

## 4. Balgrist Symposium zum Diabetischen Fuß

# Der Charcot Fuss

Druckentlastung aus  
biomechanischer Sicht

*B. Drerup*

*Klinische Prüfstelle für orthopädische  
Hilfsmittel, Münster*

*BuFa, Dortmund*

# Gliederung

- ◆ Warum Druckentlastung?
- ◆ Belastung und Beanspruchung
  - Spannungen im Gewebe
  - Druck  $\sim 1/\text{Unterstützungsfläche}$
  - Druck  $\sim \text{Bodenreaktionskraft}$
- ◆ Biomechanische Druckentlastung:
  - Gewichts-Entlastung
  - Dynamische Entlastung
    - ◆ Schuhzurichtung
    - ◆ Patientenverhalten
  - Statische Entlastung: plantare Druckumverteilung
- ◆ Diskussion - Welche Kompromisse sind möglich?

# Warum Druckentlastung?

## Erhöhte mechanische Belastung:

### Erzeugung von Druckspitzen

- Lokal: Hautveränderungen, Knochenspitzen
- Lokal: Abrollbewegung führt zu Druck- und Zugkonzentrationen
- Lokal: Fettpolster zum lokalen Druckausgleich fehlen
- Zeitlich: Einschränkung der Gelenkbeweglichkeit - dadurch Störung des Abrollvorgangs und veränderte Belastung

### Erhöhte Verletzlichkeit

- Verringerter Elastizität
- Verringerte Stärke der Haut

### Geschwächte Abwehr und verzögerte Heilung

- Keine Schmerzempfindung
- Keine durch Schmerzen erzwungene Entlastung

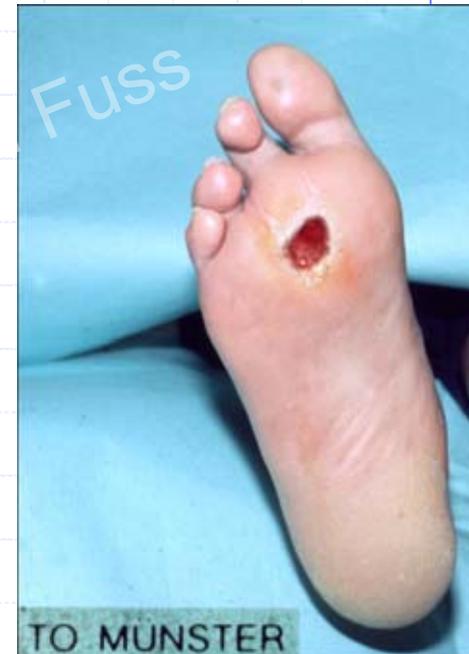
# Warum Druckentlastung?

## Klinische Folgen:

- Innere und äußere Verletzungen
- Schlechte Spontanheilung
- Entstehung von Ulzerationen
  - ◆ Langwierige Behandlung
  - ◆ Amputation

## Behandlung:

- u.a. Vermeiden von mechanischer Überlastung
- Erfolg der Entlastung ist Indiz für die Wirkungskette



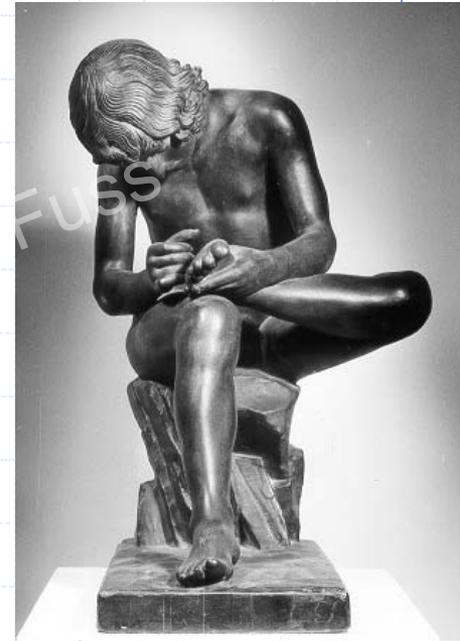
# Warum Druckentlastung?

## Beweislage bei Prävention:

- Patienten, bei denen ein Ulkus abgeheilt ist, ohne ein neues Ulkus zu entwickeln, zeigen einen geringeren plantaren Spitzendruck als vergleichbare Patienten mit Ulkus  
Owings et al. Diabetic Medicine 2009
- “There is not yet sufficient evidence to support primary prevention of ulcers by off-loading, although clinical opinion strongly favors such an approach” Cavanagh et al. J. Vasc. Surg. 2010

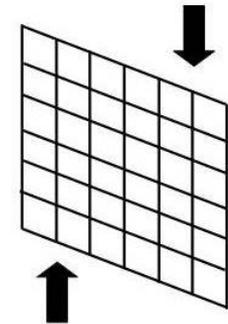
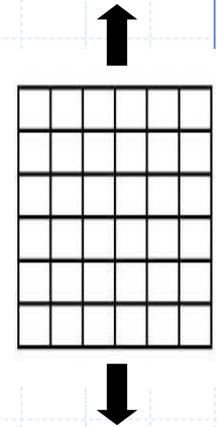
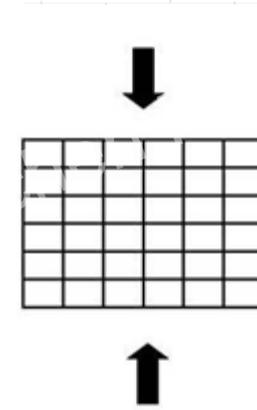
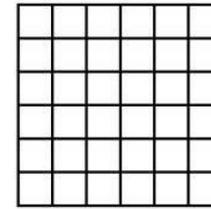
## Pragmatisches Verhalten:

- Prophylaktische Entlastung
- Unterbrechung der Wirkungskette
- Verringertes Ulzerationsrisiko



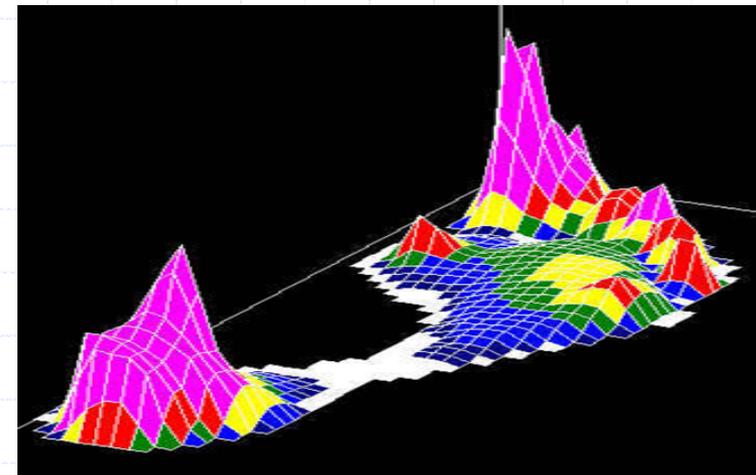
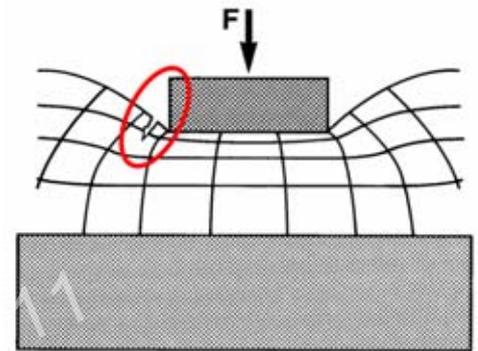
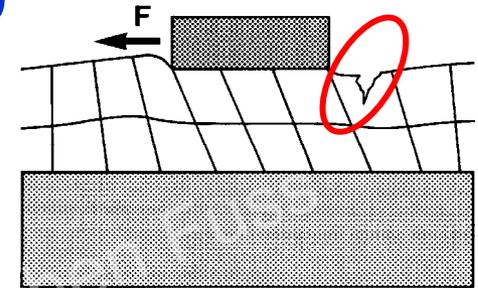
# Belastung und Beanspruchung

- ◆ Biomechanik: Belastung eines Gewebes durch Krafteinwirkung
- ◆ Abh. von Lage und Richtung des Kräftepaars:
  - Normal- oder Druckbelastung
  - Zugbelastung
  - Scherbelastung
- ◆ Einwirkung der Kräfte erzeugt Spannungszustand
  - Normal- oder Druckspannung
  - Zugspannung
  - Scherspannung
- ◆ Beanspruchung:
  - Stauchung und Streckung
  - Scherung
  - Abhängig von Größe der Belastung und der Fläche
- ◆ Wichtigster Fall: Normaldruck – auch am einfachsten zu messen



# Ungleichmäßige Verteilung von Spannungen

- ◆ Gleichmäßig verteilter Druck - geringe Schäden
- ◆ Scherkräfte > erhöhte Verletzungsgefahr
- ◆ Druckänderungen in Randzonen > Scherkräfte mit Verletzungsgefahr
- ◆ Druckverteilungsmessung mit hohem Druckgefälle: Scherkräfte mit Verletzungsgefahr



# Statisch belastete Fläche und Druck

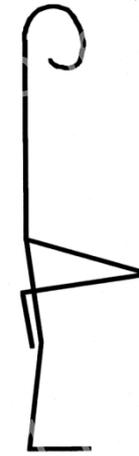
- ◆ Druck = Kraft/Fläche
- ◆ Person mit Gewicht 750N
- ◆ Bei Belastung der gesamten Fußsohle und beidbeinigem Stand: ca. 25 kPa
- ◆ Entspricht in etwa dem systolischen Druck im Fuß
- ◆ Bei kleineren Flächen höhere Druckwerte
- ◆ Übersteigen des systolischen Drucks



300 cm<sup>2</sup>



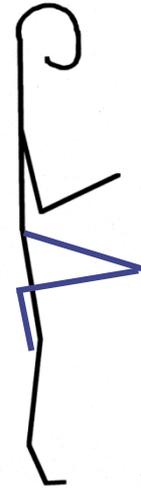
25 kPa  
2,5 N/cm<sup>2</sup>



150 cm<sup>2</sup>



50 kPa  
5,0 N/cm<sup>2</sup>



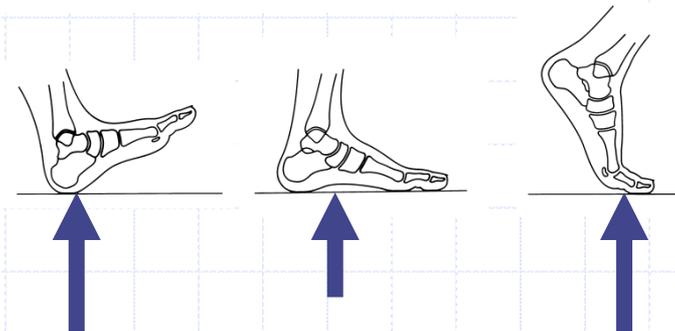
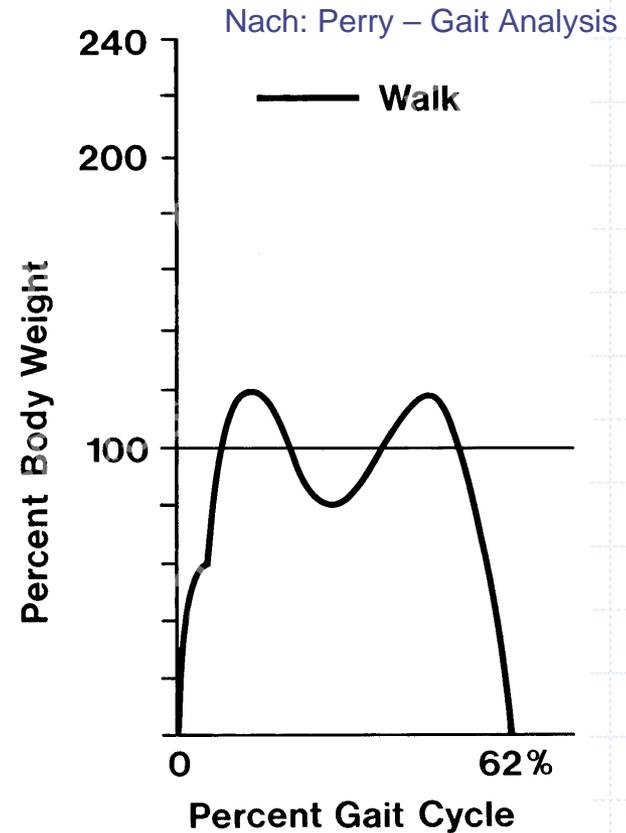
50 cm<sup>2</sup>



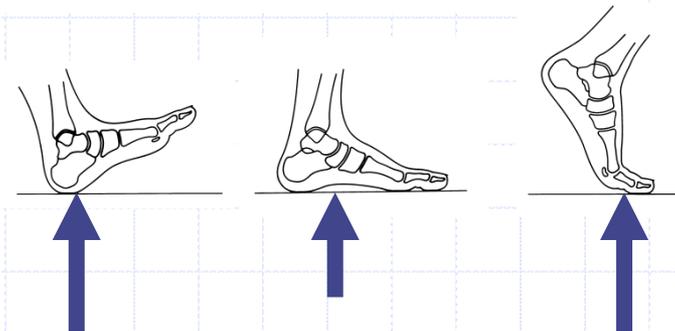
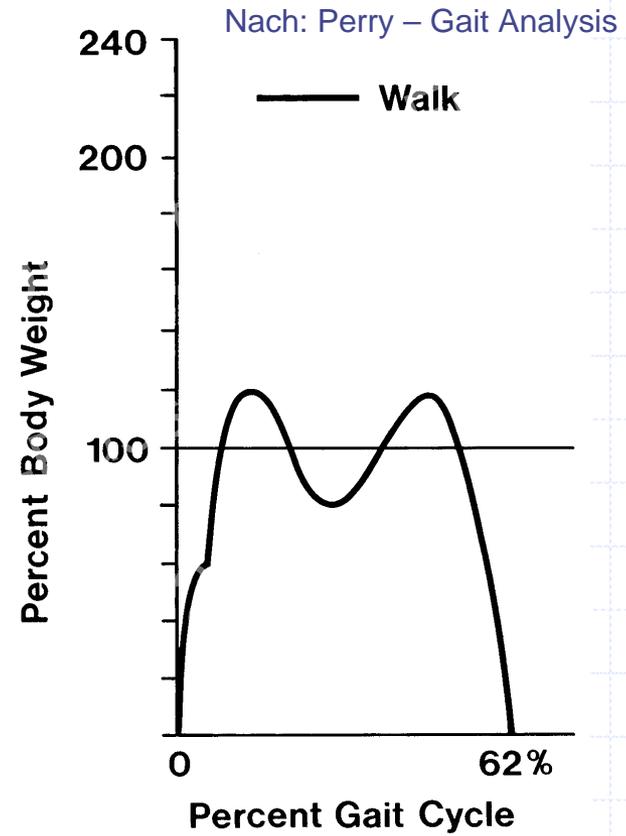
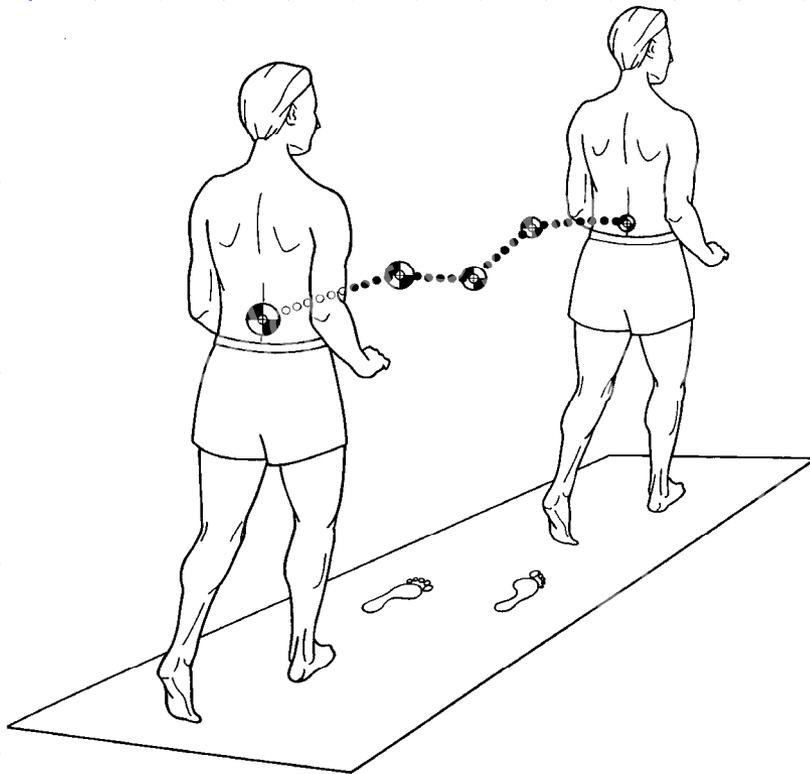
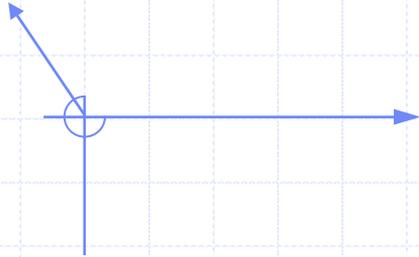
150 kPa  
15,0 N/cm<sup>2</sup>

# Gewichtskraft und Bodenreaktionskraft

- ◆ Doppelhöckerige Kurve der Bodenreaktionskraft
- ◆ Pendelt um den Wert des Körpergewichts
- ◆ Körpergewicht: statische Komponente
- ◆ Dynamische Komponente durch Schwerpunktbewegung

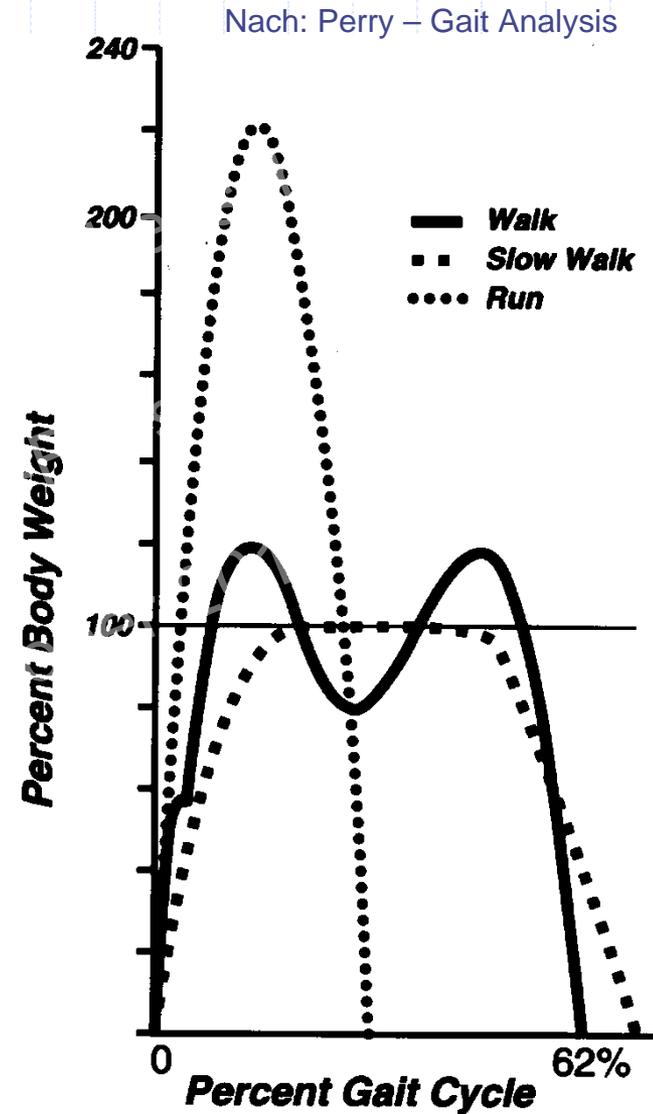
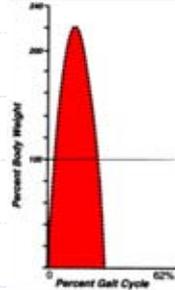
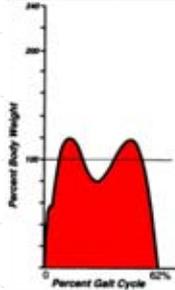
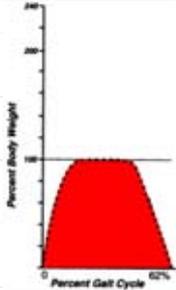


# Gewichtskraft und Bodenreaktionskraft



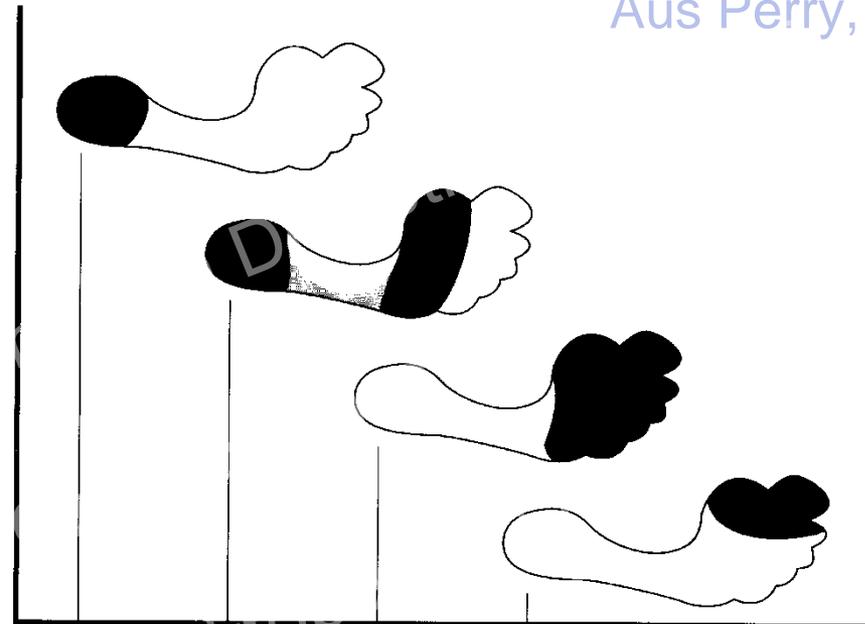
# Gewichtskraft und Bodenreaktionskraft

- ◆ Dynamische Komponente stark abhängig von der Geschwindigkeit
- ◆ Fläche unter der Kurve: "Kraftzeitintegral"
- ◆ Kraftzeitintegral bleibt konstant
- ◆ Kraftspitzen durch Glätten ausgleichen



# Belastete Fläche und Abrollvorgang

Aus Perry, 1992



Fersenauftritt

Standph.

Abschluss Standph.

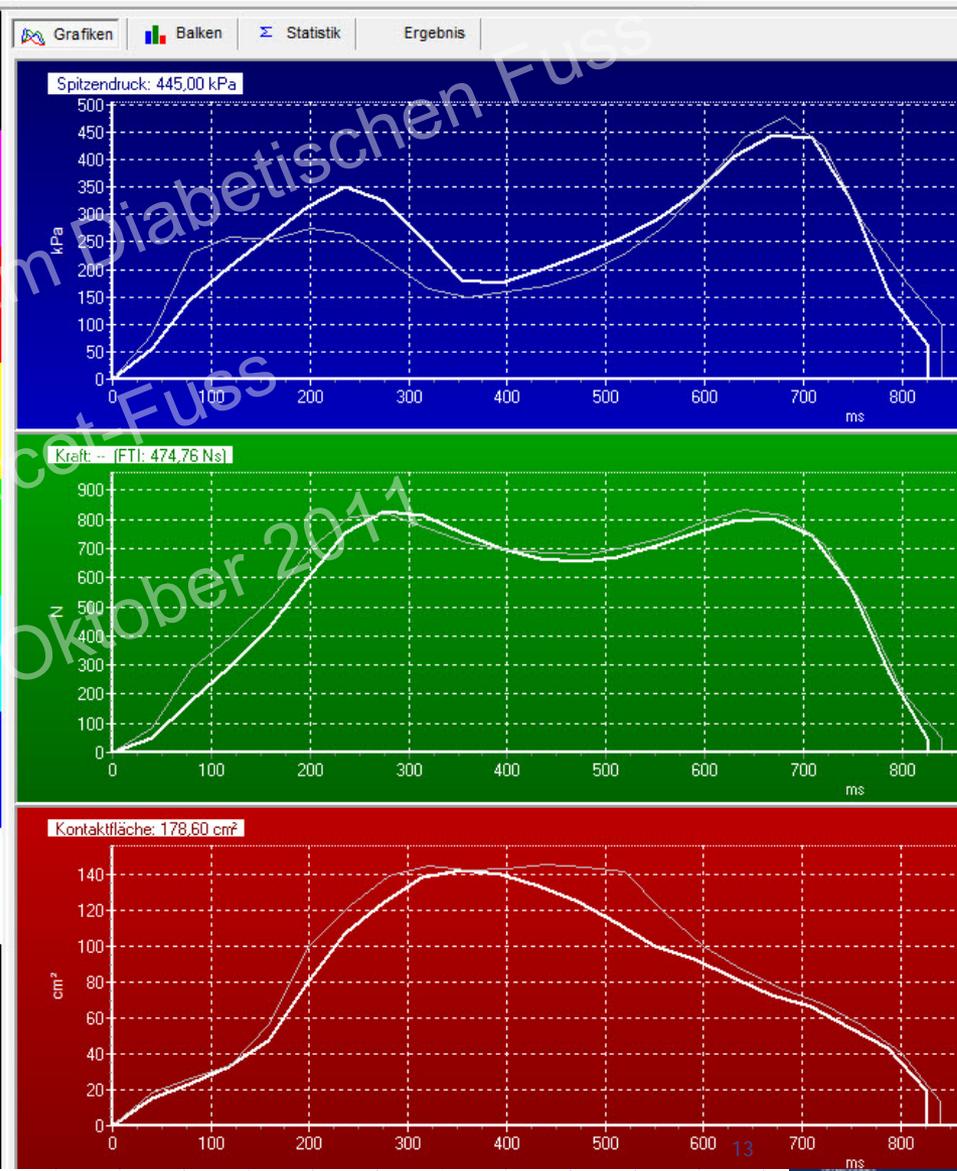
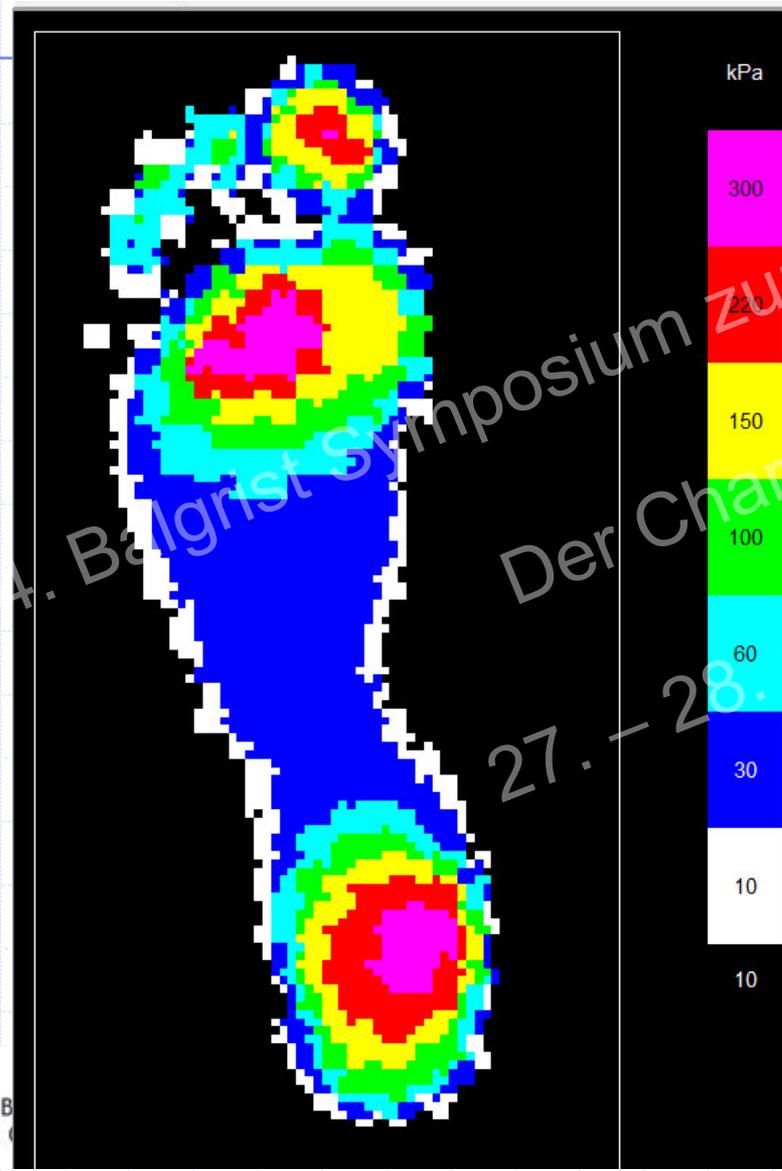
Vorbereitung Schwungph.



- ◆ Höhere Drücke als im Stehen durch:
  - Abrollvorgang verkleinert momentane Standfläche
  - Dynamische Effekte, Heben/Senken des Schwerpunktes

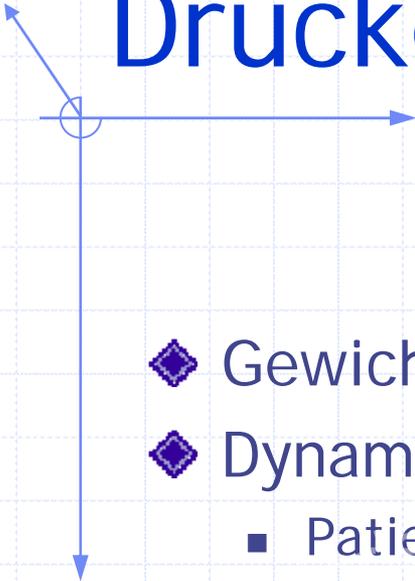
# Typische Druckverteilung

## Spitzendruck, Kraft und Fläche

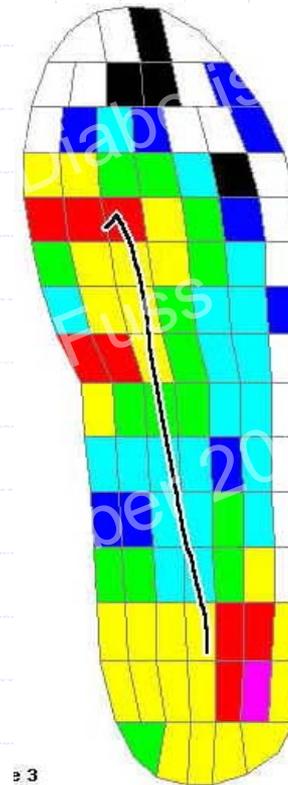


4. Balgrist Symposium zum Diabetischen Fuss  
Der Charcot-Fuss  
27. - 28. Oktober 2011

# Biomechanische Aspekte der Druckentlastung

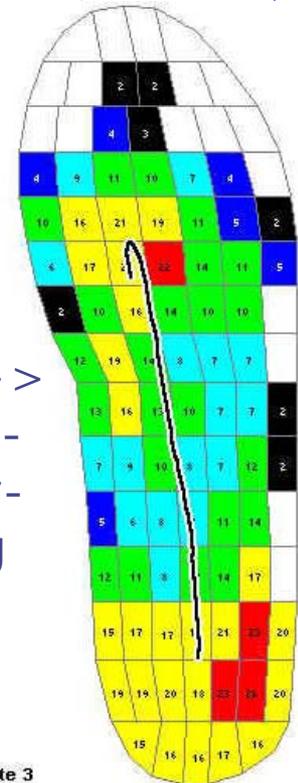


- ◆ Gewichts-Entlastung
- ◆ Dynamische Entlastung
  - Patientenverhalten
  - Schuhzurichtung
- ◆ Statische Entlastung:
  - plantare Druckumverteilung



e 3

1143.1 N



tte 3

1025.9 N

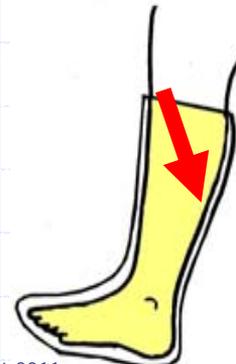
<< Alte  
Neue >>  
Schuh-  
versor-  
gung

# Gewichts-Entlastung

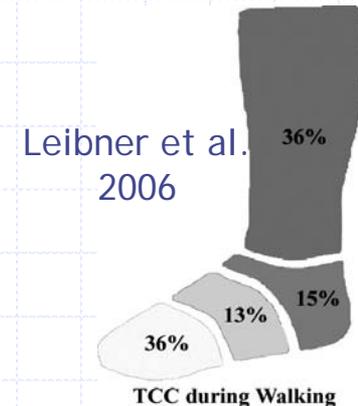
- ◆ Verringern der Gewichtskraft
  - ◆ Bett, Rollstuhl
  - ◆ Abnehmen (simuliert durch Decken-Aufhängung)
  - ◆ Stockstützen
  - ◆ Volumen-Lagerung des Beins (z.B. TCC)
  - ◆ Entlastung vergleichbar wie bei Fraktur-Gips



Burns, Begg  
2010



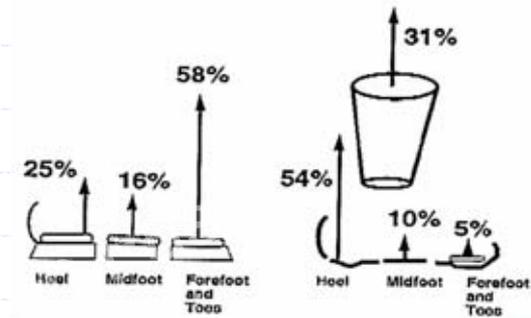
Biomechanik Balgrist 2011



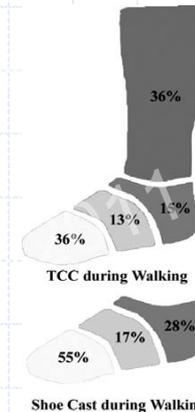
# Total contact cast

angelsächsische Literatur: TCC  
Goldstandard, „effektivste Methode der Entlastung“ (z.B.: Cavanagh et al. 2010)

- ◆ Konvexe Abrollsohle - Vorfußentlastung auf Kosten der Ferse
- ◆ Ruhigstellung aller Gelenke
- ◆ Verringerte Muskelaktivität
  - Verringerte innere Spannungen
  - Verringerte Vorfußbelastung
- ◆ Unabhängig von Kooperationsbereitschaft
- ◆ Neuere Arbeiten: Verbesserte plantare Weichbettung (Burns u. Begg, 2011)



Aus: Shaw et al. 1997



Aus: Leibner et al. 2006



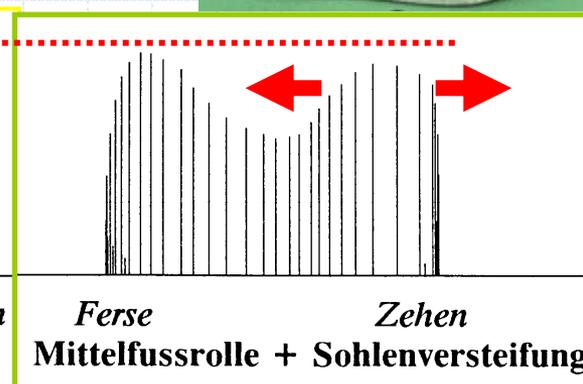
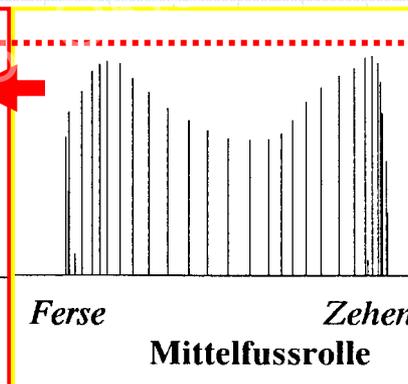
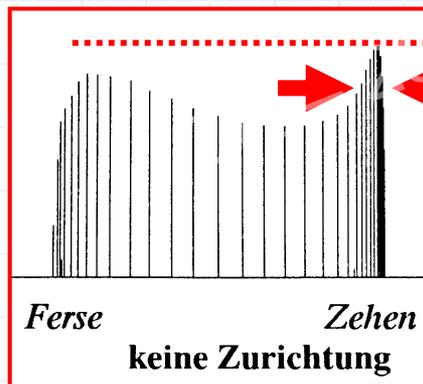
# Dynamische Entlastung: Veränderung des Gangmusters durch Schuhzurichtung



Wanderung des Kraftangriffspunktes wird im Ballenbereich durch Schuhzurichtung beschleunigt

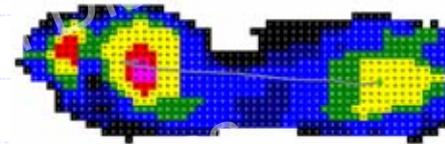
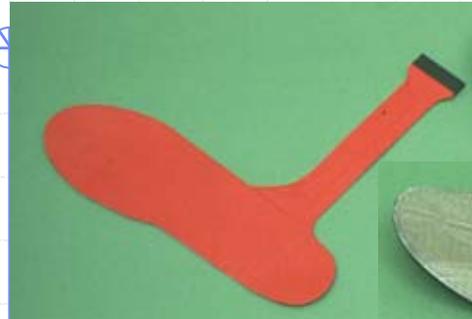
Dauer der Ballenbelastung verkürzt

Höhe der Ballenbelastung schrumpft geringfügig

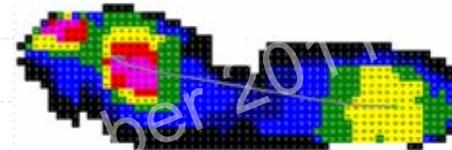


## Unterschiedliche Wanderung des Kraftangriffspunktes

# Belastungsminderung durch Schuhzurichtung



< **Mittelfußrolle +  
Sohlenversteifung**



< **Ohne Zurichtung**

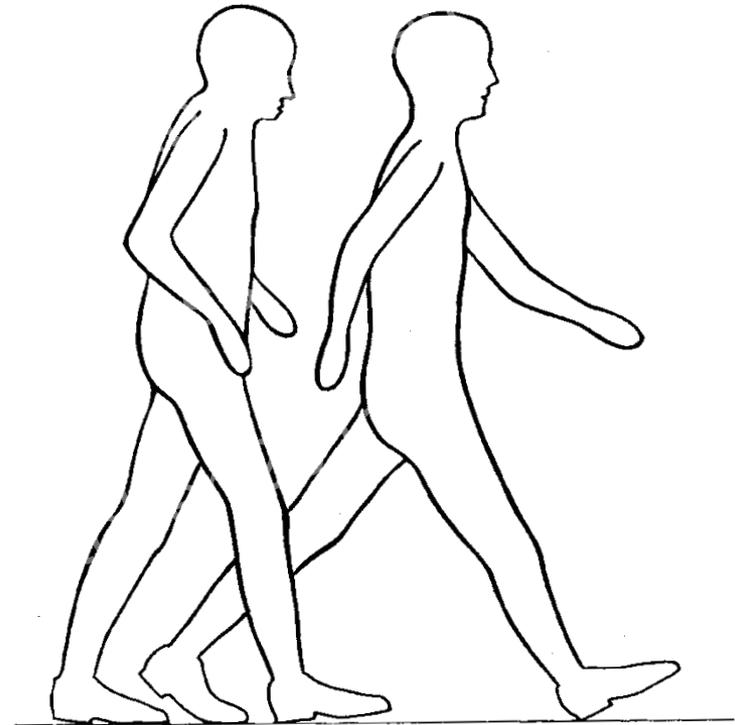
## ◆ Verringerung des Spitzendrucks im Ballenbereich

- Bei Nichtdiabetikern ca. 25 %
- Bei Diabetikern mit Neuropathie ca. 12,5 %

## ◆ Unterschied durch weniger dynamische Gangart der Diabetespatienten

# Kraftspitzen reduzieren durch angepasstes Gehverhalten

- Geschwindigkeit
- Schrittlänge
- Gangmuster



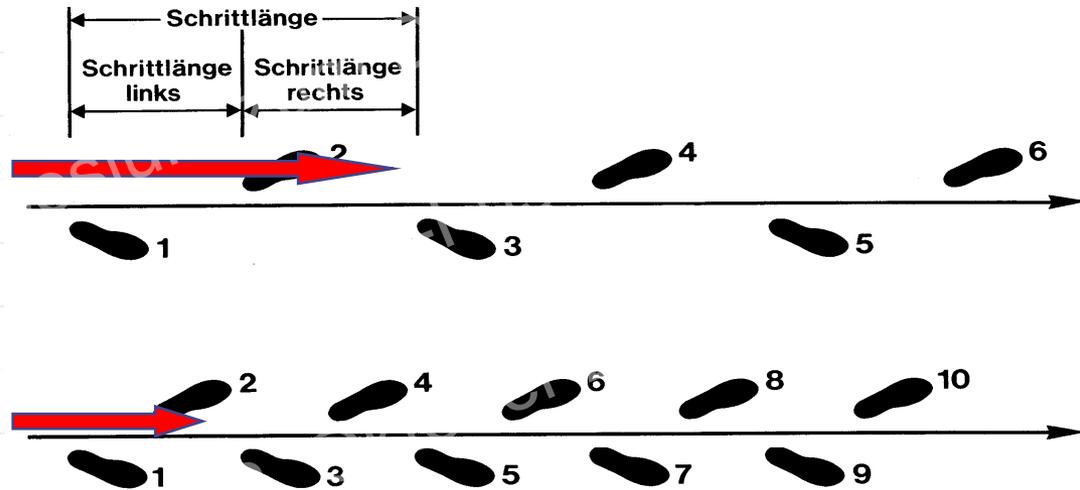
Aus Murray et al. 1969

# Geschwindigkeitsabhängigkeit



Normale Schrittlänge

Halbe Schrittlänge,  
halbe Geschwindigkeit



# Geschwindigkeit

Halbierte Geschwindigkeit beeinflusst Druckverteilung durch:

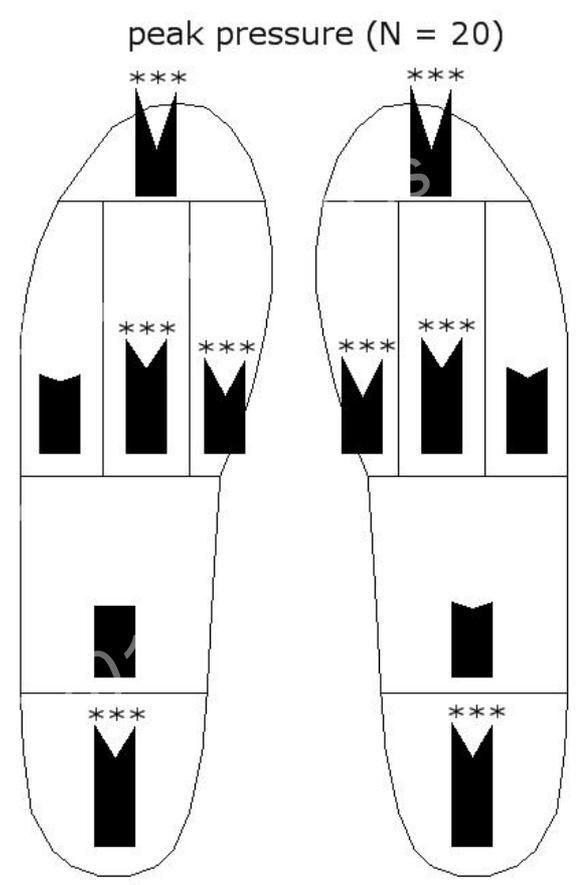
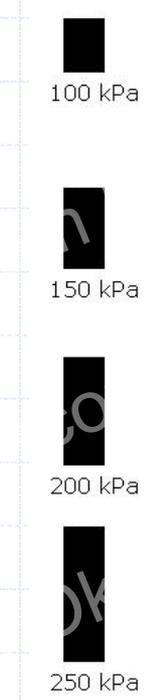
geringere Beschleunigungen

- in Gangrichtung
- in vertikaler Richtung

vergrößerte Fläche beim Zehenabstoß

normale Schrittlänge  
normale Geschwindigkeit

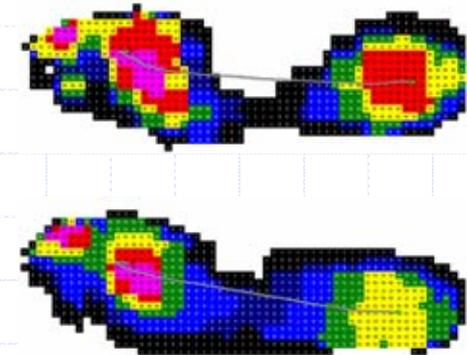
halbe Schrittlänge,  
halbe Geschwindigkeit



Verringerte Geschwindigkeit allein durch Halbieren der Schrittlänge (gleiche Kadenz)

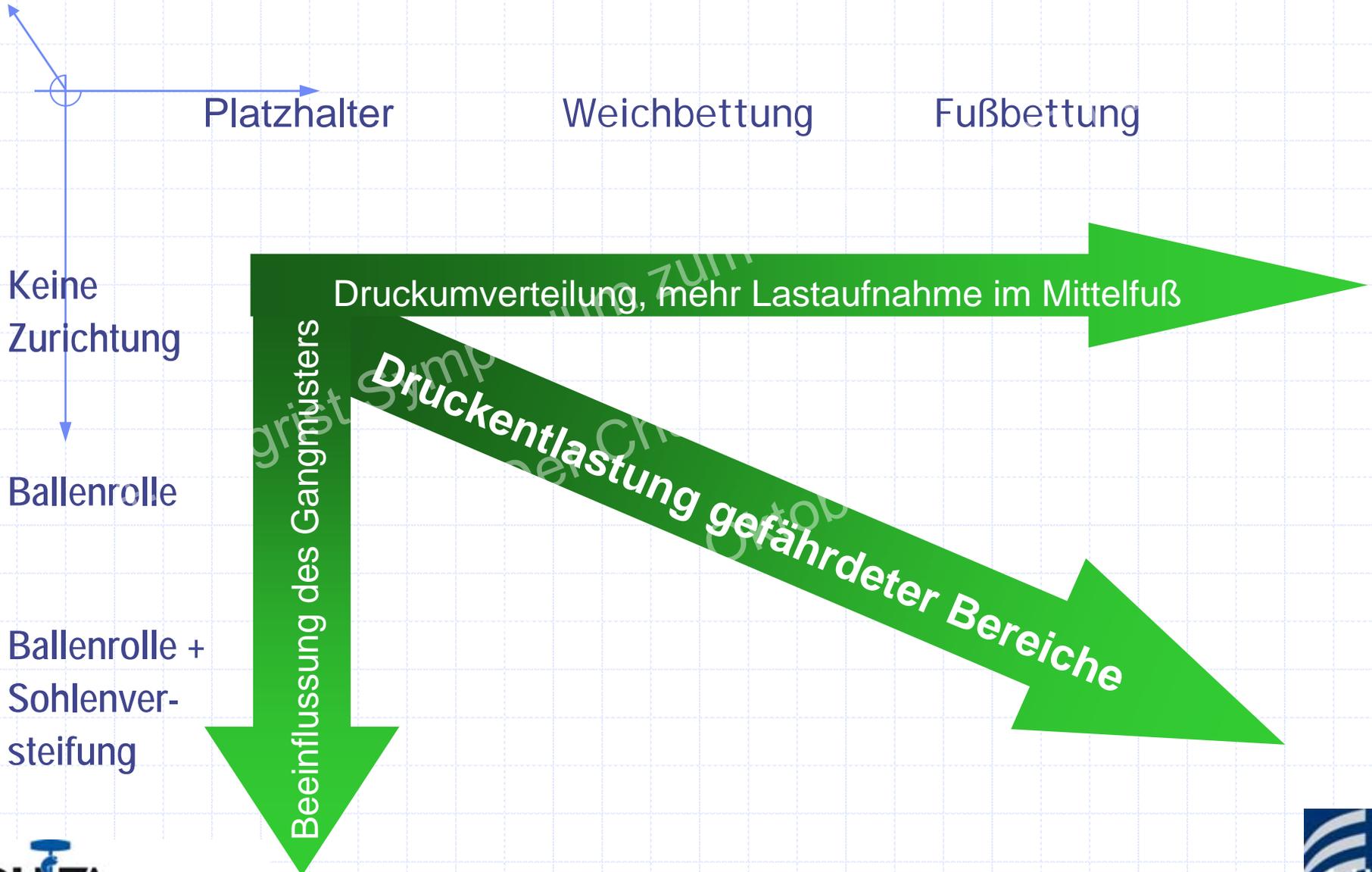
# Plantare Druckumverteilung:

- erhält das Gangbild
- gleicht Druckgefälle aus



- ◆ Bis zu Ca. 25 % Verringerung des Spitzendrucks im Ballenbereich
  - Bei Nichtdiabetikern und
  - Bei Diabetikern mit Neuropathie

# Zurichtung und Bettung



# Zusammenfassung I: Gewichtsentlastung



## ◆ Abnehmen

- Langfristiger Effekt auf Bodenreaktionskraft
- Erfordert große Kooperationsbereitschaft

## ◆ Stockstützen

- Wirkungsvoll bzgl. Bodenreaktionskraft und Spitzendruck
- Erfordert große Kooperationsbereitschaft

## ◆ TCC

- Volumenentlastung - langfristig (?)
- Kooperationsbereitschaft kein Thema

# Zusammenfassung II:

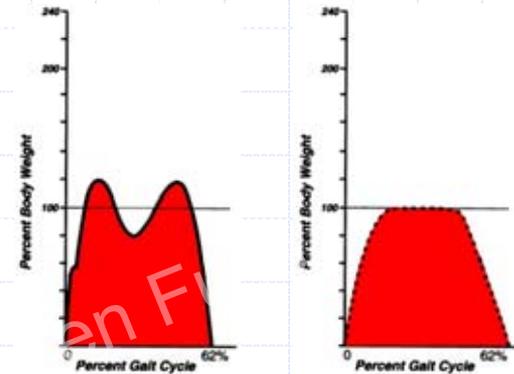
## Dynamische Effekte

### ◆ Geschwindigkeit und Schrittlänge

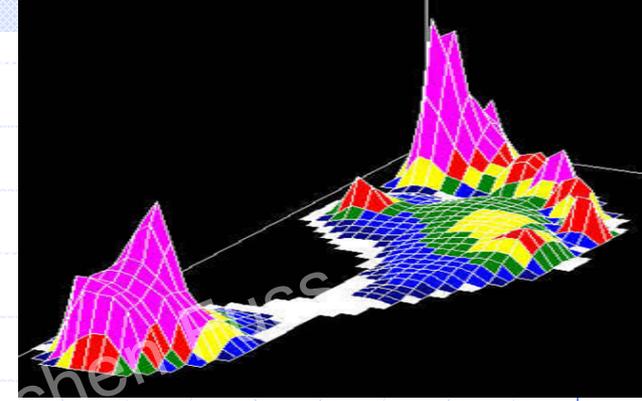
- Verringerung der dynamischen Effekte
- Auswirkungen auf Spitzendruckwerte

### ◆ Schuhzurichtung (Sohlenversteifung, Ballenrolle, TCC)

- Kraftumverteilung in der Zeit
- Auswirkungen auf Gangmuster
- Verringerung der Gelenkbewegungen und Muskelaktivität
- Auswirkungen auf Spitzendruckwerte: Verringerung bei Diabetikern 12,5%
- Unterschiedliche Entlastungen bei Gesunden und bei diabetischer Neuropathie



# Zusammenfassung III



## Entlastung durch plantare Druckumverteilung

### ◆ Bettung (Härte und Form)

- Druckumverteilung in der Fläche
- Verringerung des Spitzendrucks bis zu 25%
- Gleicher Entlastungen bei Gesunden wie bei diabetischer Neuropathie



**Danke**

4. Balgrist Symposium zum Diabetischen Fuss  
Der Charcot-Fuss

27. - 28. Oktober 2011