

**Abb. 5.12 a u. b** Aufbau und Wirkungsweise eines periost-diaphysären Sehnenansatzes. **a** Sehne in entspanntem Zustand. **b** Sehne in gedehntem Zustand.

### Klinischer Bezug: Sehnenverletzungen

Sehnenverletzungen kommen v. a. im Verlauf der Sehne oder am Übergang der Sehne in den Knochen (Sehnenansatzendinose/Insertionstendopathie) vor.

**Sehnen- und Knochenaurisse:** Sie entstehen immer dann, wenn ein Missverhältnis zwischen Belastbarkeit und tatsächlicher Beanspruchung einer Sehne vorliegt. In der Regel treten sie jedoch nur bei vorgeschädigtem Gewebe auf, z. B. infolge eingeschränkter Blutversorgung des Sehngewebes durch Überbeanspruchung. Bei intaktem, gesundem Sehngewebe entstehen häufig *Knochenaurisse* im Bereich der Sehnenansatzzonen.

**Sehnenansatzendinosen (Insertionstendopathie):** Sie entstehen durch funktionelle Überbeanspruchung und Abnutzungserscheinungen, besonders im Bereich chondral-apophysärer Sehnenansatzstrukturen (z. B. Epicondylitis humeri radialis, der sog. Tennisellenbogen). Diese Tendo-Chondro-Osteopathie ähnelt einer abakteriellen Entzündung und führt bei Anspannung der Sehne an der Insertionsstelle am Knochen zu starken Schmerzen. Die Ursache liegt in einer zunehmenden Mineralisierung der gesamten Faserknorpelzone und einer fehlenden Pufferung der Längsdehnung während der Muskelkontraktion. Dadurch werden die Zugkräfte der im Knochen inserierenden Kollagenfasern sehr groß und es kommt zu einer reaktiven und sehr schmerzhaften Mitbeteiligung des Knochens an der Entzündung.

## 5.6 Hilfseinrichtungen von Muskeln und Sehnen

Muskeln und Sehnen benötigen *Hilfsorgane*, die sie in die Umgebung einpassen, vor mechanischen Schädigungen schützen und auf diese Weise Reibungsverluste verhindern und die Kraftminderung auf ein Minimum reduzieren. Folgende Hilfsorgane werden unterschieden:

- Faszien
- Retinacula
- Sehnnenscheiden
- Schleimbeutel
- Sesambeine

### 5.6.1 Faszien

Nach der gültigen Nomina anatomica von 1978 sind Faszien „aufteilbare Bindegewebshäufungen“, die sowohl Hüllen als auch Blätter bilden und somit flächen- oder schlauchförmig angeordnet sind. Neben den sehr zahlreichen Muskelfaszien werden insbesondere Rumpfwand- und Körperhöhlenfaszien sowie subkutane Faszien unterschieden, die v. a. Strukturen umhüllen, voneinander trennen und/oder abgrenzen. Bei Muskeln wird streng genommen nur die äußerste Hülle, also die Bindegewebsschicht, die außen dem Epimysium des Muskels aufliegt, als „*Muskelfaszie*“ bezeichnet (s. S. 69).

Der Begriff „Faszie“ wird inzwischen sehr unterschiedlich definiert (vgl. 1. internationaler „Fascia Research Congress“ an der Harvard Medical School/Boston, 2007) und bezeichnet letztlich fast alle festen und lockeren Bindegewebsarten, die den Körper wie eine 3-dimensionale kontinuierliche Netzwerk umgeben und bis in die innersten Strukturen vordringen.

### Aufbau von Muskelfaszien

Am Beispiel der Unterschenkelfaszien (► Abb. 5.13) ist gut zu sehen, wie das oberflächliche Blatt der Fascia cruris Muskel und Subcutis und das tiefe Blatt die einzelnen Unterschenkelmuskeln sowie funktionell zusammengehörende Muskelgruppen voneinander abgrenzt. Dort, wo zwei Gruppenfaszien aufeinanderstoßen, entsteht ein am Knochen *befestigtes Septum intermusculare*. Es bildet zusammen mit der Muskelfaszie und dem Knochen sog. osteofibröse Kanäle, in denen Muskeln, Nerven und Gefäße liegen (= Muskelloge, Kompartiment, Abteilung).

Das Septum intermusculare cruris posterior ist ein Teil des tiefen Blattes der „Fascia cruris“, wird aufgrund seiner Eigenschaft als Septum aber entsprechend anders benannt.

Dort, wo Faszien und Septa intermuscularia aponeurotisch verdickt bzw. verstärkt sind, dienen sie anderen Muskeln als *Ursprungsflächen*. Faszienv Verstärkungen kommen an unterschiedlichsten Stellen vor, z. B. am Übergangsbereich von Unterschenkel/Fuß und Unterarm/Hand in Form von Retinaculae (s. unten) oder als latera-

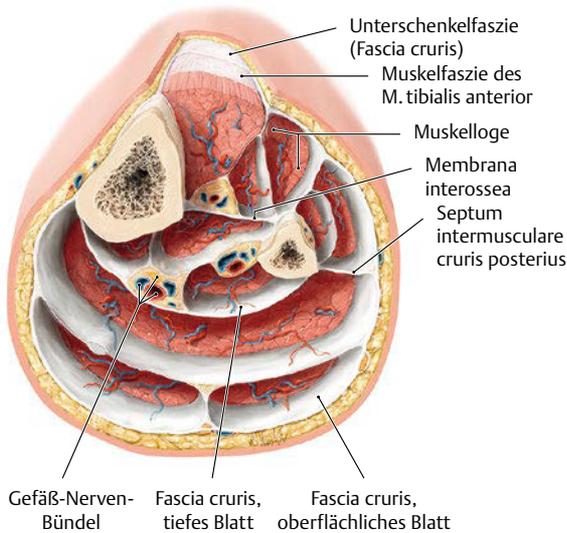


Abb. 5.13 Muskelfaszie eines rechten Unterschenkels in der Ansicht von proximal.

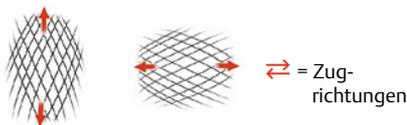


Abb. 5.14 Scherengitterprinzip.

le Verstärkung der Fascia lata am Oberschenkel (Tractus iliotibialis, s. S.276). Zur Untergliederung in Einzel- und Gruppenfaszies s. auch S.69).

Muskelfaszies gehören aufgrund ihres Aufbaus zu den straffen kollagenen Bindegeweben (s. S.23, ► Abb. 2.6). Sie bilden ein Geflecht, das nach dem Scherengitterprinzip (s. ► Abb. 5.14) aufgebaut ist, d.h.: Schichten mit parallel verlaufenden Kollagenfasern vom Typ I (90% des gesamten Kollagens) wechseln sich mit benachbarten Schichten von Kollagenfasern ab, die unterschiedliche Steigungswinkel aufweisen. Kollagenfasern sind um etwa 5% dehnbar und aufgrund ihres leicht gewellten Verlaufes um etwa 3% verlängerbar. Sie leisten einer Deformation der Gewebe Widerstand und orientieren sich dementsprechend stets in Richtung der Zugkräfte. Hierbei nehmen sie Zugspannungen auf (Zugfestigkeit). Werden Sie über längere Zeit entlastet (herabgesetzte Zugbelastung), können sie sich verkürzen, bei erhöhter Dehnung werden sie länger und können überdehnt werden. Kollagenfasern haben eine hohe Reißfestigkeit (50–100 N/mm<sup>2</sup>) und können sich unter erhöhter Beanspruchung funktionell anpassen (Zunahme der Kollagenfasern).

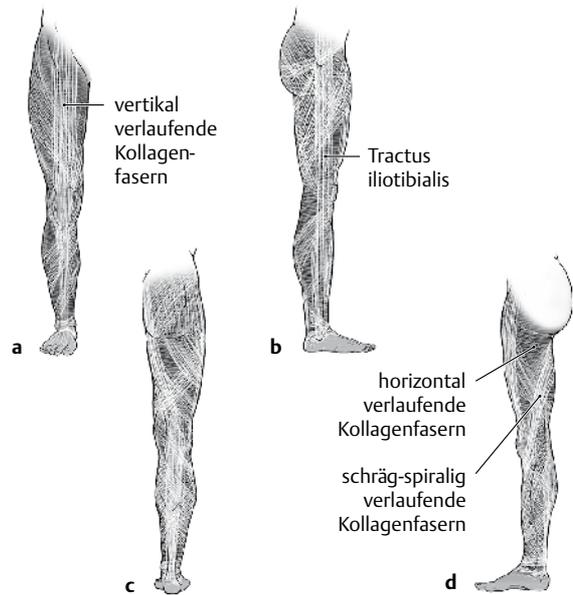


Abb. 5.15 Scherengitteranordnung am Beispiel der Beinfaszien (Ansicht von vorne, lateral, medial und hinten).

### Scherengitteraufbau des Fasziengewebes am Beispiel der Beinfaszien

Die von Gerlach und Lierse (1990) präparierten Faszien-systeme der unteren Extremität, insbesondere die Fascia lata am Oberschenkel und die Fascia cruris am Unterschenkel, zeigen bei Betrachtung unter polarisierendem Licht mehrere übereinander liegende Schichten mit vertikalen, horizontalen sowie schräg-spiralig verlaufenden Kollagenfasern (► Abb. 5.15a–d). Diese unterschiedlichen Steigungswinkel der Kollagenfasern, die sog. *Scherengitteranordnung*, erhöht nicht nur die Festigkeit und Belastbarkeit, sondern auch die Funktionalität des Faszien-schlauches:

- optimale Zugbeanspruchung in verschiedene Richtungen,
- Anpassung der Faszie an die jeweils mit dem Kontraktionszustand wechselnde Form des Muskels,
- verbesserte Widerstandsfähigkeit der Knochen gegenüber Beanspruchung.

Vor allem die vertikal verlaufende Verstärkung an der lateralen Seite der Fascia lata, der sog. Tractus iliotibialis, reduziert die durch die Körperlast hervorgerufene Biegebeanspruchung des Femurs in der Frontalebene (Zug-gurtungsprinzip nach Pauwels, s. S.276) und ermöglicht dadurch eine Einsparung an Knochenmaterial mit entsprechender Verringerung des Körpergewichtes. Zusammen mit den unterschiedlichen Muskelbindegeweben (Endo-, Peri- und Epimysium, s. S.69) ermöglichen die Faszien eine freie Verschieblichkeit untereinander (sowohl zwischen Muskelfasern eines Muskels als auch zwi-

schen benachbarten Muskelindividuen) und vermindern durch Herabsetzen der Reibung einen zu großen Kraftverlust während der Kontraktion und Erschlaffung des Muskels.

### Innervation von Faszien

Die meisten Befunde zur Innervation von Faszien beziehen sich auf die große Rückenfaszie, die Fascia thoracolumbalis (Mense, 2021), die den M. erector spinae als autochthonen Muskelstrang umhüllt und gleichzeitig mehreren Muskeln, v.a. dem M. latissimus dorsi als kräftiger aponeurotischer Muskelursprung dient (s. ► Abb. 5.16).

Nachdem Staubesand bereits 1997 Myofibroblasten in Muskelfaszien nachgewiesen hatte, wissen wir seit einigen Jahren, dass z.B. die Fascia thoracolumbalis neben zahlreichen Nervenfasern sowohl freie Nervenendigungen als auch eingekapselte Rezeptororgane enthält: Nozi- und Propriozeptoren sowie zahlreiche afferente und efferente Nervenfasern des autonomen sympathischen Nervensystems. Man muss jedoch davon ausgehen, dass die Innervation mit verschiedenen Rezeptortypen nicht in allen Muskelfaszien gleich ist. Übereinstimmend enthalten die freien Nervenendigungen v.a. die beiden Neuropeptide Substanz P sowie CGRP (= Calcitonin Gene-related peptide), die eine nozizeptive Funktion der Faszie wahrscheinlich machen. Verglichen mit der Dichte der CGRP-Fasern im M. erector spinae ist die Innervation der Faszie dreimal größer und somit deutlich schmerzempfindlicher als die Rückenmuskulatur. Überraschend war der Befund über die besonders dichte Innervation der Fascia thoracolumbalis mit sympathischen Nervenfasern

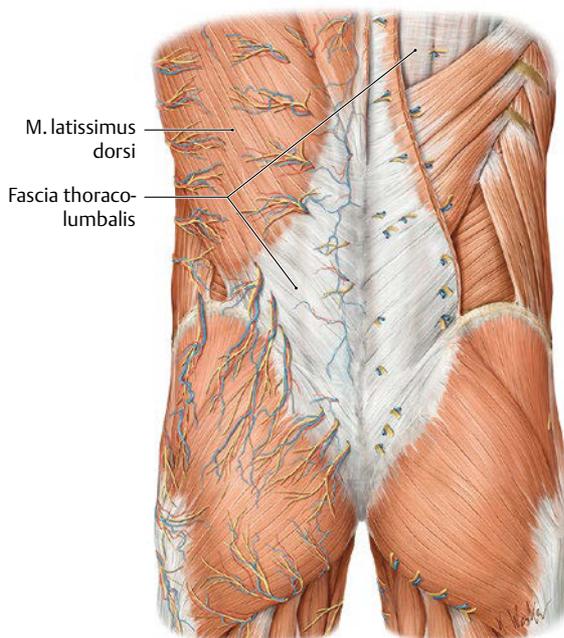


Abb. 5.16 Fascia thoracolumbalis.

(40% der Gesamtnervation). Dies würde bedeuten, dass die Blutversorgung der Faszie sehr stark von der Aktivität des Sympathikus abhängt, d.h. eine hohe Aktivität des Sympathikus könnte zu einer Minderdurchblutung der Faszie führen.

Möglicherweise dienen die intrafasziellen Myofibroblasten dem autonomen Nervensystem dazu, eine faszielle Vorspannung zu regulieren, d.h. Faszientonus und autonomes Nervensystem stehen in engem Zusammenhang und beeinflussen sich gegenseitig. Dies wiederum bedeutet, dass unwillkürliche sympathische Einflüsse, wie z.B. Stress, Angst, psychische Erkrankungen sowie physiologische Parameter (Kälte, Wärme, etc.) nicht nur Veränderungen des Faszientonus bewirken können, sondern langfristig auch zu Faszienverhärtungen und -verklebungen führen können. Techniken wie z.B. Faszienmobilisation können daher zu einer verbesserten Körperhaltung und zu mehr Beweglichkeit führen.

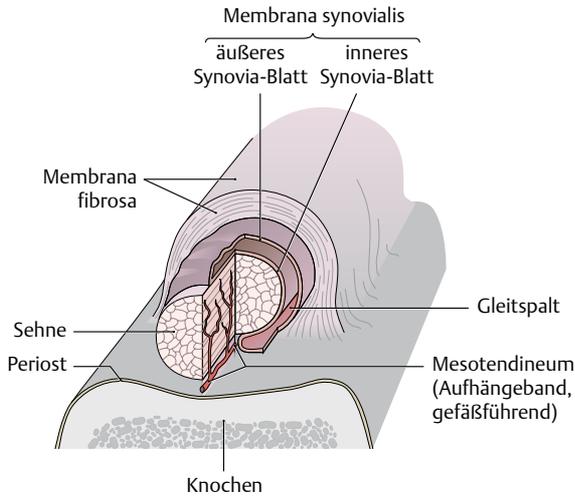
### 5.6.2 Retinacula

An Hand- und Sprunggelenken sind die Muskelfaszien durch quer verlaufende Kollagenfasern verstärkt. Solche Verstärkungsbänder werden als *Retinacula* bezeichnet und haben eine wichtige Funktion bei der Fixierung von Sehnen und Sehnenscheiden. Das Retinaculum extensorum auf der Vorderseite des distalen Unterschenkels hat beispielsweise die Aufgabe, die Sehnen der langen Zehenstrecker (Mm. extensor digitorum longus und hallucis longus) sowie des M. tibialis anterior zu fixieren und bei Dorsalextension des Fußes am Vorspringen zu hindern. Unterhalb eines Retinaculums können sich tunnelartige Durchtrittskanäle für die Sehnen (*Sehnenfächer*) bilden, an deren Aufbau die Sehnenscheiden mitbeteiligt sind.

Die Retinacula patellae (*Haltebänder der Knie Scheibe*) verlaufen medial und lateral des Lig. patellae, der Ansatzsehne des M. quadriceps femoris. Sie sichern die Knie Scheibe gegen seitliches Verrutschen.

### 5.6.3 Sehnenscheiden

Verlaufen Sehnen unmittelbar auf dem Knochen oder ziehen um einen Knochenvorsprung (Hypomochlion) herum, werden sie durch eine Art Führungskanal (Sehnenscheide, Vagina synovialis bzw. tendinis) vollständig umhüllt. Die Sehnenscheiden dienen v.a. dem Schutz der Sehnen vor zu hohen Reibungsverlusten, indem sie die Gleitfähigkeit der Sehnen stark erhöhen. Der Wandaufbau der Sehnenscheiden mit einer äußeren Membrana fibrosa und einer inneren Membrana synovialis (Stratum synoviale) gleicht dem einer Gelenkkapsel (► Abb. 5.17). Die derbe Membrana fibrosa übernimmt die Befestigung der Sehnenscheide am Knochen. Hierbei wird sie insbesondere an den Fingern der Hand durch zusätzliche ring- und kreuzförmig verlaufende Kollagenfaserbündel (Ligg. anularia und cruciformia) verstärkt.

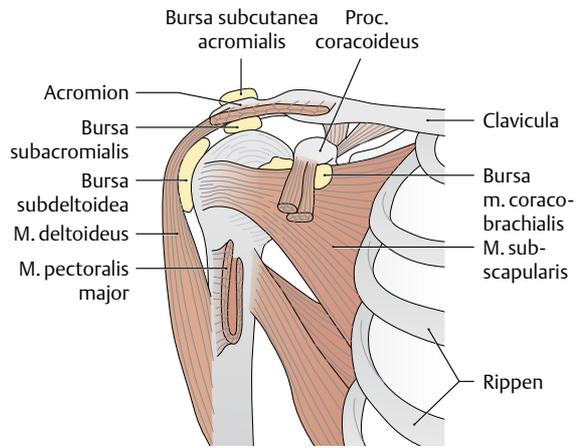


**Abb. 5.17 Aufbau einer Sehnhenscheide (Vagina synovialis).** Das innere Blatt des Stratum synoviale ist fest mit der Sehne, das äußere mit der Membrana fibrosa der Sehnhenscheide verwachsen. Der Gleitspalt zwischen beiden Blättern ist mit Synovia gefüllt. Über das Mesotendineum erreichen Gefäße die Sehne.

Das Stratum synoviale der Sehnhenscheide besteht aus einem inneren (viszeralen) und einem äußeren (parietalen) Blatt, zwischen denen ein mit Synovia gefüllter Gleitspalt liegt. Während das äußere Blatt der Membrana fibrosa anliegt, überzieht das innere des Stratum synoviale die Sehne, mit der es fest verbunden ist. An einigen Stellen haben viszerales und parietales Blatt Kontakt miteinander und bilden ein *Aufhängeband* (Mesotendineum), über das Nerven und Gefäße an die Sehnen herantreten. An den Sehnhenscheiden der Finger und Zehen ist das Mesotendineum auf wenige kurze Brücken reduziert (Vincula tendineum).

### 5.6.4 Schleimbeutel

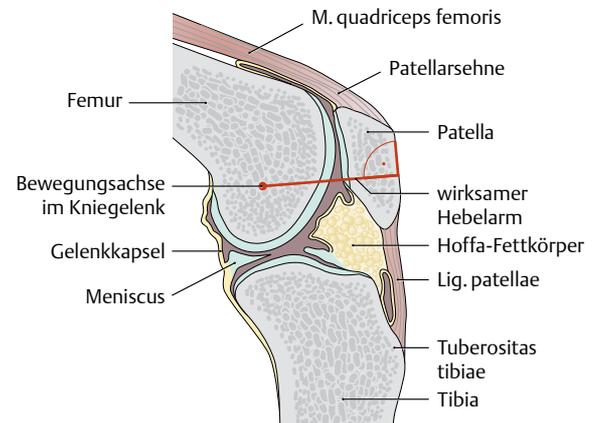
Schleimbeutel (Bursae synoviales) sind unterschiedlich große, meist abgeplattete, beutelähnliche Strukturen, die ebenfalls Synovialflüssigkeit enthalten. Auch ihre Wände sind wie eine Gelenkkapsel aufgebaut: eine äußere Membrana fibrosa und eine innere Membrana synovialis, die an der Bildung der Synovia beteiligt ist. Schleimbeutel schützen v.a. Muskeln (z. B. Bursa subdeltoidea), Sehnen (z. B. Bursa subtendinea m. subscapularis), Faszien (Bursa subfascialis) und Hautregionen (Bursa subcutanea) gegen zu hohen Druck benachbarter knöcherner Strukturen (► Abb. 5.18). Darüber hinaus wirken sie wie ein Wasserkissen, das den Druck gleichmäßig verteilt und die Reibung herabsetzt. Am häufigsten treten Schleimbeutel im Ansatz- und Ursprungsbereich von Sehnen auf, in Gelenknähe kommunizieren sie gelegentlich mit der Gelenkhöhle in Form einer Ausstülpung bzw. eines Recessus. Bei starker mechanischer Anstrengung kann es zu einer Neubildung von Schleimbeuteln kommen.



**Abb. 5.18 Schleimbeutel (Bursae synoviales) im Bereich der Schulter.** Rechte Schulter in der Ansicht von ventral, die Muskeln sind z. T. entfernt.

### 5.6.5 Sesambeine

Sesamknochen oder -beine (Ossa sesamoidea) sind in Sehnen eingelagerte Knochen. Sie können konstant ausgebildet sein, aber auch sehr variabel auftreten (Sehnen der Zehen und Fingermuskeln). Sie schützen die Sehnen vor zu großer Reibung; ihre funktionelle Bedeutung liegt jedoch v.a. in einer Verlängerung des wirksamen Hebelarmes eines Muskels und einer damit einhergehenden Kraftersparnis. Durch die Kniescheibe (Patella), das größte Sesambein des menschlichen Körpers, wird beim Stehen v.a. die Kraft reduziert, die der M. quadriceps femoris aufwenden muss, um im Kniegelenk zu strecken (► Abb. 5.19). Würde die Patella fehlen, müsste der M. quadriceps etwa 20% mehr Kraft aufbringen. Die Entstehung von Sesambeinen stellt eine funktionelle Anpassung im Bereich von Drucksehnen dar (S. 85).



**Abb. 5.19 Funktionelle Bedeutung eines Sesambeines.** Sagittalschnitt durch das Kniegelenk. Der Hebelarm (Senkrechte von der Bewegungsachse auf die Ansatzsehne des M. quadriceps femoris) wird durch die Patella vergrößert.

### Klinischer Bezug: Sehnenscheiden- und Schleimbeutelentzündung

#### Tendovaginitis (Sehnenscheidenentzündung):

Sie ist fast immer die Folge einer Überbeanspruchung der Sehne, z. B. nach längeren ungewohnten Fußmärschen, v. a. aber nach Überlastung im Bereich der Hand. Diese meist abakteriellen Entzündungen sind äußerst schmerzhaft, so dass die Patienten jegliche Bewegung vermeiden. Die Ursache der Schmerzen ist eine entzündungsbedingte, z. T. stark verringerte Produktion von Synovia und eine damit verbundene zunehmende Reibung im synovialen Gleitspalt.

**Tendovaginitis stenosans:** Kommt es bei einer Entzündung, z. B. im Handbereich, zu einer lokalen Verdickung der Sehnenscheide, kann die Beweglichkeit der Sehnen in der Sehnenscheide behindert sein. Die häufig durchgeführte Ruhigstellung sollte immer nur sehr kurzfristig erfolgen, da es sehr leicht zum Verkleben der Sehne mit der Sehnenscheide kommt.

**Schleimbeutelentzündung (Bursitis):** Nach chronischen mechanischen Irritationen, z. B. durch knieende Tätigkeiten oder Abstützen des Ellenbogens auf dem Tisch, können hartnäckige Schleimbeutelentzündungen entstehen (v. a. an Knie und Ellenbogen). Aber auch Verletzungen mit nachfolgender Infektion können zu eitrigen Schleimbeutelentzündungen führen. Die Folge solcher *Bursitiden* sind fast immer Schwellung und Druckschmerzhaftigkeit, häufig verbunden mit einer lokalen Rötung und Überwärmung.

## 5.7 Allgemeine Muskelmechanik

Vereinfacht ausgedrückt hängt die Arbeit eines Muskels von seiner Kraftentfaltung und dem Ausmaß seiner Verkürzung ab (Arbeit = Kraft  $\times$  Weg), d. h. *Hubkraft* und *Hubhöhe* charakterisieren die mechanischen Eigenschaften eines Muskels. Während die Hubkraft im Wesentlichen vom physiologischen Gesamtquerschnitt abhängt, bestimmt die Ausgangslänge der Muskelfasern die maximal mögliche Verkürzung, d. h. die Hubhöhe des Muskels. Darüber hinaus hat der *Fiederungswinkel* großen Einfluss sowohl auf die Muskelkraft als auch auf das Ausmaß der Verkürzung.

- *Hubkraft eines Muskels:* abhängig vom physiologischen Querschnitt und vom Fiederungswinkel
- *Hubhöhe (Verkürzung) eines Muskels:* abhängig von der Länge der Muskelfasern und vom Fiederungswinkel

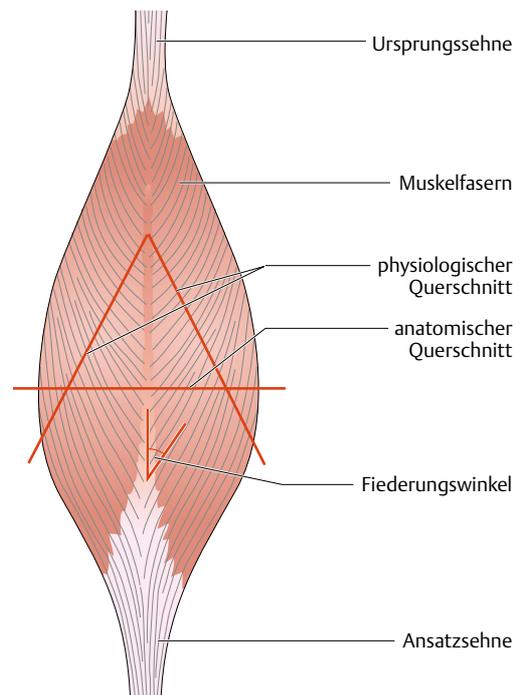
### 5.7.1 Fiederungswinkel

Der Winkel, über den die Muskelfasern an der Sehne inserieren, wird als *Fiederungswinkel* (► Abb. 5.20) bezeichnet. Je größer der Fiederungswinkel ist, desto mehr Mus-

kelfasern können bei gleicher Sehnenlänge an ihr ansetzen. Im Unterschied zum parallel faserigen Muskel, bei dem Muskel- und Sehnenfasern annähernd gleich verlaufen, ist der Verlauf von Muskel- und Sehnenfasern beim gefiederten Muskel unterschiedlichen, d. h. die Muskelfasern setzen schräg zur Zugrichtung des Muskels an. Dadurch wird nur ein Teil der Kontraktionskraft eines Muskels (*Muskelkraft*) in Zugrichtung der Sehne übertragen (*Sehnenkraft*). Beim gefiederten Muskel ist die Sehnenkraft im Vergleich zur Muskelkraft daher umso geringer, je größer der Fiederungswinkel ist.

### 5.7.2 Muskelfaserquerschnitt und Fiederungswinkel

Der *anatomische Querschnitt* schneidet den Muskel definitionsgemäß an seiner dicksten Stelle (► Abb. 5.20). Davon zu unterscheiden ist der sog. *physiologische Querschnitt*. Er bezeichnet die Gesamtheit der Faserquerschnitte eines Muskels senkrecht zur Längsachse der Muskelfasern. Während bei annähernd parallelfaserigen Muskeln anatomischer und physiologischer Querschnitt nahezu gleich groß sind, ist bei gefiederten Muskeln der physiologische Querschnitt immer größer als der anatomische. Die Dicke der *einzelnen* Muskelfaser hängt davon ab, wie viele Myofibrillen in ihr stecken.



**Abb. 5.20 Anatomischer und physiologischer Querschnitt.** Während der anatomische Querschnitt den Muskel an seiner dicksten Stelle schneidet, verläuft der physiologische senkrecht zu den Muskelfaserquerschnitten.