

DR. TOM MICHAUD

---

# VERLETZUNGSFREI LAUFEN

Lauftechnik verbessern, Verletzungen vorbeugen  
und Beschwerden richtig behandeln

**riva**

© des Titels »Verletzungsfrei laufen« von Dr. Tom Michaud (ISBN Print: 978-3-7423-2149-7)  
2022 by riva Verlag, Münchner Verlagsgruppe GmbH, München  
Nähere Informationen unter: <http://www.riva-verlag.de>

# Vorwort

Mein guter Freund, der Laufguru Dr. Tom Michaud, ist einer der inspirierendsten Wissenschaftler und Kliniker, die ich kenne. Er hat mein Leben verändert. Und ich teile seine Botschaft in meinem eigenen Buch *Run for Your Life*. Bei meiner Recherche für dieses war Dr. Michauds *Human Locomotion* das erste Buch, das ich las, um nicht zu sagen: studierte. Die Evolutionsbiologie bildet die Grundlage, um Gesundheit zu verstehen – wenn wir dieses Wissen haben, können wir besser nachvollziehen, warum jemand krank wird oder sich verletzt. Wir leben in einer Welt, die nicht zu unseren naturgegebenen Anlagen passt, wenn es um Bewegung, Schlaf und Essen geht. Dr. Michauds Ansatz steht in der Tradition bedeutender klinischer Forscher der Vergangenheit: Dieser Sichtweise nach sollte jeder Sportler und jeder Patient als Rätsel betrachtet werden, als Rätsel, das es zu lösen gilt. Dabei beginnt man mit den Bewegungsgrundlagen – mit dem Laufen und Gehen.

Vor einem halben Jahrhundert beschrieb der aus Oregon stammende Trainer und Nike-Mitbegründer Bill Bowerman in seinem Buch *Jogging* »lockeres Laufen« als beste Möglichkeit, das Herz-Kreislauf-System und das Atmungssystem zu trainieren. Bowerman merkte auch an, für Einsteiger sei es ideal, abwechselnd zu gehen und zu laufen. Für Menschen, die gerade erst mit dem Fitnessstraining beginnen, ist das Laufen oftmals zu intensiv. Gehen ist der passende Einstieg für sie. Sind diese fitter, fordert das Gehen sie allerdings nicht mehr genug heraus. Auf dem Weg zum gesunden Lebensstil zahlt sich das Vermögen, schmerzfrei joggen zu können, aus. Man kann so fitter werden und wird immer mehr Zeit mit Joggen und weniger Zeit mit Gehen verbringen.

Die erste Ausgabe des hier vorliegenden Buchs ist zur Pflichtlektüre für alle Mitarbeitenden meines Laufbedarfsgeschäfts Two River Treads geworden. Generell ist es für alle Laufsportbegeisterten und Kliniker, die sich mit dem Laufen auseinandersetzen, gemacht. In dieser zweiten Ausgabe führt Dr. Michaud die Grundlage, die Bowerman legte und der Millionen Amerikaner folgten, weiter aus. Bowermans *Jogging* war ein Bestseller, der sich über eine Million Mal verkaufte – vielleicht wird Dr. Michaud ähnlich erfolgreich sein. Wie es auch kommen mag – in jedem Fall gibt er eine wichtige Botschaft an Läufer: die, das Tempo zu drosseln, sich in allen Bereichen des Lebens auf die Grundlagen der Bewegung zu besinnen und Anatomie wie Physiologie zu berücksichtigen.

Auf meiner Laufreise bin ich Dr. Michaud viele Male begegnet. Auch mit 53 Jahren bin ich der Meinung, dass es nie zu spät ist, etwas Neues zu lernen und das Wissen mit anderen zu teilen. Selbst wenn ich inzwischen aufgrund meines Alters und neuer Prioritäten gemächlicher werde, ist es mir gelungen, seit 30 Jahren Marathons in unter drei Stunden zu laufen. Und das, während ich Vollzeit als Mediziner arbeite und nebenher Läufe organisiere; ganz zu schweigen von dem kleinen Laufladen, den ich besitze und führe. Einige Angebote meines Laufladens haben sich aus dem entwickelt, was ich von Dr. Michaud gelernt habe, darunter die Analyse der Fußkraft und -funktion sowie der Kraft und Bewegung.

Meine Marathonerfahrung hat mir im Rückblick neue Perspektiven aufs Laufen beschert. Heutzutage neigen viele dazu, auf dem Weg zum Erfolg Tricks und Kniffe anzuwenden. Ich stimme zu, dass dies eine schnelle Leistungssteigerung bewirken kann. Nur ist das letzte Wort damit noch nicht gesprochen, wenn wir auch langfristig gesund sein wollen und lebenslang laufen möchten. Viele Leute lesen etwas, schreiben etwas und stellen Behauptungen über etwas auf, was mit Blick auf kurzfristige Ergebnisse wahr ist. Aber sie laufen selbst gar nicht oder behandeln keine Läufer – manche mögen zumindest früher einmal Läufer gewesen sein.

Der mittlerweile verstorbene Dr. George Sheehan schrieb immer wieder: »Wir alle sind ein Experiment mit einem Teilnehmer.« Das stimmt, aber ich denke, man muss die Prinzipien der allgemeinen Gesundheit verstehen und wissen, wie man den Körper behandeln sollte, um dieses Experiment am Laufen zu halten. Seit meinen Fußoperationen im Jahr 2000 habe ich die Veröffentlichungen von Dr. Michaud gelesen, verinnerlicht und beachtet. Die meisten Befürworter von »Pain is gain« (auf Deutsch: »Nur mit Schmerz macht man Fortschritte«) können ihre Ansicht nicht mit eigenen Leistungsdaten oder Daten ihrer Klienten oder Sportler untermauern – und dies schon gar nicht, wenn es um längerfristige Erhebungen geht. Seit 2000 habe ich keinen Boston-Marathon verpasst (und seitdem hatte ich auch keine Laufverletzungen). Selbst bei extremen Wetterverhältnissen in manchen Jahren waren meine Zeiten beständig, wobei meine Leistungsfähigkeit altersbedingt nur geringfügig nachgelassen hat. Ich habe weit über 100 Marathons und viele Ultraläufe gefinisht und meine Knie nicht »kaputt gemacht« – ein Beweis für Dr. Michauds Lehre.

Was ist also das Geheimrezept von langfristig gesundem Laufen?

Seit 2015 bringen wir den Rekruten während der Grundausbildung bei der US Air Force bei, langsamer zu laufen, stärker zu werden und sich besser zu bewegen. Früher sahen sich die Flieger bei Läufen mit selbst gewähltem Tempo gezwungen, bei der Spitzengruppe zu bleiben. Oder sie sahen sich zumindest genötigt, in einer Gruppe zu sein, die schneller unterwegs war, als sie eigentlich hätten laufen sollen. Beim Militärfitnesstraining war es üblich, jeden Tag an die Grenzen zu gehen. Läufer »dehnten« sich, lernten aber nie, sich zu bewegen. Diese Trainingsmethode führte zu unverhältnismäßig vielen Verletzungen des Haltungs- und Bewegungsapparates. Das Vorgehen drehen wir nun um und lernen die Prinzipien von Dr. Michaud, bevor wir das System mit Geschwindigkeit und Schnelligkeit belasten. Nachdem ich selbst auf diese Weise trainiert hatte, führte ich im Alter von 50 Jahren einen  $VO_{2max}$ -Test durch, das heißt, ich testete meine maximale Sauerstoffaufnahme; mein Ergebnis lag bei 65 Milliliter in einer Minute pro Kilogramm Körpergewicht, das war der höchste Wert für alle Altersgruppen in dieser Militäreinrichtung, in der über 1000 Tests durchgeführt wurden. Wenn ich nach meiner Trainingsmethode gefragt werde, erkläre ich Dr. Michauds Prinzipien und danke ihm, dass er mir Mut gemacht hat, auf diese Weise vorzugehen.

Jeder hat das Geburtsrecht zu laufen. Dass beide Füße gleichzeitig in der Luft sind, hat etwas Magisches an sich. In meiner Community lehren wir diese Prinzipien durch unseren Laufladen bei jedem

»Von der Couch zum 5-Kilometer-Lauf«-Workshop und Laufeinsteiger-Seminar. Jedes Mal macht sich ein erleichtertes Lächeln auf den Gesichtern breit, wenn wir mit der Vorstellung aufräumen, Laufen müsse wehtun. Nehmen Sie dieses Buch und lesen Sie es – es wird Ihr Leben und das Leben anderer verändern, die ein aktives Leben auch im Alter führen möchten. Vielen Dank, Dr. Michaud.

**Mark Cucuzzella**, MD (Doktor der Medizin), FAAFP (Fellow of the American Academy of Family Physicians, auf Deutsch: verdientes Mitglied der amerikanischen Akademie von Allgemeinmedizinerern)  
Professor West Virginia University School of Medicine  
Lieutenant colonel US Air Force (a. D.)  
Renndirektor Freedom's Run  
[www.DrMarksDesk.com](http://www.DrMarksDesk.com)

# Einleitung

Seit der Veröffentlichung der ersten Ausgabe dieses Buchs im Jahr 2013 wurden neue Techniken für die Behandlung und Prävention von Verletzungen entwickelt. Noch wichtiger ist, dass wunderbare neue Forschungsergebnisse gezeigt haben, dass es tatsächlich einen idealen Laufstil gibt. Vorherige Studien hatten nahegelegt, dass Läufer weniger effizient werden, wenn sie ihre selbst gewählte Schrittlänge oder -frequenz verändern müssen. Deshalb hatte man angenommen, dass Läufer die angeborene Fähigkeit besitzen, den für sie idealen Laufstil zu wählen. Die neueste Forschung zeigt, dass die Theorie »Läufer wählen selbst den besten Laufstil« nicht stimmt.

2017 werteten Wissenschaftler aus dem Vereinigten Königreich<sup>1</sup> ausführlich die Biomechanik und den Stoffwechsel von beinahe 100 Freizeidläufern aus. Sie zeigten so, dass sehr spezielle Veränderungen der Körperhaltung sie nicht nur effizienter beim Laufen machten, sondern ihnen auch schnelleres Laufen ermöglichen konnten. Ich persönlich bin der Meinung, dass diese Veränderungen des Laufstils auch das allgemeine Verletzungsrisiko senken. Eine Studie aus dem Jahr 2019 wies nach, dass langsamere Freizeidläufer, die verletzungsfrei bleiben möchten, mit dem Wechsel zu einer Lauftechnik ohne Flugphase, dem *Ground Running*, die Stoßintensität um 35 Prozent und die Belastung des Bewegungsapparats um 34 Prozent reduzieren<sup>2</sup>. Interessanterweise erhöht es die Stoffwechselrate der Läufer um fünf Prozent, wenn sie statt des konventionellen Laufens das *Ground Running* praktizieren. Das bestätigt: *Ground Running* ist eine hervorragende Möglichkeit, sowohl fit zu bleiben als auch Verletzungen zu vermeiden. Da es kaum Training erfordert, vom normalen Laufen zum *Ground Running* zu wechseln, lässt sich das Verletzungsrisiko mit wenig Aufwand (oder sogar ohne Aufwand) deutlich senken.

Da manche Teile dieses Buchs relativ technisch sind, befasst sich Kapitel 1 mit dem nötigen Wissen über Anatomie. Kapitel 2 erklärt, was während des Gehens und Laufens im Körper geschieht. Wie wichtig es ist, in den Muskeln und Sehnen Energie zu speichern und die Energie wieder an sie zurückzugeben, wird dabei immer wieder betont. Kapitel 3 geht auf neue Testverfahren ein, die man zu Hause durchführen kann, um das eigene Verletzungsrisiko zu ermitteln. Zudem gibt es einen Überblick zu den neuen Techniken, die der Verbesserung von Sehnenelastizität und Muskelkraft dienen. Die in diesem Buch vorgestellten Übungsroutinen helfen nicht nur, schneller zu laufen, sondern sollten auch dazu beitragen, Unfälle und Schäden zu vermeiden.

Ein vollkommen neues Kapitel wurde hinzugefügt. In diesem wird erklärt, wie man zu Hause seinen Laufstil professionell analysieren kann. Kapitel 4 geht auf alle notwendigen Aspekte der Laufanalyse ein und erläutert, wie man Schritt für Schritt einen von der Laufgeschwindigkeit abhängigen idealen Laufstil entwickelt. Darauf folgt Kapitel 5, ein aktualisiertes Kapitel über Laufschuhe. Immerhin haben in den letzten fünf Jahren eine Reihe innovativer Modelle die Branche komplett verändert. Unter anderem inspiriert von den frühen Minimalschuhen haben Laufschuhhersteller eine große Auswahl

an interessanten Modellen auf den Markt gebracht – von den maximalistischen HOKAs bis hin zu den ultraschnellen Nike Alphaflys, die in der Lage sind, Energie zu speichern und wieder abzugeben. Dabei wird verdeutlicht, dass man nicht 220 Euro für ein Paar Schuhe ausgeben muss, um schnell zu laufen und/oder Verletzungen zu vermeiden, es sei denn, man hat vor, einen Marathon in weniger als zwei Stunden zu finishen. Tatsächlich ist Komfort der entscheidende Faktor – er führt zur Verbesserung der Effizienz und hilft überdies, dass Verletzungen ausbleiben.

Das letzte Kapitel dieses Buchs, Kapitel 6, wurde ebenfalls angepasst, um die neueste Forschung zum Thema Verletzungsprävention wiederzugeben. Außerdem sind hier einige neue Behandlungsmethoden ergänzt. Beispielsweise zeigt eine großartige Studie von Sullivan et al., dass eine Schwäche der Zehenmuskeln und der Wadenbeinmuskeln (*Musculus fibularis longus, brevis und tertius*) hauptverantwortlich für die Entwicklung von *Plantarfasziitis* ist (Plantarfasziitis meint die Entzündung der Sehnenplatte an der Fußunterseite).<sup>3</sup> Bevor diese Studie veröffentlicht wurde, hatte niemand in Betracht gezogen, dass eine Schwäche der Wadenbeinmuskeln bei der Entstehung von Plantarfasziitis eine Rolle spielen könnte. Andere interessante Untersuchungen belegen, dass Läufer mit Beschwerden im Bereich der Kniescheibe schneller wieder trainieren können, wenn Fußübungen Teil ihrer Behandlung werden.<sup>4</sup> Außerdem wurde nachgewiesen, dass die Kräftigung des Schollenmuskels (*Musculus soleus*) entscheidend sein kann bei der Therapie und Verhinderung von Achillessehnenverletzungen. Der Abschnitt über Ermüdungsbrüche zeigt das Schritt-für-Schritt-Vorgehen, um nach einem solchen wieder mit dem Laufen zu beginnen. Und ebenfalls finden sich hier die neuesten Informationen zum Thema Ernährung. Einige überraschende Studien haben gezeigt, dass zu viel Vitamin D die Knochen schwächen kann<sup>5</sup> und dass *ketogene Diäten* (Diäten, die sich durch eine sehr kohlenhydratarme, dafür aber fettreiche Ernährung auszeichnen) mit einer schnellen Abnahme der Knochendichte in Verbindung stehen. Daher sollten sie vermieden werden.<sup>6</sup>

Es scheint, dass Sportmediziner in den letzten fünf Jahren mehr als je zuvor realisiert haben: Der beste Weg zur Leistungssteigerung und Prävention von Verletzungen besteht nicht darin, entzündungshemmend wirkende nicht steroidale Antirheumatika zu verschreiben und *Kortikosteroide* (Steroidhormone) in Sehnen zu injizieren (was schlechter ist als gar keine Behandlung). Stattdessen empfiehlt es sich, die Elastizität von Muskeln und Sehnen zu erhöhen, die neuromotorische Koordination zu verbessern, den idealen Laufschuh zu finden und den Laufstil zu entwickeln, der genau zu den biomechanischen Bedürfnissen passt. Im Gegensatz zu den Elite- und Freizeitläufern der 1980er- und 1990er-Jahre, die mit Medikamenten und ineffektiven Dehnübungen behandelt wurden, haben die Läufer von heute eigenen Zugang zu den neuesten Informationen. Dieses Wissen kann man nutzen, um mit ein bisschen Anstrengung noch lange schneller zu laufen und Verletzungen zu vermeiden.



# **Überblick über Anatomie und dreidimensionale Bewegung**

**F**ür uns ist es selbstverständlich. Aber generell gilt: Auf zwei Beinen herumzulaufen ist eine äußerst ungewöhnliche Fortbewegungsweise. Von den mehr als 4000 Säugetierarten, die es heutzutage auf der Erde gibt, hat nur eine beim Gehen die aufrechte Haltung. Schon Plato bemerkte, dass unsere bevorzugte Art des Vorankommens eigenartig ist. Er bezeichnete die Menschen als die einzigen »federlosen Zweibeiner« (im alten Griechenland gab es nicht allzu viele Kängurus).

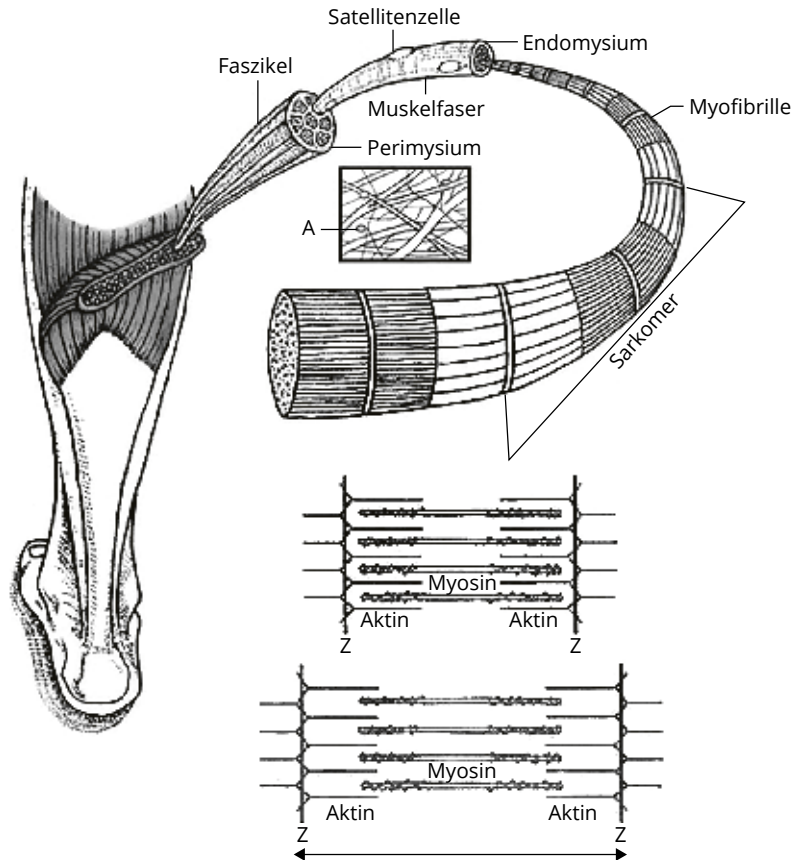
Der Grund, dass es 99 Prozent der Tiere auf diesem Planeten vorziehen, beim Gehen und Laufen alle vier Gliedmaßen zu benutzen, ist, dass die Fortbewegung auf zwei Beinen eine technische Herausforderung darstellt: Wenn der Fuß auf den Boden trifft, muss das gesamte Gliedmaß geschmeidig und flexibel sein, um Stöße zu absorbieren und sich an Unebenheiten im Gelände anzupassen. Kurz darauf wird von denselben Strukturen jedoch Steifheit gefordert. Nur so können sie den Beschleunigungskräften standhalten, die mit dem Vorwärtskatapultieren des Körpers einhergehen. Im Gegensatz dazu gönnen sich Vierbeiner den Luxus, Stöße mit den Vorderbeinen abzufangen, während die Hinterbeine als Stütze und zur Beschleunigung dienen (man denke an eine Katze, die auf einen Sims herauf- und wieder von ihm herunterspringt). Stoßdämpfung ist vor allem beim Marathon wichtig, denn die Füße von Langstreckenläufern berühren durchschnittlich 10 000-mal pro Stunde den Boden. Sie federn bei jedem Schritt das Zwei- bis Siebenfache des Körpergewichts ab. Im Laufe eines Marathons ergibt sich dadurch eine Kraft, die über 5 400 000 Kilogramm entspricht, die vom Körper abgedämpft werden müssen. Heute weiß man, dass schon ein kleiner Fehler in unserem Stoßdämpfungssystem zu Verletzungen führt. Die Kräfte, die mit der Vorwärtsbewegung des Körpers verbunden sind, sind sogar noch größer als diejenigen, die beim ersten Bodenkontakt wirken.

Um die komplexen strukturellen Interaktionen zu verstehen, die für die Stoßdämpfung und Beschleunigung verantwortlich sind, muss man nachvollziehen können, wie unsere Gelenke, Muskeln, Sehnen, Bänder und Knochen beim Gehen und Laufen interagieren. Da die meisten Läufer nicht mit Anatomie und klinischer Biomechanik vertraut sind, bietet der folgende Abschnitt einen bebilderten Überblick über alle wichtigen Muskeln, Sehnen, Bänder und Knochen, die am Laufen beteiligt sind. Die Darstellung führt bis auf die Zellebene, denn um Verletzungen vorzubeugen und die Fähigkeit zu Spitzenleistungen zu erhalten, muss man verstehen, wie sich unsere Gewebe reparieren und umbauen. (Beispielsweise speichern gesunde Muskeln und Sehnen Energie und geben diese wieder ab, um die Effizienz zu steigern und unsere Knochen zu entlasten.) Damit dieser Abschnitt verständlicher ist, werden die griechischen oder lateinischen Ursprünge der Bezeichnungen unserer Muskeln und Knochen aufgeführt. Die frühen Anatomen wollten nicht, dass Anatomie kompliziert ist, und benannten beinahe all unsere Muskeln und Knochen nach ihrer Form: Der *Musculus piriformis* oder birnenförmige Muskel sieht aus wie eine Birne, das *Os naviculare* oder Kahnbein erinnert an ein Schiff.

Auf den Anatomieabschnitt folgt eine Darstellung der Begriffe, mit denen die dreidimensionalen Bewegungen beschrieben werden. Anfangs erscheinen Begriffe wie *Dorsalflexion* (das Ausstrecken eines Körperteils in Richtung Rücken) oder *Eversion* (Heben der Außenseite des Fußes) vielleicht kompliziert, aber wenn man sie einige Male gelesen hat, gehen sie schnell in den eigenen Wortschatz über.

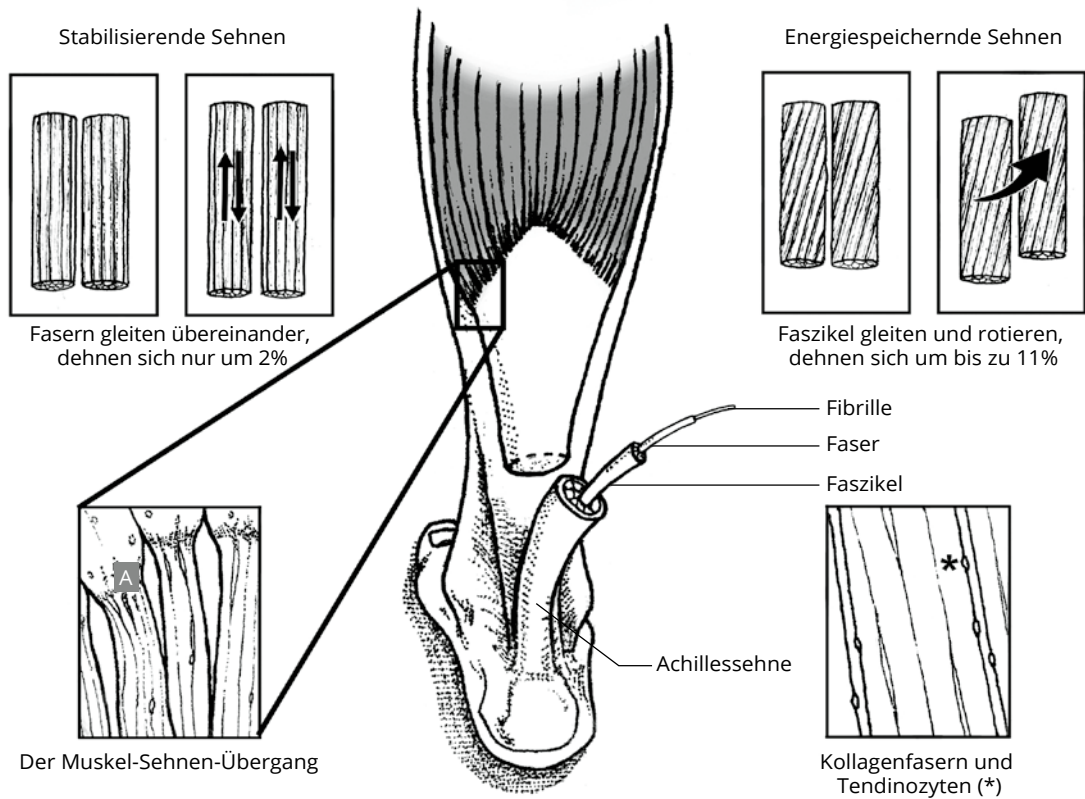


Zu guter Letzt fasst der abschließende Teil dieses Kapitels zusammen, was jeder Muskel tut, während wir laufen, und was passieren kann, wenn der Muskel schwach und/oder verkürzt ist. Auf all diese Informationen wird in den nachfolgenden Kapiteln ausführlicher eingegangen.



**Muskelanatomie:** In einem Querschnitt jedes Muskels findet man kleine *Kompartimente* (das Wort leitet sich ab vom lateinischen *compartiri* für »teilen«). Hier spricht man auch von *Faszikeln* oder von Faserbündel. Diese sind mit bloßen Augen sichtbar – man kennt sie in der tierischen Form beispielsweise, wenn man ein Steak durchschneidet. Bei den Fasern gibt es solche, die in das Bindegewebe, das sogenannte *Perimysium*, eingebettet sind. Das *Perimysium* ist eine Art von straffer Bindegewebshülle, die aus einer Mischung aus starken, stützenden Kollagenfasern und einem dehnbaren Protein, dem *Elastin*, besteht. Bei den Zellen innerhalb des *Perimysiums* handelt es sich um *Fibroblasten* (A), die als Hauptzellen der Haut die beschädigten Kollagen- und Elastinfasern reparieren und umbauen. Das *Perimysium* ist die Struktur, die wir durch Massagen und/oder mithilfe einer Faszienrolle zu dehnen versuchen.

An den Seiten der Fasern befinden sich *Satellitenzellen*, die Muskelfasern wieder aufbauen, wurden diese während des Sports beschädigt. Wie kurz erläutert werden wird, sind auch spezielle Sinneszellen, die *Muskelspindeln*, an die Seiten der Muskelfasern geheftet. Spindelzellen teilen unserem Nervensystem mit, wie schnell und in welchem Umfang sich jedes Gelenk konkret bewegt. Diese Information wird dann analysiert, um den *metabolischen Aufwand* – also den Aufwand für den Stoffwechsel – jedes Laufschriffs zu berechnen und um Veränderungen vorzunehmen, die die Effizienz verbessern. Zu guter Letzt werden Fasern in *Myofibrillen* unterteilt, die aus den Proteinen *Aktin* und *Myosin* bestehen. Diese Proteine bewirken die Muskelkontraktion. Neue Forschungsergebnisse zeigen, dass *Satellitenzellen* aktiv werden, um den Umbau zu beschleunigen, wenn Muskeln in ihren gedehnten Positionen (wie unten in dieser Abbildung) trainiert werden. Dieses Wissen konnte genutzt werden, um Übungen zur Verbesserung der Laufleistung zu entwickeln.

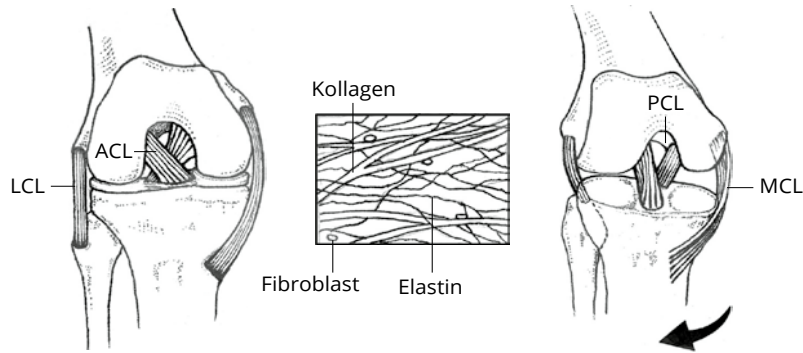


**Sehnenanatomie:** Wie Muskeln gliedern sich auch Sehnen in Faszikel, Fasern und Fibrillen, aber im Gegensatz zu Muskeln, die zu fast 80 Prozent aus Wasser bestehen, setzen sich Sehnen aus starken parallelen Kollagenfasern zusammen und enthalten nur sehr wenige Blutgefäße und kaum Wasser. Die begrenzte Durchblutung und der geringe Wassergehalt ermöglichen es Sehnen, sich wie Stahlseile zu verhalten: Ihre parallelen Fasern aus Kollagen Typ I können ohne den geringsten Schaden große Kräfte aushalten.

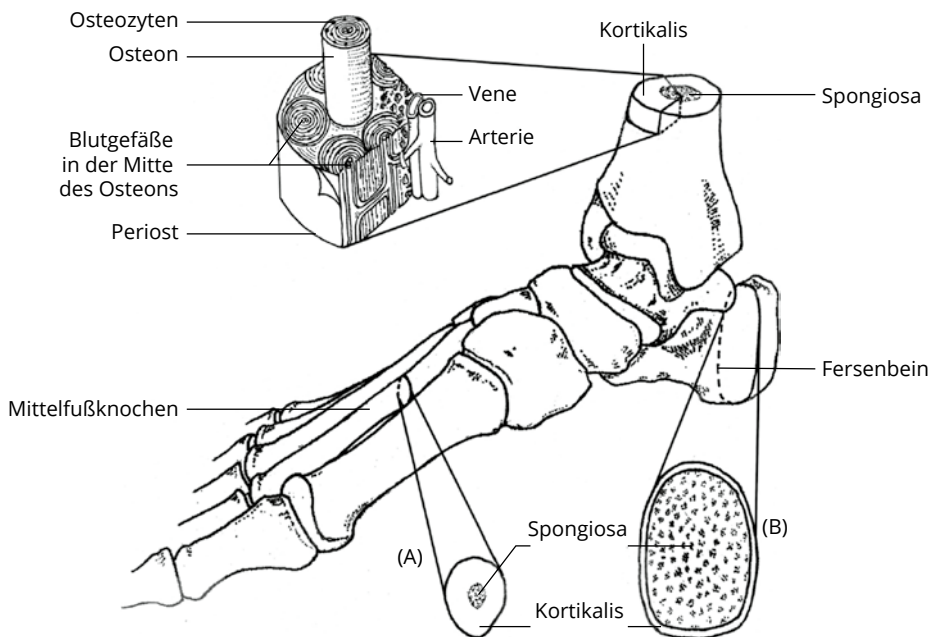
Neueste Forschungsergebnisse zeigen, dass es zwei vollkommen verschiedene Sehnenarten gibt: energiespeichernde Sehnen und stabilisierenden Positionsehnen. Die Positionsehnen kommen dort vor, wo eine hohe Kraftabgabe benötigt wird, wie in den Hüft- und Oberschenkelmuskeln. Werden diese Sehnen einer Dehnkraft ausgesetzt, gleiten die kleinen Fasern übereinander hin und her, wobei sie sich nur ein kurzes Stück bewegen. Dank dieses Vorgehens wird die vom Muskel erzeugte Kraft direkt durch die Sehne auf den Knochen übertragen. Im Gegensatz dazu sind bei den energiespeichernden Sehnen, die man beinahe ausschließlich unterhalb des Knies findet, die Faszikel leicht abgewinkelt zueinander angeordnet. Die Fasern hier können aufeinander gleiten und rotieren, um sich so bis zu elf Prozent zu dehnen. Dieses Vermögen zur plötzlichen Verlängerung ist extrem wichtig, um die Lauffeffizienz aufrechtzuerhalten. Die sich dehnde Sehne speichert wie ein Flummi freie Energie und gibt diese wieder ab.

Die verbesserte Speicherung von Energie in den energiespeichernden Sehnen und die Rückgabe von Energie an sie erklärt, warum die schnellsten Marathonläufer der Welt die längsten Achillessehnen haben. Die Elastizität der energiespeichernden Sehnen verhindert auch Verletzungen, da sie Kräfte abdämpfen, die sonst auf den Muskel übertragen werden würden. Das schwache Glied bei der Kraftübertragung von der Sehne auf den Muskel ist der Muskel-Sehnen-Übergang. Hier treten am häufigsten Muskelfaserrisse auf, da die Schnittstelle zwischen Muskel und Sehne leicht reißt (A im Einsatzbild). So wie die Kräftigung von Muskeln in gedehnter Position die Muskelreparatur stimuliert, erhöht die Kräftigung von Sehnen in gedehnter Position die Sehnenflexibilität. Die Flexibilität der Sehnen zu maximieren, ist entscheidend, um Verletzungen zu vermeiden und ein altersbedingtes Nachlassen der Laufleistungsfähigkeit zu verhindern, da Sehnen mit dem Alter von Natur aus steifer werden. Mit speziellen Übungen und der richtigen Ernährung kann dem entgegengewirkt werden.

\*Wenn eine Sehne verletzt wird, bauen kleine Reparaturzellen, die zwischen Kollagenfasern liegenden Tendinozyten oder Flügelnzellen, die Kollagenfasern wieder auf.

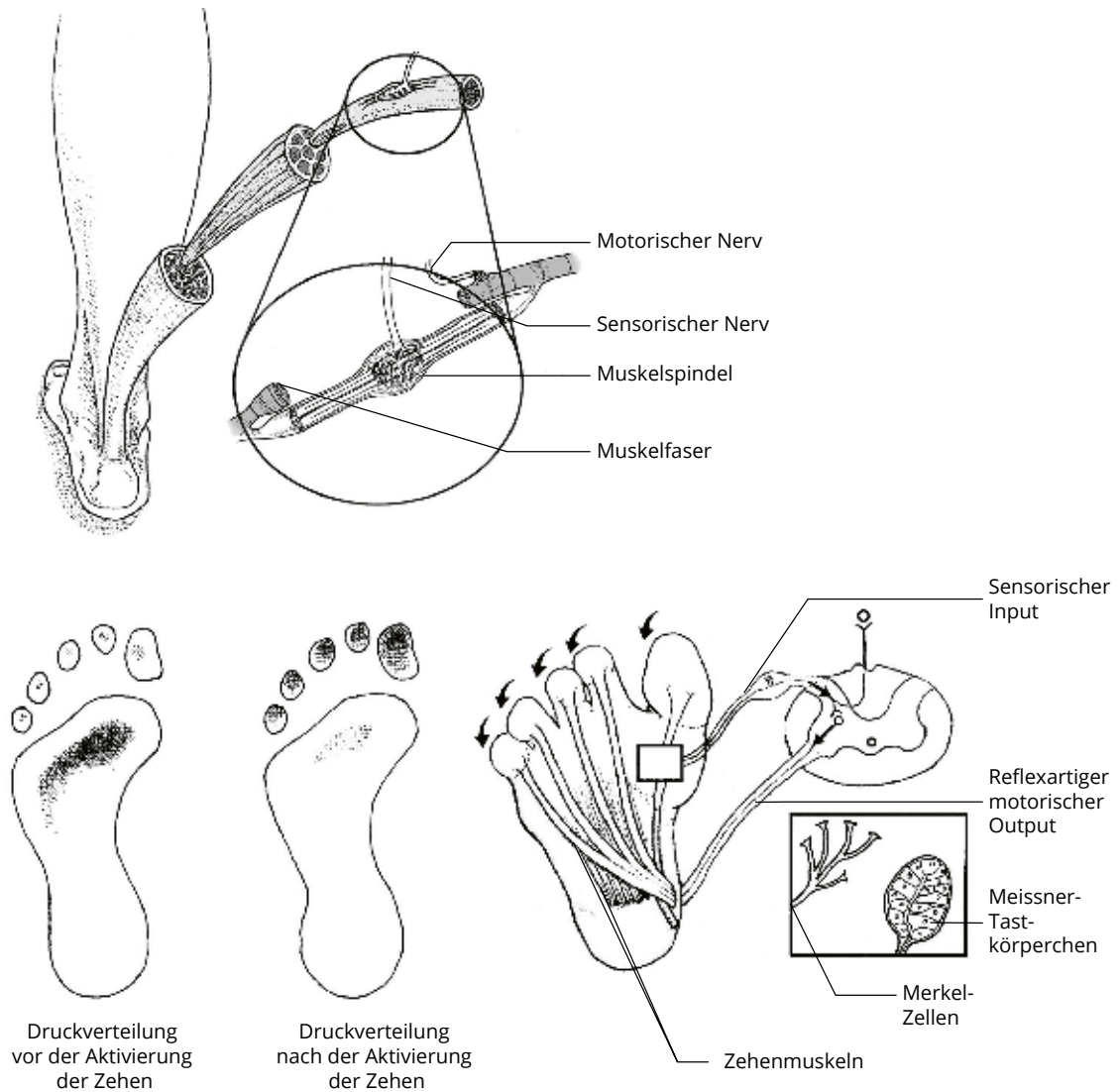


**Bandanatomie:** Während Sehnen Muskeln mit Knochen verbinden, verbinden Bänder benachbarte Knochen miteinander. Sie sind ähnlich wie Sehnen strukturiert, enthalten aber mehr Elastinfasern, was sie flexibler macht (Pfeil). Leider sind Bänder nicht so stark wie Sehnen – durch den höheren Elastingehalt neigen sie zum Reißen. (ACL = vorderes Kreuzband [*Ligamentum cruciatum anterius*], PCL = hinteres Kreuzband [*Ligamentum cruciatum posterius*], LCL = Knieaußenband [*Ligamentum collaterale laterale*], MCL = Knieinnenband [*Ligamentum collaterale mediale*])

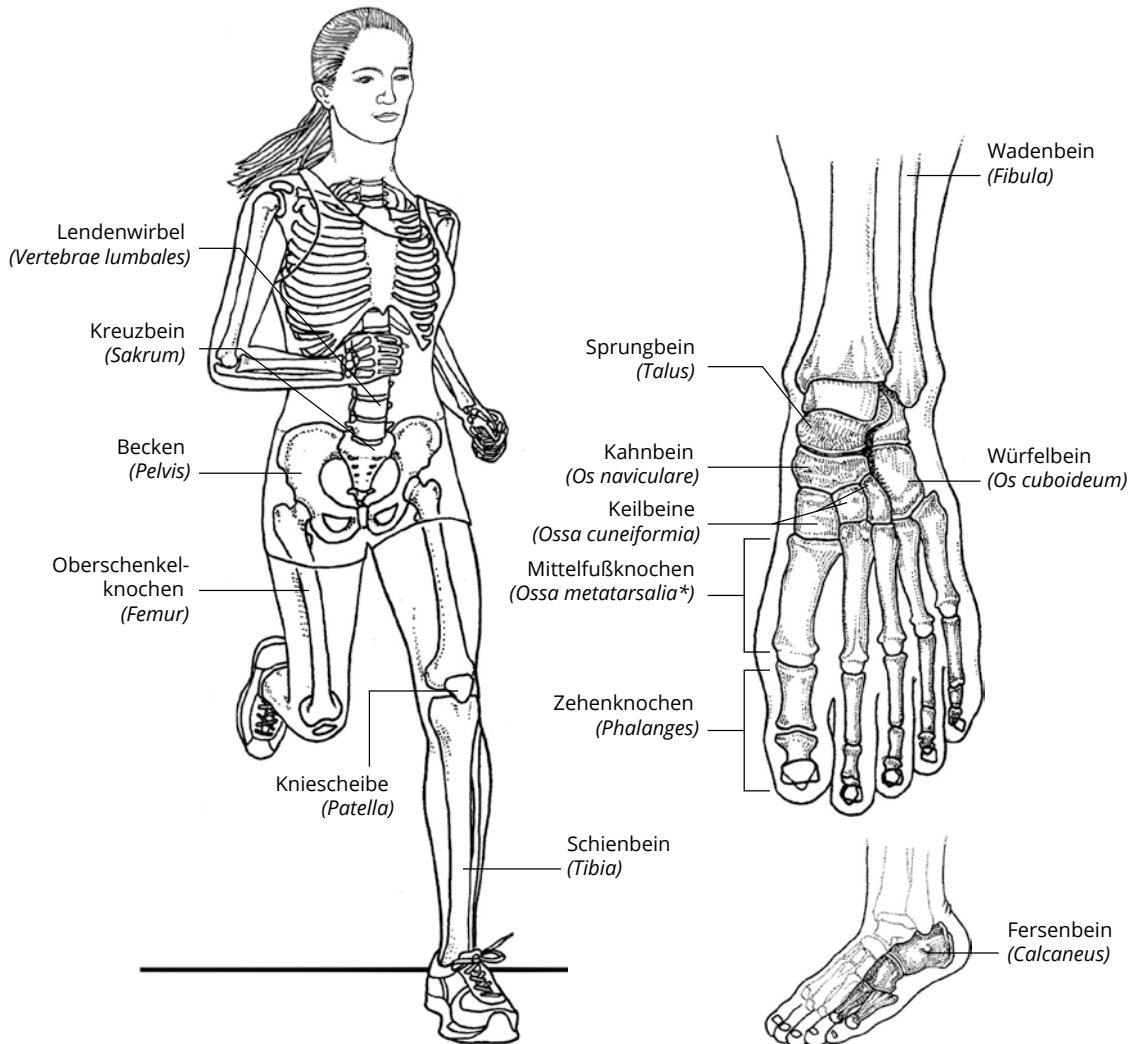


**Knochenanatomie:** Knochen bestehen aus zwei verschiedenen Arten von Knochengewebe: der *Kortikalis* und der *Spongiosa*. Die *Kortikalis* ist eine kompakte Schicht Knochengewebe, während die *Spongiosa* schwammartig ist. Die grundlegende funktionale Einheit der *Kortikalis* ist das *Osteon*, wobei dieser Baustein des Knochengewebes von kleinen Blutgefäßen durchzogen ist. Überall im Osteon findet man *Osteozyten*, das sind die Knochenzellen, die für die Reparatur und den Umbau von Knochen wichtig sind. Die *Kortikalis*, die vom schmerzempfindlichen *Periost* (Knochenhaut) umgeben ist, ist äußerst stark und widersteht Biegekräften wie ein Stahlrohr. Im Gegensatz dazu ist die *Spongiosa* weicher und mit kleinen Kammern durchsetzt, die die Produktion von roten Blutkörperchen ermöglichen.

Das Verhältnis von *Kortikalis* und *Spongiosa* hängt von den Belastungen ab, denen der Knochen ausgesetzt ist: Knochen, die hohe Biegekräfte erfahren, wie die Mittelfußknochen, bestehen beinahe ausschließlich aus *Kortikalis* (A). Im Gegensatz dazu sind Knochen, die Stöße abdämpfen, wie das Fersenbein (B), hauptsächlich aus weicher *Spongiosa* gemacht. Dadurch können sie sich wie ein Polster ausdehnen und Erschütterungen abfedern.



**Sensorische Nerven der Muskeln und Haut:** An den Seiten von Muskelfasern, umgeben vom *Epimysium* (also von der aus lockerem Bindegewebe bestehenden Schicht, die unterhalb der Faszie liegt), befinden sich Muskelspindeln, die dem zentralen Nervensystem genau mitteilen, wie schnell die Muskeln aktiviert werden und was sie während des Laufens tun. Eine Kontraktur, das heißt eine Verkürzung im Perimysium, kann die Informationsweitergabe der Spindeln verhindern, was das Verletzungsrisiko erhöht. Die Haut an der Fußsohle spielt zudem eine wichtige Rolle bei der Verletzungsprävention. Spezielle Rezeptoren, die sogenannten *Meissner-Tastkörperchen* und *Merkel-Zellen*, liefern Informationen zur Druckübertragung entlang der Fußsohle. Wird in einem Bereich zu viel Druck ausgeübt, aktiviert dies die Hautrezeptoren. Sie erzeugen dann eine reflexartige Kontraktion von Muskeln, um speziell das Areal zu entlasten, das zu sehr beansprucht wird. Falls beispielsweise unter dem Vorfuß übermäßiger Druck ist, sorgen die Hautrezeptoren dafür, dass die Zehenmuskeln nach unten gezogen werden – der Druck wird dadurch über einen größeren Bereich verteilt (Einsatzbild). Interessanterweise wurde nachgewiesen, dass Fußmassagen und Fußmobilisation die Empfindlichkeit der Sinnesrezeptoren in der Fußsohle erhöhen, was die Leistungsfähigkeit steigern und zur Verletzungsprävention beitragen kann.



### Skelettanatomie

\*Die Fußwurzelknochen sind die Fußknochen, die hinter den Mittelfußknochen liegen: Fersenbein, Sprungbein, Würfelbein, Kahnbein und die Keilbeine. Die lateinische Bezeichnung *Ossa tarsalia* leitet sich ab vom lateinischen Wort für »flache Oberfläche«.