

und wie bei einer Feder wieder abgegeben werden. Dieser Vorgang ist besonders bei reaktiven Bewegungen von hoher Bedeutung und trägt zu einer hohen Bewegungsökonomie bei.

Eine Sonderform von Sehnen stellen Aponeurosen dar. Aponeurosen sind breite, flächenförmige Sehnenplatten, die z. B. an der Hand (Palmaraponeurose), an der Bauchmuskulatur (Rectusscheide) und unter dem Fuß (Plantaraponeurose) vorkommen.

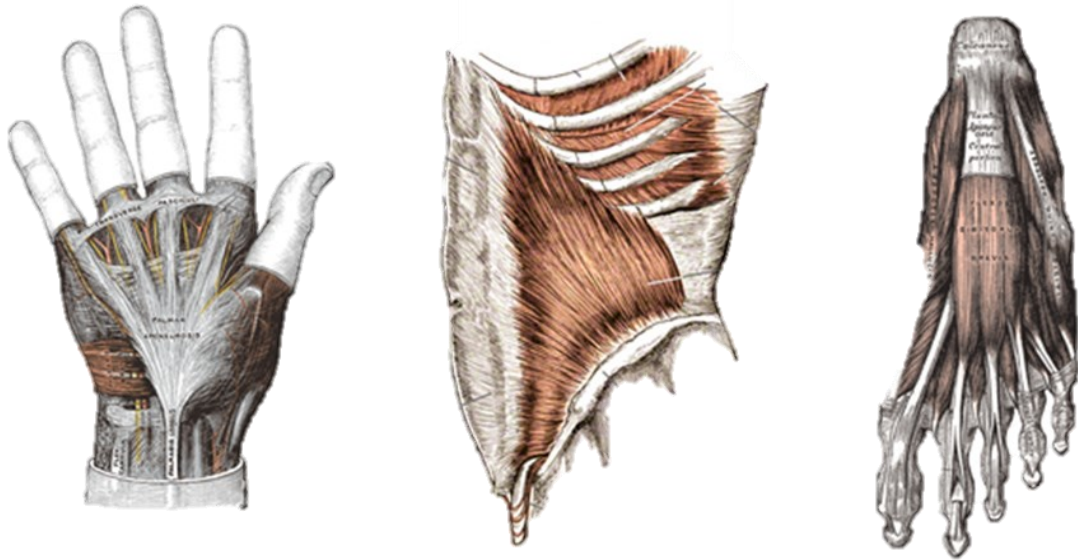


Abbildung 32: Sehnenplatten des menschlichen Körpers: Hand (Palmaraponeurose), Bauchmuskulatur (Rectusscheide) & unter dem Fuß (Plantaraponeurose).

3.3.2 Der Einfluss von Training auf Sehnen

Sehnen reagieren auf Zug- und Spannungsbeanspruchungen. Hochintensives Training, vor allem in Form von Reaktivkrafttraining, bringt positive Adaptationsprozesse von Sehnen mit sich. Es kommt zu einer Erhöhung der Belastbarkeit und zu einer Steifigkeitserhöhung der kollagenen Strukturen. Die Belastbarkeitssteigerung einer Sehne zeigt sich nicht, wie beim Muskel, in einer Querschnittsvergrößerung – vielmehr scheint eine innere Umstrukturierung und Neuausrichtung der kollagenen Fasern zu erfolgen. Eine dauerhafte Spannungseinwirkung auf eine Sehne scheint weniger die Sehne zu Adaptationsprozessen zu verleiten, sondern eher den Knochen, an dem die Sehne anheftet. Dies zeigt sich beispielsweise bei einer Absenkung des Quergewölbes, was dazu führt, dass die Plantaraponeurose unter Spannung gerät. Dies führt zu dem sogenannten Fersensporn, einer Ausziehung des Knochens.

3.3.3 Sehnenscheiden

Zum Schutz vor mechanischen Belastungen und zur Steigerung ihrer Gleitfähigkeit sind Sehnen teilweise von *Sehnenscheiden* (*Vaginae tendinium*) umgeben. Es handelt sich dabei um schlauchförmige Gebilde, welche die Sehne vollständig umhüllen und, ähnlich den Gelenkkapseln, eine reibungsreduzierende Flüssigkeit enthalten. Sehnenscheiden haben ihr Vorkommen vor allem an den Sehnen der Finger und Zehen.

3.3.4 Schleimbeutel

Schleimbeutel (*Bursae synoviales*) können mehrere Zentimeter lang sein und befinden sich meist nah an Gelenken, insbesondere dort, wo Sehnen dicht an Knochen oder Knochenvorsprüngen vorbeiziehen. Schleimbeutel sind mit Flüssigkeit gefüllt und dienen den Sehnen und den Knochen, einem Wasserkissen

vergleichbar, als Gleitlager bzw. Druckverteiler. Eine Überbeanspruchung kann sich durch schmerzhafte, entzündliche Reaktionen (*Bursitis*) oder Neubildung bemerkbar machen. Schleimbeutel, Sehnenscheiden und Gelenkkapseln haben eine vergleichbare Mikrostruktur.

3.4 Bänder

Unter Bändern (lat. *Ligamentum* oder *Ligamenta*; Plural: *Ligamente*) versteht man begrenzt dehnbare, faserartige Bindegewebsstränge, die zum größten Teil aus straffem, parallelfaserigem Kollagen bestehen. Bänder verbinden Knochen mit Knochen und führen oder limitieren die Beweglichkeit eines oder mehrerer Gelenke auf ein funktionell sinnvolles Maß (ligamentäre Hemmung) (Abbildung 33).

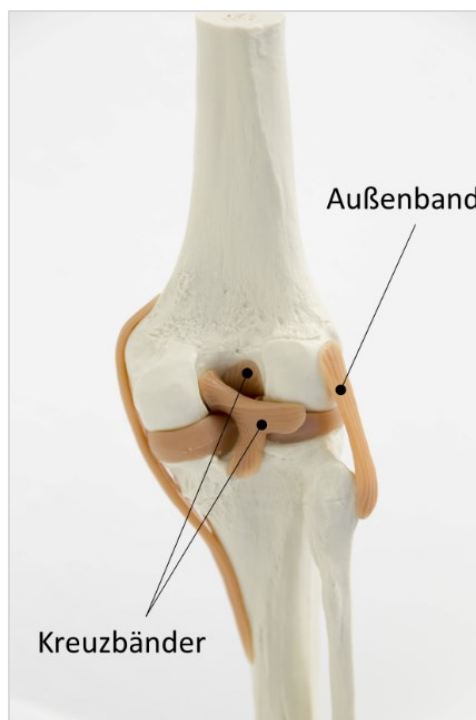


Abbildung 33: Bänder am Kniegelenk

Tabelle 6: Unterschiede zwischen Sehnen und Bändern

	Sehne	Band
Funktion	Kraftüberträger von Muskel zu Knochen	Bewegungseinschränkung bzw. Bewegungsführung (z. B. Kreuzbänder)
Lage	Zwischen Muskel und Knochen	Zwischen zwei Knochen
Dehnfähigkeit	vorhanden	nicht vorhanden
Beispiele	Tendo calcanea (Achillessehne)	lig. patellae (Band der Kniescheibe)

Im deutschen Sprachgebrauch spricht man zwar von der Patellasehne; es handelt sich aber im eigentlichen Sinne um ein Band – daher auch *Ligamentum* (lat. für Band) *patellae*.

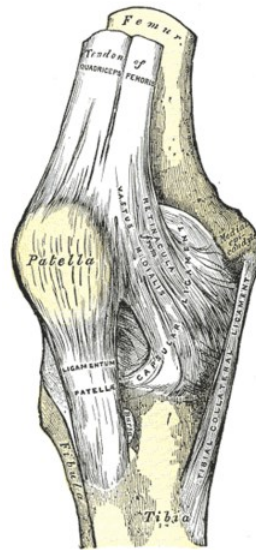


Abbildung 34: Patellasehne (Gray, 1918)

3.4.1 Der Einfluss von Training auf Bänder

Bänder reagieren theoretisch ebenso wie Sehnen auf Zug- und Spannungsbeanspruchungen. Da Bänder eine bewegungseinschränkende Funktion besitzen, scheint ein gezieltes Training der Bänder kaum möglich bzw. ist dieses nicht zu empfehlen.

Aus Sportarten, in denen eine hohe Bewegungsamplitude bedeutsam für die Erbringung einer hohen Leistungsfähigkeit ist (z. B. Turnen oder rhythmische Sportgymnastik), ist bekannt, dass vor allem im Kindesalter durch ein gezieltes Gelenkigkeitstraining Bandstrukturen hinsichtlich ihrer Laxizität angepasst werden können. Aus physiologischer Sicht und im Sinne der Gelenkstabilität ist allerdings kritisch zu hinterfragen, ob dies anzuraten ist.

3.5 Gelenke

Gelenke sind Verbindungen zwischen knorpeligen und/oder knöchernen Skelettelementen.

3.5.1 Aufbau und Arten von Gelenken

Man unterscheidet zwischen *Diarthrosen* („echte“ Gelenke) und *Synarthrosen* („unechte“ Gelenke). Bei Letzteren befindet sich zwischen den verbundenen Skelettelementen eine verknöcherte Verbindung (sog. *Knochenhaft*) oder ein Füllgewebe aus Knorpel- oder Bindegewebe (*Knorpelhaft*, *Bandhaft*). Synarthrosen werden auch als Haften, straffe oder feste Gelenke bezeichnet, sie weisen in der Regel nur eine geringe oder gar keine Beweglichkeit auf. Beispiele für Synarthrosen sind das Iliosakralgelenk (kurz „ISG“), die Schambeinfuge (Symphyse) am Becken, die Wirbelkörperverbindung der Bandscheiben, die Verbindungen zwischen Elle (Ulna) und Speiche (Radius) sowie zwischen Schienbein (Tibia) und Wadenbein (Fibula).

Typische Diarthrosen zeichnen sich demgegenüber dadurch aus, dass es zwischen den Knochenenden den mit Gelenkflüssigkeit (Synovia) gefüllten *Gelenkspalt* gibt, dass die beteiligten *Gelenkflächen* von *Gelenkknorpel* überzogen sind und dass das Gelenk nach außen durch eine *Gelenkkapsel* abgeschlossen ist (Abbildung 35).

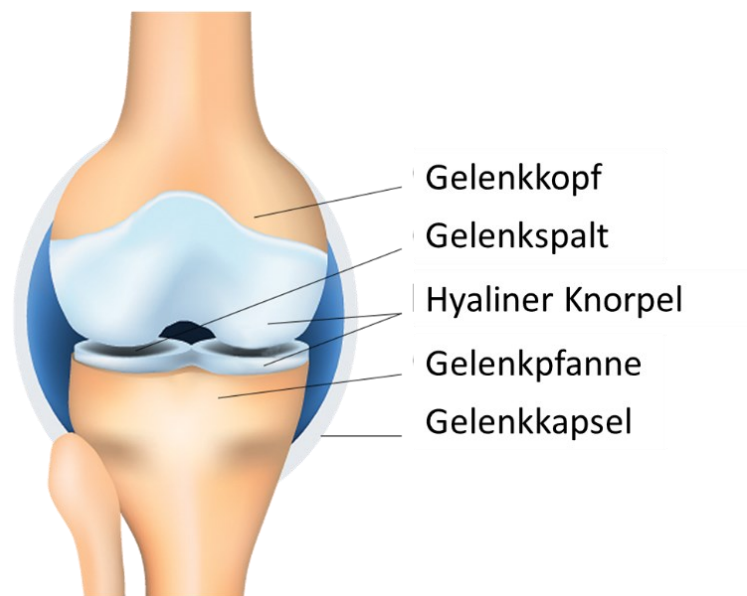


Abbildung 35: Typischer Aufbau einer Diarthrose

Diarthrosen lassen sich unter anderem nach der Form ihrer Gelenkflächen untergliedern. Diese ist ein maßgebliches Kriterium für die Bewegungsfreiheitsgrade (

Tabelle 7) eines Gelenkes:

- Kugelgelenke: Kugelgelenke sind dreiachsig, lassen sich also um alle drei Raumachsen bewegen (Flexion und Extension, Abduktion und Adduktion, Außenrotation und Innenrotation). Beispiele für Kugelgelenke sind das Schultergelenk, das Hüftgelenk und die Fingergrundgelenke (ohne den Daumen).
- Ellipsoid- oder Eigelenke: Eigelenke sind zweiachsig, wie beispielsweise das Kopfgelenk zwischen *Atlas* (oberster Halswirbel) und Schädel oder das proximale Handgelenk zwischen Speiche und Handwurzelknochen.
- Sattelgelenke: Sattelgelenke sind zweiachsig, zum Beispiel das Gelenk zwischen Handwurzelknochen und Mittelhandknochen unterhalb des Daumens (Flexion und Extension, Abduktion und Adduktion).
- Scharniergelenke: Scharniergelenke sind einachsig, beispielsweise das Ellbogengelenk (zwischen Humerus und Ulna) oder die distalen Fingergelenke (Flexion und Extension).
- Roll- oder Zapfengelenke: Roll- oder Zapfengelenke sind einachsig, beispielsweise das Radioulnargelenk (zwischen Speiche und Elle) oder das Atlantoaxialgelenk (zwischen erstem und zweitem Halswirbel).
- Plane oder Ebene Gelenke: Diese Gelenkart weist zwei ebene Gelenkflächen auf, die frei gegeneinander gleiten können. Ein Beispiel für diese Gelenkform sind die Zwischenwirbelgelenke der Halswirbelsäule.

Tabelle 7: Beispielhafte Bewegungsfreiheitsgrade verschiedener Diarthrosen des Menschen

Gelenk	Art des Gelenks	Bewegungsfreiheitsgrade
Schultergelenk (Art. humeri)	Kugelgelenk (dreiaxsig)	Anteversion und Abduktion (90° bzw. 180° unter Mitwirkung des <i>Schultergürtels</i> (sog. <i>Elevation</i>), Retroversion (40°), Adduktion (40°), Innenrotation (90°), Außenrotation (70°)
Hüftgelenk (Art. coxae)	Kugelgelenk (dreiaxsig)	Flexion (130°), Extension (15°), Abduktion 45° Adduktion (30°), Innenrotation (45°), Außenrotation (50°)
Ellenbogengelenk (Art. cubiti)	Drehwinkelgelenk (zweiachsig)	Flexion (ca. 150°), Extension (bis ca. 15°), Pronation (ca. 90°), Supination (ca. 90°)
Kniegelenk (Art. genus)	Drehscharniergelenk (zweiachsig)	Extension (5°), Flexion (bis 140°), Innenrotation (5 bis 10°), Außenrotation (30°)
Oberes Sprunggelenk (Art. talocruralis)	Scharniergelenk (einachsig)	Dorsalextension (30°), Palmarflexion (50°)

3.5.2 Gelenkkapsel

Die Gelenkkapsel umschließt die Gelenke. Die äußere Schicht besteht aus festem Bindegewebe (Membrana fibrosa), die innere Schicht setzt sich aus lockerem, gefäßreichem Bindegewebe (Membrana synovialis) zusammen. In und an dieser Kapsel befinden sich zahlreiche *Propriozeptoren*. Dabei handelt es sich um Wahrnehmungsrezeptoren des Nervensystems, die fortlaufend Informationen über die Lage und die Stellung des Gelenks aufnehmen und zur Verarbeitung an das zentrale Nervensystem weiterleiten.

3.6 Muskeln

Der Mensch besitzt etwa 400-500 verschiedene Skelettmuskeln, von denen jeder einen Ursprung (körpernah) und einen Ansatz (körperfern) besitzt. Die Muskeln des menschlichen Bewegungsapparates sind in erster Linie paarweise im ganzen Körper angeordnet. Diese Muskelpaare sind in der Regel um das gleiche Gelenk auf gegenüberliegenden Seiten angeordnet.

Muskeln sind kontraktile Organe und stellen daher die Grundlage der menschlichen Fortbewegung dar. Sie steuern aber auch vegetative Funktionen sowie die Versorgung des Organismus mit Sauerstoff über den Blutkreislauf durch die Tätigkeit des Herzmuskels.

3.6.1 Arten der menschlichen Muskulatur

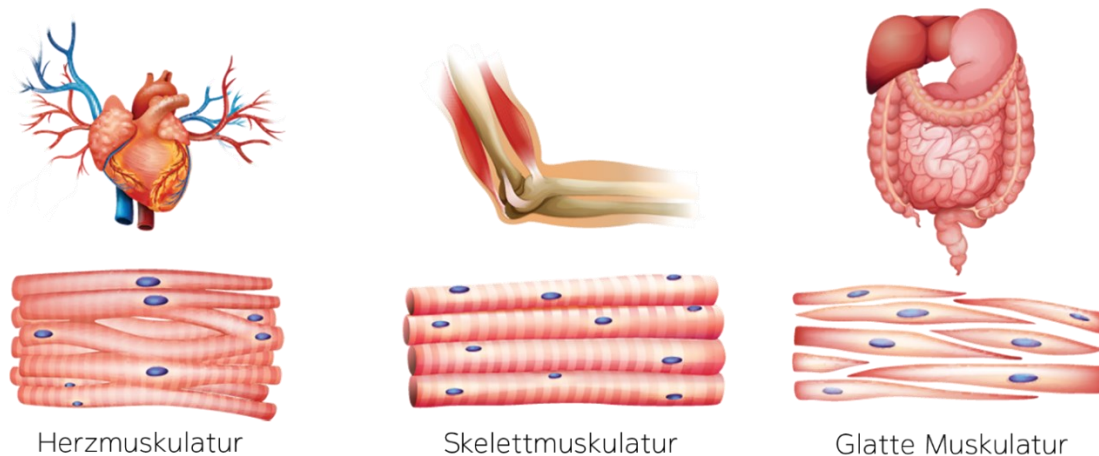


Abbildung 36: Man unterscheidet grundsätzlich drei Arten von menschlicher Muskulatur (Eigene Darstellung)

Tabelle 8: Unterschiede zwischen den Muskelarten hinsichtlich Ansteuerung, Vorkommen im Körper und Aufgabe

Muskelart	Ansteuerung	Vorkommen/Aufgabe
Herzmuskulatur	Wird aus quergestreifter Muskulatur gebildet; ist nicht willkürlich ansteuerbar.	Herzmuskulatur – Aufrechterhaltung des Blutflusses im Körperkreislauf.
Skelettmuskulatur	Ist willkürlich ansteuerbar.	Stellt die Skelettmuskulatur dar. Dient vor allem der willkürlichen, aktiven Körperbewegung.
Glatte Muskulatur	Ist nicht willkürlich ansteuerbar.	Blut- und Lymphgefäße sowie an inneren Organen. Führt vegetative Steuerungsvorgänge aus.

Glatte Muskulatur

Glatte Muskulatur (auch *viszerale* oder *Eingeweidemuskulatur*) kommt in verschiedenen Körperstrukturen vor, insbesondere an den Innenwänden der Hohlorgane, um diese verengen zu können. Diese Hohlorgane sind vor allem Arterien, Organe des Verdauungskanals und die Atemwege. Das Herz besitzt als einziges Hohlorgan keine glatte Muskulatur. Durch ihre Fähigkeit, einen langanhaltenden Tonus (bzw. eine tonische Dauerkontraktion) aufrechterhalten zu können, sorgt glatte Muskulatur beispielsweise für die Peristaltik in Magen, Darm und Harnwegen, für die Blutdruckregulation in den Arterien oder für die

Wehen während einer Geburt. Glatte Muskulatur kann nicht willkürlich kontrahiert werden, ihre Steuerung und Kontrolle erfolgt durch überwiegend autonome und vegetative Mechanismen. Für sportliche Anforderungen spielt die glatte Muskulatur eine wichtige mittelbare Rolle, denn ihre zahlreichen im Hintergrund ablaufenden Funktionsprozesse sind Mitvoraussetzung für bewusste motorische Handlungen.

Quergestreifte Herzmuskulatur

Der Herzmuskel (*Myokard*) ist ein Hohlmuskel, der den größten Teil der Herzwand bildet. Mit jeder Kontraktion ziehen sich die Herzkammern zusammen und sorgen somit für eine Austreibung des Blutes, das sich zwischen den Kontraktionen in ihnen sammelt.

Wie die Skelettmuskulatur hat auch die Herzmuskulatur einen Aufbau aus speziellen quergestreiften Muskelfasern, wodurch schnelle und kraftvolle Kontraktionen ermöglicht werden. Dies stellt zugleich ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zur glatten Muskulatur dar.

Zur Initiierung von Aktionspotenzialen (elektrische Signale, die eine Muskelkontraktion hervorrufen) verfügt das Herz über ein aus spezialisierten Zellen bestehendes, eigenes *Erregungsbildungssystem*. Der *Atrioventrikularknoten (AV-Knoten)* und insbesondere der *Sinusknoten* sind die wesentlichen Taktgeber elektrischer Impulse zur Regulierung der Pumpfähigkeit. Sie liegen am rechten Vorhof und sind Ausgangspunkt von Herzkontraktionen. Das Herz ist damit grundsätzlich autonom und auch die Impulse zu weiteren Herzarealen werden nicht über Nervenzellen, sondern über spezielle Herzmuskelzellen weitergeleitet. Blutdruckbedingte Anpassungen der Herzaktivität werden im Herzen selbst reguliert, Anpassungen an physische Anforderungen werden im Stammhirn und vegetativen Nervensystem gesteuert. Die Herzsteuerung unterliegt, wie die Steuerung der glatten Muskulatur, nicht dem Willen.

Quergestreifte Skelettmuskulatur

Die Skelettmuskeln werden, abgesehen von einigen Ausnahmen (Muskeln der Zunge, des Kehlkopfes und des Zwerchfells), primär für willkürliche Körperbewegungen benötigt, beispielsweise zur aktiven Fortbewegung. Weitere Aufgaben sind die Gewährleistung der aufrechten Körperhaltung und die Entlastung von passiven Strukturen (Knochen, Gelenke) durch entsprechende Zugverspannungen. Üblicherweise sind Skelettmuskeln an ihren Enden über eine Sehne oder Faszie mit einem Element des passiven Bewegungsapparates (zumeist einem Knochen) verbunden.

3.6.2 Aufbau und Bestandteile von Skelettmuskeln

Jeder Skelettmuskel ist ein Organ, das Muskelgewebe, Bindegewebe, Nerven und Blutgefäße enthält. Die Muskeln sind von Bindegewebe, dem sogenannten Epimysium, umgeben, welches mit den Sehnen verbunden ist. Die Sehne ist am Knochenperiost befestigt, einem Bindegewebe, das alle Knochen bedeckt. Alle Muskelkontraktionen ziehen demnach an der Sehne, die wiederum am Knochen zieht.

Bei Muskeln der Extremitäten wird die proximale Verankerung stets als *Ursprung (origo)* und die distale Fixierung als *Ansatz (insertio)* bezeichnet. Bei Muskeln des Rumpfes verhält es sich weniger eindeutig. Bei den Rückenmuskeln und jenen, die den Kopf bewegen, liegt der Ursprung üblicherweise kaudal vom Ansatz, bei den ventralen Muskeln kranial. Zwischen Ursprung und Ansatz befindet sich jeweils der *Muskelbauch (Venter musculi)*. Muskeln können mehrere Ursprünge, Ansätze und auch Bäuche haben (Abbildung 37). In Bezug auf *Bewegungen* wird das weniger bewegte Skelettelement als *Punctum fixum* und das andere Ende als *Punctum mobile* bezeichnet.

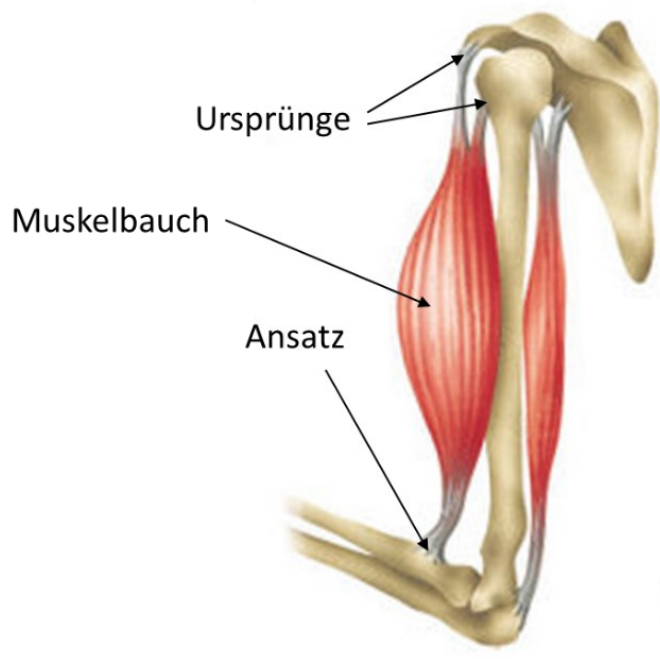


Abbildung 37: Ursprung und Ansatz am Beispiel des M. biceps brachii

Die innere Struktur einer Muskelfaser ist ein Zytoplasma namens Sarkoplasma, das kontraktile Proteine, gespeichertes Glykogen, Fettpartikel, Enzyme, Mitochondrien und das sarcoplasmatische Retikulum enthält. Jede Muskelfaser enthält verschiedene kleinere zylindrische Einheiten, die als Myofibrillen bezeichnet werden. Eine Myofibrille besitzt einen Durchmesser der gerade einmal 1/1000 des Durchmessers eines Haares beträgt. Diese Myofibrillen liegen parallel zueinander und erstrecken sich über die gesamte Länge der Muskelfaser. Myofibrillen machen etwa 80% des Volumens einer Muskelfaser aus. Die Skelettmuskulatur wird als quergestreifte Muskulatur bezeichnet, da unter einer lichtmikroskopischen Betrachtung eine deutliche Querstreifung zu erkennen ist. Ursache hierfür ist die systematische segmentale Unterteilung der Sarkomere in Aktin und Myosin. Der Skelettmuskel ist ein Verbund funktioneller Einheiten, deren kleinste funktionelle Einheit das Sarkomer bildet.

- Muskelbauch (Verbund von Muskelfaserbündeln)
- Muskelfaserbündel (Verbund von Muskelfasern)
- Muskelfasern (Verbund von Myofibrillen)
- Myofibrillen (hunderte hintereinandergeschaltete Sarkomere)
- Sarkomere (bestehend aus Aktin, Myosin und Z-Scheiben)