

Nora Dawin, Thomas Stief und Klaus Peikenkamp:

# Innensohlenmesssystem zur Bestimmung von Biege- und Torsionsmomenten im Schuh

## Zusammenfassung

Im Labor für Biomechanik an der Fachhochschule Münster wurde das zum Patent angemeldete „Betois“-Messsystem (bending torsion insole system) zur Bestimmung von mehrdimensionalen Fußbelastungen im Schuh entwickelt. Dieses Innensohlensystem ermöglicht durch mobile Biege- und Torsionsbelastungsmessungen unter anderem die schnelle, einfache und reliable Überprüfung von orthopädiesschuhtechnischen Hilfsmitteln. Mit „Betois“ ist erstmals eine nicht-invasive Messung von Biegemomenten am Fuß möglich.

Der wissenschaftliche Wirksamkeitsnachweis von orthopädischen Hilfsmitteln wird im Gesundheitswesen immer wichtiger. Erbracht wird dieser für orthopädiesschuhtechnische Versorgung zum Beispiel über Kraftmessplatten oder plantare Druckverteilungsmessungen. Soll die Wirkung von orthopädischen Einlagen oder Schuhzurichtungen in der täglichen Praxis im Schuh kontrolliert werden, gibt es derzeit die Möglichkeit, Innensohlensysteme zur Druckverteilungsmessung einzusetzen.

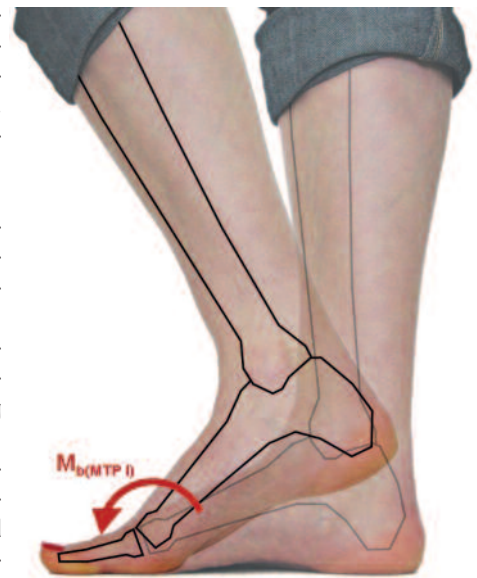
Durch verschiedene Maßschuhkomponenten oder Veränderungen an Konfektionsschuhen sollen die Biege- und Torsionsbelastungen der Füße reduziert und nicht der plantare Druck umverteilt werden.

Ein Beispiel hierfür sind Ballenrollen die in der Praxis erfolgreich eingesetzt werden um den Vorfuß zu entlasten. Ein eindeutiger wissenschaftlicher Nachweis dieser Entlastung konnte über plantare Druckmessungen bisher nicht erbracht werden. Bei Druckmessungen werden nur die Auswirkungen eindimensionaler Kräfte, die senkrecht zu den Sensoren wirken, erhoben. So sind keine Rückschlüsse auf mehrdimensionale Biege- oder Torsionsbelastungen des Fußes möglich.

## Physikalischer Hintergrund

Biegeverformungen oder auch Verbiegungen werden durch Biegebelastungen, sogenannte Biegemomente ( $M_b$ ), hervorgerufen. Biegemomente sind physikalisch durch das Produkt aus der wirkenden Kraft und der Länge des Hebelarms definiert.

Wird zum Beispiel der Vorfuß zum Rückfuß beim Übergang von der mittleren in die terminale Standphase dorsalextendiert, so müssen hierbei Biegemomente, sogenannte Dorsalextensionsmomente wirken. Abbildung 1



1 Schematische Dorsalextension und dabei wirkendes Dorsalextensionsmoment ( $M_{b(MTP I)}$ ) während der terminalen Standphase am MTP I.

zeigt den Phasenübergang und die dabei auftretende Dorsalextension am Metatarsophalangeal-Gelenk I (MTP I) sowie das ursächliche Dorsalextensionsmoment.

Betrachtet man diese Verbiegungen bei zyklischen Bewegungen wie dem Gehen, so resultiert aus dem wechselnden Plantarflexions- und Dorsalextensionsmoment eine sogenannte Wechselbelastung, die über Druckverteilungsmessungen nicht detektiert werden kann.

## Das „Betois“-Messsystem

Bei „Betois“ (Abb. 2) handelt es sich um ein neues Innensohlenmesssystem für die Ermittlung von Biege- und Torsionsbelastungen am Fuß. Das Herzstück der Messsohle ist eine speziell geformte, elastische Trägerschicht auf deren Ober- und Unterseite an verschiedenen Messstellen Dehnungs-

*Anschrift für die Verfasser:*

Dipl.-Ing. Thomas Stief  
Labor für Biomechanik  
Bürgerkamp 3, Raum: HGB 105.1  
48565 Steinfurt  
E-Mail: stief@fh-muenster.de



2 Funktionsmodell des Messsystems zur Bestimmung von Biege- und Torsionsmomenten im Schuh. Links der A/D-Wandler mit Bluetooth-Modul, rechts die Messsohle mit fünf Messstellen.

messensoren positioniert sind. Durch die spezielle Form des Trägers können verschiedene Fußareale unabhängig analysiert werden. Die Sensoranordnung und -verschaltung ermöglicht eine parallele Aufnahme von Biege- und Torsionsbelastungen. Messstellen befinden sich beispielsweise proximal der Metatarsophalangeal-Gelenke I (MTP I) und V (MTP V), proximal der distalen Interphalangeal Gelenke I (DIP I) und V (DIP V) sowie distal des Proccus Calcaneus. Die Datenübertragung erfolgt kabellos mittels Bluetooth. Mit einer Messfrequenz von bis zu 125 Hertz können sportliche Aktivitäten – zum Beispiel Joggen – untersucht werden. Die Kalibrierergebnisse zeigen, dass mit dem entwickelten Messsystem Biege- und Torsionsmomente reliabel zu detektieren sind, also die festgestellten Werte zuverlässig messbar sind.

#### Anwendungsbeispiel

Erste Ergebnisse zu Biegebelastungen im Fuß wurden von Arndt et al. im Jahr 2002 veröffentlicht. Die Autoren führten eine In-vivo-Studie durch, in der sie Messaufnehmer invasiv in den Metatarsalia II fixierten. Mit „Betois“ ist erstmals eine nicht-invasive Messung von Biegemomenten am Fuß möglich.

Abbildung 3 zeigt Biegemomentenverläufe proximal des MTP I eines gesunden Probanden beim Gehen, gemittelt über 30 Doppelschritte und normiert auf 100 Prozent des Gang-



# ORTHOPÄDIE SCHUH TECHNIK

Europäische Fachmesse  
und Kongress

Jetzt zum Kongress  
anmelden!



## 2. Orthopädie Schuh Technik

Europäische Fachmesse  
und Kongress

18./19. 10. 2013  
Köln

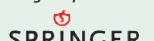
Veranstalter:



Ideeller Träger:



Kongresssponsor:



Goldsponsor:



Silbersponsoren:



Kongressprogramm, Seminare und  
Anmeldemöglichkeiten unter:

[www.OST-Messe.de](http://www.OST-Messe.de)

zyklus. Die schwarze Kurve (woR) stellt den Biegemomentenverlauf in einem unveränderten Neutralschuh dar. Verläuft die Kurve im positiven Bereich, handelt es sich um Dorsalextensions-, im negativen um Plantarflexionsmomente.

Mit Beginn der Standphase zeigt sich ein Plantarflexionsmoment, das bei zirka 10 Prozent des Gangzyklus kurzzeitig abnimmt und danach im Zeitraum von 20 bis 40 Prozent des Gangzyklus seine größte Ausprägung erreicht. Bei zirka 50 Prozent des Gangzyklus wechselt der Verlauf zu einem steil ansteigenden Dorsalextensionsmoment welches bei zirka 60 Prozent des Gangzyklus sein Maximum erreicht. Das maximale Dorsalextensionsmoment ist dabei um zirka ein Drittel größer als das maximale Plantarflexionsmoment. Während der Schwungphase tritt am MTP I keine Momentenbelastung auf.

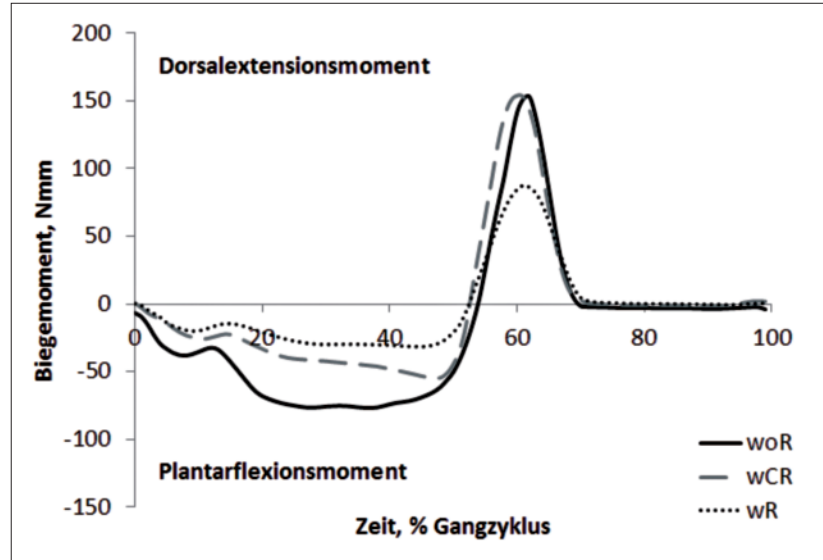
Es können zwar von der Messung im Schuh mit „Betois“ keine direkten Rückschlüsse auf die Belastungen im Knochen gezogen werden, die mit „Betois“ ermittelten Verläufe entsprechen jedoch in ihrer Charakteristik den Biegebelastungen die Arndt und Kollegen 2002 invasiv ermittelten. Das zeigt, dass „Betois“ für Belastungsuntersuchungen am Fuß geeignet ist.

Ballenrollen werden in der konservativen Behandlung bei verschiedenen orthopädischen Beschwerdebildern am Vorfuß eingesetzt. Ziele von Ballenrollen sind die Erleichterung der Abrollung während des Gehens und die Entlastung des Vorfußes (weniger Dorsalextensionsbelastung).

Das „Betois“-Messsystem wurde im Labor für Biomechanik der FH Münster erstmals in einer randomisierten, kontrollierten Untersuchung von Ballenrollen eingesetzt. Neben einer Neutralbedingung (Schuh ohne Veränderung) und dem gleichen Schuhmodell mit Vorfußrollen (Nora Lunasoft AL, SH 52A) wurde eine Kontrollbedingung untersucht. Die Scheitelpunkte der Ballenrollen lagen einen Zentimeter proximal des MTP I und V eines Normfußes. Für die Kontrollbedingung wurde der Neutralschuh mit einer durchgehenden zehn Millimeter hohen Sohle (Nora Lunasoft AL, SH 52A) verstärkt.

**Auswertung**

In Abbildung 3 sind die Auswirkungen der verschiedenen Schuhbedingungen



3 Biegemomentenverläufe beim Gehen unter Neutralbedingung (woR), Kontrollbedingung (wCR) und mit Ballenrolle (wR).

auf die Biegemomentenverläufe eines Probanden dargestellt. Die Ergebnisse der Biegebelastung unter Neutralbedingung (woR) wurden oben bereits erklärt. Die gepunktete Kurve (wR) zeigt den Biegemomentverlauf beim Gehen mit Ballenrollen.

Der grundsätzliche Kurvenverlauf ist nicht verändert. Das höchste Plantarflexionsmoment wird durch den Einsatz der Ballenrolle um 59 Prozent reduziert, das maximale Dorsalextensionsmoment um 43 Prozent. Der Bereich zwischen dem maximalen Plantarflexions- und dem maximalen Dorsalextensionsmoment ist eine ausschlaggebende Größe für die Stärke der Wechselbelastung und wird um 47 Prozent reduziert. Die Auswertung der Kontrollbedingung (wCR – gestrichelte Kurve) zeigt, dass durch die Versteifung des Schuhs eine gewisse Reduktion des Plantarflexionsmomentes hervorgerufen wird. Das Dorsalextensionsmoment wird hingegen nicht beeinflusst.

Aufgrund der Ergebnisse kann gesagt werden, dass die Entlastung des MTP I maßgeblich durch die Geometrie der Ballenrolle und nicht allein durch die Sohlenversteifung hervorgerufen wird.

**Fazit**

Obwohl Ballenrollen in der Praxis erfolgreich eingesetzt werden, konnten in wissenschaftlichen Studien bislang keine eindeutigen Veränderungen in der plantaren Druckverteilung nachge-

wiesen werden. Die Untersuchung von Ballenrollen mit „Betois“ ergab deutliche Reduktionen mehrdimensionaler Belastungen am Vorfuß wie der Plantarflexions- und Dorsalextensionsmomente.

Das vorgestellte Untersuchungsbeispiel zeigte ebenfalls, dass mit Hilfe von „Betois“ die Verformungen des Fußes und somit Biege-, Torsions- und Wechselbelastungen mobil und reliabel gemessen werden können. Das neue Innensohlen-Messsystem stellt unter anderem bei Wirksamkeitsnachweisen von orthopädischen Hilfsmitteln eine einzigartige Ergänzung zu herkömmlichen Untersuchungsmethoden dar. ■

*Literatur*

- Arndt, A., Ekenman, I., Westblad, P., Lundberg, A. 2002. Effects of fatigue and load variation on metatarsal deformation measured in vivo during barefoot walking. *Journal of Biomechanics*. 2002, 35, S. 621–628.
- Götz-Neumann, K. 2003. Gehen verstehen - Ganganalyse in der Physiotherapie. Stuttgart : Thieme Georg Verlag, 2003.
- Hutchins, S., Bowker, P., Geary, N., Richards, J. 2009. The biomechanics and clinical efficacy of footwear adapted with rocker- Evidence in the literature. *The Foot*. 19, 2009, S. 165–170.
- Nigg, B. M., Herzog, W. 2006. Biomechanics of the Musculo-skeletal System. Chichester : John Wiley & Sons, 2006.
- Perry, J. 2003. Ganganalyse. Norm und Pathologie des Gehens. München : Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH, 2003.