

# Gangparameter von verschiedenen Schuhen

## Kinetik & Kinematik

Patrick Hiltbold

Aline Mühl

Dr. Renate List

Dr. Dr. Silvio Lorenzetti



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



## Zusammenfassung

**Einleitung:** Während das Gehen die wichtigste alltägliche Form der Fortbewegung darstellt, ist in vielen sportlichen Situationen das Laufen von zentraler Bedeutung. In diesem Projekt soll der Einfluss von verschiedenen Schuhmodellen auf das menschliche Gangbild untersucht werden. Das Ziel der Arbeit war die Veränderung der Gangparameter Bodenreaktionskraft, Impact peak der Kraft, maximale Kraft, Dauer der Standphase, Ganggeschwindigkeit, Verlauf des Sprunggelenks-, Knie-, Hüft-, Schulter- und Ellbogenwinkel zu bestimmen. Die Schuhmodelle unterscheiden sich hauptsächlich in der Beschaffenheit ihrer Sohlen.

**Methode:** Total wurden 12 Probanden (7m, 5w) mit Schuhgrößen von 38 bis 46 beim Gehen und Laufen (Barfuss, mit Kybun, Joya, MBT und bei drei Probandinnen mit Joyssy) gemessen. Gemessen wurde die Bewegung des ganzen Körpers mit einem Motion Capture System mit Hautmarkern, die Bodenreaktionskraft mit fünf Kraftmessplatten und bei vier Probanden die Beschleunigung der Tibia. Zudem wurden je eine Standphase von jedem Schuh mit einer 1kHz Highspeedkamera aufgezeichnet.

**Resultate:** Grundsätzlich unterscheidet sich das Barfuss Gehen zu den Schuhen deutlicher als der Vergleich zwischen den Schuhen. Bei den verschiedenen Parametern im Sprunggelenk und im Knie ist jeweils der Winkel beim Barfusslaufen kleiner als bei den Schuhen. Die Schuhe unterscheiden sich nur beim Abklappen des Sprunggelenks, beim Flexionswinkel des Sprunggelenks, beim Range of Motion des Knies sowie bei der Vor-Rückwärtsneigung des Oberkörpers. Das Abklappen des Sprunggelenks ist beim Kyboot auffallend gross im Vergleich zu Barfuss, Joya und MBT. Die Unterschiede zwischen dem beschuhten und dem Barfuss Laufen sind nur im Sprunggelenk und im Kniegelenk zu finden. Alle anderen kinematischen Parameter unterscheiden sich weder zwischen den Schuhen noch zu barfuss.

Beim Gehen sind die senkrechten Kräfte zwischen barfuss und den Schuhen vergleichbar. Die maximale senkrechte Bodenreaktionskraft ist bei barfuss Laufen kleiner als mit Kyboot, Joya und MBT. Ebenso ist der Kraftpeak barfuss kleiner als mit allen Schuhen, die Kraftanstiegsrate ist barfuss jedoch grösser. Die Schuhe unterscheiden sich bei der Kraftanstiegsrate, beim Joyssy ist sie am kleinsten, Kyboot und Joya mittel und beim MBT am grössten.

**Diskussion und Schlussfolgerungen:** Weil sich die Ganggeschwindigkeit, Kadenz, Dauer Standphase, Dauer Schwungphase beim Gehen und Laufen sowie die Schrittlänge beim Laufen nicht unterscheiden, kann der Einfluss der Ganggeschwindigkeit sowie der Kadenz auf die Kinetik und Kinematik ausgeschlossen werden. Das Abklappen des Sprunggelenks während dem heelstrike erscheint ein wichtiger Parameter bei der Charakterisierung von Schuhen zu sein. Das beschuhte Gehen und Laufen vergrössert oft die Bewegungsumfänge im Sprunggelenk und im Knie. Das könnte teilweise auch aufgrund der relativen Bewegung zwischen Schuhen und Fuss sein. Weil der Einfluss der Schuhe nur die Gangparameter im Sprunggelenk und im Knie beeinflusst, kann auf diese beiden Gelenke fokussiert werden. Beim Laufen sind mit den Schuhen die Kraftanstiegsraten deutlich kleiner als barfuss, jedoch die maximale Kraft sowie der Impactpeak grösser. Es scheint, dass die Kraft weniger schnell aufgebaut wird, oder eben mit den Schuhen gedämpft wird, jedoch nicht die maximalen Kräfte.



## **Danksagung**

Wir bedanken uns ganz herzlich bei der Kybun AG, insbesondere bei Herrn Karl Müller für den Auftrag sowie die angenehme Zusammenarbeit.

Zudem geht der Dank an alle Probandinnen und Probanden.

An diesem Projekt waren beteiligt:

Jan Bründler, Ursi Eberli, Dr. H. Gerber, Turgut Gülay, Patrick Hiltbold, Dr. Renate List, Dr. Dr. Silvio Lorenzetti, Aline Mühl, Florian Schellenberg, Mirjam Stoop



# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	2
1. Einleitung .....	7
2. Methode .....	8
3. Resultate .....	14
4. Diskussion und Schlussfolgerungen .....	28
Referenzen .....	29

# 1. Einleitung

Während das Gehen die wichtigste alltägliche Form der Fortbewegung darstellt, ist in vielen sportlichen Situationen das Laufen von zentraler Bedeutung. Beide Formen der Lokomotion sind ausgesprochen reproduzierbar und folgen unter physiologischen Bedingungen bei allen gesunden Menschen demselben Grundmuster, das weitgehend im Unterbewusstsein abläuft ((Kramers-de Quervain et al. 2008); (Inman et al. 1981)). Deshalb eignen sich die beiden Bewegungen Gehen und Laufen ausgesprochen gut, um quantitativ festgehalten zu werden.

Die instrumentierte Ganganalyse wird in der Orthopädie, Rehabilitation und sportwissenschaftlichen Forschung eingesetzt, um einerseits das funktionelle Resultat verschiedener Interventionen zu analysieren oder andererseits, um das individuelle Bewegungsverhalten der gemessenen Person zu evaluieren. Zur quantitativen Erfassung der Bewegungen wurde eine Vielzahl an Messsystemen und Messmethoden entwickelt, die es ermöglichen, geeignete Funktionsparameter für die Analyse der Bewegungen zu definieren. Dank der technischen Fortschritte gelingt die Erfassung heute mit zunehmender Genauigkeit bei gleichzeitig abnehmendem Zeitbedarf.

Standardmässig werden heute in der Ganganalyse die Bewegungen der einzelnen Körpersegmente (Kinematik) sowie die Bodenreaktionskräfte erfasst. Die dabei zum Einsatz kommenden Messsysteme reichen von 3D-Kinematiksysteme zur dreidimensionalen Erfassung der Körpersegmente über Kraft- und Druckmessplatten zur Erfassung der Bodenreaktionskräfte bis hin zu High-Speed-Kameras, die z.B. schnelle Bewegungen beim Landen erfassen können. Ferner kann die Erfassung der Muskelaktivität durch dynamische Elektromyografie weitere Informationen über den Bewegungsablauf liefern. Diese Messsysteme werden auch am Institut für Biomechanik standardmässig eingesetzt und entsprechen dem heutigen Stand der Technik ((Kramers-de Quervain et al. 2008);(Bachmann et al. 2008)).

Die auftragstellende Firma Kybun setzt sich zum Ziel, ganzheitlich gesundheitsfördernde Systeme zu entwickeln, welche die Bewegung auf eine gelenkschonende und muskulaturentspannende Art fördern soll. Um den Einfluss eines neu entwickelten Schuhs mit speziell weicher Sohle auf das menschliche Gangmuster messen zu können, sowie um den Schuh mit anderen, auf dem Markt bereits bestehenden Schuhmodellen vergleichen zu können, wurde die hier beschriebene Arbeit in Auftrag gegeben.

**Ziel:** In diesem Projekt soll der Einfluss von verschiedenen Schuhmodellen auf das menschliche Gangbild untersucht werden.

Dazu werden die Bewegungen Gehen und Laufen von insgesamt zwölf Probanden barfuss und mit den Schuhmodellen Kyboot, Joya, Joyssy, MBT, kinetisch und kinematisch erfasst. Die Veränderung der Gangparameter Bodenreaktionskraft, Impact peak der Kraft, maximale Kraft, Dauer der Standphase, Ganggeschwindigkeit, Verlauf des Sprunggelenks-, Knie-, Hüft-, Schulter- und Ellbogenwinkel wurden bestimmt. Die Schuhmodelle unterscheiden sich hauptsächlich in der Beschaffenheit ihrer Sohlen. Zum Einsatz kommen sowohl Schuhe mit speziell weichen Sohlen, als auch Modelle, die ein bestimmtes Abrollmuster des Fusses bewirken sollen.

Zusätzlich sollen einige Standphasen eines Probanden mit einer High-Speed-Kamera gefilmt werden.

Alle Versuche mit Probanden wurden von der Ethikkommission der ETH bewilligt

## 2. Methode

Die Versuche fanden im Institut für Biomechanik der ETH statt (Abbildung 1).

**Probanden:** Total wurden 12 Probanden (7m, 5w) mit einem Durchschnittsalter von  $26.5 \pm 4.4$  Jahre gemessen. Die Grösse betrug 1.67 m bis 1.87 m, das Gewicht 56.8 kg bis 95.4 kg und die Schuhgrösse 38 bis 46. Eine Auflistung aller Probanden ist im Anhang zu finden (Tabelle 1).

**Ablauf der Messung:** Es werden insgesamt 12 Probanden in den Bewegungen Gehen und Laufen gemessen. Pro "Disziplin" (barfuss, Kyboot, Joya, MBT) wurden jeweils mindestens fünf gültige Versuche aufgezeichnet. Bei drei Probandinnen mit Schuhgrösse <39 wurden zusätzlich die Messungen mit dem Schuh Joyssy durchgeführt. Die ersten vier Messungen waren in der Reihenfolge: barfuss, Kyboot, Joya, MBT, Joyssy, die restlichen Messungen: barfuss, MBT, Joya, Kyboot.

Die verwendeten Messsysteme waren:

**Kinematik:** Das verwendete optoelektrische kinematische Messsystem ist von der Firma Vicon (Vicon Motion System, Oxford Metrics Ltd., Oxford, UK) und besteht aus 8 fixen und 4 mobilen Kameras. Die reflektierenden Hautmarker werden mit Hilfe von doppelseitigem Klebeband nach einem am Institut für Biomechanik der ETH Zürich entwickelten Markerset am Probanden fixiert (List 2009);(Wolf et al. 2009);(Bachmann et al. 2008). Das verwendete Markerset umfasste 55 Marker. Dabei wurde die Position der Handgelenksmarker leicht modifiziert (neu auf dem Processus styloideus ulnae, Name „US“) sowie ein zusätzlicher Marker angebracht (Processus styloideus radii, Name „RS“). Die Aufnahme Frequenz betrug 100 Hz. Die Definition der Gangparameter wurde aus (WOLF et al. 2009);(KRAMERS-DE QUERVAIN et al. 2008) übernommen und ist in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.

**Kinetik:** Die kinetische Messanlage besteht aus fünf Kraftmessplatten der Firma KISTLER (Kistler Instrumente AG, Winterthur). Diese Platten sind mit vier piezo-elektrischen Kraftmeselementen ausgestattet, welche eine sehr präzise und zeitlich hoch aufgelöste Signalerfassung ermöglichen (DETTWYLER et al. 2003). Die Aufnahme Frequenz betrug 2 kHz. Die Dimensionen der einzelnen Platten betragen  $400 \times 600 \text{ mm}^2$ . Die Platten sind hintereinander in Gangrichtung angeordnet. Die Bodenreaktionskräfte wurden in der Vektordarstellung nach (Stüssi 1977) und (Stüssi et al. 1978) beurteilt. Die kinetischen Parameter sind in den Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellt.

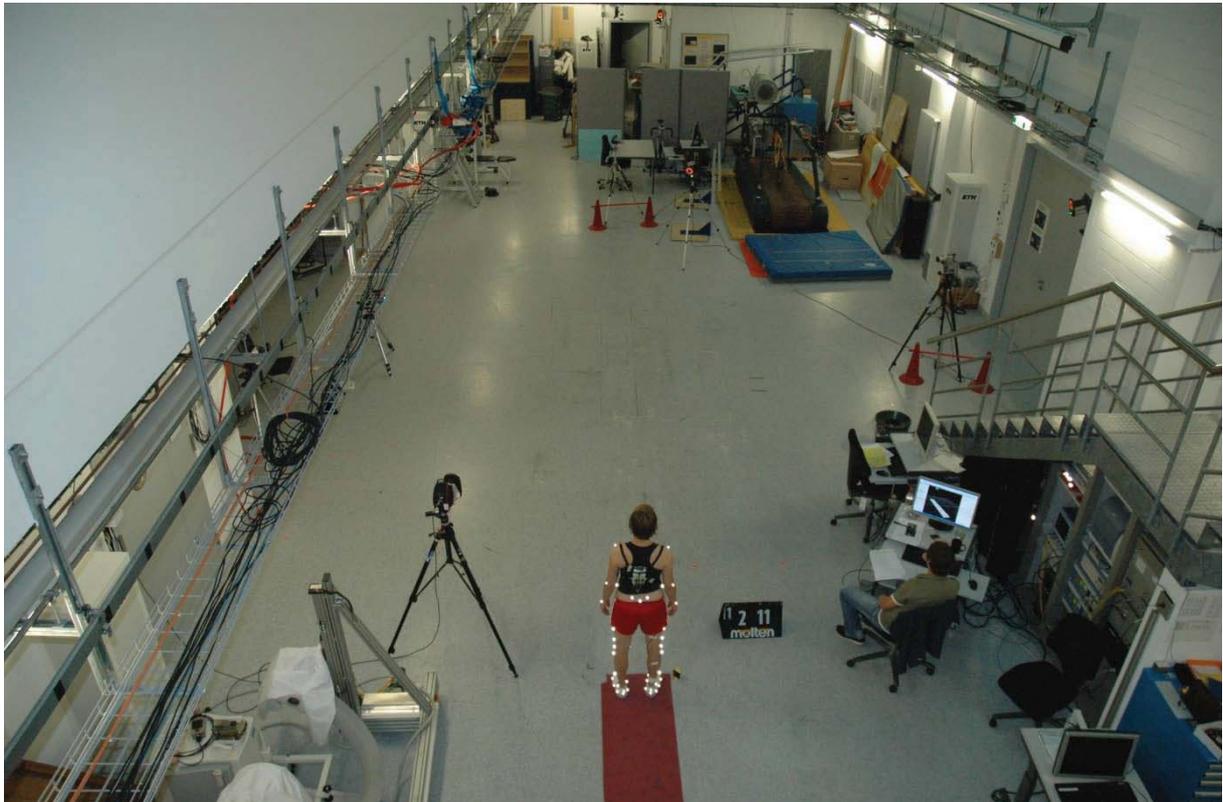
**Beschleunigung der Tibia:** Zur Messung der Beschleunigung der Tibia diente ein dreiaxialer Beschleunigungssensor (Typ CXL25M3<sup>1</sup>) mit telemetrischer Datenübertragung (Abbildung 3). Den Probanden B, D, I und L wurde der Beschleunigungssensor mittels einer Schiene aus Bauschaum am distalen Ende der rechten Tibia angebracht. (Umrechnungsfaktor des Signals des Beschleunigungssensors in Erdbeschleunigung  $g$ :  $1g \text{ [m/s}^2\text{]} = 0.17 \text{ V}$ ). Dem Probanden L wurde während vier Gehtrials ein zusätzlicher Beschleunigungssensor angebracht (Sensor wurde von Auftraggeber mitgebracht).

---

<sup>1</sup> <http://www.korins.com/english/maker/crossbow/cxlm.htm>

**Highspeedkamera:** Bei einer Probandin (w, 57 kg, 1.68 m, 22y, Schuhgröße 38 1/3) wurde die Standphase von der Seite beim Gehen mit einer redlake Motion Pro HS-4 bei einer Frequenz von 1 kHz im Sonnenlicht aufgezeichnet.

Alle Gangversuche wurden mit zwei konventionellen Digital-Videokameras von frontal und von sagittal aufgezeichnet.



**Abbildung 1: Versuchsaufbau im Bewegungsanalyselabor.**

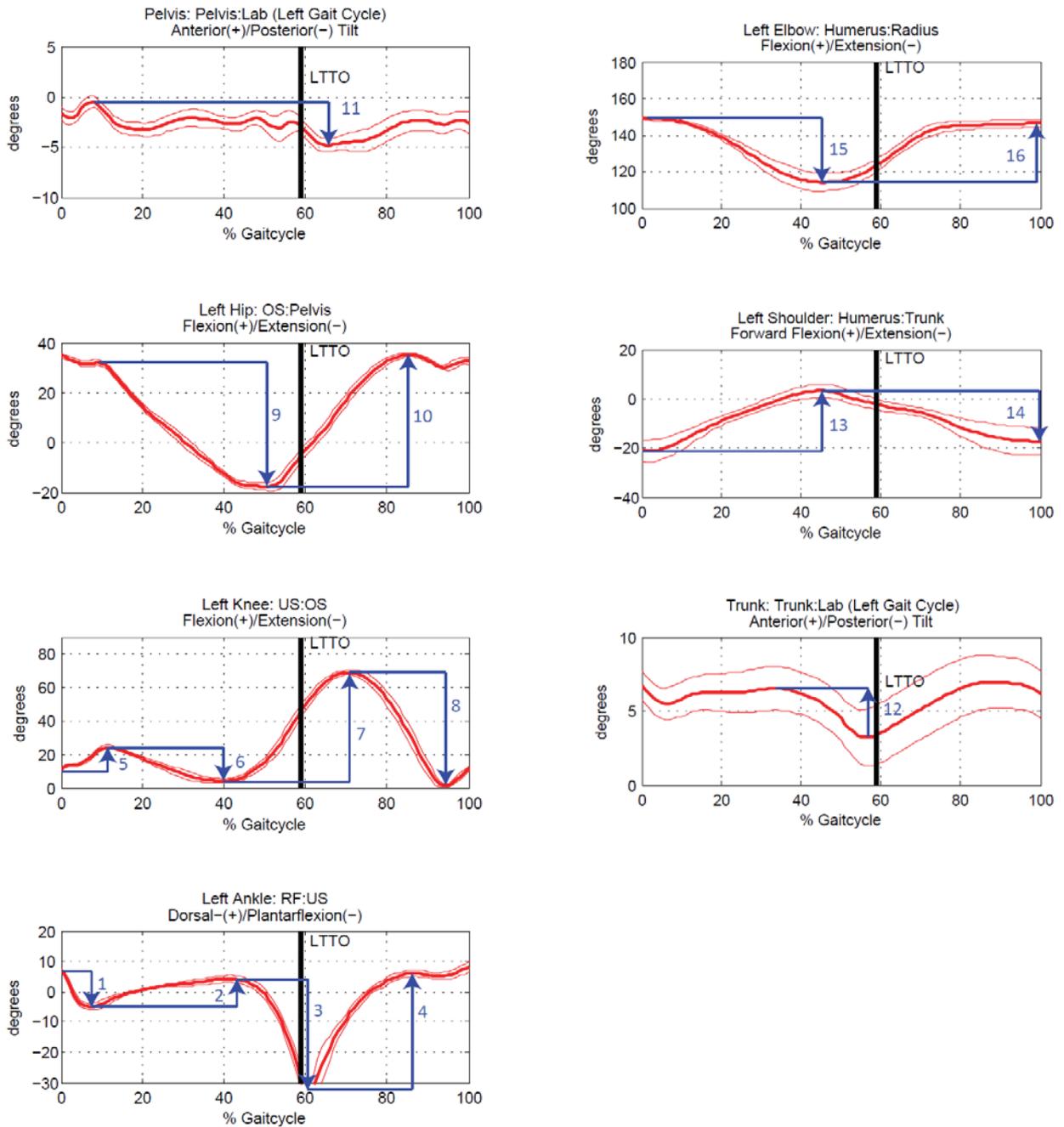


**Abbildung 2: Typische Markerpositionierung auf den Schuhen.**

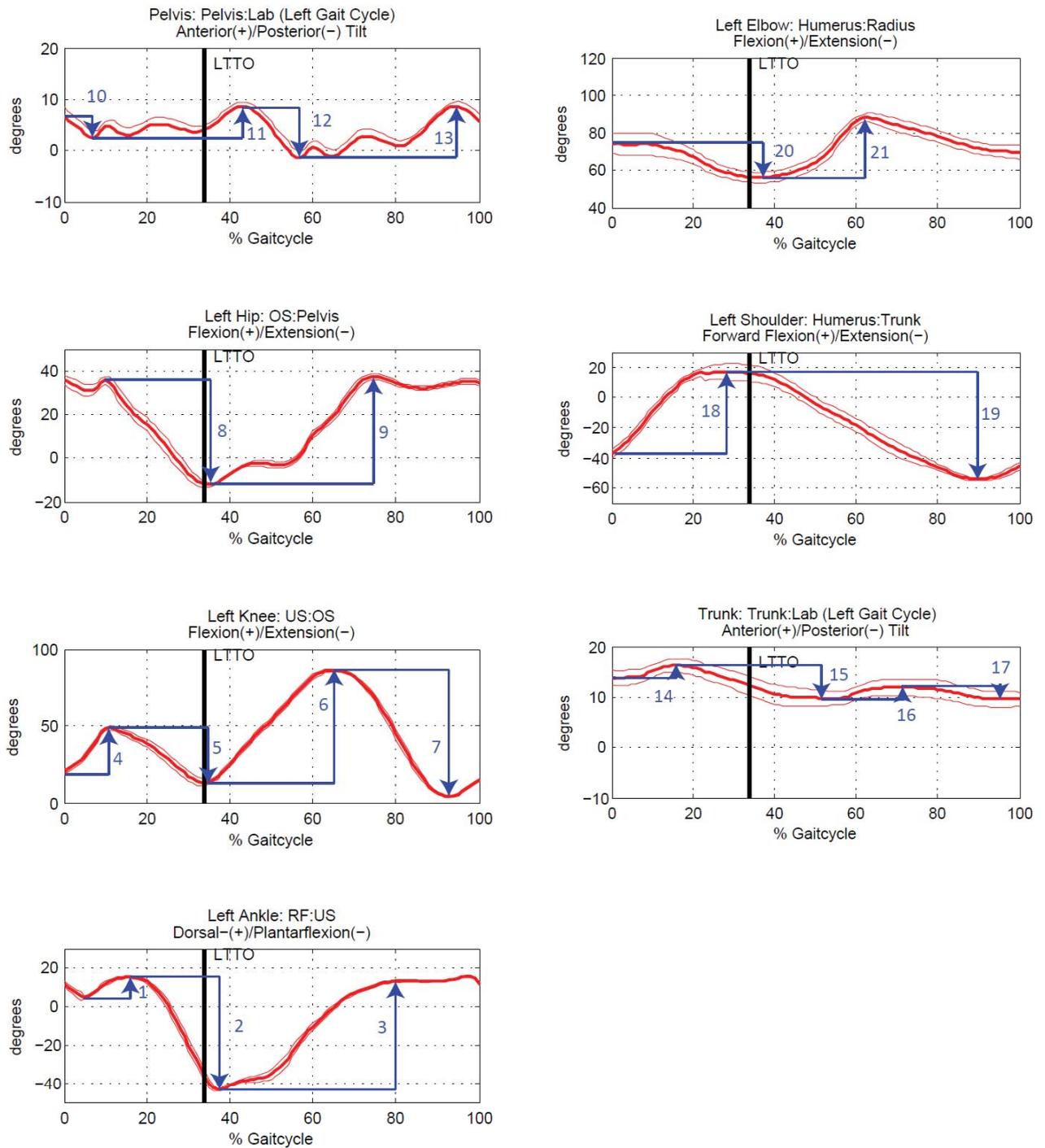


**Abbildung 3: Befestigung des Beschleunigungssensors an der Tibia.**

Es wurde angenommen, dass die Werte Normalverteilt sind und ein zweiseitiger ungepaarter T-Test durchgeführt. Als Signifikanzniveau wurde  $p < 0.05$  definiert. Der CMC (cumulative match characteristics) ist ein Mass der Übereinstimmung von zwei Kurvenverläufen (KADABA *et al.* 1989). Ist er Nahe bei 1 so ist die Streuung zwischen den Kurven klein. Mit dem Vergleich der CMC's kann die Reproduzierbarkeit innerhalb einer Disziplin verglichen werden.



**Abbildung 4: Definition der kinematischen Parametern beim Gehen: 1:anromext1, 2:anromflex1, 3:anromext2, 4:anromflex2, 5:knromflex1, 6:knromext1, 7:knromflex2, 8:knromext2, 9:hipromext, 10:hipromflex, 11:pelrom, 12:trrom, 13:shfwflex, 14:shext, 15:elbext, 16:elbflex**



**Abbildung 5: Definition der kinematischen Parametern beim Laufen: 1:anromflex1, 2:anromext1, 3:anromflex2, 4:knromflex1, 5:knromext1, 6:knromflex2, 7:knromext2, 8:hipromext, 9:hipromflex, 10:pelpost1, 11:pelant1, 12:pelpost2, 13:pelant2, 14:truant1, 15:trupost1, 16:truant2, 17:trupost2, 18:shfwflex, 19: shext, 20: elbext, 21:elbflex**

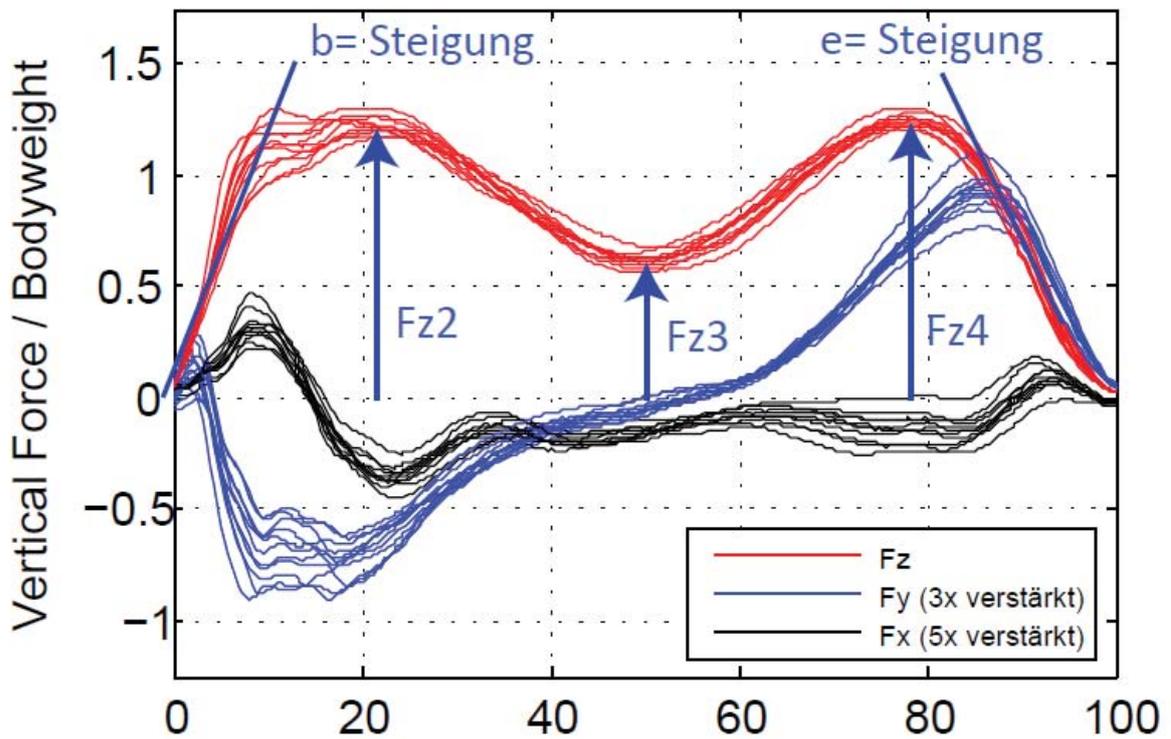


Abbildung 6: Definition der kinetischen Parametern beim Gehen: b Kraftanstiegsrate, e Kraftzerfallsrate, Fz2 Kraft des ersten Peaks, Fz3 Kraft des lokalen Minimums, Fz4 Kraft des zweiten Peaks.

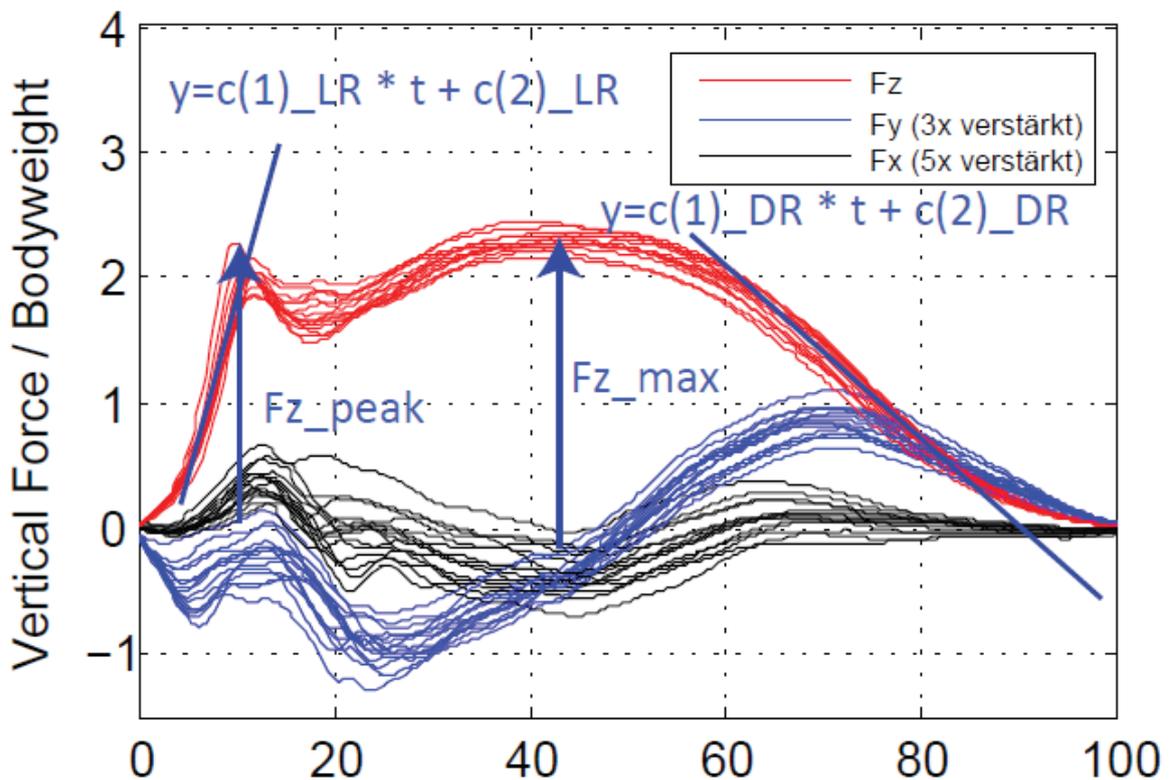


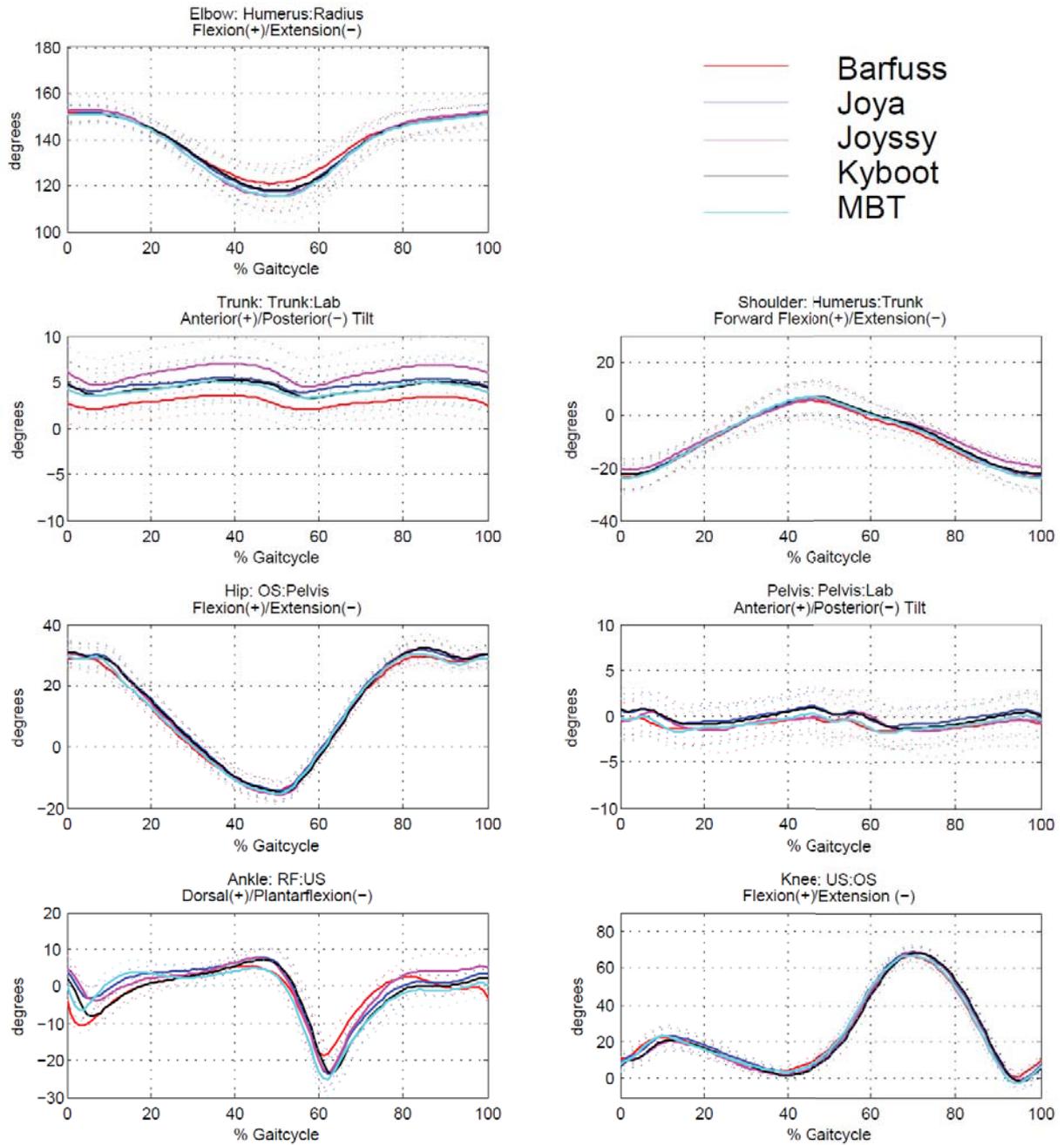
Abbildung 7: Definition der kinetischen Parametern beim Laufen: c(1)LR Kraftanstiegsrate, c(2)DR Kraftzerfallsrate, Fz\_peak Kraft des ersten Peaks (50ms), Fz\_max maximale Kraft.

### **3. Resultate**

Die Resultate, Diskussion und Schlussfolgerungen sind jeweils nach „gehen“ und „laufen“ geordnet und beinhalten Kinematik und Kinetik. Der Überblick über alle Probanden wird im Hauptteil behandelt, als exemplarisches Beispiel sind die Daten von einem Probanden im Anhang und der vollständige Satz der Daten ist auf der DatenCD zu finden.

#### **Gehen: Kinematik**

Jeweils zuerst ist eine Übersicht über alle Verläufe der Gelenkwinkel gegeben (Abbildung 8), dann pro Abbildung nur ein einzelner Verlauf. Ein Beispiel für alle Schuhtypen ist im Anhang (Abbildung 26-Abbildung 55)



**Abbildung 8: Übersicht der Winkelverläufe der Gelenke beim Gehen, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.**

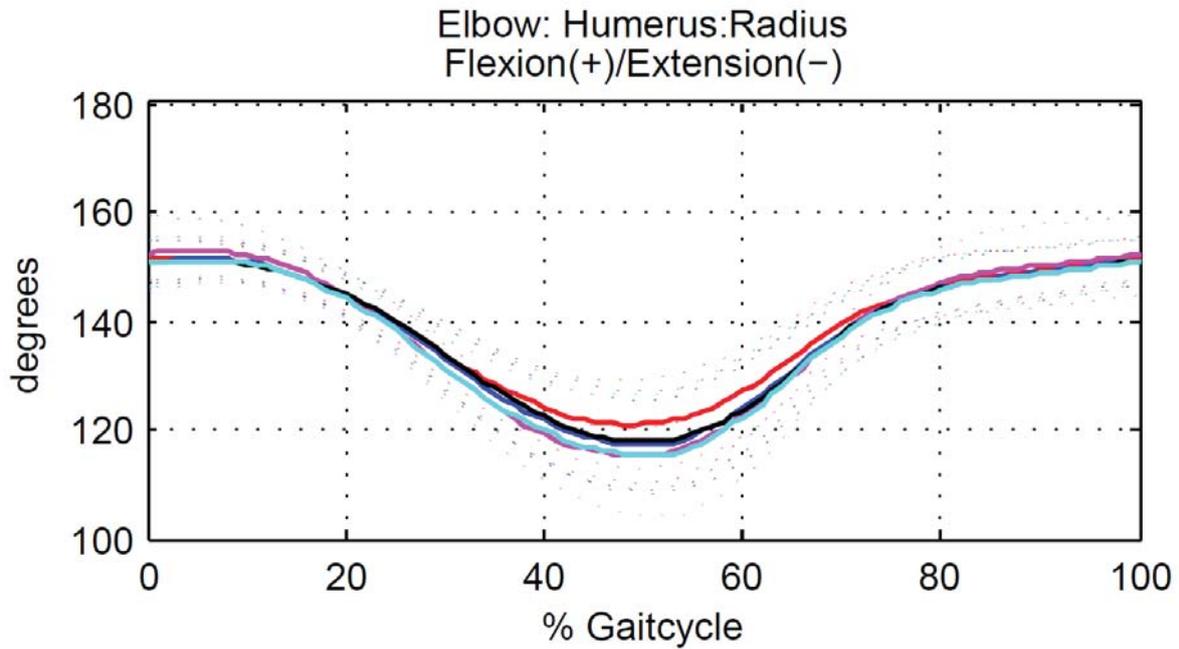


Abbildung 9: Gehen: Verlauf des Ellbogenwinkels, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.

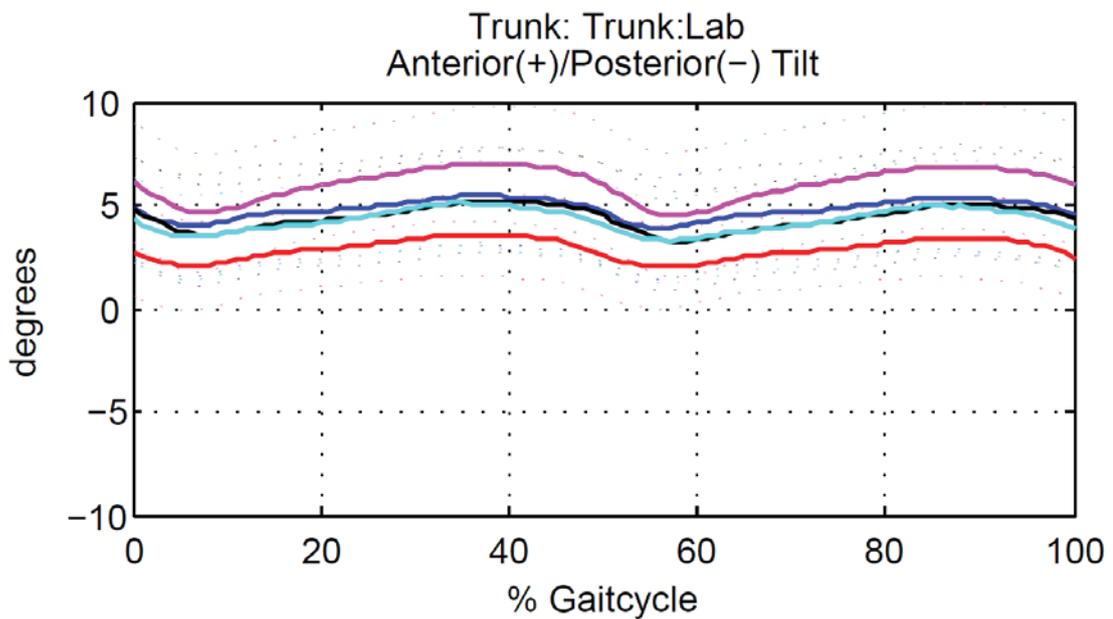


Abbildung 10: Gehen: Verlauf des Vor-Rückneigung des Oberkörpers, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan MBT.

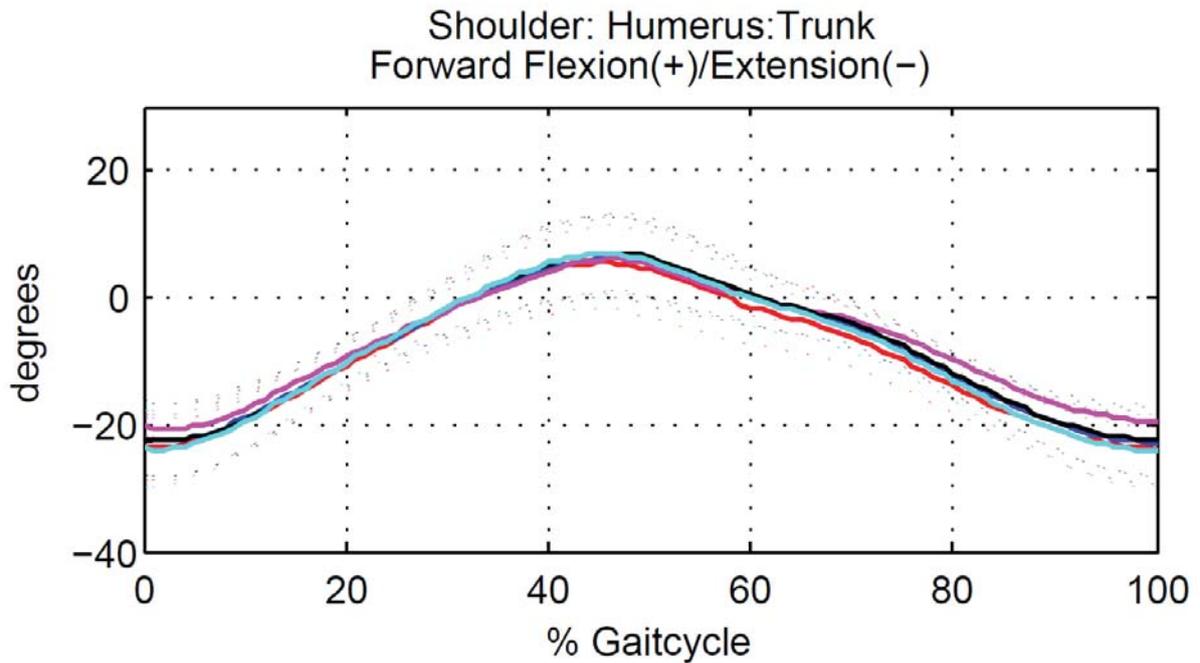


Abbildung 11: Gehen: Verlauf des Schulterwinkels, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.

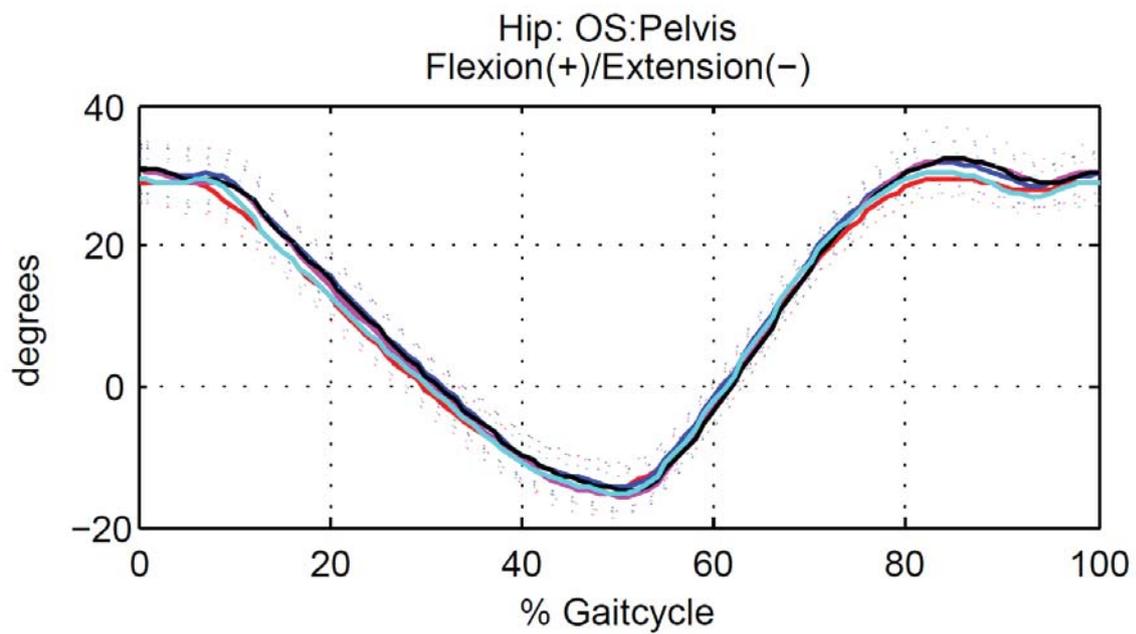


Abbildung 12: Gehen: Verlauf des Winkels Oberschenkel zu Becken, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.

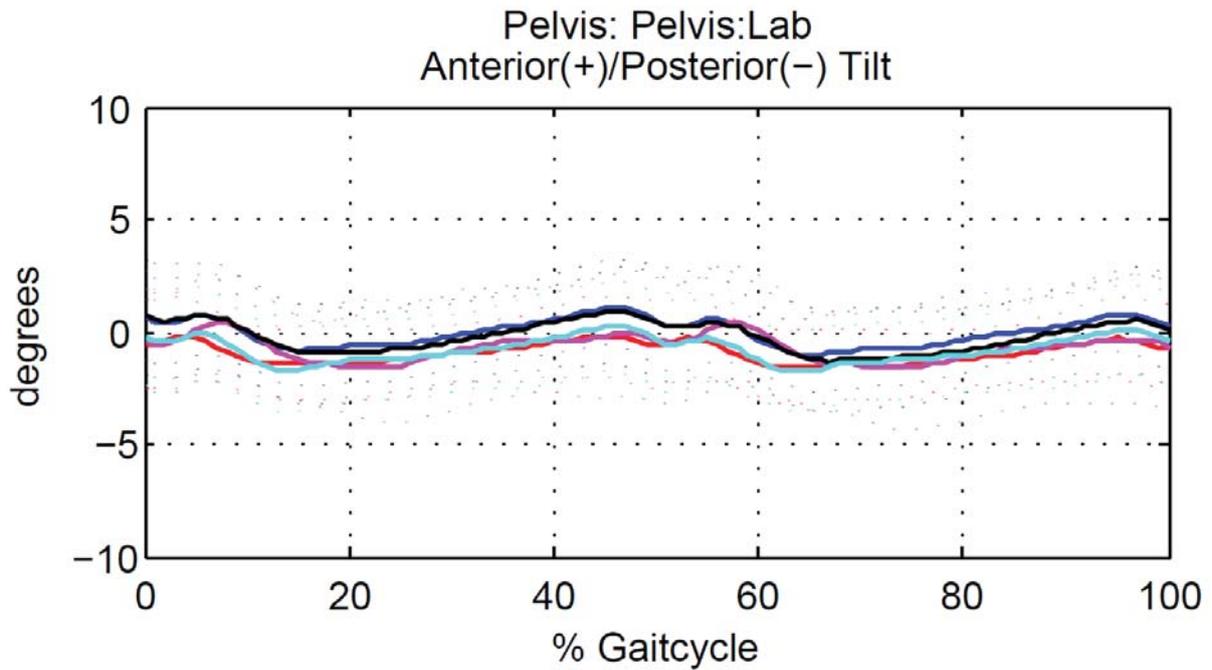


Abbildung 13: Gehen: Verlauf der Vor-Rückneigung des Beckens, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.

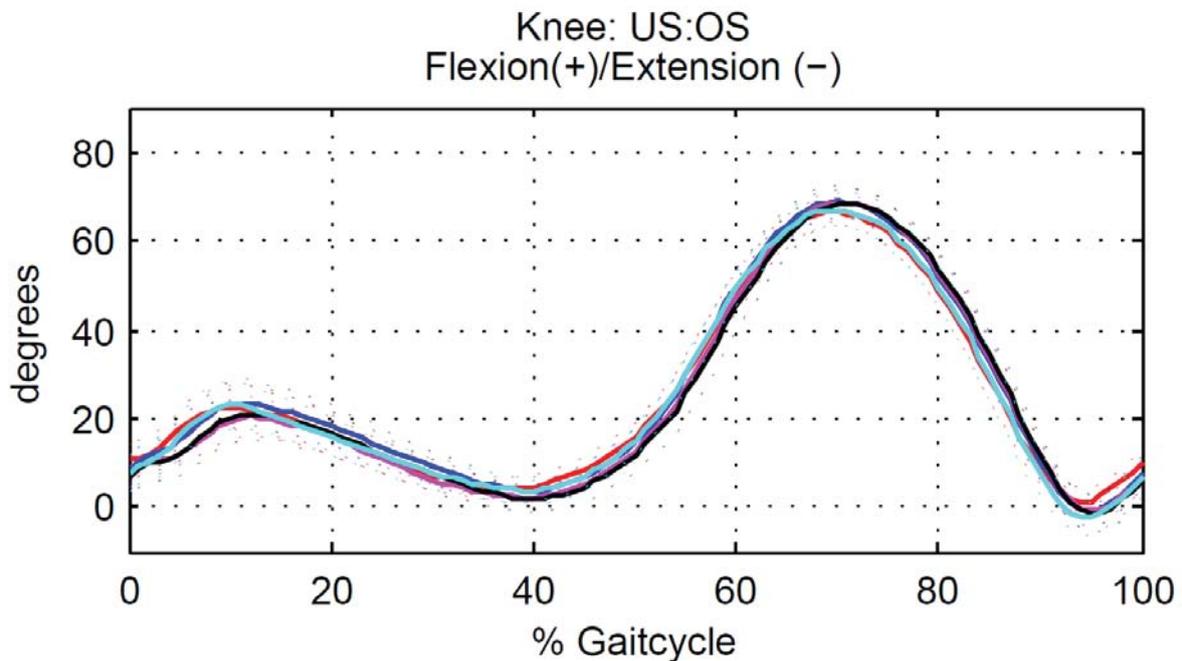
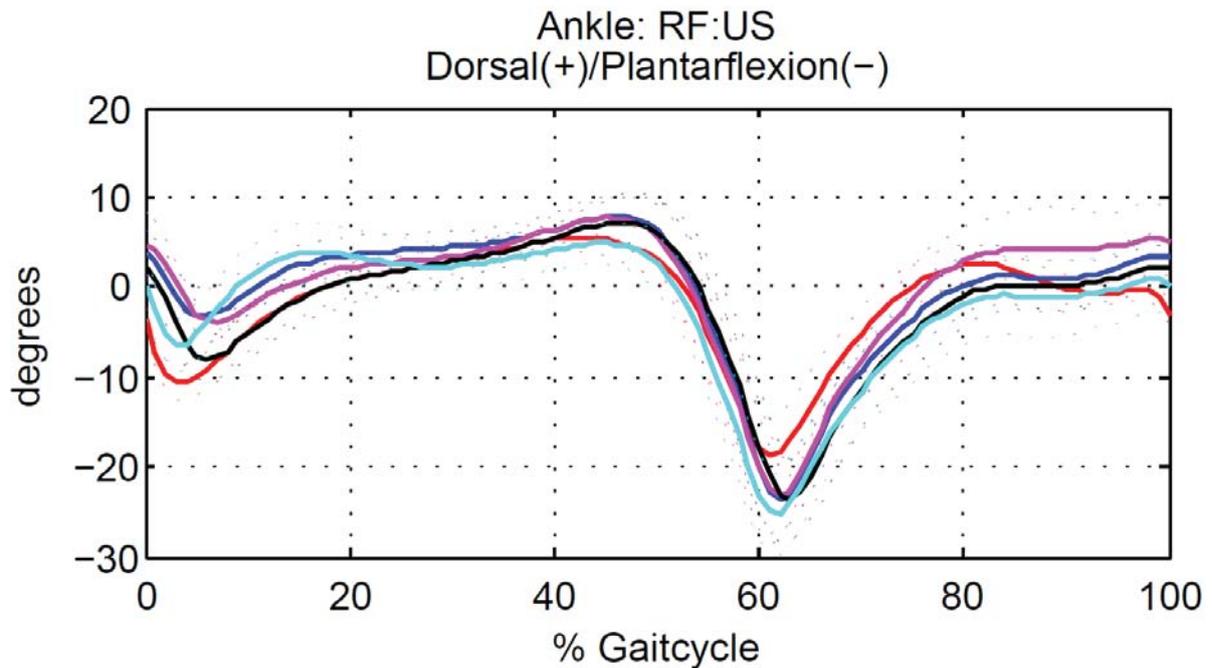


Abbildung 14: Gehen: Verlauf der Kniewinkels, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.



**Abbildung 15: Gehen: Verlauf der Sprunggelenkwinkels, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.**

Grundsätzlich unterscheidet sich das Barfuss Gehen zu den Schuhen deutlicher als der Vergleich zwischen den Schuhen (Tabelle 2 und Tabelle 3). Bei den Parametern *anromflex1*, *anromext2*, *anromflex2*, *knromflex1*, *knromflex2* und *knromext2* ist jeweils der Winkel beim Barfusslaufen kleiner als bei den Schuhen.

Die Schuhe unterscheiden sich nur in den Parametern *anromext1*, *anromflex1*, *knromflex2*, und *trrom*. Das heisst, beim Abklappen des Sprunggelenks, beim Flexionswinkel des Sprunggelenks, beim Range of Motion des Knies sowie bei der Vor-Rückwärtsneigung des Oberkörpers.

Das Abklappen des Sprunggelenks (*anromext1*) ist beim Kyboot auffallend gross im Vergleich zu Barfuss, Joya und MBT.

Kyboot hat im Vergleich zu Barfuss einen grösseren *hipromflex*, unterscheidet sich aber nicht von den anderen Schuhen.

Keine Unterschiede waren bei der Knieextension (*knromext1*), bei der Hüftextension (*hipromext*) sowie bei den Flexionen/Extensionen der Schulter und Ellbogen (*shfwflex*, *shext*, *elbext*, *elbflex*) bei zu finden.

Die CMC's unterscheiden sich nicht zwischen barfuss und den Schuhen, jedoch hat der Kyboot im Vergleich zu Joyssy und MBT einen grösseren CMC im Knie (Tabelle 12).

## Gehen: Kinetik

### Mittelwertskurven aller Probanden beim Gehen

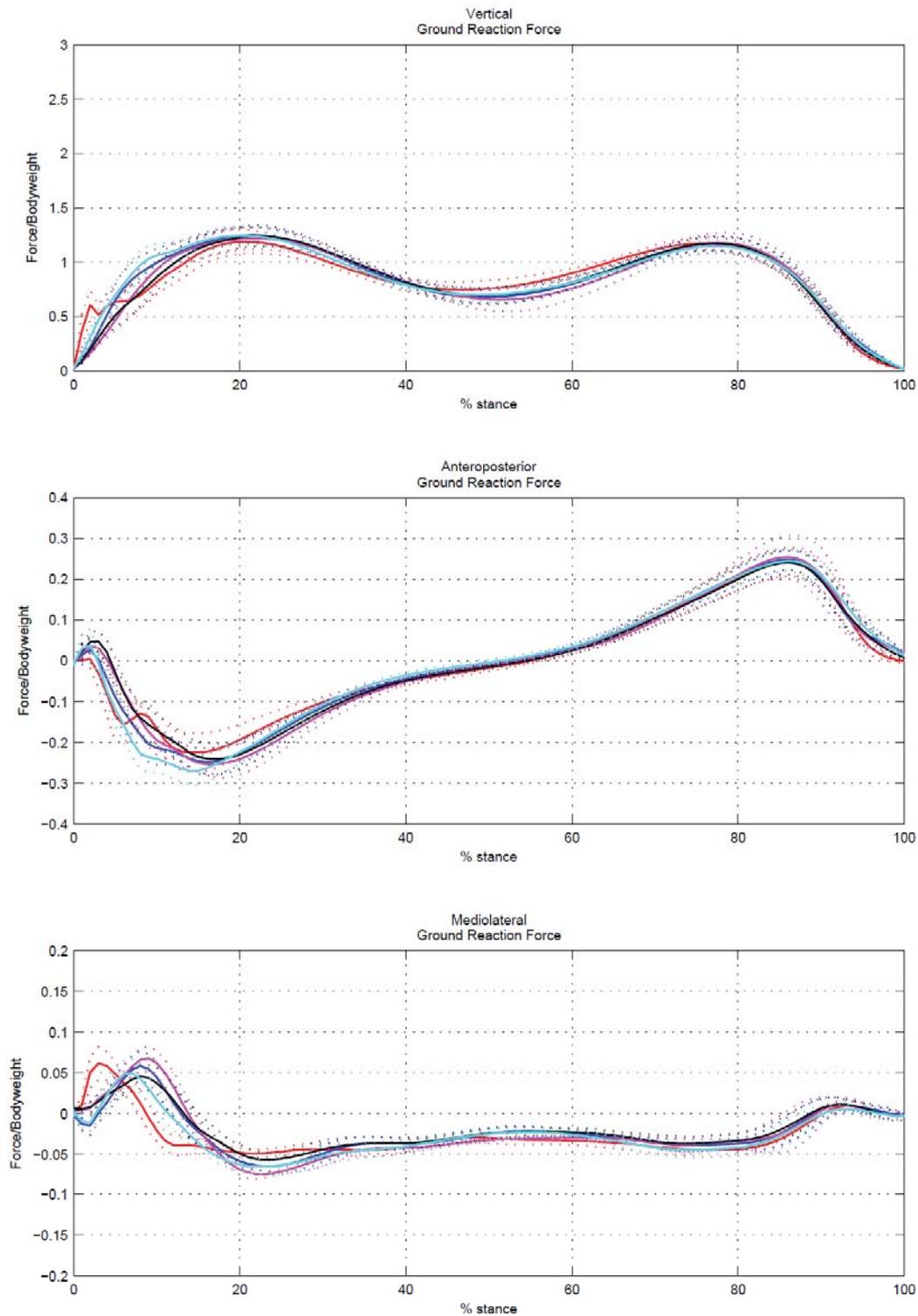


Abbildung 16: Bodenreaktionskraft beim Gehen, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.

Die maximale Kraft ist beim Joya grösser als barfuss. Obwohl im Vergleich zu barfuss das Minima ( $Fz3^*$ ) bei allen Schuhen kleiner ist, wird die Dynamik ( $FzDyn^*$ ) nur beim Joya grösser. Die Belastungsrate ist bei Joya und MBT grösser als barfuss und beim Joya und MBT grösser als beim Kyboot.

Die CMC der einzelnen Gruppen der kinematischen Kurven unterscheiden sich nicht (Tabelle 12).

Es wurde kein Unterschied bezüglich der Ganggeschwindigkeit, Kadenz, Dauer Standphase und Schwungphase beobachtet. Jedoch waren die Schrittlänge sowie die Doppelschrittlänge barfuss kürzer im Vergleich zu den Schuhen.

### **Laufen: Kinematik**

Jeweils zuerst ist eine Übersicht über alle Verläufe der Gelenkwinkel gegeben (Abbildung 17), dann pro Abbildung nur ein einzelner Verlauf. Ein Beispiel für alle Schuhtypen ist im Anhang (Abbildung 26-Abbildung 55)

### Mittelwertskurven aller Probanden beim Laufen

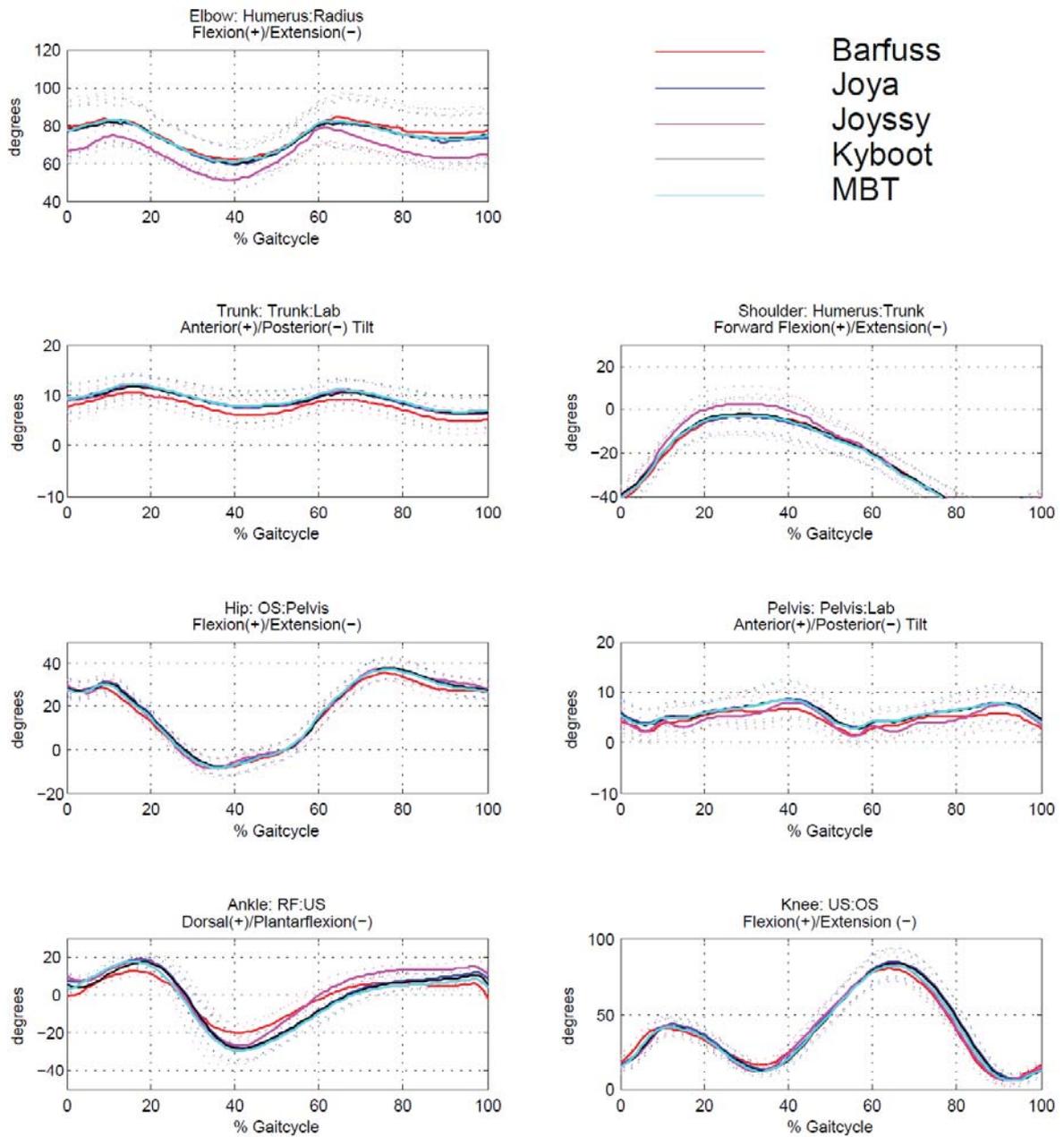
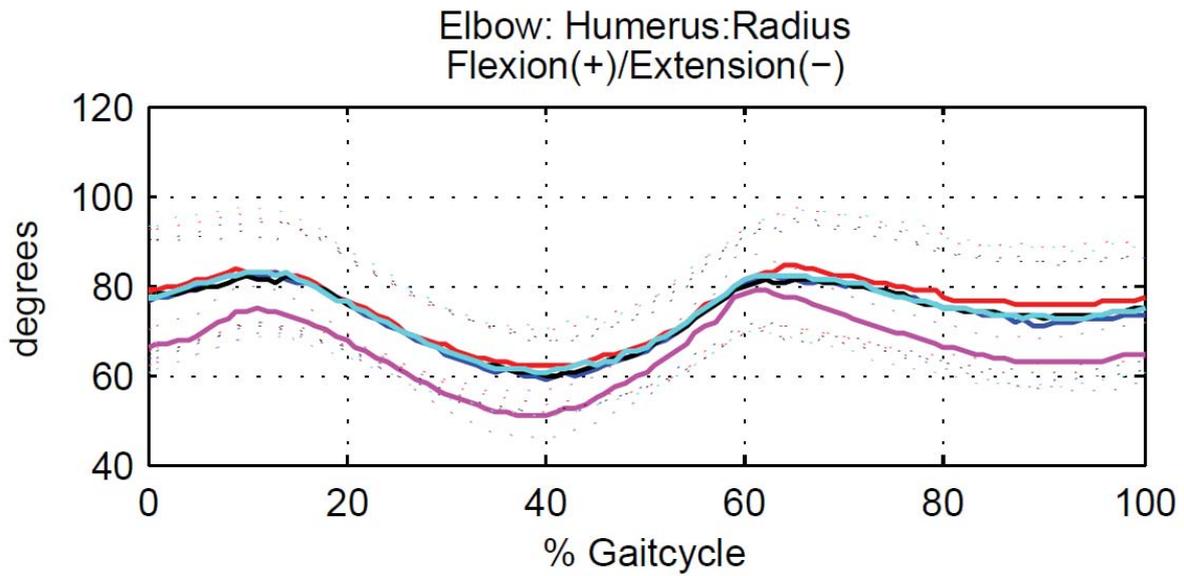
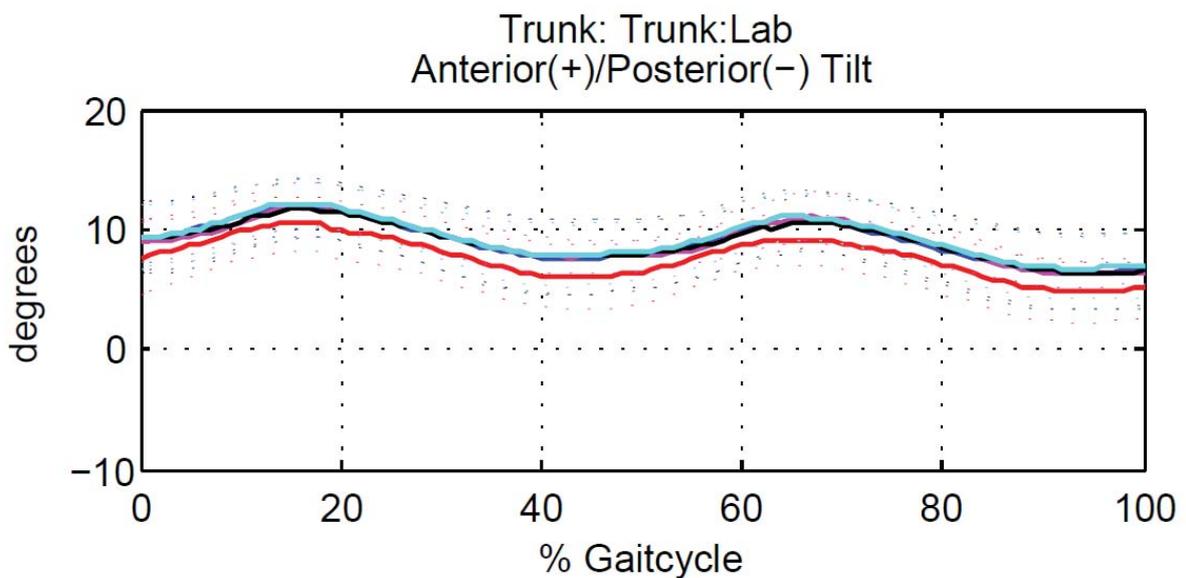


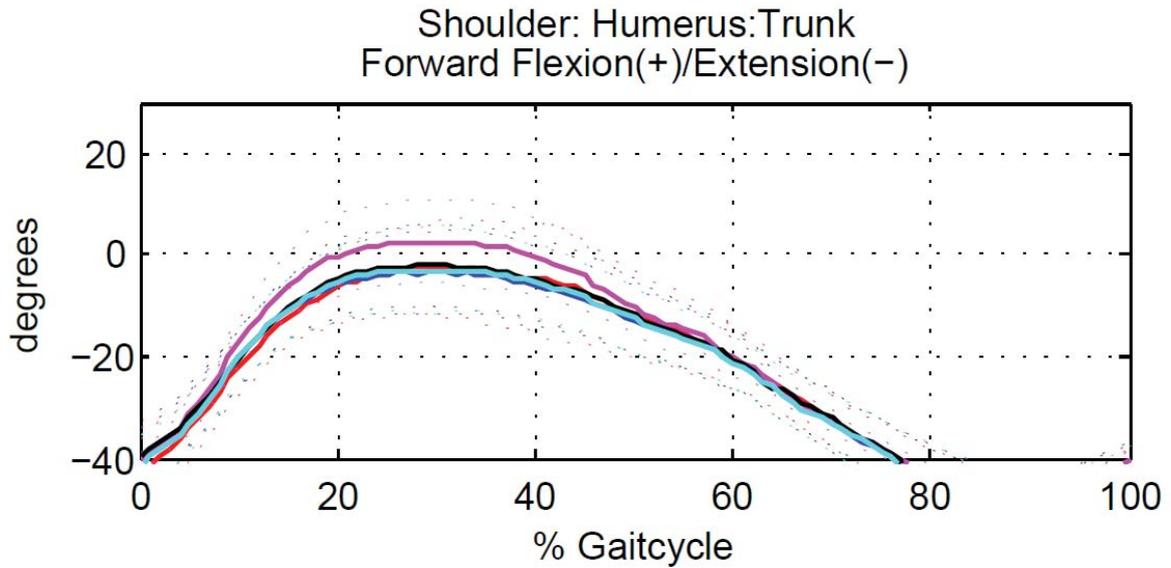
Abbildung 17: Übersicht der Winkelverläufe der Gelenke beim Laufen, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.



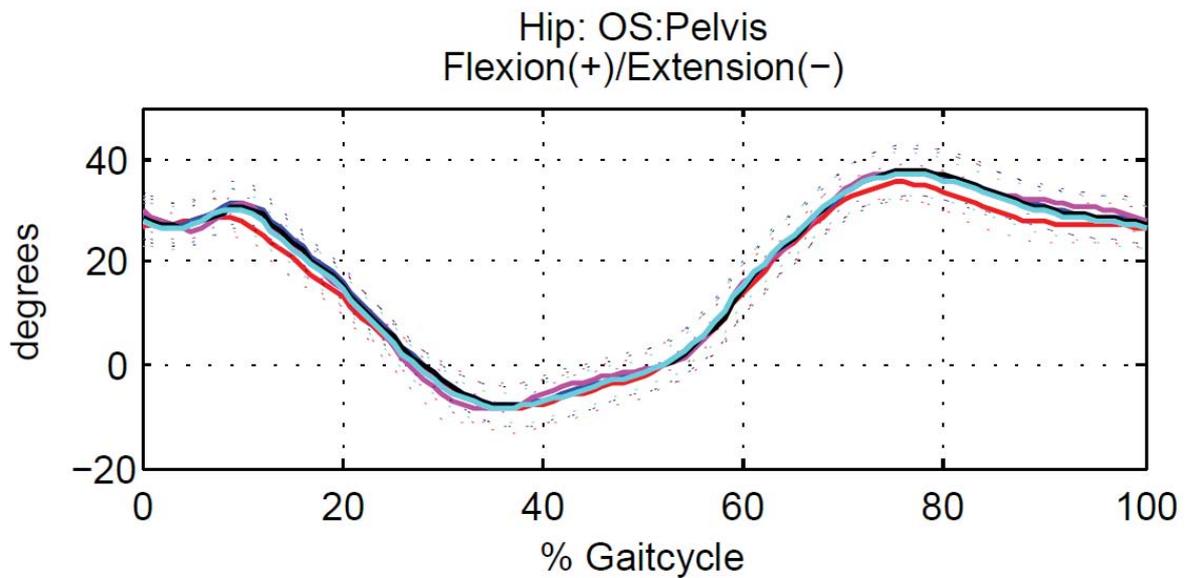
**Abbildung 18:** Laufen: Verlauf des Ellbogenwinkels, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.



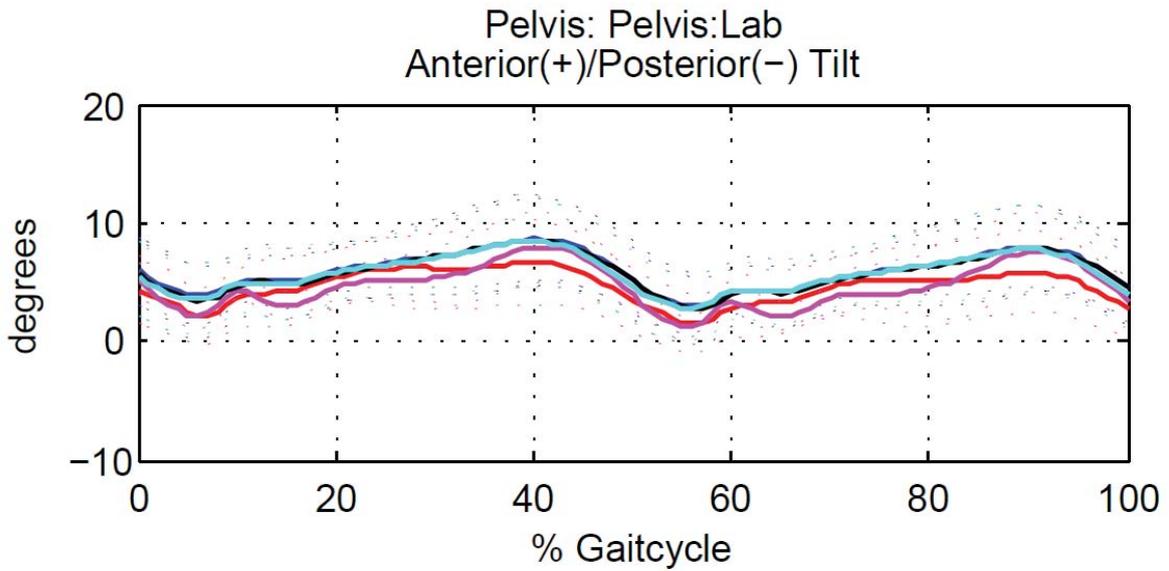
**Abbildung 19:** Laufen: Verlauf des Vor-Rückneigung des Oberkörpers, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.



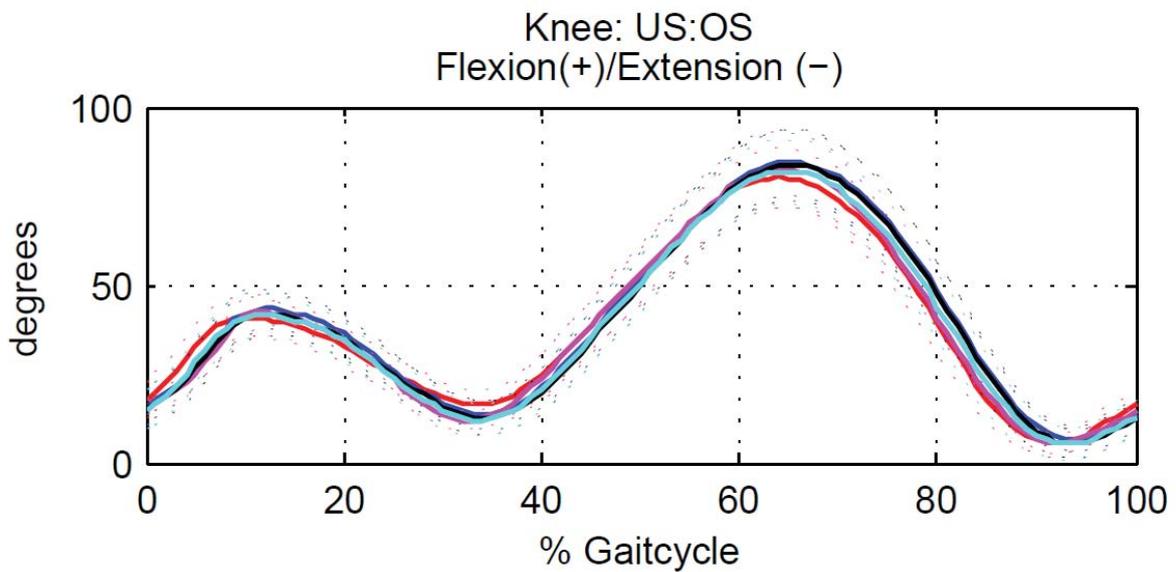
**Abbildung 20:** Laufen: Verlauf des Schulterwinkels, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.



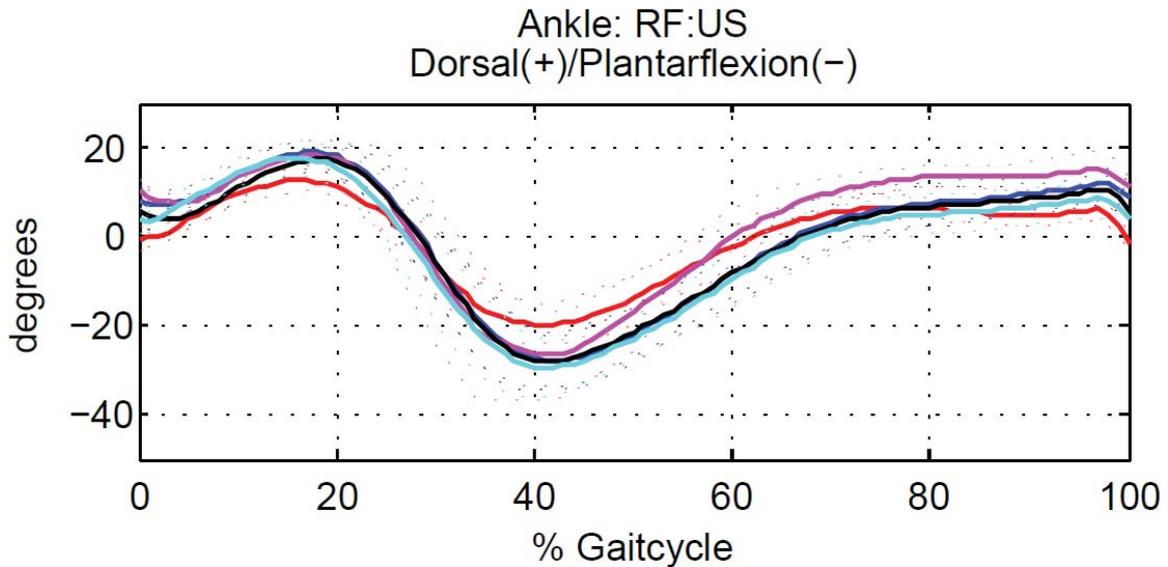
**Abbildung 21:** Laufen: Verlauf des Winkels Oberschenkel zu Becken, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.



**Abbildung 22: Laufen: Verlauf der Vor-Rückneigung des Beckens, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.**



**Abbildung 23: Laufen: Verlauf der Kniewinkels, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.**



**Abbildung 24: Laufen: Verlauf der Sprunggelenkwinkels, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.**

Die Unterschiede zwischen dem beschuhten und dem Barfuss Laufen sind nur im Sprunggelenk und im Kniegelenk zu finden (Tabelle 4 und Tabelle 5). Alle anderen kinematischen Parameter unterscheiden sich weder zwischen den Schuhen noch zu barfuss.

Das Abklappen des Sprunggelenks (anromflex1) ist der einzige Unterschied zwischen den Schuhen. Er unterscheidet sich auch zwischen barfuss und Joya.

Die anderen Winkel beim Sprunggelenk (anromext1, anromflex2) sowie der Kniewinkelparameter (knromflex1) sind beim barfuss Laufen deutlich kleiner als beim beschuhten Laufen.

Der CMC unterscheidet sich nur im Oberkörper zwischen barfuss und dem Kyboot (Tabelle 13).

### **Laufen: Kinetik**

Es wurde kein Unterschied bezüglich der Ganggeschwindigkeit, Kadenz, Dauer Standphase, Schrittlänge, Doppelschrittlänge und Schwungphase beobachtet (Tabelle 8, Tabelle 9).

Die maximale senkrechte Bodenreaktionskraft ist bei barfuss kleiner als mit Kyboot, Joya und MBT (Tabelle 11). Ebenso ist der Kraftpeak barfuss kleiner als mit allen Schuhen, die Kraftanstiegsrate ist jedoch barfuss grösser. Die Schuhe unterschieden sich bei der Kraftanstiegsrate, beim Joyssy ist sie am kleinsten, Kyboot und Joya mittel und beim MBT am grössten.

Die CMC des kinetischen Verlaufs der Kraft in x Richtung, also medio lateral, der einzelnen Gruppen unterscheiden sich zwischen barfuss und Joyssy, barfuss zu Kyboot und Joya zu Joyssy (Tabelle 12)

## Mittelwertskurven aller Probanden beim Laufen

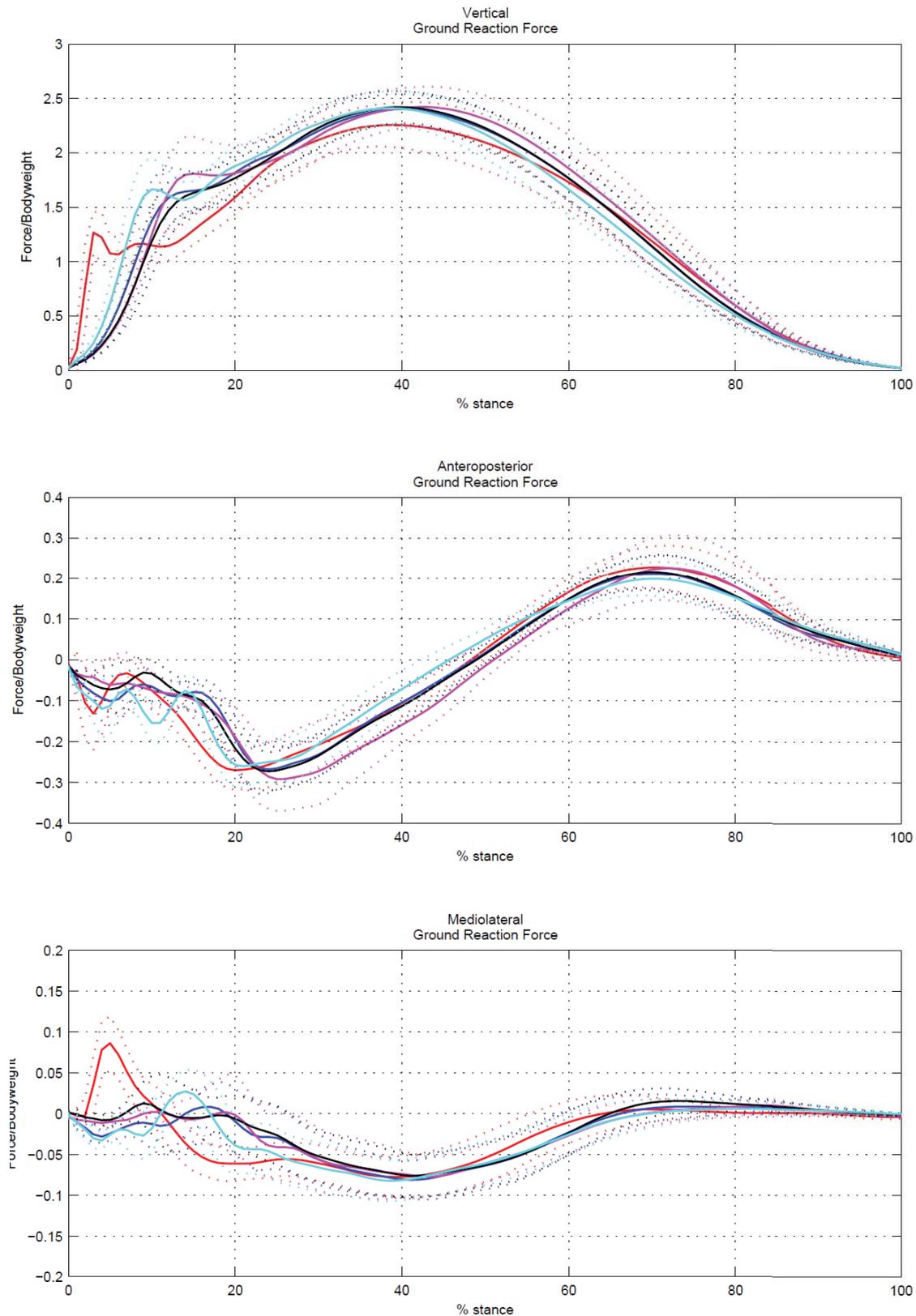


Abbildung 25: Bodenreaktionskraft beim Laufen, rot: Barfuss, blau: Joya, magenta: Joyssy, schwarz: Kyboot, cyan: MBT.

## 4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Weil sich die Ganggeschwindigkeit, Kadenz, Dauer Standphase, Dauer Schwungphase beim Gehen und Laufen sowie die Schrittlänge beim Laufen nicht unterscheiden, kann der Einfluss der Ganggeschwindigkeit sowie der Kadenz auf die Kinetik und Kinematik ausgeschlossen werden.

Das Abklappen des Sprunggelenks während dem Heelstrike erscheint ein wichtiger Parameter bei der Charakterisierung von Schuhen zu sein.

Das beschuhte Gehen und Laufen vergrößert oft die Bewegungsumfänge im Sprunggelenk und im Knie. Das könnte teilweise auch aufgrund der relativen Bewegung zwischen Schuhen und Fuss sein (STACOFF 1998).

Weil der Einfluss der Schuhe nur die Gangparameter im Sprunggelenk und im Knie beeinflusst, kann auf diese beiden Gelenke fokussiert werden.

Beim Laufen sind mit den Schuhen die Kraftanstiegsraten deutlich kleiner als barfuss, jedoch die maximale Kraft sowie der Impactpeak grösser. Es scheint, dass die Kraft weniger schnell aufgebaut wird, oder eben mit den Schuhen gedämpft wird, jedoch nicht die maximalen Kräfte.

Dass die Schuhe das Gangempfinden beeinflussen ist offensichtlich, in dieser Studie wurde auch gezeigt, dass sämtliche Schuhe die kinetischen und kinematischen Gangparameter beeinflussen können, insbesondere im Sprunggelenk und im Knie.

## Referenzen

- BACHMANN, C., H. GERBER and A. STACOFF, 2008 Messsysteme, Messmethoden und Beispiele zur instrumentierten Ganganalyse. Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie **56**: 29-34.
- DETTWYLER, M., A. STACOFF and E. STÜSSI, 2003 Static in situ calibration of statically overdetermined ground reaction force measurement platforms, pp. 88 in *XIXth International Congress of Biomechanics*, Dunedin.
- INMAN, V. T., H. J. RALSTON and F. TODD, 1981 Human walking. Baltimore, USA.
- KADABA, M. P., H. K. RAMAKRISHNAN, M. E. WOOTTEN, J. GAINEY, G. GORTON *et al.*, 1989 Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. *J Orthop Res* **7**: 849-860.
- KRAMERS-DE QUERVAIN, I. A., E. STÜSSI and A. STACOFF, 2008 Ganganalyse beim Gehen und Laufen. *Sportmedizin und Sporttraumatologie* **56**.
- LIST, R., 2009 Joint kinematics of unconstrained ankle arthroplasties, pp. in *D-MAVT*. ETH Zurich, Zurich.
- STACOFF, A., 1998 Skeletal lower extremity motions during running, pp. University of Calgary, Calgary, Alberta.
- STÜSSI, E., 1977 Vierdimensionale Vektordarstellung der Bodenkräfte beim Gehen. *Medizinisch-Orthopädische Technik*: 176-178.
- STÜSSI, E., P. AEBERSOLD and H. U. DEBRUNNER, 1978 Darstellung des Ganges durch vierdimensionale Vektoren. *Biomedizinische Technik*.
- STÜSSI, E., and H. U. DEBRUNNER, 1980 Parameter-Analyse des Menschlichen Ganges. *Biomed Tech (Berl)* **25**: 222-224.
- WOLF, P., R. LIST, T. UKELO, C. MAIWALD and A. STACOFF, 2009 Day-to-Day consistency of lower extremity kinematics during walking and running. *J Appl Biomech* **25**: 369-376.

## Anhang

**Tabelle 1: Probanden**

Proband	Geschlecht	Alter [Jahre]	Grösse [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]
A	m	25	1.84	81.6	24.2
B	w	23	1.68	56.8	20.1
C	m	31	1.83	84.0	25.1
D	w	33	1.68	61.4	21.8
E	m	36	1.76	95.4	31.0
F	m	22	1.87	80.8	23.1
G	m	24	1.73	69.4	23.3
H	m	25	1.82	68.4	20.6
I	w	25	1.67	59.4	21.3
J	w	27	1.67	62.8	22.5
K	w	23	1.67	58.0	20.9
L	m	24	1.81	77.2	23.6
Durchschnitt		26.5	1.8	71.3	23.1
Standardabweichung		4.4	0.1	12.4	2.9

**Tabelle 2: Gehen: Resultate der kinematischen Gangparameter: bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT.**

Schuhe	bf		ja		jy		ky		mt	
	mean	std								
anromext1	7.71	1.63	7.14	2.30	8.83	2.70	10.39	2.29	6.82	1.79
anromflex1	16.97	3.12	11.64	4.48	11.99	3.00	16.00	4.51	12.50	2.87
anromext2	27.33	4.54	33.85	3.37	32.87	3.24	33.61	4.47	32.95	4.91
anromflex2	27.45	4.51	34.42	4.11	34.27	4.89	33.96	4.98	32.83	5.14
knromflex1	11.95	2.85	15.34	3.17	13.47	2.81	14.45	2.99	15.47	2.95
knromext1	15.35	3.64	14.85	3.31	14.88	4.12	14.85	3.45	15.49	3.94
knromflex2	59.67	3.56	60.14	3.33	63.23	1.41	61.98	2.68	59.39	3.24
knromext2	66.31	3.67	70.52	3.38	70.35	1.92	70.59	2.71	70.37	2.91
hipromext	44.22	4.48	45.85	4.05	46.88	4.37	46.21	3.88	45.71	3.79
hipromflex	45.06	3.75	46.89	3.34	48.46	3.71	47.75	3.05	46.56	3.30
pelrom	2.81	0.73	3.64	1.06	3.03	0.88	3.52	0.97	3.47	0.90
trrom	2.33	0.87	2.27	0.64	2.91	0.26	2.52	0.78	2.44	0.88
shfwflex	29.33	10.35	28.86	11.46	26.86	6.34	29.65	11.25	31.06	12.15
shext	29.58	10.41	29.24	11.20	25.68	6.35	29.75	11.28	31.21	12.24
elbext	31.49	8.92	34.83	9.29	37.92	8.98	34.22	9.95	36.62	12.16
elbflex	31.08	9.06	34.28	9.63	36.97	10.38	33.82	10.35	36.04	12.32

**Tabelle 3: Gehen: p Werte der statistischen Auswertung der kinematischen Gangparameter zwischen den Gruppen mit unterschiedlichen Schuhen. bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT, die gelben Felder bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Schuhtypen.**

Schuhe	bf*ja	bf*jy	bf*ky	bf*mt	ja*jy	ja*ky	ja*mt	jy*ky	jy*mt	ky*mt
anromext1	0.998	0.367	0.000	0.078	0.129	0.000	0.599	0.162	0.034	0.000
anromflex1	0.000	0.002	0.394	0.000	0.856	0.020	0.432	0.050	0.704	0.003
anromext2	0.000	0.009	0.000	0.000	0.527	0.837	0.466	0.706	0.968	0.630
anromflex2	0.000	0.003	0.000	0.000	0.938	0.729	0.243	0.893	0.542	0.443
knromflex1	0.000	0.252	0.005	0.000	0.199	0.320	0.882	0.478	0.146	0.238
knromext1	0.616	0.783	0.627	0.898	0.983	0.995	0.540	0.987	0.737	0.551
knromflex2	0.640	0.001	0.015	0.771	0.036	0.040	0.429	0.285	0.009	0.004
knromext2	0.000	0.015	0.000	0.000	0.905	0.938	0.867	0.839	0.987	0.786
hipromext	0.193	0.201	0.107	0.220	0.584	0.753	0.903	0.712	0.514	0.653
hipromflex	0.081	0.056	0.009	0.147	0.320	0.356	0.738	0.627	0.229	0.204
pelrom	0.003	0.530	0.006	0.007	0.204	0.683	0.565	0.272	0.284	0.872
trrom	0.790	0.009	0.429	0.659	0.025	0.235	0.448	0.050	0.032	0.749
shfwflex	0.881	0.584	0.920	0.599	0.687	0.811	0.522	0.567	0.424	0.678
shext	0.914	0.391	0.956	0.622	0.464	0.876	0.564	0.406	0.298	0.670
elbext	0.210	0.126	0.322	0.103	0.470	0.826	0.571	0.414	0.808	0.458
elbflex	0.242	0.176	0.335	0.120	0.550	0.874	0.584	0.510	0.866	0.502

**Tabelle 4: Laufen: Resultate der kinematischen Gangparameter: bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT.**

Schuhe	bf		ja		jy		ky		mt	
	mean	std								
anromflex1	14.18	2.38	12.98	3.28	11.69	1.92	15.36	3.37	15.46	2.80
anromext1	36.20	4.71	50.01	6.90	47.98	10.16	48.64	6.86	50.30	6.83
anromflex2	31.42	5.39	43.39	8.80	45.61	11.92	42.61	8.74	41.62	9.02
knromflex1	23.74	2.61	27.97	3.48	27.54	3.24	27.31	3.56	27.01	2.66
knromext1	36.66	4.59	37.81	4.63	38.00	6.61	37.75	4.35	37.63	3.79
knromflex2	75.78	7.88	78.91	8.67	77.91	12.29	79.50	8.63	78.17	7.13
knromext2	75.78	7.88	78.87	8.64	77.84	12.30	79.45	8.59	78.04	7.01
hipromext	39.16	6.54	40.89	6.71	41.68	3.60	40.42	5.98	40.26	6.12
hipromflex	45.29	6.47	46.33	7.14	47.28	4.96	46.78	7.02	46.57	6.56
pelpost1	2.35	1.39	2.62	1.34	3.23	1.75	2.76	1.35	2.30	1.16
pelant1	5.81	1.75	5.94	1.79	6.04	3.02	6.15	1.49	5.87	1.71
pelpost2	6.64	1.75	6.72	1.71	6.95	2.71	6.87	1.63	6.59	1.80
pelant2	5.76	1.70	6.04	1.63	6.59	2.99	6.17	1.49	5.91	1.72
truant1	3.02	1.32	2.64	1.07	3.09	1.53	2.55	1.28	2.94	1.09
trupost1	4.78	1.52	4.62	1.66	4.63	2.51	4.29	1.42	4.59	1.51
truant2	3.60	1.25	3.54	1.36	3.62	1.94	3.29	1.23	3.54	1.38
trupost2	4.79	1.52	4.73	1.62	5.00	2.01	4.58	1.53	4.62	1.61
shfwflex	41.49	15.43	38.10	11.18	43.66	7.06	38.42	11.50	39.13	11.45
shext	50.22	17.19	47.10	12.63	51.44	10.40	47.55	13.89	47.85	12.73
elbext	24.54	12.20	25.16	10.81	24.54	9.87	24.53	10.72	25.47	12.78
elbflex	24.85	12.82	25.91	12.31	28.78	10.78	24.78	12.18	25.17	12.70

**Tabelle 5: Laufen: p Werte der statistischen Auswertung der kinematischen Gangparameter zwischen den Gruppen mit unterschiedlichen Schuhen. bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT, die gelben Felder bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Schuhtypen.**

Schuhe	bf*ja	bf*jy	bf*ky	bf*mt	ja*jy	ja*ky	ja*mt	jy*ky	jy*mt	ky*mt
anromflex1	0.154	0.025	0.168	0.096	0.368	0.017	0.007	0.017	0.004	0.914
anromext1	0.000	0.035	0.000	0.000	0.562	0.493	0.885	0.850	0.505	0.405
anromflex2	0.000	0.032	0.000	0.000	0.610	0.761	0.496	0.490	0.371	0.701
knromflex1	0.000	0.005	0.000	0.000	0.789	0.517	0.290	0.882	0.676	0.746
knromext1	0.392	0.564	0.404	0.429	0.935	0.963	0.884	0.911	0.900	0.920
knromflex2	0.197	0.601	0.126	0.276	0.818	0.816	0.747	0.714	0.963	0.563
knromext2	0.203	0.613	0.130	0.299	0.813	0.817	0.718	0.710	0.971	0.538
hipromext	0.371	0.225	0.490	0.552	0.784	0.800	0.735	0.628	0.592	0.926
hipromflex	0.598	0.490	0.449	0.499	0.764	0.829	0.905	0.872	0.808	0.916
pelpost1	0.503	0.199	0.312	0.887	0.356	0.723	0.383	0.477	0.124	0.215
pelant1	0.809	0.811	0.476	0.910	0.916	0.657	0.894	0.896	0.856	0.548
pelpost2	0.874	0.736	0.636	0.919	0.800	0.753	0.795	0.933	0.698	0.569
pelant2	0.565	0.374	0.384	0.770	0.545	0.780	0.783	0.752	0.465	0.577
truant1	0.284	0.916	0.217	0.810	0.412	0.785	0.354	0.383	0.781	0.267
trupost1	0.728	0.850	0.251	0.672	0.991	0.460	0.957	0.657	0.965	0.471
truant2	0.873	0.974	0.394	0.875	0.904	0.512	0.999	0.606	0.906	0.516
trupost2	0.890	0.773	0.636	0.716	0.723	0.748	0.827	0.572	0.626	0.922
shfwflex	0.388	0.742	0.439	0.550	0.259	0.922	0.754	0.299	0.366	0.832
shext	0.478	0.870	0.557	0.591	0.445	0.907	0.838	0.528	0.530	0.937
elbext	0.852	1.000	0.998	0.797	0.899	0.840	0.928	0.998	0.870	0.783
elbflex	0.772	0.469	0.985	0.932	0.606	0.751	0.838	0.470	0.528	0.915

**Tabelle 6: Gehen: Resultate der kinetischen Gangparameter: bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT.**

Schuhe	bf		ja		jy		ky		mt	
	mean	std								
v	1.41	0.17	1.54	0.13	1.54	0.16	1.50	0.16	1.52	0.11
v*	0.34	0.04	0.37	0.03	0.38	0.04	0.36	0.04	0.37	0.03
f	115.3	7.7	117.4	5.1	119.0	6.6	114.8	7.0	115.9	5.9
f*	48.5	3.1	49.6	2.2	49.2	2.8	48.5	3.1	48.9	2.2
DS	1.45	0.13	1.57	0.10	1.56	0.11	1.57	0.09	1.57	0.07
DS*	0.84	0.06	0.90	0.06	0.93	0.06	0.90	0.05	0.90	0.04
S	0.73	0.06	0.79	0.05	0.78	0.05	0.78	0.05	0.79	0.04
S*	0.42	0.03	0.45	0.03	0.46	0.03	0.45	0.03	0.45	0.02
tS	0.62	0.04	0.62	0.03	0.61	0.04	0.64	0.04	0.63	0.04
t_DS*	21.5	2.8	22.0	2.8	22.4	2.2	23.8	2.8	21.7	2.5
t_SLS*	39.6	1.3	39.2	1.2	39.3	0.7	38.2	1.3	39.5	1.2
SP*	61.1	1.8	61.2	1.6	61.7	1.6	62.0	1.6	61.2	1.3
SCHP*	38.9	1.8	38.8	1.6	38.3	1.6	38.0	1.6	38.8	1.3

v = mittlere Ganggeschwindigkeit in [m/s]

v\* = normierte Mittlere Ganggeschwindigkeit ( $v/\sqrt{L_0 \cdot g}$ )

f = mittlere Kadenz in [steps/min]

f\* = normierte Mittlere Kadenz ( $f/\sqrt{L_0/g}$ )

DS = Doppelschritt links nach links bzw rechts nach rechts in [m]

DS\* = normierter Doppelschritt ( $DS/L_0$ )

S = Schrittlänge links nach rechts bzw rechts nach links in [m]

S\* = normierte Schrittlänge ( $S_{LR}/L_0$ )

tS = Time Stance in [s]

t\_DS\* = Time Double Stance (in %Zyklus)

t\_SLS\* = Time Single Stance (in %Zyklus)

SP\* = Standphase (in %Zyklus)

SCHP\* = Schwungphase (in %Zyklus)

**Tabelle 7: Gehen: p Werte der statistischen Auswertung der kinetischen Gangparameter: bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT, die gelben Felder bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Schuhtypen.**

	bf*ja	bf*jy	bf*ky	bf*mt	ja*jy	ja*ky	ja*mt	jy*ky	jy*mt	ky*mt
v	0.051	0.243	0.181	0.069	0.948	0.578	0.766	0.712	0.797	0.744
v*	0.056	0.121	0.171	0.071	0.541	0.650	0.842	0.445	0.447	0.771
f	0.434	0.464	0.883	0.824	0.665	0.309	0.507	0.372	0.443	0.683
f*	0.344	0.750	0.983	0.712	0.779	0.327	0.478	0.739	0.883	0.691
DS	0.021	0.226	0.022	0.009	0.815	0.916	0.925	0.858	0.711	0.826
DS*	0.022	0.047	0.022	0.012	0.417	0.909	0.936	0.346	0.363	0.832
S	0.019	0.243	0.024	0.008	0.748	0.884	0.906	0.815	0.627	0.775
S*	0.028	0.063	0.034	0.014	0.494	0.855	0.907	0.401	0.462	0.745
tS	0.919	0.646	0.321	0.899	0.611	0.215	0.792	0.267	0.532	0.331
t_DS*	0.663	0.626	0.061	0.872	0.835	0.128	0.759	0.428	0.664	0.061
t_SLS*	0.429	0.713	0.013	0.800	0.873	0.053	0.573	0.164	0.832	0.018
SP*	0.884	0.611	0.229	0.941	0.649	0.257	0.927	0.787	0.551	0.187
SCHP*	0.884	0.611	0.229	0.941	0.649	0.257	0.927	0.787	0.551	0.187

v = mittlere Ganggeschwindigkeit in [m/s]

v\* = normierte Mittlere Ganggeschwindigkeit ( $v/\sqrt{L_0 \cdot g}$ )

f = mittlere Kadenz in [steps/min]

f\* = normierte Mittlere Kadenz ( $f/\sqrt{L_0/g}$ )

DS = Doppelschritt links nach links bzw rechts nach rechts in [m]

DS\* = normierter Doppelschritt ( $DS/L_0$ )

S = Schrittlänge links nach rechts bzw rechts nach links in [m]

S\* = normierte Schrittlänge ( $S_{LR}/L_0$ )

tS = Time Stance in [s]

t\_DS\* = Time Double Stance (in %Zyklus)

t\_SLS\* = Time Single Stance (in %Zyklus)

SP\* = Standphase (in %Zyklus)

SCHP\* = Schwungphase (in %Zyklus)

**Tabelle 8: Laufen: Resultate der kinetischen Gangparameter: bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT.**

Schuhe	bf		ja		jy		ky		mt	
	mean	std								
v	2.53	0.36	2.63	0.30	2.58	0.33	2.60	0.32	2.64	0.28
v*	0.61	0.09	0.63	0.07	0.63	0.08	0.63	0.07	0.63	0.06
f	160.46	8.93	157.78	8.57	156.00	8.15	156.02	9.10	158.09	7.65
f*	67.79	4.45	66.67	4.41	64.46	3.47	65.92	4.60	66.79	4.04
DS	1.89	0.26	2.00	0.21	2.00	0.34	2.00	0.22	2.00	0.21
DS*	1.08	0.15	1.14	0.13	1.19	0.20	1.14	0.13	1.14	0.13
S	0.95	0.13	1.00	0.10	1.00	0.16	1.00	0.10	1.00	0.10
S*	0.54	0.07	0.57	0.07	0.60	0.10	0.57	0.06	0.57	0.06
tS	0.29	0.04	0.30	0.03	0.29	0.03	0.30	0.02	0.29	0.03

v = mittlere Ganggeschwindigkeit in [m/s]

v\* = normierte Mittlere Ganggeschwindigkeit ( $v/\sqrt{L_0 \cdot g}$ )

f = mittlere Kadenz in [steps/min]

f\* = normierte Mittlere Kadenz ( $f/\sqrt{L_0/g}$ )

DS = Doppelschritt links nach links bzw rechts nach rechts in [m]

DS\* = normierter Doppelschritt ( $DS/L_0$ )

S = Schrittlänge links nach rechts bzw rechts nach links in [m]

S\* = normierte Schrittlänge ( $S_{LR}/L_0$ )

tS = Time Stance in [s]

**Tabelle 9: p Werte der statistischen Auswertung der kinetischen Gangparameter: bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT, die gelben Felder bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Schuhtypen.**

	bf*ja	bf*jy	bf*ky	bf*mt	ja*jy	ja*ky	ja*mt	jy*ky	jy*mt	ky*mt
v	0.478	0.827	0.612	0.440	0.841	0.838	0.961	0.924	0.783	0.796
v*	0.505	0.687	0.614	0.459	0.988	0.867	0.952	0.906	0.985	0.816
f	0.462	0.447	0.240	0.492	0.758	0.630	0.928	0.997	0.682	0.553
f*	0.540	0.253	0.322	0.570	0.439	0.690	0.943	0.619	0.378	0.627
DS	0.285	0.656	0.288	0.273	0.994	0.992	0.977	0.989	0.980	0.985
DS*	0.307	0.298	0.311	0.290	0.599	0.982	0.982	0.455	0.598	0.963
S	0.280	0.658	0.274	0.274	0.696	0.985	0.992	0.961	0.965	0.992
S*	0.284	0.310	0.281	0.304	0.652	0.988	0.938	0.634	0.605	0.949
tS	0.975	0.903	0.649	0.925	0.843	0.583	0.873	0.570	0.922	0.478

v = mittlere Ganggeschwindigkeit in [m/s]

v\* = normierte Mittlere Ganggeschwindigkeit ( $v/\sqrt{L_0/g}$ )

f = mittlere Kadenz in [steps/min]

f\* = normierte Mittlere Kadenz ( $f/\sqrt{L_0/g}$ )

DS = Doppelschritt links nach links bzw rechts nach rechts in [m]

DS\* = normierter Doppelschritt ( $DS/L_0$ )

S = Schrittlänge links nach rechts bzw rechts nach links in [m]

S\* = normierte Schrittlänge ( $S_{LR}/L_0$ )

tS = Time Stance in [s]

**Tabelle 10: Gehen: kinetische Parameter inklusive p Werte, bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT, die gelben Felder bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Schuhtypen.**

Schuhe		Fzav*	Fz2*	Fz4*	Fz3*	FzDyn*	b*	e*	Int_Fz*	Int_Fy*	Int_Fx*
bf	mean	1.19	1.21	1.18	0.74	0.46	5.26	-4.38	1.27	0.067	-0.039
	std	0.07	0.10	0.06	0.08	0.14	1.12	0.50	0.07	0.091	0.007
ja	mean	1.22	1.26	1.18	0.67	0.55	7.25	-4.55	1.27	0.086	-0.032
	std	0.06	0.08	0.06	0.07	0.11	2.60	0.51	0.05	0.087	0.009
jy	mean	1.21	1.23	1.18	0.65	0.56	6.29	-4.55	1.24	0.087	-0.035
	std	0.10	0.11	0.09	0.09	0.16	1.45	0.68	0.04	0.096	0.010
ky	mean	1.22	1.25	1.18	0.69	0.53	5.65	-4.29	1.29	0.084	-0.030
	std	0.07	0.10	0.07	0.07	0.13	1.54	0.57	0.06	0.087	0.010
mt	mean	1.21	1.27	1.15	0.69	0.52	7.86	-4.42	1.28	0.088	-0.039
	std	0.06	0.08	0.06	0.06	0.11	1.91	0.50	0.06	0.093	0.011
bf*ja		0.174	0.030	0.778	0.003	0.017	0.002	0.255	0.969	0.482	0.006
bf*jy		0.767	0.584	0.888	0.021	0.133	0.071	0.499	0.426	0.650	0.258
bf*ky		0.280	0.096	0.886	0.034	0.075	0.325	0.604	0.400	0.532	0.002
bf*mt		0.454	0.028	0.076	0.036	0.103	0.000	0.779	0.486	0.442	0.977
ja*jy		0.613	0.404	0.979	0.455	0.867	0.394	0.995	0.284	0.984	0.508
ja*ky		0.852	0.704	0.897	0.355	0.560	0.013	0.109	0.286	0.934	0.562
ja*mt		0.477	0.942	0.145	0.274	0.316	0.364	0.379	0.367	0.924	0.018
jy*ky		0.729	0.615	0.961	0.214	0.628	0.367	0.356	0.123	0.943	0.344
jy*mt		0.904	0.396	0.377	0.165	0.441	0.072	0.607	0.130	0.969	0.395
ky*mt		0.651	0.662	0.126	0.897	0.736	0.000	0.426	0.845	0.861	0.006

Fzav\* = normierter Mittelwert der 2 Kraftmaximas:  $((Fz2^*+Fz4^*)/2)/KG$

Fz2\* = normiertes erstes Kraftmaximum:  $Fz2^* = Fz2/KG$

Fz4\* = normiertes zweites Kraftmaximum:  $Fz4^* = Fz4/KG$

Fz3\* = normiertes Kraftminimum:  $Fz3^* = Fz3/KG$

FzDyn\* = normierter dynamischer Kraftparameter:  $FzDyn^* = FzDyn/KG$ ;  $FzDyn = (Fz2 + Fz4)/2 -$

$Fz3 = (Fzmax(links) + Fzmax(rechts))/2 - Fzmin$

$b^* = \text{normierte Belastungsrate: } b^* = b/(KG \cdot \sqrt{g/L_0})$  ((STÜSSI and DEBRUNNER 1980))

$e^* = \text{normierte Entlastungsrate: } e^* = e/(KG \cdot \sqrt{g/L_0})$  ((STÜSSI and DEBRUNNER 1980))

$Int\_Fz^* = \text{normiertes Zeitintegral: } Int\_Fz^* = Int\_Fz/(KG \cdot \sqrt{L_0/g})$

$Int\_Fy^* = \text{normiertes Gesamtintegral: } Int\_Fy^* = Int\_Fy/(KG \cdot \sqrt{L_0/g})$ ; positiv =

Beschleunigung, negativ = Bremsen

$Int\_Fx^* = \text{normiertes Gesamtintegral: } Int\_Fx^* = Int\_Fx/(KG \cdot \sqrt{L_0/g})$ ; positiv = medial, negativ = lateral

**Tabelle 11: Laufen: kinetische Parameter inklusive p Werte, bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT, die gelben Felder bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Schuhtypen.**

Schuhe		Fz_max*	IntFz*	Fz_peak*	c(1)_LR	c(2)_LR	c(1)_DR	c(2)_DR	IntFy*	IntFx*
bf	mean	2.29	0.920	1.45	79.1	-11818	-5.22	3608	0.047	-0.018
	std	0.19	0.058	0.26	27.8	3919	0.89	469	0.051	0.009
ja	mean	2.43	0.946	1.79	16.9	-2692	-4.85	3397	0.045	-0.018
	std	0.14	0.061	0.25	2.2	453	0.66	473	0.047	0.011
jy	mean	2.45	0.968	1.89	13.1	-2007	-4.65	3142	0.047	-0.018
	std	0.17	0.039	0.32	2.2	207	0.93	427	0.057	0.012
ky	mean	2.45	0.954	1.79	14.3	-2331	-4.93	3503	0.047	-0.017
	std	0.15	0.065	0.21	2.3	463	0.71	506	0.047	0.010
mt	mean	2.44	0.945	1.75	19.9	-3075	-4.73	3283	0.046	-0.020
	std	0.15	0.054	0.27	3.4	598	0.76	482	0.048	0.011
bf*ja		0.004	0.137	0.000	0.000	0.000	0.105	0.126	0.930	0.886
bf*jy		0.071	0.063	0.001	0.000	0.000	0.174	0.046	1.000	0.849
bf*ky		0.002	0.064	0.000	0.000	0.000	0.214	0.457	0.977	0.883
bf*mt		0.003	0.127	0.000	0.000	0.000	0.044	0.022	0.954	0.315
ja*jy		0.824	0.397	0.433	0.001	0.001	0.548	0.241	0.956	0.935
ja*ky		0.721	0.665	0.973	0.000	0.009	0.679	0.456	0.903	0.789
ja*mt		0.887	0.960	0.613	0.001	0.016	0.560	0.413	0.976	0.432
jy*ky		1.000	6.606	0.407	0.251	0.109	0.420	0.121	0.985	0.799
jy*mt		0.899	0.329	0.293	0.000	0.000	0.829	0.520	0.971	0.681
ky*mt		0.836	0.615	0.579	0.000	0.000	0.343	0.130	0.928	0.283

Fz\_max\*= normiertes Kraftmaximum:  $Fz\_max2^* = Fz\_max/KG$

Int\_Fz\*= normiertes Zeitintegral:  $Int\_Fz^* = Int\_Fz/(KG.sqrt(L\_0/g))$

Fz\_max\_peak\*= normiertes Kraftmaximum des ersten Peaks:  $Fz\_max\_peak^* = Fz\_max\_peak/KG$

Int\_Fz\*= normiertes Zeitintegral:  $Int\_Fz^* = Int\_Fz/(KG.sqrt(L\_0/g))$

LR\_c(1)=Konstante c1 der Loading rate [50N - (BW+50N)]

LR\_c(2)=Konstante c2 der Loading rate [50N - (BW+50N)]

DR\_c(1)=Konstante c1 der decay rate [(BW+50N) - 50N]

DR\_c(2)=Konstante c2 der decay rate [(BW+50N) - 50N]

Int\_Fy\*= normiertes Gesamtintegral:  $Int\_Fy^* = Int\_Fy/(KG.sqrt(L\_0/g))$ ; positiv = Beschleunigung, negativ = Bremsen

Int\_Fx\*= normiertes Gesamtintegral:  $Int\_Fx^* = Int\_Fx/(KG.sqrt(L\_0/g))$ ; positiv = medial, negativ = lateral

**Tabelle 12: CMC's und p Werte für die Kinematik beim Gehen als Vergleich der Variation innerhalb einer Disziplin, bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT, die **gelben Felder** bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Schuhtypen.**

Schuhe		ankle	knee	hip	pelvis	trunk	shoulder	elbow
bf	mean	0.981	0.996	0.997	0.692	0.585	0.972	0.951
	std	0.012	0.002	0.001	0.200	0.228	0.024	0.065
ja	mean	0.982	0.996	0.997	0.708	0.473	0.954	0.966
	std	0.009	0.002	0.001	0.170	0.207	0.048	0.024
jy	mean	0.982	0.995	0.996	0.562	0.643	0.948	0.952
	std	0.008	0.001	0.001	0.163	0.077	0.027	0.032
ky	mean	0.986	0.997	0.997	0.720	0.533	0.961	0.968
	std	0.005	0.001	0.001	0.158	0.160	0.029	0.020
mt	mean	0.982	0.995	0.996	0.665	0.520	0.960	0.937
	std	0.010	0.002	0.002	0.189	0.210	0.040	0.127
bf*ja		0.722	0.599	0.682	0.77	0.083	0.111	0.301
bf*jy		0.821	0.28	0.158	0.151	0.546	0.088	0.974
bf*ky		0.062	0.096	0.946	0.591	0.371	0.164	0.222
bf*mt		0.738	0.318	0.053	0.63	0.314	0.226	0.631
ja*jy		0.98	0.107	0.162	0.068	0.004	0.774	0.254
ja*ky		0.06	0.215	0.597	0.795	0.269	0.55	0.701
ja*mt		0.993	0.129	0.089	0.412	0.44	0.647	0.286
jy*ky		0.16	0.011	0.078	0.038	0.118	0.336	0.126
jy*mt		0.978	0.645	0.994	0.23	0.03	0.507	0.78
ky*mt		0.081	0.012	0.037	0.277	0.812	0.925	0.245

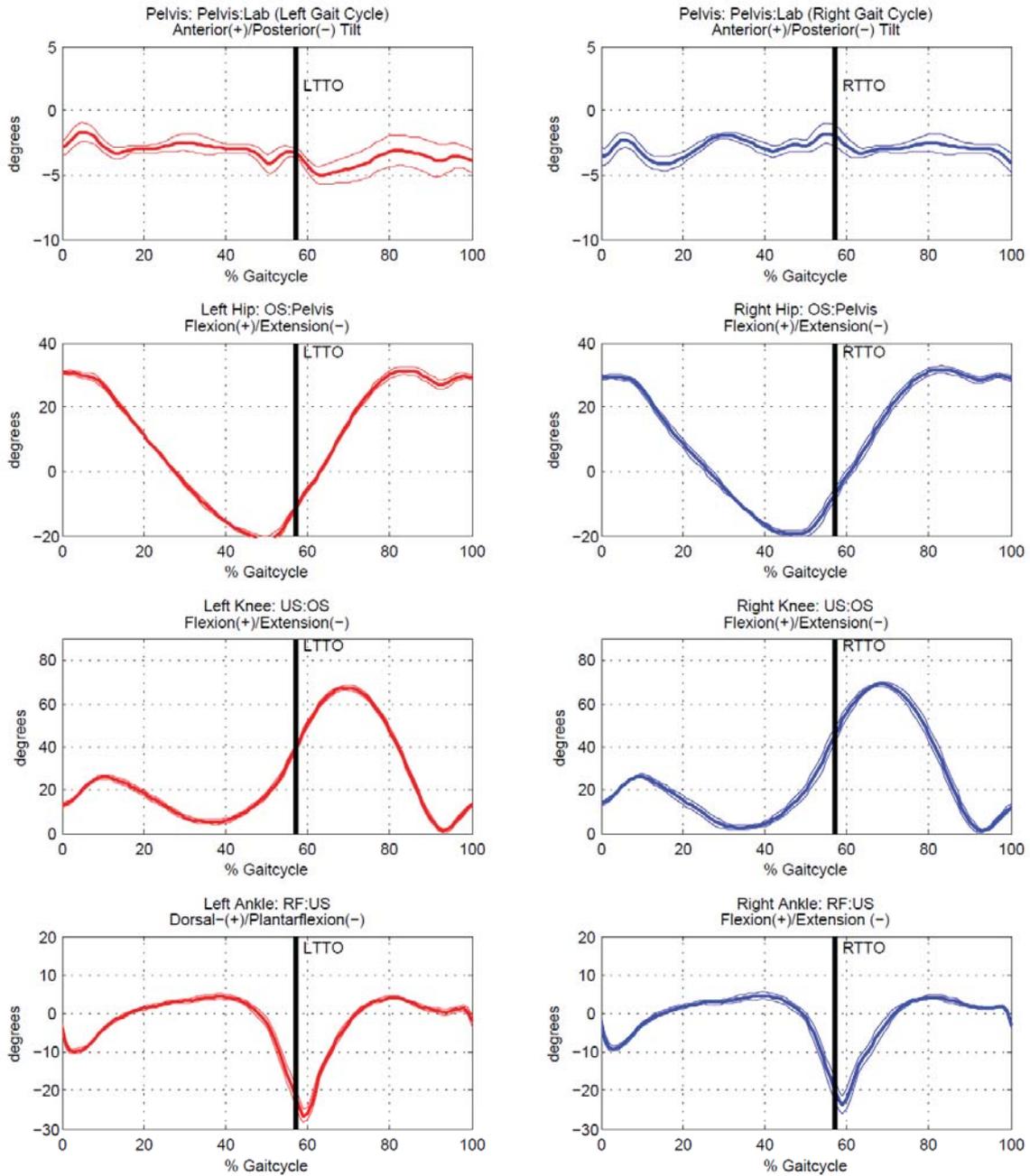
**Tabelle 13: CMC's und p Werte für die Kinematik beim Laufen als Vergleich der Variation innerhalb einer Disziplin, bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT, die **gelben Felder** bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Schuhtypen.**

Schuhe		ankle	knee	hip	pelvis	trunk	shoulder	elbow
bf	mean	0.983	0.994	0.995	0.873	0.855	0.972	0.810
	std	0.013	0.004	0.003	0.118	0.077	0.028	0.114
ja	mean	0.985	0.993	0.993	0.850	0.838	0.959	0.784
	std	0.014	0.003	0.004	0.114	0.071	0.035	0.145
jy	mean	0.977	0.992	0.994	0.822	0.793	0.957	0.825
	std	0.012	0.003	0.003	0.170	0.131	0.040	0.157
ky	mean	0.981	0.993	0.993	0.856	0.786	0.971	0.786
	std	0.021	0.006	0.003	0.096	0.128	0.022	0.147
mt	mean	0.985	0.992	0.994	0.845	0.816	0.974	0.771
	std	0.010	0.005	0.003	0.138	0.084	0.017	0.195
bf*ja		0.639	0.515	0.102	0.497	0.420	0.160	0.488
bf*jy		0.323	0.231	0.576	0.398	0.140	0.272	0.797
bf*ky		0.619	0.562	0.146	0.588	0.029	0.792	0.519
bf*mt		0.549	0.251	0.326	0.447	0.098	0.772	0.394
ja*jy		0.230	0.365	0.605	0.635	0.261	0.876	0.580
ja*ky		0.397	0.913	0.728	0.845	0.091	0.196	0.970
ja*mt		0.969	0.494	0.489	0.881	0.333	0.064	0.788
jy*ky		0.697	0.619	0.711	0.659	0.902	0.451	0.568
jy*mt		0.098	0.832	0.934	0.741	0.603	0.336	0.533
ky*mt		0.336	0.647	0.685	0.740	0.343	0.501	0.765

**Tabelle 14: p Werte der CMC's der Kinetik für Gehen und Laufen als Vergleich der Variation innerhalb einer Disziplin, bf: barfuss, ja: Joya, jy: Joyssy, ky: Kyboot, mt: MBT, die **gelben Felder** bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Schuhtypen.**

	Gehen				Laufen		
	Fx	Fy	Fz		Fx	Fy	Fz
bf*ja	0.071	0.111	0.384	bf*ja	0.073	0.129	0.203
bf*jy	0.495	0.472	0.058	bf*jy	0.009	0.249	0.433
bf*ky	0.066	0.119	0.305	bf*ky	0.049	0.161	0.102
bf*mt	0.054	0.064	0.482	bf*mt	0.086	0.179	0.183
ja*jy	0.212	0.157	0.066	ja*jy	0.031	0.465	0.104
ja*ky	0.284	0.482	0.438	ja*ky	0.336	0.404	0.216
ja*mt	0.233	0.396	0.392	ja*mt	0.438	0.491	0.436
jy*ky	0.214	0.166	0.051	jy*ky	0.095	0.472	0.121
jy*mt	0.199	0.086	0.096	jy*mt	0.089	0.479	0.119
ky*mt	0.439	0.378	0.333	ky*mt	0.412	0.430	0.263

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_gt\_

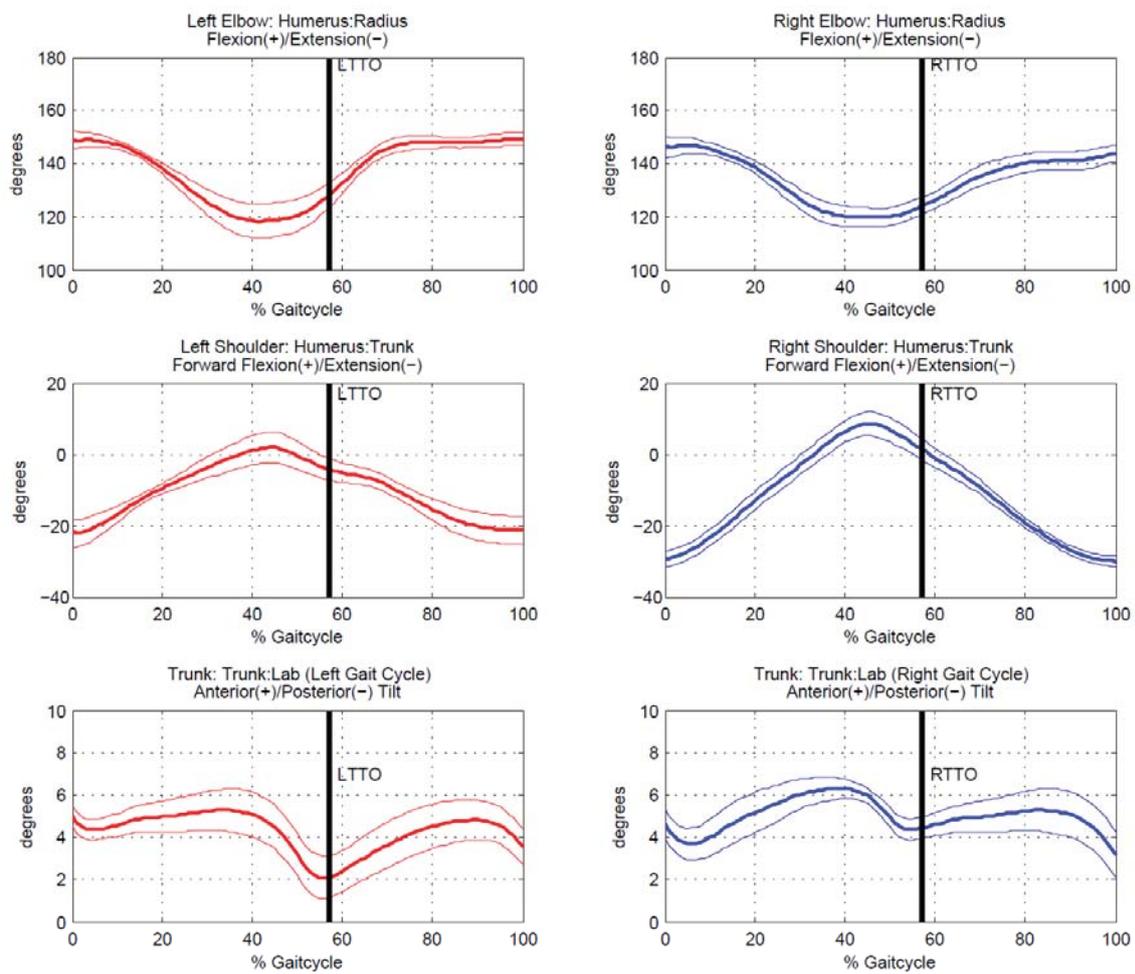


Anzahl gültige Trials: 9\_gt

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 26: Gehen barfuss, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 1.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_gt\_

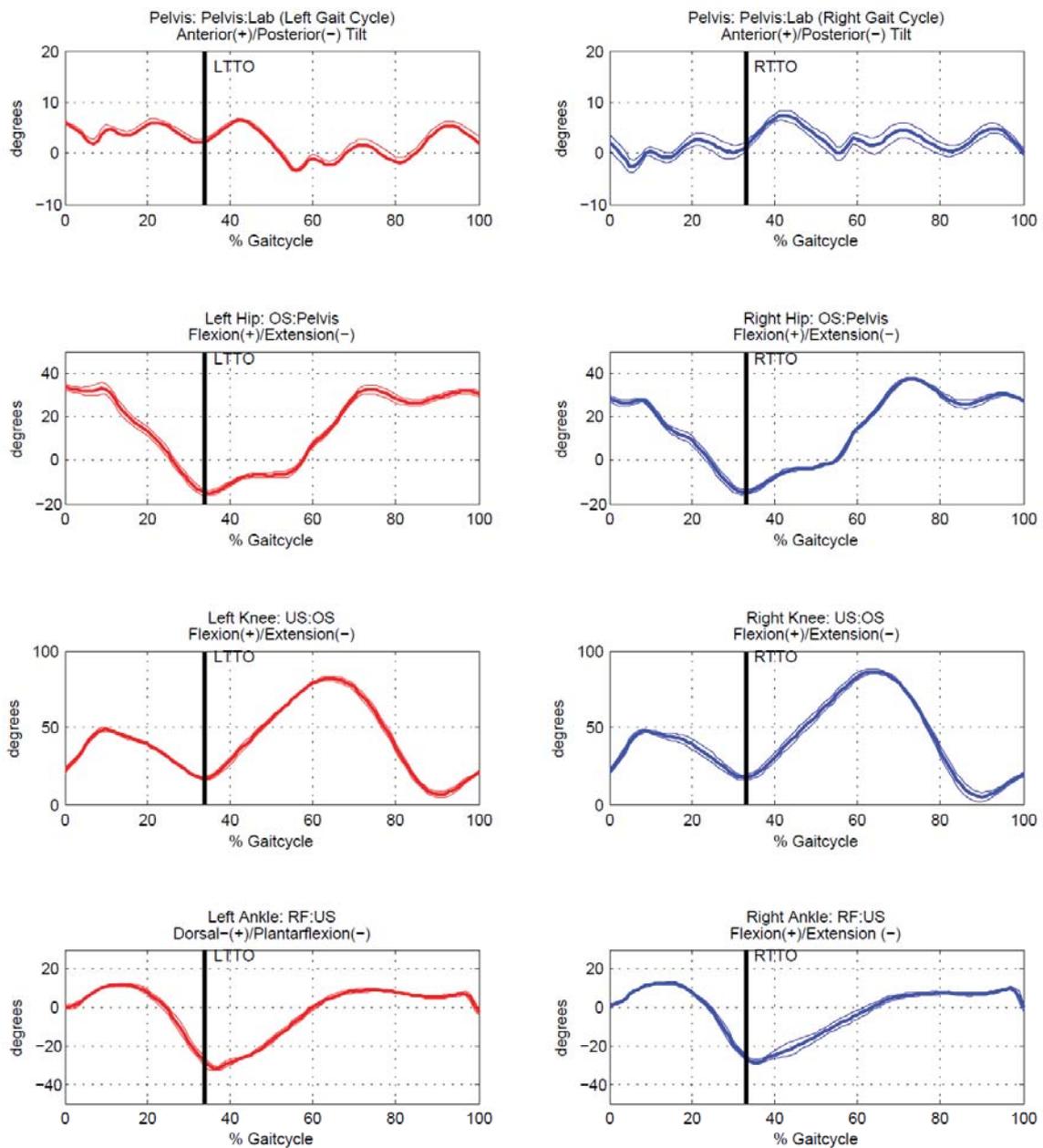


Anzahl gültige Trials: 9\_gt

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 27: Gehen barfuss, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 2.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_ru\_

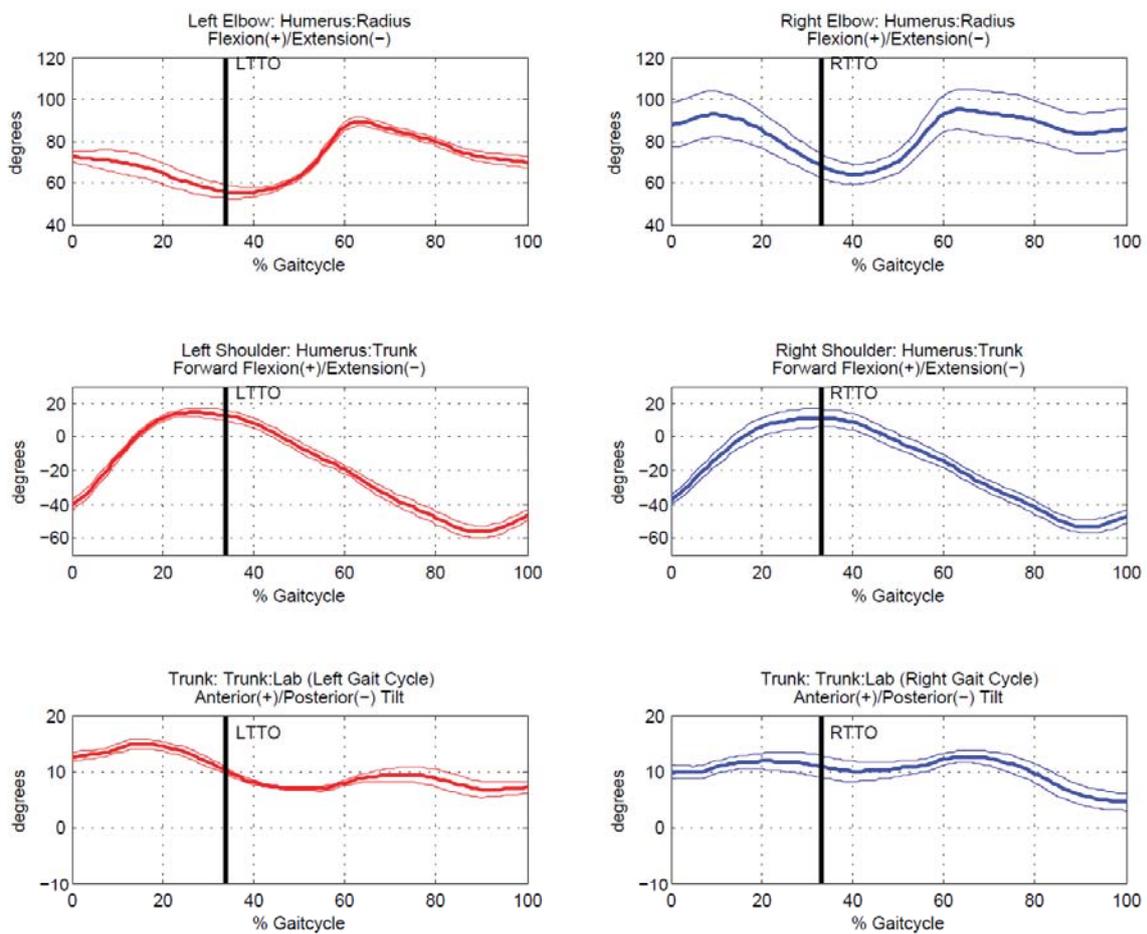


Anzahl gültige Trials: 10\_ru

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 28: Laufen barfuss, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 1.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_ru\_



Anzahl gültige Trials: 10\_ru

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 29: Laufen barfuss, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 2.**

## Laboratorium für Biomechanik, ETH Zürich

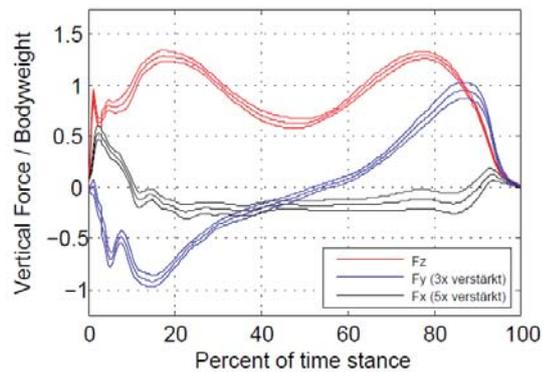
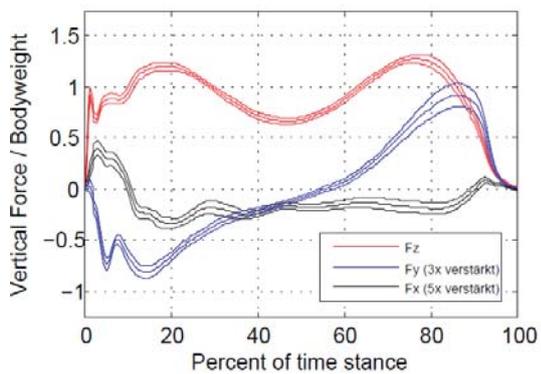
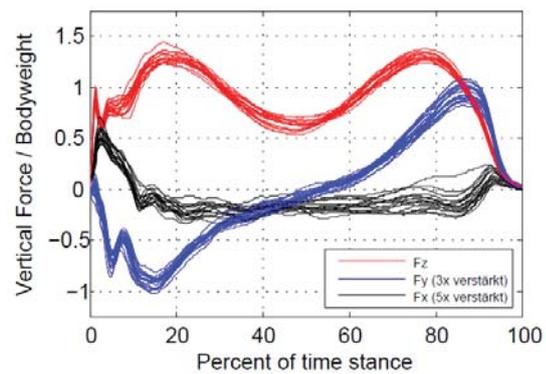
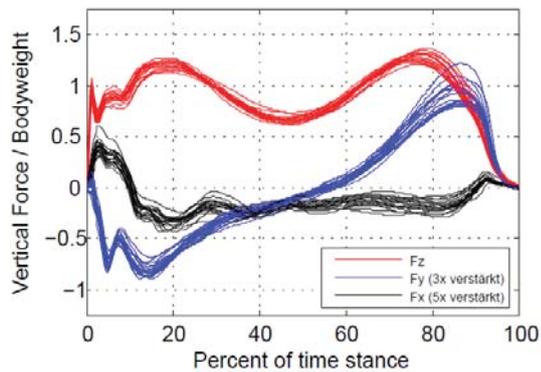
Report-File fuer : D

Gewicht : 61.4 (Kg)

Groesse : 1.68 (m)

Trial : Gehen

Geschwindigkeit:  $1.64 \pm 0.03$  m/sec ( $\pm 1.9\%$ )



Beschreibung: linke Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 18 Samples

Bodenkontakt:  $570 \pm 10$  msec ( $\pm 1.8\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $305.41 \pm 5.05$  N.sec ( $\pm 1.7\%$ )

Fz\_max\_Avg:  $1.24 \pm 0.03\%$  BW ( $\pm 2.3\%$ )

Fz\_min:  $0.66 \pm 0.03\%$  BW ( $\pm 4.6\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-1.38 \pm 3.77$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-24.58 \pm 1.58$  N.sec ( $\pm 6.4\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $23.21 \pm 2.71$  N.sec ( $\pm 11.7\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-8.48 \pm 2.41$  N.sec ( $\pm 28.5\%$ )

Beschreibung: rechte Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 18 Samples

Bodenkontakt:  $561 \pm 13$  msec ( $\pm 2.3\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $302.26 \pm 6.26$  N.sec ( $\pm 2.1\%$ )

Fz\_max\_Avg:  $1.3 \pm 0.04\%$  BW ( $\pm 2.7\%$ )

Fz\_min:  $0.62 \pm 0.05\%$  BW ( $\pm 7.7\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-2.31 \pm 3.34$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-25.33 \pm 1.81$  N.sec ( $\pm 7.1\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $23.02 \pm 2.04$  N.sec ( $\pm 8.8\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-6.29 \pm 3.24$  N.sec ( $\pm 51.6\%$ )

Abbildung 30: Gehen barfuss, Beispiel der Kinetik eines Probanden.

## Laboratorium für Biomechanik, ETH Zürich

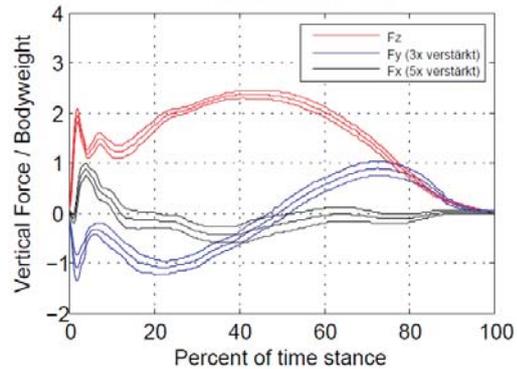
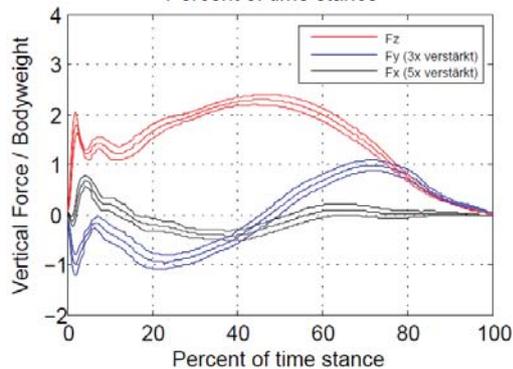
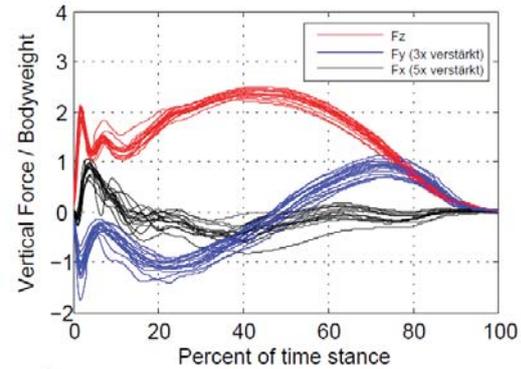
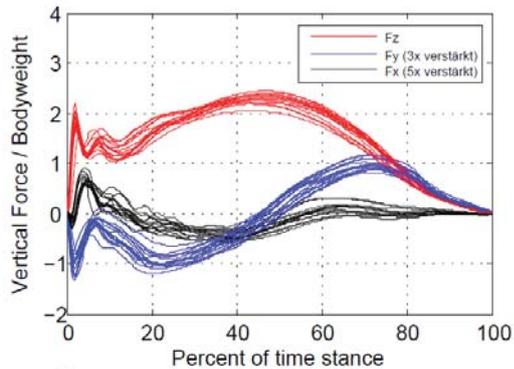
Report-File fuer : D

Gewicht : 61.4 (Kg)

Groesse : 1.68 (m)

Trial : Laufen

Geschwindigkeit:  $2.8 \pm 0.07$  m/sec ( $\pm 2.6\%$ )



Beschreibung: linke Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 15 Samples

Bodenkontakt:  $280 \pm 10$  msec ( $\pm 3.6\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $244.24 \pm 6.61$  N.sec ( $\pm 2.7\%$ )

Fz\_max:  $2.3 \pm 0.1\%$  BW ( $\pm 4.4\%$ )

Fz\_peak:  $1.84 \pm 0.17\%$  BW ( $\pm 9.3\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $0.08 \pm 5.58$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-16.26 \pm 3.7$  N.sec ( $\pm -22.7\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $16.33 \pm 2.08$  N.sec ( $\pm 12.7\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-2.85 \pm 1.85$  N.sec ( $\pm -65\%$ )

Beschreibung: rechte Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 15 Samples

Bodenkontakt:  $278 \pm 12$  msec ( $\pm 4.1\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $250.02 \pm 7.05$  N.sec ( $\pm 2.8\%$ )

Fz\_max:  $2.37 \pm 0.07\%$  BW ( $\pm 3\%$ )

Fz\_peak:  $1.97 \pm 0.14\%$  BW ( $\pm 7.1\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-5.23 \pm 6.18$  N.sec

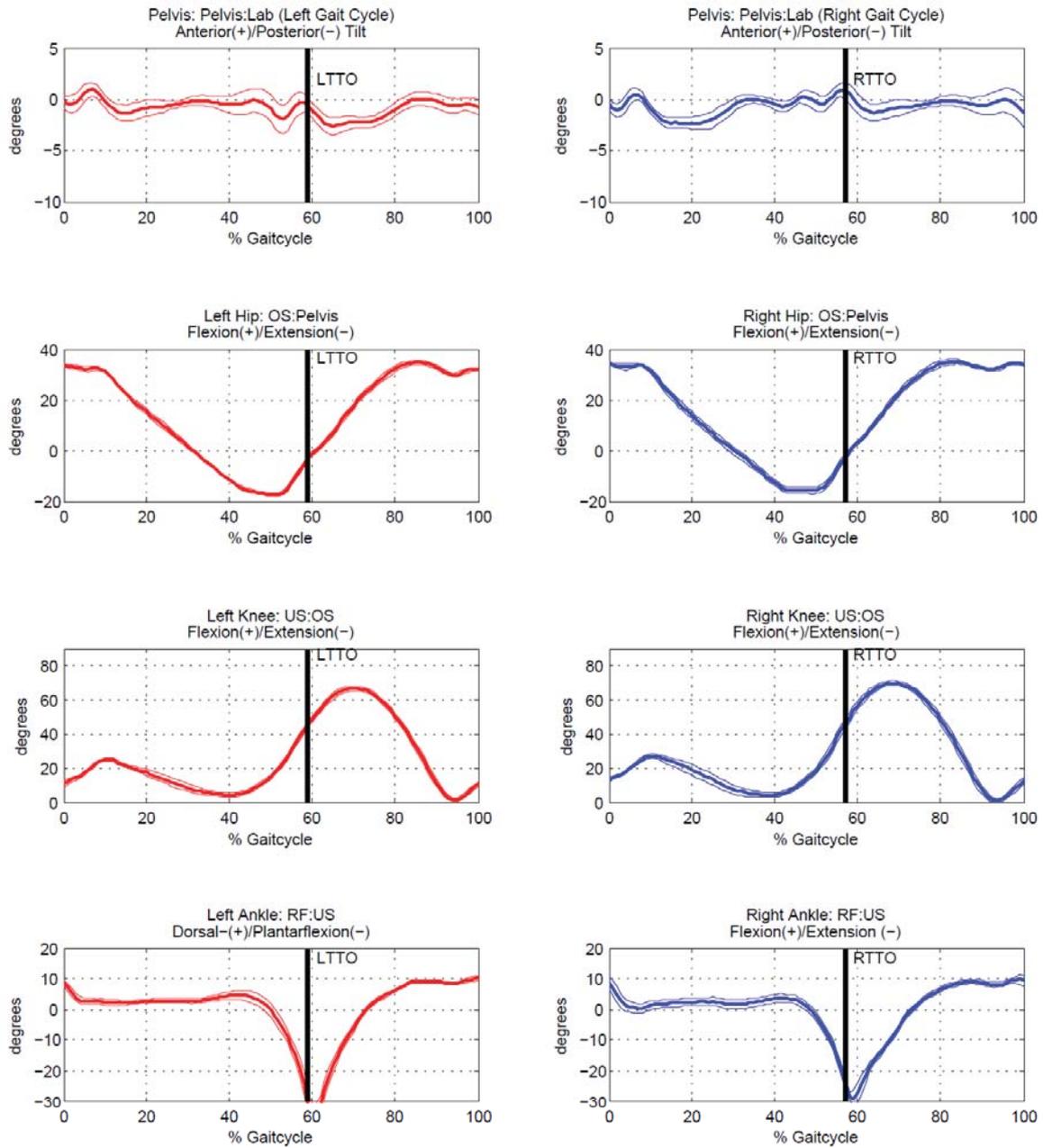
Integral - (y-Rtg):  $-19.12 \pm 3.76$  N.sec ( $\pm -19.7\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $13.9 \pm 2.74$  N.sec ( $\pm 19.7\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-3.37 \pm 2.94$  N.sec ( $\pm -87.2\%$ )

Abbildung 31: Laufen barfuss, Beispiel der Kinetik eines Probanden.

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_gt\_ja\_

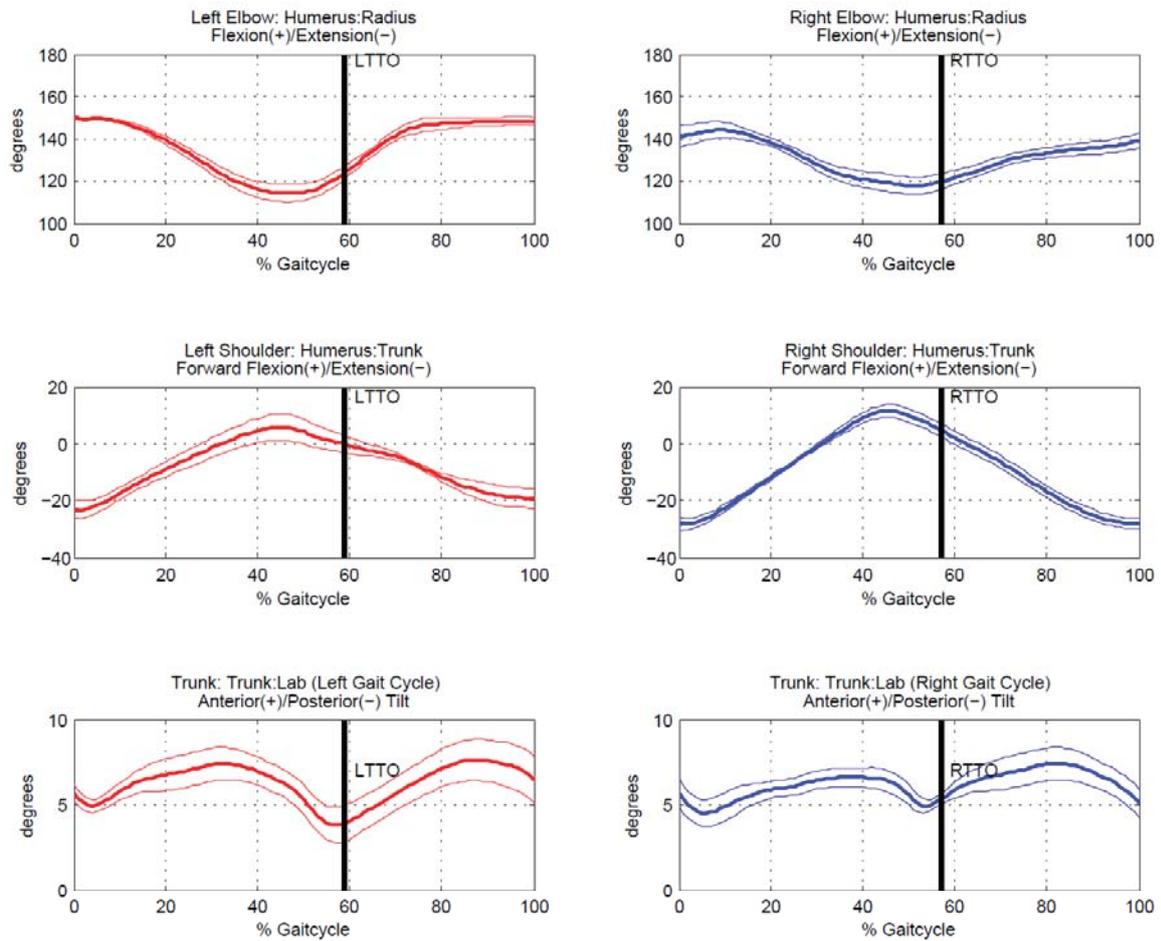


Anzahl gültige Trials: 6\_gt\_ja

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 32: Joya Gehen, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 1.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_gt\_ja\_

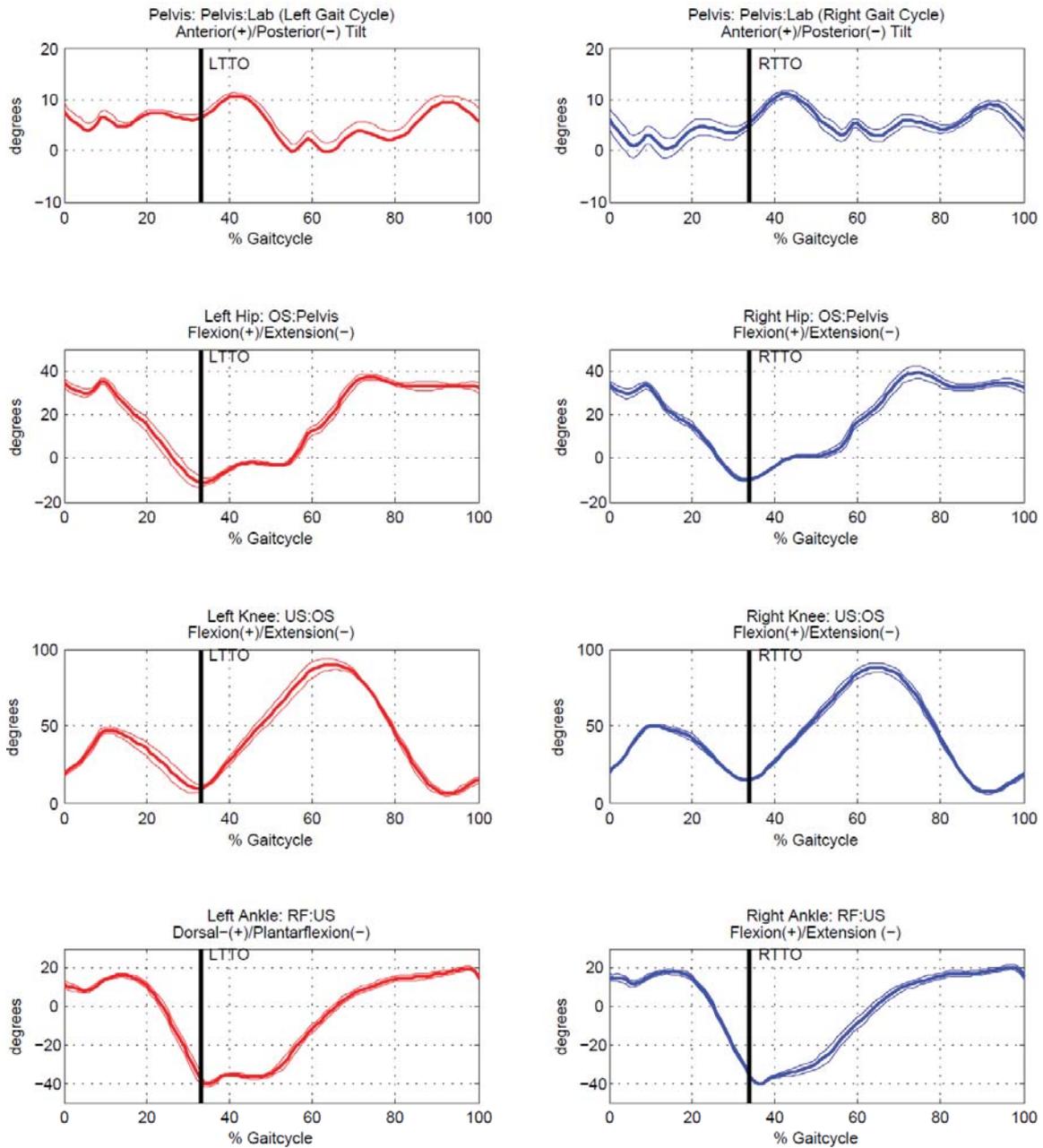


Anzahl gültige Trials: 6\_gt\_ja

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 33: Joya Gehen, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 2.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_ru\_ja\_

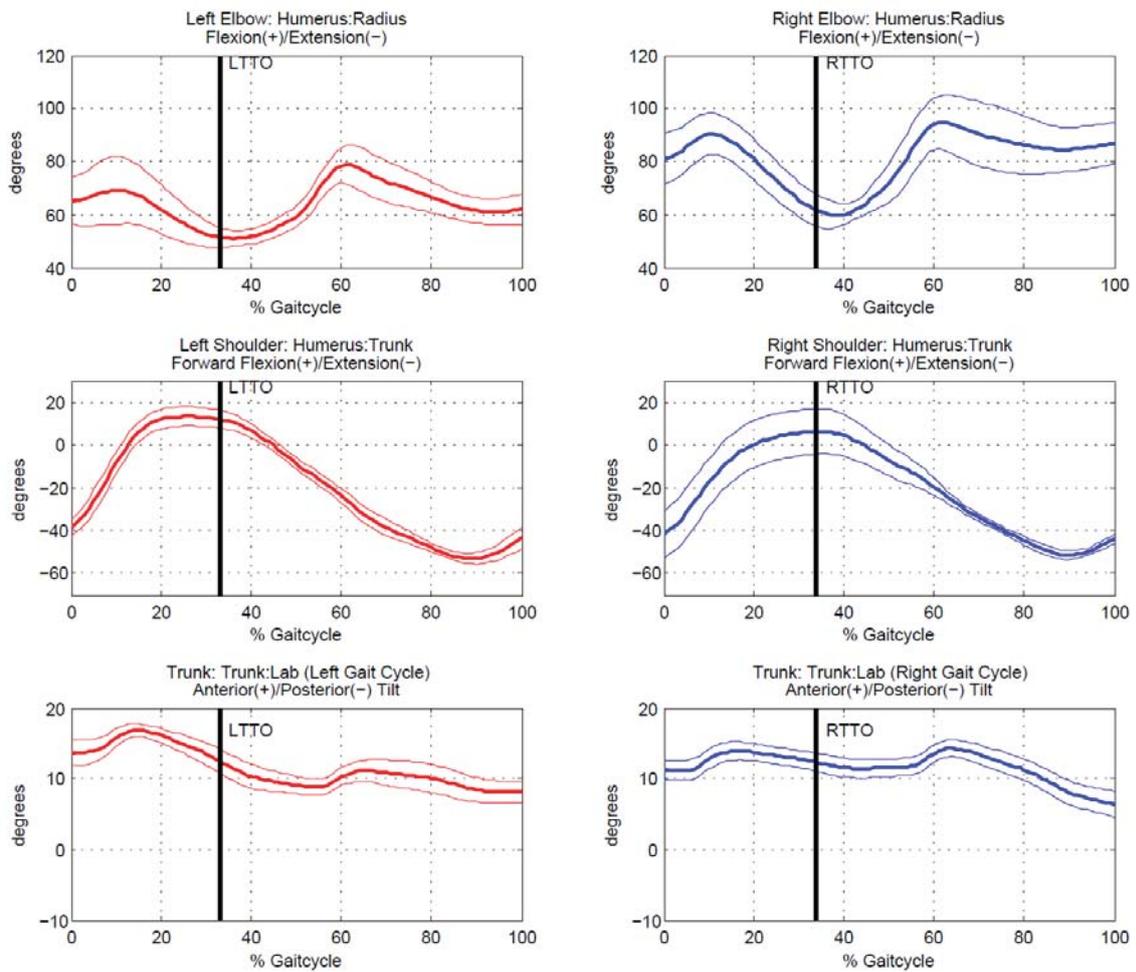


Anzahl gültige Trials: 10\_ru\_ja

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 34: Joya Laufen, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 1.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_ru\_ja\_



Anzahl gültige Trials: 10\_ru\_ja

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 35: Joya Laufen, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 2.**

# Laboratorium für Biomechanik, ETH Zürich

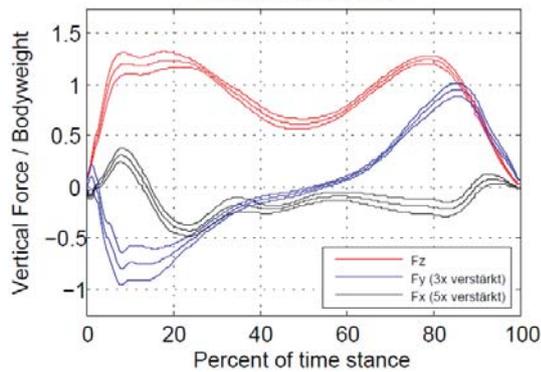
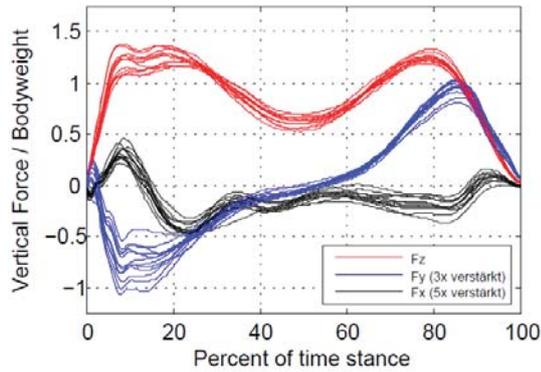
Report-File fuer : D

Gewicht : 61.4 (Kg)

Grosse : 1.68 (m)

Trial : Gehen Joya

Geschwindigkeit:  $1.75 \pm 0.03$  m/sec ( $\pm 1.7\%$ )



Beschreibung: linke Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 12 Samples

Bodenkontakt:  $568 \pm 11$  msec ( $\pm 1.9\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $305.73 \pm 6.97$  N.sec ( $\pm 2.3\%$ )

Fz\_max\_Avg:  $1.25 \pm 0.05\%$  BW ( $\pm 4\%$ )

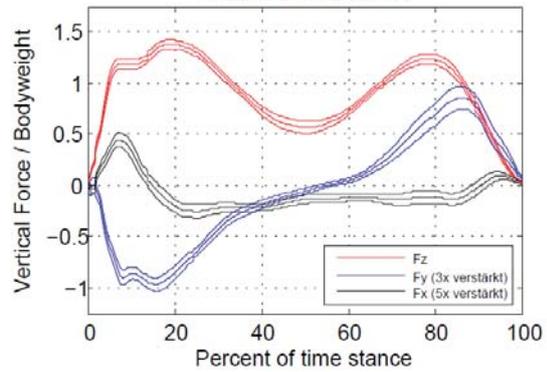
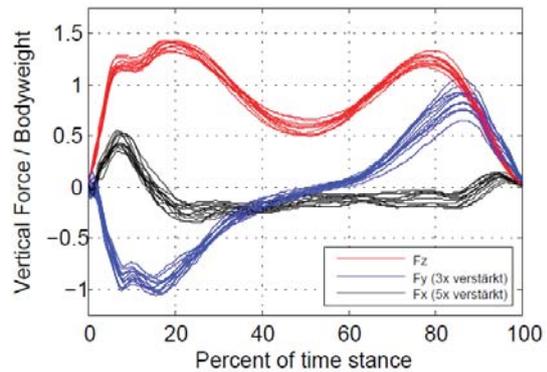
Fz\_min:  $0.61 \pm 0.05\%$  BW ( $\pm 8.3\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $2.35 \pm 3.81$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-22.35 \pm 3.23$  N.sec ( $\pm 14.5\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $24.7 \pm 1.8$  N.sec ( $\pm 7.3\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-8.36 \pm 2.84$  N.sec ( $\pm 34\%$ )



Beschreibung: rechte Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 12 Samples

Bodenkontakt:  $558 \pm 10$  msec ( $\pm 1.8\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $303.3 \pm 7.1$  N.sec ( $\pm 2.3\%$ )

Fz\_max\_Avg:  $1.31 \pm 0.04\%$  BW ( $\pm 2.9\%$ )

Fz\_min:  $0.56 \pm 0.06\%$  BW ( $\pm 10.3\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-6.99 \pm 3.57$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-27.98 \pm 1.23$  N.sec ( $\pm 4.4\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $20.99 \pm 3.36$  N.sec ( $\pm 16\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-5 \pm 1.83$  N.sec ( $\pm 36.6\%$ )

Abbildung 36: Joya Gehen, Beispiel der Kinetik eines Probanden.

## Laboratorium für Biomechanik, ETH Zürich

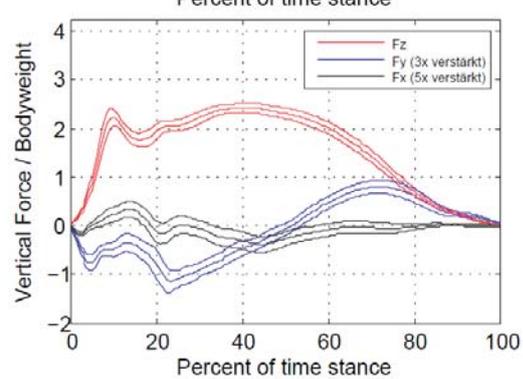
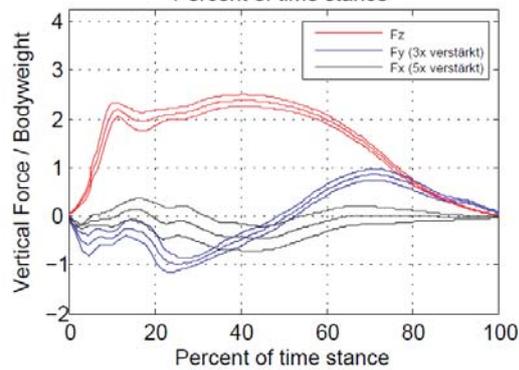
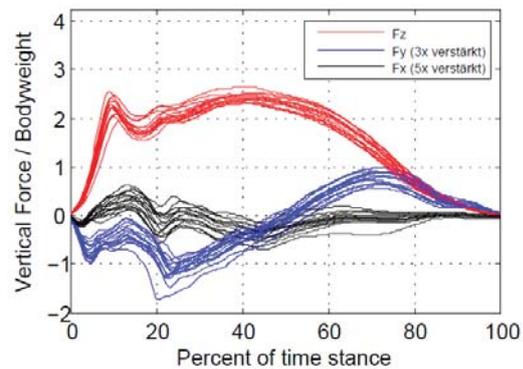
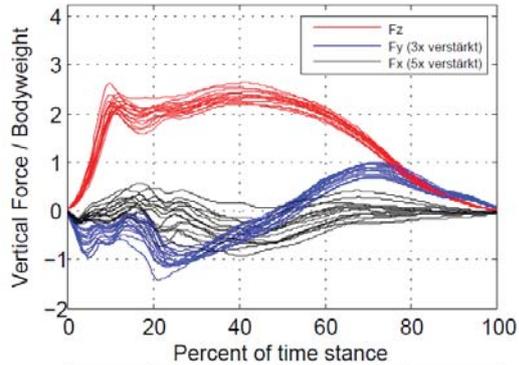
Report-File fuer : D

Gewicht : 61.4 (Kg)

Groesse : 1.68 (m)

Trial : Laufen Joya

Geschwindigkeit:  $2.86 \pm 0.06$  m/sec ( $\pm 2\%$ )



Beschreibung: linke Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 15 Samples

Bodenkontakt:  $271 \pm 15$  msec ( $\pm 5.4\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $247.64 \pm 8.55$  N.sec ( $\pm 3.5\%$ )

Fz\_max:  $2.39 \pm 0.12\%$  BW ( $\pm 5.1\%$ )

Fz\_peak:  $2.23 \pm 0.16\%$  BW ( $\pm 7.2\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-1.72 \pm 5.49$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-14.87 \pm 4.03$  N.sec ( $\pm -27.1\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $13.15 \pm 1.74$  N.sec ( $\pm 13.2\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-5.77 \pm 4.13$  N.sec ( $\pm -71.6\%$ )

Beschreibung: rechte Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 15 Samples

Bodenkontakt:  $279 \pm 9$  msec ( $\pm 3.4\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $255.97 \pm 6.13$  N.sec ( $\pm 2.4\%$ )

Fz\_max:  $2.44 \pm 0.09\%$  BW ( $\pm 3.7\%$ )

Fz\_peak:  $2.25 \pm 0.16\%$  BW ( $\pm 7.2\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-4.82 \pm 6.75$  N.sec

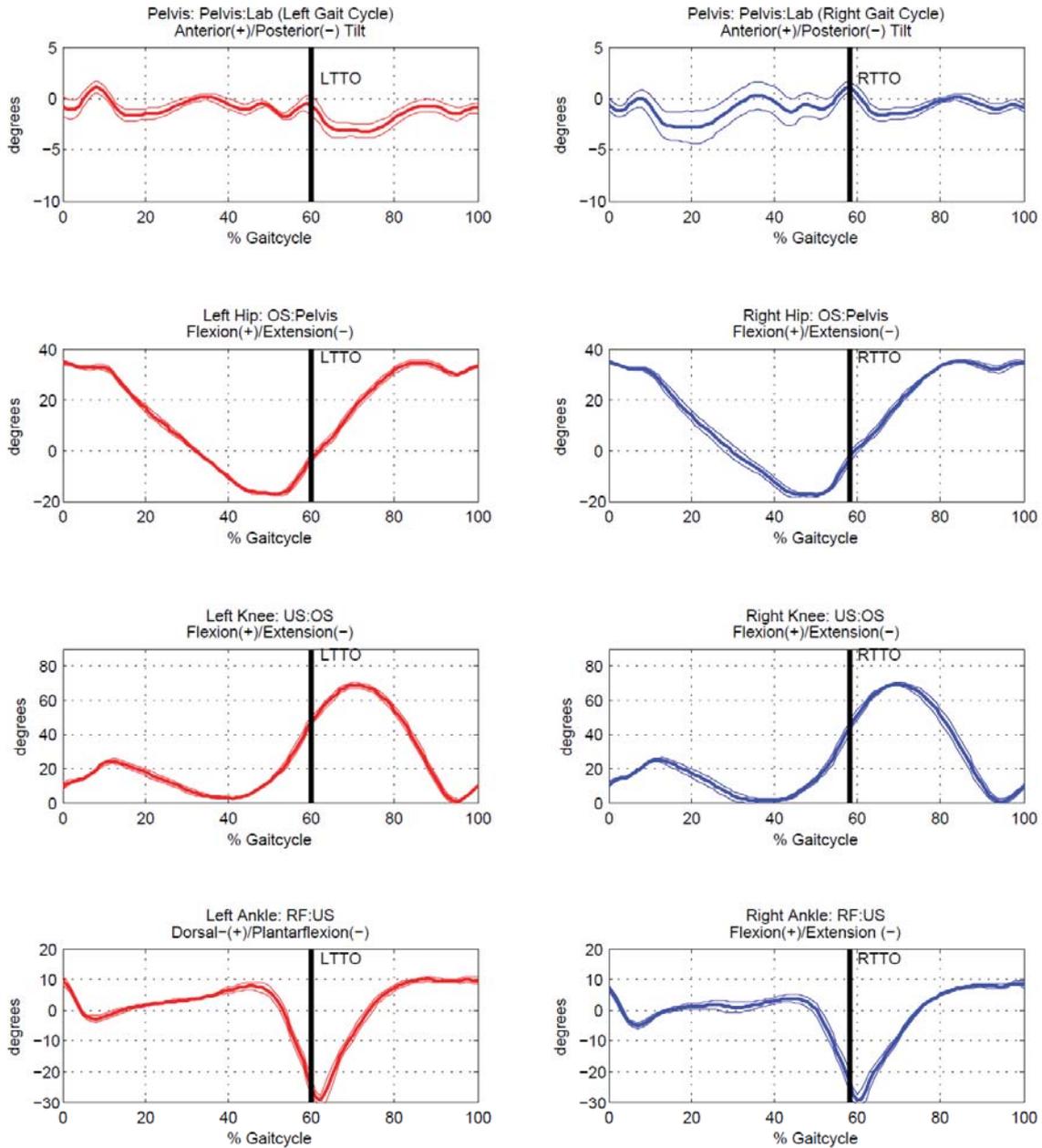
Integral - (y-Rtg):  $-16.95 \pm 4.34$  N.sec ( $\pm -25.6\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $12.13 \pm 2.54$  N.sec ( $\pm 21\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-3.2 \pm 2.52$  N.sec ( $\pm -78.9\%$ )

Abbildung 37: Joya Laufen, Beispiel der Kinetik eines Probanden.

### Kinematik in der Sagittalebene: D\_gt\_jy\_

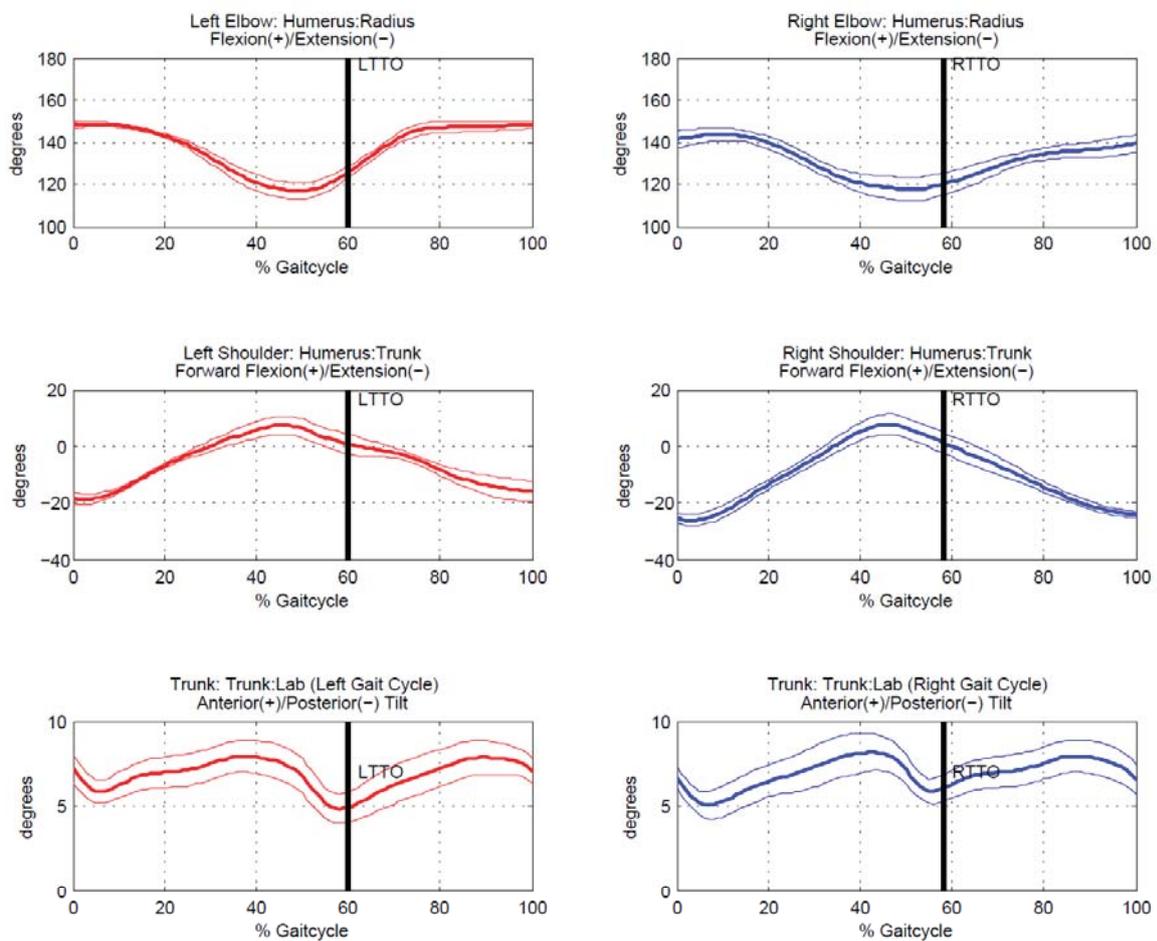


Anzahl gültige Trials: 5\_gt\_jy

Erstellt am: 07-Nov-2010

Abbildung 38: Gehen Joyssy, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 1.

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_gt\_jy\_

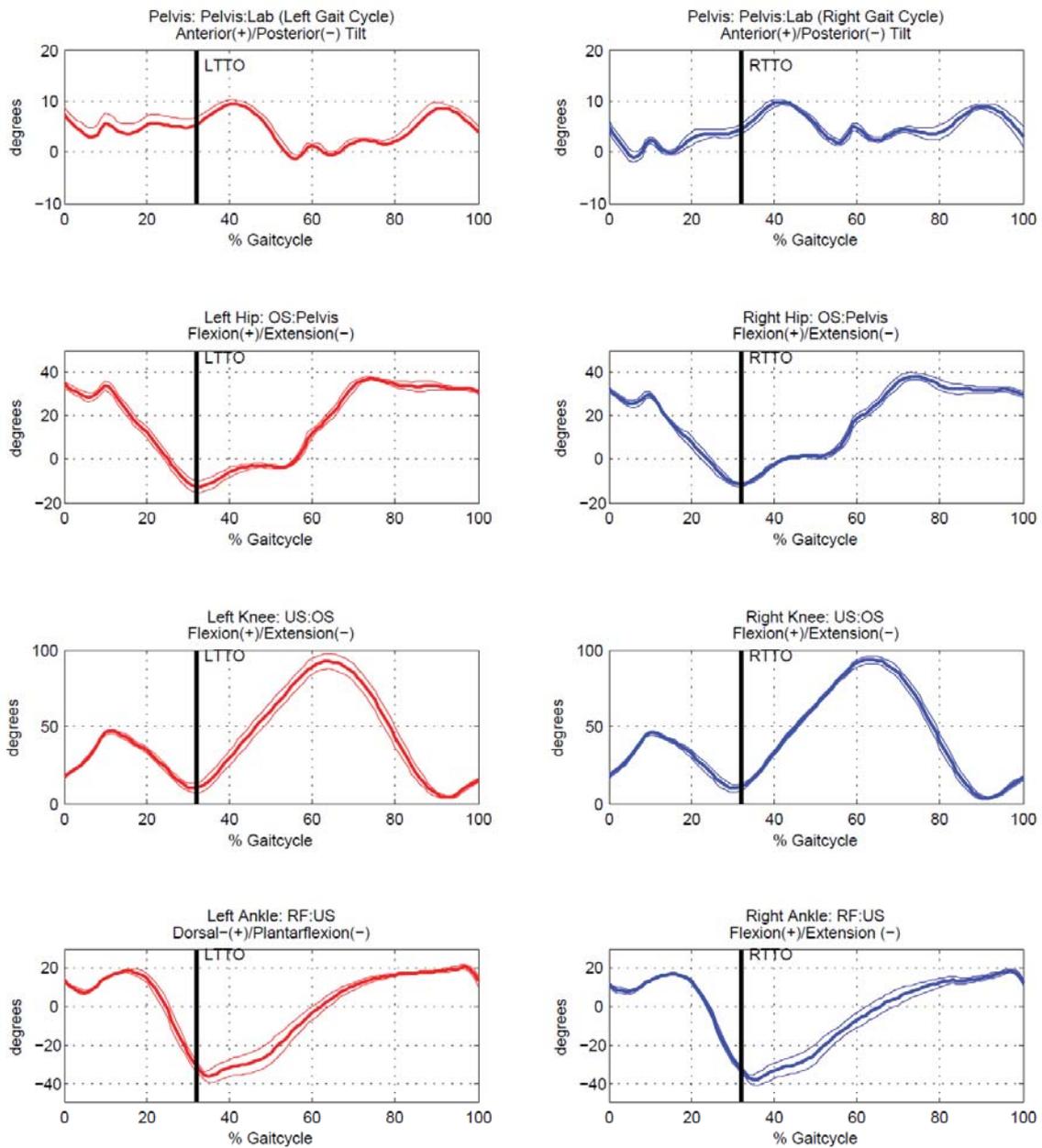


Anzahl gültige Trials: 5\_gt\_jy

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 39: Gehen Joysy, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 2.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_ru\_jy\_

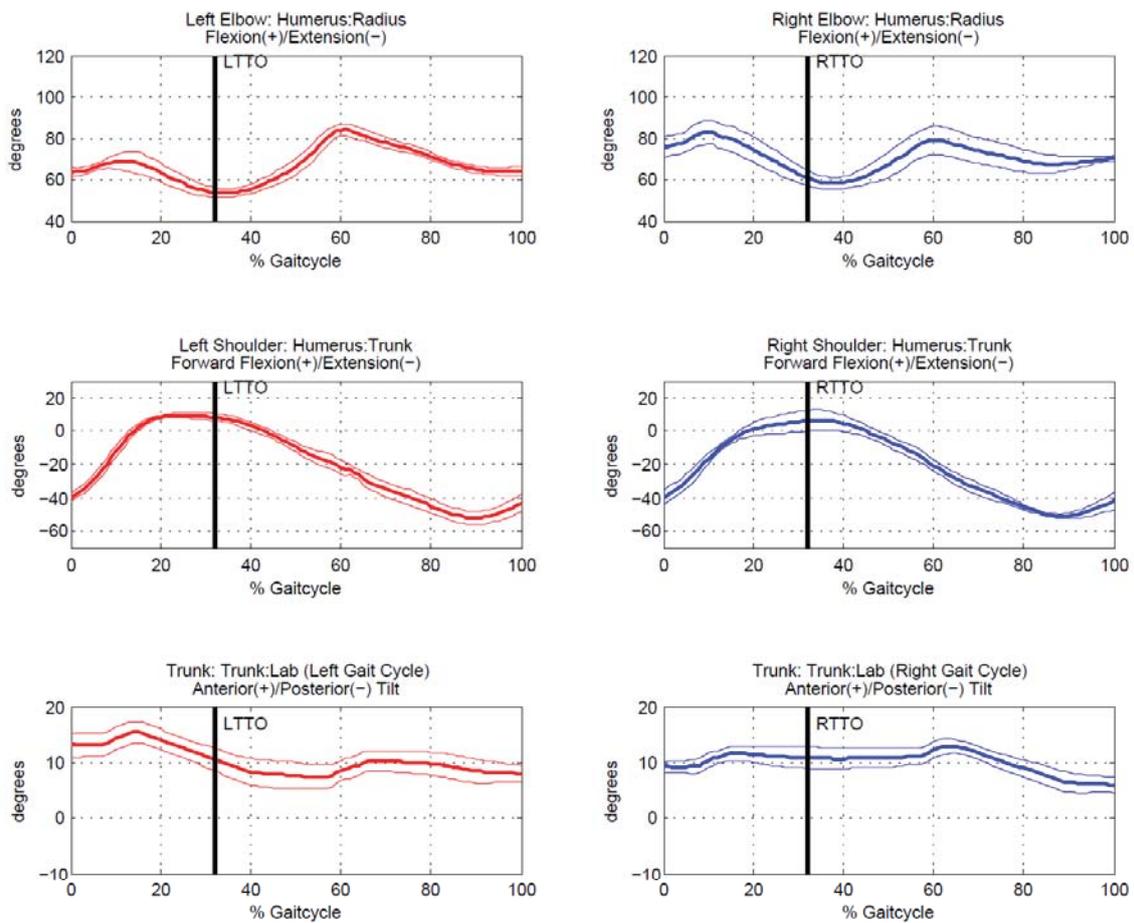


Anzahl gültige Trials: 10\_ru\_jy

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 40: Laufen Joyssy, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 1.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_ru\_jy\_



Anzahl gültige Trials: 10\_ru\_jy

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 41: Laufen Joyssy, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 2.**

## Laboratorium für Biomechanik, ETH Zürich

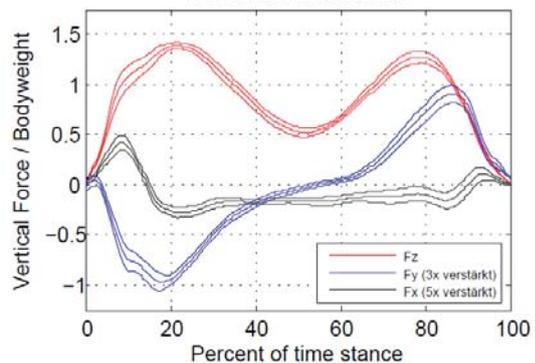
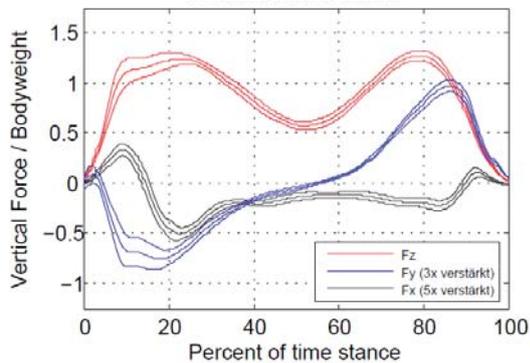
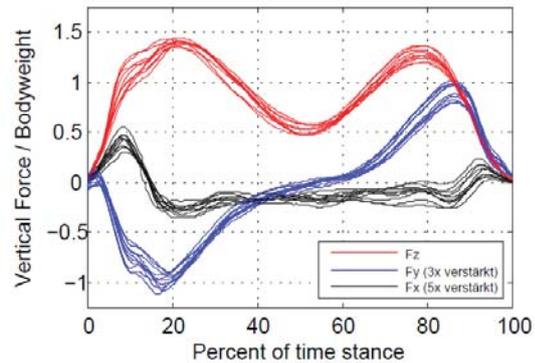
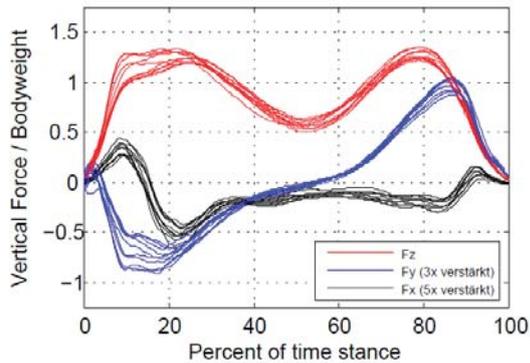
Report-File fuer : D

Gewicht : 61.4 (Kg)

Groesse : 1.68 (m)

Trial : Gehen Joyssy

Geschwindigkeit:  $1.73 \pm 0.02$  m/sec ( $\pm 1.3\%$ )



Beschreibung: linke Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 10 Samples

Bodenkontakt:  $581 \pm 7$  msec ( $\pm 1.2\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $303.72 \pm 8.21$  N.sec ( $\pm 2.7\%$ )

Fz\_max\_Avg:  $1.26 \pm 0.05\%$  BW ( $\pm 4.1\%$ )

Fz\_min:  $0.57 \pm 0.04\%$  BW ( $\pm 7.3\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $1.36 \pm 2.87$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-22.76 \pm 2.97$  N.sec ( $\pm 13\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $24.12 \pm 1.37$  N.sec ( $\pm 5.7\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-8.81 \pm 1.3$  N.sec ( $\pm 14.8\%$ )

Beschreibung: rechte Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 10 Samples

Bodenkontakt:  $571 \pm 5$  msec ( $\pm 0.9\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $301.93 \pm 3.67$  N.sec ( $\pm 1.2\%$ )

Fz\_max\_Avg:  $1.33 \pm 0.04\%$  BW ( $\pm 3.1\%$ )

Fz\_min:  $0.52 \pm 0.04\%$  BW ( $\pm 8.2\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-5.55 \pm 1.86$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-26.82 \pm 1.09$  N.sec ( $\pm 4.1\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $21.27 \pm 2.54$  N.sec ( $\pm 12\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-5.42 \pm 2.03$  N.sec ( $\pm 37.5\%$ )

Abbildung 42: Gehen Joyssy, Beispiel der Kinetik eines Probanden.

## Laboratorium für Biomechanik, ETH Zürich

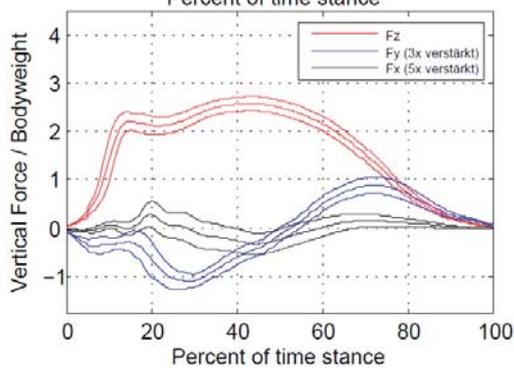
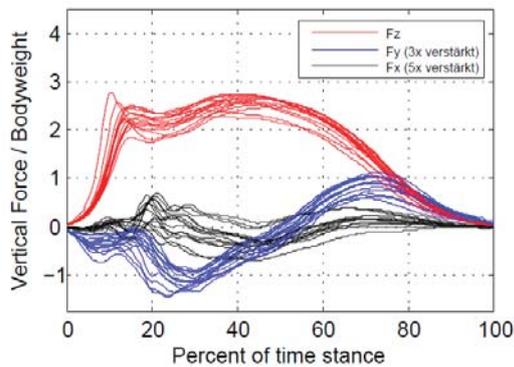
Report-File fuer : D

Gewicht : 61.4 (Kg)

Groesse : 1.68 (m)

Trial : Laufen Joyssy

Geschwindigkeit:  $2.94 \pm 0.07$  m/sec ( $\pm 2.4\%$ )



Beschreibung: linke Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 15 Samples

Bodenkontakt:  $260 \pm 14$  msec ( $\pm 5.2\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $243.57 \pm 6.28$  N.sec ( $\pm 2.6\%$ )

Fz\_max:  $2.59 \pm 0.13\%$  BW ( $\pm 5.1\%$ )

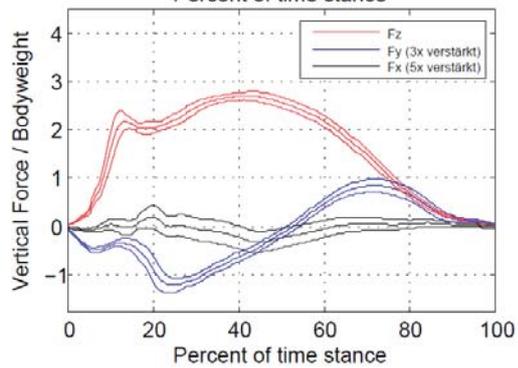
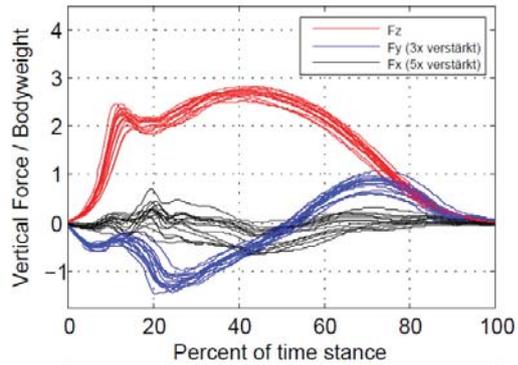
Fz\_peak:  $2.29 \pm 0.23\%$  BW ( $\pm 9.9\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-2.94 \pm 7.25$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-15.34 \pm 4.75$  N.sec ( $\pm -31\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $12.41 \pm 2.62$  N.sec ( $\pm 21.2\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-3.28 \pm 2.64$  N.sec ( $\pm -80.3\%$ )



Beschreibung: rechte Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 15 Samples

Bodenkontakt:  $260 \pm 9$  msec ( $\pm 3.5\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $247.64 \pm 7.17$  N.sec ( $\pm 2.9\%$ )

Fz\_max:  $2.71 \pm 0.08\%$  BW ( $\pm 2.9\%$ )

Fz\_peak:  $2.22 \pm 0.16\%$  BW ( $\pm 7.4\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-5.85 \pm 4.57$  N.sec

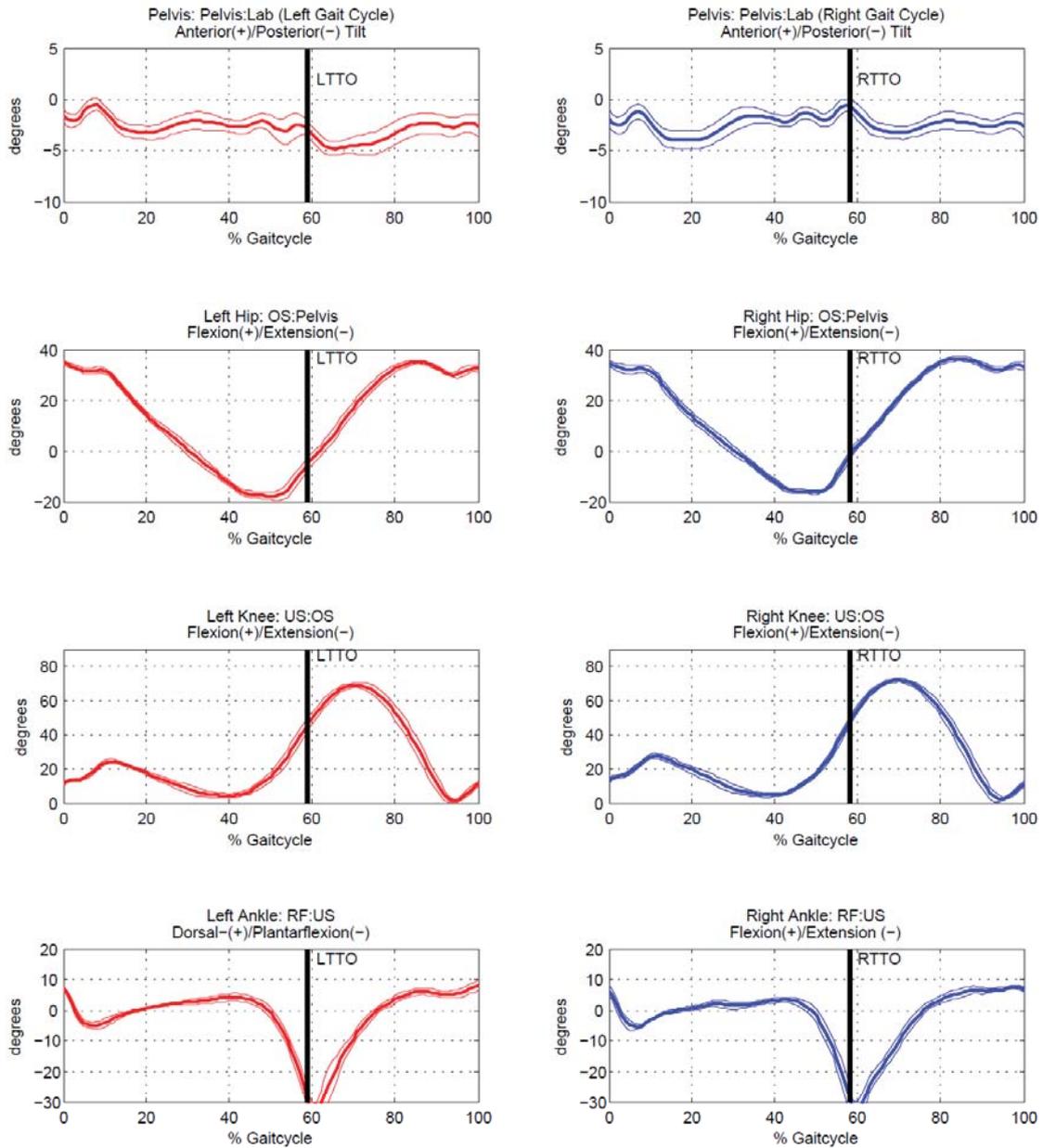
Integral - (y-Rtg):  $-17.1 \pm 2.68$  N.sec ( $\pm -15.7\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $11.25 \pm 1.97$  N.sec ( $\pm 17.5\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-3.06 \pm 2.52$  N.sec ( $\pm -82.6\%$ )

Abbildung 43: Laufen Joyssy, Beispiel der Kinetik eines Probanden.

### Kinematik in der Sagittalebene: D\_gt\_ky\_

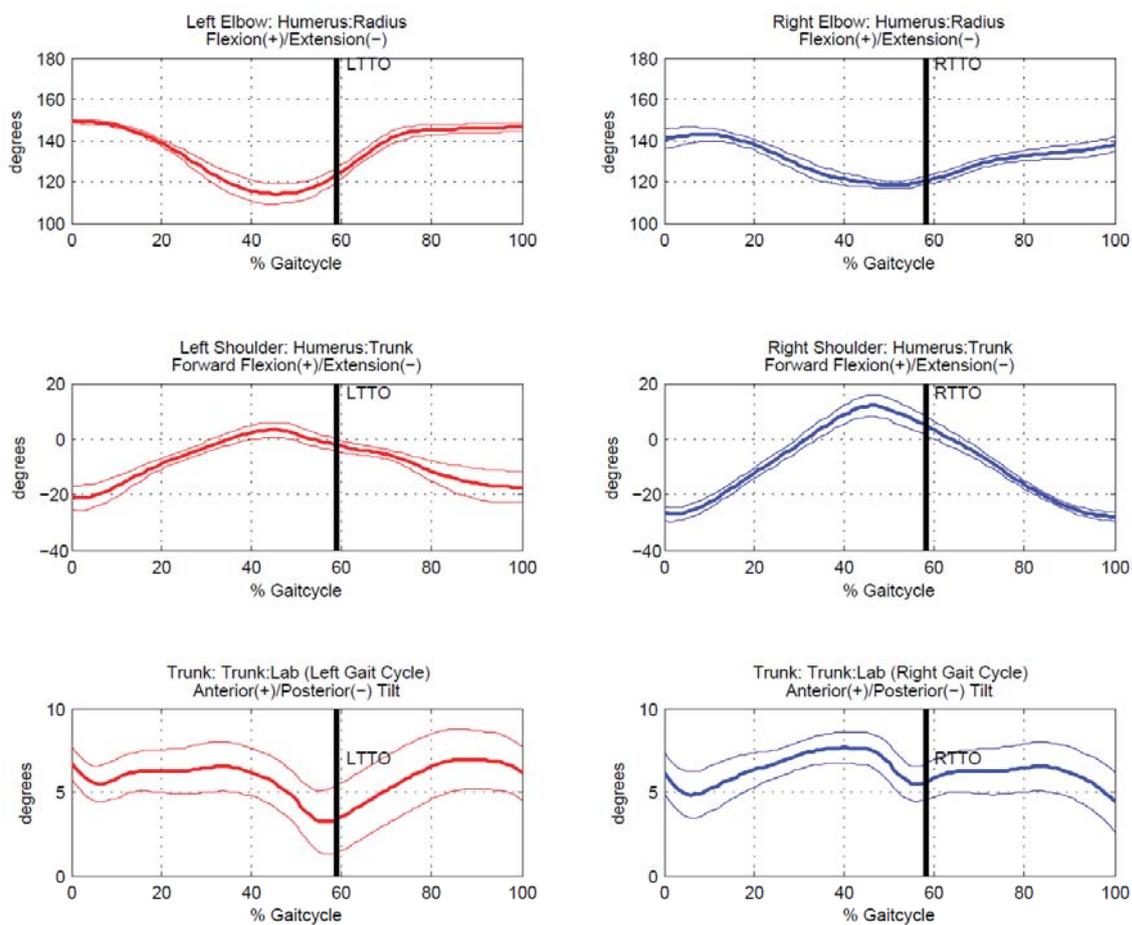


Anzahl gültige Trials: 7\_gt\_ky

Erstellt am: 07-Nov-2010

Abbildung 44: Gehen Kyboot, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 1.

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_gt\_ky\_

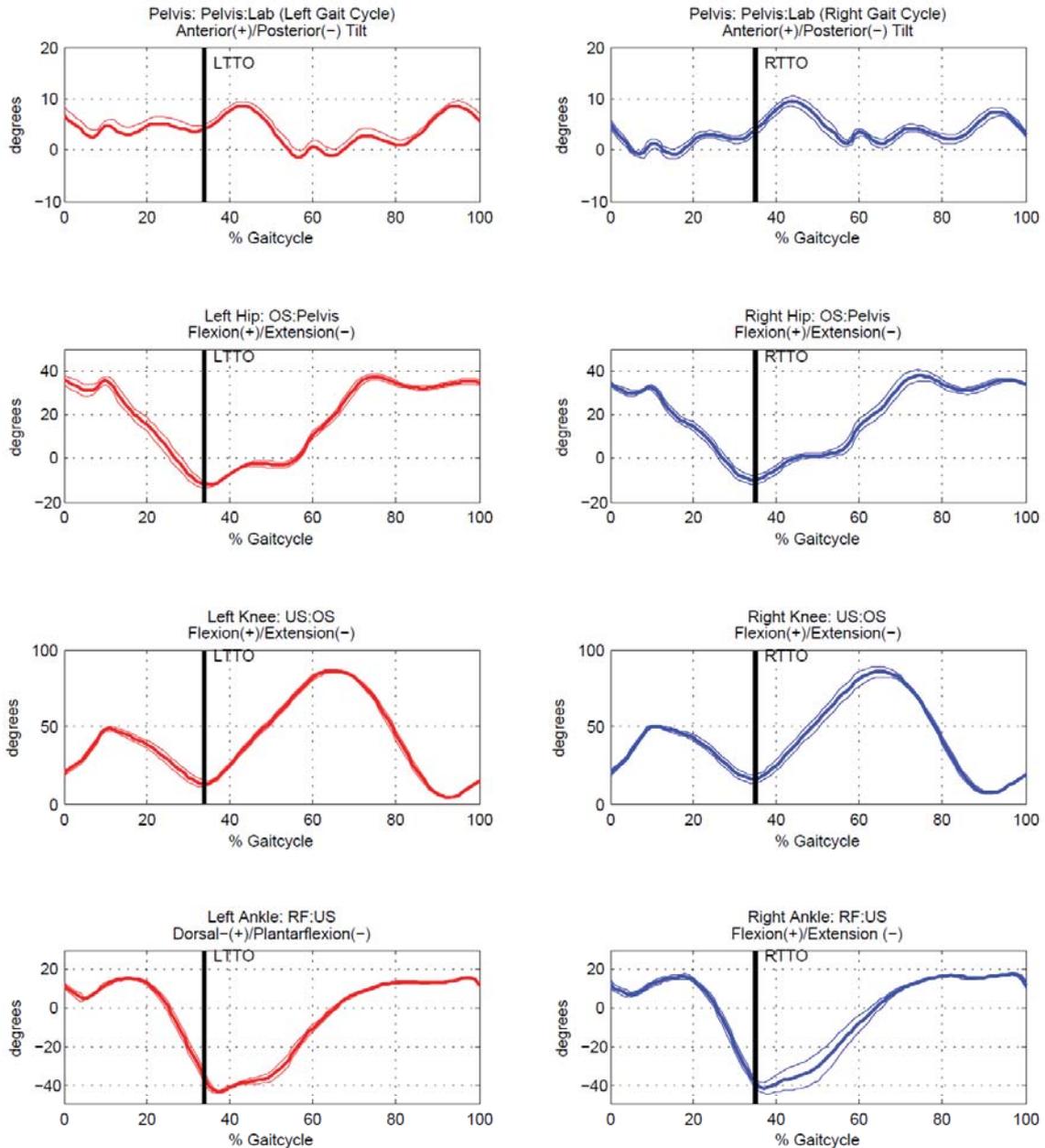


Anzahl gültige Trials: 7\_gt\_ky

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 45: Gehen Kyboot, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 2.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_ru\_ky\_

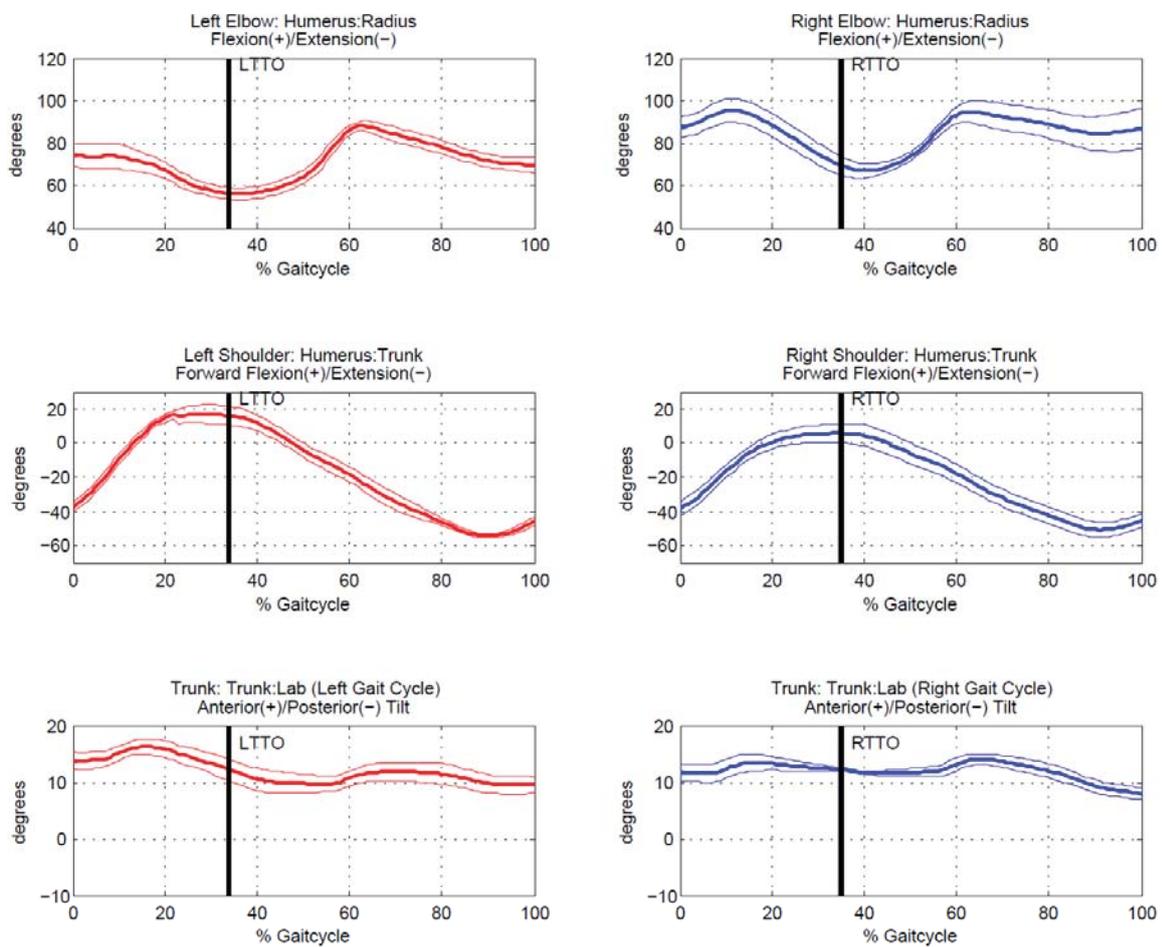


Anzahl gültige Trials: 10\_ru\_ky

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 46: Laufen Kyboot, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 1.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_ru\_ky\_



Anzahl gültige Trials: 10\_ru\_ky

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 47: Laufen Kyboot, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 2.**

## Laboratorium für Biomechanik, ETH Zürich

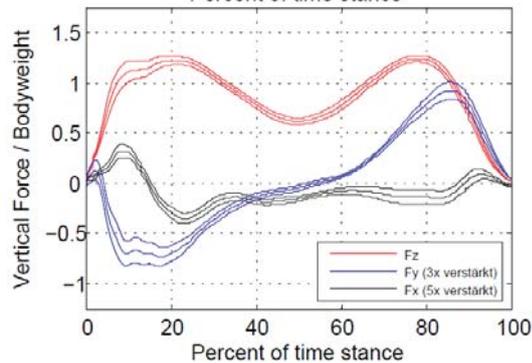
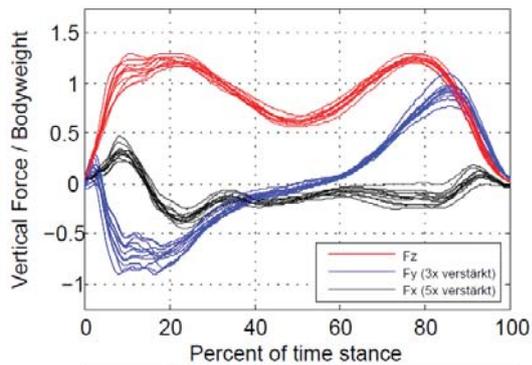
Report-File fuer : D

Gewicht : 61.4 (Kg)

Groesse : 1.68 (m)

Trial : Gehen Kyboot

Geschwindigkeit: NaN  $\pm$  NaN m/sec ( $\pm$  NaN%)



Beschreibung: linke Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 11 Samples

Bodenkontakt:  $576 \pm 15$  msec ( $\pm 2.7\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $303.59 \pm 8.99$  N.sec ( $\pm 3\%$ )

Fz\_max\_Avg:  $1.24 \pm 0.03\%$  BW ( $\pm 2.5\%$ )

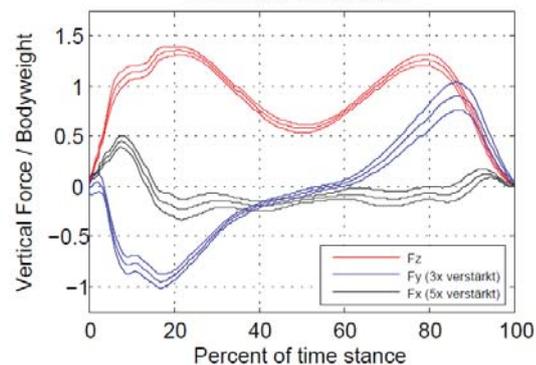
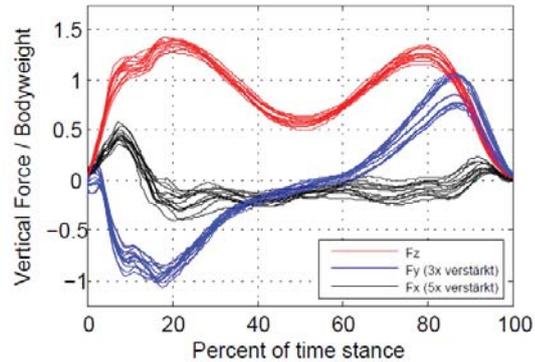
Fz\_min:  $0.62 \pm 0.03\%$  BW ( $\pm 5\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $2.19 \pm 3.51$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-21.86 \pm 2.85$  N.sec ( $\pm 13\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $24.06 \pm 1.59$  N.sec ( $\pm 6.6\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-5.9 \pm 2.26$  N.sec ( $\pm 38.3\%$ )



Beschreibung: rechte Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 13 Samples

Bodenkontakt:  $565 \pm 14$  msec ( $\pm 2.5\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $305.21 \pm 7.76$  N.sec ( $\pm 2.5\%$ )

Fz\_max\_Avg:  $1.31 \pm 0.04\%$  BW ( $\pm 3.1\%$ )

Fz\_min:  $0.57 \pm 0.04\%$  BW ( $\pm 7\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-5.72 \pm 4.76$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-27.08 \pm 1.56$  N.sec ( $\pm 5.8\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $21.37 \pm 4.03$  N.sec ( $\pm 18.9\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-3.38 \pm 3.07$  N.sec ( $\pm 90.9\%$ )

Abbildung 48: Gehen Kyboot, Beispiel der Kinetik eines Probanden.

## Laboratorium für Biomechanik, ETH Zürich

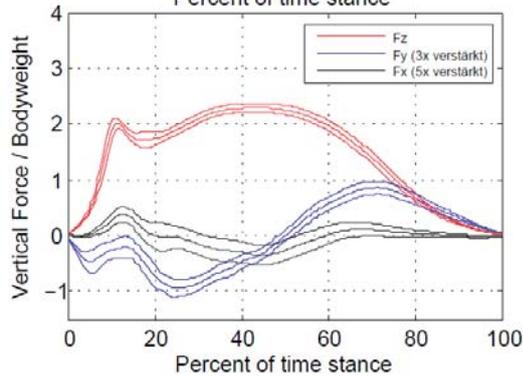
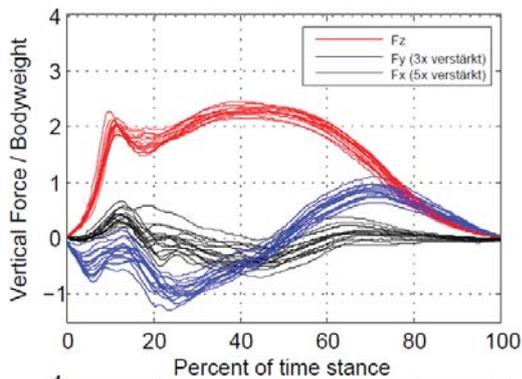
Report-File fuer : D

Gewicht : 61.4 (Kg)

Groesse : 1.68 (m)

Trial : Laufen Kyboot

Geschwindigkeit:  $2.88 \pm 0.09$  m/sec ( $\pm 3\%$ )



Beschreibung: linke Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 15 Samples

Bodenkontakt:  $286 \pm 11$  msec ( $\pm 3.9\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $245.91 \pm 4.79$  N.sec ( $\pm 1.9\%$ )

Fz\_max:  $2.31 \pm 0.07\%$  BW ( $\pm 3.1\%$ )

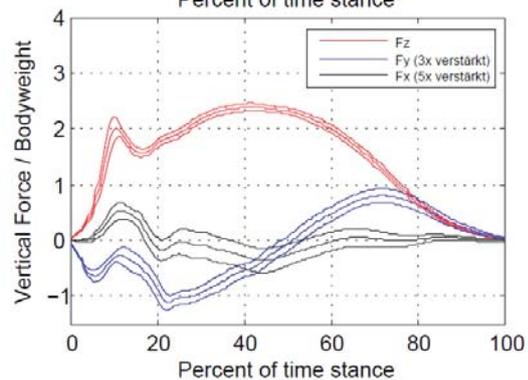
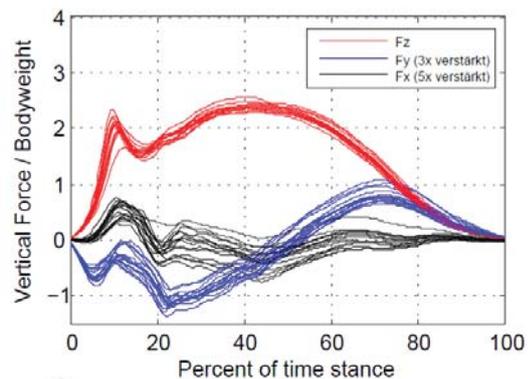
Fz\_peak:  $2.03 \pm 0.11\%$  BW ( $\pm 5.3\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-0.4 \pm 5.87$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-14.66 \pm 3.97$  N.sec ( $\pm 27.1\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $14.27 \pm 2.04$  N.sec ( $\pm 14.3\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-3.3 \pm 2.02$  N.sec ( $\pm 61.3\%$ )



Beschreibung: rechte Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 15 Samples

Bodenkontakt:  $289 \pm 10$  msec ( $\pm 3.4\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $253.64 \pm 6.8$  N.sec ( $\pm 2.7\%$ )

Fz\_max:  $2.4 \pm 0.07\%$  BW ( $\pm 2.7\%$ )

Fz\_peak:  $2.05 \pm 0.16\%$  BW ( $\pm 7.7\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-4.64 \pm 6.02$  N.sec

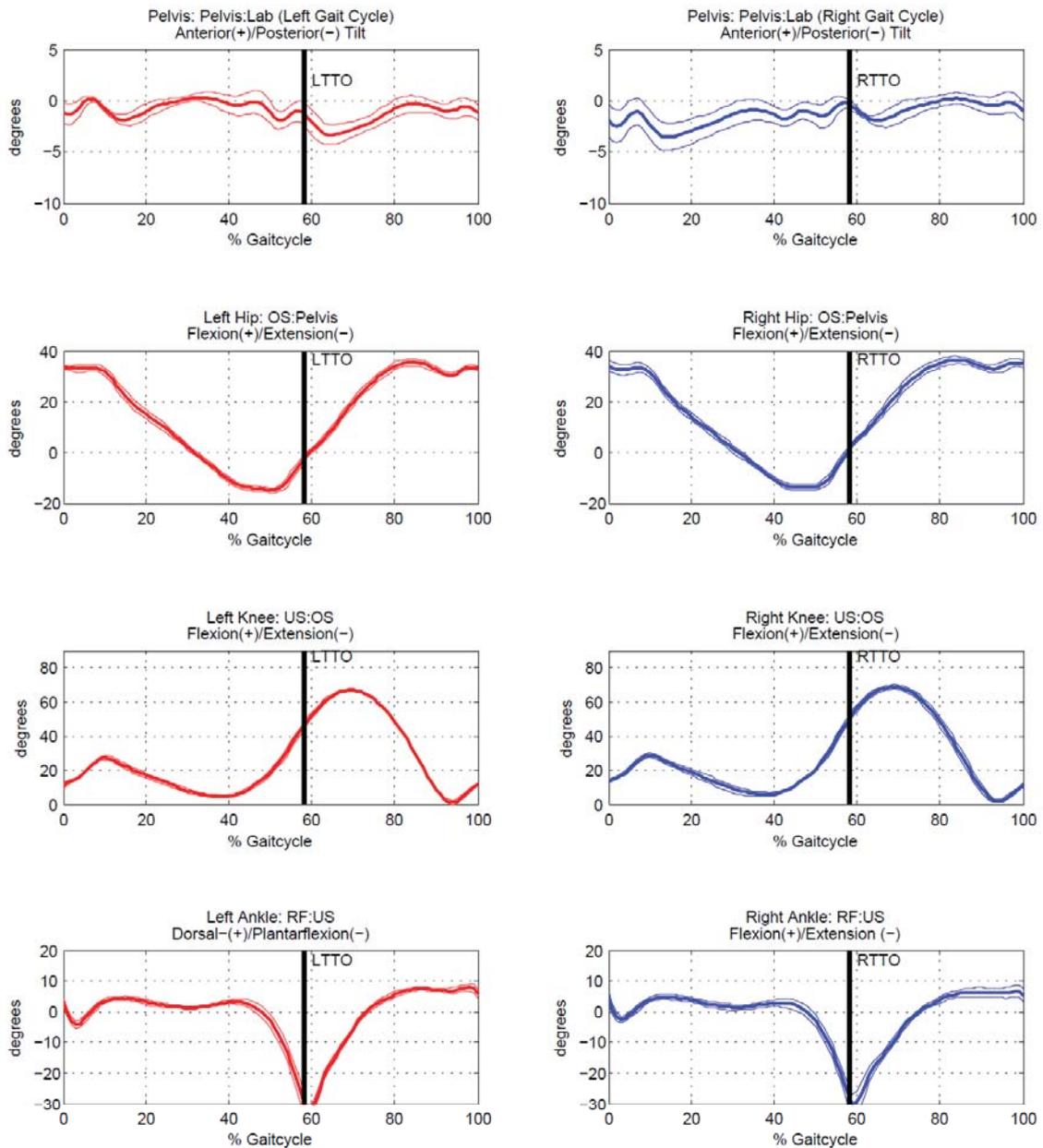
Integral - (y-Rtg):  $-17.46 \pm 3.74$  N.sec ( $\pm 21.4\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $12.82 \pm 2.47$  N.sec ( $\pm 19.2\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-3.53 \pm 2.54$  N.sec ( $\pm 71.7\%$ )

Abbildung 49: Laufen Kyboot, Beispiel der Kinetik eines Probanden.

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_gt\_mt\_

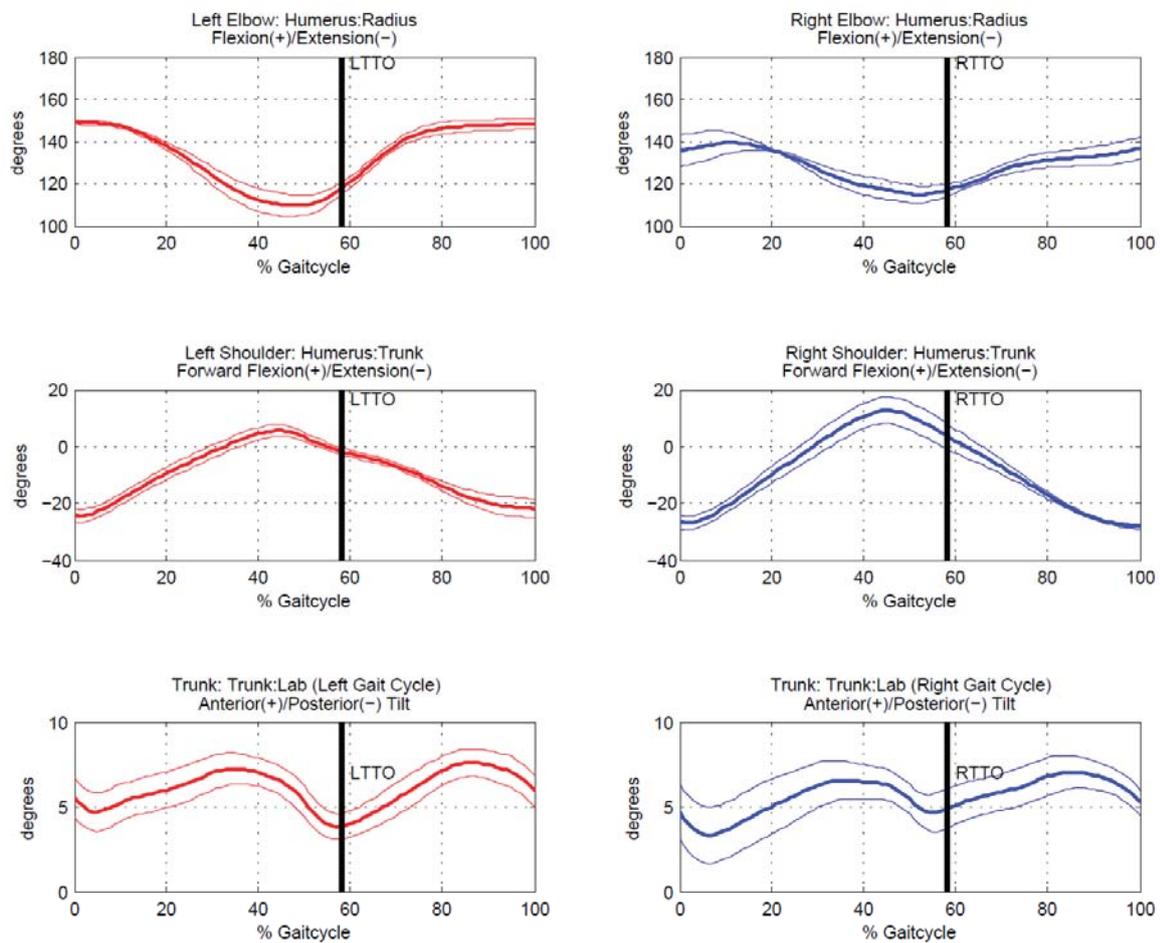


Anzahl gültige Trials: 7\_gt\_mt

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 50: Gehen MBT, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 1.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_gt\_mt\_

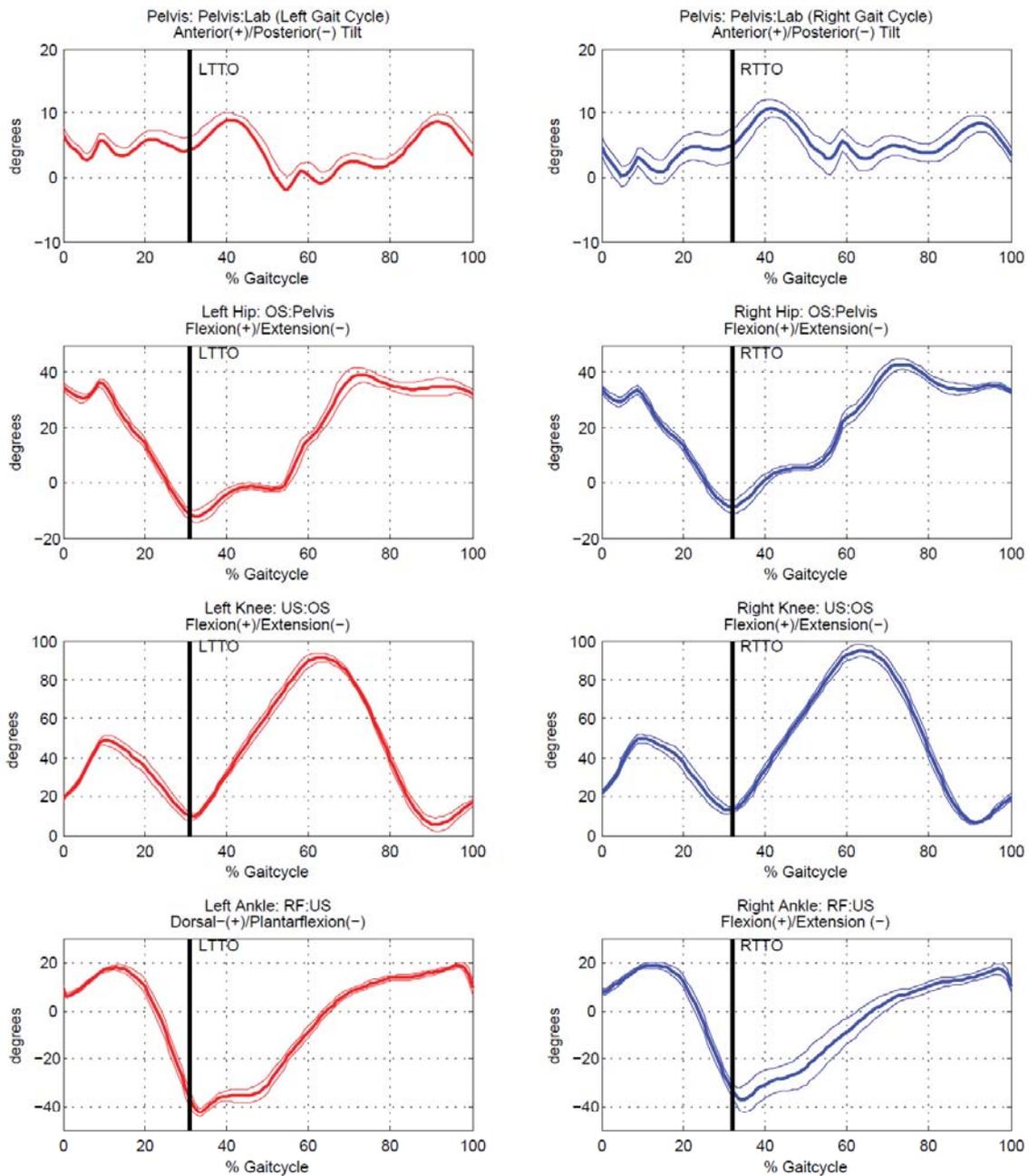


Anzahl gültige Trials: 7\_gt\_mt

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 51: Gehen MBT, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 2.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_ru\_mt\_

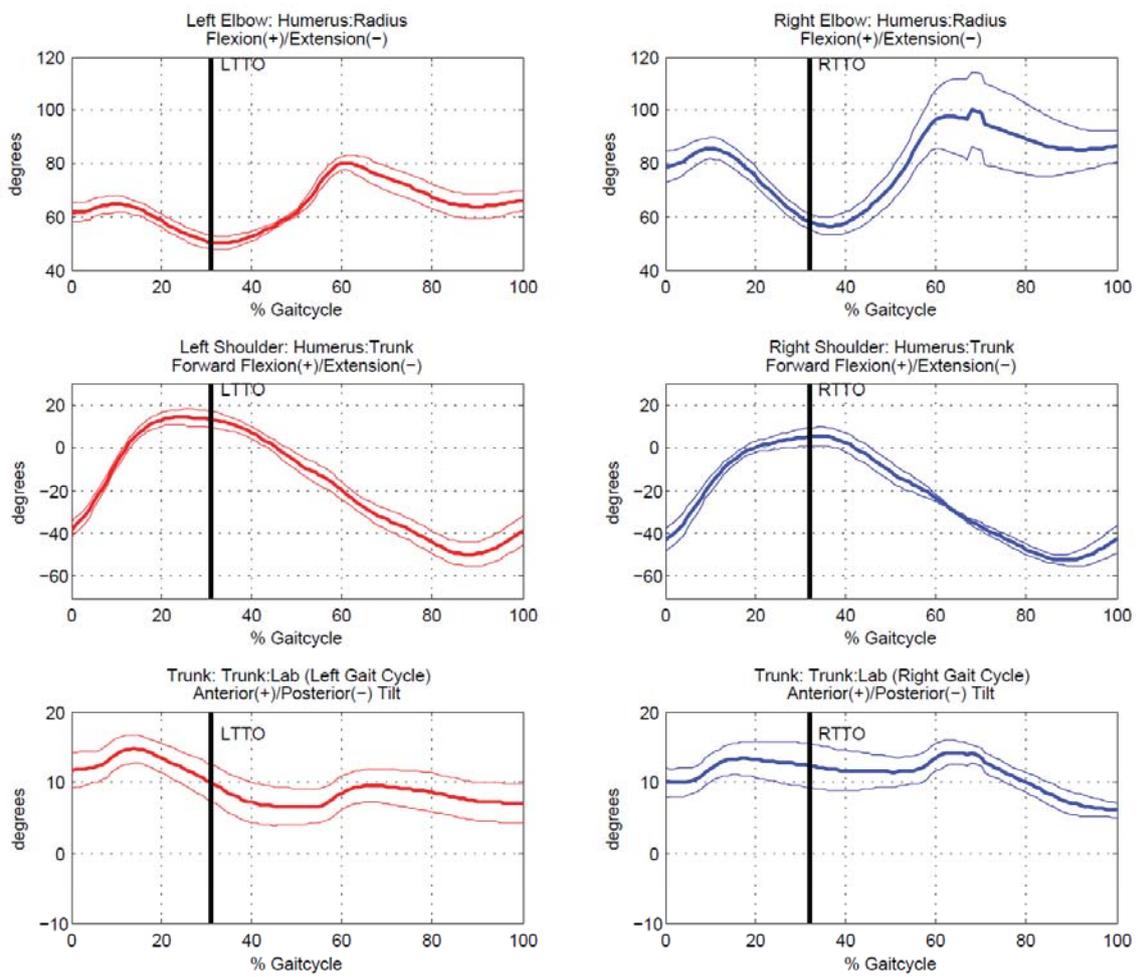


Anzahl gültige Trials: 10\_ru\_mt

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 52: Laufen MBT, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 1.**

## Kinematik in der Sagittalebene: D\_ru\_mt\_



Anzahl gültige Trials: 10\_ru\_mt

Erstellt am: 07-Nov-2010

**Abbildung 53: Laufen MBT, Beispiel der Kinematik eines Probanden, Seite 2.**

## Laboratorium für Biomechanik, ETH Zürich

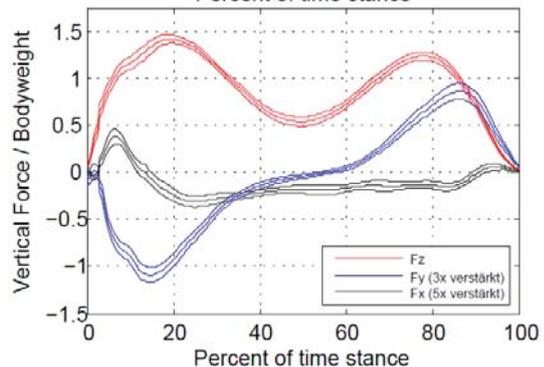
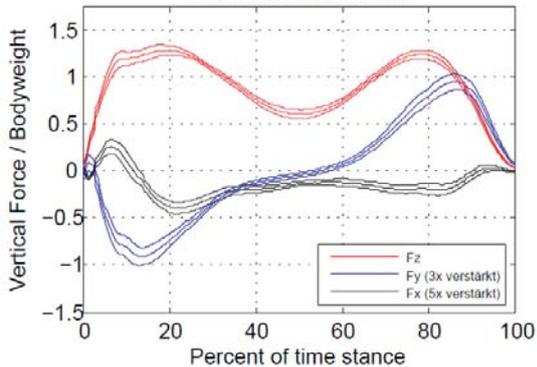
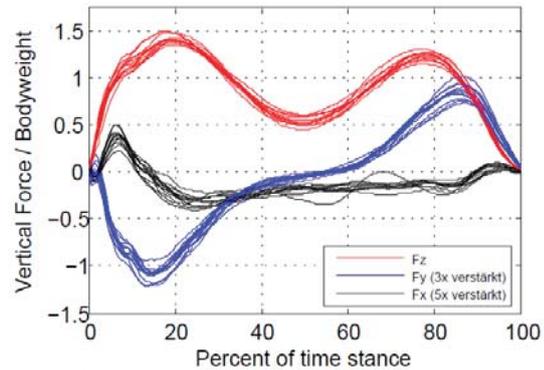
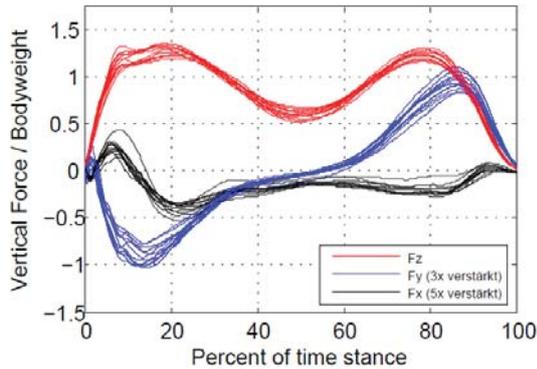
Report-File fuer : D

Gewicht : 61.4 (Kg)

Groesse : 1.68 (m)

Trial : Gehen MBT

Geschwindigkeit:  $1.72 \pm 0.04$  m/sec ( $\pm 2.6\%$ )



Beschreibung: linke Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 12 Samples

Bodenkontakt:  $564 \pm 10$  msec ( $\pm 1.8\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $304.86 \pm 6.87$  N.sec ( $\pm 2.3\%$ )

Fz\_max\_Avg:  $1.26 \pm 0.05\%$  BW ( $\pm 3.8\%$ )

Fz\_min:  $0.6 \pm 0.05\%$  BW ( $\pm 7.8\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $0.48 \pm 3.83$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-24.13 \pm 2.18$  N.sec ( $\pm -9\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $24.62 \pm 2.22$  N.sec ( $\pm 9\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-9.62 \pm 2.47$  N.sec ( $\pm -25.7\%$ )

Beschreibung: rechte Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 12 Samples

Bodenkontakt:  $555 \pm 12$  msec ( $\pm 2.1\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $300.25 \pm 8.89$  N.sec ( $\pm 3\%$ )

Fz\_max\_Avg:  $1.33 \pm 0.04\%$  BW ( $\pm 3.2\%$ )

Fz\_min:  $0.54 \pm 0.05\%$  BW ( $\pm 9.2\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-6.5 \pm 3$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-28.13 \pm 1.87$  N.sec ( $\pm -6.7\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $21.62 \pm 2.19$  N.sec ( $\pm 10.1\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-7.61 \pm 1.67$  N.sec ( $\pm -21.9\%$ )

Abbildung 54: Gehen MBT, Beispiel Kinetik eines Probanden.

## Laboratorium für Biomechanik, ETH Zürich

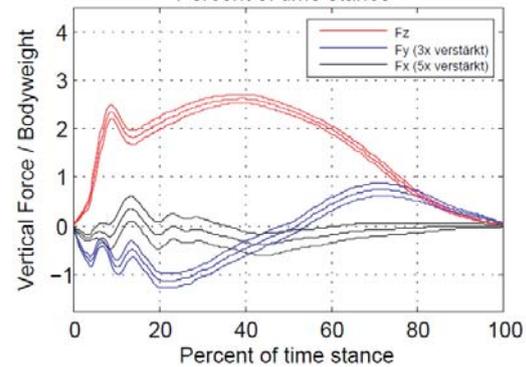
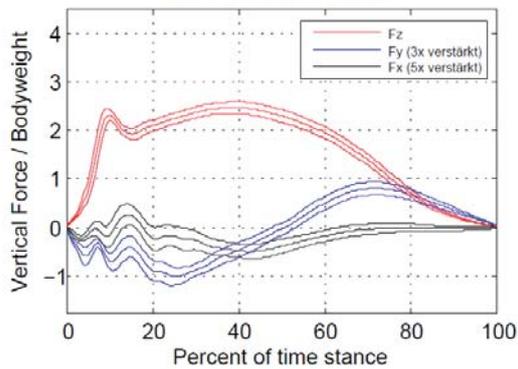
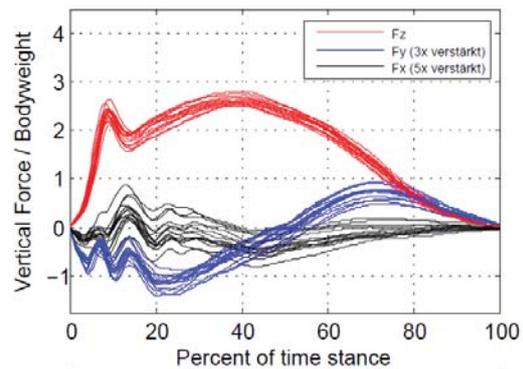
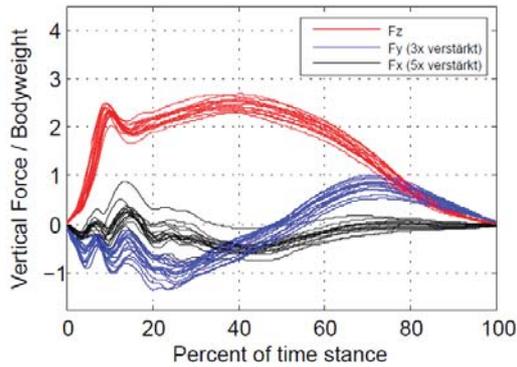
Report-File fuer : D

Gewicht : 61.4 (Kg)

Groesse : 1.68 (m)

Trial : Laufen MBT

Geschwindigkeit:  $2.9 \pm 0.06$  m/sec ( $\pm 2.1\%$ )



Beschreibung: linke Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 15 Samples

Bodenkontakt:  $262 \pm 12$  msec ( $\pm 4.5\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $245.86 \pm 7.14$  N.sec ( $\pm 2.9\%$ )

Fz\_max:  $2.48 \pm 0.12\%$  BW ( $\pm 4.8\%$ )

Fz\_peak:  $2.34 \pm 0.12\%$  BW ( $\pm 5.2\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-2.86 \pm 6.48$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-15.46 \pm 4.5$  N.sec ( $\pm -29.1\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $12.6 \pm 2.19$  N.sec ( $\pm 17.4\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-5.59 \pm 2.52$  N.sec ( $\pm -45.1\%$ )

Beschreibung: rechte Schritte

Schwelle: 2 % BW

n = 15 Samples

Bodenkontakt:  $263 \pm 11$  msec ( $\pm 4.2\%$ )

Zeitintegral (z-Rtg):  $252.33 \pm 6.49$  N.sec ( $\pm 2.6\%$ )

Fz\_max:  $2.62 \pm 0.09\%$  BW ( $\pm 3.3\%$ )

Fz\_peak:  $2.36 \pm 0.14\%$  BW ( $\pm 6\%$ )

Gesamtintegral (y-Rtg):  $-6.33 \pm 5.46$  N.sec

Integral - (y-Rtg):  $-17.67 \pm 3.28$  N.sec ( $\pm -18.6\%$ )

Integral + (y-Rtg):  $11.34 \pm 2.32$  N.sec ( $\pm 20.4\%$ )

Gesamtintegral (x-Rtg):  $-5.21 \pm 2.85$  N.sec ( $\pm -54.7\%$ )

Abbildung 55: Laufen MBT, Beispiel der Kinetik eines Probanden.

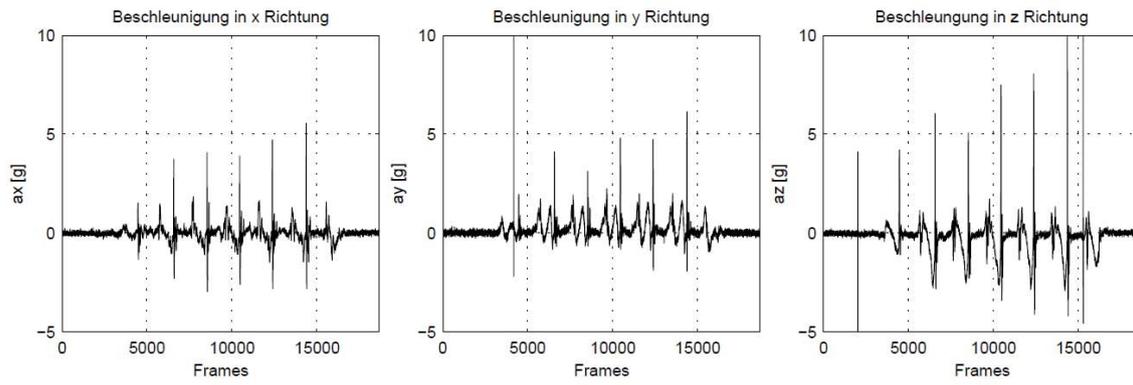


Abbildung 56: Typische Beschleunigungsdaten in drei Richtungen.

## Gesuch an die Ethikkommission der ETH Zürich

*Einzureichen an: ETH Zürich, Sekretariat Ethikkommission, Stab Wissenschaftskoordination,  
HG E 32.2, 8092 Zürich*

### A. Allgemeine Informationen

#### **Projekttitle**

Einfluss von verschiedenen Schuhen auf Standard-Gangparameter

#### **ProjektleiterIn**

Name	Institut mit Adresse	Email	Telefon
Lorenzetti Silvio	Institut für Biomechanik	slorenzetti@ethz.ch	044 633 61 95

#### **Beteiligte MitarbeiterInnen**

Name	Institut mit Adresse	Email	Telefon
Mühl Aline	Institut für Biomechanik	amuehl@ethz.ch	044 633 72 05
Schellenberg Florian	Institut für Biomechanik	scfloria@ethz.ch	

#### **Anzahl ProbandInnen**

Minimum:12

Maximum:12

#### **Dauer der Studie**

Beginn: 1. Mai

Ende: 31. August

#### **Art des Projektes**

Forschungsprojekt

Projekt im Bereich Lehre

(Praktikum)

---

**Unterschrift ProjektleiterIn:**

Datum:

Unterschrift:

## **B. Wissenschaftliche Informationen**

Die wissenschaftlichen Informationen sind auf folgenden nummerierten Beilagen einzureichen:

### ***Beilage 1: Abstract***

Ein neu entwickelter Schuh mit speziell weicher Sohle soll laut Hersteller dem Fuss einen bestimmten Grad an Bewegungsfreiheit erlauben und so eine gelenkschonende Gangart provozieren. Dabei soll die tiefe, stabilisierende Muskulatur gestärkt werden. Diese Aussagen basieren jedoch lediglich auf Annahmen. Deshalb wurde vom Hersteller eine Untersuchung in Auftrag gegeben, in welcher der beschriebenen Schuh anhand von Standard- Gangparametern mit anderen, auf dem Markt bereits bestehenden Gesundheitsschuhen verglichen werden soll. So sollen Unterschiede in den Gangeigenschaften qualifiziert und quantifiziert werden können. Die Probanden werden die alltäglichen Bewegungen Gehen und Laufen ausführen. Damit wird das Verletzungsrisiko gering gehalten.

Die vorgeschlagene Arbeit wurde von einem Hersteller für Schuhe und Matten mit Anwendung im Alltag und im Gesundheitsbereich in Auftrag gegeben. Ziel der Arbeit ist der Einfluss verschiedener Schuhsohlen auf Standard-Gangparameter zu untersuchen.

### ***Beilage 2: Projekt***

#### ***a) Forschungsziel***

Während das Gehen die wichtigste alltägliche Form der Fortbewegung darstellt, ist in vielen sportlichen Situationen das Laufen von zentraler Bedeutung. Beide Formen der Lokomotion sind ausgesprochen reproduzierbar und folgen unter physiologischen Bedingungen bei allen gesunden Menschen nach demselben Grundmuster, das weitgehend im Unterbewusstsein abläuft (Kramers-de-Quervain et al. 2008; Inman, 1981; Rose et al., 1994). Deshalb eignen sich die beiden Bewegungen Gehen und Laufen ausgesprochen gut, um quantitativ festgehalten zu werden.

Die instrumentierte Ganganalyse wird in der Orthopädie, Rehabilitation und sportwissenschaftlicher Forschung eingesetzt, um einerseits das funktionelle Resultat einer verschiedenen Interventionen zu analysieren oder andererseits, um das individuelle Bewegungsverhalten der gemessenen Person zu evaluieren. Zur quantitativen Erfassung der Bewegungen wurde eine Vielzahl an Messsystemen und Messmethoden entwickelt, die es ermöglichen, geeignete Funktionsparameter für die Analyse der Bewegungen zu definieren. Dank der technischen Fortschritte gelingt die Erfassung heute mit zunehmender Genauigkeit bei gleichzeitig abnehmendem Zeitbedarf.

Standardmässig werden heute in der Ganganalyse die Bewegungen der einzelnen Körpersegmente (Kinematik) sowie die Bodenreaktionskräfte erfasst. Die dabei zum Einsatz kommenden Messsysteme reichen von 3D-Kinematiksysteme zur dreidimensionalen Erfassung der Körpersegmente über Kraft- und Druckmessplatten zur Erfassung der Bodenreaktionskräfte bis hin zu High-Speed-Kameras, die z.B. schnelle Bewegungen beim Landen erfassen können. Ferner kann die Erfassung der Muskelaktivität durch dynamische Elektromyografie weitere Informationen über den Bewegungsablauf liefern. Diese Messsysteme werden auch am Institut für Biomechanik standardmässig eingesetzt und entsprechen dem heutigen Stand der Technik (Kramers-de-Quervain et al. 2008; Bachmann et al 2008).

Die auftragstellende Firma setzt sich zum Ziel, ganzheitlich gesundheitsfördernde Systeme zu entwickeln, welche die Bewegung auf eine gelenkschonende und muskulaturentspannende Art fördern soll. Um den Einfluss eines neu entwickelten Schuhs mit speziell weicher Sohle auf das menschliche Gangmuster messen zu können, sowie um den Schuh mit anderen, auf dem Markt

bereits bestehenden Schuhmodellen vergleichen zu können, wurde die hier beschriebene Arbeit in Auftrag gegeben.

**Ziel dieser Arbeit ist der Einfluss verschiedener Schuhe auf verschiedenste Standard-Gangparameter** (z.B. Verlauf der Knie-, Hüft und Sprunggelenke, Bodenreaktionskraft, Dauer der Standphase usw.) **zu bestimmen.**

Dazu sollen zwölf Probanden barfuss und mit verschiedenen Schuhen bestückt kinetisch und kinematisch in Gehen und Laufen erfasst werden. Zusätzlich sollen einige Standphasen eines Probanden mit einer High-Speed-Kamera gefilmt werden.

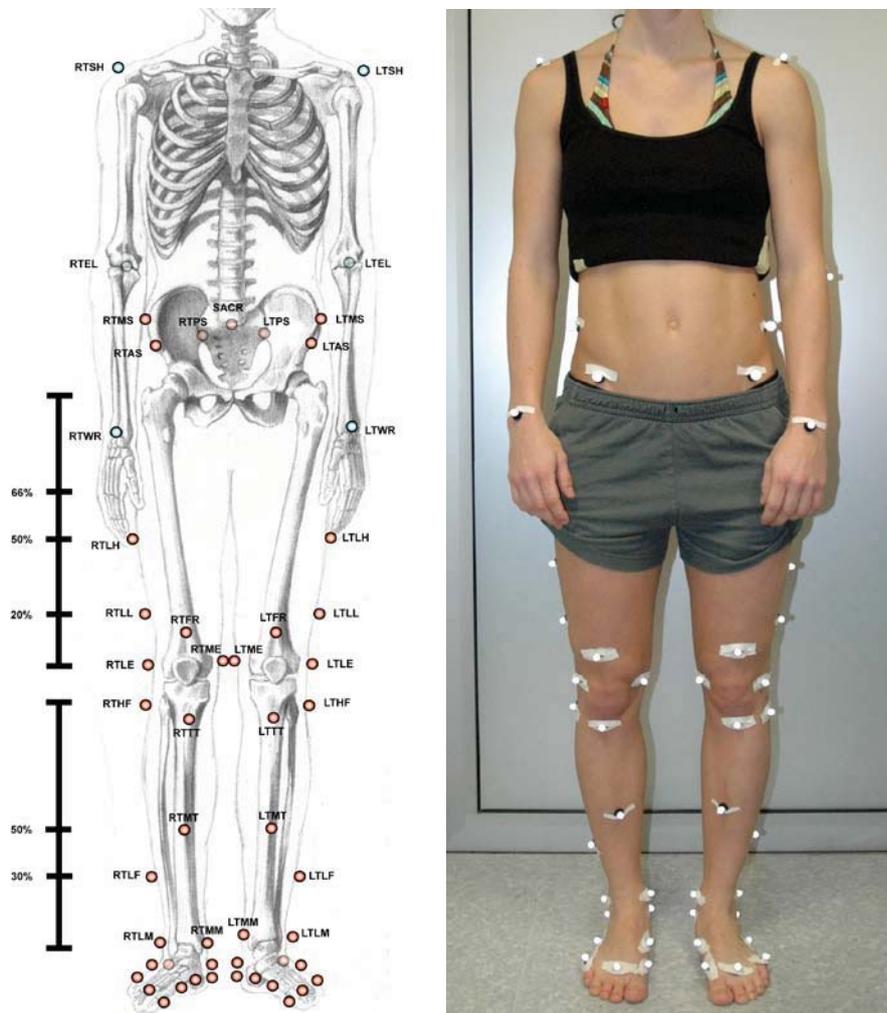
#### **b) Arbeitsplan**

Vorversuche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kameraoptimierung</li> <li>• Zeitbedarf für Messungen abschätzen</li> <li>• Bewegungsauswertung Testdurchlauf</li> <li>• Mai 2010</li> </ul>
Messungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ganganalyse mit 12 Probanden</li> <li>• Mai / Juni 2010</li> </ul>
Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswertung nach den gewünschten Parameter</li> <li>• Juni / Juli 2010</li> </ul>

#### **c) Untersuchungsmethoden**

Das verwendete optoelektrische kinematische Messsystem ist von der Firma Vicon (Vicon Motion System, Oxford Metrics Ltd., Oxford, UK). Das System erlaubt die dreidimensionale Erfassung von Markern, was die Definition einzelner Körpersegmente und die Erhebung anthropometrischer Daten ermöglicht. Anschliessend können deren Relativbewegungen berechnet werden.

Die reflektierenden Marker werden mit Hilfe von doppelseitigem Klebeband nach einem am Institut für Biomechanik der ETH Zürich entwickelten Markerset am Probanden fixiert (Abbildung 1). Die Marker besitzen ein sehr geringes Eigengewicht (ca.1g) und verursachen dem Probanden keine Unannehmlichkeiten. Sie werfen das von den 12 Kameras ausgesandte Infrarotlicht zurück und werden so vom System erkannt. Infrarotstrahlung ist für den Menschen



**Abbildung 1:**  
Markerpositionen am

ungefährlich.

Die kinetische Messanlage besteht aus fünf Kraftmessplatten der Firma KISTLER (Kistler Instrumente AG, Winterthur), die im Institut für Biomechanik routinemässig zum Einsatz kommen. Diese Platten sind mit vier piezo-elektrischen Kraftmesselementen ausgestattet, welche eine sehr präzise und zeitlich hoch aufgelöste Signal-Erfassung ermöglichen.

Zur Messung der Beschleunigung der Tibia dient ein dreiaxialer, telemetrischer Beschleunigungssensor (Eigenbau). Sämtliche Versuche werden mit zwei konventionellen Digital-Videokameras von frontal und von sagittal aufgezeichnet.

Gemessen werden die Bewegungsausführung und die dabei wirkenden Bodenreaktionskräfte und Geschwindigkeiten.

Es werden insgesamt 12 Probanden in den Bewegungen Gehen und Laufen gemessen. Pro "Disziplin" (barfuss oder mit verschiedenen Schuhen, total 5 Disziplinen) werden jeweils 5 Versuche durchgeführt.

Für einen Probanden werden je eine Standphase pro Disziplin in der Bewegung Gehen von der Seite mit einer High-Speed-Kamera aufgezeichnet. Von den Probanden werden die anthropometrischen Daten Alter, Geschlecht, Schuhgrösse und Gewicht erfasst.

#### **d) Zeitlicher Ablauf**

Der zeitliche Aufwand pro Proband beträgt ca. 2 Stunden. Diese Zeitspanne beinhaltet die Information zur folgenden Untersuchung, die Positionierung der Marker sowie die Versuchsdurchführung.

#### **Beilage 3: Zu erwartende Risiken und entsprechende Vorsichtsmassnahmen**

- Risiken werden in der folgenden Studie keine erwartet. Gehen und Laufen sind physiologische Bewegungen aus dem Alltag. Das Infrarotlicht des Kamerasystems ist für Menschen ungefährlich. Sämtliche Messmethoden sind nicht invasiv.
- Für Notfälle steht ein Notfallkoffer zur Verfügung. Für ernstere Fälle wird die Notfall-Nummer der Alarmzentrale der ETH Hönggerberg (Tel.: 888) angerufen.

#### **Beilage 4: Projektleiter/in**

##### **a) Lebenslauf Projektleiter/in**

**Silvio Lorenzetti** ist Leiter der Gruppe Sportbiomechanik des Institutes für Biomechanik der ETH Zürich. Im Rahmen seiner Dissertation untersuchte er die Elastizität von Knochen sowohl im Experiment als auch mit FE-Simulationskalkulationen. Seit 2007 ist er Dozent für Biomechanik für Studierende in Bewegungswissenschaften und Maschinenbau im Bachelor oder Master. Seit 2007 ist er Experte bei den eidgenössischen Berufsprüfungen für Fitnessinstructoren durch den SFCV (Schweiz. Fitness und Wellness Center Verband). Er war an nationalen Wettkämpfen im Powerlifting und American Football erfolgreich.

#### **Beilage 5: ProbandInnen**

##### **a) Anzahl**

Für dieses Projekt werden 12 Probanden gesucht.

##### **b) Auswahl- und Ausschlusskriterien**

Die Probanden dürfen keine aktuellen Probleme an den unteren Extremitäten aufweisen. Namentlich sind das Bänderrisse und/oder Instabilitätszustände an Sprung-, Knie- und Hüftgelenken und Knochenbrüche oder Fehlstellungen in den letzten 5 Jahren, die durch eine Operation behandelt werden mussten.

##### **c) Rekrutierung der ProbandInnen:**

Die Probanden werden aus dem Studiengang Bewegungswissenschaften und Sport an der ETH Zürich rekrutiert. Die Rekrutierung erfolgt per Mail. Interessierte Studenten, haben die Möglichkeit, sich freiwillig als Probanden zu melden. Die teilnehmenden Probanden werden mit ein Paar Schuhen des Auftraggebers entschädigt.

#### **Beilage 6: Informationsblatt für ProbandInnen**

Siehe nächste Seite

## Informationsblatt für Probanden /-innen

---

- ⇒ Bitte lesen Sie diese Informationen sorgfältig durch.
- ⇒ Bitte fragen Sie den/die UntersucherIn oder Ihre Kontaktperson, wenn Sie etwas nicht verstehen oder etwas genauer wissen möchten.

**Ziel der Studie:** In diesem Projekt soll der Einfluss von verschiedenen Schuhmodellen auf das menschliche Gangbild untersucht werden. Dazu werden die Bewegungen Gehen und Laufen von insgesamt zwölf Probanden barfuss und mit verschiedenen Schuhmodellen bestückt, kinetisch und kinematisch erfasst und auf ausgewählte Gangparameter untersucht. Die Schuhmodelle unterscheiden sich hauptsächlich in der Beschaffenheit ihrer Sohlen. Zum Einsatz kommen sowohl Schuhe mit speziell weichen Sohlen, als auch Modelle, die ein bestimmtes Abrollmuster des Fusses bewirken sollen.

**Untersuchungen:** Sie werden im Gehen und Laufen mit Hilfe von Infrarotkameras und reflektierenden Marken dreidimensional erfasst. Die dabei entstehenden Bodenreaktionskräfte werden von im Boden eingelassenen Kraftmess-platten festgehalten.

**Ablauf:** Zu Beginn werden Sie genau über die Untersuchung informiert und um Ihre unterschriebene Einverständniserklärung gebeten. Anschliessend erfolgt die Bestückung ihres Körpers mit 53 reflektierenden Hautmarkern (Abb.1). Diese sind sehr leicht (weniger als ein Gramm) und werden mittels doppeltem Klebeband auf die Haut aufgeklebt (Abb. 2). Die Marker reflektieren das von den Infrarot-Kameras ausgesandte Licht und ermöglichen so die digitale Erfassung der Bewegungen.



Abb. 1: Reflektierender Marker

Abb. 2: Markerpositionen

Bevor die eigentliche Messung beginnt, werden Sie gebeten, vier einfache Bewegungen durchzuführen. Mit Hilfe dieser Bewegungen werden später die entsprechenden Gelenkszentren berechnet. Es handelt sich dabei um das Beugen und Strecken des Fusses (Dorsi- und Plantarflexion), die seitliche Neigung des Fusses (Inversion und Eversion), das Beugen und Strecken des Knies sowie das Kreisen des Beines in der Hüfte. Die Bewegungen werden langsam ausgeführt, je zwei Mal links und rechts wiederholt und vom/von der VersuchsleiterIn exemplarisch vorgezeigt.

Danach folgt die eigentliche Messung der Testbewegungen Gehen und Laufen. Dazu werden sie gebeten, mindestens fünf Mal im Fersengang über die Kraftmessplatten zu Gehen bzw. zu Laufen. Der zeitliche Aufwand für die Studienteilnahme beträgt ca. zwei Stunden.

**Bedingungen für die Teilnahme:**

Sie dürfen keine aktuellen Verletzungen der unteren Extremitäten aufweisen. Namentlich sind das Bänderrisse und/oder Instabilitätszustände an Sprung-, Knie- und Hüftgelenken, Fehlstellungen (z.B. Hallux Valgus), Operationen und Knochenbrüche, die in den letzten 5 Jahren behandelt worden sind.

**Vorteile für Sie:** Einblick in das Forschungsgebiet der Biomechanik.

**Nachteile für Sie:** Für die Teilnahme an der Studie entsteht für Sie ein zeitlicher Aufwand von ca. zwei Stunden.

**Risiko:** Risiken werden in der folgenden Studie keine erwartet. Gehen und Laufen sind physiologische Bewegungen aus dem Alltag. Das Infrarotlicht des Kamerasystems ist für Menschen ungefährlich. Sämtliche Messmethoden sind nicht invasiv.

**Finanzierung:** Das Projekt wurde von der Firma kybun AG in Auftrag gegeben und finanziert.

**Entschädigung:** Für die Teilnahme an der Studie erhalten Sie ein Paar Schuhe des Auftraggebers in Ihrer Schuhgröße.

**Rücktrittsrecht:** Sie können sich jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne, dass ein Nachteil für Sie entsteht, vom Test zurückziehen.

**Datenschutz:** Alle persönlichen Informationen werden streng vertraulich behandelt. Die zuständigen Untersuchenden und/oder Mitglieder der Ethikkommission können die Originaldaten zu Prüf- und Kontrollzwecken einsehen, jedoch unter strikter Einhaltung der Vertraulichkeit.

**Versicherung:** Allfällige Gesundheitsschäden, die in direktem Zusammenhang mit der Studie entstehen, sind im Rahmen der gesetzlichen Vorschriften durch die Haftpflichtversicherung der ETH Zürich (Police Nr. 100.001 der Schweizerischen Mobiliar Versicherungsgesellschaft) gedeckt. Die Unfall-/Krankenversicherung (z.B. für die Hin- und Rückreise) liegt in Ihrer Verantwortung.

**Kontakt:**

Silvio Lorenzetti	Aline Mühl
Institut für Biomechanik	Institut für Biomechanik
ETH Hönggerberg, HCI E 365.2	ETH Hönggerberg, HCI E 443
8093 Zürich	8093 Zürich
Tel.: +41 44 633 61 95 (g)	Tel.: +41 44 633 72 05 (g)
Tel.: +41 78 608 14 84 (p)	Tel.: +41 79 346 10 29 (p)
E-Mail: losilvio@ethz.ch	E-mail: amuehl@ethz.ch

**Beilage 7:**

**Einverständniserklärung**

---

- ⇒ Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch.
- ⇒ Bitte fragen Sie den/die UntersucherIn oder Ihre Kontaktperson, wenn Sie etwas nicht verstehen oder etwas wissen möchten.

**Titel der Studie:** Einfluss von verschiedenen Schuhen auf Standard-Gangparameter

**Durchführungsort der Studie:** Institut für Biomechanik, ETH Höggerberg, HCI, D355

**UntersucherIn** (Name und Vorname): \_\_\_\_\_

**ProbandIn** (Name und Vorname): \_\_\_\_\_

- ⇒ Ich nehme an dieser Studie freiwillig teil und kann jederzeit ohne Angabe von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme widerrufen, ohne dass mir deswegen Nachteile entstehen.
- ⇒ Ich wurde mündlich und schriftlich über die Ziele, den Ablauf der Studie, über die zu erwartenden Wirkungen, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.
- ⇒ Ich habe die zur oben genannten Studie abgegebene schriftliche ProbandInnen-Information gelesen. Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an dieser Studie sind mir zufrieden stellend beantwortet worden. Ich kann die schriftliche ProbandInnen-Information behalten und erhalte eine Kopie meiner schriftlichen Einverständniserklärung.
- ⇒ Ich hatte genügend Zeit, um meine Entscheidung zu treffen.
- ⇒ Ich bestätige mit meiner Unterschrift, dass ich die im Informationsblatt genannten Bedingungen für die Studienteilnahme erfülle.
- ⇒ Ich bin darüber informiert, dass die allgemeine Haftpflichtversicherung der ETH Zürich (Police Nr. 100.001 der Schweizerischen Mobiliar Versicherungsgesellschaft) nur Gesundheitsschäden deckt, die in direktem Zusammenhang mit der Studie entstehen und auf nachweisliches Verschulden der ETH Zürich zurückzuführen sind. Darüber hinaus liegt die Unfall-/Krankenversicherung (z.B. für die Hin- und Rückreise) in meiner Verantwortung.
- ⇒ Ich bin einverstanden, dass die zuständigen Untersuchenden und/oder Mitglieder der Ethikkommission zu Prüf- und Kontrollzwecken meine Originaldaten einsehen dürfen, jedoch unter strikter Einhaltung der Vertraulichkeit.
- ⇒ Ich bin mir bewusst, dass während der Studie die in der ProbandInnen-Information genannten Anforderungen und Einschränkungen einzuhalten sind. Im Interesse meiner Gesundheit kann mich die untersuchende Person auch ohne gegenseitiges Einverständnis von der Studie ausschliessen.

Ort, Datum ..... Unterschrift ProbandIn .....

Ort, Datum ..... Unterschrift UntersucherIn .....

8.11.2010

Institut für Biomechanik  
ETH Hönggerberg  
Wolfgang Pauli Str. 10  
8093 Zürich



