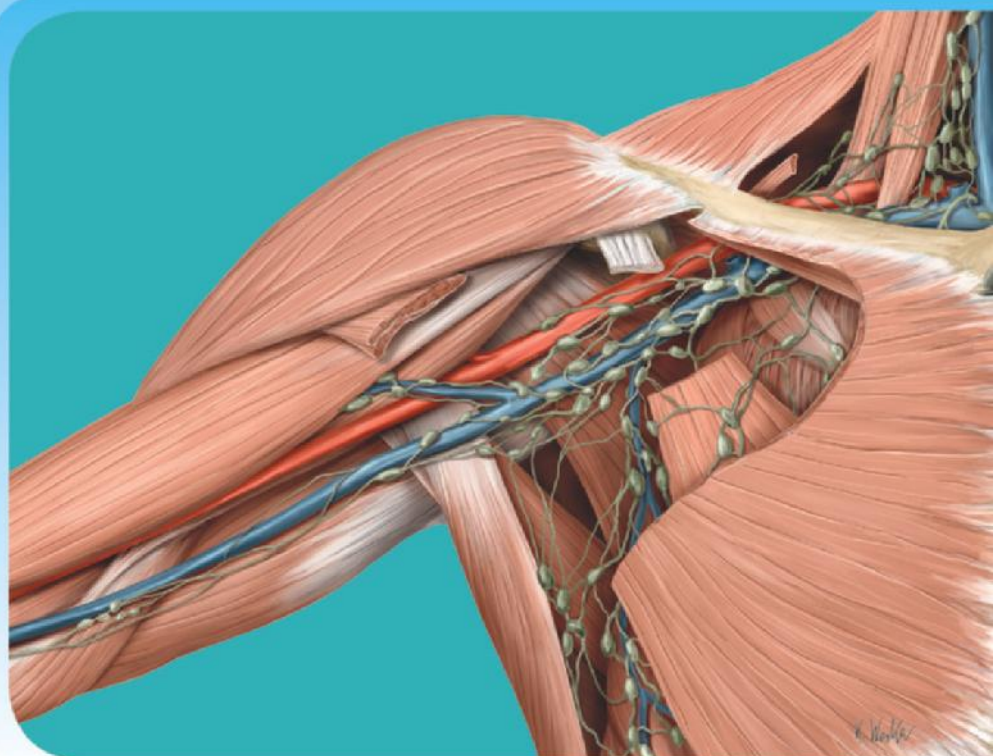


# Taschenlehrbuch Anatomie

Joachim Kirsch  
Christian Albrecht May  
Dietrich Lorke  
Andreas Winkelmann  
Wolfgang Schwab  
Gudrun Herrmann  
Richard Funk

 Online-Version

2. Auflage



 Thieme

## Auf einen Blick

<b>Allgemeine Anatomie</b>	Bauplan des Körpers	1
	Bewegungsapparat	2
	Kreislauf- und Lymphsystem	3
	Gewebe, Organe, seröse Höhlen	4
	Schleimhaut und Drüsen	5
	Nervensystem	6
	Embryologische Grundlagen	7
<b>Bewegungsapparat</b>	Entwicklung und funktionelle Zusammenhänge	8
	Rumpfwand	9
	Untere Extremität	10
	Obere Extremität	11
<b>Brust-, Bauch- und Beckeneingeweide</b>	Embryonalentwicklung der serösen Höhlen	12
	Brusteingeweide	13
	Baueingeweide	14
	Beckeneingeweide und äußere Geschlechtsorgane	15
<b>Hals, Kopf, Sinnes- und Nervensystem</b>	Hals	16
	Kopf	17
	Haut und Hautanhangsgebilde	18
	Zentrales Nervensystem	19
<b>Anhang</b>	Systematik der Muskeln und Leitungsbahnen	20
	Systematik der quergestreiften Muskeln	20.1
	Systematik der Arterien	20.2
	Systematik der Venen	20.3
	Systematik der Lymphstämme und Lymphknoten	20.4
	Systematik der Nerven	20.5



# Taschenlehrbuch Anatomie

Joachim Kirsch  
Christian Albrecht May  
Dietrich Lorke  
Andreas Winkelmann  
Wolfgang Schwab †  
Gudrun Herrmann  
Richard Funk

2., überarbeitete Auflage

354 Abbildungen

Georg Thieme Verlag  
Stuttgart • New York

*Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek*  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Ihre Meinung ist uns wichtig! Bitte schreiben Sie uns unter

[www.thieme.de/service/feedback.html](http://www.thieme.de/service/feedback.html)



**Wichtiger Hinweis:** Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse. Ganz besonders gilt das für die Behandlung und die medikamentöse Therapie. Bei allen in diesem Werk erwähnten Dosierungen oder Applikationen dürfen Sie darauf vertrauen: Autoren, Herausgeber und Verlag haben große Sorgfalt darauf verwandt, dass diese Angaben dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes entsprechen.

Eine Garantie kann jedoch nicht übernommen werden. Eine Haftung des Autors, des Verlags oder seiner Beauftragten für Personen-, Sach- oder Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen ®) werden nicht immer besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

1. Auflage 2011

© 2011, 2017 Georg Thieme Verlag KG  
Rüdigerstr. 14  
70469 Stuttgart  
Deutschland  
[www.thieme.de](http://www.thieme.de)

Printed in Germany

Zeichnungen: Markus Voll, München; Karl Wesker, Berlin  
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe  
Umschlagfoto: Karl Wesker, Berlin, aus Prometheus, LernAtlas der Anatomie, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem, 4. Auflage, Thieme, 2014  
Satz: Druckhaus Götz GmbH, Ludwigsburg  
Druck: Westermann Druck Zwickau GmbH, Zwickau

DOI 10.1055/b-004-135641

ISBN 978-3-13-144992-4

1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:  
eISBN (PDF) 978-3-13-162512-0  
eISBN (epub) 978-3-13-240350-5

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen oder die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

# Vorwort

Die 1. Auflage des Taschenlehrbuchs Anatomie ist 2010 mit dem Anspruch angetreten, „dem Anfänger die im Gegenstandskatalog des IMPP in Anatomie geforderten Kenntnisse im relevanten klinischen Kontext zu vermitteln und den informierten Studierenden, mit Hilfe einer komprimierten Systematik, eine rasche Orientierung und eine umfassende Wiederholung zu ermöglichen“.

Die freundliche Aufnahme, die das Taschenlehrbuch in den vergangenen Jahren bei Fachkollegen, vor allem aber bei den Studierenden gefunden hat, zeigt, dass dieses Konzept in den Grundzügen aufgegangen ist. Es wurde daher für die 2. Auflage unverändert übernommen.

Zu den Kernelementen des Taschenlehrbuches gehören die gute Lesbarkeit des Lehrtextes, ein übersichtliches Layout und bereits im Schriftbild hervorgehobene relevante Begriffe. Die wichtigen anatomischen Strukturen sind bereits im Text mit den Ziffern versehen, unter denen sie in der zugehörigen Abbildung auftauchen. Die Abbildungen selbst wurden wie zuvor weitgehend aus den Prometheus-Atlanten übernommen und den Bedürfnissen dieses Taschenbuches angepasst. Die reduktionistische Ansicht der Projektion von stilisierten Muskeln auf die entsprechenden Skelettelemente, soll die Funktionen der Muskeln unmittelbar veranschaulichen und intuitiv verständlich machen. Bereits Leonardo da Vinci beschrieb diese didaktische Reduktion und setzte sie in seinen berühmten anatomischen Zeichnungen ein. Sie hat sich auch im Taschenlehrbuch bewährt.

Klinische Aspekte sind grün hinterlegt und mit einem Klinik-Symbol gekennzeichnet. Sie illustrieren die Bedeutung der zuvor erörterten anatomischen Zusammenhänge. Die umfangreiche Systematik im Anhang ist besonders nützlich, um bereits erarbeitete Kenntnisse (z. B. vor Prüfungen)

konzentriert und effizient aufzufrischen. Die Umstellung auf ein größeres Format sorgt für mehr Übersicht und weniger Umfang, ohne dass durch Kürzungen bedingte inhaltliche Kompromisse eingegangen werden müssen. Vielmehr erhoffen wir uns davon, dass die Lesbarkeit des Buches dadurch noch einmal verbessert wird, weil nun größere Zusammenhänge in unmittelbarer Nachbarschaft dargestellt werden können.

Korrigiert wurden selbstverständlich fehlerhafte oder missverständliche Formulierungen. Herzlichen Dank an dieser Stelle den Studierenden und Kollegen, die sich die Mühe gemacht haben, uns auf diese Punkte aufmerksam zu machen. Selbstverständlich wurde der Text auch auf den neuesten Stand der Wissenschaft und ihrer einschlägigen Terminologie (*Terminologia anatomica*) gebracht. Für kritische Rückmeldungen und weitere Verbesserungsvorschläge sind die Autoren stets offen.

Die Initiative zu diesem Taschenlehrbuch stammt von Frau Marianne Mauch vom Georg Thieme Verlag. Für ihren vielfältigen Einsatz für dieses Buch sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Der Dank der Autoren gilt auch den Herren Karl Wesker und Markus Voll für die gelungene Adaption der Prometheus-Grafiken und die perfekte Umsetzung unserer Vorschläge sowie Herrn Thomas Böttcher für die souveräne Redaktion der Texte. Ebenso danken wir Frau Tamara Werner vom Georg Thieme Verlag für die Betreuung der 2. Auflage.

Wir wünschen der 2. Auflage eine ebenso freundliche Aufnahme durch Studierende und Kollegen – auf dass sie allen viel Nutzen bringen möge.

Die Autoren im Juni 2017

*Das was man sieht, sagt einem nichts, wenn man nicht schon vorher weiß, wonach man suchen muss.*  
Peter B. Medawar,  
Nobelpreisträger für Medizin 1960

# Inhaltsverzeichnis

## Allgemeine Anatomie

<b>1</b>	<b>Bauplan des Körpers</b> .....	16			
	<i>Joachim Kirsch</i>				
<b>1.1</b>	<b>Gliederung und Messgrößen des Körpers</b> .....	16	<b>1.2</b>	<b>Primäre und sekundäre Geschlechtsmerkmale</b> .....	21
1.1.1	Gliederung des menschlichen Körpers .....	17	<b>1.3</b>	<b>Körperbautypen (Konstitutionstypen)</b> .....	22
1.1.2	Achsen und Ebenen, Lage- und Richtungsbezeichnungen .....	18	<b>1.4</b>	<b>Norm, Variabilität, Fehlbildung</b> ..	23
1.1.3	Wachstum, biometrische Größen, Proportionen .....	19			
<b>2</b>	<b>Bewegungsapparat</b> .....	24			
	<i>Joachim Kirsch</i>				
<b>2.1</b>	<b>Elemente und Bauprinzipien des Skeletts</b> .....	24	2.2.2	Diarthrose (Gelenk) .....	28
2.1.1	Baumaterialien des Skeletts .....	24	<b>2.3</b>	<b>Allgemeine Muskellehre</b> .....	32
2.1.2	Knochentypen .....	26	2.3.1	Aufbau der Skelettmuskulatur .....	33
2.1.3	Funktioneller Bau des Knochens ..	27	2.3.2	Muskeltypen .....	35
<b>2.2</b>	<b>Verbindungen der Skelettelemente</b> .....	27	2.3.3	Muskelmechanik und -funktion .....	36
2.2.1	Synarthrose (Fuge) .....	27	2.3.4	Hilfseinrichtungen von Muskeln und Sehnen .....	37
<b>3</b>	<b>Kreislauf- und Lymphsystem</b> .....	39			
	<i>Joachim Kirsch</i>				
<b>3.1</b>	<b>Kreislaufsystem</b> .....	39	<b>3.2</b>	<b>Blut</b> .....	46
3.1.1	Blutkreislauf .....	39	<b>3.3</b>	<b>Lymphatisches System</b> .....	47
3.1.2	Herz .....	40	3.3.1	Lymphgefäße .....	48
3.1.3	Aufbau der Blutgefäße .....	41	3.3.2	Lymphatische Organe .....	48
3.1.4	Arterien .....	42			
3.1.5	Kapillaren .....	43			
3.1.6	Venen .....	45			

<b>4</b>	<b>Gewebe, Organe, seröse Höhlen</b> .....	52		
	<i>Joachim Kirsch</i>			
<b>4.1</b>	<b>Gewebe, Organe und Eingeweide</b> .....	52	<b>4.2.1</b>	Seröse Körperhöhlen und Bindegewebsräume.....
			<b>4.2.2</b>	Serosa.....
<b>4.2</b>	<b>Bauprinzipien des Brust-, Bauch- und Beckenraums</b> .....	52	<b>4.2.3</b>	Meso und Ligamente.....
				54
<b>5</b>	<b>Schleimhaut und Drüsen</b> .....	55		
	<i>Joachim Kirsch</i>			
<b>5.1</b>	<b>Elemente und Bauprinzipien der Schleimhaut</b> .....	55	<b>5.2.1</b>	Exokrine Drüsen.....
			<b>5.2.2</b>	Endokrine Drüsen.....
<b>5.2</b>	<b>Einteilung und Bauprinzipien von Drüsen</b> .....	55		
				56
<b>6</b>	<b>Nervensystem</b> .....	58		
	<i>Joachim Kirsch</i>			
<b>6.1</b>	<b>Elemente und Bauprinzipien</b> ....	58	<b>6.2</b>	<b>Bauplan</b> .....
				63
6.1.1	Elemente.....	58	6.2.1	Zentrales Nervensystem.....
6.1.2	Bauprinzipien.....	60	6.2.2	Peripheres Nervensystem.....
			6.2.3	Hüllen von Rückenmark und Gehirn.....
				69
<b>7</b>	<b>Embryologische Grundlagen</b> .....	72		
	<i>Joachim Kirsch</i>			
<b>7.1</b>	<b>Frühentwicklung</b> .....	72	<b>7.2</b>	<b>Von der Neurulation bis zur Bildung der Zölmhöhle</b> .....
				73
7.1.1	Konzeption bis Implantation.....	72	7.2.1	Neurulation.....
			7.2.2	Somitenbildung.....
			7.2.3	Entstehung der Körperhöhle (Zölmhöhle).....
				74
<b>Bewegungsapparat</b>				
<b>8</b>	<b>Entwicklung und funktionelle Zusammenhänge</b> .....	78		
	<i>Christian Albrecht May</i>			
<b>8.1</b>	<b>Embryonale Entwicklung</b> .....	78	<b>8.2.2</b>	Segmentstruktur entlang der Körperlängsachse.....
				80
<b>8.2</b>	<b>Metamere Struktur des Rumpfes</b>	79	<b>8.2.3</b>	Krümmung der Wirbelkette (Wirbelsäule).....
				80
8.2.1	Grundgliederung der Einzelsegmente.....	79	<b>8.3</b>	<b>Gestaltprinzipien der Extremitäten</b> .....
				81



<b>9</b>	<b>Rumpfwand</b> .....				83
	<i>Christian Albrecht May</i>				
<b>9.1</b>	<b>Oberflächenanatomie des Rückens</b> .....	83	9.4.3	Brustmuskulatur .....	103
			9.4.4	Brustdrüse .....	104
9.1.1	Oberflächenrelief .....	83	<b>9.5</b>	<b>Bauchwand</b> .....	106
9.1.2	Tastbare Knochenpunkte .....	84	9.5.1	Bauchfaszien .....	106
<b>9.2</b>	<b>Wirbelkette und Rückenmuskulatur</b> .....	85	9.5.2	Bauchmuskulatur .....	107
			9.5.3	Inguinalregion .....	109
9.2.1	Wirbel .....	85	<b>9.6</b>	<b>Bewegungsfunktionen des Rumpfes</b> .....	111
9.2.2	Verbindungen zwischen den Wirbeln .....	89	9.6.1	Muskelstatik des aufrechten Standes .....	111
9.2.3	Eingewanderte Rückenmuskeln ...	92	9.6.2	Beugen, Strecken, Drehen .....	112
9.2.4	Autochthone Rückenmuskeln .....	93	9.6.3	Bauchpresse .....	113
<b>9.3</b>	<b>Oberflächenanatomie des ventralen Rumpfes</b> .....	97	<b>9.7</b>	<b>Leitungsbahnen des Rumpfes</b> ...	113
9.3.1	Oberflächenrelief .....	97	9.7.1	Hautgefäße und Hautnerven .....	113
9.3.2	Tastbare Knochenpunkte .....	98	9.7.2	Arterien .....	115
<b>9.4</b>	<b>Brustwand</b> .....	99	9.7.3	Venen .....	117
9.4.1	Knöcherner Thorax .....	99	9.7.4	Lymphgefäße .....	118
9.4.2	Gelenkige Verbindungen der Rippen .....	102	9.7.5	Nerven .....	118
<b>10</b>	<b>Untere Extremität</b> .....				121
	<i>Christian Albrecht May</i>				
<b>10.1</b>	<b>Oberflächenanatomie</b> .....	121	<b>10.4</b>	<b>Leitungsbahnen der unteren Extremität</b> .....	152
10.1.1	Oberflächenrelief .....	121	10.4.1	Arterien der unteren Extremität ..	152
10.1.2	Tastbare Knochenpunkte .....	122	10.4.2	Venen der unteren Extremität ...	155
<b>10.2</b>	<b>Knochen der unteren Extremität</b>	123	10.4.3	Nerven der unteren Extremität ...	156
			10.4.4	Lymphgefäße der unteren Extremität .....	159
10.2.1	Becken .....	123	<b>10.5</b>	<b>Wichtige Regionen der unteren Extremität</b> .....	159
10.2.2	Oberschenkel .....	126	10.5.1	Faszienverhältnisse der unteren Extremität .....	159
10.2.3	Unterschenkel .....	127	10.5.2	Leiste und Schenkeldreieck .....	160
10.2.4	Fuß .....	128	10.5.3	Adduktorenkanal .....	161
<b>10.3</b>	<b>Gelenke und Muskeln</b> .....	130	10.5.4	Kniekehle .....	161
10.3.1	Gelenke des Beckens .....	130			
10.3.2	Hüftgelenk .....	132			
10.3.3	Kniegelenk .....	139			
10.3.4	Unterschenkel und Fuß .....	144			

<b>11</b>	<b>Obere Extremität</b> .....	163		
	<i>Christian Albrecht May</i>			
<b>11.1</b>	<b>Oberflächenanatomie</b> .....	163	<b>11.4</b>	<b>Leitungsbahnen der oberen Extremität</b> .....
11.1.1	Oberflächenrelief.....	163	11.4.1	Arterien der oberen Extremität... ..
11.1.2	Tastbare Knochenpunkte.....	165	11.4.2	Venen der oberen Extremität.....
<b>11.2</b>	<b>Knochen der oberen Extremität</b> .	166	11.4.3	Nerven der oberen Extremität... ..
11.2.1	Knochen des Schultergürtels.....	166	11.4.4	Lymphgefäße der oberen Extremität.....
11.2.2	Oberarmknochen.....	167	<b>11.5</b>	<b>Wichtige Regionen der oberen Extremität</b> .....
11.2.3	Knochen des Unterarms.....	168	11.5.1	Achselhöhle.....
11.2.4	Knochen der Hand.....	168	11.5.2	Mediale und laterale Achsellücke..
<b>11.3</b>	<b>Gelenke und Muskeln</b> .....	170	11.5.3	Trizepsschlitz.....
11.3.1	Schultergürtel.....	170	11.5.4	Ellenbeuge.....
11.3.2	Schultergelenk.....	173	11.5.5	Karpaltunnel.....
11.3.3	Ellenbogengelenk.....	179	11.5.6	Guyon-Loge.....
11.3.4	Unterarm und Hand.....	183		
<b>Brust-, Bauch- und Beckeneingeweide</b>				
<b>12</b>	<b>Embryonalentwicklung der serösen Höhlen</b> .....	206		
	<i>Joachim Kirsch</i>			
<b>12.1</b>	<b>Unterteilung der Zölmhöhle</b> ... ..	206	<b>12.2</b>	<b>Bauchhöhle und Becken</b> .....
12.1.1	Entstehung der Perikard- und Pleurahöhlen.....	206	12.2.1	Entwicklung der Peritonealverhältnisse.....
12.1.2	Entwicklung des Zwerchfells.....	206	12.2.2	Entwicklung des Oberbauchsitus ..
			12.2.3	Leber.....
			12.2.4	Pancreas.....
			12.2.5	Entwicklung des Unterbauchsitus .
<b>13</b>	<b>Brusteingeweide</b> .....	216		
	<i>Andreas Winkelmann</i>			
<b>13.1</b>	<b>Gliederung der Brusthöhle</b> .....	216	13.2.5	Atemmechanik.....
13.1.1	Brust- und Pleurahöhle.....	216	<b>13.3</b>	<b>Herz und große Gefäße</b> .....
13.1.2	Mediastinum.....	217	13.3.1	Entwicklung.....
13.1.3	Zwerchfell.....	218	13.3.2	Aufbau des Herzens.....
<b>13.2</b>	<b>Lunge und Pleura</b> .....	220	13.3.3	Herzzyklus, Erregungsbildung und -leitung, Innervation.....
13.2.1	Entwicklung.....	220	13.3.4	Herzkranzgefäße.....
13.2.2	Lunge.....	221	13.3.5	Perikard.....
13.2.3	Pleura.....	228	13.3.6	Oberflächenanatomie.....
13.2.4	Oberflächenanatomie.....	229		

<b>13.4</b>	<b>Übrige Mediastinalorgane</b> . . . . .	247	13.4.2	Thymus . . . . .	249
13.4.1	Oesophagus . . . . .	247	13.4.3	Leitungsbahnen im Mediastinum .	250
<b>14</b>	<b>Baueingeweide</b> . . . . .	254			
	<i>Joachim Kirsch</i>				
<b>14.1</b>	<b>Peritoneal- und Lageverhältnisse</b>	254	14.2.3	Dickdarm . . . . .	274
14.1.1	Oberbauchsituation . . . . .	254	14.2.4	Hepatobiliäres System und Pancreas . . . . .	284
14.1.2	Unterbauchsituation . . . . .	259	14.2.5	Milz . . . . .	297
14.1.3	Peritonealhöhle im Bauchraum . .	260	<b>14.3</b>	<b>Organe im Retroperitonealraum</b>	300
<b>14.2</b>	<b>Intra- und retroperitoneale Organe</b> . . . . .	266	14.3.1	Niere . . . . .	300
14.2.1	Magen . . . . .	266	14.3.2	Ableitende Harnwege . . . . .	307
14.2.2	Dünndarm . . . . .	271	14.3.3	Nebenniere . . . . .	310
<b>15</b>	<b>Beckeneingeweide und äußere Geschlechtsorgane</b> . . . . .	313			
	<i>Andreas Winkelmann</i>				
<b>15.1</b>	<b>Räume des kleinen Beckens</b> . . . .	313	<b>15.3</b>	<b>Geschlechtsorgane</b> . . . . .	324
15.1.1	Gliederung von Beckenraum und Dammregion . . . . .	313	15.3.1	Entwicklung der Geschlechts- organe . . . . .	324
15.1.2	Peritonealhöhle des Beckens . . . .	314	15.3.2	Innere weibliche Geschlechts- organe . . . . .	326
15.1.3	Subperitonealer Bindegewebsraum	315	15.3.3	Äußere weibliche Geschlechts- organe . . . . .	339
15.1.4	Beckenboden und Dammregion . .	316	15.3.4	Innere männliche Geschlechts- organe . . . . .	342
15.1.5	Diaphragma pelvis . . . . .	316	15.3.5	Äußere männliche Geschlechts- organe . . . . .	351
15.1.5	Fossa ischioanal . . . . .	319			
<b>15.2</b>	<b>Harnblase und Harnröhre</b> . . . . .	319			
15.2.1	Harnblase . . . . .	320			
15.2.2	Weibliche Harnröhre . . . . .	322			
15.2.3	Blasenentleerung und Blasen- verschluss . . . . .	323			
<b>Hals, Kopf, Sinnes- und Nervensystem</b>					
<b>16</b>	<b>Hals</b> . . . . .	358			
	<i>Gudrun Herrmann</i>				
<b>16.1</b>	<b>Oberflächenanatomie und Regionen des Halses</b> . . . . .	358	<b>16.2</b>	<b>Bewegungsapparat des Halses</b> . .	359
16.1.1	Begrenzungen und tastbare Strukturen . . . . .	358	16.2.1	Zungenbein und zugehörige Bandverbindungen . . . . .	360
16.1.2	Regionen des Halses und Halsdreiecke . . . . .	359	16.2.2	Muskulatur des Halses . . . . .	361
			16.2.3	Faszienvverhältnisse des Halses . . .	365

<b>16.3</b>	<b>Leitungsbahnen des Halses</b> . . . . .	369	16.4.3	Schilddrüse und Nebenschilddrüsen. . . . .	392
16.3.1	Arterien des Halses . . . . .	369	<b>16.5</b>	<b>Topografie wichtiger Halsregionen</b> . . . . .	395
16.3.2	Venen des Halses . . . . .	371	16.5.1	Regio sternocleidomastoidea . . . . .	395
16.3.3	Lymphknoten des Halses . . . . .	373	16.5.2	Trigonum caroticum . . . . .	395
16.3.4	Nerven des Halses . . . . .	375	16.5.3	Trigonum submandibulare, Trigonum submentale . . . . .	397
<b>16.4</b>	<b>Halsorgane</b> . . . . .	379	16.5.4	Trigonum musculare . . . . .	398
16.4.1	Pharynx (Rachen, Schlund) . . . . .	379	16.5.5	Trigonum colli laterale . . . . .	398
16.4.2	Larynx (Kehlkopf) . . . . .	384	16.5.6	Skalenuslücke . . . . .	398
<b>17</b>	<b>Kopf</b> . . . . .	400			
	<i>Richard Funk, Wolfgang Schwab, Joachim Kirsch</i>				
<b>17.1</b>	<b>Schädel</b> . . . . .	400	17.3.5	Kiefergelenk und Kaumuskulatur . . . . .	453
	<i>Richard Funk</i>		<b>17.4</b>	<b>Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen</b> . . . . .	459
17.1.1	Oberflächenanatomie . . . . .	400		<i>Wolfgang Schwab</i>	
17.1.2	Zusammensetzung des Schädels. . . . .	400	17.4.1	Äußere Nase . . . . .	459
17.1.3	Embryonalentwicklung des Schädels . . . . .	402	17.4.2	Nasenhöhle . . . . .	460
17.1.4	Schädelknochen des Erwachsenen . . . . .	403	17.4.3	Nasennebenhöhlen . . . . .	464
<b>17.2</b>	<b>Weichteilmantel des Kopfes</b> . . . . .	410	<b>17.5</b>	<b>Auge</b> . . . . .	467
	<i>Wolfgang Schwab</i>			<i>Joachim Kirsch</i>	
17.2.1	Weichteile des Schädeldachs . . . . .	410	17.5.1	Augenhöhle . . . . .	467
17.2.2	Gesicht und Gesichtswerteile . . . . .	413	17.5.2	Augenlider und Tränenapparat . . . . .	470
17.2.3	Seitliche Gesichtsregion . . . . .	422	17.5.3	Äußere Augenmuskeln . . . . .	473
<b>17.3</b>	<b>Mundhöhle und Kauapparat</b> . . . . .	429	17.5.4	Augapfel (Bulbus oculi) . . . . .	474
	<i>Wolfgang Schwab</i>		<b>17.6</b>	<b>Hör- und Gleichgewichtsorgan</b> . . . . .	483
17.3.1	Mundhöhle . . . . .	430		<i>Joachim Kirsch</i>	
17.3.2	Speicheldrüsen . . . . .	437	17.6.1	Mittelohr . . . . .	483
17.3.3	Zunge . . . . .	440	17.6.2	Innenohr . . . . .	488
17.3.4	Kauapparat . . . . .	445			
<b>18</b>	<b>Haut und Hautanhangsgebilde</b> . . . . .	496			
	<i>Joachim Kirsch</i>				
<b>18.1</b>	<b>Haut</b> . . . . .	496	<b>18.2</b>	<b>Hautanhangsgebilde</b> . . . . .	499
18.1.1	Ausdehnung und Funktionen . . . . .	496	18.2.1	Haare und Nägel . . . . .	499
18.1.2	Hautarten und Aufbau . . . . .	497	18.2.2	Hautdrüsen . . . . .	501
<b>19</b>	<b>Zentrales Nervensystem</b> . . . . .	502			
	<i>Dietrich E. Lorke</i>				
<b>19.1</b>	<b>Entwicklung</b> . . . . .	502	19.2.1	Lage und segmentale Gliederung des Rückenmarks . . . . .	508
<b>19.2</b>	<b>Rückenmark</b> . . . . .	508	19.2.2	Rückenmarkquerschnitt . . . . .	510

19.2.3	Reflexbögen.....	513	<b>19.6</b>	<b>Systeme und Bahnen.....</b>	536
<b>19.3</b>	<b>Hirnstamm.....</b>	514	19.6.1	Somatosensibilität .....	536
19.3.1	Medulla oblongata .....	515	19.6.2	Somatomotorisches System .....	547
19.3.2	Pons .....	517	19.6.3	Vestibuläres System .....	560
19.3.3	Mesencephalon.....	519	19.6.4	Hörbahn.....	562
<b>19.4</b>	<b>Diencephalon .....</b>	520	19.6.5	Visuelles System .....	564
19.4.1	Thalamus .....	522	19.6.6	Geschmackssinn .....	570
19.4.2	Hypothalamus.....	523	19.6.7	Olfaktorisches System .....	571
19.4.3	Subthalamus .....	528	19.6.8	Limbisches System .....	573
19.4.4	Epithalamus.....	528	19.6.9	Formatio reticularis .....	578
<b>19.5</b>	<b>Telencephalon.....</b>	528	<b>19.7</b>	<b>Meningen und Blutgefäße.....</b>	581
19.5.1	Striatum.....	529	19.7.1	Dura mater.....	581
19.5.2	Mark.....	530	19.7.2	Leptomeninx.....	583
19.5.3	Telencephaler Cortex.....	532	19.7.3	Arterielle Versorgung.....	586
			19.7.4	Venöser Abfluss .....	591
			19.7.5	Liquorzirkulation .....	593

**Anhang**

<b>20</b>	<b>Systematik der Muskeln und Leitungsbahnen .....</b>	596			
<b>20.1</b>	<b>Systematik der quergestreiften Muskeln .....</b>	596	20.3.2	Venae cordis .....	648
20.1.1	Muskulatur der oberen Extremität .....	596	20.3.3	Vena cava superior .....	649
20.1.2	Muskulatur der unteren Extremität .....	600	20.3.4	Vena cava inferior .....	657
20.1.3	Rückenmuskulatur .....	605	20.3.5	Venen der Wirbelsäule und des Rückenmarks.....	660
20.1.4	Ventrale und laterale Rumpfmuskulatur .....	609	20.3.6	Pfortader .....	660
20.1.5	Muskulatur des Beckenbodens....	610	<b>20.4</b>	<b>Systematik der Lymphstämme und Lymphknoten .....</b>	661
20.1.6	Muskulatur des Kopfes.....	611	20.4.1	Lymphstämme .....	661
20.1.7	Muskulatur des Halses.....	616	20.4.2	Lymphknoten .....	663
<b>20.2</b>	<b>Systematik der Arterien.....</b>	619	<b>20.5</b>	<b>Systematik der Nerven.....</b>	674
20.2.1	Truncus pulmonalis .....	619	20.5.1	Hirnnerven und Kopfganglien ....	674
20.2.2	Aorta.....	620	20.5.2	Rückenmarksnerven .....	684
<b>20.3</b>	<b>Systematik der Venen.....</b>	648	20.5.3	Vegetatives Nervensystem .....	695
20.3.1	Venae pulmonales .....	648			

<b>Sachverzeichnis .....</b>	702
------------------------------	-----

## Anschriften

Prof. Dr. med. Richard **Funk**  
Medizinische Fakultät der TU Dresden  
Institut für Anatomie  
Fetscherstr. 74  
01307 Dresden

PD Dr. med. Gudrun **Herrmann**  
Institut für Anatomie der Universität Bern  
Baltzerstrasse 2, Postfach  
3000 Bern 9  
Schweiz

Prof. Dr. med. Joachim **Kirsch**  
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg  
Institut für Anatomie und Zellbiologie  
Im Neuenheimer Feld 307  
69120 Heidelberg

Prof. Dr. med. Dietrich E. **Lorke**  
Florida International University  
Department of Cellular Biology & Pharmacology  
11 200 SW 8th Street, GL 495E  
33199 Miami FL  
USA

Prof. Dr. med. Christian Albrecht **May**  
Medizinische Fakultät der TU Dresden  
Institut für Anatomie  
Fetscherstr. 74  
01307 Dresden

PD Dr. med. habil. Wolfgang **Schwab** (†)  
ehem. Medizinische Fakultät der TU Dresden

Prof. Dr. med. Andreas **Winkelmann**  
Medizinische Hochschule Brandenburg -  
Theodor Fontane  
Institut für Anatomie  
Fehrbelliner Str. 38  
16816 Neuruppin



# Teil 1

## Allgemeine Anatomie

1	Bauplan des Körpers	16
2	Bewegungsapparat	24
3	Kreislauf- und Lymphsystem	39
4	Gewebe, Organe, seröse Höhlen	52
5	Schleimhaut und Drüsen	55
6	Nervensystem	58
7	Embryologische Grundlagen	72



# 1 Bauplan des Körpers

Joachim Kirsch



Das *äußere Erscheinungsbild* eines Organismus oder seiner Teile bezeichnet man als **Gestalt**. Dem gegenüber steht das *innere Gefüge*, die **Struktur**. In Abhängigkeit von der Fragestellung können struk-

turelle Untersuchungen je nach gewünschter „Auflösung“ vom makroskopischen über den mikroskopischen bis zum molekularen Bereich durchgeführt werden.

Der Begriff „**Anatomie**“ leitet sich von der griechischen Präposition  $\alpha\nu\alpha$ , „hinein“, „hinauf“ und dem Verb  $\tau\epsilon\mu\nu\epsilon\upsilon\upsilon$  für „schneiden“ ab. Erst anatomische Sektionen haben aus der jahrhundertlang stagnierenden ärztlichen „Kunst“ eine moderne **Wissenschaft** gemacht, die sich zum Wohl der Patienten stetig weiter entwickelt. Moderne Anatomen „zergliedern“ nicht mehr ausschließlich mit dem Skalpell. Anatomische Untersuchungen umfassen neben der **makroskopischen** Ebene selbstverständlich auch **mikroskopische** und **ultrastrukturelle** Studien. Besonders vielversprechend ist der Aufbruch in **molekulare** Dimensionen, wo zusammen mit den medizinischen Grundlagenfächern Biochemie und Physiologie die wissenschaftlichen Grundlagen für die Prophylaxe, Diagnostik, Therapie und Rehabilitation von Erkrankungen erarbeitet werden. Der Anatomie geht es um die Aufklärung von Struktur-Funktions-Beziehungen, und in diesem Bemühen wurde inzwischen eine molekulare „Auflösung“ erreicht. Daher bilden anatomische Kenntnisse nach wie vor eine wesentliche Grundlage ärztlichen Handelns. Das Fach wird klassischerweise eingeteilt in:

- makroskopische Anatomie,
- mikroskopische Anatomie,
- Embryologie/Entwicklungsgeschichte

Die Embryologie ist weitgehend der molekular und funktionell orientierten Entwicklungsbiologie gewichen. Die **deskriptive Anatomie** beschreibt Befunde aus den genannten Teilgebieten der Anatomie, während die **funktionelle Anatomie** Befunde zu einem funktionellen Zusammenhang verbindet.

## 1.1 Gliederung und Messgrößen des Körpers



Der Grundbauplan des menschlichen Körpers folgt dem der **Wirbeltiere**. Hinzu kommen **säugetierspezifische** Merkmale sowie Besonderheiten des Baus, wie sie nur bei den nächsten Verwandten im Tierreich, den **Primaten** und insbesondere den **Hominiden (Menschenaffen)**, vorkommen. Schließlich gibt es ganz spezifische Merkmale, durch welche sich der Bau des menschlichen Körpers von dem der Hominiden unterscheidet.

Das namengebende morphologische Merkmal aller **Wirbeltiere** (Vertebraten) ist die **Wirbelsäule**. Typisch für Wirbeltiere ist außerdem die Ausbildung einer mehrschichtigen Epidermis und eines **Gehirns**, das zusammen mit den großen Sinnesorganen, von einer schützenden Kapsel umgeben wird.

Das namengebende morphologische Merkmal aller **Säugetiere** ist die Ausbildung der **Brust- oder Milchdrüse** (Glandula mammaria). Weitere Merkmale sind Lippen und Wangen (saugen!), die spezifische Ausbildung des **Endhirns** (Telencephalon) mit einem neuen Typ der Hirnrinde und die vorgeburtliche Entwicklung im Mutterleib unter Ausbildung einer **Plazenta**. Die meisten Säugetiere besitzen außerdem ein dichtes Haarkleid.

Unsere nächsten Verwandten sind die **Primaten** (Affen) und von diesen wiederum die Menschenaffen (**Hominidae**). Zu diesen werden die Orang-Utans, Gorillas, Schimpansen und auch der Mensch gerechnet. Ein Vergleich des genetischen Materials von Mensch und Schimpanse zeigt, dass das Erbgut von Schimpansen zu 98,8% mit dem des Menschen übereinstimmt. Zu den gemein-

samen morphologischen Merkmalen der Hominden zählen u. a. ein ausgeprägter **Geschlechtsdimorphismus**, eine verringerte Anzahl von Lendenwirbeln und eine charakteristische **Krümmung der Brustwirbelsäule** (Brustkyphose).

Die morphologischen Besonderheiten des **Menschen** hängen mit der dauerhaft **aufrechten Körperhaltung** zusammen. Die Darmbeine sind verbreitert und gegen das Sitzbein abgewinkelt, so dass die kleinen Gesäßmuskeln das Becken auch beim Stand auf einem Bein in der Waagerechten halten können. Diese Veränderung schafft die Voraussetzung für **bipedales Gehen**. Die Lendenwirbelsäule erfährt eine charakteristische Krümmung (**Lendenlordose**). Somit können die Beine allein den Körper tragen und der Fortbewegung dienen. Hierzu sind auch die **Fußgewölbe** in typischer Weise umgestaltet.

Die Arme können ausschließlich zum Greifen benutzt werden. Um einen „Pinzettengriff“ zu ermöglichen, muss der **Daumen** opponierbar sein, d. h. den übrigen Fingern gegenübergestellt werden können, was wiederum eine Voraussetzung für Werkzeugentwicklung und -gebrauch ist. Die aufrechte Körperhaltung führt auch dazu, dass das **Foramen magnum**, über das die Schädelhöhle mit dem Wirbelkanal in Verbindung steht, nach **basal** verlagert wird. Mit der Vergrößerung der Endhirnhemisphären nimmt das **Schädelvolumen** zu. Dem muss sich das weibliche **Becken** anpassen, damit der relativ große Kopf eines menschlichen Neugeborenen durch den Geburtskanal passt.

## 1.1.1 Gliederung des menschlichen Körpers

### Regionale Gliederung

Am menschlichen Körper unterscheidet man zur regionalen Gliederung den **Stamm** und die paarigen **oberen** und unteren Gliedmaßen (**Extremitäten**). Der Stamm wird wiederum untergliedert in Kopf (**Caput**), Hals (**Collum**) und Rumpf (**Truncus**).

**Kopf.** Das Skelett des Kopfes wird **Schädel** (**Cranium**) genannt. Man unterscheidet den Hirnschädel (**Neurocranium**) zur Aufnahme des Gehirns und den Eingeweideschädel (**Viscerocranium**) mit Mund- und Nasen-Rachen-Raum.

**Hals.** Die Halswirbelsäule ist von der Halsmuskulatur bedeckt. Den Hals durchziehen zahlreiche Leitungsbahnen. Zu den Eingeweiden des Halses

zählen Rachen (**Pharynx**), Kehlkopf (**Larynx**), die Anfangsabschnitte von Speise- und Luftröhre (**Oesophagus** bzw. **Trachea**), Schilddrüse (**Glandula thyroidea**) und Nebenschilddrüsen (**Glandulae parathyroideae**).

**Rumpf.** Der Rumpf wird in Brust (**Thorax**) und Bauch (**Abdomen**) unterteilt. Beide beinhalten die Körperhöhle, die durch das Zwerchfell (**Diaphragma**) in Brust- und Bauchraum (**Cavitas thoracis** und **abdominalis**) getrennt wird. Die Wirbelsäulenabschnitte aus Brust- und Lendenbereich, Kreuz- und Steißbein bilden das **Achsenskelett** dieser Körperregion. Knöcherner Brustkorb und Beckenknochen grenzen den Rumpf nach vorn bzw. unten ab. Knochen und Muskulatur bilden die Rumpfwand, wobei der Bauchraum nach vorne lediglich durch die Bauchmuskulatur abgeschlossen wird.

Der **Brustraum** (**Cavitas thoracis**) beherbergt die rechte und linke Pleurahöhle (**Cavitas pleuralis**), die durch den Mittelfellraum (**Mediastinum**) voneinander getrennt werden. In den Pleurahöhlen liegen die beiden **Lungen**. Im Mediastinum liegen Teile von Oesophagus, Trachea und der großen Gefäße sowie der **Thymus** und die Herzbeutelhöhle (**Cavitas pericardialis**) mit dem **Herzen**.

Der **Bauchraum** (**Cavitas abdominalis**) enthält die **Peritonealhöhle** (**Cavitas peritonealis**), die vom **Peritoneum** ausgekleidet ist, sowie den **Extraperitonealraum**. In der Peritonealhöhle liegen die vom viszeralen Blatt des Peritoneums umkleideten Teile des **Darms**, außerdem **Leber** und **Milz**. Den Abschnitt des Extraperitonealraums zwischen Hinterwand der Peritonealhöhle und Vorderseite der hinteren Rumpfwand nennt man **Retroperitonealraum** (**Spatium retroperitoneale**). Hier liegen die **Nieren** und **Nebennieren**, das **Pancreas** sowie Leitungsbahnen.

Der **Beckenraum** (**Cavitas pelvis**) setzt den Bauchraum nach unten fort. Den unteren Abschluss des knöchernen Beckens bildet eine Muskelplatte, der **Beckenboden**. An der Beckenwand und am Beckenboden befestigte Organe sind die Beckeneingeweide. Zu ihnen gehören Mastdarm (**Rectum**), Analkanal (**Canalis analis**), Harnblase (**Vesica urinaria**) und **innere Geschlechtsorgane**. Den Abschnitt zwischen der Rückseite des Schambeins und der Vorderwand der Beckenhöhle, die an dieser Stelle von der Harnblase gebildet wird, bezeichnet man als **Spatium retropubicum**.

## Funktionelle Gliederung

Bei der funktionellen Gliederung versteht man unter „Organ“ eine **Funktionseinheit**, die aus mehreren **Geweben** zusammengesetzt ist, eine umrisse **Gestalt** und **Struktur** aufweist und **spezifische** Aufgaben erfüllt. Kooperieren mehrere Organe bei der Durchführung **komplexer Funktionen**, können diese zu einem **Organsystem** oder einem „**Apparat**“ zusammengefasst werden.

Da ein Organ stets an unterschiedlichen Körpervorgängen beteiligt ist, ist eine Zusammenstellung

Tab. 1.1 Einteilung funktioneller Systeme

System/Apparat	Subsystem
Bewegungsapparat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>passiver</i> Teil: Skelett und Knochenverbindungen</li> <li>• <i>aktiver</i> Teil: Skelettmuskulatur</li> </ul>
Stoffwechselapparat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herz-Kreislauf-System</li> <li>• lymphatisches System</li> <li>• Atmungssystem</li> <li>• Verdauungssystem</li> <li>• Harnsystem</li> <li>• endokrines System</li> </ul>
Urogenitalapparat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harnsystem</li> <li>• Genitalapparat</li> </ul>
Kommunikationsapparat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nervensystem</li> <li>• Sinnesorgane inklusive Haut</li> </ul>

Tab. 1.2 Hauptachsen des menschlichen Körpers (s. ► **Abb. 1.1**)

Achse	Ausrichtung	Verbindung
Longitudinalachse <sup>2</sup>	kranial – kaudal (beim Stehenden: vertikal)	vom Scheitel zur Sohle; trifft senkrecht auf der Standfläche auf
Transversalachse <sup>6</sup>	lateral – medial (beim Stehenden: horizontal)	zwischen sich entsprechenden Punkten der rechten und linken Körperhälfte
Sagittalachse <sup>4</sup>	ventral – dorsal	zwischen Vorder- und Rückseite des Körpers

Tab. 1.3 Hauptebenen des menschlichen Körpers (s. ► **Abb. 1.1**)

Anatomische Ebene	Radiologische Schnittebene	Verlauf	Gliederung des Körpers
Frontalebene <sup>1</sup>	koronar	parallel zur Stirn bzw. Koronarnaht	beliebig viele Ebenen von ventral nach dorsal
Transversalebene <sup>5</sup>	axial	parallel zur (gedachten) Standfläche	beliebig viele Ebenen von kranial nach kaudal
Sagittalebene <sup>3</sup>	sagittal	senkrecht zur Körperoberfläche, ventrodorsal	beliebig viele Ebenen von medial nach lateral
Medianebene (Mediosagittalebene)	sagittal	wie Sagittalebene, aber genau in der Mittellinie zwischen rechter und linker Seite	2 längs geteilte Körperhälften

zu Systemen in gewissem Maße willkürlich. Sie erleichtert jedoch ein funktionelles Verständnis des Körpers.

## 1.1.2 Achsen und Ebenen, Lage- und Richtungsbezeichnungen



Für eine standardisierte Betrachtung wurden 3 **senkrecht aufeinander stehende Hauptachsen** und die durch diese **festgelegten Ebenen** ausgewählt.

### Achsen und Ebenen

Die Bezeichnung der Hauptachsen und Ebenen ist unabhängig von der Körperlage (stehend, liegend) und ermöglicht so eine eindeutige Beschreibung. Die **Achsen** dienen der Beschreibung von Bewegungsrichtungen (► Tab. 1.2). Die **Ebenen** stehen senkrecht aufeinander und definieren ein dreidimensionales **Koordinatensystem** (► Tab. 1.3, ► **Abb. 1.1**). Ohne Verständnis der Ebenen ist eine Interpretation der Darstellungen moderner bildgebender Verfahren (CT, MRT) unmöglich.

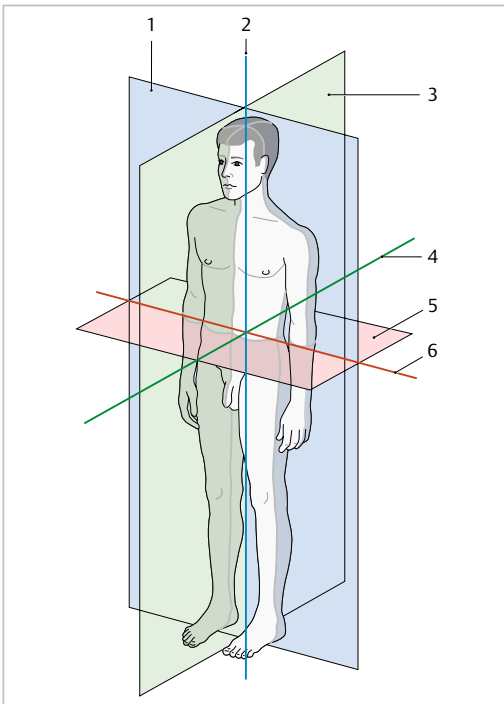


Abb. 1.1 Hauptebenen und -achsen. Neutral-Null-Stellung in der Ansicht von ventral oben links.

- 1 Frontalebene
  - 2 Longitudinalachse
  - 3 Sagittalebene (Mediosagittalebene)
  - 4 Sagittalachse
  - 5 Transversalebene
  - 6 Transversalachse
- (nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

## Lage- und Richtungsbezeichnungen

Die Richtungs- und Lagebezeichnungen gehen von einem Bezugspunkt, der **anatomischen Normalposition** aus. Hierunter versteht man einen stehenden Menschen mit nach vorn gerichtetem Blick, supinierten Händen (Handflächen nach vorn) und parallel stehenden Füßen. Bei der **Neutral-Null-Stellung** dagegen weisen die Handflächen zum Körper hin.

Lagebezeichnungen sind relativ. So bedeutet „medialis“ in der Regel: diejenige von 2 oder mehr Strukturen, die Richtung Mittellinie liegt. Die Angaben der Lage- und Richtungsbezeichnungen an den Extremitäten folgen einer eigenen Terminologie (► Tab. 1.4).



Bei **Seitenangaben** gibt man rechts und links immer aus der Sicht des Patienten an.

1

Die natürlichen Bewegungen des Körpers sind meist komplex. Man kann sie als Summe elementarer Bewegungen mit definierter Richtung vorstellen (► Tab. 2.3).

## 1.1.3 Wachstum, biometrische Größen, Proportionen



Einfache **biometrische Merkmale** sind Körpergröße und -gewicht. Unter **Körpergröße** versteht man die Länge der Strecke vom Scheitel zur Fußsohle. Die maximal erreichbare Körpergröße ist genetisch bestimmt, wird aber von der Ernährung entscheidend beeinflusst. In den Industrienationen nimmt die mittlere Körpergröße stetig zu (**Akzeleration**). Das **Körpergewicht** wird von der Körpergröße mitbestimmt und kann je nach **Ernährung** und **Ernährungsgewohnheiten** stark schwanken. Darüber hinaus unterliegen Körpergewicht, Körpergröße und die **Proportionierung** starken entwicklungsbedingten Veränderungen.

Bei neugeborenen Jungen beträgt die **Körpergröße**  $52,4 \pm 3,5$  cm bei  $3,6 \pm 0,6$  kg, bei Mädchen  $52 \pm 3$  cm bei  $3,5 \pm 0,6$  kg. Die Wachstumsphase vollzieht sich in **Schüben** und ist bei Mädchen mit 17–18 Jahren, bei Jungen mit 18–19 Jahren abgeschlossen.

Im 1. **Halbjahr** des nachgeburtlichen Lebens ist die Wachstumsrate besonders **hoch**. Zwischen dem 3. und 10. Lebensjahr bleibt die Wachstumsrate nahezu **konstant** ( $5\text{--}6$  cm/Jahr). Um das 6. Lebensjahr kann es zu einer **Stagnation** kommen, die von einem **präpubertären Wachstumsschub** abgelöst wird.

Im Jahr 2013 betrug die **mittlere Körpergröße** eines erwachsenen, in Deutschland lebenden Mannes 178 cm bei einem **Durchschnittsgewicht** von 84,3 kg, die einer Frau 165 cm bei einem Durchschnittsgewicht von 68,4 kg. Abweichungen des Körperwachstums von der Norm sind in ► Tab. 1.5 zusammengestellt.

Tab. 1.4 Richtungs- und Lagebezeichnungen

Bezeichnung	Herkunft	Bedeutung
<b>allgemein</b>		
kranial, superior, -us	cranium (lat.): Schädel	zum Kopfe hin
kaudal, inferior, -us	cauda (lat.): Schwanz	zum Steiß hin
dexter	lat.: rechts	rechts
sinister	lat.: links	links
ventral, anterior, -us	venter (lat.): Bauch	zur Vorderfläche (Bauchseite) hin
dorsal, posterior, -us	dorsum (lat.): Rücken	zur Rückfläche (Rückenseite) hin
medial	medium (lat.): Mitte	zur Mitte (Medianebene) hin
lateral	latus (lat.): Seite	von der Medianebene weg
median	Grenze zwischen 2 Hälften	in der Medianebene
profundus	lat.: tief	tief gelegen
superficialis	lat.: oberflächlich	oberflächlich gelegen
internus	lat.: innen	innen gelegen
externus	lat.: außen	außen gelegen
zentral	centrum (lat.): Mittelpunkt	zum Körperinnern hin
peripher	lat./griech.: Umlauf, das Herumtragen	zur Körperoberfläche hin
<b>Kopf</b>		
rostral	rostrum (lat.): Schnabel	nach vorne
frontal	frons (lat.): Stirn	zur Stirn hin
nasal	nasus (lat.): Nase	zur Nase hin
okzipital	occiput (lat.): Hinterhaupt	Richtung Hinterhaupt
basal	basis (griech.): Grundlage	Richtung Schädelbasis
<b>Extremitäten allgemein</b>		
proximal	proximus (lat.): nächster	zum Rumpf hin
distal	distalis (lat.): entfernt	vom Rumpf weg
<b>obere Extremität</b>		
radial	radius (lat.): Speiche	zur Daumenseite hin
ulnar	ulna (lat.): Elle	zur Kleinfingerseite hin
palmar	palma (lat.): Handfläche	zur Handfläche hin
dorsal	dorsum (lat.): Rücken	zum Handrücken hin
<b>untere Extremität</b>		
tibial	tibia (lat.): Flöte, Schienbein	zur Großzehenseite hin
fibular	fibula (lat.): Wadenbein	zur Kleinzehenseite hin
plantar	planta (lat.) Fußsohle	zur Fußsohle hin
dorsal	dorsum (lat.): Rücken	zum Fußrücken hin

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wird in den USA und Europa eine Beschleunigung des Wachstums (**Akzeleration**) beobachtet, die sich gegen Ende des 20. Jahrhunderts allerdings etwas abschwächte. Die Akzeleration umfasst die **Erhöhung der Geburtsmaße**, eine Beschleunigung der **Entwicklungsgeschwindigkeit**, ein früheres **Eintreten der Pubertät** und **gesteigerte Körpermaße** nach dem Ende der Wachstumsperiode. So betrug 2013 die durchschnittliche Körper-

größe einer 18–20 Jahre alten Frau 1,68 m, während sie bei über 75-jährigen nur 1,62 m betrug (bei Männern: 1,81 m im Vergleich zu 1,73 m). Die Gründe für die Akzeleration werden den sich stetig verbessernden soziokulturellen Lebensbedingungen und einer proteinreichen Ernährung zugeschrieben.

Tab. 1.5 Von der Norm abweichendes Körperwachstum.

Bezeichnung	Kriterien	Frau	Mann
Zwergwuchs (Nanosomie)	Körpergröße $< \mu - 3\sigma$	< 148 cm	< 157,2 cm
Minderwuchs (Mikrosomie)	$\mu - 3\sigma < \text{Körpergröße} < \mu - 1\sigma$	148–159,6 cm	157,2–171 cm
Hochwuchs (Makrosomie)	$\mu + 1\sigma < \text{Körpergröße} < \mu + 3\sigma$	171,2–182,8 cm	184,8–198,6 cm
Riesenwuchs (Hypersomie, Gigantismus)	Körpergröße $> \mu + 3\sigma$	> 182,8 cm	> 198,6 cm

$\mu$  = Durchschnittswert der Körpergröße;  $\sigma$  = Standardabweichung. Die Zahlenwerte in den beiden rechten Spalten gelten für in Deutschland lebende Erwachsene.

**Sozialer Status und Körpergröße** korrelieren in den Industriestaaten. Menschen aus der sozialen Oberschicht sind signifikant größer als diejenigen der mittleren oder Unterschicht.

Das **Körpergewicht** hängt ab von der Körpergröße, der Ernährung und der Funktion endokriner Drüsen. In den Industrienationen steigt das durchschnittliche Körpergewicht überproportional zur Zunahme der Körpergröße an, was auf Ernährungsgewohnheiten (fett- und kohlenhydratreich) und unzureichende Bewegung zurückgeführt wird.

Als Maß zur Beurteilung der Relation zwischen Körpergröße und -gewicht dient der **Body Mass Index (BMI)** (► Tab. 1.6). Zu seiner Berechnung wird das Körpergewicht (in kg) durch das Quadrat der Körpergröße (in m) geteilt.

Die **Körperoberfläche** hängt nichtlinear von der Körpergröße und dem Gewicht ab, weshalb zu ihrer Bestimmung entweder Formeln oder **Nomogramme** eingesetzt werden. Die Körperoberfläche beeinflusst die Abgabe von **Wasser** und eines Großteils der **Körperwärme**. Für die Regulation des Energiehaushalts ist sie daher ein wichtiger Parameter. Sie beträgt bei Männern durchschnittlich ca. 1,9 m<sup>2</sup> und bei Frauen 1,6 m<sup>2</sup>.

Die **Proportionen**, also die Größenverhältnisse der einzelnen Körperteile zueinander, variieren innerhalb enger Grenzen zwischen unterschiedlichen Individuen. Da sich Organe, Organsysteme und Körperabschnitte bereits vor der Geburt, aber auch danach in unterschiedlichem Tempo entwickeln (**heterochrones Wachstum**), entstehen Proportionsveränderungen und -verschiebungen (**Allometrien**). Das Wachstum des Gehirns eilt dem Wachstum der übrigen Körperabschnitte voraus. Der Kopf macht beim Neugeborenen etwa 25% der Körperlänge aus, beim 6-jährigen Kind 17% und beim Erwachsenen nur noch 12,5%. In gleichem Maße nimmt der Anteil der unteren Extremitäten an der Körperlänge zu. Folglich liegt die

Tab. 1.6 Beurteilung des Körpergewichts nach dem Body Mass Index (BMI).

Bezeichnung	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]
Untergewicht	BMI < 17 (Minimum 12; entspricht 48 kg bei 1,96 m)
Normalgewicht	18 < BMI < 25
Übergewicht	25 < BMI < 30
Adipositas	30 < BMI < 40
starke Adipositas	40 < BMI < 55 (Maximum; entspricht 120 kg bei 1,48 m)

**Mitte des Körpers** beim Neugeborenen auf der Höhe des Nabels, beim 6-jährigen Kind etwa zwischen Nabel und Symphyse und beim Erwachsenen am Ober- (Frau) bzw. Unterrand (Mann) der Symphyse.

## 1.2 Primäre und sekundäre Geschlechtsmerkmale



**Primäre Geschlechtsmerkmale** sind die bereits vor der Geburt gebildeten primären Geschlechtsorgane (Synonyme: Keimdrüsen, Gonaden), also die jeweils paarigen Hoden (*Testes*) beim Mann und Eierstöcke (*Ovarien*) bei der Frau. Hinzu kommen die ableitenden Geschlechtswege (Ductus deferens, Tuba ovarica) und äußeren Geschlechtsorgane (Penis, Schamlippen) als sekundäre Geschlechtsorgane.

**Sekundäre Geschlechtsmerkmale** sind geschlechtsspezifische Merkmale des **Körperbaus**, die nicht unmittelbar mit den Sexualfunktionen in Zusammenhang stehen. Sie werden erst während der **Pubertät** ausgebildet.

Tab. 1.7 Sekundäre Geschlechtsmerkmale

Männlich	Weiblich
Gesichtsbehaarung (Bart)	Brustdrüse
ausgeprägte Körperbehaarung	spärliche Körperbehaarung
Haaransatz in Form von „Geheimratsecken“	Haaransatz gleichmäßig oval
stark ausgebildetes Skelett und Muskulatur	mehr subkutanes Fettgewebe
Schulter breiter als Hüfte	Schulter und Hüfte ungefähr gleich breit
Beckenform wie Spielkartenherz	Beckenform queroval
ausgeprägter Schildknorpel	Becken niedriger und breiter

Während das **genetische Geschlecht** und die Ausbildung der **primären Geschlechtsmerkmale** genetisch bestimmt sind, wird die Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale durch die vor der **Pubertät** beginnende Sekretion von **Gonadotropinen** aus der Hypophyse eingeleitet. Die Gonadotropine stimulieren die Reifung der Gonaden und die Sekretion der Geschlechtshormone (Androgene bzw. Östrogene). Männliche und weibliche sekundäre Geschlechtsmerkmale sind in ► Tab. 1.7 zusammengefasst.

### 1.3 Körperbautypen (Konstitutionstypen)



Das individuelle Erscheinungsbild eines Menschen ist genetisch bedingt, wird aber von psychischen (Einfluss des Nervensystems auf die Steuerung endokriner Drüsen) und exogenen (Verfügbarkeit von Nahrung, körperliche Aktivität) Faktoren entscheidend beeinflusst.



Der Begriff „**Konstitution**“ ist nicht eindeutig definiert und wird in der Klinik oft im Sinne von **Disposition** („Krankheitsbereitschaft“) benutzt. Die Kenntnis der Konstitution eines Patienten ist für den Arzt von Bedeutung, weil sie Hinweise auf die körperliche, aber auch geistige und seelische **Grundstruktur** eines Menschen geben kann. Eine eindeutige Zuordnung zu einem bestimmten Körperbautyp ist selten möglich, da die meisten Menschen eher **Mischtypen** sind.

Eine im klinischen Alltag noch immer gebräuchliche Einteilung der Konstitutionstypen wurde von dem Psychiater Ernst **Kretschmer** um die Mitte des 20. Jahrhunderts vorgenommen. Dieser nahm an, dass die Konstitution die morphologische Manifestation der körperlichen, geistigen und seelischen Verfassung eines Menschen darstelle. Anhand seiner Einteilungskriterien (Zustand der Muskulatur, Körperlänge und -breite, Form von Kopf, Brustkorb, Bauch und Gliedmaßen) wurden **3 Konstitutionstypen** definiert, die bei beiden Geschlechtern vorkommen, bei Männern aber deutlicher ausgeprägt sind.

**Leptosomer Typ:** normales Längen-, aber nur geringes Dickenwachstum; spärliche Muskulatur ohne ausgeprägtes Oberflächenrelief; wenig Fettgewebe; schmaler Kopf; eingefallene Wangen; tief liegende Augen; schmale Brust; hängende Schultern; grazile Extremitäten mit deutlichen Knochenpunkten. Die Extremform des Leptosomen wird **Astheniker** genannt. Er unterscheidet sich vom Leptosomen durch völlig fehlendes Fettgewebe und reduzierte Muskulatur.

**Pyknischer Typ:** ausgeprägte Breitenentwicklung des Körperstamms; hoher Anteil an subkutanem Fettgewebe (Bauch); Muskulatur gut ausgeprägt, aber nicht an der Oberfläche abgezeichnet; breiter, kurzer Kopf; weiches Gesicht; gedrungener Hals; im Vergleich zum Brustkorb schmale Schultern; kurze Extremitäten.

**Athletischer Typ:** Skelett und Muskulatur kräftig; deutliches muskulöses Oberflächenrelief; hoher, derber Schädel; Brustkorb mit kräftiger Wölbung nach vorn und seitlich; breite Schultern; mittellange Extremitäten mit gut ausgebildeter Muskulatur.

Eine Korrelation zwischen Konstitution und Disposition wird heute allgemein bezweifelt.



## 1.4 Norm, Variabilität, Fehlbildung



Als (statistische) **Norm** gilt die beim Gesunden am **häufigsten** beobachtete **Merkmalsausprägung**. Als **Variabilität** bezeichnet man eine Abweichung von der Norm, welche aber die Anpassung des Organismus an seine natürliche Umwelt nicht oder nicht merklich mindert. Unter **Fehlbildung** versteht man die dauerhafte Abweichung von der Norm, die auf eine **Störung der Entwicklung** zurückzuführen ist.

Als anatomisch normal (**Norm**) bezeichnet man die **typische** Gestalt, die typische Struktur oder Merkmalsausprägung, die bei den **gesunden Mitgliedern** einer Population **statistisch** am häufigsten beobachtet wird. Abweichungen von der statistischen Norm, welche **keine funktionellen Veränderungen** mit sich bringen, werden **Variation** oder **Variabilität** genannt.

Bei allen biologischen Objekten sind Variabilitäten sehr **häufig**. Es kann sich dabei um kleine, **lokal begrenzte** Veränderungen – etwa eine geänderte Astfolge von Arterien oder die Ausbildung einer Halsrippe – oder aber um grundsätzliche Unterschiede des Bauplans wie z. B. die spiegelbildliche Anordnung der inneren Organe beim **Situs inversus** handeln.

Beruhet die Abweichung von der Norm auf einer **gestörten** (ausgebliebenen, gehemmten, überschießenden oder fehlerhaften) **Entwicklung**, ist sie **dauerhaft** und geht mit einer **funktionellen Beeinträchtigung** einher, spricht man von **Fehlbildung**. Fehlbildungen können durch (spontane) Mutationen im Erbgut oder durch exogene Faktoren wie radioaktive Strahlung oder mutagene Substanzen ausgelöst werden.



## 2 Bewegungsapparat

Joachim Kirsch

2



Unter dem Begriff „**Bewegungsapparat**“ versteht man das **Skelett**, die bindegewebigen **Verbindungen** von Skelettteilen und die **Skelettmuskulatur**. Er bestimmt die äußere Gestalt des menschlichen Körpers wesentlich mit und ermöglicht die koordinierte

Bewegung von Rumpf und Extremitäten. Der Bewegungsapparats kann unterteilt werden in einen **passiven Teil** (Skelett und seine Elemente) und einen **aktiven Teil** (Skelettmuskulatur).

Das Skelett stützt die weichen Anteile des Körpers und trägt damit wesentlich dazu bei, dem Körper seine äußere Gestalt zu geben. Die Schädelknochen und Wirbel umgeben das Zentralnervensystem (Gehirn und Rückenmark) und schützen es vor mechanischer Beschädigung. Das Skelett besteht aus 223 Knochen, jedoch kann die konkrete Zahl etwas schwanken, da überzählige Knochen (Wirbel, Halsrippen) nicht selten auftreten, in den Schädelnähten Nahtknochen entstehen oder akzessorische Knochen ausgebildet werden können. Durch starke mechanische Beanspruchung kann auch beim Erwachsenen an atypischer Stelle im Bindegewebe ein Knochen entstehen (z. B. „Reitknochen“ in den Adduktoren des Oberschenkels).

Becken und der Thorax die darin liegenden inneren Organe. Wegen seines hohen Kalziumgehalts ist das Skelett ein **Kalziumreservoir**. Nach der Geburt ist das Mark der platten Knochen der wichtigste Ort der **Blutbildung**.

**Aufbau.** Knochen besteht aus **Knochenzellen** (Osteoblasten, Osteozyten und Osteoklasten), die in eine Matrix, die Knochengrundsubstanz (**Osteoid**), eingelagert sind. Osteoid besteht aus geformtem und ungeformtem **organischem Material** (Kollagenfibrillen, Glukosaminoglykane, Proteoglykane), in das **Mineralien** (vor allem Hydroxylapatit) eingelagert sind. In der Trockensubstanz beträgt der Anteil organischen Materials etwa ein Drittel.

Die äußere Oberfläche der Knochen (mit Ausnahme der knorpeligen Gelenkflächen und der von einer Synovialmembran überzogenen gelenknahen Knochenanteilen) ist von einer Knochenhaut (**Periost**) umgeben. Das gut innervierte Periost ist sehr schmerzempfindlich. Aus den Gefäßnetzen des Periost treten Blutgefäße durch die **Foramina nutritiva** in den Knochen ein. Sie durchlaufen die äußere, kompakte Schicht (Kortikalis) und verzweigen sich im Markraum, von wo sie in die Peripherie zurücklaufen.

### 2.1 Elemente und Bauprinzipien des Skeletts

#### 2.1.1 Baumaterialien des Skeletts



Beim Erwachsenen bestehen die Skelettelemente fast ausschließlich aus **Knochen**. **Knorpel** überzieht die Enden der Knochen, die **gelenkige Verbindungen** eingehen. Außerdem kommt Knorpel in einigen Rippen, im Processus xiphoideus (Schwertfortsatz) des Sternums, in der Nase und der Ohrmuschel vor.



Eine Unterbrechung der Blutzufuhr durch eine Fraktur führt zu einer **Knochennekrose**, also zu einem lokalen Untergang des Knochengewebes (z. B. Femurkopfnekrose nach Schenkelhalsfraktur).

#### Knochengewebe

Neben der **Stützfunktion** erfüllen Knochen noch weitere Funktionen. Schädelknochen und Wirbel nehmen das Zentralnervensystem (Gehirn und Rückenmark) auf und **schützen** es vor mechanischen Beschädigungen. Ebenso schützen das knöcherne

Periost und Knochen sind durch Fasern, die vom Periost in die darunter liegende kompakte Schicht des Knochens einstrahlen (**Sharpey-Fasern**, Fibrae perforantes) fest miteinander verbunden. Das Peri-



ost dient auch als Ansatz für Sehnen und Bänder am Knochen.

Als **Endost** bezeichnet man eine dünne Schicht aus meist abgeplatteten Bindegewebszellen, die der inneren Oberfläche des Knochens anliegen.

**Geflechtknochen** (syn.: Faserknochen, primärer Knochen) ist der relativ weiche, embryonale Knochen. Er besteht aus einem Flechtwerk aus **Kollagenfibrillen**. Innerhalb des 1. Lebensjahres wird er umgebaut in den mechanisch stabileren Lamellenknochen. Beim Erwachsenen findet sich Geflechtknochen noch in den **Schädelnähten**, im **knöchernen Labyrinth** des Innenohrs, das in der Pars petrosa des Os temporale liegt, und an Stellen, wo **Sehnen** in den Knochen einstrahlen.

**Lamellenknochen** (syn.: sekundärer Knochen, ► **Abb. 2.1**) besteht aus einer äußeren kompakten Schicht (**Substantia compacta, Kortikalis<sup>4</sup>**), die nach innen in die schwammartige **Substantia spongiosa<sup>3</sup>** übergeht. Das Spongiosanetzwerk besteht aus **Knochenbälkchen**, zwischen denen das **Knochenmark** liegt.

In der Embryonalentwicklung werden die meisten Teile des Skeletts zunächst als **Knorpelmatrizen** aus Geflechtknochen angelegt. Diese knorpeligen Skelettelemente werden ab der 7. Embryonalwoche bis zum 3. Lebensjahr vollständig durch knöcherne Skelettelemente aus Lamellenknochen ersetzt (chondrale Osteogenese). Da diese Knochen ihre knorpeligen Vorläufer ersetzen, werden sie auch **Ersatzknochen** genannt. Die Verknöcherung der knorpelig angelegten Skelettelemente geht von Ossifikationspunkten aus, die im Röntgenbild erkennbar sind und als **Knochenkerne** bezeichnet werden.



Anhand der Zahl, Form und Größe der Knochenkerne im Röntgenbild kann der Grad der **Skelettreifung** bestimmt werden.

**Knochenumbau.** Umbau- und Reparaturvorgänge gehen vom **Periost<sup>5</sup>** und dem **Endost** aus, die Vorläuferzellen enthalten, aus denen sich **Osteoblasten** differenzieren können. Diese Umbauvorgänge finden wegen der wechselnden Belastung von Knochen ständig statt. Sie beginnen damit, dass Osteoklasten Kanäle erzeugen, in die Blutgefäße einwachsen. Um diese Blutgefäße (Havers-Gefäße) herum richten sich dann die neu gebildeten Lamellen konzentrisch aus. Die ständigen Umbauvorgänge passen den Knochen der vorherrschenden Belastung an.

Auch am ausgewachsenen Skelett findet ein ständiger **Knochenumbau** statt. Jährlich werden etwa 10% des Knochengewebes, vorwiegend in der Spongiosa, umgebaut. **Mechanische Belastung** aktiviert Osteoblasten, sodass unter normalen Bedingungen Auf- und Abbau von Knochen im Gleichgewicht stehen. Bei **verminderter Beanspruchung** (längere Bettruhe, Ruhigstellung, Bewegungsarmut im Alter) oder veränderten hormonellen Bedingungen (verringerte Östrogensekretion in der Postmenopause) wird vermehrt Knochen substanz abgebaut (**Osteoporose**). Da diese Umbauvorgänge vorwiegend die Spongiosa betreffen, sind von osteoporotischen Veränderungen vor allem spongiöse Knochen wie **Wirbelkörper** oder **Femurhals** betroffen. Osteoporotische Knochen können leichter brechen. Regelmäßige Beanspruchung führt dagegen zu einer erhöhten Knochendichte.

Der Umbau von Knochen wird über das **Parathormon** der Nebenschilddrüse reguliert, unter dessen Einwirkung Kalzium und Phosphat aus dem Knochen mobilisiert werden. Dagegen ist **Vitamin D** für die Aufnahme von Kalzium aus der Nahrung und damit für die Mineralisierung der Kochengrundsubstanz wichtig. **Vitamin C** ist zur Bildung von Kollagenfibrillen der Grundsubstanz erforderlich.

**Knochenmark.** Das Knochenmark macht etwa 5% des Knochengewichts aus. Beim Kind sind die Markräume aller Knochen von **rotem, Blut bildendem Knochenmark** ausgefüllt. Beim Erwachsenen findet es sich nur noch in den Markräumen von **kurzen** und **platten** Knochen sowie in den **Epiphysen<sup>7,9</sup>** der Röhrenknochen. In den Markhöhlen der Diaphysen wird das rote durch **gelbes Knochenmark (Fettmark)** ersetzt. Beim gesunden Erwachsenen sind die Anteile von rotem und gelbem Knochenmark ungefähr gleich groß. Die Blutversorgung des Knochenmarks verläuft über die **Vasa nutritientia**. Ihre kapillare Endstrecke mündet in weitleumigen Sinus.

## Knorpelgewebe

Im Bewegungsapparat kommt fast ausschließlich **hyaliner Knorpel<sup>1</sup>** vor, der die Gelenkflächen überzieht. Er besteht zu 60–70% aus Wasser. Die meist in kleinen Gruppen gelagerten Knorpelzel-

len (**Chondrozyten**) sind von einer amorphen **Knorpelgrundsubstanz** aus sulfatierten Glykosaminoglykanen (Chondroitinsulfat) und Proteoglykanen umgeben, in die lichtmikroskopisch unsichtbare („maskierte“) **Kollagenfasern** eingelagert sind.



Bei degenerativen Veränderungen des Gelenkknorpels (**Arthrose**) kommt es zu einer Demaskierung der Kollagenfasern (Asbestfaserung) und zur Einlagerung von Mineralien.

**Faserknorpel** kommt vor an den Gelenkflächen der Kiefer- und Schlüsselbeingelenke (Articulatio sternoclavicularis) sowie in den Bandscheiben und der Schambeinfuge. Er unterscheidet sich von hyalinem Knorpel dadurch, dass die dicht gedrängten Kollagenfasern **nicht maskiert** sind. In der Grundsubstanz liegen Inseln vereinzelter oder kleine Gruppen von Chondrozyten.

Das **Perichondrium** (Knorpelhaut) besteht aus straffem Bindegewebe und elastischen Netzen. Es führt Blutgefäße und Nerven. Das Perichondrium geht ohne scharfe Grenze in das Knorpelgewebe über.

Knorpelgewebe ist nahezu frei von Blutgefäßen und Nerven. Ernährt wird es ausschließlich durch Diffusion von der Knorpelhaut oder aus der Synovialflüssigkeit (Gelenkschmiere).

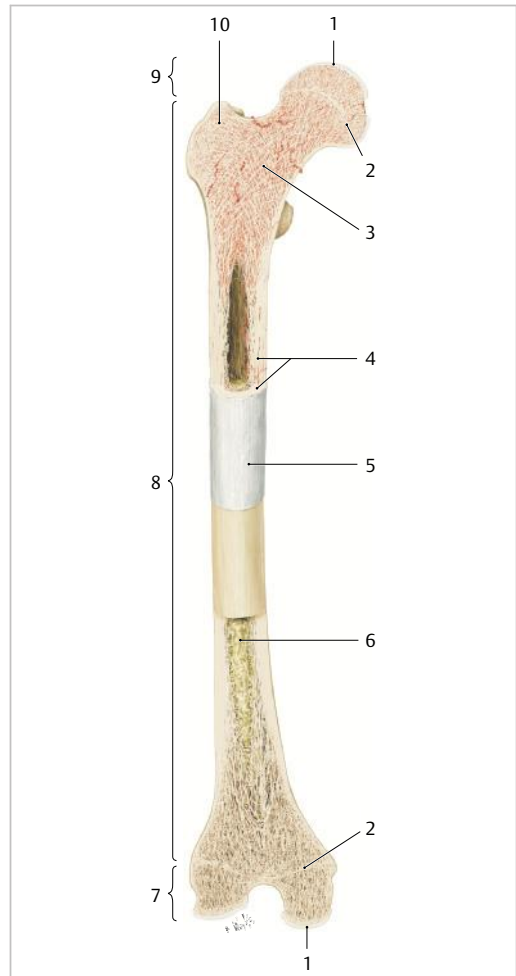
### 2.1.2 Knochentypen



Die Knochen werden entsprechend ihrer äußeren Form in **kurze**, **lange** und **platte** Knochen eingeteilt. Dieser Einteilung nach äußerlichen Kriterien entsprechen jedoch auch **strukturelle Differenzierungen**.

**Kurze Knochen** (Wirbelkörper, Fuß- und Handknochen) besitzen eine dünne Kortikalis, die ein Netzwerk von Spongiosabälkchen einschließt. Eine einheitliche Markhöhle ist nicht vorhanden.

**Lange Knochen** (lange Röhrenknochen der Extremitäten, Röhrenknochen der Mittelhand- und Mittelfußknochen, ► **Abb. 2.1**) besitzen einen röhrenförmigen Mittelteil (**Diaphyse**), dessen Kortika-



**Abb. 2.1** Bau von Röhrenknochen. Frontaler Sägeschnitt durch den proximalen und distalen Femur eines Erwachsenen.

- 1 Gelenkknorpel
  - 2 knöcherne Epiphysenlinie
  - 3 Substantia spongiosa mit rotem, blutbildendem Knochenmark
  - 4 Substantia compacta (Substantia corticalis)
  - 5 Periost
  - 6 Markhöhle mit Fettmark
  - 7 distale Epiphyse
  - 8 Diaphyse
  - 9 proximale Epiphyse
  - 10 Apophyse
- (nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

lis als massive **Substantia compacta** ausgebildet ist. Die Diaphyse umschließt eine einheitliche Markhöhle mit spärlichen Spongiosabälkchen. Die Markhöhle<sup>6</sup> ist mit gelbem Knochenmark ausgefüllt. Die Endstücke (**Epiphysen**<sup>7,9</sup>) sind von einer dünnen Kortikalis umgeben und weisen eine ausgeprägte Spongiosa auf, zwischen deren Knochenbälkchen meist rotes, blutbildendes Knochenmark liegt. Am Ende der Epiphysen befinden sich die Gelenkflächen. In der Wachstumsphase befindet sich zwischen Epi- und Diaphyse die **Metaphyse**. Größere Knochenvorsprünge, an denen Sehnen oder Bänder inserieren, werden **Apophyse**<sup>10</sup> genannt.

**Platte Knochen** haben je nach mechanischer Beanspruchung einen unterschiedlichen Aufbau. Die Rippen und die Knochen des Schädeldachs haben auf der Innen- und Außenseite eine verstärkte Kompakta und im Innern ein grobes Spongiosanetzwerk. Beim Schädel wird die Spongiosa als **Diploe** bezeichnet. Die äußere bzw. innere Kortikalis der platten Schädelknochen nennt man **Lamina externa** bzw. **interna**. Am Schulterblatt (Scapula), dem Hüftbein (Os coxae) und dem Brustbein (Sternum) ist der Aufbau der dickeren Anteile ähnlich. Doch zwischen der spärlichen Spongiosa liegt hier **blutbildendes Knochenmark**. Die dünnen Anteile dieser und einiger anderer platter Knochen (z. B. Vomer) sind als einheitliche **Knochenlamelle** ohne Spongiosa ausgebildet.

**Lufthaltige Knochen** sind auf ihrer inneren Oberfläche mit einer Schleimhaut ausgekleidet. Zu ihnen zählen der Processus mastoideus und die Paukenhöhle sowie die Knochen, welche die Wände der Nasennebenhöhlen (Sinus maxillaris, frontalis, sphenoidalis und Cellulae ethmoidales) bilden.

Unter dem Begriff „**unregelmäßige Knochen**“ fasst man die Knochen zusammen, die keiner der anderen Gruppen zugeordnet werden können (z. B. Wirbel der Wirbelsäule).

### 2.1.3 Funktioneller Bau des Knochens

Das menschliche Skelett ist in „Leichtbauweise“ gestaltet: Es vereint mechanische Festigkeit mit einem geringen Einsatz an Bausubstanz. Das niedrige Gewicht bedeutet auch einen geringeren Energieaufwand für Bewegungen.

Dies wird hauptsächlich durch 2 **Bauprinzipien** erreicht:

- Der **Steigungswinkel** der **Kollagenfibrillen** in der Kompakta variiert von Lamelle zu Lamelle. Wird auf eine solche Struktur Druck ausgeübt, versteifen die Osteone (Flächenpressung).
- Die Spongiosabälkchen verlaufen entlang der Linien, in denen die größten Kräfte auftreten (**trajektorielle Bauweise**). Damit passt sich der Knochen optimal an die tatsächlich auftretende mechanische Beanspruchung an.

Zusätzlich können die Skelettmuskeln die Biegespannung mindern, indem sie zusammen mit dem Bandapparat bei Kontraktion für eine Verspannung (Zuggurtung) sorgen.

Die Druckfestigkeit von Röhrenknochen ist mit 10–15 kg/mm<sup>2</sup> höher als deren Zugfestigkeit. Die Torsionsfestigkeit dagegen ist nur gering, da hierbei hohe Zugspannungen auftreten.

## 2.2 Verbindungen der Skelettelemente



Die Verbindungen zwischen Skelettelementen können kontinuierlich in Form von Fugen (**Synarthrosen**, „unechte Gelenke“) oder diskontinuierlich als Gelenke (**Diarthrosen**, „echte Gelenke“) ausgestaltet sein.

### 2.2.1 Synarthrose (Fuge)

Eine kontinuierliche Verbindung zwischen 2 Skelettelementen durch ein **Füllgewebe** nennt man Fuge (Synarthrose). ► Tab. 2.1 listet die unterschiedlichen Formen von Synarthrosen auf. Das Füllgewebe besteht im Fall der **Juncturae fibrosae** aus kollagenem oder elastischem Bindegewebe und im Fall der **Juncturae cartilagineae** aus Faser- oder hyalinem Knorpel. Wird das ursprünglich in einer Fuge vorhandene Gewebe durch Knochen ersetzt, wie z. B. zwischen den ursprünglich separaten Sakralwirbeln, spricht man von **Synostose**.

In der Schambeinsymphyse tritt nach der Geburt nahezu regelmäßig ein mit Gelenkschmiere (Synovia) gefüllter Spalt auf, weshalb man diese Fuge auch als **Hemiarthrose** bezeichnet.

Tab. 2.1 Synarthrosen.

Bezeichnung der Fuge	Füllgewebe	Beispiel
<b>Junctura fibrosa</b>		
Syndesmose	kollagenes Bindegewebe	Membrana interossea zwischen Radius und Ulna
	elastisches Bindegewebe	Ligg. flava zwischen den Bögen benachbarter Wirbel
Knochennaht (Sutura):		Nähte der Schädelknochen:
• Sutura plana	kollagenes Bindegewebe	• Sutura palatina mediana
• Sutura squamosa	Bindegewebe zurückgebildet	• Sutura parietotemporalis
• Sutura serrata	Bindegewebe zurückgebildet	• Sutura sagittalis
Gomphosis (Einzapfung)	kollagenes Bindegewebe	Einzapfung der Zahnwurzeln im Processus alveolaris der Kiefer
Schindylesis (Nutennaht)	Bindegewebe zurückgebildet	Einsenkung des Vomers in eine keilförmige Vertiefung des Os sphenoidale
<b>Junctura cartilaginea</b>		
Synchondrose	hyaliner Knorpel	Synchondrosis sternocostalis zwischen Rippen und Sternum
Symphyse	Faserknorpel	zwischen den Ossa pubica (Schambeinfuge)

### 2.2.2 Diarthrose (Gelenk)

Das Charakteristikum der echten Gelenke (Diarthrosen) ist die Trennung der gelenkbildenden Knochen durch einen mit Gelenkschmiere (**Synovia**) gefüllten Spalt.

#### Gelenkaufbau (► Abb. 2.2)

Die Gelenkenden der Knochen können sehr unterschiedlich geformt sein. Grundsätzlich kann man jedoch einen (beweglicheren) **Gelenkkopf (Caput articulare<sup>5</sup>)** von einer (weniger beweglichen) **Gelenkpfanne (Fossa articularis<sup>2</sup>)** unterscheiden. Die Gelenkfläche (Facies articularis) besteht aus einer 0,2–0,5 mm, bei der Kniescheibe bis zu 6 mm dicken Schicht aus hyalinem Knorpel. Lediglich beim Sternoklavikulargelenk und dem Kiefergelenk findet sich Faserknorpel.

Die glatte Oberfläche des **Gelenkknorpels (Cartilago articularis<sup>3</sup>)** vermindert die Reibung zwischen den Gelenkflächen. Da der Gelenkknorpel elastisch ist, wird der Druck gleichmäßig auf die Spongiosa darunter verteilt. Allerdings reicht die Deformierbarkeit der dünnen Knorpelschicht nicht aus, um Stöße elastisch abzufedern.

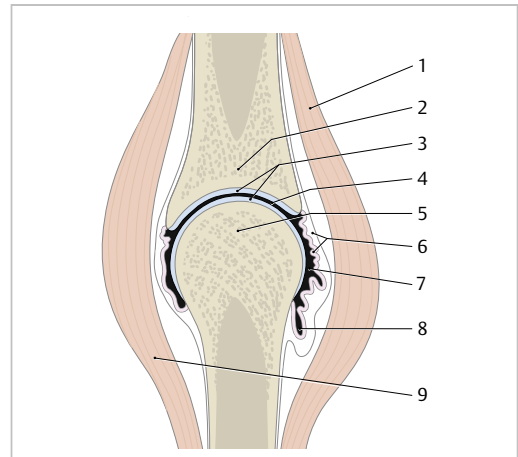


Abb. 2.2 Aufbau eines Gelenks.

- 1 Muskulatur (Antagonist)
  - 2 Gelenkpfanne
  - 3 Gelenkknorpel
  - 4 Gelenkspalt
  - 5 Gelenkkopf
  - 6 Gelenkkapsel
  - 7 Gelenkhöhle (enthält Synovialflüssigkeit)
  - 8 Reservefalte (Recessus)
  - 9 Muskulatur (Agonist)
- (nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)



Starke mechanische Belastungen, insbesondere Stoßbelastungen, können zu degenerativen Veränderungen des Gelenkknorpels (**Arthrosen**) führen.

Für die elastische Deformierbarkeit des Gelenkknorpels spielt die Anordnung von zugfesten **Kollagenfasern** im hyalinen Knorpel eine besondere Rolle. Diese **Tangentialfasern** genannten Kollagenfaserbündel sind in der dem Knochengewebe benachbarten **Verkalkungszone** des mineralisierenden Knorpels verankert. Sie ziehen zunächst senkrecht zur Gelenkfläche, biegen aber nahe der Oberfläche in einer **Übergangszone** in eine Verlaufsrichtung parallel zur Oberfläche um. Am Rand gehen die Tangentialfasern kontinuierlich in das **Periost** über. Die Tangentialfasern wirken einer Flächendehnung des Knorpels entgegen.

Die **Gelenkhöhle** (**Cavum articulare**<sup>7</sup>) ist ein kapillarer Spalt, der mit einer viskösen Flüssigkeit (**Synovia**) gefüllt ist. Sie wird von der **Gelenkkapsel** (**Capsula articularis**<sup>6</sup>) luftdicht abgeschlossen. Die Gelenkkapsel besteht aus einer außen liegenden Faserschicht (**Membrana fibrosa**) und einer an die Gelenkhöhle angrenzenden, zellreichen **Membrana synovialis** (**Gelenkinnenhaut**). In der Membrana synovialis, die sich zur Oberflächenvergrößerung in **Falten** und **Zotten** legt, lassen sich wiederum 2 Schichten unterscheiden, das **subintimale Gewebe** und die an den Spalt grenzende **synoviale Intima**.



Bei längerer **Immobilisierung** eines Gelenks (Ruhigstellung nach Fraktur) kann die **Gelenkkapsel schrumpfen** und dadurch die Beweglichkeit des Gelenks stark einschränken. Eine Bewegungstherapie kann die ursprüngliche Beweglichkeit wiederherstellen.

An **schwachen Stellen** der Membrana fibrosa kann sich die Membrana synovialis nach außen stülpen, sodass ein „Überbein“ (**Ganglion**) entsteht.

Die **Synovialflüssigkeit** (Gelenkschmiere) ist eine klare, leicht gelbliche, Fäden ziehende, visköse Flüssigkeit. Ihre Menge richtet sich nach der Größe des Gelenks. In großen Gelenken kann bis zu 35 ml Synovia auftreten. Sie wird von den Synoviozyten vom Typ B produziert und besteht aus **Hyaluron-**

**säure, Proteoglykanen** und einem **Transsudat** („Filtrat“) des Blutes. Als weiteren wichtigen Bestandteil enthält die Synovia daher auch **Glukose**.

Die Synovialflüssigkeit dient der **Ernährung** des Gelenkknorpels und anderer intraartikulärer Strukturen sowie als „**Schmiermittel**“ für ein reibungsarmes Gleiten der von Knorpel überzogenen Gelenkflächen. Da Flüssigkeiten nicht komprimierbar sind, verteilt sich der Druck in der Synovialflüssigkeit gleichmäßig. Zusammen mit den elastischen Anteilen der Gelenkkapsel wirkt die Synovia daher auch als **Stoßdämpfer**.



Entzündungen und Verletzungen von Gelenken können zu einer massiven Überproduktion von Synovialflüssigkeit führen (**Gelenkerguss**). Da dieser Erguss mit einer erhöhten Spannung der gut innervierten Gelenkkapsel einhergeht, kann dies sehr **schmerzhaft** sein.

Kommt es nach Verletzungen zu Einblutungen in ein Gelenk, wird dieser Erguss **Hämarthros** genannt.

## Gelenkformen

Gängige Kriterien für die Einteilung von Gelenken sind:

- Form der Gelenkkörper,
- Gestalt der artikulierenden Flächen,
- Anzahl der Bewegungsmöglichkeiten (Freiheitsgrade),
- Anzahl und Lage der Bewegungsachsen.

Bei **einachsigen Gelenken** ist nur eine Bewegung um eine einzige Achse möglich, deren Lage die Art der Bewegung bestimmt. Einachsige Gelenke verfügen über nur einen Freiheitsgrad. **Zweiachsige Gelenke** bewegen sich um 2 senkrecht zueinander stehende Achsen, die sich im (geometrischen) Mittelpunkt des Gelenks schneiden. **Dreiachsige Gelenke** haben eine (theoretisch) unendliche Anzahl von Bewegungsachsen. Zur Vereinfachung reduziert man die Achsen auf die 3 Hauptachsen des Raums.

Die Gelenkformen mit ihren Bewegungsmöglichkeiten sind in ▶ Tab. 2.2 und ▶ **Abb. 2.3** zusammengestellt.