

# Biomechanische Belastung beim Marathon – Welchen Effekt haben Schuhe, Einlagen und Lauftechnik?

Jörg Natrup

## Einleitung

Die positiven Auswirkungen der Ausdauersportart Laufen beispielsweise auf das Herz-Kreislauf-System sind sicherlich unstrittig. Andererseits können insbesondere umfangreiche Laufleistungen, wie sie während oder in der Vorbereitung zu einem Marathonlauf auftreten, zu hohen orthopädischen Belastungen führen. Diese gehen sehr häufig mit Beschwerden oder Verletzungen einher. Ein relativ umfangreicher Überblick zum Verletzungsaufkommen bei Läufern wurde von van Gent u.a. (2007) präsentiert. Dort werden Statistiken aus dem Zeitraum 1982 bis 2004 zitiert, in denen das absolute Vorkommen und die geschlechtsspezifische sowie lokale Verteilung von Verletzungen bei Läufern aufgeführt sind. Insbesondere bei Marathonläufern liegt die Verletzungshäufigkeit sehr hoch. Bei den meisten zitierten Studien liegt die Quote bei über 50%, der Spitzenwert sogar bei 92,4%. Demnach erleidet nahezu jeder Marathonläufer eine Verletzung. Ferner ist interessant, dass die Zahlen im Verlauf der untersuchten 12 Jahre nicht abnehmen, sondern eher ansteigen. Bei der Verteilung der Verletzungen liegen das Kniegelenk und der Unterschenkel auf den Positionen 1 und 2. Daher sollen die Beschwerden und Verletzungen, die in diesen beiden Regionen auftreten, im Fokus des vorliegenden Artikel stehen. Dabei wird an der Lokation Unterschenkel noch nach der Vorderseite (vordere Tibiakante) und der Rückseite (Achillessehne) unterschieden. Für diese drei anatomischen Strukturen werden jeweils die Effekte von Schuhen, Einlagen und der Lauftechnik dargestellt.

## Kniegelenk

Das Kniegelenk ist die Struktur, die beim Läufer am häufigsten von Beschwerden oder Verletzungen betroffen ist. Warum ist das so? Was kann dagegen unternommen werden?

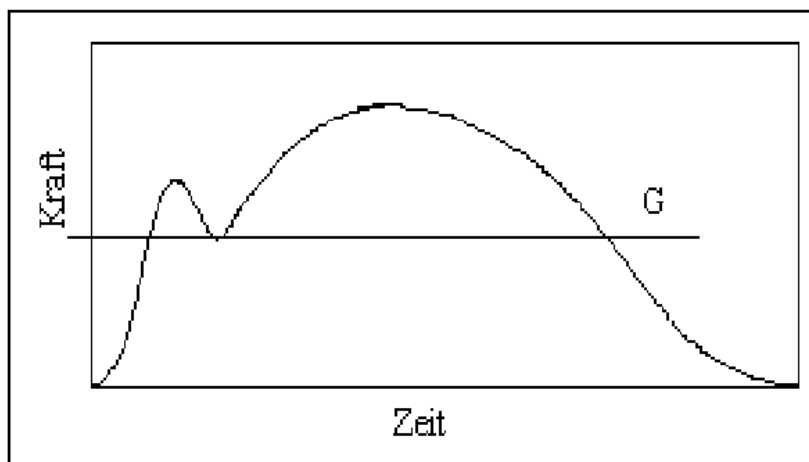


Abb. 1: Vertikale Bodenreaktionskraft beim Fersenlauf

Eine erste und relativ einfache Annäherung an die Belastung des Kniegelenks ist das Messen der Bodenreaktionskraft beim Laufen. Abb. 1 zeigt den Verlauf für die vertikale Komponente beim Fersenauftritt. Typischerweise zeichnet sich die Kurve durch ein erstes Maximum beim Fersenauftritt (passive Kraftspitze) und ein zweites Maximum beim Vorfußabdruck (aktive Kraftspitze) aus. Welcher Parameter dieser vertikalen Bodenreaktionskraft den größten Einfluss auf die Belastung des Kniegelenks besitzt, war das Ziel der Untersuchung von Hennig u.a. (1991). Hierzu wurden die Parameter der Bodenreaktionskraft mit der in-vivo gemessenen Tibiabelleunigung korreliert. Die maximale axiale Tibiabelleunigung gilt dabei als Maß für die Belastung des Kniegelenks. Die höchsten Korrelationskoeffizienten (0,87 und -0,89) lieferten die Parameter Krafrate und Zeit bis zum ersten Kraftmaximum. Das bedeutet, für die Belastung des Kniegelenks ist weniger relevant, wie hoch die passive Kraftspitze ist. Stattdessen ist von Bedeutung, wie schnell diese erreicht wird. Daher wird der Anstieg der vertikalen Bodenreaktionskraft zum ersten Maximum als Maß für die Belastung des Kniegelenks angesehen. Ist dieser Anstieg sehr steil, kann von einem eher schwach gedämpften Fersenauftritt ausgegangen werden. Bei einer besseren Fersendämpfung wird der Kraftanstieg flacher verlaufen.

Physiologisch hängt das Maß der Dämpfung von der Ausprägung der Knorpelstrukturen, des Fettgewebes vor allem unter dem Calcaneus sowie der Gelenkwinkelstellungen im Moment des Fußaufsatzes ab. Als weitere Hilfsmittel können Schuhe oder Einlagen dienen, in denen verschiedene Materialien wie Schaum, Silikon, Gel oder auch Luft zum Einsatz kommen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Dämpfung beim Laufen und damit die Belastung des Kniegelenks über den Parameter Krafrate messbar ist. Damit ist allerdings nicht definiert, welches Maß an Dämpfung als optimal anzusehen wäre.

Ein Blick zurück zeigt, dass noch vor etwa 20 Jahren die Funktionen von Laufschuhen mit den Schlagworten „Dämpfen, Stützen, Führen“ beschrieben wurden (Nigg u.a., 1986). Dabei ist diese Reihenfolge nicht zufällig gewählt, sondern das Dämpfen steht eindeutig im Vordergrund. Die dämpfende Funktion eines Laufschuhs galt als mit Abstand wichtigstes Kriterium für seine Güte. Diese Meinung hat sich allerdings in den letzten 15-20 Jahren gewandelt. Insbesondere am Human Performance Lab in Calgary oder auch an der Deutschen Sporthochschule in Köln hat man sich damit beschäftigt, welche Auswirkungen die Dämpfung eines Laufschuhs auf die Belastung der inneren Strukturen besitzt. Dabei geht eine höhere Fersendämpfung nicht mit einem geringeren Verletzungsrisiko einher (Nigg, 1997). Ebenso bedeutet eine bessere Dämpfung nicht automatisch eine geringere Belastung der inneren Strukturen von Fuß und Unterschenkel (Cole u.a., 2000). Brüggemann (2003) hat die Knochendichten des Calcaneus bei zwei Gruppen von Läufern, die jeweils ein identisches Laufpensum über 6 Wochen absolvierten, verglichen. Eine Gruppe trug während des Trainings weniger gut gedämpfte Schuhe als die Kontrollgruppe, was sich positiv auf die Knochendichte des Calcaneus auswirkte. Walther (2008) fasst schließlich die Ergebnisse zum Einfluss der Schuhdämpfung zusammen, indem er konstatiert, dass das bisherige Paradigma „Dämpfen, Stützen, Führen“ immer mehr durch Konzepte, die die Individualität berücksichtigen, ersetzt wird.

Das Thema Dämpfung soll abschließend noch speziell für den Marathonlauf betrachtet werden. Ziel ist es, das körpereigene Dämpfungsvermögen vor und nach einem Marathonlauf zu analysieren (Natrup, 2005). An der Studie nahmen 6 männliche Hobbyläufer mit Marathonzeiten zwischen 3:30 Std. und 4:30 Std. im Alter von  $39,8 \pm 5,4$  Jahren teil. Diese liefen jeweils im erholten Zustand und direkt nach dem Marathonlauf (maximal 60 Minuten nach Zieleinlauf) barfuß über eine Druckmessplattform. Als Parameter für die körpereigene

Dämpfung wird die maximale Krafrate jeweils vor und nach dem Marathonlauf herangezogen.

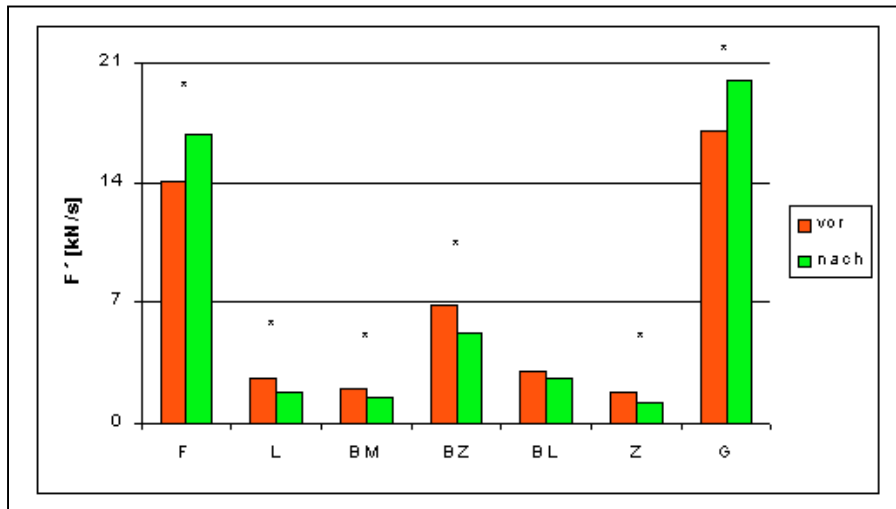


Abb. 2: Maximale Krafrate in 6 Fußzonen vor und nach einem Marathonlauf

In Abb. 2 sind die Werte für die maximale Krafrate in der Einheit [kN/s] für die Fußzonen Ferse F, Längsgewölbe L, Ballen medial BM, Ballen zentral BZ, Ballen lateral BL, Zehen Z sowie für den Gesamtfuß G dargestellt. Die roten Balken repräsentieren die Mittelwerte vor dem Lauf, die grünen Balken danach. Für die entscheidende Zone Ferse bzw. für den Gesamtfuß sind die Werte nach dem Lauf signifikant höher als vor dem Lauf ( $p = 0,05$ ). Das bedeutet, dass die physiologische Fersendämpfung nach dem Marathonlauf schwächer wird. Mögliche Erklärungen könnten ein komprimiertes Fettpolster unter dem Calcaneus und eine veränderte Kinematik vor dem Fersenauftritt sein. Insgesamt bedeutet dieses Ergebnis, dass der Marathonläufer eher etwas besser gedämpfte Schuhe tragen sollte, während bei kürzeren Läufen (z.B. in der Vorbereitung) durchaus auch weniger gut gedämpfte Schuhe getragen werden können. Dennoch bleibt festzuhalten, dass die Dämpfung nicht maximal, sondern optimal sein sollte. Die Forderung nach Individualität (s.o.) impliziert die Berücksichtigung des Läufers (Gewicht, Leistungsvermögen), des Untergrunds (Straße oder Waldweg) sowie der Strecke (5 km, 10 km, Halb- oder Vollmarathon oder gar mehr).

### Vordere Tibiakante

Die vordere Schienbeinkante ist eine weitere Lokation, die bei Läufern häufig von Beschwerden oder Verletzungen betroffen ist. Diese Beschwerden, die auch unter der Bezeichnung „shin splints“ bekannt sind, treten im allgemeinen dort auf, wo die Sehne des m. tibialis anterior schräg über die Kante der Tibia zu seinem Ansatz am medialen Mittelfuß zieht. Die in Abb. 3 dargestellten Kraftwirkungen sollen mögliche Ursachen für diese Probleme erklären.

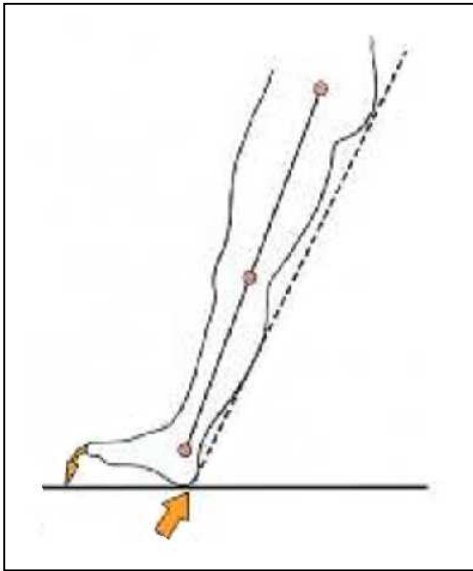


Abb. 3: Kraftwirkungen beim Fersenauftritt

Beim ersten Bodenkontakt des Läufers mit der Ferse wirkt die Bodenreaktionskraft nach hinten/oben posterior am Oberen Sprunggelenk vorbei. Da diese Kraftwirkung einen gewissen Abstand zum Drehpunkt, dem OSG besitzt, entsteht ein Drehmoment entgegen dem Uhrzeigersinn. Dieses Drehmoment hat den Effekt, dass der Vorfuß nach unten klappt. Damit dieses nicht unkontrolliert geschieht, muss die vordere Schienbeinmuskulatur, im wesentlichen der m. tibialis anterior dem entgegenwirken. Nun existieren Laufschuhe auf dem Markt, die über eine nach hinten verlängerte Sohle verfügen. Solche Schuhe bewirken einen verlängerten Hebelarm. Damit steigt das am OSG wirkende Drehmoment teilweise erheblich an. Da aber der Ansatzpunkt des Muskels unverändert bleibt, muss der Muskel das erhöhte Drehmoment durch einen größeren Krafteinsatz kompensieren. Und somit wird die Belastung an der vorderen Tibiakante ebenfalls erhöht.

Desweiteren zeigt Abb. 3, dass das Drehmoment im OSG verringert werden kann, wenn der Fuß flacher oder gar in Spitzfußstellung aufsetzt. Im Fall des Vorfußaufsatzes entsteht ein Drehmoment mit gegenteiligem Vorzeichen, wodurch die vordere Schienbeinmuskulatur entlastet wird. Insgesamt dokumentieren diese Überlegungen, dass ein extremer Rückfußaufsatz und eine möglicherweise nach hinten ausladende Schuhsohle die Belastung an der vorderen Schienbeinkante negativ beeinflussen. Bei Beschwerden an dieser Lokation ist also auf eine kurze, runde Sohlenform des Laufschuhs zu achten. Außerdem kann eine Lauftechnik mit einem eher flacherem Fußaufsatz bis hin zum Vorfußlauf empfohlen werden.

### **Achillessehne**

Abschließend soll die Achillessehne bei Läufern als von Beschwerden und Verletzungen häufig betroffene Lokation behandelt werden. Eine Bewegungsanalyse als unterstützende Maßnahme beim Laufschuhkauf hat sich mittlerweile in vielen Geschäften etabliert. In den meisten Fällen geht es ausschließlich um den Fuß-Unterschenkel-Komplex von posterior betrachtet. Analysiert werden soll im wesentlichen die Pronationsbewegung des Rückfußes beim Fersenauftritt. Dieser Blickwinkel auf die Achillessehne ist allerdings lediglich ein Kompromiss, da die Bewegung im Unteren Sprunggelenk analysiert werden sollte. Da die Gelenkachse von unten/hinten/außen nach oben/vorne/innen verläuft, ist eine entsprechende Analyse nur sehr schwer durchzuführen. Dennoch liefert der Blick auf den Rückfuß von posterior einen Anhaltspunkt für das Ausmaß der Rückfuß-Pronation. Durch die oben beschriebene Lage der USG-Achse ergibt sich ein besonderer Zusammenhang zwischen der Fuß- und der Unterschenkelbewegung. Bei einer Supination im Fuß entsteht eine

Außenrotation des Unterschenkel. Umgekehrt geht eine Fußpronation mit einer Innenrotation des Unterschenkels einher. Dadurch lässt sich erklären, dass die Achillessehne bei einer Überpronation oder einer Übersupination asymmetrisch belastet wird. Dabei ist eine Überpronation bei Läufern deutlich häufiger anzutreffen als eine Übersupination. Die Laufschuhindustrie hat darauf reagiert und Schuhe, die über eine Verstärkung an der medialen Seite der Sohle im Fersenbereich verfügen, entwickelt. An dieser Stelle muss aber dringend darauf hingewiesen werden, dass eine moderate Rückfußpronation beim Fersenaufsatz durchaus physiologisch ist. Sie leistet schließlich einen wesentlichen Beitrag zur Dämpfung beim Fersenaufsatz. Das heißt, Laufschuhe mit einer Anti-Pronation-Stütze sollten auch nur bei einer tatsächlich festgestellten Überpronation getragen werden. Im übrigen kommt es nicht selten vor, dass die Pronation auf einer Fußseite stärker ist als auf der anderen. Ein Fuß kann überpronieren, der andere nicht. Dieses Problem kann mit einem einzelnen Paar Schuhe nicht gelöst werden. In diesem Fall können Einlagen, die nur auf einer Seite über eine entsprechende Stütze verfügen, helfen.

Neben einer möglichen Überpronation, die die Achillessehne asymmetrisch belastet, kann auch die Lauftechnik die Belastungssituation der Achillessehne beeinflussen.

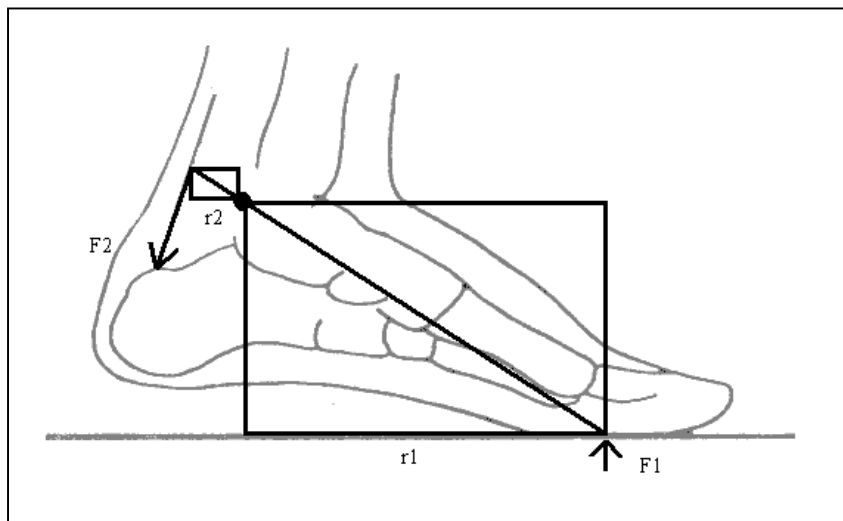


Abb. 4: Kraftwirkungen beim Vorfußlauf

Setzt der Läufer auf dem Vorfuß auf, wie es in Abb. 4 dargestellt ist, wirkt die Bodenreaktionskraft anterior zum OSG. Da der Vorfuß einen sehr langen Hebel darstellt, wird ein sehr großes Drehmoment erzeugt. Dieses muss von der hinteren Wadenmuskulatur, die nur über einen vergleichsweise kleinen Hebel verfügt, kontrolliert werden. Damit kann die Kraft, mit der die Achillessehne auf Zug belastet wird, extrem groß werden.

Wenn ein Läufer über Achillessehnenprobleme klagt, sollte die Rückfußpronation kontrolliert werden, was im normalen Laufschuhhandel relativ häufig möglich ist. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass eine moderate Pronation physiologisch ist. Sollte eine Überpronation lediglich auf einer Fußseite festgestellt werden, ist eine einseitige Einlagenversorgung anzuraten. Außerdem wäre unbedingt vom Vorfußlauf abzuraten, sondern der Fersenlauf zu empfehlen.

## **Zusammenfassung**

Die Ausführungen zu den Beschwerden oder Verletzungen im Kniegelenk, an der vorderen Tibiakante und der Achillessehne sollten zeigen, dass die Auswahl von Laufschuhen, Einlagen oder der Lauftechnik sehr individuell zu treffen sind. Je nach Art und Lokation der Beschwerden oder auch in Abhängigkeit der Voraussetzungen wie Laufstrecke, Anatomie oder Trainingszustand sind unterschiedliche Maßnahmen ratsam.

## **Literatur**

Brüggemann, G.P.: Neue Aspekte zum Laufschuh, Sportorthopädie Sporttraumatologie, 19, 2003, 93-95.

Cole, G.K., Nigg, B.M., Fick, G.H., Morlock, M.M.: Internal loading of the foot and ankle during impact in running, Journal of Applied Biomechanics, 11, 2000, 25-46.

Hennig, E.M., Lafortune, M.A.: Relationships between ground reaction force and tibial bone acceleration parameters, International Journal of Sport Biomechanics, 7, 1991, 303-309.

Natrup, J.: Plantare Druckverteilung vor und nach einem Marathonlauf, in: Ferrauti, A., Remmert, H. (Hrsg.): Trainingswissenschaft im Freizeitsport, Symposium der dvs-Sektion Trainingswissenschaft, Bochum, 2005, 175-178.

Nigg, B.M., Segesser, B.: Der Laufschuh – Ein Mittel zur Prävention von Laufbeschwerden, Zeitschrift für Orthopädie, 124, 1986, 765-771.

Nigg, B.M.: Impact forces in running, Current Opinion in Orthopaedics, 8, 1997, 43-47.

Van Gent, R.N., Siem, D., van Middelkoop, M.: Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review, British Journal of Sports Medicine, 41, 2007, 469-480.

Walther, M., Mayer, B.: Aktuelle Trends in der Sportschuhentwicklung, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 59, 2008, 12-16.

Autor: Dr. phil. Jörg Natrup,  
Gesellschaft für Biomechanik Münster (GeBioM)  
natrup@gebiom.com