschnitt 249
– – Schädigung 118
– – Versorgungsgebiet 118
– accessorius 88, **112**, **134**, 138, **141**, 224, 230
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Durchtrittsstellen **134**
– – im Horizontalschnitt 204, 255
– – Kerngebiet **134**
– – Lymphknoten 111
– – Radix cranialis 114, **134**
– – Radix spinalis 114, **134**
– – – im Horizontalschnitt 254
– – Ramus externus 134, 208, **240**, 242, **244**
– – – Horizontalschnitt 256
– – – Schädigung 240
– – Ramus internus 134
– – Schädelbasis 207
– – Schädigung 134, 141
– – Versorgungsgebiet **134**
– alveolaris inferior 46, **123**, 195, 233, 235, 236
– – Arteria-maxillaris-Verlauf 237
– – im Frontalschnitt 246, 248
– – im Horizontalschnitt 204, 255
– – Leitungsanästhesie 64, **65, 192**
– – Rami dentales inferiores 123
– – im Sagittalschnitt 263
– alveolaris superior medius **122**
– ampullaris anterior 129, 151, **154**, 535
– ampullaris lateralis 129, 151, **154**, 535
– ampullaris posterior 129, 151, **154**, 535
– auricularis 151
– auricularis magnus 138, **228**, 232, 240, 244
– – Hautinnervation 245
– – Ohrmuschelinnervation 144
– auricularis posterior **125**, 126, 233, 234
– auriculotemporalis 66, **123**, 226, 232, **233**, 234, 236, 300, 534
– – im Horizontalschnitt 254
– – Ohrmuschelinnervation 144
– – Ramus meningeus 123, 237
– – Schlinge um die Arteria meningea media 236
– – Versorgungsgebiet 123
– – viszeroefferente Dienstleitung 120
– buccalis **123**, 187, 193, 233, 235, 236
– – im Frontalschnitt 247
– – im Horizontalschnitt 254
– – Leitungsanästhesie 64
– canalis pterygoidei 127, 239, 300, 512, 534
– – Faserqualitäten 127
– caroticotympanicus 131
– cochlearis 146, 151, 152, 157, 289, **484**, 521, 535
– cutaneus femoris lateralis 468
– ethmoidalis anterior 36, 122, 177, 183, 509
– – Rami meningei 310
– – Rami nasales interni 183
– – Rami nasales laterales 183, 509
– – Rami nasales mediales 182, 509
– ethmoidalis posterior 36, 177, 509, 512
– ethmoidalis superior 122
– facialis 78, 90, **112**, **124**, 149, 150, 159, 178, 195, 226, 232, **234**, 237, 370, **523**
– – Äste 233
– – – für die mimische Muskulatur **125**, 226
– – – motorische 233
– – Aufsuchen des Stammes bei Parotidektomie 211
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Durchtrittsstellen **124**
– – Faserqualitäten 124, **127**
– – Ganglien **124**
– – – vegetative 115
– – Ganglion, sensibles 115
– – Geschmacksbahn 124, **127**, 289, 488, **523**
– – im Horizontalschnitt 204, 253
– – Kerngebiet **124**
– – Mittelohr 146
– – Ohrmuschelinnervation 144
– – parasympathische viszeroefferente Fasern **127**, 296
– – Rami buccales 125, 226, **233**, 234
– – Rami temporales 125, 226, **233**, 234
– – Rami zygomatici 125, 226, **233**, 234
– – Ramus colli 125, **228**, 233
– – Ramus digastricus 125, 195
– – Ramus marginalis mandibulae 125, 226, **233**, 242

Nervus facialis
– – Ramus stapedius 149
– – Ramus stylohyoideus 195
– – im Sagittalschnitt 263
– – Schädigung 124
– – Schlundbogen 10
– – Verlauf 23, 28
– – – im Felsenbein 124, **126**
– – – intraparotidealer 211
– – Versorgungsgebiet **124**
– – viszeroefferente Fasern 300
– femoralis 468
– – Ausfall 468
– – Hauptversorgungsareal 469
– – Rami cutanei anteriores 469
– fibularis, Parese 469
– frontalis 36, **122**, 175, 512
– – Eintritt in die Orbita 176
– glossopharyngeus **112**, **130**, 138, **140**, 189, 190, 195, 205, 208, 209, 534, 535
– – Anastomosen 140
– – Aufspaltung
– – – außerhalb der Schädelbasis **131**
– – – in der Paukenhöhle **131**
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Durchtrittsstellen 130
– – Ganglien 503, **535**
– – Ganglion
– – – sensibles 115, **535**
– – – vegetatives 115, **535**
– – Geschmacksbahn 289, 488, **523**
– – im Horizontalschnitt 254, 255
– – Innervationsgebiet, peripheres **203**
– – Kerngebiete **130**, **203**
– – Ohrmuschelinnervation 144
– – parasympathische viszeroefferente Fasern 296
– – Rami linguales 131, 535
– – Rami meningei 310
– – Rami pharyngei 130, 140, 535
– – Rami tonsillares 131, 535
– – Ramus communicans cum nervo vagi 144
– – Ramus musculi stylopharyngei 130
– – Ramus sinus carotici 130
– – Ramus tubarius 535
– – Schädelbasis 207
– – Schädigung 130
– – Schlundbogen 10
– – somatoafferente Fasern **130**
– – Versorgungsgebiet 130
– – viszeroafferente Fasern **130**
– – viszeroefferente Fasern **130**, 300
– gluteus superior, Läsion 469
– hypoglossus **112**, **135**, 138, **140**, 189, 190, 195, 206, 207, 208, 242
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Durchtrittsstellen 135
– – im Horizontalschnitt 204, 255
– – Innervationsgebiet **135**
– – Kerngebiet **135**
– – Schädigung 135, **189**
– infraorbitalis 36, **122**, 158, 174, 180, 226, 232, **233**, 234, 512
– – Austrittspunkt 123, 227
– – Frontalschnitt 246, 248
– – Funktionsprüfung 123
– – im Horizontalschnitt 253
– – Leitungsanästhesie 64
– – Rami alveolares superiores anteriores **122**, 187
– – Rami alveolares superiores posteriores **122**, 187
– – Rami labiales superiores 187
– – Ramus alveolaris superior medius **122**
– infratrochlearis 122, 158, 175, 177, 234, 512
– intercostalis 463
– intermedius 124, 127, 151, 157, 300, 534
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Geschmacksbahn 535
– – Radix parasympathica 239
– – Versorgungsgebiet 300
– ischiadicus 468
– – Ausfall 469
– lacrimalis 36, 119, **122**, 127, 175, 177, 300, 512, 534
– – Ramus communicans zum Nervus zygomaticus 122, **127**
– – viszeroefferente Dienstleitung 120, 122
– laryngeus recurrens 132, 205, 215, 216, 218, 224, 535
– – Ausfall
– – – beidseitiger 216
– – – einseitiger 216
– – Rami bronchiales 535
– – Rami oesophageales 535
– – Rami tracheales 218, 535
– – Schädigung 133, 219
– – Verlauf 242
– – Versorgungsgebiet 218
– laryngeus recurrens dexter **133**, 208, 223
– – Verlauf 224
– laryngeus recurrens sinister **133**, 141, 208, 223
– laryngeus superior **133**, 141, 205, 208
– – Läsion 219
– – Ramus externus 133, 141, 215, 216, **218**, 224, 242
– – Ramus internus 133, 141, 215, **218**, 229, 242, 535
– – – Durchtritt durch die Membrana thyrohyoidea 212
– – Ramus ventricularis* 218
– – Versorgungsgebiet 218
– lingualis **123**, **126**, 140, 190, 193, 195, 210, 233, 235, 236, 300, 534
– – Dienstleistung
– – – viszeroafferente 120
– – – viszeroefferente 120
– – im Frontalschnitt 247
– – Geschmacksbahn 488
– – im Horizontalschnitt 255
– – Verletzung 193
– mandibularis 66, **120**, 126, 175, 178, 183, 195, **233**, 236, **237**, 535
– – Aufzweigung **122**, **237**
– – Durchtrittsstellen 120
– – im Frontalschnitt 249
– – im Horizontalschnitt 253, 254
– – motorische Äste 123
– – Radix motoria 237
– – Rami meningei 310
– – Schlundbogen 10
– – Schmerzfasern 452
– – sensible Äste 123
– – Versorgungsgebiet 120
– massetericus 66, 82, 123, 233, 237
– – im Horizontalschnitt 254
– maxillaris **120**, 175, 178, 183, 233, 300, 509, 512, 535
– – Aufzweigung **122**
– – Durchtrittsstellen 120
– – im Frontalschnitt 249
– – Rami nasales posteriores superiores laterales 183
– – Rami nasales posteriores superiores mediales 182
– – Rami orbitales 36
– – Rami tentorii 310
– – Ramus meningeus 122, 310
– – Ramus zygomaticofacialis 512
– – Ramus zygomaticoorbitalis 512
– – Schlundbogen 10
– – Schmerzfasern 452
– medianus 466
– mentalis 46, 226, 232, **233**, 235
– – Austrittspunkt 123, 227
– – Funktionsprüfung 123
– – Leitungsanästhesie 64
– musculi tensoris tympani **123**, 149, 237
– musculi tensoris veli palatini **123**, 237
– mylohyoideus 90, 193, 195, 233, 237
– nasociliaris 36, **122**, 175, 512
– – Eintritt in die Orbita 176
– nasopalatinus 183, 187
– – Leitungsanästhesie 64, **65**
– – Rami nasales posteriores inferiores 239
– – Rami nasales posteriores superiores laterales 239
– – Rami nasales posteriores superiores mediales 239
– occipitalis major **138**, 232, 234, 244
– – Austrittspunkt 245
– – Hautinnervation 245
– occipitalis minor **138**, 232, 234, 240, 244
– – Austrittspunkt 245
– – Hautinnervation 245
– – Ohrmuschelinnervation 144
– occipitalis tertius **138**, 244
– oculomotorius 36, **112**, **118**, 159, 166, 172, **175**, 176, 178, 480, 512, 534
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Durchtrittsstellen 118
– – Faserqualitäten 118
– – im Frontalschnitt 249
– – Ganglion
– – – somatoefferentes 118
– – – viszeroefferentes 118
– – im Horizontalschnitt 251
– – innervierte Muskeln 114
– – Kerngebiet 118
– – parasympathische Fasern **175**, 296
– – Ramus inferior 172, 175
– – – Eintritt in die Orbita 176
– – Ramus superior 172, 175
– – – Eintritt in die Orbita 176
– – Schädigung 118
– – vegetatives Ganglion 115
– – Versorgungsgebiet 118, 300
– – viszeroefferente Fasern 300
– olfactorius (s. auch Fila olfactoria) **112**, **116**, 271, 288, 509, 525
– – im Frontalschnitt 248
– ophthalmicus 36, 117, **120**, 127, **175**, 178, 183, 233, 509, 512, 535
– – Aufzweigung **122**
– – Durchtrittsstellen 120
– – im Frontalschnitt 249
– – Hautinnervation 245
– – Rami meningei 310
– – Rami tentorii 310
– – Ramus meningeus recurrens 122
– – Schlundbogen 10
– – Schmerzfasern 452
– opticus 36, **112**, **117**, 162, 174, 178, 271, 277, 308, 340, **476**, 506, 512
– – Einklemmung bei Glaukom 167
– – Eintritt in die Orbita 176
– – Entstehung 169
– – im Frontalschnitt 85, 247, 248, 420
– – Gefäßversorgung 171
– – im Horizontalschnitt 251
– – Kopfhorizontalschnitt 251
– – im Sagittalschnitt 261, 262
– – Schädigung 478, 481
– – Verlauf 117
– palatinus major 183, 187, 239, 509
– – Leitungsanästhesie 64, **65**
– – Rami nasales posteriores inferiores 182
– petrosus major 20, 124, **127**, 147, 151, 152, 156, 239, 300, 509, 512, 534
– – Durchtritt durch die Schädelbasis 207
– petrosus minor **127**, 131, 146, 152, 156, 237, 300, 534

– – Durchtritt durch die Schädelbasis 207
– petrosus profundus 20, 127, **239**, 512, 534
– pharyngeus 239
– phrenicus **139**, 224, 241, 466
– – am Hals 224, 230, 242
– – Leitmuskel 243
– – Ramus pericardiacus 139
– pterygoideus 82, **123**
– pterygoideus lateralis 82, 237
– pterygoideus medialis 82, 237
– pudendus, Motoneurone 399
– saccularis 129, 151, **154**, 535
– sacculoampullaris 151
– saphenus 469
– spinalis 271, 280, **394**, 462, 537
– – Austrittsstellen, Liquordrainage 314
– – Beziehung zum Processus uncinatus **76**
– – Duraaussackung 311
– – Exterozeptionsleitung 284
– – Ganglion s. Ganglion spinale
– – Kompression 77
– – Propriozeptionsleitung 284
– – Radix anterior s. Vorderwurzel
– – Radix C2 244
– – Radix C8 242
– – Radix posterior s. Hinterwurzel
– – Radix Th1 242
– – Rami cutanei laterales 463
– – Rami cutanei posteriores 463
– – Ramus dorsalis **138**, 297
– – Ramus meningeus 394
– – Ramus posterior 463
– – Ramus ventralis 76, **138**
– – Schmerzafferenzen, viszerale 302
– – sympathische Axone 297
– – Topografie **418**
– – Wurzelschädigung s. Läsion, radikuläre
– spinalis C1
– – Radix ventralis 355
– – Ramus ventralis 92
– spinalis C2 261
– spinalis C3 261
– spinalis C4 256, 261
– spinalis C5 256, 261
– – Ramus-ventralis-Läsion 466
– spinalis C6 256, 258, 261
– – Ramus dorsalis 244
– – Ramus-ventralis-Läsion 466
– spinalis C7 257, 258, 261
– spinalis C8 258
– – Ramus-ventralis-Läsion 466
– spinalis cervicalis 76, 92, **138**
– – Rami meningei 310
– – Ramus cutaneus dorsalis 244
– spinalis lumbalis, Druckschädigung 463
– spinalis Th1 258
– – Ramus-ventralis-Läsion 466
– spinosus, Ramus meningeus 310
– splanchnicus major 296
– stapedius 124, 126, 485
– sublingualis 534
– suboccipitalis **138**, 245
– supraorbitalis 122, 158, 175, 232, **233**, 234, 512
– – Austrittspunkt 123, 227
– – Ramus lateralis 36, 176, 226
– – Ramus medialis 36, 176, 226
– supratrochlearis 122, 158, 177, 232, 234, 512
– thoracicus longus 466
– thoracodorsalis 466
– tibialis, Parese 469
– transversus colli 125, 139, **228**, 233, 240
– – Anastomose mit dem Ramus colli nervi facialis 240
– trigeminus 78, **112**, **120**, 126, 175, 178, 195, 232, **233**, 370, 512, 535
– – Äste 120
– – – Austrittspunkte 6, 123, 227
– – – Verlauf 122
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Dienstleistung
– – – viszeroafferente 120
– – – viszeroefferente 120
– – Exterozeptionsleitung 284
– – Fasern
– – – somatoafferente 120
– – – viszeroefferente 120
– – im Horizontalschnitt 252
– – Innervation der Mundhöhlenschleimhaut 187
– – Kerngebiet **114**, **120**, **356**
– – klinische Funktionsprüfung **123**
– – Läsion 120
– – motorische Fasern 233
– – Nasenseptuminnervation 183
– – Ohrmuschelinnervation 144
– – Portio major 176, 178
– – Portio minor 176, 178
– – Propriozeptionsleitung 284
– – Radix motoria 120
– – – im Frontalschnitt 420, 422
– – – motoria 355
– – Radix sensoria 120, 355
– – – im Frontalschnitt 420, 422
– – Rami meningei **310**
– – sensibles Ganglion 115
– – Verlauf 64, 121
– – Versorgungsgebiet **120**, 232
– trochlearis 36, **112**, **118**, 172, **175**, 176, 178, 512
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Durchtrittsstellen 118
– – Eintritt in die Orbita 176
– – Fasernkreuzung 118
– – im Frontalschnitt 249, 420, 422, 424
– – Kerngebiet 118
– – Schädigung 118
– – Versorgungsgebiet 118
– tympanicus 130, 146, 203, 300, **534**
– – Ramus tubarius 131
– utricularis 129, 151, **154**, 535
– utriculoampullaris 151
– vagus **112**, **132**, 138, 206, 208, **296**, 300, 535
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Durchtrittsstellen 132
– – Ganglion
– – – sensibles 115, **132**, **535**
– – – vegetatives 115, **132**, **535**
– – Geschmacksbahn 289, 488, **523**
– – am Hals **141**, 230, 242
– – im Horizontalschnitt 204
– – Innervationsgebiet, peripheres **203**
– – Kerngebiet **132**, **203**
– – im Kopfhorizontalschnitt 254
– – Larynxinnervation 215
– – Läsion
– – – periphere 219
– – – zentrale 219
– – motorische Fasern 219
– – Ohrmuschelinnervation 144
– – Rami cardiaci cervicales 133
– – Rami meningei 310
– – Ramus auricularis 132, 141, 535
– – Ramus meningeus 132, 535
– – Ramus pharyngeus 132, 141, 535
– – Schädelbasis 207
– – Schlundbogen 10
– – somatoafferente Fasern 132
– – Stimmfaltenstellung **219**
– – Versorgungsgebiet **132**
– – – sensibles 133
– – – viszeromotorisches 133
– – viszeroafferente Fasern 132
– – viszeroefferente Fasern 132
– vestibularis 146, 151, 157, 289, 506, 535
– – Ramus communicans cochlearis 151
– – zentrale Verbindungen **486**
– vestibulocochlearis **112**, **128**, 150, 151, 289, 370, 535
– – Austritt aus dem Hirnstamm 355
– – Fasern zum Kleinhirn 129
– – im Horizontalschnitt 253
– – Kerngebiet 128, **356**
– – Kochlearisanteil, Kerngebiet **114**, **356**
– – Radix cochlearis **128**
– – Radix vestibularis **128**
– – im Sagittalschnitt 263
– – Tumor 128, 151
– – vegetative Ganglien 115
– – Vestibularisanteil, Kerngebiet **114**, **356**
– zygomaticus 32, 36, **122**, 127, 239, 300, 512, 534
– – Ramus communicans zum Nervus lacrimalis 122, **127**
Netzhaut 159, 162, **168**, **288**, **476**
– arterielle Versorgung 511
– Aufbau 169
– Impulsverarbeitung 506
– Innervation 512
– Inversion 476
– Projektionen **533**
– Projektionsneurone der Sehbahn 169
– Schichten 169
– Somatosensibilität 284
– Stelle des schärfsten Sehens 162, 168
– venöser Abfluss 511
Netzhautablösung 169
– Ophthalmoskopiebefund 171
Netzhautarterie, Ophthalmoskopiebefund 171
Netzhautvene, Ophthalmoskopiebefund 171
Neukleinhirn 367
Neuralleiste 272
Neuralleistenzellen 272
Neuralplatte 272
Neuralrinne 272
Neuralrohr 272
– Differenzierung **273**
– Liquorraumentstehung 275
– Zone der vegetativen Neurone **273**, 394
Neuralwulst 272
Neurit s. Axon
Neurocranium (Hirnschädel) 13
– kleines 17
– Vergrößerung 17
Neurofibra 269
Neurofibrae
– afferentes 505
– automaticae 505
– efferentes 505
– postganglionicae 505
– preganglionicae 505
– somaticae 505
Neurofilamente 292
Neuroglia 269, **294**
– Färbemethode 294
– Funktion 295
Neurohypophyse **316**
– Anbindung an Hypothalamuskernen 350
– neurohämale Region 316
Neuron 268, **292**
– bipolares **293**, 484, 490
– Elektronenmikroskopie 292
– Funktion 295
– funktionelle Polarisierung 268
– funktionsadaptierte Varianten 293
– intramurales 297
– motorisches 281
– multipolares
– – mit kurzem Axon 293
– – mit langem Axon 293
– postganglionäres 115
– prägaglionäres 115
– pseudounipolares **293**, 299, 356
– – schmerzleitendes 302, 450
– Rezeptorsegment 292
– sensibles 281
– Signalleitung 268

Neuron
– Teilung 294
– Überleitungssegment 292
– Übertragungssegment 292
Neurone
– motorische
– – Entwicklung 273
– – Rückenmark 394, 396
– multipolare 115
– neurosekretorische 350
– parasympathische 396
– pseudounipolare 115, 400
– sensible 507
– – Entwicklung 273
– – Rückenmark 394, 396
– Signalaustausch 268
– sympathische 396
– sympathoexzitatorische, Medulla oblongata 299
– thalamokortikale Aktivierung 459
– thalamokortikale Hemmung 459
– vegetative 507
– – Entwicklung 273
Neuronenverband **293**
Neuronenverschaltung **268**, 292
Neuronteilung, lebenslange 116
Neurosekretion 350
Neurothel 309, 311
Neurotransmitter 268
– aktivierende 292
– hemmende 292
– Interaktion, präsynaptische 305
– Nuclei reticulares 358
Neurotransmittervesikel **293**
Neurotubuli 292
Neutralbisslage 53
Niere
– Head-Zone 303
– Innervation, vegetative 296
Ninhydrin-Test 468
Nissl-Substanz 292
Nodi lymphoidei s. auch Lymphknoten
– cervicales anteriores 110
– cervicales laterales 144
– cervicales profundi 110, 191, 243
– cervicales superficiales 240
– mastoidei 144
– occipitales 244
– parotidei profundi 144
– parotidei superficiales 144
– submandibulares 191
– submentales 191
– trigoni cervicalis posterioris 110
Nodulus cerebelli 366, 368, 538
– im Sagittalschnitt 443
Noradrenalin 297, **298**, 305
Norma
– facialis **14**
– lateralis **12**
– occipitalis **16**
– verticalis **19**
Nozizeptor (Schmerzrezeptor) 446, 450
Nuclei s. auch Nucleus
– anteriores thalami 343, **344**, 548
– basales (Basalkerne) 276, 287, 321, **336**, 411, **458**, 502
– – Einteilung **336**
– – im Frontalschnitt 337
– – im Horizontalschnitt 337
– cerebelli 279
– dorsales thalami 549
– habenulares 490, 492, 548
– intralaminares 344, 514, 549
– lemnisci lateralis 545
– mammillares 348
– mediales thalami 525, 548
– mediani thalami 549
– olivares inferiores **544**
– originis 512
– parasympathici sacrales 551
– pontis 354, 358, 537
– pulvinares 548
– raphes **358**, 453
– reticulares **358**
– – funktionelle Zentren 358
– – Transmitterarchitektonik 358
– – Zytoarchitektonik 358
– septales 525
– terminales tractus optici 479
– terminationis 512
– thalami
– – im Frontalschnitt 424, 426
– – im Horizontalschnitt 433
– – im Sagittalschnitt 441, 442
– tuberales 348
– ventrolaterales thalami 345
– – afferente Verbindungen **346**
– – efferente Verbindungen **346**
– vestibulares **356**, 530, 539, 550
– – Bewegungsbeeinflussung 537
– – Ponsquerschnitt
Nucleolus, Nervenzelle 292
Nucleus (s. auch Kern; s. auch Nuclei) 502, 548
– accessorius nervi oculomotorii **114**, 118, **300**, **356**, 480, 512, 528, 532, 533, 534, 550, 551
– accumbens 440, 458
– – im Sagittalschnitt 441
– ambiguus **114**, **130**, 132, 134, 203, **356**, 358, 531, 550
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – Zellgruppenanordnung 219
– ambiguus nervi glossopharyngei 527
– ambiguus nervi vagi 527
– anterior thalami 346, 349, 492
– anterolateralis 398
– basalis 333
– caudatus (Schweifkern) 321, 333, **336**
– – Afferenzen 357
– – Beziehung
– – – zum Seitenventrikel 421, 424
– – – zum Thalamus 434
– – Efferenzen 357
– – im Frontalschnitt 249, 420, 422, 424, 426
– – im Horizontalschnitt 276, 432, 434
– – Lage zum Ventrikelsystem 313, 425
– – Motorik 458
– – im Sagittalschnitt 261, 439, 440
– centralis corporis amygdaloidei 333
– centromedianus 344
– – Afferenzen **346**
– – Efferenzen **346**
– cochlearis **356**
– cochlearis anterior **114**, **128**, 484, 521, 535, 545, 550
– – Verbindung zur oberen Olive 544
– cochlearis posterior **114**, **128**, 484, 521, 535, 550
– colliculi inferioris 484, 521, 545
– colliculi superioris 362
– corporis geniculati lateralis 344, 347
– corporis geniculati medialis 344, 347
– corporis trapezoidei 484, 521
– corticalis corporis amygdaloidei 333
– cuneatus 346, **361**, 404, **444**, 449, 514
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 365
– cuneatus accessorius 365, 444, 514
– cuneiformis 451
– Definition 502
– dentatus (Zahnkern) 346, **368**, 538
– – im Frontalschnitt 428
– – im Horizontalschnitt 253
– – Ponsquerschnitt 363
– – im Sagittalschnitt 441
– dorsalis lateralis thalami 344, **347**
– dorsalis nervi vagi 114, 132, **300**, 356, 358, 551
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– dorsalis tegmenti 353
– dorsolateralis 397
– dorsomedialis 398
– Eigenname 503
– emboliformis (Pfropfkern) 348, **368**, 538
– – im Frontalschnitt 429
– – Ponsquerschnitt 363
– fastigii (Giebelkern) **368**, 486, 538
– – im Frontalschnitt 429
– – Ponsquerschnitt 363
– geniculatus lateralis 548
– geniculatus medialis 521, 545, 548
– gigantocellularis 451
– globosus (Kugelkern) **368**, 486, 538
– – im Frontalschnitt 429
– – Ponsquerschnitt 363
– gracilis 346, **361**, 404, **444**, 449, 514
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 365
– infundibularis 548
– intermediolateralis 509, 512, 532, 534, 551
– intermediomedialis 551
– intermedius 548
– interpeduncularis 353, 490, 492
– interpositus anterior s. Nucleus emboliformis
– interpositus posterior s. Nucleus globosus
– interstitialis 486, 529
– lateralis corporis amygdaloidei 333
– lateralis cerebelli s. Nucleus dentatus
– lateralis posterior thalami 344, **347**
– lemnisci lateralis 484, 521
– lentiformis (Linsenkern) **336**
– – Motorik 458
– mammillaris lateralis 548
– mammillaris medialis 548
– medialis cerebelli s. Nucleus fastigii
– medialis dorsalis thalami 344
– – Afferenzen **347**
– – Efferenzen **347**
– mesencephalicus nervi trigemini **114**, **120**, **356**, 519, 535, 550
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– – Ponsquerschnitt 362
– motorius 503
– motorius nervi abducentis 529
– motorius nervi facialis 527
– motorius nervi hypoglossi 527
– motorius nervi trigemini **114**, **120**, **356**, 358, 360, 550
– – Ponsquerschnitt 363
– motorius nervi trochlearis 528
– Nervenzelle 292
– nervi abducentis **114**, 118, 124, **356**, 358, 360, 482, 486, 550
– – Ponsquerschnitt 363
– nervi accessorii 365
– nervi cochlearis 364
– nervi facialis **114**, **124**, **356**, 358, 550
– – dorsaler Abschnitt 125, 360
– – Ponsquerschnitt 363
– – Stapediusreflex 485
– – ventraler Abschnitt 125, 360
– nervi hypoglossi **114**, **135**, **356**, 358, 360, 550
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– nervi oculomotorii **114**, 118, **356**, 358, 360, 480, 482, 486
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– nervi trochlearis **114**, 118, **356**, 358, 360, 482, 550
– nervorum cranialium s. Hirnnervenkerne
– oculomotorius accessorius 115
– olfactorius anterior 490, **491**, 525

– olivaris accessorius 361
– olivaris inferior 530, 538
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – motorische Bahn 516, 537, 539
– – im Sagittalschnitt 441
– olivaris superior 484, 521, **544**
– – Verbindungen **544**
– originis **114**, **356**, 503
– parabrachialis medialis 488
– paraventricularis 348, 350, 548
– parvocellularis, Nervus-opticus-Axone 479
– Perlia 480
– pontinus (principalis) nervi trigemini 115, **120**, 449, 519
– posterior hypothalami 348
– posterolateralis 398
– preopticus 348
– prepositus 529
– prepositus hypoglossi 482
– pretectalis anterior 451
– – zentrales absteigendes schmerzhemmendes System 453
– principalis (pontinus) nervi trigemini 115, **120**, **356**, 449, 519, 550
– – Ponsquerschnitt 363
– pulposus 76, 463
– raphes magnus 358, 451
– raphes medianus 358
– raphes obscurus 358
– raphes pontis 358
– raphes posterior 358
– reticularis thalami 343, 345, 548
– retroposterolateralis 398
– ruber 118, 278, 347, 353, 358, 360, 411, 458
– – Afferenzen 357
– – Efferenzen 357
– – im Frontalschnitt 424
– – Funktion 357
– – im Horizontalschnitt 250, 436
– – kortikale Axone 457
– – Lage 357
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– – motorische Bahnen 287, 516, 537
– – im Sagittalschnitt 442
– – Schädigung 357
– salivatorius 523
– salivatorius inferior **114**, **130**, 210, **300**, **356**, 488, 534, 550, 551
– salivatorius superior **114**, **124**, 127, 210, **300**, **356**, 488, 509, 512, 534, 550, 551
– sensorius 503
– sensorius principalis nervi trigemini 203, 535
– solitarius s. Nucleus tractus solitarii
– spinalis nervi accessorii **114**, **134**, **356**, 527, 550
– spinalis nervi trigemini 115, **120**, **130**, 132, **356**, 449, **452**, 518, 535, 550
– – Läsion 448
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – Pars caudalis 452
– – Pars interpolaris 452
– – Pars oralis 452
– – Ponsquerschnitt 363
– – Schmerzbahn 452
– subthalamicus 342, 353, 458, 537
– – im Sagittalschnitt 441
– suprachiasmaticus 479, 532, 548
– supraopticus 348, 350, 548
– tegmentalis 490
– tegmentalis pedunculopontinus 358
– tegmentalis posterior 492
– terminationis **114**, **356**, 503
– tractus mesencephalici nervi trigemini 203
– tractus solitarii 124, 127, 132, 203, **356**, 523, 535, 551
– – Pars gustatoria 289, 488
– – Pars inferior **114**, 130, 132, **356**, 551
– – Pars superior **114**, 130, 132, **356**, 551
– tractus spinalis nervi trigemini 203
– ventralis anterior thalami 344, **346**, 440, 548
– ventralis intermedius thalami 344, **346**
– ventralis lateralis thalami 344, **346**, 440
– – Projektionen 346
– ventralis posterior thalami 440
– ventralis posterolateralis thalami 344, **346**, 403, 545, 548
– – Afferenzen **346**
– – Schädigung 346
– – Schmerzbahn 451, 452
– ventralis posteromedialis thalami 344, **346**, 519, 545, 548
– – Afferenzen **346**
– – Geschmacksbahn 523
– ventromedialis 398
– ventromedialis hypothalami 348
– vestibularis, Nervus-opticus-Axone 479
– vestibularis inferior **114**, 129, 487, 535, 550
– vestibularis lateralis **114**, **128**, 460, 487, 535, 550
– vestibularis medialis **114**, **128**, 487, 535, 550
– vestibularis superior **114**, **128**, 487, 535, 550
Nuel-Raum 152
Nystagmus 532
– optokinetischer 479
– vestibulärer 150, 529

O

Oberarmbeugerparese 467
Oberflächenektoderm 272
Oberflächenschmerz 450
Oberflächensensibilität s. Exterozeption
Oberflächensensibilitätsstörung 346
Oberkiefer 12, 14, 16, 20, **30**, 44
– Leitungsanästhesie 65
– Resektion 31
Oberkieferabriss 15
Oberkieferhöhle s. Kieferhöhle
Oberkiefermolaren 48
Oberkieferschneidezähne, Röntgenaufnahme 63
Oberkieferseitenzähne, Röntgenaufnahme 63
Oberkieferwulst, embryonaler 8
Oberkieferzähne
– bleibende **48**
– – Morphologie **54**
– Stellung 53
Oberlid, Innervation 512
Oberlippe **186**
– sensible Innervation 187
Oberlippenheber 81
Odontoblasten 61
Odontoblastendifferenzierung 61
Odontoblastenfortsatz 61
Odontogenese (Zahnentwicklung) **60**
Oesophagus 198
– Head-Zone 303
Offenwinkelglaukom 167
Ohr **142**
– äußeres **142**
– mimische Muskeln **81**
Ohrgeräusch 380
Ohrmuschel **142**
– arterielle Versorgung **143**
– Knorpel **143**
– Lymphabfluss 144
– – Territorien 144
– Muskeln **143**
– sensible Innervation 144
Ohrschmalz 145
Ohrspeicheldrüse s. Glandula parotidea
Ohrtrompete s. Tuba auditiva
Okklusion
– habituelle 53
– bei Regelverzahnung 53
– statische 53
Okklusionsebene **52**
Okklusionskurve
– sagittale **52**
– transversale **52**
Okulomotorik 479
Okulomotoriuskern **114**
– Topik 118
Okulomotoriusparese 118, 166, 173
– isolierte **118**, 173
– komplette **118**, 173
Okzipitalisanastomose 95
Okzipitallappen 276, 320
– Anteil des Ventrikelsystems 312
– Assoziationsbahnen 542
– funktionelle Areale **540**
– im Horizontalschnitt 253
Okzipitallappenläsion 478
Olfaktorisches System 112, 288, **490**, 525
– zentrale Verschaltung 490
Oligodendrozyten 294
– Funktion 295
Oliva (Olive) 132, 135, 287, 355, 361, 370, **544**
– Afferenzen 357
– efferente Fasern zum Corti-Organ 485
– Motorikbeeinflussung 538
– obere **544**
– – Afferenzen 544
– – Verbindungen **544**
– untere **544**
– – kortikale Axone 457
– – Verbindungen **544**
Olivenkomplex
– oberer 485
– unterer **544**
Onuf-Kern 399
Operculum 435
– frontale 321, **325**
– parietale 321, **325**
– temporale 321, **325**
OPG (Orthopantomogramm) **62**
Ophthalmikakollaterale 95
Ophthalmoplegie, internukleäre 483
Ophthalmoskopie 171
– direkte 171
– Normalbefund 171
Opiate 453
Optisches System **533**
– akzessorisches 479, **533**
Ora serrata 162, **164**, 168
Orbita (Augenhöhle) 14, **36**, 43
– angrenzende Höhlen **38**
– Arterien **175**
– Dach 26
– Etage
– – mittlere 174, **177**
– – obere 174, **177**
– – untere 174
– Gefäße **510**
– Hinterwand 176
– Knochen **36**, 38
– Kopfhorizontalschnitt 250
– Leitungsbahnen **36**, **174**
– Leitungsbahneneintritt 176
– Nachbarstrukturen **38**, 180
– Nerven **175, 512**
– Öffnung zur Fossa cranii media 38
– Öffnungen **36**
– im Orthopantomogramm 62
– Sinusitis-ethmoidalis-Durchbruch 42
– Topografie **176**
– Venen **106**, **175**
Orbitaachse 163
Orbitaboden 38, 174

Orbitapyramide, Frontalschnitt 248
Orbitavorderrand
– Frankfurter Horizontale **52**
– Frontalschnitt 246
Orbitawand, mediale, Sagittalschnitt 261
Organe
– innere
– – Impulsverarbeitung 506
– – Innenwahrnehmung **284**
– – Innervation 506
– zirkumventrikuläre **316**
– – Funktion 316
Organum
– spirale, Innervation 535
– subcommissurale 316
– subfornicale 316
– vasculosum laminae terminalis 316
Oropharynx 186, **202**
– Frontalschnitt 249
Orthopantomogramm **62**
Os
– ethmoidale (Siebbein) 12, **25**
– – arterielle Versorgung 511
– – von innen 22
– – Lamina cribrosa 23, **25**
– – Lamina orbitalis 37, 38, **43**, **25**
– – Lamina papyracea 38, 43
– – Lamina perpendicularis 14, 38, 41, **43**, **25**
– – laterale Nasenwand 40
– – Nasenseptum 40
– – Orbita 36
– – venöser Abfluss 511
– frontale (Stirnbein) 12, 14, **18**, 20
– – Facies orbitalis 37, 38
– – von innen 22
– – Pars nasalis 26
– – Pars orbitalis 26, 36
– hyoideum (Zungenbein) **47**, **90**, 186, **189**, 198, 202, 203, **212**, 218, 221, 230
– – Absenkung 90
– – Fixierung 90
– – Hebung 90
– – Mediansagittalschnitt 260
– – Schlundbogenherkunft 10
– intermaxillare 9
– lacrimale 12, 36
– – Crista lacrimalis posterior 37
– – laterale Nasenwand 40, 42
– nasale (Nasenbein) 12, 14, 32, 36, **40**, 42
– – Nasenseptum 40
– occipitale (Hinterhauptsbein) 12, **18**, 22, 28, **24**
– – im Horizontalschnitt 255
– – Pars basilaris **24**, 73, 92
– – Pars lateralis **24**
– – Schädelbasis 20, **24**
– – Venae emissariae 385
– palatinum (Gaumenbein) 16, 20, 21, 32, 44
– – Lamina horizontalis 41, 42
– – laterale Nasenwand 40
– – Nasenseptum 40
– – Orbita 36
– parietale (Scheitelbein) 12, 14, 16, **18**, 26, 28
– – Facies externa 27
– – Facies interna 22, 27
– petrosum 145
– sphenoidale (Keilbein) 12, 16, 20, 28, 41, 42, **34**
– – Ala major 12, 23, 28, 36, 38, **34**, 252
– – Ala minor 14, 22, 36, 38
– – Facies orbitalis 38
– – von innen 22, **34**
– – Lage 34
– – Nasenseptum 40
– – Orbita 36
– – Schädelbasis 34
– temporale (Schläfenbein) 12, 14, 21, **28**, 150
– – von innen 22
– – Knochenanlagen 28
– – Lage 28
– – Pars petrosa (Felsenbein) 13, 16, 20, **28**, 150
– – – im Horizontalschnitt 252
– – – von innen 22
– – – Innenohrlage 150
– – – Mittelohrausdehnung 146
– – – Nervus-facialis-Aufteilung 124, **126**
– – – Nervus-facialis-Verlauf **126**
– – – im Sagittalschnitt 263
– – Pars squamosa 12, 16, 20, **28**, 39, 66, 150
– – – von innen 22
– – Pars tympanica 13, 20, **28**, 145
– tribasilare 34, **24**
– zygomaticum (Jochbein) 12, 14, 20, 28, **32**
– – Facies lateralis 32
– – Facies orbitalis 32, 37, 38
– – Facies temporalis 32, 21
– – Orbita 36
Osmolarität
– Blutserum 317
– Liquor cerebrospinalis 317
Ossifikation
– chondrale 13
– desmale 13
– – Störung 13
Osteomeatale Einheit der Nase **43**
Osteophyten **77**
Ostium
– pharyngeum tubae auditivae 147, 197, 202, 207, **221**
– – Rhinoskopiebefund 185
– – Verschluss 202
– sinus maxillaris 43
Otitis media 147
Otoskopie 145
OVLT (Organum vasculosum laminae terminalis) 316
Oxycephalus (Spitzschädel) 17
Oxytocin **350**, 548

P

Pacchioni-Granulationen s. Granulationes arachnoideae 307
Pachymeninx s. Dura mater
Paläokortex 288
Palatoschisis 9
Palatum
– durum (harter Gaumen) **44**, 181, 186
– – Frontalschnitt 246
– – im Horizontalschnitt 255
– – Leitungsbahnen 187
– – im Mediansagittalschnitt 260
– – Schädelbasis **44**
– – Spaltbildung 45
– molle (weicher Gaumen) 181, 186, **187**, 192, 202, 203
– – Frontalschnitt 248
– – Innervation 130, 132
– – im Mediansagittalschnitt 260
– – Muskulatur **187**
Paleocerebellum (Altkleinhirn) 367
Paleocortex 276, 330
Paleopallium 321
Paleorubrum 357
Pallanästhesie 290
Pallhypästhesie 290
Pallidum 411
– Afferenzen 357
– Efferenzen 357
Palliothalamus 344
Pallium (Hirnmantel) 321, 435
Palpebra (Augenlid) **159**
– inferior 159, 160
– superior 159, 160
Panoramaschichtaufnahme **62**
Papez-Neuronenkreis, limbisches System 492
Papilla
– filiformis 188
– foliata 188, 205, **489**
– fungiformis 188, **489**
– nervi optici 162, 168, 477
– – Aufbau **169**
– – Ophthalmoskopiebefund 171
– vallata 188, 205, **489**
Papillae linguales **188**
Papille, interdentale 56, 57
Parallelfasern, zerebelläre 369
Parästhesien 448
Parasympathikus 138, **296**, **300**
– Afferenzen 296
– funktionelle Verflechtung mit dem Sympathikus 305
– Ganglien 296
– Hirnnervenkerne **114**
– Kerne **356**
– Kopfteil 296, **300**
– kranialer Abschnitt 141
– lumbosakraler Teil **301**
– Modulation der Darminnervation **304**
– Neurone 296
– – postganglionäre 298
– – präganglionäre 297, 298
– Sakralteil 296
– Schmerzafferenzen **302**
– Transmitter 297
– viszeroefferente Fasern **300**
– Viszerosensibilität 284
Parasympathikusstimulation 349
Parasympathomimetika 167
Parathormon 223
Parese 461, 472, 517
Paries
– caroticus cavitatis tympani 146
– jugularis cavitatis tympani 146
– labyrinthicus cavitatis tympani 146
– mastoideus cavitatis tympani 146
– membranaceus cavitatis tympani 146
– tegmentalis cavitatis tympani 146
Parietallappen 276, 320
– Assoziationsbahnen 542
– Frontalschnitt 249
– funktionelle Areale **540**
Parkinson, Morbus 458, **459**
Parodontium (Zahnhalteapparat) **56**
– marginales 56
Parodontose 56
Parotidektomie, fazialisschonende 211
Parotistumor, bösartiger, Ausbreitung 211
Pars
– alveolaris mandibulae **46**
– – altersabhängige Veränderung 47
– basilaris ossis occipitalis **24**, 92
– basilaris pontis (Brückenfuß) 357
– buccopharyngea musculi constrictoris pharyngis superioris 198
– caeca retinae **168**
– cartilaginea tubae auditivae 147, **207**
– caudalis nuclei spinalis nervi trigemini 452
– cavernosa arteriae carotis internae **374**
– centralis ventriculi lateralis **312**
– – im Frontalschnitt 423, 424, 428
– – im Horizontalschnitt 432
– – Projektion auf den Schädel 319
– – im Sagittalschnitt 440
– ceratopharyngea musculi constrictoris pharyngis medii 198
– cerebralis arteriae carotis internae **374**
– cervicalis arteriae carotis internae **374**
– chondropharyngea musculi constrictoris pharyngis medii 198
– ciliaris retinae **168**

– compacta substantiae nigrae 357, 459, 537
– cricopharyngea musculi constrictoris pharyngis inferioris 198
– flaccida membranae tympanicae 145
– fundiformis musculi constrictoris pharyngis inferioris 199
– glossopharyngea musculi constrictoris pharyngis superioris 198
– insularis arteriae cerebri mediae 376
– intercartilaginea rimae glottidis **216**
– intermedia cerebelli 366
– intermembranacea rimae glottidis **216**
– interpolaris nuclei spinalis nervi trigemini 452
– iridica retinae **168**
– lacrimalis musculi orbicularis oculi 80
– laryngealis pharyngis **202**
– lateralis cerebelli 366
– lateralis ossis occipitalis **24**
– mandibularis arteriae maxillaris 100, 238
– mediana cerebelli 366
– mylopharyngea musculi constrictoris pharyngis superioris 198
– nasalis pharyngis **202**
– obliqua musculi
– – constrictoris pharyngis inferioris 199
– – cricothyroidei 198
– olfactoria tunicae mucosae nasi 116
– opercularis gyri frontalis inferioris **322**, 540
– optica retinae 164, **168**
– – äußeres Blatt **168**
– – inneres Blatt **168**
– oralis nuclei spinalis nervi trigemini 452
– oralis pharyngis **202**
– orbitalis gyri frontalis inferioris **322**
– orbitalis musculi orbicularis oculi 80
– orbitalis ossis frontalis 26
– ossea tubae auditivae 147, **207**
– palpebralis musculi orbicularis oculi 80
– petrosa arteriae carotis internae **374**
– petrosa ossis temporalis 13, 16, 207, 252
– pterygoidea arteriae maxillaris 100, 238
– pterygopalatina arteriae maxillaris 100, 238
– pterygopharyngea musculi constrictoris pharyngis superioris 198
– recta musculi cricothyroidei 198
– reticularis substantiae nigrae 357, 459, 537
– sphenoidalis arteriae cerebri mediae 376
– squamosa ossis temporalis 13, 16, 66
– tensa membranae tympanicae 145
– thyroepiglottica musculi thyroarytaenoidei 216
– thyropharyngea musculi constrictoris pharyngis inferioris 198
– triangularis gyri frontalis inferioris **322**, 540
– tympanica ossis temporalis 13, 20, 145
Passavant-Ringwulst 203
Patellarsehnenreflex **291**, 400
– Ausfall 465
– Schaltung 291
Paukenhöhle 28, **146**
– arterielle Versorgung **156**
– Boden 146
– Chorda tympani **126**
– Dach 146
– Etagen 149
– Gehörknöchelchenkette **149**
– Nachbarschaftsbeziehungen 147
– Nervus-glossopharyngeus-Aufspaltung **131**
– Schleimhautüberzug 149
– Schlundtaschenherkunft 11
– Wände 146
Paukenhöhlenschleimhaut, Innervation 130
Pediculus arcus vertebrae 71
Pedunculus
– cerebellaris (Kleinhirnstiel) 278, 361, **370**, 426
– – Bahnen 371
– cerebellaris inferior 355, 361, 366, **371**, 407, 426
– – Bahnen 539
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – im Sagittalschnitt 441
– cerebellaris medius 355, 361, 366, **371**, 426
– – im Frontalschnitt 425, 426
– – im Sagittalschnitt 440
– cerebellaris superior 355, 361, 366, **371**, 407, 426
– – Bahnen 539
– – im Frontalschnitt 425
– – Ponsquerschnitt 362
– – im Sagittalschnitt 442
– cerebri **334**
– – im Frontalschnitt 424
– corporis mammillaris 349
– flocculi 366
Penumbra 391
Periarchicortex 330
– Definition 493
Perikaryon 268
Perilymphe 150
Perilymphraum 150, 152
Perimeter 477
Periorbita 159, 174, 176
Periost, orbitales 159, 174, 176
Peripaleocortex 330
Peripharyngealraum 204
– Entzündung 204, 208
– Leitungsbahnen 205
– – oberflächliche Schicht **206**
– – tiefe Schicht **208**
Perlia-Kern 480
Persönlichkeit, Cortexareal 540
Pes hippocampi
– Frontalschnitt 423
– Horizontalschnitt 437
– Sagittalschnitt 263
Petiolus epiglottidis 213
Petit-Raum 163
Pfahlwurzel, dentale 55
Pferdeschwanz 395
Pflugscharbein s. Vomer
Pfropfkern 368, 538
Pharynx (Rachen)
– Innervation **203**, 535
– Pars laryngealis **202**
– Pars nasalis **202**
– Pars oralis **202**
– Topografie **202**
– Übergang in den Oesophagus 198
Pharynxmuskulatur **198**, 201
– akzessorisches Muskelbündel 199
– Innervation 132, 219
– Lähmung 219
– obere
– – im Horizontalschnitt 255
– Übergang in die Oesophagusmuskulatur 199
– Ursprung 199
Pharynxschleimhaut
– distale, Innervation 132
– Innervation 130
– Relief **200**
Pharynxwand, hintere 192
Philippe-Gombault-Triangel 396, **405**
Philtrum, Embryonalentwicklung 8
Phlegmone, peripharyngeale 208
Phonationsmuskel s. Musculus cricoarytaenoideus lateralis
Photone 288
Photorezeptoren 476
Photorezeptorzellen 169
Pia mater 274, 311
– encephali 274, **307**
– spinalis 274, 311
PICA (Posterior inferior cerebellar Artery; Arteria inferior posterior cerebelli) 94, 375, 376, **380**
– Versorgungsgebiet 381
Pigmentepithel
– Netzhaut 162, **169**
– Ziliarkörper 162
Pinealozyten 352
Plagiocephalus (Schiefschädel) 17
Plantarflexorenausfall 469
Planum
– occipitale **16**
– temporale 82
– – Hemisphärenasymmetrie 497
Plaquebildung am Zahnhals 56
Plasmozytom, Diploezerstörung 19
Plattenepithel
– Larynxschleimhaut 219
– Mundhöhlenschleimhaut 186
– Zunge 188
Plattenepithelkarzinom
– Larynx 219
– Mundhöhle 186
– Zunge 191
Platysma 78, 81, **89**, **228**
– im Frontalschnitt 246
– Ursprung 86
Plegie 461, 517
Pleurakuppel 231
– im Horizontalschnitt 258
Plexus
– autonomicus 505
– basilaris, Projektion auf den Schädel 318
– brachialis 224, 230, 241, 242
– – komplette Läsion 466
– – Lähmung **466**
– – – obere **466**
– – – Schädigungsort 467
– – – untere **466**
– – Truncus inferior 466
– – Truncus medius 466
– – Truncus superior 466
– cardiacus 141
– caroticus externus 534
– caroticus internus 127, 147, 166, 175, 239, 512, 534
– cervicalis 88, 92, 138
– – Hautnerven 228
– – Ohrmuschelinnervation 144
– – Pars motorica 139
– – Pars sensoria 139
– – Verzweigungsschema **139**
– choroideus 295, 312, **314**, 316
– – Histologie 315
– – im Horizontalschnitt 250
– – im Sagittalschnitt 263
– – Taenien **315**, 340
– choroideus ventriculi lateralis 314, **315**, 424, 426, 428, 434, 436
– – venöse Drainage 389
– choroideus ventriculi quarti **314**, 427
– choroideus ventriculi tertii **314**
– – venöse Drainage 389
– dentalis superior **122**
– hypogastricus inferior 296
– intraparotideus 124, 232, **234**
– lumbalis **468**
– lumbosacralis 468
– – Läsion 468
– myentericus 304
– nervosus 271
– – Entstehung 398
– – vegetativer 271
– ophthalmicus 512
– parotideus 211
– pharyngeus 130, 132, 203

Plexus
– pterygoideus 511
– – Verbindung von Gesichtsvenen 227
– sacralis **468**
– – Läsion 469
– submucosus externus 304
– submucosus internus 304
– sympathicus caroticus internus 207
– thyroideus impar 108, 215, 230
– tympanicus 120, 146, 534
– venosus der Prostata 417
– venosus basilaris 383
– venosus canalis nervi hypoglossi 107, 385
– venosus foraminis ovalis 383, 384
– venosus oesophagi 205
– venosus pharyngeus 204, 206
– venosus pterygoideus 104, **106**, 107, 109, 384
– – Anastomose mit Venae temporales superficiales 108
– venosus thyroideus impar 109
– venosus vertebralis 283
– – Liquordrainage 314
– venosus vertebralis externus 19, 107, 384
– venosus vertebralis externus anterior **417**
– venosus vertebralis internus 384, 416
– venosus vertebralis internus anterior 283, **417**, **418**
– venosus vertebralis internus posterior **417**, **418**
– visceralis 505
Plexusepithel 315
– Tight junctions **317**
Plexuslämung, Schädigungsort 467
Plica
– aryepiglottica 200, 205, 214, **216**
– – laryngoskopischer Blick 221
– glossoepiglottica mediana 220
– – laryngoskopischer Blick 221
– mallearis superior 149
– pterygomandibularis 192
– salpingopharyngea (Seitenstrang) 181, 197, 200, 202
– – Lymphfollikel 197
– sublingualis 210
– vestibularis (Taschenfalte) 202, 214, 219, **221**
– – im Kehlkopfspiegelbild 217
– – laryngoskopischer Blick 221
– vocalis (Stimmfalte) 202, 214, 221
– – Aufbau 219
– – im Kehlkopfspiegelbild 217
– – laryngoskopischer Blick 221
Polus
– anterior lentis 165
– frontalis cerebri 276, 320, 322
– occipitalis 117, 276, 320, 322
– posterior lentis 165
– temporalis 276
Polypen, pharyngeale 197, 202
Pons 270, 278, 354, 512
– arterielle Versorgung 381
– Embryonalentwicklung 273
– im Frontalschnitt 423, 424
– Hirnnerven 112
– im Horizontalschnitt 251
– Nervus-trigeminus-Kerne 120
– Pars basilaris (Brückenfuß) 357
– Projektion auf den Schädel
– Querschnitt **362**
– im Sagittalschnitt 440, 442
Ponsläsion 461
Pontocerebellum 367, **538**
Portalkreislauf, hypophysärer 351
Porus
– acusticus externus 12, **29**, 66, **150**
– – Camper-Ebene **52**
– – Frankfurter Horizontale **52**
– acusticus internus 23, **29**, 124, 126, 150
– – durchtretende Leitungsbahnen 29, 136
Posticus s. Musculus cricoarytaenoideus posterior
Potenzial
– postsynaptisches exzitatorisches 292
– postsynaptisches inhibitorisches 292
PPRF (paramediane pontine Formatio reticularis) 482
Präameloblasten, Vorläuferzellen 60
Prä-Bötzinger-Komplex 364
Prädentin 61
Präodontoblasten 60
Precuneus 324
Pressorezeptoren 299
– Aortenbogen 132
– Sinus caroticus 130
Presubiculum 493
PRL (Prolaktin) 351
Processus
– alveolares 30
– anterior mallei 148
– articularis inferior vertebrae 70
– articularis superior vertebrae 70
– articularis vertebrae 70
– articularis vertebrae cervicalis 70
– ciliares 164
– clinoideus anterior 23, 35, 45**,** **179**
– clinoideus posterior 23, 35**,** **179**
– cochleariformis 147
– condylaris mandibulae **46**
– – im Orthopantomogramm 62
– coronoideus mandibulae **46**, 48, 57, **66**, 82, 192
– frontalis maxillae 30, 37, 40, 42
– frontalis ossis zygomatici 32
– jugularis 24
– lateralis cartilaginis septi nasi 40
– lateralis mallei 148
– lenticularis incudis 148
– mastoideus 3, 12, 16, 21, 28, 192
– muscularis cartilaginis arytaenoideae 213
– orbitalis 33
– palatinus maxillae 16, 21, 41, 43, **45**, 180
– – im Sagittalschnitt 261
– posterior cartilaginis septi nasi 41
– pterygoideus ossis sphenoidalis 16, **34**
– – Lamina lateralis 21, 39, 41, **34**, 44, 67, 82, 187, 238
– – Lamina medialis 21, 33, 39, 41, 42, **34**, 45, 67, 187
– pyramidalis ossis palatini 33, 36, 39, **44**, 148
– sphenoidalis 33
– spinosus axis 70, **75**
– spinosus (Dornfortsatz) 3, 70
– spinosus axis 245
– spinosus vertebrae cervicalis 70
– spinosus vertebrae cervicalis VII 70
– stylohyoideus 192
– styloideus ossis temporalis 12, 16, **21**, **28**, 90, 189, 204
– – Schlundbogenherkunft 10
– temporalis ossis zygomatici 32
– transversus atlantis 3, 70, 72, 92, 245
– transversus axis 70, 72
– transversus vertebrae cervicalis 70
– uncinatus 25, 42, 43, **76**
– uncinatus vertebrae cervicalis 70, **76**
– uncinatus vertebrae cervicalis VII 71
– vocalis 212, **213**
– – im Kehlkopfspiegelbild 217
– zygomaticus maxillae 21, **30**
– zygomaticus ossis frontalis 26, 39
– zygomaticus ossis temporalis 20, **29**, 66
Projektionsbahn **543**
– kortikofugale 543
– kortikopetale 543
Projektionsfaserbündel 505
Projektionsfasern **334**, 505
– kortikofugale 505
– kortikopetale 505
Projektionsneuron **293**, 327, **399**
Prolaktin 351
Prominentia
– canalis semicircularis lateralis 146
– laryngea 3, 212
– mallearis 145, 149
Promontorium tympani 146
Propriozeption (Tiefensensibilität) 284, 290, 371, **412**, 506, **515**
– Ausfall 473
– Bahnverlauf 285
– bewusste 444, 515
– – Bahnen **404**
– – gestörte 405
– Gleichgewichtsregulation 486
– Trigeminusbahn **519**
– unbewusste 284, 444, 515
– – Bahnen **406**
Prosencephalon (Vorderhirn), Embryonalentwicklung 272
Prostata, Plexus venosus 417
Prostatakarzinomzellen, venöse Ausbreitung 417
Proteingehalt
– Blutserum 317
– Liquor cerebrospinalis 317
Protopathie 284
Protuberantia
– mentalis 3, **46**
– occipitalis externa 3, 4, 16, 21, 24, 72
– occipitalis interna 72
PSA (Panoramaschichtaufnahme) **62**
Ptosis 172, 173
– komplette 173
– Lidspaltenweite 159
– Okulomotoriusparese 118, 173
Pubertät, verfrühte 352
Pulpa dentis 49, 56
Pulpa-Dentin-Grenze 61
Pulvinar thalami 340, 344, **347**, 428, 436
– Afferenzen 347
– Efferenzen 347
– im Frontalschnitt 426
– Nervus-opticus-Axone 479
– im Sagittalschnitt 261, 439, 440
Punctum
– lacrimale inferius **160**
– lacrimale superius **160**
– nervosum 240
2-Punkte-Diskrimination 404
– einseitiger Ausfall 448
– Verlust 471
Pupillarblockglaukom 167
Pupillarwiderstand, Kammerwasserabfluss 167
Pupille **166**
Pupillenmotorik 533
Pupillenreflex 356, 479, **479**
Pupillenweite **166**, **481**, 533
– Seitenunterschied 166
Purkinje-Zelle **293**
Putamen 321, 333, **336**
– Afferenzen 357
– Efferenzen 357
– Frontalschnitt 249, 420, 422, 424
– im Horizontalschnitt 276, 433, 434
– Lage zum Ventrikelsystem 313
– Motorik 458
– im Sagittalschnitt 262, 438, 440
– Schleife, motorische **459**
Pyamidenläsion 461
Pyramidal-motorisches System **454**, 536
– Rückkopplungsmechanismen 454

Pyramidenbahn (s. auch Tractus corticospinalis; s. auch Tractus pyramidalis) 278, 281, 287, 333, **408**, 413, **456**, 460
– Ausfall 391
– Begriffsverwendung 456
– Blutversorgung 415
– in der Capsula interna 456
– durch den Hirnstamm ziehender Teil 360
– im Hirnstamm endender Teil 360
– Teile zu motorischen Hirnnervenkerne 527
– Verlauf 409
– – in der Capsula interna 422
Pyramidenbahnkreuzung 286, 309, 355, **360**, **408**, 456, 517, 547
– Medulla-oblongata-Querschnitt 365
Pyramidenbahnschädigung
– Gefäßruptur 391
– mit Hinterstrangläsion 471
– bei Hirnschenkelkompression 309
Pyramidenbruch, Mittelgesicht 15
Pyramidenfasern 517
– Ursprung 516
Pyramidenseitenstrangbahn 456
Pyramidenseitenstrangschädigung mit Vorderhorn-Läsion 472
Pyramidenspitze, Keimausbreitung bei Mittelohrentzündung 147
Pyramidenzellen **293**, 326, 409, 456, 461
– große 327, 456, 527
– Gyrus praecentralis 517
– Hippocampus 493
– kleine 327, 457
– Perikaryon 409
– Spitzendendrit 409
Pyramidenzellschicht
– äußere 457
– innere 457
Pyramis
– bulbi 355
– medullae oblongatae 281, **286**, 355, 411
– vermis 366

Q

Quadrantenanopsie, obere 478
Quadrizepsreflex **291**, 400
– Ausfall 465
Querbalken
– hinterer, Schädelbasis 22
– vorderer, Schädelbasis 22
Querbruch, unterer, Mittelgesicht 15
Querschnittslähmung 395, 417
– Ausfälle, läsionshöhenabhängige 474
– Behinderungsgrad 475
– lumbale 474
– thorakale 474
– zervikale 474

R

Rachen s. auch Pharynx
Rachenbläserfalte 192
Rachenmandel 181, **196**, 202
– Aufbau 197
– vergrößerte 197
Rachenmuskulatur, unbewusste motorische Steuerung 527
Rachenring
– Inspektion 192
– lymphatischer **196**, 202
Radiatio
– acustica **484**, 520, 543
– corporis callosi 335
– optica (Sehstrahlung) **117**, 288, **334**, 433, **476**, 543
– – Schädigung 478, 481
– thalami (Stabkranz) 344, **345**, 519, 523, 543
– thalami anterior 345, 543
– thalami centralis 345, 543
– thalami inferior 345, 543
– thalami posterior 345, 543
– thalamocingularis 492
Radix
– anterior nervi spinalis s. Vorderwurzel
– cranialis nervi accessorii 114, **134**
– dentis (Zahnwurzel) 49, 57
– lateralis tractus optici 476
– linguae (Zungenwurzel) **188**
– – Innervation 535
– medialis tractus optici 476
– nasociliaris ganglii ciliaris 122, 175
– parasympathica ganglii ciliaris 175
– parasympathica ganglii otici 237
– parasympathica nervi splanchnici pelvici 301
– posterior nervi spinalis s. Hinterwurzel
– sensoria ganglii pterygopalatinii **122**
– spinalis nervi accessorii 114, **134**, 254
– sympathica ganglii ciliaris 175
Rami
– alveolares superiores anteriores nervi infraorbitalis **122**, 187
– alveolares superiores posteriores nervi infraorbitalis **122**, 187
– bronchiales nervi laryngei recurrentis 535
– buccales nervi facialis 125, 226, 233, 234
– cardiaci cervicales nervi vagi 133
– cutanei posteriores nervi cervicales 244
– dentales inferiores nervi alveolaris inferioris 123
– dorsales linguae arteriae lingualis 209
– ganglionares ad ganglion pterygopalatinum **122**, 239
– interganglionares 141
– linguales nervi glossopharyngei 535
– meningei nervi cervicales 310
– meningei nervi ethmoidalis anterioris 310
– meningei nervi mandibularis 310
– meningei nervi maxillaris 310
– meningei nervi ophthalmici 310
– nasales 239
– nasales laterales nervi ethmoidalis anterioris 183
– nasales mediales nervi ethmoidalis anterioris 182
– nasales posteriores inferiores nervi palatini majoris 182
– nasales posteriores superiores inferiores 509
– nasales posteriores superiores laterals 183, 239, 509
– nasales posteriores superiores mediales 182, 239, 509
– nucleorum thalami arteriae choroideae anterioris 379
– oesophageales nervi laryngei recurrentis 535
– paracentrales arteriae pericallosae 377
– paramediani arteriae vertebralis 381
– pharyngei nervi glossopharyngei 535
– pharyngei nervi vagi 535
– precuneales arteriae pericallosae 377
– septales anteriores arterie ethmoidalis anterioris 182
– septales posteriores arteriae maxillaris 183
– – Anastomose 187
– septales posteriores arteriae sphenopalatinae 182
– temporales anteriores arteriae occipitalis lateralis 377
– temporales intermedii arteriae occipitalis lateralis 377
– temporales nervi facialis 125, 226, 233, 234
– temporales posteriores arteriae occipitalis lateralis 377
– tentorii nervi maxillaris 310
– tentorii nervi ophthalmici 310
– terminales corticales inferiores arteriae cerebri mediae 377
– terminales corticales superiores arteriae cerebri mediae 377
– tonsillares arteriae palatinae ascendentis 209
– tonsillares arteriae pharyngeae ascendentis 209
– tonsillares der Nervi palatini minores 209
– tonsillares nervi glossopharyngei 131, 535
– tracheales nervi laryngei recurrentis 218, 535
– zygomatici nervi facialis 125, 226, 233, 234
Ramus
– auricularis nervi vagi 132, 141, 144, 535
– calcarinus arteriae occipitalis medialis 377
– cingularis arteriae callosomarginalis 377
– colli nervi facialis 125, **228**, 233, 240
– communicans albus 297, 302
– communicans cochlearis nervi vestibularis 151
– communicans griseus 297
– communicans cum nervo auriculotemporale 237
– corporis callosi dorsalis arteriae occipitalis medialis 377
– cricothyroideus arteriae thyroideae superioris **215**
– digastricus nervi facialis 125
– dorsalis arteriae intercostalis posterioris 415
– dorsalis nervi spinalis **138**, 233
– externus nervi accessorii 134, 208
– externus nervi laryngei superioris 133, 141, 215, 216, **218**, 224, 242
– frontalis anteromedialis arteriae callosomarginalis 377
– frontalis intermediomedialis arteriae callosomarginalis 377
– frontalis posteromedialis arteriae callosomarginalis 377
– geniohyoideus nervi spinalis C1/C2 195
– globi pallidi arteriae choroideae anterioris 379
– gyri angularis arteriae cerebri mediae 377
– internus nervi accessorii 134
– internus nervi laryngei superioris 133, 141, **218**, 242
– linguales nervi glossopharyngei 131
– mandibulae **46**, 193
– – Frontalschnitt 248
– – Horizontalschnitt 204, 255
– marginalis mandibulae nervi facialis 125, 226, 233, 242
– meningeus nervi auriculotemporalis 123
– meningeus nervi maxillaris 122
– meningeus nervi spinosus 310
– meningeus nervi vagi 132, 535
– meningeus recurrens nervi ophthalmici 122
– mentalis arteriae alveolaris inferioris 100, 226, 233
– nasales interni nervi ethmoidalis anterioris 183
– nasalis externus nervi ethmoidalis anterioris 183
– parietalis arteriae occipitalis medialis 377

Ramus
– parietooccipitalis arteriae occipitalis medialis 377
– parotideus arteriae tympanicae posterioris 98
– pharyngei nervi glossopharyngei 130, 140
– pharyngei nervi vagi 131, 141
– pharyngeus arteriae palatinae descendentis 209
– sinus carotici nervi glossopharyngei 130, 140
– sinus carotici nervi vagi 131
– stapedius arteriae tympanicae posterioris 156
– stapedius nervi facialis 149
– temporalis anterior arteriae cerebri mediae 377
– temporalis medius arteriae cerebri mediae 377
– temporalis posterior arteriae cerebri mediae 377
– temporooccipitalis arteriae cerebri mediae 377
– thyrohyoideus ansae cervicalis 140, 229
– tonsillaris arteriae palatinae ascendentis 98
– tubarius nervi glossopharyngei 535
– tubarius nervi tympanici 131
– ventralis C5, Läsion 466
– ventralis C6, Läsion 466
– ventralis C8, Läsion 466
– ventralis nervi spinalis 76, **138**
– ventralis Th1, Läsion 466
– ventricularis* nervi laryngei superioris 218
– zygomaticofacialis 122, 512
– zygomaticoorbitalis 512
– zygomaticotemporalis 122
Ranvier-Schnürring 292, 294
Raphe
– Hirnstamm 358
– mylohyoidea 91
– pharyngis 199, 206
– pterygomandibularis 192, 204
Raphekerne **358**
– Axone zum limbischen System 358
– zentrales absteigendes schmerzhemmendes System 453
Raum
– subglottischer 214
– supraglottischer 214
– transglottischer 214
Raumempfinden 487
Raumforderung, intrakranielle 309
– einseitige 309
Raumorientierung
– akustisch-vestibuläre 358, 521
– optische 358
Raumpräsentation, kortikale 454
Rautengrube 355, 364, 426
– Boden 354
– im Frontalschnitt 427
– Hypoglossuskerne 135
Rautenhirn s. Rhombencephalon
Reaktion, emotionale, Cortexareal 540
Recessus
– epitympanicus 149
– hypotympanicus 149
– infundibuli ventriculi tertii **312**
– lateralis ventriculi quarti 312
– – im Sagittalschnitt 441
– membranae tympanicae superior 149
– opticus* ventriculi tertii 436
– pinealis ventriculi tertii **312**, 352
– piriformis 200, 205, 214
– – im Frontalschnitt 249
– – Funktion 214
– – im Horizontalschnitt 257
– sphenoethmoidalis 43, 181
– supraopticus ventriculi tertii **312**
– suprapinealis ventriculi tertii **312**
Rechtsherzinsuffizienz 109
– zentraler Venendruck 7
Rectum, Innervation, vegetative 296
Referred pain 303
Reflex 281, 286
– monosynaptischer **400**
– polysynaptischer **400**
– spinaler 287, 298
– vestibulookulärer 150, **479**
Reflexbogen **400**
– Eingeweideschmerz 302, **303**
– viszerokutaner **303**
Reflexprüfung **291**, 460
Reflexstörung 464
Regelverzahnung
– Okklusion 53
– Zahnstellung 53
Regenbogenhaut 159, 162, 166
– Struktur 167
Regio
– auricularis 2
– buccalis 2
– capitis **2**
– cervicalis anterior 7
– cervicalis lateralis 2
– – oberflächliche subfasziale Schicht 240
– – Strukturen 7
– – tiefe Schicht 241, 243
– cervicalis posterior 2, 244
– entorhinalis 333, 493
– facialis 2, **226**
– frontalis 2
– infraorbitalis 2
– mastoidea 2
– mentalis 2
– nasalis 2
– occipitalis 2, 244
– olfactoria (Riechschleimhaut) **116**, 509
– oralis 2
– orbitalis 2, **158**
– – Leitungsbahnen **158**
– parietalis 2
– parotideomasseterica 2
– sternocleidomastoidea 2, 243
– – Strukturen 7
– temporalis 2
– zygomatica 2
Region, neurohämale, der Neurohypophyse 316
Regiones cervicales **2**
Regurgitation 199
Reichert-Knorpel 10
Reinke-Raum 219
Reissner-Faden 316
Reissner-Membran 152
Reiz
– akustischer 289
– chemischer 284, 288
– mechanischer 284
– olfaktorischer **288**
– physikalischer 288
Reizkontraststeigerung 447
Reizumgebung 447
Reizverarbeitung 284
Reizzentrum 447
Rekurrensparese 133, 215
– beidseitige 219
Releasing hormones 351
Releasing inhibiting hormones 351
Renshaw-Zellen **399**
– Einfluss auf das α-Motoneuron 401
Reticulum, raues endoplasmatisches 292, 350
Retina (Netzhaut) 159, 162, **168**, **288**, **476**
– Aufbau 169
– Impulsverarbeitung 506
– Inversion 476
– Pars caeca **168**
– Pars ciliaris **168**
– Pars iridica **168**
– Pars optica 164, **168**
– – äußeres Blatt **168**
– – inneres Blatt **168**
– Projektionen **533**
– Projektionsneurone der Sehbahn 169
– Schichten 169
– Somatosensibilität 284
– Stelle des schärfsten Sehens 162, 168
– Stratum limitans externum 169
– Stratum limitans internum 169
– Stratum nervosum 162, **168**
– Stratum pigmentosum 162, **168**
Retinohypothalamischer Weg **533**
Retinoprätektaler Weg **533**
Retinotektaler Weg **533**
Retinotektales System 479
Retinothalamo-kortikaler Weg s. Sehbahn
Retropharyngealabszess 5
Retropharyngealraum 204
Rexed-Schichtengliederung der Grauen Substanz 399, 503
α_1-Rezeptor 305
β_2-Rezeptor 305
Rezeptoren 266, 281
– Geruchssinn 288
– Geschmackssinn 289
– muskarinerge 305
– Patellarsehnenreflex 291
– Sinnesorgane 288
Rhinencephalon (Riechhirn) **330**
– Entwicklung 321
Rhinoliquorrhoe 27
Rhinoskopie
– hintere **185**, 200
– vordere **185**
Rhombencephalon (Rautenhirn) 279
– Anteil des Ventrikelsystems 312
– Embryonalentwicklung 272
– Mediansagittalschnitt 427
Rhythmik, zirkadiane 479, 533, 548
Richtungshören 544
Riechbahn **490**, **525**
Riechfäden 23, 25, 182, 288
Riechgrube, embryonale 8
Riechhirn **330**
– Entwicklung 321
Riechkolben 273
Riechnerv 271
Riechplakode 8
Riechreflex, Triggerzone 316
Riechrinde, primäre 490
– Areal 540
Riechschleimhaut 14, **116**, 288, **490**
– Innervation 183
Riechstörung nach Kopftrauma 116
Riechzellen 116, 288, 490
Riechzellenzilien 491
Riechzentren 490
riFLM (rostraler interstitieller Kern des Fasciculus longitudinalis medialis) 482
Rima
– glottidis (Stimmritze) 214
– – im Horizontalschnitt 259
– – Öffnung 132, **216**
– – Pars intercartilaginea **216**
– – Pars intermembranacea **216**
– oris (Mundspalte) 186
– palpebrarum 159
– vestibuli 214
Ringknorpel 3, 202, **212**, 221
– Schlundbogenherkunft 10
Roller-Kern (Nucleus vestibularis inferior) 487
Röntgendiagnostik **62**
Röntgentechnik, digitale 62
Rosenthal-Venen 387
Rostrum corporis callosi 331, **335**
– im Sagittalschnitt 442
Rückenmark 267, 270, **280**, **394**, **416**
– arterielle Blutversorgung 282, **414**
– – horizontales System 414
– – vertikales System 414
– – Wasserscheide 414
– Bahnen (s. auch Bahn) 281, **507**
– – Kommissuren 546

– – motorische 507, **516**
– – – extrapyramidale 516
– – – pyramidale 516
– – sensible 507, **514**
– – – Verschaltung 515
– Blutgefäße **414**
– – zuführende 415
– distaler Abschnitt, Beziehung zur Wirbelsäule 419
– Duralsack **311**
– Durchblutungsstörung 414
– Eigenapparat 281, 396, **400**, 507
– – Verschaltungsschema 401
– eigene integrative Funktion 281, **400**
– Embryonalentwicklung 272, **273**
– Entwicklung 394
– Formatio reticularis 502
– Fremdapparat 281, 396, 507
– Gefäßkranz
– – arterieller 415
– – venöser **416**
– graue Substanz 280, 394, **396**, **398**, 507
– – Binnenzellen 399
– – Entwicklung 394
– – Gliederung
– – – innere **398**
– – – zytoarchitektonische 399
– – Hintersäule 280, 396
– – – Längsbündel 396
– – Kerngebiete **399**
– – Schichtengliederung **399**
– – Schmetterlingsform 280, 502
– – Seitenhorn 280, **396**, 507
– – Seitensäule 280, 396
– – Vordersäule 280, 396
– – – Kernsäulen **398**
– – Wurzelzellen 399
– Grundbündel 281, 396
– Hinterhorn 280, 396, 507
– – Blutversorgung 415
– – C5–C8-Läsion 470
– – Durchblutungsstörung 415
– – Entwicklung **273**, 394
– – Laminae 399
– – Läsion 448
– – Reflexbogen 400
– – Schichtenbildung 399
– – Schmerzleitung 450
– im Horizontalschnitt 255, 280
– innerer Aufbau 280
– kaudales Ende 462
– Kerne 502
– Kerngruppengliederung **399**
– Kernsäulen 396
– Lage im Duralsack 397
– Lagebeziehung in der Wirbelsäule 280
– Leitungsbahnen
– Leitungsbahnen s. Leitungsbahnen
– Leitungsstränge 396
– Magnetresonanztomografie 73
– Neurone
– – motorische 394, 396
– – parasympathische 396
– – sensible 394, 396
– – sympathische 396
– – vegetative 394
– Querschnitt **397**, 402, 404, 406
– Reflexapparat 396, **400**
– sakrales 296
– segmentaler Bau **394**
– Segmentarterie 414
– Segmentarterienverschluss 415
– Seitenhorn 296, 396, 507
– – Entwicklung **273**, 394
– – Läsion 472
– Seitenstrang 280, **396**, 402, 507
– Topografie **418**
– venöse Drainage 283, **416**
– – horizontales System 416
– – vertikales System 416
– Vorderhorn 280, **396**, **398**, 507
– – Blutversorgung 415
– – Durchblutungsstörung 415
– – Entwicklung 273, 394
– – Kernsäulengliederung **398**
– – Laminae 399
– – Läsion 472
– – – mit Pyramidenseitenstrangschädigung 472
– – lumbales 399
– – Reflexbogen 400
– – Schichtenbildung 399
– – somatotopische Gliederung **398**
– – zervikales 398
– weiße Substanz 280, 394, **396**, 505, 507
– – Entwicklung 394
– – Hinterstrang s. Hinterstrang
– – Seitenstrang 280, **396**, 507
– – Vorderstrang 280, 358, **396**, 507
Rückenmarkkanal 280, 312
– Entwicklung 273
Rückenmarksegment 270, **394**
– Bauprinzip
– – funktionelles 394
– – topografisches 394
– Blutversorgung 415
– Kennmuskel 398
– Muskeln, innervierte 475
Rückenmarksegment C4, Schädigung 139
Rückenmarksegmente
– Gliederung **396**
– Zuordnung zur Wirbelsäule 395
Rückenmarkshäute 274, **311**
Rückenmarksläsion **470**
– motorische Ausfälle 472
– sensible Ausfälle **470**
Rückenmarksreflex 287, 298
Rückenmarksschleife 403
Rückenmuskulatur, autochthone 88
– Ansätze 86
Ruffini-Körperchen 446
Ruhetremor 357
Rumpfmotorik 410, 413

S

Sacculus 128, 142, 150, **154**, **486**
– Innervation 535
– laryngis 214
– Sinneszellen 154
Saccus
– endolymphaticus 146, 150, **154**
– lacrimalis (Tränensack) 158, **160**
– – Stenose 161
Sakkaden 482
Sakralmark 296
– parasympathische Kerngebiete 296
– Querschnitt 397
Sammellymphknoten 110
Satellitenzellen (Mantelzellen) 295
Sauerstoffsättigung, Formatio-reticularis-Funktion 359
Säuferschnitt 348, 423
Scala
– tympani 150, 152
– vestibuli 150, 152
Scapha 143
Scaphocephalus (Kahnschädel) 17
Scapula
– alata 141
– Musculus-trapezius-Wirkung 88
Schabadasch-Plexus (Plexus submucosus externus) 304
Schädel **12**
– Muskelansätze **86**
– Muskelursprünge **86**
– beim Neugeborenen 17
Schädelbasis
– von außen **20**
– – Knochen 20, 34
– Bruchlinien **22**
– Durchtrittsstellen **136**
– Fascia pharyngobasilaris 199
– Fraktur, vordere 26
– Gesichtsschädelabriss 15
– Gruben **22**
– Hauptkraftlinien **22**
– Hinterhauptsbein **24**
– von innen **22**
– – Knochen 22, 34
– Keilbein 34
– Längsbalken, medianer 22
– Leitungsbahnen **136**
– Mittellinienstruktur, tragende 34
– Öffnungen
– – von außen **21**, **136**
– – Einengung 21
– – von innen **23**, **136**
– Palatum durum **44**
– Querbalken
– – hinterer 22
– – vorderer 22
– Siebbein **25**
Schädelbasisfraktur 22
– aufsteigende Infektion 23
– Nervus-glossopharyngeus-Schädigung 130
Schädelbasistumor 219
Schädeldach **18**
– Brüchigkeit 19
– Infektionsausbreitung 19
– Muskeln 79, **81**
Schädeldeformität **17**
Schädelgewölbe
– mittleres 27
– vorderes 26
Schädelgrube
– hintere **22**, 279, 319
– mittlere **22**, 178, 319
– – Beziehung zur Orbita 38
– – Frontalschnitt 249
– – Keimausbreitung bei Mittelohrentzündung 147
– – Venen **106**
– vordere **22**, 41, 42, 319
– – Beziehung zur Orbita 38
– – Frontalschnitt 246
– – Mediansagittalschnitt 260
Schädelgrubengrenzen 22
Schädel-Hirn-Trauma
– Arteria-meningea-media-Verletzung 101, **390**
– Brückenvenenriss 386
Schädelhöhle, Meningen 311
Schädelkalotte, Blutversorgung 310
Schädelknochen 118, 15
– Blutversorgung 310
– Lamina
– – externa 306
– – interna **19**, 306
– Ossifikation 13
– Periost 309
– platte, beim Neugeborenen 17
Schädelnähte **16**
– Verknöcherung **17**
– – vorzeitige 17
Schädelnahtfusion, asymmetrische 17
Schallleitungsapparat 142, **148**
Schallleitungsschwerhörigkeit 148
Schallprotektion 485
Schallübertragung zum Innenohr **153**
Schallvorverarbeitung, aktive 485
Schallwellenumwandlung in elektrische Impulse 152
Schallwellenverstärkung 148
Schaltzellen **293**, 327, **399**, 401
Scheitelbein **26**
Scheitelbeuge, embryonale 273
Scheitellappen 276, 320
– Assoziationsbahnen 542
– Frontalschnitt 249
– funktionelle Areale **540**
Scherenbiss 53
Schiefhals 134
– muskulärer 7
Schiefschädel 17
Schilddrüse 202, **222**, 229, 230
– Blutversorgung 223
– Faszienverhältnisse 222
– Histologie 223
– im Horizontalschnitt 222, 258
– Innervation 223
– intralinguale 225
– intratracheale 225

Schilddrüse
– Lage zur Trachea 222
– prälaryngeale 225
– sublinguale 225
– substernale 225
– Topografie **224**
– venöse Drainage 223
– Wanderung während der Embryonalentwicklung 11
– im Zungengrund 225
Schilddrüsenanlage 188
Schilddrüsenektopie 225
Schilddrüsenepithel 223
Schilddrüsenhormone 223
Schilddrüsenkarzinom, Szintigramm 225
Schilddrüsenknoten
– szintigrafisch kalter 225
– szintigrafisch warmer 225
Schilddrüsenoperation, Rekurrensschädigung 133
Schilddrüsenszintigramm 225
Schilddrüsenüberfunktion 223
Schilddrüsenunterfunktion 223
Schilddrüsenvergrößerung 223
Schildknorpel 90, 203, **212**, 221
– Schlundbogenherkunft 10
Schläfenbein 12, 14, 20, 21, **28**, 150
– von innen 22
– Knochenanlagen 28
– Lage 28
Schläfenbeinschuppe 12, 16, 20, 39, **28**
Schläfenlappen s. Lobus temporalis
Schlaf-Wach-Rhythmus 359
Schlaganfall 95, 354, 379, 391, **392**, 461
– hämorrhagisch bedingter 391
– ischämischer **392**
Schleife
– kortikoprätektale 533
– motorische **459**
Schleifenbahnen **361**, **531**
Schleifenkreuzung 547
Schlemm-Kanal 162, 164, **166**
Schluckakt
– Anatomie **203**
– Funktion der Mundbodenmuskulatur 194, **203**
– Ohrtrompetenöffnung 147
– Phasen **203**
Schluckzentrum 358
Schlund 186
1. Schlundbogen 8
Schlundbögen 10
– Aufbau 11
– Innervation 10
– Wanderungsbewegung der Gewebe 11
Schlundbogenarterie 11
Schlundbogennerv 11
Schlundenge 186, 200
Schlundfurchern 10
Schlundheber **201**
– Innervation 201
Schlundhöhle, Etagen **202**
Schlundmuskulatur
– Innervation 114
– Ursprünge 87
Schlundschnürer **198**
– Innervation 130, 140
– oberer 192
– – kontrahierter 203
– Schlundbogenherkunft 10
Schlundtasche 11
Schlussbisslage 53
Schmelz s. auch Zahnschmelz
Schmelzepithel
– äußeres 60
– inneres 60
Schmelzglocke 60
Schmelzkappe 60
Schmelzknoten 60, **61**
Schmelzmatrix 61
Schmelzorgan 60
Schmelzpulpa
– Stratum intermedium 60
– Stratum reticulare 60
Schmerz
– affektive Komponente 451
– Definition 450
– im Dermatom 465, 470
– neuropathischer 450
– somatischer 450
– viszeraler 450
Schmerzafferenzen
– Parasympathikus **302**
– Sympathikus **302**
Schmerzbahn
– aufsteigende 302, 451
– – Ende
– – – im Cortex cerebri 451
– – – subkortikales 451
– Kopf **452**
– Unterbrechung 291
Schmerzempfinden 120, 361, 444
– einseitige Störung 448
– Formatio-reticularis-Funktion 359
– Gebiss 56
– Prüfung **290**
– Reizleitung **402**
Schmerzfasern
– Anlagerung an vegetative Neurone 297
– Umschaltung im Thalamus 346
Schmerzhemmendes System, zentrales absteigendes **453**
– Leitungsbahnen 453
Schmerzleitung, somatische, periphere 450
Schmerzlokalsierung, Ausfall 540
Schmerzmodalitäten 450
Schmerzrezeptoren 446
– viszereale 296
Schmerzverarbeitung 451
Schmerzwahrnehmung 284, **453**
– therapeutische Beeinflussung 453
Schneckengang 150
Schneidezahn **48**
Schneidezähne
– bleibende
– – Anlagen 59
– – Durchbruchzeit 58
– Morphologie **54**
– Okklusionsstellung 53
Schneidezahnüberbiss 53
Schnittbildanatomie, Gehirn **420**
Schnüffelposition 220
Schock
– Auswirkung am Darm 304
– spinaler 474
Schräganastomosen, intramedulläre 417
Schrotschussschädel 19
Schultertiefstand 134
Schultze-Komma **405**
Schüttellähmung 458, 459
Schutzreflex 359
Schwalbe-Kern (Nucleus vestibularis medialis) **114**, **128**, 487, 535, 550
Schwann-Zelle **294**
– Funktion 295
– modifizierte 295
Schweifkern s. Nucleus caudatus
Schweißsekretion 411
Schweißsekretionsstörung 472
Schwerhörigkeit 128
– nach Felsenbeinfraktur 126
– Schallleitungsstörung 148
– vorübergehende 145
Schwindel 128, 142, 487
– Arteria-vertebralis-Kompression 374
– nach Felsenbeinfraktur 126
Sclera (Lederhaut) 162
SCO (Organum subcommissurale) 316
Sechsjahrmolar 58
Sehachse 163
Sehbahn 117, 277, 340, 347, 428, 436, **476**, **533**
– erste Projektionsneurone 169
– genikulärer Anteil **476**
– – Läsion **478**
– – Topik 477
– Läsion, retrochiasmale 478
– nicht genikulärer Anteil **479**
Seheindruck
– binokularer 172
– Wahrnehmung, bewusste 533
Sehen
– schärfstes 162, 168
– zentrales 477
Sehnenorgane 371
Sehnenspindel 444
Sehnerv s. Nervus opticus
Sehnervenkopf, Gefäßversorgung 171
Sehnervenkreuzung s. Chiasma opticum
Sehrinde **329**, **476**, 496
– Areal 540
– im Frontalschnitt 430
– Gesichtsfeldrepräsentation 476
– primäre 288
Sehsinn **288**
Sehstrahlung 288, 329, 433, **476**
– Schädigung 478, 481
Sehwahrnehmung, bewusste 476
Seitenhorn s. Rückenmark, Seitenhorn
Seitenstrang
– Rückenmark 280, **396**, 402, 507
– Plica salpingopharyngea 181, 197, 200, 202
Seitenstrangbahn 347, 406
– dorsale 453
Seitenventrikel s. Ventriculus lateralis
Seitenzahn
– Höcker 51
– Kauflächenaufbau 51
Seitenzähne 48
– Einzahn-zu-Zweizahn-Okklusion 53
– Funktion 48
– Kauflächenfunktion 53
Sekundärdentin 61
Selbstrepräsentation, Verlust 347
Sella turcica (Türkensattel) 34, 178
Semicanalis musculi tensoris tympani 147, 207
Senkungsabszess 5, 204
Sensibilität 266, 290, **506**, 549
– bewusste 284, 514
– – Thalamusfunktion 285
– Dermatome **395**
– epikritische **284**, 290, 506, **515**, 519, 545
– Leitungsbahn 203
– nicht bewusste 284
– protopathische **284**, 506, 515, 519, 545
– Prüfung **290**
Sensibilitätsstörung
– beinbetonte 379
– im Dermatom 462, 465
– einseitige 448
– radikuläre 448
Sensomotorik 291
– Bewegungskontrolle 454, **455**
Sensorik 266, 290, 506
Sensorisches System **444**
– Bahnsysteme **444**
– Läsion **448**
– – korikale 448
– – in der Leitungsbahn 448
– – subkortikale 448
– – subthalamische 448
– Reizverarbeitung **446**
– Rezeptoren 444
– Schmerz s. Schmerz
Septen, arachnoidale 309
Septum
– interalveolare 48
– interradiculare 48, **57**
– linguae **189**
– nasi **41**, 43, 181
– – Abweichung 41
– – Knochen **40**
– – im Orthopantomogramm
– orbitale 158, 160, 174
– palatinum 181
– pellucidum 320, 340, 443
– – im Frontalschnitt 421, 422
– – im Horizontalschnitt 433
– – Topografie 331

– sagittale 204
– sinuum sphenoidalium 45
– – im Frontalschnitt 249
Septumdeviation 41
Septumregion 490, 492
Serotonin, Nuclei reticulares 358
Serres-Körper 60
Sexualorgane, männliche
– Parasympathikuswirkung 297
– Sympathikuswirkung 297
SFO (Organum subfornicale) 316
Sharpey-Fasern 57
SHh (Sonic Hedgehog) 61
Shrapnell-Membran 145
Sicherheitsrohr 147
Siebbein 12, **25**
– Gesichtsschädel **25**
– von innen 22
– Schädelbasis **25**
Siebbeinplatte 23, **25**, 41, 42, 116, 177, 182
– Fraktur 25
Siebbeinzellen 15, **25**, 38, 180
– arterielle Versorgung 511
– Entzündung 42
– im Frontalschnitt 246, 248
– hintere, Eingänge 42
– im Horizontalschnitt 251
– Öffnung 43
– Projektion auf den Schädel 42
– venöser Abfluss 511
Signal
– chemisches 268
– elektrisches 268
Signalleitung 267
Signalübertragung **268**
– Filtereffekt 268
– Hemmung, rekurrente 268
– Konvergenz 268
– Schwellenbildung 268
Signalverarbeitung 267
Silberimprägnation, Neurogliazellen 294
Sinnesorgane **288**
– Somatosensibilität 284
Sinneswahrnehmung 266
– bewusste 344
– Thalamusfunktion 344
– unbewusste 344
Sinneszellen
– Corti-Organ 152
– Crista ampullaris 154
– Netzhaut 162
– primäre 490, 525
– Sacculus 154
– sekundäre 484, 486, 488
– Utriculus 154
– vestibuläre, Reizumwandlung 155
Sinus
– caroticus 96, **130**
– cavernosus 20, 102, 106, 109, 175, **178**, 283, **382**, 384, 511
– – Frontalschnitt **178**, 249
– – Hirnnervenverlauf 176
– – im Horizontalschnitt 251, 252
– – Projektion auf den Schädel 318
– – Thrombose 178
– – Topografie 178
– cervicalis 11
– durae matris **19**, 108, 274, 283, 309, 319, **382**, **384**, 430
– – akzessorische Abflüsse 384
– – Anastomosen mit extrakraniellen Venen 384
– – Aufbau 382
– – Beziehung zu Halsvenen 109
– – Liquorzirkulation **314**
– – obere Gruppe 382
– – Projektion auf den Schädel 318
– – untere Gruppe 382
– – Zuflüsse 384
– frontalis (Stirnhöhle) 15, 18, 23, 26, **41**, 43, 180
– – Beziehung zur Orbita 38
– – Flüssigkeitsstrom 184
– – Mediansagittalschnitt 260
– – Pneumatisation, altersabhängige **42**
– – Projektion auf den Schädel 42
– – im Sagittalschnitt 262
– – Zilienschlag 184
– intercavernosus anterior 383, 384
– intercavernosus posterior 383
– marginalis 383, 384
– maxillaris (Kieferhöhle) 15, 30, 37, **43**, 180
– – Beziehung
– – – zu den Molarenwurzeln 43
– – – zur Orbita 38, 180
– – Frontalschnitt 246, 248
– – im Horizontalschnitt 253
– – im Orthopantomogramm 62
– – Projektion auf den Schädel 42
– – im Sagittalschnitt 262
– occipitalis 308, **383**
– – Projektion auf den Schädel 319
– paranasales (Nasennebenhöhlen) 15, **42**, 180
– petrosquamosus 383
– petrosus inferior 107, 283, **382**, 384
– – im Horizontalschnitt 253
– – Projektion auf den Schädel 318
– petrosus superior 107, 283, **382**, 384
– – Projektion auf den Schädel 318
– piriformis
– – im Kehlkopfspiegelbild 217
– – laryngoskopischer Blick 221
– rectus 283, 308, **314**, **382**, 384, 386, 430
– – im Horizontalschnitt 250, 252, 253
– – Projektion auf den Schädel 319
– sagittalis inferior 308, **382**, 386, 430
– – Projektion auf den Schädel 319
– sagittalis superior 19, 106, 109, 247, 283, 306, 308, **314**, **382**, 430
– – Brückenvenenmündung 307, 308
– – im Frontalschnitt 85, 248
– – im Horizontalschnitt 250, 252
– – Projektion auf den Schädel 318, 385
– – Zuflüsse 384, 386
– sigmoideus 19, 107, 109, 146, 206, 254, 283, **382**, 511
– – Projektion auf den Schädel 318, 385
– sphenoidalis (Keilbeinhöhle) 15, 20, 41, 42, 43, 180, 182
– – Frontalschnitt 85, 249
– – im Horizontalschnitt 252
– – Mediansagittalschnitt 260
– – Projektion auf den Schädel 42
– – im Sagittalschnitt 262
– sphenoparietalis 283, **382**
– – Projektion auf den Schädel 318
– transversus 19, 106, 283, 308, **382**, 388, 430
– – im Horizontalschnitt 253, 254
– – Projektion auf den Schädel 318, 385
– – im Sagittalschnitt 262
– venosus sclerae (Schlemm-Kanal) 162, 164, **166**, 170
Sinusendothel 382
Sinusitis 15, 42, 184
– chronische 43
– ethmoidalis 42
– maxillaris, chronische 31
Sinusthrombose 176
Sinusvenenthrombose 27, 158, 384
Skalenuslücke **93**, 95, 231
– hintere 243
– vordere 243
Skelettteile, Schlundbogenherkunft 10
Sklera 159
Sklerasporn 164
Skotom 478
Sölder-Linien 452
– Sensibilitätsausfall bei zentraler Trigeminusläsion 121
Somatomotorik **112**, 267, **286**, **506**
– automatisierte 286
– beteiligte Strukturen 287
– Cortexareal 540
– Embryonalentwicklung 114
– Flexibilität 286
– Kontrolle 286
– Planung 286
– Stereotype 286
– unwillkürliche 286
– Verschaltung 286
Somatosensibilität **112**, 267, **284**, **506**
– bewusste 284
– Cortexareal 540
– Embryonalentwicklung 114
– Filterneuron 285
– Neurone 285
– nicht bewusste 284
– Qualitäten **515**
– Reizart 284
– Reizort 284
– Reizverarbeitung 284
– spezielle 288, 289
– Verschaltung 285
Somatotopie, spezifische Thalamuskerne 345
Somatotopik
– Fasciculus cuneatus 404
– Fasciculus gracilis 404
– Gyrus precentralis **457**
– Thalamuskerne, spezifische 345
Somatotropin 351
Sommer-Sektor, Hippocampus 493
Sonic Hedgehog 61
Spalt
– desmodontaler 57
– synaptischer 268, **293**
Spaltbildung im Gesicht **8**
Spaltlinien, Kopf 6
Spaltraum, prävertebraler 5, 204
– im Sagittalschnitt 5, 262
Spannmuskeln, laryngeale 216
Spannungslinien, Kopf 6
Spastik 517
Spatium
– episclerale 174
– lateropharyngeum 204
– – Pars anterior 204
– – Pars posterior 204
– – Pars prestyloidea 204
– – Pars retrostyloidea 204
– peripharyngeum (Peripharyngealraum) **204**
– – Entzündungsausbreitung 204
– – Leitungsbahnen 205
– – – Durchtritt durch die Schädelbasis 207
– – – oberflächliche Schicht **206**
– – – tiefe Schicht **208**
– pterygomandibulare 193
– retropharyngeum (Retropharyngealraum) 204
– subarachnoidale (Subarachnoidalraum) 275, 280, 307, 309, **311**, 312
– – Erweiterungen 275
– – Liquorzirkulation **314**
– – Magnetresonanztomografie 73
– – Nervus opticus 169
– – Verbindung mit dem Perilymphraum 150
Spee-Kurve (sagittale Okklusionskurve) **52**
Speicheldrüsen 186
– Innervation 296
– kleine 211
– – Tumor 211
– linguale 188
– – Innervation **127**
– Parasympathikuswirkung 297, 301
– Sympathikuswirkung 297

Speichelproduktion 210
Speichelreflex 488
Speichelsekretion
– beim Essen 301, 488, 523
– olfaktorisch ausgelöste 353
Speichelsekretionsstörung nach Felsenbeinfraktur 126
Speichelstein 210
Speiseweg-Luftweg-Kreuzung 186
Spina
– mentalis inferior 46
– mentalis superior 46
– nasalis anterior 14, 30, 40, **45**, 59
– – Camper-Ebene **52**
– nasalis posterior 26, 33, 45
– ossis sphenoidalis 35, 66, 193
– scapulae 88
Spinalganglien
– sakrale
– – schmerzleitende Neurone 302
Spinalganglion 271, 281, 311, **394**, 418, 450, 503
– L4 462
– Neuron, primär afferentes 293
– S1 462
– Th6, Läsion 470
– Topografie 418
– Tractus spinothalamici 403
– zervikales 76
Spinalganglion-Syndrom 470
Spinalkanalstenose 77
Spinalnerv s. Nervus spinalis
Spinalparalyse, spastische, progressive 472
Spine-Synapse **293**
Spinocerebellum 367, 407, 538
Spiongiosatrabekel, mandibuläre 57
Spitzenknorpel 212, **213**
Spitzschädel 17
Splenium corporis callosi 331, 332, **335**, 433
– im Frontalschnitt 428
– im Horizontalschnitt 434
– im Sagittalschnitt 442
Split-brain-Patient 496
Spondylophyten 77
Spontanbewegungen 459
Sprache, näselnde 219
Sprachproduktion 496
Sprachregionen der dominanten Hemisphäre 497
Sprachzentrum
– motorisches
– – arterielle Versorgung 379
– – Cortexareal 540
– sensorisches
– – arterielle Versorgung 379
– – Cortexareal 540
Squama
– frontalis (Stirnbeinschuppe) 26
– – Facies externa 26
– – Facies interna 26
– occipitalis **24**
Stäbchen 169, **476**
Stabilisation, interdentale 52
Stabkranz **345**
Stamm, Innervation, radikuläre 463
Stand, aufrechter 486
Standmotorik 410, 413
Stapediusreflex **485**, 544
– afferenter Schenkel 485
– efferenter Schenkel 485
Stapediusreflexprüfung 149
Stapediussehne 146, 148
Stapes (Steigbügel) 145, 146, **148**, 485
Star
– grauer 165
– grüner 167
Starre, mimische 357
Statine 351
Statolithenmembran 154
Status asthmaticus 305
Stauungspapille 171
Steigbügel 145, 146, **148**, 485
Stellknorpel 212, **213**, 256, 259
Stellmuskeln, laryngeale 216
Stellungsempfindung, bewusste 285
Stellungssinn 412, 444
– Rezeptoren 446
Stereohören 484
Stereozilien 152, 154, 484
– Abscherung 153
– räumliche Ausrichtung 155
Sternzellen 326
STH (somatotropes Hormon) 351
Stimmapparat im Kehlkopfspiegelbild 217
Stimmbänder 212, 214
– falsche 214
– im Kehlkopfspiegelbild 217
– stellungsverändernde Muskeln 216
Stimmbandspannung 216
Stimmfalten 202, 214
– Aufbau 219
– Intermediärstellung **219**
– im Kehlkopfspiegelbild 217
– laryngoskopischer Blick 221
– Paramedianstellung **219**
– Phonationsstellung 217, **219**
– Respirationsstellung 217, **219**
Stimmfaltenstellung **219**
– Nervus-vagus-Funktion **219**
Stimmlippenabduktion 217
Stimmlippenadduktion 217
Stimmlippenaufbau 219
Stimmlippenspannung 217
Stimmlippenstillstand 219
Stimmmuskel 214
Stimmritze 214
Stimmritzenöffner 132, **216**
Stimmritzenöffnung **216**
Stimmritzenschluss 216
Stirnbein 12, 14, **18**, 20, **26**
– Fraktur 26
– von innen 22
Stirnfortsatz, embryonaler 8
Stirnhirnsyndrom **347**, 540
Stirnhöhle 15, 18, 26, **42**, 180
– Beziehung zur Orbita 38
– Empyem 27
– Flüssigkeitsstrom 184
– Impressionsfraktur 27
– Infektion, bakterielle 27
– – Komplikation 27
– Mediansagittalschnitt 260
– Öffnung 43
– Pneumatisation, altersabhängige **42**
– Projektion auf den Schädel 42
– im Sagittalschnitt 262
– Zilienschlag 184
Stirnmuskellähmung 526
Stirnnasenpfeiler 15, 22
Stirnregion
– arterielle Versorgung 510
– Innervation 512
– venöser Abfluss 511
Stirnrunzler 81
Stomodeum 8
Strabismus paralyticus convergens 179
Strangzellen 399, 401
Stratum
– basale, Zahnfleischsaumepithel 56
– Definition 503
– ganglionare corticis cerebelli 369
– granulosum corticis cerebelli 369
– intermedium, Schmelzpulpa 60
– moleculare corticis cerebelli 369
– nervosum retinae 162, **168**
– pigmentosum retinae 162, **168**
– reticulare, Schmelzpulpa 60
– suprabasale, Zahnfleischsaumepithel 56
Streckmuskulatur
– Neurone im zervikalen Vorderhorn 398
– Tonisierung 487
Streifen s. Stria; s. Striae
Streifenkörper 420, 504
– Motorik 458
Stria (Streifen) 504
– diagonalis 490
– longitudinalis lateralis 331
– longitudinalis medialis 331
– mallearis 145, 149
– – Senkrechte 145
– medullaris thalami 349, 352, 490
– membranae tympanicae
– – anterior 145
– – posterior 145
– olfactoria lateralis 116, **323**, 343, 490, 525
– olfactoria medialis 116, 288, **323**, 490, 525
– vascularis ductus cochlearis 152
Striae
– medullares 355, 484
– terminales 349
Striatum 321, 411, 433
– kortikale Axone 457
Stroma
– corneae 165
– iridis 167
Stromgebiet, vertebrobasiläres 374, 377
Struma 223
– retrosternale 7
Strumektomie, Rekurrensläsion 219
Stützmotorik 487
Stützzellen
– Corti-Organ 152
– Sacculus 154
– Utriculus 154
Subarachnoidalblutung 311, 315, 376, **391**
Subarachnoidalraum 274, 307, 309, **311**, 312
– Erweiterungen 275
– Liquorzirkulation **314**
– Magnetresonanztomografie 73
– Nervus opticus 169
– Verbindung mit dem Perilymphraum 150
Subclavian-steal-Syndrom (Subklavia-Anzapf-Syndrom) 375
Subduralblutung 311
Subduralraum **311**
– pathologischer 311
Subiculum 332, **333**, 493
Subklavia-Anzapf-Syndrom 375
Subkortikale Gebiete, kortikale Axone 457
Subnasalpunkt, anteriorer, Camper-Ebene 52
Subokzipitalpunktion 317
Substantia
– alba s. Weiße Substanz
– gelatinosa
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 365
– – Rückenmarkquerschnitt 397
– grisea (s. auch Graue Substanz)
– – centralis 532
– – – im Frontalschnitt 427
– – – im Horizontalschnitt 437
– – – sensible Bahnen 514
– – medullae spinalis s. Rückenmark, graue Substanz
– nigra 118, 278, 287, 353, 358, 411
– – Afferenzen 357
– – Efferenzen 357
– – im Frontalschnitt 424
– – Funktion 357
– – im Horizontalschnitt 250, 436
– – Lage 357
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– – Pars
– – – compacta 357, 459, 537
– – – reticularis 357, 459, 537
– – im Sagittalschnitt 441
– perforata anterior 116, 353, 490
– – funktionelle Spezialisierung 540
– propria corneae 165
Substanz
– graue s. Graue Substanz
– weiße s. Weiße Substanz
Subthalamus 277, **342, 352**
Subthalamuskerne 353, **548**

SUCA (Superior cerebellar Artery; Arteria superior cerebelli) 375, 376, **380**
– Versorgungsgebiet 381
Suchtverhalten 440
Sulci
– arteriosi 306
– cerebri 320, **322**
– – Varianten 325
– der Insula **325**
– orbitales 323
Sulcus
– anterolateralis medullae oblongatae 355
– arteriae meningeae mediae 27
– arteriae subclaviae 93
– arteriae vertebralis 70, **75**
– arteriosus 18, 23, 29
– bulbopontinus 354
– calcarinus **324**, 328, 332, 443, 540, 542
– – im Frontalschnitt 430
– – im Horizontalschnitt 437
– – im Sagittalschnitt 439, 440
– centralis 276, **320**, **322**, 324, 328, 447, 454
– centralis insulae **325**
– cinguli 324
– collateralis **323**
– corporis callosi 324
– diencephalicus dorsalis 342
– diencephalicus medius 342
– diencephalicus ventralis (hypothalamicus) 342
– frontalis inferior **322**
– frontalis superior **322**
– gingivalis (Gingivafurche) 49, 56
– hippocampalis 332
– hypothalamicus 348
– infraorbitalis 37
– infratemporalis 30
– intraparietalis **322**
– lacrimalis 30
– lateralis cerebri 276, 320, **322**, 328, 484
– – Arteria cerebri media 377
– – im Frontalschnitt 420
– lunatus **322**
– medianus linguae 188
– medianus posterior medullae spinalis 397
– mylohyoideus **46**, **66**
– nasolabialis 186
– nervi spinalis 70, 72, 76
– occipitotemporalis **323**
– olfactorius **323**
– palatinus 261
– palatinus major 30, 33
– paracentralis 324
– parietooccipitalis **320**, **322**, 324, 328, 443
– postcentralis **322**, 324, 447
– posterolateralis medullae oblongatae 355
– precentralis **322**, 324
– sinus sagittalis superioris 18, 24, 26
– sinus sigmoidei 23, 27, 29
– sinus transversi 23, 24
– spiralis internus 152
– telodiencephalicus 273
– temporalis inferior **322**
– temporalis superior **322**
– terminalis linguae 188
Sulkokommissuralarterien 415
Sulkusepithel, orales 56
Supercilium 159
Sutura
– coronalis 12, **18**
– – beim Neugeborenen 17
– frontalis 17, 26
– incisiva **48**
– intermaxillaris 30, 59
– lambdoidea 3, 12, **16**, 18
– – beim Neugeborenen 17
– palatina mediana 21, **45**, **48**, 187
– palatina transversa 21, **45**, **48**
– sagittalis 3, **16**, **18**
– sphenofrontalis 12
– sphenoparietalis 12
– sphenosquamosa 12, 39
– – beim Neugeborenen 17
– squamosa 12
– – beim Neugeborenen 17
Suturenverknöcherung 17
– vorzeitige 17
S1-Wurzelläsion **465**
Sympathikus **296**
– Afferenzen 296
– funktionelle Verflechtung mit dem Parasympathikus 305
– Modulation der Darminnervation **304**
– 1. Neuron 297
– 2. Neuron 297
– Neurone 296
– Schmerzafferenzen **302**
– Transmitter 297
– Viszerosensibilität 284
Sympathikusbahn, zentrale 362
– Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– Ponsquerschnitt 363
Sympathikusstimulation 349
Synapse 268, **292**
– axoaxonische 293
– axodendritische 293
– axosomatische 293
– erregende 268
– hemmende 268
– Medikamenteneinfluss 293
Syndesmose 16
Syndesmosis dentoalveolaris 56
Syringomyelie 470

T

Taenia
– choroidea **315**, 340
– cinerea 355
– fornicis 331
Tag-Nacht-Rhythmus 277, 342, 352, 533
Talgdrüsen 145
Tarsus (Lidplatte) **159**
– inferior 158
– superior 159
Taschenfalte, laryngeale 202, 214, 219, **221**
– im Kehlkopfspiegelbild 217
– laryngoskopischer Blick
Tastempfinden 120, 444
– Ausfall 540
– Reizleitung 402
Tastsinn 346
Taubheit nach Felsenbeinfraktur 126
^{99m}Tc-Pertechnetat 225
Tectum mesencephali (Mittelhirndach; Lamina tecti; Vierhügelplatte) **118**, 153, 277, 278, **340**, 353, 354, 357, 428, 436, 533
– im Frontalschnitt 427, 428
– im Sagittalschnitt 443
Tegmen tympani 157
Tegmentum (Haube) **278**, 354, 355, 357, 532
Tektorialmembran 73, 74, 152
Telencephalon s. Großhirn
Temperaturempfinden 120, 361, 444
– Ausfall 540
– einseitige Störung 448
– Prüfung **290**
– Reizleitung **402**
Temperaturfasern, Umschaltung im Thalamus 346
Temperaturregulation
– Hypothalamusfunktion 349
– Ohrmuschelarterien 143
Temporallappen 180, 276, 320
– Anteil des Ventrikelsystems 312
– Assoziationsbahnen 542
– Frontalschnitt 85, 249
– funktionelle Areale **540**
– medialer, Schädigung 499
– mesobasialer 309
– Projektion auf den Schädel 318
Temporallappenabszess 147
Tenon-Kapsel 174
Tentorium cerebelli 279, 283, **308**, 382, 430
– im Horizontalschnitt 251, 252
– in situ 274
Tertiärdentin 61
Tetanus 401
Thalamus 117, **336**, 403, 428, 502
– dorsalis 277, 342, 440
– extrapyramidale Bahnen 411
– im Frontalschnitt 426
– Funktion 342
– funktionelle Einordnung 344
– Geschmacksbahn 289, 488, 523
– Gleichgewichtsregulation 487
– im Horizontalschnitt 434
– Hörsinn 289
– Integrationskerne 344, 347
– Kerngebiete 440, **549**
– kortikale Axone 457
– Lage zum Ventrikelsystem 313
– motorischer 287, 455, 458, 536
– Propriozeption, bewusste 444
– Riechbahn 525
– Riecheindruckanalyse 490
– Schleife, motorische **459**, **536**
– Schmerzbahn 451, 452
– Sehinformationsleitung 288
– sensible Bahnen 514
– sensorische Bahnen 447
– sensorischer 536
– Somatosensibilität 285
– Trigeminusbahn, sensible 519
– ventralis 342, 352
Thalamusinfarkt 393
Thalamuskerne **344**, **548**
– anteriore 343, **344**
– – Einfluss auf die Großhirnrinde 495
– dorsale 344, **347**
– intralaminäre 344
– laterale 347
– mediale 343, **344**, **347**
– paraventrikuläre 343
– Projektionen **346**
– rindenabhängige **344**
– rindenunabhängige **344**
– Somatosensibilität 284
– spezifische **344**
– – Afferenzen **347**
– – Efferenzen **347**
– – Somatotopik 345
Thalamusschmerz 346
Thalamusstrahlung 523
Thenarmuskulaturparese 464
Thermanästhesie **290**, 470
Thermhypästhesie 290
Th8-Hinterstrangläsion 471
Thorakalmark
– Kerngruppengliederung 399
– Läsion, Behinderungsgrad 475
– Querschnitt 397
Thoraxapertur, obere **242**
Thrombus, intrakardialer 392
Th10-Rückenmarkläsion, halbseitige 473
Th6-Spinalganglion, Läsion 470
Tibialis-posterior-Reflex, Ausfall 465
Tiefenschmerz 450
Tiefensensibilität 284, 290, 371, **412**, 506, **515**
– Ausfall 473
– Bahnverlauf 285
– bewusste 444, 515
– Gleichgewichtsregulation 486
– Trigeminusbahn **519**
– unbewusste 284, 444, 515
Tiefensensibilitätsstörung 346, 415
Tight junctions
– Blut-Hirn-Schranke **317**
– Kapillarendothel **317**
– Plexusepithel **317**
– Zellen der Arachnoidea 309, 311
Tinnitus (Ohrgeräusch) 151, 380
Tomes-Faser 61
Tonotopie 152

Tonsilla
– cerebelli 366
– – Einklemmung im Foramen magnum 367
– – im Frontalschnitt 426, 428
– – im Sagittalschnitt 441
– lingualis 181, **188**, **196**, 202, 205, 214
– palatina 188, 192, **196**, 202, 204
– – arterielle Versorgung 209
– – Entzündungsausbreitung 204
– – Frontalschnitt 249
– – Gefäßversorgung 204
– – Innervation 209, 535
– – Schlundtaschenherkunft 11
– pharyngealis 147, 181, **196,** 202
– tubaria **196**, 202
Tonsillektomie 98
– Blutung 205, 209
– gefährliche Schleife der Arteria carotis interna 209
Tonsillen, Innervation 130
Tonsillenbett, Arteria-carotis-interna-Schleife 209
Tonsillitis 196
Torticollis muscularis 7
Torus tubarius 181, 182, 186, 202
Trabekelwiderstand, Kammerwasserabfluss 167
Trachea (Luftröhre)
– im Horizontalschnitt 258
– Innervation, vegetative 305
– Zugangsweg 218
Trachealknorpel, Schlundbogenherkunft 10
Tracheamitte, Abstand zur Zahnreihe 220
Tracheotomia
– inferior 218
– superior 218
Tracheotomie 109, **218**, 220
Tractus (Bahn) 269, 504
– bulboreticulospinalis 516
– cerebelloolivaris 544
– cerebellorubralis 539
– cerebellothalamicus 537, 539
– corticonuclearis 203, 287, 543
– corticopontinus 361, 531
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– corticoreticularis 537
– corticorubralis 357, 537
– corticospinalis 287, **360**, **408**, 531, 537, 543
– – Ausfall 517
– – Blutversorgung 415
– – im Sagittalschnitt 441, 442
– – Verlauf 409
– – – in der Capsula interna 422
– – Verschaltung 517
– corticospinalis anterior 401, **408**, 410, 413, **456**, 507, **516**
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 365
– – somatotope Gliederung 517
– – Verlauf 517
– corticospinalis lateralis **360**, 401, **408**, 410, 413, **456**, 460, 507, **516**
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 365
– – somatotope Gliederung 517
– – Verlauf 517
– corticospinalis medialis **360**
– corticostriatalis 537, 543
– dentatothalamicus 346
– habenulopeduncularis 353
– habenulotectalis 353
– habenulotegmentalis 353
– mammillotegmentalis 349
– mammillothalamicus 492
– olfactorius **116**, 288, **323**, 337, **490**, 509, 525
– olivocerebellaris 361, **371**, 539, 544
– olivospinalis 401, **460**, 507, 516, 537, 539, 544
– opticus **117**, 277, 288, 340, 347, **476**
– – im Frontalschnitt 421, 422
– – im Horizontalschnitt 250, 436
– – im Sagittalschnitt 441
– – Schädigung 478
– pallidorubralis 357
– parependymalis 411
– perforans 493
– pontoreticulospinalis 516
– posterolateralis 397
– pyramidalis **408**, **456**, 460, 531
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– – Ponsquerschnitt 362
– – Verlauf 409, 447
– reticulospinalis 371, 401, **411**, 413, **460**, 486, 507, 537
– – anterior **410**
– rubroolivaris 544
– rubrospinalis 357, **360**, 401, 410, 413, **460**, 507, 516, 537, 539
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – Ponsquerschnitt 362, 363
– solitarius
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – Ponsquerschnitt 363
– spinalis nervi trigemini
– – Läsion 448
– – Ponsquerschnitt 363
– spinocerebellaris 411, 537
– – Propriozeptionsleitung 285
– spinocerebellaris anterior 361, 370, **371**, **406**, 412, 444, 507, 514
– – Kreuzung 407
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – Neurone 406
– – Ponsquerschnitt 363
– – Verlauf 445
– – zentrale Verbindungen 445
– spinomesencephalicus 451, 507
– spinoolivaris 544
– spinoreticularis 451, 507
– spinotectalis, Mittelhirnquerschnitt 362
– spinothalamicus 285
– – Ausfall 515
– – Blutversorgung 415
– spinothalamicus anterior 361, **402**, 412, 444, 449, 507, 514, 545
– – Kreuzung 402
– – Läsion 403, 448
– – Neurone **402**, **403**
– – – primärafferente **402**
– – Verlauf 445
– – zentrale Verbindungen 403, 445
– spinothalamicus lateralis 346, **361**, **402**, 412, 444, 447, 449, 507, 514, 545
– – Kreuzung 402
– – Läsion 403, 448
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– – neospinothalamischer Teil 451
– – Neurone 402, **403**
– – – primärafferente **402**
– – paleospinothalamischer Teil 451
– – Ponsquerschnitt 362
– – Somatotopik 402
– – Verlauf 445
– – zentrale Verbindungen 403, 445
– supraopticohypophysialis 349, 350
– tectobulbaris 531
– tectorubralis 357
– tectospinalis 401, **410**, 413, **460**, 516
– – Medulla-oblongata-Querschnitt 364
– – Mittelhirnquerschnitt 362
– – Ponsquerschnitt 362
– tegmentalis centralis (zentrale Haubenbahn) 357, 370, 531
– – Ponsquerschnitt 362
– thalamocingularis 492
– thalamocorticalis 539
– trigeminothalamicus 346, 452, 519, **545**
– – anterior 545
– – posterior 545
– – – Geschmacksbahn 488
– tuberohypophysialis 349
– vestibulocerebellaris 371, 539
– vestibulospinalis 401, 413, **460**, 486, 516, 537
– – lateralis **410**, 460, 486, 507
– – – Funktion 487
– – medialis 507
Tragus 143
– Camper-Ebene 52
Tränen-Nasen-Furche, embryonale 8
Tränenapparat **160**
Tränendrüse 160, 174
– akzessorische 160
– arterielle Versorgung 510
– Innervation 160, 512
– – vegetative 296
– venöser Abfluss 511
Tränenfilm 161
– Lipidschicht 161
– Muzinschicht 161
– wässrige Schicht 161
Tränenfluss 160
Tränenflüssigkeit, mechanische Propulsion **161**
Tränen-Nasen-Gang **160**
– Mündung **43**
– – verstopfte 160
Tränenpünktchen 160
Tränenröhrchen 160
Tränensack 158, **160**
– Stenose 161
Tränensekretionsstörung nach Felsenbeinfraktur 126
Tränenwege, ableitende **160**
– Abflusshindernis 161
– Spülung 161
Transmitter s. Neurotransmitter
Trapezkörper 521
Trendelenburg-Zeichen, positives 469
Treppenmuskel s. Musculus scalenus
Triceps-surae-Reflex, Ausfall 465
Triebregung, affektiv gefärbte 349
Triebverhaltenregulation 492
Trifurkation, Zahnwurzel 49
Trigeminales System 346
Trigeminusbahn, sensible 285, **519**
– Ausfall 519
– somatotope Gliederung 519
– Verschaltung **519**
Trigeminuskerne 519
Trigeminusläsion
– periphere 121
– zentrale 121
Trigeminusneuralgie 120
Trigonocephalus (Dreiecksschädel) 17
Trigonum
– caroticum 2, **242**
– cervicale posterius 3
– collaterale **312**
– colli (cervicis) laterale 3
– musculare omotracheale 2
– nervi hypoglossi **135**, 355
– nervi vagi 355
– olfactorium 490, 525
– retromandibulare 192
– submandibulare 2
– submentale 2
Trizepsreflex 400
– Ausfall 464
Trochlea musculi obliqui superioris bulbi 158, 177
Trochleariskreuzung 547

Trochlearisparese 179
Trommelfell 28, 142, **145**, 146, 148
– arterielle Versorgung 157
– Beziehung zur Ohrtrompete 147
– Funktion 148
– Innervation 120
– Lichtreflex 145
– Quadranten 145
– Schallübertragung 142
Trommelfellentzündung 157
Trommelfellwiderstand 485
Trömner-Reflex, Ausfall 464
Truncothalamus 344
Truncus
– brachiocephalicus 95, 208, 230
– corporis callosi 331, **335**, 433
– – im Frontalschnitt 420, 423, 424, 426
– – im Horizontalschnitt 432
– – im Sagittalschnitt 442
– costocervicalis, Äste 94
– encephali s. Hirnstamm
– inferior plexus brachialis 466
– linguofacialis 97, 243
– lumbosacralis 468
– lymphaticus jugularis dexter 110
– medius plexus brachialis 466
– superior plexus brachialis 466
– sympathicus 138, 204, 206, 208, 242, 503
– – Ganglien 296
– thyrocervicalis 215, **223**, 224, 230, 242
– – Äste 94
– – im Horizontalschnitt 258
– thyrolingualis 97, 243
– thyrolinguofacialis 97, 243
Trypanblau, Nachweis
– der Blut-Hirn-Schranke 316
– der Blut-Liquor-Schranke 316
TSH (Thyroidea-stimulierendes Hormon) 351
Tuba auditiva (Ohrtrompete) 28, 146, **147**, 156
– Funktion 202
– im Horizontalschnitt 254
– Innervation 535
– Lamina membranacea 147
– Muskeln 201
– Öffnung **147**, 197, 202, 207, **221**
– Pars cartilaginea 147, **207**
– Pars ossea 147, **207**
– im Sagittalschnitt 261, 262
– Schleimhautinnervation 130
– Schlundtaschenherkunft 11
– Verlauf 207
Tubenenge 207
Tubenmandel **196**
Tuber
– cinereum 316
– maxillae 30, 39, 238
Tuberculum
– anomale 51
– anterius
– – atlantis 70, 75
– – vertebrae cervicalis 70, 72, 92
– – vertebrae cervicalis VII 71
– articulare 29, **66**, 67, 69
– – im Orthopantomogramm 62
– carabelli 49, **51**
– corniculatum 200, 205, **214**, 216
– – im Kehlkopfspiegelbild 217
– – laryngoskopischer Blick 221
– cuneatum 355
– cuneiforme 200, 205, **214**, 216
– – im Kehlkopfspiegelbild 217
– epiglotticum 217
– gracile 355
– mentale **46**
– musculi scaleni 92
– olfactorium 490
– pharyngeum 21, **24**
– posterius
– – atlantis 70, 73, 75
– – – Magnetresonanztomografie 73
– – vertebrae cervicalis 70, 72, 92
– thyroideum
– – inferius 213
– – superius 213
Tuberkerne, hypothalamische 301
Tuberositas masseterica 82
Tumor
– hirneigener 294
– der kleinen Speicheldrüsen 211
Tunica
– conjunctiva 159, 162
– fibrosa bulbi 162
– interna bulbi 162
– mucosa linguae **189**
– vasculosa bulbi 162
Türck-Bündel (Fibrae temporopontinae) 371
Türkensattel 34

U

U-Fasern 334, **335**
Ultimobranchialkörper 11
Umbo membranae tympanicae 145, 149
Umwelt
– äußere 266
– innere 267
Uncus 288, **323**, 324, 332, 490
– corporis vertebrae cervicalis 70
– im Frontalschnitt 421
– im Sagittalschnitt 261, 440
Unkarthrose **77**
Unkovertebralgelenke **76**
Unkovertebralspalte **76**
Unterberger-Tretversuch 291
Unterkiefer 12, 14, 16, **46**
– Adduktion 82
– altersabhängige Veränderung 47
– Frontalschnitt 85
– Laterotrusion 68
– Leitungsanästhesie 65
– Medianebene 68
– Mediansagittalschnitt 260
– Mediotrusion 68
– Protrusion 68, 82
– Retrusion 68, 82
– Unterrand 4
Unterkieferknochen, Anlage 60
Unterkiefermolaren 48
– Zahnhöckerspitze, distobukkale, Okklusionsebene 52
Unterkieferschneidezähne, Röntgenaufnahme, orthoradiale 62
Unterkieferseitenzähne, Röntgenaufnahme 63
Unterkieferspeicheldrüse **210**, 242
– Ausführungsgang 210
– bimanuelle Untersuchung 211
– im Frontalschnitt 85
– Innervation 114, 124, **127**, 190, 534
Unterkieferwulst, embryonaler 8
Unterkieferzähne
– bleibende **48**
– – Morphologie **55**
– Stellung 53
Unterlippe **186**
Unterlippensenker 81
Unterschläfengrube 39, 123, **236**
– im Frontalschnitt 247
– im Horizontalschnitt 250, 252
– oberflächliche Schicht 236
– tiefe Schicht 236
Untersuchung, neurologische **290**
Unterzungenspeicheldrüse 124, **210**
– bimanuelle Untersuchung 211
– Innervation 114, **127**, 190, 534
Upper motor neuron 472
Urkleinhirn 367
Ursprungskern **114**, **356**, 503
Ursprungsneuron 503
Utriculus 128, 142, 150, **154**, 486
– Innervation 535
– Sinneszellen 154
Uvea 162
Uvula
– palatina 181, 182, 186, 192, 200, 202
– – im Frontalschnitt 249
– – im Mediansagittalschnitt 260
– vermis 366
– – im Sagittalschnitt 443

V

Vagina
– bulbi 174
– carotica **4**, 96, 104, 258
– – Entzündungsausbreitung 204
Vallecula
– cerebelli 366
– epiglottica 205, 221
Vasocorona 415
Vasokonstriktion 411
Vasomotorikstörung 472
Vasopressin **350**
Vater-Pacini-Körperchen 445, **446**
Velum
– medullare (Kleinhirnsegel) 279
– medullare inferius im Sagittalschnitt 443
– medullare superius 355, 363, 366, 368, 407
– – im Sagittalschnitt 443
– palatinum 181, 187, 200, 221
Vena s. auch Venae
– alveolaris inferior
– – im Frontalschnitt 246, 248
– – im Sagittalschnitt 263
– anastomotica inferior 384, **386**
– anastomotica medullaris 387
– anastomotica superior 384, **386**
– angularis 104, 106, 108, 158, **175**, 226, 232, 384, 511
– – Anastomose mit der Vena ophthalmica inferior 511
– – Anastomose mit der Vena ophthalmica superior 108, 158
– – Bezug zu tiefen Venen 104
– – Unterbindung bei Entzündung im Gesicht 227
– – Verbindung ins Endokranium 107
– anterior cerebri 384, **386**
– anterior septi pellucidi 386, **388**
– aquaeductus cochleae 157
– aquaeductus vestibuli 157
– auricularis posterior 104, 108, 384
– azygos 416
– basalis 384, **386**, **388**
– – Drainagegebiet 387, 389
– basalis accessoria 389
– brachiocephalica **104**, **108**, 215, 231
– – Zuflüsse 108
– brachiocephalica dexter 223
– brachiocephalica sinister 223
– buccalis 247
– cava superior, Zuflüsse 108
– centralis retinae **170**, 511
– – Ophthalmoskopiebefund 171
– centri semiovalis 387
– cervicalis profunda 109, 384, 416
– cervicalis superficialis 240
– choroidea inferior 387
– choroidea superior 388
– cisternae cerebellomedullaris 389
– communicans anterior 387
– diploica frontalis **19**
– diploica occipitalis **19**
– diploica temporalis anterior **19**
– diploica temporalis posterior **19**
– dorsalis nasi 158, 175
– emissaria 382
– – als Infektionsweg 385
– – am Hinterhaupt 385
– emissaria condylaris 19, 107, 207, 384
– – im Sagittalschnitt 262

Vena
– emissaria mastoidea 19, 107, 384
– – im Horizontalschnitt 255
– emissaria occipitalis 19, 107, 384
– emissaria parietalis 18, 19, 107, 384
– epiduralis lateralis 417
– epiduralis medialis 417
– ethmoidalis anterior 36
– ethmoidalis posterior 36
– facialis **104**, **106**, 108, 158, 175, 226, 236, 243, 384, 511
– – im Horizontalschnitt 254
– – Mündung 232
– – Verbindung ins Endokranium 107
– facialis communis 242
– fenestrae cochleae 157
– frontalis 384
– hemiazygos 416
– hemiazygos accessoria 416
– inferior cerebelli lateralis 388
– inferior cerebelli medialis 388
– inferior vermis 388
– interna cerebri 384, **386**, **388**, 426
– – beidseitige Thrombose 393
– – Drainagegebiet 389
– interpeduncularis 387, 389
– intervertebralis 417
– jugularis, Entzündungsausbreitung 204
– jugularis anterior **104**, **108**, **228**
– – drainiertes Gebiet 105, 108
– – Lage zur Halsfaszie 105
– jugularis externa **104**, **108**, **228**, 232, 240, 242, 384
– – Anastomosen mit der Vena jugularis interna 104
– – drainiertes Gebiet 105, 108
– – Lage zur Halsfaszie 105
– – Pulsation 7
– – Zuflüsse 108
– jugularis interna 28, **104**, 106, **108**, 206, 208, 215, 229, 230, 242, 283, 384
– – drainiertes Gebiet 108
– – Entsorgungsgebiet 105
– – im Horizontalschnitt 204, 254
– – Lage zur Halsfaszie 105
– – Lymphknoten 111, 211
– – Schädelbasis 207
– – Stromumkehr 104
– – Zuflüsse 108
– labyrinthi 151, 157
– lacrimalis 106, 175, 511
– laryngea inferior 208, 215
– laryngea superior 215, 218
– – Ramus externus 229
– lateralis ventriculi lateralis 388
– lingualis 108, 190
– longitudinalis nuclei caudati 387
– lumbalis ascendens 417
– magna cerebri 383, 384, **386**, 388
– maxillaris 104, 106
– – Verbindung ins Endokranium 107
– media profunda cerebri 384, 387
– media superficialis cerebri 384, **386**
– – Drainagegebiete 387
– medialis ventriculi lateralis 388
– medullaris posterolateralis 389
– medullaris posteromediana 389
– mesencephalica lateralis 389
– nasofrontalis 511
– nuclei caudati 388
– occipitalis **104**, 107, 108, 232, 244, 384
– occipitalis interna **386**
– ophthalmica **175**
– – Anastomose mit der Vena angularis 108
– – Verbindung ins Endokranium 227
– ophthalmica inferior 36, 104, 106, 170, **175**, 384, 511
– – Anastomose mit der Vena angularis 511
– – Austritt aus der Orbita 176
– ophthalmica superior 36, 104, 106, 109, 158, 170, 175, 383, 384, 511
– – Anastomose mit der Vena angularis 108, 158
– – Austritt aus der Orbita 176
– – Verbindung ins Endokranium 107
– palatina externa 106
– pedunculi cerebellaris caudalis 389
– petrosa 388
– petrosa superior 389
– pontis anterolateralis 389
– pontis anteromediana 389
– pontomesencephalica 389
– posterior corporis callosi 388
– profunda faciei 106
– – Verbindung zu Sinus durae matris 227
– radicularis anterior 283, 416
– radicularis posterior 283, 416
– retromandibularis 104, 106, 108, 384
– – Verbindung zum Plexus pterygoideus 227
– spinalis 417
– spinalis anterior 283, 416
– spinalis posterior 283, 416
– subclavia 104, 108, 242
– subclavia dextra 241
– subcostalis 417
– submentalis 104
– sulcalis 417
– superior cerebelli medialis 388
– superior vermis 388
– suprascapularis 104
– supratrochlearis 106, 175
– temporalis superficialis **104**, 108, 211, 226, 232, 235, 236
– – Anastomose mit Plexus venosus pterygoideus 108
– – im Horizontalschnitt 250
– terminalis 387
– thalamostriata 340, 386
– – Drainagegebiet 389
– thalamostriata superior 388
– thyroidea inferior 205, 215, **223**
– thyroidea media 109, 218, **223**, 230
– thyroidea superior 104, 108, 215, **223**, 230
– transversa cervicis 109
– vertebralis 108, 384, 416
– vorticosa 106, 170
Venae s. auch Vena
– basivertebrales 417
– cerebri, Zuflüsse zu den Sinus durae matris **384**
– ciliares anteriores 511
– corticales cerebri 386
– diploicae 19, 382
– ethmoidales 511
– inferiores cerebelli 383
– inferiores cerebri 308, **386**
– – Thrombose 393
– jugularis interna 511
– lenticulares superiores laterales 387
– lenticulares superiores mediales 387
– medullares cerebri 386
– medullares transversae 389
– medullares transversae dorsales 389
– medullaris lateralis 389
– palpebrales 511
– pontis transversae 389
– profundae cerebri 386, **388**
– – Drainagegebiete 389
– sclerales 511
– superficiales
– – ascendentes cerebri
– – – Drainagegebiete 387
– superficiales cerebri 283, 307, **386**
– – Drainagegebiete 387
– – Einmündung in die Sinus durae matris 386
– superficiales descendentes cerebri
– – Drainagegebiete 387
– superiores cerebelli 388
– superiores cerebri 382, **386**
– superiores dorsales cerebri
– – Thrombose 393
– superiores medialis cerebri
– – Thrombose 393
– supraorbitalis 511
– supratrochlearis 511
– temporales profundae 106
– thoracicae internae 108
– transversae nuclei caudati 387
– trunci encephali **389**
– vorticosae 511
Venen
– epidurale, intraspinale
– – lumbale 417
– – sakrale 417
– extrakranielle, Anastomosen mit Sinus durae matris 384
– des Gehirns **386**, **388**
– Hirnstamm **389**
– orbitale **106, 511**
Venendruck, zentraler 7
Venenkatheter, zentraler 109
Venenpuls 7
Venenwinkel 104, 231
– jugulofazialer **108**, 111
– – Lymphknoten 191
– jugulosubclavialer **108**, 111
– linker 110
– rechter 110
Venöses System
– infratentorielles 389
– longitudinales, Hirnstamm 389
– supratentorielles 389
– transversales, Hirnstamm 389
Venter
– anterior musculi digastrici 3, 85, 198
– frontalis musculi occipitofrontalis 78
– inferior musculi omohyoidei 243
– occipitalis musculi occipitofrontalis 79
– posterior musculi digastrici 3, **90**, **194**, 198
– – Innervation 90, 124, 126, 233
– – Ursprung **90**
Ventriculus
– laryngis 214, **219**
– lateralis (Seitenventrikel) 275, 277, **336**, 337, 424
– – Beziehung zum Nucleus caudatus 421, 424
– – Cornu frontale **312**, 318, 424
– – – im Frontalschnitt 420, 422
– – – im Horizontalschnitt 432, 434, 440
– – Cornu occipitale 250, **312**, 319, 424
– – – im Horizontalschnitt 433
– – – im Sagittalschnitt 439, 440
– – Cornu temporale **312**, 333, 424
– – – im Frontalschnitt 421, 422, 424
– – Dach 432
– – Frontalschnitt 249, 343, 420, 422, 424
– – im Frontalschnitt 428, 430
– – im Horizontalschnitt 250, 276, 432, 434, 436
– – Nachbarstrukturen 313
– – Pars centralis **312**, 319, 424
– – – im Frontalschnitt 423, 424
– – – im Horizontalschnitt 432
– – – im Sagittalschnitt 440
– – Projektion auf den Schädel 318
– – im Sagittalschnitt 261, 438, 440
– – vergrößerter 499
– lateralis primus **312**
– lateralis secundus **312**
– quartus 275, 278, **312**, 354
– – Boden 278, 355, 364

– – Dach 279
– – Kleinhirnlage 368
– – Projektion auf den Schädel 319
– – im Sagittalschnitt 443
– tertius 275, 277, **312**, 340, 348, 443
– – Boden 277
– – Dach 277
– – im Frontalschnitt 343, 422, 424, 426
– – im Horizontalschnitt 250, 434, 436
– – laterale Wand 313
– – Projektion auf den Schädel 318
– – Seitenwand 277
I. Ventrikel s. Ventriculus lateralis primus
II. Ventrikel s. Ventriculus lateralis secundus
III. Ventrikel s. Ventriculus tertius
IV. Ventrikel s. Ventriculus quartus
Ventrikelsystem 275, **312**, 422, 424, 433
– Beziehung zum Nucleus caudatus 313, 425
– Nachbarstrukturen 313
– vergrößertes 312
Verbindungsbahn s. Commissura
Vermis cerebelli (Kleinhirnwurm) 279, **366**, 538
– im Frontalschnitt 428, 430
– im Horizontalschnitt 250, 253, 436
– Venen 388
Vernichtungskopfschmerz 390
Verstärkerfunktion, emotionale, des Mandelkerns 333
Verstopfung, medikamentös bedingte 304
Vertebra
– cervicalis (Halswirbel) **70**
– cervicalis V, Horizontalschnitt 256
– cervicalis VI, Horizontalschnitt 256, 259
– prominens (7. Halswirbel) 2, 70, 72
– – Corpus 73
– – im Horizontalschnitt 256
– – Horizontalschnitt 259
– – Processus spinosus 70
– thoracica I, Horizontalschnitt 258
– thoracica II, Horizontalschnitt 258
Vesikel, synaptische **293**
Vestibularapparat s. Gleichgewichtsorgan
Vestibuläres System **486**
– akuter Ausfall 487
– Rezeptoren 486
– topische Organisation 487
Vestibularis-Schwannom 151
Vestibulariskerne 128, **486**
– Afferenzen 487
– Efferenzen 486
– Gleichgewichtsregulation 487
– zentrale Verbindungen 487
Vestibularissystem, Motorik 536
Vestibularorgan 289
Vestibulocerebellum 367, 538
Vestibulum
– labyrinthi 146, 150
– laryngis 214
– – Horizontalschnitt 257
– nasi 181
– oris (Mundhöhlenvorhof) 186, 192
– – Frontalschnitt 246
Vibrationsempfinden 284, 346, 405, 444
– einseitiger Ausfall 448
– Prüfung **290**
– Störung 415
– Verlust 471
Vicq-d'Azyr-Bündel (Fasciculus mammillothalamicus) 346, 349, 492
Vidianus-Kanal (Canalis pterygoideus) 39, **35**, 45, **127**
– durchtretende Leitungsbahnen 239
Vierhügelplatte 277, 278, 354, 357
Virchow-Drüse 111
Viscerocranium (Gesichtsschädel) 13, 14
Visuelles System
– genikulärer Anteil **476**
– nicht genikulärer Anteil **479**
– Reflexe **480**
Viszeroafferenzen 296
Viszeromotorik **112**, 267, **506**
– Embryonalentwicklung 114
Viszerosensibilität **112**, **284**, **506**
– Embryonalentwicklung 114
– spezielle 289
Viszerosensorik 267
Vitamin-B_{12}-Mangel 471
Vitamin-C-Mangel, Desmodontfaserverlust 57
Vitrektomie 163
VNO (Vomeronasales Organ) 491
Vomer 14, 16, **20**, 21, **32**, 38, 41, **44**, 180
– Frontalschnitt 246
– im Horizontalschnitt 252
Vomeronasales Organ 491
Vorderhirn, Embryonalentwicklung 272
Vorderhirnbündel, mediales 349
– Riecheindruckverarbeitung 490
Vorderhorn s. Rückenmark, Vorderhorn
Vorderhorn-Syndrom 472
Vorderseitenstrangbahn
– motorische s. Pyramidenbahn 281
– sensible 281, 285, **402**, 412, **445**, 507
– – Blutversorgung 415
Vorderstrang, Rückenmark 280, 358, **396**, 507
Vorderwurzel 281, 297, 311, **394**, 398, 418
– Durchblutungsstörung 415
– Kompression 462
– Läsion **464**
– Reflexbogen **400**
VPL s. Nucleus ventralis posterolateralis thalami
VPM s. Nucleus ventralis posteromedialis thalami

W

Wachheitszustand 549
Wachstumsfaktoren, Zahnentwicklung 61
Wachstumshormon 351
Wahrnehmung
– bewusste 344
– epikritische 284, 519
– propriozeptive 519
– protopathische 284, 519
– sensible, einseitig aufgehobene 448
– speziell somatosensible 288, 289
– speziell viszerosensible 288, 289
– unbewusste 344
– visuelle, bewusste 532
Waldeyer-Rachenring **196**, 202
Wall-Lappen 276
Wanderwelle, Schallübertragung 153
Wange, sensible Innervation 187
Wangenmuskel **80**
Warmrezeptor 446
Warndreieck des Gesichts 227
Watschelgang 469
Weckzentrum 358
Weisheitszähne 49, 55
– Durchbruchzeit 58
Weiße Substanz 269, **504**, 505
– Definition 504
– embryonale **273**
– Entwicklung 394
– Großhirn 276, 321, **334**, 504
– Kleinhirn 368
– Rückenmark 280, 394, **396**, 505, 507
Weitsichtigkeit 163
Wellen, elektromagnetische
– Lichtreiz 284, 288
– Temperaturrezeptorenreizung 288
Wernicke-Aphasie 540
Wernicke-Zentrum 497
– arterielle Versorgung 379
– Cortexareal 540
Wespenbein (Os sphenoidale) s. Os sphenoidale
Willkürbewegung **454**
– Ablaufprogrammierung 454
Willkürmotorik 408
Wilson-Kurve (transversale Okklusionskurve) **52**
Winkelbeschleunigung 486
Winkelblockglaukom 167
Wirbelbogen 70
Wirbelbogengelenk, Capsula articularis 73
Wirbelfraktur, Höhe 395
Wirbelkanal
– Epiduralraum 311, **418**
– Meningen (Hirnhäute) 311, **418**
– periostale Auskleidung 311
– Topografie **418**
Wirbelkörper 70
Wirbelsäule
– Beziehung des distalen Rückenmarkabschnitts 419
– Lagebeziehung des Rückenmarks 280
– Zuordnung der Rückenmarksegmente 395
Wirbelvenenplexus **417**
Witzelsucht 540
Wolfring-Drüse 160
Wolfsrachen 9
Würgereflex 130
Wurzeldentin 61
Wurzelscheide, epitheliale 61
Wurzeltasche 418
Wurzelvenen 416
Wurzelzellen
– somatomotorische 399
– viszeromotorische 399
Wutverhaltenenthemmung 499

Z

Zahn
– anatomische Bezeichnungen **49**
– Histologie **49**
– Kaufläche s. Kaufläche
– Krümmungsmerkmal 51
– Masenmerkmal 51
– Merkmale 51
– Richtungsbezeichnungen 50
– Winkelmerkmal 51
– Wurzelmerkmal 51
Zahnanlage **59**
– embryonale **60**
Zahnbein 49, 56
Zahnbewegung 57
Zahnbogen
– oberer **52**
– Richtungsbezeichnungen
– unterer **52**
Zahnbreite, mesiodistale, mittlere 53
Zahndurchbruchzeiten **58**
Zähne **48**
– bleibende 48
– – Anlagen 59
– – Durchbruchzeit 58
– – Formen **49**
– – Höckerzahl **49**
– – Morphologie **54**
– – Wurzelkanäle **49**
– – Wurzelzahl **49**
– diphodonte 48
– Hauptantagonisten 53

Zähne
– Lokalanästhesie **64**
– monophydonte 48
– Nebenantagonisten 53
– Quadranten **50**
– Röntgendiagnostik **62**
– – Aufnahme
– – – exzentrische 63
– – – orthoradiale 63
– – Bissflügelaufnahme 63
– – Einzelaufnahme 63
– thekodonte 48
Zahnentwicklung **60**
– Differenzierungsfaktoren 61
– Epithel-Mesenchym-Interaktion 61
– Glockenstadium 60
– Kappenstadium
– – frühes 60
– – spätes 60
– Wachstumsfaktoren 61
– zervikale Schlinge 60
Zahnfächer **48**, 57
Zahnfleisch (s. auch Gingiva) **56**
Zahnfleisch
– sensible Innervation 187
Zahnfleischsaum 56
Zahnfleischsaumepithel **56**
– Basallamina 56
– Immunabwehr 56
– Schichten 56
Zahnfleischtasche 56
Zahnform **49**
Zahnformel **50**
– Milchzähne 59
Zahngrübchen 49
Zahnhals 49
– Entzündungsreaktion 56
Zahnhalslinie 51
Zahnhalteapparat **56**
– Entwicklung 60
– Funktion 56
– Stoffwechsel 56
Zahnhartsubstanzbildung 61
Zahnhartsubstanzsekretion 61
Zahnhöcker 49, 51, **51**
– akzessorische 51
– nicht tragende **51**, 53
– tragende **51**, 53
Zahnhöckerabhang 51
– lateraler 51
– peripherer 51
– zentraler 51
Zahnhöckergrat 51
Zahnhöckerspitze 51
– distobukkale, Okklusionsebene 52
Zahnhöhle 49, 56
Zahnkern s. Nucleus dentatus
Zahnknospe 60
Zahnkontakt s. Okklusion
Zahnkrone 49
– Zahnhartsubstanzbildung 61
Zahnkronenäquator 51
Zahnkronenflucht 51
Zahnleiste
– generelle 60
– odontogene 60
Zahnpapille 60
Zahnpapillenbildung 60
Zahnreihe, Abstand zur Tracheamitte 220
Zahnsäckchen 60, **61**
– Differenzierung 61
Zahnschema s. Zahnformel
Zahnschmelz (s. auch Schmelz) 49, 56
Zahnstellung **52**
Zahnverschiebung, mesiodistale 53
Zahnwurzel 48, 57
– distale 57
– Merkmale 51
– mesiale 57
Zahnwurzelbifurkation 49
Zahnwurzelbildung 61
Zahnwurzelentzündung 31
Zahnwurzelhaut 56, **57**
– Entstehung 61
– Kollagenfasernverlauf 57
Zahnwurzelkanal 49, **56**, 61
– Infektion, Röntgenaufnahme 63
Zahnwurzelquerschnitt 51
Zahnwurzelscheide, epitheliale 61
Zahnwurzeltrifurkation 49
Zahnwurzelzement 49, **56**
– azelluläres, fibrilläres 57
– Bildung 61
Zahnzahl 48
Zapfen 169, **476**
Zehenextensorenausfall 469
Zeis-Drüsen 159
Zellen
– amakrine, retinale 169
– azidophile 351
– basophile 351
– bipolare, Retina 169
– chromophobe 351
– myelinisierende 295
– periglomeruläre 491
– polymorphe, motorische Großhirnrinde 457
Zementoblasten 61
Zenker-Divertikel 199
Zentralkanal 280
– embryonaler 114
Zentralkanalprozess, Läsion der grauen Substanz 471
Zentralnervensystem **267**
– Achsen 270
– Embryonalentwicklung 272
– graue Substanz 269
– Links-rechts-Verschaltung **546**
– Morphologie 270
– Myelinisierung **295**
– in situ 274
– Verbindung zum peripheren Nervensystem 281
– weiße Substanz 269
Zentralskotom, homonym-hemianopisches 478
Zentren, subkortikale, modulierende **495**
Zeruminaldrüsen 145
Zervikalmark
– graue Substanz, Kerngebiete **399**
– Kerngruppengliederung 399
Zervikalmarkläsion, Behinderungsgrad 475
Zervikalmarkquerschnitt 397
Zervikalnervenpaare 395
Zervikalwirbel s. Halswirbel
Zielkern **356**, 503
Zielneuron 503
Ziliarkörper 159, 162, 166
– Pigmentepithel 162
Ziliarmuskel s. Musculus ciliaris
Zilien, Nasenschleimhaut 184
Zirbeldrüse s. Glandula pinealis
Zisterne 275, **314**
ZNS s. Zentralnervensystem
Zona incerta 353, 548
Zonula ciliaris 164
Zonulafasern 162, 164
Zoster ophthalmicus 120
Zunge **188**, 192
– Bewegungssteuerung, bewusste 527
– Frontalschnitt 85, 246, 248
– Geschmacksreiz 289
– Innervation 120, 130
– – sensible 190, 535
– – sensorische **190**
– – somatomotorische 190
– Leitungsbahnen **190**
– Lymphabfluss **191**
– Motorik 188
– Plattenepithelkarzinom, Metastasierung 191
– Schleimhautrelief **188**
– Speicheldrüsen 188
– Viszerosensibilität 284
Zungenanlage, embryonale 60
Zungenbein **47**, 186, 198, 202, 203, **212**, 221, 230
– Absenkung 90
– Fixierung 90
– Hebung 90
– Mediansagittalschnitt 260
– Schlundbogenherkunft 10
Zungenbeinmuskeln **189**
– Ansatz 86
– obere 88, **90**
– untere 88, **90**
– – Innervation 139
– Ursprung 86
Zungenbewegung, Ausfall 526
Zungengrund 181, 220
Zungenkörper 188
Zungenmandel 181, **188**, **196**, 202
Zungenmuskeln **189**
– äußere 189
– innere 189
– Innervation 135, **189**
Zungenpapillen **188**
Zungenpapillengraben 188
Zungenpapillenkuppe 188
Zungenpapillenwall 188
Zungenspitze 188
Zungenwurzel **188**
Zuwachszähne 48, 60
Zwerchfell
– Head-Zone 303
– Innervation 139
– Rückenmarksegment 475
Zwerchfellparese 464
Zwischenhirn s. Diencephalon
Zwischenkieferknochen 9
Zwischenneuron s. Interneuron
Zwischenwirbelscheibe s. Discus intervertebralis
Zwölfjahrmolar 58
Zyanose 186
Zyste
– follikuläre 31
– odontogene 31
– radikuläre 31
Zytoarchitektonik, Gehirn 326