

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



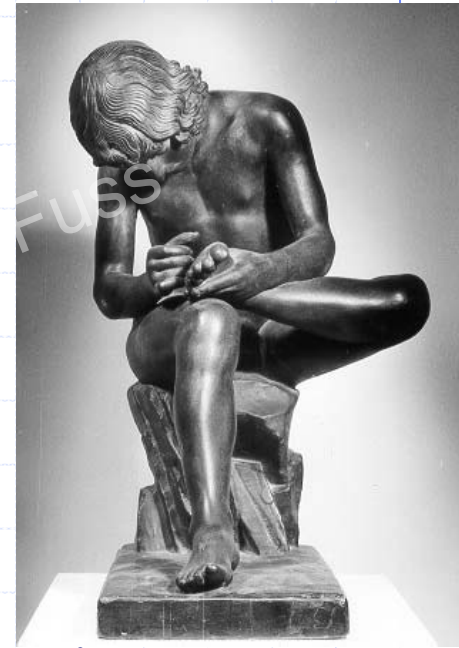
Warum Druckentlastung?

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

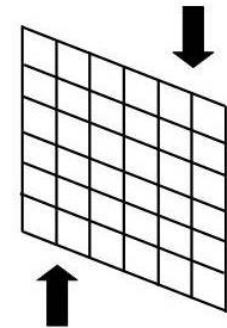
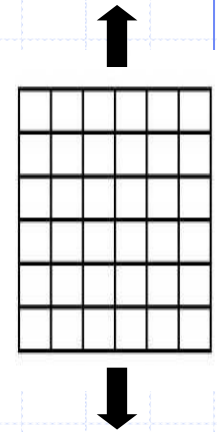
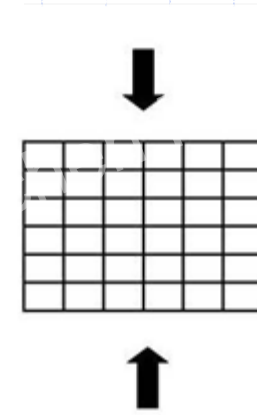
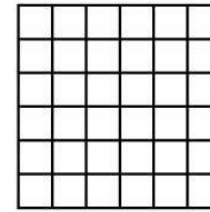
Pragmatisches Verhalten:

- Prophylaktische Entlastung
- Unterbrechung der Wirkungskette
- Verringertes Ulzerationsrisiko



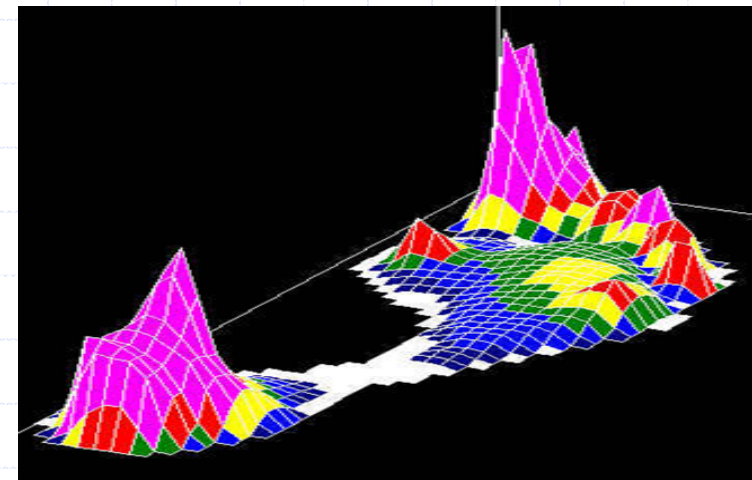
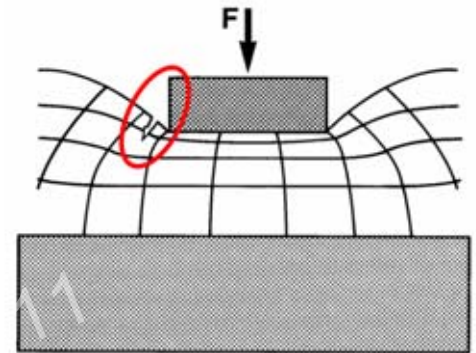
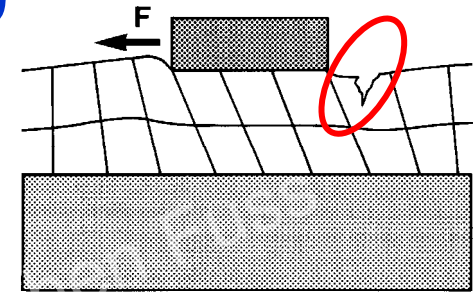
Belastung und Beanspruchung

- ◆ 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

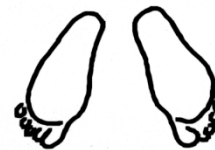


Statisch belastete Fläche und Druck

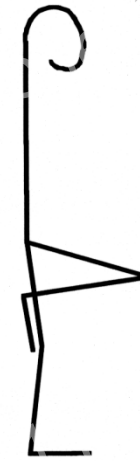
- ◆ Druck = Kraft/Fläche
- ◆ Person mit Gewicht 750N
- ◆ Bei Belastung der gesamten Fußsohle und beidbeinigem Stand: ca. 25 kPa
- ◆ Entspricht in etwa dem systolischen Druck im Fuß
- ◆ Bei kleineren Flächen höhere Druckwerte
- ◆ Übersteigen des systolischen Drucks



300 cm²



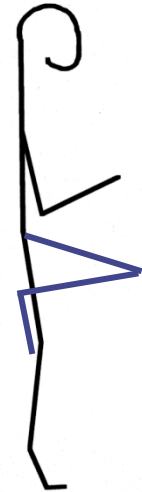
25 kPa
2,5 N/cm²



150 cm²



50 kPa
5,0 N/cm²



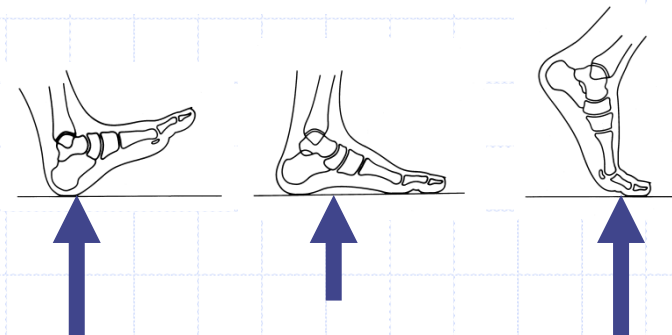
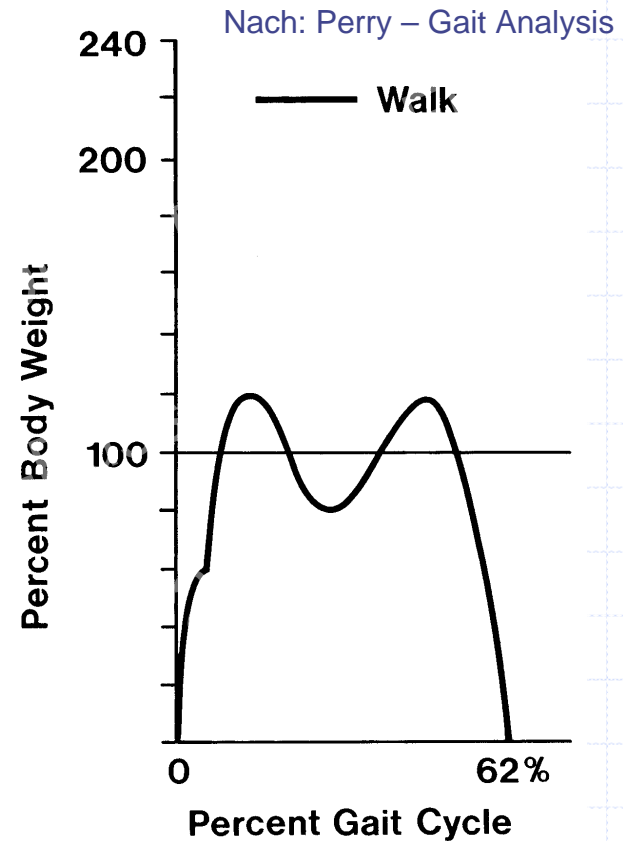
50 cm²



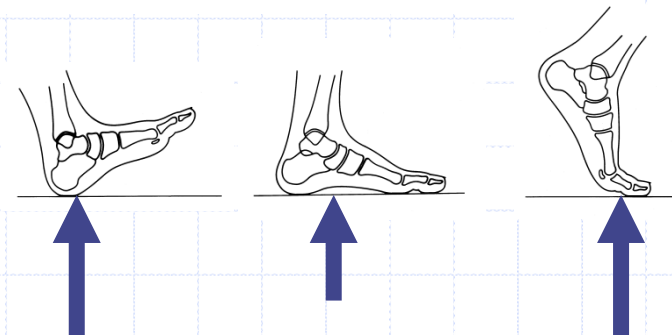
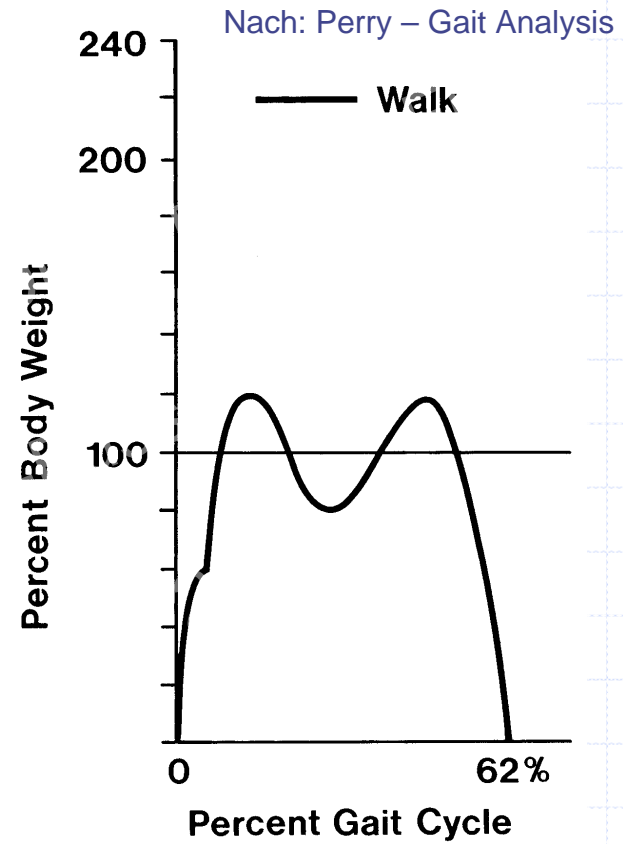
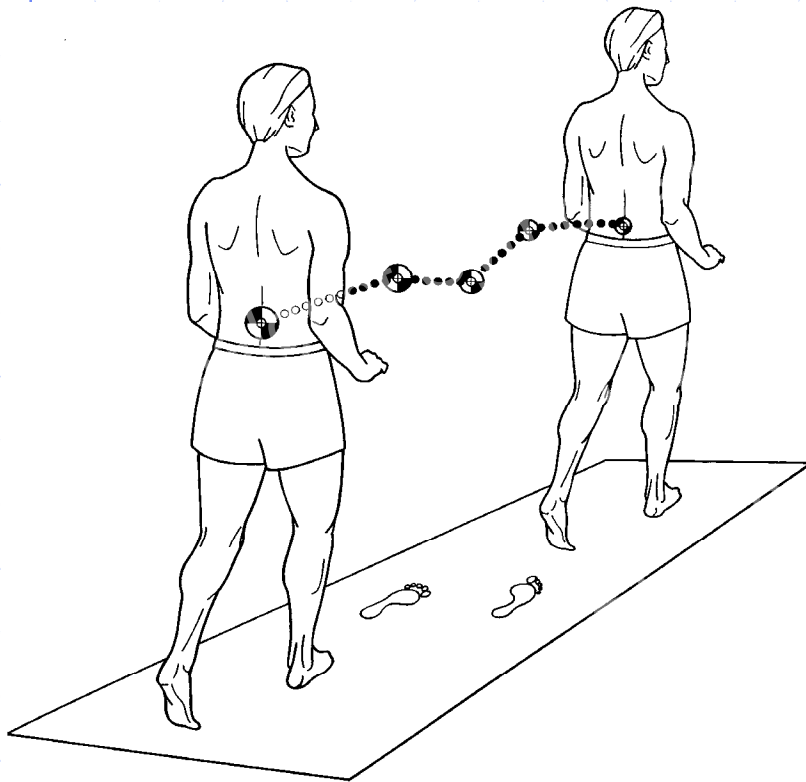
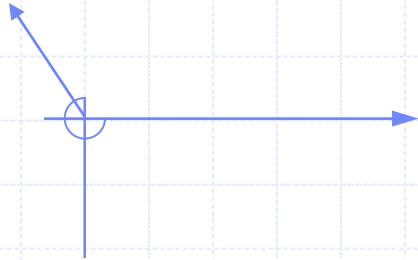
150 kPa
15,0 N/cm²

Gewichtskraft und Bodenreaktionskraft

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

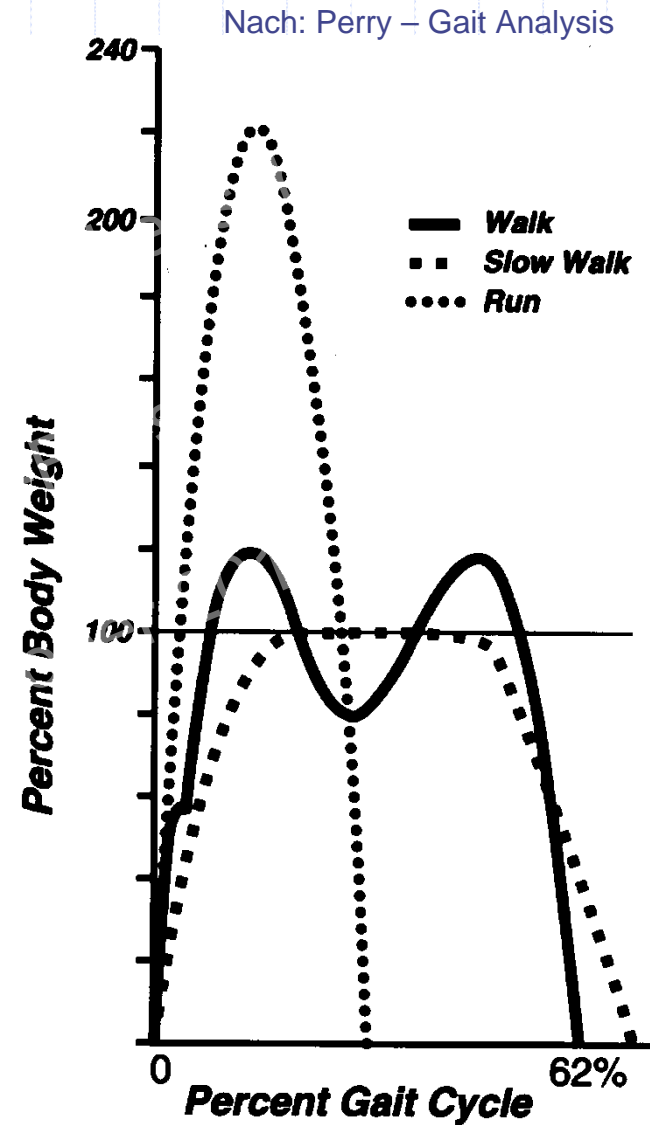
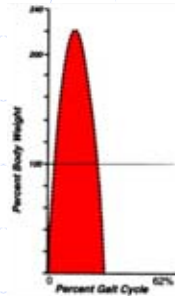
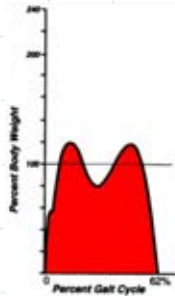
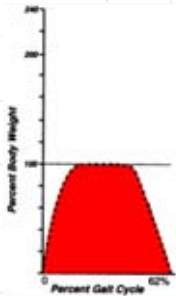


Gewichtskraft und Bodenreaktionskraft



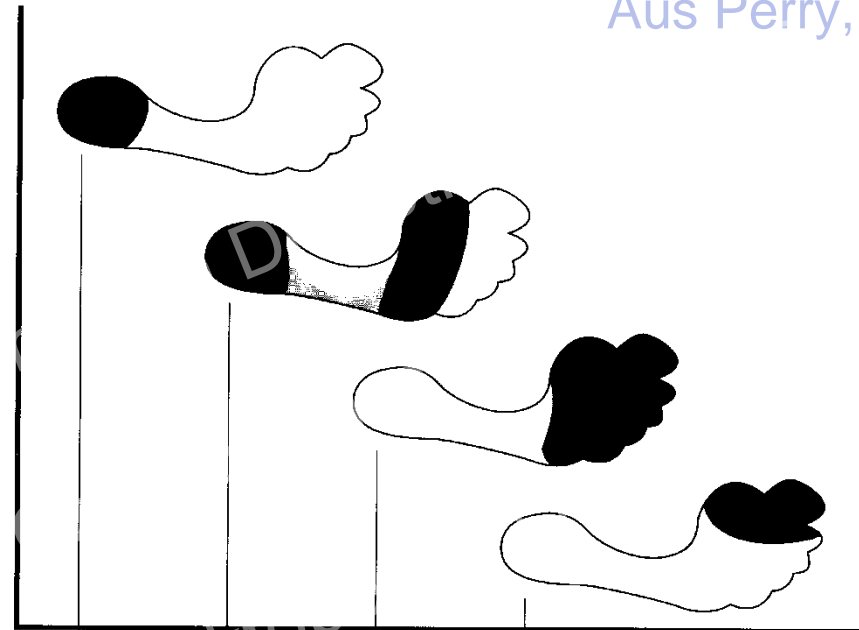
Gewichtskraft und Bodenreaktionskraft

- ◆ 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.

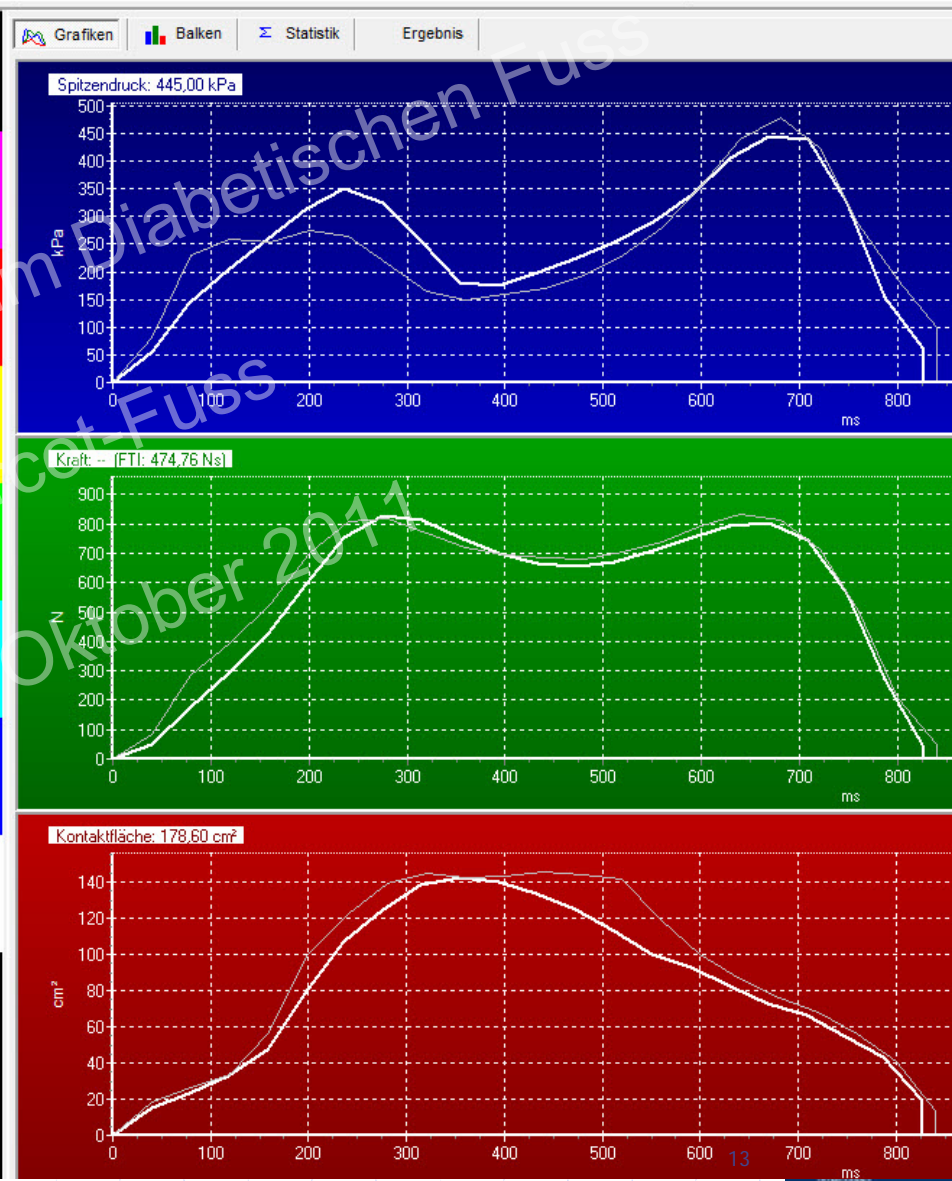
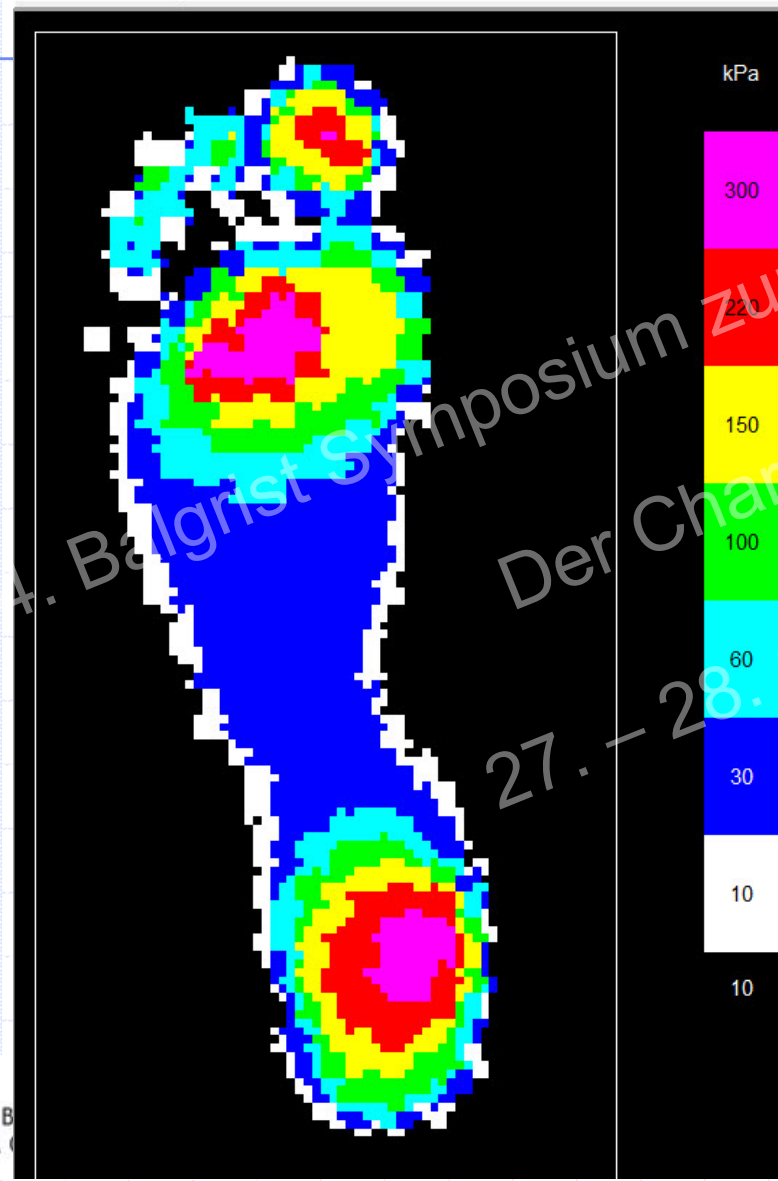
Vorbereitung Schwungph.



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

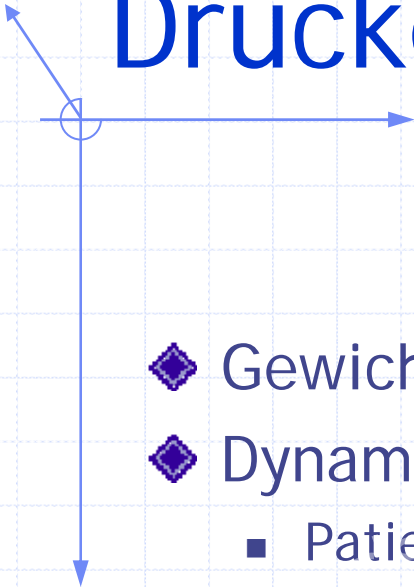
Typische Druckverteilung

Spitzendruck, Kraft und Fläche

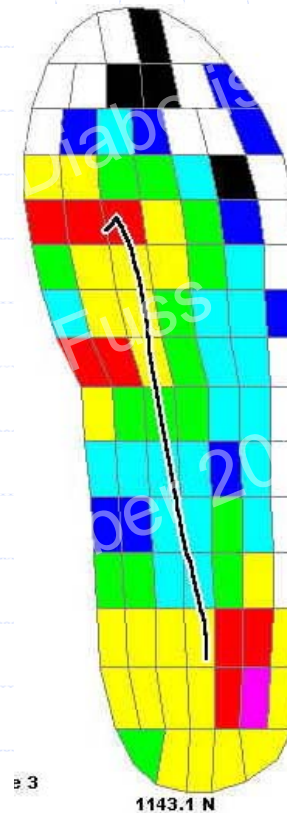


4. Balgrist Symposium zum Diabetischen Fuss
Der Charcot-Fuss
27. - 28. Oktober 2011

Biomechanische Aspekte der Druckentlastung



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



<< Alte
Neue >>
Schuh-
versor-
gung

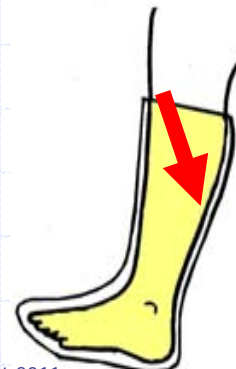


Gewichts-Entlastung

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

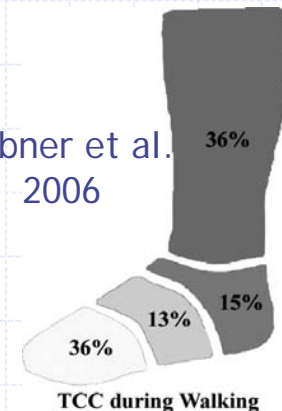


Burns, Begg
2010



Biomechanik Balgrist 2011

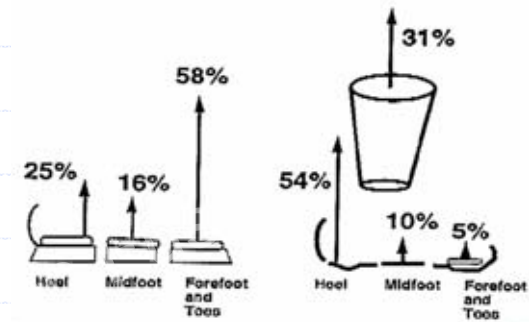
Leibner et al.
2006



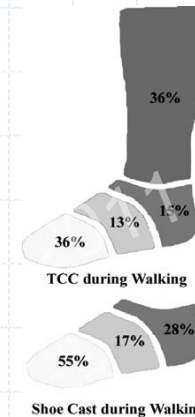
Total contact cast

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



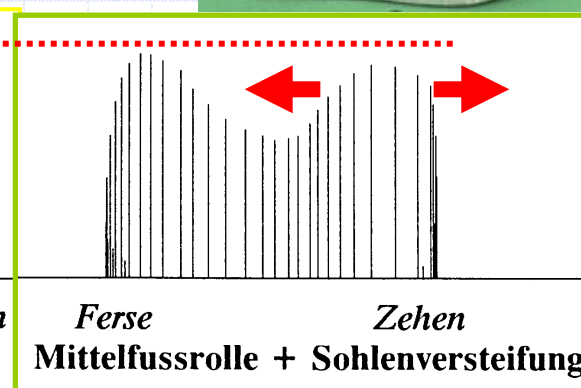
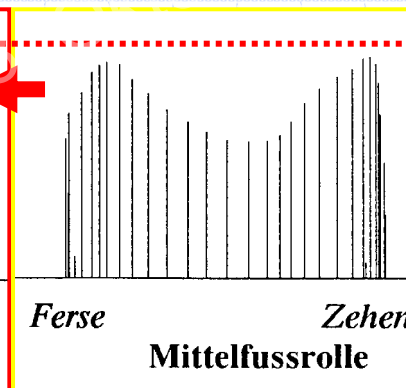
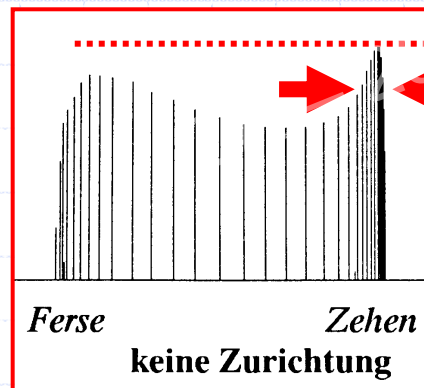
Dynamische Entlastung: Veränderung des Gangmusters durch Schuhzurichtung



Wanderung des Kraftangriffspunktes wird im Ballenbereich durch Schuhzurichtung beschleunigt

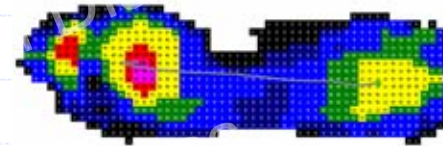
Dauer der Ballenbelastung verkürzt

Höhe der Ballenbelastung schrumpft geringfügig

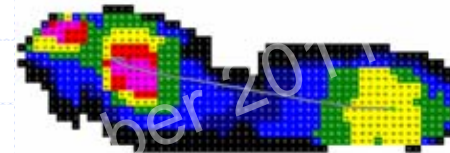


Unterschiedliche Wanderung des Kraftangriffspunktes

Belastungsminderung durch Schuhzurichtung



< **Mittelfußrolle +
Sohlenversteifung**



< **Ohne Zurichtung**

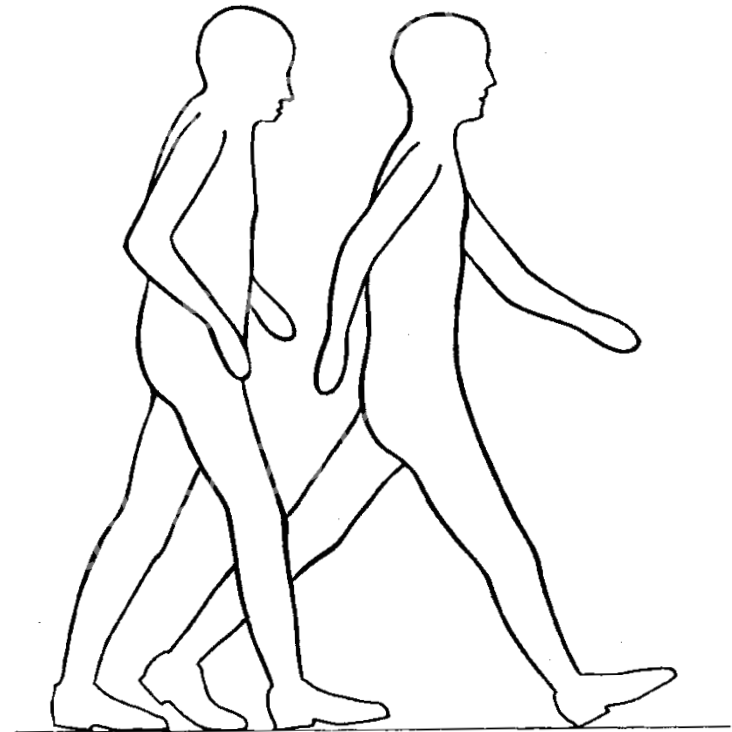
◆ Verringerung des Spitzendrucks im Ballenbereich

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

◆ Unterschied durch weniger dynamische Gangart der Diabetespatienten

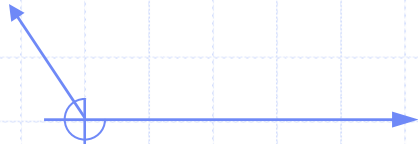
Kraftspitzen reduzieren durch angepasstes Gehverhalten

- Geschwindigkeit
- Schrittlänge
- Gangmuster



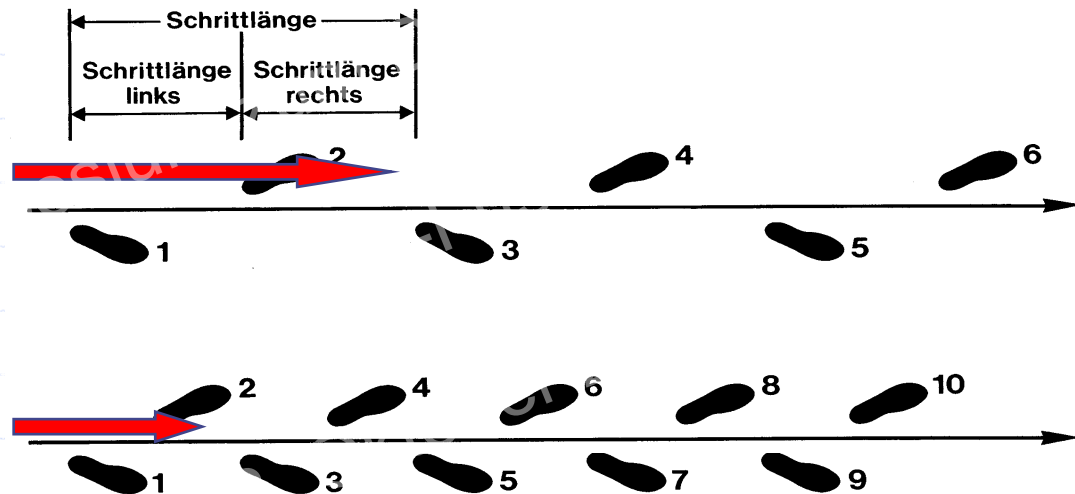
Aus Murray et al. 1969

Geschwindigkeitsabhängigkeit



Normale Schrittlänge

Halbe Schrittlänge,
halbe Geschwindigkeit



Geschwindigkeit

Halbierte Geschwindigkeit beeinflusst Druckverteilung durch:

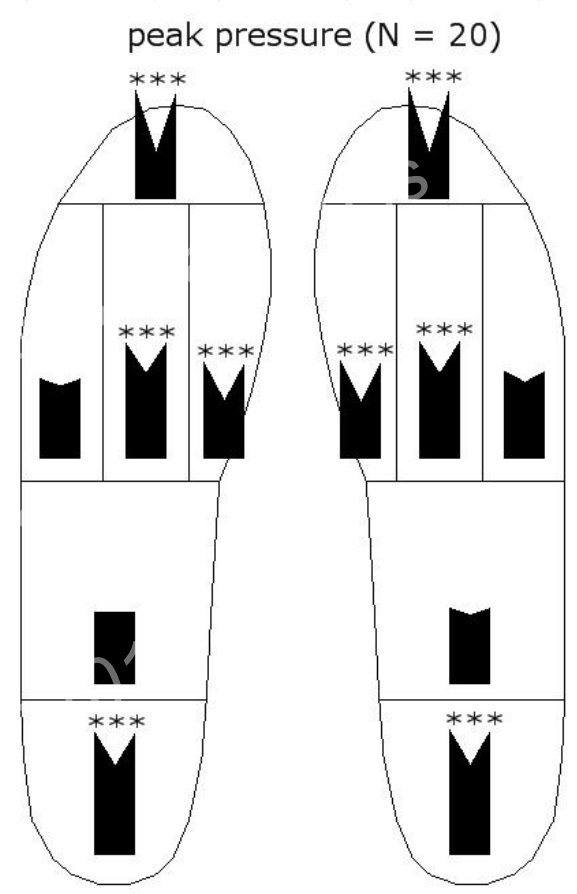
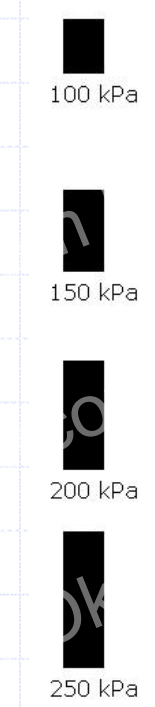
◆ geringere Beschleunigungen

- in Gangrichtung
- in vertikaler Richtung

◆ vergrößerte Fläche beim Zehenabstoß

normale Schrittlänge
normale Geschwindigkeit

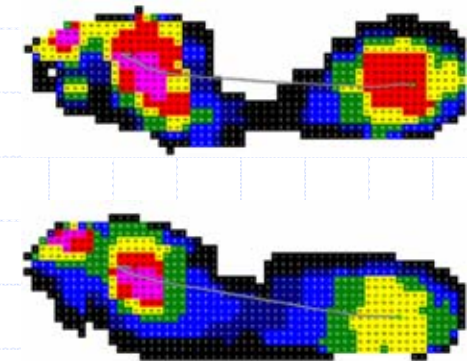
halbe Schrittlänge,
halbe Geschwindigkeit



Verringerte Geschwindigkeit allein durch Halbieren der Schrittlänge (gleiche Kadenz)

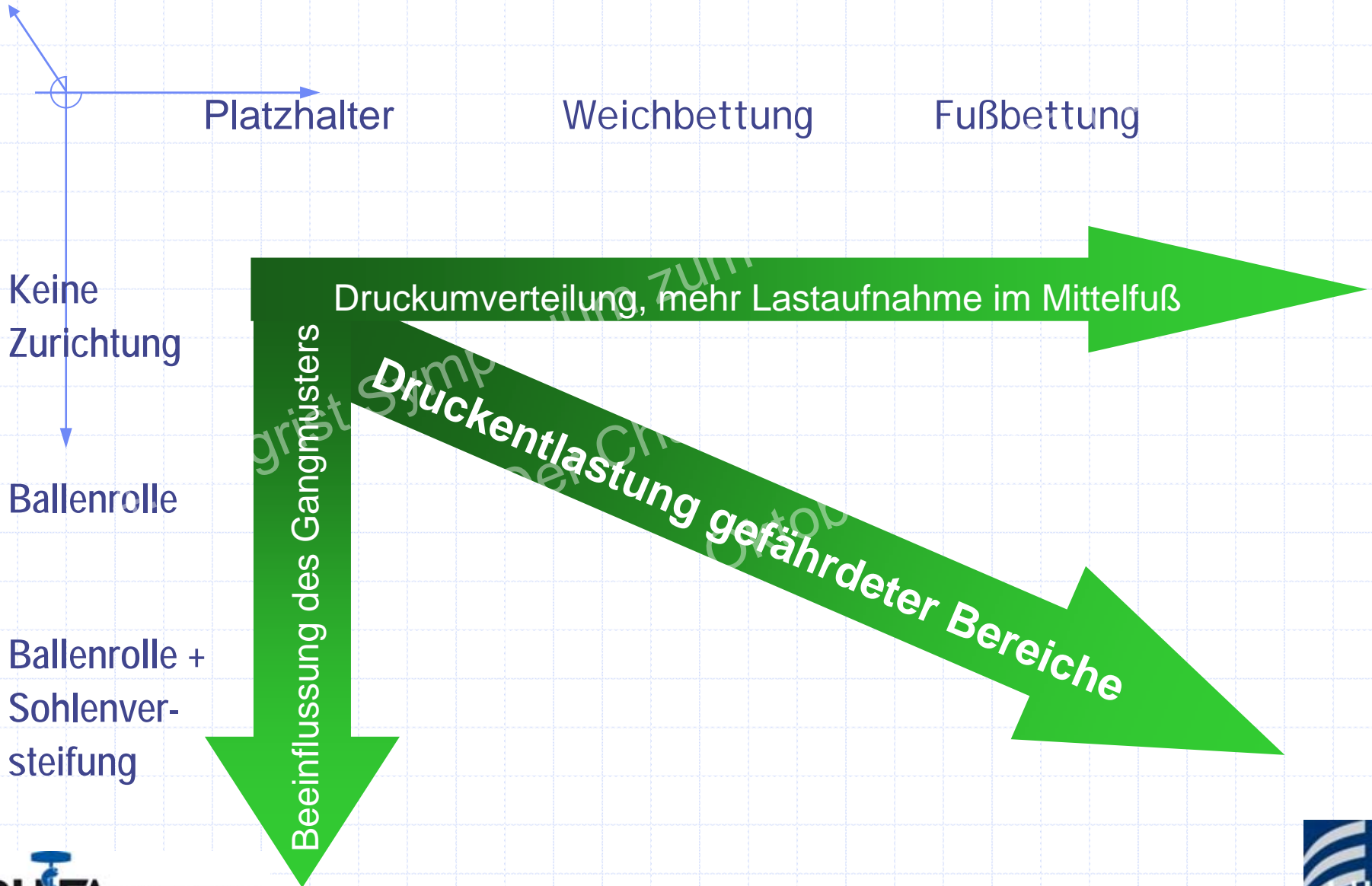
Plantare Druckumverteilung:

- 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:

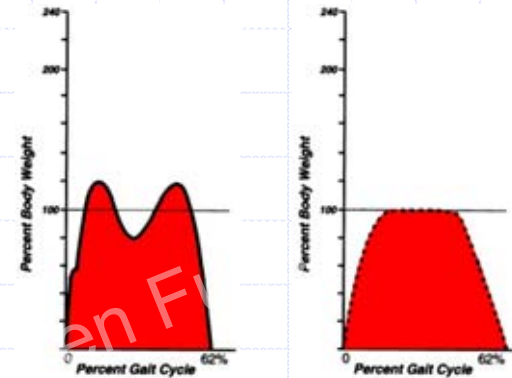
Dynamische Effekte

◆ Geschwindigkeit und Schrittlänge

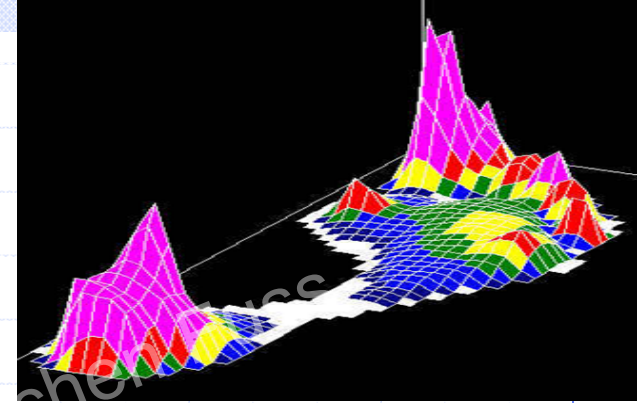
- Verringerung der dynamischen Effekte
- Auswirkungen auf Spitzendruckwerte

◆ 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