

Prof. Dr. Ingo Froböse

VITAL AB 40 PLUS



MUSKELN DIE GESUND MACHER

SO BLEIBEN WIR **FIT**,
SCHLANK UND
MENTAL IN **BALANCE**

Ingo Froböse
Muskeln – die Gesundmacher

PROF. DR. INGO FROBÖSE

**MUSKELN -
DIE
GESUNDMACHER**

So bleiben wir fit, schlank
und mental in Balance

ullstein extra

Wir verpflichten uns zu Nachhaltigkeit



- Klimaneutrales Produkt
- Papiere aus nachhaltiger Waldwirtschaft und anderen kontrollierten Quellen
- ullstein.de/nachhaltigkeit



Ullstein extra ist ein Verlag der Ullstein Buchverlage GmbH
ullstein.de

ISBN 978-3-86493-220-5

© Ullstein Buchverlage GmbH, Berlin 2023

Alle Rechte vorbehalten

Gesetzt aus der Kepler Std Light

Satz: Pinkuin Satz und Datentechnik, Berlin

Grafiken: Red Cape Production,

Illustrationen: Axel Raidt (Seiten 39, 192, 203, 209, 290, 294)

Bildnachweise: Adobe.com (Seiten 24, 34, 38, 54, 66, 153, 270, 271);

Kim SeungJun from Noun Project (Seiten 209, 259)

Mitarbeit am Text: Ulrike Schöber, Dortmund

Redaktion: Vera Baschlakow

Druck und Bindung: Scandbook, Litauen

INHALT

Vorwort	9
---------	---

MUSKELN SIND KUNSTWERKE – PHYSIOLOGIE UND ANATOMIE **13**

Muskel ist nicht gleich Muskel	18
Bindegewebe auch im Muskel	26
Die Muskelfasern und ihre Typen	39
Die motorische Einheit – für Kraft und Steuerung	51
Muskelarbeit – viele winzige Einheiten bewirken Großes	57
Mitochondrien – die Energielieferanten des Muskels	65

DURCH TRAINING DIE MUSKULATUR VERÄNDERN **77**

Muskelwachstum – immer noch ein geheimnisvoller Vorgang	82
Mehr Kapillaren zur besseren Versorgung	88
Muskeltraining bei Frauen – eine ganz besondere Geschichte	89
Muskellänge und Gesamtkraft	94
Wie Geschwindigkeit und Muskelkraft zusammenhängen	102
Die Steuerung der Muskelkraft	104

Typische Muskelbeschwerden vermeiden
und behandeln 110

NÄHRSTOFFE FÜR DIE MUSKELN 115

Proteine – der wichtige Baustoff der Muskeln 117

MUSKELKRAFT UND MUSKELMASSE IM ALTERSVERLAUF 131

In Kindheit und Pubertät geht es nur bergauf 131

Ab 30 geht es bergab 135

Sarkopenie – krankhafter Muskelverlust 139

PROPRIOZEPTION – MUSKELN SIND WAHRNEH- MUNGSORGANE 151

Muskeln und Gefühle – wie sie sich gegenseitig
beeinflussen 155

Fitte Muskeln – fittes Gehirn 169

MYOKINE – DIE HEILSTOFFE DER MUSKULATUR 181

Immer noch voller Geheimnisse und Rätsel 183

Ohne Bewegung keine Myokine 187

IL-6 – das Myokin der Gegensätze 189

IL-15 – der Kraftprotz unter den Myokinen 196

Irisin – der Hoffnungsträger für Übergewichtige 199

BDNF – lässt schnelle, kräftige Muskelfasern wachsen 201

Myonectin – gut für Herz und Stoffwechsel 204

Follistatin – der Bodybuilder 206

Die Apotheke des aktiven Muskels 208

MUSKELN SCHÜTZEN VIELSEITIG	213
Ausdauer- oder Muskeltraining?	221
Herz- und Kreislauferkrankungen vorbeugen	223
Übergewicht und Adipositas – da helfen nur »dicke« Muskeln	234
Mit aktiven Muskeln gegen Diabetes Typ 2	256
Rückenschmerzen – selbst gemacht und selbst geheilt	265
Gut bemuskelte Gelenke gegen Arthrose	275
Die Muskel-Knochen-Connection – gegen den Knochenschwund	288
Alterssichtigkeit – mit Augentraining das Sehen erhalten	291
Ein Wort zum Schluss: Muskeln brauchen regelmäßiges Training!	296
Danksagung	299
Literaturverzeichnis	300
Register	305

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

Muskeln sind ein wahres Wunderwerk unseres Körpers, und ihre Heilkraft ist stärker als die Wirkung der meisten Medikamente. Für mich ist die Muskulatur eines der wichtigsten menschlichen Organsysteme mit so vielfältigen Funktionen und Einflüssen, dass wir ohne Kenntnis ihrer Wirkungen den menschlichen Organismus in seiner Komplexität nicht verstehen können. Ich bin fest davon überzeugt, dass wir unserer Muskulatur bisher bei der Betrachtung gesundheitlicher Veränderungen bis hin zu Erkrankungen bei Alterungs- und Wachstumsprozessen viel zu wenig oder – noch schlimmer – gar keine Aufmerksamkeit schenken. Muskeln spielen in der Medizin nämlich heute kaum eine Rolle. Das finde ich schon fast skandalös, weil wir damit eines unserer größten Organsysteme in seiner Bedeutung verkennen oder übersehen. Genau deswegen habe ich mich entschlossen, dieses Buch zu schreiben.

In meiner Forschung und Lehre an der Deutschen Sporthochschule in Köln steht das Thema Muskulatur natürlich seit vielen Jahrzehnten auf der Agenda meiner Aktivitäten ganz oben. Dabei habe ich immer mehr über dieses besondere Körpergewebe gelernt und bei zahlreichen Untersuchungen und Studien gesehen, dass unsere Muskulatur viel mehr kann, als uns nur Kraft und Leistungsfähigkeit für unsere Alltagsaktivitäten und den Sport zu geben. So wissen wir seit über 15 Jahren, dass Muskeln als das größte endokrine Organ unseres Körpers fungieren und, wenn sie aktiv werden viele Botenstoffe ausschütten, die sogar unsere zentralen Organe Gehirn, Herz, Leber und Darm direkt

beeinflussen. Ohne aktive Muskeln entwickeln sich diese Organe relativ schnell in eine krankhafte Richtung und verlieren überproportional an Leistungsfähigkeit. Auch unsere Stoffwechselprozesse leiden, sodass Diabetes und Fettstoffwechselstörungen entstehen. Sogar die Mortalitätsrate steigt bei einem Verlust der Muskelmasse gravierend an, und Pflegebedürftigkeit tritt eher auf. Umgekehrt zeigen zahlreiche Studien, dass fitte Muskeln das Risiko für Erkrankungen des Gehirns wie Demenz oder Alzheimer zurückdrängen und dass Alterungsprozesse langsamer voranschreiten, wodurch wir auch im hohen Alter noch selbstständig zu Hause leben können. All dies gilt es, zukünftig viel stärker in der Medizin zu berücksichtigen, wenn wir diese zivilisationsbedingten und stark durch Muskelverlust geprägten Erkrankungen überhaupt in den Griff bekommen wollen.

Bisher fehlt dafür jedoch das Bewusstsein. Oder sind Sie schon einmal beim Arzt nach der Leistungsfähigkeit Ihrer Muskulatur gefragt worden? Wurde vielleicht sogar ein Test der Muskulatur mit Ihnen gemacht? Wenn nicht – und davon gehe ich leider aus –, dann lesen Sie in meinem Buch, warum dies für Ihre Gesundheit zwingend notwendig wäre. Ich halte diese Nichtbeachtung und fehlende Einbeziehung der Muskulatur in die Diagnostik und Therapie bei vielen Erkrankungen für ein grobes Versäumnis, denn Muskeln sind für mich das wichtigste Medikament im Kampf gegen viele Erkrankungen, und zwar sowohl zur Vorbeugung als auch zur Behandlung.

Unsere Muskeln sind für unsere Gesundheit und für unser alltägliches Leben von großer Bedeutung. Dafür ein Bewusstsein zu schaffen ist für mich nach jahrelangen Forschungsarbeiten der Grund, dieses Buch zu schreiben. Es geht im Folgenden also nicht um konkrete Trainingspläne und Übungen, denn die finden Sie bereits in vielen meiner anderen Bücher. Ich möchte jetzt die Bedeutung der Muskulatur für die Gesundheit und für unser

Leben herausarbeiten, damit Sie verstehen, was körperliche Aktivität in Ihrem Organismus auslöst. Ich will Ihnen zeigen, dass Bewegung und häufig sogar erst das gezielte Training der Muskeln hilft, viele Erkrankungen zu vermeiden und zu behandeln.

Aus meiner Sicht ist eine der wichtigsten Zukunftsaufgaben unserer Leistungsgesellschaft, den Bewegungsmangel und die daraus folgenden gesundheitlichen Probleme nachhaltig in den Griff zu bekommen. Andernfalls werden unser Gesundheits- und unser Pflegesystem kollabieren. Vor allem aber wollen wir doch alle möglichst gesund, selbstständig und mit Lebensfreude altern – das machen Bewegung, Sport und Training, also fitte, leistungsfähige Muskeln, möglich.

Begeben Sie sich mit mir gemeinsam auf den Weg, das Wunderwerk Muskulatur und seine Heilkraft zu verstehen. Wie immer im Körper sind die unterschiedlichen Prozesse eng miteinander verflochten. Für ein nachhaltiges Verständnis tauche ich daher gelegentlich etwas tiefer in unsere Biochemie ein, um auch die Fragen von Experten zu beantworten. Als Laie können Sie solche Abschnitte ohne schlechtes Gewissen überfliegen und einfach danach weiterlesen – Sie werden trotzdem viel Neues über Ihre Muskulatur erfahren. Ich bin mir sicher: Danach werden Sie Ihre Muskeln gänzlich anders betrachten und viel mehr wertschätzen als heute.

Ihr Ingo Froböse

MUSKELN SIND KUNSTWERKE – PHYSIOLOGIE UND ANATOMIE

Eben haben Sie dieses Buch zur Hand genommen, sich dazu einen Becher Kaffee oder Tee gegriffen, sind zu Ihrem Sofa oder Lieblingssessel gegangen und haben es sich dort bequem gemacht, um diese ersten Sätze zu lesen. Das waren alles ganz gewöhnliche Handlungen, über die Sie sich normalerweise sicher keine Gedanken machen. Bewusst werden uns solche alltäglichen Bewegungen nur dann, wenn sie nicht mehr funktionieren. Wenn Ihnen vielleicht der Becher aus der Hand rutscht, es beim Hinsetzen im Rücken schmerzt, Ihre Augenlider beim Lesen plötzlich zucken, oder auf den Punkt gebracht: Wenn Ihre Muskeln nicht mehr das machen, was Sie wollen! Hinter all diesen banalen kleinen Alltagshandlungen steckt nämlich unsere Muskulatur. Im Team mit unserem Nervensystem und unserem Gehirn ist sie die Grundlage für ein gesundes Leben und macht fast alles mit, was wir möchten, bis hin zu spektakulären Leistungen im Sport oder im Zirkus. Dabei beweist uns die Muskulatur immer wieder aufs Neue, wie lern- und anpassungsfähig sie ist.

Wir bekommen unsere Muskeln zwar von der Natur mit in die Wiege gelegt, aber von Anfang an entwickeln sie sich nur durch unser Tun, durch unsere körperliche Aktivität. Bei kleinen Kindern auf dem Spielplatz können Sie das gut beobachten. Sie fal-

len immer wieder hin und probieren unermüdlich aufs Neue, bis sie irgendwann ihr Ziel erreicht haben und allein einen Turm aus Sand bauen, laufen, klettern oder rutschen können. Ihre Muskeln und ihr Gehirn haben die unterschiedlichen Bewegungsabläufe nach und nach erlernt und perfektionieren sie immer mehr. Genauso verhält es sich, wenn wir als Erwachsene mit einer neuen Sportart oder auch nur einer Kraft- oder Gymnastikübung beginnen. Kein Tennisspieler trifft von Anfang an den Ball, und jeder muss üben, bis er zehn korrekte Liegestütze am Stück schafft. Doch mit Geduld und Training schafft das jeder, und genau wie die Kinder sind wir dann stolz auf unsere Leistung, freuen uns darüber und haben Spaß daran.

Die Namen der Muskeln

Jeder Muskel hat in der Anatomie einen lateinischen Namen, der sich aus mindestens zwei Bestandteilen zusammensetzt: der allgemeinen Bezeichnung für Muskel, lateinisch *Musculus* (auf Deutsch »Mäuschen«, weil ein angespannter Muskel wie eine Maus aussieht), abgekürzt *M.*, und den eigentlichen Namen, etwa *biceps*. Oft kommt noch ein dritter oder vierter Namensteil hinzu, der die Lage oder den Ansatz des Muskels genauer bezeichnet. So heißt der Bizeps am Oberarm korrekt *M. biceps brachii* für »zweiköpfiger Muskel des Arms«.

Wozu Menschen dank ihrer Muskeln fähig sein können, zeigen uns täglich die Hochleistungsathleten und -athletinnen in den unterschiedlichsten Sportarten. Sind wir nicht alle begeistert davon, wie Turnerinnen an den Geräten ihre waghalsigen Übungen ausführen und mit absoluter Präzision auf den Punkt genau

beenden? Oder von der künstlerischen Qualität beim Eiskunstlaufen mit den eleganten Sprüngen genauso wie von Fußballern, die einen genialen Pass spielen oder den Ball aus der Luft treffen? All diese Sportlerinnen und Sportler haben das Gleiche gemacht wie die Kinder: Immer wieder probiert, geübt und trainiert und sich über ihre Fortschritte gefreut. Die Fortschritte und der Spaß an der Bewegung motivieren dann dazu weiterzumachen.

Aber die Muskulatur ist nicht nur für unsere körperlichen Aktivitäten unverzichtbar, sondern auch für unseren Stoffwechsel und damit für unser Wohlbefinden und unsere Gesundheit insgesamt. Denn es sind die Bewegung und damit die Muskelarbeit, die dafür sorgen, dass mit dem arteriellen Blut Sauerstoff und Nährstoffe in die Zellen kommen und Abbauprodukte des Stoffwechsels mit dem venösen Blut aus den Zellen abtransportiert werden. Außerdem beeinflussen aktive Muskeln auch direkt den Stoffwechsel der Leber sowie des Gehirns und sorgen dafür, dass Knochen und Knorpel ernährt werden. Deswegen bezeichne ich die Muskulatur als unser größtes Stoffwechselorgan.

Allein ihr Gewicht beträgt bei einem etwa 70 Kilogramm schweren Mann normalerweise 30 Kilo. Bei gesunden aktiven Menschen liegt der Anteil der Muskelmasse am Gesamtkörpergewicht etwa um 40 bis 50 Prozent bei Männern und 25 bis 35 Prozent bei Frauen. Zumindest sollte das so sein, damit wir gesund bleiben. Menschen mit gut ausgebildeter Muskulatur wie Sportler oder Schwerstarbeiter erreichen sogar Anteile bis zu 65 Prozent. Bei Neugeborenen liegt der Anteil der Muskelmasse an der Körperzusammensetzung bei etwa 20 Prozent.

Wir alle besitzen 654 Muskeln, die rund um die Uhr Tag für Tag für uns arbeiten. In jedem noch so kleinen Muskel verbrennt unser Organismus in den Minikraftwerken der Zelle, den Mitochondrien, Zucker und Fette und produziert daraus die Energie,

die wir zum Leben benötigen: das Adenosintriphosphat oder kurz ATP. Die Muskulatur ist also der Motor unseres Energiestoffwechsels und verbraucht die Kalorien, die wir täglich beim Essen und Trinken zu uns nehmen.

Unsere durchschnittlich 30 Kilogramm Muskeln verbrennen täglich 1200 bis 1500 Kilokalorien in Ruhe, also auch, wenn wir nichts tun – einfach nur durch Atmen, Denken, Verdauen und Am-Leben-Sein. Zu diesem sogenannten Grundumsatz kommen noch die verbrauchten Kalorien für körperliche Aktivitäten hinzu, der »Leistungsumsatz«. Wenn Sie eher passiv leben, setzen Sie dabei etwa 600 Kilokalorien um. Führen Sie dagegen ein aktives Leben mit viel Bewegung und Sport, kann dieser Wert um weitere 500 bis 1000 Kilokalorien steigen, sodass Sie im Ganzen 2500 bis 3000 Kilokalorien pro Tag verbrennen. Körperlich anstrengende Arbeit oder Leistungssport verbrauchen noch mehr Energie.

Für unsere Gesundheit ist es wesentlich, dass sich die Zufuhr von Kalorien und ihr Verbrauch ungefähr die Waage halten, damit wir nicht nach und nach immer dicker, übergewichtig oder gar adipös werden. Muskeltraining kann nicht nur dabei nachhaltig weiterhelfen, sondern sorgt auf vielfältige Weise dafür, dass wir gesund bleiben, wie Sie im Verlauf dieses Buchs noch sehen werden. Um diese Zusammenhänge zu verstehen, schauen wir uns die Muskeln, ihren Aufbau und ihre Verbindung zu anderen Körperstrukturen jetzt genauer an.

Übrigens: Wenn ich von Muskeltraining rede, meine ich es in seiner allgemeinen Wortbedeutung: das Training der Muskulatur durch gezielte Maßnahmen zur Erhaltung und/oder Steigerung von Ausdauer, Kraft, Beweglichkeit und Fitness für den Sport und den Alltag im Allgemeinen. Muskeltraining ist also weit mehr als nur ein reines Krafttraining!

Weltrekorde der Muskeln

- Der größte (Fläche): *M. latissimus dorsi*, Großer Rückenmuskel
- Der größte (Volumen): *M. gluteus maximus*, Großer Gesäßmuskel mit 700 bis 1800 cm³
- Der stärkste: *M. masseter*, Kaumuskel. Der Amerikaner Richard Hoffman biss 1986 mit einer Kraft von 4337 Newton in ein Messgerät. Dies entspricht etwa einer Gewichtskraft von 442 kg!
- Der längste: *M. sartorius*, Schneidermuskel mit ca. 50 cm
- Der kleinste (quer gestreifte Muskel): *M. stapedius*, Steigbügelmuskel mit 5 bis 7 mm
- Die aktivsten: die Augenmuskeln mit etwa 100 000 Kontraktionen am Tag und sogar in der Nacht in der REM-Phase
- Der fleißigste und wichtigste: Myokard. Der Herzmuskel pumpt etwa 5 Liter (in Ruhe) bis 20 Liter (bei Belastung) pro Minute. Das sind 8000 bis 10 000 Liter am Tag.
- Der schnellste: *M. orbicularis oculi*. Der Augenringmuskel benötigt 0,3 Sekunden für einen Lidschlag.
- Die dicksten Oberarme der Welt hatte der ägyptische Bodybuilder Moustafa Ismail: unglaubliche 78 Zentimeter Umfang! Um dies zu erreichen, trainiert er zweimal täglich im Fitnessstudio und stemmt bis zu 500 Kilogramm Gewichte.

MUSKEL ist nicht GLEICH MUSKEL

Ein Muskel besteht aus vielen 1000 Muskelzellen, auch Muskelfasern genannt, die alle zusammenarbeiten. Damit wir die unzähligen, vielfältigen Aufgaben, sportlichen Aktivitäten und Bewegungen im Alltag überhaupt ausführen können, finden sich im Körper völlig unterschiedlich zusammengesetzte Muskeln. Mit Blick nur auf die Funktionen unterscheiden wir drei grundsätzlich verschiedene Muskeltypen:

1. die quer gestreifte Muskulatur beziehungsweise die Skelettmuskeln
2. die Herzmuskulatur
3. die glatte Muskulatur

Die quer gestreiften Muskeln und auch die Herzmuskulatur zeigen histologisch betrachtet, also mit dem Fokus auf die Gewebearbeit, helle und dunkle Bahnen, die unter dem Mikroskop als Streifen sichtbar werden. Diese Bahnen entstehen durch die regelmäßig wechselnde Anordnung der sogenannten kontraktiven Filamente (Proteinfäden) Aktin und Myosin, die für An- und Entspannung des Muskels zuständig sind (siehe Seite 51). Dabei unterscheidet sich die Herzmuskulatur von der Skelettmuskulatur physiologisch durch eine ausgeprägte Erregungs- und Reizweiterleitung der Zellen untereinander sowie durch die Fähigkeit, einen eigenen Rhythmus von elektrischen Erregungen zu entwickeln. Der wichtigste Unterschied ist jedoch, dass die Kontraktion, also die Anspannung, der Skelettmuskeln willentlich beeinflusst werden kann. Das ist bei der Herzmuskulatur nicht möglich – zum Glück!

Unsere inneren Organe bestehen aus glatter Muskulatur. Ihre kontraktile Filamente sind ohne erkennbare Ordnung verteilt, sodass diese Muskelfasern für unser Auge glatt aussehen. Weitere wichtige Unterschiede sind, dass die Zellen der glatten Muskulatur zum einen wesentlich langsamer kontrahieren und zum anderen auch nicht unserer Willkür und willentlichen Beeinflussung unterliegen. Ihre Steuerung und Aktivierung ist sehr eng mit der jeweiligen Organfunktion verbunden.

Problemfall glatte Muskulatur

Bei vielen Erkrankungen spielen die glatten Muskeln eine bedeutsame Rolle. Funktionsstörungen der glatten Muskulatur kommen gerade im Zusammenhang mit zivilisationsbedingten Beschwerden häufiger vor als eine alleinige Störung der Skelettmuskeln. Da die glatte Muskulatur unsere Organfunktionen steuert und kontrolliert, geht eine Veränderung oder Verschlechterung dort immer sofort einher mit einem Funktionsverlust des betroffenen Organs.

Eine Veränderung des Tonus, also der Spannung, der glatten Muskeln wird zum Beispiel für viele Veränderungen an den Blutgefäßen verantwortlich gemacht, weil diese dadurch nicht die notwendige optimale Entspannung erreichen. Die Folgen dieses Hypertonus sind beispielsweise hoher Blutdruck, koronare Herzkrankheit oder im Bereich der Lunge das Auftreten von Asthma bronchiale.

Merkmale und Besonderheiten der einzelnen Muskeltypen

Merkmale/ Besonderheit	Skelett- muskulatur	Herz- muskulatur	Glatte Muskulatur
Dicke	40–100 mm	10–20 mm	5–10 mm
Länge	bis 20 cm	100–150 mm	30–200 mm
Kern	viele Kerne	ein Kern	ein Kern
Anordnung der kontraktilen Filamente	parallele Anordnung, Sarkomere	parallele Anordnung, Sarkomere	gitterartiges Netzwerk, kei- ne Sarkomere
nervale Versorgung	somatisches Nervensystem	vegetatives Nervensystem	vegetatives Nervensystem
Erregungsüber- tragung von Zelle zu Zelle	nein	über Gap Junction	über Gap Junction

(nach Prof. Jürgen Hescheler 2019)

Aufbau der Muskulatur

Anatomisch lässt sich ein Skelettmuskel in Muskelkopf und Muskelbauch unterteilen, in der Fachsprache Caput und Venter genannt. Dabei ist der Muskelbauch über Sehnen mit dem übrigen Bewegungssystem verbunden. Kopf und Bauch der Muskulatur definieren durch ihre Anzahl die unterschiedlichen Formen der Skelettmuskeln:

- Hat ein Muskel mehrere Ursprünge, sind auch entsprechend viele Muskelköpfe vorhanden wie beim *M. biceps brachii* (Bizeps) mit seinen zwei oder beim *M. quadriceps femoris* (vierköpfiger Oberschenkelmuskel) mit seinen vier Köpfen.
- Muskeln mit einem Muskelkopf und nachgelagerten

Zwischensehnen weisen mehrere Muskelbäuche auf wie beim *M. rectus abdominis*, dem flächigen, geraden Bauchmuskel.

- Flächenhaft angelegte Muskeln mit entsprechenden flächigen Sehnen hingegen besitzen meist keinen typischen Muskelbauch wie der *M. trapezius* oder der *M. latissimus dorsi* im oberen Rücken.
- Einige Muskeln sind ringförmig angelegt und brauchen dadurch keinen typischen Muskelkopf. Sie erledigen vor allem Verschlussfunktionen wie der *M. sphincter ani externus* (der Afterschließmuskel) oder der *M. orbicularis oris* (Mundringmuskel, der die Lippen schließt oder spitzt).

Zusätzlich unterscheiden wir Muskeln nach ihrer Fiederung. Gefiederte Muskeln bestehen aus Muskelfasern, die nicht wie sonst parallel zur Sehne verlaufen, sondern direkt an der Sehne schräg ansetzen:

- Bei einfach gefiederten Muskeln setzen die Muskelzellen an einer Seite der Sehne an wie zum Beispiel die Kniebeugemuskulatur auf der Rückseite des Oberschenkels (*M. semitendinosus* und *semimembranosus*) oder auch der lange Zehenstrecker (*M. extensor digitorum longus*).
- Bei doppelt gefiederten Muskeln verlaufen die Fasern gabelförmig von der Ursprungssehne bis zu beiden Seiten der Ansatzsehnen, etwa beim *M. rectus femoris*, als ein Anteil der Kniestreckmuskulatur.
- Bei komplex gefiederten Muskeln ändern die Muskelzellen die Richtung. Ein Beispiel ist der *M. deltoideus* (Deltamuskel) mit all seinen unterschiedlichen Anteilen und Funktionen am Oberarm.

Gefiederte Muskeln können große Kräfte entwickeln, obwohl sie nur wenig Platz im Körper benötigen.

Außerdem wird zwischen Ursprung und Ansatz des Muskels unterschieden, also zwischen seinem Beginn und seinem Ende. Was als Ursprung oder Ansatz bezeichnet wird, ist nicht einheitlich definiert. In der Regel befinden sich an den Extremitäten die Ursprünge eines Muskels proximal (rumpfnah) und die Ansätze distal (rumpffern).

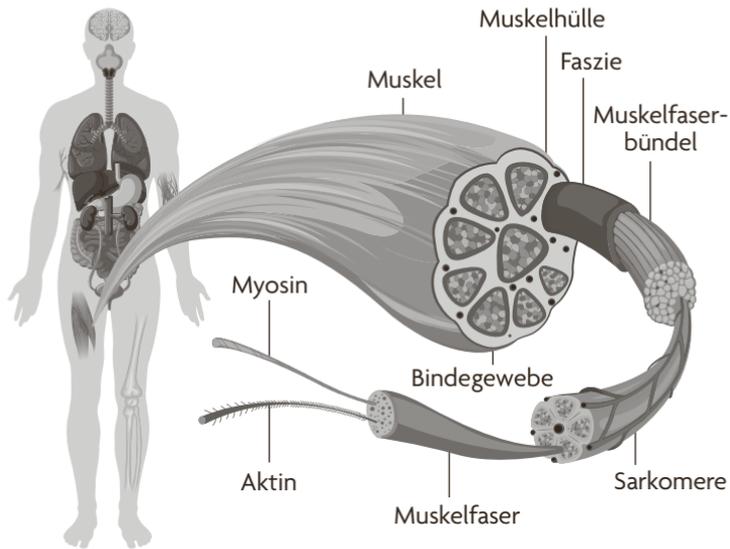
Da Muskeln aber immer in ihrer Funktion anatomisch betrachtet werden sollten, sind bei der Beschreibung von Bewegungen und von sportlichen Aktivitäten nicht der Ursprung oder Ansatz entscheidend, sondern das sogenannte *Punctum fixum* und das *Punctum mobile*. Das *Punctum fixum* beschreibt die Befestigung am unbewegten Skelettabschnitt, während das *Punctum mobile* die Fixierung am bewegten Abschnitt beschreibt. Das klingt vielleicht kompliziert, lässt sich aber mithilfe des Bauchmuskeltrainings gut verstehen: Sie können Ihre Bauchmuskulatur einerseits über eine Bewegung des Rumpfs mit fest aufgestellten Beinen wie beim Crunch, der Bauchpresse, trainieren oder auch umgekehrt mit fest gestelltem Rumpf durch Bewegungen der Beine. In beiden Fällen erhält die Bauchmuskulatur einen Trainingsreiz, allerdings sprechen die unterschiedlichen Übungen nicht dieselben Fixationspunkte der Muskeln an. Diese Unterscheidung ist für eine zielgerichtete Ansprache von speziellen Muskelanteilen von Interesse.

Grundsätzlich setzen sich unsere Muskeln, und zwar alle drei Typen, aus fünf wesentlichen Bestandteilen zusammen:

1. **Die Muskelhülle, das Sarkolemm**, besteht aus der Muskelfaszie (dazu später ausführlicher) und lockerem Verbindungsgewebe und umhüllt, wie das Wort schon sagt, den Muskel wie ein Sack oder Beutel.

2. **Das Muskelfaserbündel** umfasst mehrere Fasern beziehungsweise kleinere Bündel, die ein dünnes Bindegewebe umgibt. Diese unterscheiden wir noch in Sekundärbündel, die wir als »Fleischfaser« mit bloßem Auge sehen können und die sich wiederum aus vielen Primärbündeln zusammensetzen.
3. **Als Muskelfaser, Muskelzelle oder Myozyt** bezeichnen wir den Verbund der Kraftwerke eines Muskels. Dies ist ein spindelähnliches Gebilde, in dem sich die muskulären Funktionseinheiten, die Myofibrillen, verbinden.
4. **Die Muskelfibrille oder Myofibrille** ist die Funktionseinheit des Muskels und besteht aus unzähligen winzigen, kastenförmig angeordneten Aktionseinheiten, den sogenannten Sarkomeren.
5. **Die kontraktile Einheiten oder Sarkomere** sind die kleinsten Funktionseinheiten der Muskulatur. Kleine Proteinfäden, die sogenannten kontraktile Filamente Aktin und Myosin, verschieben sich ineinander und bewirken so das Zusammenziehen, also die eigentliche Kontraktion, des Muskels. Dabei sorgt noch ein drittes Protein in den Sarkomeren, das Titin, für eine gute Ausrichtung der Filamente Aktin und Myosin. Ähnlich einem Gummiband führt es die beiden Proteinfäden nach einer Positionsveränderung (besonders nach einer Dehnung) wieder zurück in die Ausgangsposition.

Jeder dieser fünf Bestandteile, also jede einzelne Zelle und Faser, jedes Filament, ist dabei von feinem Bindegewebe umgeben, dem sogenannten myofaszialen Gewebe. Nur damit kann das sehr komplexe Gebilde eines Muskels als Gesamtorgan funktionieren und seine kontraktile Arbeit erfüllen.



Feinstruktur des Skelettmuskels

Muskeln arbeiten immer zusammen

Ein Muskel allein kann allerdings nichts ausrichten, denn er braucht immer mindestens einen Mitspieler. Zusammen können sie dann ein Gelenk beugen und strecken: Am Oberarm beugt der *M. biceps brachii* das Ellbogengelenk, und der *M. triceps brachii* streckt das Ellbogengelenk. Die beiden Muskeln sind also Gegenspieler. Aus diesem Grund nennen wir den aktuell aktiven Muskel »Agonist« und seinen aktuellen Gegenspieler »Antagonist«. Wenn der Agonist aktiv ist, muss der Antagonist loslassen und sich entspannen, damit der arbeitende Muskel seine Kraft optimal und ungehindert entfalten kann. Je nach Bewegungsrichtung nehmen beide Muskeln mal die Position des Agonis-

ten oder des Antagonisten ein. Dieses abwechselnde und fein abgestimmte Zusammenspiel macht die Muskeln zu Teamplayern.

Wenn Anfänger eine neue Bewegung erlernen, ist genau diese Abstimmung zwischen den beiden Muskelgruppen anfangs sehr grob und ungenau. Meist entspannt sich der Antagonist dabei zu Beginn des Bewegungslernens nicht ausreichend, sodass keine optimale Kraftentfaltung des Agonisten möglich wird. Bewegungslernen steigert dies zunehmend, und die Abstimmung wird immer besser und exakter.

Jene Muskeln, die sich gegenseitig bei einer Bewegung und Aktivität unterstützen, nennen wir Synergisten. Diese finden wir vor allem an den großen Gelenken, weil dort ein Muskel meistens nicht in der Lage ist, eine Bewegung allein und selbstständig auszuführen. So besteht beispielsweise der vordere Oberschenkelmuskel aus vier Anteilen, die alle synergistisch agieren, aber auch Einzelaufgaben übernehmen können. Gleiches gilt auch auf der Rückseite des Oberschenkels, wo mehrere Beugemuskeln die Kniegelenkbewegung einleiten und ausführen.

Manchmal werden sogar Gegenspieler zu Synergisten, etwa wenn in einem Gelenk Stabilität hergestellt werden muss wie bei der Landung nach einem Sprung im Bereich des Sprung-, Knie- und Hüftgelenks. Eine kontrollierte Landung klappt nur, wenn alle Muskeln gleichzeitig eine starke Muskelmantelspannung für das Gelenk aufbauen und dadurch gemeinsam die Kraft abfangen, die von außen auf die Gelenke einwirkt.

Auch im Alltag finden sich nur ganz selten Bewegungen wie jene der Finger oder der Stirn, die nur von Einzelmuskeln isoliert ausgeführt werden. Fast alle Bewegungen werden durch sich gegenseitig unterstützende Muskeln möglich gemacht. Gerade komplexe Bewegungen setzen in der Nähe liegende Muskeln gemeinsam um. Dieses Zusammenspiel unterschiedlicher Mus-

keln wird mit dem Begriff »Muskelkette« bezeichnet. So finden sich zum Beispiel eine Extensoren- oder auch eine Flexorenkette, die einerseits die Streckung oder andererseits die Beugung über einzelne Gelenke hinaus bei komplexen Bewegungen ermöglicht. Um zum Beispiel aus dem Sessel aufzustehen, arbeiten der *M. triceps surae* (dreiköpfiger Wadenmuskel), der *M. quadriceps femoris* (vierköpfiger Oberschenkelmuskel) und der *M. gluteus maximus* (großer Gesäßmuskel) als sogenannte Streckerschlinge der Beine eng zusammen, strecken also die gebeugten Beingelenke.

BINDEGEWEBE auch im MUSKEL

Jeder Muskel, der ja vor allem aus aktivem Gewebe besteht, besitzt auch nichtkontraktile Elemente, und zwar in Form von Spuren des passiven Bindegewebes. Es wird auch häufig faszielles Gewebe des Muskels oder wie bereits erwähnt myofaszielles Gewebe genannt. Im Muskelbauch schützt es die Muskelzellen und ihre Eiweiße sowohl während einer Kontraktion, bei der ein Muskel anschwillt und dicker wird, als auch bei einer Längenveränderung, einer Dehnung.

Eine weitere Aufgabe des muskulären Bindegewebes ist die Übertragung der Kontraktion auf die Sehne und damit auf den Knochen, sodass eine Bewegung möglich wird. Daher beginnt das Bindegewebe am Knochen und wird dann im weiteren Verlauf zur Sehne. Ihr Bindegewebe geht in das Bindegewebe des Muskelbauchs über, wird auf der anderen Seite dann wieder zur Sehne, die wiederum eine Verbindung mit einem anderen Knochen eingeht. Das Bindegewebe verbindet also zwei Knochen.

Dank dieser Verknüpfung und durch die Funktion des kontraktilen Muskelgewebes können Knochen gegeneinander bewegt werden.

Die Bindegewebszellen des Muskelbauchs sind genauso wie jene des Muskel-Sehnen-Übergangs sogenannte Myoblasten und Fibroblasten. Diese Zellen werden überwiegend von den Kollagenfasern der Typen I, III, V und VI gebildet:

- Typ I: faserbildend in Haut, Sehnen, Knochen und Knorpel
- Typ III: faserbildend in Haut, Muskeln und Bindegewebe
- Typ V: faserbildend in interstitielles (dazwischenliegendes) Bindegewebe
- Typ VI: faserassoziiert in Bindegewebe

Insgesamt konnten bisher 25 verschiedene Typen an Kollagenfasern beschrieben werden.

Das gesamte Muskelgewebe und auch sein Bindegewebe sind stark durchblutet. Deswegen können Muskeln nach einer Verletzung recht rasch heilen. Ein oft unterschätztes Problem für die Durchblutung stellt die Kontraktion dar, denn wenn sich der Muskel zusammenzieht, erhöht sich der Druck innerhalb des Muskelgewebes deutlich und damit auch der Druck auf die Gefäße: Es ist ähnlich wie bei einem Wasserschlauch, auf den Sie sich stellen und damit den Wasserfluss kappen. Spannen wir einen Muskel mit etwa 20 Prozent seiner maximalen Kontraktionskraft an, wird die Durchblutung bereits stark gedrosselt. Bei einer Maximalkraft von 40 Prozent gehen wir davon aus, dass die Durchblutung im Muskel und in seinem Bindegewebe nahezu gestoppt ist.

Keine Durchblutung bedeutet jedoch keine Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen sowie keinen Abtransport von »Stoffwechsellüll«. Entsprechend kann ein chronisch gesteigerter Muskeltonus, der einer permanenten Muskelkontraktion ent-

spricht, zu umfassenden Durchblutungsstörungen führen und damit zu einer nachhaltigen Schädigung des Muskelgewebes. Das ist in unserer »Sitzwelt« gar nicht selten und kommt beispielsweise häufig im Schulter-Nacken-Bereich bei einseitiger Schreibtischarbeit am Computer vor.

Bei jeder Aktivität des Muskels wird sein Bindegewebe ebenfalls belastet, denn der Muskelbauch wird dicker. Dadurch strafft und verlängert sich das myofasziale Gewebe und stabilisiert so das Muskelgewebe. Gleichzeitig übertragen die Bindegewebe die Kontraktionskraft auf die Sehne. Bei regelmäßiger Belastung, die fortwährend einen Auf- und Umbau des Bindegewebes stimuliert, bleibt die Stabilität des muskulären Bindegewebes dauerhaft erhalten. Die Belastungsreize sorgen dafür, dass sich Kollagenmoleküle organisieren und belastungsstabil anordnen. Regelmäßige Bewegungsreize wie Kontraktion und auch Dehnung sorgen also dafür, dass das muskuläre Bindegewebe seine schützende und stabilisierende Funktion langfristig erfüllen kann.

Ohne Sehnen keine Muskeln

Auch die Sehnen bestehen aus Bindegewebe. Sie sind, wie bereits beschrieben, in das Bindegewebe der Muskeln eingebunden und beginnen am Knochen. Im weiteren Verlauf werden sie dann zur typischen Sehne und gehen in den Muskel über, durchziehen ihn und entwickeln sich auf der anderen Seite des Muskelbauchs wieder zur Sehne bis hin zum Knochen. Sehnen haben die Aufgabe, die Aktivität des Muskels auf den Knochen zu übertragen und damit Bewegungen zu ermöglichen. Deswegen müssen Muskeln auch immer im Zusammenhang mit ihrer zugehörigen Sehne betrachtet werden.

Sehnen sind feste, meist runde Strukturen von weiß glänzender Farbe, und ihr Aussehen erinnert an ein Seil oder Kabel wie die kräftige Achillessehne. Es finden sich im Körper allerdings auch flache breite Sehnen, wie zum Beispiel die des *M. tensor fasciae latae* seitlich am Oberschenkel: Ihre Form ähnelt einem Sicherheitsgurt im Auto.

Die Aufgabe einer Sehne besteht darin, die Zugbelastung der Muskulatur aufzunehmen, die während einer Kontraktion oder Dehnung eines Muskels entsteht. Regelmäßige Reize sorgen dafür, dass sich die Sehne anpasst, damit sie belastbar bleibt. Das geschieht, indem Sehnen ihre Kollagenfasern ausrichten, auf- und umbauen. Sie reagieren genau wie die Muskeln auf Training. Dies wies erst 2021 eine Forschungsgruppe um Prof. Jonathan Quinlan von der University of Birmingham nach. Sie verglich Männer um die 25 Jahre mit solchen um die 68 und ließ sie dreimal wöchentlich über zwei Monate trainieren. Dabei stellten die Wissenschaftler fest, dass die Sehnen der älteren zwar länger zur Anpassung benötigten als nur vier Wochen wie bei den jungen Leuten. Aber nach acht Wochen hatten sie einen vergleichbaren Status erreicht. Positive Veränderungen an der Muskel-Sehnen-Einheit können also über die gesamte Lebensspanne erreicht werden! Der Organismus reguliert die Anpassung derart, dass es nicht zu einem Ungleichgewicht zwischen Muskeln und Sehnen kommt.

Wird eine Sehne jedoch ruhiggestellt, weil vielleicht der zugehörige Knochen gebrochen ist, verliert sie innerhalb von vier Wochen sehr an Belastbarkeit: Diese trägt dann nur noch rund 20 Prozent, wie der Physiotherapeut Frans van den Berg aus Oppenheim in seinem Buch *Angewandte Physiologie* 2003 schrieb. Um dann die volle Belastbarkeit wiederherzustellen, benötigt man bei einer Sehne etwa zwischen vier Monaten und einem ganzen Jahr. Das ist gerade für Sportlerinnen und Sportler eine lange Zeit. Trotzdem sollten Sie Ihrer Sehne diese Erholungs-

pause gönnen, damit Sie sie danach wieder voll beanspruchen können.

Sehnen passen sich aber auch an das regelmäßige Training an, und so regt gerade ein intensives Muskeltraining die Kollagensynthese der Gewebe an. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die Menge an Kollagen in der Sehne trotz erhöhter Synthese kaum zunimmt. Das liegt daran, dass gleichzeitig etwa genauso viel Kollagen ab- wie aufgebaut wird. Studien zeigen, dass durch Training überwiegend die dicken Kollagenfasern abgebaut und durch dünnere kollagene Fibrillen (mikroskopisch kleine Fasern) ersetzt werden. Dadurch nimmt die Stabilität der Sehne deutlich zu, ihre Elastizität dagegen reduziert sich etwas. Die Sehne wird deshalb zwar bei Belastung stabiler, ist aber durch den Verlust an Elastizität etwas anfälliger für Verletzungen. Das kann besonders bei schnellen, hohen Belastungen, zum Beispiel bei Sprints oder Sprüngen, manchmal zu einem Problem werden.

Eine ständige Zugbelastung führt dazu, dass Sehnen und Bänder ein wenig lockerer werden. Dies ist allerdings nur mit sehr lang andauernden Zugbelastungen zu erreichen, die beim Training nur sehr selten auftreten. Lockerungszeichen zeigen sich vor allem bei zyklischen Bewegungen wie beim Radfahren oder beim Rudern an den Bändern und Sehnen, allerdings erholen sich die Strukturen relativ schnell und kehren bereits nach kurzer Zeit wieder in den alten Zustand zurück. Wer dagegen beispielsweise die Achillessehne dehnen und lockerer machen möchte, kann dies nur durch sehr lange Belastungen erreichen: 15 bis 30 Minuten sind dabei die untere Grenze.

Auch die Temperatur beeinflusst die Formbarkeit einer Sehne: Pro ein Grad Temperaturanstieg verändert sich die Verformbarkeit im Gewebe um etwa ein Prozent. Aufgewärmte Sehnen sind also verformbarer als »kalte« Sehnen und passen sich besser an die Belastung an.

Bänder – Gegenspieler der Sehnen

Auch unsere Bänder sind Verbindungen aus Bindegewebe zwischen zwei Knochen. Im Unterschied zu den Sehnen, die die Kraft des Muskels auf die Knochen übertragen, stützen und stabilisieren die Bänder die Gelenke, also die Verbindungen zwischen zwei Knochen. Dazu gehört, dass sie den Bewegungsspielraum des Gelenks sinnvoll begrenzen.

Faszien – das besondere Bindegewebe

Knochen, Muskeln, Sehnen kennt jeder von uns. Nun reden plötzlich alle von den Faszien, egal ob im Sport, in der Therapie, im Training oder in der Gesundheitsvorsorge. Tatsächlich wissen wir erst seit einigen Jahren mehr über Faszien und ihre Funktionsweise. Um den gesamten Muskel mit seinen Sehnen und Sehnenscheiden verlaufen sogenannte Faszien, die einzelne Muskeln beziehungsweise Muskelgruppen voneinander trennen.

Dachte man früher, die sehr feinen oder auch recht dicken weißen Häute an Muskeln und Knochen wären nur eine Art Verpackung oder Trennschicht, so weiß man heute, dass sie ein aktives Gewebe mit unzähligen Nervenzellen sind. Endlich erhält dieses wichtige Bindegewebe seine verdiente Beachtung. Darüber freue ich mich sehr.

Faszien sind also vereinfacht gesagt das »faserige« Bindegewebe, das überall im Körper zu finden ist, überwiegend aus kollagenen Fasern besteht und sehr fein abgestimmt mit dem Muskelgewebe interagiert. Faszien sind das Bindeglied zwischen allen menschlichen Zellen und geben durch ihr unendliches Fa-

sernetzwerk unserem Körper seine Struktur. Als extrazelluläre Elemente besitzen sie auch spezielle mechanische Eigenschaften. Darüber hinaus üben sie verteidigende (defensive) Funktionen aus, die bedeutsam für unser Immunsystem sind und auf zellulären Mechanismen beruhen.

Erst seit dem 1. internationalen Faszien-Kongress 2007 an der Harvard Medical School in Boston wurden sämtliche faserigen kollagenen Bindegewebsstrukturen des menschlichen Körpers unter dem Begriff Faszien zusammengefasst. Seitdem werden sie als Netzwerk dargestellt, das den menschlichen Körper durchdringt und all seine Organe umhüllt und miteinander verbindet. Unter anderem zählt man Bänder, Sehnen, Sehnenplatten, das Bindegewebe im Muskel und auch die Gelenkkapseln zu den faszialen Geweben. Eine Faszie ist mit der nächsten verknüpft, sodass alle Faszien miteinander verbunden sind und ein ununterbrochenes Netz bilden.

Grob unterteilen lassen sich die Faszien in zwei Kategorien, nämlich das »lockere« und das »dichte« oder »straffe« Bindegewebe. Das lockere Bindegewebe ist das »Füll- und Hüllgewebe« des Körpers, das relativ zellarm und ein wenig chaotisch angeordnet ist. Es enthält sehr viel von der sogenannten Grundsubstanz, die im Raum zwischen den Zellen viel Wasser bindet. Dieses fasziale Gewebe bildet überall im Körper ein verzweigtes kollagenes Netzwerk und findet sich besonders in der oberflächlichen Körperfaszie (*Fascia superficialis*), an den inneren Organen und auch im Epimysium (dem mit der Muskulatur verbundenen lockeren Bindegewebe, das den Muskelbauch umhüllt).

Dagegen gibt das »dichte« Bindegewebe Form und Struktur mit seinen parallel oder mehrschichtig verlaufenden Kollagenfasern, die gut organisiert und immer in der jeweiligen Belastungsrichtung ausgerichtet sind. Es wird von vielen Fasern mit unterschiedlicher Festigkeit gebildet.