

Aus dem Sana Rheumazentrum Baden-Württemberg
Klinik für Rheumaorthopädie, Endoprothetik, Gelenk-, Fuß- und Handchirurgie

Leiter: Professor Dr. S. Sell

**„Vorfußentlastungsschuhe im postoperativen Einsatz –
eine klinische und pedobarographische Studie“**

Inaugural- Dissertation
Zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin

der
Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

Vorgelegt von
Rupert Heinz Rieger

aus Bad Cannstatt

2006

Dekan: Professor Dr. C.D. Claussen
1. Berichterstatter: Professor Dr. S. Sell
2. Berichterstatter: Professor Dr. T. Horstmann

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Vorfußentlastungsschuhe	1
1.2 Anatomie des Fußes	2
1.3 Rheumatoide Arthritis	3
1.4 Modell	4
1.4.1 Druckplattenmessung	5
1.4.2 Mobile Messsysteme	5
1.4.3 Anforderungen an das Messmodell	7
1.5 Gewähltes Modell	7
1.6 Fragestellung	8
2. Material und Methoden	9
2.1 Material	9
2.1.1 Probanden und Patienten	9
2.1.2 Operationen	11
2.1.2.1 MTP1-Arthrodesese	11
2.1.2.2 Operation nach Weil	12
2.1.2.3 „Scarf“-Operation	12
2.1.2.4 Resektionarthroplastiken	12
2.1.3 Vorfußentlastungsschuhe	13
2.1.4 Messsystem	18
2.1.4.1 Technische Daten und Beschreibung	18
2.1.5 Fragebogen	24

2.2 Methoden	27
2.2.1 Auswertung	29
2.2.1.1 Patientenbeurteilung	29
2.2.1.2 Messwerte	29
2.2.1.3 Auswertung nach Schuhmodell	31
2.2.1.3.1 Auswertung Verbandsschuh	32
2.2.1.3.2 Auswertung Vorfußentlastungsschuhe	33
2.2.1.4 Auswertung nach Probanden/Patienten	33
2.2.2 Statistik	35
2.2.2.1 Vergleich der Vorfußentlastungsschuhe mit dem Verbandsschuh	36
2.2.2.2 Bester Vorfußentlastungsschuh	38
2.2.2.3 Ergebnisdarstellung	40
2.2.2.3.1 Ergebnisse der einzelnen Messreihen	40
2.2.2.3.2 Ergebniszusammenfassung für den Ergebnisteil	43
3. Ergebnisse	44
3.1 Pedobarographische Messungen	44
3.1.1 Vergleich der Vorfußbelastung zwischen Vorfußentlastungsschuhen und einem flachen Verbandsschuh	44
3.1.2 Vergleich des besten Vorfußentlastungsschuhs mit dem durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuh	47
3.2 Ergebnisse der Patientenbeurteilung	52
3.2.1 Passform/Größe	52
3.2.2 Optik	53
3.2.3 Komfort	54
3.2.4 Gehen	55
3.2.5 Handhabung, An-/Ausziehen	56
3.2.6 Sicherheitsgefühl	57
3.2.7 Gesamtbewertung	58

3.3 Vergleich der pedobarographischen Messung mit der Patientenbeurteilung	59
<u>4. Diskussion</u>	<u>61</u>
4.1 Beurteilung der Methoden	61
4.1.1 Beurteilung der Probanden	61
4.1.2 Beurteilung des Patientengutes	61
4.1.3 Beurteilung der Messmethode	63
4.1.3.1 Messapparatur	63
4.1.3.2 Messprinzip	65
4.1.3.3 Datenqualität	68
4.1.4 Gangbild des Patienten	69
4.1.5 Fragebögen	72
4.1.6 Gesamtbeurteilung	72
4.2 Beurteilung der Ergebnisse	73
4.2.1 pedobarographische Messergebnisse	74
4.2.1.1 Vergleich des durchschnittlichen Vorfußbelastungsschuhs mit einem flachen Verbandsschuh	75
4.2.1.2 Erzielt ein Modell eine signifikant bessere Vorfußbelastung?	78
4.2.2 Patientenbeurteilung	79
4.2.3 Vergleich der Ergebnisse der Patientenbefragungen mit den pedobarographischen Ergebnissen	82
<u>5. Zusammenfassung</u>	<u>83</u>
<u>6. Literaturverzeichnis</u>	<u>86</u>

7. Anhang **102**

7.1 Ergebnisschaubilder der Einzelmessungen der Probanden **102**

7.2 Ergebnisschaubilder der Einzelmessungen der Patienten **111**

Abkürzungsverzeichnis **123**

Danksagung

Lebenslauf

1. Einleitung

1.1 Vorfußentlastungsschuhe:

Vorfußentlastungsschuhe sind speziell konzipierte Schuhe, die eine Entlastung des Vorfußes durch eine besondere Sohlenkonstruktion zu erreichen suchen. Vorfußentlastungsschuhe werden vielfältig eingesetzt. So sind einige Einsatzbereiche etwa die Entlastung nach nicht-belastungsstabilen Osteosynthesen, bei primär nicht-verheilenden Ulzera zur Druckentlastung der Wundbereiche oder zur Druckentlastung bei empfindlichen Wundbereichen z. B. nach Dermodesen. Ein Hauptpatientenkollektiv, das sich häufig Fußoperationen unterziehen muß, stellen Patienten mit rheumatoider Arthritis.

Bei Vorfußentlastungsschuhen wird prinzipiell die Druckumverteilung durch eine Mehrbelastung des Rückfußes erzeugt. Gleichzeitig wird die Abrollbewegung im Mittelfußbereich unterbrochen. Im Vorfußbereich gibt es jedoch verschiedene Varianten.

- Die komplette Aufgabe der Vorfußabstützung durch Verkürzung der Innensohle um die vordere Fußauflage.
- Die Anhebung der Vorfußsohle zur Druckminderung durch Gewichtsverlagerung
- Die Reduktion der Sohlenhärte im Vorfußbereich.
- Die Abrundung der Sohle mit Rückverlagerung der Abrollebene



Abb.1: doppelseitige Versorgung nach Operation

1.2 Anatomie des Fußes.

Die Knochen des Fußes sind über Bänder und Gelenke miteinander verbunden. Dadurch sind sie jedoch nicht als ein Hebel mit Drehpunkt im oberen Sprunggelenk zu verstehen. Jede Gelenkverbindung weist in sich eine Beweglichkeit auf, so dass ein mechanisches oder mathematisches Modell äußerst komplex würde. Die Längenverhältnisse der lasttragenden Knochen sind zudem interindividuell verschieden. Ebenso sind auch die Gelenkbewegungsausmaße und ihre Kraft-Bewegungs-Abhängigkeiten stark unterschiedlich (Rabl und Nyga, 1994).

Bei der Abrollbewegung sind multiple Bewegungen in allen Gelenken des Fußes beteiligt. Dabei wird der Druck durch die Gewichtskraft der Person in einer durch viele Faktoren bestimmten Linie vom Auftrittspunkt an der Ferse über das Fußskelett im Laufe eines Schrittes bis zum Abdruckpunkt an der Großzehenspitze geleitet.

Die Abrollbewegung mit ihrer Druckverteilung hängt dabei von vielen Faktoren ab (Braune et al 1894, Saunders et al, 1953, Eberhardt, 1947):

- Der Schwerpunkt der Bewegung des Patienten abhängig von Größe, Gewicht, Geschwindigkeit, Laufrichtung, Muskelkraft, intermuskulärer und intramuskulärer Koordination und Gleichgewichtsvermögen
- Den Bewegungsausmaßen des Patienten beeinflusst durch Gelenkbeweglichkeit, Elastizität von Bändern, Kapseln und Muskulatur aber auch Kleidung und Schuhen
- Den geometrischen Längenverhältnissen der einzelnen lasttragenden Knochen und der Gelenkgeometrien
- Den biomechanischen Eigenschaften der Schuhe mit Dämpfung, Führung, Stabilisierung, Kompression, Traktion, Schutz und Federung
- Der Oberflächenbeschaffenheit, Härte, aber auch Temperatur und Reibungskoeffizienten der begangenen Fläche.

1.3 Rheumatoide Arthritis:

Die rheumatoide Arthritis befällt ca. 2% der Bevölkerung. Frauen erkranken dabei 4 mal häufiger als Männer. Die Erstmanifestation liegt dabei hauptsächlich um das 4. Lebensjahrzehnt. Diese systemische Autoimmunerkrankung ist schubweise progredient. Die genaue Ätiologie ist unbekannt, eine genetische Disposition wird jedoch angenommen. Es zeigt sich eine Häufung des HLA-Antigens DR4 sowie eine Modifikation in verschiedenen „early-response-gene“ Kaskaden, die unter anderem in Variationen verschiedener Zytokinprofile enden. Einige dieser Zytokinvariationen, z.B. die TNF-alpha-Hyperexpression werden inzwischen zur Therapie genutzt (Jarvis und Faulds, 1999; Weinblatt et al. 1999). Bei diesem Patientenkollektiv kommt es zu einer Reihe von entzündlich bedingten Veränderungen am Fuß. Es sind zunächst vor allem Veränderungen des Weichteilgewebes, wie periartikulärer Strukturen, Gelenkkapseln, Bänder und Sehnen, später auch Veränderungen intraartikulär und auch knöchern, die verschiedene Pathologika herbeiführen. Die typische rheumatische Vorfußdeformität beinhaltet die Valgusfehlstellung des Hallux, später auch die Spreizfußdeformität mit metatarsalen Überlastungsschmerzen und Luxation der Kleinzehen im Grundgelenk und entzündlicher Destruktion der Gelenke (Rabl und Nyga, 1994, Lelievre, 1967).

1.4 Modell

Bei der großen Varianz der Möglichkeiten ist es nicht möglich alle Faktoren einzubeziehen. Daher ist es sinnvoll, die Effekte direkt am Erfolgsorgan zu messen. Die Messung der Vorfußentlastung muss also direkt am Fuß erfolgen. Dies geschieht am besten durch eine Druckmessung, um eine Be- oder Entlastung des Vorfußes zu erfassen.

Die Messung der Drücke ist technisch schon lange möglich. Es gibt statische Messungen mit Fußabdrücken in Lehm schon seit vielen Jahrhunderten. Aristoteles (384 v. Chr. -322v. Chr.) und Galenus (129 n. Chr. -199 n. Chr.) beschrieben schon verschiedene Gangbilder und Fußformen. Besser sind natürlich dynamische Messungen, die den Schritt mit seinen Druckverteilungen auf den Fuß besser abbilden. Auch hier gibt es inzwischen verschiedene Messmethoden (Meyers-Rice et al, 1994).

1.4.1 Druckplattenmessung:

So gibt es Messungen auf Druckplatten. Diese Messungen erfolgen durch das Begehen einer dreidimensional gelagerten und messenden Platte (Whittle 1991). Es sind also Kraftvektoren in allen Ebenen messbar. Dabei werden die Daten aufgezeichnet und können später ausgewertet werden. Vorteile dieser Messung sind eine hohe Standardisierbarkeit was Neigung, Reibungskoeffizient, Temperatur und Härte der Oberfläche betrifft und eine zumeist hohe, kabelbedingte Datenübertragungssicherheit. Nachteile dieser Messmethode sind die Einschränkung auf zumeist einen oder sehr wenige Schritte, die Notwendigkeit, die Schrittlänge und Geschwindigkeit auf die begrenzte Messfläche anzupassen, das richtige Auftreffen auf die Fläche aus dem Gehen heraus und die zumeist daraus resultierende geringe Reproduzierbarkeit der Daten. Ein Hauptnachteil ist die Messung der Drücke unter der Schuhsohle. Dabei ist die Messung der Drücke, die im Schuh auf den Fuß und die einzelnen Fußbereiche einwirken, nicht möglich. Auch im Hinblick auf die Fragestellung sind solche Messsysteme ungeeignet. Bei der Betrachtung von Belastungen ist weniger der summative Druck unter dem Schuh interessant, sondern die auftretende Belastung, im Schuh, die eventuell das Operationsergebnis beeinträchtigen oder zerstören könnte. Daher ist es sinnvoller eine Reihe von Schritten zu messen und aus diesen Druckwerte innerhalb des Schuhs zu bestimmen.

1.4.2 Mobile Messsysteme:

Im Gegensatz dazu gibt es seit einigen Jahren auch mobile Druckmesssysteme. Diese Messsysteme krankten in den letzten Jahren vor allem an der Unzuverlässigkeit der Messung bedingt durch technische Unzulänglichkeiten der zwangsläufig sehr kleinen Drucksensoren (Quaney et al. 1995). Bei einigen Systemen war die Sensorgröße so groß, daß sie die Abrollbewegung störten, bei anderen war die Auflösung so schwach, daß gerade Vor- und Rückfuß unterschieden werden konnten. In den letzten Jahren gab es einige Modelle, deren Druckmesssohlen die Abrollbewegung

durch eine gute Eigenbeweglichkeit nicht einschränkten und eine recht gute Auflösung boten, jedoch waren diese kabelgebunden und schränkten dadurch die Beweglichkeit der Probanden ein. Für alle direkten Druckmesssysteme ist die summative Messung typisch. Dabei ist die Messung des Druckes nur als Summe aller Kraftvektoren möglich. Diese Vektoren sind zum Beispiel stark geschwindigkeitsabhängig (Hegewald, 2000). Zur höheren Standardisierung waren solche mobilen Messsysteme häufig auf einem Laufband verwendet worden. Laufbänder bieten den Vorteil einer konstanten Ganggeschwindigkeit zu den konstanten Oberflächenbedingungen und sind somit für viele Messungen eine sinnvolle Ergänzung. Nachteile sind die Dämpfung und das alterierte, unsichere Gangbild (Macellari 1993, Gamble 1988). Viele Patienten beklagen im Vorfußentlastungsschuh vor allem nach Operationen eine Gangunsicherheit. Diese wird beim Gang auf dem Laufband noch wesentlich verstärkt. Das Gehen im Laufgang ermöglicht auch einen Richtungs- oder Geschwindigkeitswechsel. Der Geschwindigkeitswechsel ist durch Schmerzen im operierten Fuß, die Muskelanstrengung durch die ungewohnte Belastung aber auch wechselnde Konzentration völlig natürlich, beim Laufband aber nicht möglich. Obwohl die Messung im Laufband in unserer Einheit problemlos möglich gewesen wäre, wurde sie aus ethischen Gründen abgelehnt. Zudem spielt auch die Anwendbarkeit des Schuhs eine große Rolle. Dazu zählen Faktoren wie Komfort, Gewicht, Schuhgeometrie, Anpassbarkeit an den Fuß auch bei Verbänden, Schmerzen und Zugängen im Fixationsbereich in einer für Patienten leicht selbst durchführbaren Art.

1.4.3 Anforderungen an das Messmodell:

Ein befriedigendes Messmodell sollte die geforderten Daten in einer guten Datenqualität bieten. Das heißt, die Reproduzierbarkeit der relevanten Daten sollte bei ausreichender Genauigkeit gegeben sein. Weiterhin sollte eine hohe Datentransfersicherheit gegeben sein, was bedeutet, daß der Proband bei möglichst realistischem, auch variablem, Bewegungsmuster über eine längere Strecke ohne Datenverlust erfasst werden sollte. Es sollte den Proband weder in der Wahl seiner Kleidung, noch in seinem Gangbild einschränken. Der Proband sollte die Messapparatur also möglichst nicht, und wenn, dann nicht als störend, wahrnehmen. (Willemsen 1990, Scott 1995)

1.5 gewähltes Modell:

Die medizinische Forschung beruht zum größten Teil auf empirisch gewonnenen Erkenntnissen. Auch noch so ausgeklügelte Messverfahren und Experimente können die nachfolgenden Erfahrungen der Patienten jedoch nicht vollständig vorhersagen. Daher sind experimentelle Feldstudien mit Patienten aus typischem Patientengut für die Anwendbarkeit von bestimmten Verfahren unverzichtbar.

1.6 Fragestellung:

Diese Arbeit untersucht 5 verschiedene Vorfußentlastungsschuhe hinsichtlich ihrer realen Vorfußentlastung, ihrer Anwenderfreundlichkeit und ihrer Patientenakzeptanz in 222 Messreihen an sowohl gesunden Probanden sowie auch Patienten mit chronischer Polyarthritits vor und nach Vorfußoperationen. Zum Vergleich hierzu wird ein flacher Verbandsschuh als Kontrollschuh miterfasst.

Hierbei soll geklärt werden, ob ein Vorfußentlastungsschuh seiner angedachten Funktion, der Vorfußentlastung, gerecht wird und ob ein

bestimmtes Modell den Vorfuß besser entlastet als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh.

1. Wird durch einen Vorfußentlastungsschuh im Vergleich zu einem flachen Verbandsschuh eine Vorfußentlastung erreicht?
2. Entlastet ein Vorfußentlastungsschuhmodell den Vorfuß signifikant besser als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh?

2. Material und Methoden

2.1 Material:

2.1.1 Probanden und Patienten:

Als Testpersonen wurden randomisiert, freiwillige Personen ausgewählt. Das Kollektiv bestand aus 27 Personen, davon 26 weiblich, eine Testperson ist männlich, das Durchschnittsgewicht betrug 67kg bei einer durchschnittlichen Körpergröße von 168cm.

Alle Probanden mussten präoperativ gut gehfähig sein, dazu wurde nach der maximal möglichen Gehstrecke gefragt, die mindestens 5km betragen musste. Die Probanden ohne Pathologika sind als Normvarianten einer Kontrollgruppe zu verstehen. Es wurden dabei randomisiert gesunde Probanden weiblichen Geschlechts mit unterschiedlichen Größen und Gewichten gewählt. Das Durchschnittsgewicht betrug 67kg bei einer durchschnittlichen Körpergröße von 168cm. Alle Probanden waren völlig beschwerdefrei.

Nachdem keine der Probandinnen am Bewegungsapparat voroperiert oder bekannt erkrankt war, ist davon auszugehen, dass sie einen relativ guten Querschnitt als Kontrollgruppe abgeben. Zusätzlich wurden 2 Patientinnen mit einer bekannten rheumatoiden Arthritis aufgenommen, um zu überprüfen, ob bereits präoperative Unterschiede zum gesunden Kollektiv festzustellen sind.

Postoperativ wurden 12 Patienten nachgemessen. Diese Gruppe bestand aus 11 weiblichen und 1 männlichen Patient. Das Durchschnittsgewicht betrug 67kg, die durchschnittliche Körpergröße 167 cm. Alle Patienten leiden an einer rheumatoiden Arthritis und waren präoperativ ohne Gehhilfe mobil. Keiner der Patienten litt an einer weiteren, das Gangbild beeinflussenden Störung, weder traumatisch noch durch weitere Krankheiten, z.B. M. Parkinson, begründet. Alle Patienten waren postoperativ mit einem Vorfußentlastungsschuh ausgestattet und von ausgebildeten Physiotherapeuten angeleitet worden und hatten Gelegenheit, das erforderliche Gehen mit dem eigenen Schuh soweit zu üben, dass der Versuch relativ gefahrlos für das Operationsergebnis

durchgeführt werden konnte. Alle Patienten hatten mindestens eine übungsstabile Osteosynthese im Vorfußbereich einseitig erhalten, die, in dem an unserer Einheit gültigen Nachbehandlungsschema, eine Vorfußentlastung von 6 Wochen postoperativ vorsieht. Keiner der Patienten wurde beidseitig, im Rückfußbereich oder an anderen Körperregionen zusätzlich behandelt.

Tab. 1: Patientenliste:

Nummer	Initialen	Größe	Gewicht	OP	Grundkrankheit
1	ME	163	57		gesund
2	NG	165	66		gesund
3	AL	158	54		gesund
4	CL	157	60		gesund
5	DP	170	92		gesund
6	IM	177	82		gesund
7	KC	188	72		gesund
8	MP	167	71		gesund
9	MF	177	68		gesund
10	MM	160	60		gesund
11	SV	168	55		gesund
12	SS	166	67		gesund
13	PH	169	64		gesund
14	IB	169	71		cP
15	RL	162	59		cP

Nummer	Initialen	Größe	Gewicht	OP	Grund erkrankung
16	AK	156	54	MTP1 Arthrodese, RAP 2-5 MTP1 Arthrodese, Arthrolyse	cP
17	GK	172	64	u. Hohmann D2	cP
18	AP	171	66	MTP1 Arthrodese, RAP 2-5 MTP1 Arthrodese, Arthrolyse	cP
19	GS	163	65	MTP2	cP
20	EW	156	55	MTP1 Arthrodese, RAP 2-5	cP
21	BC	177	81	MTP1 Arthrodese, RAP 2-5	cP
22	MK	164	85	Scarf u. Weil 2,3	cP
23	IM2	163	60	Scarf, Arthrolyse 2-5	cP
24	RF	170	56	MTP1 Arthrodese, RAP 2-5	cP
25	RT	178	80	MTP1 Arthrodese	cP
26	EW2	164	70	Scarf, Weil 2,3, RAP4	cP
27	RS	167	69	Scarf re	cP

2.1.2 Operationen:

2.1.2.1 MTP1-Arthrodese

Die Metatarso-phalangeale-Arthrodese I wird in der der Klinik für Rheumaorthopädie mittels einer Zuggurtungs-Osteosynthese mit 2 1,2mm starken Kirschnerdrähten und einer 0,5mm starken Drahtcerclage durchgeführt.

2.1.2.2 Operation nach Weil:

Die Operation nach Weil erfolgt in Originaltechnik mit einer Horizontalverschiebung des Mittelfußköpfchens nach proximal und anschließender Osteosynthese mit einer 2,0mm Titanschraube (Wirth, 1996).

2.1.2.3 „Scarf“-Operation:

Die „Scarf-Operation“ erfolgt in abgewandelter Technik, wobei nach lateralem release die dreidimensionale Z-Osteotomie mit Plantarisierung durchgeführt wird. Die Neuausrichtung der Fragmente reduziert den intermetatarsalen Winkel I-II durch Verschiebung und korrigiert den distalen Metatarsus I-Gelenkflächenwinkel durch Rotation (Ewerbeck et al. 2004). Die Osteosynthese erfolgt hierbei mit 3 2,3 mm Titanschrauben.

2.1.2.4 Resektionsarthroplastiken:

Resektionsarthroplastiken (RAP) sind eigentlich postoperativ voll belastbar, wurden bei den hier aufgenommenen Patienten jedoch nur in Kombination mit einer Osteosynthese durchgeführt. Hierbei werden destruierte Mittelfußköpfchen reseziert und ein Neogelenk geformt.

2.1.3 Vorfußentlastungsschuhe:

Als Vergleichsschuhe wurden folgende Modelle ausgewählt, da sie das zurzeit erhältliche Spektrum recht gut repräsentieren. Alle Maße sind auf die Größe M bezogen.

Folgende Maße wurden bestimmt:



Abb. 2: bestimmte Masse

1. **Verbandsschuh „Women´s surgical shoe“ von Darco** in den Größen S, M, und L. Dieser Schuh ist kein Vorfußentlastungsschuh, besitzt jedoch ein vergleichbares Fixationssystem mit Klettbindern. Er wurde als Vergleichsschuh und zur Eingewöhnung der Probanden an das Fixationssystem sowie das Messsystem verwendet. Der Schuh besteht aus einer Kunststoffsohle mit einer dünnen Schaumgummipolsterung. Zur Fixation dienen 2 Klettverschlüsse über dem Spann. In Größe M weist er eine Absatzerhöhung von 5mm auf. Die Innensohle ist 246 mm lang. Das Gewicht eines Schuhs in Größe M beträgt 235g.(s.Abb.3)



2. **Vorfußentlastungsschuh von Darco** in den Größen S und M. Dieser Schuh besteht aus einer harten Kunststoffsohle mit einer 2 mm starken Schaumgummipolsterung. Die Absatzhöhe beträgt 30mm. An der Schuhspitze beträgt der Abstand zum Boden 53 mm. Die Sohlenlänge des durchgängigen Anteils ist 160mm. Zur Fixation dient ein mindestens 95mm breiter Klettstreifen mit Polsterung über dem Vorfuß sowie ein 25 mm Klettstreifen mit 45 mm breiter Polsterung über dem Sprunggelenk. Die Innensohle ist 270mm lang. Das Gewicht in Größe M beträgt 430g. (s. Abb.4)



3. **Vorfußentlastungsschuh Thämert podo-med 50/040** in den Größen S und M. Der Schuh besteht aus einer mittelharten Kunststoffsohle mit einer ca. 3-4 mm messenden frotteeähnlich bezogenen Polsterung. Zusätzlich besitzt dieser Schuh aus diesem Material eine durchgängige Randleiste von 20 mm Höhe. Die Absatzhöhe beträgt 26 mm. An der Schuhspitze beträgt der Abstand zum Boden 47mm. Die Sohlenlänge des durchgängigen Anteils beträgt 180mm. Zur Fixation dient ein mindestens 90 mm breiter, gepolsterter Steg über dem Sprunggelenk mit 2 20mm und einem 25mm breitem Klettverschluss. Die Innensohle ist 267 mm lang.

Das Gewicht beträgt in Größe M 350g. (s. Abb. 5)



4. **Vorfußentlastungsschuh Thämert podo-med 50/045** in den Größen S und M. Der Schuh besteht aus einer mittelharten Kunststoffsohle mit einer ca. 3-4 mm messenden frotteeähnlich bezogenen Polsterung. Zusätzlich besitzt dieser Schuh aus diesem Material eine klettbefestigte weiche Innensohle von 15-20mm Stärke. Die Absatzhöhe beträgt 26 mm. An der Schuhspitze beträgt der Abstand zum Boden 49mm. Die Sohlenlänge des durchgängigen Anteils beträgt 180mm. Zur Fixation dient ein mindestens 80 mm breiter, gepolsterter Steg über dem Sprunggelenk mit 2 20mm und einem 25mm breitem Klettverschluss. Die Innensohle ist 275mm lang. Das Gewicht beträgt in Größe M 390g. (s. Abb. 6)



5. **Vorfußentlastungsschuh Fior & Gentz „Köln“** in den Größen S und M. Der Schuh besteht aus einer mittelharten geschäumten Sohle mit einer ca. 3-4 mm messenden frotteeähnlich bezogenen Polsterung. Zusätzlich besitzt dieser Schuh aus diesem Material eine durchgängige Randleiste von 20-30 mm Höhe und eine stabile Fersenkappe. Die Absatzhöhe beträgt 25 mm. An der Schuhspitze beträgt der Abstand zum Boden

48mm. Die Sohlenlänge des durchgängigen Anteils beträgt 140mm. Zur Fixation dient ein mindestens 80 mm breiter, gepolsterter Steg über dem Sprunggelenk mit 2 28mm und einem 26mm breitem Klettverschluss. Die Innensohle ist 250 mm lang. Das Gewicht beträgt in Größe M 300g. (s. Abb.7)



6. **Vorfußentlastungsschuh Fior & Gentz „Hannover“** in den Größen S und M. Der Schuh besteht aus einer mittelharten geschäumten Sohle mit einer klettbefestigten ca. 15mm messenden frotteeähnlich bezogenen Polsterung. Zusätzlich besitzt dieser Schuh eine stabile Fersenkappe. Die Absatzhöhe beträgt 23 mm. An der Schuhspitze beträgt der Abstand zum Boden 47mm. Die Sohlenlänge des durchgängigen Anteils beträgt 150mm. Zur Fixation dient ein mindestens 80 mm breiter, gepolsterter Steg über dem Sprunggelenk mit 2 18mm und einem 26mm breitem Klettverschluss und ein 55mm breiter, gepolsterter Klettstreifen über dem Spann. Die Innensohle ist 260 mm lang. Das Gewicht beträgt in Größe M 265g. (s. Abb. 8)



Tab. 2: Übersicht der verwendeten Modelle:

	Verbands- schuh Darco	Vorfuß- entlastungs- schuh Darco	Thämer t Podo- med 50/040	Thämert Podo- med 50/045	Fior & Gentz „Köln“	Fior & Gentz „Hanno ver“
Absatzhöhe in mm	5	30	26	26	25	23
Höhe Spitze in mm	0	53	47	47	48	47
Innensohlenläng e in mm	246	270	267	275	250	260
Sohlenlänge in mm	x	155	180	180	140	150
Entlastete Länge in %	0	43	33	35	44	42
Fixation OSG in mm	x	45	90	80	80	80
Fixation Spann in mm	90	95	x	x	x	55
Polsterung in ca. mm	2-3	2-3	3-4	20	3-4	15
Gewicht in g	235	430	350	390	300	265

2.1.4 Messsystem:

Als Messsystem wurde ein kommerzielles, frei verfügbares System, das „T&T medilogic FussdruckmessSystem“ ausgewählt.

Das System ist als "Diagnosehilfsmittel im Bereich der Orthopädie und Sportmedizin zur Erfassung der Grunddaten für die anschließende Beurteilung der Belastungsverteilung an der Fußsohle beim Gehen und im Stand" deklariert und als Medizinprodukt zugelassen.

Es erfüllt die vorgegebenen Anforderungen.

Es besteht aus:

jeweils 2 medilogic-Druckmesssohlen der Größen 35/36, 37/38, 39/40, 41/42, 43/44, 45/46 mit rechts/links Markierung.

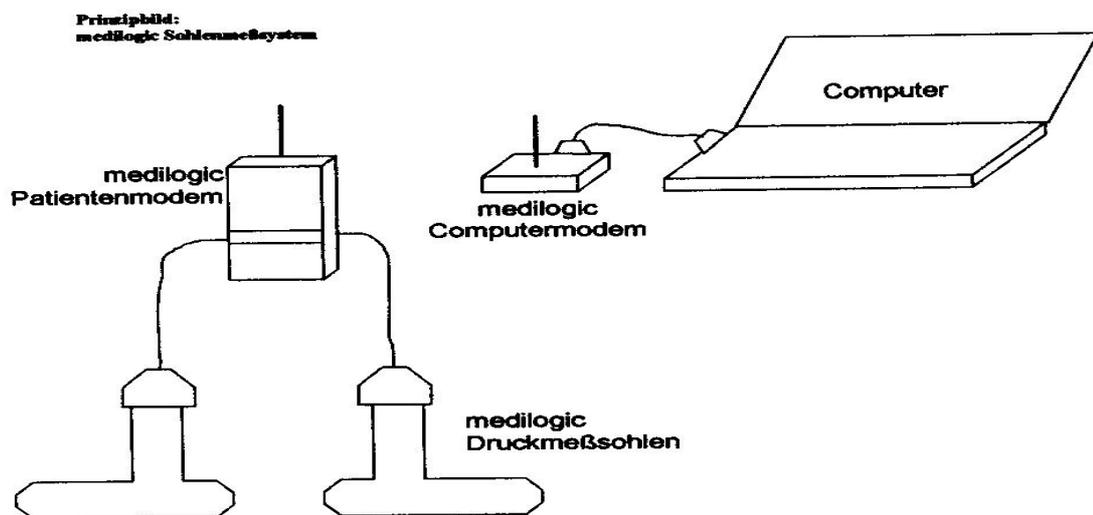
Einem medilogic-Patientenmodem

Einem medilogic-Computermodem

Der medilogic-Auswertungssoftware Version 3.02

Diese Komponenten wurden an einem handelsüblichen Toshiba Satellite Laptop betrieben.

Abb. 9: Schema



2.1.4.1 Technische Daten und Beschreibung:

Die Messsohlen weisen eine Dicke von 1mm auf, sind flexibel und mit jeweils einem Kabel versehen.

Je nach Größe enthalten sie 64 oberflächenresistive Sensoren.

Bei steigender Druckbelastung vermindert sich der elektrische Widerstand am Sensor. Jede Sohle wurde vor Auslieferung kalibriert. Dazu wird jeder Sensor einzeln kalibriert und die zugehörige Kennlinie in der Sohlenelektronik gespeichert. Die Sohlen wurden direkt vor Beginn der Messungen neu kalibriert. Der Messbereich reicht von 0,6 bis 64 N/cm².

Der maximale Messfehler ist mit +/- 0,575 N/cm² angegeben. Die Messung erfolgt mit einer Abtastfrequenz von 60Hz.

Das medilogic Fußdrucksystem ermöglicht eine kabellose Datenübertragung der gemessenen Werte zu einem PC.

Das Patientenmodem wird mittels einer Kabelverbindung mit den Messsohlen verbunden. Der Patient trägt es an einem verstellbaren Tragegurt. Die Maße des Patientenmodems betragen: 145x60x30mm bei 180g Gewicht. Die Reichweite beträgt max. 100m. Gesendet wird auf 433/418 MHz, einer speziell für die Anwendung im klinischen Bereich reservierten Frequenz.

Die Daten werden auf ein stationäres Computermodem übertragen, das wiederum per Keyspan-USB-Adapter seine Daten an den PC weiterreicht. Diese Daten sind direkt online visuell in nahezu Echtzeit überprüfbar und speicherbar.

Die Software ermöglicht eine spätere Verwertung der Daten im Programm selbst, aber auch den Export in Microsoft Excel. Dazu bildet die Software aus den gewonnenen Messwerten einen durchschnittlichen Doppelschritt. Die Software erfasst dazu zunächst die Grunddaten. Grunddaten bei diesem Programm sind: Anrede, Name, Vorname, Körpergröße, verwendete Messsohlengröße, Gewicht, Messdauer, Messfrequenz, Messtermin, Bemerkungen und Geschwindigkeit. In Kombination mit den gewonnenen Messdaten werden folgende Werte ermittelt (Obenaus 1997): Relative Geschwindigkeit, Doppelschrittlänge, Relative Doppelschrittlänge, Doppelschrittdauer, prozentuale Zweibeinstanddauer, prozentuale Standphasendauer links, prozentuale Standphasendauer rechts, Effektive Fußlänge rechts, effektive Fußlänge links, Ganglinienbreite links, Ganglinienbreite rechts, Vorfußbelastung links, Vorfußbelastung rechts, Mittelfußbelastung links, Mittelfußbelastung rechts, Fersenbelastung links, Fersenbelastung rechts, Außenbelastung links, Außenbelastung rechts,

Innenbelastung links, Innenbelastung rechts, Gesamtbelastung links und Gesamtbelastung rechts.

Die Grunddaten wurden vor jeder Messung eingegeben, dabei werden Messdauer und Messfrequenz vorgegeben.

Relative Geschwindigkeit: Die Geschwindigkeit ist ein zentraler Faktor für die quantitative Ganganalyse. Große Personen haben bei gleicher Schrittfrequenz durch die größere Extremitätenlänge häufig eine größere Ganggeschwindigkeit als kleinere.

Daher wurde eine Relative Geschwindigkeit definiert, die die Körpergröße des Probanden berücksichtigt.

$$v_{rel} = \frac{v}{\text{Körpergröße}} \text{ in } 1/s$$

Doppelschrittdauer: beim Gehen als zyklischem Vorgang kann durch die stetige Folge von Be- und Entlastung der Messapparatur eine Doppelschrittdauer gemessen werden. Dieser Wert ist unabhängig von personenbezogenen Daten.

Doppelschrittfrequenz: Der Kehrwert der Doppelschrittdauer ergibt die Doppelschrittfrequenz.

Doppelschrittlänge: Die Doppelschrittlänge kann aus angegebener Geschwindigkeit und gemessener Doppelschrittdauer bestimmt werden.

Relative Doppelschrittlänge: Die relative Doppelschrittlänge wird analog zur relativen Schrittlänge ermittelt.

Eine sehr kurze relative Doppelschrittlänge ist ein Indiz für eine Gangbeeinträchtigung., z.B. Kontraktur des Hüftgelenkes oder ähnliches.

Zweibeinstand: Die Phase des Zweibeinstands wird durch eine Belastung beider Füße gleichzeitig erfasst. Dieser Wert wird in Prozent der

Doppelschrittdauer angegeben. Bei Gleichgewichtsstörungen oder zur Stabilisierung eines unsicheren Schrittes steigt dieser Wert.

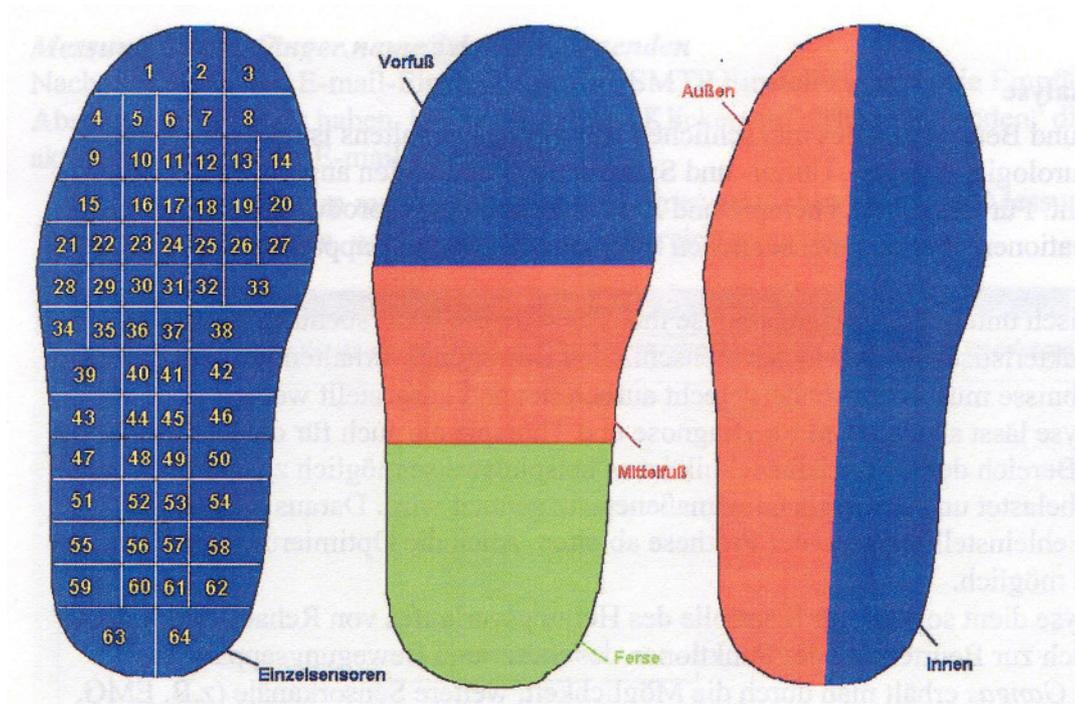
Standphasendauer: Dieser Messwert ergibt sich aus der Belastung eines Fußes und wird für die rechte und linke Seite getrennt ermittelt. Sie wird in Prozent der Doppelschrittdauer angegeben. Eine stark unterschiedliche Standphasendauer für den linken und rechten Fuß charakterisiert ein hinkendes Gangbild. Zumeist wird die beeinträchtigte Seite weniger lang belastet.

Effektive Fußlänge: Dieser Wert wird aus der mittleren Ganglinie bestimmt. Er soll ein Maß dafür darstellen, wie stark über den gesamten Fuß abgerollt wird.

Ganglinienbreite: Das Programm berechnet aus den Schwankungen der Ganglinie in X-Richtung eine theoretische Ganglinienbreite, diese wird in Prozent der Sohlenbreite angegeben.

Belastungen: Die Belastungen werden aus den Druckmesswerten für verschiedene Sohlenbereiche je Fuß bestimmt. Dazu werden vom Hersteller nicht veränderliche Sensormasken vorgegeben.

Abb. 10: Sensorverteilung



Diese Masken werden nach Seite getrennt erfasst und ergeben somit ein von den sonstigen Werten unabhängiges Bild für die Belastung der einzelnen Bereiche.

Für die Belastung werden die Flächen unter den jeweiligen Druckverläufen der Schritte im Messintervall unter den zugeordneten Sohlenbereichen erfasst.

Es gelten nachfolgende Symbole:

- StD Standphasendauer
- P_V mittlerer Druckverlauf über den Vorfußbereich
- P_M mittlerer Druckverlauf über den Mittelfußbereich
- P_F mittlerer Druckverlauf über den Fersenbereich
- P_A mittlerer Druckverlauf über den Außenbereich
- P_I mittlerer Druckverlauf über den Innenbereich
- P_G mittlerer Druckverlauf über den gesamten Sohlenbereich

Die Belastungen ergeben sich aus nachstehenden Beziehungen:

$$\text{Vorfuß: } I_V = \int_0^{\text{StD}} P_V dt \qquad \text{Außen: } I_A = \int_0^{\text{StD}} P_A dt$$

$$\text{Mittelfuß: } I_M = \int_0^{\text{StD}} P_M dt \qquad \text{Innen: } I_I = \int_0^{\text{StD}} P_I dt$$

$$\text{Ferse: } I_F = \int_0^{\text{StD}} P_F dt \qquad \text{Gesamt: } I_G = \int_0^{\text{StD}} P_G dt$$

Zusätzlich enthält das Programm eine vom Hersteller erzeugte Datenbank mit Messwerten gesunder Probanden. Anhand dieser soll ein Vergleich und ein Erkennen pathologischer Abweichungen einfach möglich sein. In Anbetracht der gewollten und erwarteten Gangveränderungen im Vorfußentlastungsschuh wurde die Vergleichsdatenbank nicht verwendet.

2.1.5 Fragebogen:

Mit jedem Probanden wurde zudem folgender Fragebogen ausgefüllt. Dieser Fragebogen wurde später ausgewertet und die Daten in Microsoft Excel weiterverarbeitet.

Unter dem Punkt „Größe“ sollten die Befragten die Passform sowie die Übereinstimmung der aufgedruckten Größe mit ihrer realen Schuhgröße beurteilen.

Unter dem Punkt „Optik“ war allein der subjektive Eindruck erfragt, so auch, ob die Patientinnen Hemmungen hätten, mit diesem Schuh in die Öffentlichkeit zu gehen.

Unter „Komfort“ waren Bequemlichkeit, aber auch die durch den Schuh erzeugten Schmerzen an Operationswunden und ähnlichem erfragt.

Unter „Gehen“ wurden Veränderungen des Gangbildes erfragt.

Unter „Handhabung“ fiel vor allem die Einfachheit des An- und Ausziehens, insbesondere unter Berücksichtigung der bei einigen Patienten vorhandenen rheumatischen Handdeformitäten.

Unter „Sicherheit“ wurde das subjektive Sicherheitsgefühl abgefragt. Dazu zählen Faktoren wie der stabile Sitz oder die Form und Art der Abrollsohle und das daraus resultierende Abrollverhalten.

Fragebogen

Name: _____

Alter: _____ Größe: _____ Gewicht: _____

Passende Messsohlengröße: _____

Operation: _____ re/li

Sie können die Schuhe in einer Rangliste pro Kategorie sortieren.
Dabei darf jeder Platz nur ein Mal vergeben werden. Rang 1 ist der beste.

Schuh	Größe	Optik	Komfort	Gehen	Handhabung	Sicherheit	Gesamt
VF Darco							
Podo-med 50/040							
Podo-med 50/045							
Köln							
Hannover							

Kommentare: _____

Ich bin damit einverstanden, daß meine oben angegebenen Daten zur Erstellung einer
Wissenschaftlichen Arbeit verwendet und gespeichert werden.

Datum:

Unterschrift:

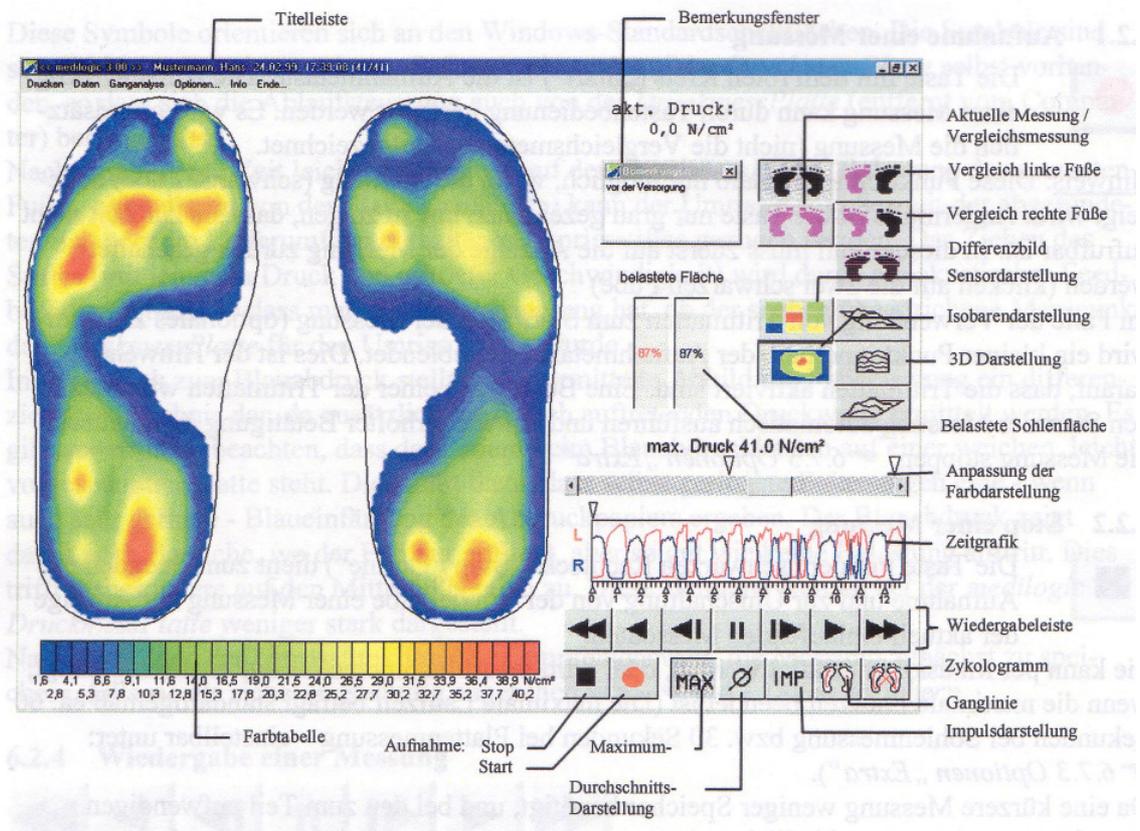
2.2 Methoden:

Alle Patienten wurden im selben Laufgang gemessen. Der Laufgang ist eben, 21m lang und mit einer Reling an einer Seite versehen. Der Boden ist durchgängig mit einer Linoleumfläche versehen. Es gab keine Hindernisse oder Personenverkehr zur Messzeit. Die Reling an der Wand war mit Markierungen versehen worden. Nach 3m war eine „0“ Markierung angebracht, die Befestigungsstege der Reling sind in gleichmäßigen Abständen angebracht, an denen Zeitmarkierungen befestigt wurden, z.B. beim Wendepunkt nach 17m „30s“ (Hirokawa, 1987).

Alle Probanden wurden zunächst in die Funktionsweise der Messapparatur eingeführt. Alle Probanden verwendeten die rot markierte Messsohle im rechten Schuh, die blaue links.

Alle Probanden wurden beidseits mit identischem Schuhwerk versorgt, um eine Gewichtsverlagerung durch Höhendifferenzen möglichst auszuschließen. Alle Patienten wurden im Sitzen mit den Schuhen versorgt, die Lage und Größe sowie Fixation der Messsohle und des Schuhs wurden bei jedem Messdurchgang überprüft. Zunächst wurde eine Messung im Verbandsschuh mit flacher Sohle durchgeführt, damit die Patienten den Umgang und die günstigste Befestigung des Senders erproben konnten. Wenn der Proband angab, keine Beeinträchtigung durch die Messapparatur zu verspüren, wurde der Messvorgang gestartet. Um eine möglichst konstante Geschwindigkeit zu erreichen, wurden die ersten 3 Meter als Beschleunigungsstrecke nicht gemessen. Bei Erreichen der 0m Markierung wurde die Messung gestartet und der Patient in 5s-Schritten über die abgelaufene Zeit informiert. Danach richtete der Patient seine Geschwindigkeit aus. Als Orientierungshilfe dienten dazu die in regelmäßigen Abständen angebrachten und beschrifteten Befestigungen der Handreling an der Wand. Als Messdauer waren 60s gewählt worden, die Messfrequenz betrug 60Hz. Es wurden stets beide Füße synchron gemessen. Der Datenverkehr wurde ständig optisch auf dem Bildschirm kontrolliert. Die Datenübertragung erfolgte in Echtzeit und erlaubte daher ein sofortiges Erkennen von Datenverlusten oder massive Abweichungen etwa durch Verrutschen der Sohle.

Abb. 11: Meßbildschirm



Ein Abbruch der Verbindung, etwa durch Dislokation einer Steckverbindung führte zur erneuten Aufzeichnung der Messreihe.

Alle Patienten konnten die 60 Sekunden Gehzeit pro Durchgang mühelos absolvieren. Kam es durch Missverständnisse oder Lockerung des Schuhs oder offensichtlichen Verrutschen der Messsohle zur Pause während der Gangmessung, wurde dieser Messdurchgang ebenfalls vollständig wiederholt. Nach jedem Messdurchgang wurde nach Besonderheiten gefragt und der Name des Modells wiederholt. Nach Beendigung der letzten Messreihe wurde direkt der Fragebogen ausgefüllt.

2.2.1 Auswertung:

2.2.1.1 Patientenbeurteilung

Zur Auswertung des Fragebogens wurde eine Excel-Tabelle angelegt, die Werte per Hand übertragen.

Es wurden verschiedene Tabellen für die verschiedenen abgefragten Parameter erzeugt.

Zur Zusammenfassung wurden die Parameter in eine Tabelle übertragen und das arithmetische Mittel der Benotungen 1-5 der Probanden gebildet.

Die zusammengefasste Tabelle wurde in einem Balkendiagramm optisch dargestellt und ist im Teil „Ergebnisse“ abgebildet.

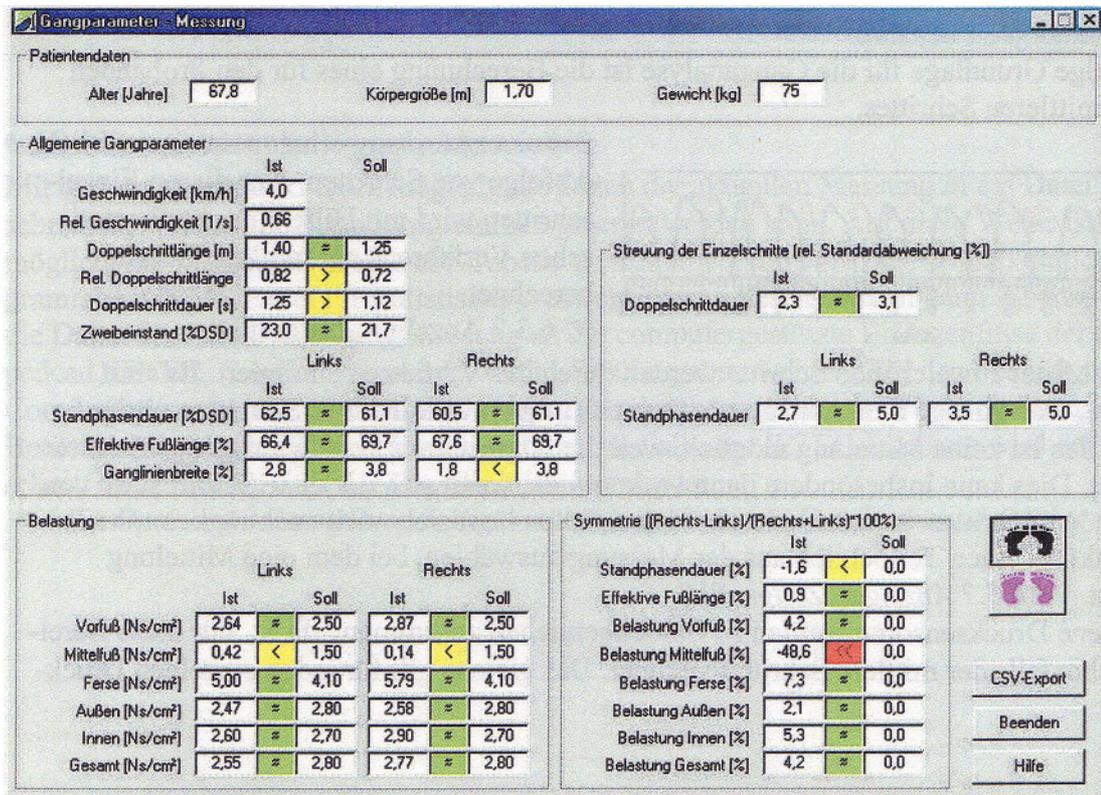
2.2.1.2 Messwerte:

Bei dieser Art von Messungen entstehen sehr schnell Millionen von Messwerten. Diese sind manuell nicht sinnvoll verwertbar. Daher wurde zur Auswertung komplett auf Datenverarbeitungssysteme zurückgegriffen.

Die Datenaufnahme durch die Sensoren und die primäre Datenverarbeitung erfolgt vollautomatisch in der Software „medilogic 3.02“ unter Microsoft Windows XP.

Nach Eingabe der personenbezogenen Daten bildete die Software einen „mittleren Schritt“ für die jeweilige Messung und erzeugte folgendes Datenblatt.

Abb. 12: Auswertungsbildschirm



Diese Daten wiederum konnten mit einer im Programm implementierten Funktion im *.csv Format exportiert werden. Excel kann dieses Format weiterverarbeiten. Die so entstandene Rohdaten-Tabelle enthält 12376 Felder.

Daher war zunächst eine Datenreduktion auf wirklich für diese Fragestellung relevante Daten nötig.

Zunächst wurden alle „Soll-Werte“ aus der medilogic Datenbank entfernt. Dann wurde weiter nach Relevanz sortiert.

Bei einem Vorfußentlastungsschuh ist es logisch, dass nicht über den gesamten Fuß abgerollt wird. Nachdem die „effektive Fußlänge“ dies bezeichnen soll, wurde diese Spalte entfernt.

Auch ist ohne Abrollvorgang die Angabe einer Ganglinienbreite zwangsläufig pathologisch. Daher wurde diese Spalte ebenfalls entfernt.

Zudem wurden sämtliche Symmetriedaten entfernt, nachdem bei einer einseitigen Operation eine Entlastung der operierten Seite wahrscheinlich ist und diese Daten sich aus den Druckwerten leicht wiederherstellen lassen. Ebenso wurden irrelevante Grunddaten, wie etwa die Anrede der Patienten entfernt.

Die Daten wurden nun in zwei Dimensionen ausgelesen. Einmal nach Patienten und ein zweites Mal nach Schuhmodell.

Sämtliche Messwerte werden als normalverteilt angenommen. Nachdem die physikalischen Grunddaten wie Gewichtskraft, Geschwindigkeit und Patientenmaße gleich bleiben, scheint dies folgerichtig.

2.2.1.3 Auswertung nach Schuhmodell:

Das entstandene Datenblatt nach Löschung der oben genannten Daten enthielt noch 6660 Felder und wurde nun nach Schuhmodell sortiert und ausgewertet.

Zunächst wurde ein „Orientierungswert“ erzeugt. Um größere Datenmengen für einen Nicht-Statistiker greifbarer zu machen, werden häufig Orientierungswerte erzeugt, wie etwa die Umrechnung eines Brutto-Inland-Produktes in „BigMac“-Einheiten.

Der hier gesuchte Orientierungswert sollte erlauben, einschätzen zu können, ob die Differenz zwischen der Probandengruppe und der Patientengruppe eher eine Messwertschwankung oder eine aussagekräftige Gruppendifferenz darstellt, ohne dieselbe Sicherheit eines Signifikanztests zu besitzen.

Dieser Wert diente nur der Orientierung im Datenblatt und wurde für die Ergebnisfindung nicht verwendet.

Orientierungswert = $\text{Absolutwert}(\text{Durchschnitt Probanden} - \text{Durchschnitt Patienten}) - \text{Standardabweichung Probanden} - \text{Standardabweichung Patienten}$

Dieser Wert wurde in Analogie zum „2S-Intervall“ entworfen. Wenn er negativ ist, ist wurde eine eindeutige Aussage als eher unwahrscheinlich gewertet, da die Schwankungsbreite dann geringer als die Addition von jeweils einer Standardabweichung ist.

2.2.1.3.1 Auswertung Verbandsschuh:

Aus ethischen Gründen war dieser Schuh postoperativ nicht mehr zu verwenden. Daher erfolgte hier ein etwas anderes Vorgehen. Hier konnte nur nach Differenzen zwischen Probanden ohne Pathologien und Patienten gesucht werden. Hierzu wurden arithmetische Mittel aller Probanden, aller Patienten und der Gesamtdurchschnitt und die zugehörigen Standardabweichungen errechnet. Danach wurde nach auffälligen Differenzen gesucht. Dazu wurde der Orientierungswert benutzt.

2.2.1.3.2 Auswertung Vorfußentlastungsschuhe:

Zunächst wurden wieder Gruppen gebildet. Eine Gruppe bestand aus den Probanden ohne OP, die zweite Gruppe bestand aus den Patienten vor OP und die dritte Gruppe aus Patienten nach OP. Es wurden wieder arithmetische Mittel und Standardabweichungen errechnet. Die interindividuellen Gang-Unterschiede in jeweils einer Gruppe waren relativ groß, so dass eine erhebliche Streuung der Einzelwerte auftrat. Die Durchschnitte sind dabei nahezu identisch. Eine Normierung der Werte auf das Gewicht der Probanden ergab sogar noch größere Schwankungen. Aus der Analyse der Daten zeigt sich, dass die interindividuellen Streuungen so viel größer als die Unterschiede der Gruppen sind, dass wegen des dadurch

entstandenen statistischen „Rauschens“ diese Werte nicht weiter analysiert wurden, da keine sinnvollen Ergebnisse zu erwarten sind.

2.2.1.4 Auswertung nach Proband/Patienten:

Nachdem die Ergebnisse nach Schuhen ausgewertet zeigten, dass die Gangunterschiede von Person zu Person einen vielfach größeren Einfluss als der Schuh selbst besitzen, wurde nun die gesamte Datenbank erneut nach jedem einzelnen Patienten und Probanden ausgewertet. Dazu wurde ein erneutes Rohdaten-Spreadsheet erzeugt. Diese Tabelle enthält 7326 Felder. Sie besteht aus den Spalten Schuhmodell, Probandenname, Probandengröße in m, verwendete Messsohlengröße, Körpergewicht in kg, Messtermin, Bemerkungen, Geschwindigkeit, in km/h, Relative Geschwindigkeit in 1/s, Doppelschrittlänge in m, Relative Doppelschrittlänge, Doppelschrittdauer in s, Zweibeinstand in Prozent der Doppelschrittdauer, Standphasendauer in Prozent der Doppelschrittdauer links, Standphasendauer in Prozent der Doppelschrittdauer rechts, der effektiven Fußlänge links, der effektiven Fußlänge rechts, Standphasendauer links in s, Standphasendauer rechts in s, Druck im Vorfußfeld links in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Druck im Vorfußfeld rechts in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Druck im Mittelfußfeld links in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Druck im Mittelfußfeld rechts in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Druck im Fersenfeld links in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Druck im Fersenfeld rechts in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Druck im Außenfeld links in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Druck im Außenfeld rechts in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Druck im Innenfeld links in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Druck im Innenfeld rechts in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Gesamtsohlendruck links in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, Gesamtsohlendruck rechts in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$, sowie des Summe der Vorfußdrücke links und rechts in $\text{N/cm}^2 \cdot \text{s}$ und den 222 Zeilen der Messreihen.

Alle diese Daten wurden per „copy and paste“ in eine neue Tabelle pro Patient überführt. Von allen Daten wurden arithmetische Mittel und Standardabweichungen errechnet. Zur zusätzlichen, nachträglichen Kontrolle der Werte wurde eine Zweitkontrolle der Daten durchgeführt. Alle diese Daten wurden wiederum mittels Durchschnittswert, Standardabweichung und des Orientierungswertes überprüft, um offensichtliche Fehler aufzuspüren. So

wäre etwa eine außergewöhnliche Doppelschrittlänge als Messfehler aufgefallen. Alle Werte konnten so recht schnell nach größeren Fehlern untersucht werden, da bei einer 6 zeiligen Tabelle die Werte leicht mit Durchschnitt und Standardabweichung korreliert werden können. Hierbei zeigte sich eine gute Messwertqualität ohne Ausreißer bei den gemessenen Werten wie etwa Schrittlänge, Doppelschrittdauer usw. Es kann also davon ausgegangen werden, dass keine groben Messfehler in den Messreihen aufgetreten sind, nachdem zunächst während der Messung eine optische Kontrolle erfolgte und nun die zweite, statistische Kontrolle durchgeführt wurde.

Die Tabelle wurde nun nach Summe der Vorfußdrücke sortiert, so dass der Schuh, in dem die geringsten Vorfußdrücke auftreten, an der Spitze der Liste steht und der Schuh mit den höchsten Vorfußdrücken am Ende.

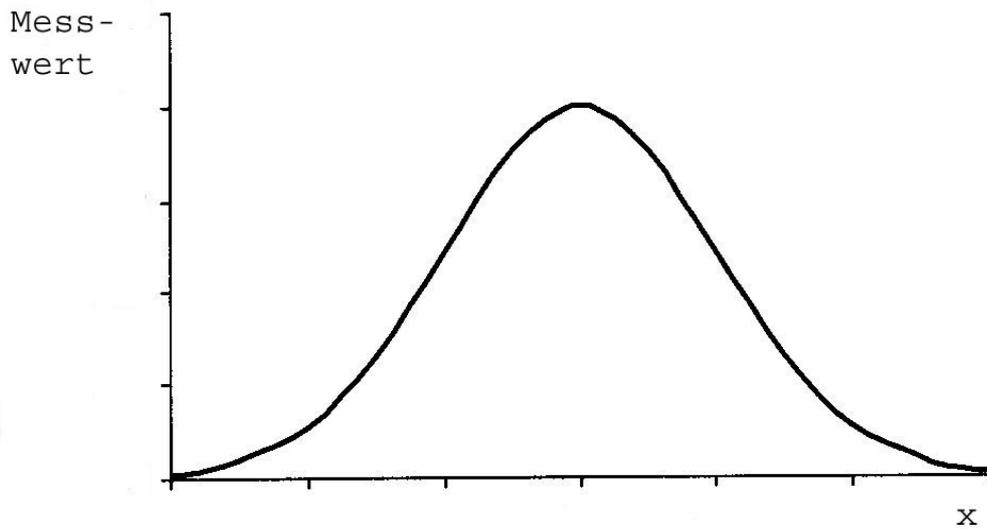
Bei den Patienten mit OP wurde nach Vorfußdrücken an der operierten Seite sortiert und ausgewertet, da dies in diesen Fällen die relevanten Daten sind.

2.2.2 Statistik

Aus der Fragestellung ergibt sich nun die weitere Auswertung. Es ist gefragt, ob die Vorfußentlastungsschuhe ihren Sinn, nämlich die Vorfußentlastung erfüllen. Sekundär wurde untersucht, ob ein Vorfußentlastungsschuh signifikant besser ist, als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh. Hierzu wurden Signifikanztests durchgeführt.

Für die Signifikanztests wird eine Normalverteilung der Werte angenommen.

Abb. 13:
Normalverteilung

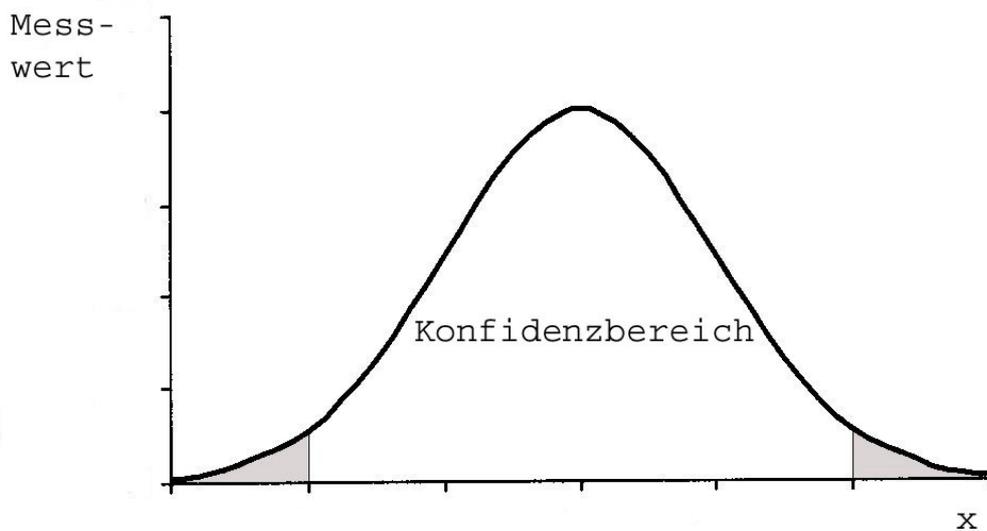


Hierbei sind die Messwerte symmetrisch um den Durchschnittswert verteilt. Eine Intervallschätzung erlaubt nun, die Sicherheit einer Aussage zu beurteilen und als Wahrscheinlichkeit auszudrücken. Hierzu wird ein Konfidenzniveau, also eine Vertrauens-Wahrscheinlichkeit, festgelegt. Beim Test werden also Werte, die innerhalb des Konfidenzbereiches liegen als aussagekräftig angenommen, Werte außerhalb werden abgelehnt.

Der Konfidenzbereich ist definiert durch:

Vertrauenswahrscheinlichkeit = 1 - Irrtumswahrscheinlichkeit.

Abb. 14: Konfidenzbereiche



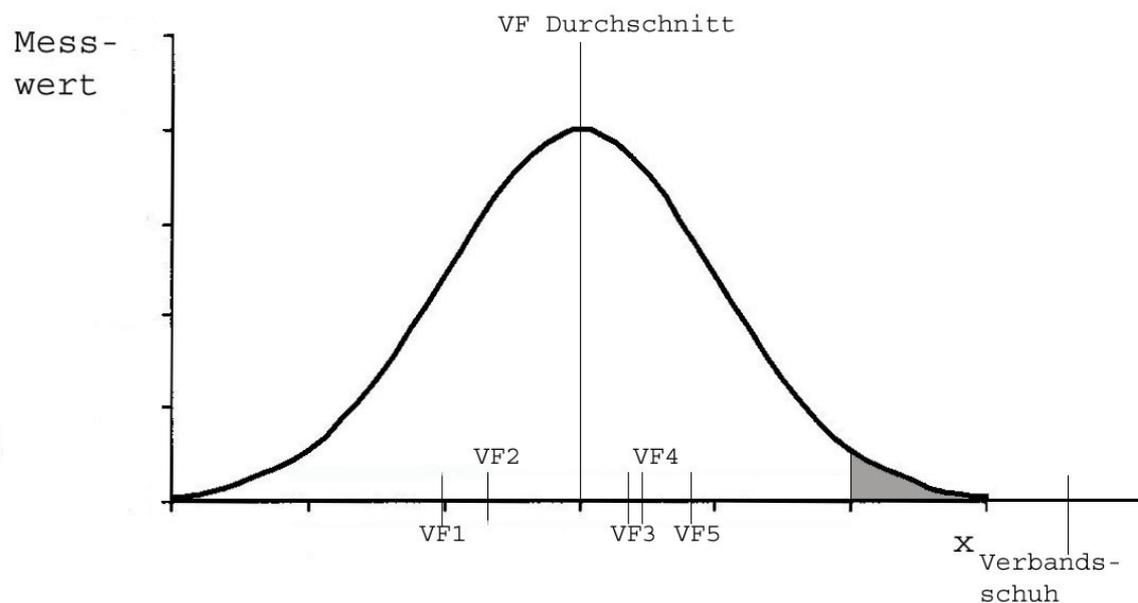
2.2.2.1 Vergleich der Vorfußentlastungsschuhe mit dem Verbandsschuh

In der Frage, ob ein Vorfußentlastungsschuh den Vorfuß signifikant weniger belastet als ein Verbandsschuh sieht eine Verteilung folgendermaßen aus: Nach Sortierung der Werte war in jedem Fall der Druck im Verbandsschuh am größten.

Die Frage ist nun, ob dieser Unterschied aussagekräftig (signifikant) ist.

Wenn dies so wäre, sähe die Verteilung grafisch so aus:

Abb. 15: Signifikanztest Verbandsschuh



Die Messwerte der Vorfußentlastungsschuhe (hier mit VF1 bis VF5 bezeichnet) wären um den Durchschnittswert verteilt und der Verbandsschuh rechts außerhalb des Konfidenzbereiches.

Aus dieser Grafik ergibt sich, dass für unsere Fragestellung ein rechtsseitiger Signifikanztest ausreichend ist.

Das Konfidenzintervall wird mit 97,5% festgelegt, das heißt, dass eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 2,5% besteht.

Es wird mit folgender Formel berechnet:

$$\bar{x} + z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Wenn der Messwert des Verbandsschuhs größer als der so errechnete Wert ist, wird das Ergebnis als signifikant betrachtet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt dabei unter 2,5%.

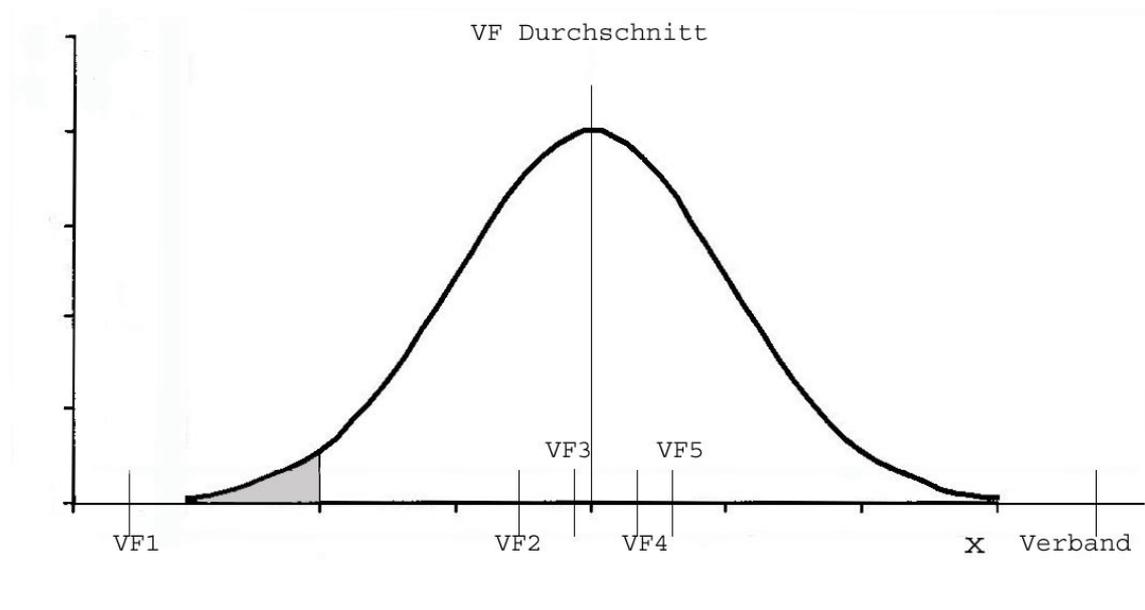
2.2.2.2 Bester Vorfußentlastungsschuh:

In der Frage, ob ein Vorfußentlastungsschuh den Vorfuß signifikant weniger belastet als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh, sieht eine Verteilung folgendermaßen aus:

Die Frage ist nun, ob dieser Unterschied aussagekräftig (signifikant) ist.

Wenn dies so wäre, sähe die Verteilung grafisch so aus:

Abb. 16: Signifikanztest Vorfußentlastungsschuh



Die Messwerte der Vorfußentlastungsschuhe (hier mit VF2 bis VF5 bezeichnet) wären um den Durchschnittswert verteilt und der beste Vorfußentlastungsschuh links außerhalb des Konfidenzbereiches.

Aus dieser Grafik ergibt sich, dass für diese Fragestellung ein linksseitiger Signifikanztest ausreichend ist.

Das Konfidenzintervall wird mit 97,5% festgelegt, das heißt, dass eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 2,5% besteht.

Es wird mit folgender Formel berechnet:

$$\bar{x} - z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Wenn der Messwert des besten Vorfußentlastungsschuhs kleiner als der so errechnete Wert ist, wird das Ergebnis als signifikant betrachtet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt dabei unter 2,5%.

Diese Signifikanztests wurden nach obigen Formeln nun für jede Messreihe nach Proband/Patient für präoperativ und postoperativ durchgeführt.

Hierzu wurde ein Excel-Spreadsheet entworfen, das aus den Beispielrechnungen von Zwerez: "Statistik verstehen mit Excel", Oldenbourg ISBN 3-486-25624-6, abgewandelt wurde.

In diese Tabelle wurden nun die Ergebniswerte für die Summe der Vorfußdrücke und die Standardabweichung eingegeben, die aus den vorigen Tabellen per Hand übertragen wurden.

Abb. 17: Eingabemaske

Stichprobe				
X	n	5	\bar{x}	2,034
1,71	$1 - \alpha$	0,95	σ	0,35
1,73	Konfidenzintervall			
1,99	$\bar{x} \pm z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,0340 \pm 1,9600 \frac{0,35}{2,24}$			
2,19	Untergrenze		1,7272	Obergrenze
2,55				2,3408

Diese Ergebnisse für den links- bzw. rechtsseitigen Signifikanztest wurden nun in eine Ergebnistabelle übernommen.

2.2.2.3 Ergebnisdarstellung:

2.2.2.3.1 Ergebnisse der einzelnen Messreihen

Diese große Menge an Messwerten sollte nun auch für uneingearbeitete Personen dargestellt werden. Hierzu wurden Ergebnistabellen mit Schaubild erstellt, die im Anhang zu finden sind.

Zur Ergebnistabelle wurden die Eingabewerte zu jeder Messung erfasst, die da wären:

Angabe prä- oder postoperative Messung, bei postoperativen Messungen Angabe der OP, Namenskürzel des Probanden/Patienten, die Messsohlengrößen, Körpergröße und Gewicht des Probanden/Patienten sowie das Messdatum.

Dann wurden die Ergebniswerte eingegeben die letztendlich für die Beantwortung der Fragestellung benötigt werden:

Bei präoperativen Messungen oder Messungen der nicht operierten Probanden:

Vorfußentlastungsschuhmodell mit der niedrigsten Summe der Vorfußdrücke, die zugehörige Summe der Vorfußdrücke, die Signifikanzgrenze für die Aussage, ob ein Vorfußentlastungsschuh einen signifikant geringeren Druck produziert, der der Durchschnitt der Summen der Vorfußdrücke für alle Vorfußentlastungsschuhe, die Signifikanzgrenze, ob der Verbandsschuh signifikant höhere Vorfußdrücke als der Durchschnitt der

Vorfußentlastungsschuhe erzeugt und die Summe der Vorfußdrücke des Verbandsschuhs. Bei Patienten wurden die Werte der OP-Seite angegeben.

Diese Werte wurden nun in einem 5-Säulen-Schaubild dargestellt und liefern somit einen guten und schnellen Überblick über die Ergebnisse.

Abb. 18: Schaubild der Einzelergebnisse

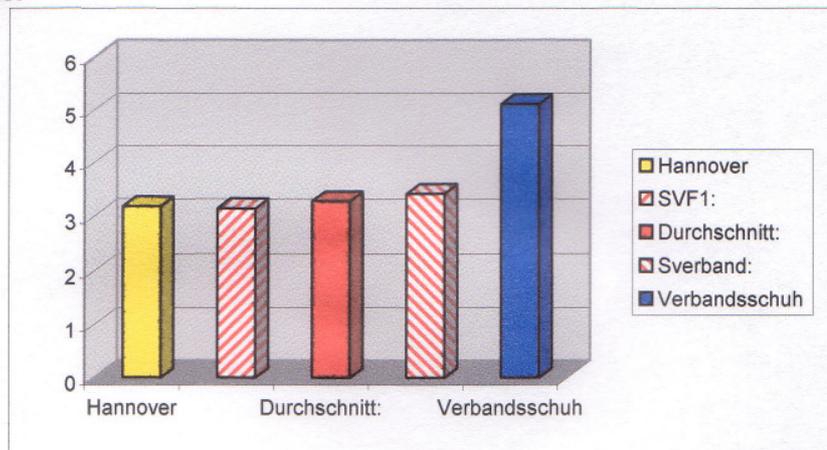
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
SS	39/39	67 kg	1,66 m	20.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

Hannover	3,18
SVF1:	3,14
Durchschnitt:	3,27
Sverband:	3,41
Verbandsschuh	5,11



MSGr.: Messohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Wenn die gelbe Säule kleiner als die daneben stehende, nach links abfallend rot schraffierte Säule ist, erzeugt der angegebene Vorfußentlastungsschuh bei dieser Probandin/Patientin signifikant niedrigere Vorfußdrücke als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh in dieser Messung. Rot ist der Durchschnitt der Summe der Vorfußdrücke aller Vorfußentlastungsschuhe in dieser Messreihe. Ist die blaue Säule, die Summe der Vorfußdrücke im Verbandsschuh, höher als die nach rechts abfallend rot schraffierte Säule, ist die Summe der Vorfußdruckbelastung des Verbandsschuhs signifikant höher als der Durchschnitt der Summe der Vorfußdrücke aller Vorfußentlastungsschuhe.

Von links nach rechts ansteigende Säulen zeigen also Signifikanzen in beiden Fragestellungen.

2.2.2.3.2 Ergebniszusammenfassung für den Ergebnisteil

Für den Ergebnisteil wurden die Ergebnisse der einzelnen Messreihen nochmals zusammengefasst und optisch aufgearbeitet.

Zur Ergebnisdarstellung wurden Diagramme erzeugt. Als optische Ablesehilfe wurden die Spannen mit eingetragen. In diesen Diagrammen wurden aus den Einzelmesswertbildern immer drei Werte übereinander dargestellt:

Zunächst als grüne Raute die Summe der Vorfußdrücke des durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuhs.

Um eine Bewertung der Signifikanz der Aussage zu ermöglichen, sind hier nicht die Standardabweichungen eingetragen, sondern wurde für jeden einzelnen Probanden/Patienten ein rechtsseitiger Signifikanztest mit $p=0,025$ durchgeführt und die Signifikanzgrenze mit roten Quadraten abgebildet.

In blau ist die Summe der Vorfußdrücke im Verbandsschuh dargestellt.

3. Ergebnisse:

Eine komplexe pedobarographische Analyse erzeugt ungeheure Mengen an Zahlenmaterial. Es wird versucht, dieses so weit wie möglich in Diagrammform darzustellen und Datenblätter zu vermeiden. Diese sind jedoch angehängt, soweit sinnvoll möglich.

Die zur Beantwortung der Fragestellung notwendigen Angaben wurden aus den Daten extrahiert.

3.1 Pedobarographische Messungen

3.1.1 Vergleich der Vorfußbelastung zwischen Vorfußentlastungsschuhen und einem flachen Verbandsschuh.

In diesen Diagrammen stehen immer drei Werte übereinander:

Zunächst als grüne Raute die Summe der Vorfußdrücke des durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuhs.

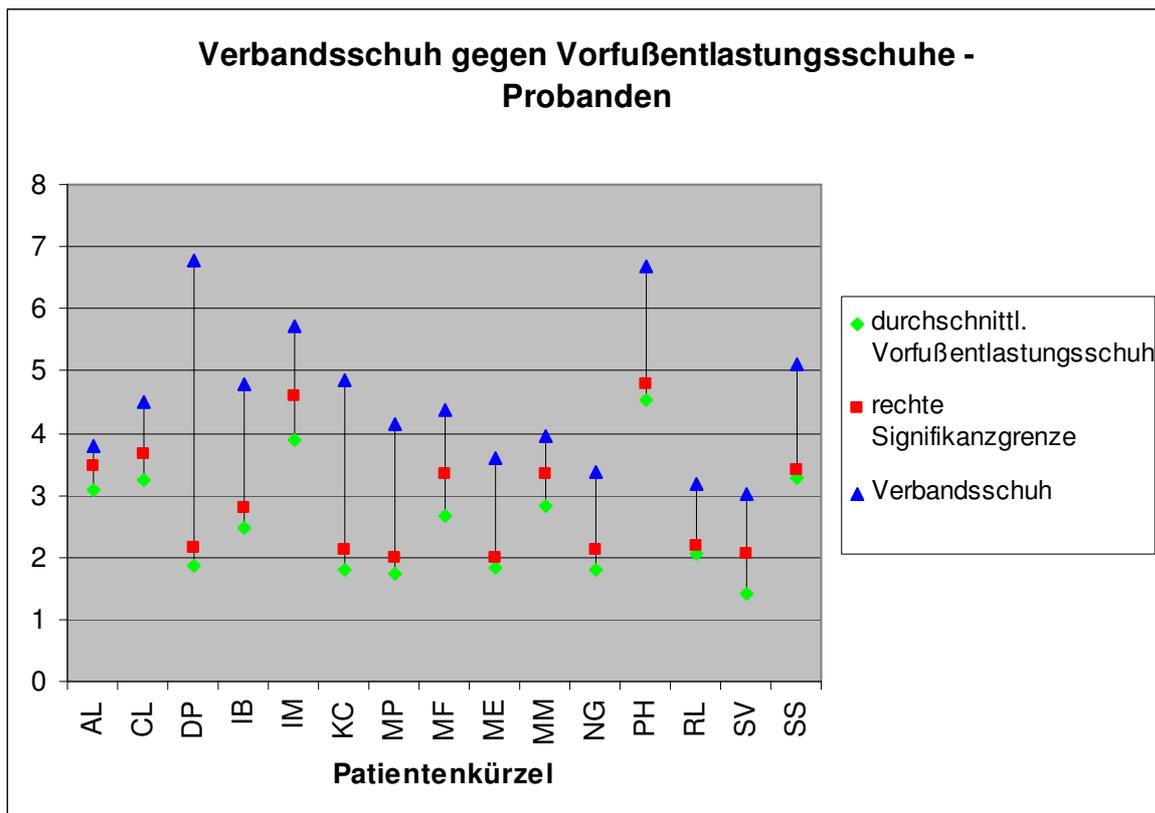
Um eine Bewertung der Signifikanz der Aussage zu ermöglichen, sind hier nicht die Standardabweichungen eingetragen, sondern wurde für jeden einzelnen Probanden/Patienten ein rechtsseitiger Signifikanztest mit $p=0,025$ durchgeführt und die Signifikanzgrenze in als rotes Quadrat abgebildet.

In blau ist die Summe der Vorfußdrücke im Verbandsschuh dargestellt.

Ergebnis:

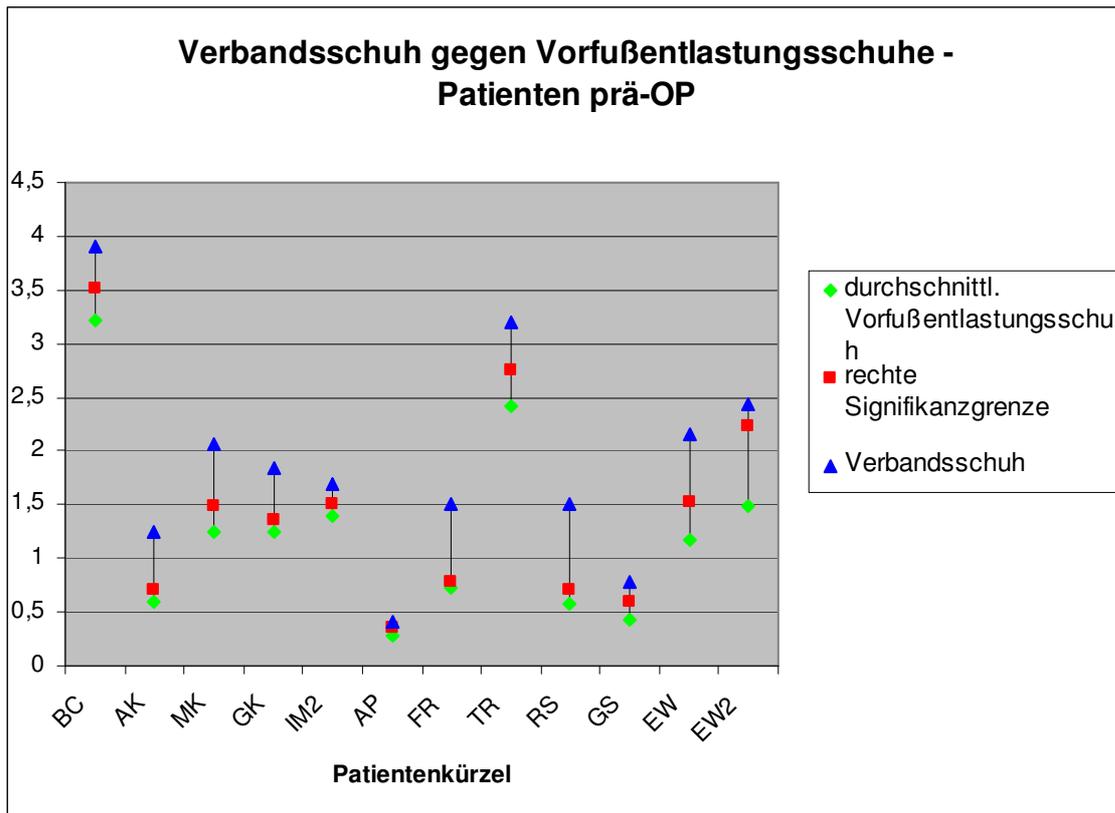
Trotz hoher interindividueller Schwankungen erzeugt der Verbandsschuh (blau) in allen Messreihen signifikant höhere Vorfußbelastungen als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh.

Abb. 19: Ergebnis Verbandsschuh gegen Vorfußentlastungsschuhe an Probanden



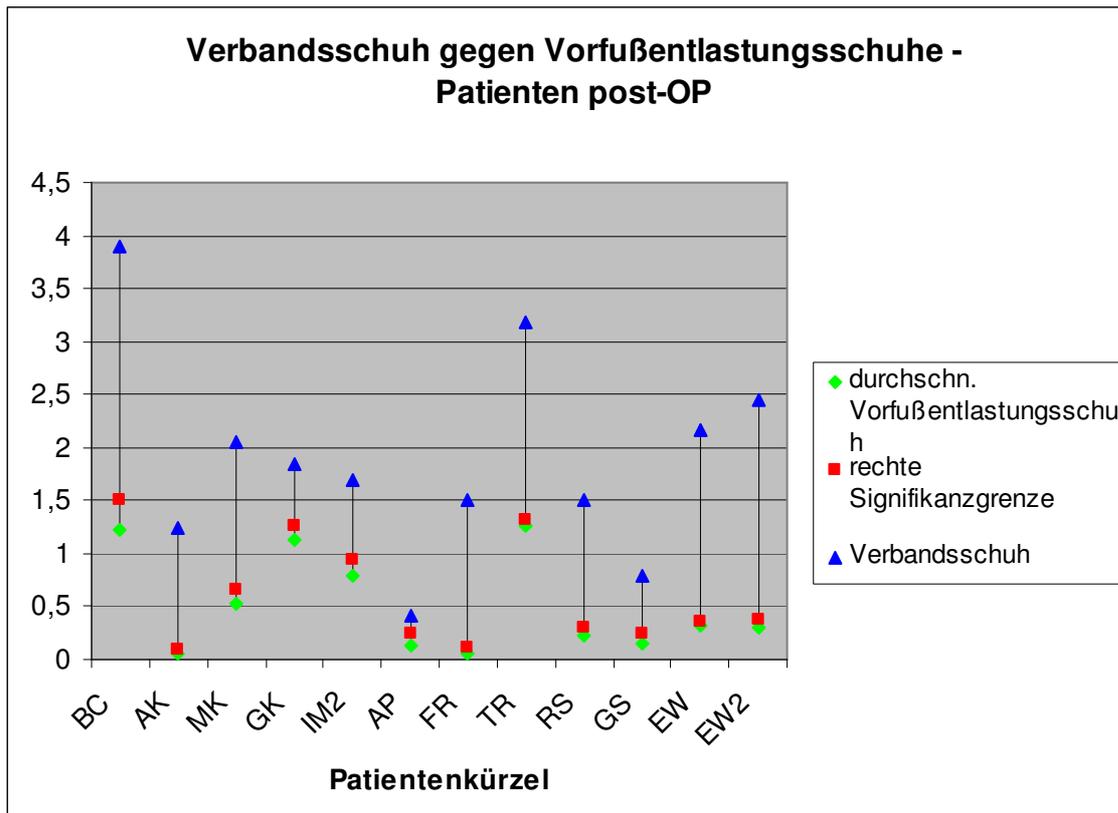
Bei den getesteten Probanden ohne Pathologien wurde in allen Messungen ein signifikant höherer Druck im flachen Verbandsschuh als im durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuh gemessen. Hier ist dargestellt, wie die blauen Messpunkte der Drücke im Verbandsschuh weit über den roten Quadraten, den Werten der oberen Signifikanzgrenze, liegen.

Abb. 20: Verbandsschuh gegen Vorfußentlastungsschuhe an Patienten präoperativ



In diesem Schaubild sind die Messwerte der Messungen an Patienten präoperativ dargestellt. Auch hier liegen die blauen Messpunkte der Drücke im flachen Verbandsschuh in allen Messungen über den roten Quadraten der oberen Signifikanzgrenze. Als grüne Raute darunter sind die Messwerte des durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuhs abgebildet. Der Verbandsschuh hat also in allen Messungen signifikant höhere Vorfußbelastungen erzeugt.

Abb. 21: Verbandsschuh gegen Vorfußentlastungsschuhe an Patienten postoperativ



Hier sind nun die Messergebnisse der Patienten im durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuh nach OP im Vergleich zu ihrer präoperativen Messung im Verbandsschuh dargestellt. Es zeigt sich, dass die Druckwerte im Verbandsschuh, hier in blau, sämtlich über der oberen Signifikanzgrenze (rotes Quadrat) liegen. Der Verbandsschuh hat also auch hier signifikant höhere Vorfußbelastungen erzeugt.

3.1.2 Vergleich des besten Vorfußentlastungsschuhs mit dem durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuh

Zur Ergebnisdarstellung wurden erneut Liniendiagramme erzeugt. In diesen Diagrammen stehen immer drei Werte übereinander:

Zunächst in rot die Summe der Vorfußdrücke des Vorfußentlastungsschuhs, der in dieser Messreihe die beste Vorfußentlastung erzielt hat.

Um eine Bewertung der Signifikanz der Aussage zu ermöglichen, sind auch hier nicht die Standardabweichungen eingetragen, sondern wurde für jeden einzelnen

Probanden/Patienten ein linksseitiger Signifikanztest mit $p=0,025$ durchgeführt und die Signifikanzgrenze in gelb abgebildet.

In blau ist die durchschnittliche Summe der Vorfußdrücke in allen getesteten Vorfußentlastungsschuhen dargestellt.

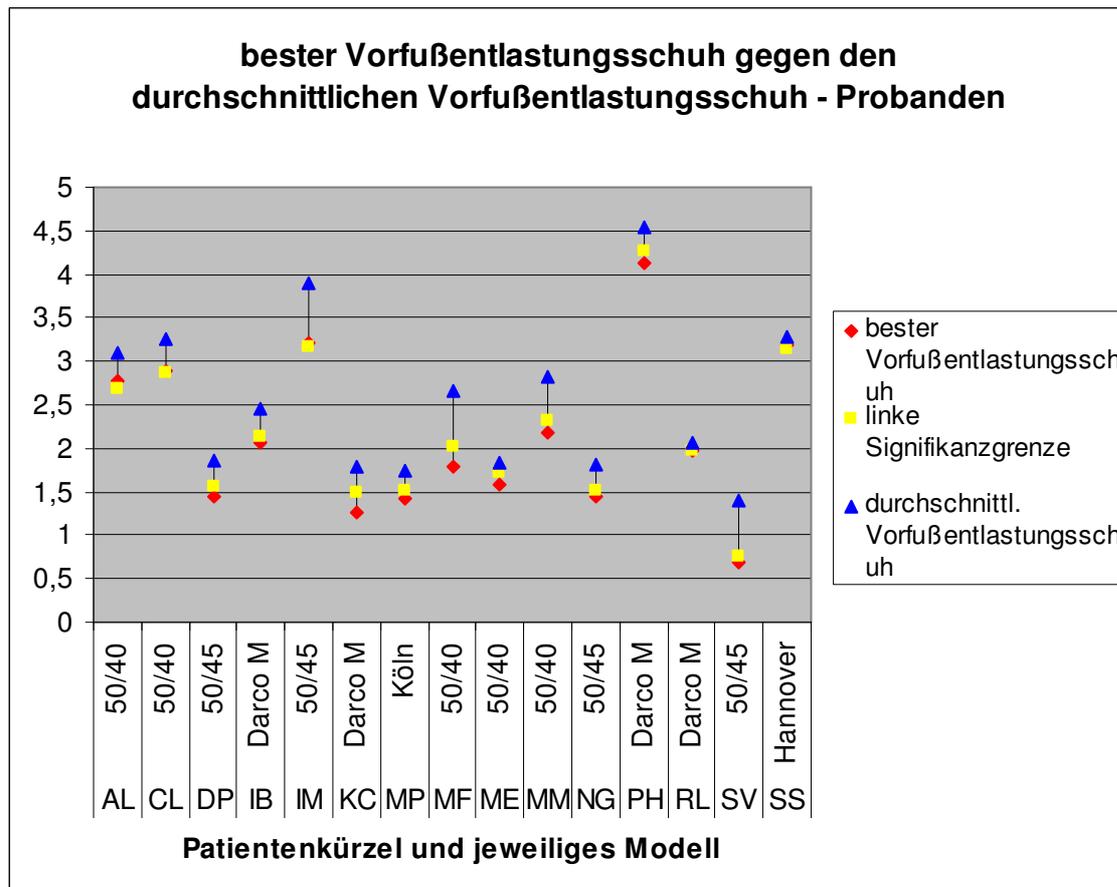
Zudem ist das jeweilige Modell, das den Vorfuß in dieser Messreihe am stärksten entlastet hat namentlich aufgeführt.

Eine signifikante Aussage ist also durch den Farbcode blau-gelb-rot, für jede Messreihe von oben nach unten gesehen, bedingt.

In diesen Messungen ist die Ergebnissituation nicht so einfach zu beurteilen. Es kann zwar gezeigt werden, dass 28 der 39 Messungen einen signifikant besseren Vorfußentlastungsschuh ergeben haben, also der Farbcode der Punkte von oben nach unten ist blau für den durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuh, gelb für die Signifikanzgrenze und rot für das beste Modell, jedoch ist dies nicht stets das gleiche Modell.

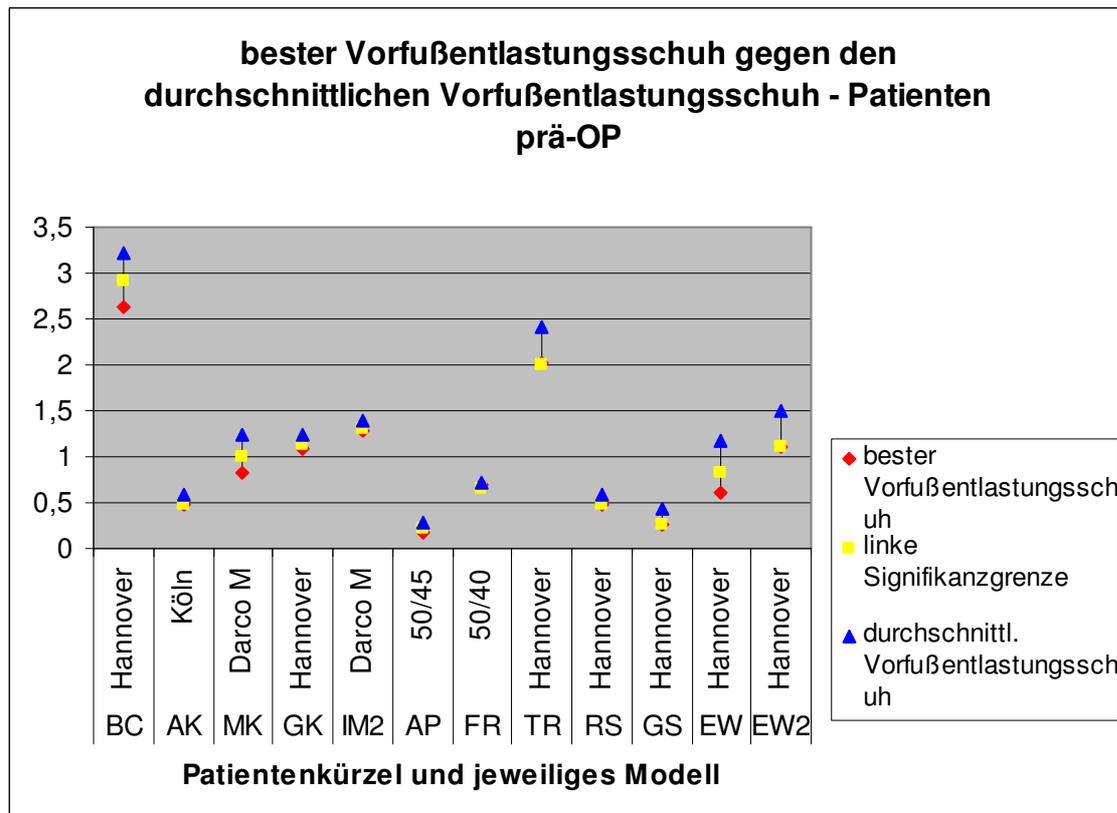
In diesen Messungen, vgl. auch Absatz 3.3, kann also nicht ein Modell gefunden werden, das den Vorfuß signifikant besser entlastet als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh.

Abb. 22: Vergleich des besten Vorfußentlastungsschuhs mit dem durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuh an Probanden



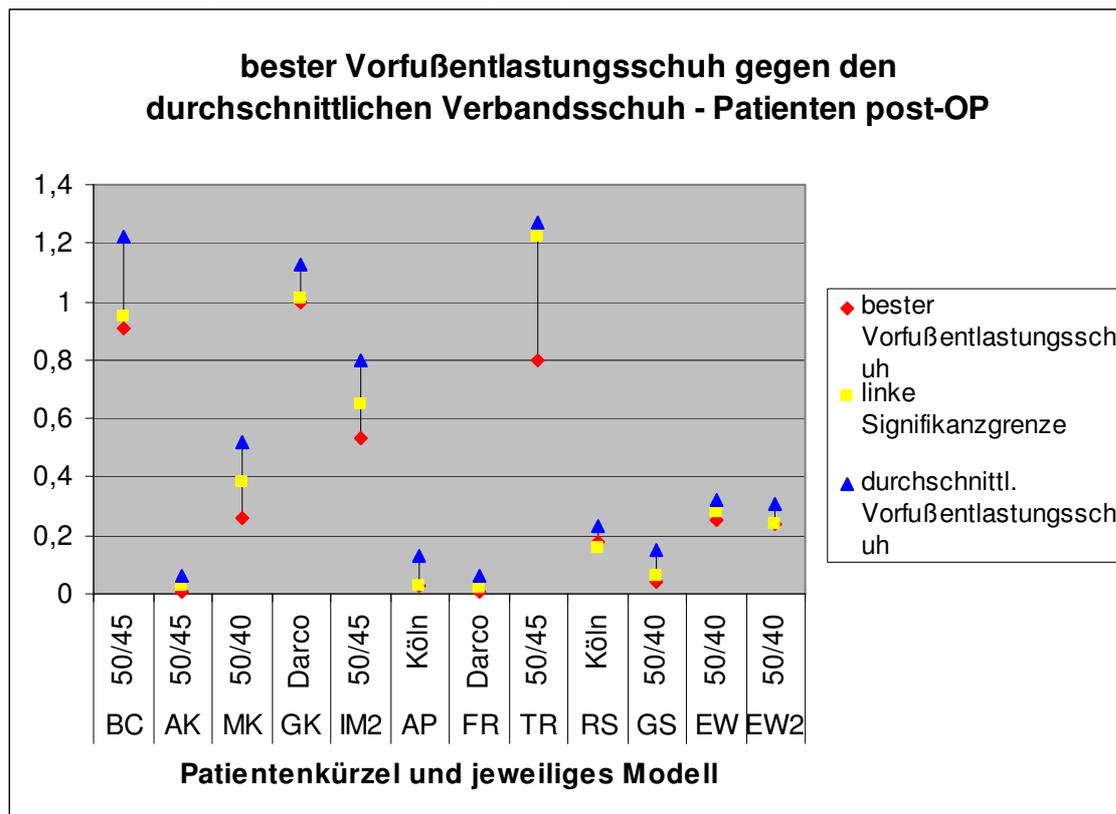
In dieser Tabelle sind die Vorfußdrücke des Vorfußentlastungsschuhmodells mit den niedrigsten Drücken (rot) gegen die Vorfußdrücke des durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuhs (blau) aus den Messungen mit Probanden aufgetragen. In gelb ist die Signifikanzgrenze dargestellt. Es kann hier kein einheitliches Ergebnis für ein Modell gefunden werden, das den Vorfuß signifikant besser entlastet als der durchschnittliche Verbandsschuh.

Abb. 23: Vergleich des besten Vorfußentlastungsschuhs mit dem durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuh an Patienten präoperativ



Bei den Messungen an Patienten präoperativ werden in dieser Tabelle die Messergebnisse der Vorfußdrücke des Schuhs mit den niedrigsten Werten (rot) gegen den durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuh (blau) aufgetragen. In gelb ist die Signifikanzgrenze zur Bewertung der Messergebnisse dargestellt. Auch in dieser Gruppe sind zwar zum Teil signifikant bessere Vorfußentlastungsschuhe auf die einzelnen Messreihen zu finden, jedoch sind allein in dieser Gruppe alle getesteten Modelle mindestens ein Mal als bester Schuh zu finden. Daher kann auch hier nicht ein Schuh gefunden werden, der den Vorfuß signifikant besser entlastet als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh.

Abb. 24: Vergleich des besten Vorfußentlastungsschuhs mit dem durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuh an Patienten postoperativ



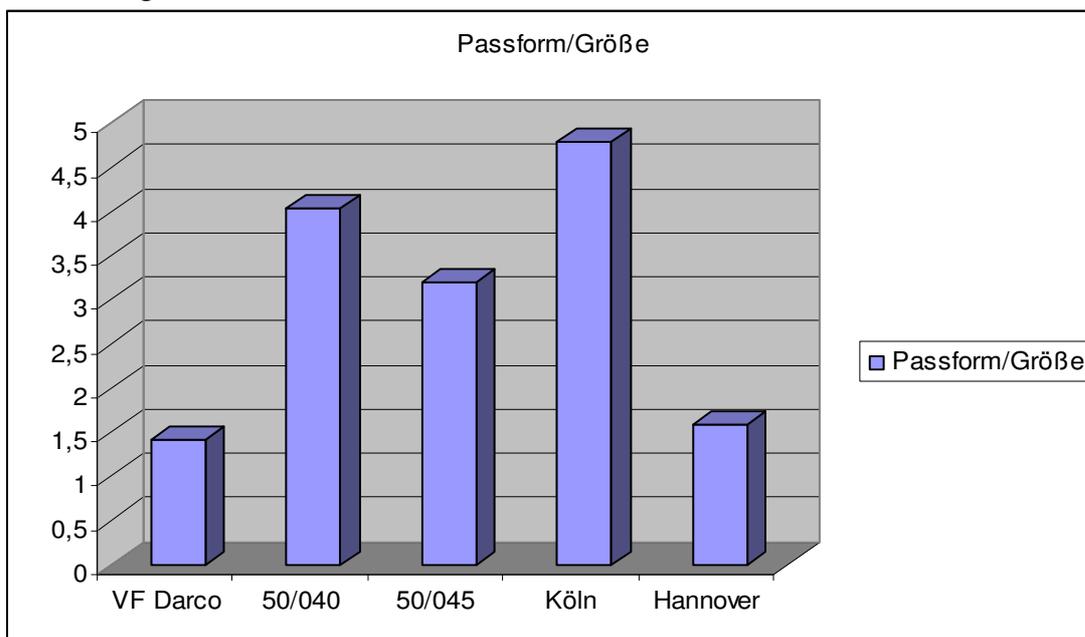
Bei den Messungen an Patienten postoperativ werden in dieser Tabelle die Messergebnisse der Vorfußdrücke des Schuhs mit den niedrigsten Werten (rot) gegen den durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuh (blau) aufgetragen. In gelb ist die Signifikanzgrenze zur Bewertung der Messergebnisse dargestellt. Auch aus diesem Schaubild kann nicht ein Schuh als signifikant besser als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh bestimmt werden.

3.2 Ergebnisse der Patientenbeurteilung:

3.2.1 Passform/Größe:

Hier wurden die Probanden nach der Passform sowie der Übereinstimmung der aufgedruckten Größe zu ihrer bekannten Schuhgröße befragt. Eine große Abweichung, oder hier ein hoher Balken, zeigen, dass der bestellte Schuh häufiger nicht optimal auf den Fuß zugeschnitten war. Die Schuhe sollten nach Platz „1“ bis „5“ sortiert werden. Jede Platzierung durfte nur einmalig vergeben werden. Im Schaubild ist somit ein kürzerer Balken gleichbedeutend mit einem besseren Ergebnis.

Abb. 25: Ergebnis „Passform/Größe“



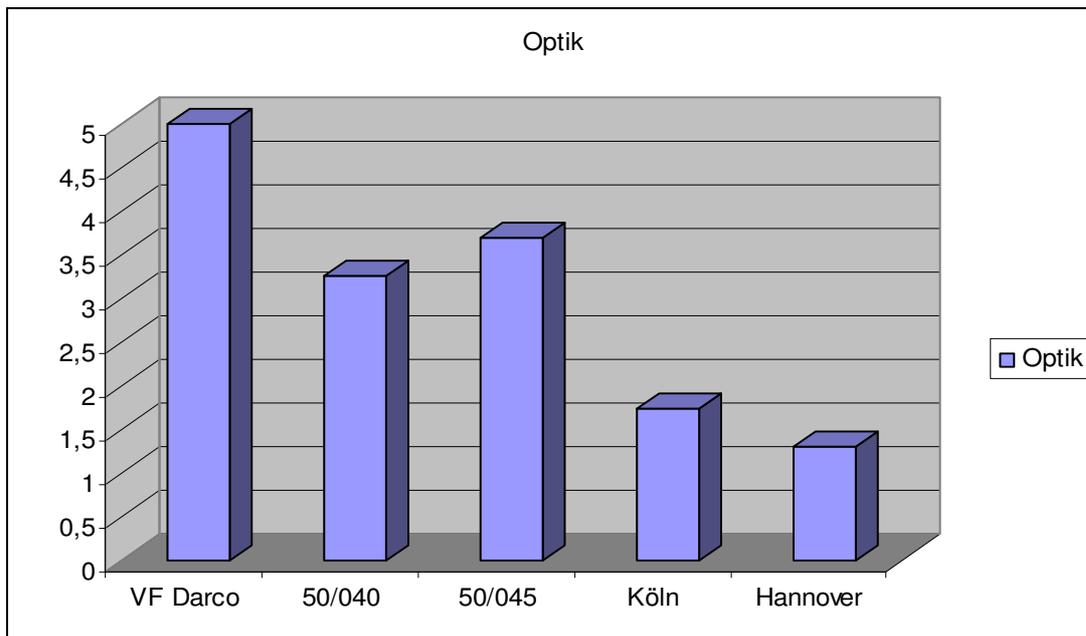
Die beste Passform hat laut den Befragungen der „Darco“, die schlechteste das Modell „Köln“.

3.2.2 Optik:

Hier sollten die Probanden beurteilen wie gefällig der Schuh ist und vor allem auch, ob sie Hemmungen hätten, mit so einem Schuh in die Öffentlichkeit zu gehen. Die Schuhe sollten nach Platz „1“ bis „5“ sortiert werden. Jede Platzierung durfte nur einmalig vergeben werden.

Im Schaubild ist somit ein kürzerer Balken gleichbedeutend mit einem besseren Ergebnis.

Abb 26: Ergebnis „Optik“



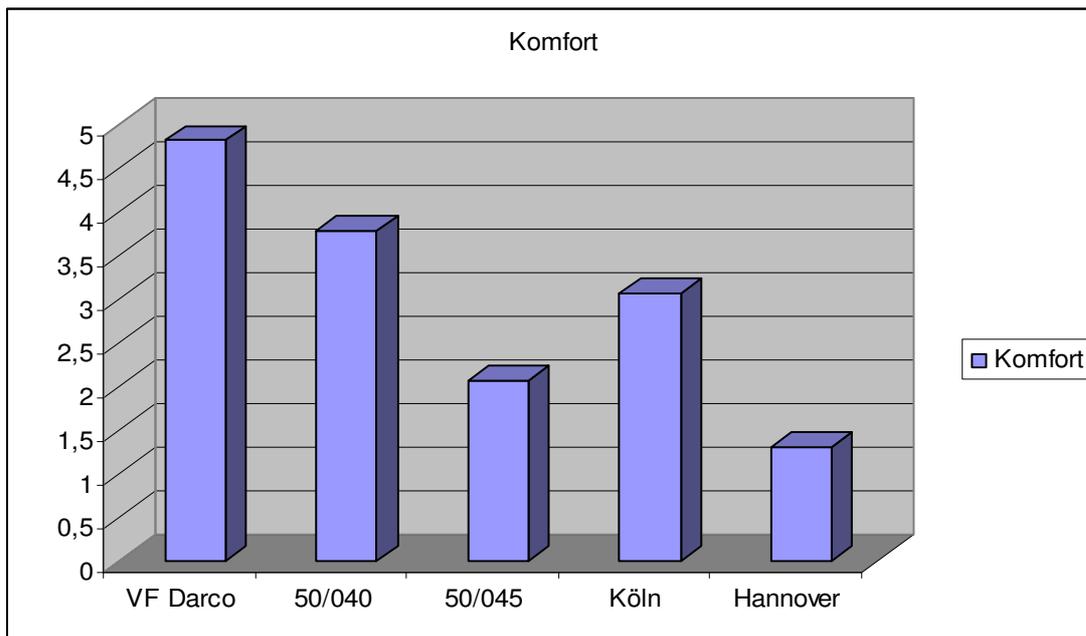
Am besten gefiel den Befragten der „Hannover“, am wenigsten gefiel das Modell „Darco“.

3.2.3 Komfort:

Unter dem Punkt „Komfort“ wurden die Patienten gezielt nach Komfort des Schuhs am Fuß und nach Schmerzen, etwa an den Operationswunden, gefragt. Auch hier sollten die Schuhe nach Platz „1“ bis „5“ sortiert werden. Jede Platzierung durfte nur einmalig vergeben werden.

Im Schaubild ist somit ein kürzerer Balken gleichbedeutend mit einem besseren Ergebnis.

Abb. 27: Ergebnis „Komfort“



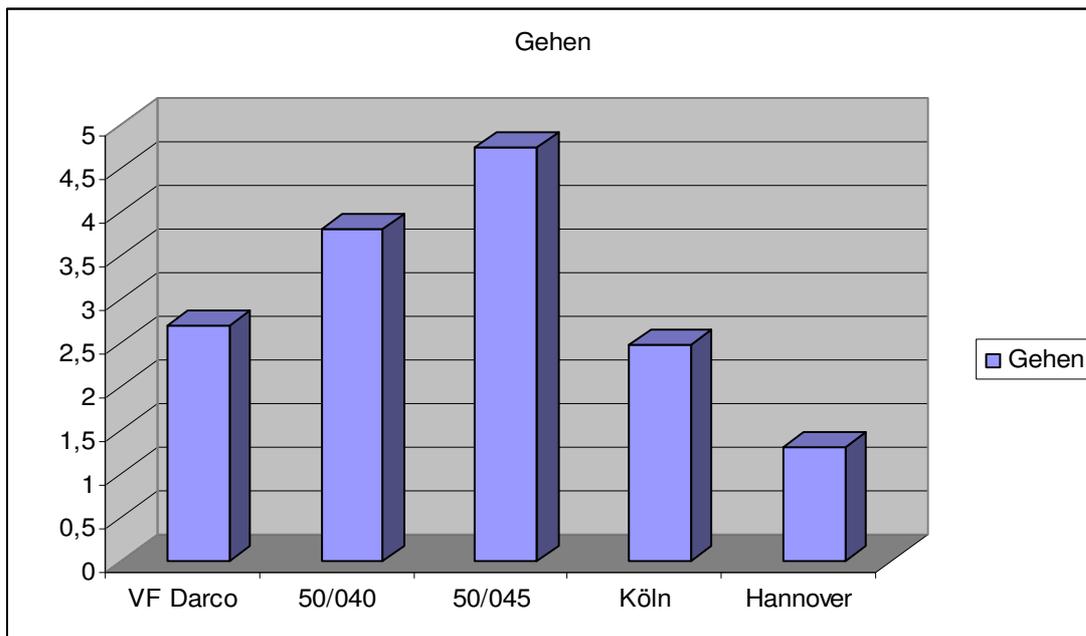
Der komfortabelste Schuh war der Vorfußentlastungsschuh „Hannover“ am unbequemsten erschien den Befragten der „Darco“.

3.2.4 Gehen:

Jeder Patient wurde gebeten, das „Gehen“ in dem jeweiligen Schuhmodell zu bewerten. Auch hier sollten die Schuhe nach Platz „1“ bis „5“ sortiert werden. Jede Platzierung durfte nur einmalig vergeben werden.

Im Schaubild ist somit ein kürzerer Balken gleichbedeutend mit einem besseren Ergebnis.

Abb. 28: Ergebnis „Gehen“



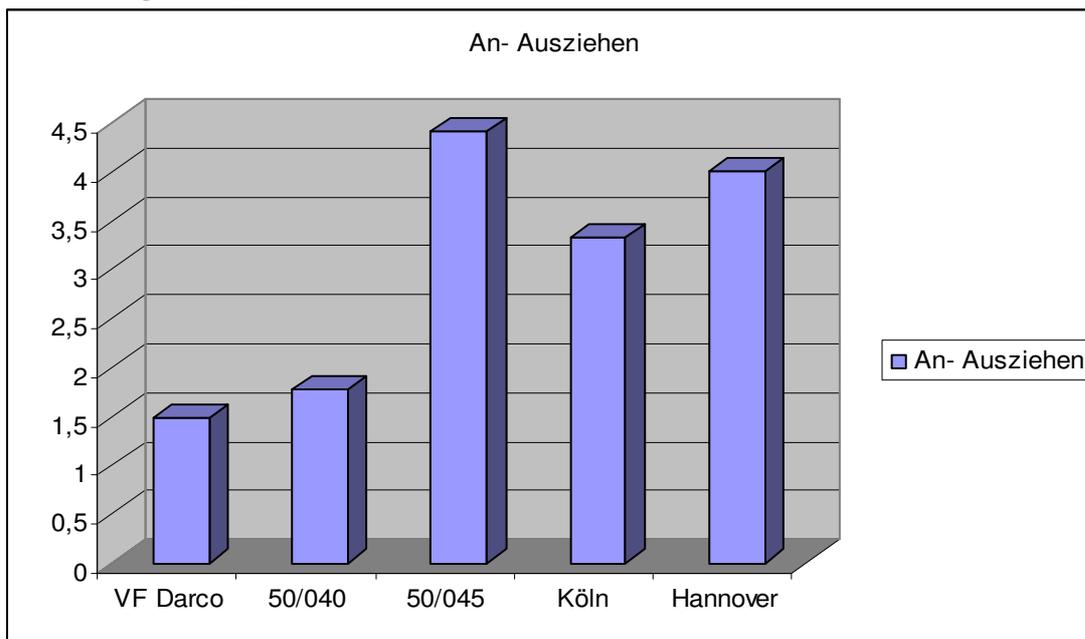
Die besten Geheigenschaften bestätigten die Befragten dem Vorfußentlastungsschuh „Hannover“, die schlechtesten Geheigenschaften und somit der letzte Platz wurden dem Vorfußentlastungsschuhmodell „50/045“ zugewiesen.

3.2.5 Handhabung, An-/Ausziehen:

Hier war eine Bewertung der Handhabung des Schuhs gefragt. Nach bekanntem Muster sollten die Schuhe nach Platz „1“ bis „5“ sortiert werden. Jede Platzierung durfte nur einmalig vergeben werden.

Im Schaubild ist somit ein kürzerer Balken gleichbedeutend mit einem besseren Ergebnis.

Abb. 29: Ergebnis „An-Ausziehen“

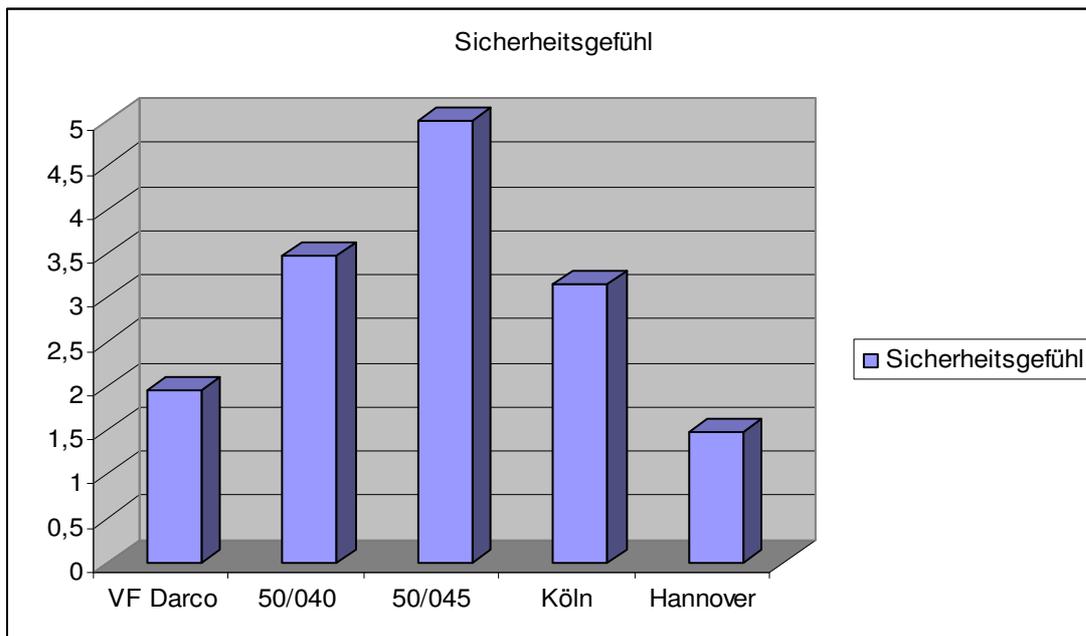


Unter dem Punkt „Handhabung“ schnitt der „Darco“ am besten ab, am schwierigsten in der Handhabung wurde der „50/045“ beurteilt.

3.2.6 Sicherheitsgefühl:

Hier ist nach dem Sicherheitsgefühl im Umgang sowie des Sicherheitsgefühls bezüglich der Entlastung gefragt worden. Wieder sollten die Schuhe nach Platz „1“ bis „5“ sortiert werden. Jede Platzierung durfte nur einmalig vergeben werden. Im Schaubild ist somit ein kürzerer Balken gleichbedeutend mit einem besseren Ergebnis.

Abb. 30: Ergebnis „Sicherheitsgefühl“

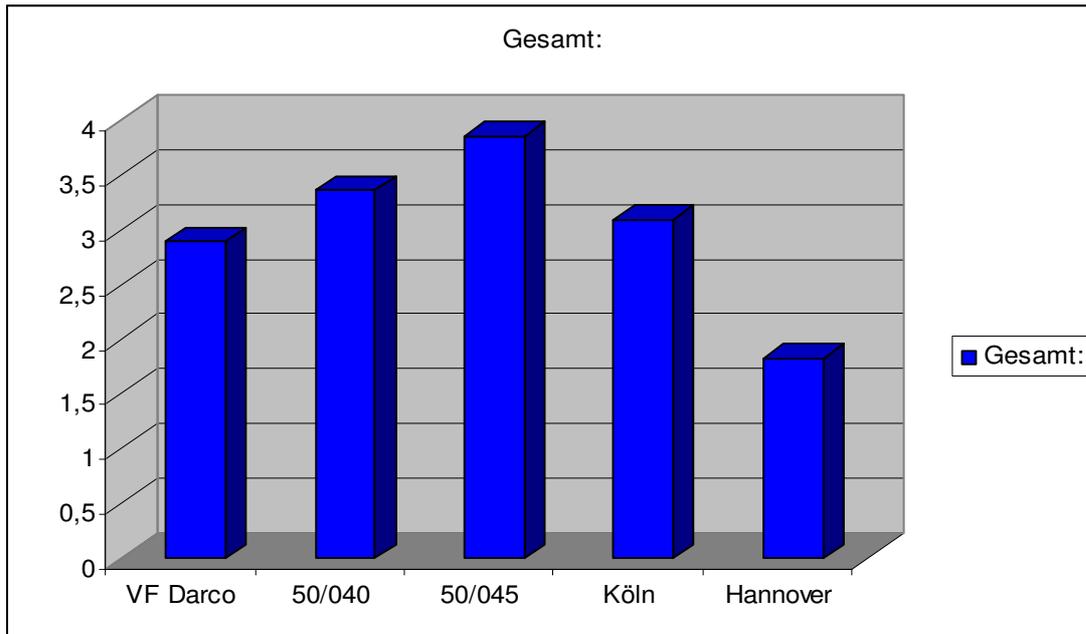


Das beste Sicherheitsgefühl vermittelt der „Hannover“, am unsichersten fühlten die Befragten sich im „50/045“.

3.2.7 Gesamtbewertung:

Alle oben genannten Ergebnisse wurden zusammengetragen und das arithmetische Mittel der Bewertungen gebildet. Die Gesamtbewertung ist hier abgebildet, wieder ist die niedrigste Säule gleichbedeutend mit der besten Bewertung, oder umgekehrt, je höher die Säule, desto mehr Kritikpunkte gab es zu diesem Modell.

Abb. 31: Ergebnis „Gesamt“



In der Befragung hat das Modell „Hannover“ die besten Ergebnisse erzielt. Am wenigsten zufrieden waren die Befragten mit dem Modell „50/045“

3.3 Vergleich der pedobarographischen Messung mit der Patientenbeurteilung:

In den Patientenbefragungen ist ein eindeutiger „Sieger“ auszumachen. Dieser Schuh hat jedoch in den Druckmessungen nicht am häufigsten die geringsten Drücke erzeugt.

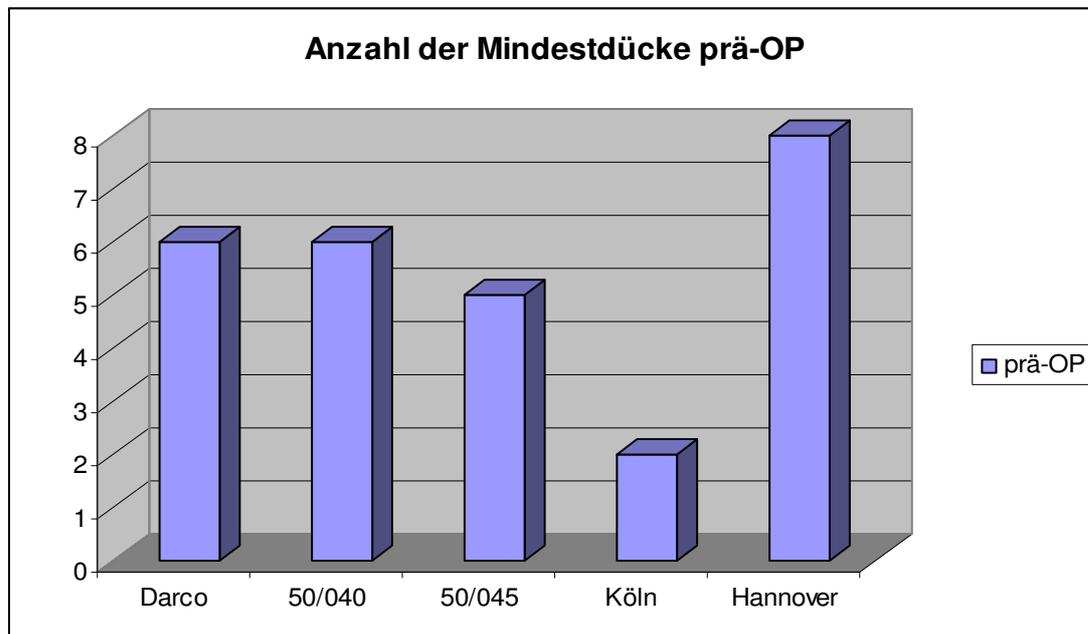
Hier wird nochmals optisch dargestellt, wie oft das jeweilige Modell den niedrigsten Druck erzeugte.

Tab. 4: Anzahl der Mindestdrücke

Anzahl der Mindestdrücke					
	Darco	50/040	50/045	Köln	Hannover
prä-OP	6	6	5	2	8
post-OP	2	4	4	2	0

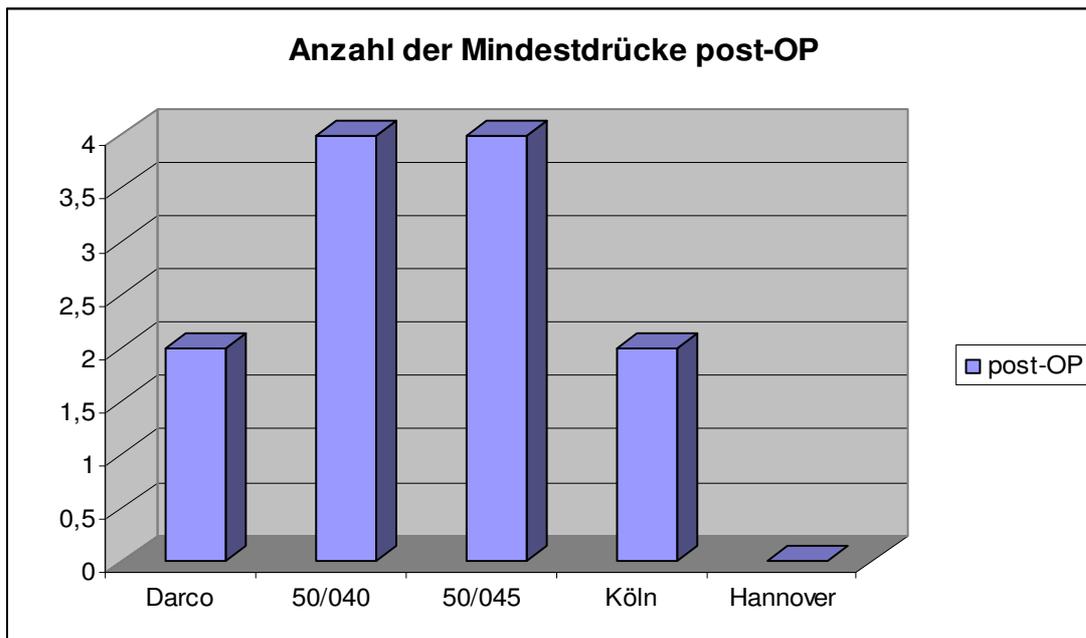
In diesen Schaubildern ist obige Tabelle nochmals verdeutlicht. In den Messungen hat jeweils ein Schuh die niedrigsten Druckwerte produziert.

Abb. 32: Anzahl der Mindestdrücke präoperativ



Diese Ergebnisse sind im Vergleich zu den Ergebnissen postoperativ nicht konstant. Zum Vergleich sind die Ergebnisse der postoperativen Messungen hier nochmals dargestellt.

Abb. 33: Anzahl der Mindestdrücke postoperativ



Der präoperativ beste Schuh mit 8 Mindestdrücken, der „Hannover“ hat also postoperativ keinen Mindestdruck erzielt.

Die höchste Anzahl der Mindestdrücke prä- und postoperativ hat in den Messungen der „50/040“ erreicht.

4. Diskussion

4.1 Beurteilung der Methoden:

Bei jeder wissenschaftlichen Arbeit wird aus empirischen gewonnenen Erkenntnissen auf wirkliche Gegebenheiten geschlossen. Jede Extrapolation der Ergebnisse beruht dabei zumindest zum Teil auf Spekulation.

In dieser Arbeit wurde ebenso empirisch gearbeitet.

4.1.1 Beurteilung der Probanden:

Die Testpersonen ohne Pathologika sind als Normvarianten einer Kontrollgruppe zu verstehen. Es wurden dabei gezielt gesunde Probanden weiblichen Geschlechts mit unterschiedlichen Größen und Gewichten gewählt. Nachdem keine der Probandinnen am Bewegungsapparat voroperiert oder bekannt erkrankt war, ist davon auszugehen, dass sie einen relativ guten Querschnitt als Kontrollgruppe abgeben. Zusätzlich wurden 2 Patientinnen mit einer bekannten rheumatoiden Arthritis in die Probandengruppe aufgenommen, die jedoch postoperativ nicht ausgewertet wurden.

4.1.2 Beurteilung des Patientengutes:

Es wurden ebenfalls mehrheitlich (11w, 1m), weibliche Patienten verschiedener Größe und Gewichts ausgewählt. Die beiden Gruppen stimmten in durchschnittlicher Größe und durchschnittlichem Gewicht dabei nahezu überein. Nachdem die plantaren Druckwerte auch mit dem Gewicht korrelieren (Birtane et al., 2004; Dowling et al., 2004), war dies eine wichtige Voraussetzung.

Alle Patienten waren vor der Operation ohne Gehhilfe mobil. Die maximal mögliche Gehstrecke betrug in allen Fällen über 5000m. Postoperativ wurden nur Patienten ohne Komplikationen intra- und bis 1 Woche postoperativ ausgewertet. Es konnten also 100% dieser Patientinnen ausgewertet werden. Es wurden hierbei nur Patienten mit rheumatoider Arthritis zugelassen. Dazu ist kritisch zu bemerken, dass Patientinnen mit entzündlichen Grunderkrankungen des Bewegungsapparates eher ein pathologisches Bewegungsmuster aufweisen als

andere. Durch Befall von anderen Teilen des Bewegungs- und Halteapparates kommt es zu einer Veränderung des Gangbildes (Lida, 1987). Dabei sind nicht nur Hyper- oder Hypomobilitäten einzelner Gelenke maßgeblich, sondern auch die veränderte Schwerpunktbewegung. Beim Gehen wirken ja Körperschwerpunkt und Extremitätenschwerpunkte der einzelnen Gliedmassen als Pendel, deren Gesamtvektor die Fortbewegung in die gewünschte Richtung ermöglichen. Dabei wird subcortikal eine Korrekturbewegung der nicht direkt beteiligten Gliedmassen berechnet (Weerdesteyn et al, 2004), um muskuläre Haltearbeit zu reduzieren (Winter, 1990).

Ein typisches Beispiel ist das offensichtliche Schwingen der Arme im Lauf, um die Haltearbeit für Kopf und Oberkörper durch die verschiedenen Beschleunigungsvektoren im Schritt zu minimieren. Eine Störung dieses automatisierten und hochkomplexen Vorganges entsteht etwa durch neurologische, bzw. neuropathische Veränderungen oder durch muskuläre Defizite und Dysbalancen, die das feine Austarieren der verschiedenen Pendel erschweren, die jedoch beim Rheumatiker leider häufiger anzutreffen sind (Patla, 1995). Obwohl alle Probanden und Patienten angaben, präoperativ 5000m am Stück Gehen zu können, sind durch die Grunderkrankung Veränderungen der Messwerte nicht auszuschließen.

Jedoch ist gerade dies das typische Patientengut einer fußchirurgischen Einheit und daher in der täglichen Klinik eventuell sogar relevanter als eine stark standardisierte und eingeschränkte Gruppe. Zudem werden durch den prospektiven Charakter dieser Untersuchung schon präoperativ Daten gewonnen, die auch für den einzelnen Patienten in Relation zum postoperativen Befund gesetzt wurden.

Selbstverständlich läßt sich das so gewonnene Datenmaterial aus all diesen Gründen nicht unkritisch auf andere Patienten übertragen.

4.1.3 Beurteilung der Meßmethode:

4.1.3.1 Messapparatur:

Prinzipiell stehen sich zwei Meinungen in der Pedobarographie gegenüber: die Verfechter der Laufbandmessungen sowie die Meinungen der Untersucher im offenen Laufgang.

Die Laufbandmessungen haben etliche Vorteile in der Auswertung. So ist etwa eine konstante Geschwindigkeit des Patienten gewährleistet. In vielen Studien konnte gezeigt werden, dass die Geschwindigkeit ein maßgeblicher Parameter der auftretenden Drücke (Diopa et al., 2004; Warren et al., 2004; Segal et al., 2004, Drerup et al., 2001, Charteris, 1998) ist. Hierbei konnte gezeigt werden, dass ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Druck und Geschwindigkeit besteht (Segal et al., 2004).

Das Laufband erzeugt jedoch eine Reihe von Gangbildveränderungen unter anderem durch die bewegte Oberfläche, die ein anderes Gleichgewichtsmanagement erfordert (Owings et al., 2004), was wiederum zu Schwerpunktverschiebungen führt (Verkerke et al., 2005).

So konnte auch gezeigt werden, dass auch die Anstrengung zur Erhaltung Ganggeschwindigkeit auf dem Laufband wesentlich erhöht ist (Minetti et al., 2003). Diese wiederum bestimmt im wesentlichen die Fähigkeit zur Lokomotion, das heißt zum unbewussten und regelmäßigen Gangbild, das zur statistischen Auswertung des Gehens unerlässlich ist (Ardigo et al., 2004; Raynor et al., 2002).

Bei zu hohem Energiebedarf ist das Gangbild in den Faktoren Schrittlänge, Schrittdauer, Schrittbreite und Schrittfrequenz zunehmend inkonsistent (Tseh et al., 2002, Frost et al., 2002).

Zudem ist der menschliche Gang auch optisch mitbestimmt, so dass ein stationäres Gehen auf bewegtem Untergrund wie beim Laufband weitere Gangbildveränderungen durch geänderte cerebrale Informationsverarbeitung verursacht (Montagne et al., 2002).

Der Hauptnachteil der Messungen auf dem Laufband ist jedoch die verringerte Korrektur- und Ausgleichsmöglichkeit des Probanden beim Stolpern (Schillings et al., 2005; Forner Cordero et al. 2005) und die damit erhöhte Gefahr der Fehlbelastung der Osteosynthese oder gar des Sturzes.

Ein Stolpern im Vorfußentlastungsschuh ist grundsätzlich nicht zu vermeiden. Bei den gezeigten reduzierten Ausgleichsmöglichkeiten im Vergleich zum offenen Laufgang mit Handreling ist ein solches Messverfahren mit einer vermehrten Gefahr für den Patienten und sein Operationsergebnis verbunden.

Einheitlich wird inzwischen die Messmethodik der Pedobarographie beurteilt. Es gibt zwar weitere Messmethoden wie die Druckplattenmessung, die jedoch verlangt, dass der Patient genau die Druckplatte im Gehen trifft. Hierbei wird nur ein Schritt oder Doppelschritt aufgezeichnet (Titianova et al., 2004). Als Weiterentwicklung wurden diese Druckplatten mit Laufbändern kombiniert (Dierick et al., 2004). Diese Messapparatur erlaubt eine recht gute Erfassung des Gehens auf dem Laufband.

Standard sind inzwischen jedoch mobile Messsysteme.

Die technische Umsetzung erfolgt meist mittels piezoelektrischer Sensorik (Rome et al., 2005; Razian et al., 2003).

Weniger bewährt sind Temperatursensoren im Schuh, da sie sich mit zunehmender Tragedauer erwärmen (Morley et al., 2001).

Neu, und nur mit hoher Rechenleistung zu bewältigen, sind

Beschleunigungsmesssysteme mit gyroskopischer Unterstützung wie von Veltink et al. 2005 vorgestellt.

Diese können jedoch eine dreidimensionale Ganganalyse bisher am vollständigsten erfassen (Sabatini et al., 2005), zeigen aber systembedingt Schwächen in der genauen Lokalisation der Drücke unter der Sohle (Pappas et al., 2001), also genau in dem Messsegment, das für die Fragestellungen relevant ist.

Daher erfolgte nach den oben genannten Recherchen die Auswahl eines mobilen, piezoelektrischen Messsystems, das als Messsohle im Schuh getragen wird.

Die Messapparatur von medilogic ist ein vielfach bewährtes und voruntersuchtes System (Tober, 1987). Es gewährleistet durch seine akustische und optische Rückmeldung eine ständige Kontrolle über den Datenfluss. Bei Ausfall der Datenübertragung, z.B. durch fehlerhafte Steckverbindung von Messsohle zu Sender, ließ sich der Ausfall der Datenübertragung sofort feststellen. Diese

Messreihen wurden verworfen und neu aufgezeichnet. Dies war jedoch das einzige technische Problem, das während der Messungen auftrat. Insgesamt zeigte sich das System als sehr praxisfreundlich. Es gab keine technischen Defekte an den Messsohlen. Das System warnte rechtzeitig vor Kapazitätssende der verwendeten Batterien. Es zeigte akustisch den Beginn der Messung an. Wenn der Funkkontakt nicht auf Anhub hergestellt wurde, war ein Systemneustart von Microsoft Windows nötig. Danach funktionierte der Datentransfer problemlos, so dass hierbei eher eine Fehlfunktion im Betriebssystem als ein Fehler im medilogic-System zugrunde lag. Alle Messwerte konnten im Schnelldurchlauf lückenlos nachkontrolliert werden. Daher ist von einer guten Datenqualität aus technischer Sicht auszugehen.

4.1.3.2 Messprinzip:

Die gemessenen Daten im Schuh sind Druckwerte unter der Fußsohle. Dabei gibt es jedoch einige Fehlermöglichkeiten.

Prinzipiell ist dies eine dynamische Messung. Dabei werden nicht nur der statische Druck, als die Gewichtskraft des Patienten auf den Fuß, sondern auch summativ der Impuls durch Beschleunigungskräfte zwischen Patient und Untergrund erfasst.

Gewichtskraft = Masse des Patienten x Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Impuls = Masse des Patienten x Geschwindigkeit
= Masse des Patienten x Beschleunigung x Beschleunigungszeit
= Masse des Patienten x Beschleunigung x durchschnittliche
Geschwindigkeit x Beschleunigungsstrecke

Bildlich gesprochen wird nicht nur das Gewicht erfasst, das auf dem Boden steht, sondern auch gemessen, wie hart das Gewicht auf den Boden auftrifft.

Im Falle eines Schrittes wird dieser Faktor durch Schrittgeschwindigkeit, Schritthöhe, muskuläre Spannung, Abrollvorgang, aber auch durch die Eigendämpfung von Schuh und Boden beeinflusst (Seichert et al., 1997).

Dies sind jedoch wesentliche Kraftanteile beim Gehen und somit erwünschte Werte in unserer Messung.

Anders ist es mit unerwünschten Werten, die durch Messfehler entstehen. So gibt es trotz guter Messmethoden noch einige Fehlerquellen.

Zunächst ist eine Bewegung der Messsohle im Schuh möglich und sogar wahrscheinlich. Selbst bei straffer Fixierung des Fußes im Schuh und konsekutiver Stabilisierung der Messsohle ist eine geringe Bewegung der Messsohle während des Schrittes wahrscheinlich. Dabei könnte ein Druckwert in den benachbarten Sensor verschoben werden. Dies hätte bei der hier vorliegenden Fragestellung keinen wesentlichen Effekt. Denn durch die Bündelung mehrerer Sensoren in Felder (Vor- und Rückfuß) wären diese Daten nicht verloren.

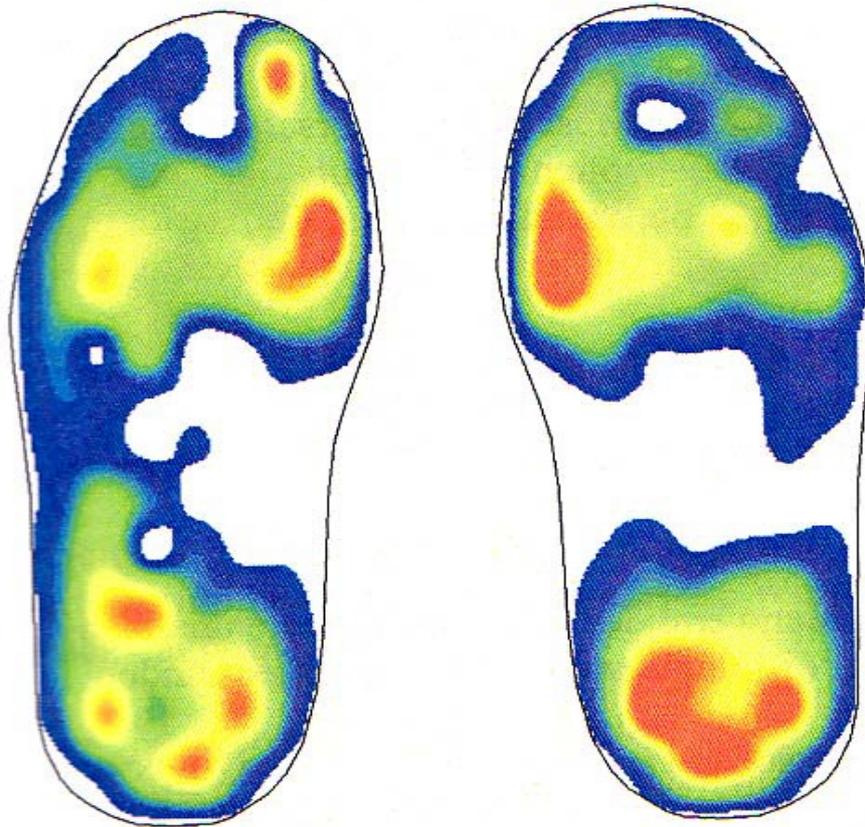
Anders sieht es bei der Verschiebung von Druckwerten in ein anderes Messfeld aus. Theoretisch wäre es möglich, einen Wert mit einer relevanten Belastung aus dem Vorfuß- in den Rückfußbereich, oder umgekehrt, zu verschieben. Das würde die Aussage natürlich verändern.

Ähnlich wäre es in dem Fall, dass ein Druckwert nicht mehr aufgezeichnet würde, wenn eine Verschiebung der Messsohle dafür sorgen würde, dass dieser Druckpunkt nun außerhalb der Sensorenfläche liegt. Auch bei Kontrolle der Sohlenlage nach der Messung hätte theoretisch eine Verschiebung und –Rückverschiebung stattgefunden haben können. Auch dies würde die Aussage der Messung verändern.

Bei Analyse der zu erwartenden Veränderungen ist die Verschiebung im Grenzbereich zwischen den Vor- und Rückfußfeldern nicht als wesentlich zu bewerten. Durch die Druckverteilung im Gehen und die Verschmälerung der Auftrittsfläche durch das mediale Längsgewölbe des Fußes ist der Grenzbereich unter dem Mittelfuß insgesamt nur gering belastet. Dadurch wäre selbst bei einer fehlerhaften Aussage durch die komplette Sensorenreihe der summative Effekt gering.

Dies lässt sich sehr gut an folgender Darstellung erkennen.

Abb. 34: plantare Druckverteilung



Bei Verlust der Messdaten, also bei Auftreten außerhalb der Messsohle ist eine größere Veränderung möglich. Dieser Verlust an Messdaten ist in keiner Weise sicher auszuschließen. Auch bei Verwendung einer größeren Messsohle ohne Randbelastung, d.h. der maximale Druckwert der Randsensoren ist gleich 0, wäre keine größere Messsicherheit gewährleistet, da durch die größere Fläche ein Umknicken der Messsohle im Fixationsbereich, also der Ferse und, je nach Schuh, auch im Vorfußbereich zu stark fehlerhaften Messwerten führte. Diese waren optisch zwar sofort als Fehler zu erkennen, jedoch mussten diese Messungen dann erneut mit passender Messsohle durchgeführt werden.

Ein Umknicken der Messsohle bei passender Größe ist unwahrscheinlich, da die Messsohle eine ausreichende Eigensteifigkeit besitzt. Die Oberfläche ist zudem glatt, so dass auch ein versuchtes Einknicken der Messsohle mit den Zehen in Strümpfen nicht gelang. Ein dadurch erzeugtes Messbild zeigt sich auch sofort auf dem Bildschirm und die Messung kann dann wiederholt werden. Dieser Fehler trat während der erfolgten Messungen nicht auf.

4.1.3.3 Datenqualität:

Ein Messsystem wie das medilogic-System erzeugt eine große Menge an Daten. Bei 222 Messungen mit 60Hz an beiden Füßen wurden allein 26640 Bilder des Gesamtfußes generiert. Jede Messsohle enthält 64 Sensoren. Das heißt, dass 1.704.960 Messdaten erzeugt worden sind.

Jedoch auch die große Anzahl der Werte kann keine Genauigkeit der Werte garantieren. Diese Werte wurden jedoch komplett gespeichert, weiterverarbeitet und ausgewertet. Die Genauigkeit verschiedener Messsysteme dieses Prinzips ist in anderen Arbeiten schon überprüft und für gut befunden worden. Hsiao et al. haben 2002 einen Anforderungskatalog für eine hochwertige Messung erstellt.

Sämtliche Punkte, wie

- die hohe Flexibilität der Sohle,
- freie Mobilität des Probanden, bei uns durch Funkübertragung
- eine Messfrequenz von mindestens 30Hz, bei uns 60Hz
- Erfassung einer Schrittfolge, bei uns über 34 m Gehstrecke
- eine Auflösung von mehr als 16 Sensoren pro Sohle, bei uns 64
- eine aktuelle Kalibrierung, alle Messsohlen waren vor Beginn unserer Messungen vom Hersteller frisch kalibriert worden

konnten von uns erfüllt werden.

Eine derart aufwendige Messapparatur ist sogar zur pedobarographischen Messung an Sportlern im Lauf in hoher Datenqualität geeignet (Kernozeck et al., 2000).

Es wurden keine offensichtlichen Fehler festgestellt und somit keine Werte ausgeschlossen. Wurden während der Messungen Fehler, wie vor erwähnt, festgestellt, wurde die Messung komplett wiederholt.

Die so erfassten Gangparameter sind typische Parameter zur Beurteilung eines Gangbildes und werden als interindividuell gut reproduzierbar beurteilt (Bauer et al., 2000).

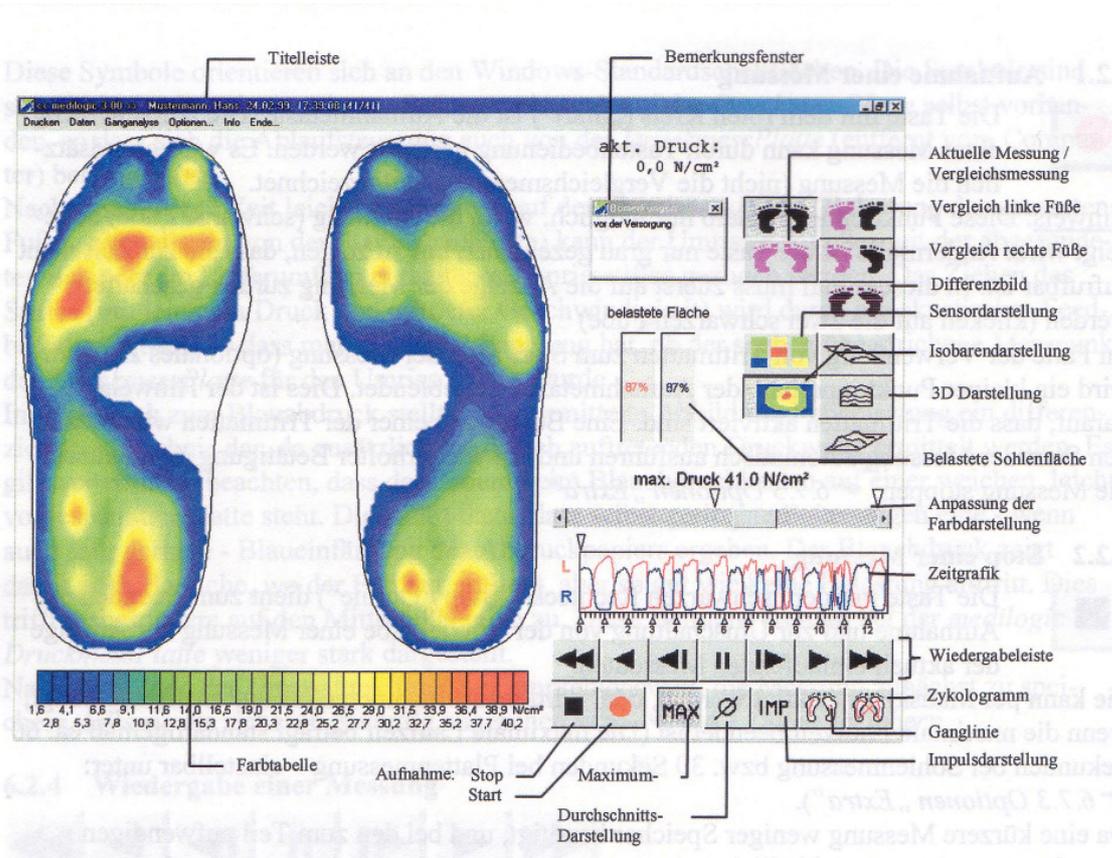
Aus oben genannten Gründen ist die Datenerfassung trotz hoher Datenqualität wie bei jeder empirischen Arbeit nicht zu 100% mit den realen Bedingungen zu vergleichen. Trotzdem erlaubt der Versuchsaufbau eine hinreichende Sicherheit bezüglich der Aussagen zu Sicherheit und Funktionsweise der Vorfußentlastungsschuhe im Vergleich zum Verbandsschuh.

4.1.4 Gangbild des Patienten:

Es gibt auch weitere Fehlermöglichkeiten. Das Gehen im Laufgang ähnelt zwar dem natürlichen Gehen mehr als ein Laufbandgehen (Hirokawa et al. 1987, Gamble et al. 1988, Van Ingen et al, 1980), jedoch waren die Patienten in einem beobachteten Umfeld mit ebenem Boden und freier Gehstrecke. Aus ethischen Gründen konnten keine „natürlichen“ Hindernisse aufgestellt werden. Die Patienten waren zudem beidseitig mit identischem Schuhwerk ausgestattet worden. In Wirklichkeit tragen die einseitig operierten Patienten auch nur einen Vorfußentlastungsschuh. Diese Versorgung mit zwei Schuhen bringt den Vorteil einer identischen Höhe mit sich und reduziert die Möglichkeit des Patienten den kontralateralen Fuß exzessiv zu belasten. Durch die provozierte Gangunsicherheit beidseits sind auch Ausgleichsbewegungen und Gangunsicherheiten häufiger. Gleichzeitig werden durch die beidseits gleiche Sohlenneigung und –form jedoch die Schrittlängen und Relativgeschwindigkeiten, bei Belastung des Gesunden – schnell, bei Belastung des Operierten – langsam, mit den sich daraus ergebenden Druckveränderungen, angeglichen, so dass eine harmonischere Verteilung entsteht. Dies war der Hauptgrund für die beidseitige Versorgung.

Eine weitere Fehlermöglichkeit sind die wechselnden Geschwindigkeiten (Rosenrot et al. 1980). Diese wurden durch Markierungen an der Gehstrecke versucht, auszugleichen, jedoch waren Geschwindigkeitsschwankungen während des Gehens nicht komplett auszuschließen. Zu große Geschwindigkeitsabweichungen waren in der „Zeitgrafik“ (siehe Screenshot nächste Seite) leicht zu erkennen und wurden ausgeschlossen. Diese Messungen wurden wiederholt.

Abb. 35: Messbildschirm



Es gab auch große Unterschiede in Schrittlänge und Schrittfrequenz. Erst die prä- und post-operativen Messungen ergeben Vergleichsmöglichkeiten.

Alle Patienten entlasteten den operierten Vorfuß mehr, so dass davon auszugehen ist, dass der Schmerz durch eine Osteosynthese im Vorfußbereich ausreicht, um den Patienten in einen entlastenden Gang zu zwingen. Lamoth et al. konnten 2004 sogar nachweisen, dass schon die Furcht vor eventuell auftretenden Schmerzen und nicht nur der Schmerzreiz selbst zu einer deutlichen Gangbildveränderung führen können. Selbstverständlich ist das Gangbild prä- und postoperativ nicht direkt vergleichbar. Die in dieser Studie gewonnenen Daten erlauben jedoch eine gute Differenzierung zwischen Veränderungen, die durch die Schuhgeometrie erzeugt werden, indem wir den flachen Schuh gegen die Vorfußentlastungsschuhe vergleichen, und welchen Anteil das veränderte Gangbild durch Veränderung der Fußgeometrie durch die Operation an Gelenken und lasttragenden Bestandteilen der Vorfußarchitektur z. B. den Metatarsalia mit den daraus resultierenden postoperativen Schmerzen erzeugen.

4.1.5 Fragebögen:

Die Befragungen sind natürlich nicht doppelblind durchzuführen, so dass diese Ergebnisse durch persönliche Vorlieben der Probanden und auch des Messenden gefärbt sind. Diese Beeinflussung ist ebenfalls untersucht worden. Dabei konnte eine Beeinflussung des Probanden tatsächlich die Beurteilung der subjektiven Parameter beeinflussen. Geringer wurde die Bewertung anhand eines Rangsystems wie hier verwendet, beeinflusst. Die Messwerte zeigten sich unabhängig (McCaw et al., 2000).

Die Fragebogenergebnisse sind also nicht als mathematisch reliable Ergebnisse zu verstehen, geben jedoch einen Hinweis auf die realen Eindrücke der Patienten von den verwendeten Vorfußentlastungsschuhen.

Diese Werte können bei anderer Verbandstechnik oder anderer Operationstechnik mit anderen Zugängen schon deutlich von den hier gewonnenen Ergebnissen abweichen. Wenn etwa die Wunde bei einer anderen OP-Technik genau unter einem Fixationspunkt liegt, wird das Komfortempfinden des Patienten bestimmt anders sein, als bei Bettung der Wunde im unbelasteten Bereich.

4.1.6 Gesamtbeurteilung:

Für die in dieser Arbeit verwendeten Schuhe mit der von uns präferierten Operationstechnik ergeben die Werte für die Fragestellung der Vorfußentlastung durch Vorfußentlastungsschuhe im Vergleich zum Verbandsschuh einheitliche und signifikante Aussagen, die somit bei ähnlichen Voraussetzungen gut auf andere operative Einheiten übertragen werden können.

4.2 Beurteilung der Ergebnisse:

Zu diesen Fragestellungen liegt wenig Vergleichsliteratur vor. Die meisten Studien sind an Diabetikern durchgeführt worden, wobei die Pedobarographie als wertvolle Messmethode gewertet wird (Fritsch et al., 2004). Zur erhöhten Druckbelastung unter den Mittelfußköpfchen scheinen zwei Faktoren hauptsächlich beizutragen.

Erstens kann schon eine gering ausgeprägte Neuropathie zu einer massiven Druckerhöhung führen. Dies wiederum führt zu einer Verdrängung der subkapitalen Fettpolster. Dies ist bei Diabetikern (Hsi et al., 2002) und bei Patienten mit rheumatoiden Arthritiden (Otter et al., 2004) gleichermaßen der Fall.

Zweitens zeigt sich bei diesen Patienten vermehrt eine Krallen- oder Hammerzehenbildung (Bus et al., 2005), die wiederum zu einer massiven Druckerhöhung unter den Metatarsaleköpfchen führt (Gravante et al., 2005). Der genaue Pathomechanismus ist hierbei noch nicht geklärt.

Die typischen Ulzerationsstellen korrelieren dann auch tatsächlich mit den Lokalisationen der erhöht gemessenen Druckwerte (Stacpoole-Shea et al., 1999).

Die durchgeführten Eingriffe zielen auf eine längerfristige Druckumverteilung.

Die Operationsverfahren sind in der Literatur auch schon in Ihrer tatsächlichen Druckumverteilung untersucht worden.

Eingriffe am Metatarsale eins ergeben für Scarf-Osteotomien (Buchner et al., 2005) und Tarsometatarsale-1-Arthrodesen (Fuhrmann, 2005) gleichermaßen eine Verbesserung der Lastübernahme durch den ersten Strahl. Dies jedoch erst nach Monaten postoperativ, so dass dieser Effekt bei den durchgeführten Messungen keine Rolle spielen dürfte.

Im Gegensatz hierzu ergaben Untersuchungen nach einer Austin-Operation keine Veränderungen der plantaren Drücke (Bryant et al., 2005).

Auch die Verkürzungen der Metatarsalia 2 bis 5 durch Resektionsarthroplastiken oder Weil-Osteotomien werden kontrovers beurteilt. Einigkeit besteht darin, dass die verkürzenden Operationen weiterhin eine gute Abrollbewegung mit Wiederherstellung der Gangparameter zulassen (Hosch et al., 1997).

Im Gegensatz hierzu haben Kollegen in Virginia (Snyder et al., 2005) und Kalifornien (Khalafi et al., 2005) bei nahezu identischen Versuchsaufbauten in diesem Jahr die Druckveränderungen im selben Magazin widersprüchlich bewertet. Hier ist eine

definitive Aussage zur langfristigen Entlastung also noch nicht sicher möglich, direkt postoperativ jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen.

Wesentlich höher ist hier die bewusste Entlastung wegen Schmerzen oder der Furcht vor Schmerzen zu einzuschätzen (Lamoth et al., 2004).

Diese Faktoren sind jedoch ungeachtet der diabetischen oder chronisch entzündlichen Genese einheitlich in ihren Auswirkungen.

Daher sind viele Ergebnisse übertragbar und können mit den Ergebnissen unserer Messungen verglichen werden. Die erzielten Ergebnisse sind folgerichtig aus der großen Anzahl von Messergebnissen wie im Teil „Material und Methoden“ dargestellt, extrahiert worden.

Wie in „Beurteilung der Methoden“ erläutert gibt es auch in dieser Arbeit Fehlermöglichkeiten. In diesem Abschnitt werden die zuletzt gewonnenen Ergebnisse beurteilt.

4.2.1 pedobarographische Messergebnisse:

Die Messergebnisse wurden nach den 2 vorgegebenen Fragestellungen analysiert.

3. Wird durch einen Vorfußentlastungsschuh im Vergleich zu einem flachen Verbandsschuh eine Vorfußentlastung erreicht?
4. Entlastet ein Vorfußentlastungsschuhmodell den Vorfuß signifikant besser als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh?

Wie schon in der Literatur beschrieben ist das interindividuelle Gangbild so variabel (Danion et al., 2003), dass der prä- zu postoperative Vergleich sinnvoller ist als ein Vergleich nach Modell.

4.2.1.1 Vergleich des durchschnittlichen Vorfußentlastungsschuhs mit einem flachen Verbandsschuh

Zur Entlastung von metatarsalen Osteosynthesen werden in der Literatur hauptsächlich zwei Methoden diskutiert.

Zunächst war die Ruhigstellung im Gipsstiefel oder stabilen, fixierten Stiefel mit Abrollsohle empfohlen worden (Müller et al., 1997; Lawless et al., 2001).

In den letzten Jahren ist der Vorfußentlastungsschuh eher das Therapiekonzept der Wahl.

In der Funktionsweise der Schuhe sind verschiedene Mechanismen zusammengefloßen.

Der physiologische menschliche Gang ist schon von früher Jugend an so ausgebildet, dass der Schritt unabhängig von weiteren Gangparametern in einer durchgehenden Abrollbewegung von Ferse zu Großzehe geht (Lampe et al., 2005). Dieser Abrollvorgang ist für den Menschen so charakteristisch, dass hierüber sogar ein Referenzdatensatz angelegt wurde, der der statistischen Überprüfung standhält (DeCock et al., 2005).

Somit ist eine Unterbrechung der Abrollbewegung wie beim Vorfußentlastungsschuh durch Aufgabe der durchgängigen Sohle der offensichtlichste und sicher ein wesentlicher Eingriff zur Entlastung der vorderen Fußabschnitte.

Gleichzeitig wirken sich auch schon subtilere Maßnahmen aus.

Schon eine 3mm dicke Polsterung kann eine wesentliche Druckreduzierung bewirken (House et al., 2004).

Die Weichbettung ist in der Therapie rheumatoider Fußbeschwerden ein gebräuchliches Verfahren (Jackson et al., 2004).

Ein weiteres gebräuchliches und hoch effektives Verfahren in der Schmerzreduktion ist die retrokapitale Abstützung (Hodge et al., 1999), die jedoch in der Konstruktion der untersuchten Schuhe bisher keine Anwendung findet.

Die Kombination Weichbettung mit retrokapitaler Abstützung bewirkt somit schon eine wesentliche Druckreduktion in der Behandlung der schmerzhaften Fußveränderungen bei Patienten mit einer rheumatoiden Arthritis (Kavlak et al., 2003).

Ein anderer Hauptmechanismus ist eine Veränderung des Schwerpunkttransfers von der Ferse bis zum Ende der Sohle (Han et al., 1999).

Dieser kann stark durch das Schuhwerk beeinflusst und gesteuert werden (Xu et al., 1999).

Die einfachste logische Variante ist der Einsatz einer Abrollsohle, um einen flüssigeren Kraftverlauf zu erzielen. Dies ist eine gut untersuchte Methode (Hsi et al.; 2004, Brown et al., 2004), deren Wirkung sich in Kombination mit einer Polsterung noch deutlich steigern lässt (Wu et al., 2004).

Zusätzlich entlastet eine Absenkung der Fersenhöhe im Vergleich zum Vorfußniveau den Vorfuß unter Mehrbelastung der Ferse noch weiter. Dabei ist jedoch ein ausreichend großer Zehenspielraum notwendig, da die Zehen in diesem Fall eine größere Abstützbewegung ausführen (Broch et al., 2004; Yung-Hui et al., 2005).

Diese Absenkung der Ferse im Vergleich zum Vorfuß bewirkt gleichzeitig eine Vordehnung der Wadenmuskulatur und der Ischiocruralen Muskeln. Dies wiederum führt zu einer Reduktion der Schrittlänge.

Die Varus-Valgus-Kippung des Rückfußes durch Anschrägung der Ferse führt hingegen nicht zu einer Entlastung des Vorfußes, auch nicht eines Strahles (Van Gheluwe et al., 2004).

Eine Reduktion der Schrittlänge per se führt schon zu einer plantaren Druckreduktion (Drerup et al., 2004), selbst wenn die Geschwindigkeit beibehalten wird (Derrick et al., 1998).

Zusätzlich werden die Patienten zur Verkürzung der Schrittlänge geschult.

Die Schulung eines Gangbildes kann auch zur wesentlichen Druckreduktion führen. So erzielten Patienten, die den „Tai-Chi“-Gang übten eine deutliche Reduktion des plantaren Spitzendruckes (Wu et al., 2005). Andererseits ist zum Erlernen eines gleichmäßigen Ganges eine intakte sensomotorische Rückkopplung notwendig (Nurse et al., 2001), die beim untersuchten Patientengut jedoch häufig gestört ist.

Aus den vorgenannten Untersuchungen war eine signifikante Vorfußentlastung in unseren Ergebnissen zu erwarten gewesen.

In allen unseren 27 präoperativen Messungen hat der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh eine, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 2,5% signifikant bessere Vorfußentlastung als der Verbandsschuh erzielt.

Diese signifikante Vorfußentlastung ist in allen Messreihen aller Gruppen, den Probanden ohne Einschränkungen, den Patienten präoperativ und den Patienten postoperativ im Vergleich zu den präoperativ gewonnenen Messwerten des flachen Verbandsschuhs, nachzuweisen.

Daher kann die erste Frage : „Wird durch einen Vorfußentlastungsschuh im Vergleich zu einem flachen Verbandsschuh eine Vorfußentlastung erreicht?“ aus diesen Messdaten eindeutig bejaht werden.

Zwar hat Yamashita 2005 veröffentlicht, dass die oben genannten Mechanismen zur Druckentlastung nicht allgemein gültig seien, jedoch konnten sie in unseren Messungen bestätigt werden (Yamashita, 2005).

Die einzige ähnliche Untersuchung der plantaren Druckverteilung in 6 verschiedenen Vorfußentlastungsschuhen an 10 fußgesunden Probanden von Notni (Notni et al., 1999), konnte auch eine signifikante Druckentlastung des Vorfußes nachweisen. In Übereinstimmung mit unseren Vorgehensweisen wird die Methode der Vorfußentlastungsschuh nicht als geeignet zur Entlastung von proximalen oder tarso-metatarsalen Osteosynthesen beschrieben, da die Druckreduktion erst im distalen Bereich des Fußes stattfindet.

Somit sehen wir unsere Ergebnisse in gutem Einklang mit vergleichbarer Literatur.

4.2.1.2 Erzielt ein Modell eine signifikant bessere Vorfußentlastung?

In 28 von 39 Messungen hat ein Vorfußentlastungsschuh signifikant bessere Werte als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh erzielt. Dies gilt bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,025$. Nun könnte man annehmen, dass bei einer verdoppelten Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,05$ schon eine statistisch bessere Aussage zu erzielen wäre. In diesem Fall sind dies jedoch verschiedene Schuhe, die diese Werte erzielt haben, so dass hier keine Signifikanz für einen Schuh angegeben werden kann. Die nächste folgerichtige Frage wäre nun, ob es für die einzelnen Patienten denn einen Schuh gibt, der bei diesem speziellen Patienten eine bessere Vorfußentlastung erlaubt. Dies würde erlauben, die Daten einer weiteren Auslese zu unterziehen und so eventuell für bestimmte Patienten bestimmte Schuhe anraten zu lassen, etwa für kleine Größen diesen, oder für leichte Patienten jenen Schuh. Auch hier sind die einzelnen Schuhe schon im Vergleich von präoperativ zu post-operativ nicht konsistent in ihrer Vorfußentlastung. Meist zeigte sich postoperativ ein anderer Schuh als präoperativ überlegen.

Daher lässt sich die Frage: „Entlastet ein Vorfußentlastungsschuhmodell den Vorfuß signifikant besser als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh?“ aus diesen Daten nicht bejahen.

Es hat sich nicht zeigen lassen, dass ein Modell den Vorfuß regelmäßig mehr entlastet als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh.

4.2.2 Patientenbeurteilung:

Bei der begrenzten Anzahl der Probanden und Patienten sowie den im Teil „Beurteilung der Ergebnisse“ angegebenen Einschränkungen der Ergebnisqualität können die so gewonnenen Ergebnisse keiner genaueren statistischen Überprüfung standhalten. Daher kann man sie als ergänzende Information werten.

Sie sind jedoch in der Beurteilung des Prinzips durchaus wesentlich.

In einer Arbeit wird die Koordination des Gehens und der Belastung verschiedener Fußbereiche schlüssig in Abhängigkeit von sensomotorischen Einflüssen

beschrieben (Nigg et al., 1999). Der erste wesentliche Filter hierbei ist die Sohle mit Ihrer Konstruktion, den zweiten Filter stellt die Innensohle mit Ihrer Polsterung dar, den letzten Filter stellt die Fußsohle mit ihrer Sensibilität. Zur sensomotorischen Auswertung des Schrittes sind also eine gute Passform, sehr gute Fixationsmöglichkeiten und auch guter Komfort des Patienten im Schuh wesentliche Bedingungen.

Fragebogenpunkt „Passform/Größe“

Für eine sinnvolle Vorfußentlastung ist ein passender Vorfußentlastungsschuh Grundvoraussetzung. Die getesteten Modelle gibt es daher in verschiedenen Größen. Diese Größen sind auf der Verpackung angegeben und der versorgende Betrieb wählt die Schuhe hiernach aus. Eine große Abweichung von aufgedruckter Größe zum Fuß des Patienten wurde hier negativ bewertet. Eine ungenaue Angabe der Größe zwingt zu einer großen Lagerhaltung, da jeder Schuh dann anprobiert werden muss. Ungünstig sind etwa Randeinfassungen, da sie häufig auf Verbände drücken.

Die größten Abweichungen erzielte der „Köln“, das heißt die Patienten empfanden die Abweichung von angegebener Größe zu ihrem Fuß als am größten. Am passgenauesten wurde der „Darco“ empfunden, was bedeutet, dass das Personal diesen Schuh nach am ehesten aufgedruckter Größe ausgeben könnte.

Fragebogenpunkt „Optik“

Hier wurde nach der subjektiven Gefälligkeit eines Modells gefragt und vor allem auch, ob die Befragten Hemmungen hätten, mit so einem Schuh in die Öffentlichkeit zu gehen. Ein optisch ansprechenderes Modell erleichtert den Patienten den Umgang mit der Öffentlichkeit, da er ja einige Wochen getragen werden muss. Hier erzielte der „Köln“ die besten Ergebnisse, am wenigsten gefiel der „Darco“.

Fragebogenpunkt „Komfort“

Komfort ist ein wesentlicher Faktor in der Compliance des Patienten. Ein Schmerzen verursachender Schuh wird von den Patienten natürlich wesentlich weniger gern und wohl auch zuverlässig getragen werden. Hier zeigte sich der „Hannover“ wieder allen anderen Schuhen überlegen. Am unangenehmsten empfanden die Befragten den „Darco“.

Fragebogenpunkt „Gehen“

Jeder Vorfußentlastungsschuh verändert das Gangbild. Es ist ja die Aufgabe des Schuhs, die Abrollbewegung über den Vorfuß zu unterbinden. Es gibt aber hierbei große Unterschiede. Eine trotzdem recht runde Abrollbewegung wurde positiv bewertet. Ebenso gibt es große Unterschiede in der Überdehnung der Wadenmuskulatur durch eine stark nach hinten abfallende Sohle, wodurch auch die Schrittlänge wesentlich beeinflusst wird. Auch in dieser Sparte wurde der „Hannover“ am besten beurteilt. Am ungünstigsten wurde der „50/045“ empfunden.

Fragebogenpunkt „Handhabung, An-/Ausziehen“

Bei rheumatischen Patienten ist die Handhabung des Schuhs oft ein limitierender Faktor. Durch Handdeformitäten und den dadurch entstandenen Funktionsverlust ist eine regelrechte Fixation teilweise nicht möglich. Bei allen Befragten ist eine zügige und sichere Fixation vor allem bei den nächtlichen Toilettengängen ein dringlicher Wunsch. Einige Schuhe besitzen vielfache Klettverbindungen, die zum Teil auch noch durch enge Schlaufen geführt werden müssen, andere haben so gering dimensionierte Klettbänder, dass eingeschränkte Patienten sie kaum greifen können. Vorteilhaft sind hier wenige, groß dimensionierte Klettbänder, die ohne Schlaufen

über den Zug gezogen werden. Am einfachsten handzuhaben war in dieser Befragung der „Darco“, am schwierigsten der „50/045“.

Fragebogenpunkt „Sicherheitsgefühl“

Dies ist der wichtigste Punkt im Umgang mit dem Schuh. Patienten müssen nicht nur ein sicheres Gang- und Standgefühl haben, sondern hierzu zählt auch die das Gefühl, die Osteosynthese sicher zu entlasten. Die Angst vor Stürzen bestimmt wesentlich die Einschränkung der Mobilität, die ein solcher Schuh ja im Vergleich zum Gips bieten soll. Die Angst vor Verletzung der Osteosynthese ist auch der häufigste Grund für die Wiedervorstellung der Patienten. Am sichersten fühlten sich die Patienten sich im „Hannover“, die meiste Angst empfanden die Patienten im „50/045“.

Gesamtbewertung

Das arithmetische Mittel aller Ergebnisse zeigt, dass die Patienten den „Hannover“ subjektiv am besten bewertet haben. Am unbeliebtesten war bei den Patienten der „50/045“.

4.2.3 Vergleich der Ergebnisse der Patientenbeurteilung mit den pedobarographischen Ergebnissen

Obwohl die Patienten ein Modell am besten bewerteten ist dieses in den objektiven Messungen nicht das Beste. Zwar erzeugte der „Hannover“ präoperativ mit 8 Bestwerten am häufigsten die niedrigsten Ergebnisse in der Vorfußbelastung, postoperativ jedoch kein einziges Mal.

In der Summe aus prä- und postoperativen Messungen entlastete der „50/040“ den Vorfuß am häufigsten am meisten, jedoch erzielte er in den Patientenbefragungen das zweitschlechteste Ergebnis nach dem zweiten Modell aus dem selben Hause, dem „50/045“, der bei den Messungen am zweithäufigsten die niedrigste Vorfußbelastung erzeugte.

5. Zusammenfassung

Vorfußentlastungsschuhe werden in verschiedenen Einsatzgebieten der Medizin verwendet. Dies sind etwa die Entlastung bei primär nicht-verheilenden Ulcera (Boulton et al. 1999) aber auch zum Schutz von primär nicht belastungsstabilen Osteosynthesen im Vorfußbereich.

In dieser Arbeit sollten neben der hohen Nachbehandlungssicherheit durch Reduktion des Druckes unter dem Vorfuß auch die Anwendbarkeit der Schuhe bewertet werden.

Hierzu wurden sekundäre Faktoren in die Untersuchung mit aufgenommen.

Im Rahmen der Nachbehandlungszeit mit Verwendung des Vorfußentlastungsschuhs ist eine hohe Akzeptanz des Vorfußentlastungsschuhs durch die Patienten unter Berücksichtigung von Faktoren wie der praktischen Handhabung, Sicherheitsgefühl und anderen subjektiven Faktoren somit ein weiterer Bestandteil der Gesamtzufriedenheit des Patienten.

In der Literatur ist diese Fragestellung bisher nicht zufrieden stellend untersucht, so dass hier ein weiterer Schwerpunkt in der Konzeption und Realisation dieser Arbeit gelegt wurde, um ihr weitere klinische Bedeutung zu verleihen.

In der Vorfußchirurgie an Patienten mit rheumatoider Arthritis treten häufig Schwierigkeiten durch mindere Knochenstabilität, komplexe Weichteilkomplikationen, große knöcherne Defekte oder Weichteilinsuffizienzen auf. In dieser Arbeit sind auch Patienten mit komplexen und hochschwierigen Korrekturen erfasst.

Besonders hier ist eine sichere Funktionsweise des Vorfußentlastungsschuhs zur Ergebnissicherung notwendig. Daher wurden gezielt die auftretenden Drücke unter der Fußsohle untersucht.

Die Pedobarographie war in diesem Anwendungsbereich bisher nicht etabliert.

In dieser vorliegenden Studie wurden 27 Probanden untersucht. 15 Probanden erprobten 5 Vorfußentlastungsschuhe gegen einen flachen Verbandsschuh. Die Vorfußentlastungsschuhe konnten dabei auch untereinander verglichen werden.

Zudem wurden 12 Patienten mit chronischer Polyarthritits präoperativ in den fünf Vorfußentlastungsschuhen und dem flachen Verbandsschuh messtechnisch erfasst. Diese 12 Patienten wurden postoperativ wieder in allen fünf Vorfußentlastungsschuhen gemessen.

Die Messapparatur erfasste dabei Messwerte in Millionenzahl.

Ein Schwerpunkt der Ausarbeitung war hier die Fokussierung des Datenmaterials auf die spezifischen Fragestellungen und die Zusammenfassung der Datenblätter in wenige Grafiken.

Zusätzlich wurden Probanden und Patienten mittels Fragebogen die Möglichkeiten gegeben, die Vorfußentlastungsmodelle qualitativ in mehreren Feldern zu bewerten, um die klinische Verwertbarkeit und Beurteilung einzelner Modelle zu erhöhen.

Diese Studie zeigt eine hohe Übereinstimmung in der qualitativen Bewertung der Modelle. Die Patienten konnten eindeutig subjektiv „bessere“ Modelle bestimmen. Die Verwendung dieser Modelle kann zu einer Verbesserung der Patientenzufriedenheit und Compliance nach der Operation beitragen.

Die Messwerte zeigen keine eindeutigen Unterschiede zwischen den einzelnen Vorfußentlastungsschuhen.

Auch gibt es wenig Übereinstimmung zwischen der subjektiven Bewertung der Schuhe und der Druckmessung.

Jedoch erzeugt der flache Verbandsschuh in allen Messungen signifikant höhere Vorfußbelastungen als der durchschnittliche Vorfußentlastungsschuh, womit gezeigt werden kann, dass ein Vorfußentlastungsschuh nach Vorfußosteosynthesen eine sinnvolle Option ist.

Wahrscheinlich durch eine bessere Schulung mit bewusster Rückfußbelastung, verkürzter Schrittlänge und einer besseren Wahrnehmung der Druckverteilung durch Schmerzen verändert sich das Gangbild von prä- zu postoperativ selbst in gleichen Schuhen deutlich.

Alle Vorfußentlastungsschuhe erfüllen dabei ihren Zweck der Vorfußentlastung. Aus Gründen der Ergebnissicherheit konnte dabei die Verifizierung postoperativ im flachen Schuh nicht erfolgen.

Die gewählte Messmethode ist trotz des Messaufwandes gut zur Beantwortung der Fragestellung geeignet.

Es konnte gezeigt werden, dass das zurzeit vorherrschende System der Vorfußentlastung seinen Zweck im Vergleich zum flachen Schuh sinnvoll erfüllt, und dass die Auswahl des Vorfußentlastungsschuhmodells von den Patienten durchaus wahrgenommen und bewertet wird.

Die geforderte klinische Aussage konnte in dieser Studie somit erarbeitet werden. Es konnte dabei nicht überprüft werden, ob die Vorfußentlastung notwendig zur Sicherung des Operationsergebnisses ist.

Die Daten erlauben jedoch eine Beurteilung des Prinzips der Vorfußentlastung.

Dies wiederum erleichtert unter Zuhilfenahme der Ergebnisse eine gezielte Weiterentwicklung der bisher erhältlichen Vorfußentlastungsschuhe im Hinblick auf Anwendungsfreundlichkeit, Patientenorientierung und Ergebnissicherheit.

6. Literaturverzeichnis

C. R. H. Rabl und W. Nyga (1994)

„Orthopädie des Fußes“

Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 7. Aufl. 1994 S 345 ff

Braune W., Fischer O. (1894)

Der Gang des Menschen. Teil I : Versuche am unbelasteten und belasteten Menschen

Abhandl. D. Math. Phys. CL. D. k. Sächs. Gesellsch. Wissenschaft 21

Saunders J. B., Inman V. T., Eberhardt H. D. (1953)

The major determinants in normal and pathological gait

J. Bone and joint surgery, 53: 543-588

Eberhardt H. D., Inman V.T. (1947)

Fundamental studies of human locomotion and other informations relating to design of artificial limbs

University of Berkeley, 1947

Lelievre J

Pathologie du pied

Masson, Paris 1967, 1-852

Jarvis B., Faulds D. (1999)

Etanercept. A review of ist use in rheumatoid arthritis

Drugs 57: 945-966

Weinblatt M. E., Kremer J. M., Bankhurst A. D., Bulpitt K. J., Fleischmann R.M., Fox R. I., Jackson C. G., Lange M., Burge D.J. (1999)

A trial of etanercept, a recombinant tumor necrosis factor receptor: Fc fusion protein, in patients with rheumatoid arthritis receiving methotrexate
N. Engl. J. Med. 340: 253-259

Meyers-Rice B., Sugars L., McPoil T, Cornwall M.W. (1994)
Comparison of three methods for obtaining plantar pressures in non-pathologic subjects”
Journ. Am. Pod. Med. Ass. 1995: 499-504

Whittle M (1991)
Gait analysis, an introduction
Butterworth-Heinemann Ltd. 1991

Quaney B., Meyer K., Cornwall M.W., McPoil T.G. (1995)
A comparison of the dynamic pedobarograph and EMED systems for measuring dynamic foot pressures”
Journ. Foot & Ankle 1995: 562-566

Hegewald, G. (2000)
Ganganalytische Bestimmung und Bewertung der Druckverteilung unterm Fuß und von Gelenkwinkelverläufen
Humboldt Universität Berlin, Dissertation 2000

Macellari V
A Treadmill instrumented with a platform for pressure distribution measurement
Int. Soc. Biomech., Paris 1993: 818-819

Gamble D. J., Bartlett R. M., Jakeman P.M. (1988)
A comparison of non-motorized treadmill, motorized treadmill and overground running pattern
Biomech. In sports 1988: 25-32

Willemsen A. T. M., van Alste J. A., Boom H. B. K. (1990)
Real-time gait assessment utilising a new way of accelerometry
J. biomechanics 23: 859-863

Scott Z., Necip B. (1995)
Gait analysis theory and application
Measurement of Kinetic Parameters Technology, Mosby-Year 1995, chapt. 18

Wirth C.J., Ferdini R., Wülker N., (1996)
Vorfußdeformitäten- Behandlungskonzepte für Klinik und Praxis
Springer Verlag 1996

Ewerbeck V., Wentzensen A.
Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie
Georg Thieme Verlag Stuttgart 2004

Hirokawa S., Matsumara K. (1987)
Gait analysis using a measuring walkway for temporal and distance factors
Med. Biol. Eng. Comp. 25: 577-582

Obenaus F (1997)
Quantitative Bewertung des menschlichen Ganges – Ermittlung und Bewertung
typischer Parameterwerte
Diplomarbeit der TU Berlin 1997

Zwerenz, K. H. (2001)
Statistik verstehen mit Excel
R. Oldenbourg Verlag München Wien 2001

Lida H (1987)

Kinetic Analysis of the centre of gravity of the human body in normal and pathological gaits

J. Biomechanics 20: 987-995

Winter D. A., (1990)

Biomechanics and motor control of human movement

University of Waterloo Press, Ontario 199: 75-114; 204-207

Patla A. E. (1995)

The neural control of locomotion

Evaluation and management of gait disorders, New York 1995

Tober H. (1987)

Erarbeitung von Lösungsvorschlägen zum Aufbau eines Ganganalysemessplatzes für die Orthopädie

Forschungsbeleg, TU Dresden 1987

Seichert N., Erhart P., Senn E., (1997)

Die Etablierung der instrumentierten Ganganalyse als Verfahren zur unmittelbare klinikrelevanten Gangbeurteilung

Phys. Rehab. Kur. Med 7, 1997

Van Ingen G., Schenau G. J. (1980)

Some fundamental aspects of biomechanics of overground vs. treadmill locomotion

Med. And Science in Sports and exercise 1980; 12:4

Rosenrot P., Wall J. (1980)

The relationship between velocity, stride time and swing time during normal walking

J. Human move studies 6 (1980): 323-335

Boulton A. J., Meneses P., Ennis W. J., (1999)

Diabetische Fußgeschwüre : prophylaktische und therapeutische

Rahmenbedingungen

Journal Hartmann Wundforum 3/99: 10 ff.

Weerdesteyn V; Nienhuis B; Hampsink B; Duysens J

Gait adjustments in response to an obstacle are faster than voluntary reactions.

Human movement science; VOL: 23 (3-4); p. 351-63 /200410/

Dierick F; Penta M; Renaut D; Detrembleur C

A force measuring treadmill in clinical gait analysis.

Gait & posture; VOL: 20 (3); p. 299-303 /200412/

Diopa M; Rahmani A; Belli A; Gautheron V; Geysant A; Cottalorda J

Influence of speed variation and age on the asymmetry of ground reaction forces and stride parameters of normal gait in children.

Journal of pediatric orthopaedics. Part B / European Paediatric Orthopaedic Society, Pediatric Orthopaedic Society of North America; VOL: 13 (5); p. 308-14 /200409/

Warren GL; Maher RM; Higbie EJ

Temporal patterns of plantar pressures and lower-leg muscle activity during walking: effect of speed.

Gait & posture; VOL: 19 (1); p. 91-100 /200402/

Drerup B; Hafkemeyer U; Möller M; Wetz HH

Der Einfluss der Geschwindigkeit beim Gehen auf die Druckverteilung bei orthopädiesschuhtechnischer Versorgung.

Effect of walking speed on pressure distribution of orthopedic shoe technology

Der Orthopäde; VOL: 30 (3); p. 169-75 /200103/

Charteris J

Comparison of the effects of backpack loading and of walking speed on foot-floor contact patterns.

Ergonomics; VOL: 41 (12); p. 1792-809 /199812/

Verkerke GJ; Hof AL; Zijlstra W; Ament W; Rakhorst G

Determining the centre of pressure during walking and running using an instrumented treadmill.

Journal of biomechanics; VOL: 38 (9); p. 1881-5 /200509/

Segal A; Rohr E; Orendurff M; Shofer J; O'Brien M; Sangeorzan B

The effect of walking speed on peak plantar pressure.

Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society (and) Swiss Foot and Ankle Society; VOL: 25 (12); p. 926-33 /200412/

Owings TM; Grabiner MD

Step width variability, but not step length variability or step time variability, discriminates gait of healthy young and older adults during treadmill locomotion.

Journal of biomechanics; VOL: 37 (6); p. 935-8 /200406/

Minetti AE; Boldrini L; Brusamolin L; Zamparo P; McKee T

A feedback-controlled treadmill (treadmill-on-demand) and the spontaneous speed of walking and running in humans.

Journal of applied physiology; VOL: 95 (2); p. 838-43 /200308/

Ardigò LP; Saibene F; Minetti AE

The optimal locomotion on gradients: walking, running or cycling?

European journal of applied physiology; VOL: 90 (3-4); p. 365-71 /200310/

Raynor AJ; Yi CJ; Abernethy B; Jong QJ

Are transitions in human gait determined by mechanical, kinetic or energetic factors?

Human movement science; VOL: 21 (5-6); p. 785-805 /200212/

Tseh W; Bennett J; Caputo JL; Morgan DW

Comparison between preferred and energetically optimal transition speeds in adolescents.

European journal of applied physiology; VOL: 88 (1-2); p. 117-21 /200211/

Frost G; Bar-Or O; Dowling J; Dyson K

Explaining differences in the metabolic cost and efficiency of treadmill locomotion in children.

Journal of sports sciences; VOL: 20 (6); p. 451-61 /200206/

Montagne G; Buekers M; de Rugy A; Camachon C; Laurent M

Control of human locomotion under various task constraints.

Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation cerebrale; VOL: 143 (1); p. 133-6 /200203/

Birtane M; Tuna H

The evaluation of plantar pressure distribution in obese and non-obese adults.

Clinical biomechanics; VOL: 19 (10); p. 1055-9 /200412/

Dowling AM; Steele JR; Baur LA

What are the effects of obesity in children on plantar pressure distributions?

International journal of obesity and related metabolic disorders : journal of the

International Association for the Study of Obesity; VOL: 28 (11); p. 1514-9 /200411/

Schillings AM; Mulder T; Duysens J

Stumbling over obstacles in older adults compared to young adults.

Journal of neurophysiology; VOL: 94 (2); p. 1158-68 /200508/

Dierick F; Penta M; Renaut D; Detrembleur C

A force measuring treadmill in clinical gait analysis.

Gait & posture; VOL: 20 (3); p. 299-303 /200412/

Titianova EB; Mateev PS; Tarkka IM

Footprint analysis of gait using a pressure sensor system.

Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology; VOL: 14 (2); p. 275-81 /200404/

Rome LC; Flynn L; Goldman EM; Yoo TD
Generating electricity while walking with loads.
Science; VOL: 309 (5741); p. 1725-8 /20050909/

Razian MA; Pepper MG
Design, development, and characteristics of an in-shoe triaxial pressure measurement transducer utilizing a single element of piezoelectric copolymer film.
IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; VOL: 11

Morley RE Jr; Richter EJ; Klaesner JW; Maluf KS; Mueller MJ
In-shoe multisensory data acquisition system.
IEEE transactions on bio-medical engineering; VOL: 48 (7); p. 815-20 /200107/

Veltink PH; Liedtke C; Droog E; van der Kooij H
Ambulatory measurement of ground reaction forces.
IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; VOL: 13 (3); p. 423-7
/200509/

Sabatini AM; Martelloni C; Scapellato S; Cavallo F
Assessment of walking features from foot inertial sensing.
IEEE transactions on bio-medical engineering; VOL: 52 (3); p. 486-94 /200503/

Pappas IP; Popovic MR; Keller T; Dietz V; Morari M
A reliable gait phase detection system.
IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering :
a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; VOL: 9 (2); p.
113-25 /200106/

Hsiao H; Guan J; Weatherly M

Accuracy and precision of two in-shoe pressure measurement systems.
Ergonomics; VOL: 45 (8); p. 537-55 /20020620/

Kernozeck TW; Zimmer KA

Reliability and running speed effects of in-shoe loading measurements during slow treadmill running.

Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society (and) Swiss Foot and Ankle Society; VOL: 21 (9); p. 749-52 /200009/

Bauer JA; Cauraugh JH; Tillman MD

An insole pressure measurement system: repeatability of postural data.

Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society (and) Swiss Foot and Ankle Society; VOL: 21 (3); p. 221-6 /200003/

Lamoth CJ; Daffertshofer A; Meijer OG; Lorimer Moseley G; Wuisman PI; Beek PJ
Effects of experimentally induced pain and fear of pain on trunk coordination and back muscle activity during walking.

Clinical biomechanics; VOL: 19 (6); p. 551-63 /200407/

McCaw ST; Heil ME; Hamill J

The effect of comments about shoe construction on impact forces during walking.

Medicine and science in sports and exercise; VOL: 32 (7); p. 1258-64 /200007/

Danion F; Varraine E; Bonnard M; Pailhous J

Stride variability in human gait: the effect of stride frequency and stride length.

Gait & posture; VOL: 18 (1); p. 69-77 /200308/

Fritsch C; Haslbeck M

Diagnostik und Therapie des diabetischen Fussyndroms. Was leistet die Pedographie?

Significance of pedography in the diagnosis and treatment of the diabetic foot syndrome

MMW Fortschritte der Medizin; VOL: 146 (26); p. 51-4 /20040624/

Hsi WL; Chai HM; Lai JS

Comparison of pressure and time parameters in evaluating diabetic footwear.
American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic
Physiatrists; VOL: 81 (11); p. 822-9 /200211/

Otter SJ; Bowen CJ; Young AK

Forefoot plantar pressures in rheumatoid arthritis.
Journal of the American Podiatric Medical Association; VOL: 94 (3); p. 255-60 /2004
May-Jun/

Bus SA; Maas M; de Lange A; Michels RP; Levi M

Elevated plantar pressures in neuropathic diabetic patients with claw/hammer toe
deformity.
Journal of biomechanics; VOL: 38 (9); p. 1918-25 /200509/

Gravante G; Pomara F; Russo G; Amato G; Cappello F; Ridola C

Plantar pressure distribution analysis in normal weight young women and men with
normal and claw feet: a cross-sectional study.
Clinical anatomy : official journal of the American Association of Clinical Anatomists &
the British Association of Clinical Anatomists; VOL: 18 (4); p. 245-50 /200505/

Stacpoole-Shea S; Shea G; Lavery L

An examination of plantar pressure measurements to identify the location of diabetic
forefoot ulceration.
The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of
Foot and Ankle Surgeons; VOL: 38 (2); p. 109-15; discussion 179 /1999 Mar-Apr/

Lampe R; Mitternacht J; Gerdesmeyer L; Gradinger R

Bodendruckmessungen am Kinder- und Jugendfuss bei sportlicher Aktivität.
Plantar pressure measurement in children and youths during sports activities
Klinische Pädiatrie; VOL: 217 (2); p. 70-5 /2005 Mar-Apr/

De Cock A; De Clercq D; Willems T; Witvrouw E

Temporal characteristics of foot roll-over during barefoot jogging: reference data for young adults.

Gait & posture; VOL: 21 (4); p. 432-9 /200506/

Mueller MJ; Strube MJ

Therapeutic footwear: enhanced function in people with diabetes and transmetatarsal amputation.

Archives of physical medicine and rehabilitation; VOL: 78 (9); p. 52-6 /199709/

Lawless MW; Reveal GT; Laughlin RT

Foot pressures during gait: a comparison of techniques for reducing pressure points.

Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society (and)

Swiss Foot and Ankle Society; VOL: 22 (7); p. 594-7 /200107/

House CM; Dixon SJ; Allsopp AJ

User trial and insulation tests to determine whether shock-absorbing insoles are suitable for use by military recruits during training.

Military medicine; VOL: 169 (9); p. 741-6 /200409/

Jackson L; Binning J; Potter J

Plantar pressures in rheumatoid arthritis using prefabricated metatarsal padding.

Journal of the American Podiatric Medical Association; VOL: 94 (3); p. 239-45 /2004

May-Jun/

Hodge MC; Bach TM; Carter GM

novel Award First Prize Paper. Orthotic management of plantar pressure and pain in rheumatoid arthritis.

Clinical biomechanics; VOL: 14 (8); p. 567-75 /199910/

Han TR; Paik NJ; Im MS

Quantification of the path of center of pressure (COP) using an F-scan in-shoe transducer.

Gait & posture; VOL: 10 (3); p. 248-54 /199912/

Kavlak Y; Uygur F; Korkmaz C; Bek N

Outcome of orthoses intervention in the rheumatoid foot.

Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society (and) Swiss Foot and Ankle Society; VOL: 24 (6); p. 494-9 /200306/

Xu H; Akai M; Kakurai S; Yokota K; Kaneko H

Effect of shoe modifications on center of pressure and in-shoe plantar pressures.

American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists; VOL: 78 (6); p. 516-24 /1999 Nov-Dec/

Hsi WL; Chai HM; Lai JS

Evaluation of rocker sole by pressure-time curves in insensate forefoot during gait.

American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists; VOL: 83 (7); p. 500-6 /200407/

Brown D; Wertsch JJ; Harris GF; Klein J; Janisse D

Effect of rocker soles on plantar pressures.

Archives of physical medicine and rehabilitation; VOL: 85 (1); p. 81-6 /200401/

Wu WL; Rosenbaum D; Su FC

The effects of rocker sole and SACH heel on kinematics in gait.

Medical engineering & physics; VOL: 26 (8); p. 639-46 /200410/

Broch NL; Wyller T; Steen H

Effects of heel height and shoe shape on the compressive load between foot and base: a graphic analysis of principle.

Journal of the American Podiatric Medical Association; VOL: 94 (5); p. 461-9 /2004 Sep-Oct/

Yung-Hui L; Wei-Hsien H

Effects of shoe inserts and heel height on foot pressure, impact force, and perceived comfort during walking.

Applied ergonomics; VOL: 36 (3); p. 355-62 /200505/

Van Gheluwe B; Dananberg HJ

Changes in plantar foot pressure with in-shoe varus or valgus wedging.

Journal of the American Podiatric Medical Association; VOL: 94 (1); p. 1-11 /2004 Jan-Feb/

Drerup B; Kolling Ch; Koller A; Wetz HH

Verringerung des plantaren Spitzendrucks beim Diabetiker durch Verkürzung der Schrittlänge.

Reduction of plantar peak pressure by limiting stride length in diabetic patients

Der Orthopäde; VOL: 33 (9); p. 1013-9 /200409/

Derrick TR; Hamill J; Caldwell GE

Energy absorption of impacts during running at various stride lengths.

Medicine and science in sports and exercise; VOL: 30 (1); p. 128-35 /199801/

Wu G; Hitt J

Ground contact characteristics of Tai Chi gait.

Gait & posture; VOL: 22 (1); p. 32-9 /200508/

Nurse MA; Nigg BM

The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity.

Clinical biomechanics; VOL: 16 (9); p. 719-27 /200111/

Fuhrmann RA

Arthrodesis of the first tarsometatarsal joint for correction of the advanced splayfoot accompanied by a hallux valgus.

Operative Orthopädie und Traumatologie; VOL: 17 (2); p. 195-210 /200506/

Buchner M; Schulze A; Zeifang F; Sabo D

Druckverteilungsmessung nach Scarf-Osteotomie bei Hallux valgus.

Pressure distribution after scarf osteotomy for hallux valgus surgery

Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete; VOL: 143 (2); p. 233-9 /2005 Mar-Apr/

Bryant AR; Tinley P; Cole JH

Plantar pressure and radiographic changes to the forefoot after the Austin bunionectomy.

Journal of the American Podiatric Medical Association; VOL: 95 (4); p. 357-65 /2005 Jul-Aug/

Hosch J; Quiroga C; Bosma J; Peters EJ; Armstrong DG; Lavery LA

Outcomes of transmetatarsal amputations in patients with diabetes mellitus.

The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons; VOL: 36 (6); p. 430-4 /1997 Nov-Dec/

Khalafi A; Landsman AS; Lautenschlager EP; Kelikian AS

Plantar forefoot pressure changes after second metatarsal neck osteotomy.

Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society (and) Swiss Foot and Ankle Society; VOL: 26 (7); p. 550-5 /200507/

Snyder J; Owen J; Wayne J; Adelaar R

Plantar pressure and load in cadaver feet after a Weil or chevron osteotomy.

Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society (and) Swiss Foot and Ankle Society; VOL: 26 (2); p. 158-65 /200502/

Lamoth CJ; Daffertshofer A; Meijer OG; Lorimer Moseley G; Wuisman PI; Beek PJ

Effects of experimentally induced pain and fear of pain on trunk coordination and back muscle activity during walking.

Clinical biomechanics; VOL: 19 (6); p. 551-63 /200407/

Yamashita MH

Evaluation and selection of shoe wear and orthoses for the runner.

Physical medicine and rehabilitation clinics of North America; VOL: 16 (3); p. 801-29
/200508/

Notni A; Fuhrmann RA

Plantare Druckverteilungsmessung an Vorfussentlastungsschuhen.

Measuring plantar weight distribution of shoes with forefoot support

Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete; VOL: 137 (3); p. 280-3 /1999 May-
Jun/

Nigg BM; Nurse MA; Stefanyshyn DJ

Shoe inserts and orthotics for sport and physical activities.

Medicine and science in sports and exercise; VOL: 31 (7 Suppl); p. S421-8 /199907/

7. Einzelergebnisse der pedobarographischen Messungen

Die Ergebnisse jeder Messreihe sind pro Proband/Patient auf die wesentlichen Aussagen zusammengefasst worden. Auf jedem dieser Ergebnisblätter ist nun also neben den Grunddaten bei Probanden der Messwert der Summe der Vorfußdrücke des besten Vorfußentlastungsschuhs, die Signifikanzgrenze zur signifikanten Aussage, dass ein Modell besser entlastet als die anderen Modelle, die durchschnittliche Summe der Vorfußdrücke aller Vorfußentlastungsschuhe, die Signifikanzgrenze zur signifikanten Aussage, dass die durchschnittliche Summe der Vorfußdrücke aller Vorfußentlastungsschuhe den Vorfuß mehr entlastet als der Verbandsschuh sowie die Summe der Vorfußdruckmesswerte des Verbandsschuhs dargestellt.

Bei Patienten wurden die Druckwerte der operierten Seite dargestellt.

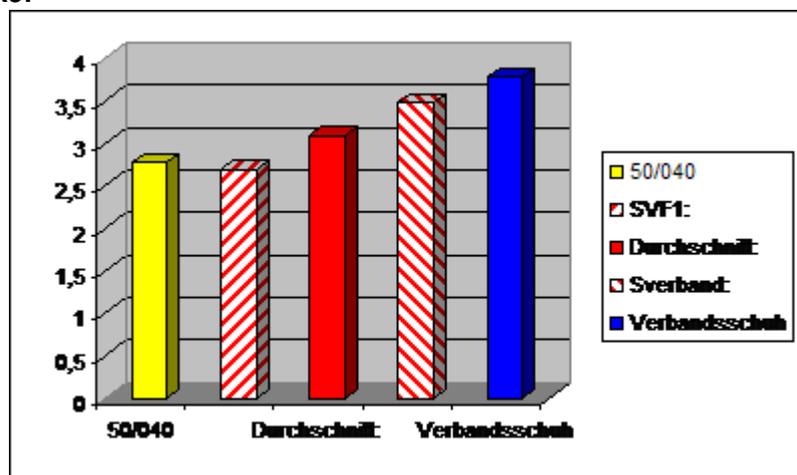
7.1. Einzelergebnisse der Probanden

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
AL	37/37	54 kg	1,58m	15.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

50/040	2,77
SVF1:	2,69
Durchschnitt:	3,09
Sverband:	3,48
Verbandsschuh	3,78



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

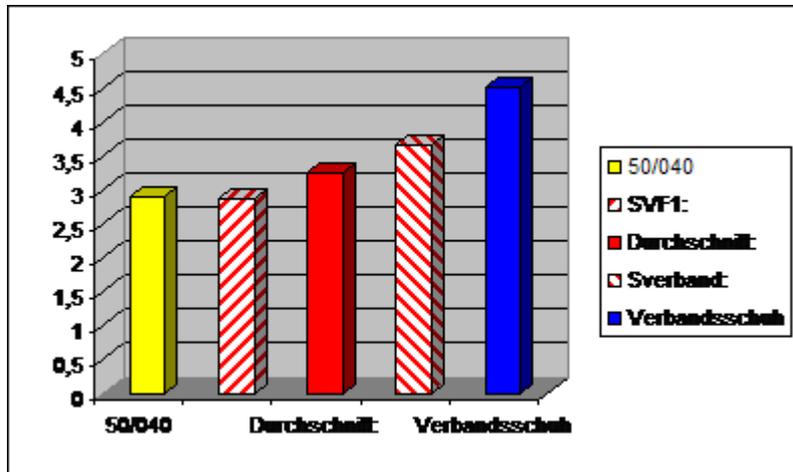
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
CL	37/37	60 kg	1,57m	15.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

50/040	2,9
SVF1:	2,86
Durchschnitt:	3,25
Sverband:	3,65
Verbandsschuh	4,51



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

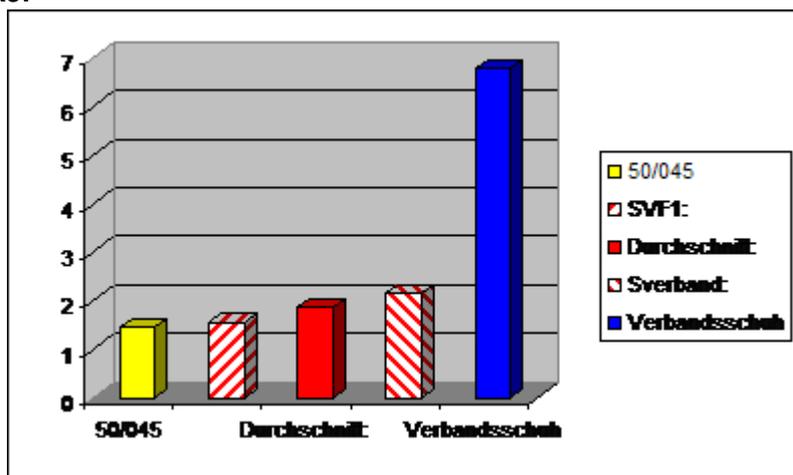
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
DP	41/41	92 kg	1,70 m	12.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

50/045	1,45
SVF1:	1,55
Durchschnitt:	1,85
Sverband:	2,15
Verbandsschuh	6,78



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

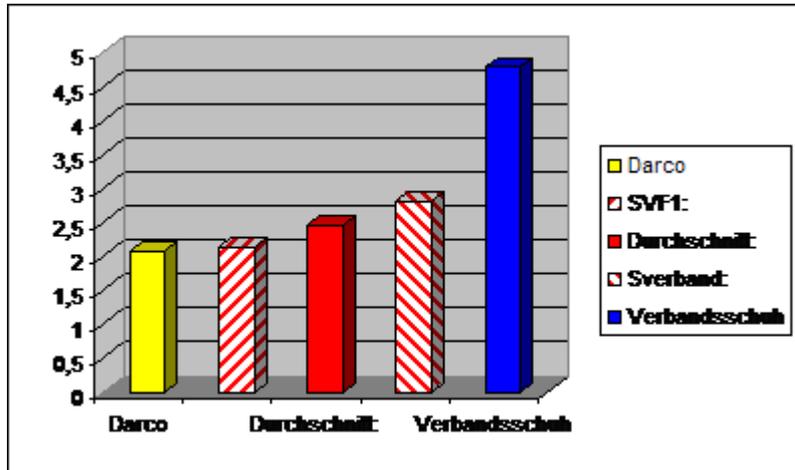
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
IB	37/37	71 kg	1,69 m	28.09.2004

Summe der Vorfußdrücke:

Darco	2,07
SVF1:	2,13
Durchschnitt:	2,46
Sverband:	2,8
Verbandsschuh	4,79



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

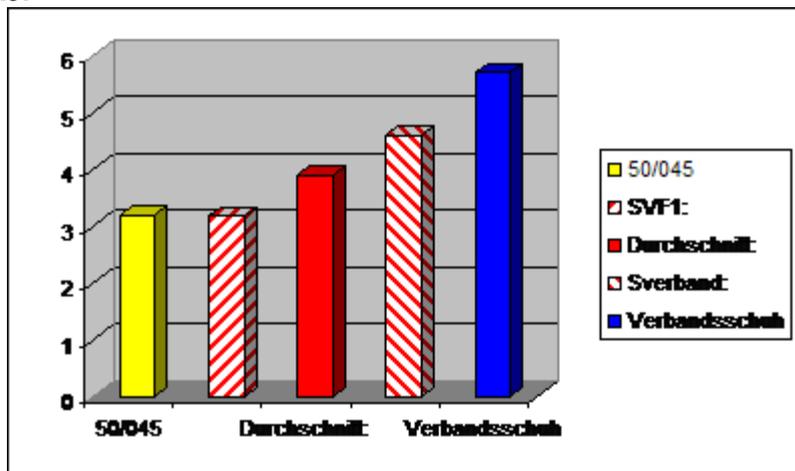
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
IM	41/41	82 kg	1,77 m	12.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

50/045	3,2
SVF1:	3,17
Durchschnitt:	3,89
Sverband:	4,61
Verbandsschuh	5,71



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

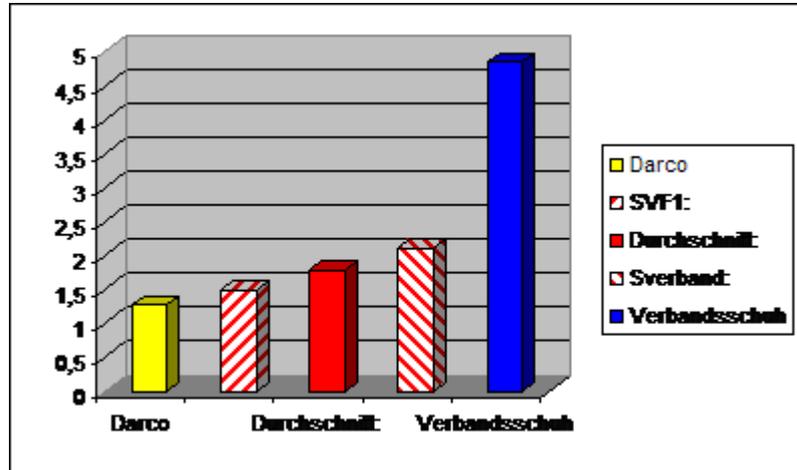
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
KC	42/42	72 kg	1,88 m	18.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

Darco	1,27
SVF1:	1,48
Durchschnitt:	1,79
Sverband:	2,11
Verbandsschuh	4,85



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

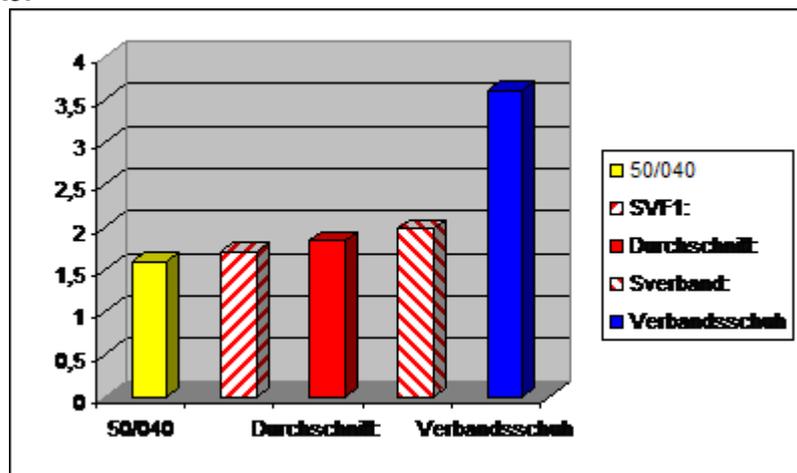
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
ME	37/37	57 kg	1,63 m	07.11.2004

Summe der Vorfußdrücke:

50/040	1,59
SVF1:	1,71
Durchschnitt:	1,84
Sverband:	1,98
Verbandsschuh	3,6



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

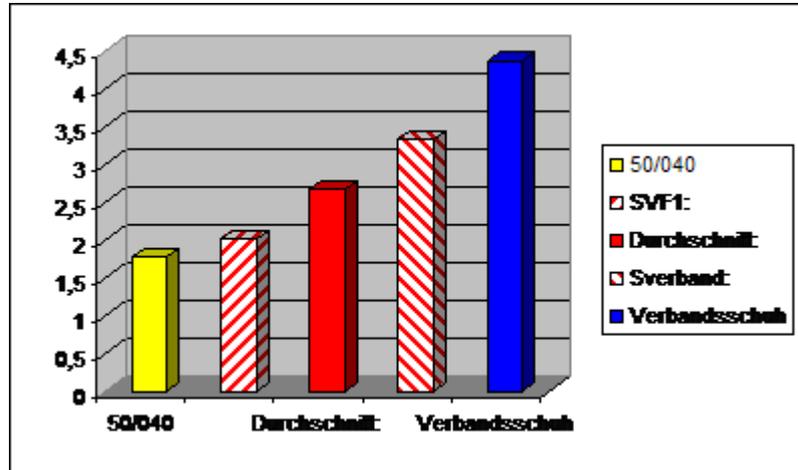
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
MF	41/41	68 kg	1,77 m	12.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

50/040	1,78
SVF1:	2,01
Durchschnitt:	2,67
Sverband:	3,33
Verbandsschuh	4,38



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

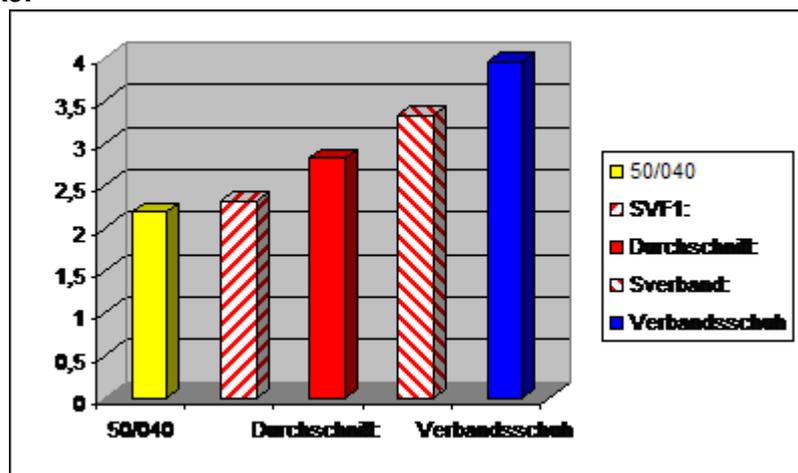
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
MM	37/37	60 kg	1,60 m	12.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

50/040	2,19
SVF1:	2,31
Durchschnitt:	2,82
Sverband:	3,33
Verbandsschuh	3,96



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

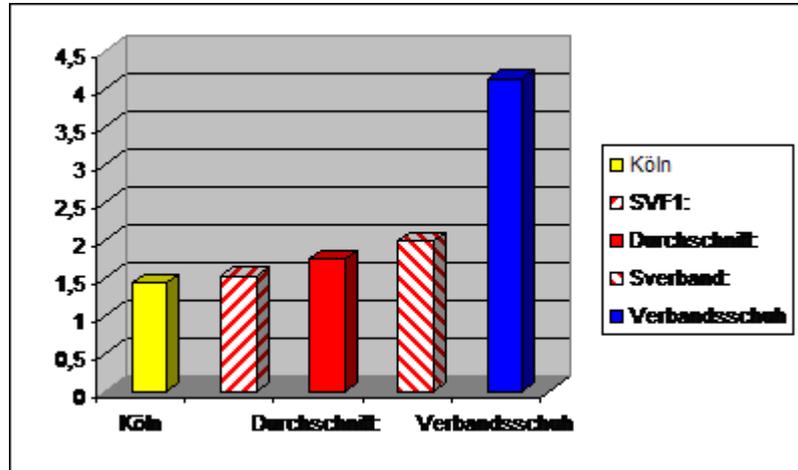
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
MP	41/41	71 kg	1,67 m	15.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

Köln	1,43
SVF1:	1,52
Durchschnitt:	1,75
Sverband:	1,99
Verbandsschuh	4,13



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

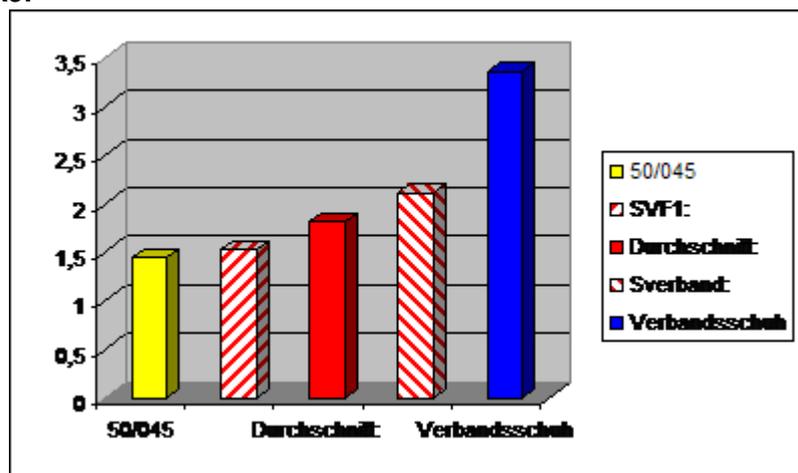
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
NG	37/37	66 kg	1,65 m	18.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

50/045	1,44
SVF1:	1,52
Durchschnitt:	1,81
Sverband:	2,11
Verbandsschuh	3,36



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

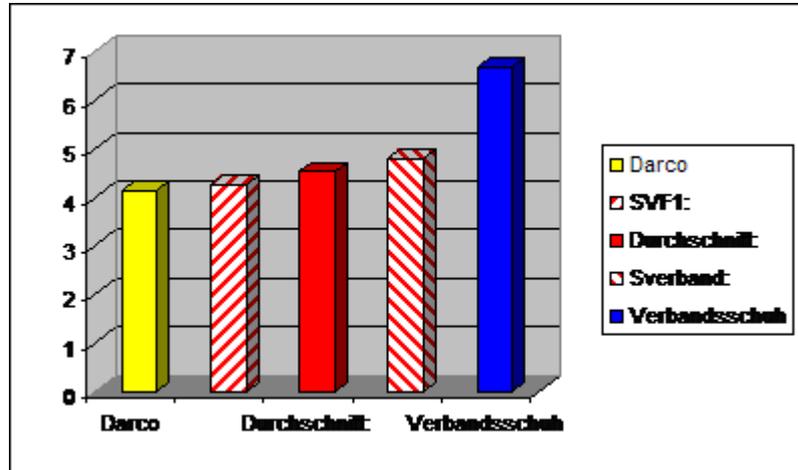
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
PH	39/39	64 kg	1,69 m	18.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

Darco	4,13
SVF1:	4,27
Durchschnitt:	4,53
Sverband:	4,79
Verbandsschuh	6,67



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

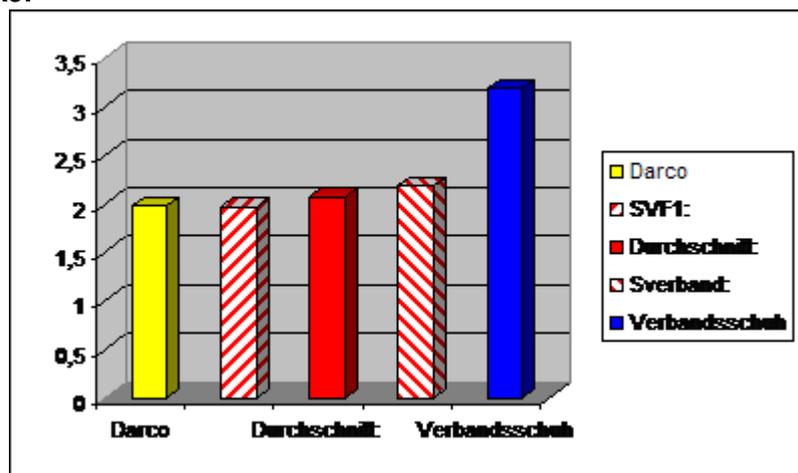
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
RL	37/37	59 kg	1,62 m	28.09.2004

Summe der Vorfußdrücke:

Darco	1,98
SVF1:	1,97
Durchschnitt:	2,07
Sverband:	2,18
Verbandsschuh	3,19



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

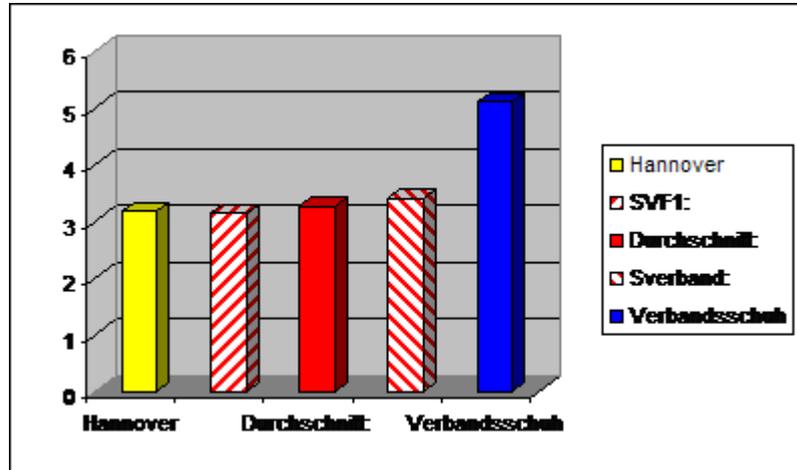
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
SS	39/39	67 kg	1,66 m	20.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

Hannover	3,18
SVF1:	3,14
Durchschnitt:	3,27
Sverband:	3,41
Verbandsschuh	5,11



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

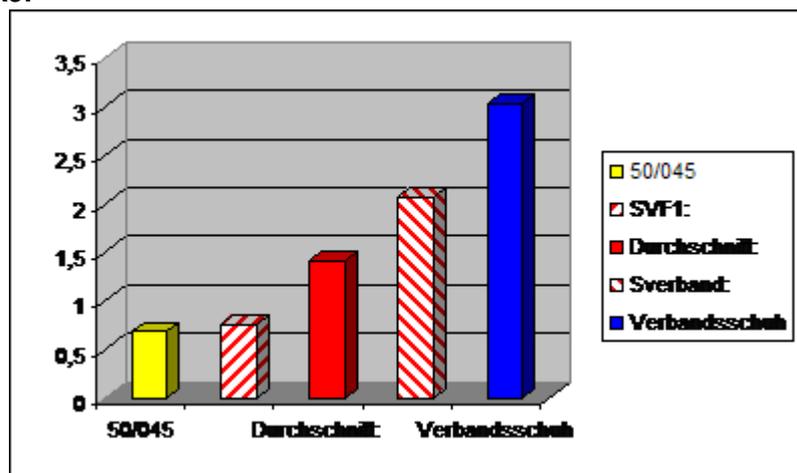
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Ergebnis der Messungen

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
SV	37/37	55 kg	1,68 m	12.08.2004

Summe der Vorfußdrücke:

50/045	0,68
SVF1:	0,75
Durchschnitt:	1,41
Sverband:	2,07
Verbandsschuh	3,03



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

7.2 Einzelergebnisse der Patienten prä- und postoperativ:

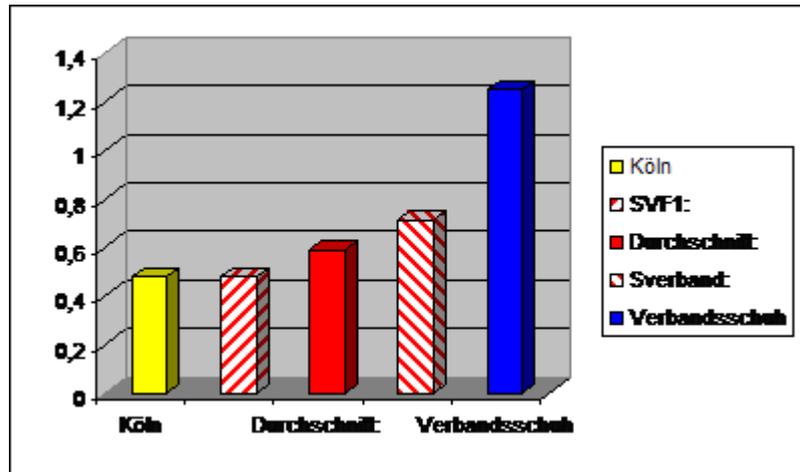
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
AK	39/39	54 kg	1,56m	28.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

Köln	0,48
SVF1:	0,48
Durchschnitt:	0,59
Sverband:	0,71
Verbandsschuh	1,25



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

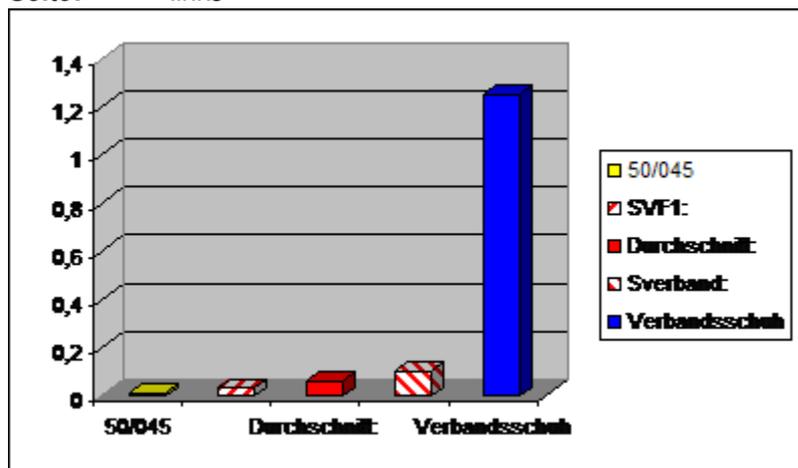
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
AK	39/39	54 kg	1,56 m	29.09.2004	02.10.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

50/045	0,01
SVF1:	0,03
Durchschnitt:	0,06
Sverband:	0,1
Verbandsschuh	1,25



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

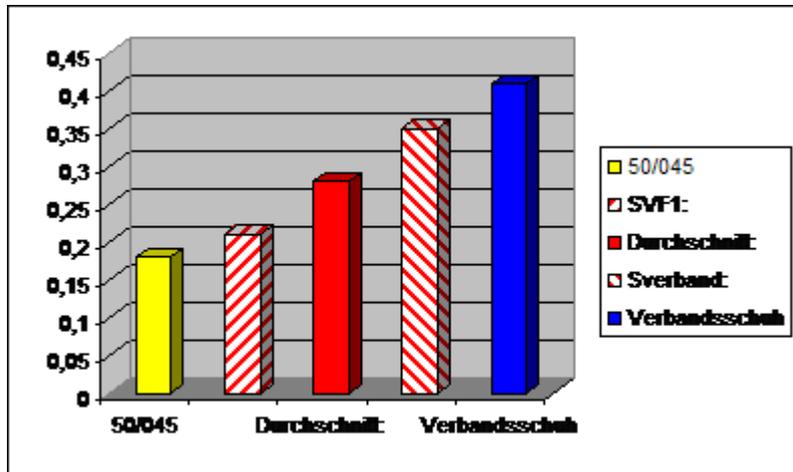
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
AP	39/39	66 kg	1,71 m	28.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

50/045	0,18
SVF1:	0,21
Durchschnitt:	0,28
Sverband:	0,35
Verbandsschuh	0,41



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

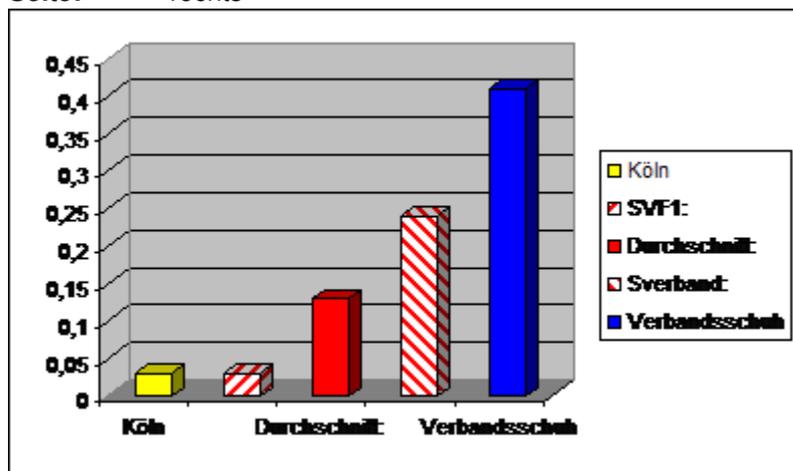
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
AP	39/39	66 kg	1,71 m	29.09.2004	02.10.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

Köln	0,03
SVF1:	0,03
Durchschnitt:	0,13
Sverband:	0,24
Verbandsschuh	0,41



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

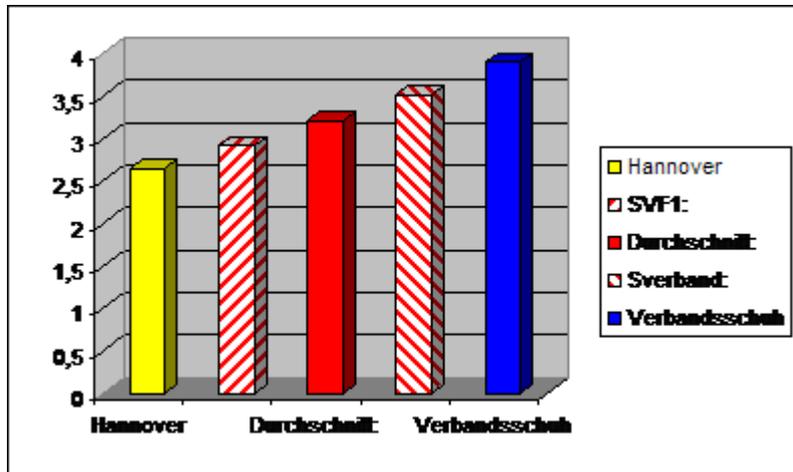
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
BC	39/39	81 kg	1,77m	18.08.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

Hannover	2,64
SVF1:	2,91
Durchschnitt:	3,21
Sverband:	3,51
Verbandsschuh	3,9



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

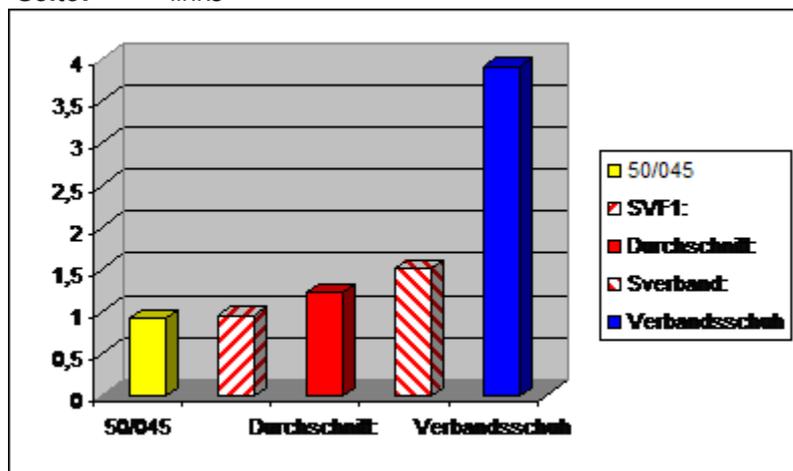
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
BC	39/39	81 kg	1,77m	19.08.2004	20.08.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

50/045	0,91
SVF1:	0,95
Durchschnitt:	1,22
Sverband:	1,5
Verbandsschuh	3,9



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

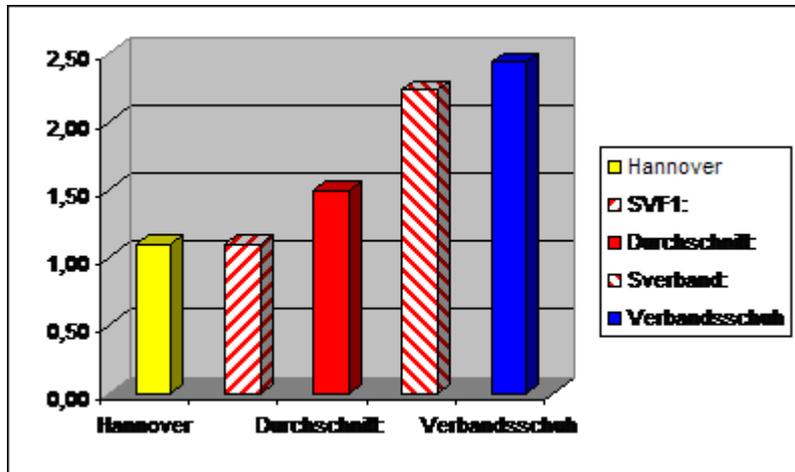
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
EW2	37/37	55 kg	1,56 m	16.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

Hannover	1,10
SVF1:	1,10
Durchschnitt:	1,49
Sverband:	2,23
Verbandsschuh	2,44



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

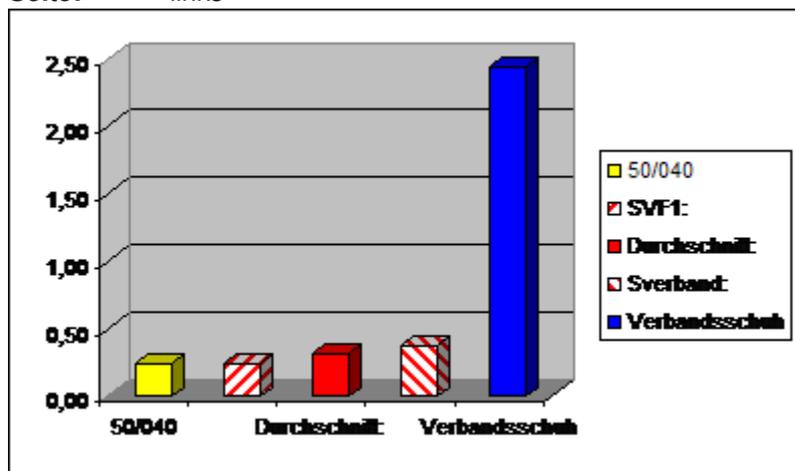
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
EW2	37/37	55 kg	1,56 m	17.09.2004	21.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

50/040	0,24
SVF1:	0,24
Durchschnitt:	0,31
Sverband:	0,37
Verbandsschuh	2,44



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

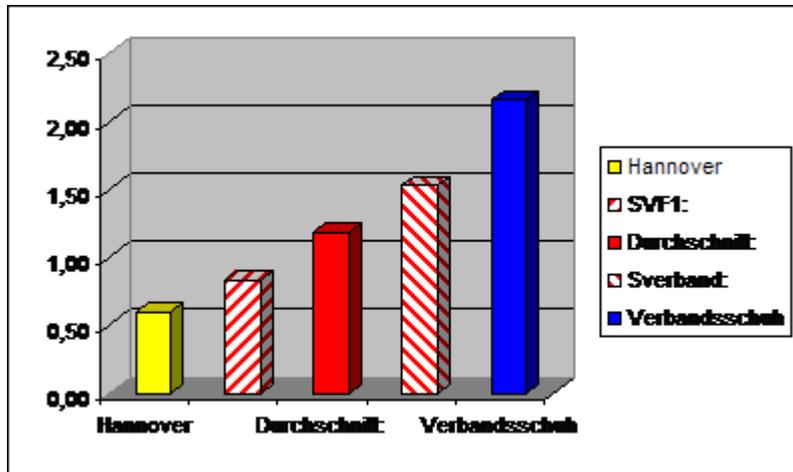
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
EW	39/39	70 kg	1,64 m	04.11.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

Hannover	0,60
SVF1:	0,83
Durchschnitt:	1,18
Sverband:	1,53
Verbandsschuh	2,16



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

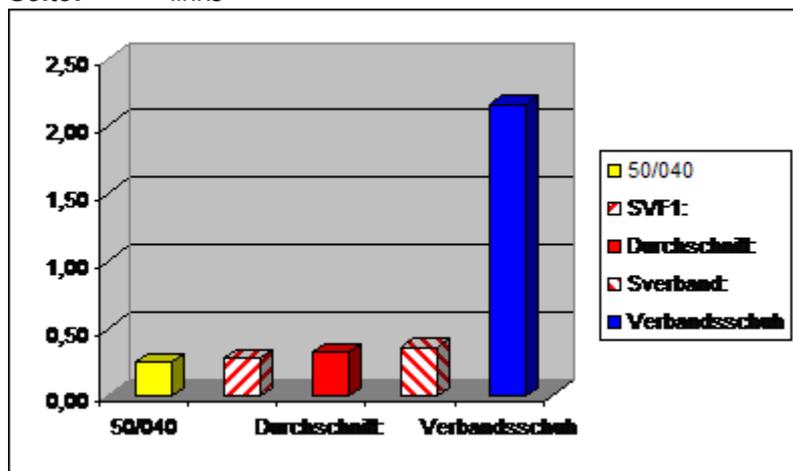
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
EW	39/39	70 kg	1,64 m	05.11.2004	07.11.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

50/040	0,25
SVF1:	0,28
Durchschnitt:	0,32
Sverband:	0,36
Verbandsschuh	2,16



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

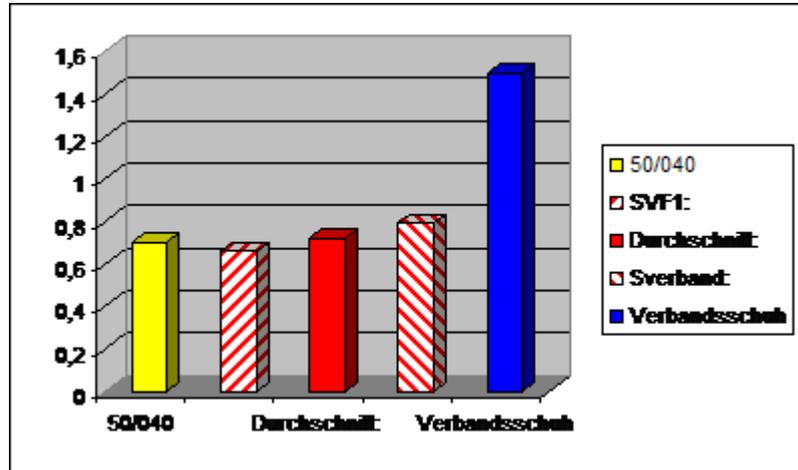
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
FR	37/37	56 kg	1,70 m	23.11.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

50/040	0,7
SVF1:	0,66
Durchschnitt:	0,72
Sverband:	0,79
Verbandsschuh	1,5



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

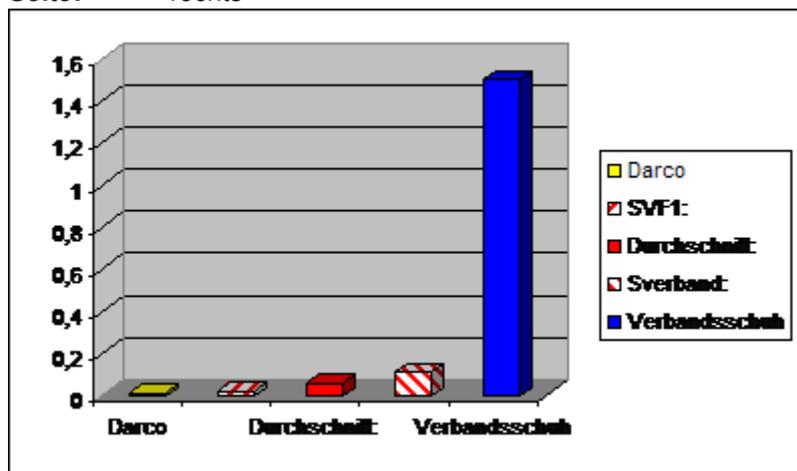
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
FR	37/37	56 kg	1,70 m	24.11.2004	26.11.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

Darco	0,01
SVF1:	0,02
Durchschnitt:	0,06
Sverband:	0,11
Verbandsschuh	1,5



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

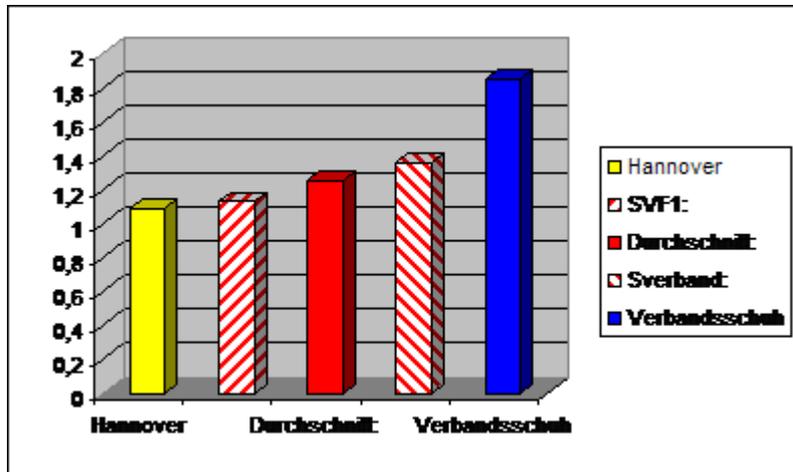
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
GK	37/37	64 kg	1,72 m	16.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

Hannover	1,09
SVF1:	1,13
Durchschnitt:	1,25
Sverband:	1,36
Verbandsschuh	1,85



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

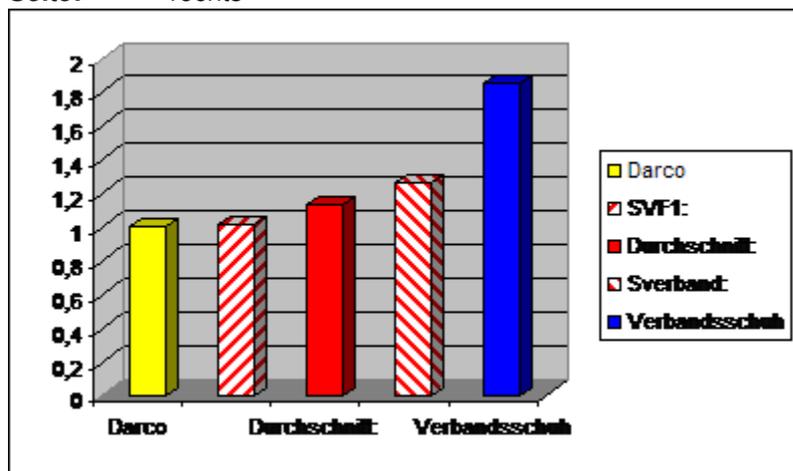
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
GK	37/37	64 kg	1,72 m	17.09.2004	21.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

Darco	1
SVF1:	1,01
Durchschnitt:	1,13
Sverband:	1,26
Verbandsschuh	1,85



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

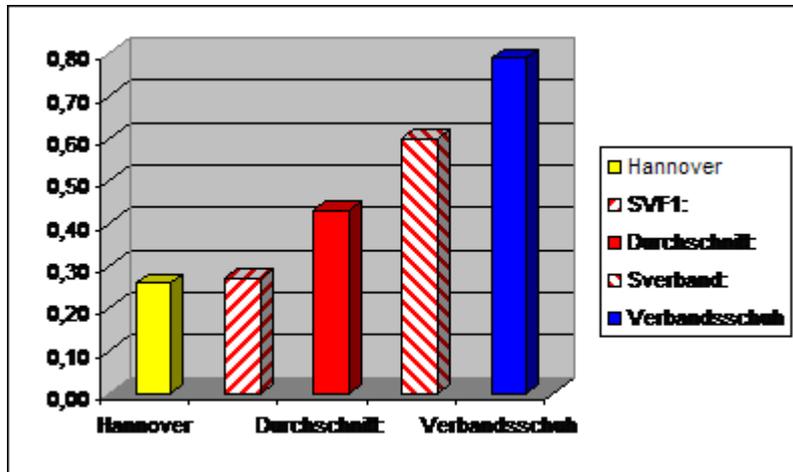
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
GS	39/39	65 kg	1,63 m	28.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

Hannover	0,26
SVF1:	0,27
Durchschnitt:	0,43
Sverband:	0,60
Verbandsschuh	0,79



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

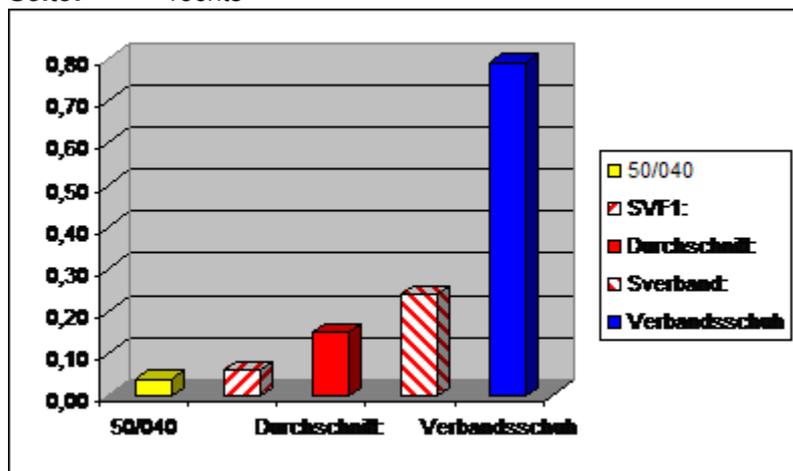
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
GS	39/39	65 kg	1,63 m	29.09.2004	02.10.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

50/040	0,04
SVF1:	0,06
Durchschnitt:	0,15
Sverband:	0,24
Verbandsschuh	0,79



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

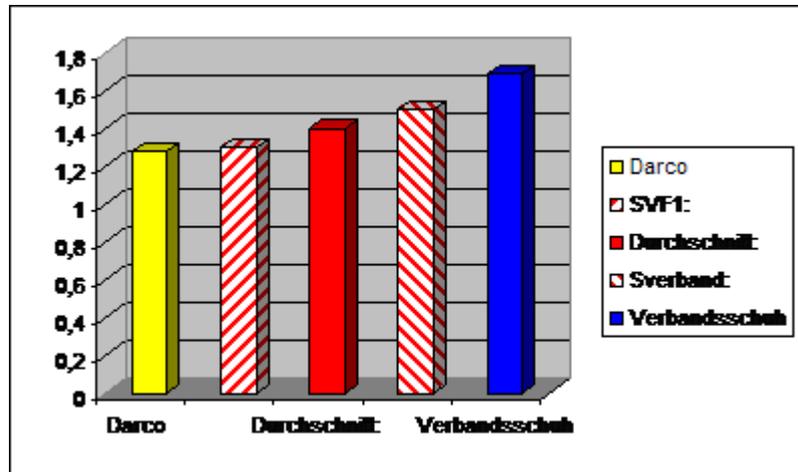
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
IM2	39/39	60 kg	1,63 m	28.10.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

Darco	1,28
SVF1:	1,3
Durchschnitt:	1,4
Sverband:	1,5
Verbandsschuh	1,69



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

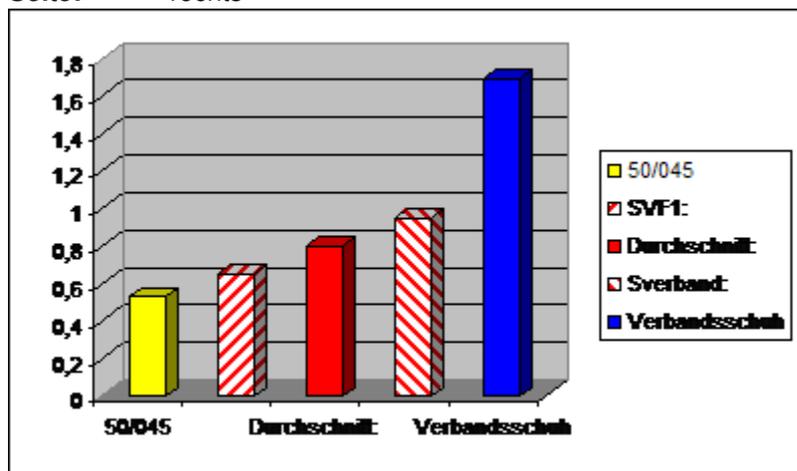
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
IM2	39/39	60 kg	1,63 m	29.10.2004	03.11.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

50/045	0,53
SVF1:	0,65
Durchschnitt:	0,8
Sverband:	0,95
Verbandsschuh	1,69



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

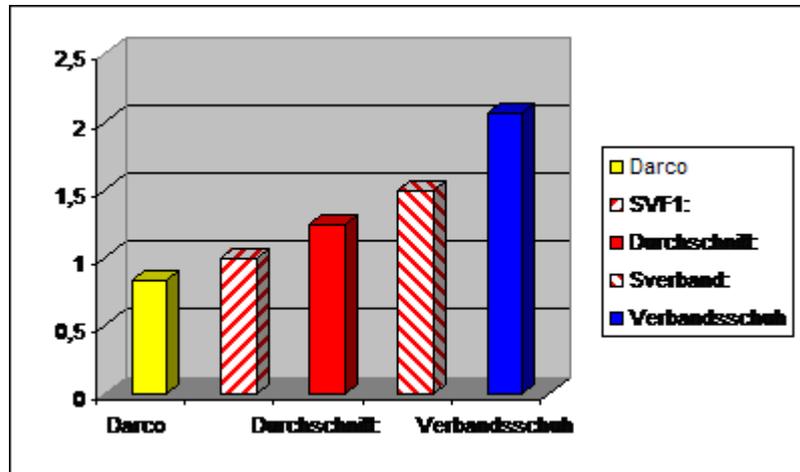
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
MK	41/41	85 kg	1,64 m	06.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

Darco	0,83
SVF1:	0,99
Durchschnitt:	1,24
Sverband:	1,49
Verbandsschuh	2,06



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

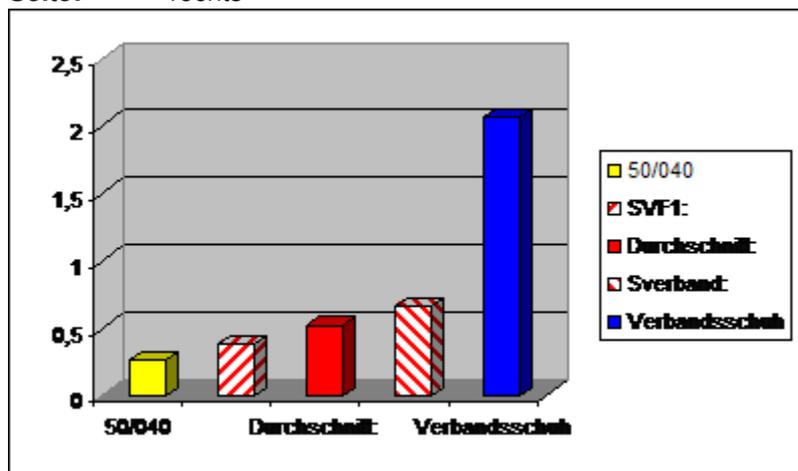
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
MK	41/41	85 kg	1,64 m	07.09.2004	10.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: rechts

50/040	0,26
SVF1:	0,38
Durchschnitt:	0,52
Sverband:	0,66
Verbandsschuh	2,06



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

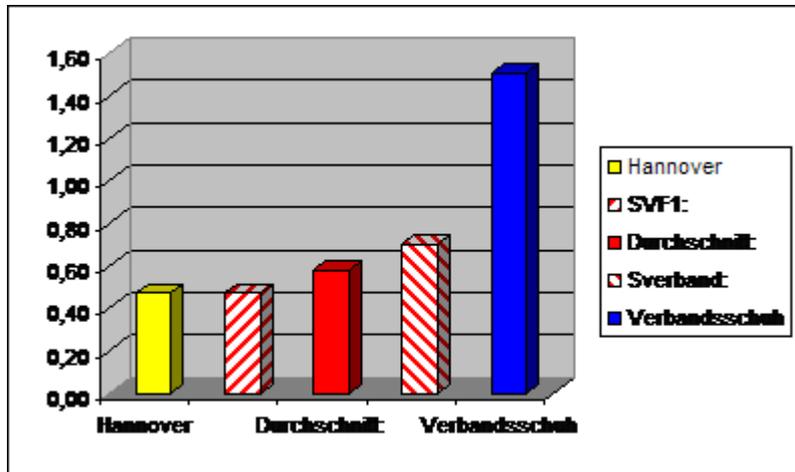
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
RS	41/41	69 kg	1,67 m	06.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

Hannover	0,47
SVF1:	0,47
Durchschnitt:	0,58
Sverband:	0,70
Verbandsschuh	1,51



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

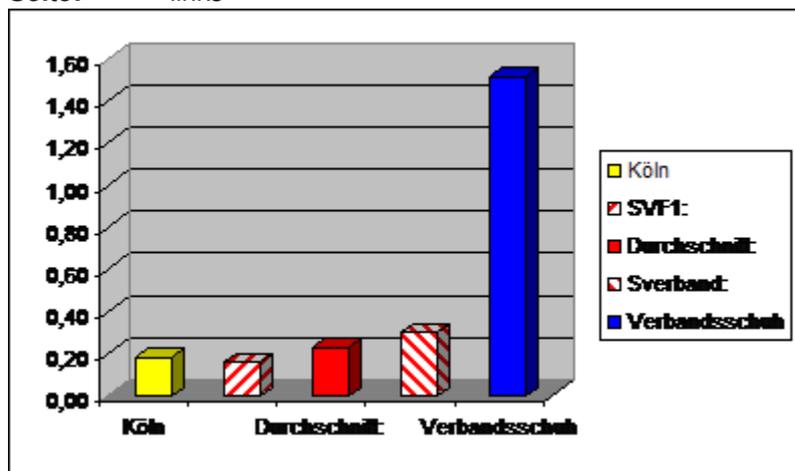
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
RS	41/41	69 kg	1,67 m	07.09.2004	10.09.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

Köln	0,18
SVF1:	0,16
Durchschnitt:	0,23
Sverband:	0,30
Verbandsschuh	1,51



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

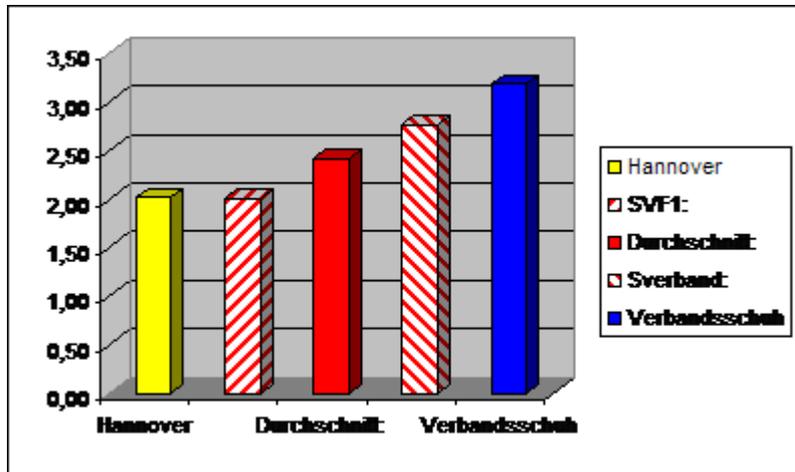
Ergebnis der Messungen

präoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	Messdatum
TR	43/43	80 kg	1,78 m	26.10.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

Hannover	2,02
SVF1:	2,01
Durchschnitt:	2,42
Sverband:	2,76
Verbandsschuh	3,19



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

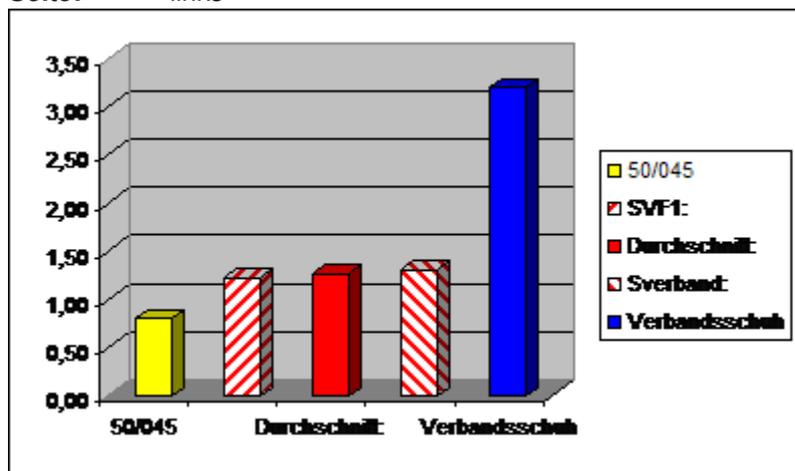
Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

postoperative Messung

Proband	MSGr.	Gewicht	Körpergröße	OP-Datum	Messdatum
TR	43/43	80 kg	1,78 m	27.10.2004	29.10.2004

Vorfußdrücke auf der OP-Seite: links

50/045	0,80
SVF1:	1,22
Durchschnitt:	1,27
Sverband:	1,31
Verbandsschuh	3,19



MSGr.: Messsohlengröße

SVF1: Signifikanzgrenze für einen signifikant besten Schuh

Sverband: Signifikanzgrenze für einen signifikant schlechteren Verbandsschuh

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
cm	Zentimeter
g	Gramm
Hz	Hertz
kg	Kilogramm
m	Meter
MHz	Megahertz
mm	Millimeter
MTP1	Metatarso-phalangeal-Gelenk 1
N	Newton
n. Chr.	nach Christus
OP	Operation
RAP	Resektions-Arthroplastik
S, M, L	small, medium, large
TNF-alpha	Tumornekrosefaktor alpha
Tab.	Tabelle
v	Geschwindigkeit

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. S. Sell für die Bereitstellung des Themas, den Gestaltungsmöglichkeiten in dieser Arbeit und vor allem für die stets freundschaftliche Hilfestellung.

Ein weiterer besonderer Dank geht an Frau Anita Hack für die fachlich hochqualifizierte Unterstützung und Motivation.

Ich danke auch allen Probanden und Patienten für ihre unentgeltliche Mitarbeit.

Für die Bereitstellung der Vorfußentlastungsschuhe, der Verbandsschuhe und der Messapparatur sei ebenfalls gedankt.

Lebenslauf

Rupert Rieger

<u>Familie:</u>	selbst Vater Mutter Geschwister	geb. am 12.6.1973 in Stuttgart geb. 1943, Oberstudienrat geb. 1942 in Calcutta, Indien, Ärztin 2 Geschwister, Schwester (30), Bruder (28)
<u>Ausbildung:</u>	Schule Wehrdienst Studium Famulaturen PJ	Abitur 93, Isolde Kurz Gymnasium, Reutlingen 10/93 - 10/94 Bundeswehr WS 94/95 bis WS 00/01 Universität Tübingen 3. Staatsexamen am 16.5.2001 17.02.97 - 30.03.97 Orthopädische Universitätsklinik Tübingen 02.03.98 - 05.04.98 Praxis Dr. Heber & Dr. Kühn (Orthopädie) 01.03.99 - 05.04.99 Anästhesie und Intensivmed. KRK Reutlingen 19.07.99 - 01.08.99 Orthop. Universitätsklinik Tübingen Ambulanz 26.04.00 - 13.08.00 Orthop. Universitätsklinik Tübingen 14.08.00 - 03.12.00 Medizinische Klinik Reutlingen 04.12.00 - 25.03.01 Chirurgische Klinik Reutlingen
<u>Arbeitsstätte:</u>	AIP Assistenzarzt	1.6.01 - 30.6.02 ARCUS-Sportklinik Pforzheim 1.7.02 - aktuell Klinik für Rheumaorthopädie Bad Wildbad