

Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem

PROMETHEUS

LernAtlas der Anatomie

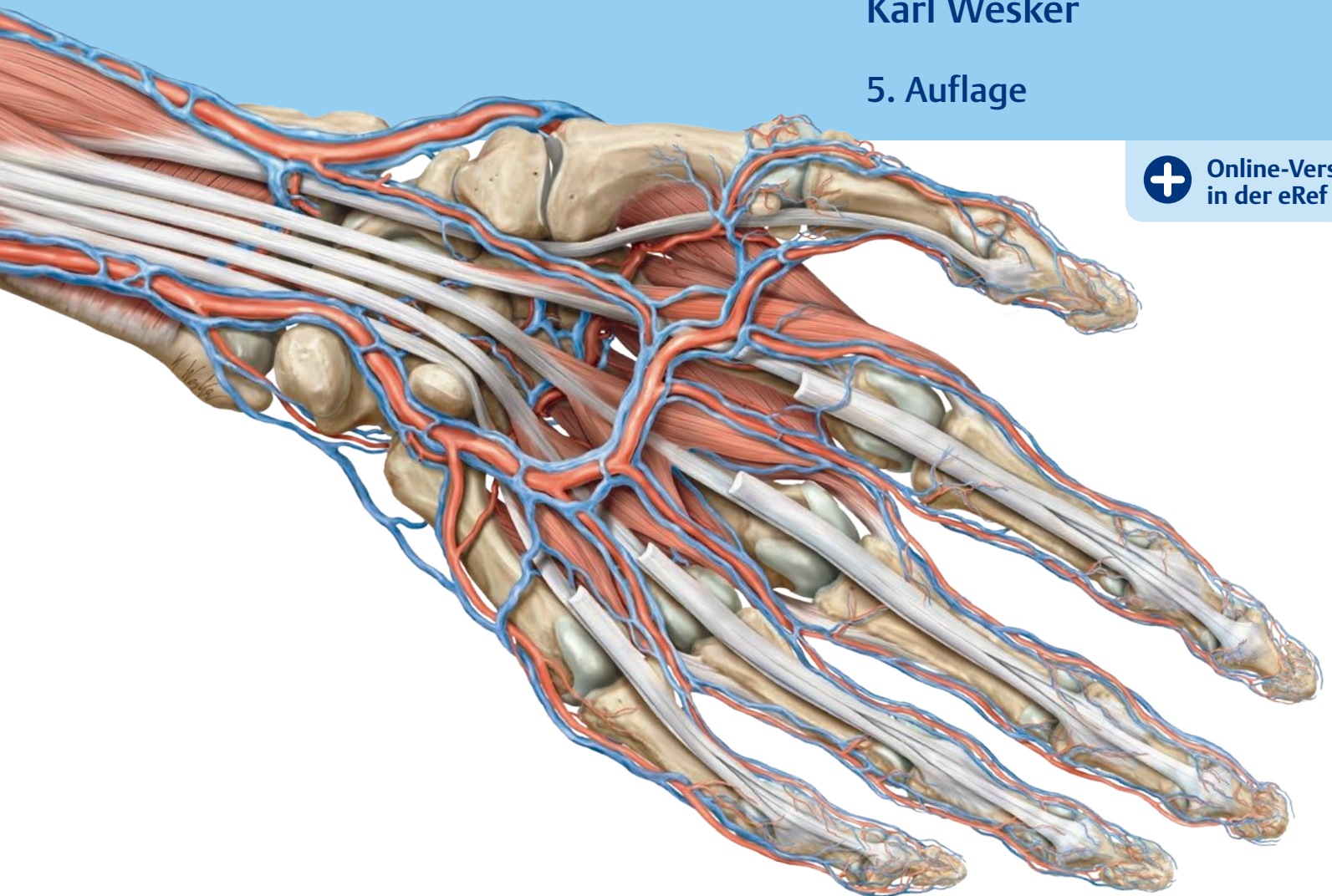
Michael Schünke
Erik Schulte
Udo Schumacher

Markus Voll
Karl Wesker

5. Auflage



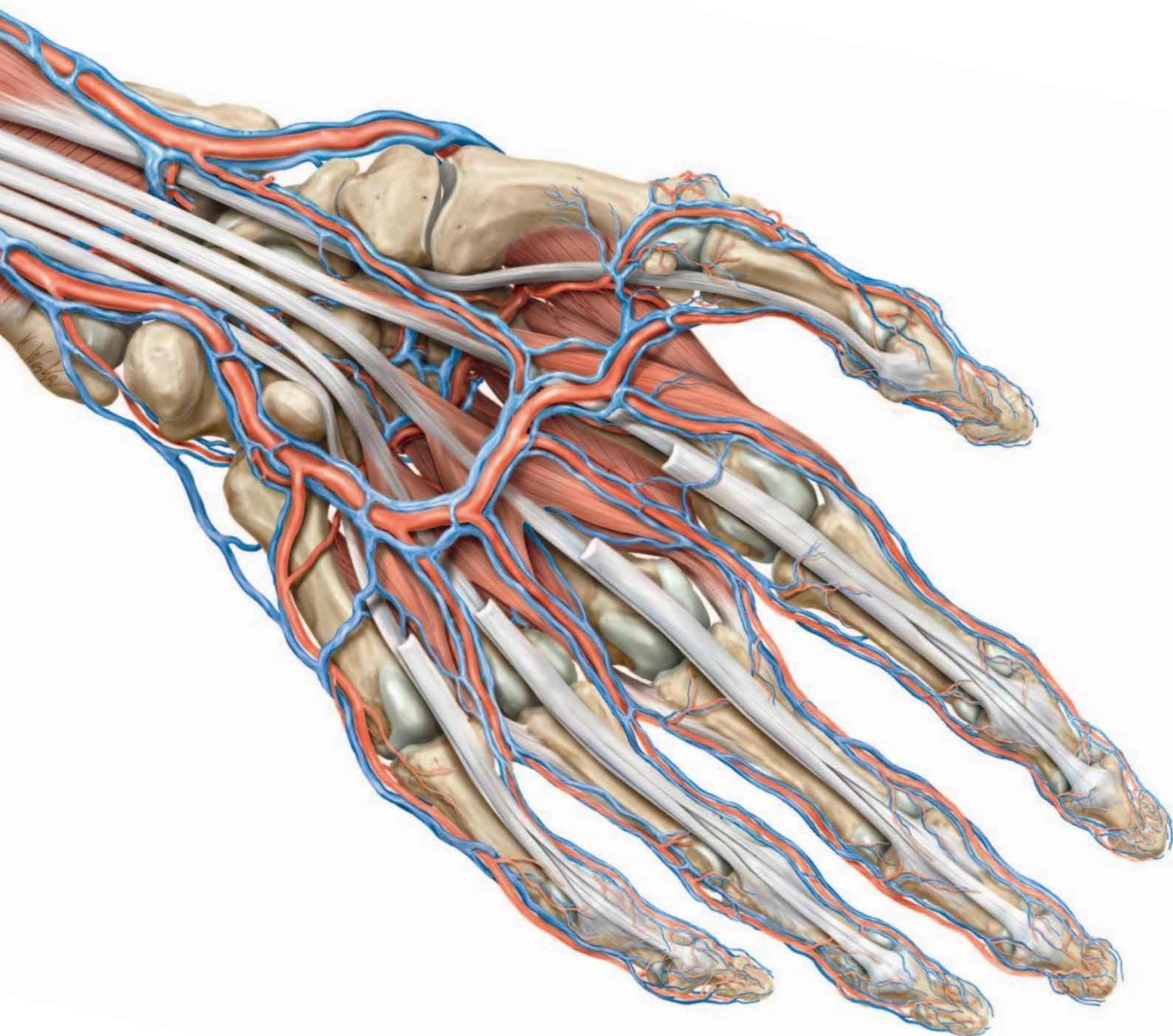
Online-Version
in der eRef



Thieme

PROMETHEUS

LernAtlas der Anatomie



Allgemeine Anatomie
und Bewegungssystem

PROMETHEUS

LernAtlas der Anatomie

Michael Schünke
Erik Schulte
Udo Schumacher

Illustrationen von
Markus Voll
Karl Wesker

5., vollständig
überarbeitete Auflage

2074 Illustrationen
183 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.d-nb.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
Johann-Joachim-Becher-Weg 13
55128 Mainz

Professor

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

Grafiker

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

© 2005, 2018 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 Gruppe

Satz und Layout: Gay & Sender, Bremen (www.gayundsender.de)

Druck: Appl, Wemding

DOI 10.1055/b-006-149643

ISBN 978-3-13-242083-0 1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:

eISBN (PDF) 978-3-13-242084-7

eISBN (epub) 978-3-13-242085-4

- | | |
|--|--|
| 1. deutsche Auflage 2005 | 2. spanische Auflage 2010 |
| 1. italienische Auflage 2005 | 3. deutsche Auflage 2011 |
| 1. niederländische Auflage 2005 | 2. japanische Auflage 2011 |
| 1. spanische Auflage 2005 | 2. brasilianisch-portugiesische Auflage 2013 |
| 1. englische Auflage 2006 | 2. polnische Auflage 2013 |
| 1. französische Auflage 2006 | 4. deutsche Auflage 2014 |
| 1. brasilianisch-portugiesische Auflage 2006 | 2. italienische Auflage 2014 |
| 1. japanische Auflage 2007 | 2. koreanische Auflage 2014 |
| 2. deutsche Auflage 2007 | 3. spanische Auflage 2014 |
| 1. griechische Auflage 2007 | 2. englische Auflage 2015 |
| 1. koreanische Auflage 2007 | 2. türkische Auflage 2015 |
| 1. portugiesische Auflage 2007 | 2. französische Auflage 2016 |
| 1. türkische Auflage 2007 | 1. indonesische Auflage 2015 |
| 1. polnische Auflage 2009 | 3. niederländische Auflage 2016 |
| 2. niederländische Auflage 2010 | 3. japanische Auflage 2017 |

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 handelt.

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.

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“,

schaft 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, einmal mehr in diesem Jahr,

in dem Herr Dr. Jürgen Lüthje in den Ruhestand geht. Als seinen Nachfolger begrüßen wir Herrn Dr. Jochen Neuberger, der PROMETHEUS mit großem Engagement übernommen hat und mit dem bisherigen Team zusammen weiterführen und weiterentwickeln wird.

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 Verlagsicht 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.

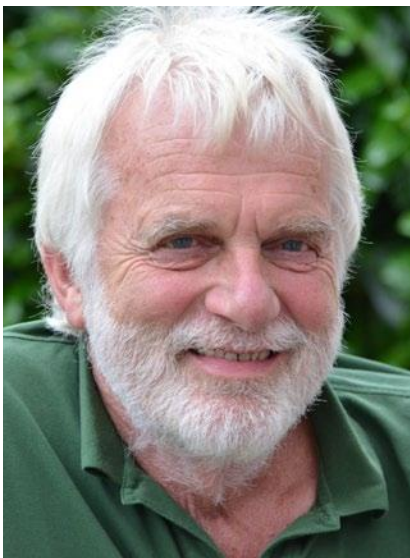
Ganz ausnahmslos war die Zusammenarbeit mit allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Thieme Verlages zu jedem Zeitpunkt angenehm und freundschaftlich. Aus Platzgründen können wir hier leider nicht alle Personen namentlich aufführen, die in irgendeiner Weise an der Fertigstellung von PROMETHEUS beteiligt waren. Wir beschränken uns daher auf einige Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, 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 Yvonne Straßburg, Michael Zepf und Laura Diemand, die dafür gesorgt haben, dass PROMETHEUS termingerecht gedruckt, gebunden und auf seinem gesamten Entstehungsweg mit bestem herstellerischem Know-how begleitet wurde; bei Susanne Tochtermann-Wenzel und Anja Jahn für die Unterstützung bei technischen Fragen rund um die Bebilderung, bei Julia Fersch, die dafür gesorgt hat, dass PROMETHEUS auch über eRef zugänglich ist, bei Almut Leopold für das ausgezeichnete Register; bei Marie-Luise Kürschner und Nina Jentschke für die ansprechende Gestaltung des Umschlags sowie bei Dr. Thomas Krimmer, 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 im August 2018

Die Menschen hinter PROMETHEUS

Ein Werk wie PROMETHEUS kann nur entstehen, wenn die Menschen, die daran beteiligt sind, Hand in Hand zusammenarbeiten. Erst der rege Austausch zwischen den Anatomieprofessoren Michael Schünke, Erik Schulte und Udo Schumacher einerseits und den anatomischen Illustratoren Markus Voll und Karl Wesker andererseits führte zu dem didaktischen und künstlerischen Gesamtwerk, wie es jetzt vor Ihnen liegt.

Lerneinheiten zu schaffen, die ein Thema konsequent auf zwei gegenüberliegenden Seiten abhandeln, ist schon an sich eine besondere Herausforderung. Die Autoren müssen die Inhalte präzise auswählen, zusammenstellen und mit erläuternden Legenden versehen. Wie sich diese Inhalte dann jedoch im Atlas präsentieren, wie ansprechend und einprägsam sie sind, hängt maßgeblich von den Bildern ab – im PROMETHEUS sind es inzwischen gut 5000! Um sie zu zeichnen,



**Prof. Dr. med. Dr. rer.
nat. Michael Schünke**

Anatomisches Institut der Universität Kiel
Studium der Biologie und Medizin in
Tübingen und Kiel
Intensive Lehrtätigkeit bei Medizin-
studierenden und Physiotherapeuten
Autor und Übersetzer weiterer Lehrbücher



**Prof. Dr. med.
Erik Schulte**

Institut für Funktionelle und Klinische
Anatomie der Universitätsmedizin Mainz
Studium der Medizin in Freiburg
Intensive Lehrtätigkeit bei Medizin-
studierenden
Preis für herausragende Leistungen in
der Lehre in Mainz



**Prof. Dr. med.
Udo Schumacher**

Anatomisches Institut der Universität
Hamburg
Studium der Medizin in Kiel sowie einjähriger
Studienaufenthalt am Wistar Institute of
Anatomy and Biology, Philadelphia
Intensive Lehrtätigkeit bei Studenten, Physio-
therapeuten und Facharztkandidaten (FRCS).
Mehrjähriger Aufenthalt in Southampton,
dort Erfahrungen in fächerübergreifendem,
integriertem Unterricht

haben Markus Voll und Karl Wesker jahrzehntelange Erfahrungen in der anatomischen Illustration gesammelt, anatomische Sammlungen besucht, Präparate studiert und alte und neue Werke der Anatomie durchgearbeitet. Auf dieser Basis entstand der PROMETHEUS.

Er führt Sie Schritt für Schritt sicher durch die Anatomie und zeigt, welche bedeutende Rolle die Anatomie in der späteren praktischen

Tätigkeit spielt. Darauf haben die Autoren ganz besonderen Wert gelegt. Ob Darmoperation bei einem Tumor, Trommelfellpunktion bei einer Mittelohrentzündung oder Untersuchung einer Schwangeren – ohne Anatomie ist kein Arzt ein guter Arzt.

Das Lernen kann Ihnen auch PROMETHEUS nicht ersparen, aber er macht es schöner. Dafür garantieren Autoren und Grafiker.



Markus Voll

Freiberuflicher Illustrator und Grafiker in München
Grafikausbildung an der Blochererschule für Gestaltung in München
Studium der Medizin an der LMU München
Seit 25 Jahren als wissenschaftlicher Illustrator für zahlreiche Buchprojekte tätig



Karl Wesker

Freiberuflicher Maler und Grafiker in Berlin
Lehre als Klischeeätzer und Lithograph
Studium der Visuellen Kommunikation an der FH Münster und an der Hochschule der Künste Berlin sowie der Kunstwissenschaft an der TU Berlin
Seit über 30 Jahren in der freien Malerei und in der wissenschaftlichen Grafik tätig, u. a. Buchprojekte für Anatomie

Inhaltsverzeichnis

A Allgemeine Anatomie

1 Stammes- und Entwicklungsgeschichte des Menschen

1.1	Stammesgeschichte des Menschen	2
1.2	Entwicklungsgeschichte des Menschen: Überblick, Befruchtung und früheste Entwicklungsstadien	4
1.3	Gastrulation, Neurulation und Somitenbildung	6
1.4	Entwicklung von Eihäuten und Placenta	8
1.5	Die Entwicklung der Schlund-(Kiemen-)Bögen beim Menschen	10
1.6	Frühembryonaler Kreislauf und Entwicklung wichtiger Blutgefäße im Verlauf der Ontogenese	12
1.7	Entwicklung des Skelettsystems: Primordialskelett, Extremitäten- und Gelenkentwicklung	14
1.8	Knochenentwicklung und Knochenumbauvorgänge	16
1.9	Ossifikation der Extremitäten	18
1.10	Bauplan und Stellung der Extremitäten	20

2 Der menschliche Körper im Überblick

2.1	Der menschliche Körper: Proportionen, Oberflächen und Körpergewichte	22
2.2	Der Bauplan des menschlichen Körpers	24

3 Anatomie der Körperoberfläche und Orientierungshilfen am menschlichen Körper

3.1	Lage- und Richtungsbezeichnungen sowie Haupt- achsen und Hauptebenen am menschlichen Körper	26
3.2	Lage und Bezeichnung von radiologischen Untersuchungsebenen	28
3.3	Oberflächenanatomie	30
3.4	Oberflächenrelief und tastbare Knochenpunkte	32
3.5	Orientierungshilfen am menschlichen Körper	34
3.6	Körperregionen (topografische Anatomie)	36
3.7	Haut	38

4 Knochen und Knochenverbindungen

4.1	Knöchernes Skelett und Bau eines Röhrenknochens	40
4.2	Knochenverbindungen: Übersicht und unechte Gelenke (Synarthrosen)	42
4.3	Echte Gelenke: Bauelemente; intra- und extraartikuläre Strukturen	44
4.4	Aufbau von Gelenkkapsel (Capsula articularis) und hyalinem Gelenkknorpel	46

4.5	Degenerative Gelenkerkrankungen am Beispiel der Koxarthrose	48
4.6	Grundzüge der Gelenkmechanik: Bewegungen	50
4.7	Stabilität und Kraftübertragung	52
4.8	Frakturen: Klassifikation, Heilung und Behandlung	54

5 Muskeln

5.1	Skelettmuskulatur: Überblick	56
5.2	Muskelfasertypen; gefiederte und nicht gefiederte Skelettmuskeln	58
5.3	Aufbau und Funktion	60
5.4	Sehnen und Hilfseinrichtungen von Muskeln	62

6 Gefäße

6.1	Übersicht über das kardiovaskuläre System des Menschen	64
6.2	Aufbau von Arterien und Venen	66
6.3	Gefäße der terminalen Strombahn	68

7 Lymphatisches System und Drüsen

7.1	Das lymphatische System des Menschen	70
7.2	Exokrine und endokrine Drüsen	72

8 Allgemeine Neuroanatomie

8.1	Entwicklung des zentralen Nervensystems (ZNS)	74
8.2	Neuralleistenderivate und Entwicklung des peripheren Nervensystems (PNS)	76
8.3	Lage und Gliederung des Nervensystems	78
8.4	Zellen des Nervensystems	80
8.5	Aufbau eines Rückenmarkssegmentes	82
8.6	Sensible Innervation: Übersicht	84
8.7	Prinzipien der Dermatom- und Plexusbildung	86
8.8	Dermatome und Hautnervenareale	88
8.9	Motorische Innervation: Organisation des Rückenmarks und Reflexe	90
8.10	1. und 2. motorisches Neuron	92
8.11	Unterschiede zwischen zentralem und peripherem Nervensystem	94
8.12	Vegetatives Nervensystem	96
8.13	Läsion peripherer Nerven	98

B Rumpfwand

1 Knochen, Bänder und Gelenke

1.1	Rumpfskelett	102
1.2	Knöcherne Wirbelsäule	104
1.3	Entwicklung der Wirbelsäule	106
1.4	Aufbau eines Wirbels	108
1.5	Halswirbelsäule	110
1.6	Brustwirbelsäule	112
1.7	Lendenwirbelsäule	114
1.8	Kreuzbein (Os sacrum) und Steißbein (Os coccygis)	116
1.9	Bandscheibe (Discus intervertebralis): Aufbau und Funktion	118
1.10	Bandapparat der Wirbelsäule: Überblick und thorakolumbaler Bereich	120
1.11	Bandapparat der Halswirbelsäule im Überblick	122
1.12	Bandapparat der oberen Halswirbelsäule (oberes und unteres Kopfgelenk)	124
1.13	Wirbelbogengelenk, Bewegungssegment und Bewe- gungsausmaß der einzelnen Wirbelsäulenregionen	126
1.14	Unkovertebralgelenke der Halswirbelsäule	128
1.15	Schnittbildanatomie der Lendenwirbelsäule	130
1.16	Degenerative Veränderungen im Bereich der Lendenwirbelsäule	132
1.17	Knöcherner Brustkorb	134
1.18	Brustbein und Rippen	136
1.19	Rippenwirbelgelenke und Thoraxbewegungen	138
1.20	Knöchernes Becken	140
1.21	Bandapparat und Beckenmaße	142
1.22	Iliosakralgelenk	144

2 Systematik der Muskulatur

2.1	Übersicht über die Rumpfwandmuskulatur, ihre Herkunft und Funktion	146
2.2	Autochthone Rückenmuskulatur (M. erector spinae): lateral Trakt	148
2.3	medialer Trakt	150
2.4	Autochthone Rückenmuskulatur (kurze Nacken- bzw. Kopfgelenkmuskeln) und prävertebrale Muskulatur	152
2.5	Bauchwandmuskulatur: seitliche, schräge Bauchwandmuskeln	154
2.6	vordere und hintere Bauchwandmuskeln	156
2.7	Aufgaben der Bauchwandmuskeln	158
2.8	Brustkorbmuskulatur: Mm. intercostales bzw. subcostales und scaleni sowie M. transversus thoracis	160
2.9	Zwerchfell (Diaphragma)	162
2.10	Beckenbodenmuskulatur: Diaphragma pelvis, Diaphragma urogenitale und Schließ- bzw. Schwellkörpermuskeln	164
2.11	Sekundär eingewanderte Rumpfwandmuskulatur: spinokostale, spinohumerale und thorakohumerale Muskeln	166

3 Topografie der Muskulatur

3.1	Rückenmuskeln im Überblick und Fascia thoracolumbalis	168
-----	--	-----

3.2	Autochthone Rückenmuskulatur: lateral und medialer Trakt des M. erector spinae	170
3.3	kurze Nackenmuskeln	172
3.4	Thoraxwandmuskeln und Fascia endothoracica	174
3.5	Übergang von Brustkorb zu Bauchhöhle: Zwerchfell (Diaphragma)	176
3.6	Seitliche und vordere Bauchwandmuskeln	178
3.7	Aufbau von Bauchwand und Rektusscheide (Vagina musculi recti abdominis)	180
3.8	Beckenbodenmuskeln: Überblick über die Regio perinealis und oberflächliche Faszien	182
3.9	Aufbau des Beckenbodens und Beckenräume im Geschlechtervergleich	184
3.10	Beckenboden- und Beckenwandmuskeln bei der Frau in der Ansicht von kaudal	186
3.11	Beckenbodenmuskeln: M. levator ani	188
3.12	Lage in Bezug auf Organe und Gefäße bei Mann und Frau	190

4 Systematik der Leitungsbahnen

4.1	Arterien	192
4.2	Venen	194
4.3	Lymphbahnen und Lymphknoten	196
4.4	Nerven	198

5 Topografie der Leitungsbahnen

5.1	Oberflächenrelief und epifasziale Leitungsbahnen der ventralen Rumpfwand	200
5.2	der dorsalen Rumpfwand	202
5.3	Dorsale Rumpfwand in der Ansicht von dorsal	204
5.4	in der Ansicht von ventral	206
5.5	Ventrale Rumpfwand: Übersicht und klinisch bedeutsame Lage einiger Leitungsbahnen	208
5.6	Nerven, Blut- und Lymphgefäße der weiblichen Brustdrüse	210
5.7	Canalis inguinalis	212
5.8	Anatomie und Schwachstellen der vorderen Bauchwand	214
5.9	Leisten- und Schenkelhernien	216
5.10	Topografie der Leistenhernien	218
5.11	Diagnostik und Therapie von Hernien	220
5.12	Seltene äußere Hernien	222
5.13	Entwicklung der äußeren Geschlechtsorgane	224
5.14	Äußere männliche Geschlechtsorgane: Descensus testis und Funiculus spermaticus	226
5.15	Hoden und Nebenhoden	228
5.16	Penisfaszien und Schwellkörper	230
5.17	Leitungsbahnen des Penis	232
5.18	Äußere weibliche Geschlechtsorgane: Übersicht und Dammschnitt	234
5.19	Leitungsbahnen sowie Schwellkörper, Schwellkörpermuskeln und Scheidenvorhof	236

C Obere Extremität

1 Knochen, Bänder und Gelenke

1.1	Obere Extremität als Ganzes	240
1.2	Einbau des Schultergürtels in das Rumpfskelett	242
1.3	Knochen des Schultergürtels	244
1.4	Knochen der freien Gliedmaße:	
	Humerus als Ganzes	246
1.5	Torsion des Humerus	248
1.6	Radius und Ulna als Ganzes	250
1.7	Gelenkflächen von Radius und Ulna	252
1.8	Hand	254
1.9	Handwurzelknochen	256
1.10	Architektur des radiokarpalen Übergangs und der Mittelhand; distale Radius- und Skaphoidfrakturen	258
1.11	Schultergelenke:	
	Überblick und Schlüsselbeingelenk als Ganzes	260
1.12	Bandapparat des Schlüsselbeingelenks und Schulterblatt-Thorax-Gelenk	262
1.13	Articulatio humeri, artikulierende Gelenkflächen, Gelenkkapsel und Gelenkhöhle	264
1.14	Articulatio humeri, kapselverstärkende Bänder und Rotatorenintervall	266
1.15	subakromiales Nebengelenk	268
1.16	Bursa subacromialis und Bursa subdeltoidea	270
1.17	Arthroskopie der Schulter	272
1.18	Röntgen- und Schnittbildanatomie der Schulter	274
1.19	Bewegungen in Schultergürtel und Schultergelenk	276
1.20	Ellenbogengelenk (Articulatio cubiti) als Ganzes	278
1.21	Kapsel-Band-Apparat	280
1.22	Unterarm:	
	Articulationes radioulnares proximalis und distalis	282
1.23	Bewegungen im Ellenbogen- und Radioulnargelenk	284
1.24	Übersicht über den Bandapparat der Hand	286
1.25	Intrinsischer Bandapparat der Hand, Gelenkkompartimente und ulnokarpaler Komplex	288
1.26	Canalis carpi	290
1.27	Bandapparat der Finger	292
1.28	Daumensattelgelenk	294
1.29	Bewegungen in den Hand- und Fingergelenken	296

2 Systematik der Muskulatur

2.1	Funktionelle Muskelgruppen	298
2.2	Schultergürtelmuskulatur:	
	Mm. trapezius, sternocleidomastoideus und omohyoideus	300
2.3	Mm. serratus anterior, subclavius, pectoralis minor, levator scapulae, rhomboidei major und minor	302
2.4	Schultergelenkmuskulatur:	
	Rotatorenmanschette	304
2.5	M. deltoideus	306
2.6	Mm. latissimus dorsi und teres major	308
2.7	Mm. pectoralis major und coracobrachialis	310
2.8	Oberarmmuskulatur:	
	Mm. biceps brachii und brachialis	312
2.9	Mm. triceps brachii und anconeus	314

2.10	Unterarmmuskulatur:	
	oberflächliche und tiefe Flexoren	316
2.11	Radialismuskulatur	318
2.12	oberflächliche und tiefe Extensoren	320
2.13	Kurze Handmuskeln:	
	Thenar- und Hypothenarmuskulatur	322
2.14	Mittelhandmuskulatur	324
2.15	Muskelfunktionen im Überblick:	
	Schultergelenk	326
2.16	Ellenbogengelenk	328
2.17	Handgelenk	330

3 Topografie der Muskulatur

3.1	Dorsale Schultergürtel- und Schultergelenkmuskulatur	332
3.2	Dorsale Schultergelenk- und Oberarmmuskulatur	334
3.3	Ventrale Schultergürtel- und Schultergelenkmuskulatur	336
3.4	Ventrale Schultergelenk- und Oberarmmuskulatur	338
3.5	Ventrale Unterarmmuskulatur	340
3.6	Dorsale Unterarmmuskulatur	342
3.7	Querschnitte des Ober- und Unterarms	344
3.8	Sehnenscheiden der Hand	346
3.9	Dorsalaponeurose der Finger	348
3.10	Kurze Handmuskeln:	
	oberflächliche Schicht	350
3.11	mittlere Schicht	352
3.12	tiefe Schicht	354

4 Systematik der Leitungsbahnen

4.1	Arterien	356
4.2	Venen	358
4.3	Lymphbahnen und Lymphknoten	360
4.4	Plexus brachialis:	
	Aufbau	362
4.5	Pars supraclavicularis	364
4.6	Pars infraclavicularis – Übersicht und kurze Äste	366
4.7	Pars infraclavicularis – N. musculocutaneus und N. axillaris	368
4.8	Pars infraclavicularis – N. radialis	370
4.9	Pars infraclavicularis – N. ulnaris	372
4.10	Pars infraclavicularis – N. medianus	374

5 Topografie der Leitungsbahnen

5.1	Oberflächenrelief und epifasziale Leitungsbahnen:	
	Ansicht von ventral	376
5.2	Ansicht von dorsal	378
5.3	Schulterregion: Ansicht von ventral	380
5.4	Achselhöhle (Regio axillaris):	
	Vorderwand	382
5.5	Hinterwand	384
5.6	Leitungsanästhesie des Plexus brachialis: Prinzip, Zugangswege und Durchführung der Blockade	386

D Untere Extremität

5.7	Vorderseite des Oberarms (Regio brachialis anterior)	388
5.8	Schulterregion: Ansicht von dorsal und kranial	390
5.9	Rückseite des Oberarms (Regio brachialis posterior)	392
5.10	Ellenbeuge (Regio cubitalis)	394
5.11	Vorderseite des Unterarms (Regio antebrachialis anterior)	396
5.12	Rückseite des Unterarms (Regio antebrachialis posterior) und Handrücken (Dorsum manus)	398
5.13	Hohlhand (Palma manus): Epifasziale Leitungsbahnen und Innervation	400
5.14	Gefäßversorgung	402
5.15	Canalis carpi	404
5.16	Guyon-Loge und Regio carpalis anterior	406

1 Knochen, Bänder und Gelenke

1.1	Untere Extremität als Ganzes	410
1.2	Anatomische und mechanische Achsen des Beines	412
1.3	Knochen des Beckengürtels	414
1.4	Oberschenkelknochen (Os femoris) als Ganzes; Bedeutung des Schenkelhalswinkels	416
1.5	Caput femoris und Fehlstellungen des Schenkelhalses	418
1.6	Kniescheibe (Patella)	420
1.7	Unterschenkelknochen (Tibia und Fibula)	422
1.8	Fußknochen im Überblick; Ansicht von dorsal und plantar	424
1.9	Fußknochen von lateral und medial; akzessorische Fußwurzelknochen	426
1.10	Hüftgelenk: artikulierende Knochen	428
1.11	Bandapparat des Hüftgelenks: Stabilisierung des Femurkopfes	430
1.12	Ernährung des Femurkopfes	432
1.13	Schnittbild- und Röntgenanatomie des Hüftgelenks. Typische Erkrankung des alten Menschen: Schenkelhalsfrakturen	434
1.14	Schnittbildanatomie des Hüftgelenks: Sonografische Darstellung eines Hüftgelenkergusses	436
1.15	Bewegungen und Biomechanik des Hüftgelenks	438
1.16	Entwicklung des Hüftgelenks	440
1.17	Kniegelenk: artikulierende Knochen	442
1.18	Übersicht über den Bandapparat	444
1.19	Kreuz- und Kollateralbänder	446
1.20	Menisken	448
1.21	Gelenkkapsel und -höhle	450
1.22	Messung des Bewegungsumfanges und Funktions- untersuchung des Kapsel-Band-Apparates	452
1.23	Ruptur des vorderen Kreuzbandes	454
1.24	Schnittbildanatomie des Knies	456
1.25	Fußgelenke: artikulierende Knochen und Gelenke im Überblick	458
1.26	Gelenkflächen	460
1.27	oberes und unteres Sprunggelenk	462
1.28	Bandapparat des Fußes	464
1.29	Bewegungsachsen und Bewegungen am Fuß	466
1.30	Fußgewölbe im Überblick und Quergewölbe	468
1.31	Längsgewölbe des Fußes	470
1.32	Sesambeine und plantare Platten der Zehengrund- gelenke	472
1.33	Degenerative Erkrankungen des 1. Zehenstrahls (Hallux valgus, Hallux rigidus und Halux malleus)	474
1.34	Röntgen- und Schnittbildanatomie des Fußes	476
1.35	Der menschliche Gang	478

2 Systematik der Muskulatur

2.1	Einteilungsprinzipien	480
2.2	Hüft- und Gesäßmuskulatur: innere Hüftmuskeln	482

2.3	äußere Hüftmuskeln	484
2.4	Adduktorengruppe	486
2.5	Oberschenkelmuskulatur:	
	Extensorengruppe	488
2.6	Flexorengruppe	490
2.7	Unterschenkelmuskulatur:	
	Extensoren- und Fibularisgruppe	492
2.8	oberflächliche Flexorengruppe	494
2.9	tiefe Flexorengruppe	496
2.10	Kurze Fußmuskeln:	
	Fußrücken und Fußsohle (Groß- und Kleinzehenloge)	498
2.11	Fußsohle (Mittelloge)	500
2.12	Muskelfunktionen im Überblick:	
	Hüftgelenk	502
2.13	Kniegelenk	504
2.14	Sprunggelenke	506

3 Topografie der Muskulatur

3.1	Muskeln von Oberschenkel, Hüfte und Gesäßregion	
	von medial und vorne	508
3.2	von vorne; Ursprungs- und Ansatzflächen	510
3.3	von lateral und hinten	512
3.4	von hinten; Ursprungs- und Ansatzflächen	514
3.5	Muskeln des Unterschenkels	
	von lateral und vorne; Ursprungs- und Ansatz-	
	flächen	516
3.6	von hinten; Ursprungs- und Ansatzflächen	518
3.7	Sehnnenscheiden und Haltebänder des Fußes	520
3.8	Kurze Fußmuskeln von plantar:	
	Plantaraponeurose und oberflächliche Schicht	522
3.9	mittlere Schicht	524
3.10	tiefe Schicht sowie Muskelansätze und -ursprünge	526
3.11	Schnittanatomie: Ober-, Unterschenkel und Fuß	528

4 Systematik der Leitungsbahnen

4.1	Arterien	530
4.2	Venen	532
4.3	Lymphbahnen und Lymphknoten	534
4.4	Aufbau des Plexus lumbosacralis	536
4.5	Nerven des Plexus lumbalis:	
	Nn. iliohypogastricus, ilioinguinalis, genitofemoralis und cutaneus femoris lateralis	538
4.6	Nn. obturatorius und femoralis	540
4.7	Nerven des Plexus sacralis:	
	N. gluteus superior, N. gluteus inferior und N. cutaneus femoris posterior	542
4.8	N. ischiadicus (Übersicht und sensibles Innervationsgebiet)	544
4.9	N. ischiadicus (Verlauf und motorisches Innervationsgebiet)	546
4.10	N. pudendus und N. coccygeus	548

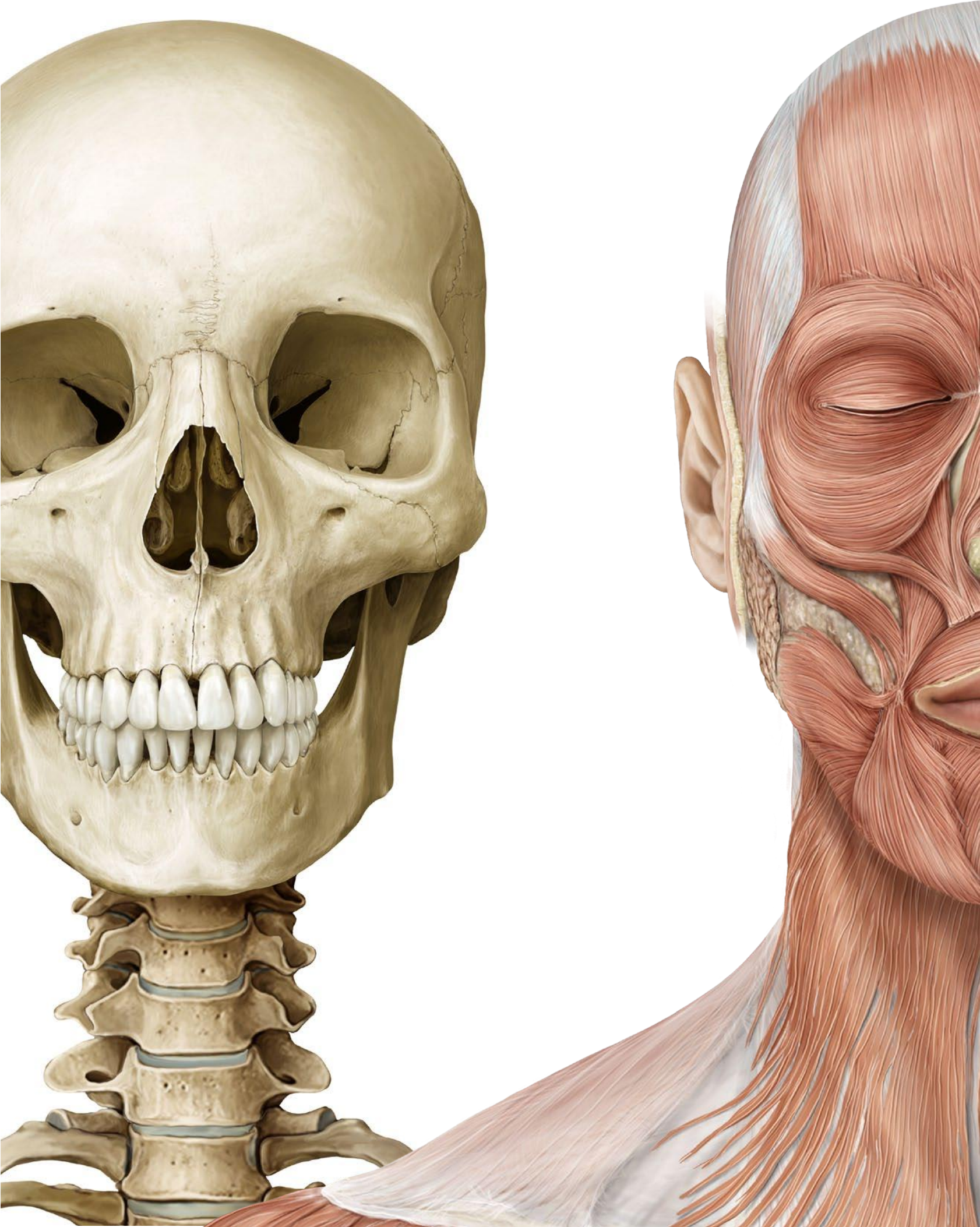
5 Topografie der Leitungsbahnen

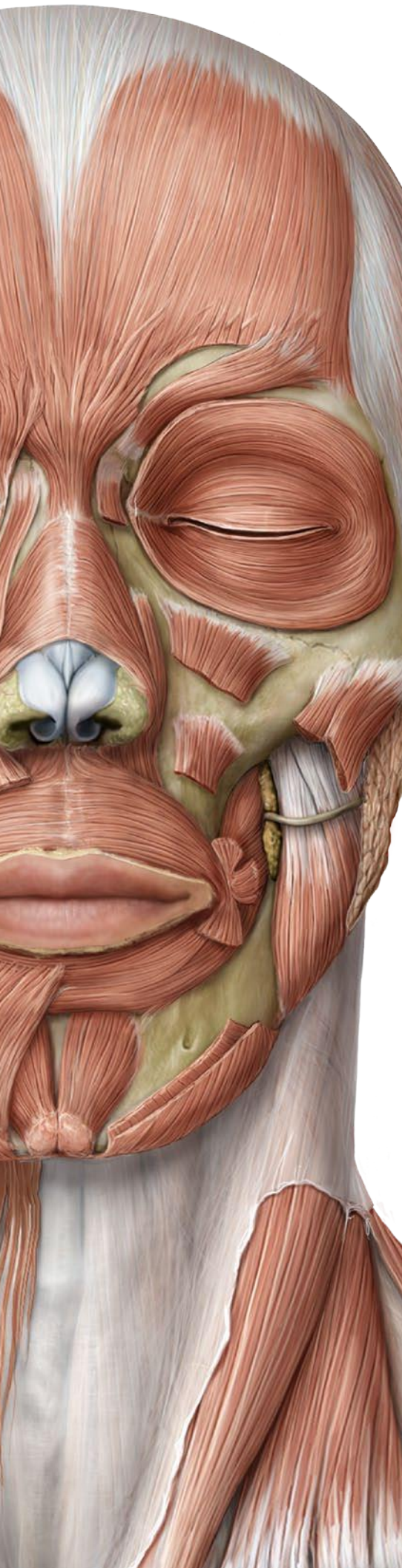
5.1	Oberflächenrelief und epifasziale Leitungsbahnen:	
	Ansicht von vorne	550
5.2	Ansicht von hinten	552
5.3	Vorderseite des Oberschenkels (Regio femoralis anterior mit Trigonum femorale)	554
5.4	Arterielle Versorgung des Oberschenkels	556
5.5	Gesäßregion (Regio glutealis):	
	Gefäße und Nerven im Überblick	558
5.6	Foramina ischiadica und N. ischiadicus	560
5.7	Fossa ischioanalis (infralevatorischer Raum)	562
5.8	Canalis pudendalis und Regio perinealis (Regio urogenitalis und Regio analis)	564
5.9	Rückseite des Oberschenkels (Regio femoris posterior) und der Knieregion (Regio genus posterior)	566
5.10	Rückseite des Unterschenkels (Regio cruris posterior) und mediale Knöchelregion (Regio retromalleolaris medialis)	568
5.11	Fußsohle (Planta pedis)	570
5.12	Vorderseite des Unterschenkels und Fußrückens (Regio cruris anterior und Dorsum pedis): Hautinnervation	572
5.13	Arterien des Fußrückens (Dorsum pedis)	574

Anhang

Literaturverzeichnis	579
----------------------	-----

Sachverzeichnis	581
-----------------	-----





A Allgemeine Anatomie

1	Stammes- und Entwicklungs- geschichte des Menschen	2
2	Der menschliche Körper im Überblick	22
3	Anatomie der Körperoberfläche und Orientierungshilfen am menschlichen Körper	26
4	Knochen und Knochenverbindungen	40
5	Muskeln	56
6	Gefäße	64
7	Lymphatisches System und Drüsen	70
8	Allgemeine Neuroanatomie	74

1.1 Stammesgeschichte des Menschen

A Kurzer Überblick über die stammesgeschichtliche Entwicklung des Menschen

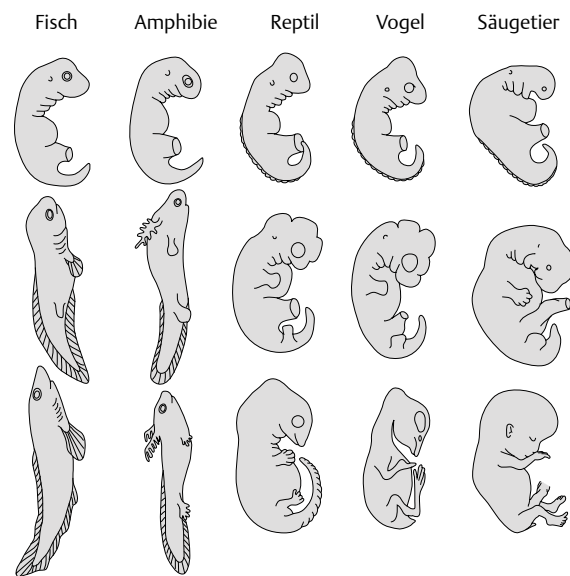
Um die Evolution des menschlichen Körpers besser zu verstehen, ist es sinnvoll, seine stammesgeschichtliche Entwicklung zurückzuverfolgen. Der Mensch und seine engsten Verwandten gehören zum **Stamm der Chordatiere (Chordata)** mit rund 50 000 Arten. Er besteht aus zwei Unterstämmen:

- *Invertebrata (Wirbellose)*: Manteltiere (Tunicata) und Schädellose (Acrania oder Cephalochordata) und
- *Vertebrata (Wirbeltiere)*.

Obwohl das Aussehen einzelner Vertreter der Chordaten stark voneinander abweicht, unterscheiden sie sich von allen anderen Tierstämmen durch charakteristische morphologische Strukturen, die zu irgendeinem Zeitpunkt im Leben dieser Tiere, manchmal nur während der Embryonalentwicklung, in Erscheinung treten (s. **G**). Wirbellose Chordaten wie die Cephalochordaten mit der bekanntesten Art, dem Lanzettfischchen (*Branchiostoma lanceolatum*), sind hinsichtlich ihrer Organisation als *Modell eines primitiven Wirbeltiers* zu betrachten. Sie liefern Hinweise für den Grundaufbau des Wirbeltierkörpers und sind daher für das Verständnis der gesamten Wirbeltierorganisation sehr wichtige Formen (s. **D**).

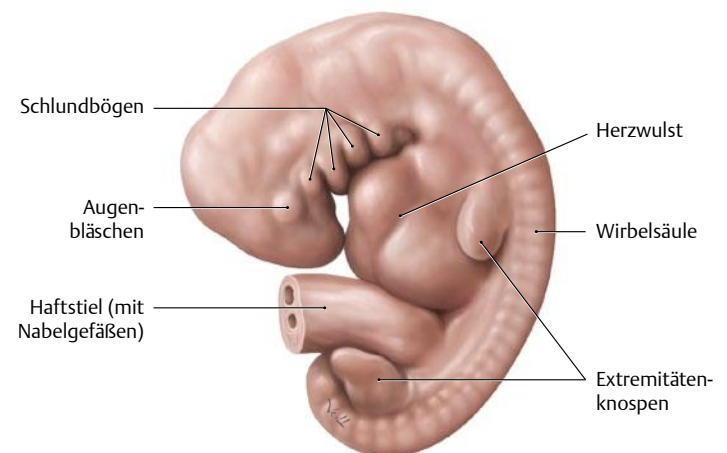
Alle **Vertreter der heutigen Wirbeltierklassen** (Kieferlose, Knorpelfische, Knochenfische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere) haben zahlreiche charakteristische Merkmale gemeinsam (s. **H**), u. a. die aus einer Reihe von Wirbeln aufgebaute *Wirbelsäule*, die der gesamten Gruppe ihren Namen gab (*Vertebrata*). Die Evolution eines *amniotischen Eies*, d. h. die Entwicklung des Embryos innerhalb einer festen Eischale und in einer mit Flüssigkeit gefüllten Amnionhöhle, verbesserte das Überleben der Wirbeltiere an Land und war somit ein besonders bedeutungsvoller Durchbruch während der Evolution. Diese Anpassung der Reproduktion ermöglichte den landlebenden Vertebraten (Reptilien, Vögel und Säugetiere), ihre Lebenszyklen vollständig an Land zu durchlaufen und die letzten Bindungen an ihre Herkunft aus dem Wasser zu lösen. Vergleicht man die Embryonen verschiedener Wirbeltierklassen, lassen sich zahlreiche morphologische und funktionelle Ähnlichkeiten erkennen, u. a. die Anlage von Kiemenbögen (s. **B**).

Innerhalb der **Säugetiere** werden **drei Hauptgruppen** unterschieden: Monotremata (Kloakentiere), Marsupialia (Beuteltiere) und Placentalia (Plazentatiere). Zu letzteren zählt auch der Mensch. Plazentatiere besitzen eine Reihe typischer Merkmale (s. **J**), u. a. investieren sie deutlich mehr Energie in die Pflege und Aufzucht ihrer Jungen. Plazentale Säugetiere beenden ihre Embryonalentwicklung innerhalb der Gebärmutter und sind während der gesamten intrauterinen Phase mit ihrer Mutter über die Plazenta verbunden. Der Mensch ist ein Angehöriger der **Säugetierordnung Primates (Herrentiere)**, deren erste Vertreter vermutlich kleine baumlebende Säugetiere waren. Zusammen mit den Halbaffen, den Affen und den Menschenaffen besitzt er Merkmale, die ihren Ursprung in der Anpassung an eine baumlebende Lebensweise haben. So besitzen Primaten z. B. bewegliche Schultergelenke, wodurch sie sich schwingend von Ast zu Ast hangeln können, geschickte Hände, mit denen sie sich an Ästen festhalten und Nahrung bearbeiten können, sowie sich breit überlappende Sehfelder beider Augen, welche das räumliche Sehen verbessern.



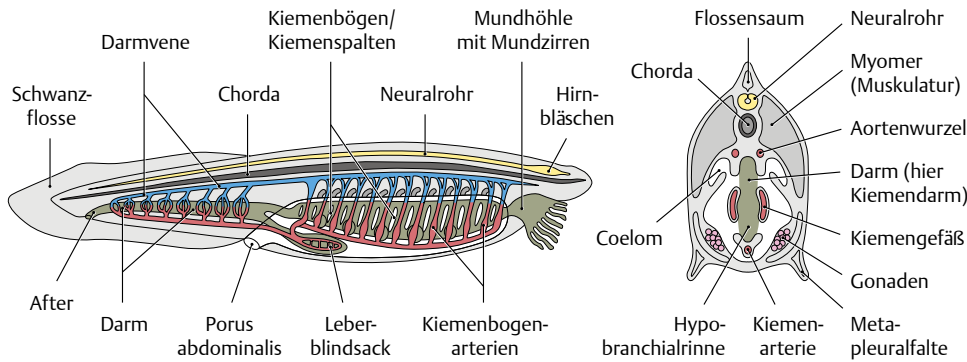
B Unterschiedliche Stadien der frühen Embryonalentwicklung von Wirbeltieren

Die frühen Entwicklungsstadien (obere Reihe) von Mensch, Vogel, Reptil, Amphibie und Fisch besitzen eine charakteristische Form, die praktisch für alle Wirbeltiere dieses Stadiums gleich ist. Auffallend ist die Übereinstimmung in der Gestalt, insbesondere bei der Anlage der Kiemen- bzw. Schlundbögen in der späteren Kopf-Hals-Region. Diese morphologische und funktionelle Ähnlichkeit von frühen Entwicklungsstadien weist auf Verwandtschaftsbeziehungen hin, d. h. die Keimentwicklung (Ontogenese) eines Wirbeltierorganismus stellt in gewisser Weise die kurze und schnelle Rekapitulation der Stammesentwicklung (Phylogenese) dar (Theorie der sog. „biogenetischen Grundregel“ von Ernst Haeckel, 1834–1919).



C Anlage der Schlund- bzw. Kiemenbögen bei einem fünf Wochen alten menschlichen Embryo

Ansicht von links. Die Schlund- bzw. Kiemenbögen sind (ähnlich wie die Somiten, die Ursegmente des embryonalen Mesoderms) *metamer* angelegte Grundstrukturen des Wirbeltierembryos. Das heißt, sie sind in hintereinander liegende, gleich gebaute Abschnitte gegliedert. Sie liefern u. a. das Anlagenmaterial für die artspezifische Entwicklung des Viszeralskeletts (Ober- und Unterkiefer, Mittelohr, Zungenbein und Kehlkopf), der dazugehörigen Gesichtsmuskulatur sowie des Schlunddarms (s. S. 11).

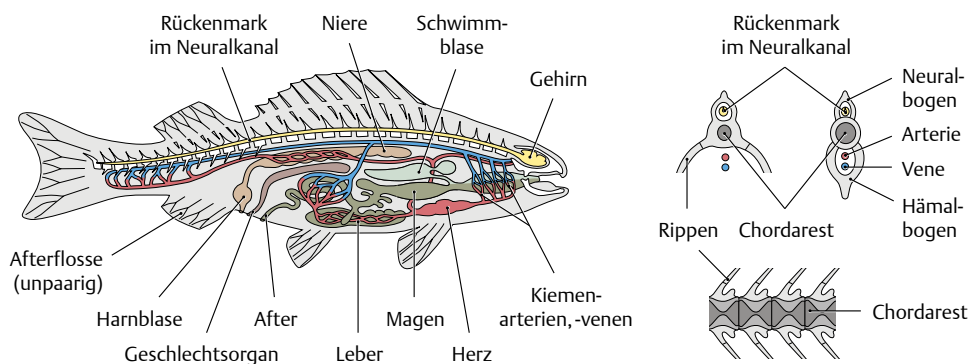


G Chordatenmerkmale

- Ausbildung eines Achsenskeletts (Chorda dorsalis)
- dorsal gelegenes Neuralrohr
- segmentale Gliederung des Körpers, insbesondere der Muskulatur
- von Spalten durchbrochener Vorderdarm (Kiemendarm)
- geschlossener Blutkreislauf
- hinter dem After (postanal) liegender Schwanz

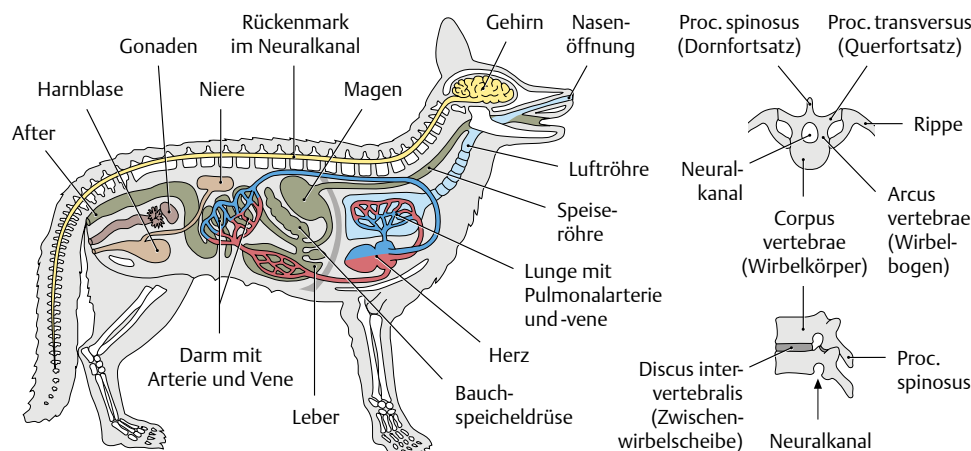
D Bauplan eines Chordaten: Lanzettfischchen (*Branchiostoma lanceolatum*)

Die Wirbeltiere (zu denen auch der Mensch gehört) sind ein Unterstamm der Chordatiere (Chordaten), deren typischer Vertreter das Lanzettfischchen ist. Es steht am Beginn der Evolution zu den Wirbeltieren. Zu den charakteristischen Baumerkmale der Chordaten gehört die Ausbildung eines Achsenskeletts, der Chorda dorsalis (Rückensaite). Auch beim Menschen sind noch Reste der Chorda dorsalis erhalten, z. B. im Nucleus pulposus der Bandscheiben. Die Chorda dorsalis wird beim Menschen allerdings nur während der Embryonalentwicklung angelegt und nicht fertig ausgebildet. Daraus können sich manchmal sog. *Chordome*, das sind entwicklungsbedingte Tumoren, entwickeln. Dorsal der Chorda ist das röhrenförmige Nervensystem angelegt. Der Körper und insbesondere die Muskulatur besteht aus mehreren Segmenten, den *Myomeren*. Diese myomere Gliederung ist beim Menschen besonders gut im Rumpfbereich zu erkennen. Ferner zeichnen sich Chordaten durch einen geschlossenen Blutkreislauf aus.



E Bauplan eines Wirbeltiers am Beispiel eines Knochenfisches

Die Wirbeltiere stellen den Unterstamm der Chordaten dar, aus denen sich der Mensch entwickelt hat. Am Beginn der Wirbeltierevolution stehen die Fische, bei denen die Chorda dorsalis zur Wirbelsäule umgebaut wurde. Die segmental angeordneten knöchernen Wirbel der Wirbelsäule umschließen ringförmig Reste der Chorda dorsalis und verdrängen diese mehr oder weniger. Von den Wirbelkörpern gehen dorsale und ventrale Bögen aus. Die dorsalen Bögen (Wirbel- oder Neuralbögen) bilden in ihrer Gesamtheit den Neuralkanal; die ventralen Bögen (Hämabögen) formen in der Schwanzregion einen Hämakanal für die großen Blutgefäße; in der Rumpregion sind sie Träger der Rippen.



F Bauplan eines Säugetiers am Beispiel eines Hundes

H Wirbeltiertypische Merkmale

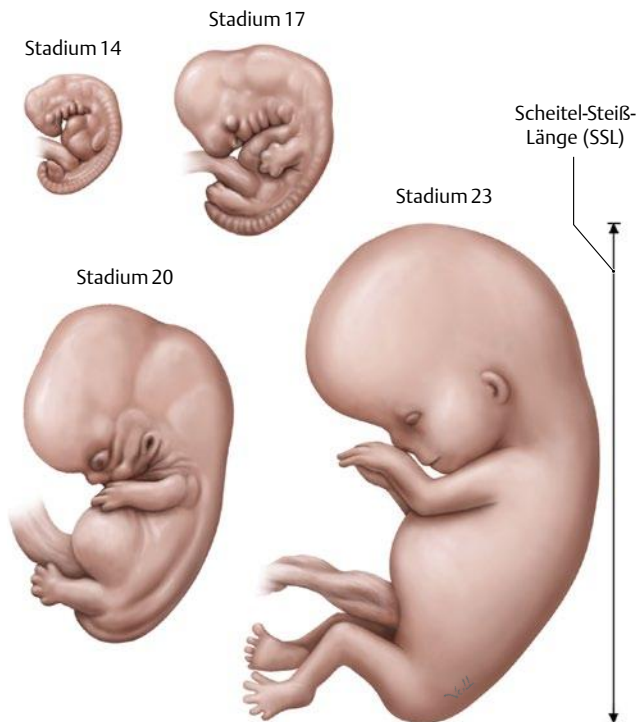
- Konzentration von Nervenzellen, Sinnesorganen und Mundwerkzeugen am Kopf (Zephalisation)
- mehrteiliges Gehirn mit Hypophyse
- Ersatz der Chorda dorsalis durch die Wirbelsäule
- in der Regel zwei Extremitätenpaare
- Ausbildung von Kiemenbögen
- Auftreten von Neuralleistenzellen
- geschlossener Blutkreislauf mit ventralem, gekammertem Herz
- Labyrinthorgan mit Bogengängen
- mehrschichtige Epidermis
- Leber und Pankreas stets vorhanden
- komplexe endokrine Organe wie Schilddrüse und Hypophyse
- komplexes Immunsystem
- Geschlechter fast stets getrennt

J Säugetiertypische Merkmale

- drüsenreiche, von echten Haaren (Terminalhaaren) bedeckte Haut
- weibliche Tiere stets mit Milchdrüsen zur Ernährung der Nachkommen, meistens lebend gebärend
- starke Entwicklung des Großhirns
- gut entwickelte Hautmuskulatur
- sekundäres Kiefergelenk aus Dentale und Squamosum
- das Zwerchfell wird zum wichtigsten Atemmuskel und trennt Brust- und Bauchhöhle
- meist spezialisiertes, heterodontes Gebiss, dessen Zähne in Alveolen sitzen
- vierkammeriges Herz mit einem (linken) Aortenbogen
- konstante Körpertemperatur (Homiothermie)

1.2 Entwicklungsgeschichte des Menschen: Überblick, Befruchtung und früheste Entwicklungsstadien

Neben der makroskopischen und mikroskopischen Anatomie ist die Entwicklungsgeschichte (Ontogenese) für das Verständnis des menschlichen Körpers von zentraler Bedeutung. Sie befasst sich mit der Bildung von Geweben (*Histogenese*), von Organen (*Organogenese*) und der Gestalt des Körpers (*Morphogenese*).



A Fünf bis acht Wochen alte menschliche Embryonen

Für die Frühentwicklung und die Embryonalperiode des Menschen haben Streeter (1942) und O'Rahilly (1987) eine Einteilung in 23 Stadien vorgenommen, die auf Exemplaren der Carnegie-Sammlung aufbaut. Die Carnegie-Stadien sind charakterisiert durch das Alter (Befruchtungsalter), die Größe (ab der 5. Woche als Scheitel-Steiß-Länge, SSL) und durch ein definiertes Entwicklungsstadium.

Stadium 14: 5. Woche, SSL 8 mm, Nackenbeuge liegt über der Scheitelbeuge;

Stadium 17: 6. Woche, SSL 13 mm, Fingerstrahlen werden sichtbar;

Stadium 20: 7. Woche, SSL 18 mm, Arme gewinkelt, Hände in Pronationsstellung;

Stadium 23: 8. Woche, SSL 30 mm, Proportionen der Extremitäten ausgebildet.

B Längenwachstum und Gewichtsentwicklung in der Fetalperiode

Alter (Wochen)	Scheitel-Steiß-Länge, SSL (cm)	Gewicht (g)
9–12	5–8	10–45
13–16	9–14	60–200
17–20	15–19	250–450
21–24	20–23	500–820
25–28	24–27	900–1300
29–32	28–30	1400–2100
33–36	31–34	2200–2900
37–38	35–36	3000–3400

C Überblick über die zeitliche Abfolge der menschlichen Entwicklung

(Die Carnegie-Stadien sind in Klammern angegeben.)

1.–3. Woche: Frühentwicklung

- 1. Woche: Tubenwanderung, Furchung und Blastozystenbildung (Stadium 1–3)
- 2. Woche: Implantation und zweiblättrige Keimscheibe, Dottersack (Stadium 4–5)
- 3. Woche: dreiblättrige Keimscheibe, Neurulationsbeginn (Stadium 6–9)

4.–8. Woche: Embryonalperiode

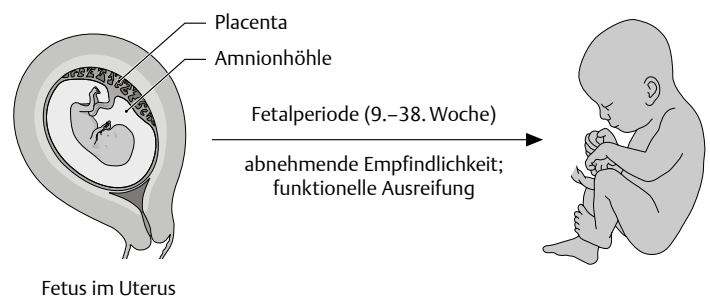
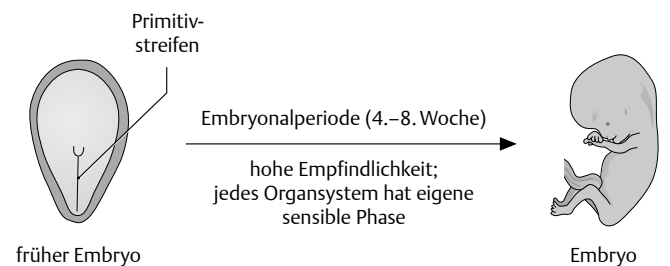
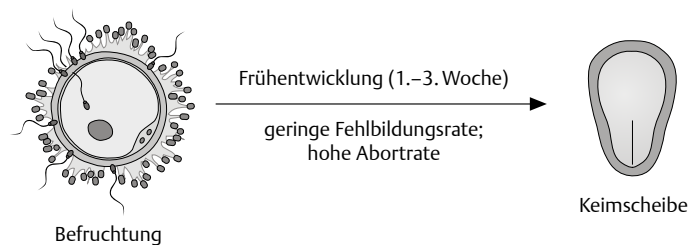
- 4. Woche: Abfaltung des Keimes, Neurulation beendet, Axialorgane, Körpergrundgestalt (Stadium 10–13)
- 5.–8. Woche: Organogenese (alle wesentlichen äußeren und inneren Organe sind angelegt, Extremitätenproportionen ausgebildet) (Stadium 14–23)

9.–38. Woche: Fetalperiode

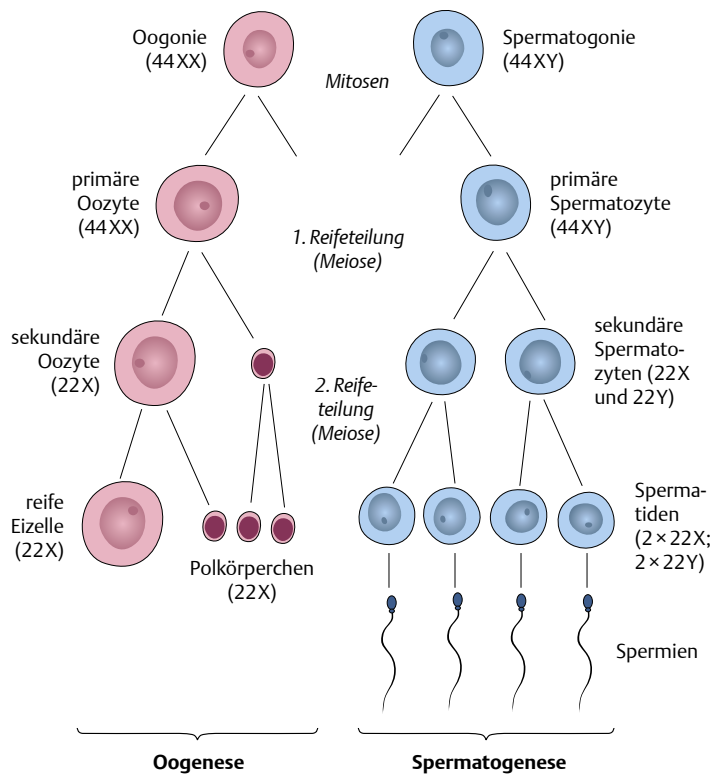
- 9.–38. Woche: Organwachstum und funktionelle Ausreifung (geschlechtsspezifische Differenzierung des äußeren Genitales)

Schwangerschaftsdauer bzw. Tragzeit

- p. o. = post ovulationem: 266 Tage = 38 Wochen (Befruchtungsalter)
- p. m. = post menstruationem: 280 Tage = 40 Wochen (Menstruationsalter)



D Sensible Phasen gegenüber Teratogenen (nach Sadler)

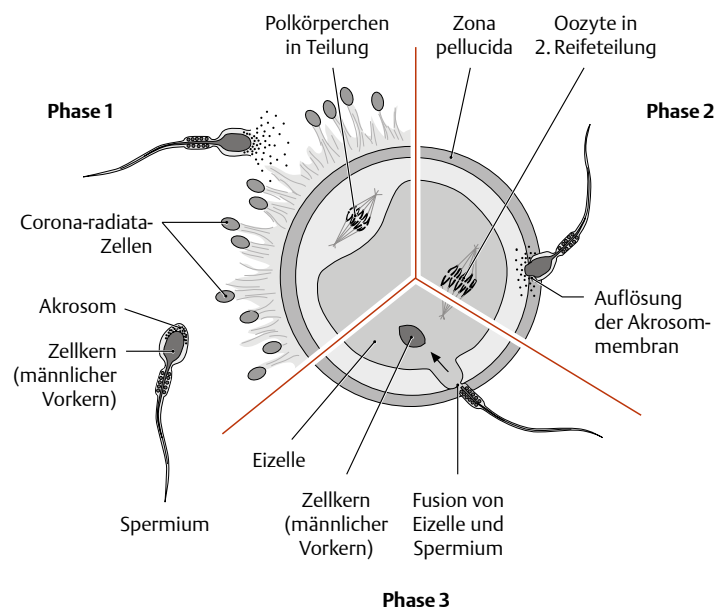


E Bildung von Eizelle und Spermien (nach Sadler)

Während der Bildung von Geschlechtszellen entstehen durch zwei aufeinander folgende Zellteilungen (1. und 2. meiotische Reifeteilung) Zellen mit halbiertem (haploidem) Chromosomensatz. Bei der Befruchtung entsteht wieder ein diploider Chromosomensatz. Der eigentliche Sinn der Meiose ist der Umbau und die Neukombination der Chromosomen, d. h. die Durchmischung des genetischen Materials.

Oogenese: Aus den Oogonien entstehen zunächst mitotisch primäre Oozyten, die noch einen diploiden Chromosomensatz (44XX) aufweisen. Die primären Oozyten durchlaufen im Folgenden die 1. und 2. meiotische Reifeteilung, die zu vier haploiden Zellen (22X) führen: eine reife Eizelle und drei Polkörperchen.

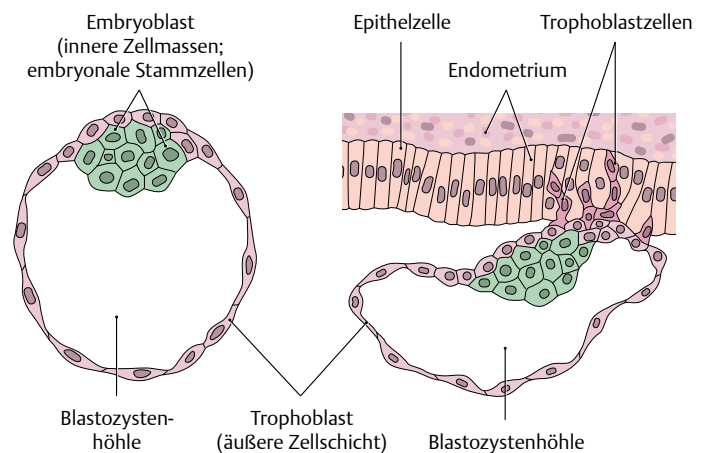
Spermatogenese: Diploide Spermatogonien teilen sich mitotisch und bilden primäre Spermatozyten (44XY), die sich meiotisch teilen und vier haploide Spermatischen Zellen liefern, von denen jeweils zwei ein X-Chromosom (22X) und zwei ein Y-Chromosom (22Y) aufweisen. Aus den Spermatischen Zellen entwickeln sich die beweglichen Spermien (Spermatohistogenese).



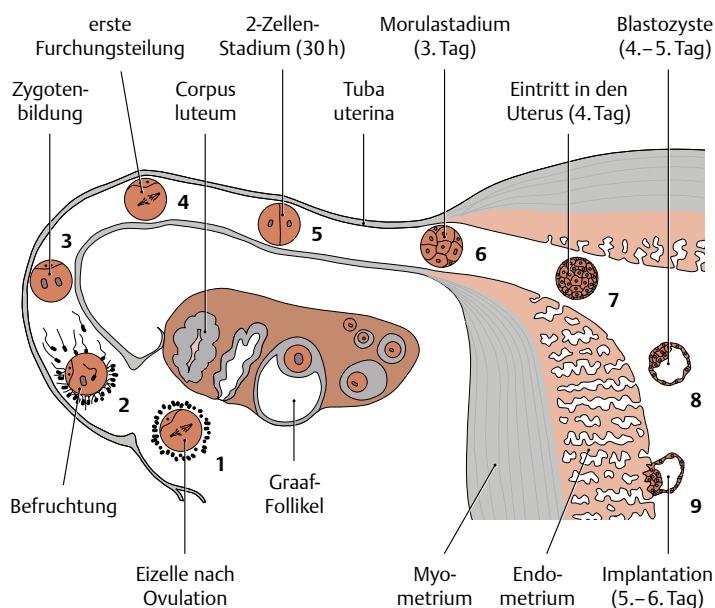
F Schematische Darstellung des Befruchtungsvorganges

(nach Sadler)

In der 1. Phase durchdringt das Spermium die Corona-radiata-Zellen, in der 2. Phase löst sich das Akrosom auf, und die Zona pellucida wird enzymatisch angegriffen. In der 3. Phase verschmelzen die Zellmembranen von Ei- und Samenzelle, und das Spermium gelangt in die Eizelle.



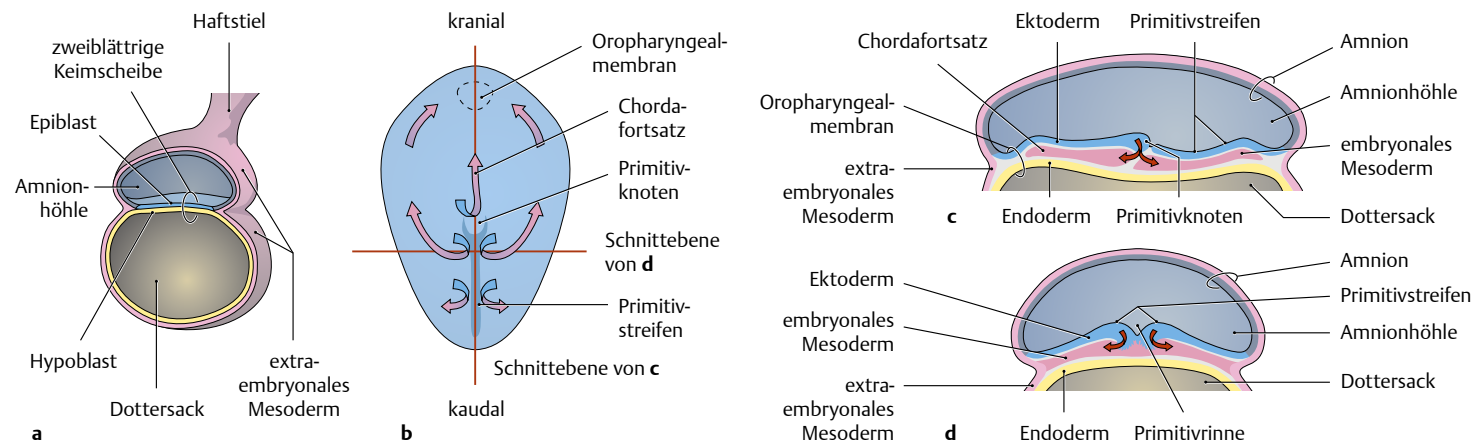
G Implantation der Blastozyste in die Uterusschleimhaut am 5./6. Tag p. o. (nach Sadler)



H Schematische Darstellung der Entwicklungsvorgänge während der 1. Woche der Frühentwicklung (nach Sadler)

1. Eizelle direkt nach erfolgter Ovulation
2. Befruchtung innerhalb von ca. 12 Stunden
3. männlicher und weiblicher Vorkern mit anschließender Zygottenbildung
4. erste Furchungsteilung
5. 2-Zellen-Stadium
6. Morulastadium
7. Eintritt in das Uteruslumen
8. Blastozyste
9. Beginn der Implantation

1.3 Entwicklungsgeschichte des Menschen: Gastrulation, Neurulation und Somitenbildung



A Bildung der dreiblättrigen Keimscheibe (Gastrulation) am Beginn der 3. Woche p. o. beim Menschen (nach Sadler)

Das Ergebnis der Gastrulation ist die Differenzierung der Zellschichten in Ekto-, Endo- und Mesoderm, aus denen sämtliche Strukturen des menschlichen Körpers hervorgehen (z. B. geht die Anlage des Zentralnervensystems und der Sinnesorgane aus dem Ektoderm hervor). Darüber hinaus werden infolge der Gastrulation alle Körperachsen (ventral-dorsal, kranial-kaudal und links-rechts) festgelegt.

a Sagittalschnitt durch eine Embryonalanlage am Ende der 2. Woche.

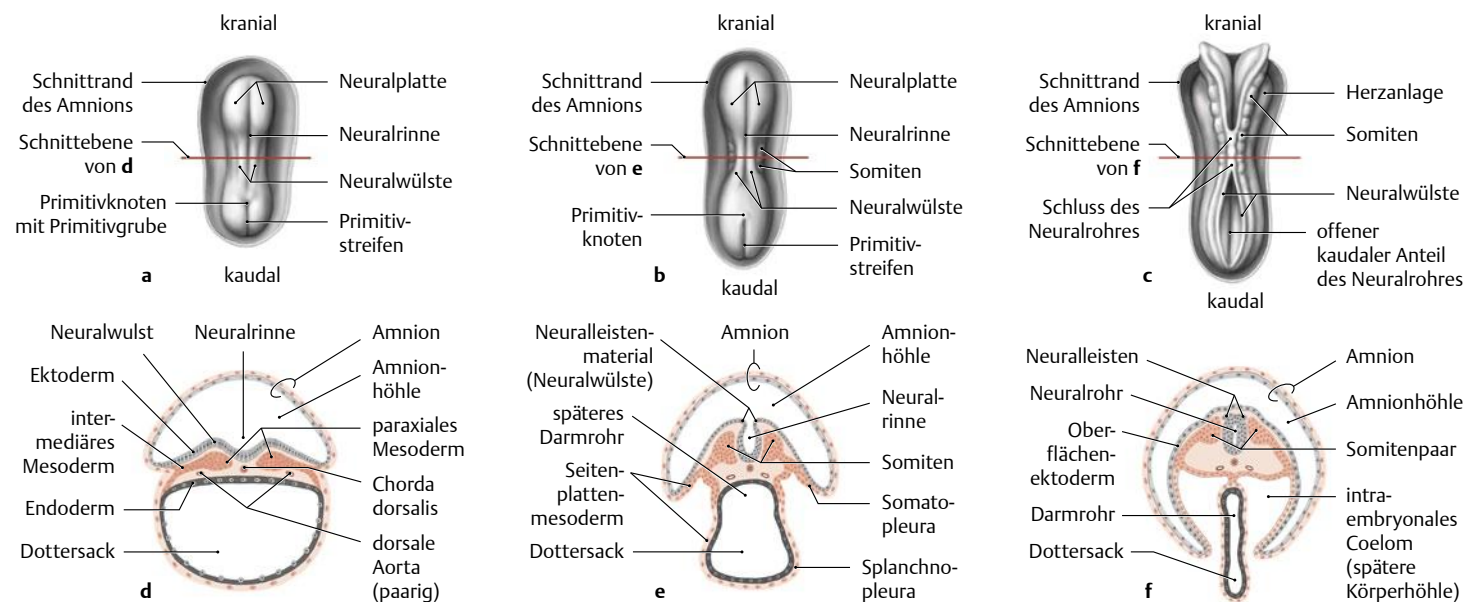
Die noch zweiblättrige Keimscheibe ist zwischen Amnionhöhle und Dottersack ausgespannt. Das extraembryonale Mesoderm, dessen Bildung am hinteren Pol der Keimscheibe beginnt, überzieht von außen bereits die gesamte Embryonalanlage, die über den Haftstiel mit der Chorionhöhle verbunden ist.

b Aufsicht auf eine menschliche Keimscheibe am Beginn der Gastrulation. Mit Beginn der 3. Woche bildet sich als Auftakt der Gastrula-

tion im Epiblast zunächst der Primitivstreifen, in dem das embryonale Mesoderm entsteht und zwischen Epiblast und Hypoblast auswandert (die Pfeile zeigen die verschiedenen Richtungen der Mesoderm-invagination). Kurz darauf wächst aus dem Epiblast auf der Höhe des Primitivknotens, d. h. an der kranialen Spitze des Primitivstreifens, der Chorda- und Primitivfortsatz nach kranial, und – diesen flankierend – das definitive Endoderm in radiärer Richtung. Dabei ersetzt das definitive Endoderm sukzessive den Hypoblast, während der Chorda- und Primitivfortsatz nur vorübergehend in die Hypoblastschicht eingegliedert wird. Der Chorda- und Primitivfortsatz erstreckt sich in kranio-kaudaler Richtung vom Primitivknoten bis zur Oropharyngealmembran (das Amnion ist entfernt).

c Sagittalschnitt durch die Keimscheibe entlang des Chorda- und Primitivfortsatzes.

d Transversalschnitt durch die Keimscheibe auf Höhe der Primitivrinne (die Pfeile in c und d zeigen die Richtung der mesodermalen Gastrulationsbewegungen).



B Neurulation im Verlauf der menschlichen Frühentwicklung (nach Sadler)

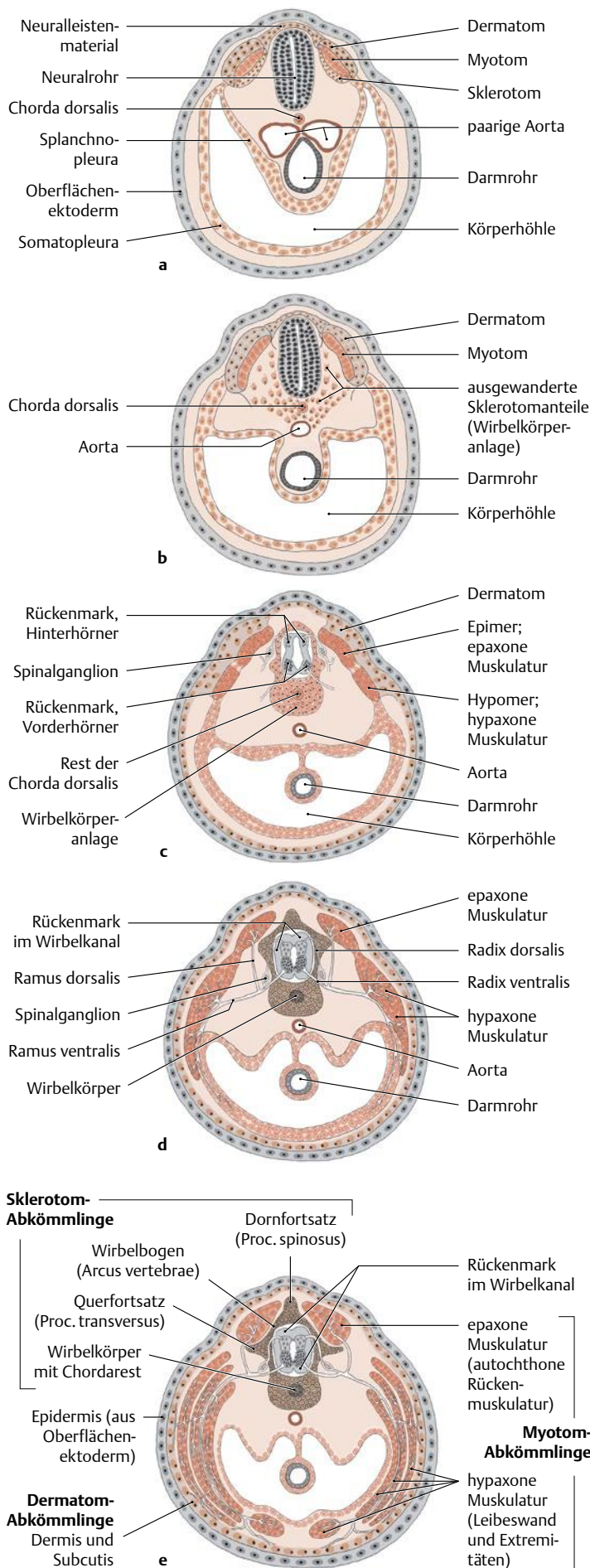
a–c Ansicht von dorsal nach Entfernung des Amnions.

d–f Schematisierte Transversalschnitte der entsprechenden Stadien auf Höhe der in a–c angegebenen Schnittebenen; Altersangaben p. o. Während der Neurulation trennt sich durch induktive Einflüsse der Chorda dorsalis das Neuroektoderm vom Oberflächen-ektoderm.

a u. d 19 Tage alte Keimscheibe, im Bereich der Neuralplatte entwickelt sich die Neuralrinne.

b u. e 20 Tage alte Keimscheibe, die ersten Somiten haben sich gebildet und die Neuralrinne beginnt sich zum Neuralrohr zu schließen, beginnende Abfaltung des Keimes.

c u. f 22 Tage alter Embryo, beidseits des teilweise geschlossenen und in die Tiefe verlagerten Neuralrohrs kann man acht Somitenpaare erkennen. Das Neuralleistenmaterial beginnt auszuwandern und die spätere Körperhöhle (Coelom) bildet sich.



C Somitenderivate und Bildung der Spinalnerven während der Embryonalperiode (4.–8. Woche) an schematisierten Querschnitten (nach Drews)

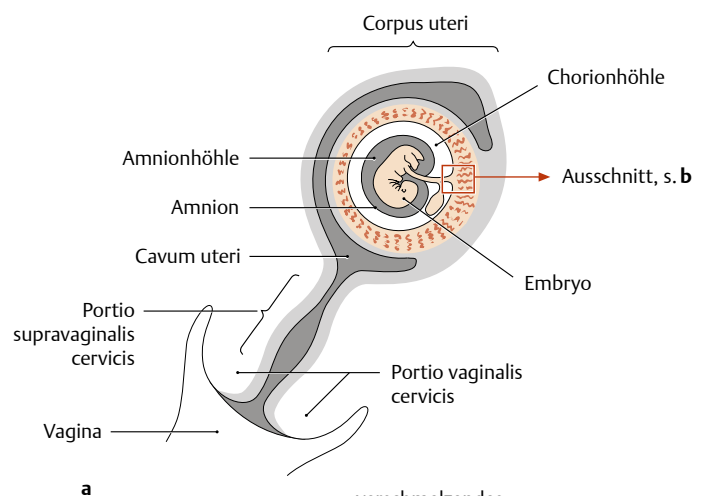
D Differenzierung der Keimblätter (nach Christ u. Wachtler)

Ektoderm	Neuralrohr		Gehirn, Retina, Rückenmark
	Neuralleiste	Kopfneuralleiste	sensible und parasymphatische Ganglien, intramurales Nervensystem des Darmes, parafofollikuläre Zellen, glatte Muskulatur, Pigmentzellen, Glomus caroticum, Knochen, Knorpel, Bindegewebe, Dentin und Zement der Zähne, Dermis und Unterhaut im Kopfbereich
		Rumpfneuralleiste	sensible und autonome Ganglien, periphere Glia, Nebennierenmark, Pigmentzellen, intramurale Plexus
	Oberflächenektoderm	ektodermale Plakoden	Adenohypophyse, kraniale sensorische Ganglien, Riechepithel, Innenohr, Linse
			Schmelzorgan der Zähne, Epithel von Mundhöhle, Speicheldrüsen, Nasenhöhlen, Nasennebenhöhlen, Tränenwege, äußerer Gehörgang, Epidermis, Haare, Nägel, Hautdrüsen
Mesoderm	axial	Chorda dorsalis, prächordales Mesoderm	äußere Augenmuskeln
	paraxial		Wirbelsäule, Rippen, Skelettmuskulatur, Bindegewebe, Dermis und Subkutis des Rückens und eines Teils des Kopfes, glatte Muskulatur, Blutgefäße
	intermediär		Nieren, Keimdrüsen, renale und genitale Ausführungsgänge
	Seitenplattenmesoderm	viszeral (Splanchnopleura)	Herz, Blutgefäße, glatte Muskulatur, Darmwand, Blut, Nebennierenrinde, viszerale Serosa
		parietal (Somatopleura)	Brustbein, Extremitäten ohne Muskulatur, Dermis und Unterhaut der ventrolateralen Körperwand, glatte Muskulatur, Bindegewebe, parietale Serosa
Endoderm			Epithel von Darmrohr, Respirationstrakt, Verdauungsdrüsen, Pharynxdrüsen, Ohrtrompeten, Paukenhöhle, Harnblase, Thymus, Nebenschilddrüsen, Schilddrüse

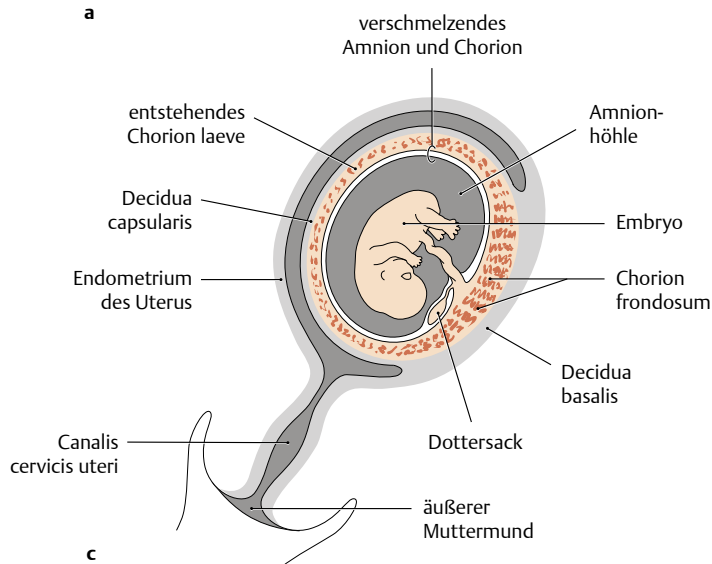
(Im Interesse der Übersichtlichkeit ist das umgebende Amnion nicht dargestellt.) Im Alter von ca. 20 Tagen (p. o.) entstehen die ersten Somitenpaare, am Tag 30 sind sämtliche (ca. 34–35) Somiten („Ursegmente“) gebildet.

- Mit Beginn der Differenzierung gliedern sich diese Somiten jeweils in ein Dermatom, ein Myotom und ein Sklerotom (also ein Haut-, Muskel- und Wirbelsegment).
- Am Ende der 4. Woche wandern die Sklerotomzellen in Richtung Chorda dorsalis und bilden die Anlage der Wirbelsäule.
- Das Neuralrohr (Vorstufe von Rückenmark und Gehirn) differenziert sich zur Rückenmarksanlage mit Vorder- und Hinterhörnern. Aus dem Neuralleistenmaterial (erste Anlage des PNS) entwickeln sich u. a. die Spinalganglienzellen mit einem sensiblen, zentralen (*Radix dorsalis*) und einem peripheren Fortsatz. Aus den Vorderhornzellen wachsen die motorischen Neurone (*Radix ventralis*) aus. Die Myotome gliedern sich in einen dorsal gelegenen Teil (Epimer; epaxone Muskulatur) und einen ventral gelegenen Teil (Hypomer; hypaxone Muskulatur).
- Radix dorsalis* und *ventralis* vereinigen sich und bilden jeweils den Spinalnerv, der sich u. a. in zwei Hauptäste (*Ramus dorsalis* und *Ramus ventralis*) aufteilt. Die epaxone Muskulatur wird vom R. dorsalis, die hypaxone Muskulatur vom R. ventralis versorgt.
- Querschnitt auf Höhe der späteren Bauchmuskulatur. Die epaxone Muskulatur wird zur autochthonen Rückenmuskulatur (*M. erector spinae*), die hypaxone Muskulatur entwickelt sich u. a. zur seitlichen (*Mm. obliqui abdominis externus und internus*, *M. transversus abdominis*) und vorderen Bauchmuskulatur (*M. rectus abdominis*).

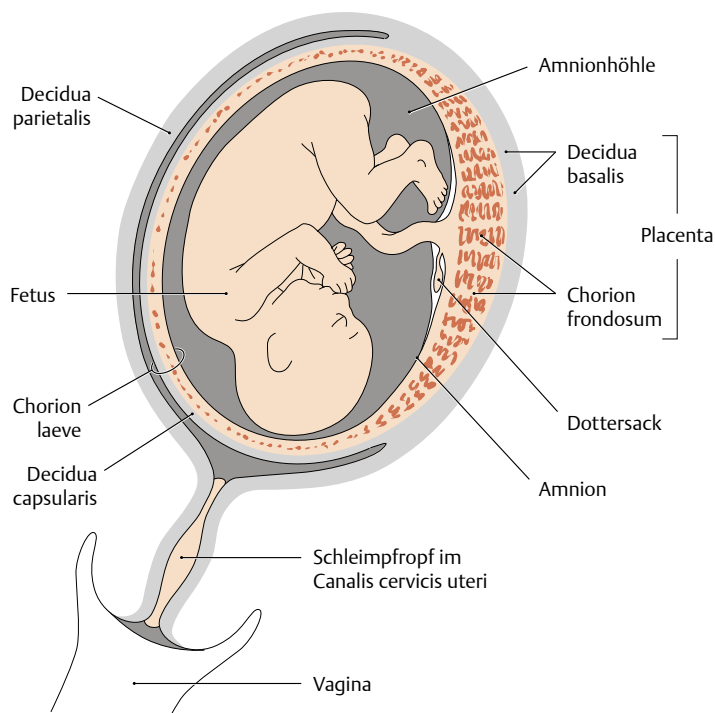
1.4 Entwicklungsgeschichte des Menschen: Entwicklung von Eihäuten und Placenta



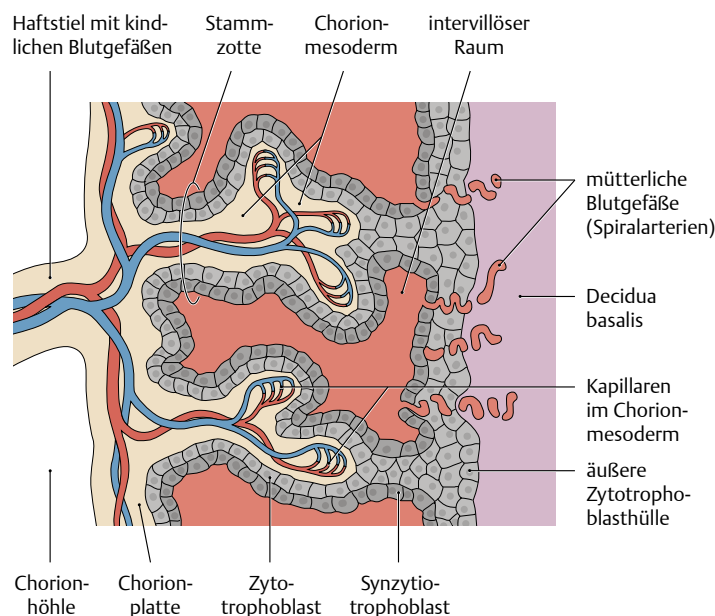
a



c



d



b

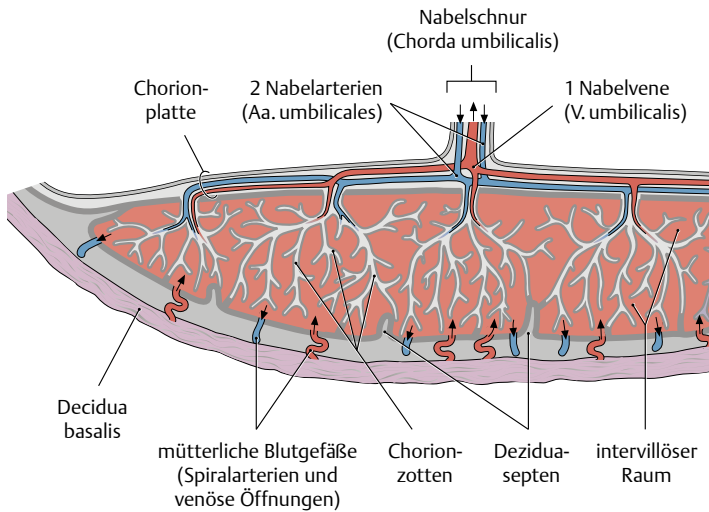
A Entwicklung von Eihäuten und Placenta (nach Sadler und Drews)
a, c u. d Schematisierte Schnitte durch einen graviden Uterus unterschiedlichen Alters; b Ausschnittsvergrößerung aus a.

a Fünf Wochen alter Embryo: Nach Implantation der Blastozyste in die Uterusschleimhaut wird die Ernährung des Embryos zunächst durch Differenzierung des Trophoblasten und des Chorionmesoderms sichergestellt. Es bilden sich Chorionzotten, welche die gesamte Chorionblase mit dem Keim umgeben. Sie entwickeln sich von primären zu sekundären und anschließend zu tertiären Zotten (s. Ausschnittsvergrößerung b).

b Ausschnittsvergrößerung aus a: Die Stammzotten der Chorionplatte sind auf der mütterlichen Seite mit kompakten Zytotrophoblastsäulen in der Basalplatte der Decidua basalis verankert. Sie weisen ebenso wie die aus ihnen aussprossenden und sich verzweigenden Zottenbäumchen einen synzytialen Überzug auf (Synzytiotrophoblast). Dieser ruht wiederum auf einer durchgehenden Schicht aus Zytotrophoblastzellen. Im Inneren der Zotten haben sich im Chorionmesoderm Kapillaren entwickelt, die ihrerseits mit den Gefäßen im Haftstiel in Verbindung stehen. Das mütterliche Blut strömt über Spiralarterien in die intervillösen Räume.

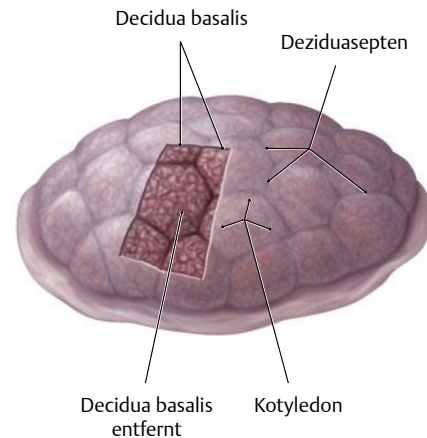
c Acht Wochen alter Embryo: Während die Chorionzotten am embryonalen Pol weiter wachsen und sich buschartig verzweigen (Chorion frondosum), gehen sie am abembryonalen Pol zugrunde, und es entsteht unmittelbar unter der Decidua capsularis das zottenlose Chorion laeve. Die Amnionhöhle hat sich auf Kosten der Chorionhöhle ausgeweitet, und das Amnion verschmilzt mit dem Chorion.

d 20 Wochen alter Fetus: Die voll ausgebildete Placenta besteht aus zwei Anteilen, einem fetalen Anteil, der vom Chorion frondosum gebildet wird, und einem mütterlichen Anteil, der Decidua basalis.



B Schematisierter Querschnitt durch eine reife menschliche Placenta

Die reife Placenta hat die Gestalt eines flachen Topfes, wobei der „Topfboden“ von der mütterlichen Decidua basalis (Basalplatte), der „Deckel“ von der fetalen Chorionplatte gebildet wird. Von der Chorionplatte ragen etwa 40 stark verzweigte und fetal vaskularisierte Zottenbäume in den mit mütterlichem Blut gefüllten Plazentaanteil (intervillöse Räume). Das mütterliche Blut strömt über etwa 80–100 Spiralarterien in die intervillösen Räume, die durch Deziduasepten unvollständig in Kotyledonen gekammert sind. Nachdem das Blut die Zotten umströmt hat, wird es über unregelmäßig verteilte venöse Öffnungen im Bereich der Basalplatte wieder aufgenommen und in den mütterlichen Kreislauf zurückgeleitet.



C Placenta nach der Geburt (nach Sadler)

Ansicht der mütterlichen Seite (an einem Teilstück ist die Decidua basalis entfernt). Die Kotyledonen wölben sich vor und sind untereinander durch mütterliche Deziduasepten getrennt.

E Daten der reifen menschlichen Placenta

Größe:	18–23 cm Durchmesser 2–3 cm Dicke
Gewicht:	450–500 g
Volumen der gesamten Placenta:	ca. 500 ml
Volumen der intervillösen Räume:	ca. 150 ml
Zottenoberfläche:	ca. 11–13 m ²
Blutcirculation der mütterlichen Seite:	500–600 ml/min

Aufbau der Plazentaschranke

- Endothel der fetalen Blutkapillaren und Basallamina
- bindegewebiges Zottenstroma
- Synzytiotrophoblast und Basallamina
- (bis zur 20. Woche zusätzlich noch der Zytotrophoblast als durchgehende Zellschicht)

Diffusionsstrecke: ca. 5 µm (zu Beginn ca. 50 µm)

Hauptaufgaben der reifen Placenta

1. Stofftransport und Austausch von Stoffwechselprodukten

Mutter – Fetus

O₂, Wasser, Elektrolyte, Kohlenhydrate, Aminosäuren und Lipide, Hormone, Antikörper sowie Vitamine und Spurenelemente, aber auch Drogen, Gifte, einige Viren

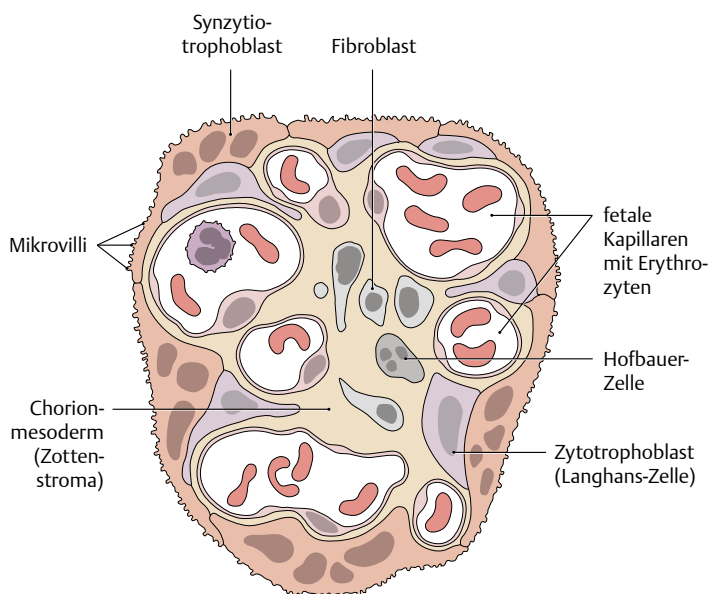
Fetus – Mutter

CO₂, Wasser, Elektrolyte, Harnstoff, Harnsäure, Bilirubin, Creatinin, Hormone

2. Hormonbildung (Synzytiotrophoblast)

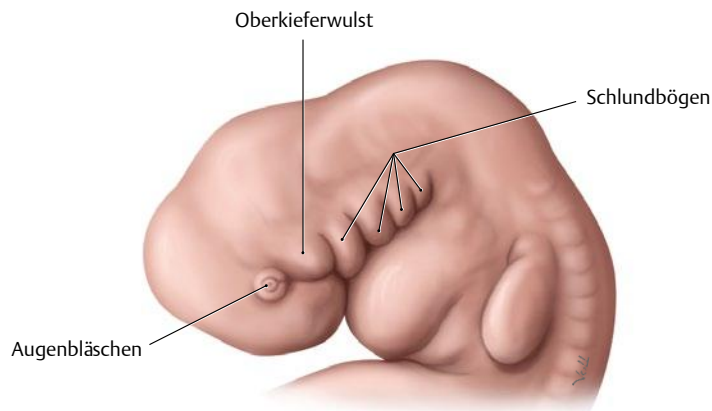
- humanes Choriongonadotropin (HCG)
→ Aufrechterhaltung des Corpus luteum
- Östrogene
→ Wachstum des Uterus und der Mamma
- Progesteron
→ Ruhigstellung der Uterusmuskulatur

Klinischer Hinweis: Das im Synzytiotrophoblasten gebildete HCG verhindert den vorzeitigen Abbau des Corpus luteum und sichert die Schwangerschaft. Der Nachweis von HCG im Harn schwangerer Frauen ist bereits frühzeitig möglich und Grundlage des Schwangerschaftstests.



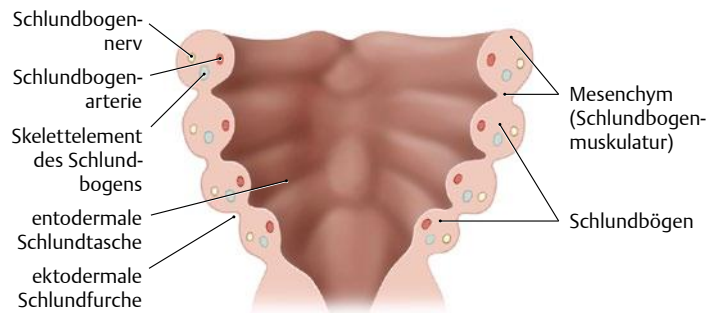
D Querschnitt durch eine Terminalzotte aus der reifen menschlichen Placenta (nach Kaufmann)

1.5 Die Entwicklung der Schlund-(Kiemen-)Bögen beim Menschen



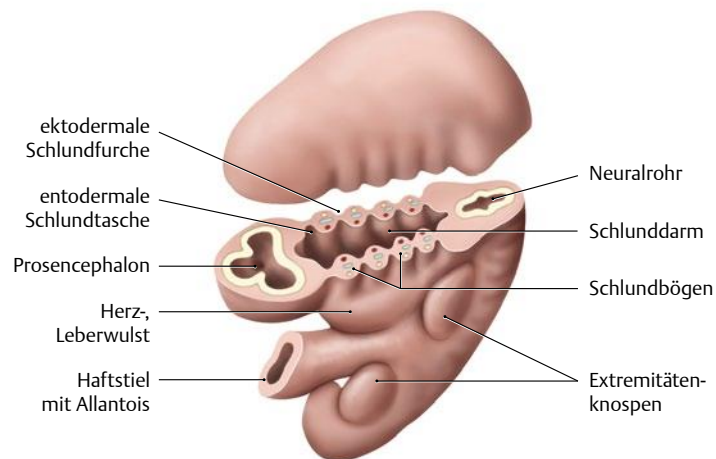
A Kopf- und Halsregion eines fünf Wochen alten menschlichen Embryos mit Darstellung der Schlundbögen und -furchen

Ansicht von links. Die Schlundbögen spielen eine wichtige Rolle bei der Ausbildung des Halses und des Gesichts. Bei *Fischen und Amphibienlarven* entwickeln sich die Kiemenbögen zu einem Atmungsorgan (Kiemen) für den Sauerstoff- bzw. Kohlendioxidaustausch zwischen Blut und Wasser. Bei *landlebenden Wirbeltieren* (einschließlich des Menschen) werden demgegenüber keine echten Kiemenbögen, sondern *Schlundbögen* ausgebildet. Die Entwicklung der Schlundbögen beginnt in der 4. Embryonalwoche mit dem Auswandern von Zellen aus der Neuralleiste in die zukünftige Kopf- und Nackenregion. Innerhalb von einer Woche entstehen nacheinander vier schräg verlaufende Wülste (1.–4. Schlundbogen), deren Vorwölbungen auf Höhe des kranialen Vorderdarmabschnittes liegen und außen durch tiefe Furchen (Schlundfurchen) getrennt werden. Schlundbögen und -furchen bestimmen das Aussehen des Embryos in dieser Phase. Der 5. Schlundbogen wird beim Menschen gar nicht mehr angelegt, das Anlagenmaterial des 6. Schlundbogens hingegen in den 4. mit einbezogen.



C Aufbau der Schlundbögen (nach Drews)

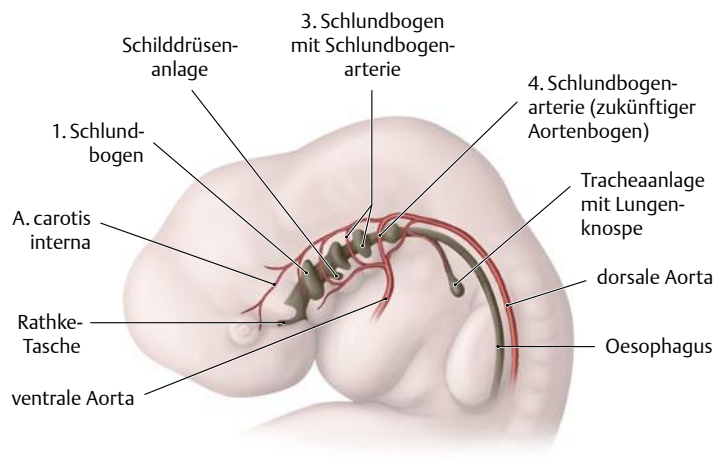
Aufsicht auf den Boden des Schlunddarms und die quergeschnittenen Schlundbögen: Auf diese Weise werden die typischen Bestandteile eines Schlundbogens gut sichtbar: Schlundbogenarterie, Schlundbogenmuskulatur mit dazugehörigem Schlundbogenerv sowie dem jeweiligen knorpeligen Skelettelement des Schlundbogens. Die entsprechenden Derivate dieses Anlagenmaterials sind wesentlich an der Bildung von Gesicht, Hals, Kehlkopf und Pharynx beteiligt. Fehlbildungen der Kopf- und Halsregion (wie z. B. laterale Halsfisteln oder branchiogene Zysten) müssen daher immer im Zusammenhang mit fehlerhaften Transformationsprozessen gesehen werden.



B Querschnitt durch einen menschlichen Embryo auf Höhe des Schlunddarms (nach Drews)

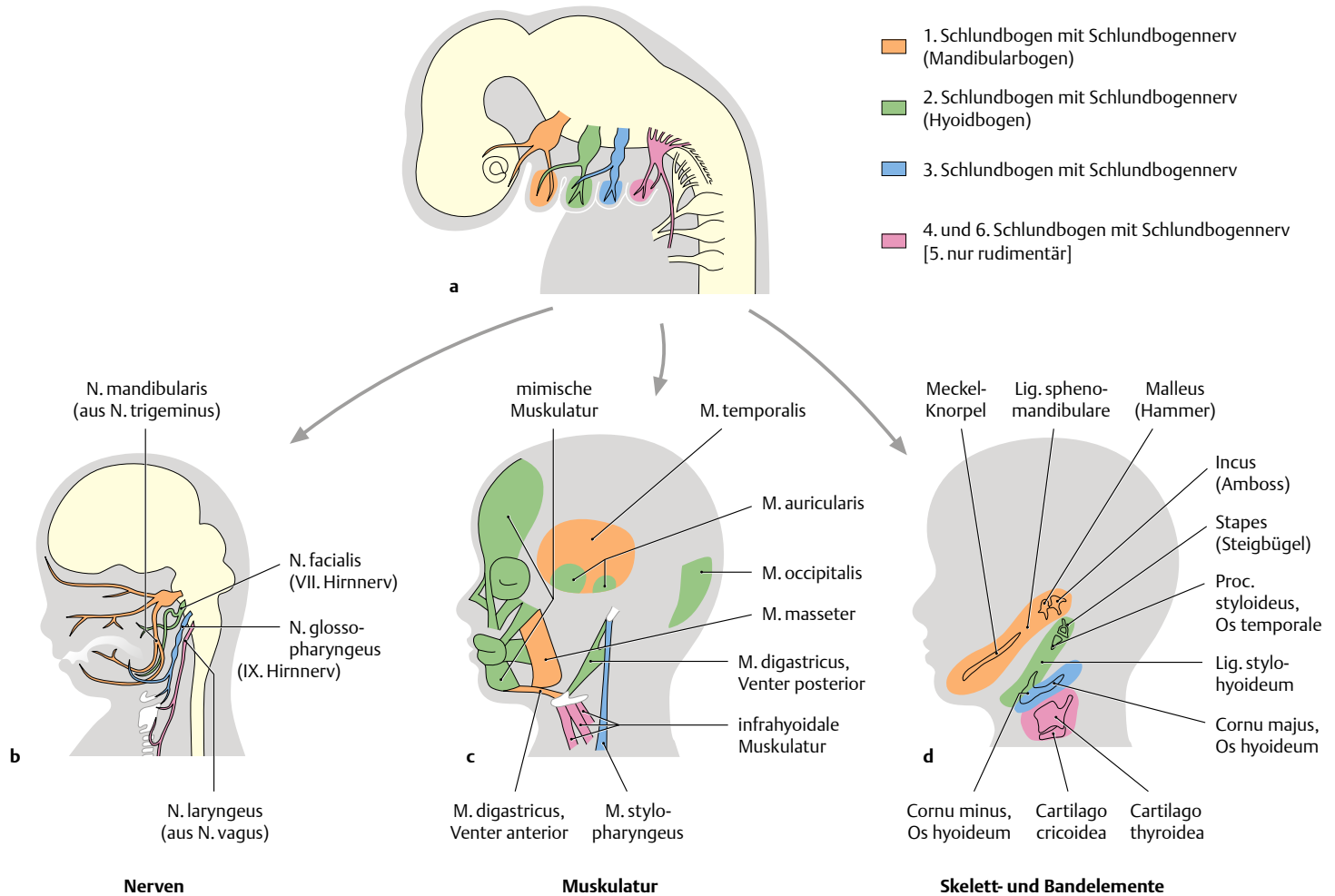
Ansicht von links oben. Aufgrund der kraniokaudalen Krümmung des Embryos geht der Querschnitt sowohl durch Schlundbögen und Schlunddarm als auch durch Prosencephalon und Rückenmark.

Der Schlunddarm wird auf beiden Seiten durch die Schlundbögen (s. auch **A**) begrenzt, die einen mesodermalen Kern enthalten. Sie sind außen von Ektoderm und innen von Entoderm überzogen. Ektodermale Schlundfurchen und entodermale Schlundtaschen liegen sich direkt gegenüber. Durch die kraniokaudale Krümmung des Embryos liegen Schlunddarm und Schlundbögen über dem Wulst der Herz-Leber-Anlage.



D Lage der Schlundbogenarterien und der Schlundtaschen (nach Sadler)

Die Schlundbogenarterien (Kiemebogenarterien) *entspringen* aus der paarig angelegten, *ventralen Aorta* und verlaufen zwischen den Schlundtaschen. Dorsal *münden* sie in die ebenfalls paarig angelegte *dorsale Aorta*. Aus der 4., linken Schlundbogenarterie entsteht der definitive Aortenbogen (zur Entwicklung der Schlundbogenarterien s.S.12). Die Schlundtaschen sind paarige divertikelartige Aussackungen des entodermalen Schlunddarms. Insgesamt entwickeln sich auf jeder Seite vier deutlich erkennbare Schlundtaschen, die 5. bleibt häufig rudimentär oder fehlt völlig (Derivate der Schlundtaschen s. Lehrbücher der Embryologie). *Beachte* die Ausstülpung am Dach der Mundhöhle, die sog. *Rathke-Tasche* (Anlage der späteren Adenohypophyse), die nach ventral aus dem Schlunddarm austretende *Lungenknospe* sowie die *Schilddrüsenanlage*.



E Das System der Schlund- bzw. Kiemenbögen (nach Sadler und Drews)

a Anlage der embryonalen Schlundbögen mit den dazugehörigen Schlundbogenerven;

b definitive Verläufe der späteren Hirnnerven V, VII, IX und X;

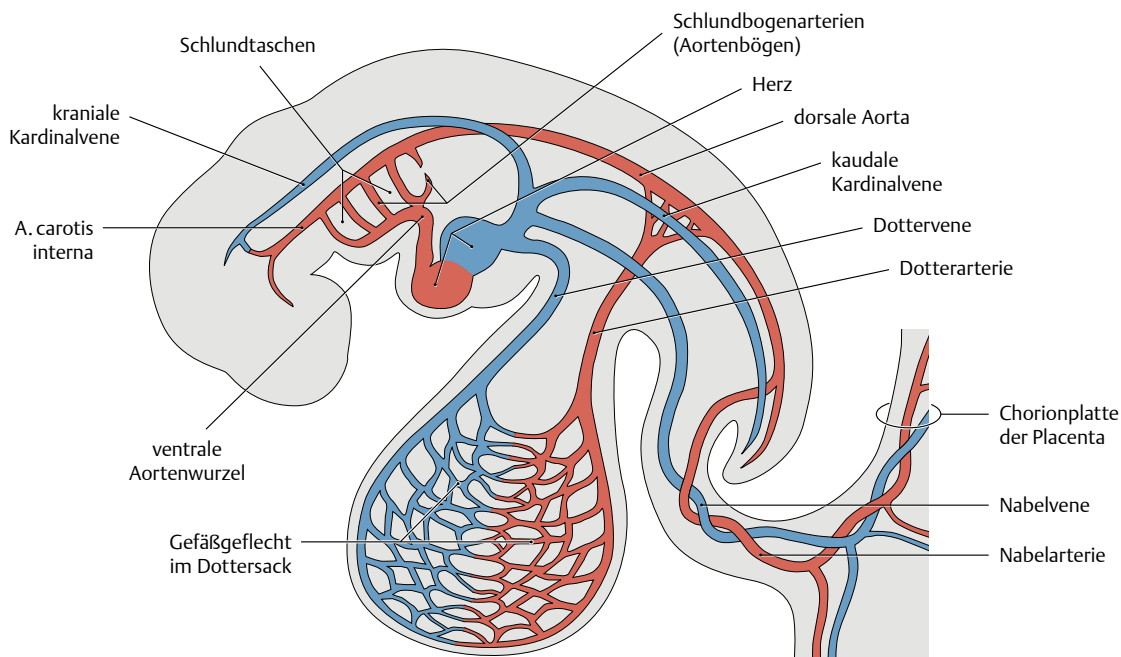
c muskuläre Abkömmlinge der Schlundbögen;

d skelettale Abkömmlinge der Schlundbögen.

F Abkömmlinge der Schlund- bzw. Kiemenbögen beim Menschen

Schlundbogen	Nerv	Muskel	Skelett- und Bandelemente
1. (Mandibularbogen)	V. Hirnnerv (N. mandibularis des N. trigeminus)	Kaumuskulatur – M. temporalis – M. masseter – M. pterygoideus lateralis – M. pterygoideus medialis M. mylohyoideus M. digastricus (Venter anterior) M. tensor tympani M. tensor veli palatini	Hammer und Amboss Teile der Mandibula Meckel-Knorpel Lig. sphenomandibulare Lig. mallei anterior
2. (Hyoidbogen)	VII. Hirnnerv (N. facialis)	mimische Gesichtsmuskulatur M. stylohyoideus M. digastricus (Venter posterior) M. stapedius	Steigbügel Proc. styloideus des Os temporale kleines Zungenbeinhorn (Cornu minus) oberer Teil des Zungenbeinkörpers
3.	IX. Hirnnerv (N. glossopharyngeus)	M. stylopharyngeus	großes Zungenbeinhorn (Cornu majus) unterer Teil des Zungenbeinkörpers
4. und 6.	X. Hirnnerv (N. laryngeus superior und recurrens)	Pharynx- und Larynxmuskulatur	Kehlkopfskelett (Cartilago thyroidea, cricoidea, arytenoidea, corniculata und cuneiformis)

1.6 Frühembryonaler Kreislauf und Entwicklung wichtiger Blutgefäße im Verlauf der Ontogenese

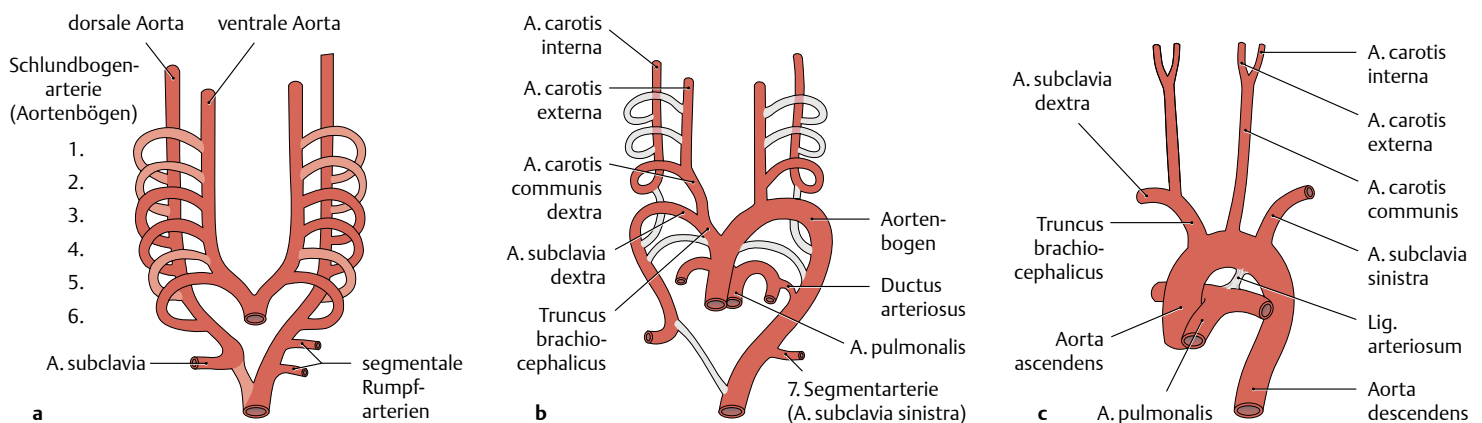


A Frühembryonaler Kreislauf eines 3–4 Wochen alten menschlichen Embryos (nach Drews)

Ansicht von lateral. Bei einem 3–4 Wochen alten menschlichen Embryo besteht das Herz-Kreislauf-System aus einem gut funktionierenden zweikammerigen Herzen sowie drei unterschiedlichen Blutkreisläufsystemen:

1. einem **intraembryonalen Körperkreislauf** (Aortae ventralis und dorsalis, Kiemenbogen- bzw. Schlundbogenarterien, Vv. cardinales cranialis und caudalis),
2. einem **extraembryonalen Dotterkreislauf** (Aa. und Vv. omphalomesentericae) und
3. einem **Plazentakreislauf** (Aa. und Vv. umbilicales).

Zu diesem Zeitpunkt sind die Gefäßbahnen größtenteils noch symmetrisch angelegt.

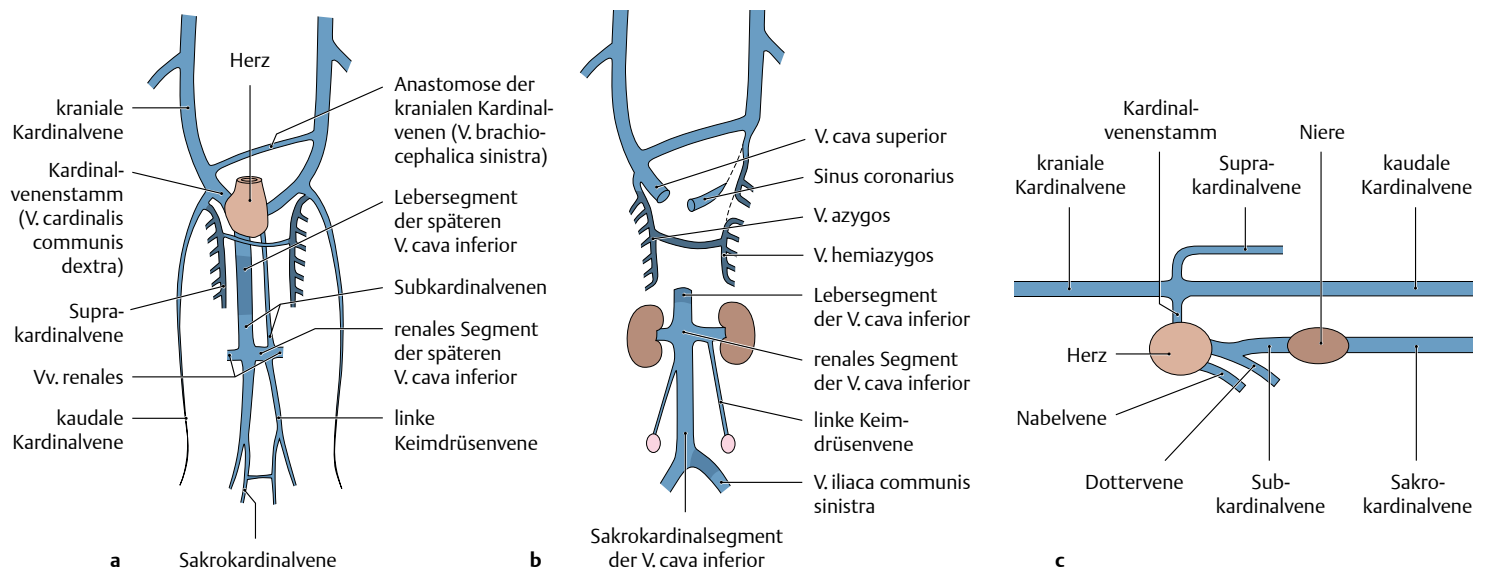


B Entwicklung der Arterien, die aus den Kiemenbogen- bzw. Schlundbogenarterien hervorgehen (nach Lippert u. Pabst)

a Ausgangsstadium (vier Wochen alte Embryonalanlage, Ansicht von ventral): In jedem Schlundbogen entwickelt sich von kranial nach kaudal fortschreitend je eine Schlundbogenarterie. Diese Arterien entspringen aus den paarigen ventralen Aortenwurzeln, verlaufen durch das Mesenchym der Schlundbögen und münden in eine zunächst paarige dorsale Aortenanlage. Aus dieser gehen segmentale Rumpfarterien hervor. Die sechs Schlundbogenarterien sind jedoch zu keinem Zeitpunkt gleichzeitig vorhanden. Während z.B. der 4. Bogen entsteht, beginnen sich die ersten beiden Bögen bereits zurückzubilden. Die Entwicklung läuft formal so ab, dass die ursprüngliche Symmetrie zugunsten der linken Seite verloren geht.

b Rückgebildete und erhaltene Anteile: Die 1., 2. und 5. Schlundbogenarterie beider Seiten gehen zugrunde. Aus dem 3. Schlundbogen bildet sich beidseitig die A. carotis communis sowie der proximale Abschnitt der A. carotis interna. Die linke 4. Schlundbogenarterie wird zum definitiven späteren Aortenbogen, die rechte zu Truncus brachiocephalicus und A. subclavia dextra. Die linke A. subclavia entsteht aus der 7. Segmentarterie. Aus der 6. Schlundbogenarterie gehen der Stamm der Pulmonalarterien und der Ductus arteriosus hervor.

c Definitive Situation beim Erwachsenen: Neben dem hier dargestellten Regelfall (77%) kommen zahlreiche, jedoch unterschiedlich häufige Varianten des Truncus brachiocephalicus vor. Am zweithäufigsten (13%) entspringt die linke A. carotis communis ebenfalls aus dem Truncus brachiocephalicus. In jeweils etwa 0,1% der Fälle liegt ein rechtsläufiger Aortenbogen bzw. ein doppelter Aortenbogen vor (Arcus aortae duplex).



C Entwicklung des Kardinalvenensystems von der 5.-7. Woche bis zur Geburt (nach Sadler)

a Im Alter von 5-7 Wochen (Ansicht von ventral); **b** zum Zeitpunkt der Geburt (Ansicht von ventral); **c** im Alter von 5-7 Wochen (Ansicht von lateral).

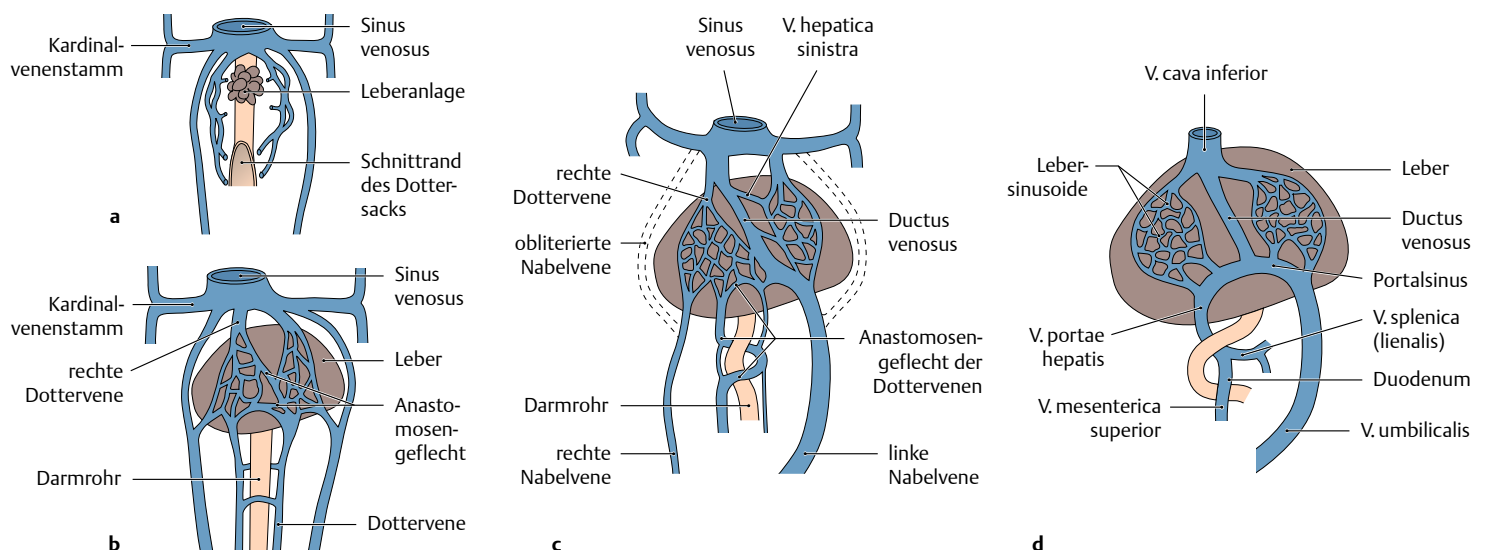
Bis zur 4. Woche führen drei paarige Venenstämme das Blut zurück zum Herzen: die Dotter-, Nabel- und Kardinalvenen. Das System der Kardinalvenen besteht zu diesem Zeitpunkt aus den Vv. cardinales craniales, caudales und communes. Zwischen der 5. und 7. Woche entstehen folgende zusätzliche Kardinalvenensysteme:

- **Suprakardinalvenen (Vv. supracardinales):** Sie ersetzen die hinteren Kardinalvenen und nehmen das Blut aus den Interkostalvenen auf (späteres Azygossystem: V. azygos und V. hemiazygos).
- **Subkardinalvenen (Vv. subcardinales):** Sie entwickeln sich zur Drainage der Nieren, wobei die rechte V. subcardinalis zum mittleren

Abschnitt der V. cava inferior wird. Aus der Queranastomose entsteht die linke Nierenvene. Der distale Abschnitt der linken Subkardinalvene bleibt als Keimdrüsenvene erhalten (V. testicularis bzw. V. ovarica sinistra).

- **Sakrocardinalvenen (Vv. sacrocardinales):** Sie entstehen mit der Bildung der unteren Extremitäten, ihre Queranastomose wird zur linken V. iliaca communis.

Zwischen den einzelnen Kardinalvenensystemen bilden sich charakteristische Queranastomosen aus, die das Blut von der linken auf die rechte Seite in die Einflussbahn des Herzens herüberführen. So bildet die Queranastomose zwischen den Vv. cardinales craniales die spätere V. brachiocephalica sinistra. Die spätere V. cava superior entsteht aus den rechten Vv. cardinales cranialis und communis; die linke V. cardinalis communis beteiligt sich an der venösen Entsorgung des Herzens (Sinus coronarius).

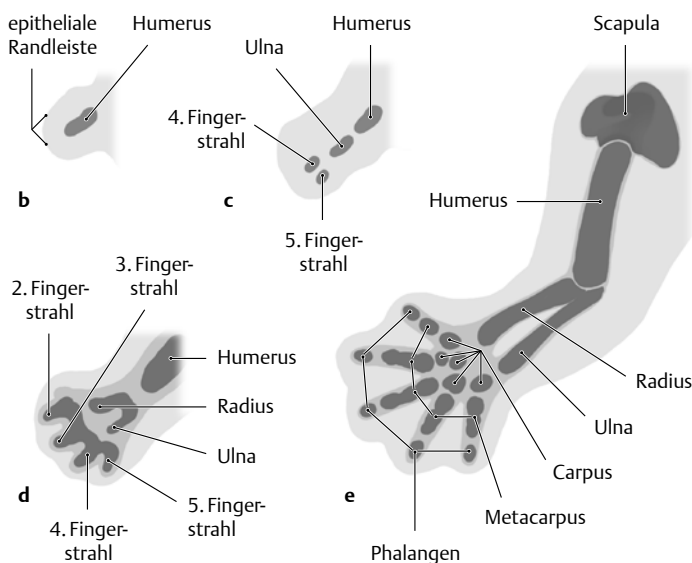
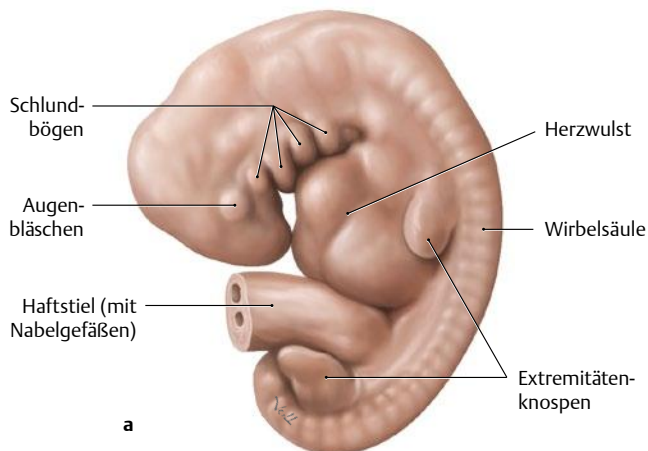
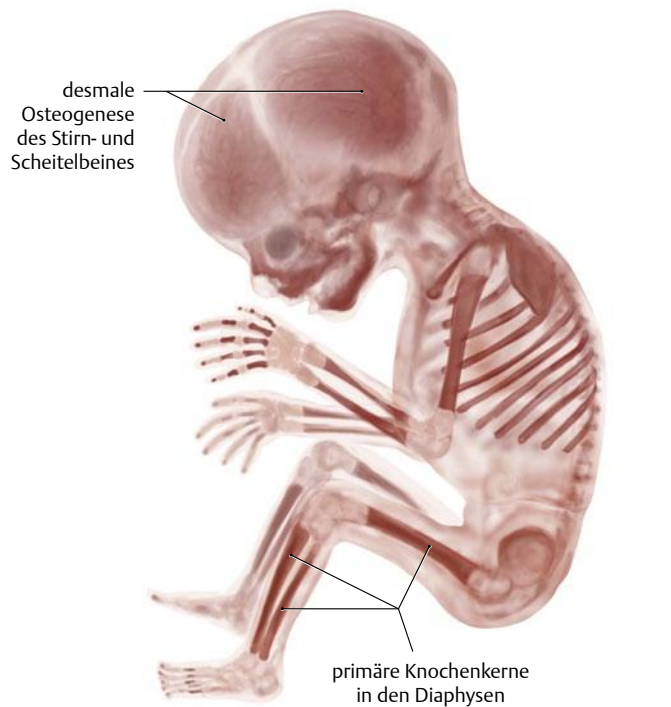


D Entwicklung der Dotter- und Nabelvenen (nach Sadler)

a 4. Woche; **b** 5. Woche; **c** 2. Monat; **d** 3. Monat (Ansicht von ventral). Bevor die Dottervenen (Vv. omphalomesentericae) in den Sinus venosus einmünden, bilden sie um das Duodenum einen venösen Plexus, durchströmen die embryonale Leberanlage und bilden die ersten Lebersinusoiden. In diesem Stadium verlaufen die beiden Nabelvenen (Vv. umbilicales) noch beidseits der Leberanlage. Im weiteren Verlauf nehmen sie jedoch Verbindung zu den Lebersinusoiden auf. Während sich im 2. Monat die rechte Nabelvene vollständig zurückbildet, über-

nimmt die linke V. umbilicalis den gesamten Bluttransport von der Placenta zurück zum Fetus. Über einen Kurzschluss (Ductus venosus) fließt das Blut in den proximalen Stamm der rechten Dottervene (späterer posthepatischer Teil der V. cava inferior) zurück zum Sinus venosus. Der distale Anteil der rechten Dottervene entwickelt sich zur späteren Pfortader (V. portae hepatis), über die das Blut aus den unpaaren Bauchorganen zur Leber geleitet wird (Vv. mesentericae superior und inferior, V. lienalis).

1.7 Entwicklung des Skelettsystems: Primordialskelett, Extremitäten- und Gelenkentwicklung



A Primordialskelett, pränatale Skelettentwicklung und Ossifikationszentren

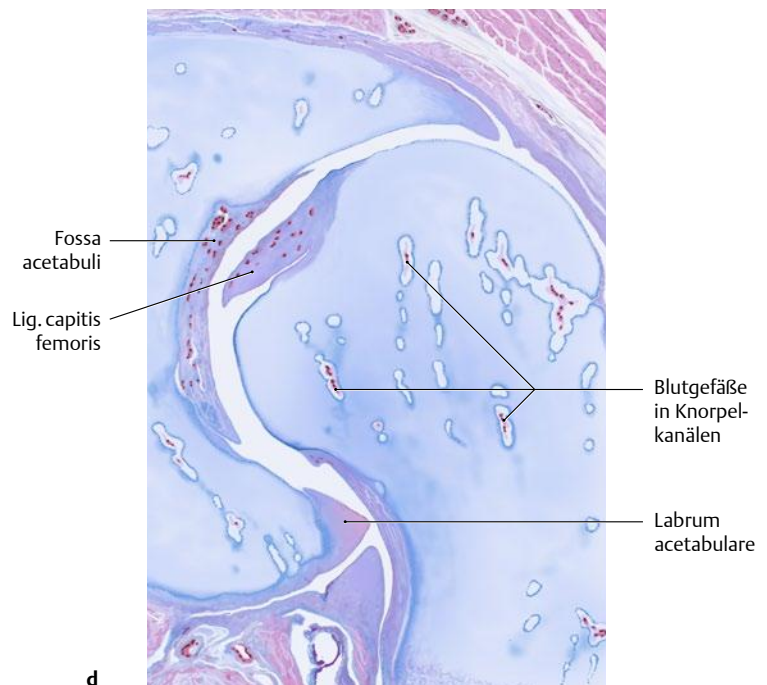
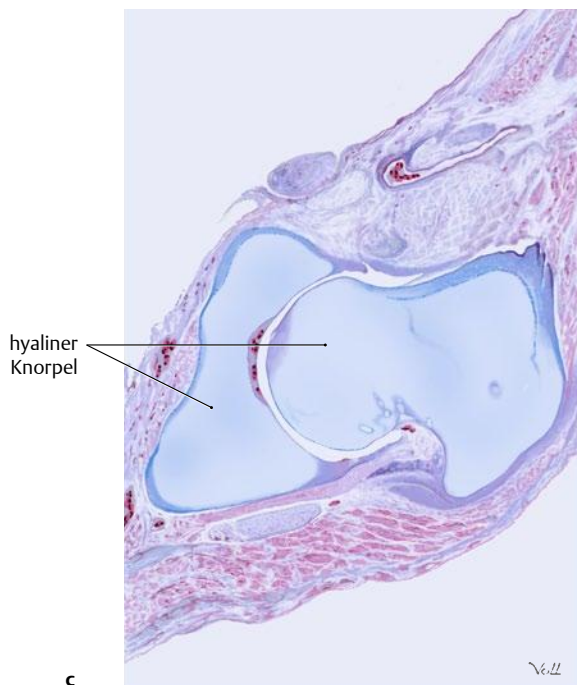
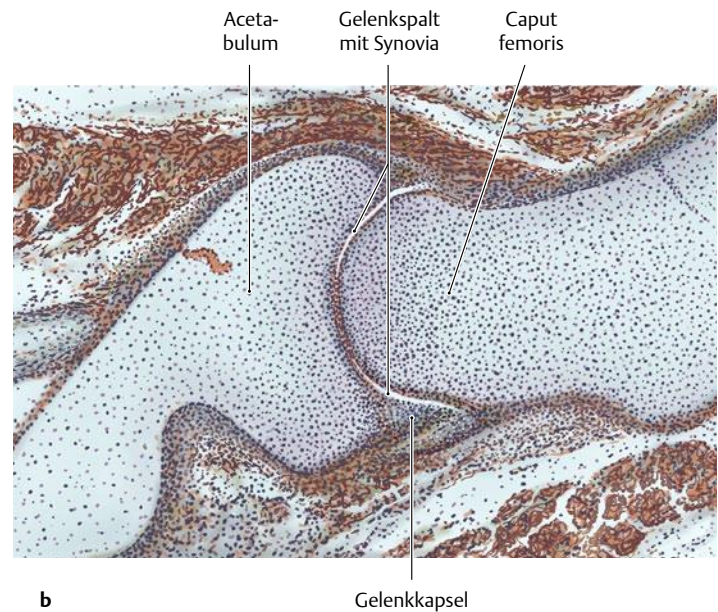
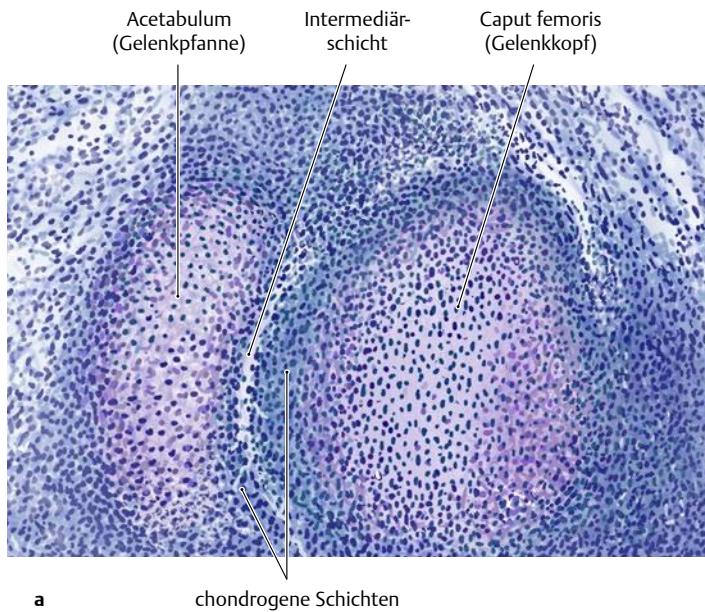
(Aufhellungspräparat eines 11 Wochen alten Fetus mit alizarinrotgefärbten Ossifikationszentren; nach Starck u. Drews)

Die Stützgewebe des menschlichen Skeletts (v.a. Knorpel- und Knorpelgewebe) bilden sich aus dem embryonalen Bindegewebe (= Mesenchym), einem Abkömmling des mittleren Keimblatts (= Mesoderm, s.S.7, Tab.D). Die Mesenchymzellen differenzieren sich zunächst zu Chondroblasten (deshalb „chondrale Osteogenese“), die aus hyalinem Knorpel ein Miniaturmodell des künftigen Skeletts bauen (Primordialskelett). Erst im Verlauf der weiteren Entwicklung wird der hyaline Knorpel durch Knorpelgewebe ersetzt. Durch die chondrale Osteogenese entsteht der weitaus größte Teil des menschlichen Skeletts (Rumpf, Extremitäten und Schädelbasis). Nur die Knochen von Schädeldach, Teile des Gesichtsschädels und das Schlüsselbein verknöchern direkt (desmale Osteogenese, d.h. mesenchymale Zellen entwickeln sich direkt zu Osteoblasten [s.S.17]). Die Verknöcherung des Primordialskeletts beginnt am Ende der Embryonalperiode (8. Woche). Sie geht von der perichondralen Knochenmanschette im diaphysären Bereich der langen Röhrenknochen aus (perichondrale Ossifikation = Knochenbildung direkt aus dem Mesenchym, also desmale Osteogenese). Bald darauf erscheinen mit Beginn der enchondralen Ossifikation (= Knochenbildung über den Knorpel, also chondrale Osteogenese) die ersten primären Knochenkerne in den Diaphysen. Bis zur 12. Woche gibt es in allen Röhrenknochen primäre Knochenkerne. In den Epiphysen beginnt die enchondrale Ossifikation (sekundäre Knochenkerne) erst einige Zeit nach der Geburt (Ausnahme: distale Femur- und proximale Tibiaepiphyse, die schon bei der Geburt vorhanden sind). Viele kurze Knochen, z.B. die meisten Fußwurzel- und alle Handwurzelknochen, bestehen bei der Geburt noch ganz aus Knorpel und bilden erst Monate bis Jahre später einen eigenen Knochenkern aus.

B Entwicklung der Extremitäten am Beispiel des Armes

Am Ende der 4. Entwicklungswoche erscheinen die Extremitätenanlagen als paddelförmige Ausstülpungen im Bereich der seitlichen Rumpfregionen (a). Diese Extremitätenknospen bestehen aus einem mesenchymalen Kern (sog. Blastem der Extremitätenanlage, s.S.147) und einer ektodermalen Umhüllung mit einer apikalen Epithelverdickung, der epithelialen Randleiste (b). Das Wachstum der Extremitätenknospe sowie die Anordnung ihrer einzelnen Teile erfolgt in einem räumlichen Koordinatensystem, das im Wesentlichen einen proximodistalen sowie einen kraniokaudalen Differenzierungsgradienten aufweist. Bei der Arm-anlage wird zunächst der Humerus angelegt, gefolgt von der Ulna und den ulnar gelegenen Skelettelementen der Handwurzel (c). Hierbei werden die Ulna und die Fingerstrahlen 4 und 5 als postaxialer (kaudaler) Abschnitt, der Radius und die Fingerstrahlen 1, 2 und 3 als präaxialer (kranialer) Abschnitt bezeichnet (d). Die Finger- und Zehenstrahlen entstehen z.B. dadurch, dass sich die Zellen der epithelialen Randleiste durch programmierten Zelltod (interdigitale Apoptosen) in fünf Segmente aufteilen (e). Bei einer Störung der Apoptose kommt es zu einer Verschmelzung benachbarter Finger bzw. Zehen (Syndaktylie). Fehlen Extremitäten vollständig, spricht man von Amelie, fehlen nur Teile (z.B. eine Hand), liegt eine Meromelie vor.

Beachte: Als Achondroplasie bezeichnet man eine genetisch bedingte Störung der enchondralen Ossifikation, eine der häufigsten Ursachen für einen disproportionierten Minderwuchs (kurze Extremitäten, kurzer Rumpf und relativ zu großer Schädel). Aufgrund einer gestörten Zellteilung und Reifung der Chondrozyten in den Wachstumsfugen bleiben alle durch chondrale Osteogenese entstehenden Knochen zu kurz, die desmale Osteogenese hingegen verläuft normal.



C Entwicklung der Gelenke am Beispiel des Hüftgelenks (nach Uthoff)

- In der 6. Embryonalwoche verdichten sich die Zellen an den Stellen, an denen später Gelenke sind, intensiv. Es entsteht eine Gelenkzwischenzone mit drei Schichten: zwei den Skelettanlagen aufliegende chondrogene Schichten und eine mittlere, zellarme Intermediärschicht.
- Um die 8. Embryonalwoche bilden sich durch apoptotischen Zelluntergang im Bereich der mittleren Schicht *Gelenkspalt* und *Gelenkhöhle*. Aus den peripheren Bereichen der Gelenkzwischenzone entsteht die *Gelenkkapsel*, die mit der Bildung von Gelenkflüssigkeit (*Synovia*) beginnt.
- Nach Auftreten des Gelenkspaltes wird im Bereich der chondrogenen Schichten *hyaliner Gelenknorpel* gebildet. Am Ende der 12. Entwicklungswoche ist die *Gelenkentwicklung* abgeschlossen. Die endgültige Gestalt des Gelenkkörpers bildet sich erst durch funktionelle Beanspruchung (z. B. durch Muskelkräfte) aus, obwohl die Gelenkform an sich genetisch festgelegt ist.
- Der Gelenkkörper wächst weiter (interstitielles und appositionelles Wachstum). Ab der 13. Entwicklungswoche reicht die Ernährung

durch Diffusion vom Perichondrium bzw. über die Synovia aus der Gelenkhöhle nicht mehr aus. Deshalb sprossen jetzt entlang sog. Knorpelkanäle Gefäße ein. Nur ein nahe am Gelenkspalt liegender Bereich bleibt gefäßfrei. Diese Vaskularisation der knorpeligen Epiphysen steht jedoch in keiner Beziehung zur sekundären Knochenkernbildung. Am Femurkopf des Hüftgelenks z. B. besteht eine zeitliche Differenz von etwa 12 Monaten zwischen der ersten Gefäßeinsprossung (3. Entwicklungsmonat) und dem Auftreten des Knochenkerns in der proximalen Femurepiphyse (6. postnataler Monat).

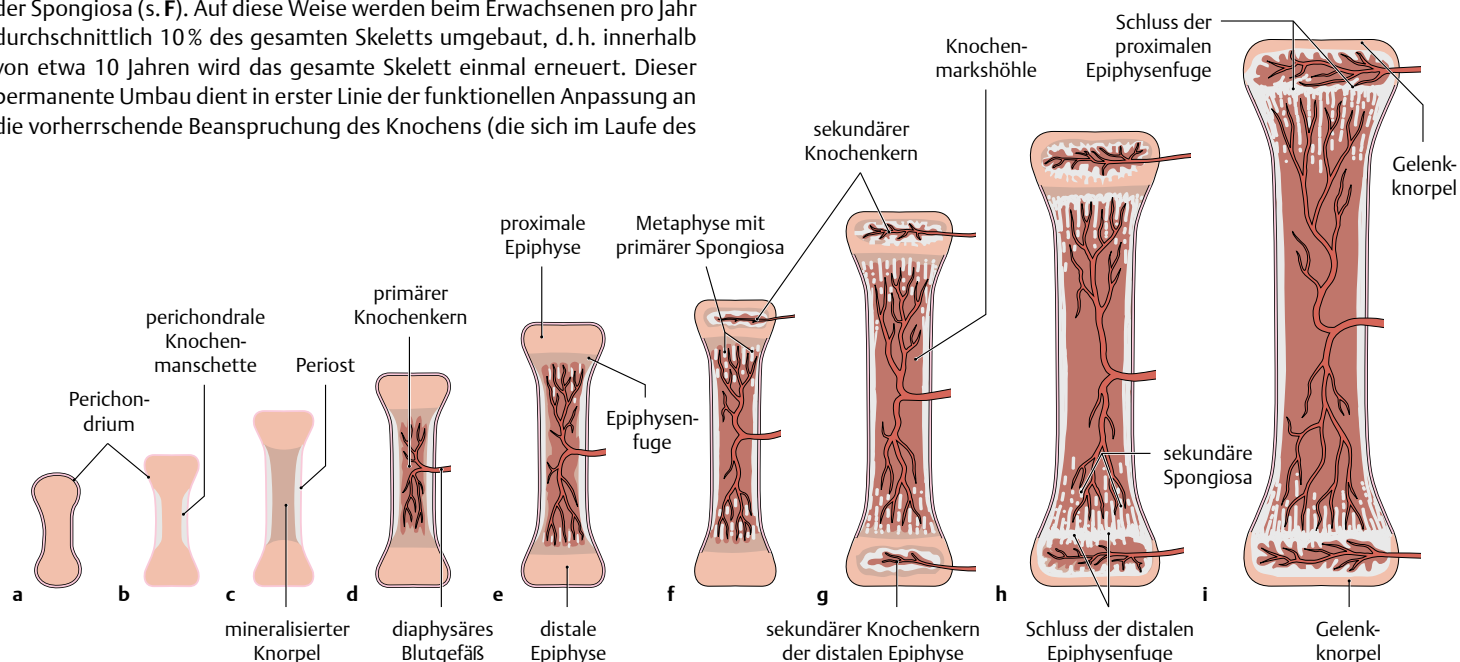
Beachte: Grundsätzlich können Gelenke auf zweierlei Art entstehen:

- durch Abgliederung (am häufigsten), d. h. Spaltbildung innerhalb einer zunächst einheitlichen Skelettanlage (fast alle Gelenke: Hüftgelenk, Schultergelenk, Ellenbogengelenk, etc.),
- durch Anlagerung, d. h. zwei ursprünglich getrennte Skelettelemente wachsen aufeinander zu (z. B. Kiefer-, Sternoklavikular- und Iliosakralgelenk). An ihrer Kontaktstelle entsteht zunächst ein Schleimbeutel, der sich dann zur Gelenkhöhle umbildet. Außerdem sind in diesen Gelenken Gelenkzwischen Scheiben (*Disci articulares*) typisch (Ausnahme: Iliosakralgelenk).

1.8 Knochenentwicklung und Knochenumbauvorgänge

Knochenentwicklung und Knochenumbau sind unmittelbar miteinander verknüpft. So erfolgt während des Wachstums ein ständiger Umbau, wobei das unreife Geflechtknorpelgewebe durch den „reifen“ Lamellenknochen ersetzt wird. Aber auch im ausgewachsenen Skelett findet ein kontinuierlicher Knochenumbau („remodelling“) statt, v. a. in der Spongiosa (s. F). Auf diese Weise werden beim Erwachsenen pro Jahr durchschnittlich 10% des gesamten Skeletts umgebaut, d. h. innerhalb von etwa 10 Jahren wird das gesamte Skelett einmal erneuert. Dieser permanente Umbau dient in erster Linie der funktionellen Anpassung an die vorherrschende Beanspruchung des Knochens (die sich im Laufe des

Lebens ändert), aber auch der Vorbeugung gegen Materialermüdung, der Reparatur von Mikroschäden und der Bereithaltung von rasch verfügbarem Calcium.



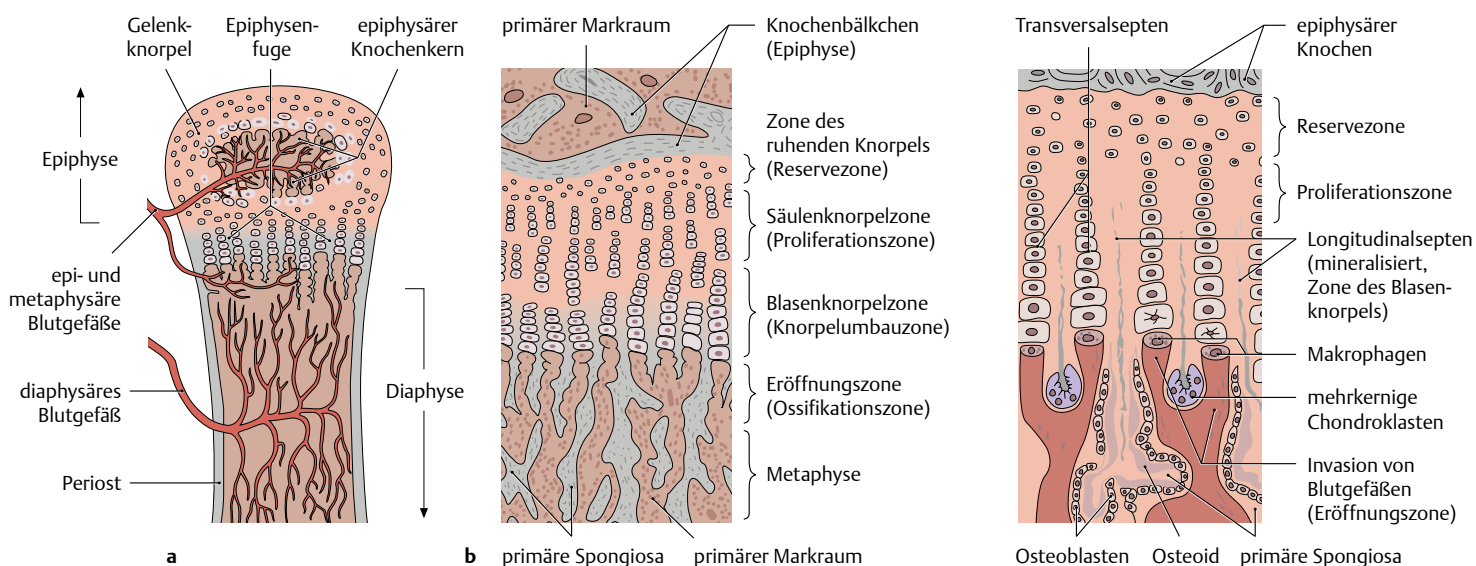
A Entwicklung eines Röhrenknochens

Röhrenknochen entstehen insgesamt durch *indirekte* Knochenbildung, also über eine knorpelige (chondrale) Vorstufe (*chondrale Osteogenese*). Teile von ihnen (die perichondrale Knochenmanschette, die das Dickenwachstum des Knochens ermöglicht) gehen jedoch direkt aus dem Mesenchym hervor, entstehen also durch *direkte* Knochenbildung (*desmale Osteogenese*, vgl. E).

a Knorpelig präformierte Knochenanlage des Primordialskeletts (also der ersten Skelettentwicklung in der Embryonalperiode); **b** Bildung einer perichondralen Knochenmanschette (direkt aus dem Mesenchym); **c** Differenzierung zu hypertrophen Chondrozyten und Mineralisation

der knorpeligen Extrazellulärmatrix; **d** Einwachsen eines diaphysären Gefäßes und Bildung eines primären Knochenkerns; **e** Entstehung der proximalen und distalen Wachstumszonen (Epiphysenfugen); **f** Auftreten des proximalen epiphysären Knochenkerns (sekundärer Knochenkern); **g** Bildung des distalen epiphysären Knochenkerns; **h** Schluss der distalen Epiphysenfuge; **i** Schluss der proximalen Epiphysenfuge (am Ende des Wachstums, etwa zwischen 18 und 23 Jahren bei den meisten Röhrenknochen).

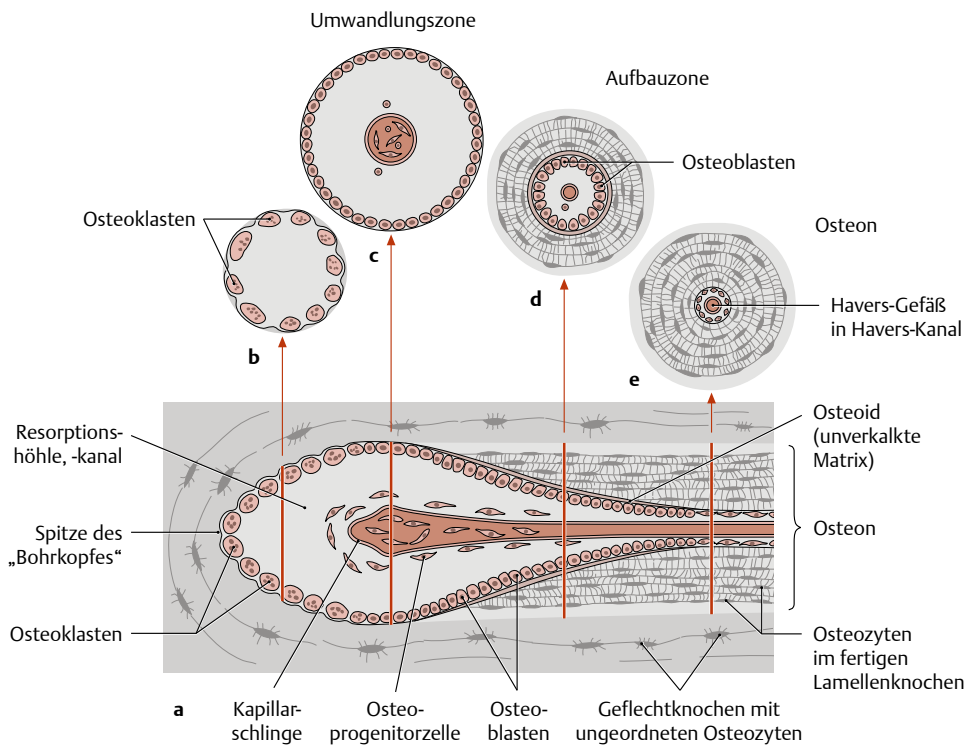
Beachte: Osteogenese = Bildung eines individuellen Knochens; Ossifikation = Bildung von Knochengewebe.



B Aufbau der Epiphysenfuge

a Blutversorgung; **b** Ausschnitt aus **a**: Zonierung der Epiphysenfuge.

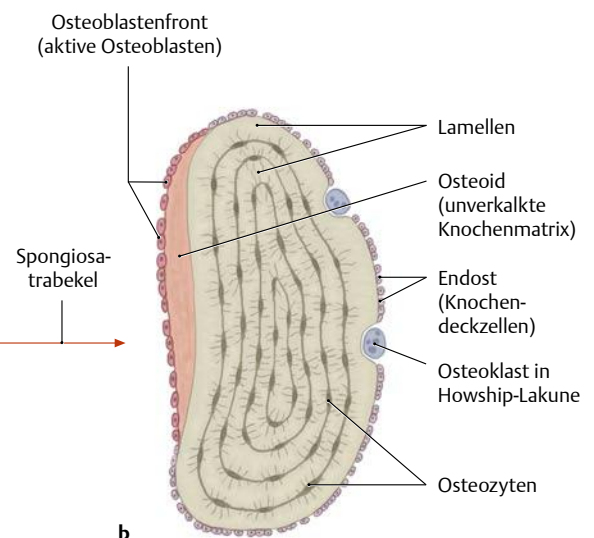
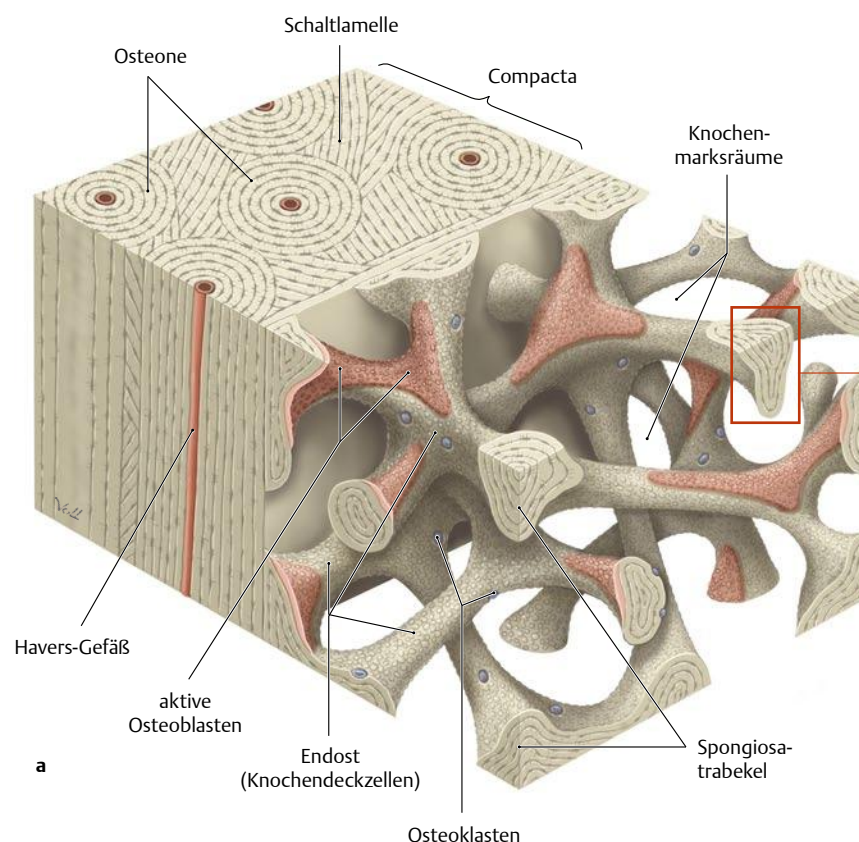
C Schematische Darstellung der zellulären Vorgänge innerhalb der Epiphysenfuge



D Entwicklung eines Osteons (nach Hees)

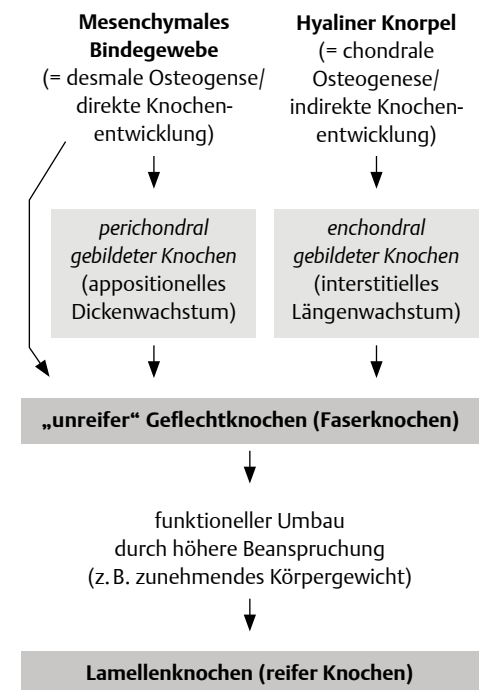
Im Rahmen des funktionellen Umbaus (s. linke S. oben) dringen zunächst Blutgefäße und mit ihnen Osteoklasten („Knochenfresszellen“) in den Geflechtknochen ein. Sie treiben wie ein Bohrkopf einen gefäßführenden Kanal (Resorptionskanal oder -höhle) in den Geflechtknochen, der bereits den Durchmesser des späteren Osteons hat.

- a Längsschnitt durch einen Resorptionskanal;
- b Querschnitt auf Höhe des Resorptionskanals;
- c Umwandlungszone: Osteoprogenitorzellen (eine Art Vorstufe der Knochenbildungszellen) wandeln sich in Osteoblasten um;
- d Aufbauzone (Osteoblasten bauen die Knochenlamellen auf);
- e neu entstandenes Osteon.



F Wachstums- und Umbauvorgänge innerhalb der Spongiosa eines Lamellenknochens

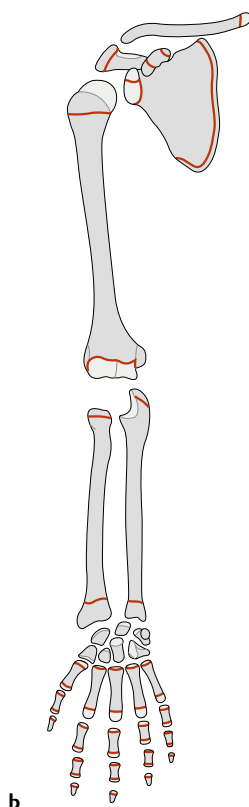
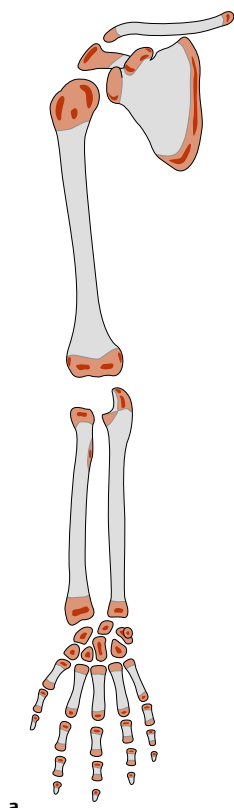
- a Räumliche Darstellung des Knochengewebes (Spongiosa);
- b Ausschnitt aus a: Umbau eines Spongiosastrabekels.



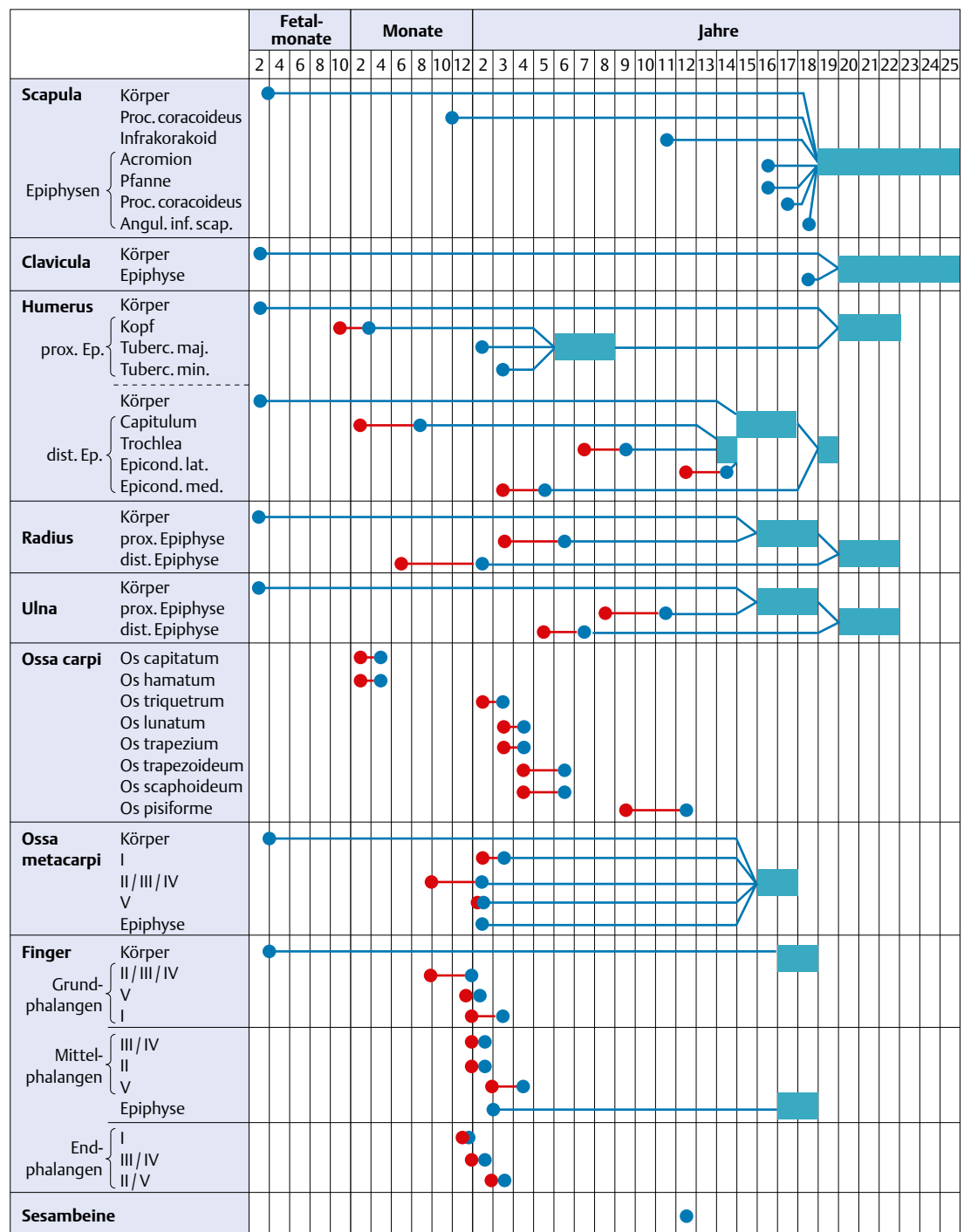
E Arten der Knochenentwicklung (Osteogenese)

Beachte: Die meisten Knochen entstehen durch indirekte Osteogenese (eine der wenigen Ausnahmen ist das Schlüsselbein bzw. einige Knochen der Schädelkalotte). Teile von ihnen entwickeln sich trotzdem direkt aus dem Mesenchym, also durch direkte Osteogenese.

1.9 Ossifikation der Extremitäten

**B Ossifikation des Skeletts der oberen Extremität**

- a Lage der epi- und apophysären Knochenkerne;
b Lage der Epi- und Apophysenfugen.



A Fetalmonate und das 1. Lebensjahr wurden vom weiteren Zeitablauf abgesetzt

Auftreten der Kerne:

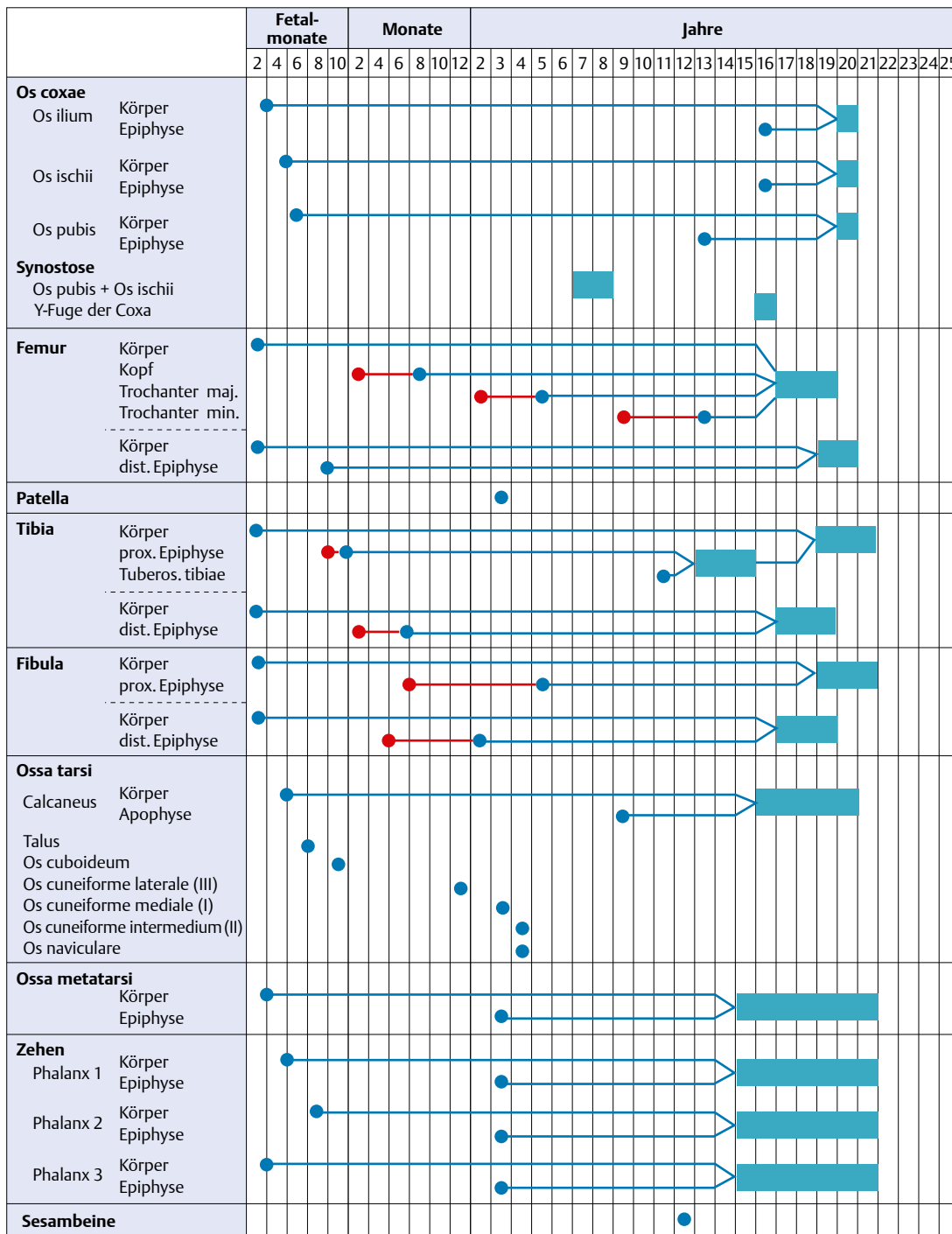
• weiblich
• männlich

— Zeit der Ossifikation
■ Zeit der Synostose

A u. C Zeitliche Abfolge des regionalen Knochenwachstums an der oberen (A) und unteren Extremität (C)

(aus Heuck FHW, Bast BRG. Peripheres Skelett – radiologische Skizzen u. Tabellen. Stuttgart: Thieme; 1994)
Das jeweilige Stadium der Skelettentwicklung und damit das individuelle Skelett- oder Knochenalter lassen sich aus dem zeitlichen Auftreten der Knochenkerne, dem Ossifikationszentrum der Knochen, ableiten. Man unterscheidet *primäre Knochenkerne*, die in der Regel *in der Fetalperiode* im Bereich der Diaphyse entstehen (diaphysäre Ossifikation) und *sekun-*

däre Knochenkerne, die sich *nach der Geburt* innerhalb der knorpeligen Epi- und Apophyse bilden (epi- und apophysäre Ossifikation). Mit dem Schluss der Epiphysenfuge (Synostosierung) ist das Längenwachstum abgeschlossen. Die Ossifikation des Tuberculum majus beginnt beispielsweise im Alter von zwei Jahren; zwischen sechs und acht Jahren folgt eine Zeit der Synostose, danach wächst das Tuberculum majus nur noch appositionell, also von außen. Mit dem Abschluss des Längenwachstums verschwinden die Knochenkerne, die bis dahin im Röntgenbild gut sichtbar sind. Am deutlichsten ist der Zusam-



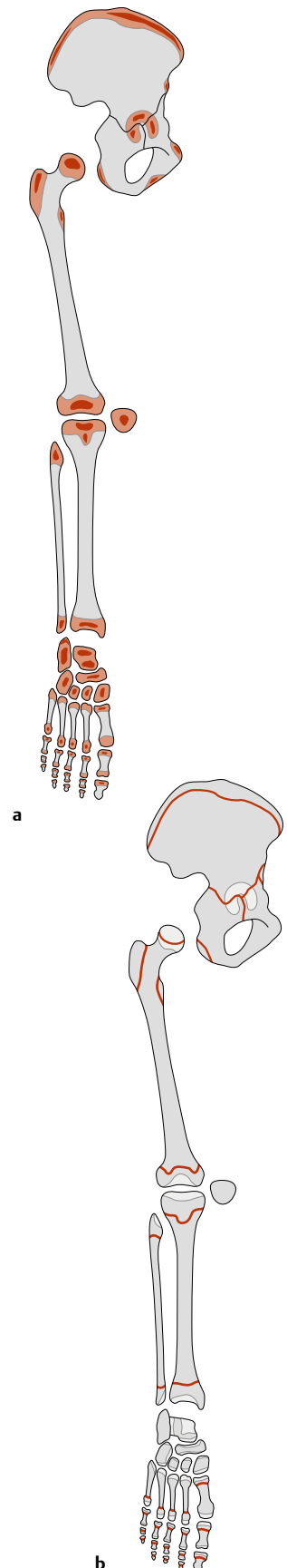
C Fetalmonate und das 1. Lebensjahr wurden vom weiteren Zeitablauf abgesetzt

Auftreten der Kerne:
• weiblich
• männlich

— Zeit der Ossifikation
■ Zeit der Synostose

menhang von Entwicklungsstadium und Auftreten sekundärer Knochenkerne an den Handwurzelknochen erkennbar (s. auch B): Die acht Handwurzelknochen verknöchern nach und nach innerhalb von etwa neun Jahren: Als 1. Knochen zeigt das Os capitatum im 1. Lebensjahr einen Knochenkern; der letzte, das Os pisiforme, verknöchert im Alter von neun Jahren. Übereinkunftsgemäß wird für die Röntgenuntersuchung die linke bzw. die Nicht-Gebrauchshand verwendet. Das Skelett- oder Knochenalter ist v. a. Ausdruck des biologischen Reifungszustandes des Organismus, weniger des Lebensalters. Die Bestimmung

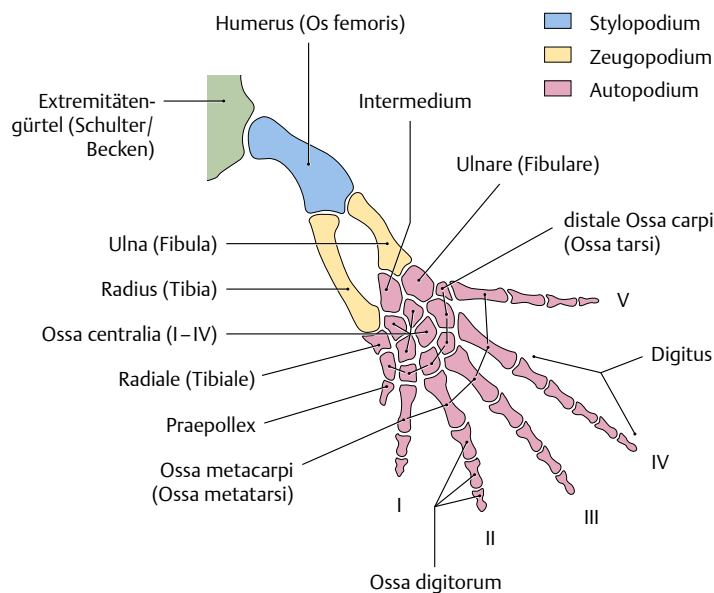
des Skelettalters und damit der Wachstumsreserve ist z.B. von wesentlicher Bedeutung für die Prognose und Therapieplanung kinderorthopädischer Erkrankungen und Deformitäten. Da außerdem ein Zusammenhang zwischen der Skelettreifung und der definitiven späteren Körpergröße besteht, kann die zu erwartende Körpergröße in der Regel nach dem 6. Lebensjahr aufgrund des Skelettalters und der bestehenden Längenmaße ziemlich exakt vorausgerechnet werden.



D Ossifikation des Skeletts der unteren Extremität

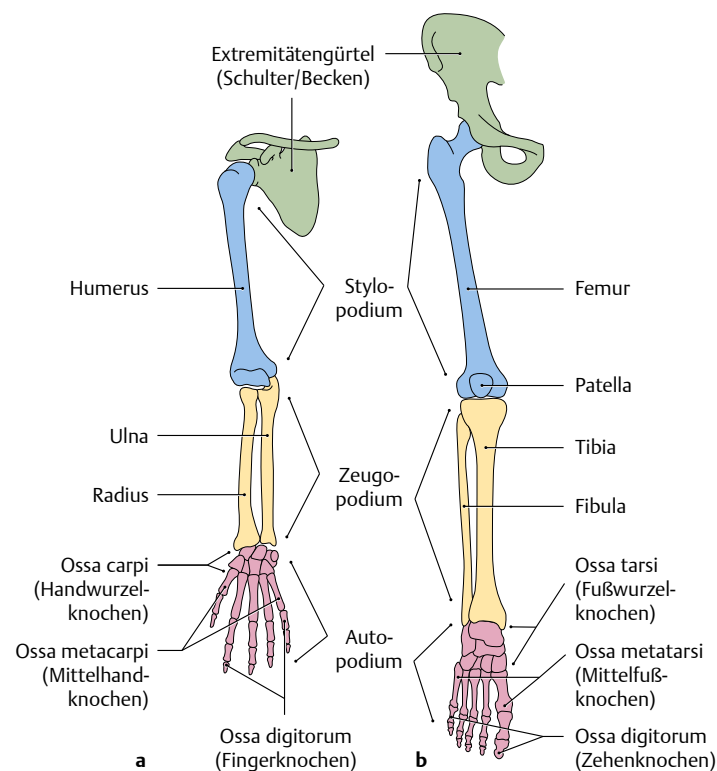
- a Lage der epi- und apophysären Knochenkerne;
b Lage der Epi- und Apophysenfugen.

1.10 Bauplan und Stellung der Extremitäten



A Bauplan einer fünfstrahligen (pentadaktylen) Tetrapodenextremität (nach Romer)

Sowohl Vorder- als auch Hinterextremität eines freien Landwirbeltieres haben einen einheitlichen Grundbauplan mit drei Abschnitten: proximales, mittleres und distales Segment (*Stylo-, Zeugo- und Autopodium*). Zwischen dem Stylopodium, das nur aus einem Knochen besteht (Humerus bzw. Os femoris) und dem aus zwei Skelettelementen aufgebautem Zeugopodium (Radius und Ulna bzw. Tibia und Fibula) liegt das Ellenbogen- bzw. Kniegelenk. Am fünfstrahligen Autopodium (Hand bzw. Fuß) werden ebenfalls ein proximaler, mittlerer und distaler Abschnitt (*Basipodium, Metapodium und Acropodium*) unterschieden (s. C). In Abänderung von diesem Grundbauplan kommt es in den verschiedenen Wirbeltierklassen vielfach zur Verschmelzung oder Reduktion verschiedener Knochenstücke.



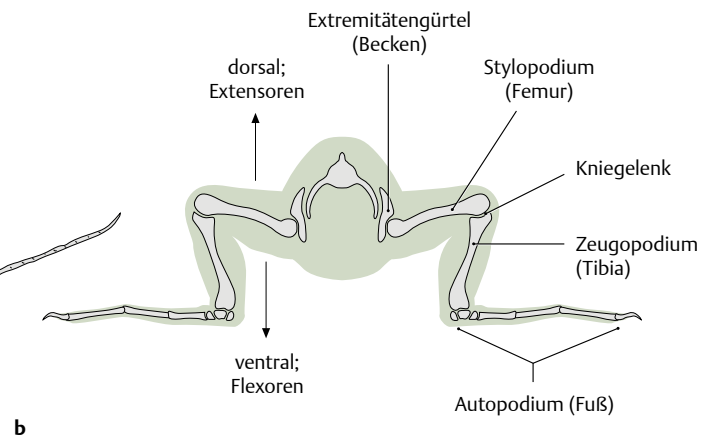
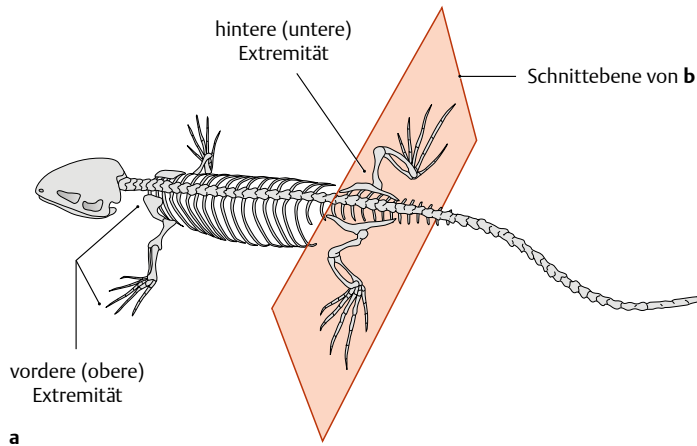
B Bauplan der Extremität eines Menschen

Ansicht von vorne. **a** rechte, obere Extremität; **b** rechte, untere Extremität.

Die einzelnen Segmente der Tetrapodenextremität aus **A** (Stylo-, Zeugo- und Autopodium) und die entsprechend gefärbten Skelettelemente der menschlichen oberen bzw. unteren Extremität sind homologe Strukturen. Fehlbildungen, wie z. B. die Polydaktylie oder die Syndaktylie (also das Vorhandensein von überzähligen Fingern oder Zehen bzw. deren Verschmelzung) sind nicht selten!

C Knöcherne Bestandteile der pentadaktylen Tetrapodenextremität

Abschnitte	Paarige Vorderextremitäten	Paarige Hinterextremitäten
Extremitätengürtel	Schultergürtel – Scapula und Clavicula	Beckengürtel – Os coxae
Freie Gliedmaße		
Stylopodium	Oberarm (Brachium) – Humerus	Oberschenkel (Femur) – Os femoris
Zeugopodium	Unterarm (Antebrachium) – Radius – Ulna	Unterschenkel (Crus) – Tibia – Fibula
Autopodium	Hand (Manus)	Fuß (Pes)
– Basipodium	Handwurzel (Carpus) – proximale Reihe: Radiale, Intermedium, Ulnare – zentrale Gruppe: Ossa centralia I–IV – distale Reihe: Ossa carpi I–V	Fußwurzel (Tarsus) – proximale Reihe: Tibiale, Intermedium, Fibulare – zentrale Gruppe: Ossa centralia I–IV – distale Reihe: Ossa tarsi I–V
– Metapodium	Mittelhand (Metacarpus) – Ossa metacarpi I–V	Mittelfuß (Metatarsus) – Ossa metatarsi I–V
– Acropodium	Finger (Digiti manus) – Ossa digitorum manus I–V (mit einer unterschiedlichen Zahl von Phalangen)	Zehen (Digiti pedis) – Ossa digitorum pedis I–V (mit einer unterschiedlichen Zahl von Phalangen)



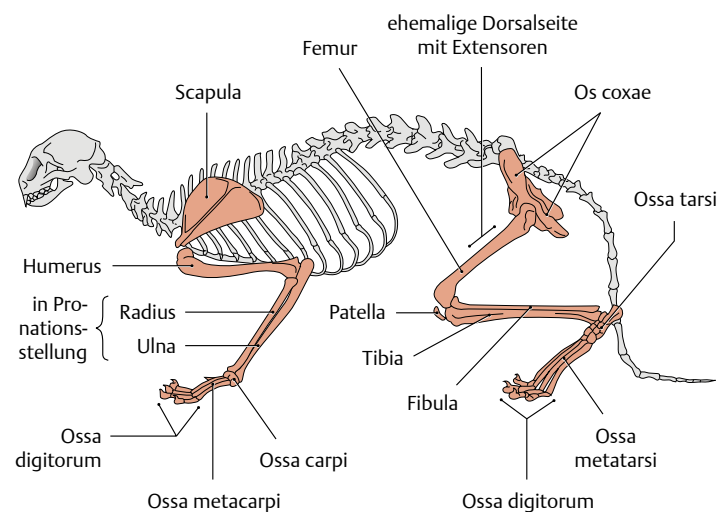
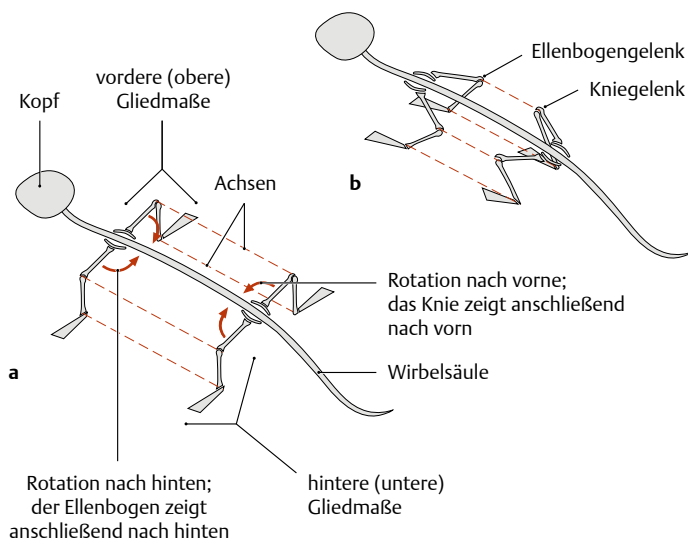
D Stellung der Extremitäten bei einem primitiven vierfüßigen Landwirbeltier (Eidechse, *Lacerta viridis*)

a Ansicht von dorsal; **b** Transversalschnitt auf Höhe des hinteren Extremitätenpaares.

Bei sehr ursprünglichen, niederen Tetrapoden (z. B. Molchen, Schildkröten und Eidechsen) hängt der Rumpf zwischen den Extremitäten und berührt häufig den Boden. Die Extremitäten sind fast rechtwinklig vom Körper abgespreizt, so dass Oberarm und Oberschenkel nahezu horizontal liegen und der Ellenbogen bzw. das Knie nach außen weisen.

Radius und Ulna sowie Tibia und Fibula sind im Ellenbogen- und Kniegelenk rechtwinklig abgelenkt. Hand und Fuß liegen mit der volaren bzw. plantaren Fläche dem Boden auf. Die Achsen verlaufen in allen Gelenken parallel zur Wirbelsäule (s. E).

Beachte, dass die genetisch festgelegte *Extensoren*-Muskulatur *dorsal*, die *Flexoren*-Muskulatur *ventral* liegt. Die Lage der Extensoren bzw. Flexoren zum Knochen ändert sich also nicht, der Knochen wird nur anders ausgerichtet (s. auch F)!



E Rotation der Extremitäten bei den Vorfahren der Säugetiere

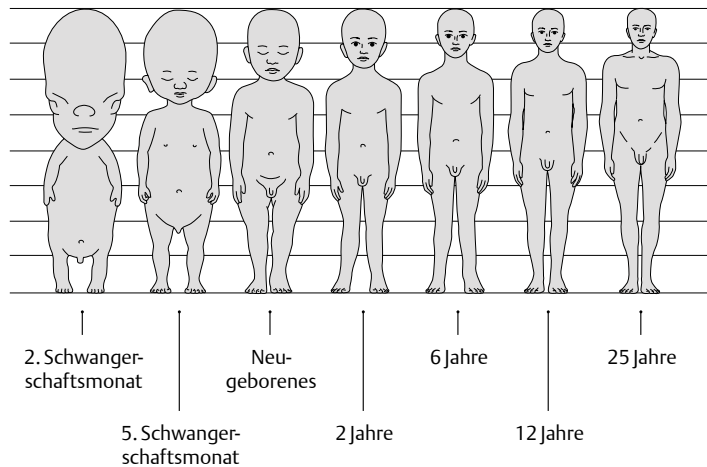
a Vor der Rotation; **b** nach der Rotation.

Durch die Rotation wurden die Extremitäten der Säugetiere parallel zum Körper gestellt und nahe an oder unter den Körper gebracht. Dies verbesserte die Fortbewegung und stützte den Körper wirkungsvoller ab. Die *hintere Gliedmaße* wurde dabei *nach vorne* eingedreht (das Knie ist kopfwärts gerichtet), während die *vordere Gliedmaße* *nach hinten* an den Körper geführt wurde (der Ellenbogen weist nach hinten). Beide Extremitäten stehen jetzt in sagittaler Richtung am bzw. unter dem Rumpf (s. F).

F Skelett einer Katze (*Felis catus*)

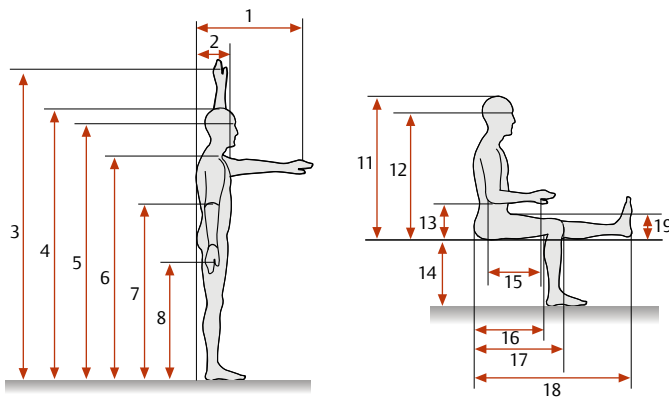
Ansicht von links. Damit die Handinnenflächen der vorderen Gliedmaßen trotz der nach hinten gerichteten Ellenbogen dem Boden aufliegen können und die Fingerspitzen somit kopfwärts weisen, müssen sich die Unterarmknochen jeweils überkreuzen, d. h. in Pronationsstellung stehen. An den hinteren Gliedmaßen bedarf es keiner Pronation der Unterschenkelknochen, da der Oberschenkel nach vorne gedreht wurde. Diese Lage der Skelettelemente in den einzelnen Abschnitten der freien Gliedmaßen bleibt im Prinzip bis zum Menschen erhalten. Da die Hinterextremität nach vorn gedreht wurde, ist die *ehemalige Dorsalseite* dieser Gliedmaße beim aufrecht stehenden Menschen nach *ventral* gerichtet. Damit liegen die Extensoren an Ober- und Unterschenkel, d. h. die genetisch dorsalen Muskeln, an der Vorderseite und damit vor den entsprechenden Extremitätenknochen. Aus diesem Grund wird beim Menschen bei der *unteren Extremität* anstelle der Richtungsbezeichnungen „dorsal“ und „ventral“ besser „hinten“ und „vorne“ benutzt. Im Gegensatz hierzu haben z. B. die Extensoren (Flexoren) an Ober- und Unterarm ihre ursprüngliche dorsale (ventrale) Position bewahrt.

2.1 Der menschliche Körper: Proportionen, Oberflächen und Körpergewichte

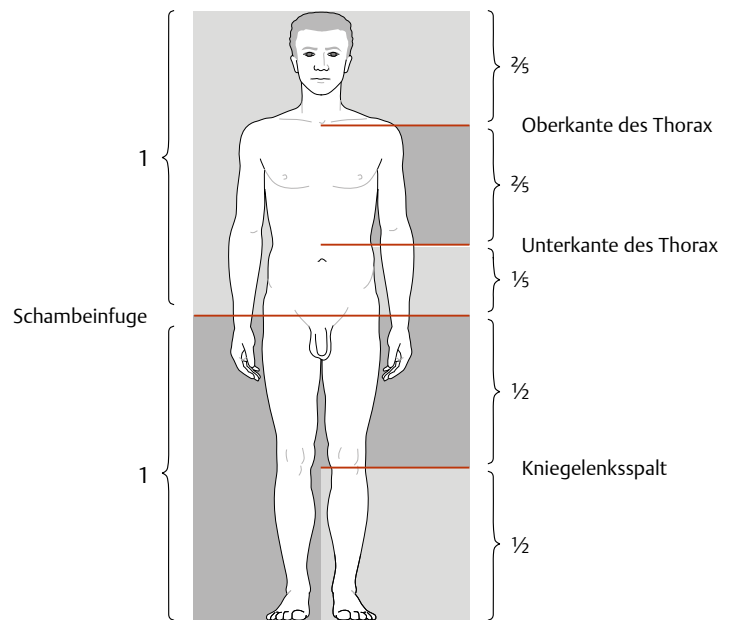


A Änderung der Körperproportionen während des Wachstums

Während die Kopfhöhe bei Embryonen am Ende des 2. Schwangerschaftsmonats etwa die Hälfte der Körperlänge ausmacht, misst sie bei Neugeborenen etwa ein Viertel, beim 6-jährigen Kind ein Sechstel und beim Erwachsenen ein Achtel der gesamten Körperlänge.

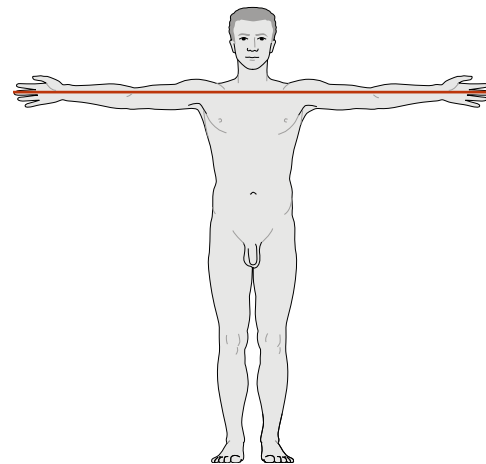


Abmessungen (in cm) (Punkte 9, 10 sowie 20 u. 21 nicht dargestellt)	Perzentile					
	männlich			weiblich		
	5.	50.	95.	5.	50.	95.
1 Reichweite nach vorn	68,5	74,0	81,5	62,5	69,0	75,0
2 Körpertiefe	26,0	28,5	38,0	24,5	29,0	34,5
3 Reichweite nach oben (beidarmig)	197,5	207,5	220,5	184,0	194,5	202,5
4 Körperhöhe	165,0	175,0	185,5	153,5	162,5	172,0
5 Augenhöhe	153,0	163,0	173,5	143,0	151,5	160,5
6 Schulterhöhe	134,5	145,0	155,0	126,0	134,5	142,5
7 Ellenbogenhöhe über der Standfläche	102,5	110,0	117,5	96,0	102,0	108,0
8 Höhe der Hand über der Standfläche	73,0	76,5	82,5	67,0	71,5	76,0
9 Schulterbreite	44,0	48,0	52,5	39,5	43,5	48,5
10 Hüftbreite, stehend	34,0	36,0	38,5	34,0	36,5	40,0
11 Körpersitzhöhe (Stammlänge)	85,5	91,0	96,5	81,0	86,0	91,0
12 Augenhöhe im Sitzen	74,0	79,5	85,5	70,5	75,5	80,5
13 Ellenbogenhöhe über der Sitzfläche	21,0	24,0	28,5	18,5	23,0	27,5
14 Länge der Unterschenkelhöhe mit Fuß (Sitzflächenhöhe)	41,0	45,0	49,0	37,5	41,5	45,0
15 Ellenbogen-Griffachsen-Abstand	32,5	35,0	39,0	29,5	31,5	35,0
16 Sitztiefe	45,0	49,5	54,0	43,5	48,5	53,0
17 Gesäß-Knie-Länge	56,5	61,0	65,5	54,5	59,0	64,0
18 Gesäß-Bein-Länge	96,5	104,5	114,0	92,5	99,0	105,5
19 Oberschenkelhöhe	13,0	15,0	18,0	12,5	14,5	17,5
20 Breite über die Ellenbogen	41,5	48,0	55,5	39,5	48,5	55,5
21 Hüftbreite, sitzend	35,0	37,5	42,0	36,0	39,0	46,0



B Normale Körperproportionen

Beim Erwachsenen liegt die Mitte der Gesamtkörperlänge etwa auf Höhe der Schambeinfuge, d.h. Ober- und Unterlänge stehen im Verhältnis 1:1. Von der Oberlänge entfallen ein Fünftel auf das Becken und jeweils zwei Fünftel auf den Brustkorb und auf Kopf und HWS. Die Unterlänge teilt sich auf Höhe des Kniegelenkspaltes 1:1 in Oberschenkelhöhe zu Unterschenkelhöhe plus Ferse.

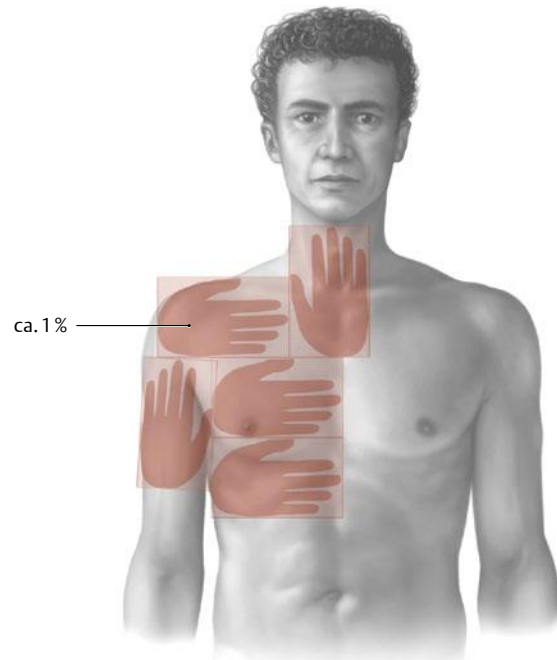
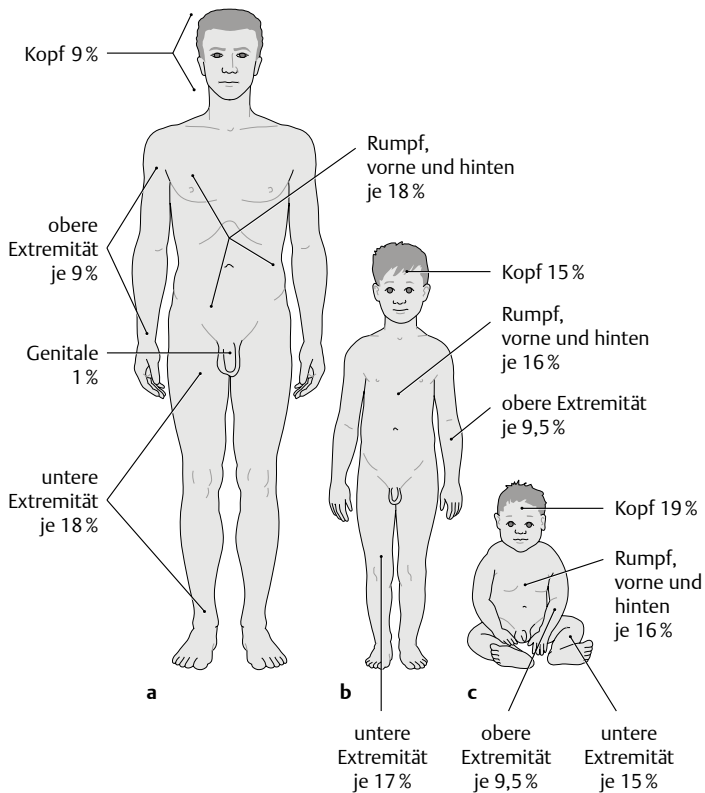


C Spannweite der ausgestreckten Arme

Die Spannweite (= Klafter) ist geringfügig *größer* als die Körperlänge (bei Frauen etwa 103 % und bei Männern etwa 106 % der Körperlänge).

D Ausgewählte Körpermaße des stehenden und sitzenden Menschen (unbekleidet, Altersgruppe 18–65 Jahre) nach DIN 33402-2 (aus: Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte. Beuth, Berlin 2005)

Der jeweilige Perzentilwert gibt an, wie viel Prozent der Menschen in einer Bevölkerungsgruppe (in diesem Fall alle in Deutschland Wohnhaften, also inklusive Migranten in den Jahren 1999–2002), bezogen auf ein bestimmtes Körpermaß, kleiner sind als der jeweils angegebene Wert. Beispielsweise liegt das 95. Perzentil der Körperhöhe von 18- bis 65-jährigen Männern bei 185,5 cm. Dies besagt, dass 95 % dieser Bevölkerungsgruppe kleiner und 5 % größer als 185,5 cm sind.



E Aufteilung der Körperoberfläche bei Erwachsenen, Kindern und Kleinkindern

a Erwachsene (> ca. 15 Jahre): Nach der Neunerregel von Wallace (1950) wird die Körperoberfläche eines Erwachsenen in ein Vielfaches von „9“ aufgeteilt: Jeweils 9% der Körperoberfläche entfallen auf den Kopf und jeden Arm, jeweils 18% (2 × 9) auf die Rumpfvorderseite, die Rumpfrückseite und jedes Bein, 1% auf das äußere Genitale. Bei Kindern (**b**) und Kleinkindern (**c**) ist die Neunerregel altersabhängig zu korrigieren. *Beachte:* Mit Hilfe der Neunerregel kann man sich bei Verbrennungsschäden einen raschen Überblick über die flächenhafte Ausdehnung der Verbrennung verschaffen.

G Abhängigkeit der relativen Körperoberfläche (Hautoberfläche) vom Lebensalter

Die Haut von Neugeborenen bzw. Kindern besitzt im Vergleich zur Größe des Körpers eine relativ größere Fläche als die von Erwachsenen; d.h. kleinere Lebewesen haben eine relativ größere Oberfläche als größere. Deshalb haben kleine Tiere (z. B. eine Maus) oder Kinder einen höheren Stoffwechsel als große Tiere bzw. Erwachsene. Darüber hinaus wird bei kleineren Lebewesen mehr Wärme über die relativ größere Oberfläche abgegeben.

Alter	Körpergewicht (kg)	Körperoberfläche (cm ²)	Körperoberfläche Körpergewicht (cm ² /kg)
Neugeborenes	3,4	2100	617,6
½ Jahr	7,5	3500	466,7
1 Jahr	9,3	4100	440,9
4 Jahre	15,5	6500	419,4
10 Jahre	30,5	10500	344,3
Erwachsener	70,0	18100	258,6

F Handflächenregel

Eine sehr genaue Abschätzung der geschädigten Körperoberfläche bei Verbrennungen ermöglicht die Handflächenregel. Hierbei beträgt die Handfläche des Patienten ca. 1% seiner eigenen (!) Körperoberfläche (bei Maßangaben für Kinder berücksichtigen).

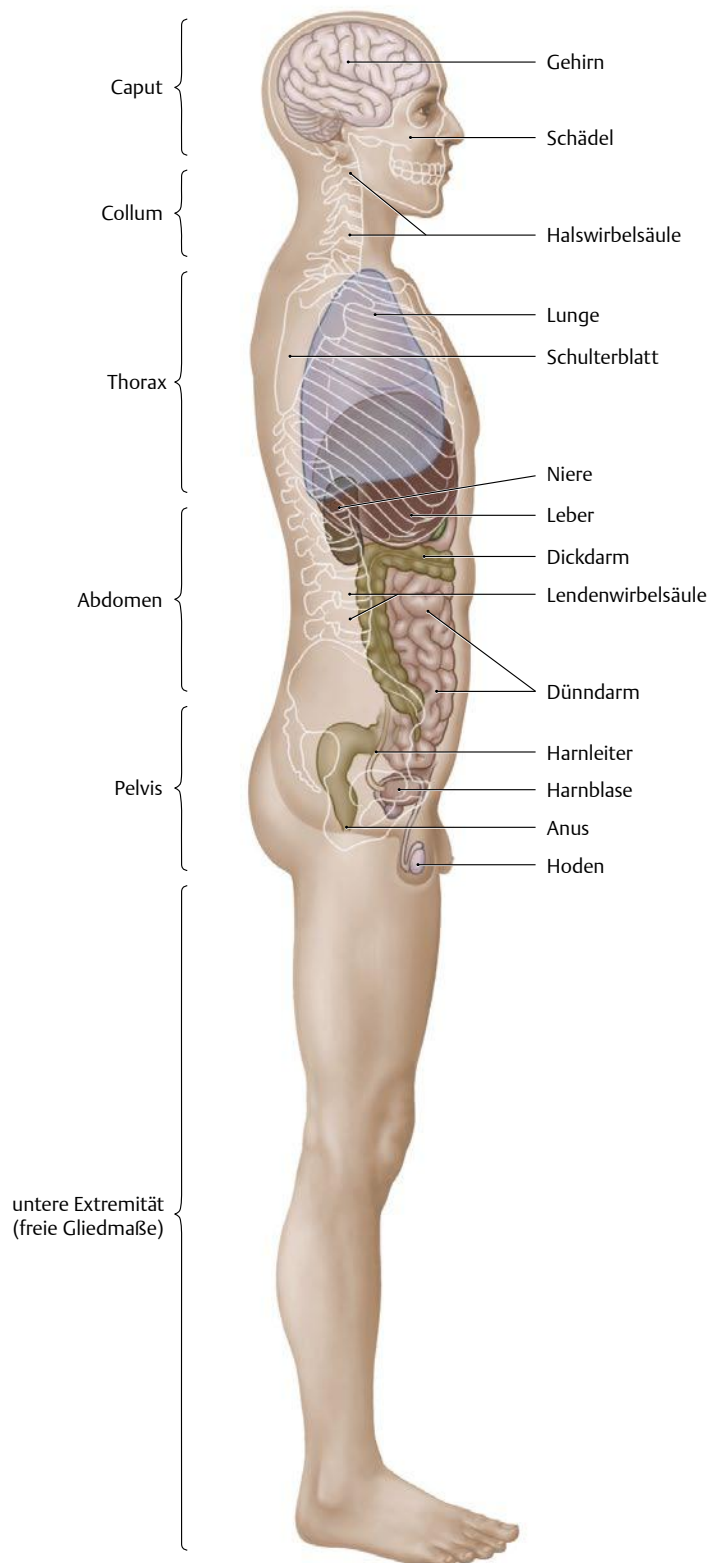
		Größe in Meter																									
		1,48	1,52	1,56	1,60	1,64	1,68	1,72	1,76	1,80	1,84	1,88	1,92	1,96	2,00												
Gewicht in Kilogramm	120	55	53	52	51	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	35	34	33	32	31	31	30
	118	54	52	51	50	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	33	32	31	31	30	30
	116	53	52	50	49	48	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	34	33	33	32	31	31	30	29
	114	52	51	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	39	38	37	36	35	34	34	33	32	32	31	30	29
	112	51	50	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	38	37	36	35	35	34	33	32	32	31	30	29	28
	110	50	49	48	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	36	35	35	34	33	32	32	31	30	29	28	28
	108	49	48	47	46	44	43	42	41	40	39	38	37	37	36	35	34	33	33	32	31	31	30	29	28	27	28
	106	48	47	46	45	44	42	41	40	39	38	37	37	36	35	34	33	33	32	31	31	30	29	28	28	27	27
	104	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	33	32	31	31	30	29	28	28	27	27	26
	102	47	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	31	30	29	28	28	27	27	26	26	26
	100	46	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	35	34	33	32	32	31	30	29	28	28	27	27	26	26	25
	98	45	44	42	41	40	39	38	37	36	36	35	35	34	33	32	32	31	30	29	28	28	27	27	26	25	25
	96	44	43	42	40	39	38	37	36	35	35	34	33	32	32	31	30	29	28	28	27	27	26	26	25	24	24
	94	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	33	32	31	30	30	29	28	28	27	27	26	25	24	24	24
	92	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	33	32	31	30	30	29	28	28	27	27	26	25	24	24	23	23
	90	41	40	39	38	37	36	35	34	33	33	32	31	30	30	29	28	28	27	27	26	25	24	24	23	23	23
	88	40	39	38	37	36	35	34	34	33	32	31	30	30	29	28	28	27	27	26	25	25	24	24	23	22	22
	86	39	38	37	36	35	34	34	33	32	31	30	30	30	29	28	28	27	27	26	25	25	24	24	23	22	22
	84	38	37	36	35	35	34	33	32	31	30	30	29	28	28	27	27	26	25	25	24	24	23	22	22	21	21
	82	37	36	35	35	34	33	32	31	30	30	29	28	28	27	26	26	25	25	24	24	23	22	22	21	21	21
80	36	35	34	33	32	31	32	31	30	29	28	27	26	25	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	20	20	
78	35	34	33	32	31	30	30	29	28	28	27	26	25	25	24	24	23	22	22	21	21	20	20	20	20	20	
76	35	34	33	32	31	30	30	29	28	27	26	25	25	24	23	23	22	22	22	21	21	20	20	19	19	19	
74	34	33	32	31	30	30	29	28	28	27	26	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	20	20	19	19	19	
72	33	32	31	30	30	29	28	27	27	26	26	25	24	24	23	22	22	21	21	20	20	20	19	19	18	18	
70	32	31	30	30	29	28	27	27	26	25	25	24	24	23	22	22	21	21	20	20	19	19	19	18	18	18	
68	31	30	29	29	28	27	27	26	25	25	24	24	23	22	22	21	21	20	20	19	19	18	18	18	17	17	
66	30	29	29	28	27	26	26	25	25	24	23	23	22	22	21	21	20	20	19	19	19	18	18	17	17	17	
64	29	28	28	27	26	26	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	20	19	19	18	18	18	17	17	16	16	
62	28	28	27	26	26	25	24	23	23	22	22	21	21	20	20	19	19	18	18	17	17	16	16	16	15	15	
60	27	27	26	25	24	23	23	22	22	21	21	20	20	19	19	19	18	18	17	17	17	16	16	15	15	15	
58	26	26	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	20	19	19	18	18	17	17	16	16	15	15	15	15	15	
56	25	25	24	24	23	22	22	21	21	20	20	19	19	18	18	17	17	16	16	15	15	15	15	14	14	14	
54	25	24	23	23	22	22	21	21	20	20	19	19	18	18	17	17	16	16	15	15	15	15	14	14	14	14	
52	24	23	23	22	21	21	20	20	19	19	18	18	17	17	16	16	15	15	15	15	15	14	14	14	14	13	
50	23	22	22	21	21	20	20	19	19	18	17	17	16	16	15	15	15	15	15	14	14	14	14	13	13	13	
48	22	21	21	20	20	19	18	17	17	16	16	15	15	15	15	15	14	14	14	14	13	13	13	12	12	12	
		starke Adipositas		Adipositas		Über-gewicht		Normal-gewicht																			

H Body-Mass-Index (BMI)

Innerhalb der Anthropometrie gilt der Body-Mass-Index (Körpermassenindex) heute international als Standard zur Beurteilung des Körpergewichtes, da er relativ gut mit dem Gesamtkörperfett korreliert. Er errechnet sich aus dem Körpergewicht (kg) dividiert durch das Quadrat der Körpergröße (m²):

$$\text{BMI} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

2.2 Der Bauplan des menschlichen Körpers



A Lage der inneren Organe
Ansicht von lateral.

B Regionale Gliederung in Körperabschnitte: Partes corporis (Teile des Körpers)

Caput (Kopf)

Collum (Hals)

Truncus (Rumpf)

- Thorax (Brust)
- Abdomen (Bauch)
- Pelvis (Becken)

Membrum superius (obere Extremität)

- Cingulum membri superioris (Schultergürtel)
- Pars libera membri superioris (freie obere Gliedmaße)

Membrum inferius (untere Extremität)

- Cingulum membri inferioris (Beckengürtel)
- Pars libera membri inferioris (freie untere Gliedmaße)

C Funktionelle Gliederung in Organsysteme

Bewegungsapparat

- Skelett und Skelettverbindungen (passiver Anteil)
- quergestreifte Skelettmuskulatur (aktiver Anteil)

Eingeweide

- Herz-Kreislauf-System
- hämolymphatisches System
- endokrines System
- Atmungssystem
- Verdauungssystem
- Harnsystem
- männliches und weibliches Genitalsystem

Kommunikationsapparat

- zentrales und peripheres Nervensystem
- Sinnesorgane

Haut und Hautanhangsgebilde

D Topografische Körperhöhlen, seröse Höhlen und Bindegewebsräume

Organe bzw. Organsysteme sind entweder in seröse Höhlen oder in unterschiedlich große Bindegewebsräume eingebettet. Eine seröse Höhle ist ein allseits geschlossener Spaltraum, der von einer spiegelnd glatten Haut (Serosa) ausgekleidet ist und eine geringe Menge Flüssigkeit enthält. Die Serosa besteht aus zwei *meist* aufeinanderliegenden Blättern (die beiden Blätter *müssen* nicht immer direkten Kontakt haben, z. B. in der Bauchhöhle!); Die Lamina visceralis liegt den Organen direkt auf, die Lamina parietalis kleidet die Wand der serösen Höhle aus.

Topografische Körperhöhlen

- Cavitas thoracis (Brusthöhle)
- Cavitas abdominalis (Bauchhöhle)
- Cavitas pelvis (Beckenhöhle)

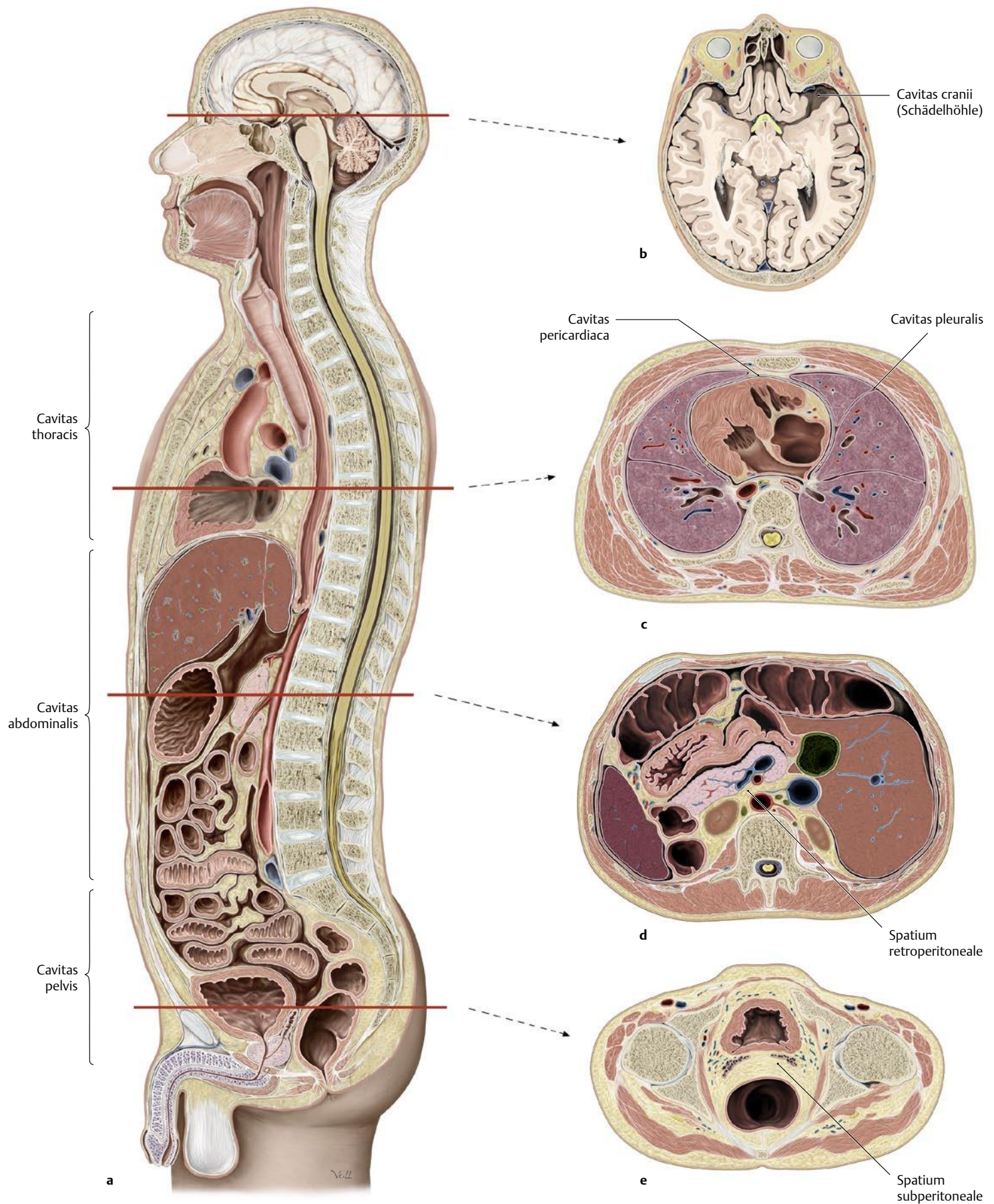
Darin liegende seröse Höhlen

- Cavitas pleuralis (Pleurahöhle)
- Cavitas pericardiaca (Herzbeutelhöhle)
- Cavitas peritonealis abdominis* (Peritonealhöhle des Bauches)
- Cavitas peritonealis pelvis* (Peritonealhöhle des Beckens)

Bindegewebsräume

- Raum zwischen mittlerem und tiefem Blatt der Fascia cervicalis
- Mediastinum (Mittelfellraum)
- Spatium extraperitoneale (Extraperitonealraum) mit:
 - Spatium retroperitoneale (Retroperitonealraum)
 - Spatium subperitoneale (Subperitonealraum)

*Beachte: Die Peritonealhöhlen von Bauch und Becken stehen miteinander in Verbindung.



E Unterschiedliche Schnittebenen durch den Körper des Menschen

a Mediansagittalschnitt;

b Transversalschnitt auf Höhe des Kopfes;

c Transversalschnitt durch den Thorax;

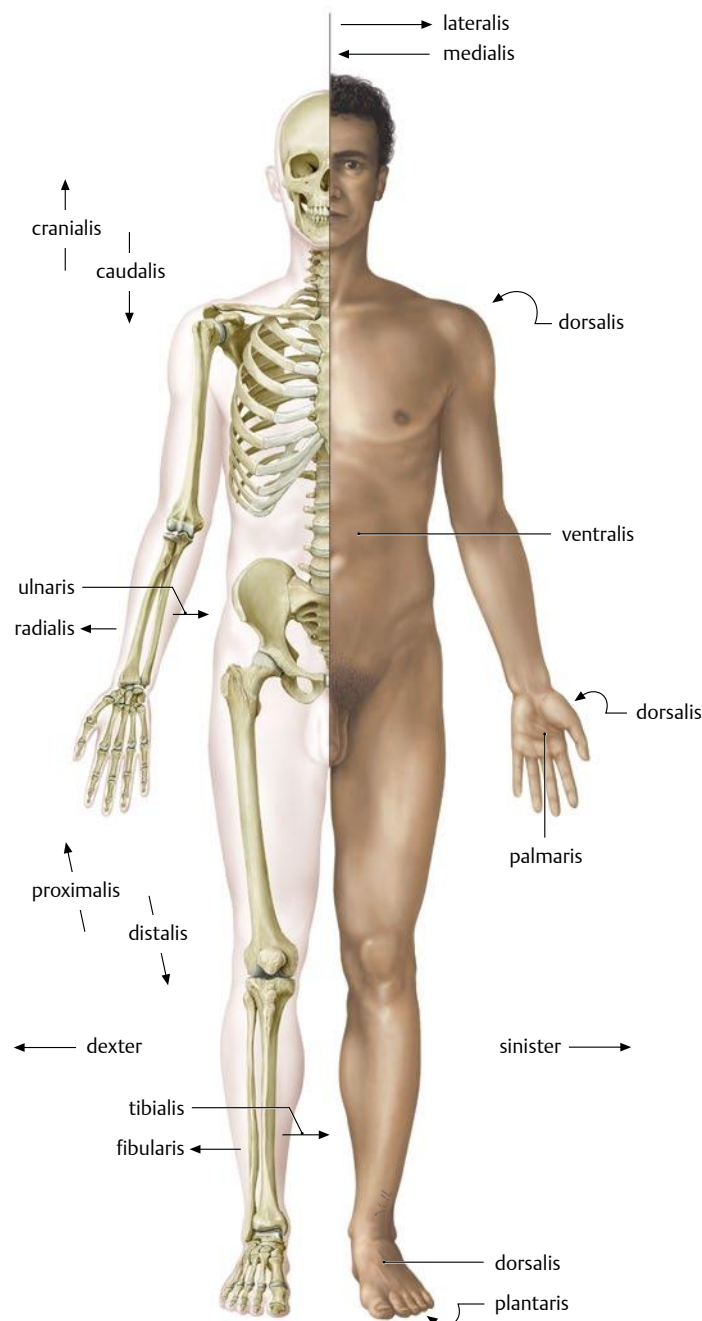
d Transversalschnitt durch das Abdomen;

e Transversalschnitt durch das kleine Becken (s. auch Hauptebenen und Hauptachsen, S. 27).

3.1 Lage- und Richtungsbezeichnungen sowie Hauptachsen und Hauptebenen am menschlichen Körper

A Lage- und Richtungsbezeichnungen (Termini generales)

Stamm (Kopf, Hals und Rumpf)	
cranialis	zum Kopf gehörend (kopfwärts gelegen)
caudalis	zum Steiß gelegen (schwanzwärts gelegen)
ventralis	bauchwärts gelegen
dorsalis	rückenwärts gelegen
superior	der Obere
inferior	der Untere
anterior	der Vordere
posterior	der Hintere
medius	der Mittlere
transversus	der Quere
flexor	der Beuger
extensor	der Strecker
axialis	auf die Achse bezogen; zum Axis gehörend
transversalis	quer zur Achse liegend
longitudinalis	längsverlaufend
horizontalis	waagrecht gelegen
verticalis	senkrecht gelegen
medialis	zur Medianebene hin
lateralis	von der Medianebene weg (seitlich gelegen)
medianus	in der Mitte liegend
intermedius	dazwischen liegend
centralis	im Mittelpunkt liegend (zum Inneren des Körpers hin)
peripheralis	nicht zum Zentrum gehörend
periphericus	zur Oberfläche des Körpers hin
profundus	tief liegend
superficialis	oberflächlich liegend
externus	außen gelegen
internus	innen gelegen
apicalis	zur Spitze gehörend (spitzenwärts)
basalis	zur Basis gehörend (basalwärts gelegen)
dexter	rechts
sinister	links
occipitalis	zum Hinterhaupt gehörend
temporalis	zur Schläfe hin
sagittalis	in Richtung der Pfeilnaht liegend
coronalis	in Richtung der Kranznaht liegend (zur Krone gehörend)
rostralis	schnabel-(schnauzen-)wärts gelegen
frontalis	zur Stirn gehörend
basilaris	zur Schädelbasis gehörend
Extremitäten	
proximalis	rumpfnah liegend (zum Rumpf hin)
distalis	rumpffern liegend (zum Ende der Gliedmaßen hin)
radialis	speichenwärts gelegen (zum Radius gehörend)
ulnaris	ellenwärts gelegen (zur Ulna gehörend)
tibialis	schienbeinseitig gelegen (zur Tibia gehörend)
fibularis	wadenbeinseitig gelegen (zur Fibula gehörend)
palmaris (volaris)	zur Hohlhandseite gehörend
plantaris	zur Fußsohlenseite gehörend
dorsalis	zum Hand- bzw. Fußrücken hin



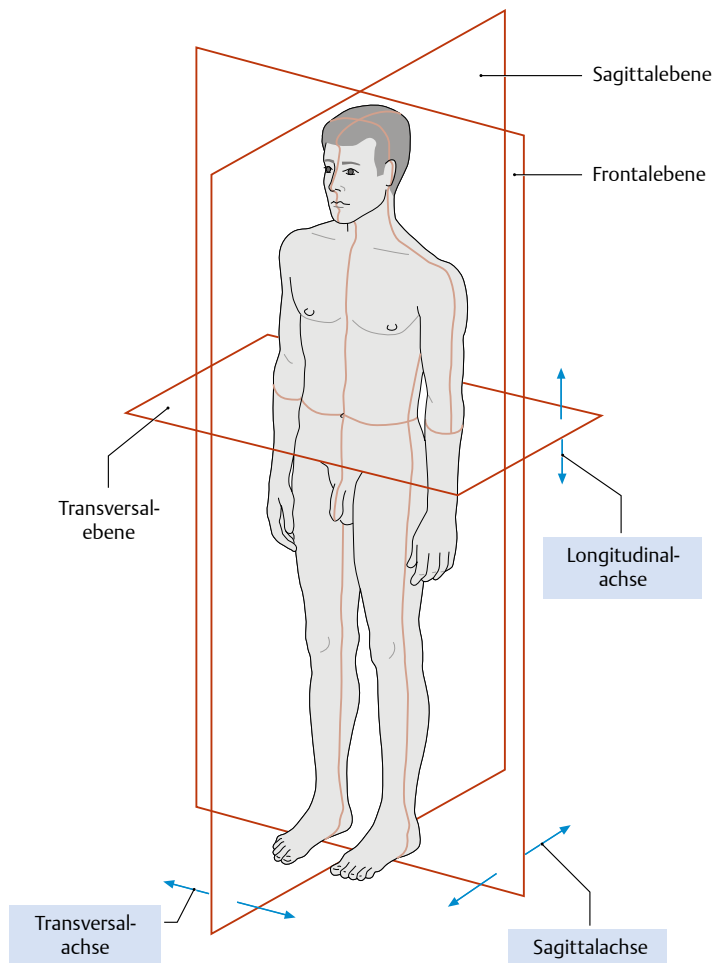
B Anatomische Normalposition

Der Blick ist nach vorne gerichtet, die Hände sind supiniert. Die rechte Körperhälfte ist durchscheinend dargestellt.

Beachte, dass sich die Bezeichnungen „links“ und „rechts“ immer auf den Patienten beziehen.

C Abkürzungen

A.	Arteria (Aa. = Arteriae)
V.	Vena (Vv. = Venae)
M.	Musculus (Mm. = Musculi)
N.	Nervus (Nn. = Nervi)
Nl.	Nodus lymphoideus (Nll. = Nodi lymphoidei)
Lig.	Ligamentum (Ligg. = Ligamenta)
R.	Ramus (Rr. = Rami)
Art.	Articulatio (Artt. = Articulationes)



D Hauptebenen und Hauptachsen am Körper des Menschen (Neutral-Null-Stellung in der Ansicht von links vorne)

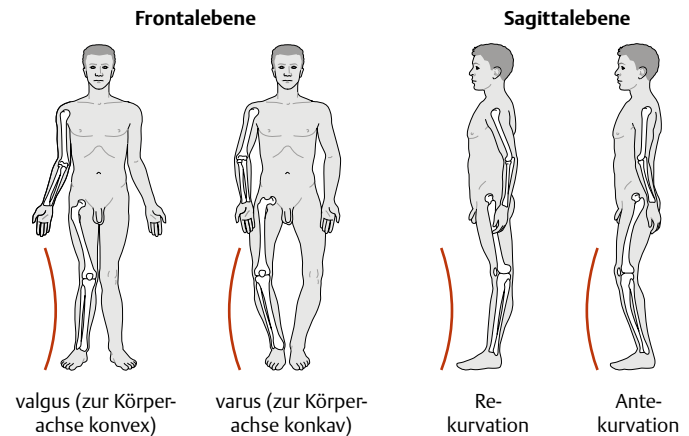
Obwohl sich durch den Körper des Menschen beliebig viele Achsen und Ebenen legen lassen, werden in der Regel *drei Hauptachsen und -ebenen* definiert. Sie stehen jeweils senkrecht aufeinander und geben die drei Raumkoordinaten an.

Hauptebenen:

- **Sagittalebene:** Alle *vertikalen* Ebenen, die parallel zur Sutura sagittalis (Pfeilnaht) des Schädels ausgerichtet sind und im Stand von ventral nach dorsal verlaufen. Die *Mediansagittalebene* (= Medianebene) teilt den Körper in zwei seitengleiche Hälften.
- **Frontalebene (= koronare Ebene):** Alle *parallel zur Stirn* (Frons) bzw. zur Sutura coronalis (Kranznaht) des Schädels ausgerichteten Ebenen, die im Stand vertikal von einer zur anderen Körperseite verlaufen.
- **Transversalebene:** Alle, auf den Stand bezogen, *horizontal* verlaufenden Querschnittsebenen, die den Körper in einen kranialen und kaudalen Abschnitt teilen. Sie laufen senkrecht zur Körperlängsachse.

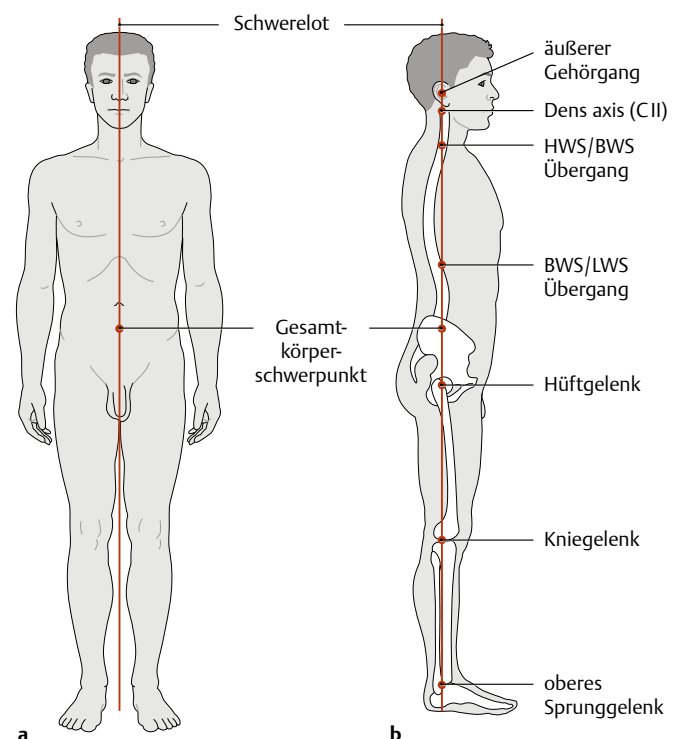
Hauptachsen:

- **Longitudinal- oder Vertikalachse (Längsachse):** Sie verläuft bei aufrechtem Stand in *kranial-kaudaler* Richtung und steht senkrecht zur Unterlage. Sie liegt im Schnittpunkt von Frontal- und Sagittalebene.
- **Sagittalachse (Pfeilachse):** Sie verläuft in *ventral-dorsaler* Richtung von der Vorder- zur Hinterfläche des Körpers bzw. umgekehrt und liegt im Schnittpunkt von Sagittal- und Transversalebene.
- **Transversal- oder Horizontalachse (Querachse):** Sie erstreckt sich von links nach rechts bzw. umgekehrt und liegt im Schnittpunkt von Frontal- und Transversalebene.



E Achsenabweichungen an den Extremitäten

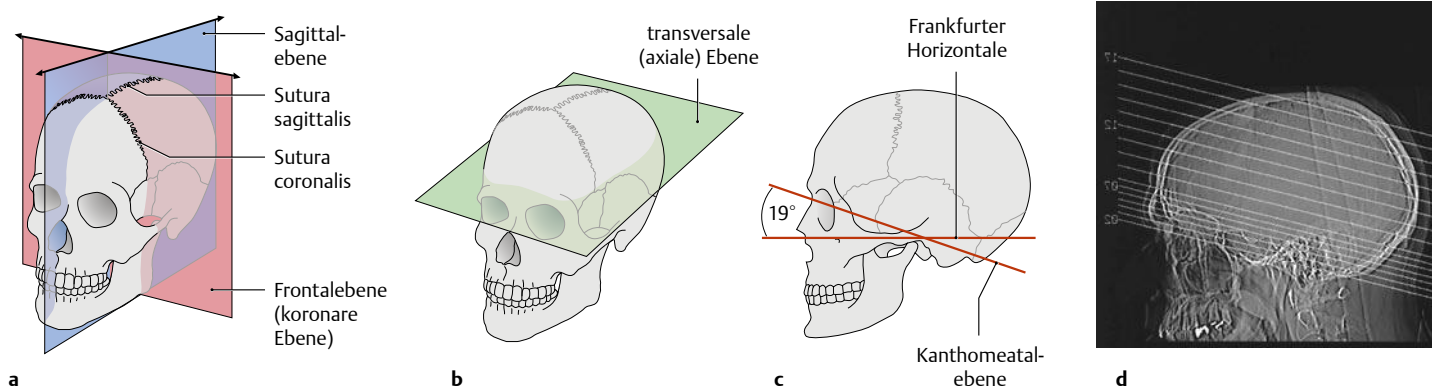
An den Extremitäten können Gelenkdeformitäten dazu führen, dass die Achsen der beiden artikulierenden Knochen sowohl in der Frontal- als auch der Sagittalebene voneinander abweichen. Gemäß internationaler Übereinkunft bezeichnet man Achsenabweichungen in der Frontalebene als *Varus-* bzw. *Valgusstellung*, in der Sagittalebene als *Rekurvation* bzw. *Ante-kurvation*. Eine Varusstellung im Kniegelenk liegt z. B. vor, wenn die Achsenabweichung zur Körperlängsachse konkav ist bzw. der distale Knochen (Tibia) zur Mittellinie hin zeigt (z. B. *Genu varum* = O-Bein). Bei einer Valgusstellung im Kniegelenk ist die Achsenabweichung zur Körperlängsachse konvex bzw. die Tibia zeigt von der Mittellinie weg (z. B. *Genu valgum* = X-Bein).



F Lage des Gesamtkörperschwerpunkts und Verlauf des Schwerelots

- Ansicht von vorne.** Das Schwerelot verläuft in der Mediansagittalebene durch den Gesamtkörperschwerpunkt unterhalb des Promontoriums auf Höhe des 2. Sakralwirbels.
- Ansicht von lateral.** Im Schwerelot liegen der äußere Gehörgang, der Zahnfortsatz des 2. Halswirbels (Dens axis), die anatomisch-funktionellen Übergänge innerhalb der Wirbelsäule, der Gesamtkörperschwerpunkt sowie die Hüft-, Knie- und Sprunggelenke (nach Kummer).

3.2 Lage und Bezeichnung von radiologischen Untersuchungsebenen



A Radiologische Schnittebenen am Beispiel des Schädels

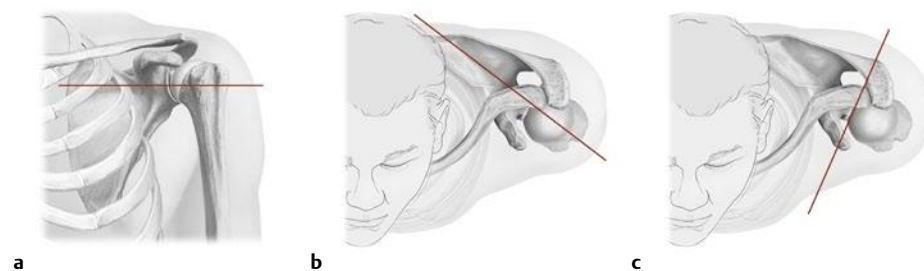
a Entsprechend den drei anatomischen Hauptebenen (Frontal-, Sagittal- und Transversalebene, s. S. 27) werden auch bei den wichtigsten bildgebenden Verfahren (Computertomographie [CT] und Magnetresonanztomographie [MRT]) bestimmte Standardschnittebenen definiert:

Radiologische Schnittbildebene	Anatomische Ebene
Koronare Ebene	= Frontalebene (entlang der bzw. parallel zur Sutura coronalis)
Sagittale Ebene	= Sagittalebene (entlang der bzw. parallel zur Sutura sagittalis)
Axiale Ebene	= Transversalebene (am Kopf parallel zur „Frankfurter bzw. Deutschen Horizontalen“ bzw. am Rumpf und an den Extremitäten senkrecht zur jeweiligen Längs- oder Longitudinalachse)

b Die „Frankfurter“ bzw. „Deutsche“ Horizontale (Transversalebene) verläuft vom Oberrand des Meatus acusticus externus (äußerer Gehörgang) zum Unterrand der Orbita (Augenhöhle).

c u. d Axiale Computertomogramme des Schädels bzw. des Gehirns werden in der Regel um etwa 19° nach dorsal gekippt (entlang der sog. Kanthomeatealebene). Diese Ebene verläuft vom Oberrand des Meatus acusticus externus zum Kanthus (Augenwinkel) und schützt den Inhalt der Orbita vor zu starker Röntgenstrahlung.

Beachte: Prinzipiell ist jedoch sowohl bei der CT als auch bei der MRT jede beliebige Schnittebene (multiplanar) möglich. Bei beiden Verfahren wird jeweils ein Datenvolumen erzeugt, aus dem sich nicht nur 2-dimensionale Rekonstruktionen, sondern mit Hilfe der 3-D-Rekonstruktion auch räumliche Darstellungen (z. B. innerhalb der Gefäßdiagnostik bei komplizierten anatomischen oder pathologischen Gefäßveränderungen) herstellen lassen.



B Standardebenen bei der MRT-Untersuchung der Schulter

Der Patient liegt auf dem Rücken, der Arm des zu untersuchenden Schultergelenks ist parallel zum Körper in Armaußenrotation oder Neutral-Null-Stellung gelagert.

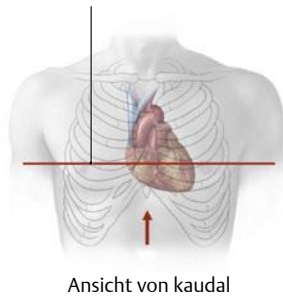
- a Lage der axialen (transversalen) Untersuchung(schnitt)ebene einer linken Schulter, Ansicht von ventral;
- b Lage der schräg koronaren Schnittebene (parallel zum M. supraspinatus und senkrecht zur Cavitas glenoidalis), Ansicht von kranial;
- c Lage der schräg sagittalen Schnittebene (parallel zur Cavitas glenoidalis), Ansicht von kranial.

Aufgrund der Darstellung des Körpers in beliebigen Schnittebenen (sog. multiplanare Darstellung) und der besonders guten Differenzierung der periartikulären Weichteile eignet sich die MRT sehr gut zur Untersuchung von Gelenken. Je nach gewählter Darstellung (Schnittebene) und Relaxationszeit (T1- und T2-gewichtete Aufnahmen) lassen sich die Gewebe nach ihrer anatomischen Lage sowie nach ihrem Wasser- oder Fettgehalt differenzieren. *Beachte:* Die Betrachtung von axialen (transversalen) Schnittebenen (s. D) erfolgt stets von kaudal (distal).

C Wichtige anatomische Strukturen am Schultergelenk, geordnet nach der günstigsten Schnittebene bei der MRT

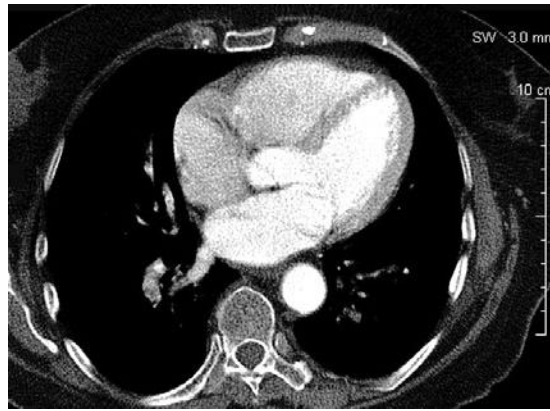
Schnittebene in der MRT	Wichtige anatomische Strukturen, die sichtbar sind
Axiale (transversale) Ebene	• M. supraspinatus • Labrum glenoidale • Gelenkkapsel • Ligg. glenohumeralia • lange Bizepssehne
Schräg koronare Ebene	• M. supraspinatus • M. infraspinatus • Bursa subacromialis • Akromioklavikulargelenk • oberes und unteres Labrum glenoidale
Schräg sagittale Ebene	• Rotatorenmanschette • Lig. coracoacromiale • Akromion • Ligg. glenohumeralia • subakromialer Raum

transversale (axiale)
Untersuchungsebene



Ansicht von kaudal

a



b



c



d

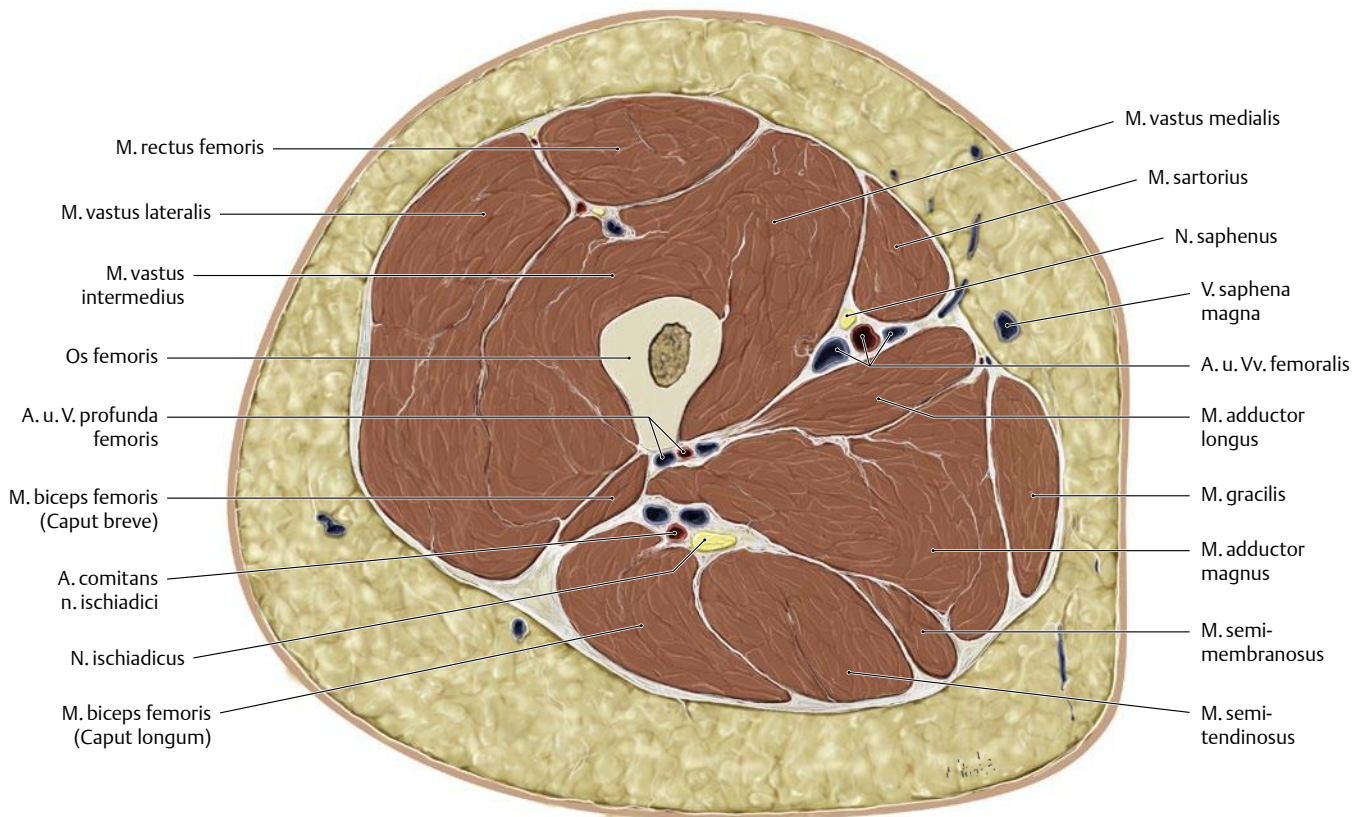
D Betrachtung von axialen Schnittbildern

a u. b Rumpf; c–e untere Extremität.

- a Thorax in der Ansicht von vorne und Lage der transversalen (axialen) Untersuchungsebene auf Höhe von Th VIII;
- b Axiales CT des Thorax (Ansicht von kaudal) im sog. Weichteilfenster, d. h., die Weichteile (das Herz) können in hoher Auflösung beurteilt werden, die Lungen dagegen sind aufgrund der in ihnen vorhandenen Luft überbelichtet (schwarz), die Knochen unterbelichtet (weiß);
- c rechter Oberschenkel, Ansicht von vorne, und Lage der transversalen (axialen) Untersuchungsebene;
- d axiales, T1-gewichtetes MRT des rechten Oberschenkels, Ansicht von distal;
- e anatomisches Schnittbild mit Bezeichnung der angeschnittenen Strukturen.

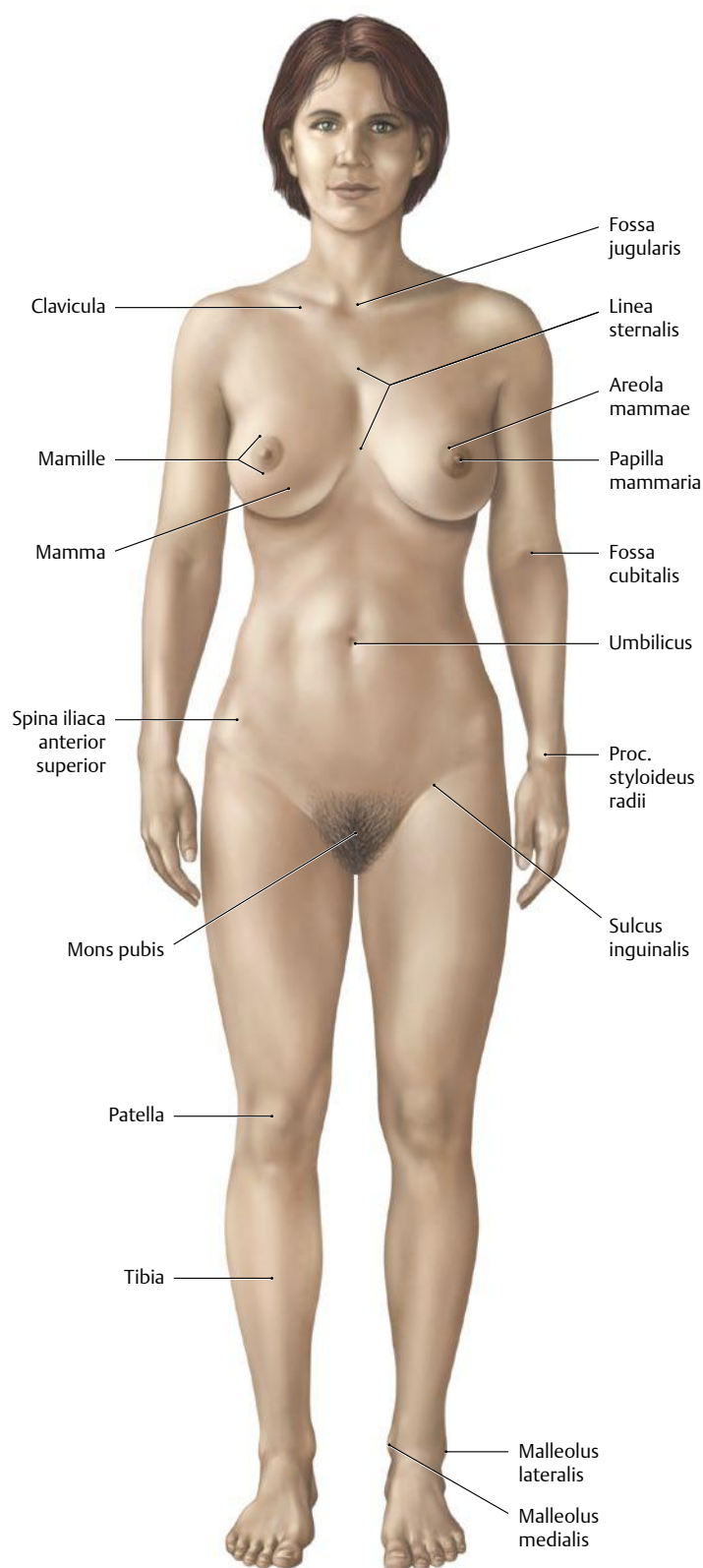
Axiale (transversale) Schnittbilder werden im CT wie im MRT von *kaudal*, bei Extremitäten dementsprechend von *distal*, betrachtet; der Patient liegt dabei auf dem Rücken. Auf axialen Schnittbildern zeigt deshalb die dorsal liegende Wirbelsäule grundsätzlich nach unten, das ventral liegende Thoraxskelett nach oben; entsprechend weist die Vorderseite des Oberschenkels nach oben, die Rückseite nach unten; rechts liegende Strukturen werden links, links liegende Strukturen rechts abgebildet.

Beachte: Frontale bzw. koronare Schnittbilder werden betrachtet, als ob der Patient vor dem Betrachter stünde.



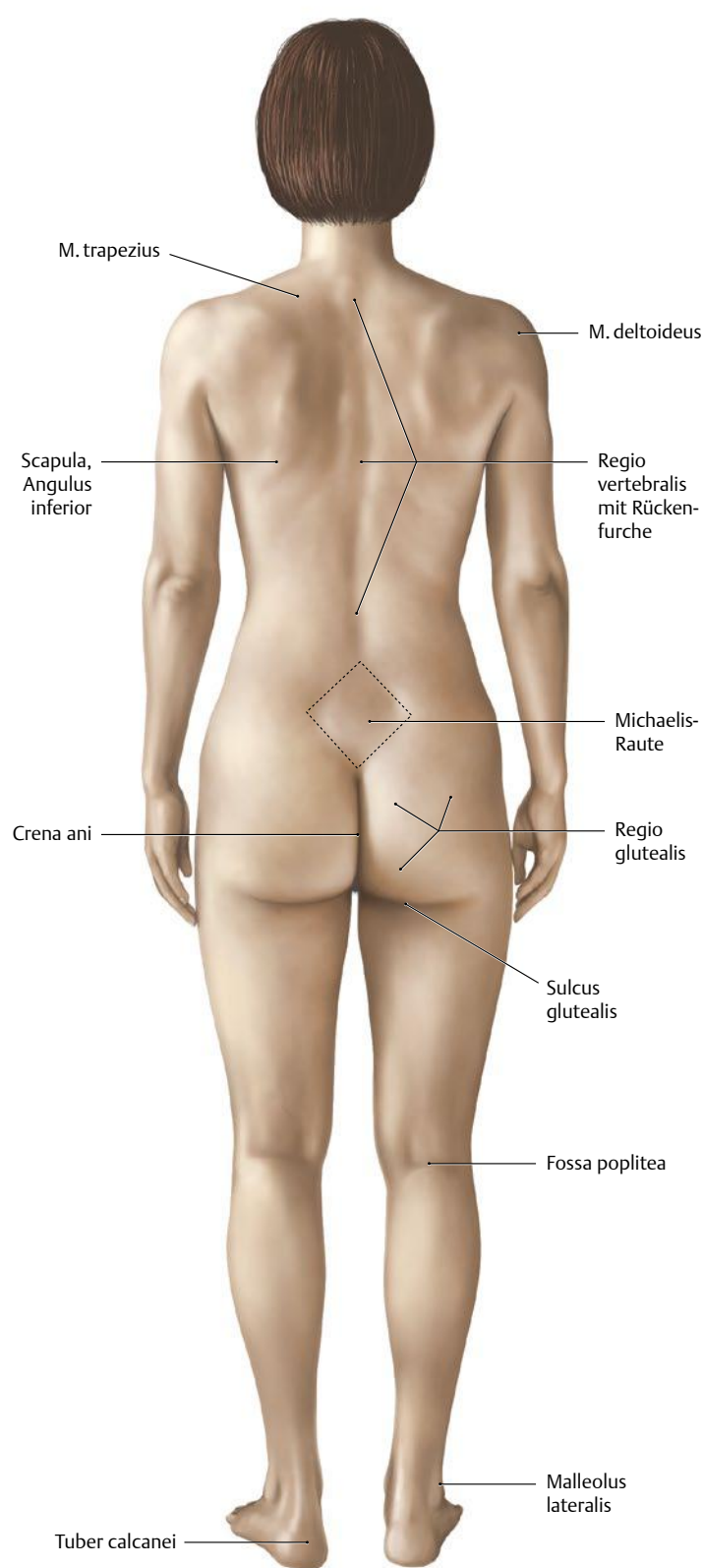
e

3.3 Oberflächenanatomie



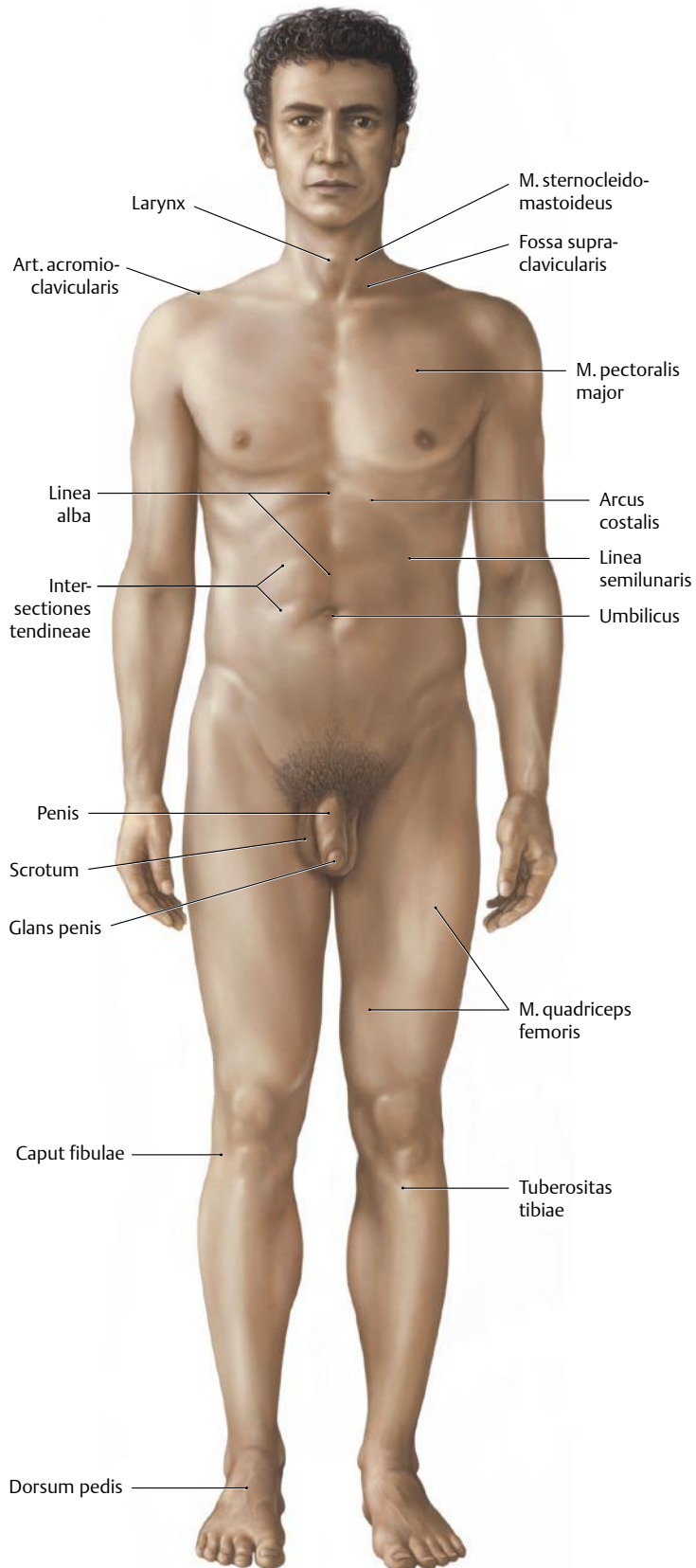
A Oberflächenanatomie der Frau

Ansicht von ventral. Die Oberflächenanatomie ist Anatomie am Lebenden und befasst sich u.a. mit der Körperoberfläche. Sie spielt bei den klassischen Untersuchungsmethoden (Inspektion, Palpation, Perkussion, Auskultation und Funktionsprüfung) eine wichtige Rolle und hat somit v.a. bei den klinischen Untersuchungskursen große Bedeutung. Im Interesse der Übersichtlichkeit sind bei Mann und Frau identische Strukturen, wie z. B. das Olecranon, nicht doppelt beschriftet.

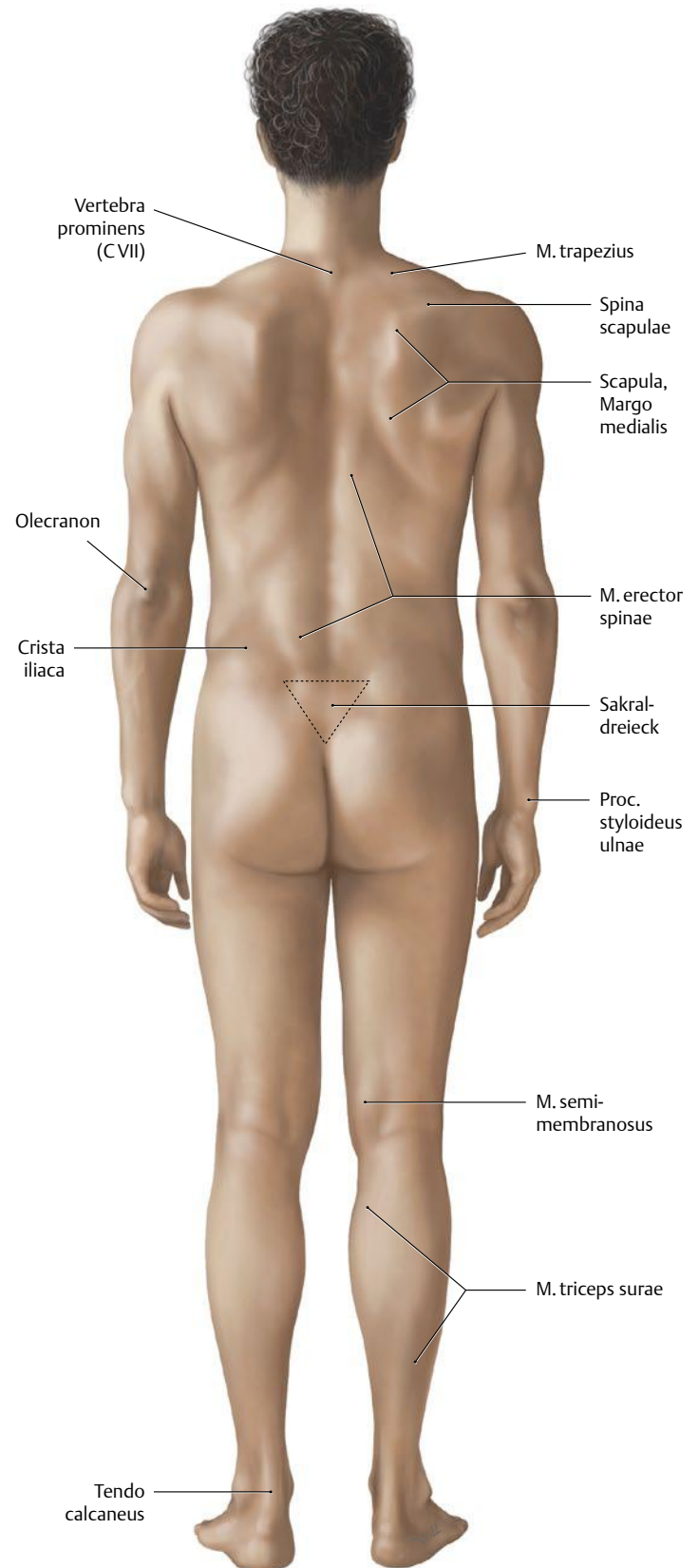


B Oberflächenanatomie der Frau

Ansicht von dorsal.



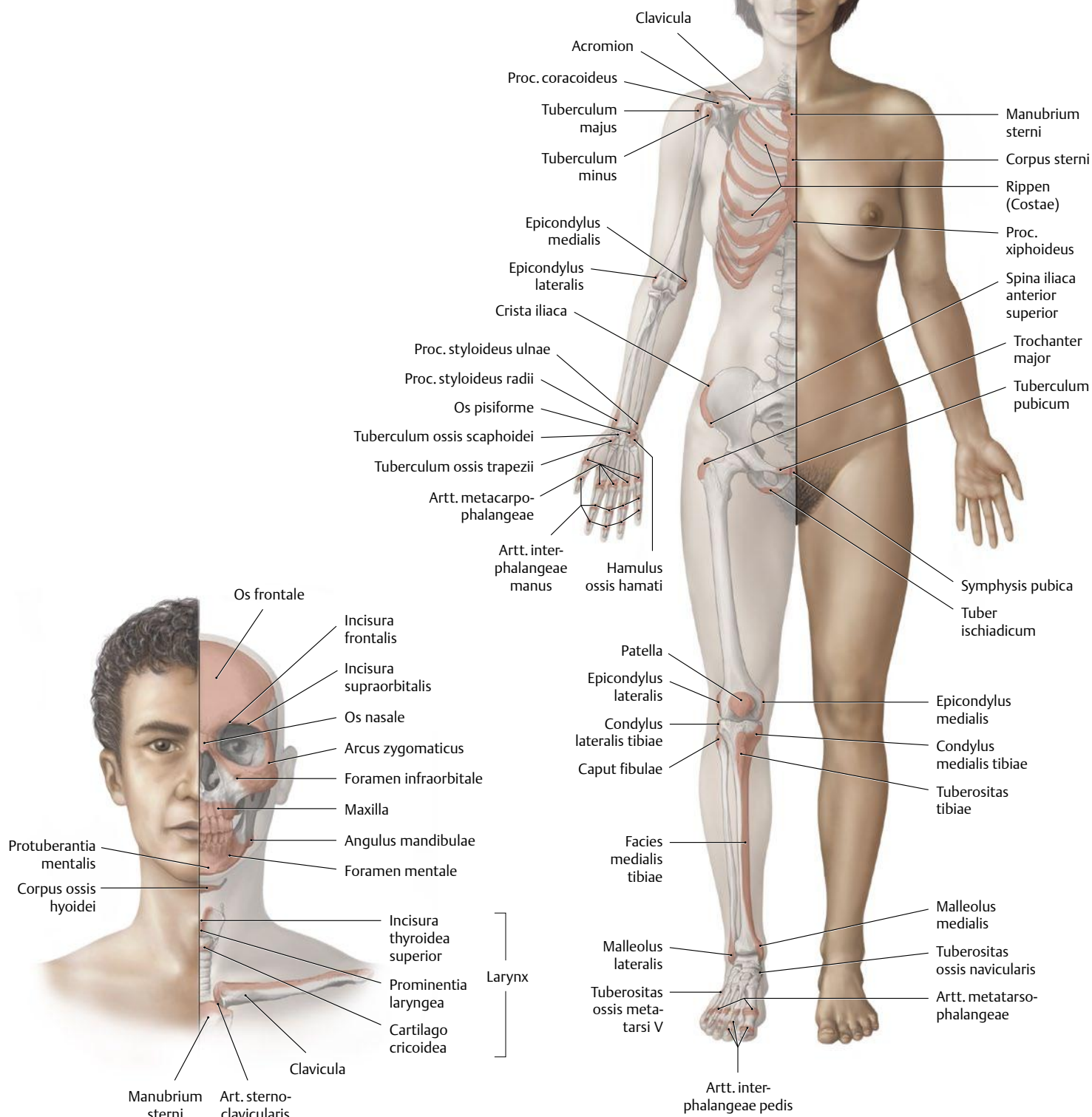
C Oberflächenanatomie des Mannes
Ansicht von ventral.



D Oberflächenanatomie des Mannes
Ansicht von dorsal.

3.4 Oberflächenrelief und tastbare Knochenpunkte

Tastbare Knochenpunkte sind wichtig für die Orientierung am Skelett, so ist beispielsweise die Palpation artikulierender Skelettelemente (z. B. des Hüftgelenks) manchmal nicht möglich. Bei der klinischen Untersuchung kann die Lage dann nur indirekt über tastbare Knochenpunkte in der Umgebung erfolgen.

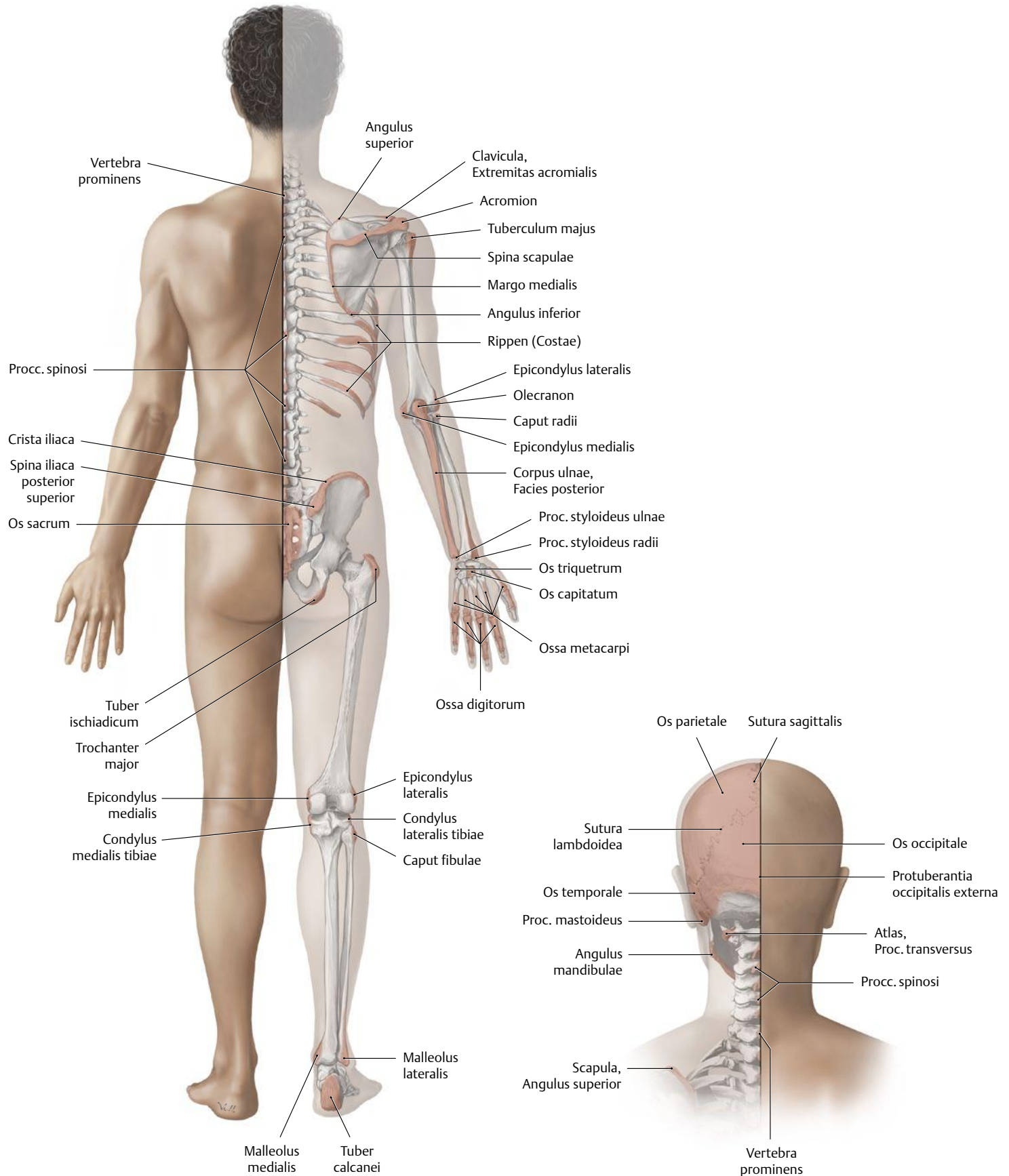


A Oberflächenrelief und tastbare Knochenpunkte von Gesicht und Hals

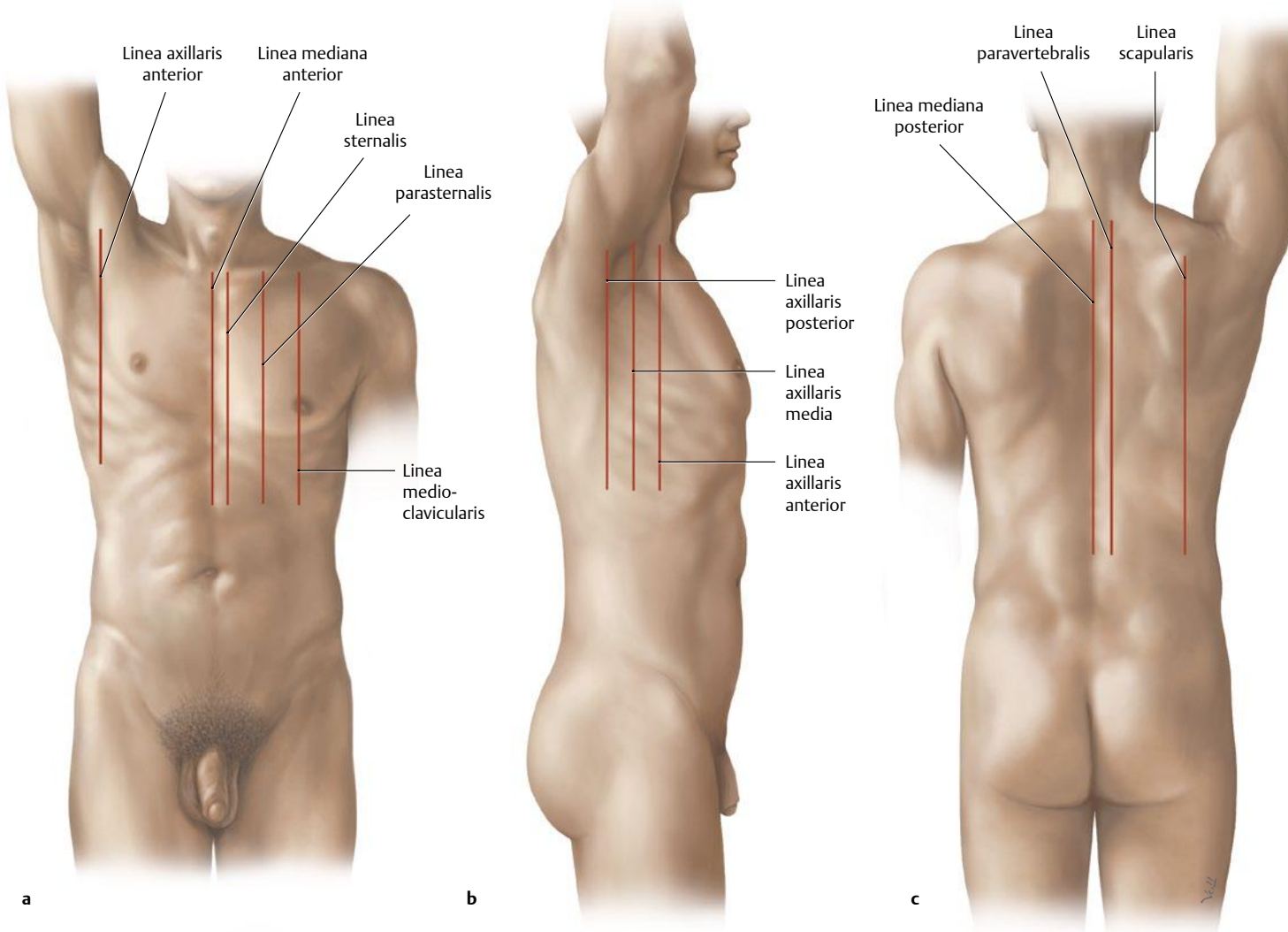
Ansicht von ventral.

B Oberflächenrelief und tastbare Knochenpunkte von Rumpf, oberer und unterer Extremität einer Frau

Ansicht von ventral.



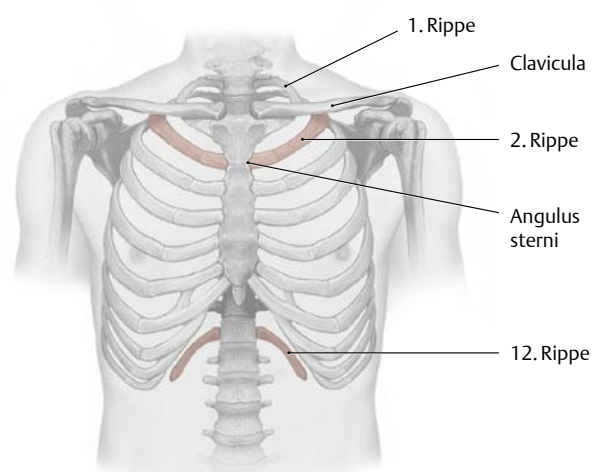
3.5 Orientierungshilfen am menschlichen Körper



A Vertikale Orientierungslinien am Rumpf

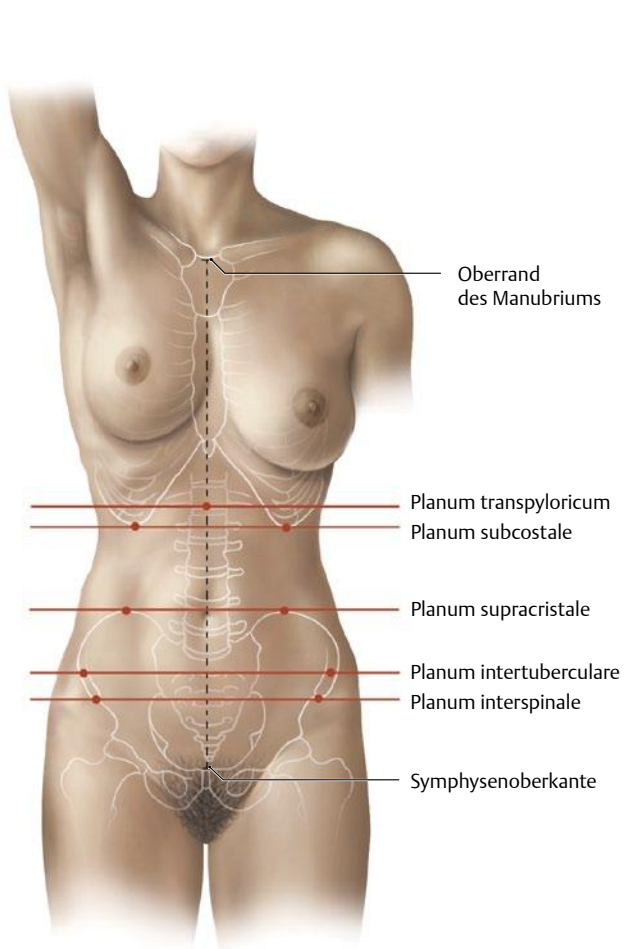
a Ansicht von ventral; **b** Ansicht von rechts; **c** Ansicht von dorsal.

Linea mediana anterior	vordere Rumpfmittellinie durch die Mitte des Sternums
Linea sternalis	Linie entlang des Sternalrandes
Linea parasternalis	Linie in der Mitte zwischen Linea sternalis und Linea medioclavicularis
Linea medioclavicularis	Linie durch die Mitte des Schlüsselbeins (häufig identisch mit der Linea mamillaris)
Linea axillaris anterior	Linie auf Höhe der vorderen Achselhöhlenfalte (M. pectoralis major)
Linea axillaris media	Linie in der Mitte zwischen vorderer und hinterer Axillarlinie
Linea axillaris posterior	Linie auf Höhe der hinteren Achselhöhlenfalte (M. latissimus dorsi)
Linea mediana posterior	hintere Rumpfmittellinie auf Höhe der Dornfortsätze
Linea paravertebralis	Linie auf Höhe der Querfortsätze
Linea scapularis	Linie durch den Angulus inferior



B Orientierung am Thorax durch „Abzählen“ der Rippen

Die 1. Rippe wird von der Clavicula bedeckt, deswegen kann man erst die 2. Rippe tasten, sodass man bei der Zählung mit dieser beginnt. Sie setzt auf Höhe des Brustbeinwinkels (Angulus sterni) am Sternum an. Kaudal beginnt man am besten mit der 12. Rippe, welche nur dorsal zu tasten ist.



C Transversalebene (s. auch S.201) zur Unterteilung des Bauchraums

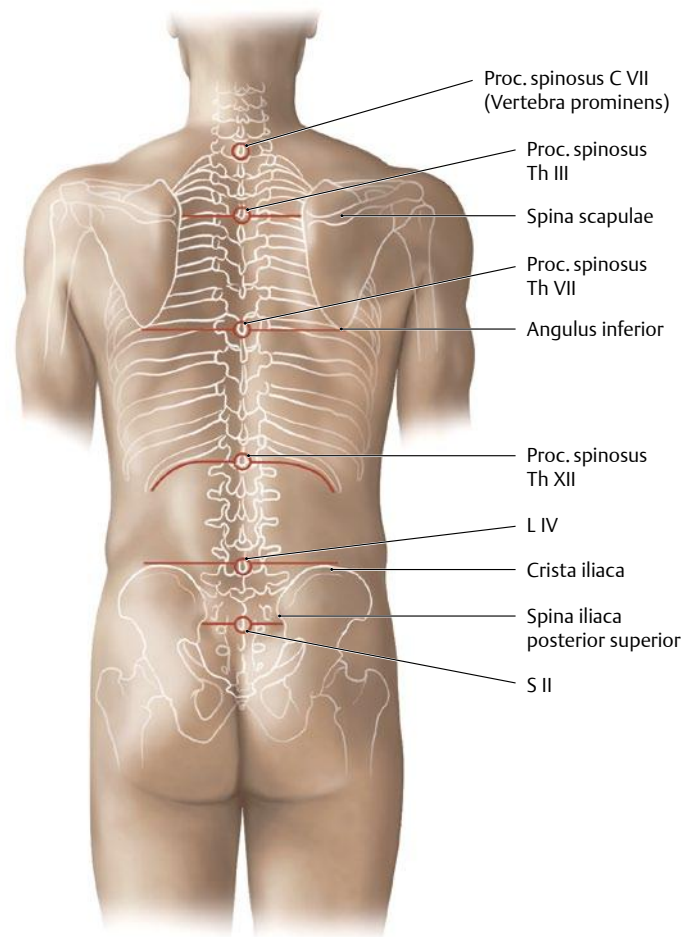
Ansicht von ventral.

Planum transpyloricum	Transversalebene durch den Halbie- rungspunkt der Strecke zwischen Symphysenoberkante und dem Oberrand des Manubriums
Planum subcostale	auf Höhe der unteren Rippenbogenbe- grenzung (Unterkante des 10. Rippen- knorpels)
Planum supracristale	durch die höchsten Punkte der beiden Cristae iliacae
Planum intertuberculare	auf Höhe der beiden Tubercula iliacae (der Darmbeinhöcker liegt etwa 5 cm dorsolateral von der Spina iliaca anterior superior)
Planum interspinale	durch die beiden Spinae iliacae anteriores superiores

E Steinschnittlage (Rückenlage mit angewinkelten und gespreizten Beinen)

Bevorzugte Lagerung des Patienten bei der proktologischen Untersu-
chung. Die Orientierung (z.B. zur Beschreibung der Lokalisation eines
Befundes) erfolgt entsprechend des Zifferblattes einer Uhr:

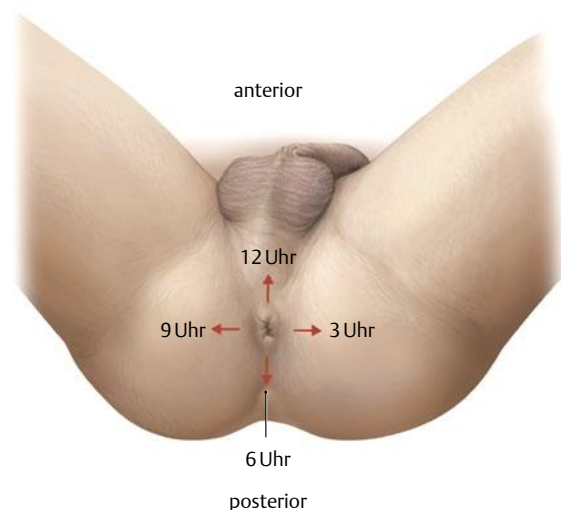
- oben = Richtung Os pubis = 12 Uhr,
- unten = Richtung Os sacrum = 6 Uhr,
- rechts = 3 Uhr und
- links = 9 Uhr.



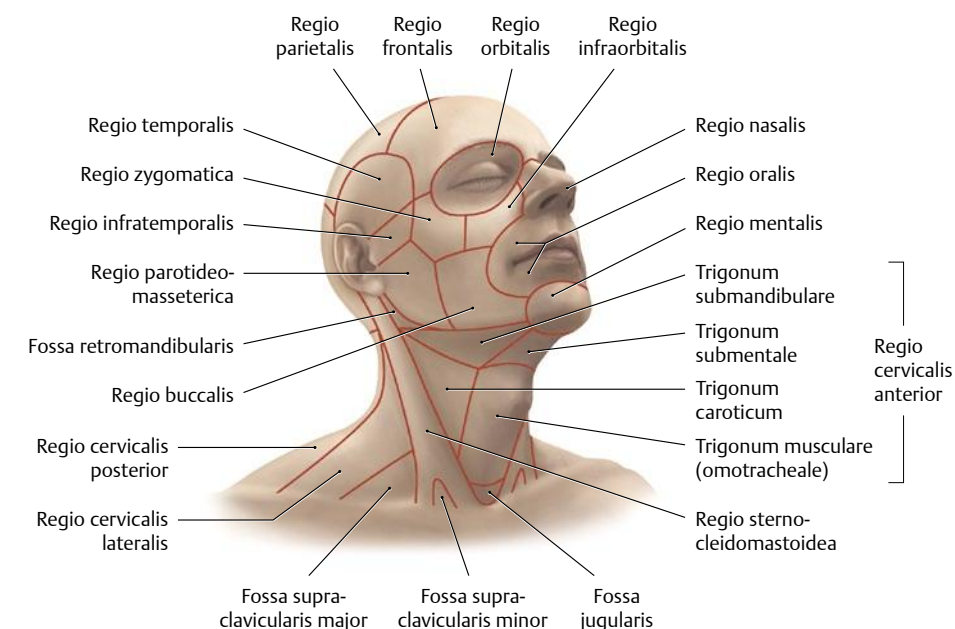
D Dornfortsätze als Orientierungspunkte am Rücken

Ansicht von dorsal.

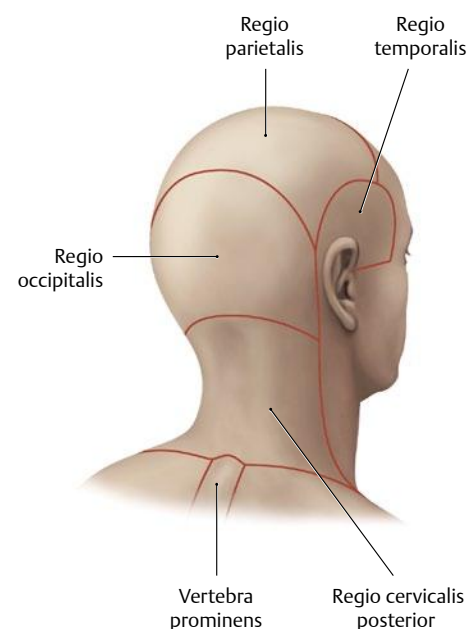
Dornfortsatz C VII	Vertebra prominens (wegen seines vorspringen- den Dornfortsatzes deutlich sicht- und tastbar)
Dornfortsatz Th III	auf Höhe der Verbindungslinie zwischen den beiden Spinae scapulae
Dornfortsatz Th VII	auf Höhe der Verbindungslinie zwischen den Anguli inferiores der beiden Schulterblätter
Dornfortsatz Th XII	etwas unterhalb der 12. Rippe
Dornfortsatz L IV	auf Höhe der Verbindungslinie der höchsten Punkte der beiden Cristae iliacae
Dornfortsatz S II	auf Höhe der Verbindungslinie der beiden Spinae iliacae posteriores superiores (zu erkennen an den Hautgrübchen direkt über den Darmbeinstacheln)



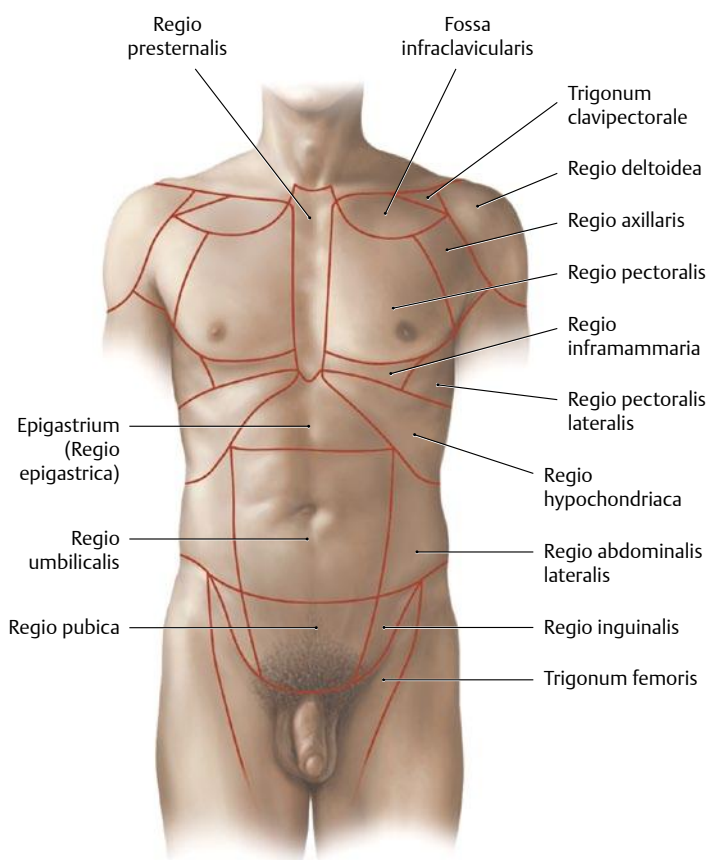
3.6 Körperregionen (topografische Anatomie)



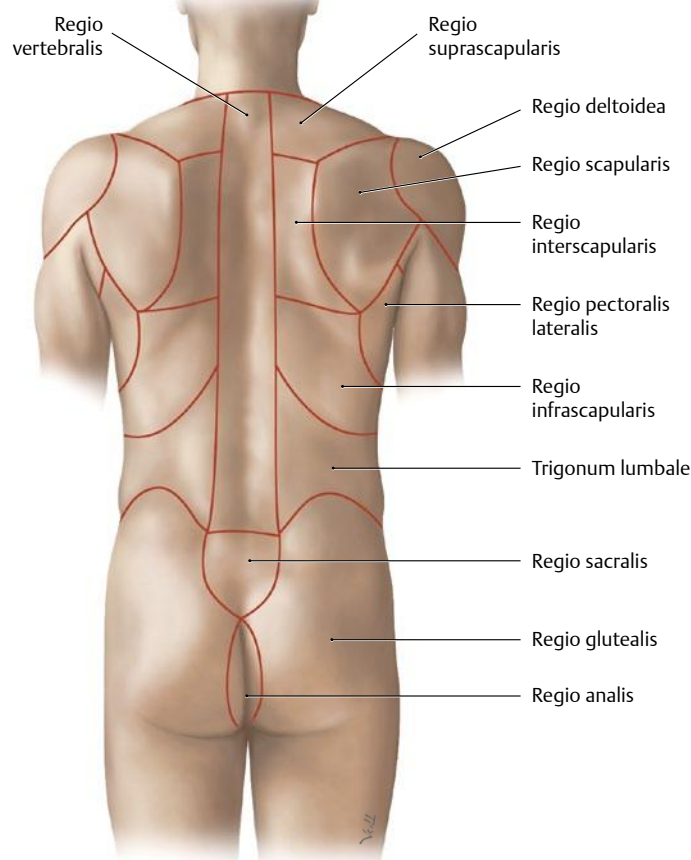
A Regionen des Kopfes und Halses
Ansicht von ventral-rechts.



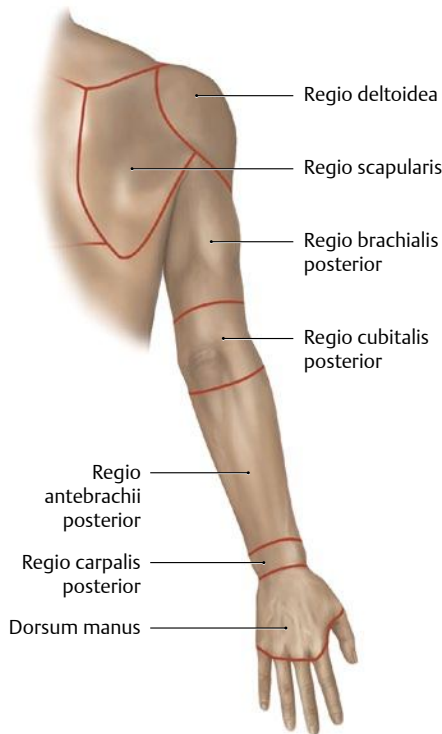
B Regionen des Kopfes und Halses
Ansicht von dorsal-rechts.



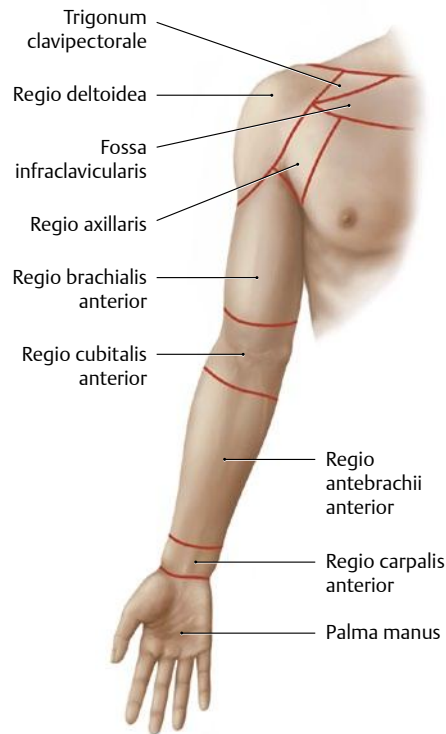
C Regionen von Thorax und Abdomen
Ansicht von ventral.



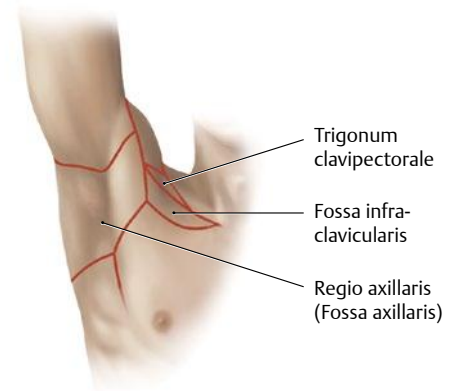
D Regionen des Rückens und der Gesäßgegend
Ansicht von dorsal.



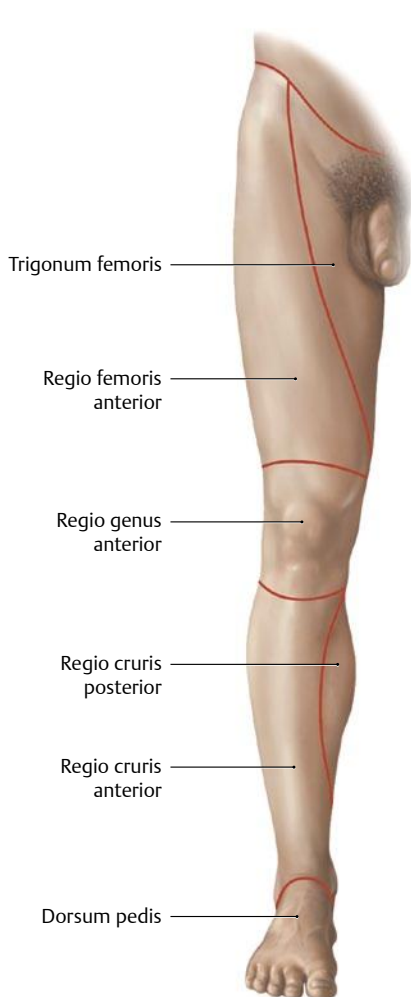
E Regionen der oberen Extremität
Ansicht von dorsal.



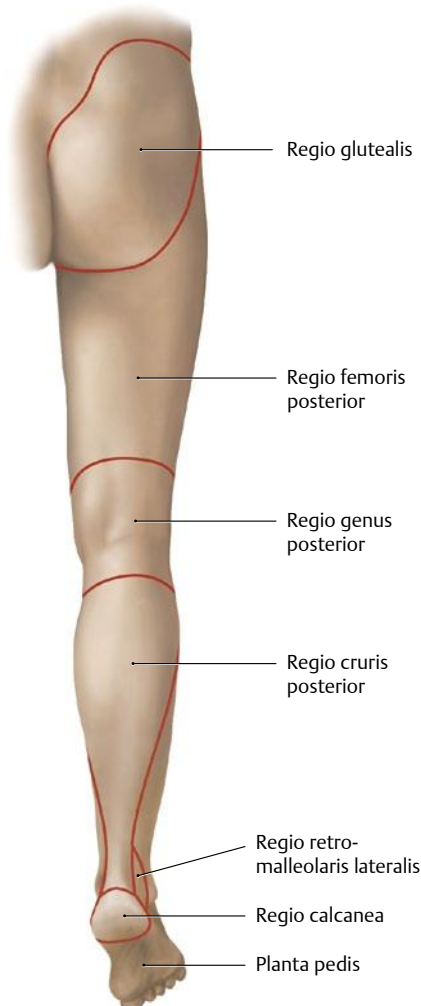
F Regionen der oberen Extremität
Ansicht von ventral.



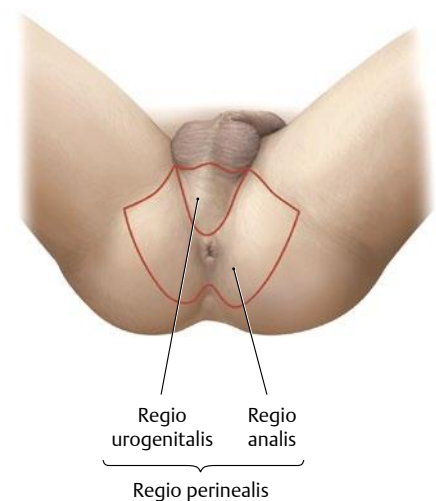
G Regionen im Bereich der Axilla
Ansicht von ventral.



H Regionen der unteren Extremität
Ansicht von vorne.

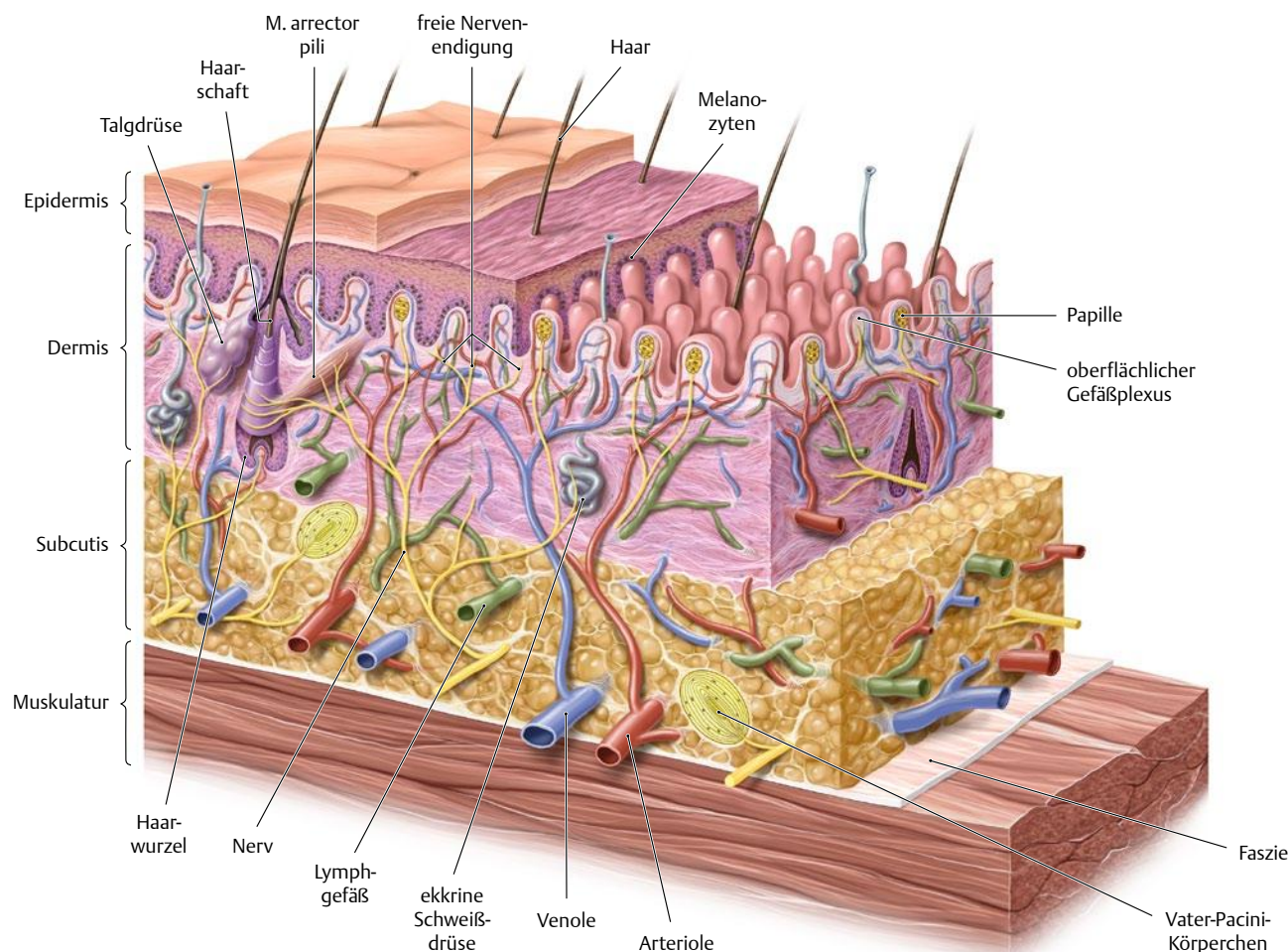


J Regionen der unteren Extremität
Ansicht von hinten.



K Dammregionen (Steinschnittlage)

3.7 Haut



A Aufbau der Haut

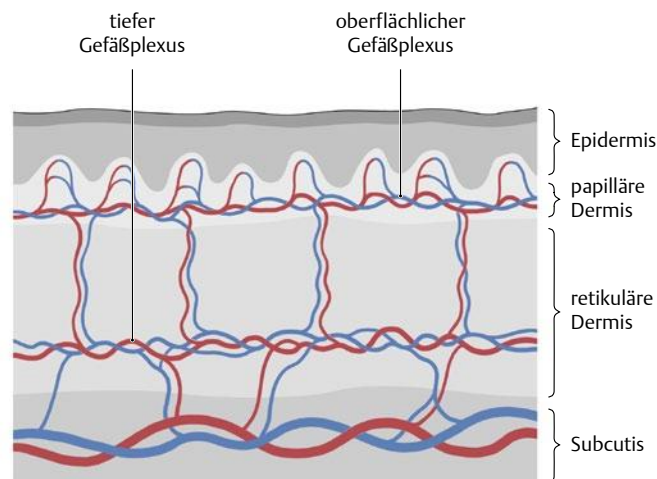
Die Haut ist die äußere Barriere des Menschen gegenüber der Umwelt. Sie bedeckt den ganzen Körper und ist rein flächenmäßig das größte Organ (ca. 1,8 m² Oberfläche). Je nach Oberflächenrelief (rhombische Felder oder Leisten) unterscheidet man Felder- und Leistenhaut. Die Leistenbildung ist die Grundlage des Fingerabdruckes (s. S. 376). Leistenhaut gibt es nur an der Palmar- bzw. Plantarseite von Hand bzw. Fuß. Beide Hautarten sind in Schichten von oben nach unten bzw. von außen nach innen unterteilt (s. Tab. C):

- Oberhaut (Epidermis = epithelialer Anteil der Haut),
- Lederhaut (Dermis, Cutis oder Corium = bindegewebiger Anteil der Haut; diese Schicht der Haut von Nutztieren wird zu Leder verarbeitet),
- Unterhaut (Subcutis oder Tela subcutanea).

B Gefäßversorgung der Haut

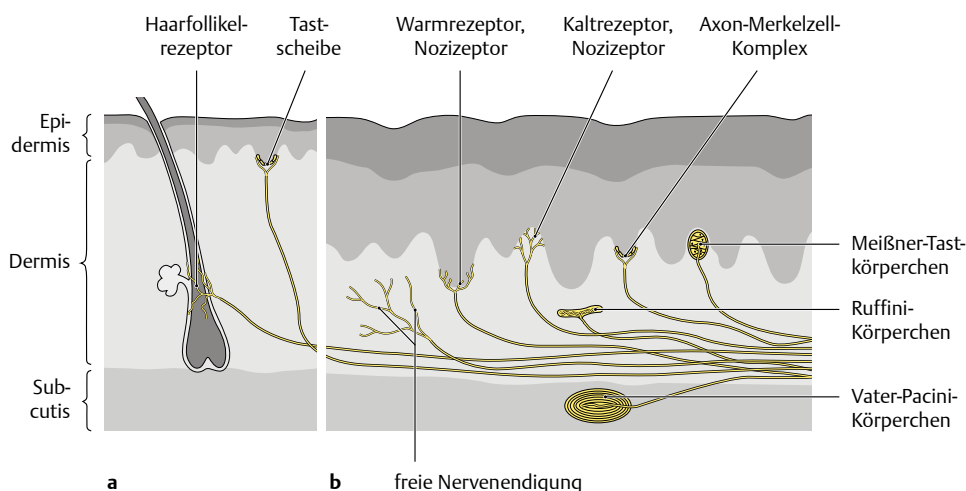
Eine intakte Gefäßversorgung ist nicht nur für die Ernährung der Haut, sondern auch für ihre Funktion der Thermoregulation unabdingbar. Die Blutgefäße befinden sich in der Dermis. An der Grenze zwischen papillärer und retikulärer Dermis liegt der Plexus superficialis, an der Grenze zwischen Dermis und Subcutis der Plexus profundus. Beide Plexus sind durch vertikale Gefäße miteinander verbunden. Vom oberen Plexus gehen Kapillarschlingen zur Versorgung der Papillen einschließlich der darauf liegenden Epidermis ab. Mit einem speziellen Schneidegerät (Dermatom) kann man die Dermis zwischen diesen beiden Plexus flächenhaft durchtrennen und das dadurch abgetrennte Hautstück zur Deckung von größeren Wunden (z. B. bei Verbrennungen) verwenden: Spalthauttransplantation.

Die Epidermis ist ähnlich wie eine große Eierpappe mit der Dermis verzahnt. Dies vergrößert die Kontaktfläche zwischen beiden Strukturen. Bei der Hautpräparation sieht man die Einsenkungen an der Unterseite der Epidermis (sog. Bindegewebspapillen). Wie alle anderen Epithelien auch, enthält die Epidermis keine Blutgefäße. Diese befinden sich wie auch die Sinnesrezeptoren in der Dermis (s. B u. D). Die Subcutis besteht im Wesentlichen aus Fettgewebe. Sie endet auf der allgemeinen Körperfaszie.



C Hautschichten und ihre Bestandteile

Hautschicht	Weitere Untergliederung, soweit vorhanden	Beschreibung	Hauptfunktionen
Epidermis (epithelialer Anteil der Haut) <i>Beachte:</i> In der Histologie betrachtet man die Schichten der Epidermis immer von <i>unten</i> nach <i>oben</i> . Hier sind die einzelnen Bestandteile in Analogie zu den übrigen Hautschichten in der Reihenfolge von <i>oben</i> nach <i>unten</i> bzw. von außen nach innen aufgeführt.	- Stratum corneum - Stratum lucidum - Stratum granulosum - Stratum spinosum - Stratum basale	Hornschicht aus toten verhornten Zellen „Glanzschicht“ <i>nur</i> an der <i>Leistenhaut</i> (= Fußsohle und Handinnenfläche) Körnerschicht; Zellen enthalten Keratohyalin granula, die der physikalischen Abdichtung dienen Stachelzellschicht; meist die dickste Schicht lebender Zellen in der Haut unterste epitheliale Schicht der Epidermis, grenzt über Basalmembran an die bindegewebige Dermis an	mechanischer Schutz, z. B. vor Keimen, Strahlung, chemischen Substanzen (besonders Säuren) mechanischer Schutz Schutz vor Austrocknung - mechanischer Schutz durch viele Desmosomen und deren Verbindung untereinander durch Zytokeratine - Immunantwort durch Langerhans-Zellen - Schutz vor UV-Strahlung durch Sekretion von Melanin in den Melanozyten - Merkel-Tastscheiben (= langsam adaptierende Druckrezeptoren; bestehend aus Merkel-Zellen und den dazu gehörigen Nervenendigungen)
Dermis (bindegewebiger Anteil der Haut)	- Stratum papillare (auch als papilläre Dermis bezeichnet) - Stratum reticulare (auch retikuläre Dermis)	Zapfenschicht; Papillen ragen in die Epidermis hinein, so dass Dermis und Epidermis miteinander verzahnt sind Netzschicht mit straffem kollagenem Bindegewebe; die netzförmige Struktur erzeugt die Spaltlinien der Haut	- Schweißdrüsen: Schweißsekretion, Thermoregulation, Sekretion antimikrobieller Peptide - Duftdrüsen: Axilla, Brustwarze, Leistenregion, perianale Region, Schamregion - Talgdrüsen: Fettsekretion, Schutz vor Verdunstung - Blutgefäße: Versorgung, Thermoregulation - Lymphgefäße: Abtransport interstitieller Flüssigkeit - Haare: Schutz vor Sonneneinstrahlung und Wärmeverlust, Reizwahrnehmung - Druckrezeptoren: Meißner-Körperchen in der Leistenhaut sowie an den Lippen; seltener: Ruffini-Körperchen (liegen in der tieferen Dermis) - freie Nervenendigungen (überall): Reizwahrnehmung und -weiterleitung
Subcutis (Fettzellen und lockeres Bindegewebe)		Verschiebeschicht zwischen Haut und allgemeiner Körperfaszie, an die sie angrenzt	- Fettzellen: Fettspeicher und damit Energiereservoir - mechanisches Polster - große Blutgefäße: Versorgung, Thermoregulation - Vater-Pacini-Körperchen: schnell adaptierende Mechanorezeptoren für Vibrationsempfindungen; kleinere Form: Krause-Körperchen (auch als Krause-Endkolben bezeichnet)



D Haut als Sinnesorgan

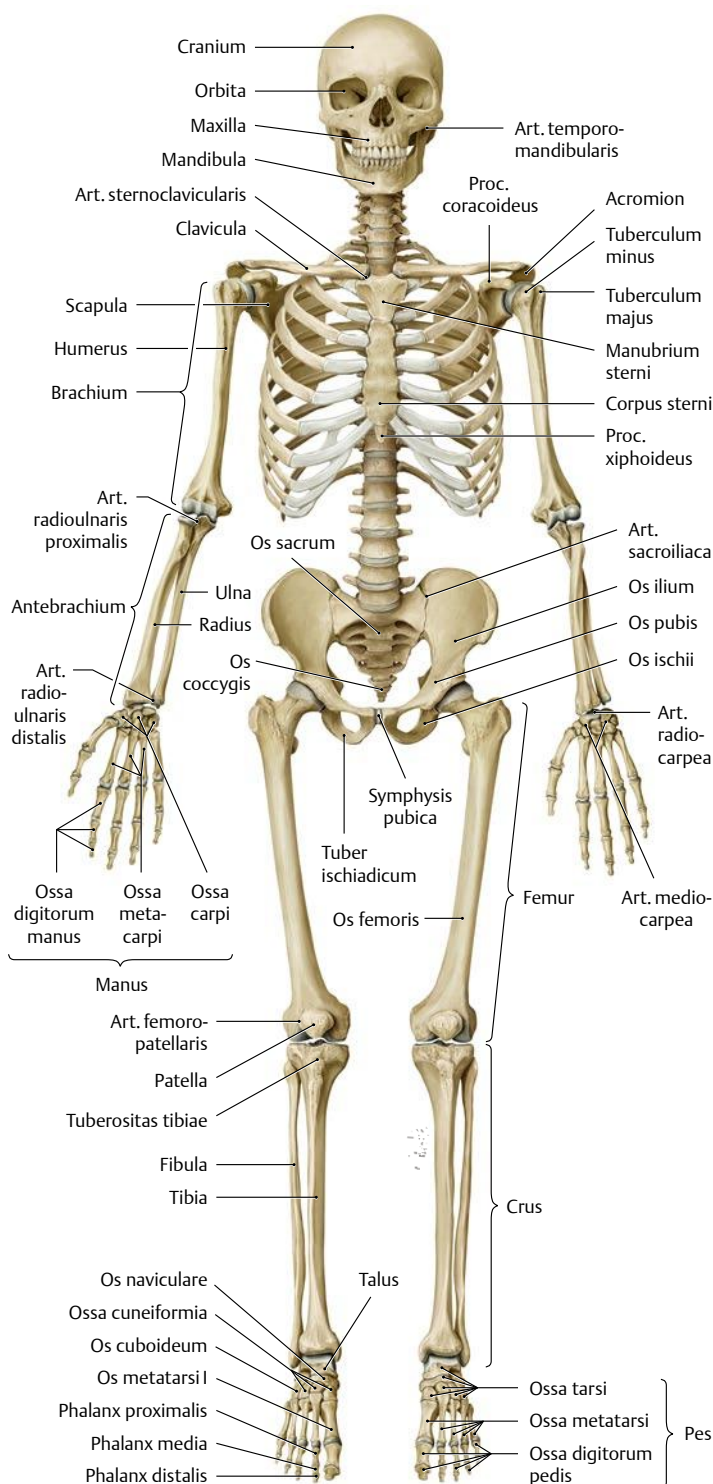
a behaarte Haut; **b** unbehaarte Haut.

Die Haut ist ein wichtiges Sinnesorgan. In der unbehaarten Leistenhaut (Fußsohle, Handfläche) und in der Lippe finden sich in den dermalen Papillen

- *Meißner-Körperchen* (schnell adaptierende Druckrezeptoren, registrieren Änderungen des Druckes),
- *Merkel-Tastscheiben* (langsam adaptierende Druckrezeptoren)
- und *Ruffini-Körperchen* (langsam adaptierende Druck bzw. Dehnungsrezeptoren).

In der behaarten Haut werden die Meißner-Körperchen durch Haarfollikelrezeptoren ersetzt. Die Vater-Pacini-Körperchen (schnell adaptierende Mechanorezeptoren für Vibrationsempfindungen) liegen in der Subcutis.

4.1 Knöchernes Skelett und Bau eines Röhrenknochens

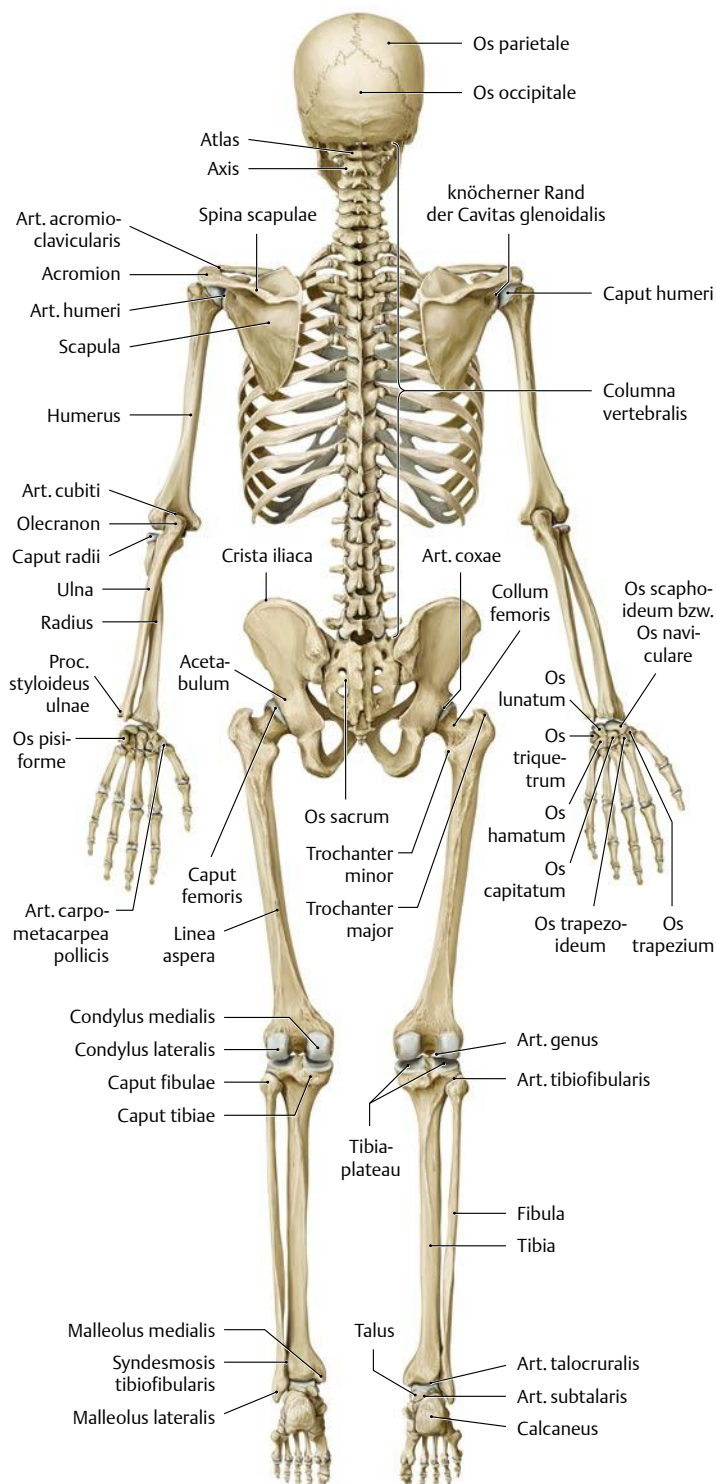


A Menschliches Skelett von ventral

Der linke Unterarm ist proniert und beide Füße sind plantarflektiert.

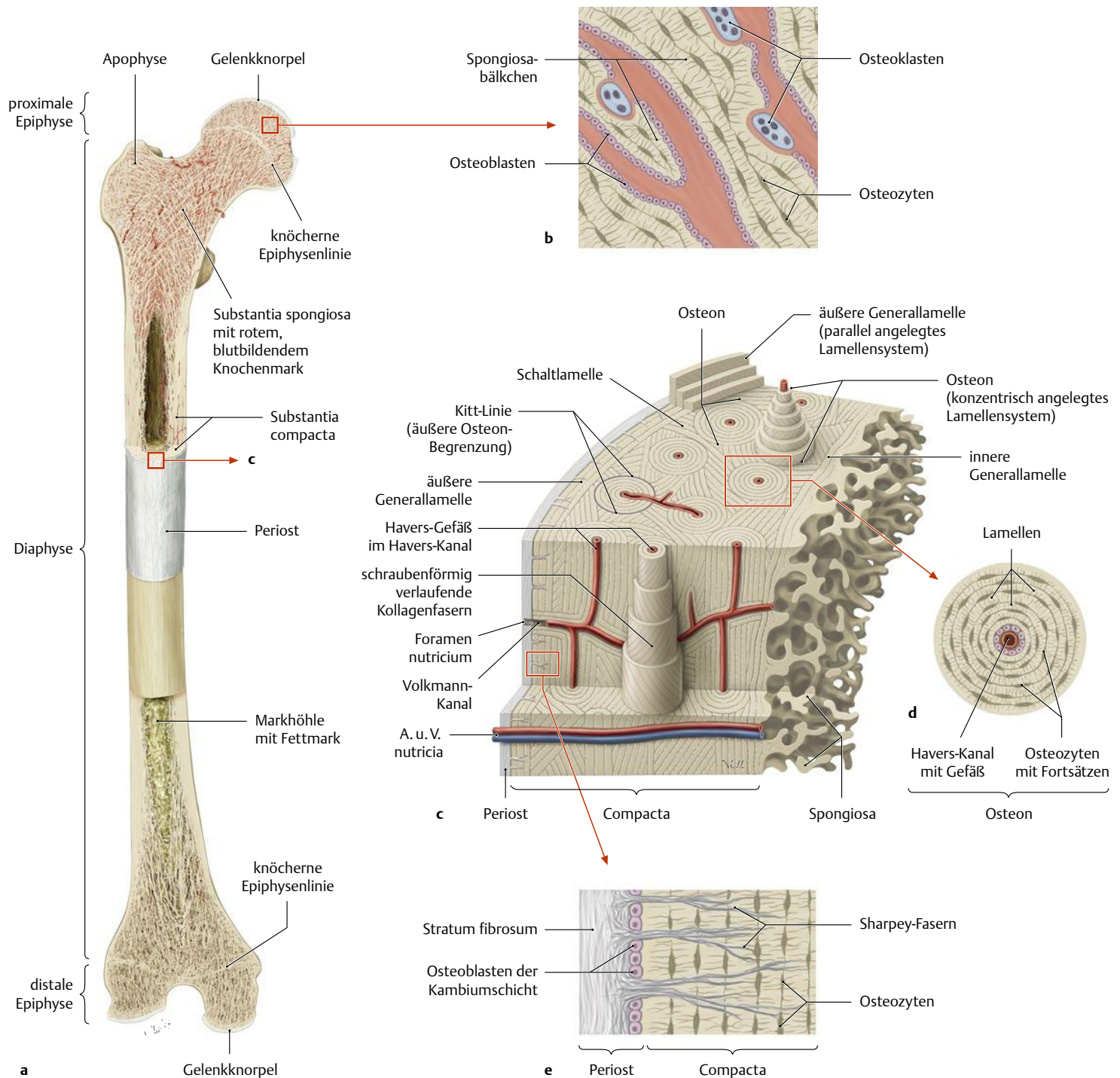
C Knochentypen

- **Ossa longa** (lange Knochen), z. B. Röhrenknochen an den Extremitäten
- **Ossa brevia** (kurze Knochen), z. B. Hand- und Fußwurzelknochen
- **Ossa plana** (flächenhafte Knochen), z. B. Schulterblatt, Darmbein, Knochen des Schädeldaches
- **Ossa irregularia** (überzählige, nicht regelhaft auftretende Knochen), z. B. Knochen der Schädelbasis



B Menschliches Skelett von dorsal

Der linke Unterarm ist proniert und beide Füße sind plantarflektiert.



D Bau eines typischen Röhrenknochens am Beispiel des Femurs

- Frontaler Sägeschnitt durch den proximalen und distalen Teil des Oberschenkelknochens (Os femoris) eines Erwachsenen (der mittlere Diaphysenbereich ist als Ganzes erhalten).
- Ausschnittsvergrößerung aus **a**: An dem Schnittpräparat ist der lamellenartige Aufbau („Lamellenknochen“) der Spongiosatrabel (Spongiosabälkchen) zu erkennen. Die Lamellen liegen wie beim Sperrholz in Form von Platten aufeinander. Da in den Spongiosatrabeln keine eigenen Gefäße verlaufen und die Ernährung per Diffusion vom angrenzenden Markraum erfolgt, erreichen die Trabel nur eine Dicke von etwa 200–300 µm.
- Ausschnittsvergrößerung aus **a**: Räumliche Darstellung der Substantia compacta (kurz als Compacta bezeichnet), in der als Baueinheiten

die etwa 1 cm langen gefäßführenden Osteone (Durchmesser 250–350 µm) verlaufen. Die Havers-Kanäle, die vorzugsweise in Längsrichtung des Knochens verlaufen, stehen durch kurze, quer und schräg laufende Volkmann-Kanäle untereinander sowie mit den Gefäßen des Periosts und des Markraums in Verbindung.

- Ausschnittsvergrößerung aus **c**: Feinbau eines Osteons. Um den zentralen Havers-Kanal sind etwa 5–20 konzentrische Lamellensysteme aus Osteozyten und Extrazellulärmatrix angeordnet, wobei die Osteozyten über zahlreiche feine Zytoplasmafortsätze untereinander in Verbindung stehen.
- Ausschnittsvergrößerung aus **c**: Aufbau des Periosts.

4.2 Knochenverbindungen: Übersicht und unechte Gelenke (Synarthrosen)

A Formen von Knochenverbindungen

Unechte Gelenke	Echte Gelenke
(Synarthrosen; kontinuierlich über Bindegewebe, Knorpel oder Knochen verbunden; mittel- bis geringgradig beweglich, s. rechte Seite) • Syndesmosen (Bandhaften, z. B. Schädelfontanellen des Neugeborenen) • Synchondrosen (Knorpelhaften, z. B. Bandscheiben; wenn das Füllgewebe größtenteils aus Faserknorpel besteht, spricht man von Symphysen, z. B. Symphysis pubica) • Synostosen (Knochenhaften, z. B. Kreuzbein, im engeren Sinne kein Gelenk mehr, weil unbeweglich)	(durch Gelenkspalt getrennt; unterschiedlich gut beweglich, je nach Bandapparat, der das Gelenk zusammenhält = diskontinuierliche Verbindung) • Diarthrosen (Gelenke mit unterschiedlichen Freiheitsgraden, s. S. 44); Einteilung nach: – Gestalt und Form der Gelenkkörper (Kugelgelenk, Eigelenk, Sattelgelenk) – Anzahl der Bewegungsachsen – Anzahl der Freiheitsgrade • Amphiarthrosen („straffe Gelenke“, z. B. Iliosakralgelenk)

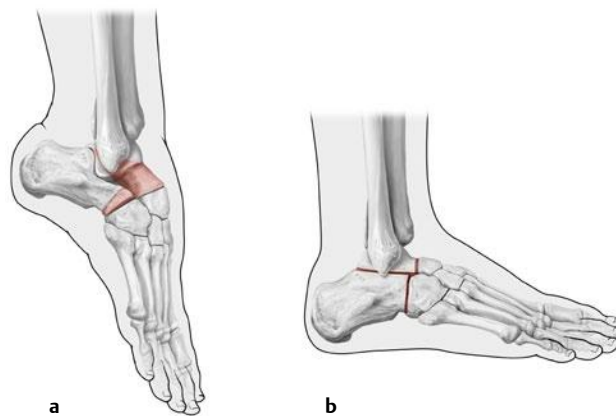


B Kurzes Glossar

- **Pseudarthrose** = sog. „Falschgelenk“ (Instabilität aufgrund fehlender knöcherner Verbindung) nach missglückter Frakturheilung (s. S. 55);
- **Ankylose** = pathologische knöcherne Versteifung eines echten Gelenks (s. C);
- **Arthrodes** (im Bereich der Wirbelsäule als **Spondylodese** bezeichnet) = operative (therapeutische) knöcherne Gelenkversteifung mithilfe von Osteosyntheseverfahren (s. S. 55 u. Abb. D);
 - Hauptindikationen: infektiöse Arthritis (Gelenkentzündung), posttraumatische Gelenkzerstörung (nach Verletzungen, Infektionen), degenerative Gelenkerkrankungen sowie lähmungsbedingte Instabilität.
 - Prinzip: bewusster Verzicht auf die Beweglichkeit zugunsten von Schmerzfreiheit und Stabilität.
 - Wichtig für gute Gelenkfunktion postoperativ: Stabilisierung in Funktionsstellung, d. h. in der Stellung, die für die wichtigsten Gebrauchsfunktionen des Gelenks entscheidend ist, also für Arm und Hand *das Greifen*, für das Bein *das Stehen und Gehen*.
- **Arthrotomie** = operative Eröffnung eines Gelenks
- **Arthrographie** = röntgenologische Darstellung der Gelenkhöhle mit Hilfe eines Kontrastmittels (hat mit Einführung der MRT an Bedeutung verloren)
- **Arthroskopie** (Gelenkspiegelung) = endoskopische Untersuchung von Gelenken, meist verbunden mit nachfolgender endoskopischer Therapie, z. B. arthroskopischer Rekonstruktion verletzter Band- und Kapselstrukturen, Entfernung freier Gelenkkörper, Behandlung von Gelenkknorpeldefekten (z. B. Osteochondrosis dissecans)
- **Synovektomie** = Entfernung der Gelenkinnenhaut (Membrana synovialis), z. B. bei chronischer Polyarthritis
- **Gelenkpunktion** (intraartikuläre Injektion) = Punktion von Flüssigkeiten (z. B. bei einem Gelenkguss) bzw. Applikation von Substanzen (z. B. Medikamente)
- **Gelenkendoprothetik** = operativer Ersatz der Gelenkkörper durch Total- oder Teilendoprothesen bei fortgeschrittener degenerativer Gelenkerkrankung (Arthrose) (s. S. 48)

C Ankylose eines Kniegelenks

Zeichnung nach einem Präparat der Anatomischen Sammlung der Universität Kiel. Wenn der Knorpel vollständig abgebaut ist, wird der Gelenkspalt allmählich komplett mit Knochen aufgefüllt. Dies führt zu völligen Versteifung des Gelenks.

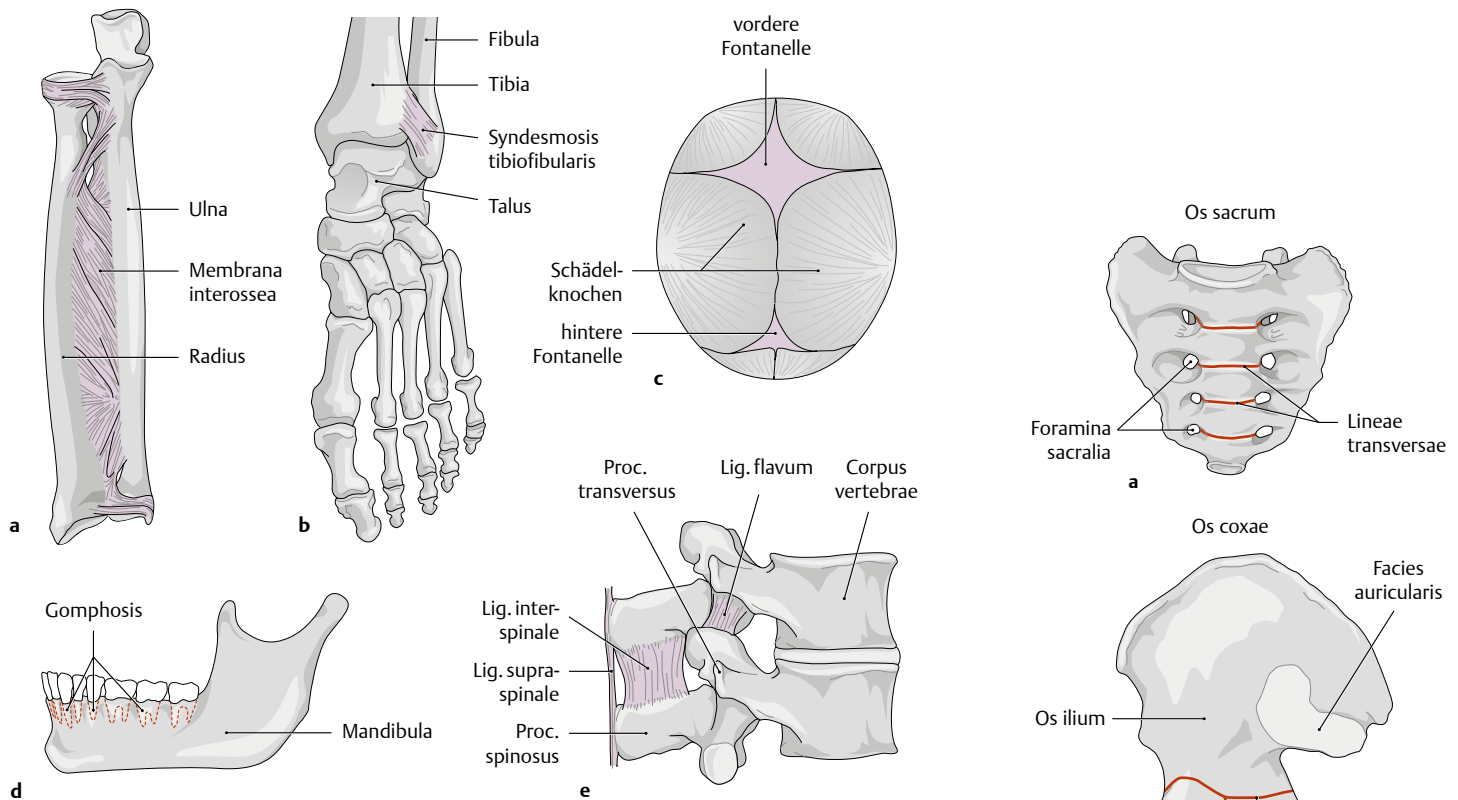


D T-Arthrodes nach Lambrinudi zur Behandlung einer kontrakten Spitzfußdeformität (nach Niethard u. Pfeil)

Rechter Fuß vor (a) und nach Arthrodesenbehandlung (b), Ansicht von lateral.

Ziel der Operation ist, die Spitzfußstellung durch Versteifung (Arthrodes) in plantigrader Stellung zu beseitigen (Unterschenkel und Fuß bilden einen Winkel von 90°) und gleichzeitig die Mobilität im oberen Sprunggelenk zu erhalten. Da gleichzeitig drei Gelenke (subtalar, talonavikuläres und kalkaneokuboidales Gelenk, s. S. 458) fusioniert bzw. versteift werden, spricht man auch von einer „Triple-Arthrodes“. Hierbei wird der Taluskopf keilförmig reseziert und in einer Nut des Os naviculare osteosynthetisch verzahnt.

Beachte: Bei Instabilität und Fehlstellung an Sprunggelenken und Mittelfuß ist die Arthrodes die sicherste Behandlungsmethode.

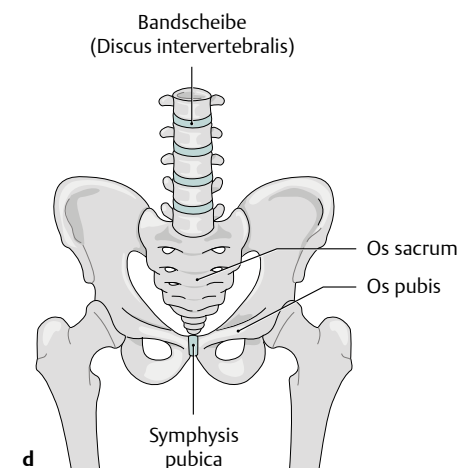
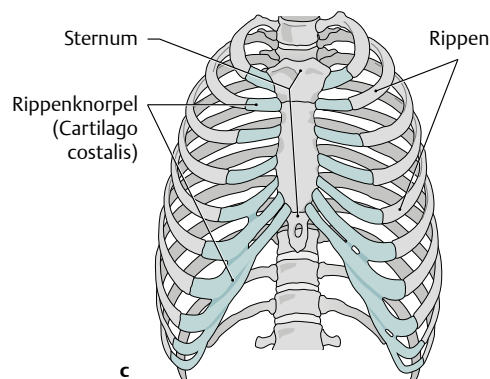
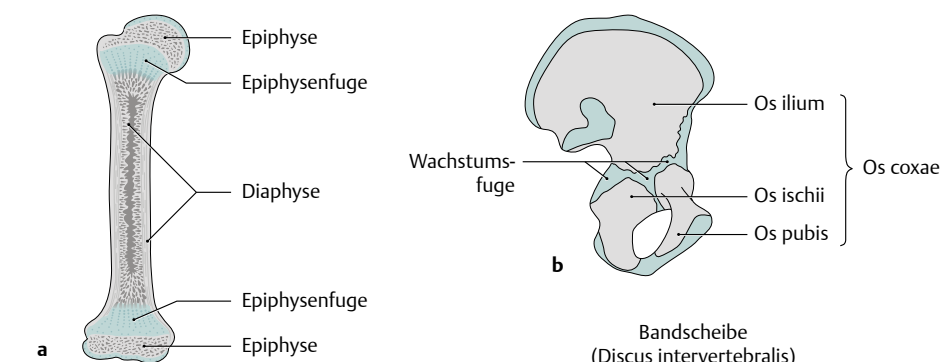


E Syndesmosen (Bandhaften)

- a** Membrana interossea;
b Syndesmosis tibiofibularis;
c Fontanelle;

d Gomphosis (Einzapfung);

- e** Lig. flavum, Lig. interspinale und Lig. supraspinale.



F Synchondrosen (Knorpelhaften)

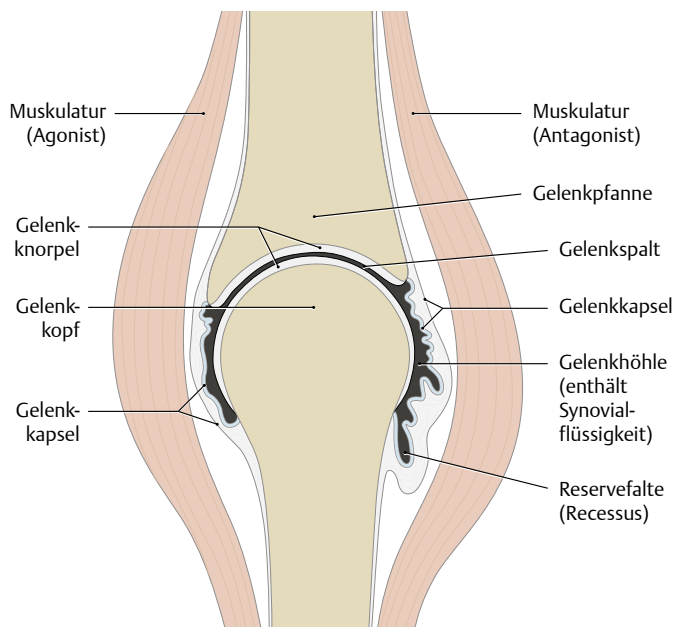
- a** Epiphysenfugen vor dem Schluss;
b Os coxae vor dem Schluss der Wachstumsfugen;

- c** Rippenknorpel;
d Schambeinfuge (Symphysis pubica) und Bandscheiben (Symphysis intervertebralis).

G Synostosen (Knochenhaften)

- a** Os sacrum (verschmolzene Kreuzbeinwirbel);
b Os coxae (Verschmelzung von Os ilium, Os ischii und Os pubis);
c geschlossene und verknöcherte Epiphysenfugen.

4.3 Echte Gelenke: Bauelemente; intra- und extraartikuläre Strukturen

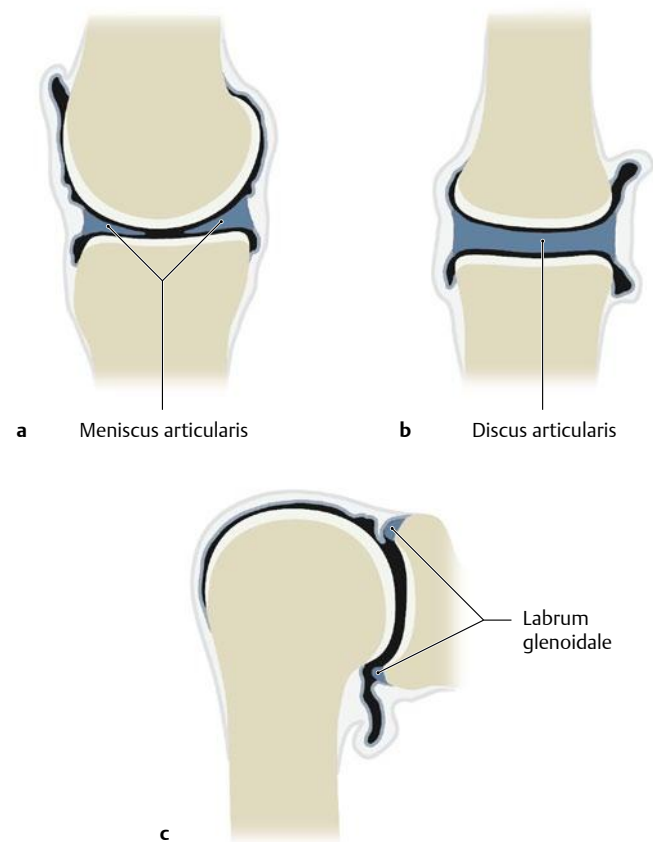


A Aufbau eines echten Gelenks

In echten Gelenken sind die miteinander artikulierenden Gelenkflächen durch einen nur wenige Zehntel Millimeter breiten *Gelenkspalt* vollständig voneinander getrennt (*Diarthrosen*!) – im Unterschied zu den unechten Gelenken, bei denen die Gelenkflächen miteinander in Kontakt stehen (*Synarthrosen*!). Echte Gelenke werden auch als *Junctura* bzw. *Articulatio synovialis* bezeichnet, da die Gelenkkapsel eine Gelenkflüssigkeit, die Synovia, bildet. Neben diesem Gelenkspalt weisen echte Gelenke folgende charakteristische Bauelemente* auf:

- unterschiedlich geformte Gelenkflächen (*Facies articulares*), die von hyalinem Knorpel überzogen sind,
- Gelenkhöhle (*Cavitas articularis*) mit unterschiedlich weiten Ausbuchtungen (*Recessus articulares*),
- allseitig geschlossene Gelenkkapsel (*Capsula articularis*) mit verschiedenen geformten Oberflächenvergrößerungen: Wülsten (*Plicae alares*), Falten (*Plicae synoviales*) und Zotten (*Villi synoviales*),
- hochvisköse, von der Gelenkkapsel gebildete Gelenkflüssigkeit (*Synovia*),
- intraartikuläre Hilfseinrichtungen zur Verbesserung der Gelenkkongruenz und zur Vergrößerung der Kraft aufnehmenden Fläche: z.B. Gelenksichel bzw. -scheibe (*Meniscus* und *Discus articularis*) und Gelenkklippe (*Labrum articulare*),
- unterschiedlich stark ausgebildeten Bandapparat mit intra- und extrakapsulär verlaufenden Bändern, die das Gelenk primär stabilisieren,
- über das Gelenk hinweg ziehende Muskeln, die das Gelenk in entgegengesetzte Richtungen bewegen (*Agonisten*/*Antagonisten*),
- häufig gelenknah liegende Schleimbeutel (*Bursae synoviales*), die mit der Gelenkhöhle kommunizieren können.

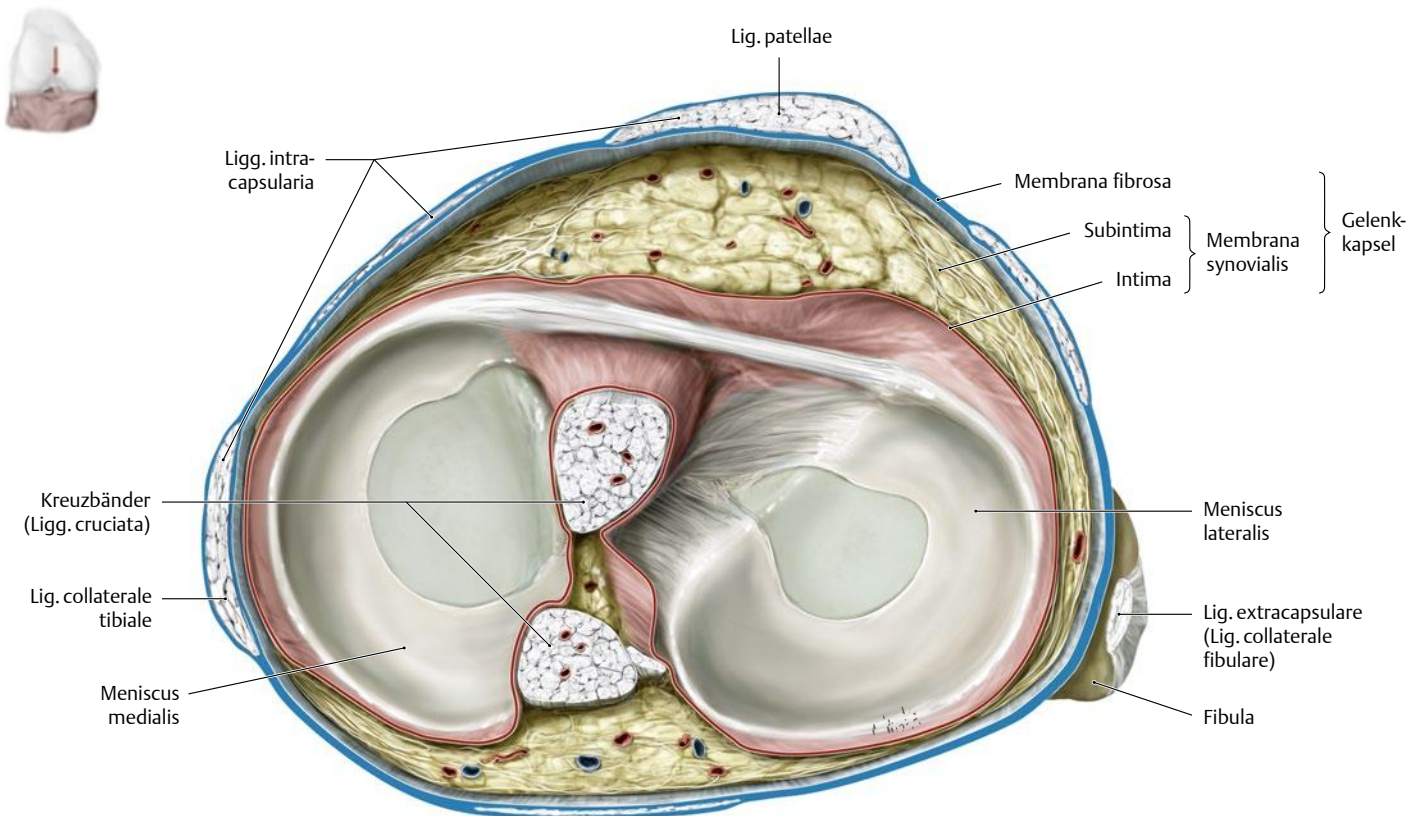
* Die einzelnen Bauelemente müssen in den unterschiedlichen Gelenken nicht notwendigerweise gleichzeitig vorkommen.



B Intraartikuläre Strukturen als Hilfseinrichtungen von Gelenken

Einige Gelenke enthalten *intraartikuläre* Strukturen, die für die Gelenke als Hilfseinrichtungen von Bedeutung sind. Sie vergrößern z. B. die Kraft aufnehmende Fläche, indem sie Inkongruenzen zwischen den Gelenkkörpern ausgleichen und damit die Druckbelastung des Gelenkknorpels deutlich reduzieren. Per definitionem liegen intraartikuläre Strukturen in der *Cavitas articularis* und werden von Synovialflüssigkeit umspült, d. h. sie haben direkten Kontakt mit der Synovia, über die sie auch größtenteils ernährt werden (*Menisci*, *Disci*, *Gelenklippen*).

- a Menisci articulares:** sichelförmige, im Querschnitt keilförmige Strukturen, die nur im Kniegelenk regelmäßig ausgebildet (s. S. 448) sind. Sie bestehen aus straffem kollagenfasrigem Bindegewebe und Faserknorpel. Während ihre peripheren, mit der Gelenkkapsel verwachsenen Anteile von den Blutgefäßen der Kapsel versorgt werden, werden die innen liegenden, faserknorpeligen Anteile über die Synovia ernährt.
- b Disci articulares** sind teils bindegewebige, teils faserknorpelige, scheibenförmige Gebilde, die ein Gelenk in zwei voneinander getrennte Kammern unterteilen. Regelmäßig kommen Gelenkzwischenscheiben im Kiefer- und Sternoklavikulargelenk sowie im proximalen Handgelenk vor (s. S. 289).
- c Labra articularia (Gelenklippen)** sind keilförmige Auflagerungen auf den Rändern der knöchernen Hüft- und Schultergelenkpfannen (*Labrum acetabulare* bzw. *Labrum glenoidale*; s. S. 432 u. 268). Sie bestehen überwiegend aus Faserknorpel und sind mit einem bindegewebigen Anteil außen mit der Gelenkkapsel verwachsen. Durch die Gelenklippen werden die artikulierenden Gelenkflächen von Schulter- und Hüftgelenk vergrößert.



C Der Bandapparat von Gelenken: Extraartikuläre Strukturen, die in der Regel intrakapsulär (in der Gelenkkapsel) liegen

Intrakapsuläre Bänder (*Ligg. intracapsularia*) können sowohl in der Subintima (*Ligg. cruciata*) als auch in der Membrana fibrosa (z. B. *Ligg. iliofemorale*, *ischiofemorale* und *pubofemorale* des Hüftgelenks) verlaufen. Als *kapselverstärkende* Bänder haben sie v. a. mechanische Aufgaben; z. B. sind sie für Stabilität und Führung des Gelenks verantwortlich (*Führungsbänder*) oder können in unterschiedlichem Ausmaß Bewegungen begrenzen bzw. einschränken (*Hemmungsbänder*). Gelegentlich verlaufen die Gelenkbänder auch ohne direkten Kontakt zur eigentlichen Gelenkkapsel (*Ligg. extracapsularia*), wie z. B. das *Lig. collaterale fibulare* im Kniegelenk. Häufig werden Bandstrukturen, die auf den ersten Blick in der Cavitas articularis verlaufen (z. B. die Kreuzbänder im Kniegelenk = *Ligg. cruciata*, s. S. 446, oder das gefäßführende *Lig. capitis femoris*

im Hüftgelenk) fälschlicherweise als intraartikulär verlaufende Bänder bezeichnet. Da sie jedoch im Gegensatz zu einem Meniskus oder einer Gelenkklippe *immer* von einer dünnen synovialen Intima bedeckt sind und damit *subintimal* verlaufen, liegen sie streng genommen in der Kapsel, also *intrakapsulär* und dementsprechend außerhalb der eigentlichen Gelenkhöhle, also *extraartikulär* (s. S. 46).

Beachte: Bänder müssen die individuell „richtige“ Länge haben, um das Gelenk führen und stabilisieren zu können. Wenn sie überdehnt werden oder reißen (infolge chronischer Überbeanspruchung oder Verletzungen wie Verstauchung oder Verrenkung), wird das Gelenk instabil. Wenn sie sich verkürzen, weil man das Gelenk nicht bewegt oder permanent in einer funktionell ungünstigen Stellung hält (z. B. Kniegelenk in Beugestellung, Fingergrundgelenke in Streckstellung), wird das Gelenk mehr oder weniger unbeweglich (Gelenkkontraktur).

D Zusammensetzung und Funktion der Gelenkflüssigkeit (Synovia)

Die Gelenkflüssigkeit (oder *Gelenkschmiere*) ist eine klare, leicht gelbliche, visköse Flüssigkeit (Sekretionsprodukt der Synovialozyten; pH-Wert 7,4–7,7). Selbst in großen Gelenken, wie z. B. dem Kniegelenk, beträgt ihr Volumen lediglich 3–5 ml (in kleinen Gelenken unter 1 ml).

Zusammensetzung	Funktion
• Hyaluronat (früher: Hyaluronsäure), Lubricin (mucinartiges Glykoprotein) und Phospholipide • Blutplasmabestandteile (v. a. Proteine und Glucose) • Abwehrzellen 60–150/μl (vorwiegend Makrophagen und Lymphozyten)	① Ernährung der gefäßfreien, hyalinen Gelenkknorpel mittels Diffusion und Konvektion ② Schmieren der knorpeligen Gelenkflächen (Lubrikation), dadurch nahezu reibungsfreies Gleiten möglich ③ Stoßdämpferfunktion durch gleichmäßiges Verteilen der einwirkenden Druckkräfte auf die Kraft aufnehmenden Gelenkflächen