

## Anwendung der Druckverteilungsmessung in der Technischen Orthopädie

Application of the measurement of pressure distribution in prosthetics and orthotics

Das Anwendungsspektrum der Druckverteilungsmessung reicht von der Sport- und orthopädischen Biomechanik bis hin zur Rehabilitation und Orthopädie-Technik. Im Folgenden werden zwei typische Beispiele für Anwendungen in der Technischen Orthopädie aufgezeigt: Die Anpassung von Oberschenkel-schäften und die Herstellung von orthopädischen Maßschuhen, insbesondere für den diabetischen Fuß. Die Druckverteilungsmessung ist ein wirksames Instrument, um die Mechanismen der Kraftübertragung zwischen Haut und Skelett zu erfassen und zu verstehen. Sie erlaubt es, kritische Grenzwerte für die Übertragung von Drücken zu formulieren, etwa wenn die Belastung zu lang dauert oder zu hoch ist.

The application range of the measurement of pressure distribution reaches from sports and orthopaedic biomechanics to rehabilitation and prosthetics and orthotics. In the following article two typical examples for the application in prosthetics and orthotics are given: the adaptation of AK sockets and the manufacturing of orthopaedic made-to-measure shoes, in particular for the diabetic foot. The measurement of pressure distribution is an efficient tool for recording and understanding the mechanisms of load transfer between skin and bones. It enables us to determine critical limits for the transfer of pressures, i. e. if the load is too high or lasts too long.

### Einleitung

Bei der Anpassung und Nutzung eines orthopädischen Hilfsmittels spielt der Kontakt zwischen der Haut und dem Hilfsmittel eine besondere Rolle. Unabhängig davon, ob das Hilfsmittel eine stützende, korrigierende oder stimulierende Funktion hat: Immer müssen Kräfte und Drehmomente übertragen werden. Kräfte und Drehmomente sind nicht direkt sichtbar, sie sind nur über ihre Wirkung, nämlich Beschleunigung oder Verformung, erkennbar. Für ein biomechanisches Verständnis der Wirkungsweise eines Hilfsmittels ist es daher nötig, die einwirkenden Kräfte und Drehmomente zu messen und zu analysieren.

Die Druckverteilungsmessung ist ein wichtiges Hilfsmittel für diesen Zweck. Ihr Grundbaustein ist der lokale Kraftsensor mit bekannter Ausdehnung. Er erlaubt, die senkrecht auf die Fläche einwirkende Kraft zu messen. Der Quotient aus Kraft und Fläche liefert den entscheidenden Messwert, nämlich den lokalen Wert der Normalspannung. Er wird gemeinhin als Druck bezeichnet. Bei Anwendungen in der Orthopädie-Technik interessiert besonders, an welcher Stelle und zu welchem Zeitpunkt welcher Druck gemessen wird, das bedeutet als Messaufgabe:

1) Die Erfassung und Darstellung der regionalen Verteilung der Druckwerte über eine größere Kontaktfläche. Kontaktflächen von besonderem Interesse sind die Fußsohle und die am Prothesenschaft anliegende Haut des Amputationsstumpfes.

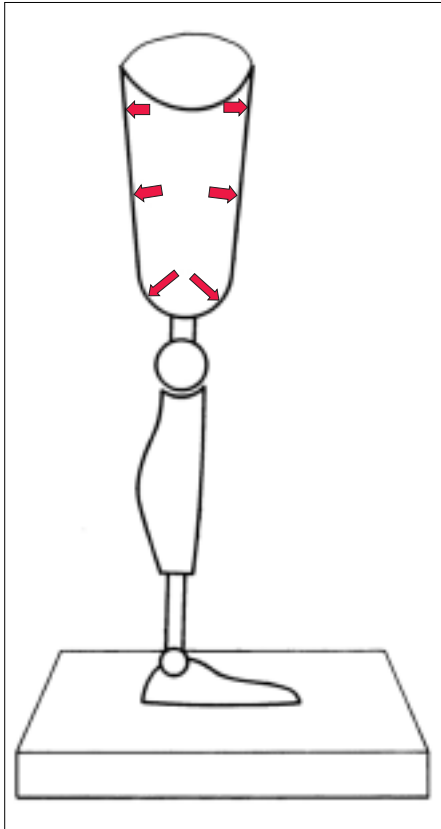
2) Erfassung und Darstellung des zeitlichen Verlaufs der lokalen Druckwerte während eines oder mehrerer Belastungszyklen.

Als technische Lösung werden für diese Messaufgaben mehrere Sensoren auf einem flexiblen Träger der benötigten Größe regelmäßig verteilt. Dieses Sensorarray wird an das Messsystem angeschlossen, sodass die einzelnen Sensoren in regelmäßigen Zeitabständen ausgelesen werden können. Das Resultat sind Druckmesswerte, die in Zeit und Lokalisierung den einzelnen Sensoren zugeordnet werden können. In ihrer Gesamtheit liefern sie eine lokale und zeitliche Druckverteilung, sodass sich hieraus der Begriff Druckverteilungsmessung rechtfertigt.

Die Messwerte können unter verschiedenen Gesichtspunkten analysiert, zueinander in Beziehung gesetzt und verglichen werden, etwa um den Ort der größten Belastung zu lokalisieren oder um die Belastung benachbarter beziehungsweise weiter entfernter Regionen zu vergleichen. Eine andere Möglichkeit ist die zeitbezogene Analyse und schließlich die Kombination lokaler und zeitbezogener Untersuchungen. Alle erwähnten Untersuchungsmethoden finden Anwendung in der Technischen Orthopädie. Die folgenden Beispiele sollen die Herangehensweise bei entsprechenden Fragestellungen verdeutlichen. Die Beispiele stammen aus der Schaftanpassung bei Oberschenkelprothesen und der Anpassung beziehungsweise Qualitätskontrolle orthopädischer Maßschuhe.

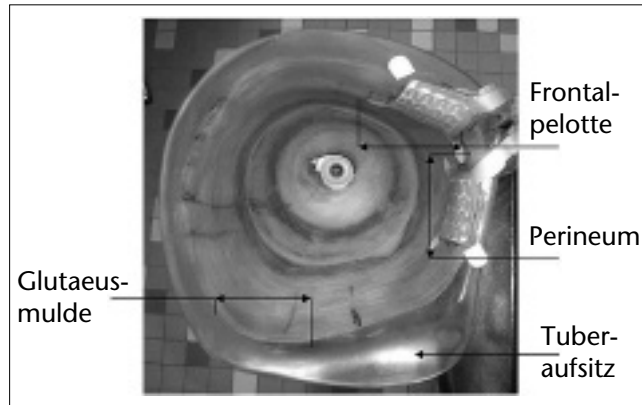
## Fragestellungen

Für die Interpretation von Druckverteilungsmessungen ist immer von großer Bedeutung, welche Art von Verteilung erwartet wird, welche Frage also mit der Druckverteilung beantwortet werden soll. Bei der Schaftanpassung, insbesondere beim tuberumgreifenden Schaft, wird eine weitgehend homogene Druckverteilung erwartet. Hier



**Abb. 1** Modellvorstellung zur hydrostatischen Druckverteilung des Stumpfes im Oberschenkelschaft (stark vereinfacht). Der Stumpf wird als flüssigkeitsgefüllt angesehen. Innerhalb eines Horizontalniveaus ist der Druck auf die Schaftwand gleich und steigt durch das Flüssigkeitsgewicht in tieferen Lagen an.

stellt sich die Frage nach der Höhe des Drucks. Hinzu kommt die Bestimmung von Drehmomenten bei der Messung an weit entfernten Lokalisationen im Schaft. Dagegen wird bei der Fußdruckmessung auf die Strukturierung der Druckverteilung geachtet. Hier stellt sich die Frage nach den Druckspitzen, aber auch nach den Übergängen zwischen Regionen unter hohem und niedrigem Druck. In beiden Fällen spielt die Zeit – entweder als Dauer der Belastung oder als Parameter zur Beschreibung des Gangmusters – eine wichtige Rolle.



**Abb. 2** Tuberunterstützender Schaft mit zwei Sensorarrays zur Druckmessung in der Eintrittsebene [1].

## Messungen im Oberschenkelschaft

Die genannten Fragestellungen spiegeln unterschiedliche Modellvorstellungen wider. Im Fall der Druckmessung im Schaft ist die Modellvorstellung, dass – abgesehen vom Tuberaufsitz – die knöchernen Strukturen keine oder nur geringe Kräfte unmittelbar auf die Schaftwand ausüben und die Weichteile druckausgleichend wirken. Stark vereinfachend werden die Weichteile als Flüssigkeit angesehen und man spricht insbesondere beim tuberumgreifenden Schaft von einem hydrostatischen Modell [11, 12]. Der Druck wirkt in diesem Modell senkrecht auf die Schaftwand. Er hat innerhalb eines Höhenniveaus überall den gleichen Wert. Durch die Schwerkraft entsteht ein Druckgefälle von proximal nach distal (Abb. 1).

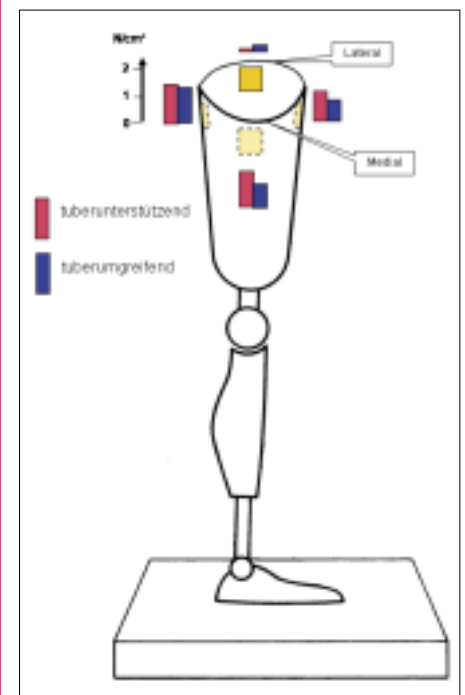
In der Realität kommt es zu charakteristischen Abweichungen von der unter rein hydrostatischen Bedingungen erwarteten Gleichverteilung des Drucks. Sie entstehen durch die knöchernen und Weichteilsstrukturen und hängen von der jeweiligen Belastungssituation, insbesondere den Drehmomenten, ab. Aufgrund seiner Konzeption und seiner Konstruktionsmerkmale ist zu erwarten, dass der tuberumgreifende Schaft der hydrostatischen Belastungssituation näher kommt als der tuberunterstützende Schaft.

Zur Überprüfung dieser Überlegungen wurden an fünf obersehenkelamputierten Patienten Druckmessungen jeweils in einer tuberunterstützenden und einer tuberumgreifenden Versorgung durchgeführt [1]. Abbildung 2 zeigt das Anbringen von zwei Sensorarrays in

medialer und frontaler Position in einem tuberunterstützenden Schaft. Das frontale Messsystem deckt den Bereich des Scarpa-Dreiecks ab, wo unmittelbar unter der Haut wichtige Nerven und Blutgefäße verlaufen.

Abbildung 3 zeigt im Vergleich zwei typische Druckmessungen im beidbeinigen Stand in den beiden Schaftsystemen. In beiden Fällen wurde kein Silikonliner verwendet. Die Sensorarrays sind an vier Stellen gleichmäßig über den Schaft verteilt und befinden sich alle auf gleichem Niveau. Es ergibt sich für den tuberunterstützenden Schaft ein mittlerer Druck von  $1,9 \text{ N/cm}^2$  in der Eintrittsebene, der beim tuberumgreifenden Schaft mit  $1,6 \text{ N/cm}^2$  etwas geringer ausfällt. Der Unterschied hat verschiedene Ursachen.

nigen Stand in den beiden Schaftsystemen. In beiden Fällen wurde kein Silikonliner verwendet. Die Sensorarrays sind an vier Stellen gleichmäßig über den Schaft verteilt und befinden sich alle auf gleichem Niveau. Es ergibt sich für den tuberunterstützenden Schaft ein mittlerer Druck von  $1,9 \text{ N/cm}^2$  in der Eintrittsebene, der beim tuberumgreifenden Schaft mit  $1,6 \text{ N/cm}^2$  etwas geringer ausfällt. Der Unterschied hat verschiedene Ursachen.



**Abb. 3** Vergleich der Druckwerte im beidbeinigen Stand eines einseitig obersehenkelamputierten Patienten mit einem tuberumgreifenden und tuberunterstützenden Schaft mit vier Messstellen in der Schaft-eintrittsebene.

Eine Ursache ist, dass beim tuberumgreifenden Schaft auch das distale Stumpfende Last übernimmt.

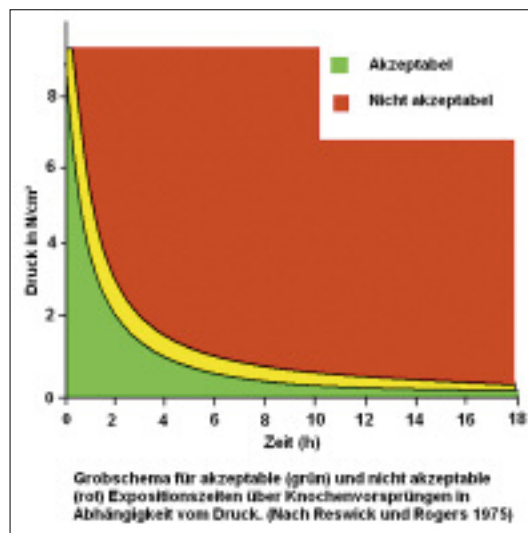
Bemerkenswert ist, dass beim tuberumgreifenden Schaft die vier Werte weniger schwanken, sie also

näher am Mittelwert liegen als beim tuberunterstützenden Schaft. Dies stützt die Hypothese, dass der tuberumfangförmige Schaft dem hydrostatischen Modell des Druckausgleichs besser entspricht als der tuberunterstützende Schaft.

In die biomechanische Bewertung der Druckmessungen und ihren Vergleich gehen nicht allein die Druckwerte selbst ein. Tieftaucher beispielsweise können deutlich höhere Druckwerte ohne Schädigung ertragen. Es kommen zusätzliche Faktoren hinzu, einer davon ist die Dauer der Exposition. Übersteigt der über einen längeren Zeitraum einwirkende Druck den systolischen Blutdruck, so ist die Blutversorgung gefährdet. In einem tuberunterstützenden Schaft kann der Druck über dem Scarpa-Dreieck den systolischen Druck in der Oberschenkelarterie leicht überschreiten und so die Blutzufuhr unterbrechen. Wird die Blutzufuhr über eine zu lange Zeit unterbrochen, so resultiert daraus eine Einschränkung des Tragekomforts bis hin zur Entstehung von Nekrosen und Ulzerationen [7]. Einen empirischen Zusammenhang zwischen der Dauer und Höhe einer ununterbrochenen Druckeinwirkung, bei der die Haut noch keinen Schaden nimmt, zeigt die Abbildung 4. Die zugrunde liegenden Messungen [10] wurden im Zusammenhang mit Untersuchungen zur Dekubitusprophylaxe durchgeführt, sind also nicht direkt übertragbar, sie geben aber in der Tendenz einen allgemeingültigen Zusammenhang wieder und liefern auch für diese Anwendung zahlenmäßige Anhaltspunkte. Danach ist die Toleranzgrenze zeitabhängig: Ein geringerer Druck ist länger akzeptabel als ein höherer Druck.

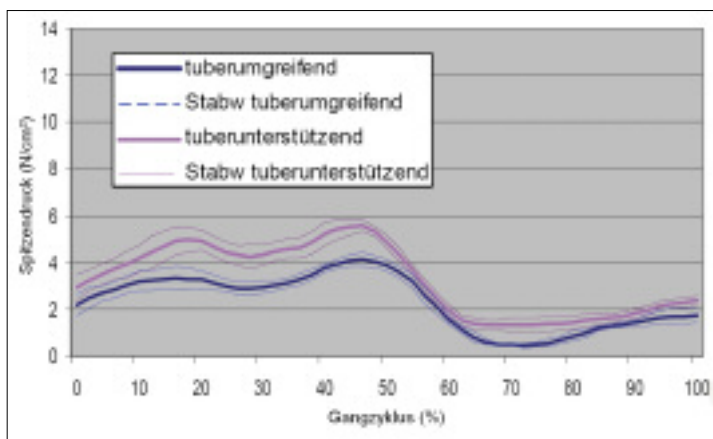
Vor diesem Hintergrund ist es ersichtlich, dass ein Schaftsystem, bei dem geringere Druckwerte – insbesondere im Bereich des Scarpa-Dreiecks – auftreten, ein deutlich geringeres Risiko für Durchblutungsstörungen mit sich bringt. Dass Durchblutungsschäden im Oberschenkelschaft weniger häufig auf-

treten als nach den oben angestellten Überlegungen zu erwarten wäre, liegt daran, dass durch Belastungswechsel die Blutzufuhr kurzzeitig ermöglicht wird. Abbildung 5



**Abb. 4** Schema zum Zusammenhang Druck und Expositionszeit von Hautgewebe. Der grün markierte Bereich zeigt tolerierte Druckwerte beziehungsweise Expositionszeiten an. Im rot markierten Bereich ist bei gegebenem Druck die Expositionsdauer zu lang beziehungsweise bei gegebener Dauer der Druck zu hoch [10].

zeigt für den gleichen Patienten wie in Abbildung 3 den Druckverlauf über dem Scarpa-Dreieck während eines Gangzyklus. Demnach steigt der Druckwert in der Standphase deutlich an, sinkt aber in der Schwungphase so weit, dass eine Durchblutung möglich ist. Das ist besonders deutlich beim tuberum-



**Abb. 5** Druck auf die Frontalpelotte im Oberschenkelschaft im Verlauf eines Gangzyklus für einen tuberumfangförmigen und tuberunterstützenden Schaft (gleicher Patient wie in Abb. 3). Die Schwankungsbreiten über mehrere Gangzyklen sind durch die Standardabweichungen eingegrenzt [1].

greifenden Schaft, bei dem der Druck unter ein N/cm<sup>2</sup> fällt.

Zusammenfassend zeigen diese Anwendungsbeispiele, dass die

Druckmessungen nicht allein in Bezug auf die Druckwerte und ihre lokale Verteilung, sondern auch in Bezug auf die Zeit, also die Expositionsdauer, untersucht werden müssen.

Die Bedeutung der Zeitkomponente wird auch durch die Anwendungsbeispiele aus dem Bereich der Schuh- und Einlagenversorgung bestätigt.

## Plantare Druckverteilungsmessung

Die Messung und Interpretation der plantaren Druckverteilung wird wesentlich bestimmt durch den Umstand, dass das Weichgewebe zwischen Fußskelett und Boden beziehungsweise Schuh nur sehr dünn ist. Dadurch kommt es bei einer Belastung zu eng lokalisierten, erheblichen Spannungen sowohl im knöchernen wie im weichen Gewebe [6]. Besonders betroffen sind die Regionen, in

denen sich der lokale Druck stark ändert und es neben Kompressionsspannungen auch Scherspannungen gibt. Diese Regionen sind besonders verletzungsgefährdet (Abb. 6). Für den Orthopädienschuhmacher ist hier die Druckverteilungsmessung ein wichtiges Hilfsmittel, das es ihm ermöglicht, gezielt die Maxima und Minima der Druckverteilung auszugleichen, um so die Verletzungsgefahr zu verringern.

Abbildung 7b zeigt die plantare Druckverteilung eines diabetischen Patienten mit abgeheiltem Ulkus unter dem linken Vorfußballen. Die Schuhversorgung besteht aus einem Bequemschuh mit Ballenrolle und Fersenrolle. Eine Fußbettung oder Weichbettung wird nicht verwendet, stattdessen gibt es nur eine ebene Korkplatte als Platzhalter (Abb. 7a). Die Druckverteilung zeigt unter dem Ballen ein aus-

geprägtes Druckmaximum und einen steilen Druckabfall nach distal-lateral. Ziel der orthopädienschuhtechnischen Versorgung

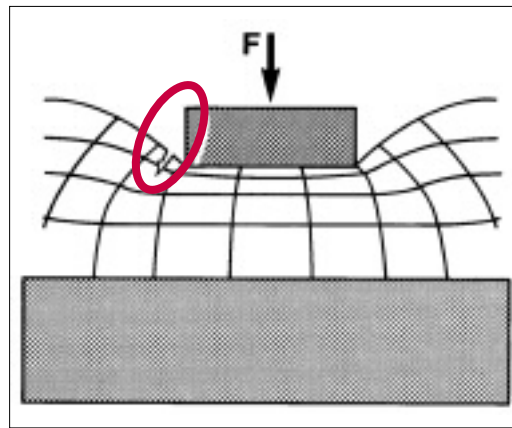
ist primär, eine erneute Ulzeration zu vermeiden und das Druckmaximum im Ballenbereich abzusenken. Die Verwendung einer Fußbettung ist offensichtlich ein geeignetes Mittel hierfür (Abb. 7c). Die den Fuß tragende Fläche wird vergrößert, die Druckspitzen im Ballen- und Fersenbereich werden abgebaut und ein Teil der Last wird vom Mittelfußbereich und den Randzonen übernommen, sodass eine lokale Umverteilung der Belastung erfolgt. Die Ganglinie (siehe unten) wird durch diese Maßnahme nicht beeinflusst. Eine weitere Entlastung (Abb. 7d) ergibt sich, wenn außerdem eine Sohlenversteifung hinzukommt. Sie verstärkt den Effekt der Schuhzurichtung. Dass dies über einen qualitativ anderen Mechanismus erfolgt als bei der Fußbettung, zeigt sich schon daran, dass die Ganglinie verkürzt wird.

Die Ganglinie, die die Trajektorie des „center of pressure“ [2] darstellt, liefert indirekt Aussagen über den Abrollvorgang beim Gehen und damit über das Gangmuster. Die Verkürzung der Ganglinie ist ein Zeichen für eine Änderung des Gangmusters und damit des zeitlichen Ablaufs des Abrollvorgangs. Darüber hinausgehende Aussagen zur Beeinflussung des Gangmusters sind nur mit Methoden der Ganganalyse möglich.

Wie schon beschrieben [3], gibt es neben der lokalen Umverteilung der Belastung auch eine zeitliche Umverteilung. Die Beeinflussung des Gangmusters durch eine Schuhzurichtung ist ein Beispiel hierfür. Der Effekt kann sehr unterschiedlich sein: Bei neuropathischen Patienten beispielsweise fällt dieser Effekt kleiner aus als bei gesunden Kontrollpersonen. Ein Grund hierfür mag sein, dass neuropathische Patienten bereits ein verändertes Gangmuster haben [9], das die Effekte der Schuhzurichtung vorwegnimmt.

Der Orthopädienschuhmacher hat demnach zwei Möglichkeiten, um die Druckverteilung im Schuh zu beeinflussen:

- Er kann erstens die lokale Druckverteilung durch eine Fußbettung beeinflussen,
- er kann zweitens das Gangmuster durch eine Schuhzurichtung verändern.



**Abb. 6** Schema zur Entstehung von lokalen Gewebsschädigungen bei eng lokalisierter Kraftwirkung. In den Randzonen kommt es zu Scher- und Zugspannungen mit erhöhtem Risiko einer Schädigung.

Beide Effekte sind, wie sich zeigt, weitgehend voneinander unabhängig und so ist der größte Effekt zu erzielen, wenn beide Maßnahmen kombiniert werden.

Die Bedeutung der zeitbezogenen Analyse zeigt auch das folgende Beispiel aus dem Anwendungsbereich in der Maßschuhversor-

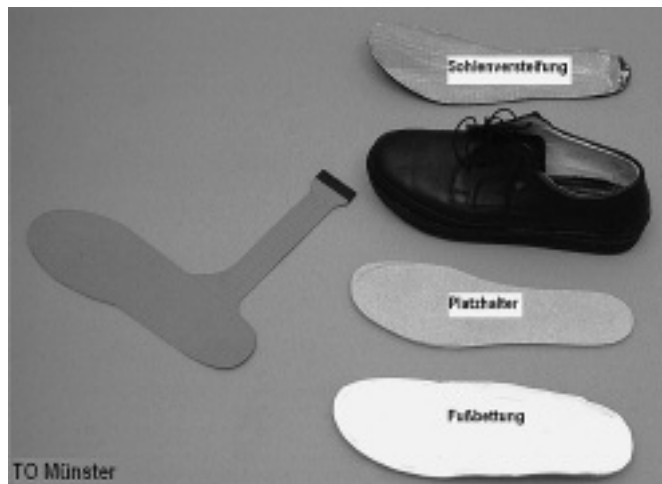
res Paar Maßschuhe anfertigen ließ. In diesen Schuhen konnte er weitgehend schmerzfrei gehen.

In beiden Schuhversorgungen wurden Messungen der Druckverteilung beim normalen Gehen durchgeführt. In den Abbildungen 8a und b sind die Spitzendruckwerte links und rechts für beide Versorgungen dargestellt. Die Messungen wurden jeweils über mehrere Gangzyklen gemittelt, die rot eingezeichneten Ganglinien sind einzeln eingetragen und überlagern sich. Von besonderem Interesse ist der Bereich der linken Ferse. Die Druckwerte dort sind nur geringfügig niedriger als auf der rechten Seite. Bei der zweiten Versorgung fallen die Druckwerte im linken Fersenbereich deutlich kleiner aus als rechts. Die Ganglinien zeigen, dass bei letzteren Schuhen das Gangbild normalisiert ist: Sie haben

einen weitgehend ungestörten Verlauf. Ganz anders verhält es sich bei der ersten Versorgung. In der Abschlussphase der rechten Standphase, zu dem Zeitpunkt also, wenn die linke Ferse aufgesetzt wird, zeigt sich ein deutlicher Rücksprung in der Ganglinie. Zusammen mit der klinischen Beobachtung lässt sich das Ergebnis wie folgt interpretieren: Der Patient hat beim Aufsetzen der linken Ferse starke Schmerzen, sodass er beim Zehenabstoß rechts eine Ausgleichsbewegung macht, indem er den rechten Fuß wieder stärker und mehr im Mittelfußbereich belastet.

## Zusammenfassung

Die Druckverteilungsmessung hat ein breites Anwendungsspektrum. Es reicht von der Sportbiomechanik und orthopädischen Biomechanik bis hin zur Rehabilitation und Orthopädie-Technik. In der Technischen Orthopädie wiederum gibt es eine Vielzahl von Anwendungen, wobei hier zwei typische Beispiele aufgezeigt wurden: Die Anpassung von Oberschenkel-schäften und die Herstellung von orthopädischen Maßschuhen, insbesondere für den diabetischen Fuß.



**Abb. 7a** Verschiedene kombinierbare Hilfsmittel bei Messung des plantaren Drucks mit einer Mess-Einlegesohle in einem Bequemschuh mit Ballen- und Fersenrolle.

gung. Es betrifft einen Patienten nach einer Kalkaneusfraktur. Der Patient wurde mit einem Maßschuh versorgt. Er hatte in diesen Schuhen so starke Schmerzen, dass er die Schuhe nicht akzeptierte, sondern sich von einem zweiten Orthopädienschuhmacher ein weite-

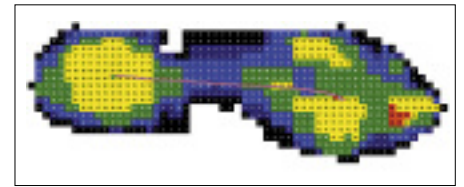
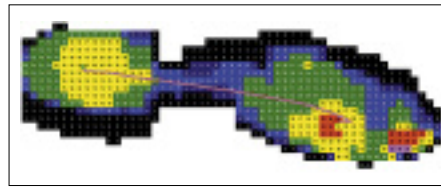
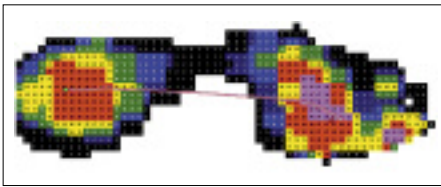


Abb. 7b – d Messungen an diabetischem Patienten mit abgeheiltem Ulkus unter dem linken Vorfußballen. Die angegebenen Zahlenwerte zeigen den Spitzendruck in N/cm<sup>2</sup>. b) Korkplatzhalter, c) Fußbettung, d) Fußbettung und Sohlenversteifung.

Bei den beschriebenen Anwendungen stehen unterschiedliche Fragestellungen im Vordergrund.

Übertragung von Kräften und Momenten bewirkt. Bei der plantaren Druckmessung steht die Analy-

und entscheidende Informationen liefert. Dennoch tritt sie bei der Darstellung und Analyse der Ergebnisse häufig in den Hintergrund.

Die Druckverteilungsmessung erweist sich als ein wirksames Instrument, um die Mechanismen der Kraftübertragung zwischen Haut und Skelett zu erfassen und zu verstehen. Sie erlaubt es, kritische Grenzwerte für die Übertragung von Drücken zu formulieren, etwa wenn die Belastung zu lang dauert oder zu hoch ist.

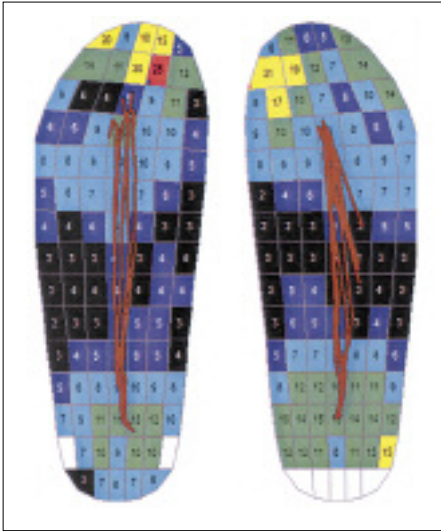


Abb. 8a u. b Zur Anwendung und Interpretation der Ganglinie. Vergleich von zwei Maßschuhversorgungen nach Kalkaneusfraktur links. Während der Patient die linke Versorgung wegen Schmerzen beim Gehen ablehnt, akzeptiert er die rechte Versorgung.

Bei den Druckmessungen im Schaft interessiert besonders die Höhe des Drucks und damit der Mechanismus, wie das Schaftsystem die

se der regionalen Druckverteilung im Vordergrund. Wichtig ist in beiden Anwendungen die Erfassung der Zeitkomponente, die wichtige

#### Für die Autoren:

Prof. Dr. rer. nat. Burkhard Drerup  
Klinische Prüfstelle für orthopädische Hilfsmittel  
Klinik und Poliklinik für Technische Orthopädie und Rehabilitation  
Universitätsklinikum Münster  
Domagkstr. 3  
48149 Münster

Bundesfachschule für  
Orthopädie-Technik  
Schliepstr. 6-8  
44135 Dortmund

#### Literatur:

- [1] Barsch, K.: Der Einsatz von Schaftinnendruckmessungen bei der Klassifizierung von Schaftsystemen. Diplomarbeit Fachbereich Physikalische Technik, Studiengang Technische Orthopädie, Fachhochschule Münster, 2008
- [2] Debrunner, H. U., A. C. J. Jacob: Biomechanik des Fußes. 2. Auflage, Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag, 1998
- [3] Drerup, B.: Druckentlastung am diabetischen Fuß aus biomechanischer Sicht. Orthopädie-Technik 60 (2009), 870-876
- [4] Drerup, B., L. Linkemeyer, J. Wühr, H. H. Wetz: Qualitätsversorgung am Beispiel der Schaftversorgung Oberschenkelamputierter. Sonderheft Orthopädienschuhtechnik: „Qualität in der Hilfsmittelversorgung“, (2008), 48-52

- [5] Drerup, B., K. Barsch: Liner Systeme: Der Aspekt von Haftung und Reibung. Med. Orth. Tech. 129 (2009), 5-14
- [6] Gefen, A., E. Linder-Ganz: Verhärtung des plantaren Muskelgewebes durch überhöhten Druck fördert die Ausbreitung von Ulzerationen im diabetischen Fuß. Der Orthopäde 33 (2004), 999-1012
- [7] Kosiak, M.: Etiology and Pathology of Ischemic Ulcers. Arch. Phys. Med. Rehabil. 42 (1959), 62-69
- [8] Linkemeyer, L., J. Wühr, B. Drerup, H. H. Wetz: Klassifikation von Schaftsystemen und Stumpfbettungen. Bericht zum gleichnamigen Prüfauftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales. Orthopädie-Technik 60 (2009), Sonderbeilage
- [9] Mueller, M. J., S. D. Minor, S. A. Sahrman, J. A. Schaff, M. J. Stru-

- be: Differences in the gait characteristics of patients with diabetes and peripheral neuropathy compared with age matched controls. Physical Therapy 74 (1994), 299-308
- [10] Reswick, J. B., J. E. Rogers, in: Kenedi, R. M., J. M. Cowden, J. T. Scales (Eds.). Bed sore biomechanics. London, Macmillan. Experience at Rancho los Amigos Hospital with devices and techniques to prevent pressure sores, 1976
- [11] Sibbel, B.: Kriterien zur Gestaltung der Schafttrittsebene in der längsovalen Schafttechnik. Orthopädie-Technik 54 (2003), 258-262
- [12] Sibbel, B., S. Bieringer, D. Kokegei: Versorgungskriterien der Schaftgestaltung nach transfemorale Amputation. Med. Orth. Tech. 126 (2006), 53-60