

Development of innovative training solutions in the field of functional evaluation aimed at updating of the curricula of health sciences schools



MODUL BIOMECHANIK DES GANGBILDES

Didaktische Einheit D: INSTRUMENTELLE ANALYSE  
DES GANGS

D.1 Welche Protokolle zur biomechanischen Bewertung des  
Gangs mit Instrumenten gibt es?

## D.1 Welche Auswertungsprotokolle für biomechanische Ganginstrumente gibt es?

- Teil 1 Photogrammetrie
- Teil 2 Beschleunigungsaufnehmer
- Teil 3 Dynamometrische Plattformen
- Teil 4 Instrumentierte Druckeinlagen
- Tasten Ideen
- Bibliographie

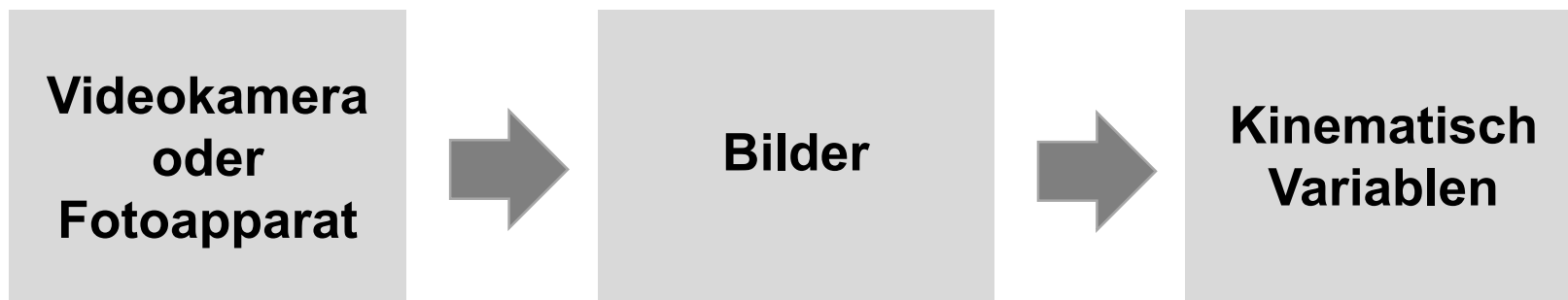
## **D.1 Welche Auswertungsprotokolle für biomechanische Ganginstrumente gibt es?**

### **Teil 1. Photogrammetrie und Bewertung des Gangs. Klinischer Ansatz**

## 1. DEFINITION

### Photogrammetrie

Photogrammetrie ist die Wissenschaft von der Gewinnung zuverlässiger Informationen über die Eigenschaften von Oberflächen und Objekten ohne physischen Kontakt mit den Objekten, sowie von der Messung und Interpretation dieser Informationen.



## 2. SYSTEM-ELEMENTE

- Videokamerasystem und Scheinwerfer oder Beleuchtungssystem
- Bildaufnahme- und Verarbeitungssystem: **Software**
- **Referenzsystem**
- **Marker** und **Zubehör**

## 2.1. SYSTEMELEMENTE: KAMERAS

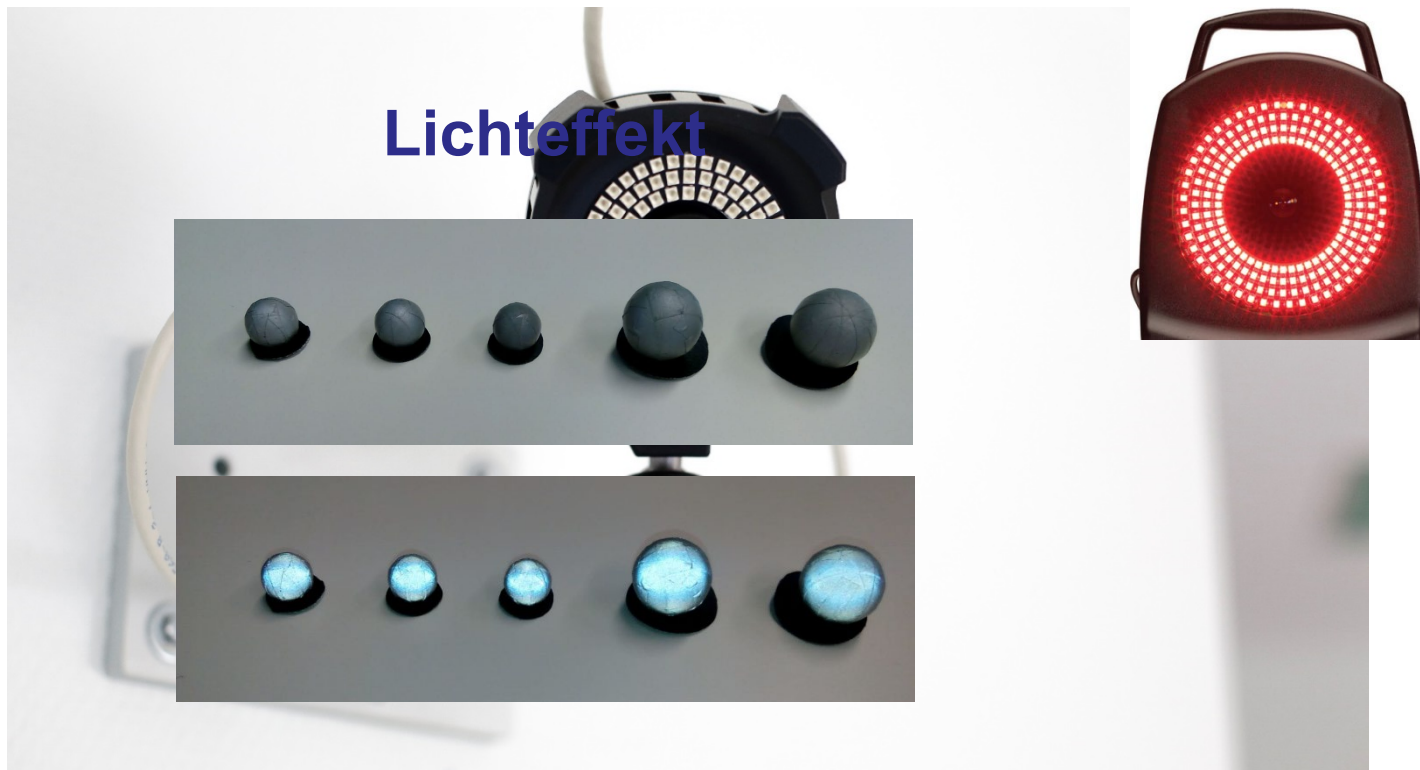
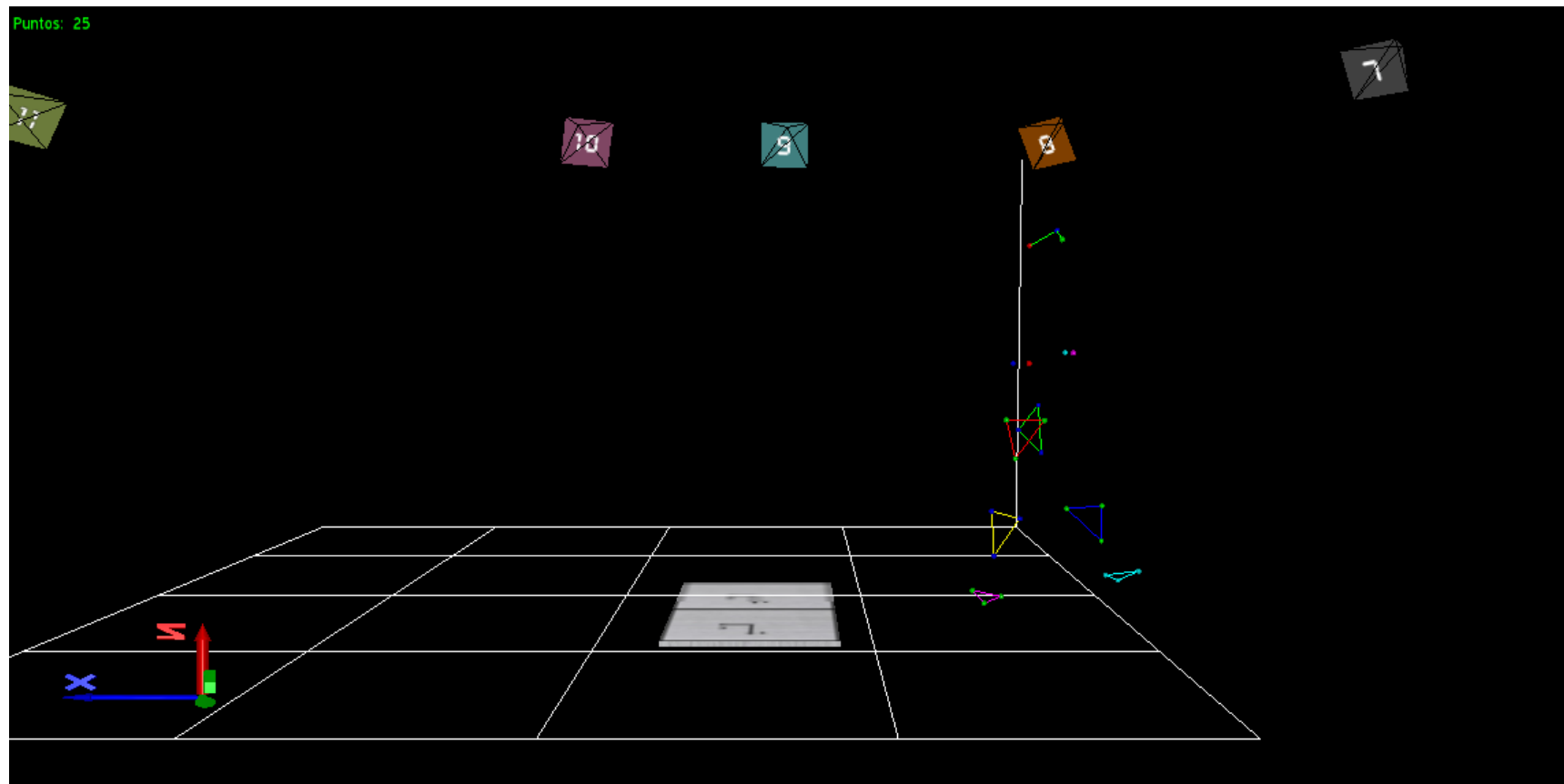


Abbildung 1. Smartcam vom Bewegungserfassungssystem kinescan/IBV

## 2.1. SYSTEMELEMENTE: KAMERAS



## 2.1. SYSTEMELEMENTE: KAMERAS



*versus*



Abbildung 2. Konfiguration der Kameras für die Analyse in zwei Dimensionen gegenüber drei Dimensionen. Labor des Fachbereichs Medizin. Universität von Valencia



## 2.1. SYSTEMELEMENTE: KAMERAS

### *Konfigurationen für kamerabasierte Bewegungserfassung*

#### Zweidimensionales System

- Eine Kamera
- Koronal oder sagittal ebene Bewegung
- Orthogonal positioniert zu erfassen

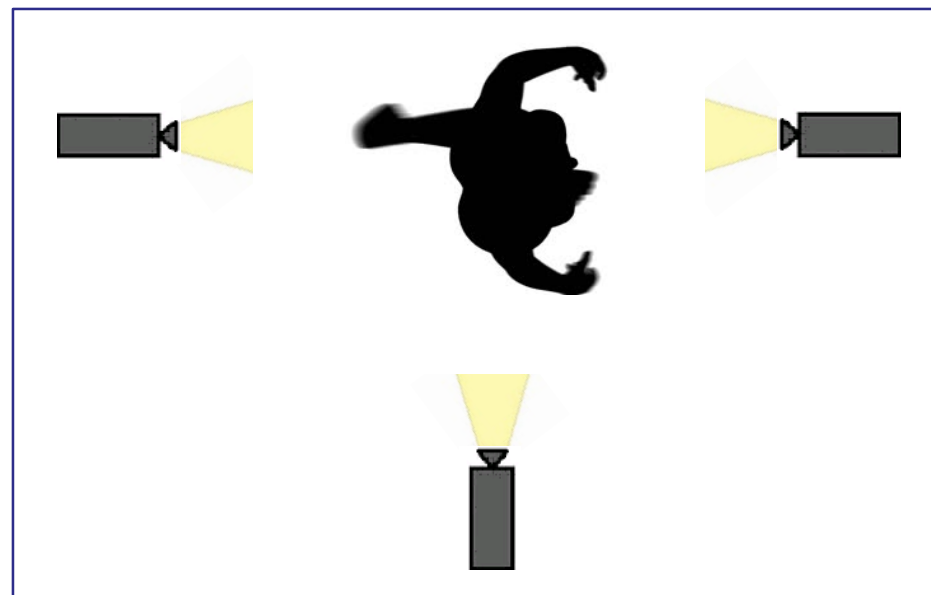


Abbildung 3. Zweidimensionales Video Kamera-Konfiguration

## 2.1. SYSTEMELEMENTE: KAMERAS

### *Konfigurationen für kamerabasierte Bewegungserfassung*

#### Dreidimensionales System

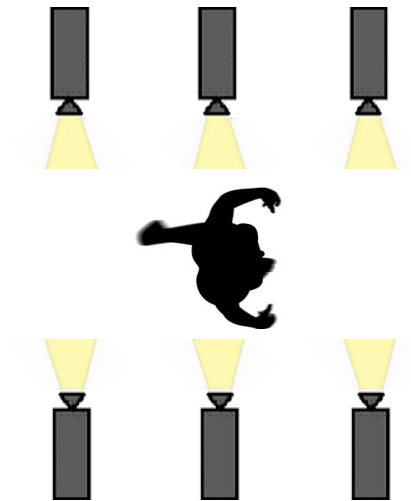


Abbildung 4. Linearkamera-Konfiguration

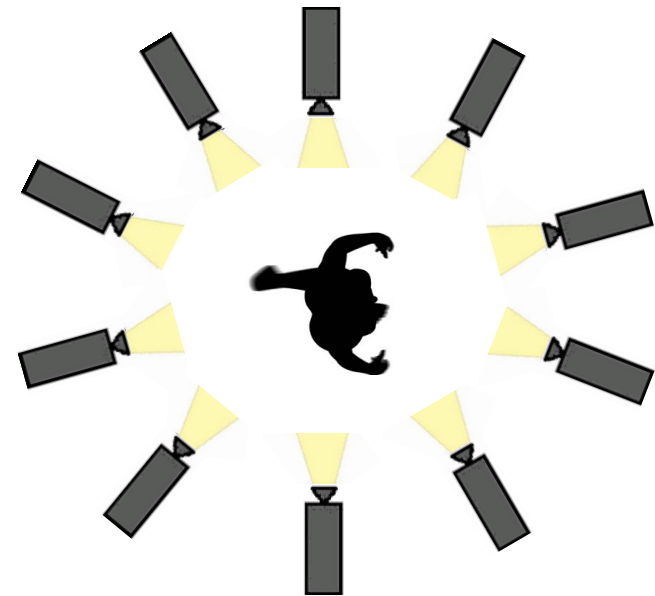


Abbildung 5. Konfiguration der Regenschirmkamera

## 2.1. SYSTEMELEMENTE: KAMERAS

### Aufnahmefrequenzen pro Sekunde mit Photogrammetriesystem

Autor	Motorische Aufgabe	Häufigkeit	Beispiel
Martin S. <i>et al.</i> 2014	Gangart	75 Hz	Gesunde Teilnehmer
Jeremy J.B. <i>et al.</i> 2007	Gangart	120 Hz	Normalerweise aktive Mädchen
Bisesti <i>et al.</i> 2015	Laufen	240 Hz	Gesunde Teilnehmer
Huchez <i>et al.</i> 2013	Gymnastik	250 Hz	Athleten
Inoue <i>et al.</i> , 2014	Fußball	500 Hz	Athleten
Betzler <i>et al.</i> 2014	Golf	1000 Hz	Athleten

Tabelle 1. Aufzeichnungsfrequenzen (Hz) mit Motion-Capture-System.

## 2.2. SYSTEMELEMENTE: SOFTWARE

Bilder aufnehmen

Bildbearbeitung



Abbildung 6. Auf dem Markt erhältliche Software für Bewegungserfassungssysteme

## 2.3. SYSTEMELEMENTE: REFERENZSYSTEM

*Globales Koordinatensystem (GCS)*

**STATISCHE  
KALIBRIERUN  
G**

**DYNAMISCHE  
KALIBRIERUN  
G**

## 2.3. SYSTEMELEMENTE: REFERENZSYSTEM

### *Statische Kalibrierung*



Zweidimensional

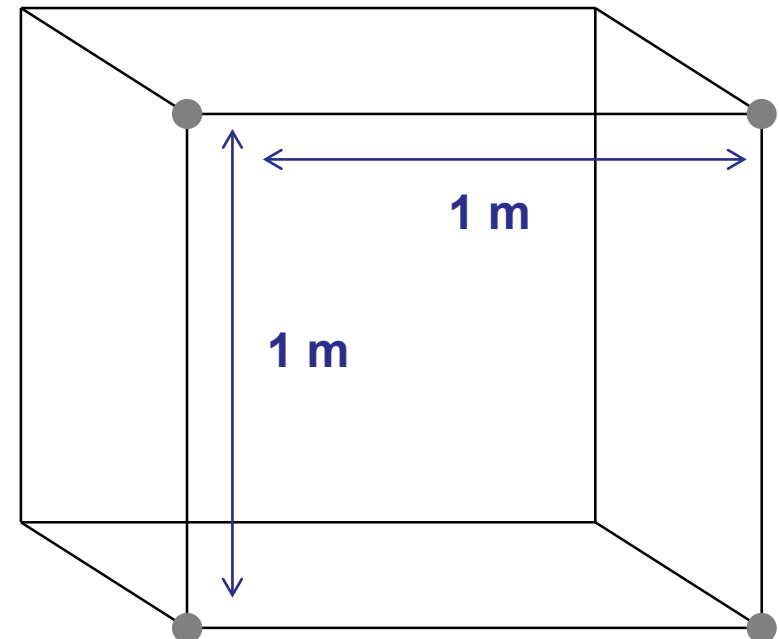
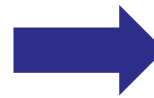


Abbildung 7. Starre kubische Struktur für die statische Raumkalibrierung in der zweidimensionalen Analyse

## 2.3. SYSTEMELEMENTE: REFERENZSYSTEM

### *Statische Kalibrierung*



### Dreidimensional

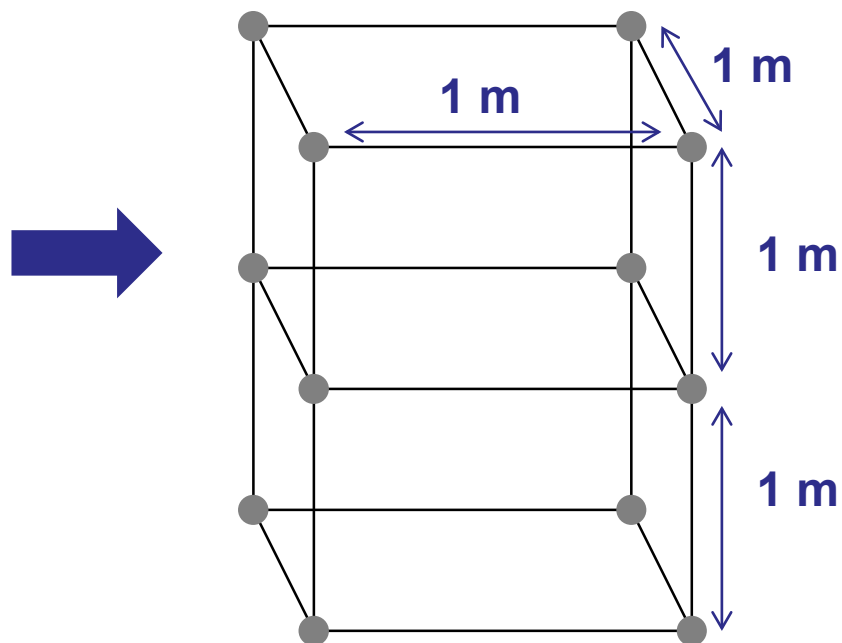


Abbildung 8. Starre kubische Struktur für die statische Raumkalibrierung in der dreidimensionalen Analyse

## 2.3. SYSTEMELEMENTE: REFERENZSYSTEM

### *Dynamische Kalibrierung*

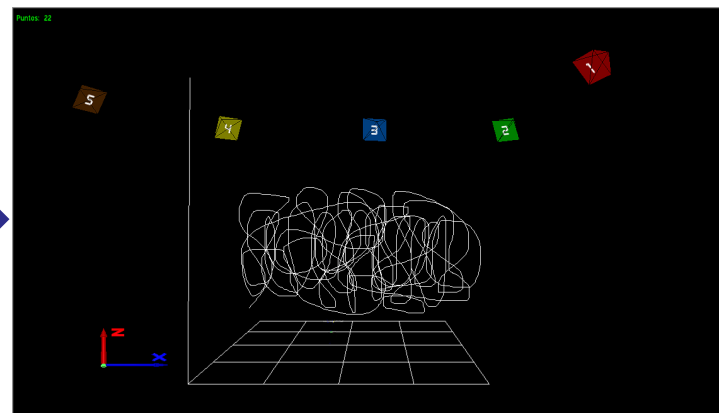
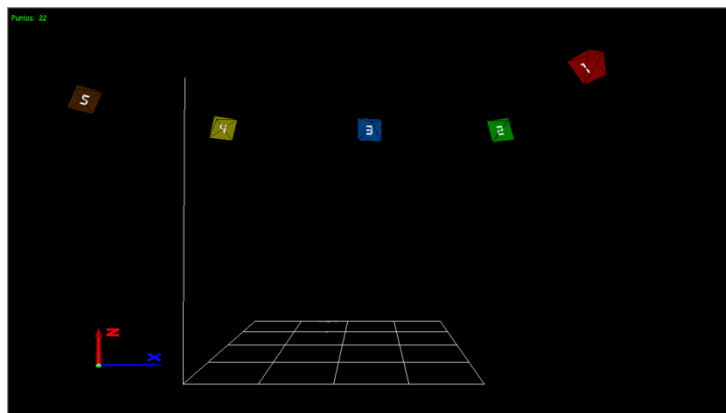
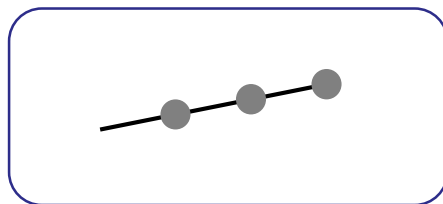


Abbildung 9. Dynamische Raumkalibrierung mit einer Tastnadel und Tracking-Wolke



## 2.4. SYSTEMELEMENTE: MARKER UND ZUBEHÖR

### Markierungen

#### ➤ Passive Marker

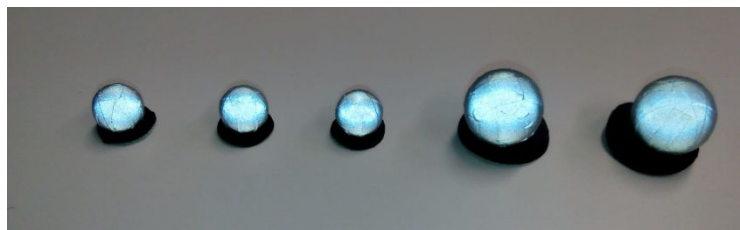


Abbildung 10. Passive Einzelmarker

### Scotchlite reflektierendes Material



Abbildung 11. Passive Clustermarken

## 2.4. SYSTEMELEMENTE: MARKER UND ZUBEHÖR

### *Marker und andere Materialien*

➤ Aktive Marker



Abbildung 12: Aktive Marker  
(Bild aus J. Richards et al. 2018)

➤ Andere Materialien

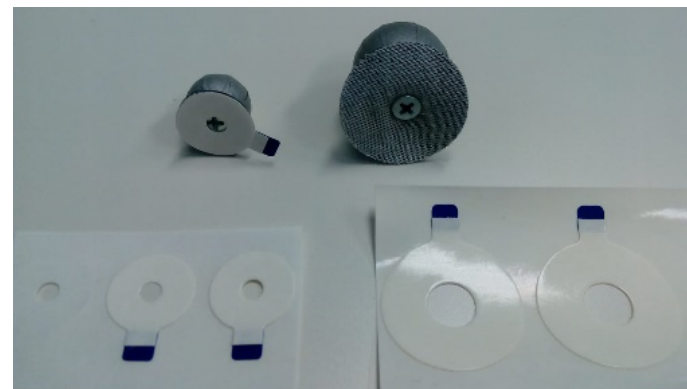


Abbildung 13: Doppelkontakt-Klebstoff

## 3.1. BEWEGUNGSDEFINITION UND BIOMECHANISCHES MODELL

*Was wollen wir messen?*



Abbildung 14. Konfiguration für die Analyse der Knöchelbewegung. Aus A. Ali und T. Gevers. 2011

*versus*

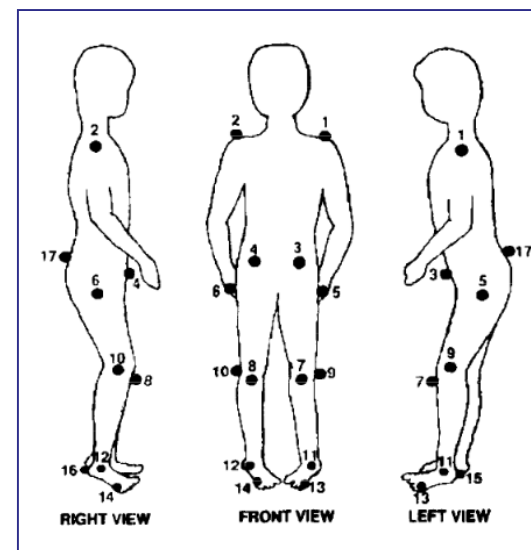


Abbildung 15. Konfiguration für die Ganganalyse der unteren Gliedmaßen. Aus Eng H. Lee et al. 1992

## 3.1. BEWEGUNGSDEFINITION UND BIOMECHANISCHES MODELL

### *Konfigurationen des biomechanischen Modells für die Ganganalyse*

#### ➤ Einfacher Markierungssatz

- Kopf des fünften Mittelfußknochens
- Seitlicher Knöchelknochen
- Seitlicher Kondylus des Oberschenkels
- Trochanter major
- Vordere obere Darmbeinwirbelsäule
- Acromion-Verfahren
- Lateraler Kondylus des Humerus
- Processus Styloideus am Handgelenk

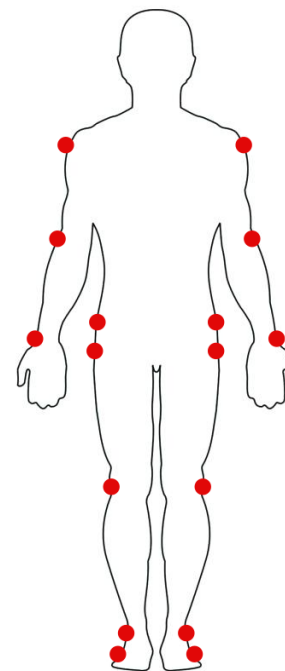


Abbildung 16. Einfache Marker-Set-Konfiguration

## 3.1. BEWEGUNGSDEFINITION UND BIOMECHANISCHES MODELL

### *Konfigurationen des biomechanischen Modells für die Ganganalyse*

#### ➤ Vaughan Markerset

- Kopf des fünften Mittelfußknochens  
Funktionsbezug des Fußes
- Seitliche Knöchel
- Ferse
- Tibia-Tuberositas  
Beckenkipfung
- Oberschenkel-Epikondylus
- Trochanter major
- Vordere obere Darmbeinwirbelsäule
- Kreuzbein

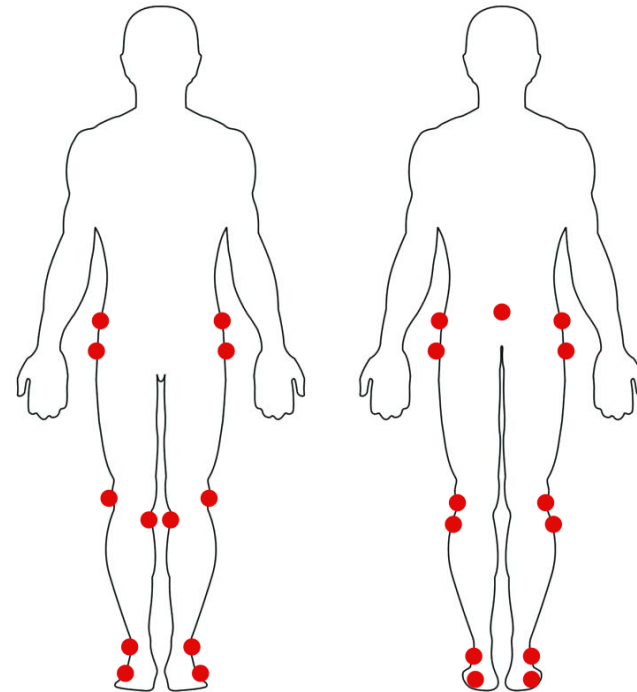


Abbildung 17. Konfiguration des Vaughan-Markierungssatzes

## 3.1. BEWEGUNGSDEFINITION UND BIOMECHANISCHES MODELL

### *Konfigurationen des biomechanischen Modells für die Ganganalyse*

#### ➤ Helen Hayes Markerset

- Kopf des zweiten Mittelfußknochen
- Seitliche Knöchel
- Ferse
- Tibia-Stab
- Oberschenkel-Epikondylus
- Femoralstab
- Trochanter major
- Vordere obere Darmbeinwirbelsäul
- Kreuzbein

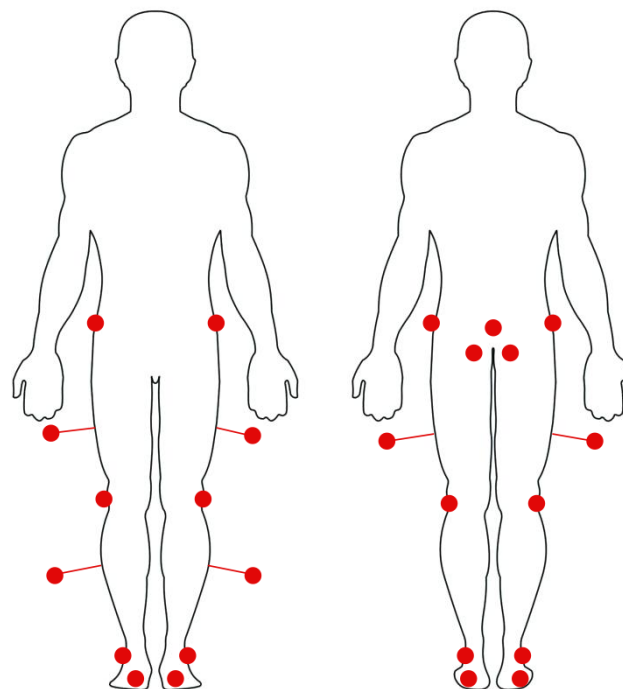


Abbildung 18. Konfiguration des Helen Hayes-Markierungssatzes

## 3.1. BEWEGUNGSDEFINITION UND BIOMECHANISCHES MODELL

### *Konfigurationen des biomechanischen Modells für die Ganganalyse*

- Das Calibrate Anatomical System Technique Marker-Set (CAST)
  - Standardisieren Sie die Beschreibung des Beckens und der unteren Gliedmaßen
  - Sechs Freiheitsgrade
    - Drei lineare oder translatorische Bewegungen
    - Drei Dreh- oder Winkelbewegungen
  - Zwei Arten von Markern: anatomische und Segment-Marker

## 3.1. BEWEGUNGSDEFINITION UND BIOMECHANISCHES MODELL

### *Das Calibrate Anatomical System Technique Marker-Set (CAST)*

#### ➤ Anatomische Markierungen

- Wird für die Kalibrierung des Modells verwendet
- Seitlich und medial zu den Gelenken gelegen
- Instrumentierte Gelenke: proximal und distal zum jeweiligen Segment
- Globales Koordinatensystem Lokales Koordinatensystem



## Lokales Koordinatensystem (LCS)



## Globales Koordinatensystem (GCS)

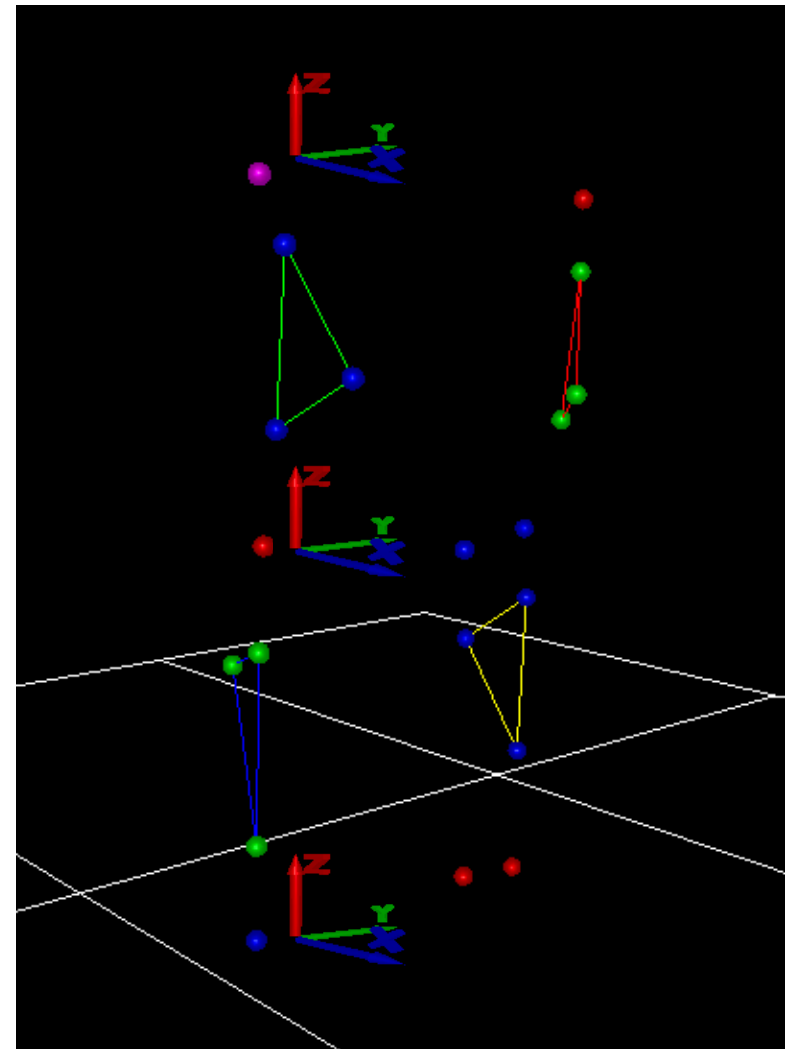
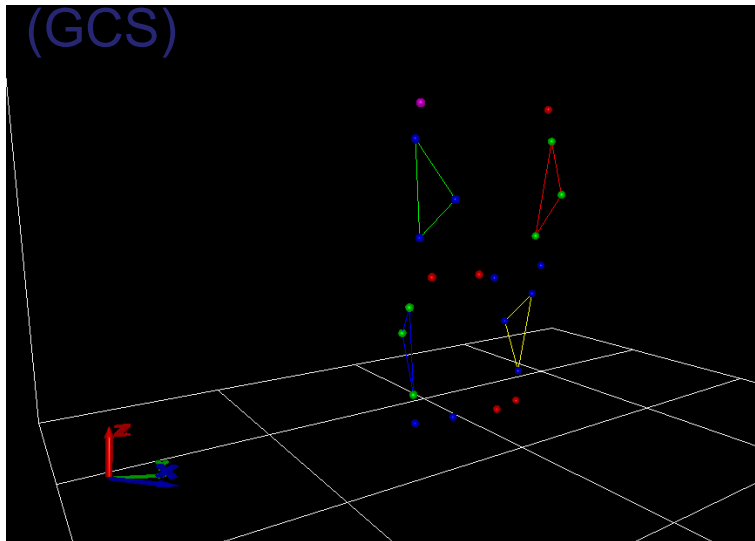


Abbildung 19. Globales Koordinatensystem versus Lokales Koordinatensystem

## 3.1. BEWEGUNGSDEFINITION UND BIOMECHANISCHES MODELL

### *Das Calibrate Anatomical System Technique Marker-Set (CAST)*

#### ➤ Anatomische Markierungen

**Fußsegment**

↳ Metatarsalkopf  
Knöchel Malleoli

**Tibia-Segment**

↳ Knöchel Malleoli  
Femurkondylen

**Oberschenkelseg**

↳ Femurkondylen  
Trochanter major

**Segment des**

↳ Hinteres oberes Darmbein  
Vorderes oberes Darmbein

## 3.1. BEWEGUNGSDEFINITION UND BIOMECHANISCHES MODELL

### *Das Calibrate Anatomical System Technique Marker-Set (CAST)*

#### ➤ Segment-Marker

- Sie können beliebig im Segment platziert werden
- Leicht nachverfolgbar
- Nicht kollinear
- Mindestens drei Marker in jedem Segment

## 3.2. DATENERFASSUNG

1°

Statische  
Kalibrierungsszene

2°

Gehversuch  
Szene

## 3.2. DATENERFASSUNG

*Was ist bei der Aufnahme des Ganges wichtig?*

- Genügend Platz, um mehrere Schritte zu machen
- Gangverhalten ohne Beeinträchtigung durch Modellinstrumentierung
- Der Hersteller muss während des gesamten Messprotokolls sichtbar sein
- Standardisierter Unterricht

## 3.3. DIGITALISIEREN DER MASSNAHMEN

*Unter Digitalisieren oder Tracking versteht man das Identifizieren von Punkten am Körper mit Hilfe von Markern oder einem visuellen Abdruck der Gelenkzentren. Es gibt zwei Methoden des Digitalisierens: manuell und automatisch.*

Handbuch  
Digitalisieren

Automatisch  
Digitalisieren

## 3.4. ERZIELEN DER ERGEBNISSE

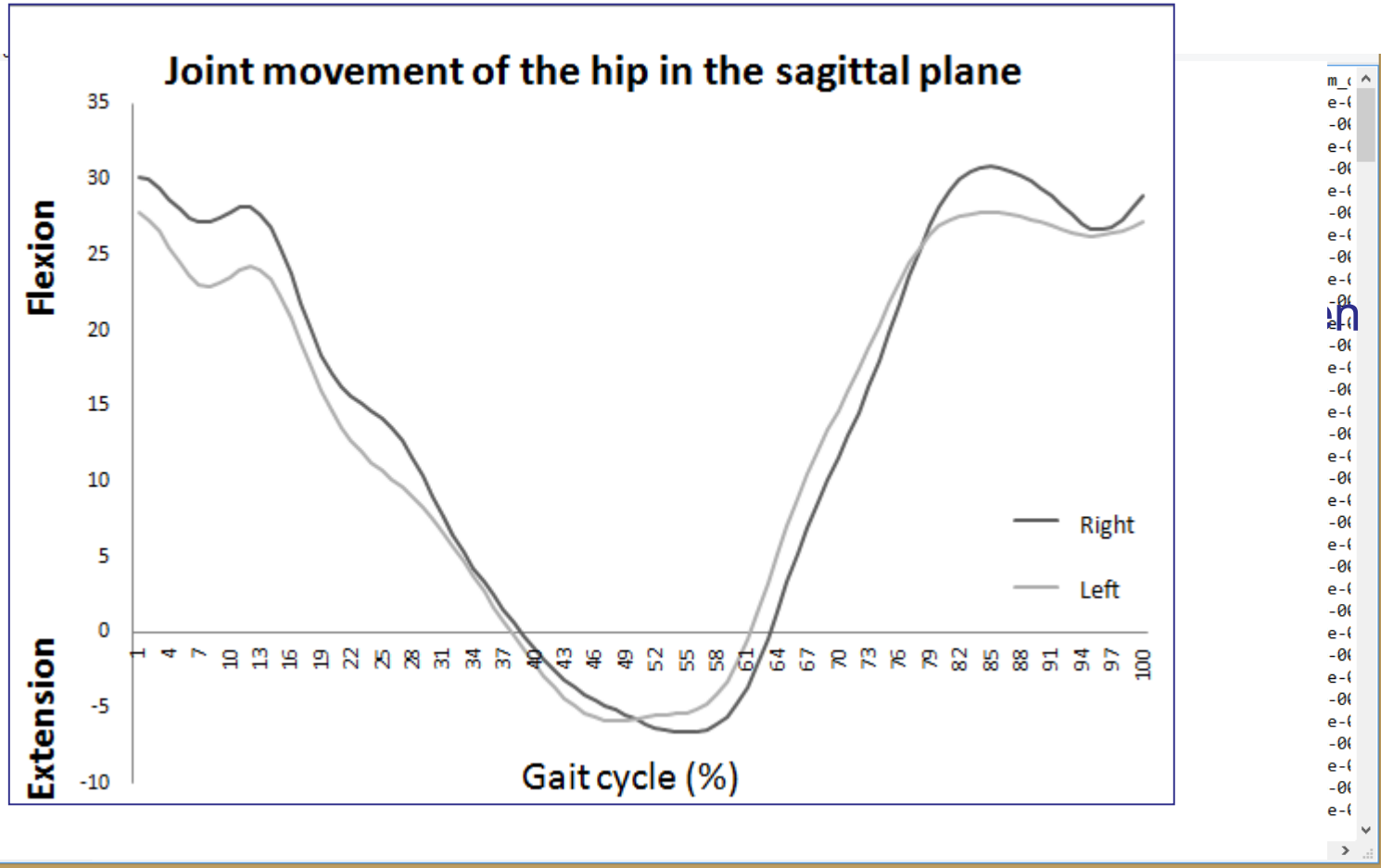


Abbildung 20. Analyse der Hüftbewegung bezogen auf den Gangzyklus

## 3.4. ERZIELEN DER ERGEBNISSE

Ergebnisse des Photogrammetriesystems	
Kinematik	Räumlich-zeitliche
<b>Bereich der Bewegung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexo-Dehnung</li> <li>• Innen-Außen-Rotation</li> <li>• Abduktion-Adduktion</li> </ul>	Gehgeschwindigkeit (m/s)
	Schrittlänge (m)
	Schrittzeit (s)
	Schrittlänge (m)
<b>Scheitelwinkel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximale Plantiflexion und Dorsalflexion des Knöchels</li> <li>• Maximale Beugung und Streckung des Knie</li> <li>• Maximale Streckung und Beugung des hip</li> </ul>	Schrittweite (m)
	Trittfrequenz (Schritte / min)
	Fußwinkel in der Stand-/Schwungphase
	Dauer der Standphase (s) oder (%)
	Dauer der Schwungphase (s) oder (%)
	Doppelte Unterstützungszeit (%)

Tabelle 2. Hauptergebnisse der kinematischen Analyse



## 3.4. ERZIELEN DER ERGEBNISSE

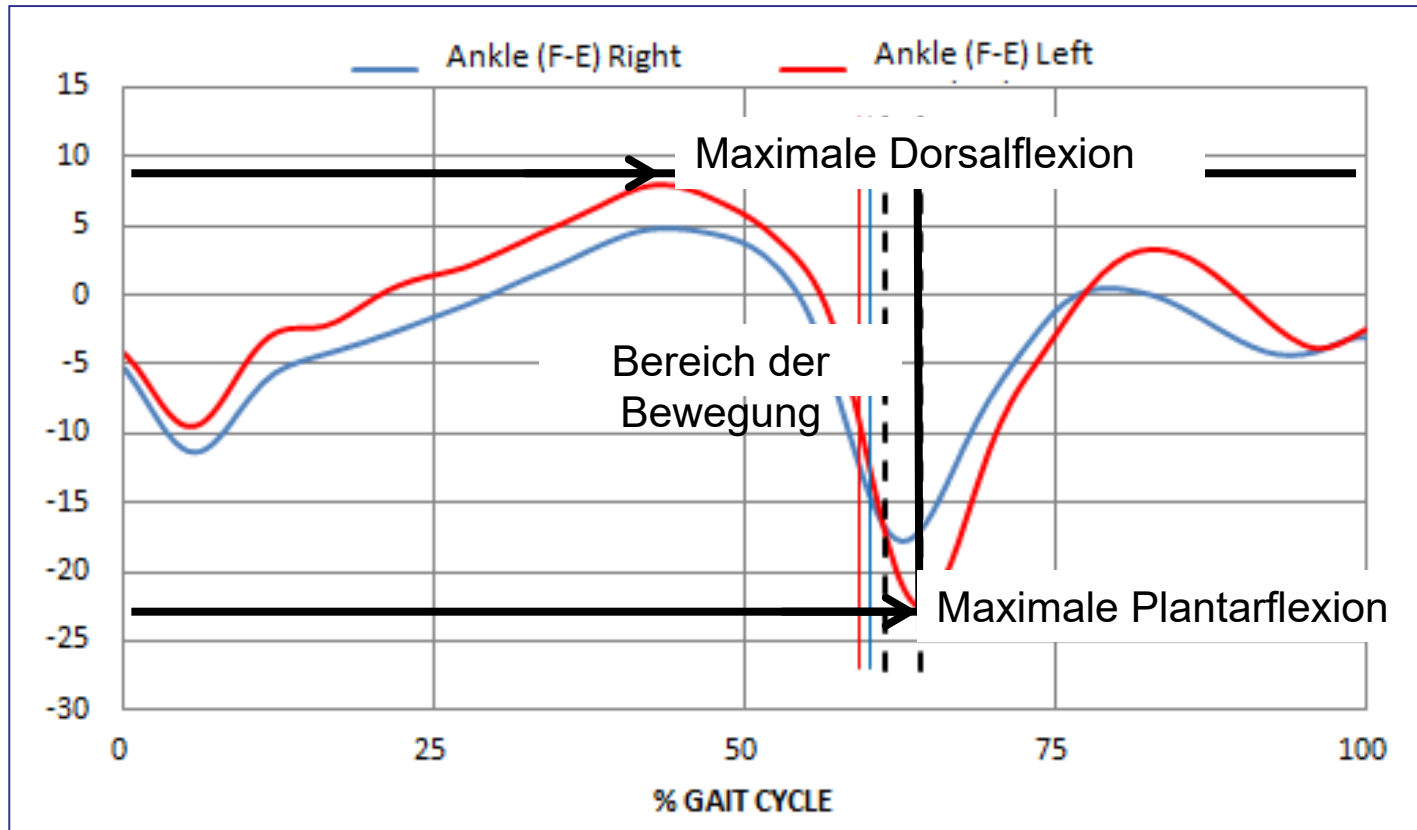


Abbildung 21. Knöchelbewegungskurve im Gangzyklus. Analyse des Bewegungsumfangs versus Spitzenwinkel

## 4. VOR- UND NACHTEILE

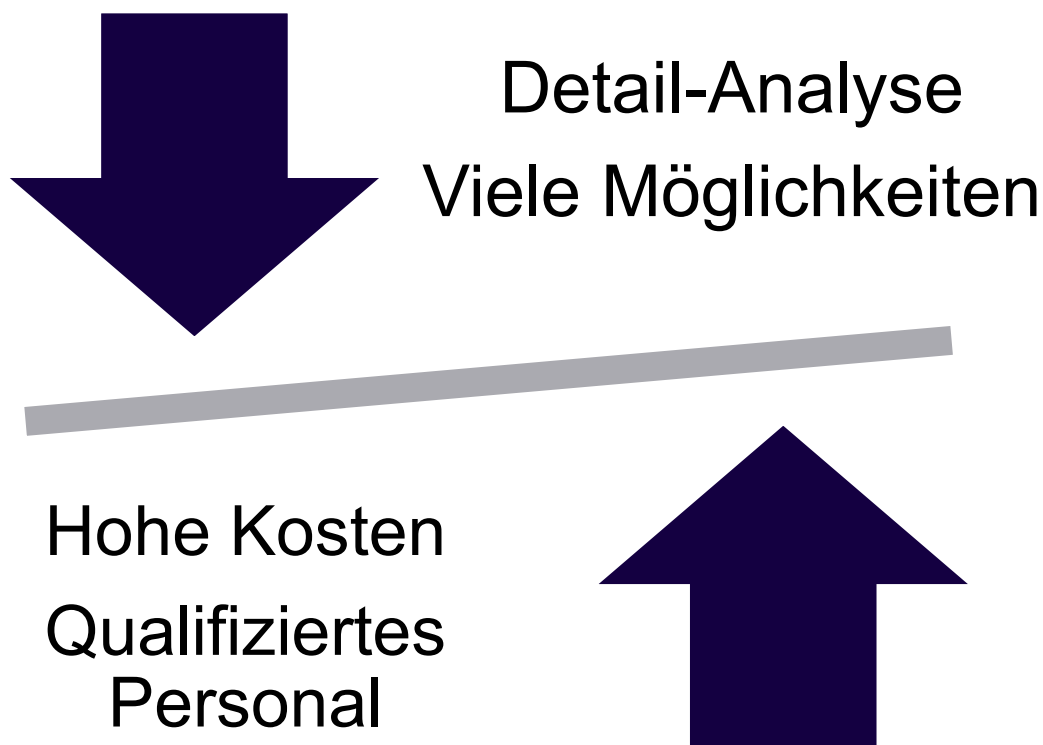


Abbildung 22. Diagramm mit den Eigenschaften des Photogrammetriesystems

## 4. VOR- UND NACHTEILE

### *Mit der Messtechnik verbundene Fehler*

- Fehler bei der Markerplatzierung: Weichteilartefakte
  - Relative Fehler: Bewegung zwischen zwei oder mehr Markern
  - Absolute Fehler: Bewegung einer Markierung in Bezug auf die knöchernerne Landmarke, die sie darstellt

## 4. VOR- UND NACHTEILE

### *Mit der Messtechnik verbundene Fehler*

#### ➤ Fehler bei der Bildverzerrung

- Üblich mit Standard-Videokameras in der zweidimensionalen Analyse
- Marker-Verzerrung durch Bewegung des distalen Segments mit höherer Geschwindigkeit

## 4. VOR- UND NACHTEILE

*Mit der Messtechnik verbundene Fehler*

- Fehler bei der Schätzung des Mittelpunkts eines Makers



Abbildung 23. Darstellung der Schwerpunktmarkierung in Abhängigkeit von ihrer Größe

## 4. VOR- UND NACHTEILE

### *Mit der Messtechnik verbundene Fehler*

#### ➤ Andere Arten von Fehlern

- Bezogen auf die Gangwiederholungen Standardisierung des Verfahrens
- Geringe externe Validität nicht repräsentativ

## **D.1 Welche Auswertungsprotokolle für biomechanische Ganginstrumente gibt es?**

**Teil 2. Beschleunigungssensoren  
und Gangbeurteilung.  
Klinischer Ansatz**

# 1. DEFINITION

## *Beschleunigungssensoren*

- Beschleunigungssensoren sind Geräte, die die aufgebrachte Beschleunigung entlang einer Achse messen.
- Sie sind eine Basistechnologie, die mechanische Bewegung in ein elektrisches Signal umwandelt.
- Ihre interne Funktion basiert auf der Trägheit einer Masse, die sich auf einem Kraftsensor befindet, und folgt dem zweiten Gesetz von Newton, um die Beschleunigung zu erhalten.

$$F = m * a$$

Abbildung 1. Zweites Gesetz von Newton.



## 1. DEFINITION

### *Beschleunigungssensoren in der Gangart*

- Beschleunigung, die von den Segmenten der unteren Gliedmaßen erfahren wird.

### Lineare Beschleunigung

m/s<sup>2</sup> g (Schwerkraftverhältnis)

*Änderung der linearen Geschwindigkeit über aufeinanderfolgende Zeitintervalle*

Beschleunigung (+)

Verzögerung (-)



Abbildung 2. Beschleunigungsdarstellung des Tibiassegments beim Gehen.

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### SENSOR

- Gerät, das die Beschleunigungswerte aus der Vibration des Körpers misst, an dem es befestigt ist.

Uniaxial

Triaxial

### VERSTÄRKER

- Gerät, das das vom Beschleunigungsmesser empfangene Signal verstärkt und an einen Computer sendet.

### ANALYZER

- Es handelt sich um einen Computer mit der Software, die die Beschleunigungsdaten empfängt und deren anschließende Analyse ermöglicht.

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

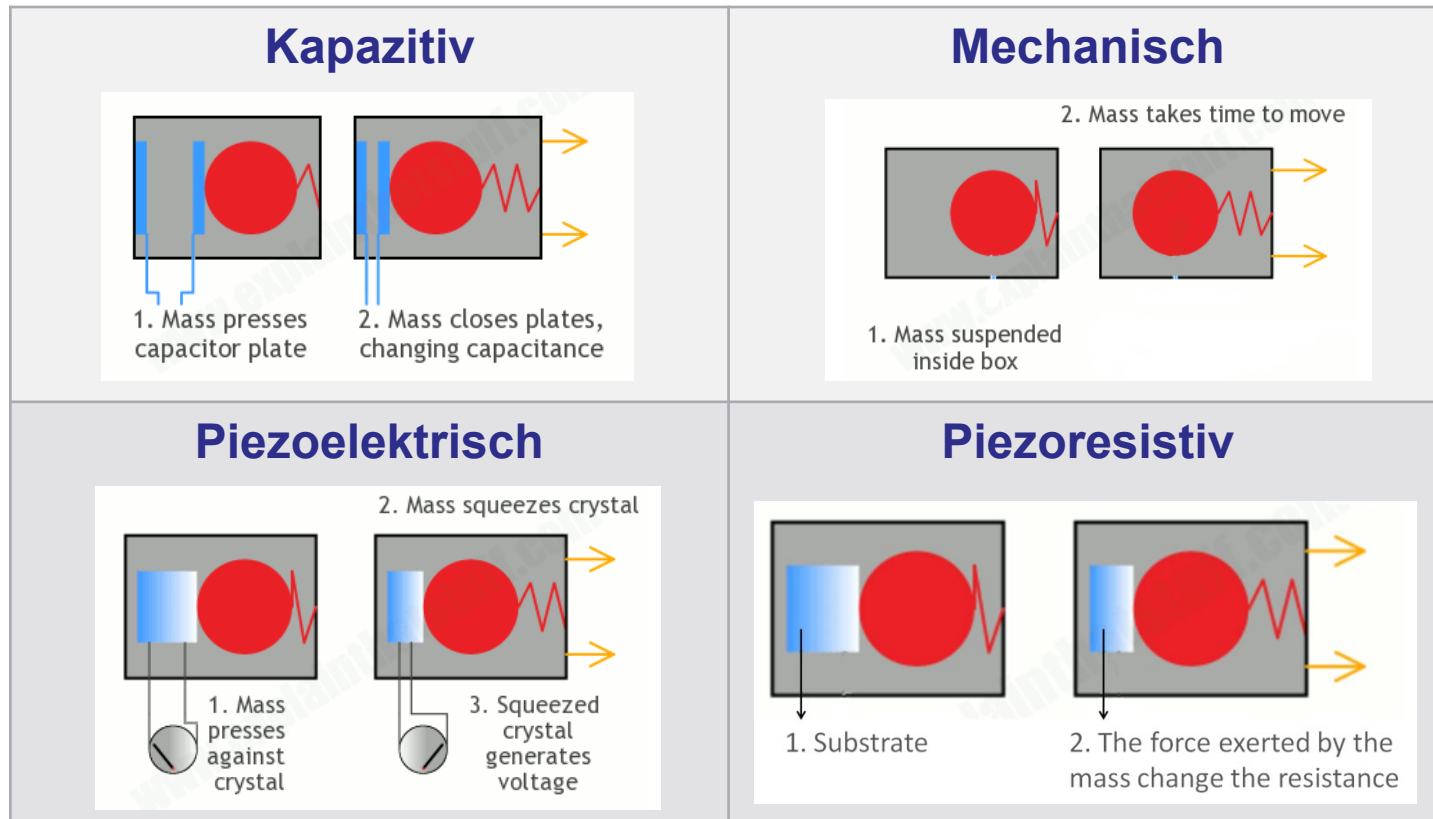


Abbildung 3: Die Bilder zeigen die Funktionsweise der verschiedenen Sensortypen, die in einem Beschleunigungsmessgerät verwendet werden. Bilder aus Woodford, Chris. (2009/2014) Accelerometers.

## 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

### *Vorherige Betrachtung*

- Zur Messung von Körperteilen werden Beschleunigungsaufnehmer an dem Körperteil angebracht, dessen Bewegung untersucht werden soll.
- Um Ganzkörperbewegungen zu messen, werden mehrere Instrumente verwendet.
- Bei der Ganganalyse zur Messung der Körpersegmentbewegung wird nur eine niedrigere Frequenz (60-100 Hz) und ein kleinerer Bereich (typischerweise 6-9 g) benötigt

### 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

#### *Platzierung der Geräte im Körper*

- **Bedeutung von fix**
  - Eine gute Fixierung ermöglicht, dass das Gerät die Beschleunigung des darunter liegenden Knochens darstellt
  - Um eine Relativbewegung des Sensors zu vermeiden
  - Um Weichgewebe zu vermeiden
- **Klebematerial**

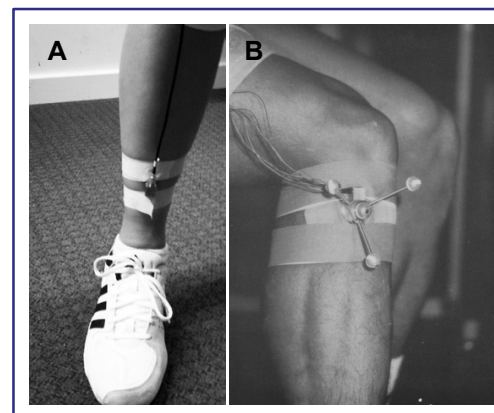


Abbildung 4. Elemente zur Befestigung des Beschleunigungsaufnehmers in der Tibia. (A) nicht-invasives System, (B) invasives System, Beschleunigungsaufnehmer mit Steinmann-Stiften unter der Haut. Bild aus Sinclair et al. (2013) und Lafortune M. et al. (1991)

### 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

#### ➤ Anatomische Platzierung

##### TRUNK

- L5-Wirbel
- Kreuzbein

##### KOPF

- Stirn
- Posteriorer Bereich

##### TIBIAL

- Stirn
- Posteriorer Bereich

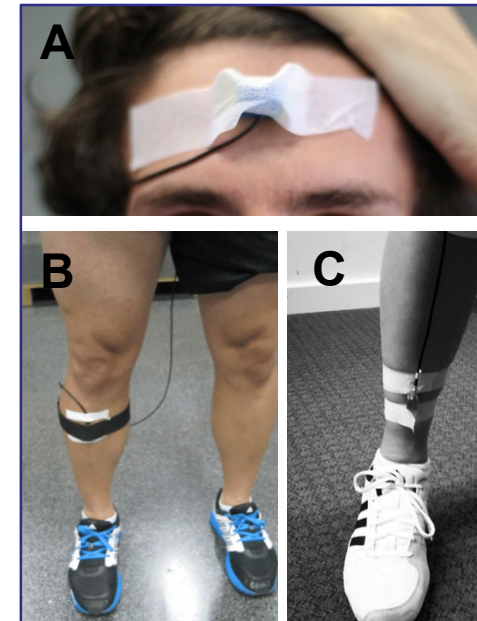


Abbildung 6. Übliche Platzierung des Beschleunigungssensors (A) Position an der Stirn. (B) Tibiaposition am proximalen Ende und im anteromedialen Bereich. (C) Tibiaposition am distalen Ende für die Bodenaufprallmessung.

### 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

#### *Erzielen von Ergebnissen*

- Peak
- Amplitude von Beschleunigung
  - Positive Spitze
  - Negative Spitze
  - Verschiedene Achsen
  - Zeit zwischen Spitzenwerten
  - Räumlich-zeitliche Parameter

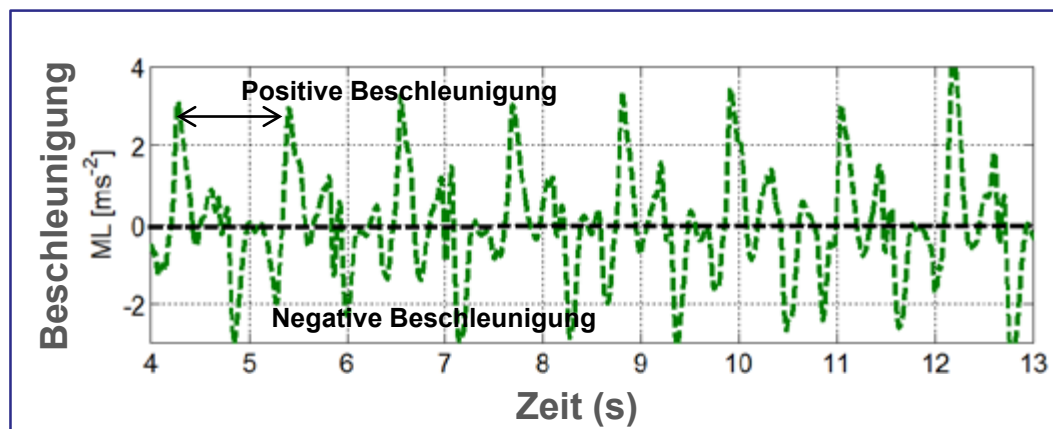


Abbildung 7. Kopfbeschleunigungen während des Gehens. Bild aus Brodie, Matthew A D. et al. (2015).

## 4. VOR- UND NACHTEILE

### Vorteile

Geringe Kosten

Transportabel

Informationen in Echtzeit

### Benachteiligungen

Empfindlich gegen Erschütterungen durch große Verzögerung

Präzisionsveränderungen durch Instabilität der Hautfixierung

verdrahtetes System begrenzt die Bewertung



## **D.1 Welche Auswertungsprotokolle für biomechanische Ganginstrumente gibt es?**

**Teil 3. Dynamometrische Plattformen  
und Bewertung des Gangs.  
Klinischer Ansatz**

# 1. DEFINITION

## *Dynamometrische Plattform*

- Ausrüstung zum Messen von Kräften
- Weit verbreitet in der Beurteilung des menschlichen Gangs und des Gleichgewichts, sowie bei verschiedenen menschlichen Aktivitäten
- Im Boden befestigt

**Bodenreaktionskräfte  
(GRF)**

**Druckmittelpunkt  
(COP)**

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### 2.1 Die Plattform

#### ➤ Typen von Sensoren



Abbildung 1. Bertec Kraftplattform von Dehnungsmessstreifen

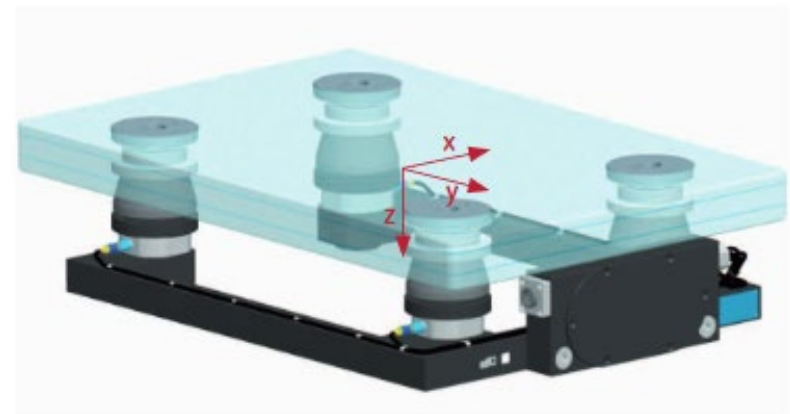


Abbildung 2. Kistler Kraftplattform der piezoelektrischen Sensoren

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### 2.1 Die Plattform

#### Hauptmerkmale der piezoelektrischen und Dehnungsmessstreifen-Plattform

Dehnungsmessstreifen	Piezoelektrisch
Verformtes Material erzeugt einen Widerstand (Dehnung)	Verformung des Kristalls, die einen elektrischen Strom erzeugt
Weniger empfindlich, geringerer Bereich der Kraftmessung	Empfindlicher, großer Bereich der Kraftmessung
Frequenz von 400-500 Hz	Höhere Frequenz, 1000 Hz in drei Richtungen
Ausreichend für den allgemeinen Gebrauch	Mehr empfehlen für Aktivitäten mit höherem Frequenzgehalt
Weniger teuer	Teurer

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### 2.1 Die Plattform

➤ Konfiguration am Boden

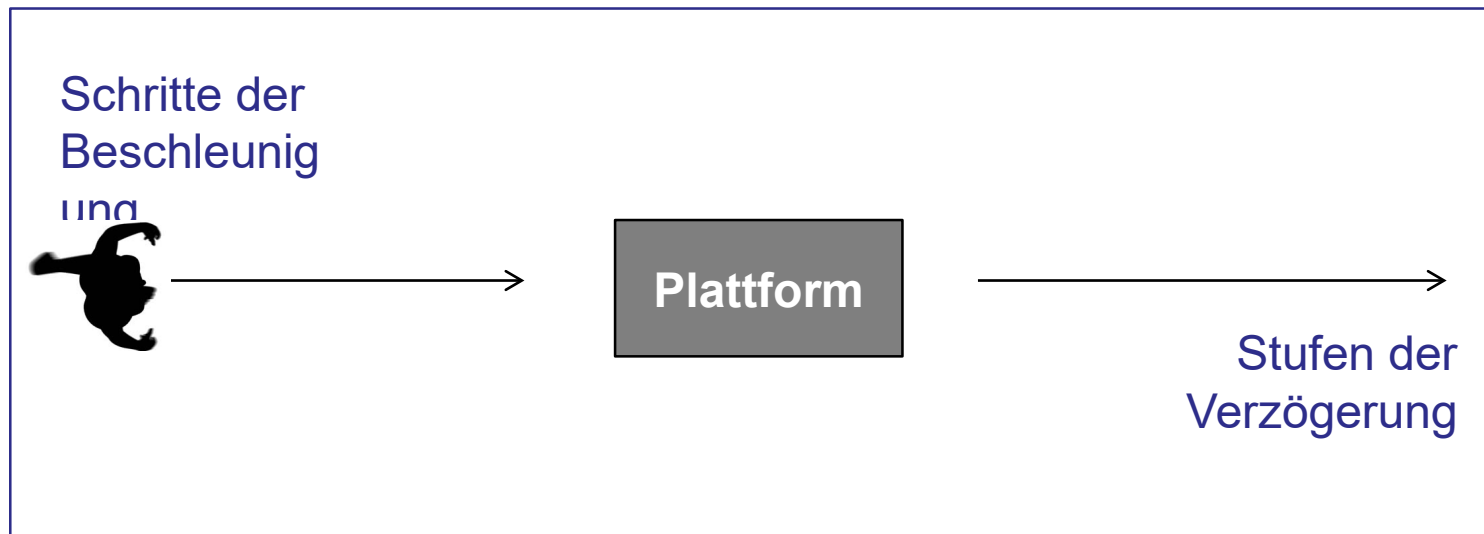


Abbildung 3. Positionierung der dynamometrischen Plattformen in der Mitte des Laufstegs.

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### 2.1 Die Plattform

#### ➤ Konfiguration am Boden

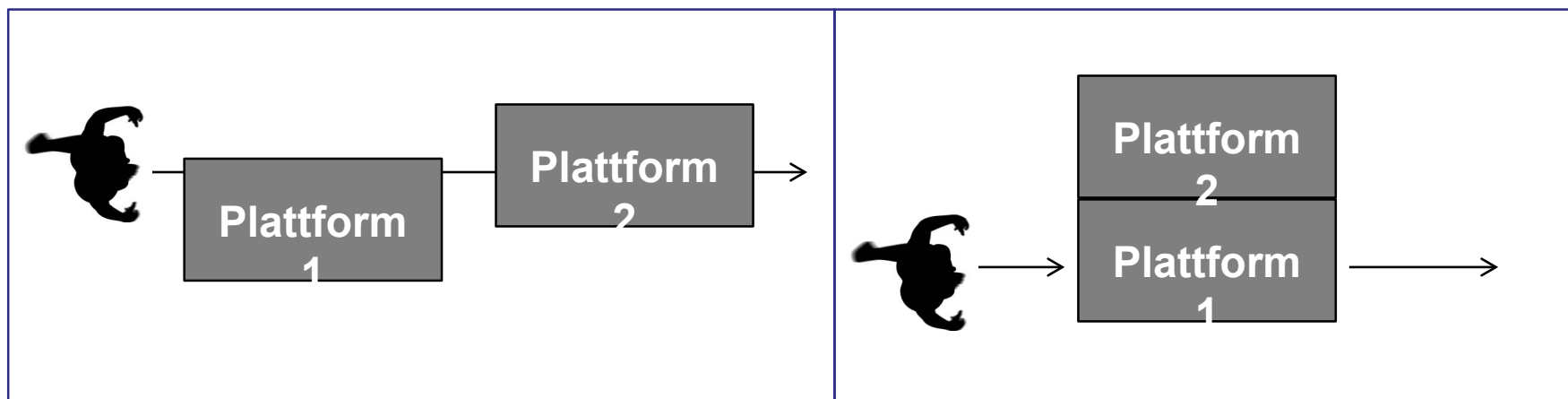


Abbildung 4. Konfiguration von zwei dynamometrischen Plattformen. (Links) Grundkonfiguration für die Ganganalyse. (Rechts) Grundkonfiguration für verschiedene Funktionen.

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### 2.1 Die Plattform

#### ➤ Konfiguration am Boden

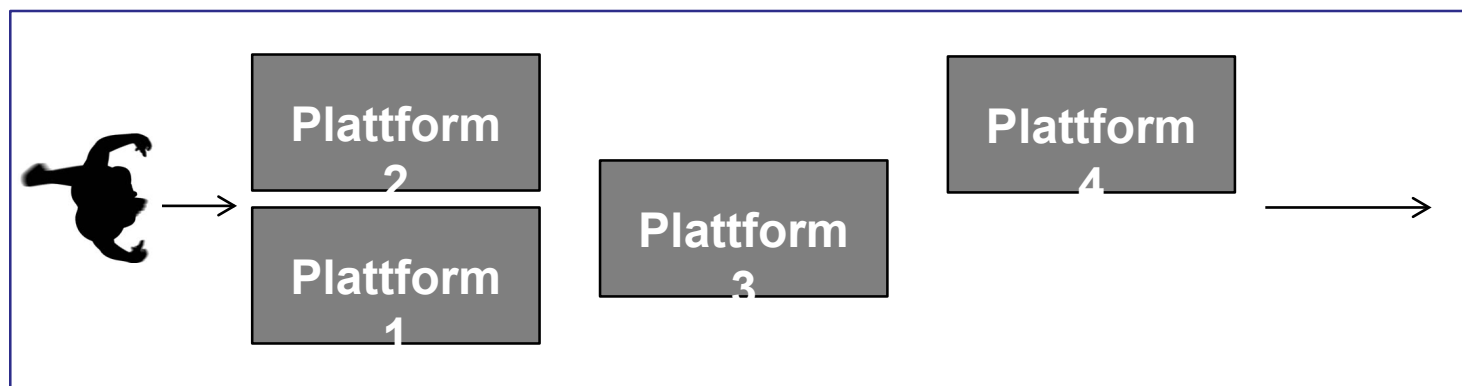


Abbildung 5. Optimale Konfiguration mit vier dynamometrischen Plattformen für die Ganganalyse und weitere Funktionen.

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### 2.1 Die Plattform

#### ➤ Konfiguration am Boden

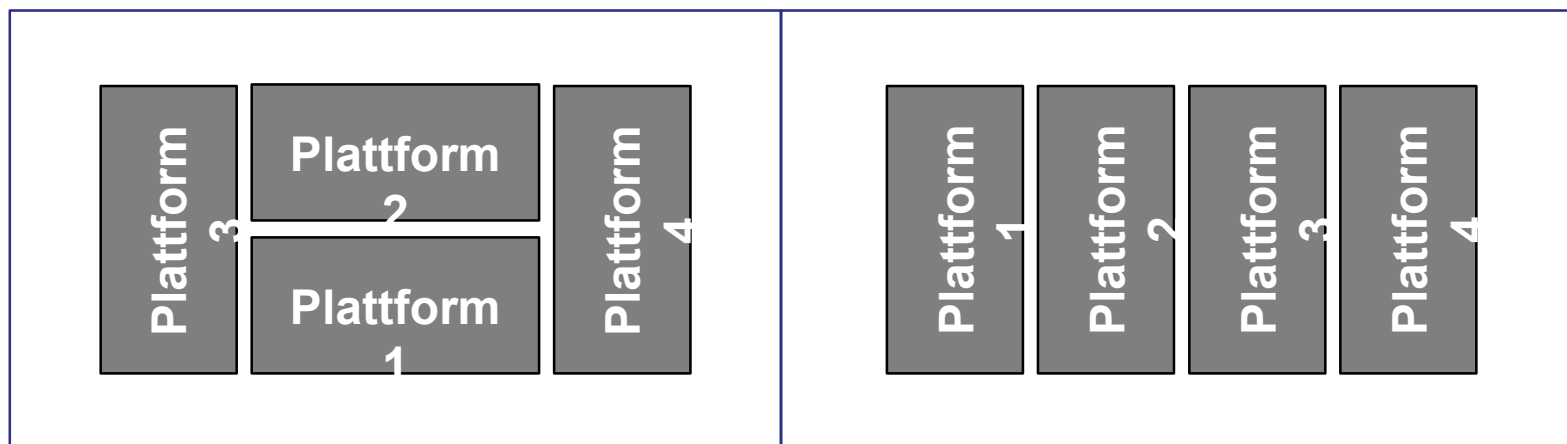


Abbildung 6. Konfiguration mit vier dynamometrischen Plattformen zur Ganganalyse bei Kindern mit neurologischen Störungen..



## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### 2.2 Die Software

Registrierung  
von  
Bodenreaktions-  
kräften und die  
anschließende  
Bearbeitung der  
Daten

Kontrolle der  
Ganggeschwin-  
digkeit

Verwaltung von  
mehr als einer  
Instrumenten-  
technik zur  
gleichen Zeit

## 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

**KALIBRIERUNG**

**ANTHROPOMETRISCHE  
DATEN**

**DATENERFASSUNG**

**ÜBERPRÜFUNG DER  
STUDIEN**

**ERZIELUNG VON  
ERGEBNISSEN**

## 3.1. KALIBRIERUNG DES GERÄTS

- Verfahren, das das System anzeigt, wenn keine Last vorhanden ist. Signal auf Null.
- Reset-Verfahren
- Vermeiden Sie mögliche Signaldriften

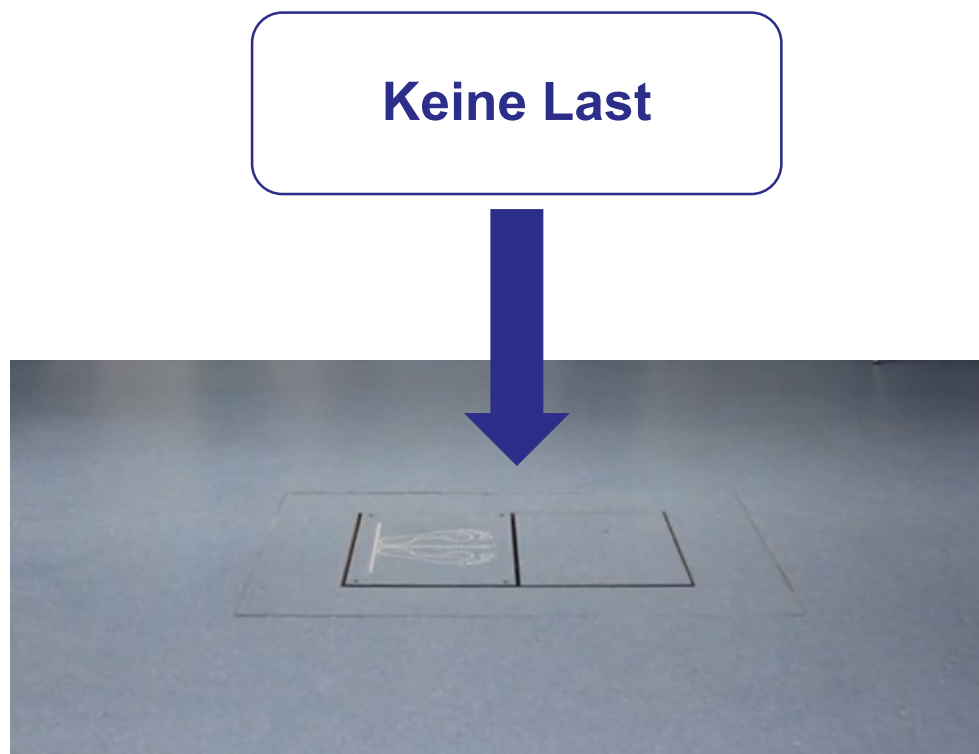


Abbildung 7. Kraftplattform ohne Last für Kalibrierverfahren.

## 3.2. ERFASSUNG DER ANTHROPOMETRISCHEN DATEN

- Anthropometrische Daten sind entscheidend, um die Teilnehmer einer Studie zu beschreiben oder Vergleiche zwischen Gruppen anzustellen.
- Das Gewicht der ausgewerteten Person ist wichtig, um die registrierten Bodenreaktionskräfte für die Analyse der posterioren Vergleiche zwischen den Gruppen zu verwenden.



*Normierung  
der Kräfte*

Abbildung 8.  
Gewichtsregistrierung  
auf einer  
dynamometrischen  
Plattform vor der  
Ganganalyse.

## 3.3. VERFAHREN ZUR DATENERFASSUNG

- 1 • Mit oder ohne Schuhe
- 2 • Abgegrenzter Gehweg
- 3 • Standardisierung der Anweisung
- 4 • Gültige Registrierung
- 5 • Anzahl der Wiederholungen
- 6 • Steuerung der Ganggeschwindigkeit

## 3.3. VERFAHREN ZUR DATENERFASSUNG

### ➤ Mit oder ohne Schuhe

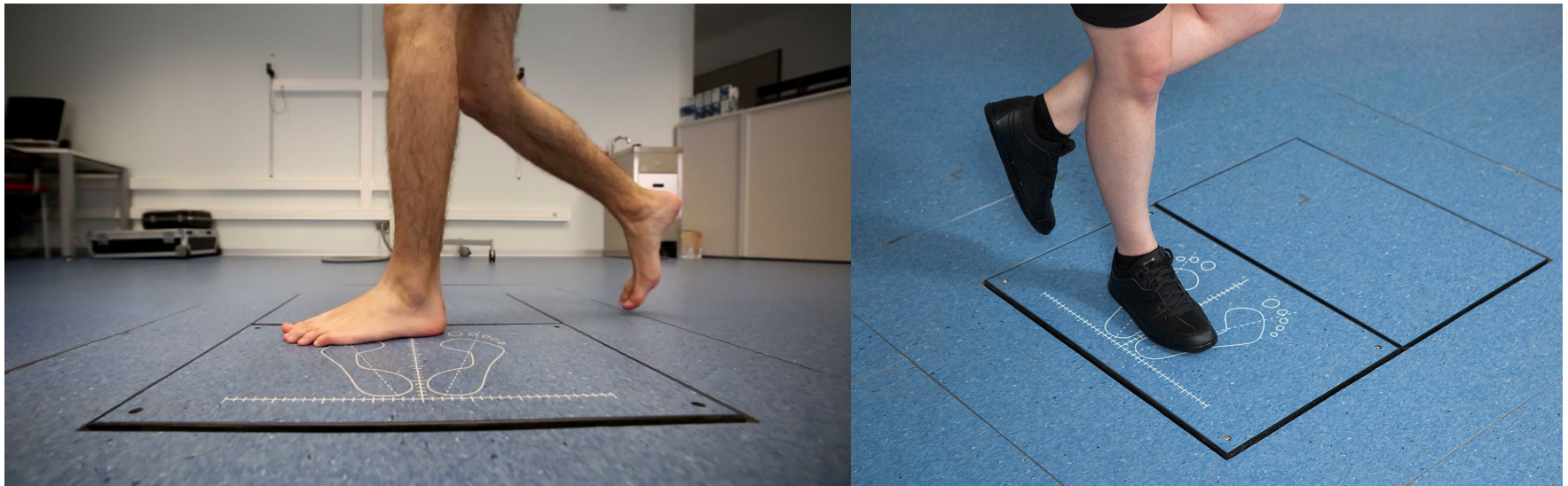


Abbildung 9. Modalitäten der Gangbeurteilung mit dynamometrischer Plattform.



### 3.3. VERFAHREN ZUR DATENERFASSUNG

#### ➤ Abgegrenzter Gehweg



Abbildung 10. Begrenzter Gehweg aus der Gangbeurteilung mit dynamometrischer Plattform. (Rechts) Raum, der die Beschleunigung vor dem Schritt innerhalb der Plattform ermöglicht. (Links) Raum für die Abbremsung nach dem Betreten der Plattform.

## 3.3. VERFAHREN ZUR DATENERFASSUNG

### ➤ Standardisierung der Anweisung

Gehen Sie in einer  
geraden Linie von einer  
Markierung zu einer  
anderen, wenn das  
Zeichen "Start" gegeben  
wird

Gehen mit Blick nach vorn

Gehen Sie mit einer  
angenehmen, üblichen  
oder selbst gewählten  
Geschwindigkeit

Gehen Sie ohne jegliche  
Art von Stützen, um eine  
Übertragung der Kraft auf  
einen anderen Punkt zu  
vermeiden



## 3.3. VERFAHREN ZUR DATENERFASSUNG

### ➤ Gültige Registrierung



Abbildung 11. Beurteilung der Gangart mit dynamometrischer Plattform. (Links) Gültige Wiederholung. (Mitte) Ungültige Registrierung aufgrund der Störung durch den vorherigen Schritt. (Rechts) Ungültige Registrierung aufgrund der Störung des nächsten Schritts.

### 3.3. VERFAHREN ZUR DATENERFASSUNG

#### ➤ Anzahl der Wiederholungen

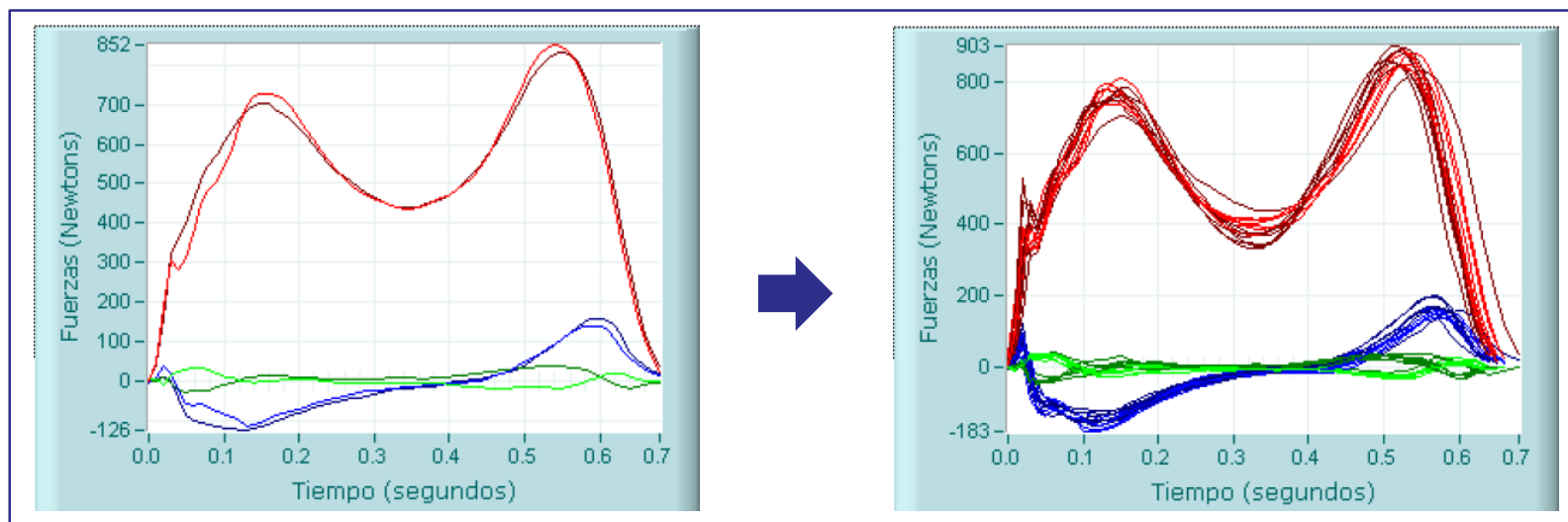


Abbildung 12. Kurven der Bodenreaktionskräfte. Rot: vertikale Kraft. Blau: anterior-posteriore Kraft. Grün: mediolaterale Kraft. (Links) Auswertung, die einen einzelnen Datensatz von Reaktionskräften für den rechten und linken Fuß enthält. (Rechts) Auswertung, die mehrere Datensätze für den rechten und linken Fuß enthält.

### 3.3. VERFAHREN ZUR DATENERFASSUNG

#### ➤ Steuerung der Ganggeschwindigkeit

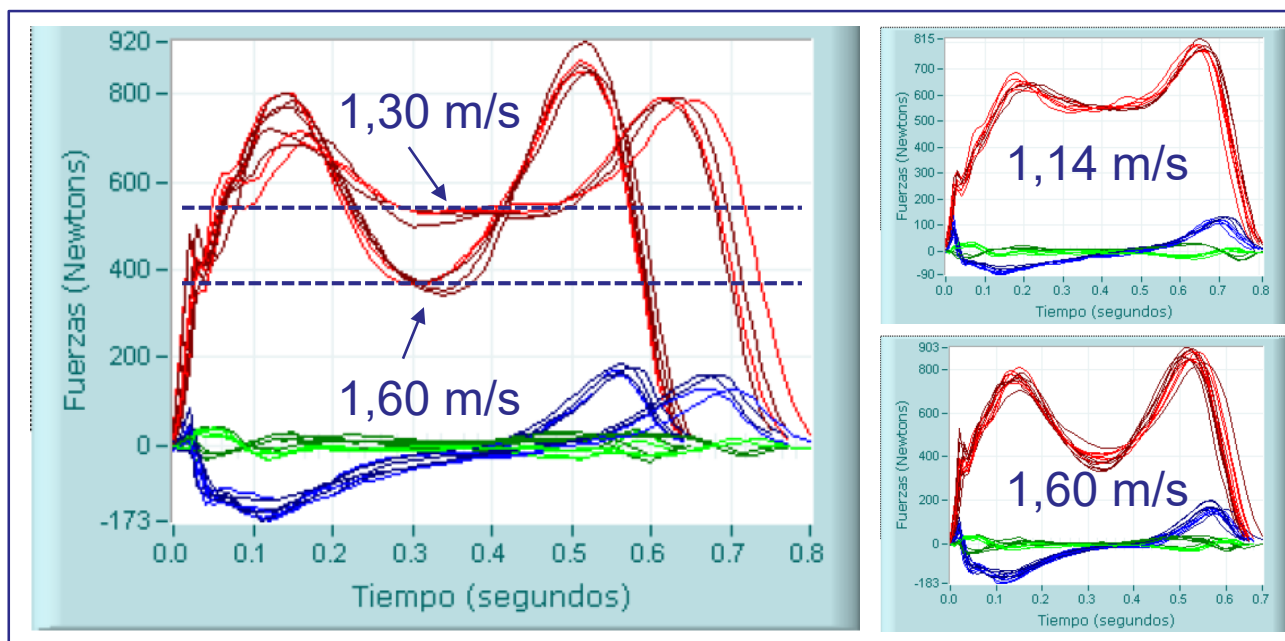
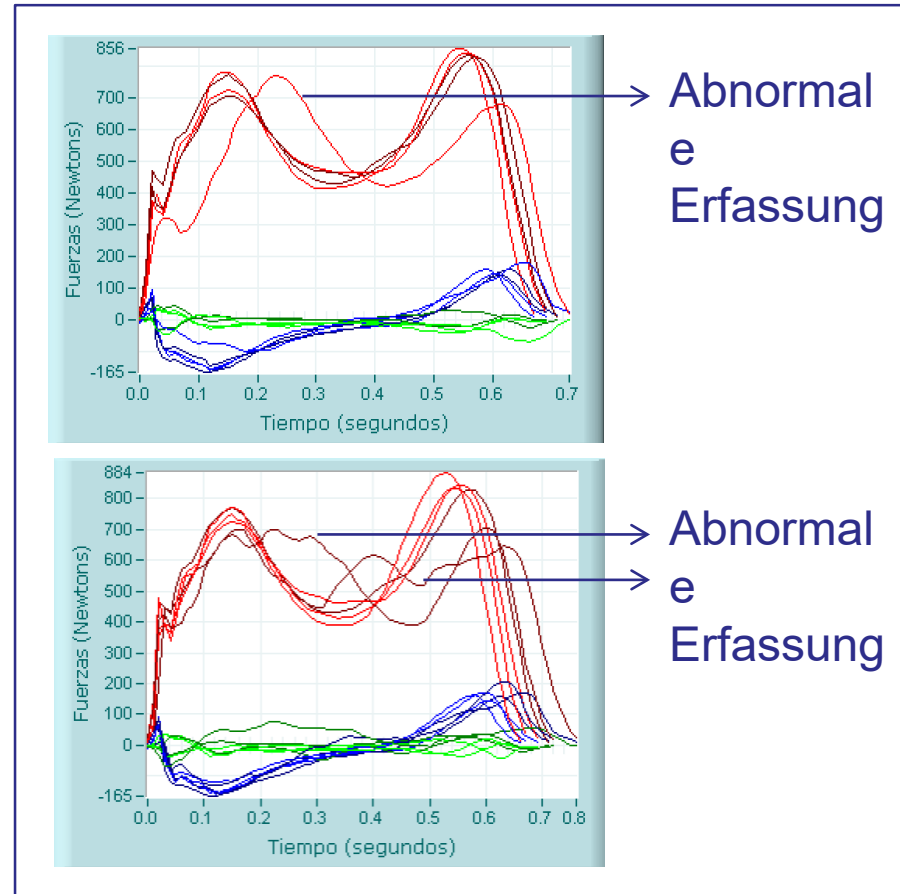


Abbildung 13. Kurven der Bodenreaktionskräfte bei verschiedenen Ganggeschwindigkeiten (m/s, Meter pro Sekunde). In jedem Diagramm ist die Größe der Kraft (N, Newton) auf der Y-Achse und die Zeit (s) auf der X-Achse dargestellt.

## 3.4. ÜBERPRÜFUNG DER GESAMMELTEN WIEDERHOLUNGEN

- Prüfen Sie die Geschwindigkeitsunterschiede der einzelnen Gangwiederholungen
- Entfernen Sie Kurven, deren Morphologie sich deutlich von den meisten aufgezeichneten Kurven unterscheidet

Abbildung 14. Beispiele für die Bewertung des Gangs mit dynamometrischen Plattformen. In beiden Diagrammen erleidet der Teilnehmer eine ungewollte Knöchelumkehr.



## 3.5. ABLESEN DER ERZIELTEN ERGEBNISSE

### Bodenreaktionskräfte (GRF)

- Kraft, die auf einen Körper einwirkt, wenn der Körper auf dem Boden aufliegt oder auf den Boden auftrifft, wie es bei der zweibeinigen Haltung und bei der Bewegung, wie dem menschlichen Gang, der Fall sein kann.

### Druckmittelpunkt (COP)

- Die Position der Vektoren der Bodenreaktionskräfte auf dem Boden wird als Druckmittelpunkt bezeichnet.
- Der COP bezieht sich auf den durchschnittlichen Druckpunkt unter dem Fuß oder den Füßen.

## 3.5. ABLESEN DER ERZIELTEN ERGEBNISSE

### Die Komponenten der Bodenreaktionskraft

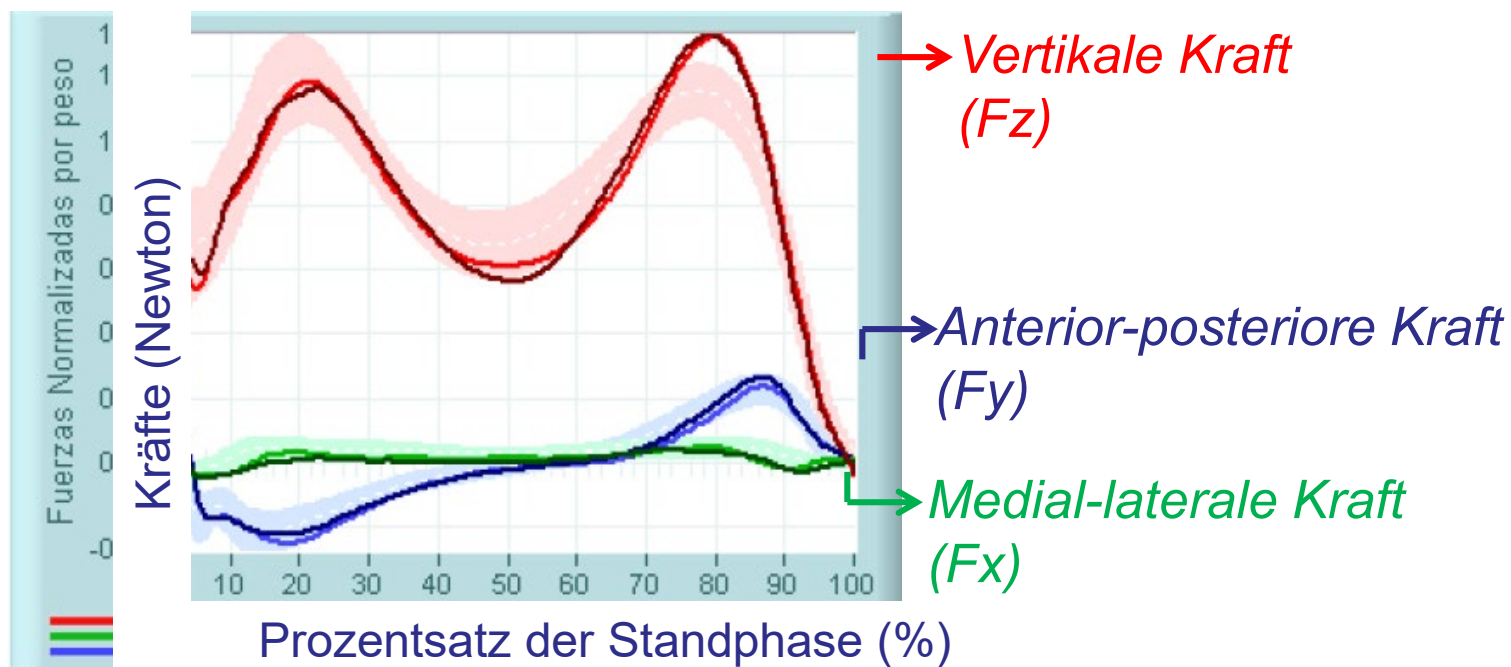
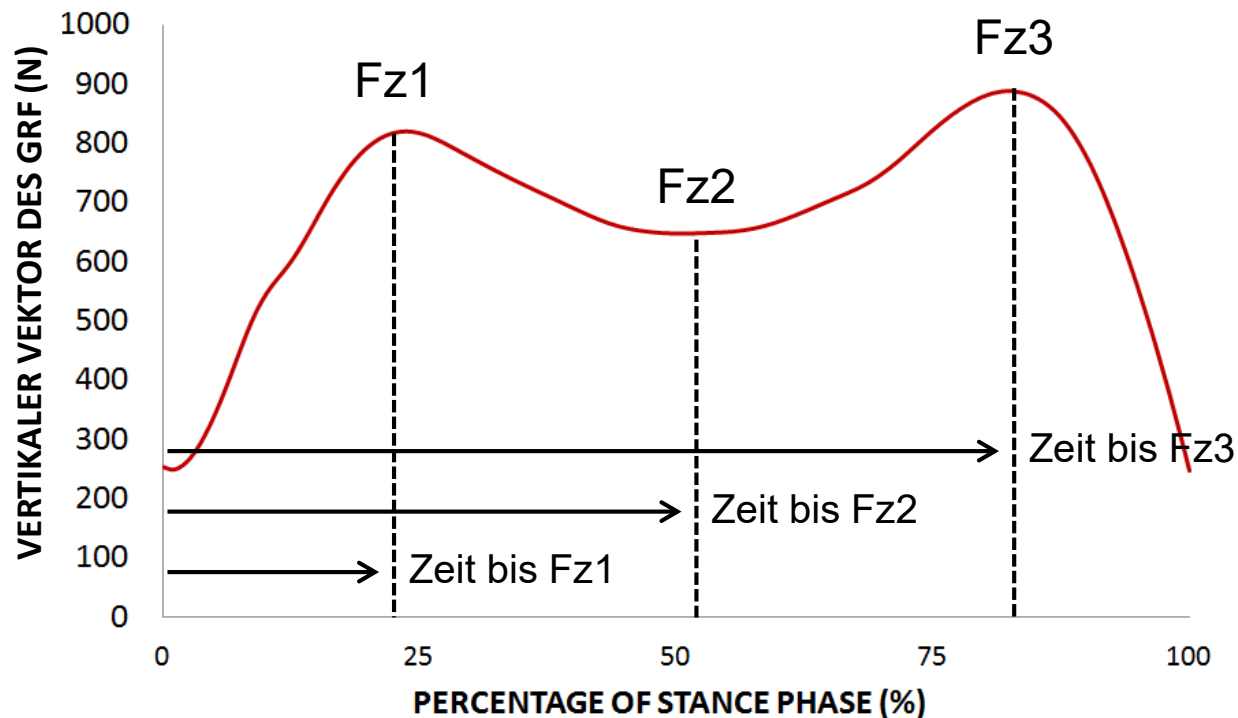


Abbildung 16. Bodenreaktionskraft und ihre drei Komponenten.

## 3.5. ABLESEN DER ERZIELTEN ERGEBNISSE

### *Die Bodenreaktionskraft: Vertikale Komponente*



**Fz 1:** Spitzenkraft bei maximaler Gewichtsübernahme

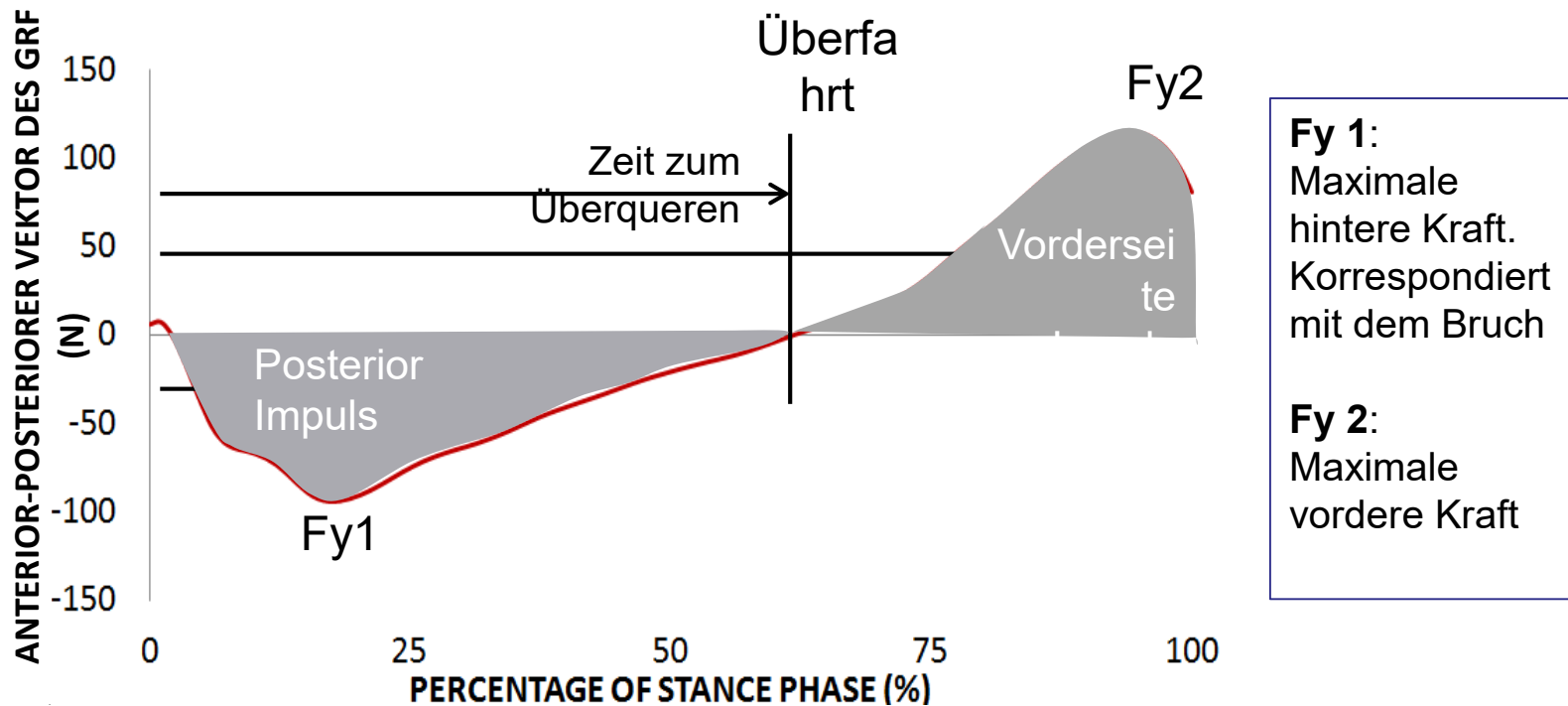
**Fz 2:** Spitze Kraft in der Mitte des Standes

**Fz 3:** Spitzenkraft im Abstoß



## 3.5. ABLESEN DER ERZIELTEN ERGEBNISSE

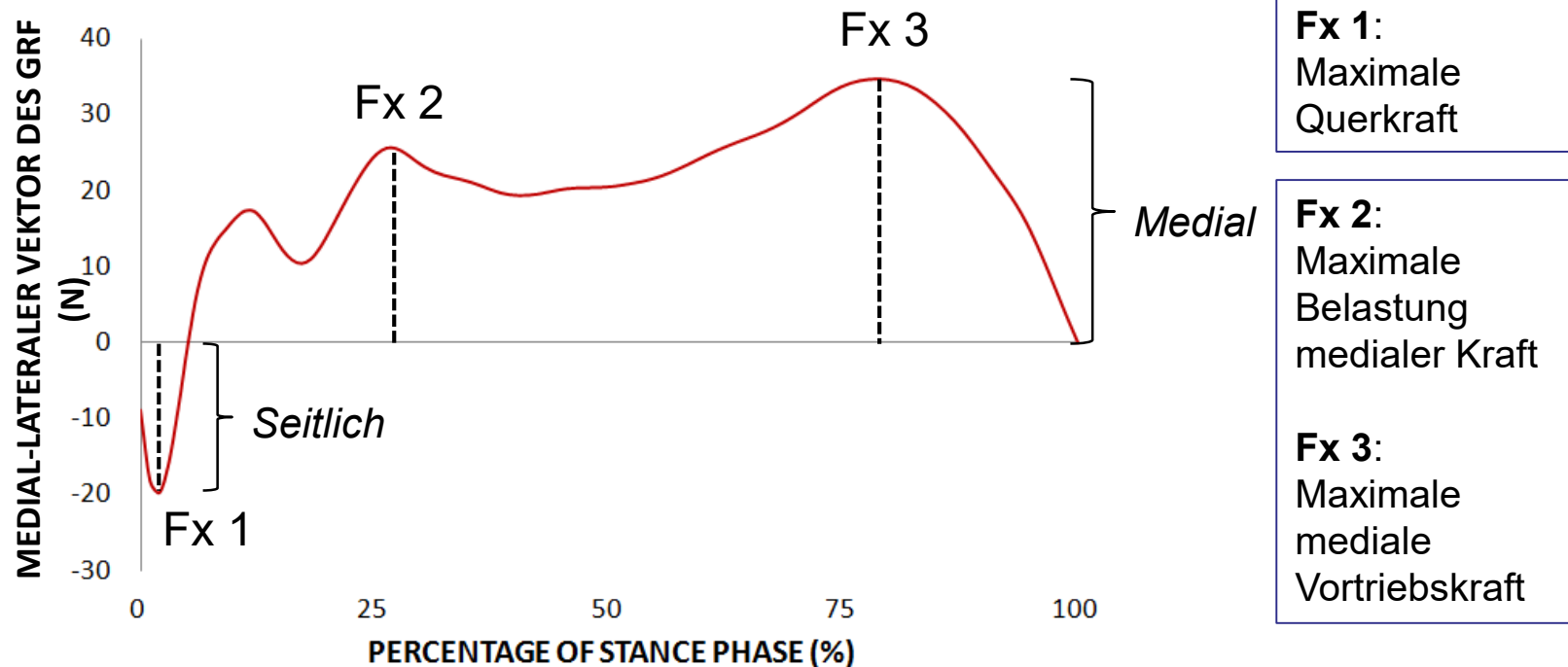
### *Die Bodenreaktionskraft: Anterior-posteriore Komponente*





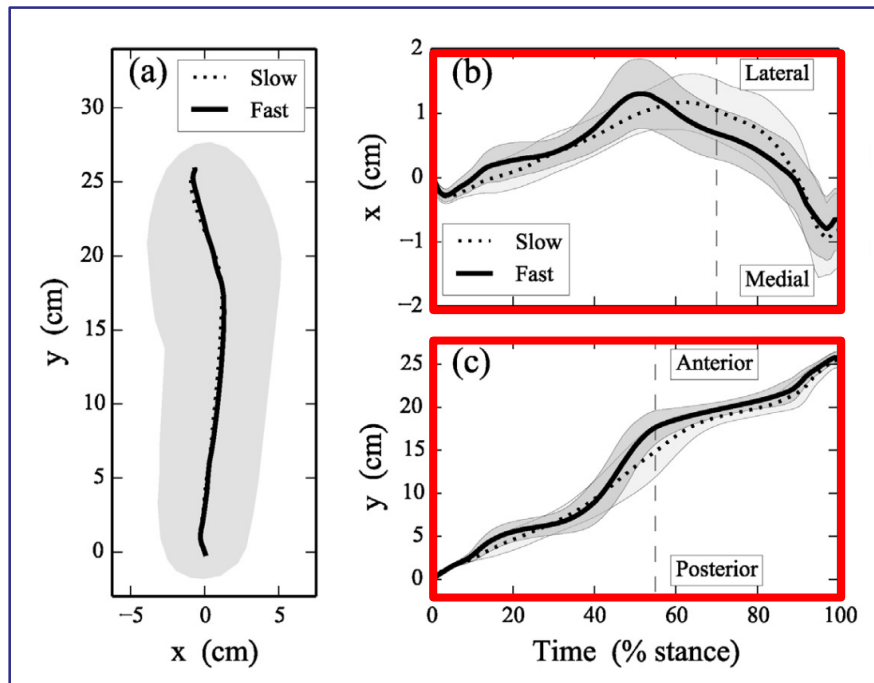
## 3.5. ABLESEN DER ERZIELTEN ERGEBNISSE

### Die Bodenreaktionskraft: Medial-laterale Komponente



## 3.5. ABLESEN DER ERZIELTEN ERGEBNISSE

### Das Druckzentrum (COP)



Medial-lateral gegen anterior-posterior

COP-Geschwindigkeit gegen Zeit (Standphase)

Abbildung 17. Bewegung des Druckzentrums während des Gehens bei langsamer (gestrichelte Linie) und schneller Geschwindigkeit (durchgezogene Linie). Aus Todd C. Pataky et al. 2014.

- (a) Trajektorie in der X- und Y-Achse
- (b) Medial-laterale Bewegung
- (c) Anterior-posteriore Bewegung

## 3.5. ABLESEN DER ERZIELTEN ERGEBNISSE

### *Pedotti-Diagramm*

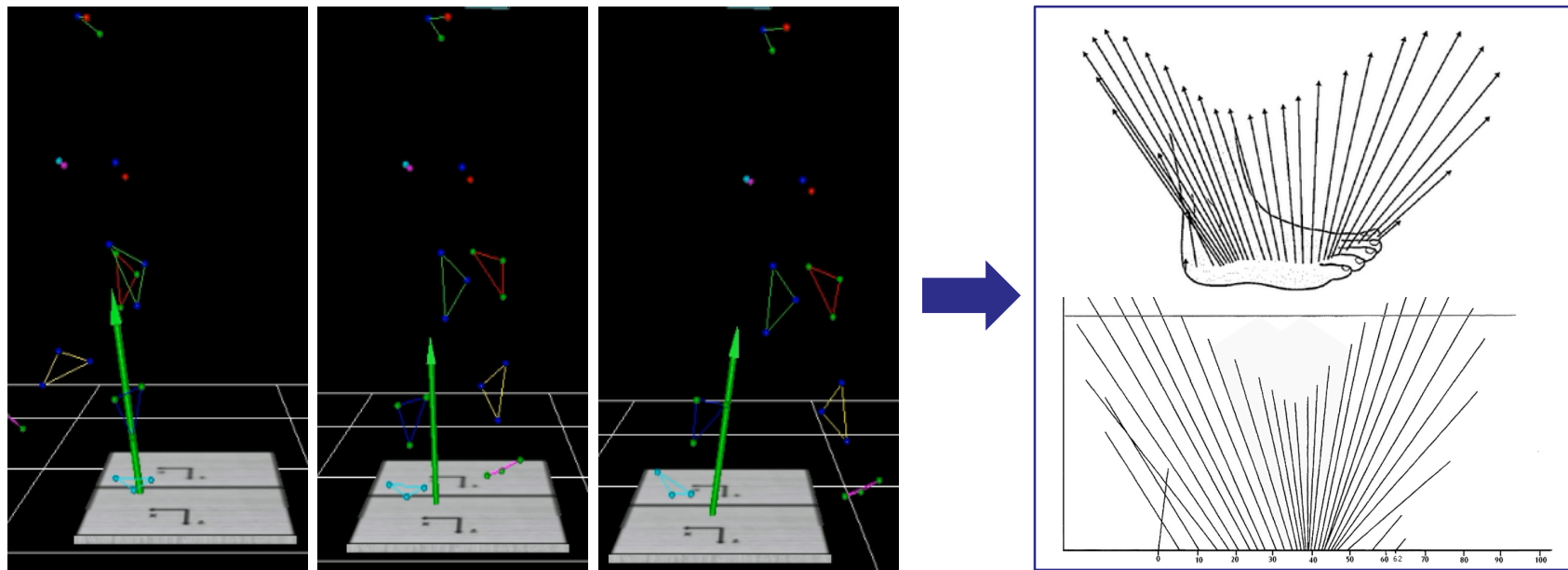


Abbildung 18. Pedotti-Diagramm. Jeder Pfeil stellt den Bodenreaktionsvektor an jedem Punkt der Standphase dar, die Basis jedes Vektors ist das Druckzentrum zu diesem Zeitpunkt. Bild aus Clinical Movement Analysis, Vrije Universiteit. Verfügbar: [www.studeersnel.nl](http://www.studeersnel.nl).

## 3.5. ABLESEN DER ERZIELTEN ERGEBNISSE

### *Der Impuls auf eine Kraftmessplatte*

- Nicht direkt messbar
- Kann mit der Lage der Mitte der Plattform in medial-lateraler und anterior-posteriorer Richtung berechnet werden

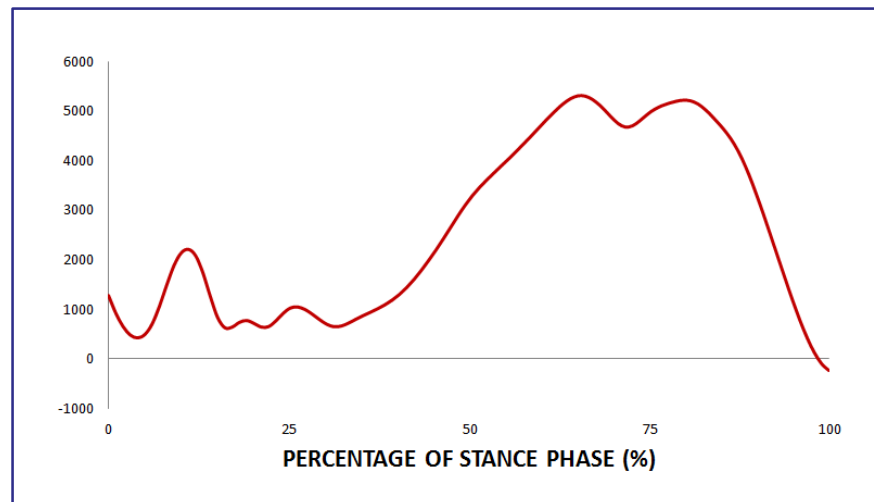


Abbildung 19. Momentum auf der Plattform während der Standphase eines gesunden Probanden bei der Gangbeurteilung.

## 4 VOR- UND NACHTEILE

### Vorteile

- Es ist keine Instrumentierung erforderlich
- Benutzerfreundlichkeit und Interpretation der Ergebnisse
- Präzise Messgeräte
- Entwicklung von tragbaren Plattformen

### Benachteiligungen

- Es sollte auf dem Gehweg gebaut werden
- Die Anzahl der verschiedenen zu messenden Kontaktflächen ist begrenzt
- Bedarf an mehr als einer Plattform
- Hohe wirtschaftliche Kosten

## **D.1 Welche Auswertungsprotokolle für biomechanische Ganginstrumente gibt es?**

**Teil 4. Instrumentierte Druckeinlagen  
und Gangbeurteilung.  
Klinischer Ansatz**

## 1. DEFINITION

### Instrumentierte Einlagen für Plantardruck

- Kinetische Analysetechnik
- Einlegesohlen mit Drucksensoren
- In-Schuhe-Drucksystem
- Tragbare Geräte
- Gangbeurteilung bei funktionellen Bedingungen
- *Wichtigkeit der Druckmessung*

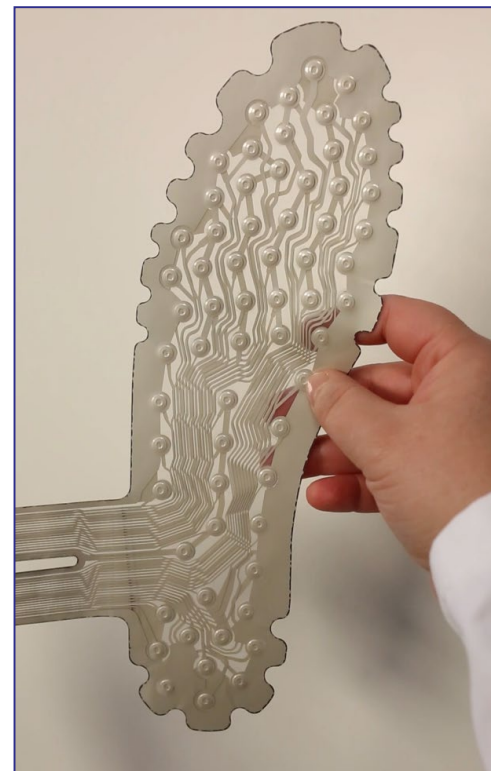


Abbildung 1. Instrumentierte Einlegesohlen mit Drucksensoren.

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

- Die Einlegesohlen mit Drucksensoren
- Ein Signalverstärker
- Ein drahtloses Sendemodul
- Software (und Computer)

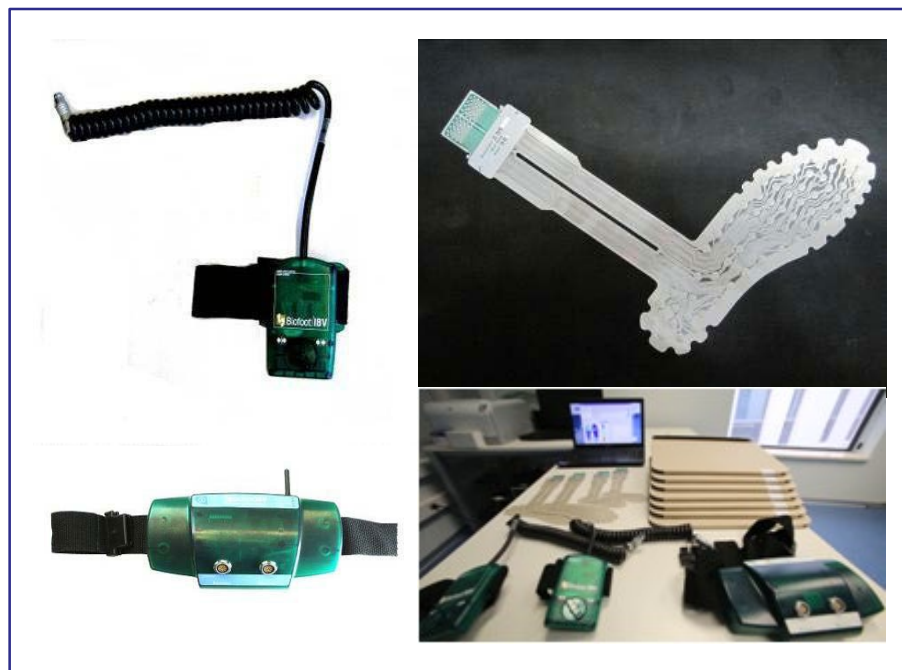


Abbildung 2. Elemente eines Plantardruckmesssystems auf der Basis von instrumentierten Einlagen. System von Biofoot/Biomechanics Institutes of Valencia.



## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### *Instrumentierte Einlagen*

- Typen von Sensoren
- Verschiedene Größen
  - Falten vermeiden
  - Sensorverteilung
- Druckeinheit: kPa
- Sorgfältige Wartung

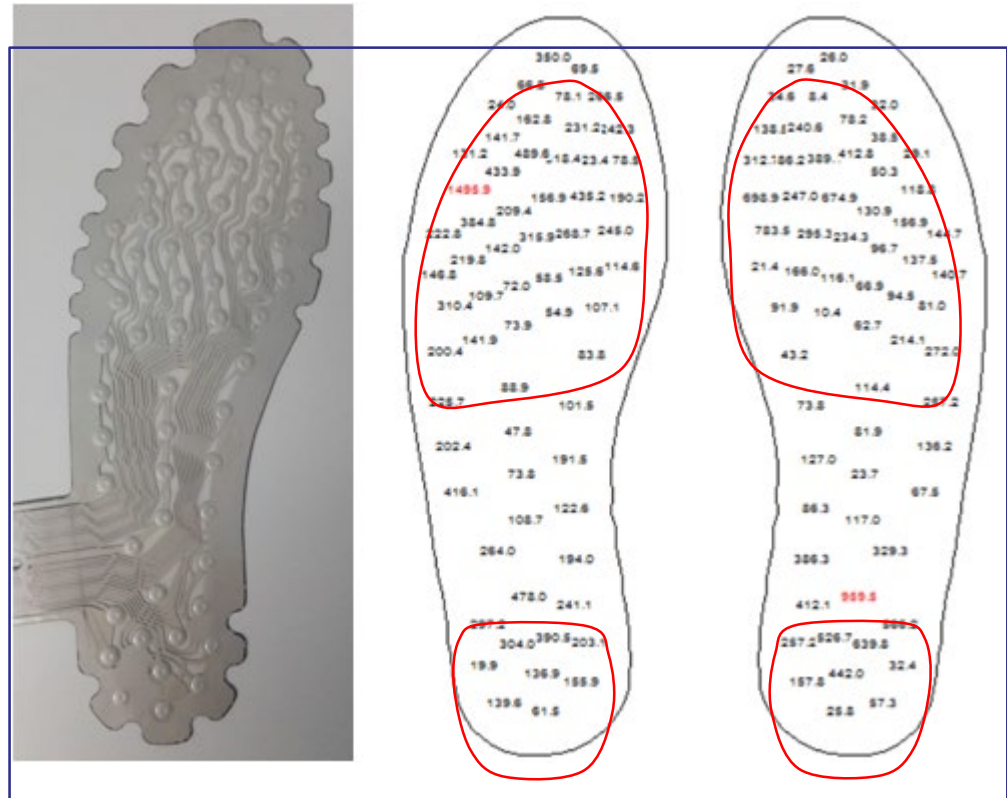


Abbildung 3. Drucksensor-Verteilung in der instrumentierten Einlegesohle.

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### *Instrumentierte Einlegesohlen: Arten von Sensoren*

#### Kapazitiv

Messung von Änderungen der elektrischen Kapazität

#### Widerstandsfähig

Messung der Änderung des elektrischen Widerstands

#### Piezoelektrisch

Messung der Spannung vom angelegten Druck auf ein Material

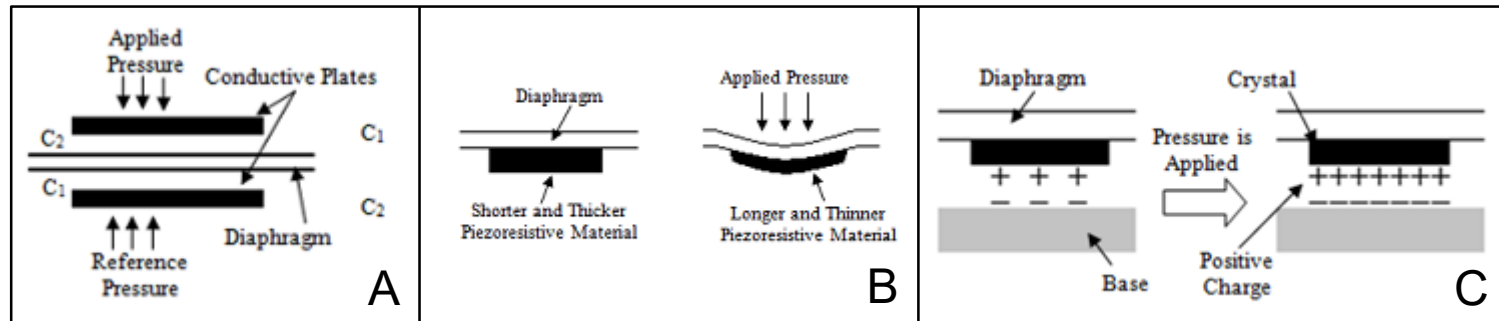


Abbildung 4. Funktionsweise von Drucksensoren. (A) Kapazitiv. (B) Resistiv. (C) Piezoelektrisch. Bilder aus Nader Ahmadzadeh et al. 2016.

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### *Instrumentierte Einlegesohlen und Elemente*

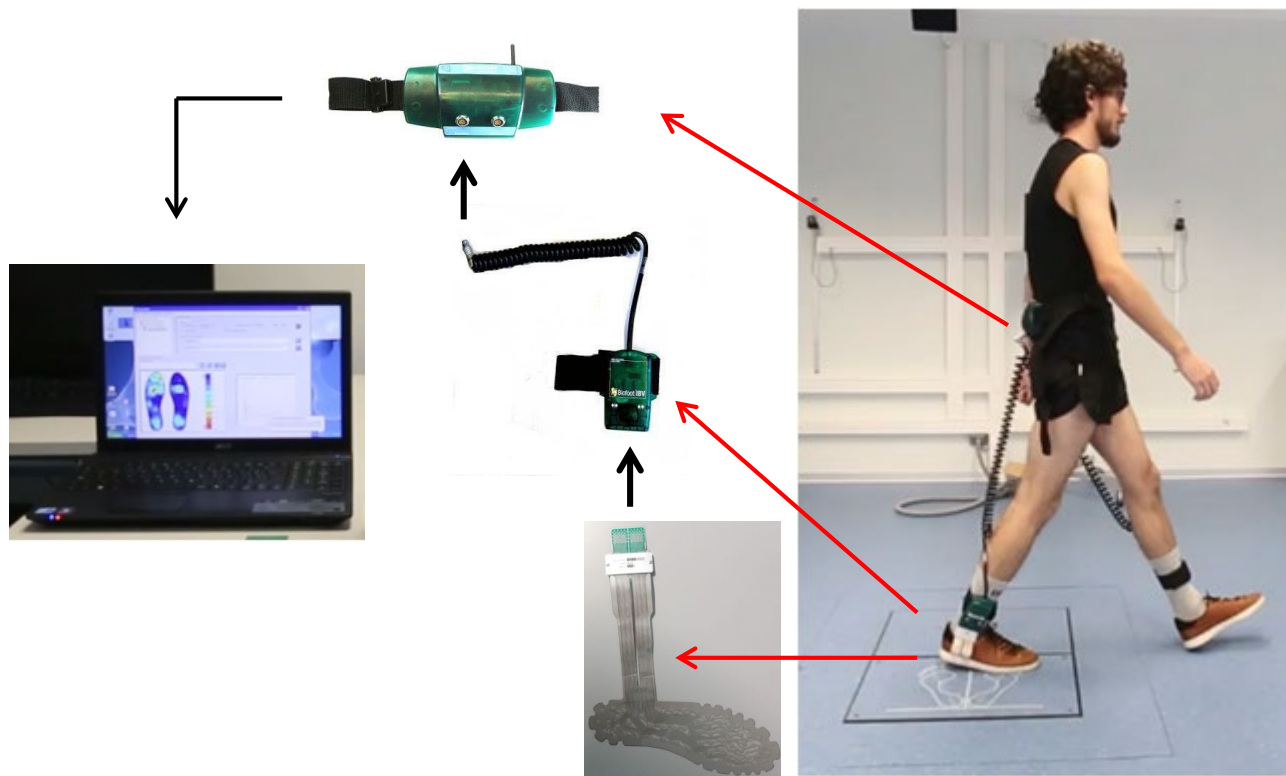


Abbildung 5.  
Druck  
plantare  
Messung  
System.

## 2. SYSTEM-ELEMENTE

### *Technische Daten und Empfehlungen für die Gangart*

#### Anzahl der Sensoren pro Einlegesohle

- 24 - 1000 Sensoren pro Einlegesohle
- Kritische Zonen

#### Abtastfrequenz (Hz)

- Anzahl der Proben, die das System pro Sekunde messen kann
- Für Gangart: 50-100 Hz

#### Druckbereich (kPa)

- Messbarer Druckbereich
- Normale Gangart: 200-500 Hz
- Diabetische Neuropathologie 1000-3000 Hz

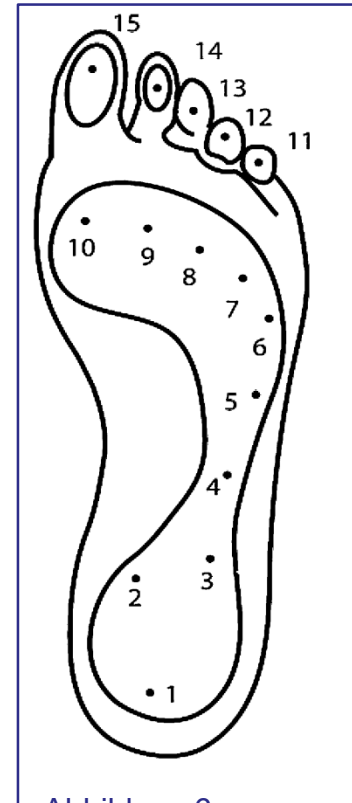


Abbildung 6. Anatomische Bereiche des Fußes, die den Großteil des Körpergewichts tragen. Abbildung aus Lin Shu et al. 2010.

### 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

#### *Einlagenauswahl und Instrumentierung*

- Geeignete Einlegesohle  
*"nicht zu fest und nicht zu locker"*
- Betreff: Sitzend
- Geschlossener Schuh



Abbildung 7. Positionierung der Einlagen.  
System Biofoot/Biomechanics Institutes of Valencia.



### 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

#### *Kalibrierung von Einlegesohlen*



- Erforderlich zur Vermeidung von Driftsignalen
- Die Kalibrierung der Drucksensoren im System ist sehr unterschiedlich
  - Stehen mit dem Gewicht des Objekts
  - Sitzen
- System mit piezoelektrischen Sensoren: Zeitraum für Temperatur- und Feuchtigkeitsanpassung im Schuhwerk

Abbildung 8. Position für den Kalibrierungsvorgang.

## 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

### *Kontrolle der Ganggeschwindigkeit*

**Komfortabler Speed-Gang**

**Langsam**

**Schnell**

Geschwindigkeitsabweichungen zwischen Versuchen der gleichen Bedingung:  
nicht mehr als 10 %

- Die Größe der beim Gehen auftretenden Kräfte hängt von mehreren Faktoren ab, darunter die Geschwindigkeit
- Bei einer Auswertung von Plantardrücken muss die durchgeführte Geschwindigkeit kontrolliert werden
- Eine Erhöhung der Gehgeschwindigkeit bewirkt eine Erhöhung des Drucks unter dem Fuß

### 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

#### Abrufen der Ergebnisse

$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Bereich}}$$

- Definition von Druck
- Farbskala

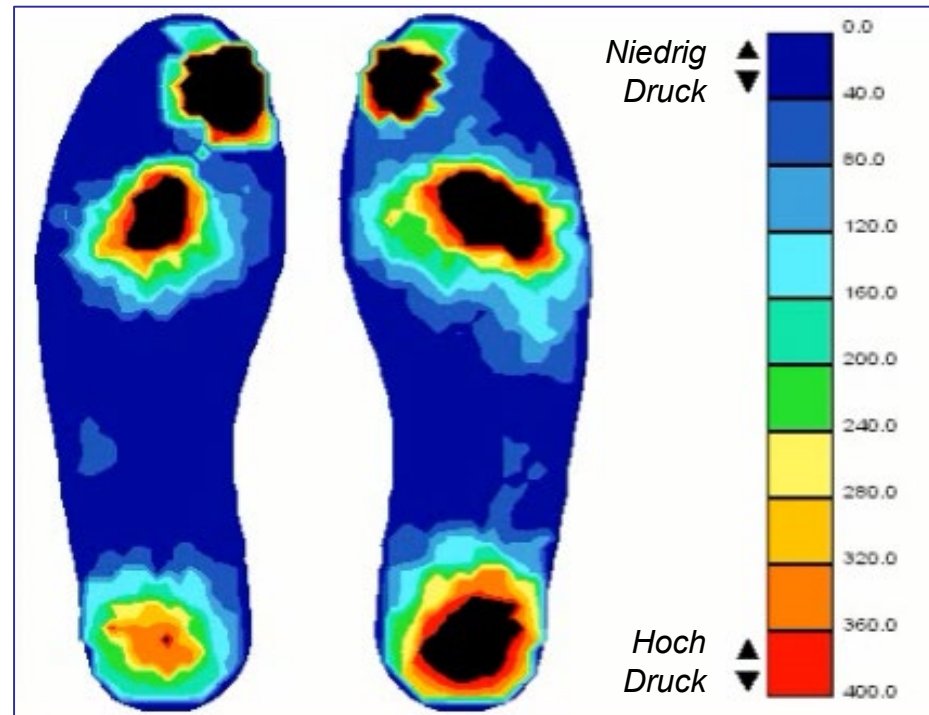


Abbildung 9. Farbskala-Karte aus einer Plantardruckbeurteilung.



### 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

#### *Abrufen der Ergebnisse*

- Regionen von Interesse
- Durchschnittlicher Druck
- Spitzendruck

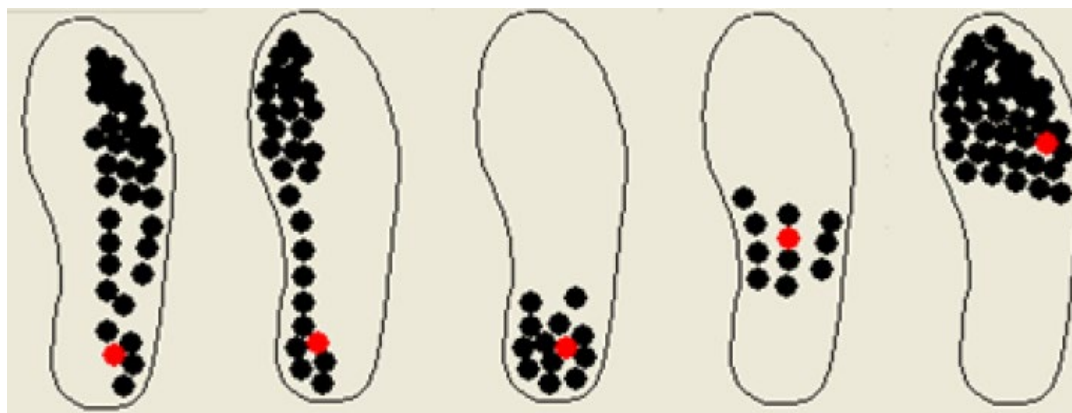


Abbildung 10. Untersuchung der plantaren Drücke pro Bereich des Fußes. In der Reihenfolge von links nach rechts: medialer Bereich, äußerer Bereich, Ferse, Mittelfuß und Vorfuß. Bild aus Benutzerhandbuch, System Biofoot/Biomechanics Institutes of Valencia

### 3. BEURTEILUNGSPROTOKOLL

#### *Abrufen der Ergebnisse*

- Druck-Zeit-Integral
- Zentrum des Drucks
- Andere raumzeitliche Parameter.

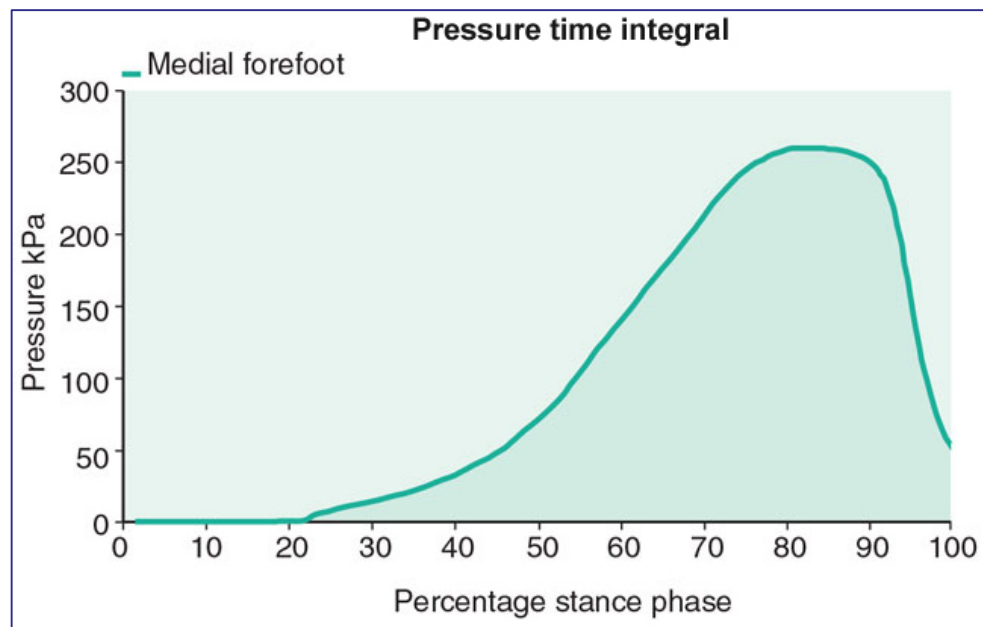


Abbildung 11. Druck-Zeit-Integral-Kurve. Bild aus Richards J. (2018) The Comprehensive Textbook of Clinical Biomechanics. 2nd ed.

## 4 VOR- UND NACHTEILE

Vorteile	Benachteiligungen
Ermöglichen die direkte Messung des auf den Fuß wirkenden Drucks	Die Krümmung des Fußes
Beurteilung unter funktionalen Bedingungen: in Bewegung und mit Schuhen	Der Platzmangel für die Messwandler
	Die Verwendung von Drähten von der Innenseite des Schuhs
Es erfordert keine übermäßige Vorbereitung des Themas	Wird nicht empfohlen, um Druckmesswerte zwischen verschiedenen Systemen zu vergleichen

## D.1 Welche Auswertungsprotokolle für biomechanische Ganginstrumente gibt es?

Wichtige Ideen

## SCHLÜSSELIDEEN

- Der menschliche Gang kann mit verschiedenen biomechanischen Bewertungsinstrumenten beurteilt werden, die es uns ermöglichen, seine Leistung und Defizite zu objektivieren.
- Die Photogrammetrie ist eine Technik zur Messung kinematischer Größen aus Bildern, entweder von Foto- oder Videokameras.
- Um eine Ganganalyse mit Photogrammetrie durchzuführen, ist es notwendig, die untersuchte Person mit einem biomechanischen Modell zu versehen, das aus Markern besteht, die die Punkte anzeigen, aus denen die Körpersegmente bestehen, die die Bewegung ausführen
- Das am häufigsten verwendete biomechanische Modell zur Messung des Gangs ist die Calibrated Anatomical System Technique (CAST), die es ermöglicht, den Gang in den drei Bewegungsebenen zu analysieren.

## SCHLÜSSELIDEEN

- Zu den klinischen Gangvariablen, die mit der Photogrammetrie gemessen werden können, gehören der Bereich der Flexions-Extensions-Bewegung, die Innen- und Außenrotation, die Abduktion-Adduktion in jedem Gelenk des biomechanischen Modells und der Peak-Winkel, der sich auf den maximalen Grad der Bewegung bezieht, der in der analysierten Kurve erreicht wird.
- Die lineare Beschleunigung während des Gangs kann mit einem Beschleunigungsmessersystem gemessen werden und bezieht sich auf die Änderung der linearen Geschwindigkeit über aufeinanderfolgende Zeitintervalle. Die Einheit der Beschleunigung ist im internationalen Einheitensystem Meter pro Sekunde zum Quadrat ( $m/s^2$ ), obwohl sie oft auch in der Schwerkraft ( $g$ ) ausgedrückt wird. Positive Beschleunigungen haben einen positiven Wert, während ein negativer Wert eine Verlangsamung darstellt.
- Das Protokoll zur Verwendung von Beschleunigungsmessern in der Ganganalyse besteht typischerweise aus der Anbringung eines Beschleunigungsmessers am Rumpf, am Kopf und am Tibiasegment. Einer der wichtigsten Punkte des Protokolls ist die Fixierung des Beschleunigungsmessers auf der Haut, die die relative Bewegung des Beschleunigungsmessers verhindern muss, um die Beschleunigung des zu messenden Segments getreu darzustellen.

## SCHLÜSSELIDEEN

- Eine Kraftplattform oder Kraftmessplatte ist ein Gerät zur Messung von Bodenreaktionskräften (GRF) und deren Angriffspunkt, bekannt als Druckpunkt (COP). Sie ist ein weit verbreitetes Element bei der Bewertung des menschlichen Gangs und Gleichgewichts sowie bei verschiedenen menschlichen Aktivitäten und Funktionen.
- Die registrierten Kräfte hängen, wie wir bereits gesagt haben, von der Geschwindigkeit, aber auch vom Gewicht der zu bewertenden Person ab. Deshalb müssen wir, um Vergleiche zwischen Individuen anstellen zu können, die erhaltenen Kräfte durch das Gewicht der Person dividieren und so einen vergleichbaren dimensionslosen Parameter zwischen den Probanden erhalten. Andererseits ist die Kontrolle der Ganggeschwindigkeit auch zwischen Gangversuchen der gleichen Bedingung notwendig.
- Der Bodenreaktionskraftvektor hat drei Komponenten in den drei Raumachsen: a) Vertikale Kraftkomponente in der Z-Achse, b) Anterior-posteriore Kraft in der Y-Achse und c) Medial-laterale Komponente in der X-Achse.

## SCHLÜSSELIDEEN

- Die instrumentierten Einlagen für den Plantardruck sind eine kinetische Analysetechnik, bei der im Inneren der Einlagen mehrere Drucksensoren strategisch verteilt sind, um den statischen und dynamischen Plantardruck zu messen. Diese Einlegesohlen befinden sich im Schuhwerk der zu untersuchenden Person, so dass es sich um ein tragbares Gerät handelt, das die Bewertung des Gangs unter funktionellen Bedingungen ermöglicht, d.h. mit Schuhwerk und in Bewegung. Die Bedeutung der Messung des Plantardrucks liegt darin, dass übermäßige Drücke Gewebeschäden verursachen können.
- Bei der Analyse der plantaren Drücke ist es sinnvoller, die Parameter für jeden Bereich des Fußes zu untersuchen. In der Regel erlauben die Geräte die Analyse der Ergebnisse des Plantardrucks aufgeteilt in Ferse, Mittelfuß, Vorfuß und Innen- und Außenbereich des Fußes.



## D.1 Welche Auswertungsprotokolle für biomechanische Ganginstrumente gibt es?

Bibliographie

## 5. BIBLIOGRAPHIE

1. Ali Salah A., Gevers T., Editors. Compute Analysis of Human Behavior. 1st ed. London (England): Springer, 2011.
2. Armand, S., Decoulon, G., Bonnefoy-Mazure, A. (2016) Gait analysis in children with cerebral palsy. EFORT Open Rev, 1.
3. Bauer, JJ., Pavol, MJ., Snow, CM., Hayes, WC. (2007) MRI-derived body segment parameters of children differ from age-based estimates derived using photogrammetry. Journal of Biomechanics, 40, 2904-2910. doi:10.1016/j.jbiomech.2007.03.006.
4. Cappozzo, A., Croce, U. D., Leardini, A., Chiari, L. (2005). Human movement analysis using stereophotogrammetry Part 1: theoretical background. Gait & Posture, 21(2), 186–196. doi:10.1016/j.gaitpost.2004.01.010
5. Chiari, L., Croce, U. D., Leardini, A., Cappozzo, A. (2005). Human movement analysis using stereophotogrammetry Part 2: Instrumental errors. Gait & posture, 21(2), 197-211. doi:10.1016/j.gaitpost.2004.04.004
6. Croce, U. D., Leardini, A., Chiari, L., Cappozzo, A. (2005). Human movement analysis using stereophotogrammetry Part 4: assessment of anatomical landmark misplacement and its effects on joint kinematics. Gait & posture, 21(2), 226-237. doi:10.1016/j.gaitpost.2004.05.003.
7. Leardini, A., Chiari, L., Croce, U. D., & Cappozzo, A. (2005). Human movement analysis using stereophotogrammetry Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation. Gait & Posture, 21(2), 212-225. doi:10.1016/j.gaitpost.2004.05.002
8. Lee, EH., Goh, JC., Bse K. (1992) Value of gait analysis in the assessment of surgery in cerebral palsy. Arch Phys Med Rehabil, 73(7), 642-6.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

8. Lu, T.-W., & Chang, C.-F. (2012). Biomechanics of human movement and its clinical applications. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 28(2), S13–S25. doi:10.1016/j.kjms.2011.08.004
9. Monk A. P. , Van Oldernrijk J. , Riley Nicholas D. , Gill H.S., Murray D. W. (2016). Biomechanics of the lower limb. *Surgery*, 34(9), 427-435. doi:10.1016/ j.mpsur.2016.06.007
10. Pueo, B., Jimenez-Olmedo JM. (2017). Application of motion capture technology for sport performance analysis. *El uso de la tecnología de captura de movimiento para el análisis del rendimiento deportivo. Retos*, 32(2), 241-247.
11. Pantzar-Castilla, E., Cereatti, A., Figari, G., Valeri, N., Paolini, G., Della Croce, U., Magnuson, A., Riad, J. (2018) Knee joint sagittal plane movement in cerebral palsy: a comparative study of 2-dimensional markerless video and 3-dimensional gait analysis. *Acta Orthopaedica*, 89(6), 656-661. DOI 10.1080/17453674.2018.1525195.
12. Richards J., Editor. *The Comprehensive Textbook of Clinical Biomechanics*. 2nd ed. Preston (UK): Elsevier, 2018.
13. Sandau, M., Koblauch, H., Moeslund, T. B., Aanæs, H., Alkjær, T., & Simonsen, E. B. (2014). Markerless motion capture can provide reliable 3D gait kinematics in the sagittal and frontal plane. *Medical Engineering & Physics*, 36(9), 1168–1175. doi:10.1016/j.medengphy.2014.07.007
14. Schenk, T. (2005). *Introduction to photogrammetry*. The Ohio State University, Columbus, 106.
15. Zuk, M., Pezowicz, C. (2015) Kinematic Analysis of a Six-Degrees-of-Freedom Model Based on ISB Recommendation: A Repeatability Analysis and Comparison with Conventional Gait Model. *Applied Bionics and Biomechanics*, 503713. doi: 10.1155/2015/503713.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

8. Lu, T.-W., & Chang, C.-F. (2012). Biomechanics of human movement and its clinical applications. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 28(2), S13–S25. doi:10.1016/j.kjms.2011.08.004
9. Monk A. P. , Van Oldernrijk J. , Riley Nicholas D. , Gill H.S., Murray D. W. (2016). Biomechanics of the lower limb. *Surgery*, 34(9), 427-435. doi:10.1016/ j.mpsur.2016.06.007
10. Pueo, B., Jimenez-Olmedo JM. (2017). Application of motion capture technology for sport performance analysis. *El uso de la tecnología de captura de movimiento para el análisis del rendimiento deportivo. Retos*, 32(2), 241-247.
11. Pantzar-Castilla, E., Cereatti, A., Figari, G., Valeri, N., Paolini, G., Della Croce, U., Magnuson, A., Riad, J. (2018) Knee joint sagittal plane movement in cerebral palsy: a comparative study of 2-dimensional markerless video and 3-dimensional gait analysis. *Acta Orthopaedica*, 89(6), 656-661. DOI 10.1080/17453674.2018.1525195.
12. Richards J., Editor. *The Comprehensive Textbook of Clinical Biomechanics*. 2nd ed. Preston (UK): Elsevier, 2018.
13. Sandau, M., Koblauch, H., Moeslund, T. B., Aanæs, H., Alkjær, T., & Simonsen, E. B. (2014). Markerless motion capture can provide reliable 3D gait kinematics in the sagittal and frontal plane. *Medical Engineering & Physics*, 36(9), 1168–1175. doi:10.1016/j.medengphy.2014.07.007
14. Schenk, T. (2005). *Introduction to photogrammetry*. The Ohio State University, Columbus, 106.
15. Zuk, M., Pezowicz, C. (2015) Kinematic Analysis of a Six-Degrees-of-Freedom Model Based on ISB Recommendation: A Repeatability Analysis and Comparison with Conventional Gait Model. *Applied Bionics and Biomechanics*, 503713. doi: 10.1155/2015/503713.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

8. Sinclair J., Hobbs S., Protheroe L., Edmundson C., Greenhalgh A. Determination of gait events using an externally mounted shank accelerometer. *Journal of Applied Biomechanics*, 2013, 29, 118-122.
9. Woodford, Chris. Accelerometers. [cited 2020 January]. Web site available: <https://www.explainthatstuff.com/accelerometers.html>.
10. Tao W., Liu T., Zheng R., Feng H. Gait Analysis Using Wearable Sensors. *Sensors* 2012, 12(2), 2255-2283.
11. Yang M., Zheng H., Wang H. McClean S., Newell D. iGait: An interactive accelerometer based gait analysis system. *Compute methods and programs in biomedicine* 108 (2012) 715-723.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

1. Ali Salah A., Gevers T., Editors. Compute Analysis of Human Behavior. 1st ed. London (England): Springer, 2011.
2. Azadian E., Majlesi M., Jafarnezhadgero A.A. The effect of working memory intervention on the gait patterns of the elderly. *Journal of Bodywork & Movement Therapies* 22 (2018) 881e887.
3. Claudiane Arakaki Fukuchi, Reginaldo Kisho Fukuchi and Marcos Duarte. Effects of walking speed on gait biomechanics in healthy participants: a systematic review and meta-analysis. *Systematic Reviews* (2019) 8:153.
4. G. Ryckewaert, A. Delval, S. Bleuse, J.-L. Blatt, L. defebvre. Biomechanical mechanisms and centre of pressure trajectory during planned gait termination. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology* (2014) 44, 227—233.
5. Hadar Shauliana, Deborah Solomonow-Avnona, Amir Hermanb, Nimrod Rozenc, Amir Haima, Alon Wolfa. The effect of center of pressure alteration on the ground reaction force during gait: A statistical model. *Gait & Posture* 66 (2018) 107–113.
6. Lucia Bizovska, Zdenek Svoboda, Patrik Kutilek, Miroslav Janura, Ales Gaba. Variability of centre of pressure movement during gait in young and middle-aged women. *Gait & Posture* 40 (2014) 399–402.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

7. Martínez-Nova A., Sánchez-Rodríguez R., Cuevas García J.C. Patrón de presiones plantares en el pie normal: Análisis mediante sistema Biofoot de plantillas instrumentadas. *El Peu* 2006;26(4):190-194.
8. Martínez-Novaa A., Cuevas-Garcíaa J.C., Sánchez-Rodrígueza R., Pascual-Huertab J., Sánchez-Barrado E. Study of plantar pressure patterns by means of instrumented insoles in subjects with hallux valgus. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (English Edition)*. Volume 52, Issue 2, March–April 2008, Pages 94-98.
9. Martínez-Nova A., Sánchez-Rodríguez R., Leal-Muro A., Pedrera-Zamorano J.D. Dynamic Plantar Pressure Analysis and Midterm Outcomes in Percutaneous Correction for Mild Hallux Valgus. *J. Orthop Res.* 2011 Nov;29(11):1700-6.
10. Nurul Amziah, Yunus, Izhal Abdul Halin, Nasri Sulaiman, Noor Faezah Ismail, Ong Kai Sheng. Valuation on MEMS Pressure Sensors and Device Applications. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electronics and Communication Engineering* Vol:9, No:8, 2015.
11. Richards J., Editor. *The Comprehensive Textbook of Clinical Biomechanics*. 2nd ed. Preston (UK): Elsevier, 2018.
12. Wertsch J., Webster J., Tompkins W. A portable insole plantar pressure measurement system. *Journal of Rehabilitation Research and Development* Vol. 29 No. 1, 1992 Pages 13-18.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

1. Béseler M.R., Grao C.M., Gil Á. y Martínez Lozano M.D.. Valoración de la marcha mediante plantillas instrumentadas en pacientes con espasticidad de miembros inferiores tras infiltración con toxina botulínica. *Neurología*. 2012;27(9):519—530.
2. Brus S.A, Waaijman R. The value of reporting pressure–time integral data in addition to peak pressure data in studies on the diabetic foot: A systematic review. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2013 Feb;28(2):117-21.
3. Dyer Philip S. and Morris Stacy J. Bamberg. Instrumented Insole vs. Force Plate: A Comparison of Center of Plantar Pressure. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2011;2011:6805-9.
4. Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV). Biofoot/IBV Manual de Usuario. Séptima versión. Valencia, España: Instituto de Biomecánica de Valencia, 2012.
5. Lin Shu, Tao Hua, Yangyong Wang, Qiao Li, David Dagan Feng, and Xiaoming Tao. In-Shoe Plantar Pressure Measurement and Analysis System Based on Fabric Pressure Sensing Array. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*. 2010 May;14(3):767-75.
6. Martínez A., Sánchez Ruiza, M. Barrés Carsíb, C. Pérez Lahuerta, A. Guerrero Alonsoc y C. Soler Gracia. A new diagnostic and therapeutic diagnostic method of the foot disease based on biofoot/ibv instrumented insoles. *Rehabilitación* Vol. 37. Núm. 5. Páginas 240-251 (Enero 2003).



## 5. BIBLIOGRAPHIE

7. Martínez-Nova A., Sánchez-Rodríguez R., Cuevas García J.C. Patrón de presiones plantares en el pie normal: Análisis mediante sistema Biofoot de plantillas instrumentadas. *El Peu* 2006;26(4):190-194.
8. Martínez-Novaa A., Cuevas-Garcíaa J.C., Sánchez-Rodrígueza R., Pascual-Huertab J., Sánchez-Barrado E. Study of plantar pressure patterns by means of instrumented insoles in subjects with hallux valgus. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (English Edition)*. Volume 52, Issue 2, March–April 2008, Pages 94-98.
9. Martínez-Nova A., Sánchez-Rodríguez R., Leal-Muro A., Pedrera-Zamorano J.D. Dynamic Plantar Pressure Analysis and Midterm Outcomes in Percutaneous Correction for Mild Hallux Valgus. *J. Orthop Res.* 2011 Nov;29(11):1700-6.
10. Nurul Amziah, Yunus, Izhal Abdul Halin, Nasri Sulaiman, Noor Faezah Ismail, Ong Kai Sheng. Valuation on MEMS Pressure Sensors and Device Applications. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electronics and Communication Engineering* Vol:9, No:8, 2015.
11. Richards J., Editor. *The Comprehensive Textbook of Clinical Biomechanics*. 2nd ed. Preston (UK): Elsevier, 2018.
12. Wertsch J., Webster J., Tompkins W. A portable insole plantar pressure measurement system. *Journal of Rehabilitation Research and Development* Vol. 29 No. 1, 1992 Pages 13-18.



Die Unterstützung der Europäischen Kommission für die Erstellung dieser Veröffentlichung stellt keine Billigung des Inhalts dar, welcher nur die Ansichten der Verfasser wiedergibt, und die Kommission kann nicht für eine etwaige Verwendung der darin enthaltenen Informationen haftbar gemacht werden.

