

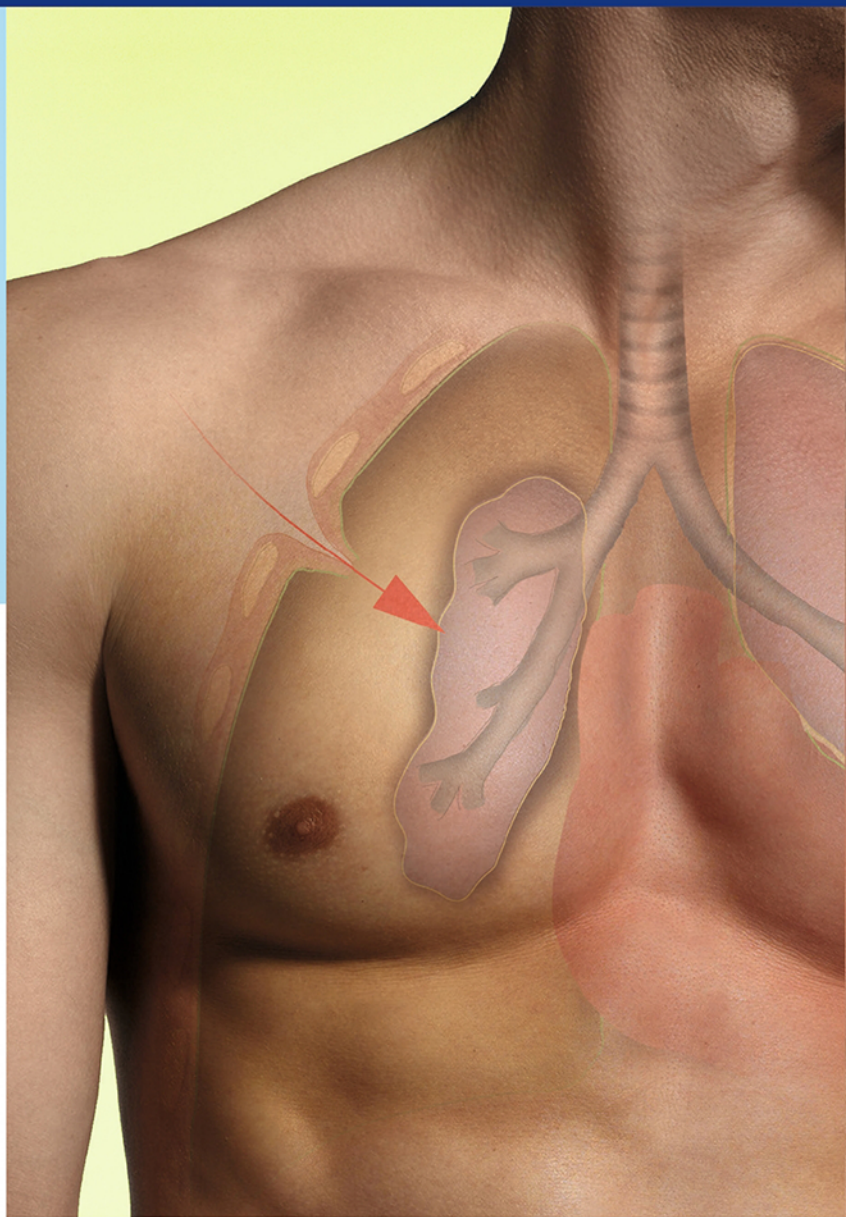
physio**lehr**buch

# Physiotherapie in der Traumatologie / Chirurgie

Herausgegeben von  
Antje Hüter-Becker  
Mechthild Dölken

unter Mitarbeit von  
Stephanie Fresenius  
Michael Fresenius  
Christian Münzing  
Florian Schneider  
Heide Suger-Wiedeck  
Bärbel Trinkle

4. Auflage







# Physiotherapie in der Traumatologie/Chirurgie

**Herausgegeben von**

**Antje Hüter-Becker**

**Mechthild Dölken**

Mit Beiträgen von

Michael Fresenius

Stephanie Fresenius

Christian Münzing

Florian Schneider

Heide Suger-Wiedeck

Bärbel Trinkle

4. Auflage

390 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, 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.

© 2016 Georg Thieme Verlag KG  
Rüdigerstr. 14  
70469 Stuttgart  
Deutschland  
[www.thieme.de](http://www.thieme.de)

Zeichnungen: Martin Hoffmann, Neu-Ulm,  
und Helmut Holtermann, Dannenberg  
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe  
Satz: Ziegler und Müller, Kirchentellinsfurt  
Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, Kempten

DOI 10.1055/b-004-129722

ISBN 978-3-13-129544-6

1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:  
eISBN (PDF) 978-3-13-154734-7  
eISBN (epub) 978-3-13-168184-3

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.

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.

Die abgebildeten Personen haben in keiner Weise etwas mit der Krankheit zu tun.

# Vorwort

In der Physiotherapie ist einiges in Bewegung geraten – mehr, als es bei diesem Berufsberuf ohnehin der Fall ist: Die Tür zu einer akademischen Ausbildung der Physiotherapeutinnen und Physiotherapeuten hat sich einen Spalt breit geöffnet; die ersten Absolventen eines Fachhochschulstudiums sind als Bachelor of Science oder als Bachelor of Arts ins Berufsfeld ausgeschwärmt. Der Professionalisierungsprozess schreitet voran. Und was bedeutet das alles für die Ausbildung von Physiotherapeuten?

In erster Linie bedeutet es, sich auf die Stärken des Berufs zu besinnen, auf das Charakteristische der deutschen Physiotherapie: die ausgezeichnete praktische Fachkompetenz, die uns auch im weltweiten Vergleich immer wieder bestätigt wird. Nach wie vor gilt, dass das beobachtende Auge – die haltende, aber auch sich wieder lösende Hand – das achtsame Herz zeitlos gültige Merkmale eines Physiotherapeuten, einer Physiotherapeutin sind. Mit dem >Bachelor sc. Physiotherapie<, der international als „reflektierender Praktiker“ definiert wird, können wir einerseits diese praktische Kompetenz bewahren und andererseits den Anschluss finden an die weltweite Akademisierung der Physiotherapie, die notwendig ist, um das wissenschaftliche Fundament zu festigen.

Die Lehrbuchreihe Physiotherapie begleitet und dokumentiert seit Jahrzehnten die stetige Weiterentwicklung des Berufs. In dieser jüngsten Neukonzeption haben wir der Praxis des Untersuchens und Behandeln in allen Fachgebieten der klinischen Medizin ein noch deutlicheres Gewicht gegeben als vorher; die Gründe sind oben genannt. Die Inhalte repräsentieren klinische Inhalte, die von praktischer Bedeutung sind in der Ausbildung – vor allem aber auch später im Beruf. Auf drei Vertiefungsebenen werden die Kenntnisse angeboten: Stets gewinnen Sie zunächst einen Überblick über ein bestimmtes Thema, gehen dann in die Tiefe und einem Thema auf den Grund, um schließlich in Fallbeispielen konkrete Untersuchungs- und Behandlungssituationen kennen und verstehen zu lernen. Zusammenfassungen und Hinweise sollen helfen, das Wissen zu strukturieren und in der Wiederholung sich anzueignen.



## Merke

In diesem physiolehrbuch stellen die Autoren exemplarisch ausgewählte Verletzungen vor. Sie beschreiben zunächst die Prinzipien der Therapie nach spezifischen Verletzungen und in den einzelnen Körperregionen und ermöglichen damit den Lernenden Transferleistungen.

Das 9. Kapitel des Buches bereitet dann nicht nur auf das Arbeiten auf einer chirurgischen Intensivstation vor, sondern es soll auch die (Berührungs-)Angst vor den vielen unbekanntem Apparaten nehmen, die das Bett des Patienten umgeben.

Physiotherapeuten begegnen in der Unfallchirurgie Patienten, die durch ihr erlebtes Trauma nicht nur auf körperlicher Ebene traumatisiert sind. Im Kapitel 1.6 erhalten die Leser wertvolle Hinweise zur Traumaverarbeitung. Verändertes Verhalten der Patienten während der Therapie kann so besser verstanden werden.

Leserinnen und Leser, die mit kritischen Fragen oder Anmerkungen dazu beitragen möchten, die Lehrbuchreihe zu optimieren, sind den Autorinnen/Autoren und den Herausgeberinnen herzlich willkommen. Dem Thieme Verlag, und hier in erster Linie Rosi Haarer-Becker, sei gedankt für eine wiederum höchst engagierte und ergebnisreiche Zusammenarbeit bei Neukonzeption und Herstellung der physiolehrbücher.

*Mechthild Dölken, Antje Hüter-Becker*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Charakteristika des Arbeitsfeldes Traumatologie</b> .....	13			
	<i>Florian Schneider</i>				
<b>1.1</b>	<b>Leitsymptome</b> .....	13	<b>1.3.2</b>	Das Bewegungssystem als Schmerzauslöser .....	62
1.1.1	Modell der Leitsymptome .....	14	1.3.3	Physiotherapie bei Schmerzen ....	62
<b>1.2</b>	<b>Leitsymptom: Mobilität</b> .....	14	1.3.4	Therapeutische Verfahren zur Schmerzbehandlung .....	63
	<i>Florian Schneider</i>		<b>1.4</b>	<b>Leitsymptom: Vitalfunktionen</b>	66
1.2.1	Auswirkungen von Verletzungen und Immobilität auf Gelenke .....	15		<i>Florian Schneider</i>	
1.2.2	Bewegungsstrukturen .....	17	1.4.1	Atmung und Herz-Kreislauf- Funktion .....	66
1.2.3	Auswirkungen von Verletzungen auf die Haut .....	23	1.4.2	Flüssigkeits- und Nährstoffhaushalt	75
1.2.4	Auswirkungen von Verletzungen auf Muskulatur und Sehnen .....	28	1.4.3	Gefährliche Störungen der Vitalfunktionen .....	78
1.2.5	Auswirkungen von Verletzungen auf die Nervenstrukturen .....	35	<b>1.5</b>	<b>Leitsymptom: Traumaverarbeitung</b> .....	84
1.2.6	Reduzierte Belastbarkeit verletzter bzw. heilender Strukturen .....	39		<i>Heide Suger-Wiedeck</i>	
1.2.7	Prinzipien der Physiotherapie bei eingeschränkter Mobilität .....	47	1.5.1	Traumaerlebnis .....	85
<b>1.3</b>	<b>Leitsymptom: Schmerz</b> .....	51	1.5.2	Symptome einer posttrauma- tischen Belastungsstörung .....	85
	<i>Christian Münzing</i>				
1.3.1	Neurophysiologische Grundlagen des Schmerzes .....	52			
<b>2</b>	<b>Übersicht über Knochen- und Kapsel-Band-Verletzungen</b> .....	92			
	<i>Florian Schneider</i>				
<b>2.1</b>	<b>Frakturen</b> .....	92	<b>2.3</b>	<b>Kapsel-Band-Verletzungen</b> .....	99
2.1.1	Allgemeine Frakturlehre .....	92	2.3.1	Auswirkungen von Kapsel-Band-Verletzungen .....	99
2.1.2	Frakturheilung .....	95	2.3.2	Wundheilung von Gelenkkapsel und Gelenkbändern .....	100
2.1.3	Prinzipien der Physiotherapie bei Frakturen .....	96	2.3.3	Therapie von Kapsel-Band-Verletzungen .....	102
<b>2.2</b>	<b>Frakturen bei Kindern</b> .....	98			
	<i>Christian Münzing</i>				
2.2.1	Frakturformen .....	98			

<b>3</b>	<b>Weichteilschäden</b> .....	107		
	<i>Christian Münzing</i>			
<b>3.1</b>	<b>Weichteilverletzungen</b> .....	107	<b>3.2</b>	<b>Weichteilinfektionen</b> .....
3.1.1	Physiotherapie bei primären Weichteilschäden .....	108	3.2.1	Myositis ossificans .....
3.1.2	Physiotherapie nach sekundären Weichteilschäden .....	109	3.2.2	Complex Regional Pain Syndrome = CRPS .....
<b>4</b>	<b>Nerven- und Gefäßverletzungen</b> .....	124		
	<i>Christian Münzing</i>			
<b>4.1</b>	<b>Überblick über Nervenverletzungen</b> .....	124	4.2.3	Lagern in entspannter Position des geschädigten neuralen Gewebes ..
4.1.1	Ärztliche Diagnostik und Therapie ..	125	4.2.4	Verbessern der Muskelfunktion ...
4.1.2	Mobilität des peripheren Nervensystems .....	125	<b>4.3</b>	<b>Physiotherapie bei Rückenmarksverletzungen</b> .....
4.1.3	Lokalisation peripherer Nervenstraßen .....	125	4.3.1	Ziele und Maßnahmen in der frühen Phase einer Querschnittverletzung .....
<b>4.2</b>	<b>Prinzipien bei der Physiotherapie nach Verletzungen neuraler Strukturen</b> .....	128	<b>4.4</b>	<b>Überblick über Gefäßverletzungen</b> .....
4.2.1	Kontrakturprophylaxe .....	128	4.4.1	Arterielle Gefäßverletzungen .....
4.2.2	Bewegen, ohne neurale Strukturen zu belasten .....	128	4.4.2	Venöse Gefäßverletzungen .....
<b>5</b>	<b>Amputationen</b> .....	137		
	<i>Christian Münzing</i>			
<b>5.1</b>	<b>Überblick über das Krankheitsbild</b> .....	137	5.3.1	Physiotherapeutische Untersuchung nach Amputationen .....
<b>5.2</b>	<b>Prothesenversorgung</b> .....	139	5.3.2	Prinzipien der physiotherapeutischen Behandlung nach Amputationen .....
<b>5.3</b>	<b>Physiotherapie nach Amputationen</b> .....	142		
<b>6</b>	<b>Verletzungen der unteren Extremität und des Beckens</b> .....	155		
	<i>Christian Münzing</i>			
<b>6.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	155	<b>6.3</b>	<b>Prinzipien der physiotherapeutischen Behandlung</b> .....
6.1.1	Verletzungsarten .....	155	6.3.1	Prophylaxen .....
<b>6.2</b>	<b>Prinzipien der physiotherapeutischen Untersuchung</b> .....	156	6.3.2	Mobilisation .....
6.2.1	Tests und Untersuchungen .....	157	6.3.3	Kräftigung .....
			6.3.4	Stabilisation .....



6.3.5	Beinachsentraining.....	180	6.6.4	Physiotherapeutische Behandlung nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes .....	210
6.3.6	Gangschulung .....	183			
6.3.7	Sekundärprävention.....	194			
<b>6.4</b>	<b>Azetabulumfraktur .....</b>	<b>194</b>	<b>6.7</b>	<b>Unterschenkelschaftfraktur ....</b>	<b>214</b>
6.4.1	Ärztliche Therapie .....	195	6.7.1	Ärztliche Therapie .....	215
6.4.2	Physiotherapeutische Untersuchung nach Azetabulumfrakturen.....	195	6.7.2	Physiotherapeutische Unter- suchung nach Unterschenkel- schaftfraktur .....	215
6.4.3	Physiotherapeutische Behandlung nach Azetabulumfraktur .....	196	6.7.3	Physiotherapeutische Behandlung nach Unterschenkelschaftfraktur ..	215
<b>6.5</b>	<b>Schenkelhalsfraktur .....</b>	<b>199</b>	<b>6.8</b>	<b>Sprunggelenkfraktur .....</b>	<b>216</b>
6.5.1	Ärztliche Therapie .....	200	6.8.1	Klassifikation.....	217
6.5.2	Physiotherapeutische Unter- suchung nach Schenkelhalsfraktur	200	6.8.2	Ärztliche Therapie .....	218
6.5.3	Physiotherapeutische Behandlung nach Schenkelhalsfraktur .....	201	6.8.3	Physiotherapeutische Unter- suchung nach Sprunggelenkfraktur	219
			6.8.4	Physiotherapeutische Behandlung nach Sprunggelenkfraktur.....	220
<b>6.6</b>	<b>Ruptur des vorderen Kreuzbands</b>	<b>204</b>	<b>6.9</b>	<b>Kalkaneusfraktur .....</b>	<b>225</b>
6.6.1	Biomechanik .....	205	6.9.1	Ärztliche Therapie .....	225
6.6.2	Ärztliche Therapie .....	207	6.9.2	Physiotherapeutische Unter- suchung nach Kalkaneusfrakturen	226
6.6.3	Physiotherapeutische Untersuchung nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes .....	209	6.9.3	Physiotherapeutische Behandlung nach Kalkaneusfrakturen .....	226
<b>7</b>	<b>Verletzungen der oberen Extremität .....</b>	<b>230</b>			
	<i>Florian Schneider</i>				
<b>7.1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>230</b>	7.3.3	Behandlungsschwerpunkte nach Verletzungen im Bereich des Schultergelenk .....	250
7.1.1	Verletzungsarten .....	230	7.3.4	Behandlungsschwerpunkte nach Verletzungen im Bereich des Ellbogengelenks.....	252
<b>7.2</b>	<b>Prinzipien der physiothera- peutischen Untersuchung .....</b>	<b>233</b>	7.3.5	Behandlungsschwerpunkte nach Verletzungen im Bereich der Hand	254
7.2.1	Grundsätzliche physiothera- peutische Untersuchung der oberen Extremität .....	234	<b>7.4</b>	<b>Schulterluxation .....</b>	<b>256</b>
7.2.2	Spezielle Untersuchung des Schultergürtels und Schultergelenks.....	235	7.4.1	Typische Begleitverletzungen und Komplikationen .....	256
7.2.3	Spezielle Untersuchung des Ellbogengelenkkomplexes.....	240	7.4.2	Physiotherapeutische Unter- suchung nach Schulterluxationen .	256
7.2.4	Spezielle Untersuchung der Hand .	243	7.4.3	Physiotherapeutische Behandlung nach Schulterluxationen .....	258
<b>7.3</b>	<b>Prinzipien der physiothera- peutischen Behandlung nach Verletzungen der oberen Extremität .....</b>	<b>246</b>	<b>7.5</b>	<b>Rotatorenmanschettenruptur ..</b>	<b>262</b>
7.3.1	Prophylaxen .....	249	7.5.1	Typische Begleitverletzungen.....	262
7.3.2	Trainieren von Alltagsfunktionen..	250	7.5.2	Physiotherapeutische Unter- suchung und Behandlung bei und nach Rotatorenmanschettenruptur	263

<b>7.6</b>	<b>Frakturen des proximalen Humerus</b> .....	266	<b>7.10</b>	<b>Unterarmfrakturen</b> .....	278
7.6.1	Begleitverletzungen und Komplikationen .....	266	7.10.1	Ärztliche Therapie .....	279
7.6.2	Physiotherapeutische Untersuchung und Behandlung nach Frakturen des proximalen Humerus	267	7.10.2	Physiotherapeutische Untersuchung und Behandlung bei Unterarmfrakturen .....	279
<b>7.7</b>	<b>Humerusschaftfrakturen</b> .....	271	<b>7.11</b>	<b>Distale Radiusfraktur</b> .....	281
7.7.1	Begleitverletzung und Komplikationen .....	271	7.11.1	Begleitverletzungen und Komplikation .....	281
7.7.2	Physiotherapeutische Untersuchung und Behandlung nach Humerusschaftfrakturen	271	7.11.2	Physiotherapeutische Untersuchung und Behandlung nach distaler Radiusfraktur .....	281
<b>7.8</b>	<b>Olekranonfraktur</b> .....	273	<b>7.12</b>	<b>Kahnbeinfraktur</b> .....	284
7.8.1	Begleitverletzungen .....	273	7.12.1	Ärztliche Therapie .....	284
7.8.2	Physiotherapeutische Untersuchung und Behandlung nach Olekranonfraktur .....	273	7.12.2	Physiotherapeutische Untersuchung und Behandlung nach Kahnbeinfraktur .....	285
<b>7.9</b>	<b>Radiusköpfchenfrakturen</b> .....	277	<b>7.13</b>	<b>Sehnenverletzungen</b> .....	286
7.9.1	Begleitverletzungen und Komplikationen .....	277	7.13.1	Ärztliche Therapie .....	287
7.9.2	Physiotherapeutische Untersuchung und Behandlung nach Radiusköpfchenfrakturen	277	7.13.2	Physiotherapie nach Sehnenverletzungen .....	287
			<b>7.14</b>	<b>Komplexe Verletzungen der Hand</b> .....	288
			7.14.1	Ärztliche Therapie .....	288
			7.14.2	Physiotherapie nach komplexen Handverletzungen .....	288
<b>8</b>	<b>Verletzungen der Wirbelsäule, des Kopfes und des Brustkorbs</b> .....	292			
	<i>Florian Schneider</i>				
<b>8.1</b>	<b>Verletzungsarten</b> .....	292	8.3.2	Prinzipielle physiotherapeutische Behandlung .....	307
8.1.1	Verletzungen der Wirbelsäule .....	292	<b>8.4</b>	<b>Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule</b> .....	323
8.1.2	Ärztliche Therapie .....	293	8.4.1	Ärztliche Therapie .....	324
8.1.3	Verletzungen des Brustkorbs .....	296	8.4.2	Physiotherapie nach Brust- und Lendenwirbelfrakturen .....	324
8.1.4	Kopfverletzungen .....	297	<b>8.5</b>	<b>Frakturen der Halswirbelsäule</b> ..	331
<b>8.2</b>	<b>Anatomische Grundlagen</b> .....	297	8.5.1	Ärztliche Therapie .....	332
8.2.1	Aufbau und Funktion der Wirbelsäule .....	297	8.5.2	Physiotherapie nach Halswirbelsäulenfrakturen .....	333
8.2.2	Aufbau und Funktion des Brustkorbs .....	304	<b>8.6</b>	<b>HWS-Beschleunigungsverletzung (Schleudertrauma)</b> ..	338
8.2.3	Kopf .....	306	8.6.1	Pathophysiologie .....	339
<b>8.3</b>	<b>Prinzipien der Physiotherapie bei Verletzungen der Wirbelsäule</b> .....	306	8.6.2	Ärztliche Therapie .....	340
8.3.1	Prinzipielle physiotherapeutische Untersuchung .....	306			

8.6.3	Physiotherapie nach Beschleunigungsverletzung (Schleudertrauma).....	342	<b>8.8</b>	<b>Rippenserienfraktur</b> .....	351
			8.8.1	Klassifikation.....	351
			8.8.2	Diagnose .....	351
			8.8.3	Physiotherapie nach Rippenserienfraktur.....	351
<b>8.7</b>	<b>Verletzungen des Brustkorbs</b> ...	347			
8.7.1	Physiotherapeutische Untersuchung .....	347			
8.7.2	Physiotherapeutische Behandlung.	348			
<b>9</b>	<b>Physiotherapie auf der chirurgischen Intensivstation</b> .....	356			
	<i>Stephanie Fresenius, Bärbel Trinkle</i>				
<b>9.1</b>	<b>Charakteristika der Physiotherapie im Arbeitsfeld Intensivstation</b> .....	356	<b>9.3</b>	<b>Prinzipien der Physiotherapie</b> ..	369
9.1.1	Das Team auf einer Intensivstation	356	9.3.1	Einholen von Informationen.....	369
9.1.2	Stellenwert der Physiotherapie auf einer Intensivstation .....	356	9.3.2	Physiotherapeutische Untersuchung .....	370
9.1.3	Aufgaben der Physiotherapeutin ..	356	9.3.3	Präventive physiotherapeutische Behandlung .....	371
9.1.4	Arbeitskleidung und Hygiene .....	357	9.3.4	Atemtherapie .....	373
9.1.5	Monitoring und therapeutische Hilfen .....	357	<b>9.4</b>	<b>Operationen am Herzen</b> .....	382
9.1.6	Medikamente auf der Intensivstation .....	363	9.4.1	Aortokoronarer Venenbypass (ACVB): Operation und postoperative Behandlung .....	382
	<i>Michael Fresenius</i>		9.4.2	Physiotherapie .....	383
			9.4.3	Rehabilitation .....	386
<b>9.2</b>	<b>Psychosoziale Situation des Patienten</b> .....	367	<b>9.5</b>	<b>Operationen an der Lunge</b> .....	387
	<i>Stephanie Fresenius, Bärbel Trinkle</i>		9.5.1	Physiotherapie .....	387
9.2.1	Intensive-Care-Syndrom .....	367	<b>9.6</b>	<b>Operationen am Bauch</b> .....	391
			9.6.1	Physiotherapie .....	391
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	395			

# Anschriften

## Herausgeber

**Hüter-Becker, Antje**  
Hollmuthstr. 20  
69151 Neckargemünd

**Dölken, Mechthild**  
Schule für Physiotherapeuten  
Käfertaler Str. 162  
68167 Mannheim  
mechthild.doelken@umm.de

## Mitarbeiter

**Fresenius, Michael, Dr. med.**  
Marienhaus Klinikum Bendorf-Neuwied-  
Waldbreitbach  
Friedrich-Ebert-Str. 59  
56564 Neuwied  
drfresenius@hotmail.de

**Fresenius, Stephanie**  
stephanie\_fresenius@t-online.de

**Münzing, Christian**  
Praxis therapoint  
Physiotherapie & Prävention  
Donaustr. 14  
89079 Ulm  
muenzing@therapoint.de

**Schneider, Florian**  
Ulmkolleg  
Berufsfachschulen GmbH  
Oberberghof 5  
89081 Ulm  
florian.schneider@ulmkolleg.de

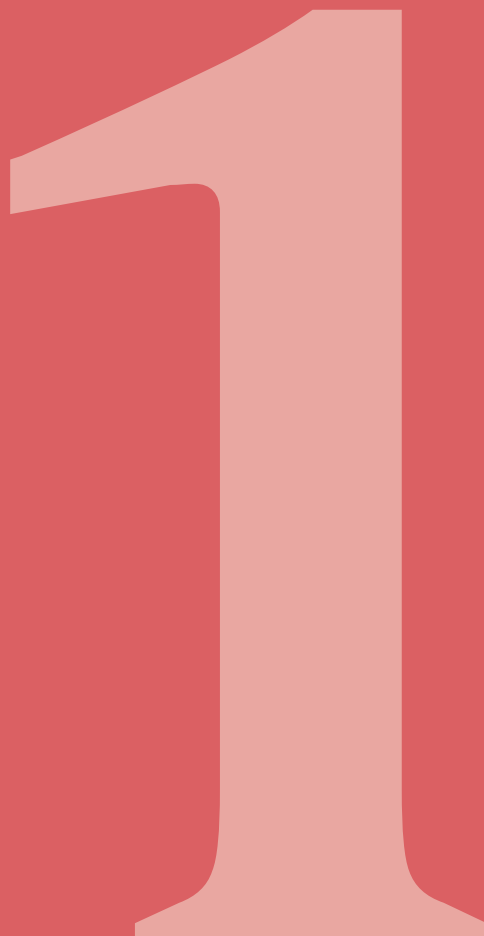
**Suger-Wiedeck, Heide, Prof. Dr. med.**  
Holderweg 12  
89284 Pfaffenhofen  
heide.wiedeck@uniklinik-ulm.de

**Trinkle, Bärbel**  
Schule für Physiotherapeuten  
Käfertaler Str. 162  
68167 Mannheim  
baerbel.trinkle@umm.de

# Kapitel 1

## Charakteristika des Arbeitsfeldes Traumatologie

1.1	Leitsymptome	13
1.2	Leitsymptom: Mobilität	14
1.3	Leitsymptom: Schmerz	51
1.4	Leitsymptom: Vitalfunktionen	66
1.5	Leitsymptom: Traumaverarbeitung	84



# 1 Charakteristika des Arbeitsfeldes Traumatologie

Florian Schneider

## 1.1 Leitsymptome

Unfälle und die damit verbundenen Verletzungen treffen den Menschen unvorbereitet. Die Beeinträchtigungen können für den Patienten dramatisch sein und führen zu Folgen, die sich in vier, für die Patienten in der Traumatologie typischen Leitsymptomen zusammenfassen lassen:

- Verlust/Einschränkung der Mobilität bei gleichzeitiger reduzierter Belastbarkeit verletzter und heilender Strukturen
- Schmerz
- Beeinträchtigung der Vitalfunktionen
- Verarbeitung des Traumas

In der physiotherapeutischen Untersuchung und Behandlung gilt es zu erkennen, welche Leitsymptome beim einzelnen Patienten im Vordergrund stehen und wie ausgeprägt sie sind. Die einzelnen Symptome lassen sich nicht scharf gegeneinander abgrenzen. Sie beeinflussen sich gegenseitig. So kann z. B. Schmerz die Mobilität verhindern oder Bewegung die Vitalfunktionen unterstützen. Gelingt es dem Patienten nicht, das Trauma und die Folgen zu verarbeiten, leidet eventuell die Motivation. Das wiederum kann Fortschritte der Heilung behindern und die Compliance vermindern und damit auch die Erfolge durch Physiotherapie. Ein Fallbeispiel soll das verdeutlichen.

### Fallbeispiel

Herr K., 34 Jahre alt, Schreiner, hat sich bei einem Motorradunfall, den er selbst verschuldete, folgende Verletzungen zugezogen: komplexe instabile Beckenverletzung mit urogenitalen Verletzungen, Humerusschaftfraktur, Thoraxtrauma mit Rippenserienerfraktur.

Herr K. wurde noch im Rettungswagen sediert und intubiert, auf der Intensivstation wurde ein suprapubischer Blasenkatheter gelegt. Seine Freundin, die mit ihm auf dem Motorrad saß, hat den Unfall nicht überlebt.

Es ist klar, dass in dem beschriebenen Zustand die Stabilisierung der Vitalfunktionen Atmung, Herzkreislauf und Ernährung im Vordergrund stehen. Herr K. wurde intensivmedizinisch betreut.

Die Verletzungen und das künstliche Koma führen zum Verlust der Mobilität. Physiotherapeutisch und pflegerisch werden die Entstehung von Kontrakturen und Dekubitus verhindert.

Nach einigen Tagen ist es gelungen, die Vitalfunktionen so weit zu stabilisieren, dass die Sedierung reduziert werden kann. Die ersten Versuche, Herrn K. von der Beatmung zu entwöhnen, scheitern zunächst. Der Schmerz ist zu stark. Schließlich

gelingt es den Intensivmedizinern doch, die Medikation so einzustellen, dass Herr K. wach und bei Bewusstsein ist und aktiv atmen kann. Die Atmung wird Atemtherapeutisch unterstützt.

Langsam wird Herr K. die gesamte Situation bewusst. Trauer und Schuldgefühle stellen sich ein. Die Traumaverarbeitung setzt ein. Seine Mitarbeit bei der Therapie und während der Pflege geht gegen Null. Pflegende und Physiotherapeuten erreichen mit viel Geduld, dass keine erneute Intubation erfolgen muss. Ein konsequentes Mobilisationsprogramm stimuliert die Vitalfunktionen und fördert die Atemfunktion. Im weiteren Verlauf nimmt Herr K. immer mehr an der aktiven Therapie teil. Er lässt seine Trauer zu und beginnt, Schuldgefühle zu überwinden.

Nachdem die Frakturen chirurgisch versorgt sind, können seine Gelenke gezielt mobilisiert werden. Die Fortschritte im Bereich der Mobilität führen zu enormen Verbesserungen auf der Aktivitäts- und Partizipationsebene. Bei der Körperpflege benötigt er nur noch wenig Hilfe; er übt das Gehen mit Unterarmstützen und fährt mit dem Rollstuhl in die Cafeteria.



Dieses Beispiel zeigt einerseits die Abhängigkeit der Leitsymptome und andererseits ihren Einfluss auf die Physiotherapie.

### 1.1.1 Modell der Leitsymptome

Das folgende Modell visualisiert den Einfluss der Leitsymptome auf die Physiotherapie in der Traumatologie (► Abb. 1.1a). Zeigt die Untersuchung des Patienten z.B., dass der Schmerz im Vordergrund steht, verändert sich der Schwerpunkt der Therapie, und das Modell visualisiert den Einfluss dieses Leitsymptoms wie in ► Abb. 1.1b gezeigt.

Mithilfe dieses Modells kann sich besonders der lernende Therapeut verdeutlichen, welche Ziele im Vordergrund der Therapie stehen. Er erkennt auch, dass

- für die Therapie ein gesamtheitliches Denken notwendig ist und
- im Sinne des neuen Denkmodells der Physiotherapie (Hüter-Becker 1997) alle vier Wirkorte im Fokus der Therapie stehen müssen.
- Im Sinne der ICF (Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit, WHO 2001) ergeben sich Ziele, die sich auf verbesserte Bedingungen von Strukturen und Funktionen beziehen, auf das Meistern des Alltags und auf die Teilhabe am sozialen Leben.

## 1.2 Leitsymptom: Mobilität

Florian Schneider

Unfälle und die damit verbundenen Verletzungen treffen den Menschen unvorbereitet. Entsprechend groß sind die Schwierigkeiten für Betroffene, mit den Folgen eines Unfalls umzugehen. Auch wenn die Verletzungen nicht lebensbedrohlich sind und die Schmerzen, z.B. durch Medikamente, gelindert werden können, verschlechtert sich die Lebensqualität von Unfallopfern oft dramatisch. Eine wesentliche Ursache hierfür ist der plötzliche Verlust von Mobilität. Dies bezieht sich sowohl auf die Mobilität einzelner Gelenke als auch auf die Mobilität des gesamten Individuums.

Eine Verletzung des Daumens z.B. kann alltägliche Bewegungen wie das Greifen von Gegenständen erschweren oder gar unmöglich machen. Ist ein Unfallopfer verletzungsbedingt ans Bett gefesselt, ist der Patient bei fast allen Tätigkeiten auf Hilfe angewiesen und muss außerdem damit rechnen, dass sich seine körperliche Verfassung durch Immobilisationsschäden weiter verschlechtert (z.B. Thromboserisiko, Gefahr einer Pneumonie, Veränderungen der Muskulatur).

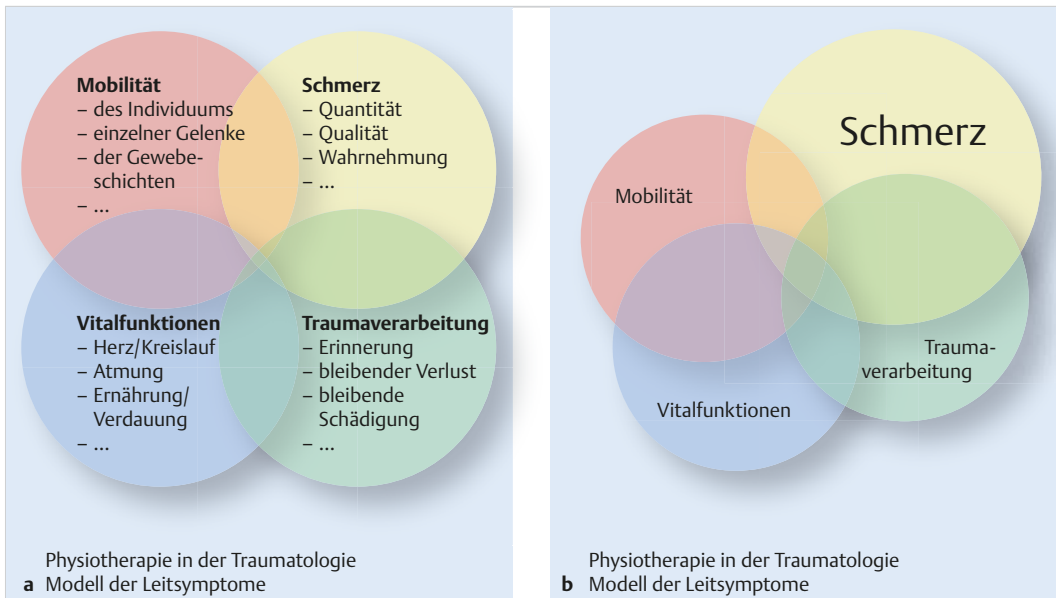


Abb. 1.1 Visualisierungsmodell.

- a** Die vier typischen Leitsymptome der Patienten in der Traumatologie bedingen sich gegenseitig und beeinflussen Ziele und die Priorisierung der Maßnahmen der Physiotherapie
- b** Das Leitsymptom Schmerz steht im Vordergrund.

Die Verrichtung von Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL, Activity of Daily Living), wie z. B. Nahrungsaufnahme und Körperpflege, erfordern Bewegung. Bewegungsunfähigkeit macht den Betroffenen abhängig von fremder Hilfe. Daher spielt die Wiederherstellung der Mobilitäten in der modernen Unfallchirurgie die zentrale Rolle.

Unfallchirurgen bemühen sich, geschädigte Strukturen durch operative Maßnahmen wieder exakt zu rekonstruieren. Außerdem versuchen sie, die operationsbedingte Traumatisierung möglichst gering zu halten, um dadurch die physiologische

Beweglichkeit nicht weiter zu beeinträchtigen. Mithilfe moderner Osteosynsetechniken erreichen sie in der Regel eine hohe mechanische Belastbarkeit der geschädigten Strukturen. Von der Belastbarkeit hängt ab, wann und in welchem Umfang ein Patient nach einer Verletzung mobilisiert werden kann (siehe Kap. 2.1).

Physiotherapeutisch stellt sich die Aufgabe, einzelne Gelenke und/oder den ganzen Patienten unter Beachtung notwendiger Bewegungs- und Belastungsgrenzen zu mobilisieren.

### Zusammenfassung

- Verletzungen verursachen einen Verlust von Mobilität.
- Dies kann sowohl einzelne Gelenke als auch das gesamte Individuum betreffen.

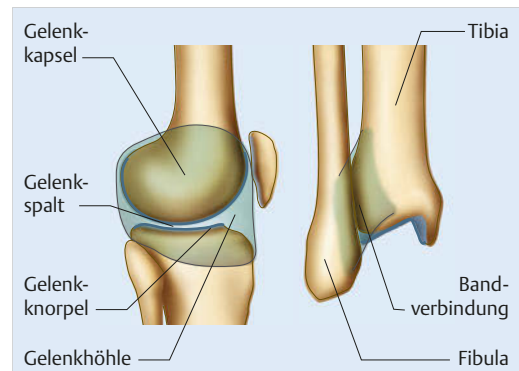
- Ein wesentliches Ziel unfallchirurgischer Maßnahmen und der Physiotherapie in der Unfallchirurgie ist die Wiederherstellung der Mobilität.

## 1.2.1 Auswirkungen von Verletzungen und Immobilität auf Gelenke

Ein absoluter Schwerpunkt der Therapie in der Unfallchirurgie ist das Wiederherstellen der Beweglichkeit. Verletzte Strukturen, die zur Heilung Ruhe brauchen, Angst vor Schmerzen, Schmerzen oder die Angst vor erneuten Traumen, all das sind Gründe dafür, dass viele Patienten weniger bewegen, als sie dem Heilungszustand nach dürften.

### Gelenktypen und Gelenkstrukturen

Beweglichkeit ist die Voraussetzung für Bewegung. Schaltstellen der Bewegung sind die Gelenke, flexible Verbindungen zwischen Knochen und/oder knorpeligen Strukturen. Man unterscheidet echte und unechte Gelenke, Diarthrosen und Synarthrosen. Diese Unterscheidung ist anatomisch begründet. Sie zeigt sich aber auch in der unterschiedlichen Funktion (► Abb. 1.2, ► Tab. 1.1).



**Abb. 1.2** Echte und unechte Gelenke am Beispiel Kniegelenk (Diarthrose) und Syndesmosis tibiofibularis (Synarthrose).



Tab. 1.1 Anatomie und Funktion „echter“ und „unechter“ Gelenke

Gelenktyp	Anatomie (allgemein)	Beispiele/Funktion
Diarthrosen	echtes Gelenk mit <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gelenkspalt</li> <li>• mit Knorpel bedeckten Gelenkflächen</li> <li>• Gelenkhöhle</li> <li>• Gelenkkapsel</li> </ul>	Die Strukturen bedingen umfangreiche und gut geführte Bewegungen, welche je nach Gelenkform um eine unterschiedliche Anzahl von Bewegungsachsen stattfinden.
Scharniergelenk		einachsig, z. B. Art. humeroulnaris
Sattelgelenk		zweiachsig, z. B. Art. radiocarpea
Kugelgelenk		dreiachsig, z. B. Art. glenohumeralis
Synarthrosen	direkte Verbindung von Knochen oder knorpeligen Strukturen durch Bindegewebe oder Knorpel (im echten Gelenk)	bis auf wenige Ausnahmen (z. B. Bandscheiben) ist weniger Bewegung möglich als in Diarthrosen
Syndesmose	bandhafte (Bandverbindung zwischen Knochen)	z. B. Syndesmosis tibiofibularis
Synchondrose	knorpelhafte (Verbindung aus Hyalinknorpel)	z. B. Synchondrosis manubriosternalis
Symphyse	knorpelhafte (Verbindung überwiegend aus Faserknorpel)	z. B. Zwischenwirbelscheiben, Symphysis pubica
Synostose	knochenhafte (im Kindes- und Jugendalter oft zunächst Synchondrosen, z. B. Epiphysenfugen, die dann verknöchern)	z. B. Verbindungen der Sakralwirbel, funktionell keine Gelenke, da keine Bewegung mehr möglich ist



### Zusammenfassung

Man unterscheidet zwei Arten von Gelenken:

- „echte“ Gelenke (Diarthrosen) mit einem Gelenkspalt, Gelenkknorpel und einer Kapsel,

- „unechte“ Gelenke (Synarthrosen) mit einer direkten bindegewebigen oder knorpeligen Verbindung.

### Bewegungsformen

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Bewegungsformen:

- rotatorische Bewegungen sind Drehbewegung um einen Drehpunkt, d. h. zumindest dieser eine Drehpunkt bewegt sich nicht,
- translatorische Bewegungen sind Verschiebewegungen eines Gelenkpartners gegenüber dem anderen (► Abb. 1.3).

Physiologische Bewegungen setzen sich in der Regel aus beiden Komponenten zusammen. Wird eine dieser Komponenten gestört, hat dies unweigerlich Auswirkungen auf die gesamte Mobilität des Gelenks (► Abb. 1.4). Dabei kann auch ein Zuviel der einen Komponente dazu führen, dass die Gesamtbeweglichkeit abnimmt!

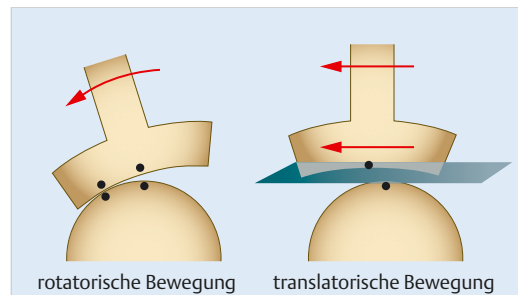


Abb. 1.3 Rotatorische und translatorische Bewegung.

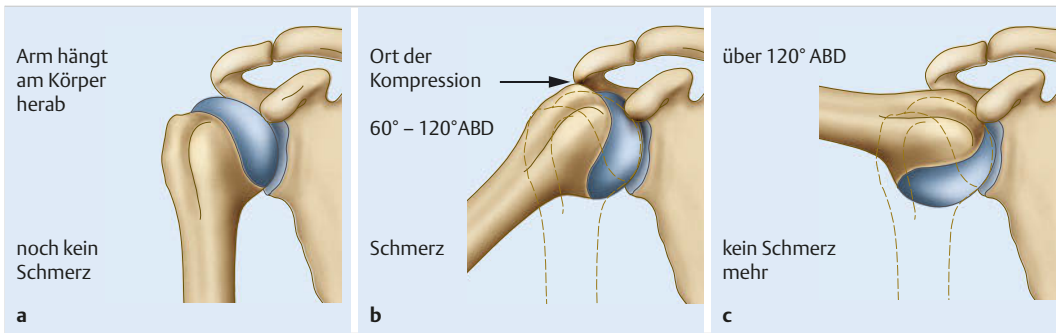


Abb. 1.4 Ausmaß der Abduktion im Schultergelenk in Abhängigkeit von der Rollbewegung.

a Ruhestellung.

b Zu viel Rollen im Verhältnis zum Gleiten stoppt die Bewegung vorzeitig, weil der Humeruskopf an das Akromion stößt.

c Ist das Verhältnis von Rollen und Gleiten ausgeglichen, ist mehr Bewegung möglich.

### Zusammenfassung

- Man unterscheidet rotatorische und translatorische Bewegungen.

- Physiologische Bewegungen setzen sich aus beiden Komponenten zusammen.

## 1.2.2 Bewegungsstrukturen Gelenkknorpel

Hyaliner Knorpel überzieht die gelenkbildenden Knochenteile. Er hat einen sehr hohen Wassergehalt. Abgesehen vom direkten Übergang zum Knochen besitzt er keine Blutgefäße. Auch Nervenendigungen und Lymphgefäße fehlen. Die Ernährung erfolgt fast ausschließlich über Diffusion. Schädigungen werden nur indirekt wahrgenommen wenn Rezeptoren im Knochen oder Kapselband-Apparat nozizeptiv reagieren. Die wesentlichen Aufgaben des Gelenkknorpels sind:

- **Stoßdämpfung:** Gelenkknorpel dämpft Stöße, die unter normalen Bedingungen auf Gelenke einwirken. Um Druckspitzen auf den darunter liegenden Knochen zu verhindern, muss er in der Lage sein, auf Druck mit Verformung zu reagieren. Trotzdem muss er formstabil sein, da durch sein Profil die Bewegung im Gelenk mit gesteuert wird.
- **Bildung der Gleitfläche für die Bewegung:** Gelenkknorpel hat eine sehr glatte Oberfläche. Somit ist die Reibung beim Gleiten der Gelenkpartner minimal. Dies reduziert die Kraft, die für die Bewegung aufgewendet werden muss. Der mechanische Abrieb bleibt gering.

## Bedeutung der Bewegung für den Gelenkknorpel

Bewegung ist Voraussetzung für eine ausreichende Ernährung des Gelenkknorpels. Bei Bewegungen findet eine Umwälzung von Gelenkflüssigkeit statt. Fehlt Bewegung, kommt es zur Mangelversorgung des Gelenkknorpels, der damit seine wesentlichen Eigenschaften verliert. Ob die Bewegung aktiv oder passiv erfolgt ist dabei weniger wichtig.

### Merke

Der Einsatz einer Bewegungsschiene als Therapie begleitende Maßnahme gewährleistet eine ausreichende Knorpelernährung und verhindert Immobilisationsschäden im Gelenk.

## Knorpelschäden

► **Mikroverletzungen.** Häufig wiederkehrende Mikroverletzungen, die alleine noch keine Symptome verursachen, können ebenfalls zu einer Beschädigung des Knorpels führen und langfristig eine Arthrose verursachen.

► **Impressionen.** Ist die Druckbelastung in einem Gelenk so hoch, dass sich die belastungsbedingte Verformung nicht zurückbildet, treten Knorpelschäden auf. Es kommt zu Störungen der Gelenkmechanik. Langfristig ist das Risiko einer Degeneration des Gelenkknorpels und der Entstehung einer Arthrose erhöht.

► **Intraartikuläre Frakturen.** Durch intraartikuläre Frakturen können Gelenkstufen entstehen (siehe Kap. 2). Die Kongruenz der Gelenkflächen ist dadurch gestört und es kommt bei Bewegung zu mechanischem Abrieb des Gelenkknorpels. Wird dies nicht korrigiert führt auch dies zu einer Arthrose.

► **Knochenkontusionen (Bone bruise).** Wird der unter dem Knorpel liegende Knochen bei Belastungsspitzen direktem Druck ausgesetzt, kommt es zu einem Markraumödem. Der Knochen reagiert mit einer vermehrten Neubildung. Der Knorpel wird von seiner tiefen Zone her geschädigt, so dass degenerative Prozesse den Knorpel zerstören können.

► **Immobilisationsschäden.** Ist der Gelenkknorpel verletzt, müssen Betroffene das Gelenk entlasten. Druckbelastung führt zu weiteren Schäden. Entlastung darf aber nicht mit Ruhigstellung verwechselt werden. Durch eine Ruhigstellung kann es zu weiteren Schäden kommen.

Ohne Bewegung und ein Mindestmaß an Belastung ist eine Knorpelernährung durch Diffusion nicht möglich. Der Stoffwechsel der Knorpelzellen erlahmt, der Wassergehalt nimmt ab. Dadurch reduziert sich die Elastizität des Gelenkknorpels. Die Verformbarkeit nimmt zu. Der Knorpel wird weniger belastbar und kann dann schon bei normaler

Belastung weiter geschädigt werden (van den Berg 1999, S. 89f).

### Faserknorpelscheiben

In den meisten synovialen Gelenken artikulieren passend geformte Gelenkflächen miteinander. Ist dies nicht der Fall, sorgen Faserknorpelscheiben (Menisci articularis, Disci articularis) für einen Ausgleich der Inkongruenz. Innen- und Außenmeniskus im Kniegelenk sind hierfür ein Beispiel.

Faserknorpelscheiben stabilisieren das Gelenk und gewährleisten die komplexe Funktion. Während der Bewegung des Gelenks sorgen sie für einen optimalen Kontakt der Gelenkflächen. Dabei spielen auch aktive Mechanismen eine Rolle. Verschiedene Muskeln strahlen z. B. mit Fasern in die Vorder- und Hinterhörner der Menisken ein und ziehen diese in Position (► Tab. 1.2). Je nach Ausmaß der Kniegelenksbewegung verlagert sich der Außenmeniskus um bis zu 12 mm, der Innenmeniskus um bis zu 6 mm nach ventral oder dorsal (Kapandji 1992, S. 94ff).

Betrachtet man den histologischen Aufbau der Menisken, lässt der Faserverlauf darauf schließen, dass sie in der Lage sind, komplexen mechanischen Anforderungen gerecht zu werden. Mit den zwischen den Kollagenfibrillen eingelagerten Knorpelzellen ergibt sich eine hohe Belastbarkeit sowohl in Bezug auf Scher- als auch auf Druckkräfte (► Abb. 1.5).

Auch in Bezug auf die Knorpelernährung spielen Faserknorpelscheiben eine wichtige Rolle. Durch ihre Lokalisation im Gelenkspalt sorgen sie für eine Verkürzung der Diffusionsstrecke zwischen Synovia und Chondrozyten. Zusätzlich sorgen sie für eine bessere Verteilung der Gelenkflüssigkeit während der Bewegung (de Morree 2001).

Tab. 1.2 Verschiebung der Menisken gegenüber dem Tibiaplateau bei verschiedenen Kniebewegungen

Bewegung	Meniskus	Verschiebung nach	Unterstützende Muskeln
Flexion	Innenmeniskus	dorsal	M. semimembranosus
	Außenmeniskus	dorsal	M. popliteus
Extension	Innenmeniskus	ventral	
	Außenmeniskus	ventral	
Innenrotation	Innenmeniskus	ventral	
	Außenmeniskus	dorsal	
Außenrotation	Innenmeniskus	dorsal	M. semimembranosus
	Außenmeniskus	ventral	

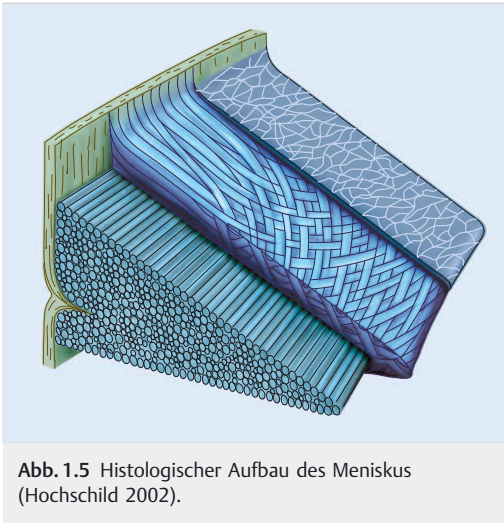


Abb. 1.5 Histologischer Aufbau des Meniskus (Hochschild 2002).

Da nur wenige Bereiche der Menisken (Meniskusbasis, Vorder- und Hinterhorn) vaskularisiert sind, wird der größere Anteil über Diffusion zur Synovia ernährt. Das Vorhandensein von Propriozeptoren und freien Nervenendigungen lässt darauf schließen, dass die Menisken auch sensibel an der Gelenksteuerung beteiligt sind. In ► Tab. 1.3 werden die Aufgaben den entsprechenden Konstruktionsmerkmalen gegenüber gestellt.

## Meniskusshäden

Die Immobilisation des Kniegelenks begünstigt degenerative Veränderungen der Menisken. Durch einen Verlust von Grundsubstanz sinkt der Wassergehalt und damit auch die Belastbarkeit. Gleichzeitig wird die Beweglichkeit der Menisken durch Verklebungen der Menisken mit den Gelenk- bzw. Knorpelflächen eingeschränkt (van den Berg 1999, S. 100).

Dieser Mechanismus kann auf Faserknorpelscheiben in anderen Gelenken übertragen werden. Sieht man von den Bandscheiben ab, wirken sich diese Veränderungen im Kniegelenk am gravierendsten aus, weil das Gelenk mechanisch stark beansprucht wird.

Bei einem Trauma kann es zu Einrissen der Menisken kommen. Grundsätzlich können diese Risse heilen, auch wenn sie die avaskuläre Zone betreffen (van den Berg 1999, S. 100). Es kann aber auch zu Einklemmungserscheinungen und zu einer Störung der Gleitbewegung im meniskotibialen Gelenk kommen. Beides beeinträchtigt die Funktion des Kniegelenks und macht u. U. einen operativen Eingriff erforderlich.

### Merke



Ist die Mobilität der Menisken wegen einer Ruhigstellung vermindert, kann es wegen der reduzierten Belastbarkeit schon bei „normalen“ Bewegungen des Kniegelenks zu Überlastungsschäden der Menisken kommen!

Tab. 1.3 Aufgaben und Funktion der Menisken

Aufgabe/Funktion	Konstruktionsmerkmal
Kongruenzausgleich der Gelenkflächen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• konkave Form der dem Femur zugewandten Flächen</li> <li>• plane Form zum Tibiaplateau</li> </ul>
mechanische Stabilisierung des Gelenks	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keilform mit verbreiteter Basis</li> <li>• komplexer Aufbau, Faserverlauf</li> </ul>
mechanische Führung, Steuerung der Bewegung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mobilität der Menisken gegenüber dem Tibiaplateau</li> </ul>
Stoßdämpfung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• komplexer Aufbau und Faserverlauf</li> <li>• eingelagerte Knorpelzellen</li> </ul>
Verbesserung des Gelenkstoffwechsels	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkürzung der Diffusionsstrecke der Gelenkflächen zur Synovia</li> <li>• bessere Verteilung der Synovia im Gelenk</li> </ul>
sensorische Bewegungssteuerung (Propriozeption)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propriozeptoren v. a. im Bereich der Meniskusbasis</li> </ul>

Tab. 1.4 Kapsuläre, intrakapsuläre und extrakapsuläre Bänder

Lokalisation	Band	Hauptfunktionen
kapsulär	Lig. pubofemorale	hemmt die Abduktion und Außenrotation im Hüftgelenk
	Lig. collaterale tibiale	stabilisiert das Kniegelenk gegen Valgusstress
extrakapsulär	Lig. collaterale fibulare	stabilisiert das Kniegelenk gegen Varusstress
	Lig. interspinale	hemmt die Beugung der Wirbelsäule
intrakapsulär	Lig. cruciatum anterius	stabilisiert das Kniegelenk gegen die vordere Schublade
	Lig. cruciatum posterius	stabilisiert das Kniegelenk gegen die hintere Schublade
	Lig. capitis femoris	Gefäßstraße für die Arterie zur Ernährung des Hüftkopfes

## Gelenkkapsel und Bänder

Die synovialen Gelenke werden von einer Gelenkkapsel umgeben. Die Kapsel besteht aus einem Mantel aus Bindegewebe (Membrana fibrosa), der auf der Innenseite von der Membrana synovialis ausgekleidet wird. Die Membrana synovialis setzt sich aus der dünnen, inneren Schicht von Synovialzellen (Intima) und einer dickeren Schicht aus losem Bindegewebe (Subintima) zusammen. An Gelenken (z. B. Kniegelenk, Schultergelenk) mit großem Bewegungsumfang bildet die Kapsel Ausstülpungen oder Falten (Recessi).

Die Gelenkkapsel erfüllt verschiedene Aufgaben:

- Gelenkhülle,
- Druckregulation,
- Schutz der Synovialzellen,
- Gelenkstabilisation,
- Bewegungssteuerung.

► **Gelenkhülle.** Die Gelenkhöhle ist ein geschlossener Raum, der durch die Kapsel von der Umgebung getrennt wird. In der Gelenkhöhle herrscht ein spezifisches Milieu, das die Funktion des Gelenknorpels gewährleistet. Durch die Abgrenzung bleibt die Synovia im Gelenk.

► **Druckregulation.** Um die Gelenkpartner zusammenzuhalten, ist neben dem Muskelzug auch ein leichter Unterdruck im Gelenk notwendig. Dieser Unterdruck wird durch Lymph- und Blutgefäße in der Kapselwand aufrechterhalten, indem sie die Synovia samt den anfallenden Stoffwechselprodukten aufnehmen und abtransportieren. Dieser Vorgang wird durch Bewegung und die damit verbundene Aktivierung von Muskel- und Lymphpumpe unterstützt.

Am Beispiel Schultergelenk wird deutlich, wie wichtig dieser Unterdruck in Bezug auf die Gelenkstabilität ist. Da die Fossa glenoidalis den Humeruskopf bei weitem nicht umfasst, liegt die Gelenk-

lippe wie ein Pfropfen auf dem Humeruskopf auf (► Abb. 1.6). Wird das Labrum glenoidale verletzt, kann dies zur Folge haben, dass der Unterdruck zwischen der Fossa glenoidalis und der Fläche des Caput humeri nicht aufrechterhalten werden kann. Es kommt zur Subluxation oder Luxation.

► **Schutz der Synovialzellen.** Die Subintima sorgt dafür, dass Kräfte, die bei Bewegungen auf die fibröse Kapsel wirken, nicht an die Intima weitergeleitet werden und die Funktion der Synovialzellen (Produktion der Synovia) stören. Zahlreiche Gefäße in der Subintima stellen außerdem die Flüssigkeit für die Produktion der Synovia bereit. Dehnung kann die Funktion der Kapillaren und der synovialen Zellen beeinträchtigen.

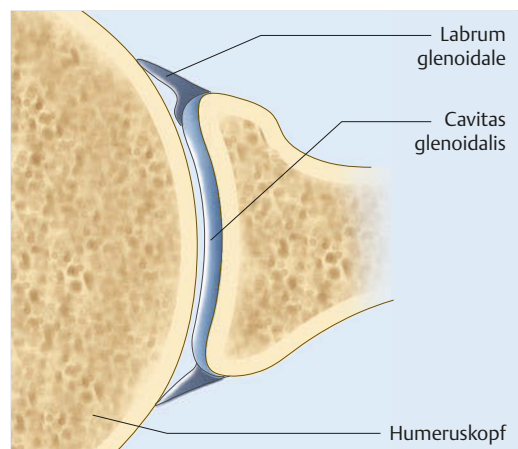


Abb. 1.6 Das Labrum glenoidale liegt dem Humeruskopf wie ein Pfropfen an.

► **Gelenkstabilisation/Bänder.** Es gibt dünne und damit etwas elastische Anteile der Gelenkkapsel, die sich während der Bewegung verformen können. Ebenso gibt es Anteile, welche von kollagenem Bindegewebe mit nahezu parallel verlaufenden Fasern verstärkt werden. Diese sind unelastisch. Die Ausrichtung dieser Fasern wird durch die Bewegung, die gesteuert oder limitiert werden soll, bestimmt. Diese Kapselverstärkungen werden als kapsuläre Bänder bezeichnet. Sie haben die Aufgabe, das Gelenk zu stabilisieren und Bewegungen zu limitieren.

Neben den kapsulären Bändern gibt es auch extrakapsuläre Bänder, die nicht direkt mit der Gelenkkapsel verwachsen sind. Intrakapsuläre Bänder befinden sich innerhalb der Gelenkkapsel und stehen lediglich mit der Synovialmembran in Verbindung. Beide haben überwiegend die gleichen mechanischen Aufgaben wie kapsuläre Bänder. Wie man am Beispiel des Lig. capitis femoris sieht, können sie aber auch andere Funktionen erfüllen. Die ► Tab. 1.4 nennt Beispiele.

► **Bewegungssteuerung.** Je komplexer die Bewegungsmöglichkeiten eines Gelenks sind, umso aufwändiger ist der zugehörige Kapsel-Band-Apparat aufgebaut. Um bei entsprechenden Bewegungen die Faserverläufe aktiv auszurichten, strahlen häufig Fasern der gelenkumgebenden Muskulatur in Anteile von Bändern und Kapsel ein.

Bei genauerer Betrachtung vieler Gelenkbänder fällt auf, dass der Verlauf der Fasern nicht streng parallel ist. Außerdem sind Ansatz und Ursprung oftmals nicht punktuell, sondern breit und komplex angelegt (► Abb. 1.7). Diese beiden Konstruk-

tionsmerkmale bewirken, dass bei sich veränderter Gelenkstellung immer nur einige Anteile des Bandes anspannen. So wird gewährleistet, dass die Bewegung genügend Führung erfährt, ohne dass die Spannung des Bandes die Bewegung behindert. Gleichzeitig sorgen zahlreiche Rezeptoren in der Gelenkkapsel und den Bändern dafür, dass Spannungsänderungen wahrgenommen und bei der Bewegungssteuerung berücksichtigt werden (siehe Kap. Peripheres Nervensystem, ► Tab. 1.9).

### Merke



Bei Bandersatzplastiken, z. B. dem Ersatz des vorderen Kreuzbands, können meist weder der komplexe Faserverlauf noch die Ansätze und Ursprünge genau rekonstruiert werden. Dies hat zur Folge, dass gute Stabilität mit Einschränkungen der Mobilität und gute Mobilität mit Einschränkungen der Stabilität einhergehen können. Außerdem kann der Bandersatz nicht die Informationen liefern, die ein intaktes Band zur Steuerung der Bewegung beiträgt. Der Ersatz ist nie so gut wie das Original!

## Schäden am Kapsel-Band-Apparat

► **Immobilisationsschäden.** Durch eine längere Ruhigstellung nimmt die Elastizität von Kapsel und Bändern ab. Dadurch verringert sich die Belastbarkeit des Kapsel-Band-Apparats und die Beweglichkeit des betroffenen Gelenks. Die Folge sind Kontrakturen.

Durch Immobilisation kann es zur Bildung von Wasserstoffbrücken zwischen den aufeinanderliegenden inneren Kapselanteilen eines Recessus kommen. Diese sind wasserlöslich und die dadurch verursachte Bewegungshemmung kann vergleichsweise einfach durch Bewegen im schmerzfreien Bereich behoben werden. Nach längerer Zeit bilden sich jedoch bindegewebige, nicht wasserlösliche Crosslinks. Diese müssen mit gezielten physiotherapeutischen Techniken behandelt oder chirurgisch behoben werden.

Bei Bändern kommt es durch Immobilisation zu einer Verlängerung (van den Berg 1999, S.137). Dadurch reduziert sich die Stabilität im betroffenen Gelenk. Gleichzeitig nimmt auch die Zugfestigkeit deutlich ab, so dass die Mobilisation nach der Ruhigstellung sehr vorsichtig erfolgen muss.

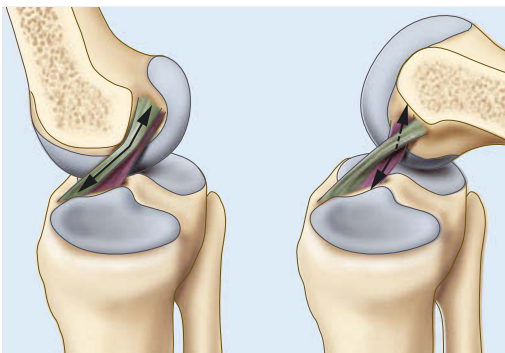


Abb. 1.7 Faserverlauf des vorderen Kreuzbandes in Extension- und Flexionstellung.



► **Gelenkerguss.** Wird die mechanische Belastbarkeit der fibrösen Kapsel durch ein Trauma überschritten, kommt es zur Schädigung der Subintima. Die Permeabilität der Gefäße wird durch das Trauma erhöht. Es wird mehr Gelenkflüssigkeit gebildet, so dass ein Gelenkerguss entsteht. Werden dabei auch Blutgefäße verletzt, kommt es zu einem blutigen Erguss (Hämarthros, siehe Kap. 2.3.3).

Ein Gelenkerguss erhöht den intraartikulären Druck. Die damit einhergehende Kapselspannung verursacht Schmerzen. Gleichzeitig nimmt die Adhäsion zwischen den Knorpelflächen der artikulierenden Knochen ab. Die Stabilität des Gelenks wird geringer.



### Merke

Auch bei einem Gelenkerguss sollte das betroffene Gelenk hubarm, schmerzfrei mit angepasster Amplitude bewegt werden, um Verklebungen der Kapsel zu verhindern. Dabei darf es nicht zu einer Überdehnung der Kapsel kommen, weil sonst eine dauerhafte Beeinträchtigung der Stabilität droht.

## Gelenkflüssigkeit

Die Gelenkflüssigkeit (Synovia) wird von der Membrana synovialis gebildet (s. o.). Neben der Ernährung des Gelenkknorpels hat die Synovia folgende Aufgaben:

- Gelenkschmierung,
- Stoßdämpfung, v. a. bei axialer Belastung des Gelenks,
- die Synovia verhindert in Ruhe, dass sich die Gelenkflächen berühren.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, besitzt die Gelenkflüssigkeit besondere Eigenschaften.

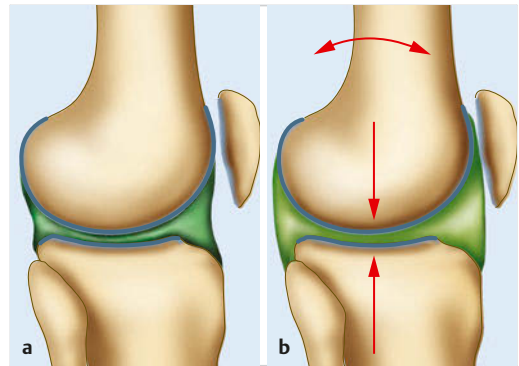


Abb. 1.8 Abstand der Gelenkflächen.

a Gelenk in Ruhe: hohe Viskosität, Abstand der Gelenkflächen zueinander bleibt erhalten.

b Gelenk in Bewegung: niedrigere Viskosität, gute Verteilung der Gelenkflüssigkeit, Schmierung der gesamten Gelenkfläche.

► **Veränderliche Viskosität.** Die Viskosität der Gelenkflüssigkeit verändert sich in Abhängigkeit von der Bewegung. Scherkräfte, die durch das Gegenineinandergleiten der Gelenkflächen entstehen, führen dazu, dass sich die Synovia verflüssigt. Je schneller sich das Gelenk bewegt, umso dünnflüssiger wird die Synovia. Das Gelenk ist leichter zu bewegen. Damit ein gewisser Gleitfilm zwischen den Gelenkflächen erhalten bleibt, fassen zähflüssigere Anteile der Synovia die dünnflüssigeren Anteile ein, sodass diese nicht verdrängt werden können.

► **Elastizität.** In begrenztem Maß kann die Synovia auf kurzzeitigen Druck elastisch reagieren. Bei länger anhaltendem Druck wird die Gelenkflüssigkeit dickflüssiger. Dadurch bleibt gewährleistet, dass die Gelenkflächen auch in Ruhe unter Belastung voneinander getrennt bleiben (► Abb. 1.8).

## Veränderungen der Synovia bei Immobilisation

Durch die Immobilisation erhöht sich die Viskosität der Synovia. Der mechanische Widerstand für die Bewegung nimmt zu. Diesen Widerstand können Therapeuten reduzieren, indem sie das Gelenk zunächst langsam im schmerzfreien Bereich bewegen.



## Zusammenfassung

- Gelenkknorpel hat einen sehr hohen Wassergehalt und makroskopisch eine glatte Oberfläche (beachte: mikroskopisch betrachtet ist die Oberfläche rau). Außer im Übergang zum Knochen besitzt er weder Nerven noch Gefäße und wird durch Diffusion ernährt. Bewegung und Belastung hält den Knorpel gesund. Immobilisation verursacht degenerative Veränderungen. Jeder Knorpelschaden begünstigt die Entstehung einer Arthrose.
- Faserknorpelscheiben gleichen die Inkongruenz von Gelenkflächen aus. Sie verbessern die Gelenkmechanik und wirken als Stoßdämpfer. Immobilisation reduziert die Belastbarkeit und Beweglichkeit der Knorpelscheiben. Meniskusrisse können heilen. In vielen Fällen ist eine Operation (Arthroskopie) aber unumgänglich.
- Die Gelenkkapsel besteht aus einer derben, bindegewebigen Hülle (Membrana fibrosa), die auf

der Innenseite von der Synovialmembran ausgekleidet ist. Die Gelenkkapsel umschließt das Gelenk und schützt es.

- Bänder stabilisieren das Gelenk und verbessern die mechanische Führung.
- Rezeptoren in der Kapsel und den Bändern unterstützen die Steuerung von Bewegungen.
- Immobilisationsschäden am Kapsel-Band-Apparat führen oft zu erheblichen Einschränkungen der Beweglichkeit und vermindern die Belastbarkeit des Kapsel-Band-Apparates. Ein Gelenkerguss kann die Gelenkkapsel dehnen und Stabilität des Gelenks dauerhaft verringern.
- Die Gelenkflüssigkeit (Synovia) wird von den Synovialzellen gebildet. Sie ernährt den Knorpel und „schmiert“ das Gelenk. Bei Immobilisation erhöht sich ihre Viskosität. Der Bewegungswiderstand nimmt zu.

### 1.2.3 Auswirkungen von Verletzungen auf die Haut

Die Haut ist das größte Organ des Menschen und die Hauptkontaktfläche zur Umwelt. Sie überzieht den gesamten Körper und damit auch alle Gelenke. Eine Störung der Hautfunktion oder ihrer Verschieblichkeit und Elastizität kann sehr schnell zu Beeinträchtigung der Beweglichkeit führen.

Die Haut hat eine Vielzahl von Funktionen:

- Abgrenzung zur Umwelt: Die Haut verhindert, dass schädliche Substanzen und Erreger in den Körper eindringen können. Ebenso sorgt sie dafür, dass unser überwiegend aus Flüssigkeit bestehender Körper nicht durch Kondensation austrocknet.
- Isolierung und Thermoregulation: Ohne die Haut würde die vom Körper erzeugte Wärme viel stärker abstrahlen. Mit dem Schwitzen verhindert sie eine zu starke Erwärmung des Körpers.
- Schutz vor UV-Strahlung: Pigmentzellen sorgen dafür, dass schädliche UV-Strahlung nicht zu tief in das Gewebe eindringt und dort Schäden anrichtet.
- Schutz gegen mechanische Kräfte: Hornhaut und subkutane Fettzellen (wie beispielweise an der

Fußsohle) bilden einen Schutz gegen von außen einwirkende Kräfte.

- Wahrnehmung: Die Haut ist das größte Sinnesorgan des menschlichen Körpers. Sie ist dank der vielen Rezeptoren, welche sich überwiegend in der Lederhaut (Dermis) befinden, in der Lage, verschiedene Umweltreize wahrzunehmen und weiterzuleiten (► Tab. 1.9).

### Aufbau der Haut

Um den o.g. Aufgaben gerecht zu werden ist die Haut in drei Schichten aufgebaut. Jede dieser Schichten weist spezialisierte Zellen bzw. Strukturen auf, die bestimmte Aufgaben übernehmen (► Abb. 1.9).

#### Epidermis

Die Epidermis (Oberhaut) besteht aus der Keimlage und der Hornlage. In der Epidermis befinden sich drei unterschiedliche Zelltypen, Keratinozyten (bilden das Plattenepithel), Melanozyten (Pigmentzellen) und Langerhans-Zellen, die zu den Immunzellen der Haut gehören (► Tab. 1.5).



Tab. 1.5 Zelltypen der Epidermis

Zelltyp	Lokalisation	Funktion
Keratinozyten	Keimlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>ständige Zellteilung</li> <li>Verdrängung älterer Keratinozyten Richtung Hornlage</li> <li>Anreicherung von Keratin im Zellinneren</li> </ul>
	Hornlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>als abgestorbene und ausgetrocknete Keratinozyten bilden sie im Verbund die Hornhaut</li> </ul>
Melanozyten	Übergang Keim- zur Hornlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Produktion des Pigments Melanin</li> <li>Abgabe der Pigmentkörnchen zwischen die Keratinozyten</li> </ul>
Langerhans-Zellen	Keim- und Hornlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erkennung der Antigene von eindringenden Viren oder Bakterien</li> <li>Stimulierung der spezifischen Immunabwehr, z. B. über T- Lymphozyten</li> </ul>

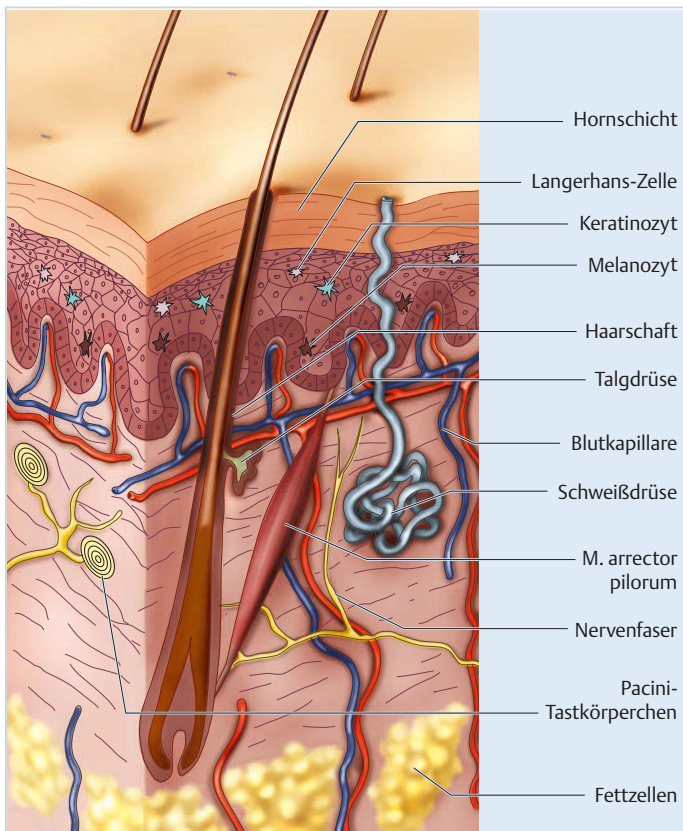


Abb. 1.9 Dreischichtiger Aufbau der Haut.

► **Dermis.** Die sog. Lederhaut ist mit der Epidermis durch die Lamina basalis verbunden. Diese besteht aus einem sehr dünnen Kollagenfasergeflecht (Typ IV) und hilft mit Ankerfasern bei der Fixierung der Epidermis. Die Dermis selbst besteht aus überwiegend parallel verlaufendem kollagenem

Bindegewebe. Zwischen diesen Fasern sind Elastinfasern eingelagert. In Richtung der kollagenen Fasern ist die Haut sehr zugfest. Das Elastin sorgt dafür, dass die junge, gesunde Haut keine Falten bildet.

Durch Ausstülpungen, dermale Papillen, der Dermis in die Oberhaut ist eine weitere Fixierung der Epidermis gewährleistet. Gleichzeitig wird dadurch die Diffusionsstrecke zu den Keratinozyten in der Epidermis verkürzt und deren Ernährung gewährleistet. Unter dieser Schicht liegt die eigentliche Lederhaut. Diese ist geprägt durch dicke kollagene Fasern welche mit Elastin durchflochten sind. Die Dermis verfügt über ein stark verästeltes Gefäßnetz. Dies hat mehrere Gründe:

- Die Epidermis wird über Diffusion ernährt. Deshalb sind im Übergang zwischen Dermis und Epidermis viele Kapillaren. In den Bereichen der Schweiß- und Talgdrüsen und der Haarfollikel verhält es sich genauso.
- Damit die Kühlung, welche durch Verdunstung des Schweißes entsteht, nicht nur oberflächlich bleibt, ist es notwendig, dass auch das Blut gekühlt wird. Dies geschieht wie mit dem Wasser in den Kühlrippen eines Wasserkühlers mit dem Blut in den Kapillaren der Lederhaut.
- Durch die Grenzlage der Haut zur Umwelt kann es immer wieder zu Verletzungen und im Zusammenhang damit zu Verunreinigungen kommen. Für eine gute Wundheilung und eine adäquate Immunreaktion ist eine gute Durchblutung unerlässlich.

► **Hypodermis (Subkutis).** Die unterste Schicht der Haut zeichnet sich durch die Einlagerung von großen Fettzellen zwischen den kollagenen Fasern des Bindegewebes aus. Als Fortsetzung des kollagenen Gewebes der Dermis sind die kollagenen Fasern der Hypodermis mit der Körperfaszie verbunden. Sie gruppieren sich lose um die Fettzellen und gewährleisten somit die Verschieblichkeit der Haut.

Neben der Funktion als langfristiger Energiespeicher stellt die Fettschicht eine Isolationschicht dar. An bestimmten Stellen schützt sie vor erhöhtem mechanischen Druck. Wird die Dermis zu stark gegen tiefer liegende Knochen gedrückt, kann die Durchblutung so stark gestört werden, dass es zu Nekrosen (Dekubiti) kommt. Die Fettschicht dient als Puffer und wirkt dem entgegen.

## Hautanhangsgebilde

► **Haare.** Das Haar wird, ebenso wie die Hornhaut, von Keratinozyten gebildet. Auch sie sterben ab. Somit wird das Haar zum größten Teil aus totem Horn gebildet.

Die Keratinozyten befinden sich im unteren Drittel der Haarfollikel. Haarfollikel sind Einstülpungen der Epidermis bis in die Dermis. Man findet daher um die Haarwurzel eine Schichtfolge, die sich mit der sonstigen Haut vergleichen lässt. So entsprechen die innere Wurzelscheide der Hornschicht, die äußere Wurzelschicht der Keimschicht der Epidermis und die bindegewebige Wurzelscheide der Lederhaut.

Im unteren Bereich der Follikel befinden sich auch Melanozyten, welche dem Haar über Pigmentkörnchen die Farbe geben. Hier beginnen die Haarzellen, Keratin anzureichern.

► **Talgdrüsen.** An den oberen Teil der Haarfollikel sind die Talgdrüsen mit ihren Gängen angeschlossen. Die Talgdrüsen produzieren den fetthaltigen Talg und geben ihn über die Follikel an die Haut ab.

► **Schweißdrüsen.** Es gibt zwei unterschiedliche Arten von Schweißdrüsen.

- Apokrine Schweißdrüsen kommen nur im Bereich der Kopfhaut, den Gehörgängen und den Achselhöhlen vor. Ihr Sekret wird wie der Talg der Talgdrüsen über einen Gang in den oberen Teil des Haarfollikels eingeleitet. Aufgrund der Lokalisation und der beschränkten Anzahl der apokrinen Schweißdrüsen geht man davon aus, dass sie keine große Rolle bei der Kühlung spielen.
- Ekkrine Schweißdrüsen sind über den ganzen Körper verteilt. Mit der Fähigkeit Schweiß zu produzieren sind sie in der Lage, den Körper zu kühlen. Die Schweißdrüsen befinden sich in der Lederhaut. Von den, knäuelartig angelegten, Sekret produzierenden Drüsen führt ein leicht gekrümmter Gang zur Hautoberfläche. Über diesen wird der Schweiß zur Oberfläche geleitet, wo er verdunstet und so das darunter liegende Gewebe kühlt.



### Merke

Ist bei Verletzungen die Keimschicht der Haut betroffen, können Keratinozyten aus den Schäften der Haarfollikel und der Schweißdrüsen für eine Neubildung des Epithels im Verletzungsgebiet sorgen. Da sie etwas tiefer liegen, sind sie oft nach Verletzungen noch intakt.

Tab. 1.6 Heilungsphasen der Haut

Phase	Dauer	Prozess
Entzündungsphase	einige Tage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blutstillung: primäre Vasokonstriktion und Bildung eines Eiweißpfropfs/ Gerinnsels;</li> <li>• Wundreinigung: durch sekundäre Vasodilatation werden u. a. vermehrt Makrophagen mit dem Blut angeschwemmt, welche mit der Bekämpfung eingedrungener Bakterien beginnen;</li> <li>• der oberflächliche Wundverschluss beginnt durch Epidermiszellen die in das Gerinnsel einsprossen;</li> <li>• unter dem primären Eiweißpfropf bildet sich Granulationsgewebe aus neuen Blutgefäßen und Fibroblasten.</li> </ul>
Proliferationsphase	5.–21. Tag	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Makrophagen bauen Blutgerinnsel ab;</li> <li>• es wandern vermehrt Fibroblasten ein und vermehren sich durch Zellteilung;</li> <li>• die Durchblutung wird durch Angiogenese der verletzten Gefäße wieder hergestellt;</li> <li>• Fibroblasten beginnen mit der Produktion von kollagenen Fasern (Typ III), um den Defekt aufzufüllen;</li> <li>• Fibroblasten werden durch Zug über die Kollagenfasern Typ III ausgerichtet, hierdurch können später die Kollagenfasern Typ I entsprechend der Zugrichtung angelegt werden;</li> <li>• einige Fibroblasten werden Myofibroblasten und helfen beim Zusammenziehen der Wunde.</li> </ul>
Umbauphase	21. Tag–1 Jahr	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stärkere Kollagenfasern Typ I werden produziert;</li> <li>• Typ-III-Fasern werden abgebaut;</li> <li>• Typ-I-Fasern organisieren sich entsprechend dem wieder vermehrt einwirkenden Zug;</li> <li>• die kollagenen Fasern werden dicker und die Narbe wird kontinuierlich fester, erreicht aber nicht die Zugfestigkeit der ungeschädigten Haut.</li> </ul>

Die angegebenen Zeiträume gelten nur bei normal verlaufender Wundheilung. Schlechter Allgemeinzustand, Stoffwechselerkrankungen (Diabetes) oder zusätzliche Belastungen des Patienten können die Wundheilungsphasen und somit die gesamt Heilung deutlich verzögern.

## Beschädigung und Heilung

### Wundheilungsphasen

Die Haut wird als äußere Kontaktfläche des menschlichen Körpers zur Umwelt bei äußerer Gewalteinwirkung als Erstes verletzt. Aufgrund der vielen wichtigen Funktionen der Haut ist es wichtig, dass die entstandenen Schäden möglichst schnell vom Körper behoben werden. Wie bei anderen Geweben erfolgt die Heilung der Haut in drei Phasen (► Tab. 1.6).



#### Merke

Durch gezieltes und dosiertes Bewegen in der Proliferations- und Umbauphase wird die physiologische Ausrichtung der kollagenen Fasern unterstützt. Dies gilt bei oberflächlichen wie bei tiefen Wunden. Somit tragen Maßnahmen wie CPM (continuous passive motion), aktiv-assistives Bewegen etc. zur funktionellen Narbenbildung bei.

## Auswirkungen der Verletzung auf die Wundheilung

Je nach Trauma können die verschiedenen Schichten der Haut unterschiedlich stark betroffen sein.

Bei großen oberflächlichen Wunden kann es sein, dass die Epidermis so stark geschädigt ist, dass die Keratinozyten aus den Schäften der Haarfollikel und der Schweißdrüsen für die Reepithelisation sorgen müssen. Sind die Schäfte der Haarfollikel mitbetroffen oder ist die Wundfläche zu groß, hilft nur eine Abdeckung der Wunde mit Spalthaut (Hauttransplantation).

### Merke



Bei Wunden, die mit Spalthaut abgedeckt werden, kann es sein, dass die Bewegung der angrenzenden Gelenke kurzzeitig limitiert werden muss. Dies ist dann notwendig, wenn durch die Bewegung Spannung auf die Wundfläche kommt und verhindert, dass das Transplantat anheilt. Die Ruhigstellung kann zur Folge haben, dass die Wunde zu „stramm“ ausheilt und später selbst ein Bewegungshindernis darstellt.

► **Primäre Wundheilung.** Bei tiefen Wunden werden die Dermis und die Hypodermis in Mitleidenschaft gezogen. Liegt diese Wunde in einem

Bereich, in dem die Haut unter Spannung steht, kommt es zum Klaffen. Um zu verhindern, dass eine hässliche Narbe entsteht verschließt der Chirurg die Wunde mit einer Naht und gewährleistet so eine primäre Wundheilung. Dies ist aber nur möglich wenn die Wunde sauber und die Gewebespannung nicht zu hoch ist.

► **Sekundäre Wundheilung.** Kann eine Wunde nicht chirurgisch verschlossen werden, wird der Defekt durch Granulationsgewebe aufgefüllt. Es kommt zur sekundären Wundheilung, bei der die Haut von unteren Schichten her neu aufgebaut werden muss. Dieser Prozess dauert in der Regel wesentlich länger und verursacht häufig Narben.

► **Narbenkontrakturen.** Je nach Tiefe der Verletzung überbrücken Narben mehrere Schichten der Haut. Diese sind nicht mehr gegeneinander verschieblich. Im Bereich von Gelenken führt dies unweigerlich zu Bewegungseinschränkungen.

### Merke



Um Verklebungen der einzelnen Hautschichten zu verhindern, sollte bei tiefen Wunden spätestens nach drei Wochen mit manueller Narbenbehandlung begonnen werden.

Tab. 1.7 Funktion des Muskelbindegewebes

Schicht	Lokalisation	Aufbau/Funktion
Endomysium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intramuskulär</li> <li>• direkt an der Basalmembran der Muskelzellen</li> <li>• gesamte Muskelfaser wird umhüllt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dünne, netzwerkartige kollagene Fasern</li> <li>• verbindet Muskelfasern miteinander</li> <li>• verbindet Muskelfasern mit den Kapillaren</li> </ul>
Perimysium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intramuskulär</li> <li>• umhüllt mehrere Muskelfasern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fester als Endomysium, da die kollagenen Fasern dichter verwoben sind</li> <li>• grenzt Muskelbündel gegeneinander ab</li> </ul>
Epimysium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• extramuskulär</li> <li>• umgibt einen gesamten Muskel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• trennt einzelne Muskeln voneinander</li> </ul>
Faszien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• extramuskulär</li> <li>• umgeben meist mehrere Muskeln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• trennen verschieden Muskelgruppen voneinander</li> </ul>

### Zusammenfassung



- Die Haut ist das größte Organ des Menschen.
- Ihr dreischichtiger Aufbau gewährleistet vielfältige Funktionen (Abgrenzung, Schutz, Wahrnehmung, Isolierung).

- Verletzungen der Haut heilen in drei Phasen: Entzündungs-, Proliferations- und Umbauphase.
- Immobilisation und Störungen der Wundheilung (Narbenbildung) können Störungen der Mobilität zur Folge haben.

## 1.2.4 Auswirkungen von Verletzungen auf Muskulatur und Sehnen

### Muskulatur

Muskeln bewegen durch aktive Verkürzung (Kontraktion) die Gelenke. Jeder Muskel besteht aus einer großen Anzahl von Muskelfasern, die in einer bindegewebigen Hülle mit einer gemeinsamen Sehne zwischen knöchernen Ansatzstellen fixiert sind.

### Aufbau der Skelettmuskulatur

► **Muskelfasern.** Muskelfasern sind zylindrisch angelegt und variieren sehr stark in ihrem Durchmesser (40–100 µm) und ihrer Länge (0,2–30 cm) (Rauber, Kopsch 1987). Bindegewebe ordnet die Muskelfasern und bestimmt deren Verlauf. Sehnen geben die Kontraktion an den Knochen weiter und verursachen eine Bewegung im betreffenden Gelenk. In den Muskelfasern befinden sich mehrere Zellkerne, die Zellflüssigkeit (Sarkoplasma) und die Myofibrillen.

Myofibrillen sind die kontraktilen Elemente des Muskels. Sie bestehen aus mehreren Sarkomeren. Das Sarkomer ist die kleinste funktionelle Einheit des Skelettmuskels. Ein Sarkomer besteht aus Aktin- und Myosinfilamenten. Mikroskopisch lassen sich die Trennlinien zwischen zwei Sarkomeren als sog. Z-Scheiben erkennen. Die Aktinfilamente sind an diesen Z-Scheiben befestigt. Zwischen zwei Z-Scheiben und den dazu gehörenden Aktinfilamenten befinden sich Myosinfilamente (► Abb. 1.10a).

Ist die Muskelfaser entspannt, überlappen sich die Myosinfilamente teilweise mit den Aktinfilamenten. Bei der Kontraktion gleiten die Myosinfilamente auf beiden Seiten tiefer zwischen die Aktinfilamente. Dadurch werden die Aktinfilamente samt den zugehörigen Z-Scheiben aufeinander zu bewegt.

Damit dies geschehen kann bilden die Myosinköpfchen unter dem Einfluss von einströmenden Kalziumionen eine Verbindung mit den Aktinfilamenten. Durch eine Kippbewegung der Myosinköpfchen werden dann die Aktinfilamente aufeinander zubewegt. Danach lösen sich die Myosinköpfchen wieder, um zurückzuklappen und wieder Kontakt zu den Aktinfilamenten aufzunehmen. Dieser Vorgang wird mehrfach rasch wiederholt, so dass sich das Sarkomer stark verkürzt.

Damit die Muskelfaser wieder entspannen kann, müssen die Brückenverbindungen zwischen den Myosinköpfchen und den Aktinfilamenten wieder gelöst werden. Dies geschieht vermutlich unter Einfluss von ATP (Adenosintriphosphat) (Laube 2004). Die Kalziumpumpe sorgt dafür, dass die Kalziumionen wieder aktiv aus dem Sarkomer gepumpt werden.

► **Muskelbindegewebe.** Muskeln und Muskelgruppen werden von Bindegewebe (Epimysium, Faszien) umhüllt. Innerhalb des Muskels befinden sich weitere Schichten (Endomysium, Perimysium) (► Abb. 1.10b). Dieses Bindegewebe ordnet die Muskelfasern und bestimmt deren Verlauf (► Tab. 1.7). So hat es einen Einfluss auf die Beweglichkeit.

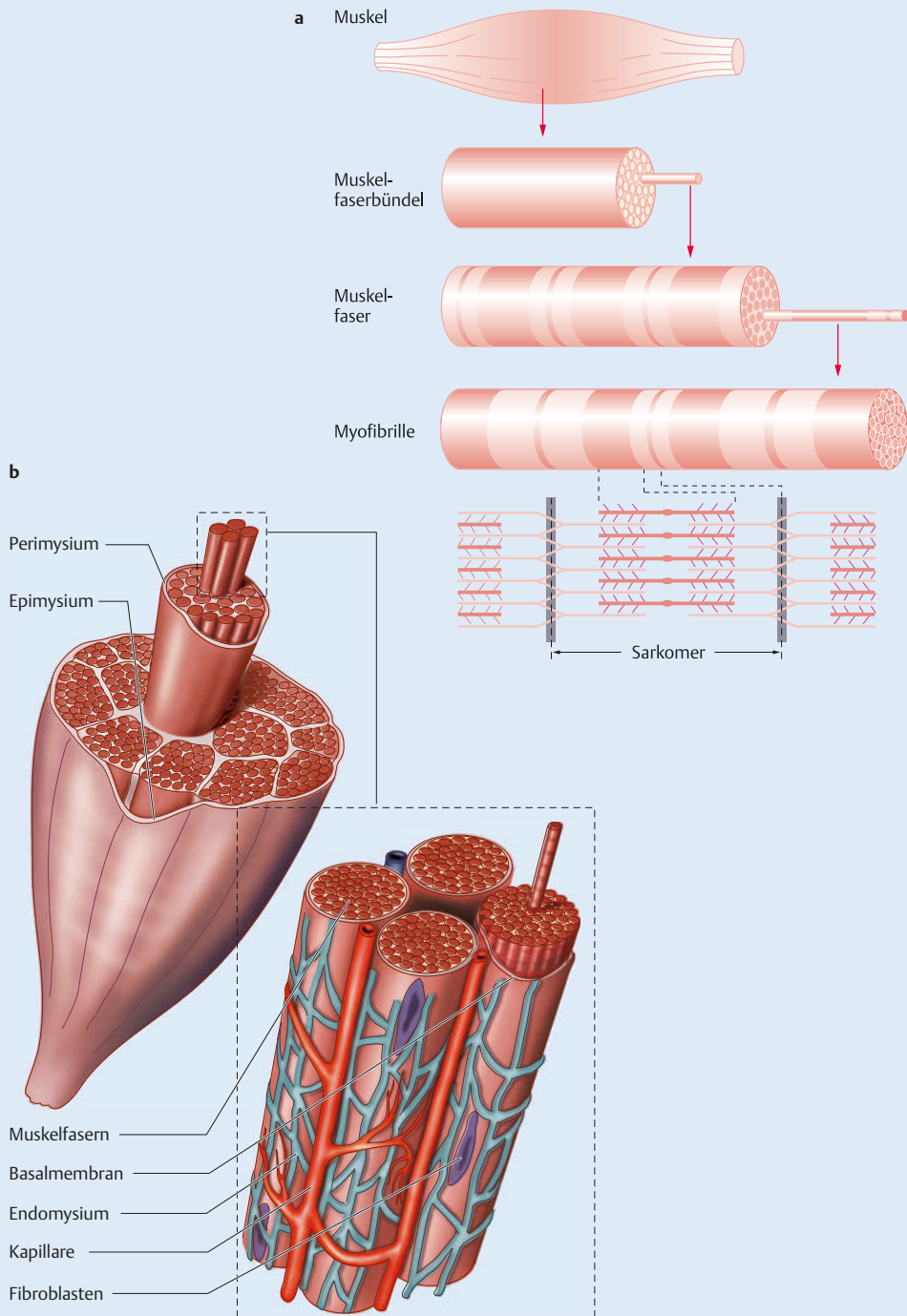
Um Bewegung zuzulassen, müssen sämtliche bindegewebigen Anteile eine gewisse Dehnfähigkeit besitzen und gegenüber ihrer direkten Umgebung verschieblich sein. Um diese zwei Eigenschaften zu erhalten, ist es notwendig, dass der Muskel immer wieder auf Dehnung belastet wird und sich maximal verkürzt.

### Aspekte der Muskelfunktion

Die Bewegungen einzelner Muskelfasern oder einfach aufgebauter Muskeln sind geradlinig. Um die primäre Eigenbewegung des Muskels in die gewünschte Bewegung des Gelenks umzusetzen, bedarf es keiner aufwändigen Konstruktion wie in einem Getriebe. Durch breitgefächerte Ursprünge und Ansätze und durch einen in mehrere Richtungen angelegten Faserverlauf sind einige Muskeln dazu in der Lage, sich in verschiedene Richtungen zu verkürzen. Diese Konstruktionsmerkmale haben mehrere Vorteile.

### Kraftentfaltung

Entscheidend für die Kraftentfaltung eines Muskels ist der Muskelquerschnitt. Bei Muskeln mit großem Querschnitt sind viele Muskelfasern parallel wirksam, wodurch in der Summe mehr Kraft entfaltet wird. Neben dem Muskelquerschnitt spielen auch der Dehnungszustand und der wirksame Hebel, der dem Muskel zur Verfügung steht, eine entscheidende Rolle.



**Abb. 1.10** Muskelfasern und Muskelbindegewebe.

**a** Aufbau eines Sarkomers.

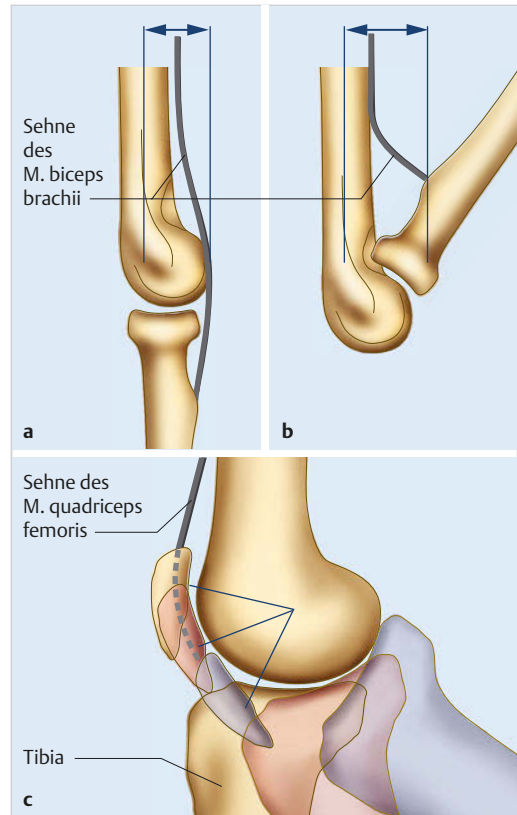
**b** Aufbau eines Skelettmuskels.



► **Dehnungszustand.** Ist der Muskel stark gedehnt, ist die Überlappung der Aktin- und Myosinfilamente gering. Dadurch können bei der Kontraktion nur wenig Myosinköpfchen in Kontakt zu den Aktinfilamenten treten. Der Muskel hat wenig Kraft. Ist der Muskel schon stark angenähert, sind die Myosinfilamente schon so weit zwischen den Aktinfilamenten, dass sie nur noch wenig weiter gleiten können. Der Muskel arbeitet mit wenig Kraft und geringem Bewegungsausschlag. Eine optimale Kraftentfaltung ist dann möglich, wenn eine ausreichende Zahl Myosinköpfchen Kontakt zu den Aktinfilamenten hat. Dies ist der Fall, wenn sich der Muskel in einer mittleren Länge befindet.

► **Wirksamer Hebel.** Der wirksame Hebel, den ein Muskel zu seiner Kraftentfaltung nutzt, ergibt sich aus der Entfernung seiner Wirklinie zum Drehpunkt des Gelenks. Muskeln, deren Wirklinie weiter vom Drehpunkt entfernt ist, haben einen größeren Hebel zur Verfügung.

Der wirksame Hebel ist auch abhängig von der Gelenkstellung. Bei extendiertem Ellbogen ist der wirksame Hebel für den M. biceps brachii im Vergleich zu einem in 90° Flexion eingestellten Ellbogen gering, da seine Wirklinie deutlich näher am Drehpunkt des Ellenbogengelenks liegt. Am Kniegelenk sorgt die Patella als Abstandhalter des M. quadriceps und des Lig. patellae für einen nahezu konstant großen wirksamen Hebel während der Bewegung des Kniegelenks (► Abb. 1.11).



**Abb. 1.11** Schematische Darstellung der Veränderung des wirksamen Hebels durch Gelenkbewegung.

a Ellbogen in Extension, kurzer wirksamer Hebel für den M. biceps brachii. b Ellbogen in Flexion, größerer wirksamer Hebel. c Die Patella als Abstandhalter für die Sehne des M. quadriceps femoris gewährleistet für den Muskel einen nahezu konstanten wirksamen Hebel in unterschiedlichen Flexionsstellungen.

**Merke**



Bei fast allen Übungen nutzen Physiotherapeuten das Hebelgesetz. Soll der Patient mehr arbeiten, wird für die Kraft, gegen die der Patient arbeiten muss (z. B. Schwerkraft, therapeutischer Widerstand), ein möglichst großer Hebel gewählt; oder der Therapeut wählt Gelenkstellungen, in denen der wirksame Hebel für die entsprechende Muskulatur ungünstig ist. Sollen die Übungen für den Patienten erleichtert werden, kann man den Hebel für den Widerstand verkürzen oder den wirksamen Hebel für die Muskeln verbessern.

**Funktionsumkehr/  
Funktionserweiterung**

Muskeln können ihre Funktion verändern bzw. umkehren. Das hängt von der Stellung der Knochen, an denen sie ansetzen, zueinander ab und von der Lage der Zugrichtung des Muskels zur Bewegungsachse. Alle Muskelfasern des M. deltoideus, welche unterhalb des Drehpunkts für die Abduktions-/Adduktionsbewegung liegen, wirken adduktorisch.

Je mehr der Oberarm abduziert wird, umso mehr Muskelfasern wandern über diesen Drehpunkt. Die Folge ist, dass diese nun adduktorisch wirken.

Durch das Vertauschen von Punctum mobile und Punctum fixum können Muskeln zusätzliche Funktionen erhalten. Werden beide Schultergelenke durch Stützaktivität fixiert, bewirkt z. B. die Kontraktion des M. latissimus dorsi eine Extension in der Wirbelsäule.

## Muskelarbeit

Neben der Fähigkeit des Muskels, sich aktiv zu verkürzen, kann er auch eine Stellung halten oder eine Bewegung, welche seiner eigenen Funktion entgegengesetzt ist, bremsen. Nähern sich bei einer Bewegung Ursprung und Ansatz des Muskels einander an, arbeitet der Muskel dynamisch konzentrisch. Die Myosinfilamente gleiten zwischen die Aktinfilamente und verkürzen den Muskel aktiv.

Entfernen sich Ursprung und Ansatz des Muskels während der Anspannung, arbeitet der Muskel dynamisch exzentrisch. Neigen wir z. B. im Sitz den Oberkörper mit aufgerichteter Körperlängsachse nach vorne, kommt es zu einer Flexion im Hüftgelenk, eingeleitet vom proximalen Hebel Becken. Der M. gluteus maximus und andere Extensoren bremsen diese Bewegung dynamisch exzentrisch.

Wenn sich der Abstand von Ursprung und Ansatz nicht ändert, verrichtet der Muskel Haltearbeit. Er arbeitet statisch. Neigen wir wie oben beschrieben den Oberkörper nach vorn, müssen die Rückenstrecker statisch gegen die Schwerkraft arbeiten, um eine Flexion der Wirbelsäule zu verhindern.

## Muskelkoordination

Je nach Funktion und Lokalisation können Muskeln sehr groß aber auch sehr klein sein. So können kleine Gelenke mit vielen Freiheitsgraden, wie etwa das Daumensattelgelenk, mit einer entsprechenden Anzahl von kleinen Muskeln in alle Richtungen aktiv und koordiniert bewegt werden. Andererseits gibt es große Muskeln, die bei teilweiser Anspannung andere Bewegungen verursachen als bei der Anspannung des gesamten Muskels (z. B. der Gluteus maximus, dessen transversale Fasern Außenrotation machen können).

► **Intramuskuläre Koordination.** Das Zusammenspiel verschiedener Anteile innerhalb eines Muskels bezeichnet man als intramuskuläre Koordination. Deutlich wird das z. B. an der Aktivität des

M. gluteus medius beim Gehen. Beim aufrechten Gang senkt sich das Becken auf der Schwungbeinseite leicht ab (ca. 5–7°). Damit diese Bewegung kontrolliert abläuft, arbeitet der M. gluteus medius auf der Standbeinseite dynamisch exzentrisch. Da der gebremste Bewegungsausschlag in die Adduktion sehr gering ist, müssen Teile des Muskels für eine kurze Zeit statisch arbeiten. Gleichzeitig sind die hinteren Anteile des Muskels an der Extension beteiligt (dynamisch konzentrische Arbeit). Es finden sich somit zeitgleich völlig unterschiedliche Aktivitätsmuster innerhalb eines Muskels, ein Beispiel für eine außergewöhnliche Koordinationsleistung, die noch dazu unwillkürlich erfolgt (Götz-Neumann 2002)!



### Merke

Nach Hüftgelenksoperationen kommt es häufig wegen einer Schwäche der Abduktoren während der Standbeinphase zu Hinkmechanismen (Kap. Hinkmechanismen). Wählt man zur Kräftigung Übungen, bei denen die Abduktoren nur konzentrisch arbeiten, kann es sein, dass es dem Patient selbst nach einer langen Rehabilitationsphase nicht gelingt, das Becken stabil über dem Standbein zu halten. Um dies zu verhindern, müssen die Abduktoren bei der Behandlung auch statische und exzentrische Arbeit leisten.

**Intermuskuläre Koordination:** Das Zusammenspiel verschiedener Muskeln bei einer Bewegung bezeichnet man als intermuskuläre Koordination. Dabei muss das Zusammenwirken der Agonisten und Synergisten geregelt werden, zum anderen müssen die Antagonisten der Bewegung nachgeben. Deshalb sind Agonist und Antagonist auf Rückenmarksebene so miteinander verschaltet, dass sie sich gegenseitig hemmen. Dies bedeutet, dass bei der Anspannung des Agonisten der Antagonist entspannt und umgekehrt.



### Merke

Nach Hüftoperationen sind die Hüftgelenksadduktoren aufgrund des OP-Traumas oft hyperten. Gelingt es nicht, diesen Tonus zu senken, besteht die Gefahr, dass kräftigende Übungen für die Abduktoren wirkungslos bleiben, weil sie antagonistisch gehemmt werden.



## Gelenkstabilisation und Entlastung

Muskeln können durch ihre Anspannung ein Gelenk stabilisieren. Durch die gleichzeitige Anspannung von Agonisten und Antagonisten einer Bewegung (Ko-Kontraktion) wird der Kapsel-Band-Apparat entlastet und ein Teil der Last überträgt sich vom Gelenk auf die Muskulatur.

Mit Stabilisationsübungen können verletzte Gelenkstrukturen aktiv entlastet werden.

## Schäden der Muskulatur

### Immobilisationsschäden

Wird ein Muskel wegen einer Verletzung ruhig gestellt, kommt es zur Atrophie, die Muskelmasse verringert sich. Die Anzahl der Sarkomere passt sich der aktuellen Ruhelänge des Muskels an. Dadurch verringert sich die Beweglichkeit des Muskels und seine Kraft nimmt ab.

#### Merke



Muskeln, die infolge einer Verletzung nicht bewegt werden können, müssen so früh wie möglich isometrisch beansprucht werden. (Ausnahme: Muskelfaser-, Muskelbündelrisse und andere massive Schädigungen der Muskulatur.) Nur so kann das Ausmaß einer Atrophie begrenzt werden. In manchen Fällen kann mithilfe der Elektrostimulation die Kontraktionsbereitschaft der ruhig gestellten Muskeln und ein gewisses Maß an Kraft erhalten werden.

Das Muskelbindegewebe nimmt bei Ruhigstellung ab, in der Matrix bilden sich Crosslinks. Durch die Abnahme des Muskelbindegewebes ist der Muskel mechanisch weniger geschützt. Die Crosslinks reduzieren die Beweglichkeit. Verstärkt wird dieser Effekt, wenn sich bei einer Abnahme der Muskelmasse die Spannung im Muskelbindegewebe reduziert und dadurch weitere Querverbindungen in der Matrix entstehen (van den Berg 1999).

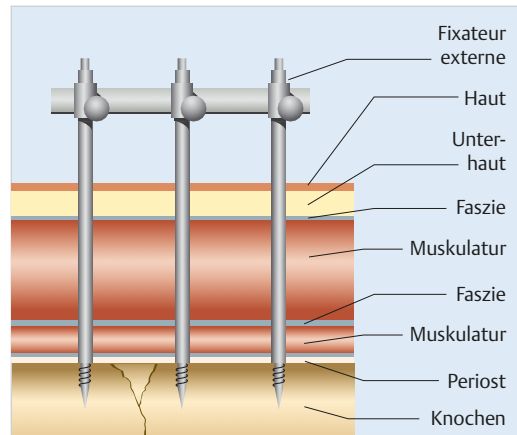


Abb. 1.12 Schematische Darstellung eines Fixateur externe.

## Strukturschäden

Auch die Folgen einer direkten Traumatisierung eines Muskels können dazu führen, dass das Muskelbindegewebe die Beweglichkeit eines Gelenkes einschränkt. Dies ist insbesondere dann zu erwarten, wenn verletzte Bindegewebsschichten narbig ausheilen und die vormalig bestehende Trennung der einzelnen Muskelanteile oder Muskeln aufgehoben ist. Die gegenseitige Verschieblichkeit ist dann nicht mehr gewährleistet und es kommt zu einer Einschränkung der Mobilität.

Bei einer Osteosynthese mit einem Fixateur externe (► Abb. 1.12) werden mehrere Weichteilschichten (Haut, Unterhaut, Muskelfaszie und Muskeln) an einem Pin „aufgefädelt“. Da diese Schichten dadurch nur noch eingeschränkt gegeneinander beweglich sind, kann es zu Einschränkungen der Beweglichkeit der angrenzenden Gelenke kommen. Durch die Ruhigstellung reduziert sich die Muskelmasse, was die Bildung von Crosslinks zusätzlich fördert.



## Zusammenfassung

- Jeder Muskel besteht aus einer Vielzahl von Muskelfasern. Diese sind aus zahlreichen Myofibrillen zusammengesetzt. In den Myofibrillen bilden die kontraktile Filamente Aktin und Myosin Sarkomere, die kleinste funktionelle Einheit des Muskels. Bindegewebe in der Muskulatur ordnet die Muskelfasern und bestimmt deren Verlauf.
- Im Rahmen der Physiotherapie sind verschiedene Aspekte der Muskelfunktion bedeutsam:
  - Die Kraftentfaltung eines Muskels hängt nicht allein von seinem physiologischen Querschnitt ab. Entscheidenden Einfluss haben auch der Dehnungszustand und der wirksame Hebel.
  - Durch Vertauschen von Punctum fixum und Punctum mobile können Muskeln ihre Funktion umkehren bzw. verändern. In Abhängigkeit von

der Gelenkstellung können Muskeln ihre Funktion erweitern.

- Muskeln können dynamisch konzentrisch, dynamisch exzentrisch und statisch arbeiten.
- Die intramuskuläre Koordination bestimmt das Zusammenspiel der Muskelfasern in einem Muskel. Die intermuskuläre Koordination regelt das Zusammenspiel verschiedener Muskeln bei einer Bewegung.
- Muskeln können Gelenkstrukturen entlasten.
- Bewegung erhält die Muskelfunktion. Immobilisation führt zu einem Abbau von Muskelmasse (Atrophie), Muskelbindegewebe und kontraktile Fasern nehmen ab. Durch Crosslinks in der Matrix des Muskelbindegewebes reduziert sich die Beweglichkeit.

## Sehnen

Sehnen stellen die Verbindung der Muskeln zu den Knochen her und gewährleisten, dass sich die Kraft des Muskels auf den Knochen und die Gelenke überträgt. Entsprechend der Funktionsweise der Muskeln werden sie mechanisch auf Zug beansprucht. Um dieser Beanspruchung gerecht zu werden, ist der Anteil an kollagenem Gewebe in der Sehne sehr hoch. Dieses Kollagen bildet Fibrillen, welche wiederum Bündel bilden. Diese sind in der Sehne zu Faszikeln angeordnet, welche vom dünnen Endotenon umhüllt werden. In dieser Hülle verlaufen auch Nervenfasern sowie Blut- und Lymphgefäße.

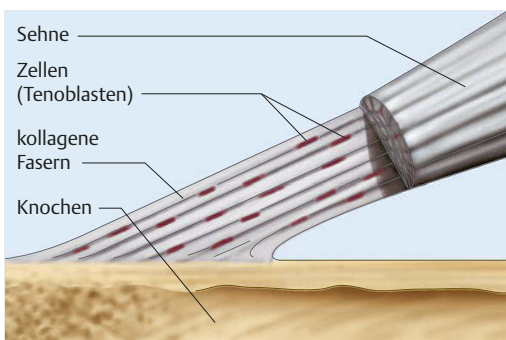


Abb. 1.13 Aufbau einer Sehne.

In den Faszikeln liegen zwischen den Kollagenbündeln Tenoblasten, welche u. a. für die Produktion von kollagenen und elastischen Fasern zuständig sind. Dadurch spielen sie eine wichtige Rolle bei der Heilung nach Sehnenverletzungen. Mehrere Faszikel, welche in Längsrichtung ein wenig gegeneinander verschieblich sind, werden durch das Epitenon zur Sehne zusammengefasst (► Abb. 1.13).

## Sehngleitlager

Damit Sehnen die aktive Kontraktion des Muskels an den Knochen weitergeben oder die passive Bewegung eines Gelenks zulassen können, müssen sie gegenüber dem umliegenden Gewebe beweglich sein. Deshalb liegt um das Peritenon das Paratenon, ein lockeres Bindegewebsvlies, welches die Sehne vom umliegenden Gewebe trennt. An der Außenseite des Paratenon befinden sich Synovialzellen, die mit der Produktion einer synoviaähnlichen Flüssigkeit dafür sorgen, dass durch die Bewegung der Sehne weniger Reibung entsteht.

## Sehnscheide

In Bereichen, in denen die Sehnen in ihrer Verlaufsrichtung geführt werden müssen und stärkere Reibungskräfte entstehen, sind Sehnscheiden angelegt. Diese haben einen ähnlichen Wandaufbau wie die Gelenkkapsel. Die Außenseite bildet ein bindegewebiger Mantel, während die Innenseite

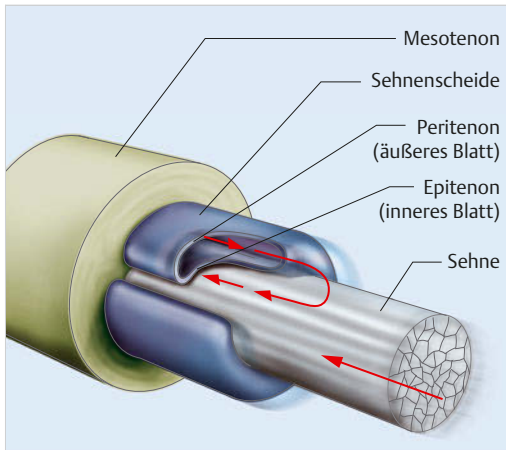


Abb. 1.14 Bewegung der Sehne in der Sehnenscheide.

te eine Membrana synovialis besitzt. Diese bildet synoviale Flüssigkeit, welche dafür sorgt, dass sich das obere Blatt und das untere Blatt der Sehnenscheide gut gegeneinander bewegen können (► Abb. 1.14).

## Veränderungen der Sehnen durch Immobilisation

Wird eine Sehne längere Zeit nicht belastet, verringert sich der Anteil an kollagenem Gewebe und die Belastbarkeit der Sehne nimmt deutlich ab. Dies erhöht die Anfälligkeit für Verletzungen.

### Merke



Nach längerer Ruhigstellung (ab ca. 3–4 Wochen) muss die Wiederaufnahme der Belastung sehr moderat erfolgen, damit sich das Sehngewebe neu organisieren und der Belastung anpassen kann. Anderenfalls sind Überlastungsschäden bis hin zu schwerwiegenden Verletzungen vorprogrammiert.

Sehnen können, wenn sie z. B. direkt über Knochen verlaufen, auch Kompression ausgesetzt sein. An diesen Stellen bildet sich in der Sehne faseriges Knorpelmaterial. Dieser Vorgang ist physiologisch, wenn die Sehne dadurch vor zu großer Druckbelastung geschützt wird. Bildet sich aufgrund einer pathologischen Druckbelastung an der falschen Stelle Knorpel, kann dies zur Ruptur der Sehne führen! Dies liegt daran, dass der physiologische Belastungsreiz für Knorpel Druck und nicht Zug ist.

Beim Impingementsyndrom an der Schulter z. B. kommt es zu wiederholten Einklemmungen der Sehnen der Rotatorenmanschette im subakromialen Raum. Betroffen ist meist die Sehne des M. supraspinatus. Dadurch kann es neben der Entzündung zu einem Umbau von Sehngewebe kommen. Gelingt es nicht, durch gezielte physiotherapeutische Übungen und Maßnahmen, den Humeruskopf zu zentrieren bzw. zu kaudalisieren und somit die Rotatorenmanschette zu entlasten, besteht die Gefahr, dass der oben beschriebene Prozess zu einer Rotatorenmanschettenruptur führt (siehe Kap. 7.5). Eine operative subakromiale Dekompression kann das Voranschreiten der Pathologie verhindern.

### Zusammenfassung



- Sehnen übertragen die Kraft des Muskels auf Knochen und Gelenke. Sie werden dabei mechanisch auf Zug belastet. Kollagenes Bindegewebe sorgt für eine ausreichende Stabilität.
- Synovialflüssigkeit in den Sehnenscheiden und Sehngleitlagern gewährleistet eine gute Beweglichkeit ohne Reibungsverluste.
- Durch Immobilisation verringert sich die Belastbarkeit von Sehnen. Die Gefahr für Verletzungen steigt.

## 1.2.5 Auswirkungen von Verletzungen auf die Nervenstrukturen

Die Bewegungssteuerung erfolgt im Wesentlichen durch übergeordnete Zentren des Zentralnervensystems.

### Merke



Mehr zu Bewegungssteuerung, motorischer Kontrolle und motorischem Lernen finden Sie z. B. im physiolehrbuch „Physiotherapie in der Neurologie“ (Wulf 2004) in dieser Reihe und im physiolehrbuch „Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre“ (Laube 2004). Mehr zur Mobilität des Nervensystems finden Sie in den physiolehrbüchern „Untersuchen“ und „Behandeln“ (von der Heide 2005).

Periphere Nerven sorgen für die Signalübertragung zwischen Zentralnervensystem und der Skelettmuskulatur. Um ihrer Hauptaufgabe, der Reizweiterleitung gerecht zu werden, erstrecken sie sich über den gesamten menschlichen Körper. Bis zu den Rezeptoren an den distalen Enden der einzelnen Extremitäten haben sie sich oft verzweigt und eine ganze Reihe von Gelenken überquert. Dabei werden an das Nervengewebe mechanische Anforderungen gestellt.

## Bindegewebsstrukturen peripherer Nerven

Vor allem in der Nähe von Gelenken mit großem Bewegungsausmaß sind periphere Nerven ständig Zug- und Druckkräften ausgesetzt. Um vor diesen Kräften geschützt zu sein, sind die Nervenfasern (Neurone) von verschiedenen Bindegewebsschichten umhüllt. Die bindegewebige Hülle der Nerven besteht aus drei Schichten (► Abb. 1.15, ► Tab. 1.8):

- Um das Axon befindet sich das Endoneurium. Diese Schicht hat vor allem eine isolierende Funktion. Das Endoneurium verhindert eine Reizübertragung von einem auf das andere Axon und sorgt bei myelinisierten Neuronen für eine schnellere Reizleitung.

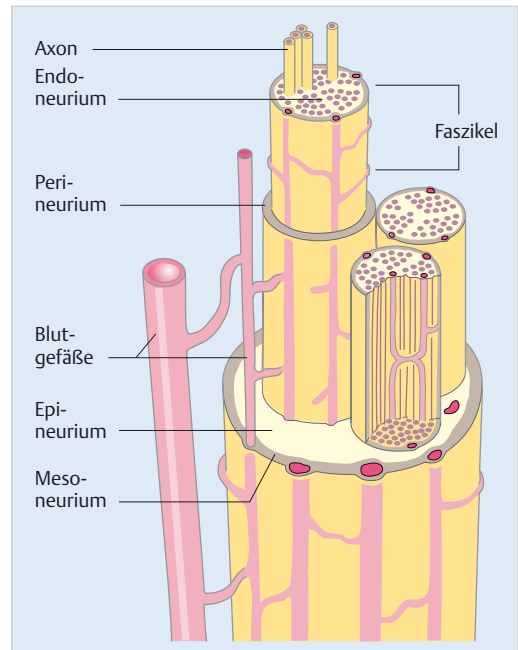


Abb. 1.15 Aufbau eines Nerven und seiner bindegewebigen Hülle.

- Das Peri-neurium umfasst mehrere Nervenfasern zu „Kabelsträngen“ (Faszikeln). Diese bilden die einzelnen Äste, wenn sich der Nerv verzweigt. Innerhalb dieser Faszikel sind die Nervenfasern teilweise spiralförmig angelegt. Dies bedeutet, dass eine geringe Verlängerung möglich ist (Reservelänge), ohne dass es zur Dehnung dieser Fasern kommt (Rauber, Kopsch 1987).
- Das Epi-neurium umschließt mehrere Faszikel, die innerhalb dieser Hülle gegeneinander beweglich sind. Es besteht aus überwiegend längs verlaufenden Bindegewebsfasern, die kollagene Fasern (Typ I) und Elastin enthalten. Daneben finden sich auch Fibroblasten, Fettzellen, Blut- und Lymphgefäße.

Tab. 1.8 Nervenbindegewebe: Lokalisation und Funktion

Schicht	Lokalisation	Funktion
Endoneurium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• innere Schicht</li> <li>• umgibt die einzelnen Nervenfasern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation</li> <li>• Myelinisierung zur Steigerung der Reizleitungsgeschwindigkeit</li> </ul>
Perineurium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittlere Schicht</li> <li>• umgibt mehrere Nervenfasern und bildet Faszikel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung der Reservelänge durch spiralförmige Anordnung einzelner Nervenfasern</li> <li>• schützt Nervenfasern v. a. vor Zugbelastungen</li> </ul>
Epineurium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• äußere Schicht</li> <li>• umgibt mehrere Faszikel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lässt Verschiebung der Faszikel gegeneinander zu (intraneurale Mobilität)</li> <li>• Schutz vor Druck- und Zugbelastungen</li> <li>• Ernährung der Nervenfasern</li> </ul>

### Bindegewebsstrukturen des zentralen Nervensystems

Das Rückenmark befindet sich im Neuralrohr der Wirbelsäule. Die Nervenwurzeln und Nervenfasern müssen vor Druck- und Zugbelastungen geschützt werden. Insbesondere bei der Flexion der Wirbelsäule kommt es wegen der weit ventral gelegenen Drehpunkte der einzelnen Bewegungssegmente (im Discus intervertebralis) zu einer deutlichen Verlängerung des gesamten Wirbelkanals (► Abb. 1.16).

Das Rückenmark ist von drei schützenden Bindegewebshüllen im Wirbelkanal umgeben. Direkt um das Rückenmark liegt die Gefäßhaut, Pia mater. Diese ist durch einen mit Hirnflüssigkeit (Liquor cerebrospinalis) gefüllten Raum (Subarachnoidalraum) von der Arachnoidea spinalis (Spinnwebhaut) getrennt. Pia mater und Arachnoidea spinalis werden auch als weiche Rückenmarkshäute bezeichnet. Im Gegensatz dazu ist die direkt an

die Spinnwebhaut anliegende Dura mater wesentlich dicker und härter. Aus diesem Grund wird sie harte Rückenmarkshaut genannt. Sie bildet einen geschlossenen Sack, der die Innenseite der Spinalkanals auskleidet.

Die Dura mater kleidet auch die Foramina intervertebralia aus und schützt somit die Nervenwurzeln. Sie ist durch durale Ligamente, durch ein langes dorsales Septum und eine Verbindung zum Lig. longitudinalis posterior im Wirbelkanal aufgehängt. Kranial hat sie eine trichterförmige Aufhängung am Foramen magnum, kaudal stellt das Filum terminale externum eine elastische Verbindung zum Steißbein her.

All diese Strukturen weisen einen stark längsgerichteten Faserverlauf auf. Somit kann die durch Beugung verursachte Spannung von der Dura mater aufgenommen werden. Das empfindliche Rückenmark selbst „schwimmt“ im Liquor des Subarachnoidalraums und ist diesen Kräften nicht direkt ausgesetzt.

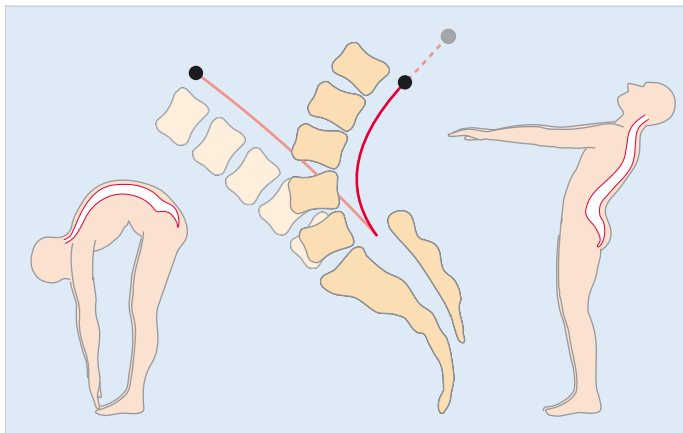
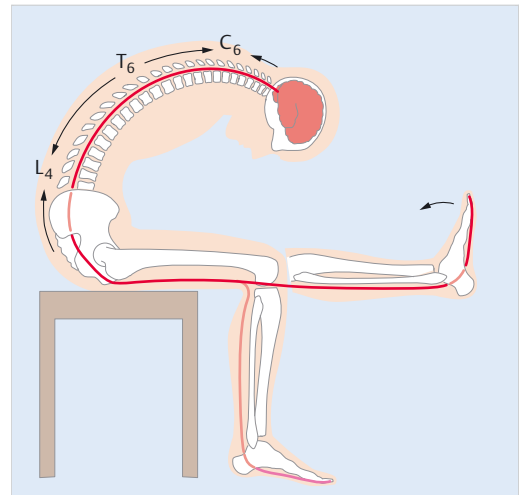


Abb. 1.16 Verlängerung des Neuralrohrs im Wirbelkanal durch Flexion.

**Merke**

Alle drei Rückenmarkshäute finden in den entsprechenden Hirnhäuten ihre Fortsetzung nach kranial. Im Bereich der peripheren Nerven setzen sie sich als Epi- und Perineurium fort. Somit wird das gesamte Nervensystem von einer zusammenhängenden Bindegewebshülle geschützt. Dies erklärt, warum es bei Schädigungen an einer beliebigen Stelle des Systems zu weit entfernten Symptomen kommen kann.

Eine in Flexion eingestellte Wirbelsäule verlagert den N. ischiadicus nach proximal. Dies kann so weit gehen, dass die passive Beweglichkeit des Kniegelenks gestört wird, weil der Nerv bei Extension des Knies nicht weit genug nach distal gleiten kann. Diese Beobachtung macht man sich beim Slump-Test (► Abb. 1.17) und einer Reihe anderer klinischer Tests (wie Lasègue und den Spannungstests für die obere Extremität) zunutze. Die Tests beinhalten eine ganze Reihe definierter Gelenkstellungen. Wenn sie exakt durchgeführt werden, können sie eine gestörte Mobilität des Nervensystems aufdecken.



**Abb. 1.17** Slump-Test. Durch das Zusammensacken des Oberkörpers („slump“) und die gleichzeitige Streckung im Kniegelenk wird der Ischiassnerv auf Zug belastet.

**Zusammenfassung**

- Das Nervenbindegewebe schützt das empfindliche Nervengewebe und gewährleistet seine Funktion und Mobilität.
- Es umschließt das zentrale und das periphere Nervensystem vollständig. Daher können Schädigungen an einer beliebigen Stelle des Systems weit entfernte Symptome verursachen.

**Peripheres Nervensystem****Afferentes System**

Afferente Bahnen leiten Informationen aus der Körperperipherie zum Zentralnervensystem. Bestandteile des afferenten Systems sind:

- Rezeptoren, spezialisierte Nervenendigungen, die verschiedene Reize wie z. B. Druck, Temperatur, Gewebsschäden registrieren. Jeder dieser Reize hat seinen eigenen Rezeptor bzw. jeder Rezeptor ist auf einen Reiz spezialisiert.
- sensible Fasern/sensorische Nerven. Sie leiten Impulse von den Rezeptoren aus verschiedenen Regionen (Haut, Muskulatur, Gelenkkapsel, etc.) zum Hinterhorn des Rückenmarks.

- Synapsen, die Verbindung zwischen zwei Neuronen.
- **Oberflächensensibilität.** Alle Rezeptoren, die äußere Reize verarbeiten, sind Bestandteil der Oberflächensensibilität (siehe ► Tab. 1.9). Sie sind Grundlage jeder taktilen Wahrnehmung. Ihre Empfindungen sind wichtig, um den Körper vor Schädigungen zu schützen.



**Merke**

Wird durch eine Verletzung die Oberflächensensibilität beeinträchtigt, ist die Gefahr hoch, dass der Patient im Falle einer längeren Immobilisation ein Druckgeschwür (Dekubitus) bekommt. Er kann Weichteilschäden, welche durch zu langes Liegen in einer Position entstehen können, nicht wahrnehmen.

- **Tiefensensibilität.** Die Tiefensensibilität ist unser Haltungs- und Bewegungsempfinden. Für aktive Bewegungen ist die Tiefensensibilität wichtiger als die viel bewussteren Empfindungen der Oberflächensensibilität. Rezeptoren im Muskel, den Muskelsehnen, Gelenken, Gelenkkapseln und Bändern können verschiedene Reize aufnehmen (siehe ► Tab. 1.9):
- die Muskellänge und deren Veränderung,
  - die muskuläre Kraft,
  - muskuläre Spannung,

- Gewebeschädigung in der Tiefe,
- Gelenkstellung und -bewegung.

All diese Informationen sind notwendig, um eine Bewegung kontrolliert und koordiniert durchzuführen, weil das Zentralnervensystem als Kontrollinstanz wissen muss:

- wo die Bewegung beginnt,
- wo die Bewegung aufhört,
- wie schnell die Bewegung stattfindet,
- ob der Körper durch die Bewegung geschädigt wird,
- ob der Körper zu der Bewegung in der Lage ist.



**Merke**

Wird durch eine Verletzung die Tiefensensibilität gestört, kann der Patient dies bis zu einem gewissen Maß über die optische Kontrolle der Bewegung kompensieren. Nimmt man ihm diese Möglichkeit, wird die Koordination unweigerlich schlechter.

Tab. 1.9 Oberflächen- und Tiefensensibilität

Qualität	Rezeptor	Lokalisation	Sensibilität
Oberflächensensibilität	Merkel-Zellen	• Epidermis	• Druck • Berührung
	Vater-Pacini-Körperchen	• Dermis	• Druck • Vibration
	Ruffini-Körperchen	• Dermis	• Druck • Zug • Abscherung
	Meißner-Tastkörperchen	• Dermis (Handfläche, Lippen, Brustwarzen)	• Berührung • Druck • Tastsinn
	Freie Nervenendigungen	• Epidermis • Haarfollikel • Schleimhäute, u. a.	• Temperatur • Gewebsschäden (Schmerz)
Tiefensensibilität	Muskelspindel	• Muskelbauch	• Muskellänge und deren Änderung
	Golgi-Sehnenorgan	• Muskelsehne	• Muskelspannung • Kraft • wirksame Belastung
	Pacini-Körperchen	• Gelenkkapsel • Bänder der Wirbelsäule	• Gelenkbewegung
	Ruffini-Körperchen	• Gelenkkapsel • Bänder der Wirbelsäule	• Gelenkstellung • Bewegung
	Freie Nervenendigungen	• Gelenkkapsel • Gelenkbänder • Muskulatur	• Gewebsschädigung (Schmerz)



## Efferentes System

Efferente Bahnen leiten die Information vom Zentralnervensystem zur Körperperipherie. Bestandteile des efferenten Systems sind:

- Synapsen,
- Motoneurone (efferente Nerven),
- Motorische Endplatte.

► **Motorische Einheit.** Das im Vorderhorn des Rückenmarks gelegene Motoneuron löst bei Erregung einen Impuls aus, der über seine Axone bis zu den einzelnen Muskelfasern weitergeleitet wird. Der efferente Nerv endet mit der motorischen Endplatte in der Mitte der Muskelfaser. Jede Muskelfaser wird von einer motorischen Endplatte angesteuert. Ein Motoneuron steuert immer mehrere Muskelfasern an.

### Merke



Das Motoneuron, seine Axone, deren Aufzweigungen mit den motorischen Endplatten und den zugehörigen Muskelfasern nennt man motorische Einheit.

Die Anzahl der von einem Nerv versorgten Muskelfasern in einer motorischen Einheit richtet sich nach der Aufgabe des zugehörigen Muskels. Muss dieser präzise und gut koordinierte Bewegungen ausführen, ist sie klein. Bei großen Muskeln, deren Hauptaufgabe große Kraftentfaltung ist, werden sehr viele Muskelfasern von nur einem Motoneuron erregt.

## Zusammenfassung



- Das periphere Nervensystem besteht aus einem afferenten und einem efferenten System.
- Im afferenten System werden Reize der Oberflächen- und Tiefensensibilität zum Zentralnervensystem geleitet. Die Tiefensensibilität spielt für die Kontrolle aktiver Bewegungen die größere Rolle.
- Im efferenten System gelangen Informationen aus dem Zentralnervensystem zur Körperperipherie
- Motorische Einheiten in unterschiedlicher Größe ermöglichen eine große Vielfalt an Bewegungen.

Weiteres zu Nervenverletzungen finden Sie in Kap. 4 dieses Lehrbuches und z. B. im physiolehrbuch „Neurologie für Physiotherapeuten“ (Jesel 2004). Physiotherapie bei Rückenmarksverletzungen (Querschnittslähmungen) finden Sie im physiolehrbuch „Physiotherapie in der Neurologie“ (Pape 2004).

## 1.2.6 Reduzierte Belastbarkeit verletzter bzw. heilender Strukturen

### Merke



Die mechanische Belastbarkeit ist der wichtigste limitierende Faktor für die physiotherapeutische Behandlung. Deshalb müssen Physiotherapeuten, die unfallverletzte Patienten behandeln, die Kriterien der Belastbarkeit verletzter Struktur kennen und beachten.

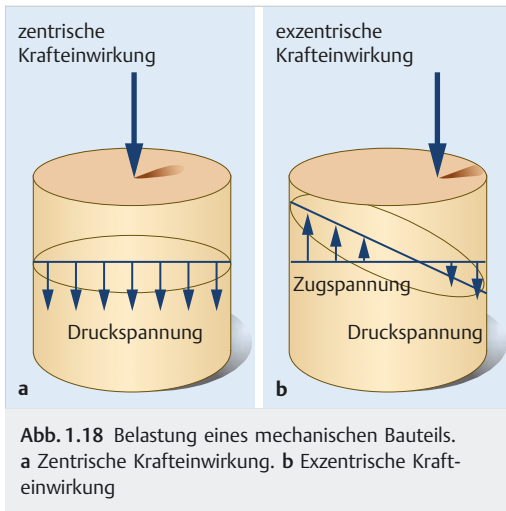
## Belastung und Spannung

Durch die Wirkung der Schwerkraft ist der Mensch ständig mechanischen Kräften ausgesetzt (statische Belastung). Durch Bewegung wirken dynamische Kräfte auf den Körper (dynamische Belastung). Statische und dynamische Belastungen führen zu mechanischen Spannungen in verschiedenen Körperstrukturen. Um diesen zu widerstehen, müssen die entsprechenden Strukturen eine gewisse Stabilität aufweisen. Eine zentrale Rolle spielt hierbei das knöcherne Skelett, aber auch die passiven Strukturen des Bewegungsapparates sind für die Stabilität wichtig.

Um das Ausmaß und die Folgen der von außen auf den Körper wirkenden Belastungen besser beurteilen zu können, ist es hilfreich zu wissen, welche Arten von Spannungen diese im Körper verursachen. Grundsätzlich unterscheidet man:

- Zugspannung,
- Druckspannung,
- Biegespannung.





Die unterschiedlichen Spannungen werden durch unterschiedliche Krafteinwirkungen verursacht. Nur bei absolut zentrisch einwirkender Kraft kommt es zu reiner Zug- oder Druckspannung (► Abb. 1.18a). Bei exzentrischer Krafteinwirkung kommt es auf der einen Seite der belasteten Struktur zu Zugspannungen, auf der anderen Seite zu Druckspannungen (► Abb. 1.18b). Die Summe aus diesen Spannungen bezeichnet man als Biegespannung, die bei entsprechender Größe eine Verformung zur Folge hat.

Sorgt eine Kraft, die senkrecht zur Längsachse des Körpers wirkt, dafür, dass es zu einem Abgleiten des Querschnitts des Körpers an einem Ende gegenüber dem Querschnitt am anderen Ende kommt, spricht man von Scherung. Dies passiert u. a. wenn der Körper keine homogene Stabilität aufweist.



### Merke

Eine Fraktur mindert die Stabilität des betroffenen Knochens. An den Frakturrändern kommt es deshalb bei parallel zur Frakturlinie wirkenden Kräften zur Scherung.

Die einzelnen Strukturen des Bewegungsapparats richten sich mit ihren anatomischen Konstruktionsmerkmalen sehr stark nach der mechanischen Belastung, der sie im Alltag ausgesetzt sind. So gibt es Strukturen, die so konstruiert sind,

dass sie besonders gut Zug, Druck und Biegespannungen aufnehmen können (z. B. Knochen), es gibt Strukturen, die überwiegend Druckspannung aufnehmen (z. B. Faserknorpelscheiben) und Strukturen, die überwiegend Zugspannungen aufnehmen (z. B. Muskeln, Sehnen und Bänder). Generell kann festgestellt werden, dass sich die Strukturen in ihrer Masse immer nach der Stärke der Beanspruchung richten.



### Merke

Die Schwerkraft und die Bewegungen des Körpers sind wichtige Bildungsreize für die Körperstrukturen. Fallen diese weg – z. B. der Reiz der Schwerkraft in der Raumfahrt – baut der Körper sofort entsprechend Gewebe ab. Dies macht lange Aufenthalte in der Schwerelosigkeit problematisch. Die Muskulatur baut ab und die Knochen verlieren an Stabilität.

Weitere Beispiele verdeutlichen, was unter Anpassung zu verstehen ist.

- Das Lig. patellae kann mit seinem parallel zur Zugrichtung des M. quadriceps femoris ausgerichteten Faserverlauf die durch die Muskelkraft verursachte Zugspannung aufnehmen. Würde es in der gleichen Richtung auf Druck belastet, wäre es nicht in der Lage diese Kraft weiterzugeben.
- Die lasttragenden Knochen werden immer exzentrisch belastet. Das heißt es treten Zug-, Druck- und Biegespannungen auf. Da hierbei die größten Spannungen am Rand auftreten, sind die langen Knochen (Röhrenknochen) so konstruiert, dass sich dort, wo die Spannung am höchsten ist, die dichte und stabile Kortikalis befindet. Im Markraum wird Material und damit Gewicht gespart.

Durch Verletzungen kann die statische und die dynamische Belastbarkeit beeinträchtigt werden. Um herauszufinden, ob und wie stark die verletzte Struktur belastet werden kann, machen Ärzte eine genaue klinische und apparative Diagnose. Die Art von Spannung, der die verletzte Struktur normalerweise ausgesetzt ist, bestimmt das operative Verfahren. Wird z. B. eine Femurschaftfraktur mit einer Platte operativ versorgt, so wird diese auf der lateralen Seite des Knochens angebracht, um der dort auftretenden Zugspannung (► Abb. 1.19) entgegenzuwirken.