

*Das Diabetische Fussulkus*

*5. Balgrist Symposium zum diabetischen Fuss*

*Uniklinik Balgrist*

*31. Oktober - 1. November 2013*

Der diabetische Fuß aus  
biomechanischer Sicht

*Burkhard Drerup, Prof. em.*

*Biomechanik-Dozent*

*BuFa, Dortmund*

# Der diabetische Fuß aus biomechanischer Sicht

- Literatur
  - Druck und Ulkus
- Ulkuserstehung
  - Gewebsänderungen bei DNOAP
  - Belastung und Beanspruchung des plantaren Gewebes
- Druckentlastung
  - Interpretation von Druckverteilungen
  - Maßnahmen zur Druckreduktion

# Gesichertes Wissen (Literatur): Druck und Entstehung von Ulzera

- **Überhöhter Druck allein erzeugt nicht notwendig ein Ulkus**  
(Masson EA, Hay EM, Stockley I, Veves A, Betts RP, Boulton AJ. Abnormal Foot pressures alone may not cause Ulceration. Diabet Med. 1989 Jul;6(5):426-8.)
- **Erhöhter plantarer Fußdruck erhöht das Ulkusrisiko. Keine Schwellwerte!** (Bus S.A. Priorities in offloading the diabetic foot. Diabetes Metab Res Rev. 2012; 28(Suppl 1):54–59)
- **Erhöhtes Risiko bei Patienten mit mittelgradigem bis schwerem Sensibilitätsverlust** (Young MJ, Breddy JL, Veves A, et al: The prediction of diabetic neuropathic foot ulcer-ation using vibration perception thresholds: a prospective study. Diabetes Care 17:557-560, 1994)
- **Risiko lässt sich durch Verringerung des plantaren Drucks senken.** T. M. Owings, J. Apelqvist, A. Stenström, M. Becker, S.A. Bus, A. Kalpen, J.S. Ulbrecht, P.R. Cavanagh (2009) Complications Plantar Pressures in Diabetic Patients with Foot Ulcers which have Remained Healed

# Gewebs- und Funktionsänderungen am Fuß bei DNOAP

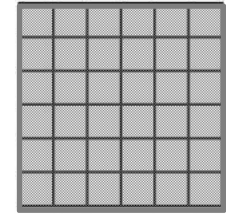
- Haut
  - Hautdicke und Elastizität nehmen ab
- Plantare Fettpolster
  - Atrophieren, verlieren Homogenität, Verschiebung nach distal
- Muskeln
  - Umbau der Fibrillen, Schwächung, verzögerte Aktivierung
- Sehnen
  - Verdickung, Kontraktur, Verhärtung, verringerte Elastizität
- Knochen
  - Abnahme des Knochenmineralgehalts, Resorption
- Gelenkbeweglichkeit
  - Einschränkung auf ca. 50% der physiolog. Beweglichkeit

# Druckschädigungen

- Minderdurchblutung
  - Druck-Dosis = Druck \* Dauer
  - Reperfusionsschäden
- Mechanisch
  - Kraft über Zerreißgrenze
- DNOAP: Grenzwerte abgesenkt
- Schäden an Haut und/oder tiefem Gewebe
- Hautverletzungen
- Keimpforte / Entzündungsrisiko

# Äußere Kräfte – innere Verformung:

*unbelastet*

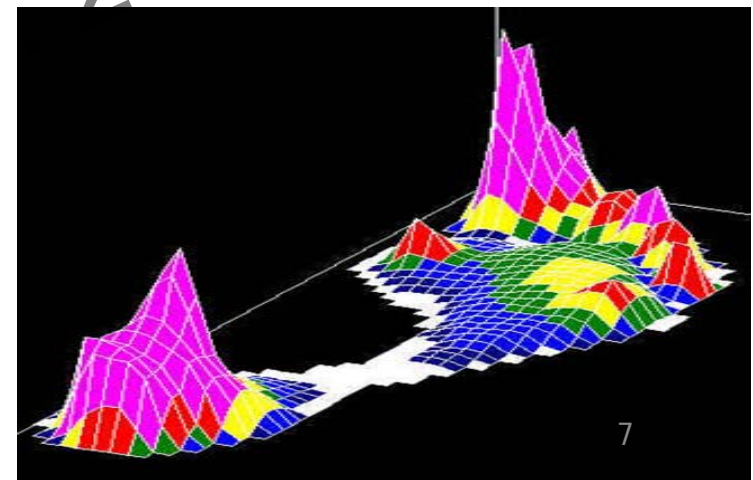
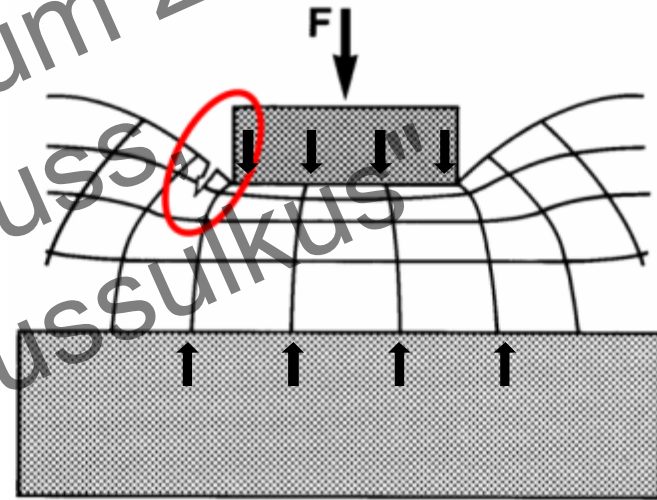


- Biomechanik:  
**Belastung und Beanspruchung**
- **Richtung und Angriffspunkte** des Kräftepaars
- Im Volumen: **Spannung**
- Gewebe reagiert mit **Deformation** (Beanspruchung)
- Wichtig: **Normalspannung**

*Scherung*

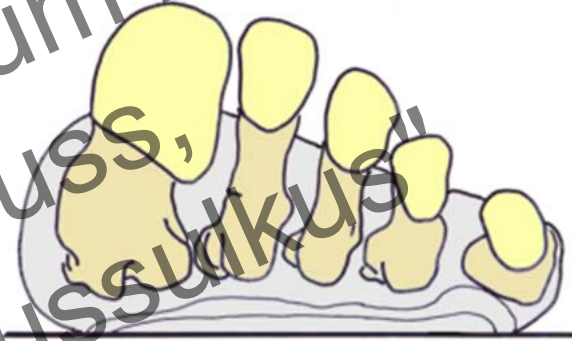
# Verteilung von Spannungen an der Oberfläche

- Gleichmäßig verteilter Druck ist ungefährlich (Taucher)
- In Übergangszonen (lokales Druckgefälle) Scher- und Zugkräfte
- Auf hohes Druckgefälle in Druckverteilungsmessungen achten

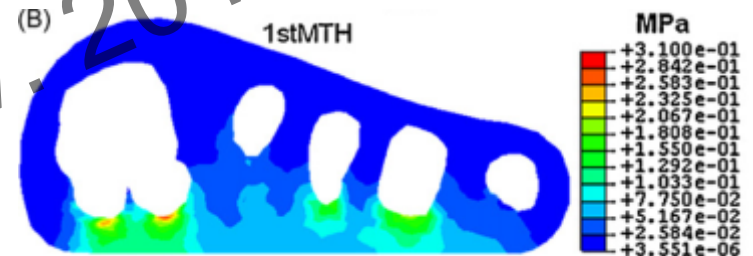


# Beanspruchung im Inneren

- FE Modellrechnung
- Gewebsverschiebungen
- von Mises-Spannung  
(anschaulich: gespeicherte Verformungsenergie)



Verschiebelinien im Sagittalschnitt durch Metatarsalia bei Belastung gegenüber dem unbelasteten Fuß  
Nach Chen et al. Med. Eng. & Physics 2010

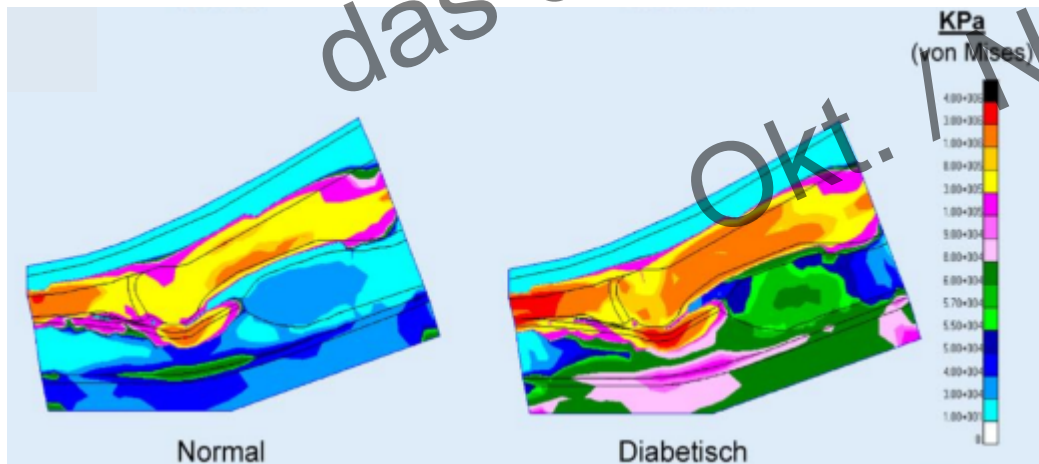
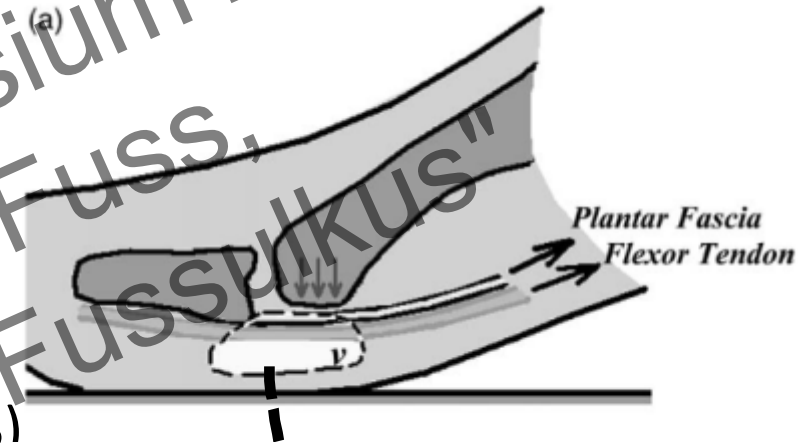


v. Mises Spannung im Sagittalschnitt durch Metatarsalia bei Belastung  
Chen et al. Med. Eng. & Physics 2010



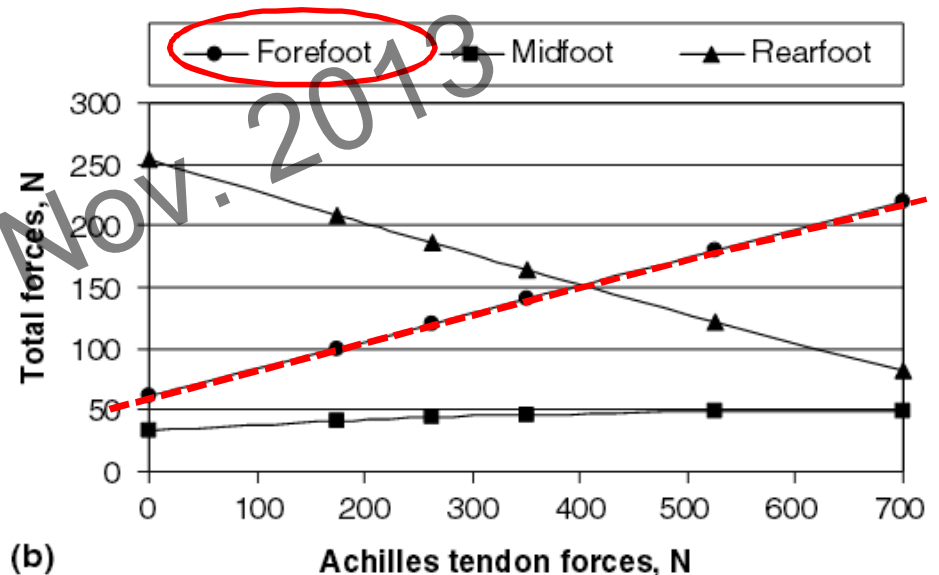
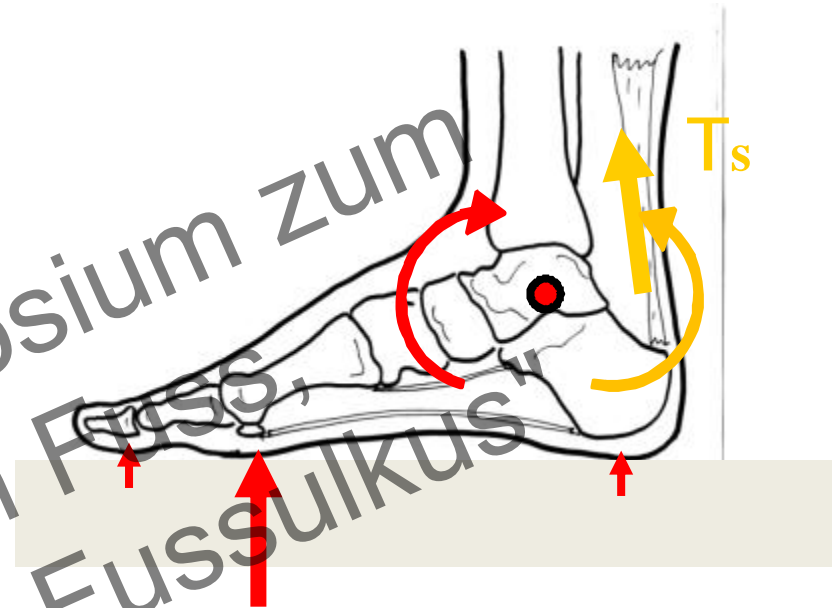
# von Mises Spannung physiologisch - diabetisch

- 2. Strahl
- Gesundes und glykiertes Gewebe
- Innere Beanspruchung bis 300% erhöht, wenn plantarer Druck um 50% steigt
- Kompression (C), Zug (T), Scherung (S)
- Nach A. Gefen, Ausbreitung von Ulzerationen im diabetischen Fuß, Der Orthopäde 2004



# Belastungsänderung durch DNOAP

- Stand
- Achillessehne verkürzt und versteift
- Erhöhte Ballenbelastung
- Gleichzeitig verringerte Druckresistenz



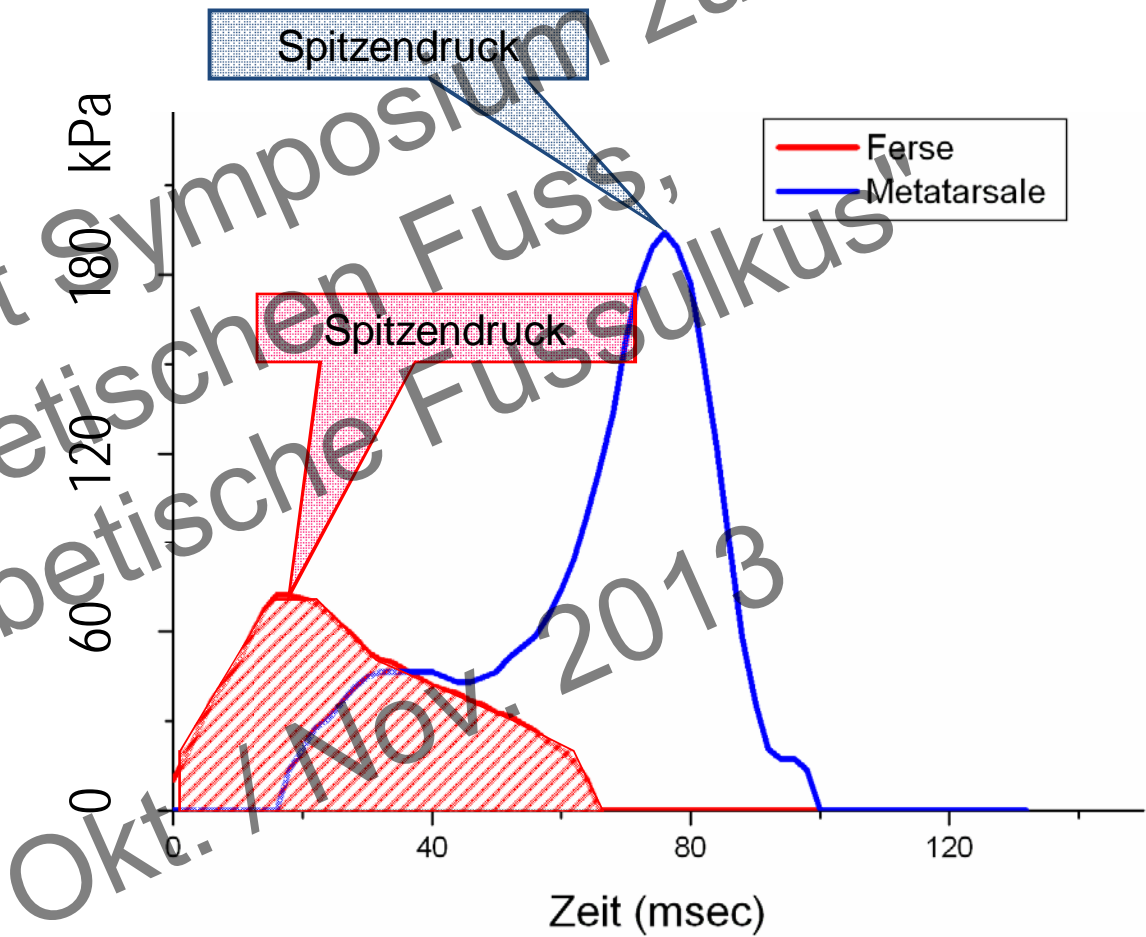
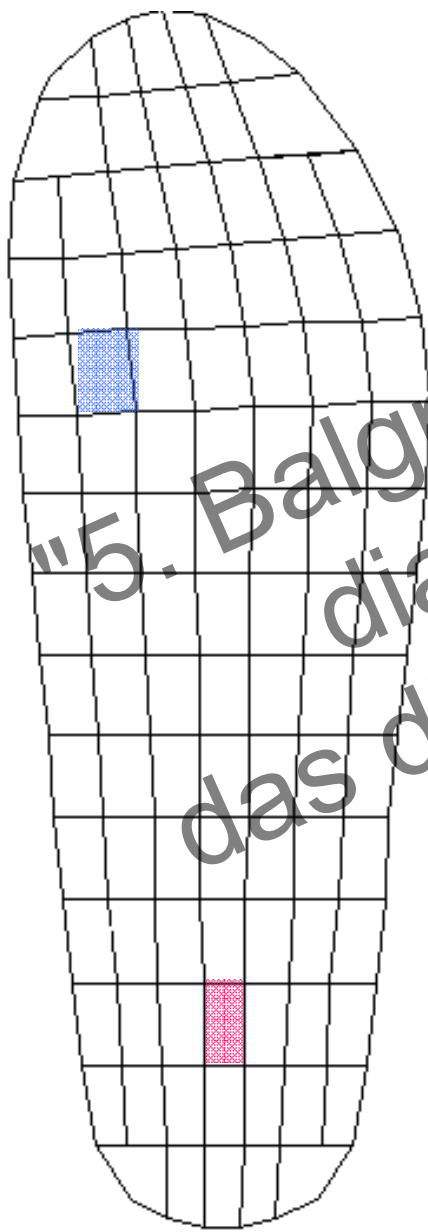
(b)

# Konsequenzen für Prophylaxe und Behandlung

## Druckentlastung

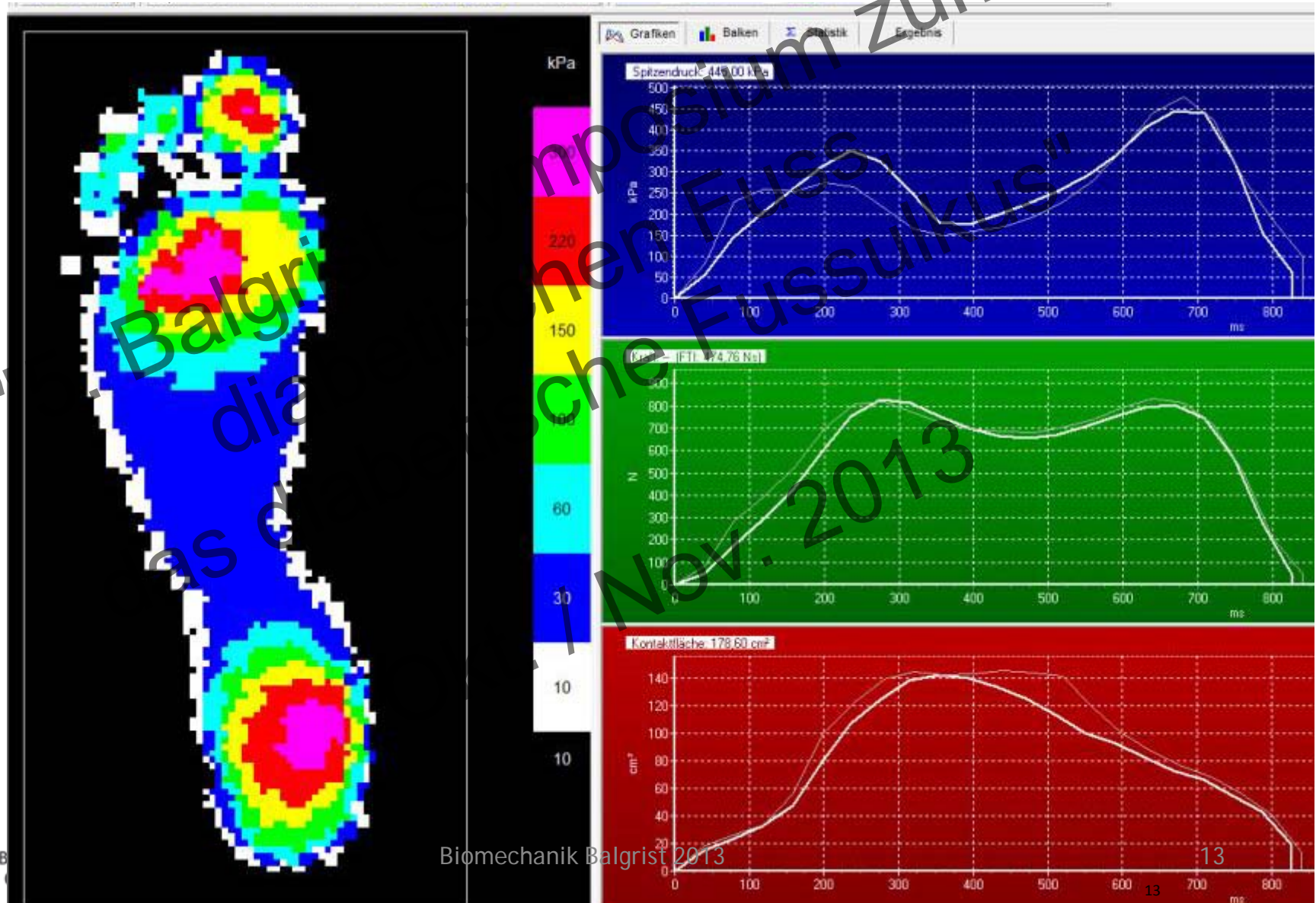
- Chirurgisch: Verlängerung der Achillessehne/Tenotomie
- Orthopädieschuhtechnik
- Physiotherapie: Gangmuster und Geschwindigkeit

# Spitzendruck



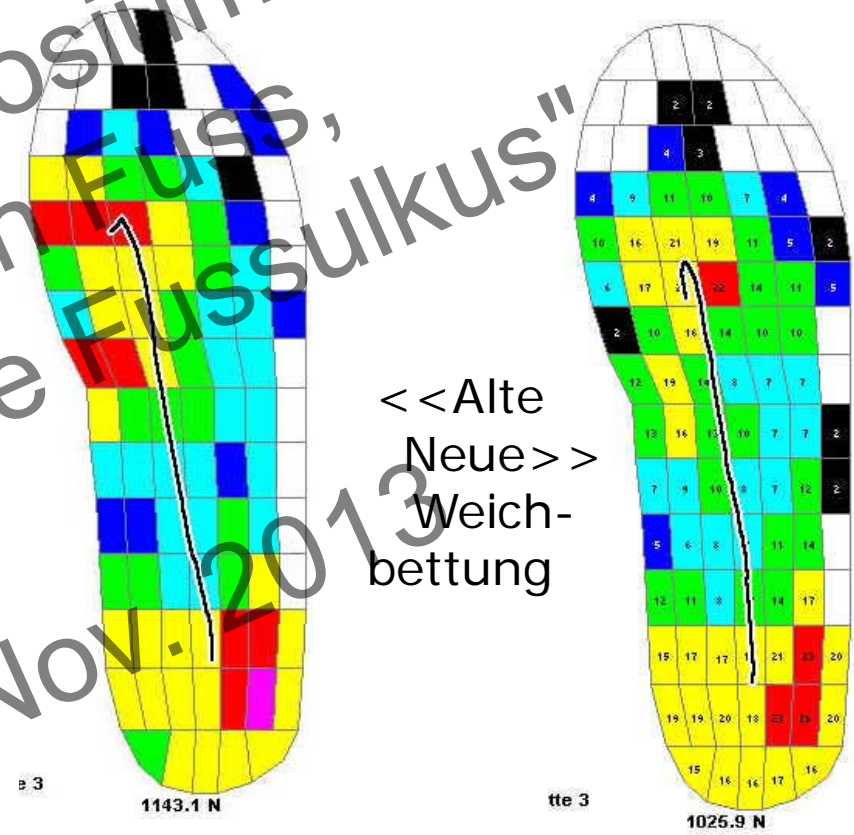
# Typische Druckverteilung

Spitzendruck, Kraft und Fläche



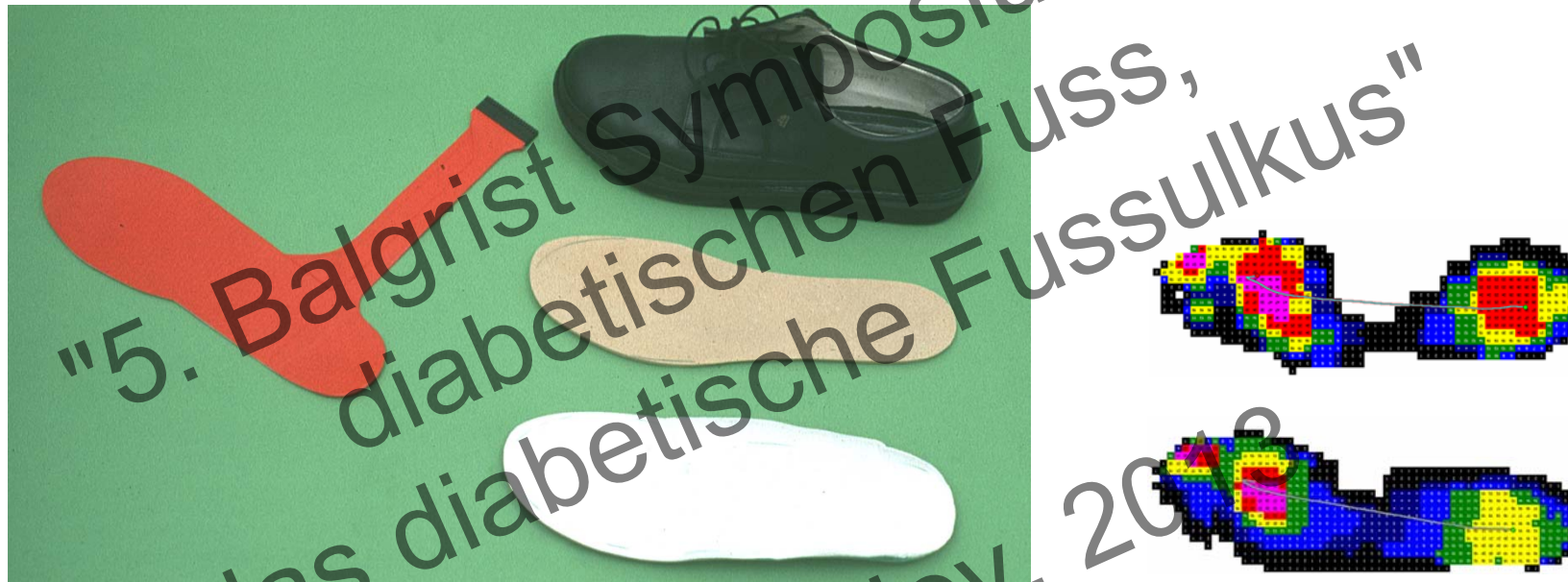
# Orthopädieschuhtechnische Druckentlastung

- Gewichtskraft umverteilen
  - Umverteilung in der Fläche durch Weichbettung
  - TCC (OT)
- Dynamische Kräfte umverteilen
  - Schuhzurichtung
  - Gangmuster



# Plantare Druckumverteilung:

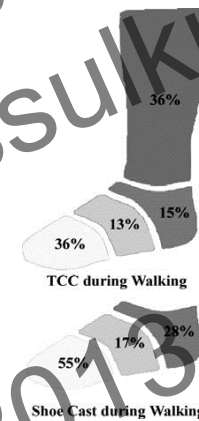
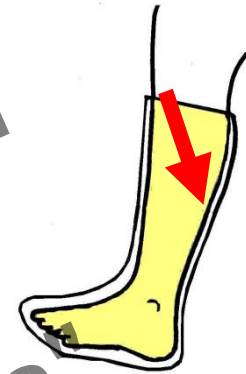
- gleicht Druckgefälle aus
- Vermeidet Scherkräfte



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

# Total contact cast

- angelsächsische Literatur:  
TCC Goldstandard
- Konvexe Abrollsohle
- Ruhigstellung aller Gelenke
- Verringerte Muskelaktivität
- Unabhängig von  
Kooperationsbereitschaft
- Neuere Arbeiten: Verbesserte  
plantare Weichbettung
- Entlastung ca. 1/3 des  
Körpergewichts



Aus: Leibner  
et al. 2006



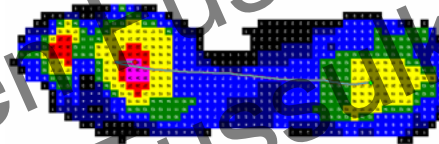


## Dynamische Entlastung: Veränderung des Gangmusters durch Schuhzurichtung

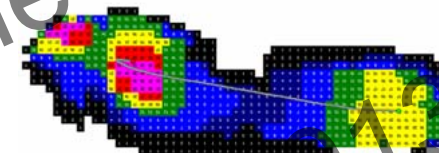


- Wanderung des Kraftangriffspunkts (COP) wird im Ballenbereich durch Schuhzurichtung beschleunigt
- Dauer der Ballenbelastung verkürzt
- Höhe der Ballenbelastung verringert

# Belastungsminderung durch Schuhzurichtung



Mittelfußrolle +  
Sohlenversteifung



Ohne Zurichtung

- Druckspitzen werden zeitlich gestreckt
- Weniger dynamisches Gangmuster
- Dadurch Verringerung des Spitzendrucks im Ballenbereich
  - Bei Nichtdiabetikern ca. 25 %
  - Bei Diabetikern mit Neuropathie ca. 12,5 %

# Zusammenfassung

- Ulzera beim diabetischen Fuß haben immer mehrere Ursachen
- Biomechanische Faktoren tragen wesentlich bei
- Gewebsschäden können auch innen entstehen
- Prophylaxe durch Druckreduktion
- Wichtigster Parameter zur Kontrolle des Drucks: Spitzendruck
- Auf Druckgradienten achten
- Druckreduktion durch:
  - Druckumverteilung und Kraftübernahme von außen
  - Glättung dynamischer Spitzen

# Danke

"5. Balgrist Symposium zum  
diabetischen Fuss,  
das diabetische Fussulkus"  
Okt.-Nov. 2013

