

Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik  
Der Universität Würzburg  
Direktor: Professor Dr. med. J. Eulert

Functional Grading von Laufschuhen – Zusammenhänge  
von Anthropometrie und Abrollverhalten, sowie  
Vorfußflexibilität am Laufschuh

Inaugural – Dissertation  
Zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Bayerischen Julius-Maximilian-Universität Würzburg  
vorgelegt von  
Robert Morrison  
aus Kist

Referentenblatt

Referent: Prof. Dr. med. J. Eulert

Koreferent: Priv.-Doz. M. Walther

Dekan: Prof. Dr. med. G. Ertl

Tag der mündlichen Prüfung:

Der Promovend ist Arzt.

# Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AM	arithmetisches Mittel
BMI	Body Mass Index
bzw.	beziehungsweise
bez.	bezüglich
d.h.	das heißt
EVA	Ethylen-Vinylacetat
g	Gramm
kg	Kilogramm
km	Kilometer
km <sup>-1</sup>	Kilometer pro Stunde
m	männlich
Max	Maximum
ME	Mitteleuropa
Min	Minimum
MLI	Metatarsal-Längen-Index
mm	Millimeter
MPG	Metatarsophalangealgelenk
ms	Millisekunde
ms <sup>-1</sup>	Meter pro Sekunde
n	Anzahl
NA	Nordamerika
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
r	Korrelationskoeffizient
S.	Seite
SD	Standard Deviation (engl.: Standardabweichung)
Tab.	Tabelle
UK	United Kingdom (in Zusammenhang mit englischer Schuhgrößeneinteilung)
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
w	weiblich
z.B.	zum Beispiel

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Evolution des Fußes .....	1
1.2	Fragestellung .....	3
<b>2</b>	<b>Material und Methode .....</b>	<b>6</b>
2.1	Beschreibung des Testschuhmodells.....	6
2.2	Messmethoden .....	8
2.2.1	Zwischensohlenhärte und -dichte .....	8
2.2.2	Schuhgewicht und Sohlendicke .....	8
2.2.3	Messung der Vorfußflexibilitätseigenschaften.....	9
2.2.4	Fußanthropometrie .....	12
2.3	Feldstudie .....	17
2.3.1	Einschlusskriterien .....	17
2.3.2	Projekteinführung.....	18
2.3.3	Orthopädische Anamnese .....	20
2.3.4	Bestimmung der Fußanthropometrie .....	20
2.3.5	Kinematische Videoanalyse.....	21
2.4	Evaluierung der Testschuhe im Feld.....	22
2.5	Bestimmung der Gruppierungsvariablen.....	24
2.5.1	Allgemeine anthropometrische Gruppierungsvariablen .....	24
2.5.2	Daten der Trainingsgestaltung.....	24
2.5.3	Daten der Laufschuhpräferenzen.....	25
2.5.4	Kinematische Gruppierungsvariablen .....	25
2.5.5	Orthopädische Gruppierungsvariablen .....	26
2.5.6	Fußanthropometrische Gruppierungsvariablen .....	26
2.6	Wiederholungsstudie.....	27
2.6.1	Europa .....	27
2.6.2	Nordamerika .....	28
2.7	Statistische Verfahren .....	28
2.7.1	Signifikanzprüfung .....	28

2.7.2	Faktorenanalyse .....	29
2.7.3	Clusteranalyse .....	30

### **3 Ergebnisse ..... 32**

3.1	Ergebnisse der Materialstudie.....	32
3.2	Beschreibung der Personenstichprobe .....	34
3.2.1	Anthropometrische Daten sowie Daten zur Trainingsgestaltung.	34
3.2.2	Kinematische Daten.....	38
3.2.3	Orthopädische Daten .....	39
3.3	Ergebnisse der Wiederholungsstudie.....	43
3.4	Vorfußflexibilität .....	45
3.4.1	Bestimmung der Präferenzen .....	45
3.4.2	Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den anthropometrischen Daten .....	48
3.4.3	Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von der Trainingsgestaltung.....	51
3.4.4	Subjektive Evaluierung, basierend auf den Laufschuhpräferenzen .....	52
3.4.5	Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den Kinematischen Daten .....	53
3.4.6	Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den orthopädischen Daten .....	53
3.4.7	Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den fußanthropometrischen Daten.....	55
3.4.8	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.....	58
3.5	Abrollverhalten .....	59
3.5.1	Bestimmung der Präferenzen des Abrollverhaltens .....	59
3.5.2	Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den anthropometrischen Daten .....	59
3.5.3	Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von der Trainingsgestaltung.....	62
3.5.4	Subjektive Evaluierung, basierend auf den Laufschuhpräferenzen .....	63

3.5.5	Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den kinematischen Daten .....	65
3.5.6	Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den orthopädischen Daten .....	66
3.5.7	Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den fußanthropometrische Daten.....	69
3.5.8	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.....	72
3.6	Fußanthropometrische Zusammenhänge .....	73
3.6.1	Anthropometrische Dimensionen des Fußes .....	73
3.6.2	Bestimmung der Rotationszentren der Metatarsophalangealgelenke .....	75
3.6.3	Bestimmung der Flexionszonen im Zusammenhang mit der Laufschuhkonstruktion .....	78
3.7	Ergebnisse der statistischen Verfahren.....	78
3.7.1	Faktorenanalyse .....	78
3.7.2	Clusteranalyse .....	81
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>83</b>
4.1	Vorfußflexibilität .....	83
4.1.1	Vergleich mit bisherigen Studien.....	83
4.1.2	Ausblick - basierend auf den Messungen .....	85
4.2	Abrollverhalten .....	87
4.2.1	Vergleich mit bisherigen Studien.....	87
4.2.2	Ausblick, basierend auf den erhobenen Daten .....	88
4.3	Fußanthropometrie.....	91
4.3.1	Vergleich der Basisdaten mit der Literatur .....	91
4.3.2	Flexzonen versus Flexgrooves .....	94
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>96</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>99</b>
<b>7</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>104</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb.01	adidas® Unity .....	6
Abb.02	Segmente der Zwischensohle .....	6
Abb.03	: Stellen der Härte- und Dichtemessungen.....	8
Abb.04	Markierung zur Bestimmung der Sohlendicke und des Stempelaufsatzes.....	9
Abb.05	Biomechanisch orientierter Vorfußflexibilitätstest .....	10
Abb.06	Materialorientierter Flexibilitätstest (3-Punkt-Biegung) .....	11
Abb.07	Bildausschnitt der Rothballer™-Software zur anthropometrischen Bestimmung der Fußdimensionen .....	13
Abb.08	Fragebogenstruktur der Kaufmerkmale .....	19
Abb.09	Fragebogenstruktur der Ausprägung ausgewählter Kaufmerkmale	19
Abb.10	Sequenzbilder der qualitativen Videoanalyse.....	21
Abb.11	Vorfußflexibilität: Bestimmung der mechanischen Biegesteifigkeit der Schuhgrößen 5.5w und 8.5m für alle Testschuhmodifikationen.....	32
Abb.12	Vorfußflexibilität: Bestimmung des Energieverlustes (mechanischer Biegetest) der Schuhgrößen 5.5w und 8.5m für alle Testschuhmodifikationen .....	33
Abb.13	Häufigkeitsverteilung der Schuhgrößen 1-8 (UK); Gesamtstichprobe (hellgrau weiblich; dunkelgrau männlich) .....	37
Abb.14	Häufigkeitsverteilung des Läuferstyps (kinematische Analyse); Gesamtstichprobe und Gruppierung Kontinent .....	38
Abb.15	Verteilung des Metatarsalindex bezüglich der kontinentalen Herkunft .....	41
Abb.16	Häufigkeitsverteilung der präferierten Vorfußflexibilitätseigenschaften in Abhängigkeit der Gruppierung Geschlecht; Gesamtstichprobe .....	46
Abb.17	Häufigkeitsverteilung der präferierten Vorfußflexibilitätseigenschaften in Abhängigkeit der Gruppierung BMI; Gesamtstichprobe .....	47
Abb.18	Häufigkeitsverteilung der präferierten Vorfußflexibilitätseigenschaften in Abhängigkeit von Bewegungseinschränkungen im Vorfuß.....	48
Abb.19	Bewertung der Vorfußflexibilität als gut in Abhängigkeit von dem Geschlecht .....	49

Abb.20	Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von der Region ...	49
Abb.21	Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von der Gruppierung BMI; NA-Gruppe.....	50
Abb.22	Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von der Gruppierung Trainingsumfang.....	51
Abb.23	Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von der bevorzugten Vorfußflexibilität.....	52
Abb.24	Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von dem Längsgewölbe .....	54
Abb.25	Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von der Instabilität im USG (Nordamerika).....	55
Abb.26	Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von dem Längen-Breiten-Index.....	57
Abb.27	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von dem Geschlecht .....	60
Abb.28	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der Region ..	61
Abb.29	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von dem Body Mass Index.....	62
Abb.30	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von dem Trainingsumfang .....	63
Abb.31	Bewertung des Abrollverhaltens als gut in Abhängigkeit von der präferierten Vorfußflexibilität .....	64
Abb.32	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der Präferenz „Pronationsstütze“ .....	65
Abb.33	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von dem Läufertyp (Probandenangabe) .....	65
Abb.34	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der Achsenstellung.....	67
Abb.35	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von Hammerzehen	68
Abb.36	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von einer Bewegungseinschränkung im Vorfuß.....	69
Abb.37	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der anthropometrisch bestimmten Fußform der nordamerikanischen Probandengruppe .....	70
Abb.38	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der Gesamtfußlänge.....	70



Abb.39	Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit vom 1. Metatarsal-Längen-Index .....	71
Abb.40	Röntgenographische Darstellung der anatomischen Rotationszentren der MPG bzw. MLI .....	75
Abb.41	Einfluß der Vorfußsohlendicke auf die Bestimmung der Schuhflexionszentren bzw flexionszonen.....	78
Abb.42	Eigenwertdiagramm zur Durchführung des Scree – Tests der 101 Variablen.....	79
Abb.43	Vorgeschlagene Gradierungssektoren bezüglich der Vorfußflexion basierend auf der Schuhgröße (UK) .....	90

## Tabellenverzeichnis

Tab. 01	Messwerte der Zwischensohlenhärte und Biomechanisch-orientierter Vorfußflexibilität; adidas® EQT. Ride.....	4
Tab. 02	<a href="#">Modifikationen der Testschuhe.....</a>	<a href="#">7</a>
Tab. 03	<a href="#">Fußanthropometrische Messgrößen.....</a>	<a href="#">14</a>
Tab. 04	Fußanthropometrische Indici.....	16
Tab. 05	<a href="#">Validitätsprüfung durch Röntgenaufnahme .....</a>	<a href="#">17</a>
Tab. 06	<a href="#">Kennzeichnungen der Signifikanzniveaus im Anhang .....</a>	<a href="#">29</a>
Tab. 07	<a href="#">Häufigkeitsverteilung der Personenstichprobe; Gruppierung Geschlecht und Kontinent .....</a>	<a href="#">34</a>
Tab. 08	<a href="#">Statistische Kennwerte der anthropometrischen Daten Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI; Gesamtstichprobe und Gruppierung Geschlecht .....</a>	<a href="#">35</a>
Tab. 09	<a href="#">Statistische Kennwerte der anthropometrischen Daten Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI; Gesamtstichprobe und Gruppierung Kontinent.....</a>	<a href="#">36</a>
Tab. 10	<a href="#">Statistische Kennwerte der Trainingsdaten Trainingsumfang, Trainingshäufigkeit, Laufsporterfahrung und Standardlaufstrecke; Gesamtstichprobe und Gruppierung Geschlecht .....</a>	<a href="#">36</a>
Tab. 11	<a href="#">Statistische Kennwerte der Trainingsdaten Trainingsumfang, Trainingshäufigkeit, Laufsporterfahrung und Standardlaufstrecke; Gesamtstichprobe und Gruppierung Kontinent .....</a>	<a href="#">37</a>
Tab. 12	<a href="#">Achsenstellung des Knies in Abhängigkeit von der Region und dem Geschlecht, n = 471, Häufigkeiten in % .....</a>	<a href="#">40</a>
Tab. 13	<a href="#">Deformitäten in Abhängigkeit von der Region und dem Geschlecht, Häufigkeiten in %, n = 471, Mehrfachnennungen waren möglich .....</a>	<a href="#">42</a>
Tab. 14	Retestreliabilität der funktionellen Sportschuhparameter für Mitteleuropa, Nordamerika und der subsumierten Ergebnisse (total).....	43
Tab. 15	Präferierte Kaufmerkmale bez. der Gesamtpersonenstichprobe (Total), der geschlechtsspezifischen sowie der geographischen Differenzierung (Häufigkeiten in %).....	45
Tab. 16	<a href="#">Statistische Kennwerte der fußanthropometrischen Daten der Metatarsallängenindices, unterteilt nach dem Geschlecht .....</a>	<a href="#">73</a>
Tab. 17	<a href="#">Statistische Kennwerte der fußanthropometrischen Daten der Metatarsallängenindices, unterteilt nach dem Kontinent .....</a>	<a href="#">74</a>

Tab. 18 Statistische Kennwerte der fußanthropometrischen Daten der  
Metatarsallängenindices, unterteilt nach der Schuhgröße.....74

Tab. 19 Statistische Kennwerte der Metatarsal-Längen-Indices bez. der  
Gesamtpersonenstichprobe (Total) und im Zusammenhang mit der  
Schuhgröße (UK), Datenerhebung am linken Fuß ..... 76

# 1 Einleitung

## 1.1 Evolution des Fußes

„Der menschliche Gang ist eine riskante Unternehmung“, bemerkte der britische Anthropologe John Napier [55]. „Ohne ein perfektes Timing würde der Mensch flach aufs Gesicht fallen; jeder Schritt ist eine Gratwanderung, immer nahe an einer Katastrophe.“

Viele anatomische Adaptionen waren in der Entwicklung notwendig, um dieser Katastrophe zu entgehen. Multiple knöcherne Strukturen und muskuläre Funktionen mussten dem neuen Fortbewegungsmechanismus angepasst werden. Der aufrechte Gang des Menschen hat sich in nur 5 Millionen Jahren entwickelt, wohingegen andere Säugetiere sich schon seit 200 Millionen Jahren weiter entwickeln. So ist es nicht verwunderlich, dass noch heute beim Menschen viele Ermüdungserscheinungen und Verletzungen auftreten [61].

Vor allem der menschliche Fuß muss sich ganz neuen Aufgaben stellen. Mittlerweile hat er sich dem Alltag gut angepasst. Doch enorme Belastungen, wie sie z.B. bei einem Marathon auftreten, bringen den menschlichen Fuß auch heute noch an seine Belastungsgrenzen und darüber hinaus. Bei der Betrachtung der energetischen Effizienz des bipedalen Gangs fällt auf, dass er für ausdauerndes Gehen ausgelegt ist und nicht für schnelles Laufen oder gar abrupte Richtungswechsel. Dies liegt an der Entwicklung der Bipedalie. Es gibt verschiedene Theorien zur genauen Entstehung des aufrechten Gangs, doch kristallisiert sich in letzter Zeit diejenige heraus, nach der unsere Vorfahren durch die herannahende Eiszeit gezwungen waren, längere Strecken zurückzulegen, um die immer spärlicher werdenden Nahrungsquellen zu erreichen. Zum Bewältigen dieser langen Strecken hat sich der aufrechte Gang als deutlich effizienter erwiesen. Die Benutzer dieser Fortbewegungsart erlangten damit einen deutlichen Vorteil [55].

Die wichtigsten Veränderungen liegen zum einen im Durchstrecken des Knies, durch das während der Standphase viel weniger Energie notwendig ist. Zum anderen wurde durch die neue Anordnung der Zehen ein Abrollen während der „push-off“ Phase möglich. Dabei gab es lange die Theorie, der Hallux habe sich

von seiner Greifposition bei den Affen zu unserer Abrollposition verschoben. Neue Ergebnisse zeigen jedoch, dass dies mit einem Verlust der Stabilität im 1. Tarsometatarsalgelenk einhergegangen wäre. Das ist mit der beim Gehen durchgeführten Abrollbewegung nicht in Einklang zu bringen. Durch Veränderungen in anderen Abschnitten des Vorfußes wurden also die Zehen zwei bis fünf an den Hallux herangeführt und seine starke Position als Stabilitätselement ausgenutzt [57]. Das ermöglicht ein ruhiges Abrollen über den Vorfuß, was evolutionäre Vorteile mit sich bringt. So muss der Schwerpunkt weniger verändert werden. Zudem gelangt mehr Energie in die Propulsion nach vorne [56]. Das Abrollen zusammen mit der Beschleunigung des Körpers bewirkt eine sehr hohe Belastung unter dem Vorfuß. Diese kann zu Überlastungsschäden führen, die bei extremer Beanspruchung gehäuft auftreten.

Es gibt Schuhe, die den Fuß schützen und die Belastungen möglichst niedrig halten. Doch was sollte ein Schuh bieten um Idealerweise alle Anforderungen zu erfüllen? Ist *ein* Schuh der richtige für alle? Hat nicht jeder Mensch seine individuellen Ansprüche?

Ein neuer Ansatz, dessen Grundlage sich nicht im Laufschuhbereich, sondern vielmehr in der Entwicklung der modernen Gesellschaft finden lässt, ist die Individualisierung, in diesem Falle die Anpassung des Produktes an individuelle Wünsche des Kunden. Dieser Entwicklung wird zwar teilweise schon heute Rechnung getragen, jedoch konzentrieren sich die Bemühungen der Hersteller in erster Linie auf andere Parameter.

Ein Beispiel für diesen Trend ist die Vermarktung spezieller Laufschuhe für Frauen. Seit einigen Jahren werden entweder Frauenvarianten bestehender Männermodelle oder eigene Frauenmodelle (z.B. adidas® Brevard) angeboten. Zum Großteil entstehen diese Modifikationen jedoch auf der Grundlage der Ausführungen für Männer und werden ausschließlich in Bezug auf Leisten- und Passform verändert. Funktionelle Parameter wie Dämpfung und Stabilität bleiben meist unangetastet.

Neben einer geschlechtsspezifischen Anpassung sind natürlich weitere Individualisierungen denkbar. Naheliegender wäre eine individuelle Gestaltung der technischen Merkmale, je nach Körpergröße, Gewicht oder bestimmten Fußabmessungen. Die Beantwortung der Frage, ob ein solcher Bedarf seitens der Läufer besteht und sich bestimmte Läufergruppen mit homogenem Anforderungsprofil charakterisieren lassen, soll Bestandteil dieser Arbeit sein.

## **1.2 Fragestellung**

In der Laufschuhindustrie finden differente körperliche Beschaffenheiten von Sportlern bei der Gestaltung der funktionellen Eigenschaften der Schuhe bisher kaum Beachtung. Es fehlt z.B. die schuhgrößenabhängige oder geschlechtsspezifische Anpassung der Zwischensohlenhärte. Diese besitzt Einfluss auf Parameter wie Vorfußflexibilität, Dämpfung oder Stabilität.

Diese Aussage entstammt einer Studie, die im Vorfeld dieser Arbeit durchgeführt wurde. Dabei wurden Laufschuhmodelle, der drei auf dem Laufschuhmarkt führenden Hersteller auf ihre funktionellen Eigenschaften hin getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass es keine geschlechtsspezifische oder schuhgrößenabhängige Gradierung der Parameter gibt (Anhang).

Am Beispiel des Modells „Equipment Ride“ der Firma adidas zeigt sich, dass sowohl in den Damengrößen (w) als auch in den Herrengrößen (m) gleiche Werte, die Zwischensohlenhärte betreffend (Tab. 01), bestehen. In der Folge lassen sich auch bei den für diese Arbeit besonders interessanten Eigenschaften der Vorfußflexibilität keine Muster erkennen, die auf eine Anpassung der Parameter hinsichtlich Schuhgröße oder Geschlecht schließen ließen [64].

Tab. 01 Messwerte der Zwischensohlenhärte und Biomechanisch-orientierter Vorfußflexibilität; adidas® EQT. Ride

Schuhgröße (UK)	Zwischensohlenhärte [Asker C]				Vorfußflexibilität	
	Vorfuß		Rückfuß		Steifigkeit	Energieverlust
	medial	lateral	medial	lateral	[N/mm]	[%]
4,5w	54	58	51	51	5,7	36,4
5,5w	58	61	53	54	5,7	38,0
6,5w	54	66	48	50	6,6	37,2
8,5w	57	62	54	55	5,8	36,5
6,5m	52	57	52	50	6,0	39,2
8,5m	55	62	55	53	5,7	37,2
10,5m	55	61	49	51	5,3	35,7
12,5m	57	56	48	55	5,3	35,7
13,5m	59	62	49	50	5,4	35,3
14,5m	59	52	51	56	5,3	35,1

Zur Diskussion steht, ob unterschiedliche Läufer Typen unterschiedliche Auslegungen der Laufschuheigenschaften als positiv bewerten würden. Falls dies der Fall sein sollte, wird diesem Ansatz bis heute mangels Grundlagendaten kaum Rechnung getragen.

Dass es bei Läufern solche Wünsche grundsätzlich gibt, zeigte eine Pilotstudie während des Hansemarathons 2000, die sich mit der gruppenabhängigen Einschätzung von Laufschuhpräferenzen beschäftigte.

Dabei wurden Gruppen, die sich hinsichtlich der Parameter Geschlecht, Schuhgröße, Körpergröße, Körpergewicht, Alter, Trainingsumfang und Laufsporterfahrung unterschieden, auf die unterschiedliche Beurteilung von Laufschuhpräferenzen untersucht. Zum einen wurden die Athleten nach Laufschuheigenschaften, die beim Schuhkauf wichtig sind, gefragt. Zum anderen sollten die persönlichen Präferenzen bezüglich der Parameter Dämpfung, Vorfußflexibilität, Torsion und einer Pronationsstütze als Stabilitätselement genannt werden. Dabei kristallisierten sich gruppenbedingte Unterschiede heraus, welche aber bisher in der Industrie unbeachtet blieben. Die Ansätze dieser Studie lieferten die Grundlage für diese Arbeit. In der vorliegenden Studie werden diese Ideen an einem größeren Probandenkreis und in modifizierter Form umgesetzt.

Zusammenfassend sollen im Rahmen dieser Arbeit folgende Fragestellungen behandelt werden:

- Unterscheiden sich die Laufschuhpräferenzen unterschiedlicher Läufergruppen und lassen sich daraus anwendbare Ergebnisse für die Sportschuhindustrie ableiten?
- Werden die funktionellen Parameter, speziell die Vorfußflexibilität und das Abrollverhalten der Schuhe, von bestimmten Läufergruppen unterschiedlich wahrgenommen und lassen sich daraus anwendbare Ergebnisse für die Sportschuhindustrie ableiten?
- Haben die fußanthropometrischen Daten Einfluss auf die Wahrnehmung bzw. die Präferenz verschiedener Sportschuhparameter?



## 2 Material und Methode

### 2.1 Beschreibung des Testschuhmodells

Als Basis für den Testschuh diente das Modell adidas® Unity (Abb.01). Dieser Schuh findet sich im unteren Preissegment und besitzt eine durchgehende Zwischensohle aus EVA (Ethylenvinylacetat). Das im Rückfuß befindliche Dämpfungselement aus adiPrene® wurde durch ein EVA-Material ersetzt. Dies war nötig, um möglichst standardisierte Versuchsbedingungen zu erhalten.



Abb.01 adidas® Unity

Um unterschiedliche Charakteristika der Schuhe bezüglich der Dämpfung, Torsion, Vorfußflexibilität und Abrollverhalten zu erreichen, wurde die Zwischensohle in die Segmente Vorfuß, Mittelfuß und Rückfuß unterteilt. (Abb.02)

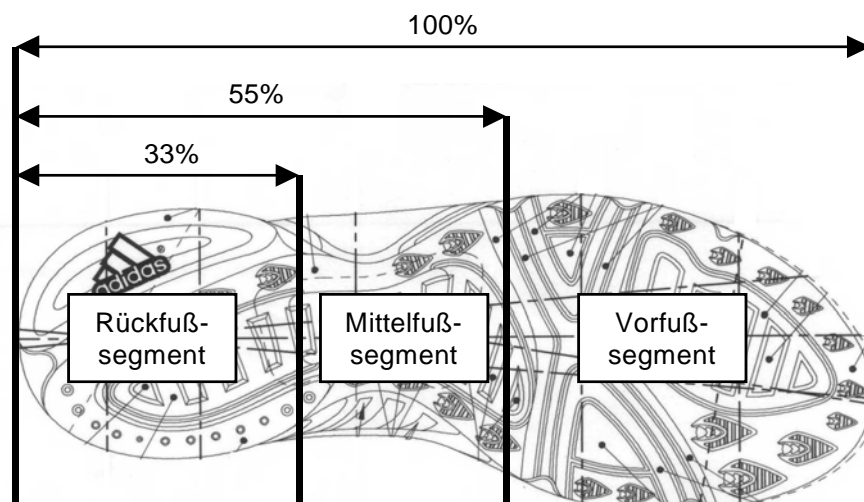


Abb.02 Segmente der Zwischensohle

Diese Segmente wurden jeweils in den Härten 40, 55 und 70 Asker C hergestellt und in den folgenden Kombinationen zusammengesetzt (Tab. 02):

Tab. 02 Modifikationen der Testschuhe

		Vor- und Rückfußbereich		
		40 Asker C	55 Asker C	70 Asker C
Mittelfußbereich	40 Asker C	40-40-40 Schuh A	55-40-55 Schuh B	
	55 Asker C	40-55-40 Schuh C	55-55-55 Schuh D	70-55-70 Schuh E
	70 Asker C		55-70-55 Schuh F	70-70-70 Schuh G

Die Schuhe wurden in den Größen 4,5w, 5,5w, 6,5w und 8,5w (UK-Größen) für Frauen und in 6,5m, 8,5m, 10,5m und 12,5m (UK-Größen) für Männer hergestellt. In den Größen 6,5 und 8,5 ist somit ein direkter Vergleich zwischen Männern und Frauen möglich. Da pro Schuhgröße eine Anzahl von 10 kompletten Sätzen, bestehend aus den 7 Modifikationen bereitgestellt werden sollte, ergab sich eine Gesamtzahl von 560 Paar Schuhen.

Das Obermaterial der Schuhe blieb bei der studienspezifischen Manipulation unberücksichtigt. Die Schuhe konnten von den Probanden äußerlich nur durch den Buchstaben auf der Seite der Zwischensohle unterschieden werden. Dabei war den Probanden nicht bewusst, was der Buchstabe bezüglich der funktionellen Sportschuhparameter zu bedeuten hatte.

## 2.2 Messmethoden

### 2.2.1 Zwischensohlenhärte und -dichte

Abb.03 zeigt die Stellen des Vor-, Mittel- und Rückfußbereiches an denen die Härte- und Dichtemessungen vorgenommen wurden. Die Werte der Messung entstanden nach den internen adidas Standards GE-10A, die eine Messung der reinen Zwischensohle in der Einheit Asker C vorschreiben. Dadurch ließ sich der Einfluss von Strukturen, die bei dem Herstellungsprozess an der Außenseite der Sohle entstehen können, eliminieren.

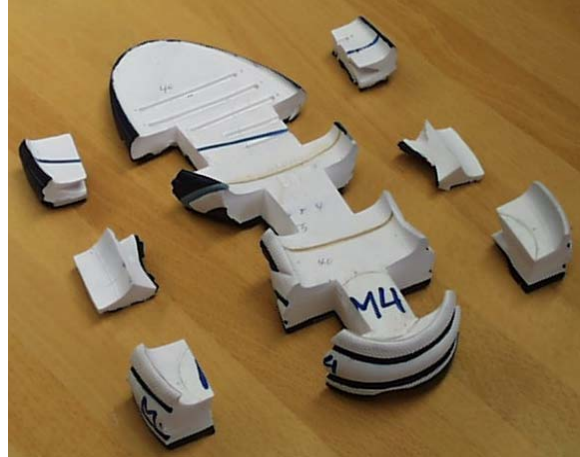


Abb.03 : Stellen der Härte- und Dichtemessungen

Die Dichte wurde an den gleichen Stellen wie die Härte bestimmt. Anwendung fand die interne adidas® Methode GE-15, in Anlehnung an DIN 53479. Dabei wird die Dichte (Einheit  $\text{gcm}^{-3}$ ) als Quotient aus der Masse  $m$  und Volumen  $v$  des Prüfkörpers bestimmt. Eine vollständige Darstellung der Messwerte befindet sich im Anhang.

### 2.2.2 Schuhgewicht und Sohlendicke

Das *Schuhgewicht* der Testschuhmodelle wurde mit Hilfe einer Laborwaage der Firma Sartorius® vom Typ PRECIA Labo ermittelt. Diese Laborwaage hat einen Wiegebereich bis 420g. Bei der Bestimmung des Schuhgewichts wurde von jeder Testschuhmodifikation in jeder Schuhgröße jeweils der rechte Schuh gewogen. Dabei waren die Schuhe im neuwertigen Zustand, mit Einlegesohle und Schnürsenkel.

Die Sohlendicke wird als Abstand zwischen Ober- und Unterseite der Probe definiert.[36] Hierbei wird der Abstand zweier planparalleler Messflächen bestimmter Größen bei bestimmten Messdruck im normalklimatisierten Zustand bestimmt (Abb.04).

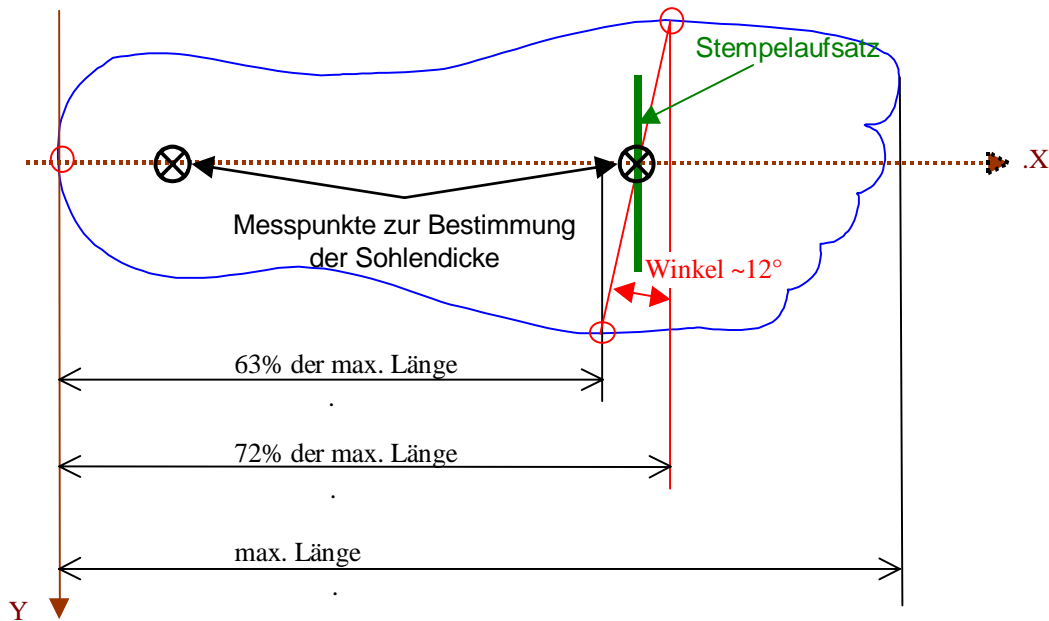


Abb.04 Markierung zur Bestimmung der Sohlendicke und des Stempelaufsatzes

Bei der Bestimmung der Sohlendicke der Testschuhmodelle wurde die Außensohle, die Zwischensohle und das Filzmaterial zusammen gemessen. Die Einlegesohle blieb außen vor. Dabei wurde die Dicke im Rückfuß, im Bereich des Calcaneus und im Vorfuß, im Bereich der Flexionslinie, ermittelt [23]. Der vordere der beschriebenen Punkte hat auch Relevanz hinsichtlich der Materialstudie, da an der Stelle auch die Vorfußflexibilität bestimmt wurde.

### 2.2.3 Messung der Vorfußflexibilitätseigenschaften

Zur Bestimmung der Vorfußflexibilität kamen zwei unterschiedliche Testverfahren zur Anwendung. Der *biomechanisch orientierte Vorfußflexibilitätstest* und der *materialorientierte Flexibilitätstest*. Beide Tests wurden mit Hilfe der INSTRON™-Druckprüfmaschine durchgeführt. Dabei wurde der Parameter der Steifigkeit gemessen.

Bei dem *biomechanisch orientiertem Verfahren* war eine besondere Konstruktion notwendig, in welche die Sohleneinheit im Zehenbereich fest eingespannt wurde (Abb.05). Der Rückfußbereich lag auf einer Rolle arretiert auf, die ein Nachgeben bzw. Verschieben der Sohle während der Stempelbewegung ermöglichte.

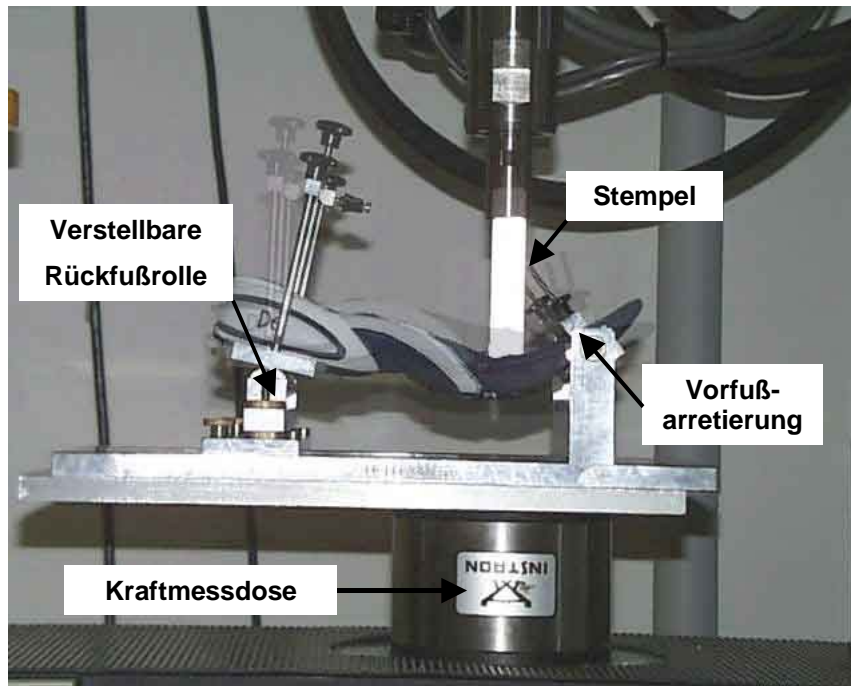


Abb.05 Biomechanisch orientierter Vorfußflexibilitätstest

Da in diesem Projekt sowohl sehr kleine Damen- als auch sehr große Herrenmodelle untersucht wurden, kamen zwei unterschiedlich breite Stempel zum Einsatz. Um den unterschiedlichen Größen Rechnung zu tragen, konnte auch die Arretierung im Rückfuß entsprechend auf der Basisplatte verschoben werden. Somit war sichergestellt, dass die Arretierung sich exakt im Bereich des Calcaneus befand. Bei diesem Test wurde die Kraft gemessen, die nötig ist, den Schuh innerhalb der Messvorrichtung um die vorgegebenen 20mm vertikal nach unten zu verbiegen. Die Be- und Entlastung erfolgte innerhalb von 100ms. Jeder Laufschuh wurde dabei über 20 Kraft-Deformations-Zyklen belastet und der letzte zur Auswertung herangezogen.

Der materialorientierte Flexibilitätstest ist an die ASTM-Norm 790 angelehnt. Er liefert Informationen über die Eigenschaften des Materials in der Vorfußflexionszone in einem definierten Bereich. Dieser Test ist daher auch dann anwendbar, wenn die Materialien sehr steif sind und sich beim biomechanisch orientierten Test nicht an der definierten Stelle im Vorfuß biegen. Durch die Kombination der beiden Testverfahren können umfassendere Aussagen über die Biegeeigenschaften eines Schuhs im Vorfußbereich getroffen werden.

Die Testkonstruktion besteht aus einer U-förmigen 3-Punkt-Biegevorrichtung. Die beiden unteren Auflagebalken, die eine Höhe von 30mm besitzen, liegen 80mm voneinander entfernt. (Abb.06) Es wurden die gleichen Stempel wie im biomechanisch orientierten Test verwendet.



Abb.06 Materialorientierter Flexibilitätstest (3-Punkt-Biegung)

Dabei wurde die Biegevorrichtung so fixiert, dass sich der Stempel mittig zwischen den beiden Auflagestempeln befand. Der Schuh wurde dabei so eingelegt, dass die Biegelinie genau unter dem Prüfstempel ausgerichtet war. Dabei wurde die gleiche Markierung verwendet, wie sie schon zur Bestimmung der Sohlendicke beschrieben worden war. (Abb.04)

Dieser Test wird ebenfalls weggesteuert durchgeführt, wobei bei diesem Testverfahren ein Deformationsweg von 5mm vertikal nach unten vorgegeben war und die dafür notwendige Kraft ermittelt wurde. Dieser Biegewinkel ermöglicht den Vergleich der Ergebnisse mit Resultaten anderer adidas®-interner Studien. Die Be- und Entlastung erfolgte innerhalb von 100ms. Entsprechend dem biomechanisch orientierten Biegetest wurden 20 Zyklen durchgeführt und der 20. Zyklus ausgewertet.

#### **2.2.4 Fußanthropometrie**

Primäres Ziel der Datenerhebung zur Fußanthropometrie war die Bestimmung des anatomischen Rotationszentrums der Metatarsophalangealgelenke (MPG), welches einhergeht mit der Positionierung der Flexionslinie in der Abstoßphase während einer linearen Laufbewegung.

Die Bestimmung der Fußanthropometrie erfolgte an beiden Füßen mittels eines 2D Scansystems der Firma Rothballer®. Dabei stellte sich der Proband mit beiden Füßen auf das Scansystem, auf dem die Füße vom Untersucher mit Hilfe einer „T-Schablone“ so ausgerichtet wurden, dass die mediale Seite des Fußes senkrecht zur Messgrundlinie verlief (Abb.07). Die Messgrundlinie wurde durch die Verbindung der beiden Pternien miteinander festgelegt [3]. Das Pternion ist als der dorsalste Punkt der Ferse mit Bodenkontakt bei belastetem Fuß definiert. Dieser Punkt wird bestimmt durch das dorsale Ende der Fußlängsachse, welche zwischen dem 2. und 3. Zeh und durch die Mitte der Ferse verläuft [54].



Im Anschluß an die Messung wurden die digitalen Podogramme mit Hilfe der Rothballer®-Software Version 8.0.73 aufbereitet und ausgewertet. Dabei kamen zwei verschiedene Messverfahren zum Einsatz, wobei für die Beschreibung der Rotationszentren der Metatarsophalangealgelenke ausschließlich die Messmethode nach KADANOFF und MUTAFOV verwendet wurden [25],[26]. Das Charakteristikum dieser Methode besteht in der „direkten“ Vermessung der einzelnen Punkte. Der Ausgangspunkt für alle Längenmaße ist dabei das Pternion. Der Vorteil dieser Messmethode besteht darin, dass die Stellung des Fußes im Koordinatensystem vernachlässigt werden kann und somit Projektionsfehler eliminiert werden (Abb.07).

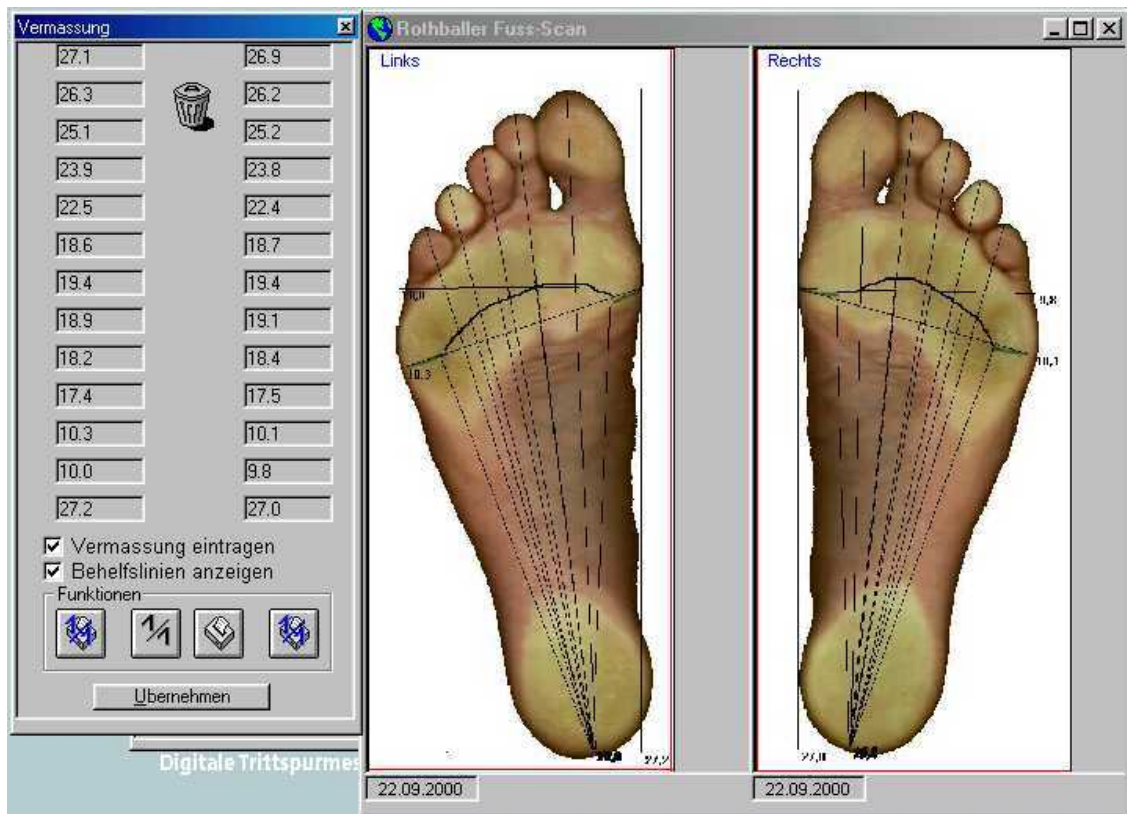


Abb.07 Bildausschnitt der Rothballer™-Software zur anthropometrischen Bestimmung der Fußdimensionen



Darüber hinaus wurde aufgrund von Vergleichsmöglichkeiten die Fußgesamtlänge und die Fußgesamtbreite nach der Messmethode von HAWES bestimmt [20],[23],[22]. Das wesentliche Merkmal hierin besteht in der parallelen Verschiebung der Messpunkte auf die Fußlängsachse und die anschließende Vermessung.

In der folgenden Tabelle sind alle Basisgrößen und deren Beschreibung sowie die Angabe der Messmethode aufgelistet (Tab. 03).

Tab. 03 Fußanthropometrische Messgrößen

Messgröße	Beschreibung	Messmethode
Anthropologische Gesamtlänge (direkte Fußlänge)	Pternion bis Acropodion	KADANOFF
Länge 1. Strahl	Pternion bis 1. Zeh	KADANOFF
Länge 2. Strahl	Pternion bis 2. Zeh	KADANOFF
Länge 3. Strahl	Pternion bis 3. Zeh	KADANOFF
Länge 4. Strahl	Pternion bis 4. Zeh	KADANOFF
Länge 5. Strahl	Pternion bis 5. Zeh	KADANOFF
Anatomisches Rotationszentrum – 1. MPG	Pternion bis anatomisches Rotationszentrum des 1. MPG	KADANOFF
Anatomisches Rotationszentrum – 2. MPG	Pternion bis anatomisches Rotationszentrum des 2. MPG	KADANOFF
Anatomisches Rotationszentrum – 3. MPG	Pternion bis anatomisches Rotationszentrum des 3. MPG	KADANOFF
Anatomisches Rotationszentrum – 4. MPG	Pternion bis anatomisches Rotationszentrum des 4. MPG	KADANOFF
Anatomisches Rotationszentrum – 5. MPG	Pternion bis anatomisches Rotationszentrum des 5. MPG	KADANOFF
Ballenbreite (direkte Fußbreite)	Distalster Punkt des 1.MPG (tibiale) bis distalen Punkt des 5. MPG (fibulare)	KADANOFF
Gesamtlänge (projektivische Fußlänge)	Pternion bis Acropodion	HAWES
Gesamtbreite (projektivische Fußbreite)	Distalster Punkt des 1.MPG (tibiale) bis distalen Punkt des 5. MPG (fibulare)	HAWES

Die Messungen wurden an beiden Füßen vorgenommen, wobei aufgrund der spezifischen Belastungsform für die weitere statistische Bearbeitung sowie der Bildung von Indices ausschließlich die Daten des linken Fußes herangezogen wurden. Die Entscheidung, ausschließlich diese Daten statistisch aufzubereiten, basiert auf Ausführungen, wonach die Längenmaße am linken Fuß etwas größer ausfallen (bei beiden Geschlechtern) als am rechten Fuß [26]. Die Längendifferenz ist schon bei der Geburt vorhanden und bleibt während des ganzen Lebens bestehen. Als eine mögliche Ursache der Längendifferenz im Erwachsenenalter wird auch die an diesem Fuß öfters eintretende Senkung des Gewölbes diskutiert. Sie wird dadurch verursacht, dass die linke untere Gliedmaße während des Lebens des Individuums die etwas längere Zeit die Rolle des Standbeines spielt.

Aus den Basisgrößen und den Podogrammen wurden verschiedene Indices berechnet bzw. zugeordnet, die dann zum einen als Gruppierungen für die Auswertung der subjektiven Evaluierung dienten und zum anderen eine essentielle Grundlage hinsichtlich der Bestimmung der Flexionszonen darstellten. Die nachstehende Tabelle enthält alle Indizes und eine kurze Erläuterung dieser (Tab. 04).

Tab. 04 Fußanthropometrische Indici

Index	Erläuterungen	Autor/en
Digitalindex (Fußform)	Längenverhältnis zwischen dem ersten und dem zweiten Zeh	NIEZOLD/FERDINI 1999 WÜLKER/SCHULZE 1998
Metatarsalindex	Längenverhältnis zwischen Metatarsalia I und II	NIEZOLD/FERDINI 1999 WÜLKER/SCHULZE 1998
Körper-Fußlängen-Index	$\frac{\text{Anthropologische Fußlänge}}{\text{Körperlänge}} \times 100$	KADANOFF/MUTAFOV 1968
Längen-Breiten-Fußindex (Fußindex)	$\frac{\text{Direkte Fußbreite}}{\text{Anthropologische Fußlänge}} \times 100$	KADANOFF/MUTAFOV 1968; BERNHARD/JUNG 1998
1. Metatarsal-Längen-Index	$\frac{\text{Länge bis zum 1. MPG}}{\text{Anthropologische Fußlänge}} \times 100$	Neubildung auf Grundlage von KADANOFF/MUTAFOV 1968,
2. Metatarsal-Längen-Index	$\frac{\text{Länge bis zum 2. MPG}}{\text{Anthropologische Fußlänge}} \times 100$	Neubildung auf Grundlage von KADANOFF/MUTAFOV 1968.
3. Metatarsal-Längen-Index	$\frac{\text{Länge bis zum 3. MPG}}{\text{Anthropologische Fußlänge}} \times 100$	Neubildung auf Grundlage von KADANOFF/MUTAFOV 1968
4. Metatarsal-Längen-Index	$\frac{\text{Länge bis zum 4. MPG}}{\text{Anthropologische Fußlänge}} \times 100$	Neubildung auf Grundlage von KADANOFF/MUTAFOV 1968,
5. Metatarsal-Längen-Index	$\frac{\text{Länge bis zum 5. MPG}}{\text{Anthropologische Fußlänge}} \times 100$	KADANOFF/MUTAFOV 1968,

Um Aussagen über die Paralleltestreliabilität des Rothballer®-Scansystems zu erhalten, wurden an einer ausgewählten Stichprobe Messungen mit dem Yeti-3D Footscanner (Vorum Research™, Vancouver, Canada) durchgeführt [33]. Dabei tastet das Lasersystem den im Messgerät stehenden Fuß ab, wobei die Software anhand von vorher markierten Punkten, verschiedene Fußmaße berechnet [50]. Zudem wurden an der gleichen Stichprobe röntgenographisch die Fußdimensionen bestimmt (Tab. 05). Bei dem bereinigten Röntgenbild ist der Vergrößerungsfaktor, der durch die Projektion entsteht, bereits wieder ausgeglichen, um so einen direkten Vergleich mit den Rothballer®-Daten zu ermöglichen. Untersuchungen von TSCHOGOWADSE haben durch einen Vergleich der teleröntgenographischen und plantographischen Messwerte gezeigt, dass die Verformung der Weichteile um das Fußgewölbe unter dem Einfluss äußerer Bedingungen (Sportart, Größe und Art der statischen oder dynamischen Belastung usw.) nicht immer mit der Verformung der knöchernen Strukturen übereinstimmt [49].

Tab. 05 Validitätsprüfung durch Röntgenaufnahme

	Rothballer-Scan [in mm]	Bereinigtes Röntgenbild [in mm]	Messdifferenz in %
Anthrop. Gesamtlänge	272	269	1,1
Länge 1. Zeh	271	269	0,7
Länge 2. Zeh	263	262	0,4
Länge 3. Zeh	251	252	0,4
Länge 4. Zeh	239	238	0,4
Länge 5. Zeh	225	225	0
Länge 1. Metatarsal	200	195	2,6
Länge 2. Metatarsal	200	196	2,0
Länge 3. Metatarsal	195	191	2,1
Länge 4. Metatarsal	190	186	2,2
Länge 5. Metatarsal	183	179	2,2
Gerade Breite	100	102	2,0
Schräge Breite	103	104	1,0

Beim Vergleich der drei Messsysteme lag die Reproduzierbarkeit des Rothballer™-Scansystems bei einer Messtoleranz von  $\pm 2$ mm. Diese Messtoleranz beeinflusst die Ergebnisse und deren Interpretation unter der Zielstellung dieser Studie nicht nachhaltig. Im Rahmen der anthropometrischen Bestimmung des Digital- und Metatarsalindexes wurde diese Messtoleranz berücksichtigt.

## 2.3 Feldstudie

### 2.3.1 Einschlusskriterien

Die Studie wurde mit Läufern in Mitteleuropa und Nordamerika durchgeführt. Grundvoraussetzung für die freiwillige Teilnahme an dieser Studie war eine Trainingshäufigkeit von mindestens drei Einheiten pro Woche. Außerdem durfte ein Mindestalter von 14 Jahren nicht unterschritten werden und die Probanden mussten zum Zeitpunkt der Studie verletzungsfrei sein. Des Weiteren wurden Probanden ausgeschlossen, die eine Beinlängendifferenz von über 1cm besaßen und dies mit einer Einlegesohle kompensierten.

Aus Mitteleuropa rekrutierten sich 270 Läuferinnen und Läufer der Regionen Regensburg, Endingen, Berlin und Scheinfeld. Die 201 Probanden in Nordamerika setzten sich aus den Regionen Calgary/Alberta (Kanada), Boulder/Colorado (U.S.A.) und Portland/Oregon (U.S.A.) zusammen. Durch die Datenaufnahme sowohl in Mitteleuropa als auch in Nordamerika sollten interkontinentale Vergleichsmöglichkeiten geschaffen werden.

Die Datenaufnahme in Mitteleuropa fand von August bis November 2000 statt, in Nordamerika von April bis Juni 2001. Damit sollte sichergestellt werden, dass extrem kalte Temperaturen, die einen negativen Einfluss auf die funktionellen Eigenschaften der Schuhe besitzen, eliminiert wurden.

### **2.3.2 Projekteinführung**

Zu Beginn der Eingangsuntersuchung bekamen die Probanden eine Projekteinführung/Testanleitung (vgl. Anhang) ausgehändigt, welche die Läufer grundsätzlich über Ablauf, Inhalte und Ziele des Tests informierte. Zudem wurde die Information durch individuelle Gespräche mit den Athleten unterstützt.

Darüber hinaus füllten die Probanden ein Sportlerprofil (vgl. Anhang) aus. Dieser Fragebogen diente der Erfassung einiger Personendaten, anthropometrischer Daten sowie Daten der Trainingsgestaltung. Dabei wurde nach Name, Geschlecht, Alter, Körpergröße, Körpergewicht und Schuhgröße gefragt. Mit Hilfe der Parameter Körpergewicht und Körpergröße konnte später, als weitere Variable, der BMI bestimmt werden.

Ein Hauptinteresse der erfragten Trainingsdaten lag auf den Angaben zu Trainingsumfang, Trainingshäufigkeit und Laufsporterfahrung. Darüber hinaus wurden die Teilnehmer um eine Selbsteinschätzung ihres Läuferstils und des Strike-Index (Fußaufsatz-Index) gebeten.

In den Bögen war außerdem eine Befragung zu Laufschuhpräferenzen integriert. Hierbei sollten die Läufer eine Einschätzung zu den wichtigsten Kriterien beim Schuhkauf geben. Als Grundlage der Fragebogenstruktur galten die Erkenntnisse einer Pilotstudie, die während des Hanse Marathons 2000 durchgeführt wurde. Dort wurden ca. 200 Läuferinnen und Läufer nach den für sie wichtigsten Kaufmerkmalen gefragt. Daraus entstand die folgende Auswahl, die mit Hilfe einer gestützten Struktur abgefragt wurde (Abb.08) [39],[48]. Dabei sollte jeder Proband die drei für ihn beim Schuhkauf relevantesten Merkmale kennzeichnen. Die erhaltenen Prozentangaben beziehen sich auf die Anzahl der Studienteilnehmer unter Berücksichtigung der Mehrfachantworten (Kumulation auf 300%).

Bitte kreuzen Sie <b>drei</b> der 16 folgenden <b>Merkmale</b> an, die für Sie beim Kauf eines Laufschuhs am wichtigsten sind:			
<input type="checkbox"/> Schnürung	<input type="checkbox"/> Preis	<input type="checkbox"/> Design	<input type="checkbox"/> Stabilität
<input type="checkbox"/> Paßform	<input type="checkbox"/> Torsion	<input type="checkbox"/> Dämpfung im Vorfuß	<input type="checkbox"/> Farbe
<input type="checkbox"/> Vorfußflexibilität	<input type="checkbox"/> Abrollverhalten	<input type="checkbox"/> Hersteller/Marke	<input type="checkbox"/> Schuhgewicht
<input type="checkbox"/> Dämpfung im Rückfuß	<input type="checkbox"/> Haltbarkeit/Abrieb	<input type="checkbox"/> Griffigkeit/Außensohlenprofil	<input type="checkbox"/> Einlegesohle

Abb.08 Fragebogenstruktur der Kaufmerkmale

Außerdem wurde nach den detaillierten Präferenzen bezüglich der Merkmale Dämpfung, Torsion, Vorfußflexibilität und einer Pronationsstütze als Stabilitätselement gefragt (Abb.09). Dabei standen jeweils vier Antwortmöglichkeiten zu Verfügung. Die bevorzugten Eigenschaften sollten durch Ankreuzen kenntlich gemacht werden.

Welcher Laufschuh ist/war Ihr Lieblingslaufschuh? Marke: _____ Modell: _____ (siehe Begriffsbestimmung)				
Welche Dämpfungseigenschaften bevorzugen Sie?	<input type="checkbox"/> eher hart	<input type="checkbox"/> eher weich	<input type="checkbox"/> egal	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Welche Torsionseigenschaften bevorzugen Sie?	<input type="checkbox"/> eher steif	<input type="checkbox"/> eher flexibel	<input type="checkbox"/> egal	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Welche Vorfußflexibilitätseigenschaften bevorzugen Sie?	<input type="checkbox"/> eher steif	<input type="checkbox"/> eher flexibel	<input type="checkbox"/> egal	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Bevorzugen Sie einen Laufschuh mit Pronationsunterstützung?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> egal	<input type="checkbox"/> weiß nicht

Abb.09 Fragebogenstruktur der Ausprägung ausgewählter Kaufmerkmale

### **2.3.3 Orthopädische Anamnese**

Im Anschluss fand eine klinische Anamnese und Befunderhebung durch einen Mediziner der Universität Würzburg statt. Der verwendete Befunderhebungsbogen (vgl. Anhang) entstand in Zusammenarbeit mit Orthopäden und Sportmedizinern der Orthopädischen Universitätsklinik Würzburg und der Fachklinik für Rehabilitation Herzogenaurach. Darüber hinaus dienten verschiedene medizinische Publikationen [7],[14],[34],[35],[38],[41],[46] als Grundlage für die Datenerhebung.

Das Hauptinteresse der medizinischen Untersuchung lag auf:

- Erkrankungen und Verletzungen des Stütz- und Bewegungsapparates
- Orthopädischer Befund bezüglich Wirbelsäule, Kniegelenk und Fuß

Darüber hinaus wurde das Körpergewicht der Teilnehmer mit einer geeichten Waage bestimmt.

### **2.3.4 Bestimmung der Fußanthropometrie**

Vor der Bestimmung der Fußanthropometrie markierte ein Mediziner während der klinischen Befunderhebung die anatomischen Rotationszentren des ersten und fünften MPG's, da anhand dieser Referenzpunkte später mit dem Rothballer®-Podogramm die Rotationszentren der Metatarsophalangealgelenke 2-4 bestimmt wurden (vgl. Kapitel 2.2.4). Zusätzlich sollten Basisdaten hinsichtlich der generellen Fußdimensionen (Fußlängen und Fußbreiten) bestimmt werden. Zudem liefert das farbige Podogramm zusätzliche Informationen zur klinischen Befunderhebung hinsichtlich der Gewölbestruktur, dem Vorkommen von Deformitäten, Exostosen oder Schwielen und unterstützt somit die Befunde der orthopädischen Untersuchung. Die Probanden wurden angehalten, während des Scanvorgangs bewegungslos, aufrecht und das Körpergewicht gleichmäßig auf beide Füße verteilend, auf dem Scanner zu verweilen.

### 2.3.5 Kinematische Videoanalyse

Die Aufnahmen für die Videoanalyse des Laufverhaltens der Probanden erfolgte mit einem digitalen Camcorder (JVC™ GR-DVX7). Dabei wurden die Probanden von posterior, anterior und sagittal unter standardisierten Bedingungen gefilmt. Als Laufschuh wurde ihnen das adidas® Unity Serienmodell in der gleichen Größe des Testschuhmodells zur Verfügung gestellt. Zur Vereinfachung der Analyse waren die Schuhe an der Fersenkappe durch zwei zum Laufuntergrund senkrecht stehende Markierungen gekennzeichnet (Abb.10).

Im Anschluss wurden in einem „Expertengespräch“ folgende Merkmale qualitativ bestimmt:

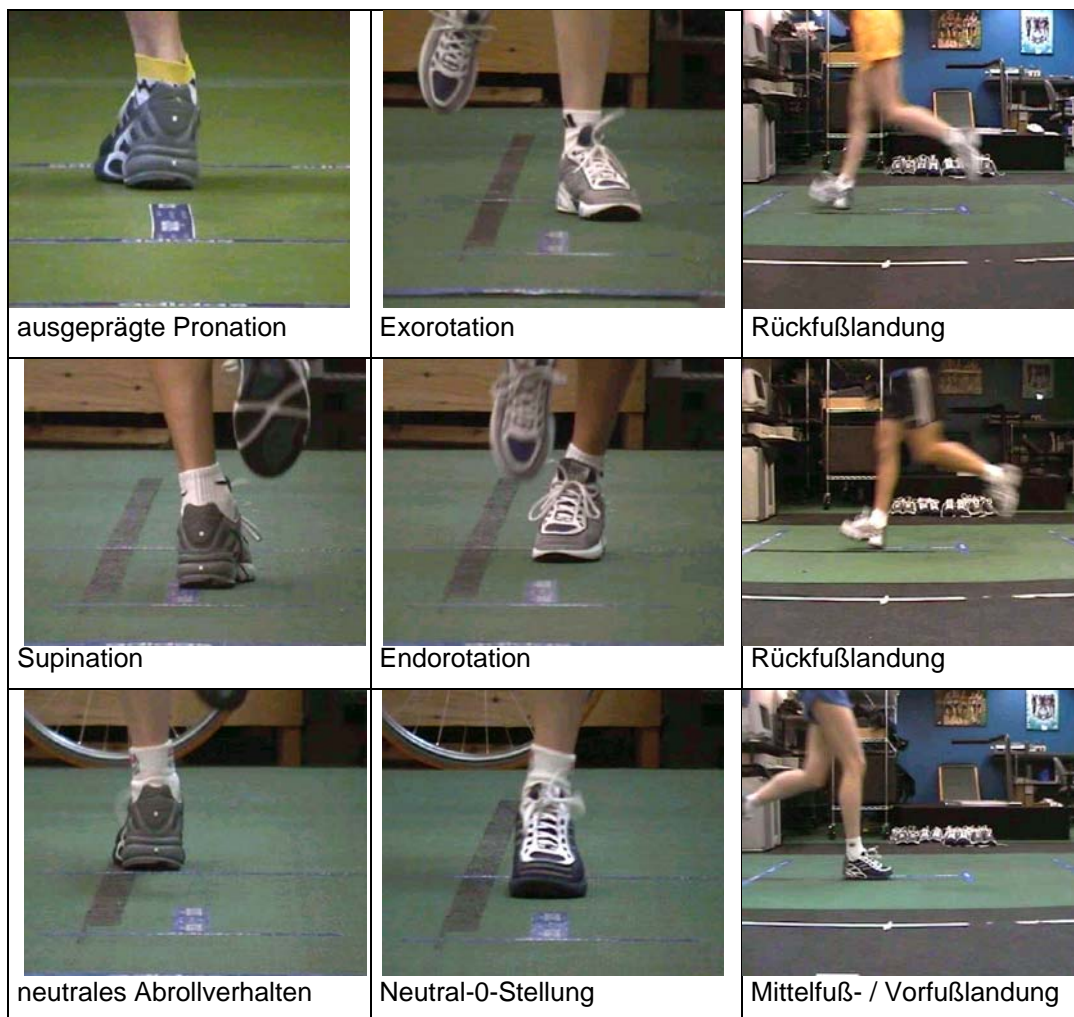


Abb.10 Sequenzbilder der qualitativen Videoanalyse



## **2.4 Evaluierung der Testschuhe im Feld**

Im Anschluss an diese Eingangsuntersuchung bekamen die Teilnehmer folgende Materialien ausgehändigt:

- 7 Paar Testschuhe
- ein Paar standardisierte Einlegesohlen
- ein Paar standardisierte Laufsocken
- 8 Bewertungsbögen
- eine Begriffsbestimmung
- eine Testanleitung

Danach blieben den Läufern ca. zwei Wochen Zeit die ausgegebenen Schuhe zu testen. Zusätzlich sollte der eigene, aktuelle Lieblingslaufschuh bewertet werden.

Das genaue Testprocedere konnte noch einmal in der Testanleitung (vgl. Anhang) nachgelesen werden. Ebenso wurden die in den Bewertungsbögen verwendeten Begriffe in der Begriffsbestimmung (vgl. Anhang) detailliert erläutert.

Die Schuhe wurden in einer randomisierten Reihenfolge gelaufen. Dazu waren die Schuhe, entsprechend der jeweiligen Modifikation, auf den Zwischensohlen mit Buchstaben von A bis G gekennzeichnet. Die Schuhe sollten in der Reihenfolge gelaufen werden, welche die Läufer in einer randomisierten Folge auf der Vorderseite des Umschlags wiederfanden, der die Testunterlagen enthielt. Während dieser zwei Wochen sollten die Modelle jeweils ein Mal, für mindestens 30 Minuten, unter möglichst standardisierten Bedingungen getestet werden. Das beinhaltete, dass bei jedem Lauf die zur Verfügung gestellte Laufsocke getragen wurde und die Einlegesohlen in dem jeweils zu testenden Schuh (außer im eigenen Lieblingslaufschuh) verwendet wurden.

Die Bewertungsbögen (vgl. Anhang) dienen der schriftlichen Fixierung der Schuhbewertung durch die Läufer. Die Struktur der Bögen richtete sich sowohl nach den Erfahrungen der Firma adidas in Bezug auf bereits durchgeführte Feldtests als auch auf Publikationen der Bereiche Biomechanik, Sportwissenschaften, Marktforschung und Psychologie [9],[39],[40],[58],[59],[60]. Die Bewertung der Schuhe sollte unmittelbar im Anschluss an die Testläufe erfolgen. Festgehalten wurden dabei Angaben über die:

- Dauer der Trainingseinheit
- Streckenbeschaffenheit und -länge
- Wetterverhältnisse
- eventuell aufgetretene Verletzungen und Beschwerden, die durch die Benutzung der Schuhe verursacht wurden
- Schäden am Schuh
- subjektive Einschätzung der Parameter
  - Vorfußdämpfung
  - Rückfußdämpfung
  - Vorfußstabilität
  - Rückfußstabilität
  - Vorfußflexibilität
  - Torsionseigenschaften
  - Schuhgewicht
- Bewertung des Gesamteindrucks

Zur Beurteilung der Laufschuhparameter standen die Antwortmöglichkeiten „ja“, „zu weich/flexibel“ oder „zu hart/steif“ zur Verfügung.

Die Bewertung des Gesamteindrucks konnte durch Ankreuzen der Antworten sehr gut, gut, weniger gut oder schlecht gegeben werden. Die hiermit erhobenen Daten wurden dann mit Hilfe von SPSS 10.0 ausgewertet.

## **2.5 Bestimmung der Gruppierungsvariablen**

Die durch die Eingangsuntersuchung gewonnenen Daten dienen als Grundlage der folgenden Gruppierungsvariablen, die ihrerseits die verschiedenen Läufergruppen charakterisieren (vgl. Anhang).

### **2.5.1 Allgemeine anthropometrische Gruppierungsvariablen**

Die Gruppierungen der Daten erfolgte auf der Grundlage der Angaben im Sportlerprofil. Dabei kamen sowohl statistische und inhaltliche Überlegungen zum Tragen als auch die Vergleichbarkeit mit anderen Studien [62],[63].

- Geschlecht
- Kontinent
- Alter (Richtlinien des DLV)
- Körpergröße (Dekadenbildung)
- Körpergewicht gemessen (Dekadenbildung)
- BMI
- Schuhgrößen 1-8
- Schuhgrößen 1-6 (Zusammenfassung der Größen 6,5 m/w und 8,5 m/w)

### **2.5.2 Daten der Trainingsgestaltung**

Die Daten zur Trainingsgestaltung wurden dem Sportlerprofil entnommen. Dabei waren die folgenden drei Variablen von Bedeutung.

- Trainingsumfang
- Trainingshäufigkeit
- Laufsporterfahrung

### **2.5.3 Daten der Laufschuhpräferenzen**

Auch die Ausprägung der ausgewählten Kaufmerkmale wurde dem Sportlerprofil entnommen.

- Präferierte Dämpfungseigenschaften
- Präferierte Torsionseigenschaften
- Präferierte Vorfußflexibilitätseigenschaften
- Präferenz bezüglich einer Pronationsstütze als Stabilitätselement

### **2.5.4 Kinematische Gruppierungsvariablen**

Die kinematischen Gruppierungen wurden sowohl anhand der Daten des Sportlerprofils als auch der Videoanalyse gebildet.

- Läufertyp und Strike-Index, basierend auf Selbsteinschätzung (Probandenangabe)
- Läufertyp, Strike-Index und Fußstellung, basierend auf qualitativer Videoanalyse (kinematische Analyse)

Vor- und Mittelfußläufer (kinematische Analyse) wurden aufgrund der geringen Fallzahl zu einer Kategorie zusammengefasst.

Im weiteren Verlauf der Arbeit beziehen sich die Gruppierungsvariablen Läufertyp und Strike-Index, wenn nicht anders gekennzeichnet, ausschließlich auf die Ergebnisse der kinematischen Analyse.

### **2.5.5 Orthopädische Gruppierungsvariablen**

Die orthopädischen Gruppierungsvariablen entstanden auf der Basis der Daten der orthopädischen Eingangsuntersuchung.

- Orthopädische Einlagenversorgung
- Achsenstellung
- Längsgewölbe (alle Daten) (basierend auf Inspektion und Fußscan)
- Deformitäten im Zehenbereich (Pes transverso-planus, Hallux valgus, Hammerzehe)
- Stellung im Zweibeinstand
- Fersenwinkel in Neutral-0-Stellung
- Instabilität im Seitenvergleich (Schublade)
- Tarsometatarsalgelenk – 1. Strahl
- Bewegungseinschränkungen im Vorfuß (alle fünf Strahlen)

Für die Gruppierungsvariablen orthopädische Einlagenversorgung, Deformitäten im Zehenbereich, Instabilität im Seitenvergleich und Bewegungseinschränkungen im Vorfuß wurde aus statistischen Gründen eine dichotome Struktur (ja/nein) gewählt.

### **2.5.6 Fußanthropometrische Gruppierungsvariablen**

Die fußanthropometrischen Gruppierungen erfolgten auf der Datengrundlage des Fußscans sowie, mit Ausnahme des Digitalindex und des Metatarsalindex, nach den Richtlinien von KADANOFF/MUTATOV [26].

Mit Ausnahme der ersten vier Gruppierungen diene als Grundlage zur Einteilung die Berechnung von Quartilen [9].

- Digitalindex
- Metatarsalindex
- Körper-Fußlängen-Index
- Längen-Breiten-Fußindex
- Anthropologische Fußlänge
- 1. Metatarsal-Längen-Index
- 2. Metatarsal-Längen-Index
- 3. Metatarsal-Längen-Index
- Länge bis zum 1. Metatarsophalangealgelenk
- Länge bis zum 2. Metatarsophalangealgelenk
- Länge bis zum 3. Metatarsophalangealgelenk
- Länge des 2. MPG minus Länge des 1. MPG
- Länge des 2. MPG minus Länge des 3. MPG

## **2.6 Wiederholungsstudie**

Um die Retestreliabilität der Testschuhbewertungen der Probanden einschätzen zu können, wurden zwei Wiederholungsstudien durchgeführt [33]. Dabei basierte die Auswahl der Probanden auf einer Randomisierung. Es wusste keiner der Läufer, dass er an einer Wiederholungsstudie teilnahm.

### **2.6.1 Europa**

Eine Studie fand in Regensburg mit 9 Frauen und 24 Männern statt. Ein Teil der bereits an der regulären Datenaufnahme beteiligten Probanden bekam noch einmal vier der bereits getesteten Modifikationen ausgehändigt. Ein Modell entsprach einem der übrigen drei ausgeteilten Modifikationen, so dass jeder Athlet einen Schuh doppelt testete. Die Bewertungskriterien entsprachen denen der eigentlichen Datenaufnahme. Die Läufer hatten eine Woche Zeit die vier Schuhe zu laufen.

## 2.6.2 Nordamerika

Die zweite Wiederholungsstudie wurde in die Datenaufnahme in Calgary integriert. 48 Läuferinnen und 38 Läufern wurden acht anstatt sieben Testschuhe ausgehändigt. Dabei wurde von dem Athleten eine Modifikation doppelt getestet. Dies war den Athleten nicht bekannt. Jeder Athlet testete dabei eine randomisiert ausgewählte Schuhmodifikation doppelt.

## 2.7 Statistische Verfahren

### 2.7.1 Signifikanzprüfung

Die gesamte Datenauswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS® 10.0.. Aufgrund der Fragebogenstruktur und der Verteilungsmaße kamen folgende statistische Verfahren bei der Datenauswertung zur Anwendung:

- Normalverteilung: Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest
- Bivariate Korrelationen: Spearman Rho (nichtparametrisch)
- Nichtparametrische Tests: Chi-Quadrat-Test  
Mann-Whitney (U-Test)  
Kruskall-Wallis (H-Test)  
Friedman-Test

Für alle Testverfahren wurde ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  (5,0%) festgelegt. Ein Niveau von  $p < 0,1$  (10,0%) wurde als Trend (statistische Tendenz) bezeichnet. In den Kreuztabellen, die zur Analyse der Zusammenhänge zwischen der Bewertung der Laufschuhpräferenzen (Vorfußflexibilität und Abrollverhalten) und den Gruppierungsvariablen dienten, wurden zusätzlich die standardisierten Residuen, als Assoziationsmaß hinsichtlich einer Abweichung der beobachteten von der erwarteten Häufigkeit, berechnet. Die Signifikanzen dieser Residuen sind in den Tabellen im Anhang vermerkt (Tab. 06).

Zusätzlich enthalten die Tabellen des Kapitels im Anhang folgende Kennzeichnungen der Signifikanzniveaus:

Tab. 06 Kennzeichnungen der Signifikanzniveaus im Anhang

Nichtparametrische Tests	Standardisierte Residuen
$p < 0,05$ (*)	$\geq 2,0$ (*)
$p < 0,01$ (**)	$\geq 2,6$ (**)
$p < 0,001$ (***)	$\geq 3,3$ (***)

Die Aufbereitung der Daten in Tabellen und Diagramme erfolgte mit Microsoft® Excel 2000.

### 2.7.2 Faktorenanalyse

Als zusätzliches statistisches Verfahren wurde die Faktorenanalyse angewendet, um durch Reduktion der Gruppierungsvariablen (Kap. 2.5) ein Erklärungsmodell für die wechselseitigen Beziehungen der Variablen zu finden und dadurch diese in voneinander unabhängige Gruppen klassifizieren zu können.

Ein Faktor beschreibt im statistischen Sprachgebrauch eine hypothetische Größe, die das Zustandekommen von Korrelationen erklären soll. Somit sind das Ergebnis der Analyse wechselseitig voneinander unabhängige Faktoren, die die Zusammenhänge zwischen den untersuchten Variablen erklären. Die Ergebnisse der Faktorenanalyse bilden die Basis für Hypothesen über Strukturen, die eventuell den untersuchten Merkmalen zugrunde liegen.

Die Komponenten oder Faktoren, die sich bei der Durchführung der Faktorenanalyse ergeben, sind voneinander unabhängig und erklären sukzessiv die maximale Varianz. Je höher die Variablen miteinander korrelieren, desto weniger Faktoren werden zur Aufklärung der Gesamtvarianz benötigt.

Guadagnoli und Velicer empfehlen, dass nur Strukturen interpretiert werden sollen, die eine Faktorenstruktur  $> 0.8$  aufweisen [18]. Die Stabilität der Faktorenstruktur ist abhängig von der Größe der Stichprobe und dem minimalen Wert der Faktorladung (Korrelation zwischen einer Variablen und einem Faktor). Für die vorliegende Studie bedeutet dies, dass nur Ladungswerte größer als 0.1 bei der Interpretation der Faktoren berücksichtigt



werden sollten. Aufgrund analytischer und inhaltlicher Überlegungen wurden jedoch für die Interpretation nur Faktorladungen einbezogen, die einen Wert größer gleich 0.3 erreichten oder aus inhaltlichen Gründen innerhalb der analysierten Hauptkomponente berücksichtigt werden sollten.

Zur leichteren Interpretation wurden die Faktoren einer als Rotation (nach der Varimax-Methode) bezeichneten Transformation unterworfen [9],[28],[29],[30]. Hierbei wird auf analytischem Weg eine möglichst gute Einfachstruktur für die bedeutsamen Daten hergestellt.

### **2.7.3 Clusteranalyse**

Eine Clusteranalyse ist ein Verfahren, welches dazu dient, eine Menge von Objekten in Gruppen (Cluster) zu unterteilen. Dabei sollen die Gruppen in sich homogen sein, die Gruppen zueinander eine hohe Differenz aufweisen [8].

Die Clusteranalyse durchsucht also die Gesamtgruppe der Objekte und fasst diese in Gruppen zusammen. Für die vorliegende Studie wurde eine Clusterung von Fällen gewählt. Dadurch wurde die Gesamtpersonengruppe in Läufergruppen unterteilt, die bezüglich ihrer anthropometrischen Daten und ihrer subjektiven Evaluierungen homogen sind. Es wurde Wert darauf gelegt, die Gruppenanzahl nicht allzu hoch anzusetzen, da dies für den Zweck der Studie nicht dienlich ist.

Für die vorliegende Studie wurde auf Grund der Gesamtgröße der Personenstichprobe eine Clusterzentrenanalyse gewählt, der ein einfacherer Algorithmus zugrunde liegt. Zudem kann die Anzahl der gebildeten Gruppen vorher gewählt werden. Dies beinhaltet jedoch den Nachteil einer geringeren Steuerbarkeit durch den Benutzer.

Die empfohlene Reduktion der Anzahl der Variablen basiert auf den Ergebnissen der Faktorenanalyse. Die Clusteranalyse wurde für ein 3-Gruppen-, 4-Gruppen-, 5-Gruppen-, 6-Gruppenmodell berechnet und ausgewertet.

Gegenüber der Faktorenanalyse (101 Variablen) wurden innerhalb der Clusteranalyse nur 44 Variablen einbezogen. Diese setzen sich aus *11 objektiv* bestimmten und aus *33 subjektiv* erhobenen Variablen zusammen.

Unter den objektiven Variablen befinden sich hauptsächlich anthropometrische und fußanthropometrische Daten (Geschlecht, Körpergröße, Körpergewicht, BMI, Kontinent, Schuhgröße, anthropologische Gesamtlänge des Fußes). Die subjektiven Variablen setzen sich vor allem aus den Evaluierungen aller sieben Testschuhmodelle zusammen. Dabei wurden Vorfußflexibilität, Abrollverhalten, Stabilität sowie Rückfußdämpfung mit eingebracht.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der Materialstudie

Die Ergebnisse zur Bestimmung der Vorfußflexibilität sind im Anhang enthalten. Durch zwei „Flexionskerben“ in der Außensohle sowie länglichen Aussparungen im oberen Zwischensohlenmaterial wurde die Vorfußflexibilität in dem vorgesehenen Bereich „erleichtert“. Zudem stellten diese „Flexionskerben“ sicher, dass die maximale Durchbiegung tatsächlich am Ort der durch den Rollenstempel aufgetragenen Belastung stattfindet, was letztlich den Bedürfnissen des Läufers entgegenkommt. Diese Konstruktion war schon im Basismodell, welches auf dem Markt erhältlich war, integriert.

In Abb.11 sind exemplarisch für die Musterschuhgrößen 8.5m und 5.5w die mechanische Biegesteifigkeit II der verschiedenen Testschuhmodifikationen dargestellt.

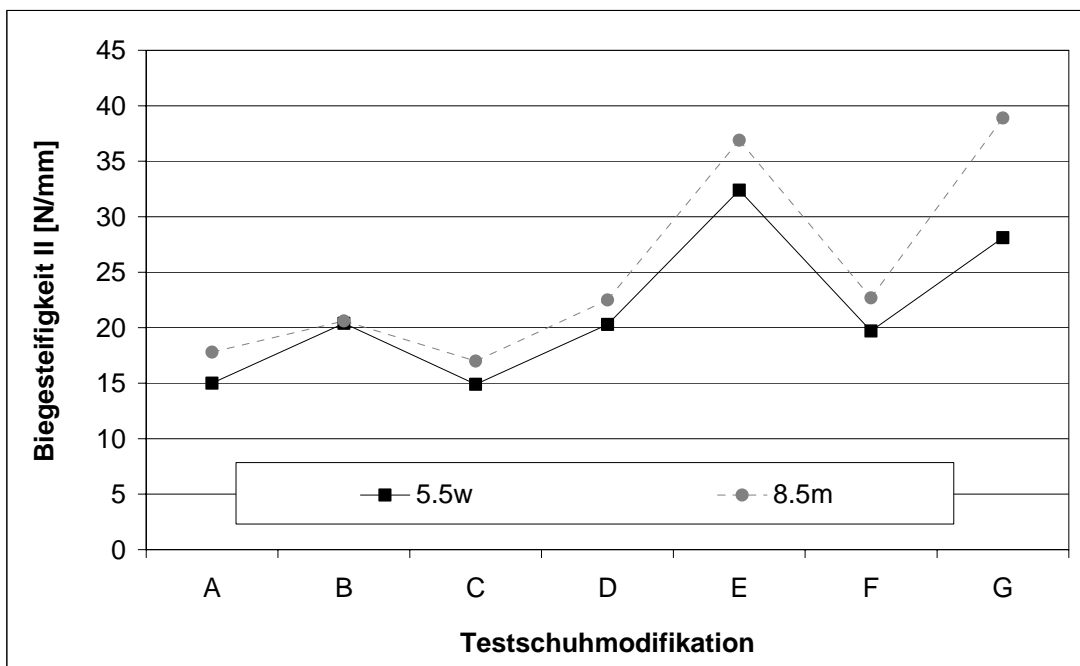


Abb.11 Vorfußflexibilität: Bestimmung der mechanischen Biegesteifigkeit der Schuhgrößen 5.5w und 8.5m für alle Testschuhmodifikationen

Für beide Verfahren zur Bestimmung der Vorfußflexibilität (biomechanische Vorfußflexibilität und mechanische Biegesteifigkeit) zeigt sich für Testschuhmodifikationen mit den gleichen Materialspezifikationen im Vorfußbereich auch die gleiche Biegesteifigkeit. Des Weiteren können, basierend auf den Ergebnissen beider Messverfahren, im Rahmen der Materialstudie Unterschiede zwischen den verschiedenen Zwischensohlenmodifikationen im Vorfußbereich analysiert werden.

Die Energieverluste für alle überprüften Testschuhmodifikationen befinden sich innerhalb eines Bereiches von 34% bis 37%. Eine detaillierte Analyse dieser voneinander gering abweichenden Werte wird demzufolge als wenig sinnvoll erachte (Abb.12).

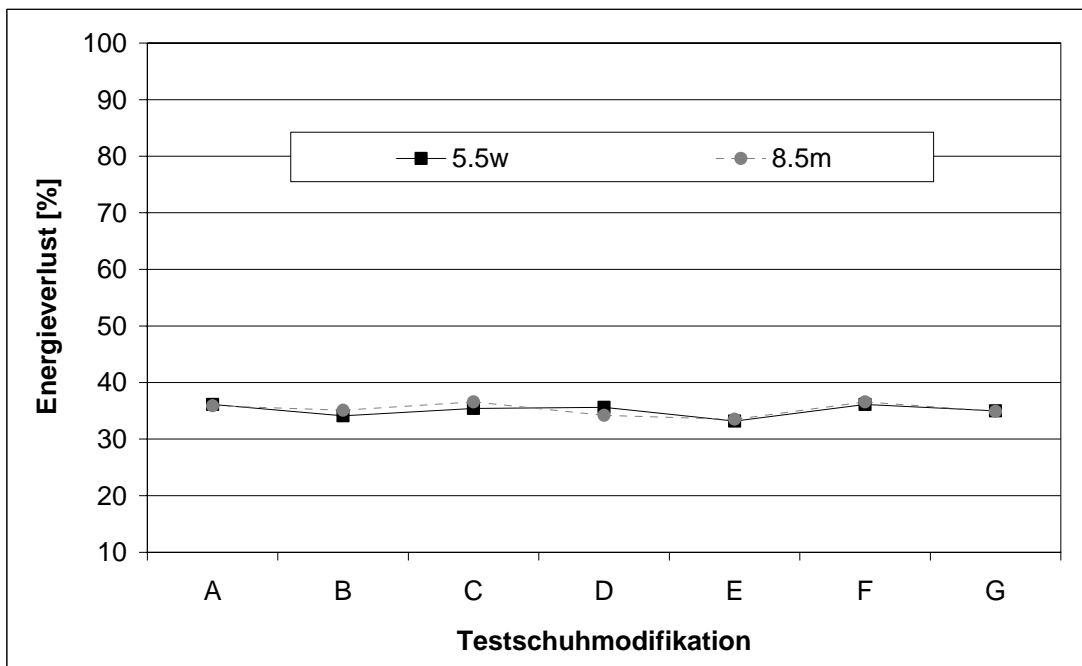


Abb.12 Vorfußflexibilität: Bestimmung des Energieverlustes (mechanischer Biegetest) der Schuhgrößen 5.5w und 8.5m für alle Testschuhmodifikationen

Als Schlussfolgerung zeigt sich, dass alle Testschuhmodifikationen mit den gleichen Materialspezifikationen im Vorfußbereich jeweils auch die gleiche Biegesteifigkeit aufweisen. Dieses Resultat bezieht sich sowohl auf den biomechanischen Vorfußflexibilitätstest, als auch auf die mechanische Biegesteifigkeit. Mit zunehmender Zwischensohlenhärte nimmt auch die Vorfußflexibilität ab. Das heißt, die Steifigkeit in diesem Segment nimmt zu.

### 3.2 Beschreibung der Personenstichprobe

Im Folgenden sollen die wichtigsten Daten der Eingangsuntersuchung dargestellt werden. Dabei erfolgt die Präsentation der Ergebnisse in erster Linie für die Gesamtstichprobe. Wenn zwischen den Geschlechtern oder zwischen Mitteleuropa und Nordamerika markante Unterschiede festzustellen sind, findet darüber hinaus eine getrennte Ergebnisbetrachtung statt.

Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgt mit Hilfe von Balkendiagrammen, wobei die Balkenhöhe die prozentuale Häufigkeit der zustimmenden Antwort („ja“) bezüglich des erfragten Laufschuhparameters darstellt.

#### 3.2.1 Anthropometrische Daten sowie Daten zur Trainingsgestaltung

Insgesamt nahmen 471 Läufer an der Studie teil. Die Mehrzahl der Probanden sind Frauen mit einem Anteil von 51,8% an der Gesamtstichprobe (Tab. 07). Unterschiedliche Geschlechterverhältnisse sind im geographischen Vergleich zu erkennen. Während über die Hälfte der Probanden in Mitteleuropa männlichen Geschlechts ist, zeigt sich in Nordamerika ein Anteil weiblicher Läufer von 55,7%.

Tab. 07 Häufigkeitsverteilung der Personenstichprobe; Gruppierung Geschlecht und Kontinent

	Männlich	Weiblich
<b>Gesamt (n = 471)</b>	48,2%	51,8%
<b>Mitteleuropa (n = 270)</b>	51,1%	48,9%
<b>Nordamerika (n = 201)</b>	44,3%	55,7%

Die wichtigsten statistischen Werte der Variablen Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI sind in Tab. 6 für die Gesamtstichprobe und zusätzlich getrennt nach Geschlechtern dargestellt. Männer (m) und Frauen (w) unterscheiden sich dabei signifikant (U-Test) hinsichtlich der Körpergröße, dem Körpergewicht und dem BMI.

Die Variablen Alter, Körpergewicht und BMI zeigen innerhalb der Gesamtstichprobe eine Normalverteilung (Tab. 08).

Tab. 08 Statistische Kennwerte der anthropometrischen Daten Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI; Gesamtstichprobe und Gruppierung Geschlecht

	Alter [Jahre]			Körpergröße [cm]			Körpergewicht [kg]			Body Mass Index		
	total	m	w	total	m	w	total	m	w	total	m	w
x	38,0	38,9	37,2	171,3	177,8	165,2	68,4	75,9	61,4	22,8	23,5	22,1
s	10,4	10,7	10,2	9,2	7,2	6,2	12,0	11,2	7,7	2,7	2,8	2,4
SW	53	52	53	48	46	31	77,7	77,7	61,4	23,9	23,9	15,5
Min	14	14	14	150	152	150	41,1	41,1	42,9	14,2	12,2	15,8
Max	67	66	67	198	198	181	119,1	119,1	81,5	38,1	38,1	31,2

Im interkontinentalen Vergleich lässt sich ein signifikanter Unterschied (U-Test) hinsichtlich des Alters beobachten. Insbesondere die Frauen weisen in Nordamerika (NA) einen deutlich geringeren Altersdurchschnitt auf (Tab. 09).

Durch die unterschiedliche Geschlechterverteilung sind zum Teil auch die Differenzen bei Körpergröße und Körpergewicht erklärbar, deren Durchschnittswerte in Mitteleuropa (ME) leicht erhöht sind. Umgekehrt zu diesem Trend verhält sich der höhere BMI-Mittelwert in Nordamerika, wobei dort sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern höhere Werte festzustellen sind.

Tab. 09 Statistische Kennwerte der anthropometrischen Daten Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI; Gesamtstichprobe und Gruppierung Kontinent

	Alter [Jahre]			Körpergröße [cm]			Körpergewicht [kg]			Body Mass Index		
	total	ME	NA	total	ME	NA	total	ME	NA	total	ME	NA
x	38,0	39,7	35,8	171,3	172,0	170,3	68,4	69	67,5	22,8	22,5	23,1
s	10,4	11,0	9,1	9,2	8,9	9,6	12,0	12,2	11,6	2,7	2,6	2,7
SW	53	53	46	48	46	43	77,7	77,7	64,6	23,9	17,1	20,2
Min	14	14	19	150	152	150	41,4	41,4	42,9	14,2	14,2	17,9
Max	67	67	65	198	198	193	119,1	119,1	107,5	38,1	31,2	38,1

Der Tab. 10 sind die Werte der Trainingsdaten innerhalb der Gesamtpersonenstichprobe zu entnehmen. Da die Männer bezüglich aller Merkmale signifikant (U-Test) über dem Niveau der Frauen liegen, sind die untersuchten Parameter gleichzeitig getrennt nach Geschlechtern dargestellt. Alle vier Variablen zeigen laut *Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest* keine Normalverteilung.

Tab. 10 Statistische Kennwerte der Trainingsdaten Trainingsumfang, Trainingshäufigkeit, Laufsporterfahrung und Standardlaufstrecke; Gesamtstichprobe und Gruppierung Geschlecht

	Trainingsumfang [km/Woche]			Trainingshäufigkeit [TE/Woche]			Laufsporterfahrung [Jahre]			Standardlaufstrecke [km]		
	total	m	w	total	m	w	total	m	w	total	m	w
x	43,8	50,4	37,5	4,0	4,3	3,8	9,0	10,6	7,6	10,4	11,3	9,6
s	24,1	26,0	20,4	1,3	1,3	1,2	7,9	8,4	7,1	3,4	3,6	3,0
SW	146	130	146	8	8	7	50	50	35	31	28	23
Min	4	10	4	1	1	1	0	0	0	2	5	2
Max	150	140	150	9	9	8	50	50	35	33	33	25

Für alle vier untersuchten Parameter der Trainingsdaten sind hinsichtlich des interkontinentalen Vergleichs signifikante (U-Test) Unterschiede zwischen Mitteleuropa und Nordamerika festzustellen (Tab. 11). Trainingsumfang und Länge der Standardlaufstrecke sind in Mitteleuropa, Trainingshäufigkeit und Laufsporterfahrung in Nordamerika gegenüber dem jeweils anderen Kontinent erhöht.

Tab. 11 Statistische Kennwerte der Trainingsdaten Trainingsumfang, Trainingshäufigkeit, Laufsporterfahrung und Standardlaufstrecke; Gesamtstichprobe und Gruppierung Kontinent

	Trainingsumfang			Trainingshäufigkeit			Laufsporterfahrung			Standardlaufstrecke		
	[km/Woche]			[TE/Woche]			[Jahre]			[km]		
	total	ME	NA	total	ME	NA	total	ME	NA	total	ME	NA
x	43,8	45,2	41,9	4,0	3,8	4,4	9,0	7,0	11,7	10,4	11,5	9,1
s	24,1	23,6	24,7	1,3	1,3	1,1	7,9	6,8	8,4	3,4	3,2	3,3
SW	146	126	135	8	8	5	50	50	40	31	31	15
Min	4	4	15	1	1	2	0	0	0	2	2	5
Max	150	130	150	9	9	7	50	50	40	33	33	20

Abb.13 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Schuhgrößen innerhalb der Gesamtstichprobe. Dabei sind die in der Industrie als Mustergrößen verwendeten Schuhgrößen 8,5m am stärksten vertreten. Bei den weiblichen Probanden ist statt der Mustergröße 5.5w die Größe 6.5w am häufigsten vertreten.

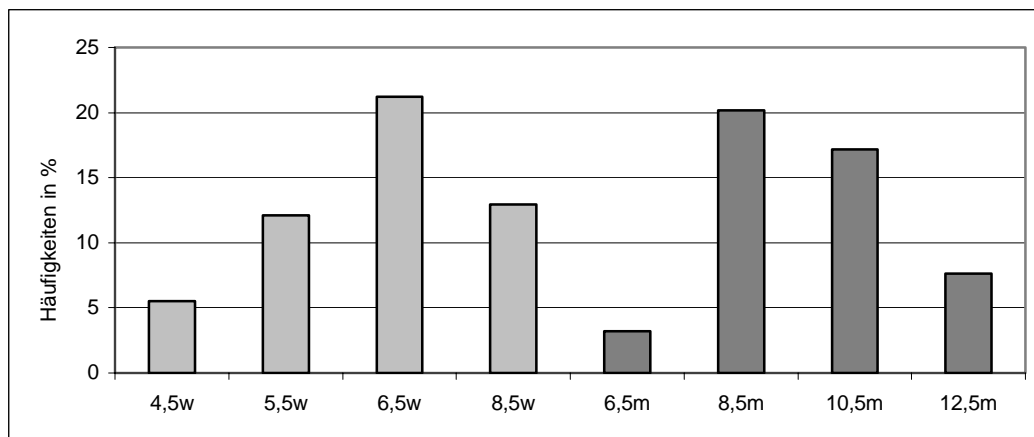


Abb.13 Häufigkeitsverteilung der Schuhgrößen 1-8 (UK); Gesamtstichprobe (hellgrau weiblich; dunkelgrau männlich)



### 3.2.2 Kinematische Daten

Die Mehrzahl der Probanden zeigt innerhalb der Gesamtstichprobe ein neutrales Abrollverhalten (Abb.14). Signifikante Differenzen (Chi-Quadrat-Test) sind für den interkontinentalen Vergleich erkennbar. Der Anteil der Läufer mit einem ausgeprägten Pronationsverhalten in Mitteleuropa ist erhöht. In Nordamerika fanden sich zudem zwei Läufer mit einer deutlichen Supination, die jedoch aufgrund der geringen Fallzahl aus der weiteren Betrachtung herausfallen.



Abb.14 Häufigkeitsverteilung des Läufertyps (kinematische Analyse); Gesamtstichprobe und Gruppierung Kontinent

Die Analyse des Fußaufsatz-Index bez. der Gesamtpersonenstichprobe zeigt ein deutliches Übergewicht der Rückfußläufer (95.8%) gegenüber den Vor- und Mittelfußläufern (4.2%). Es sind keine geschlechtsspezifischen bzw. geographischen Unterschiede hinsichtlich des Strike-Index zu beobachten.

Die Athleten wurden im Rahmen der Eingangsuntersuchung auch gebeten, ihren Strike-Index selber zu beurteilen. Vergleicht man diese Daten mit den kinematisch ermittelten Daten, so zeigt sich eine Übereinstimmung von lediglich 43,9%. Weitere fast 30% beurteilten sich falsch, die verbleibenden 28% markierten die Antwort „weiß nicht“.

### 3.2.3 Orthopädische Daten

Bei der Einlagenversorgung konnte ein Unterschied zwischen der vom Orthopäden verordneten und der durch Probanden angegebenen Anzahl festgestellt werden (20 % versus 23,4 %). In Europa wurden häufiger orthopädische Einlagen verwendet (25,6 % versus 12,5 %). Ganz besonders deutlich zeigte sich dies bei der Indikation „Senk-Spreizfüße“. Allerdings liegt hier die Vermutung nahe, dass ein Großteil der Einlagen aus Komfortgründen genutzt wurde, da sich die Diagnose Pes planus bei der orthopädischen Untersuchung nicht bestätigte. Läufer mit trainingsinduzierten Verletzungen verwendeten häufiger Einlagesohlen (32,4 %) als verletzungsfreie Probanden (18,9 %). Zudem fiel auf, dass Einlagen von den behandelnden Ärzten ausschließlich unter den Diagnosen Achillodynie und Pes planus rezeptiert wurden.

Bis zum Zeitpunkt der Befunderhebung hatten sich 18,8 % der Probanden einer Operation am Vorfuß unterzogen, wobei kein signifikanter regionaler Unterschied festgestellt werden konnte, dagegen hatten sich tendenziell mehr Männer (22,5 %) als Frauen (15,6 %) operieren lassen. Auffallend war außerdem, dass Personen mit einer griechischen Fußform überproportional häufig (30,8 %), Probanden mit einer ägyptischen Fußform dagegen eher selten (13,2 %) operiert wurden.

91,3 % der Probanden hatten eine normale Rückenform. In etwa jeweils die gleiche Anzahl der Läufer wiesen entweder einen Rundrücken, einen Hohlrundrücken oder einen Flachrücken auf. Es bestand ein signifikanter Unterschied in der prozentualen Verteilung zwischen den Geschlechtern. Bei den Frauen zeigten sich bei 94,7 % eine normale Rückenform, im Gegensatz dazu nur bei 87,7 % der Männer.

Die Inspektion der Knieachse zeigte, dass 87 % des Probandenkollektives eine ausgeglichene Beinachse besaßen, dagegen fanden sich bei 2,3 % die Valgus- und bei 10,6 % die Varusfehlstellung von klinisch über 5°. Auffallend war der regionale Unterschied, der sich besonders in der Verteilung der nicht neutralen Achsenstellungen dokumentierte. So hatten in Mitteleuropa im Unterschied zu Nordamerika mehr als doppelt so viele Läufer eine Varusfehlstellung.

Hoch signifikant war außerdem der Unterschied in der Häufigkeit von Varusfehlstellungen zwischen Männern und Frauen, die bei Männern fast fünf Mal so häufig waren wie bei Frauen (18,1 % versus 3,7 %) (Tab. 12).

Tab. 12 Achsenstellung des Knies in Abhängigkeit von der Region und dem Geschlecht, n = 471, Häufigkeiten in %

<b>Achsenstellung im Knie</b>	<b>ME</b>	<b>NA</b>	<b>M</b>	<b>W</b>	<b>X</b>
<b>Neutral</b>	84,1	91,0	81,1	92,6	87,0
<b>Valgus</b>	1,9	3,0	0,9	3,7	2,3
<b>Varus</b>	14,1	6,0	18,1	3,7	10,6

Die Fußform wurde durch Inspektion und mittels der fußanthropometrischen Daten (Rothballer®) ermittelt. Bei der Blickdiagnose kam am häufigsten die quadratische Form vor (59,4 %). Knapp ein Drittel der Läufer besaß eine ägyptische Fußform (28,9 %), seltener kam die griechische Form vor (11,8 %). Dagegen fiel bei der späteren Zuhilfenahme der Fußscannerdaten bei nur 23,2% eine quadratische Fußform auf. Die meisten Athleten (73,4%) besaßen danach eine ägyptische Fußform, und nur 3,4% eine griechische. Die Fußscannerdaten wurden für die späteren Ausführungen verwendet.

Beim interkontinentalen Vergleich fielen keinerlei Unterschiede auf. Die Geschlechter unterschieden sich jedoch bei der Häufigkeit der griechischen Fußform, die bei Männern mehr als doppelt so oft vorkommt wie bei Frauen (4,9% versus 2,0%). Aufgrund der niedrigen Fallzahl (5 bzw. 11) sind diese Unterschiede jedoch statistisch nicht relevant.

Des Weiteren wurden die Probanden bezüglich ihres Metatarsalindex unterschieden. Der Index-Plus, bei dem der erste Metatarsalknochen weiter distal endet als der zweite, kam nur bei 1,9% der Personenstichprobe vor und wurde daher aus dem Vergleich herausgenommen. Die meisten Probanden (69,4%) besaßen einen Index-Minus, bei dem der zweite Metatarsalknochen länger ist als der erste.

Beim interkontinentalen Vergleich fiel auf, dass der Index-Minus in Nordamerika signifikant öfter vorkommt und dafür der Index-Plus-Minus mit gleicher Länge der Metatarsalia vergleichsweise seltener (41). Die Geschlechter unterscheiden sich bezüglich ihres Metatarsalindex kaum.

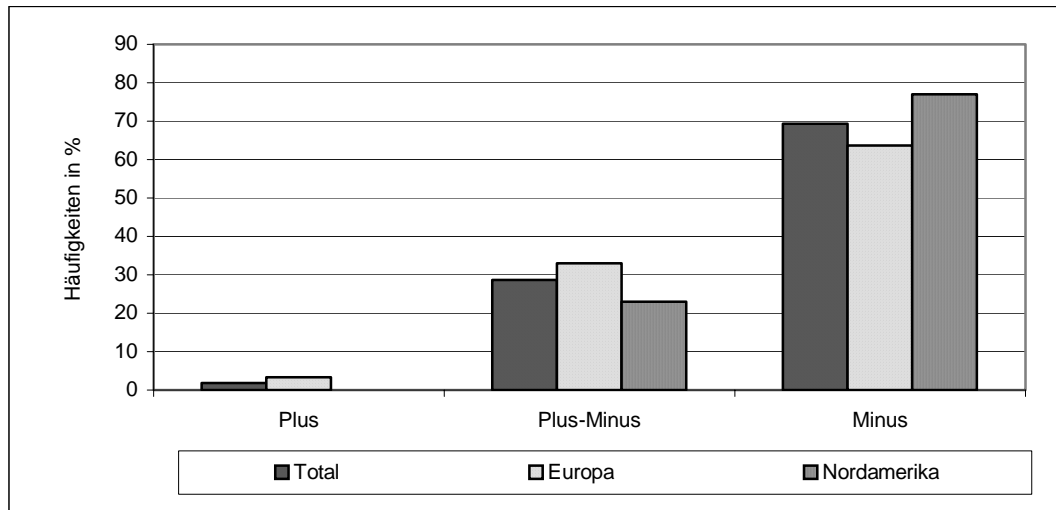


Abb.15 Verteilung des Metatarsalindex bezüglich der kontinentalen Herkunft

Die meisten der Probanden (79,6%) wiesen ein normales Längsgewölbe auf, bei 14 % war die Fußwölbung abgeflacht ( Pes planus ), bei 6,4 % wurde das Gewölbe als zu hoch ( Pes excavatus ) bewertet. Bei einem regionalen Vergleich fiel auf, dass signifikant mehr Nordamerikaner einen Pes planus besaßen als Mitteleuropäer (19,4 % versus 10 %), der Anteil der Personen mit einem Hohlfuß war in etwa gleich groß. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zu dem Körpergewicht, dem geschlechtsspezifischen BMI oder der Körpergröße gefunden werden, auch konnte in dieser Studie nicht signifikant belegt werden, dass Probanden mit einem Pes planus beim Laufen eine ausgeprägtere Pronation ausführen.

Bei der Untersuchung der Füße fiel auf, dass fast die Hälfte der Gesamtprobandengruppe Deformitäten besaß, besonders häufig wurden die Diagnosen Spreizfuß und Hallux valgus gestellt. Es bestand sowohl ein signifikanter geschlechtsspezifischer als auch regionaler Unterschied. So wiesen die Nordamerikaner erheblich weniger Fußdeformitäten als die Mitteleuropäer auf (0).

Tab. 13 Deformitäten in Abhängigkeit von der Region und dem Geschlecht, Häufigkeiten in %, n = 471, Mehrfachnennungen waren möglich

Deformitäten	ME	NA	M	w
<b>Keine</b>	46,3	63,7	56,4	51,2
<b>Spreizfuß</b>	45,3	31,4	41,8	36,9
<b>Hallux valgus</b>	17,5	6,5	7,0	18,0
<b>Hammerzehen</b>	5,3	1,5	2,6	4,5

Die orthopädische Rückfußanalyse zeigte, dass sowohl in der Neutral-0-Stellung als auch im Zehenstand mehr als 80 % des Kollektivs eine normale Position einnahmen. Bei 13,8 % war der seitliche Winkel nach innen gekippt (valgus) und bei nur 2,3 % nach außen (varus). Im Zehenstand konnten 78,8% der Probanden mit einem unphysiologischen Rückfußwinkel diesen spontan wieder korrigieren.

Der interkontinentale Vergleich zeigte, dass mehr als dreimal so viele Nordamerikaner mit der Ferse eine Valgusposition einnahmen, allerdings wurde diese Haltung auch bei fast allen im Zehenstand wieder ausgeglichen. Das Kippen des Rückfußes in eine Valgusposition ist oft verbunden mit einem Absinken des Längsgewölbes. Daher korreliert das vermehrte Vorkommen des Pes planus mit der der valgisierten Rückfußachse in Nordamerika.

Die Bewegungsprüfung auf Extension und Flexion im oberen Sprunggelenk zeigte, dass fast das gesamte Probandenkollektiv keinerlei Einschränkungen aufwies (98,9 %), es bestand weder ein signifikanter geschlechtsspezifischer noch ein regionalspezifischer Unterschied.

Das untere Sprunggelenk war bei 96,8 % der Läufer frei beweglich, bei einem regionalen Vergleich fiel kein signifikanter Unterschied auf. Dagegen war zwischen den Geschlechtern eine deutliche Differenz zu erkennen, so konnten 99,6 % der Frauen, aber nur 93,8 % der Männer die Supinations- bzw. Pronationsbewegung frei ausüben.

6,6% der Probanden hatten eine oder mehrere Bewegungseinschränkungen im Vorfuß. Sowohl der geschlechtliche, wie auch der regionale Vergleich blieben ohne auffällige Unterschiede.

### 3.3 Ergebnisse der Wiederholungsstudie

Die durchschnittliche Retestrelia­bilität der funktionellen Sportschuhparameter in Europa beträgt 85% und liegt damit höher als der „Schwellenwert“ von 80%, der für eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse angesehen wird [32]. Dabei zeigt die Beurteilung des Schuhgewichts (97%) die höchste und die Evaluierung der Torsions- sowie der Vorfußflexibilitätseigenschaften (76%) die niedrigste Retestrelia­bilität.

Die durchschnittliche Retestrelia­bilität der funktionellen Sportschuhparameter für die in Nordamerika durchgeführte Wiederholungsstudie beträgt 71% und liegt damit um neun Prozentpunkte unter dem angegebenen „Schwellenwert“ von 80%. Dabei zeigt die Beurteilung des Schuhgewichts (90%) wiederum die höchste Retestrelia­bilität. Demgegenüber beinhaltet die Evaluierung der Rückfußdämpfung (53%) die niedrigste Retestrelia­bilität.

Die durchschnittliche Retestrelia­bilität der funktionellen Sportschuhparameter beider Gruppen zusammen beträgt 78% (0) und liegt somit in unmittelbarer Nähe des empfohlenen „Schwellenwerts“ von 80%. Dies bedeutet, dass die Ergebnisse zur subjektiven Evaluierung der funktionellen Sportschuhparameter als reliabel angesehen werden können.

Tab. 14 Retestrelia­bilität der funktionellen Sportschuhparameter für Mitteleuropa, Nordamerika und der subsumierten Ergebnisse (total)

Funktionelle Sportschuhparameter	Retestrelia­bilität [%]		
	Mitteleuropa (n = 33)	Nordamerika (n = 86)	total (n = 119)
Vorfußdämpfung	81.5	61.2	71.4
Rückfußdämpfung	82.0	53.4	67.7
Torsionsfähigkeit	76.2	62.5	69.4
Vorfußflexibilität	75.4	65.2	70.3
Abrollverhalten	84.5	64.8	74.7
Schuhgewicht	97.0	89.2	93.1
<b>AM</b>	<b>84.7</b>	<b>70.6</b>	<b>77.7</b>

Für die Beschreibung dieses Unterschiedes bezüglich der Retestreliabilität zwischen der mitteleuropäischen und der nordamerikanischen Personenstichprobe können folgende Erklärungsmöglichkeiten in Betracht gezogen werden:

- Unterschiedliches Testdesign, insbesondere hinsichtlich der Anzahl der zu evaluierenden Testschuhmodelle
- Unterschiedliche Temperaturbereiche und die generell hohe Variabilität der Temperatur sowohl während des Tests als auch während des Retests
- Durchschnittlich höherer Trainingsumfang respektive Trainingsdauer der mitteleuropäischen Personenstichprobe
- Absolvierung der Lafeinheiten auf Trailstrecken (zirka 10% der nordamerikanischen Personenstichprobe)

Unabhängig von den aufgelisteten Erklärungsansätzen, könnte es durchaus möglich sein, dass die Probanden der nordamerikanischen Personenstichprobe die Ausprägung der funktionellen Sportschuhparameter nicht so differenziert wahrnehmen können als vergleichsweise die Läufer aus Mitteleuropa. Ein Indiz für diese Annahme könnte darin bestehen, dass mitteleuropäische Läufer sich signifikant häufiger als wettkampforientierte Laufsportler einschätzen und zudem signifikant häufiger in Laufvereinen organisiert sind als die nordamerikanischen Probanden. Dies führte zu der Überlegung, ob solche Läufer sich grundsätzlich intensiver mit dem Thema Laufschuhe auseinandersetzen und demzufolge ein höheres Wissen respektive Sensibilität hierfür mitbringen. Die gleichen Überlegungen können im Zusammenhang mit der geschlechtsspezifischen Differenzierung aufgestellt werden.

Ob diese Annahmen in der Tat ihre Relevanz bestätigen, soll im Rahmen der Ergebnisinterpretation erörtert werden.

### 3.4 Vorfußflexibilität

#### 3.4.1 Bestimmung der Präferenzen

Bei der Bewertung der Kaufmerkmale sollten die Probanden die drei für sie wichtigsten aus einer Liste von 16 Kaufmerkmalen aussuchen. Tab. 15 zeigt sowohl die Ergebnisse der Gesamtpersonenstichprobe (total) als auch die Präferenzenverteilung hinsichtlich der geschlechtsspezifischen sowie geographischen Differenzierung. Dabei fällt auf, dass die Vorfußflexibilität mit 8.6% nur an 10. Stelle kommt. Weit wichtiger scheinen den Probanden z.B. die Passform, der Preis und einige funktionelle Parameter wie Stabilität und Dämpfung zu sein. Dies zeigt sich bei der geschlechtsspezifischen und der geographischen Differenzierung bei allen Gruppierungen gleichermaßen.

Tab. 15 Präferierte Kaufmerkmale bez. der Gesamtpersonenstichprobe (Total), der geschlechtsspezifischen sowie der geographischen Differenzierung (Häufigkeiten in %); drei Nennungen pro Proband (Kumulation auf 300%)

Präferierte Kaufmerkmale	Total (n = 471)	Geschlechtsspez. Differenzierung		Geographische Differenzierung	
		w	m	ME	NA
		(n = 244)	(n = 227)	(n = 270)	(n = 201)
<b>Passform</b>	83.6	85.2	81.9	83.1	84.1
<b>Stabilität</b>	38.7	40.6	36.7	36.1	42.3
<b>Dämpfung Rückfuß</b>	35.7	33.6	38.1	34.6	37.3
<b>Abrollverhalten</b>	<b>28.5</b>	<b>23.8</b>	<b>33.6</b>	<b>43.5</b>	<b>8.5</b>
<b>Schuhgewicht</b>	26.2	26.6	25.7	26.4	25.9
<b>Preis</b>	21.7	22.1	21.2	20.1	23.9
<b>Dämpfung im Vorfuß</b>	17.7	21.7	13.3	13.4	23.4
<b>Haltbarkeit/Abrieb</b>	13.4	11.1	15.9	10.8	16.9
<b>Griffigkeit</b>	9.4	9.4	9.3	5.9	13.9
<b>Vorfußflexibilität</b>	<b>8.1</b>	<b>8.6</b>	<b>7.5</b>	<b>7.8</b>	<b>8.5</b>
<b>Design</b>	5.1	4.5	5.8	5.6	4.5
<b>Torsionsfähigkeit</b>	4.7	5.3	4.0	4.8	4.5



Die Frage nach der präferierten Ausprägung der Flexibilität im Vorfuß wurde von 34,6% der Probanden mit „weiß nicht“ oder „egal“ beantwortet. Dies deutet auf eine gewisse „Unkenntnis“ der Läufer bezüglich dieses Sportschuhparameters hin. So zeigten sich andere Parameter (z.B. Dämpfung) für die Läufer als entscheidender für die Wahl eines spezifischen Laufschuhs.

Bei der geschlechtsspezifischen Betrachtung der Präferenzen, die Vorfußflexibilität betreffend, lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den männlichen und den weiblichen Läufern erkennen (Abb. 16). Bei den männlichen Läufern ist zum einen der Anteil derer, die eher steife Eigenschaften bevorzugen, ca. doppelt so hoch. Zum anderen ist der Anteil der „weiß nicht“-Antworten geringer.

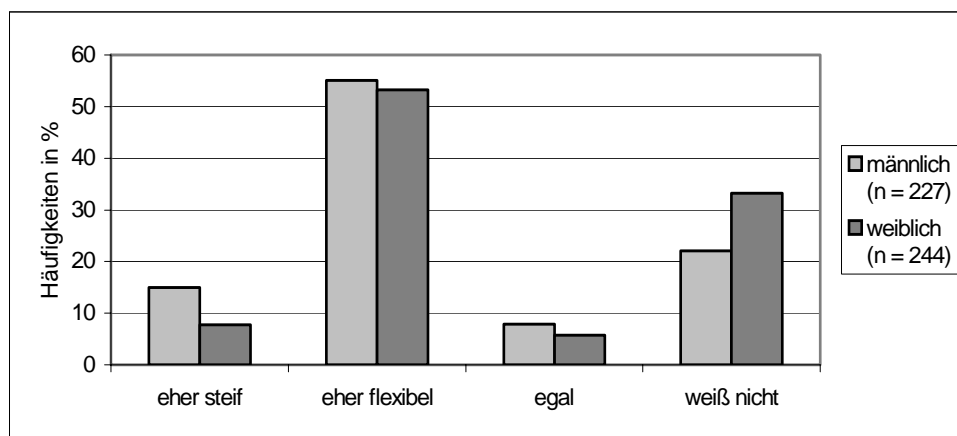


Abb.16 Häufigkeitsverteilung der präferierten Vorfußflexibilitätseigenschaften in Abhängigkeit der Gruppierung Geschlecht; Gesamtstichprobe

Dieser geschlechtsspezifische Unterschied darf zum Teil als Grundlage der nachfolgenden Resultate betrachtet werden.

Trends zeigen sich für die Gruppen mit der größten Schuh- bzw. Körpergröße in Mitteleuropa. Diese Läufer fordern zum einen steifere Vorfußflexibilitätseigenschaften. Zum anderen nimmt der Anteil der „weiß nicht“-Einschätzungen deutlich ab. Zum Teil sind diese Entwicklungen auch in der Gesamtstichprobe, nicht jedoch in Nordamerika zu beobachten.

Gleiches gilt für die BMI-Gruppierung (Abb.17). Sowohl in Mitteleuropa als auch in der Gesamtstichprobe lässt sich eine kontinuierlich steigende Forderung nach steiferen Flexibilitätseigenschaften erkennen. Gleichzeitig steigt jedoch auch der Anteil der „weiß nicht“-Antworten.

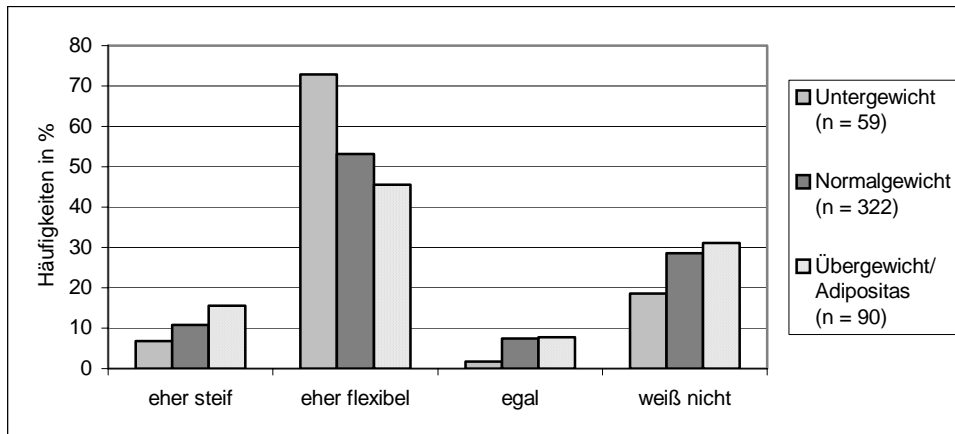


Abb.17 Häufigkeitsverteilung der präferierten Vorfußflexibilitätseigenschaften in Abhängigkeit der Gruppierung BMI; Gesamtstichprobe

Ähnlich ist der Verlauf der Gewichtsgruppierung. Auch hier tendieren schwerere Läufer zu steiferen Ausprägungen. Signifikant sind die Unterschiede dabei innerhalb Mitteleuropas und innerhalb der Gesamtgruppe. Für Nordamerika lassen sich bezüglich beider Gruppierungen wiederum keine Trends formulieren.

Allgemein ist für den Komplex der Trainingsdaten und der Laufsporterfahrung eine Verringerung des Anteils der „weiß nicht“-Antworten mit steigendem Trainingsumfang, steigender Trainingshäufigkeit und wachsender Laufsporterfahrung festzustellen. In den meisten Fällen steigt auch gleichzeitig das Interesse an einer flexiblen Auslegung der Vorfußflexibilität.

Probanden mit Bewegungseinschränkungen im Vorfuß wünschen sich eher flexible Schuhe und haben einen verringerten Anteil von „weiß nicht“-Antworten (Abb.18). Dabei zeigt sich im Chi-Quadrat-Test ein signifikanter Unterschied.

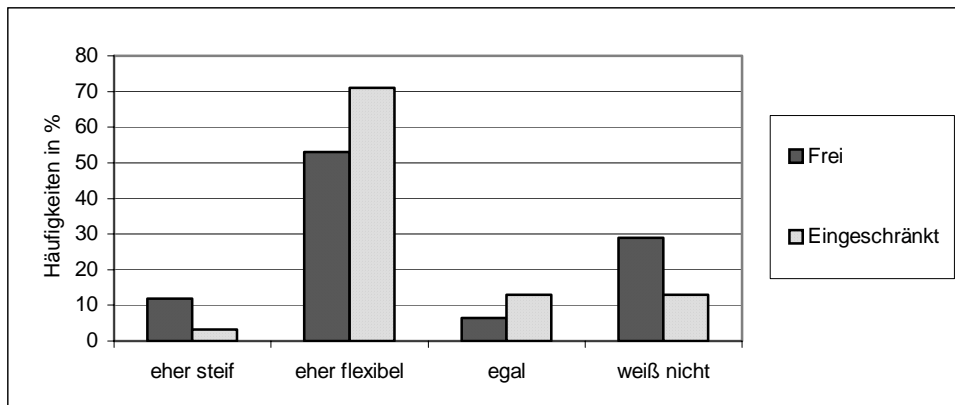


Abb.18 Häufigkeitsverteilung der präferierten Vorfußflexibilitätseigenschaften in Abhängigkeit von Bewegungseinschränkungen im Vorfuß

### 3.4.2 Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den anthropometrischen Daten

Bei der Betrachtung der *Gesamtgruppe* zeigt sich ein immer wiederkehrendes Verteilungsmuster: Die weichen Schuhe (A und C) erfahren die höchste Zustimmung. Die Schuhe mit moderater Härte (B, D und F) liegen etwas niedriger in der Zustimmung. Die harten Schuhe (E und G) sind deutlich geringer akzeptiert bezüglich ihrer Flexibilität im Vorfußbereich.

Diese Betrachtungen werden auch durch die Messungen in Rahmen der Materialstudie gestützt. Hierbei zeigte sich der Unterschied in der Flexibilität zwischen den weichen und den moderaten Schuhen als wesentlich geringer als zwischen den moderaten und harten Zwischensohlen. (siehe Anhang)

Bei der Bewertung von Schuhen mit der gleichen Härte im Vorfuß und unterschiedlicher Härte im Mittelfuß ist kaum ein Unterschied erkennbar, so dass man davon ausgehen kann, dass die Flexibilität im Vorfuß isoliert über die Härte im Vorfuß wahrgenommen wird.

Was die *geschlechtsspezifischen* Unterschiede bei der Beurteilung betrifft, offenbart sich bei den männlichen Probanden eine etwas höhere Akzeptanz der moderaten Schuhe (Abb.19). Bei separater Betrachtung der nordamerikanischen Personenstichprobe zeigt sich eine um durchschnittlich 11,4% höhere Akzeptanz aller Schuhe bei den männlichen Läufern im Vergleich zu ihren weiblichen Landsleuten.

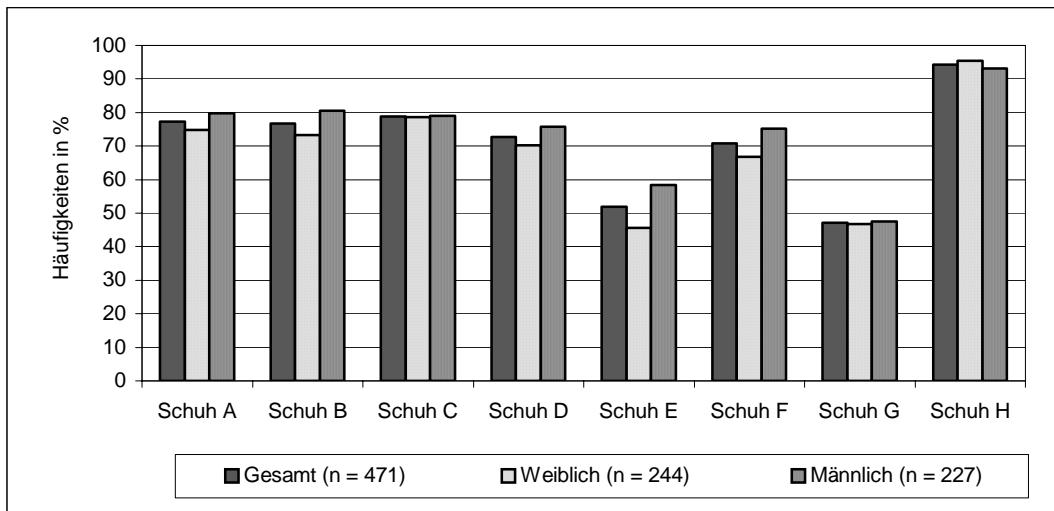


Abb.19 Bewertung der Vorfußflexibilität als gut in Abhängigkeit von dem Geschlecht

Alle Schuhe erfahren trotz der deutlichen Unterschiede bezüglich der Härte eine Zustimmung von zumindest 50%.

Beim *geographischen* Vergleich zeigt sich ein im Chi-Quadrat-Test signifikanter Unterschied bei der Bewertung von Schuh A. Dieser wird in Nordamerika besser bewertet. Das gleiche lässt sich statistisch tendenziell auch bei Schuh C feststellen, der ebenfalls mit einem flexiblen Vorfußbereich ausgestattet ist. Darüber hinaus werden diese Modifikationen dort auch seltener als „zu flexibel“ erachtet. Bei den härteren Schuhen zeigen sich dagegen keine klaren Ergebnisse (Abb.20).

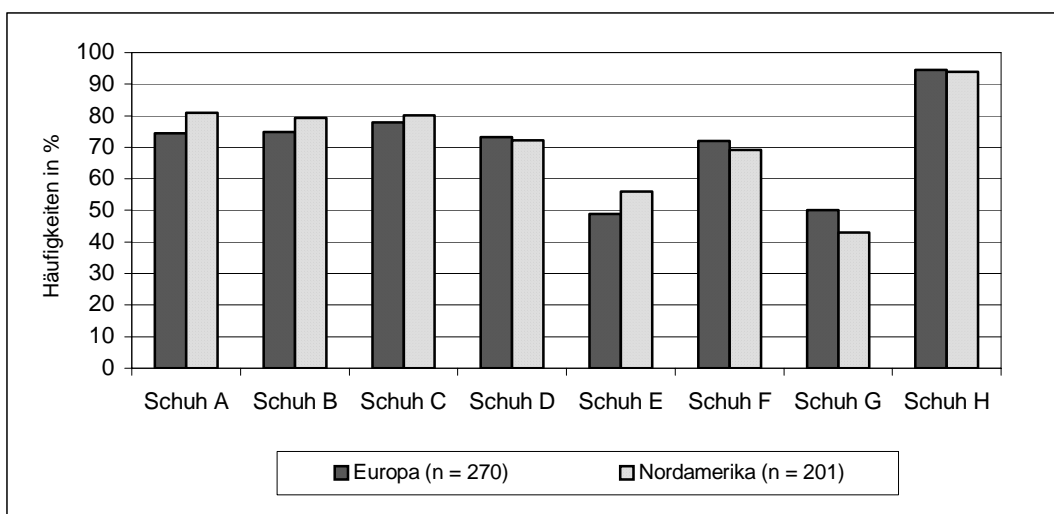


Abb.20 Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von der Region

Bei der Analyse der subjektiven Evaluierung der Vorfußflexibilität im Bezug auf die Gruppierungsvariable Alter zeigt sich eine mit dem Alter steigende Akzeptanz bei allen Schuhen, ausgenommen der beiden Modifikationen mit der weichsten bzw. der härtesten Zwischensohle (A und G). Dabei charakterisieren die Läufer über 49 Jahre die Schuhe weniger oft als „zu steif“.

Bei der Betrachtung der gruppierten Einteilung nach *Größe* und dem gemessenen *Gewicht* zeigen sich keine klaren Trends. Auch die separate Analyse der Kontinente zeigt keine Unterschiede.

Bezüglich der Unterteilung nach dem *BMI*, zeigen sich lediglich bei den Athleten in Nordamerika Unterschiede. Dort legt sich in der Gruppierung der untergewichtigen Läufer eine schlechtere Beurteilung aller Schuhe außer D dar. Jedoch muss bei der Betrachtung beachtet werden, dass die Gruppe mit n=20 sehr klein ist (Abb.21).

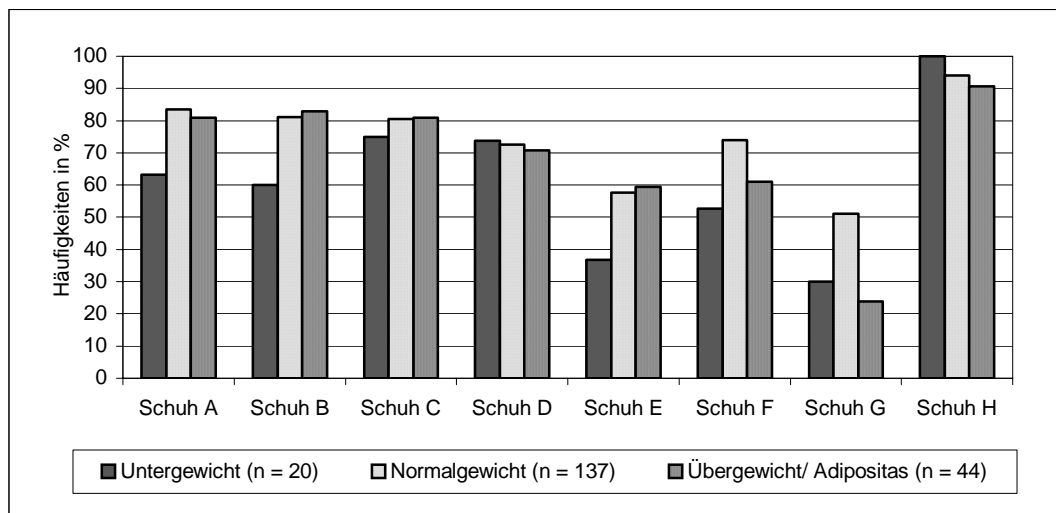


Abb.21 Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von der Gruppierung BMI; NA-Gruppe

### 3.4.3 Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von der Trainingsgestaltung

Abb.22 zeigt bei den Athleten mit einem *Trainingsumfang* von mehr als 89 km/Woche eine deutlich erhöhte Affinität zu den Schuhen A, C und D, wobei die Ergebnisse bei den weichen Schuhen (A und C) besonders deutlich sind. Diese Ergebnisse treten verstärkt in der europäischen Probandengruppe hervor. Bei der genaueren Charakterisierung der Läufer mit solch hohem wöchentlichen Trainingsumfang zeigt sich mit 28,8% ein niedriger Anteil an Läufern mit ausgeprägtem Pronationsverhalten (gegenüber 43,3% bei den anderen Gruppierungen). Weiterhin ist der durchschnittliche BMI innerhalb dieser Gruppierung signifikant niedriger. Auch zeigt sich bei den Läufern mit einem hohen wöchentlichen Laufpensum mit 15,6% ein weit höherer Anteil von „Nicht-Rückfußläufern“ gegenüber nur 4,6% bei den restlichen Probanden.

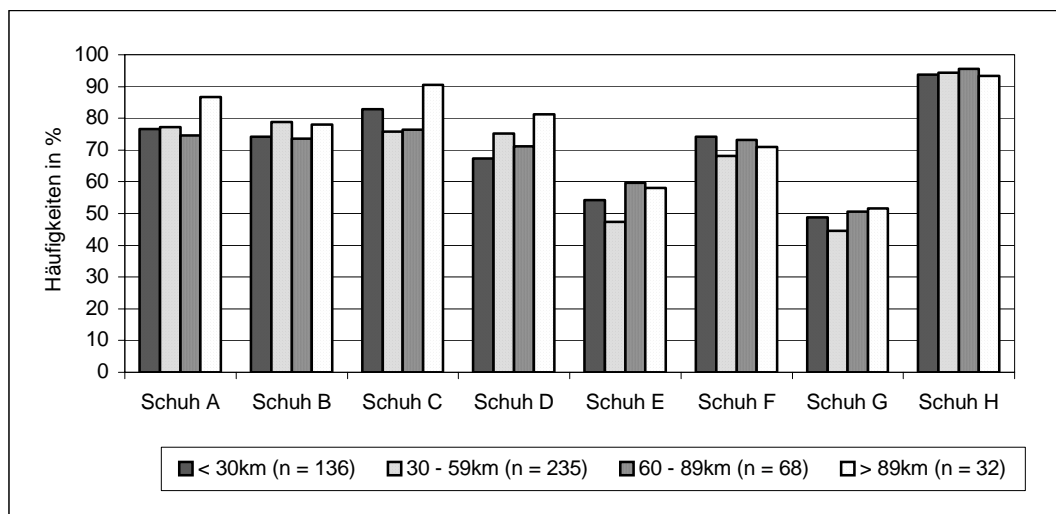


Abb.22 Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von der Gruppierung Trainingsumfang

Sowohl die *Trainingshäufigkeit*, als auch die *Laufsporterfahrung* korrelieren sehr stark mit dem Trainingsumfang und zeigen daher ähnliche Ergebnisse. Bei der Laufsporterfahrung sind die Unterschiede weniger deutlich erkennbar.

### 3.4.4 Subjektive Evaluierung, basierend auf den Laufschuhpräferenzen

Bei der Betrachtung der selbstangegebenen Präferenz bezüglich der *Vorfußflexibilität* zeigt sich, dass Probanden die angaben, eine eher flexible Sohle zu bevorzugen, dies auch bei der Schuhbewertung bestätigten (Abb.23). Sie bewerteten die weichen Schuhe besser und die harten häufiger als „zu steif“. Das entsprechende Resultat findet sich auch bei den Athleten, die eine steifere Sohle im Vorfuß bevorzugen. Diese Probandengruppe schätzt die weichen Modelle auch signifikant häufiger als „zu flexibel“ ein.

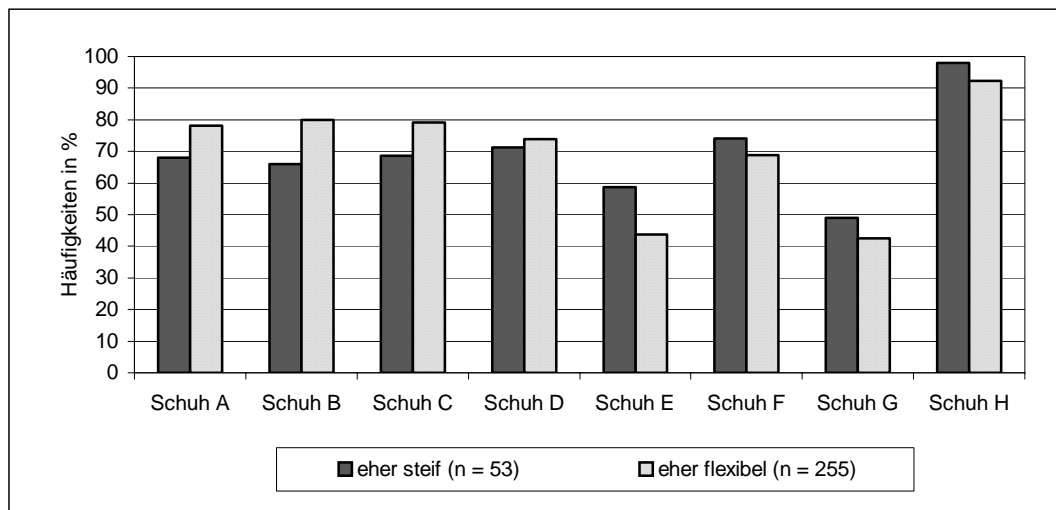


Abb.23 Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von der bevorzugten Vorfußflexibilität

Keine aussagekräftigen Trends lassen sich hinsichtlich der Gruppierungsvariable *präferierte Dämpfungseigenschaften* feststellen.

Auch bezüglich der *präferierten Torsionseigenschaften* lassen sich keine eindeutigen Unterschiede zwischen den Gruppierungen erkennen.

Die Probanden, die sich eine *Pronationsstütze* wünschen, beurteilen nicht nur die Schuhe mit einem steifen Vorfuß, sondern auch die Modelle mit durchschnittlicher Härte im Mittelfuß besser und auch seltener als „zu steif“. Denn bei diesen Modifikationen spüren sie die zusätzliche Härte, wie sie auch eine Pronationsstütze vermittelt.

### **3.4.5 Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den Kinematischen Daten**

Bei der von den Probanden abgegebenen Bewertung ihres *Laufstyps* zeigen sich keine klaren Trends.

Die *Videoanalyse des Laufverhaltens* zeigt bei Schuh G einen signifikanten Unterschied im U-Test. Dieser Schuh wird von Läufern mit ausgeprägter Pronation deutlich besser beurteilt. Tendenziell zeigt sich dieser Unterschied auch bei Schuh E. Diese beiden Modifikationen werden von den Pronierern auch seltener als „zu steif“ eingeschätzt. Bei den anderen Modellen zeigen sich keine klaren Trends.

Die Probanden gaben nach ihren eigenen Erkenntnissen ihren *Strike-Index* an. Dabei zeigte sich kein klarer Trend zu unterschiedlichen Bewertungen der Vorfußflexibilität.

Zur Bewertung des *Strike-Index* aus der kinematischen *Videoanalyse* wurden die Vor- und Mittelfußläufer in einer Gruppe zusammengefasst. Diese Gruppe unterschied sich bezüglich ihrer Beurteilung nicht von den Rückfußläufern.

Bei der Betrachtung der Fußstellung fand sich eine niedrigere Akzeptanz der steifen Schuhe bei Probanden mit einer endorotierten Stellung im Vergleich zu Läufern mit einer Exorotation und den Läufern, die eine Neutral-0-Stellung während des Bodenkontakts einnehmen. Ebenfalls befinden Läufer mit einer Endorotation diese Modifikationen häufiger als „zu steif“.

### **3.4.6 Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den orthopädischen Daten**

Bei der Unterteilung nach Versorgung mit einer *Einlegesohle* ergeben sich keinerlei Unterschiede. Dieses Ergebnis ist insofern nicht überraschend, da die Einlegesohlen dreiviertel lang oder bei voller Länge sehr flexibel im Vorfußbereich waren. Daher nehmen diese Sohlen keinen Einfluss auf die Flexibilität im Vorfußbereich.

Auch hinsichtlich der *Fußform (Inspektion)* lassen sich keine signifikanten Unterschiede erkennen.



Bei der Unterscheidung der Probanden nach dem *Längsgewölbe* sind bei Schuh A und C Differenzen erkennbar (Abb.24). Diese drei Modifikationen erfahren von den 30 Probanden mit einem diagnostizierten „Pes excavatus“ eine höhere Zustimmung und werden weniger oft als „zu flexibel“ empfunden. Besonders deutlich ist dies bei den weichen Modellen (A und C) erkennbar. Womöglich spüren die Probanden mit einem hohen Längsgewölbe hier die notwendige Längsgewölbeunterstützung, da sich eine weiche Sohle dem Längsgewölbe etwas leichter anpassen kann.

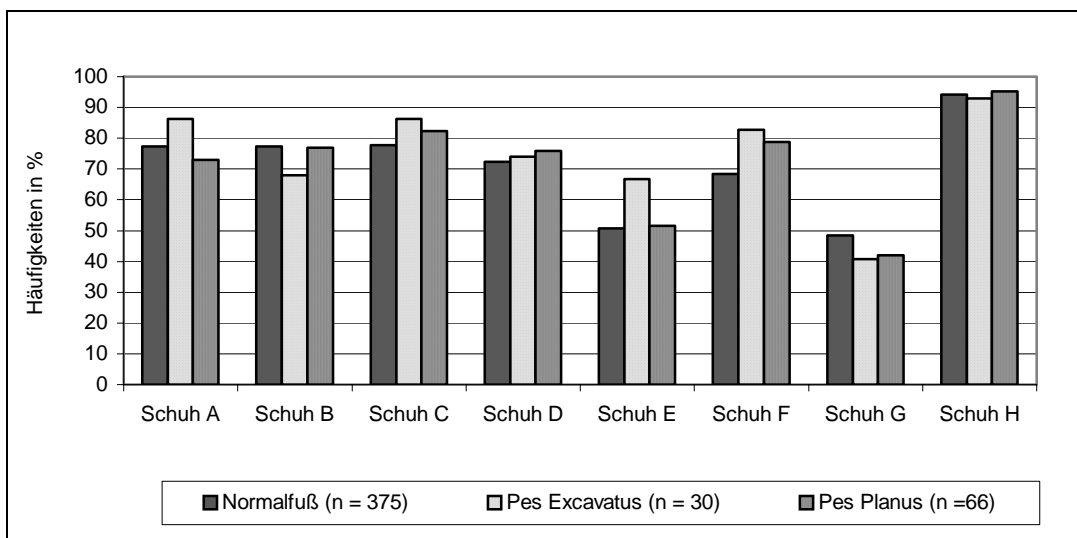


Abb.24 Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von dem Längsgewölbe

Bei der Unterteilung nach den *Deformitäten* im Vorfußbereich zeigen sich keine klaren Unterschiede. Werden die Deformitäten getrennt voneinander betrachtet, so scheint sich ein Spreizfuß nicht auf die Beurteilung auszuwirken. Bei den Probanden mit einem diagnostizierten Hammerzehl zeigt sich eine höhere Akzeptanz der weichen Modifikation. Diese erhöhte Flexibilität kommt den betroffenen Zehen entgegen und bietet ihnen bessere Dämpfung. Betrachtet man die Läufer mit einem Hallux valgus, so zeigt sich bei den Betroffenen eine höhere Zustimmung zu allen Schuhen, sowie weniger oft die Beurteilung „zu steif“.

Die Probanden mit einer *Instabilität im unteren Sprunggelenk* beurteilen die Schuhe mit einer mittleren Härte (B, D und F) schlechter. Dabei wurden diese Schuhe auch häufiger als „zu steif“ eingeschätzt. Dieser Unterschied ist innerhalb der Gruppierung NA noch ausgeprägter zu erkennen (Abb.25).

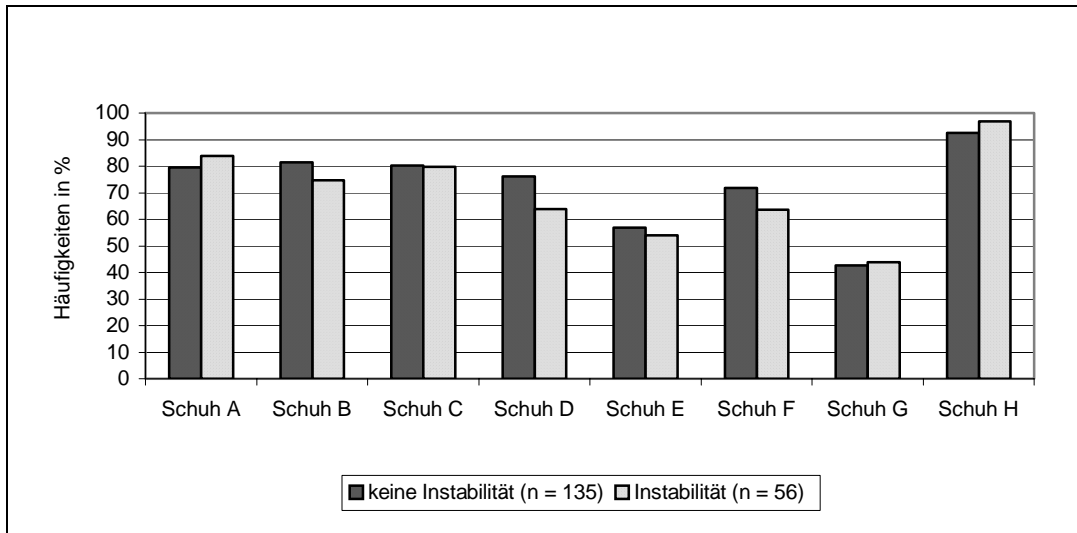


Abb.25 Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von der Instabilität im USG (Nordamerika)

Bei der Betrachtung des *1. Tarsometatarsalgelenks* ergaben sich keine Unterschiede, weder bei der Gesamtbetrachtung, noch bei der getrennten Analyse von NA und Europa.

Hinsichtlich der Beweglichkeit der übrigen *Gelenke im Vorfuß* zeigen sich bei eingeschränkter Beweglichkeit keine Auswirkungen auf die subjektive Evaluierung der Vorfußflexibilität. Ein eingeschränktes Bewegungsausmaß im Vorfuß scheint also keinen Einfluss auf die Wahrnehmung der Vorfußflexibilität beim Laufen zu haben.

### 3.4.7 Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den fußanthropometrischen Daten

Keine aussagekräftigen Trends lassen sich hinsichtlich der Gruppierungsvariable der *Fußform* feststellen, die durch die Rothballer-Messung bestimmt wurde.

Die Läufer wurden nach ihrem *Metatarsalindex* in drei Gruppen unterteilt. Da der Fall eines Index-Plus nur in neun Fällen eintritt, kann er für statistische Bewertungen nicht herangezogen werden. Zwischen den verbleibenden Gruppierungen mit Index-Plus und Index-Plus-Minus zeigen sich bezüglich der harten Schuhmodifikationen (E bis G) eine höhere Zustimmung bei einem Index-Plus-Minus. Diese Probanden bewerten die Schuhe auch seltener als „zu steif“. Diese Unterschiede in der subjektiven Evaluierung zeigen bei den Modifikationen E und F im Chi-Quadrat-Test eine Signifikanz. Bei einem zweiten Metatarsal, der weiter nach proximal reicht als der erste, werden harte Schuhe also weniger gut akzeptiert.

Bei der Unterteilung der Probanden nach der *Längendifferenz* zwischen erstem und zweitem bzw. zweitem und drittem *Metatarsale* ergeben sich keine Trends. Beim *Körper-Fußlängen-Index* beschränkt sich die Betrachtung auf drei Gruppen, da die Gruppe der Hyperlongopodia mit  $n=1$  nicht berücksichtigt werden. Zwischen den verbleibenden Rubriken sind keine klaren Trends erkennbar.

Bei Betrachtung des *Längen-Breiten-Index* lässt sich bei Schuh A und B ein Trend erkennen (Abb.26). Mit einem im Verhältnis breiter werdenden Fuß finden diese Modifikationen eine geringere Zustimmung. Der Schuh A zeigt gleichzeitig eine steigende Anzahl der Antwort „zu flexibel“. Der Schuh wird also, wenn sich der Druck auf eine breitere Fläche verteilt, eher als „zu flexibel“ beurteilt. Dagegen zeigt Schuh C, der auch einen flexiblen Vorfuß hat, eine konstante Zustimmung aller Gruppen.

Die dargestellten Unterschiede zeigen sich verstärkt bei der europäischen Probandengruppe, in NA dagegen kaum.

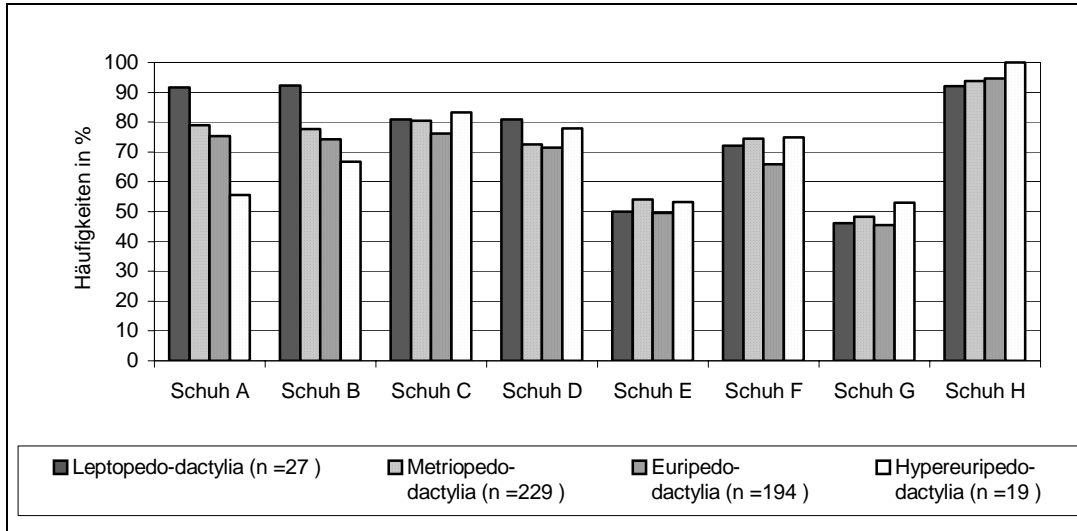


Abb.26 Bewertung der Vorfußflexibilität in Abhängigkeit von dem Längen-Breiten-Index

Die Gruppierung der Läufer nach ihrer *Gesamtfußlänge* zeigt eine mit der Länge zunehmende Akzeptanz der Schuhe. Dies trifft nicht für Schuh G zu. Dabei empfinden die Probanden mit einem Fuß unter 253 mm Gesamtlänge alle Schuhe auch häufiger als „zu steif“. Bei dem kürzeren Hebel in ihren Füßen ist eine größere Kraft aufzuwenden um den Vorfuß zu flexen. Diese Gruppe besteht vorrangig aus weiblichen Probanden. Die Ergebnisse aus der Gesamtgruppe zeigen sich verstärkt in Nordamerika.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Längen bis zu den 1.-3. Metatarsophalangealgelenken, die mit der Gesamtlänge stark korrelieren ( $p > 0.9$ ).

Bei der Unterteilung der Probanden nach dem *Metatarsallängenindex* zeigt sich nur bei Schuh A ein Unterschied. Dieser wird von Läufern lieber getragen, bei denen die Flexionslinie weiter distal liegt. Das Ergebnis findet sich jedoch bei Schuh C nicht.

### 3.4.8 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

- Die Präferenz bezüglich der Vorfußflexibilität spielt bei der Kaufentscheidung von Laufschuhen eine eher untergeordnete Rolle!
- Die Vorfußflexibilität aller Schuhe wird überwiegend positiv beurteilt. Die weichen und moderaten Modifikationen deutlich besser!
- Die Modifikationen der Zwischensohle werden von Männern besser beurteilt. Besonders stark zeigt sich dieser Trend bei den moderaten Schuhen (B, D, F)
- Läufer, die eher weiche Vorfußflexibilitätseigenschaften präferieren, bewerten die Modifikationen E und G als deutlich „zu steif“.
- Läufer, die eine Pronationsstütze wünschen, bewerten die Vorfußflexibilität der Schuhe D bis G als besser.
- Eine orthopädischer Einlagenversorgung zeigt keinerlei Auswirkung auf die Bewertung der Vorfußflexibilität.
- Läufer mit einer Hammerzehe bevorzugen einen weichen Vorfuß.
- Probanden mit einem Hallux valgus bewerten die Vorfußflexibilität seltener als „zu steif“.
- Bei einem Metatarsalindex Plus-Minus werden alle Modifikationen weniger als „zu steif“ eingeschätzt.
- Mit steigender Gesamtlänge steigt auch die Bewertung der Schuhe. Die Gruppe mit kurzen Füßen sehen alle Schuhe eher als „zu steif“ an.

### **3.5 Abrollverhalten**

#### **3.5.1 Bestimmung der Präferenzen des Abrollverhaltens**

Das Abrollverhalten spielt beim Kauf eines Sportschuhs eine wichtige Rolle. Dies zeigte eine im Rahmen der Eingangsuntersuchung gestellte Frage nach den entscheidenden drei Kaufmerkmalen. Hierbei nannte fast jeder Dritte das Abrollverhalten (Tab. 15).

Dabei zeigt sich auch ein geschlechtsspezifischer Unterschied. Denn obgleich 33.6% der männlichen Probanden das Abrollverhalten als eines der entscheidenden Kaufmerkmale nannten, so waren es demgegenüber nur 23.8% der Frauen. Noch deutlicher zeigte sich der Unterschied bei einer geographischen Differenzierung. Im Gegensatz zu den mitteleuropäischen Läufern, bei denen das Abrollverhalten mit 43.5% an zweiter Stelle rangiert, hat das gleiche Kaufmerkmal in Nordamerika mit nur 8.5% kaum Bedeutung.

Das mag zum Teil auch an einem mangelnden Verständnis des Begriffs „Abrollverhalten“ liegen. Zum Ausfüllen der Fragebögen für die einzelnen Testschuhmodifikationen wurde den Probanden daher im Rahmen der Begriffsbestimmung (siehe Anhang) das Abrollverhalten erklärt. Danach ist Abrollverhalten „die Fähigkeit eines Schuhs eine geschmeidige Bewegung vom Fersenaufsatz bis zum Zehenabstoß zu bieten“. Es sollte „dynamisch sein und die natürliche Bewegung des Fußes unterstützen“. Unter diesen Angaben haben die Probanden die Schuhe beurteilt.

#### **3.5.2 Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den anthropometrischen Daten**

Bei der Betrachtung der *Gesamtgruppe* zeigt sich das typische Verteilungsmuster, wie es auch bei der Vorfußflexibilität schon offensichtlich war (siehe Kap. 3.4.2). Die weichen und die moderaten Modifikationen finden eine gleichstarke Zustimmung, wobei der Schuh F etwas unter den anderen liegt. Die harten Schuhe werden dagegen deutlich schlechter von den Läufern akzeptiert (Abb.27).

In Abhängigkeit vom *Geschlecht* der Probanden, zeigt sich bei allen Modifikationen eine etwas niedrigere Zustimmung der weiblichen Läufer (Abb.27). Besonders deutlich äußert sich das bei den Schuhen B und E, welche beide einen weicheren Mittelfußbereich im Vergleich zu den vorderen und hinteren Segmenten besitzen. Diese Ergebnisse stammen vor allem von den weiblichen Probanden in Europa.

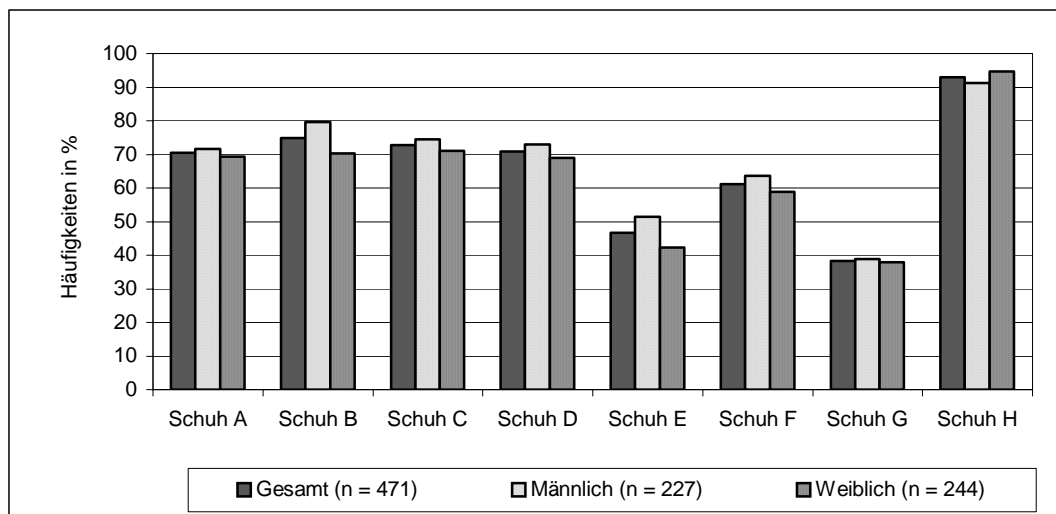


Abb.27 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von dem Geschlecht

Bei der Betrachtung der *regionenabhängigen* Bewertung zeigt sich eine höhere Zustimmung der Modelle A, C, E und G innerhalb der nordamerikanischen Läufergruppe (Abb.28). Dies sind die Modelle, die sehr weich bzw. ausgesprochen hart in Vor- und Rückfuß sind. Dabei werden die weichen Modelle in Nordamerika auch seltener als „zu flexibel“ bewertet und die harten Schuhe seltener als „zu steif“. Eine Signifikanz im Chi-Quadrat-Test ist dabei mit  $p = 0,005$  nur bei Schuh E festzustellen.

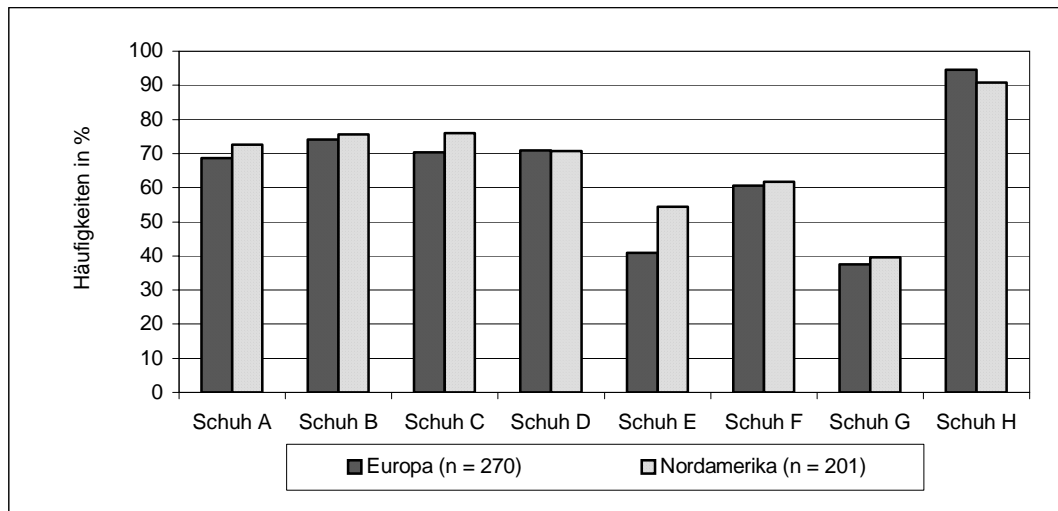


Abb.28 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der Region

Bei der Einteilung in Altersklassen zeigt sich eine mit dem Alter progrediente Zustimmung bei den Modellen B, D, E und F. Dabei sticht wie bei der Beurteilung der Vorfußflexibilität die Altersgruppe über 49 Jahren durch ihre besonders hohe Zustimmung der Schuhe hervor. Diese vier Modifikationen haben jedoch keine Zwischensohleneigenschaften gemeinsam und lassen daher keine Interpretationen zu.

Bei der Einteilung nach der Körpergröße oder nach dem gemessenen Körpergewicht ergeben sich keine klaren Trends. Betrachtet man die europäischen Probanden isoliert, so zeigt sich eine mit Körpergröße und Körpergewicht ansteigende Akzeptanz der harten Schuhe E und G. Bei den nordamerikanischen Läufern finden sich dagegen keine klaren Ergebnisse.



Bei der Gruppierung der Probanden nach dem BMI zeigt sich bei allen Schuhen, außer bei Modell F, eine mit dem BMI steigende Zustimmung (Abb.29).

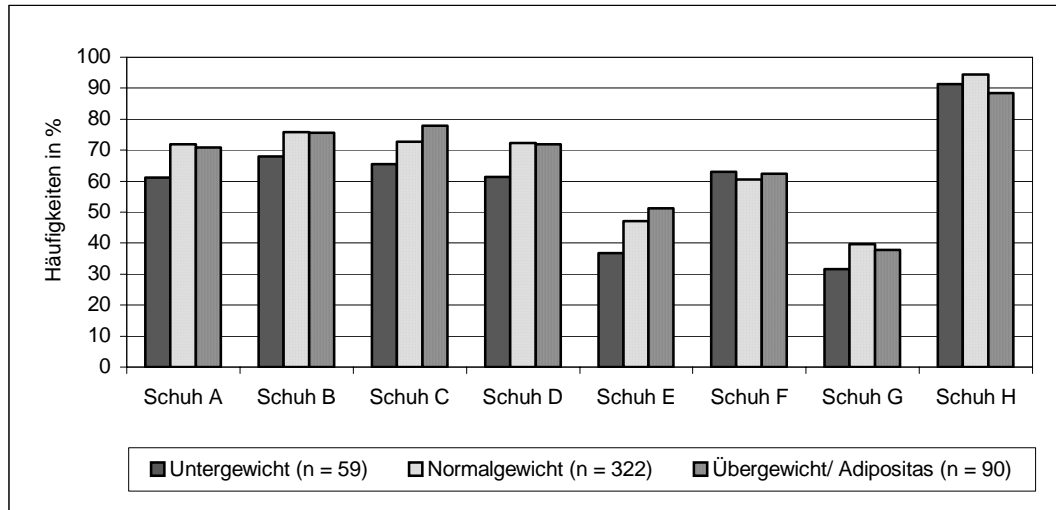


Abb.29 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von dem Body Mass Index

### 3.5.3 Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von der Trainingsgestaltung

Bei der Betrachtung der Evaluierungen, eingeteilt nach dem Trainingsumfang, zeigt sich eine deutlich erhöhte Zustimmung der Schuhe A bis D bei den Läufern mit einem Trainingspensum von über 89km pro Woche (Abb.30). Umgekehrt bewerten die Probanden mit einem Trainingsvolumen von unter 30 km pro Woche den Schuh G besser. Diese Ergebnisse stammen jedoch weder alleine von der europäischen noch von der nordamerikanischen Probandengruppe. Eine genauere Beschreibung der Probanden mit einem hohen Trainingsvolumen findet sich unter Punkt 3.4.3. zur Evaluierung der Vorfußflexibilität.

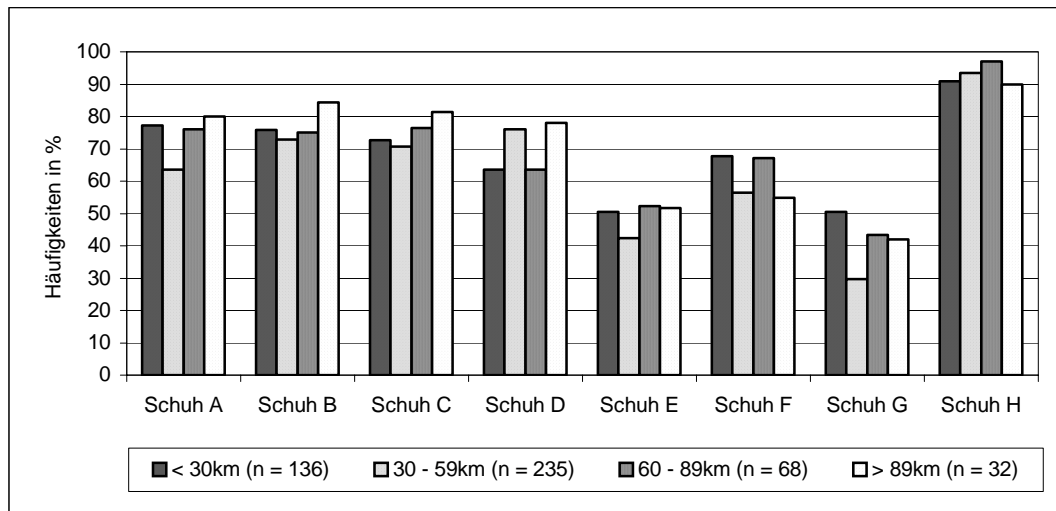


Abb.30 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von dem Trainingsumfang

Ein ähnliches Bild wie beim Trainingsvolumen zeigt sich auch bei der Unterteilung nach der Trainingshäufigkeit. Weniger stark ausgeprägt ist es dagegen bei der Unterteilung nach der Laufsporterfahrung. Da diese drei Parameter stark miteinander korrelieren, sind diese ähnlichen Ergebnisse auch klar nachvollziehbar.

### 3.5.4 Subjektive Evaluierung, basierend auf den Laufschuhpräferenzen

Hinsichtlich der Unterscheidung nach den präferierten Dämpfungseigenschaften zeigen sich keine klaren Unterschiede.

Die von den Probanden angegebene präferierte Vorfußflexibilität entspricht auch ihren Vorlieben bezüglich des Abrollverhaltens (Abb.31). So bevorzugen Probanden, die eher einen flexiblen Vorfuß wünschen, auch die eher weichen Schuhe. Entsprechendes zeigt sich auch bei den harten Schuhen. Diese Ergebnisse, die weichen Schuhe betreffend, beruhen auf den Präferenzen der europäischen Läufer. Bezüglich der harten Modifikationen stammen sie eher aus Nordamerika. Bei beiden Gruppen sind diese Teilergebnisse so stark ausgeprägt, dass sie auch in der Gesamtgruppe Bestand haben.

Diese Ergebnisse zeigen die hohe Korrelation zwischen der Vorfußflexibilität und dem Abrollverhalten.

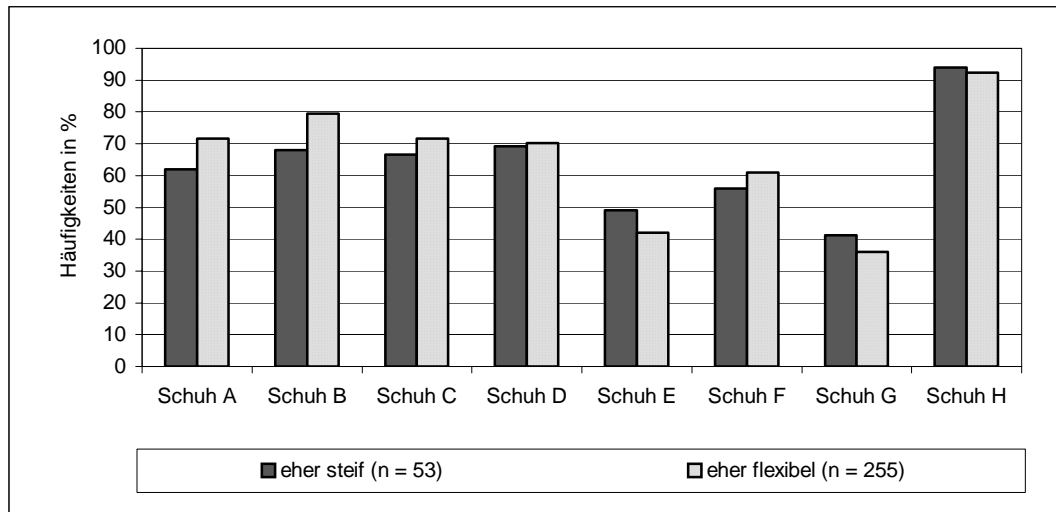


Abb.31 Bewertung des Abrollverhaltens als gut in Abhängigkeit von der präferierten Vorfußflexibilität

Ein klarer Unterschied in der Beurteilung der harten Schuhe (D-G) zeigt sich bei der Frage nach einer Pronationsstütze. Die steiferen Modifikationen werden von Läufern, die gerne eine Pronationsstütze in ihren Schuhen wünschen, eher bevorzugt (Abb.32). Diese Ergebnisse bestätigen sich bei getrennter Betrachtung sowohl in Europa als auch in Nordamerika. In letzterer Gruppe sind sie besonders stark ausgeprägt. Dort haben jedoch auch 62,1% der Probanden die Frage nach einer Pronationsstütze mit „weiß nicht“ beantwortet und werden daher beim direkten Vergleich außen vor gelassen.

Die bessere Beurteilung der harten Modifikationen könnte ihre Ursache darin haben, dass die Läufer bei den harten Schuhen die Unterstützung im medialen Rückfußbereich wahrnehmen, den sie von einer Pronationsstütze gewohnt sind.

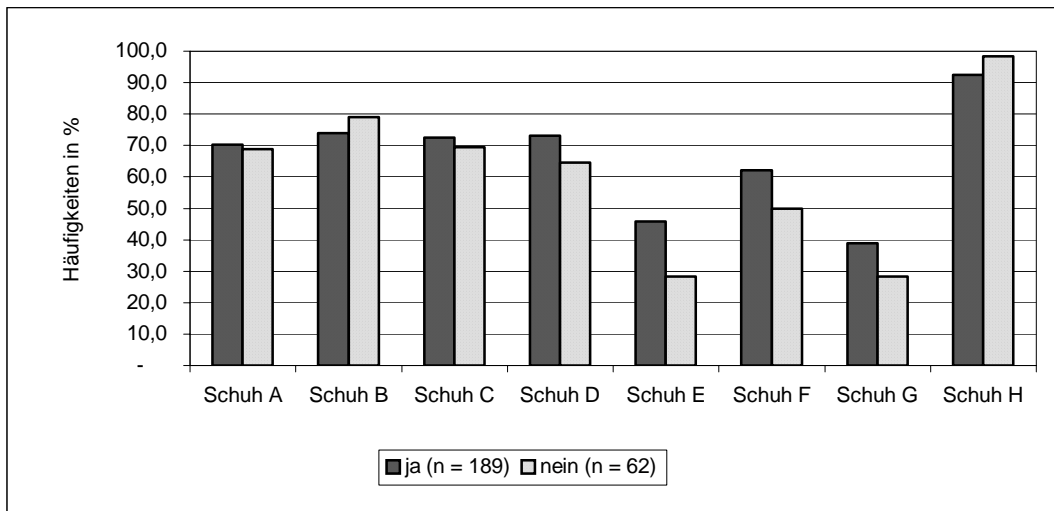


Abb.32 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der Präferenz „Pronationsstütze“

### 3.5.5 Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den kinematischen Daten

Bei der durch die Probanden abgegebenen Bewertung ihres Lauftyps zeigen sich keine klaren Trends (Abb.33).

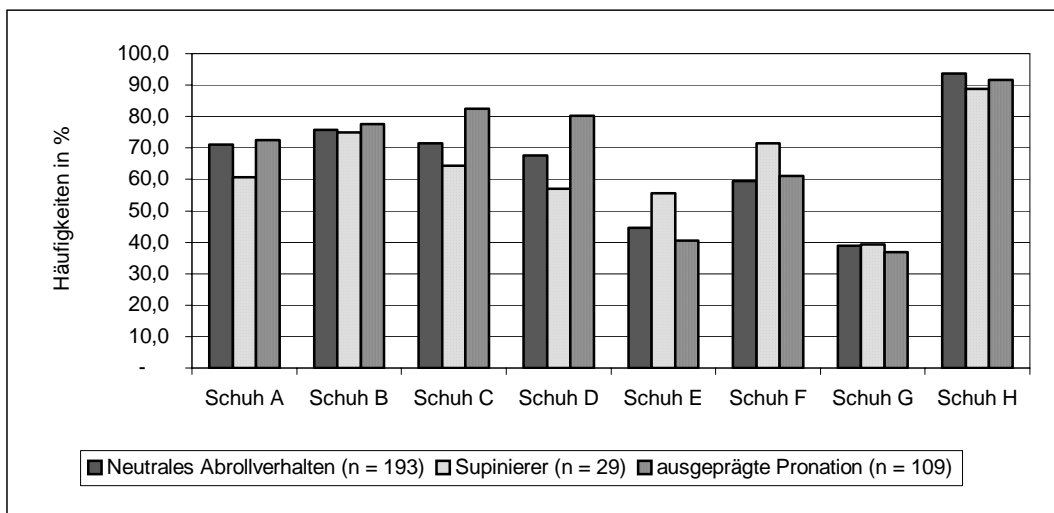


Abb.33 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von dem Läufertyp (Probandenangabe)

Bei der Befragung nach dem selbsteingeschätzten Lauftyp zeigen sich keine klaren Unterschiede. Jedoch ist dabei zu beachten, dass bei der Selbsteinschätzung etwa 30% der Läufer mit der Antwort „weiß nicht“ keine Einschätzung ihres Laufverhaltens abgegeben haben. Bei der Videoanalyse zeigten sich andere Ergebnisse. Nur zwei Probanden erwiesen sich dabei als Läufer mit ausgeprägtem Supinationsverhalten und wurden auf Grund der geringen Anzahl bei der Auswertung der Ergebnisse außen vor gelassen. Bei der Betrachtung der verbleibenden zwei Gruppierungen („Pronierer“ und Läufer mit neutralem Abrollverhalten) lässt sich eine diskret höhere Zustimmung aller Schuhe bei den „Pronierern“ erkennen.

Die Unterteilung der Läufer nach dem selbstangegebenen Strike-Index zeigt keinen Unterschied zwischen den Gruppierungen.

Bezüglich des mittels Videoanalyse ermittelten Strike-Index sind unterschiedliche Beurteilungen bei den harten Schuhen (E-G) zu erkennen. Diese Schuhe werden von den Rückfußläufern eher akzeptiert, wobei zu beachten ist, dass die Gruppierung der „nicht-Rückfußläufer“ mit  $n=20$  sehr klein ist. Bei Betrachtung der einzelnen Kontinente zeigt sich in der europäischen Gruppe der Trend bei E und G, in Nordamerika dagegen bei Schuh F.

Abhängig von der Fußstellung beim Laufen lassen sich keinerlei Unterschiede erkennen.

### **3.5.6 Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den orthopädischen Daten**

Bezüglich der Unterteilung der Probanden nach Versorgung mit einer Einlegesohle ergeben sich keine Unterschiede. Auch der interkontinentale Vergleich zeigt keine Diskrepanzen.

Bezüglich der unterschiedlichen Präferenzen in Abhängigkeit von der Rückenform können keine statistisch abgesicherten Aussagen getroffen werden, da die Gruppen mit nicht-physiologischer Rückenform mit nur elf bis siebzehn Probanden zu klein sind.

Bei der Betrachtung des Kniegelenks wurden die Probanden bezüglich der Achsenstellung in diesem Gelenk unterteilt. Dabei fanden sich nur 12 Probanden mit einer klinischen Valgusfehlstellung von über 5°. Diese unterschieden sich jedoch bei ihrer Beurteilung der Schuhe, da sie alle Modifikationen zu einem niedrigeren Prozentsatz als „gut“ empfanden als die Gruppe mit einer Varusfehlstellung (Abb.34). Die harten Schuhe E, F und G fanden bei letzterer Gruppe auch eine höhere Akzeptanz als bei den Probanden mit neutralem Winkel. Aufgrund der geringen Größe der Gruppen sind diese Ergebnisse jedoch nicht statistisch abgesichert.

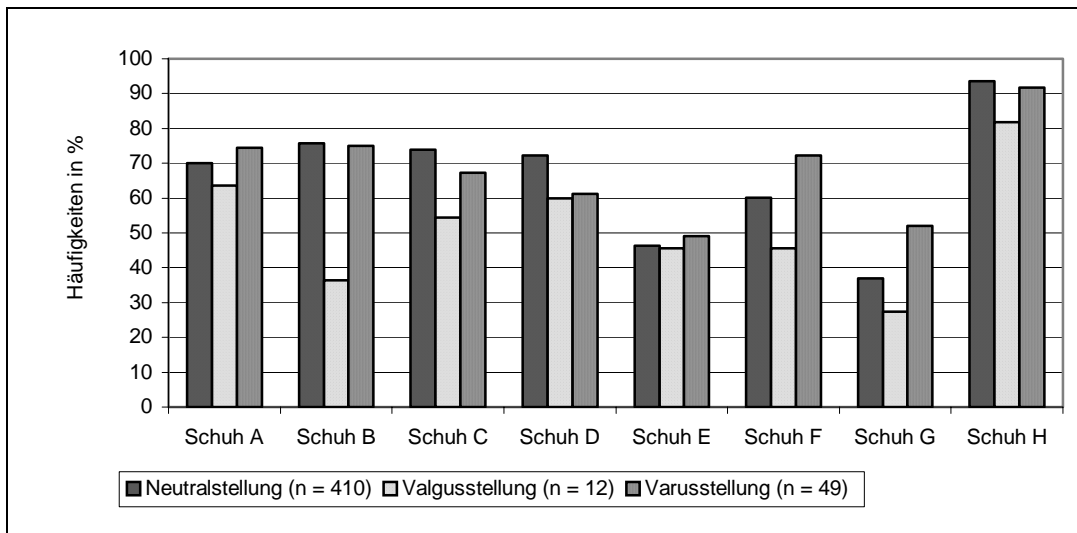


Abb.34 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der Achsenstellung

Bei der Inspektion der Fußform wurde bei 136 Probanden eine ägyptische Fußform diagnostiziert. Diese Probanden empfanden die Schuhe E und G als signifikant besser. Hinsichtlich der restlichen Modifikationen und Fußformen waren keine klaren Trends erkennbar. Dieses Ergebnis stammt nur von der Beurteilung der europäischen Läufer. In Nordamerika zeigen sich keine klaren Trends.

Hinsichtlich der Betrachtung der Probanden bezüglich ihres Längsgewölbes lassen sich keine Unterschiede in der Beurteilung erkennen.

Bei der Unterteilung in Bezug auf Deformitäten im Vorfuß zeigen sich keine Unterschiede. Teilt man jedoch die Deformitäten auf, so stellt sich heraus, dass die 17 Probanden mit einer Hammerzehe die Schuhe D, E und G eher bevorzugen, während Schuh A eher abgelehnt wird (Abb.35). Hinsichtlich einer Unterscheidung von Probanden mit anderen Deformitäten ergeben sich keine Unterschiede bei der Beurteilung. Bei isolierter Betrachtung der nordamerikanischen Probanden erkennt man eine höhere Akzeptanz der Schuhmodelle A bis D bei einer vorhandenen Deformität.

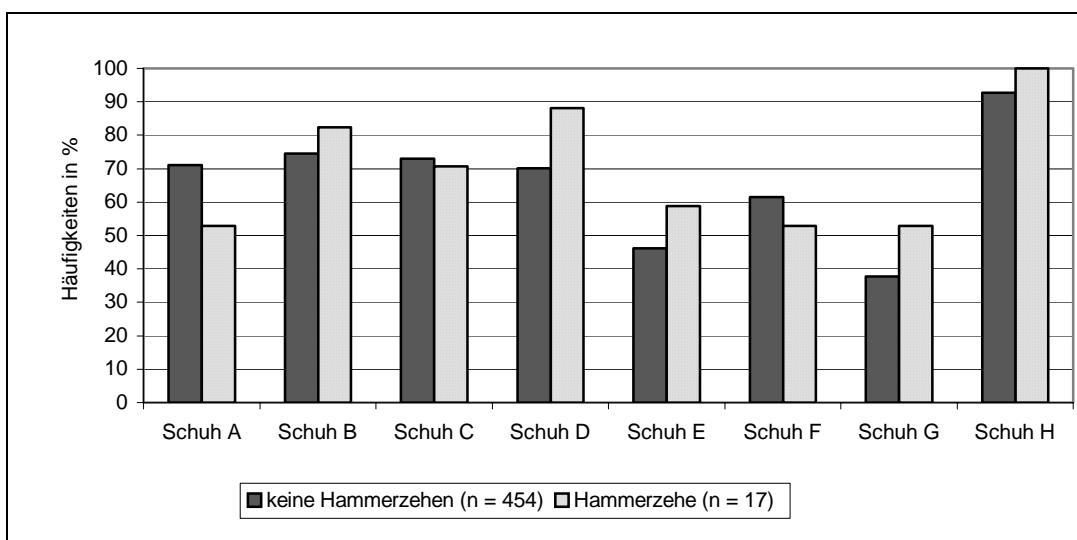


Abb.35 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von Hammerzehen

Die Probanden wurden auch bezüglich ihres Fersenwinkels unterteilt. Dabei fanden sich lediglich elf Läufer mit einem varischen Winkel, der sich jedoch bei allen im Zehenstand spontan wieder aufrichtete. Diese vergleichsweise kleine Gruppe zeigt sehr unterschiedliche Ergebnisse, die jedoch keinen klaren Trend erkennen lassen. Die anderen beiden Gruppierungen weisen keine Unterschiede bei der Beurteilung untereinander auf.

Die Probanden mit einer Instabilität im Sprunggelenk beurteilen die Schuhe genauso wie die Probanden mit stabilen Sprunggelenken.

Eine eingeschränkte Beweglichkeit im 1. Tarsometatarsalgelenk scheint keinen Einfluss auf die Beurteilung der Schuhe zu haben. Lediglich die Schuhe F und G werden von Probanden mit normalem Bewegungsausmaß besser eingeschätzt.

Dagegen scheint eine Bewegungseinschränkung im restlichen Vorfußbereich zur Folge zu haben, dass die Schuhe besser beurteilt werden. Die Unterschiede sind jedoch außer bei den harten Schuhen (E-G) sehr gering (Abb.36). Diese Ergebnisse entstammen einzig der europäischen Läufergruppe, da in Nordamerika keine einheitlichen Ergebnisse erlangt wurden.

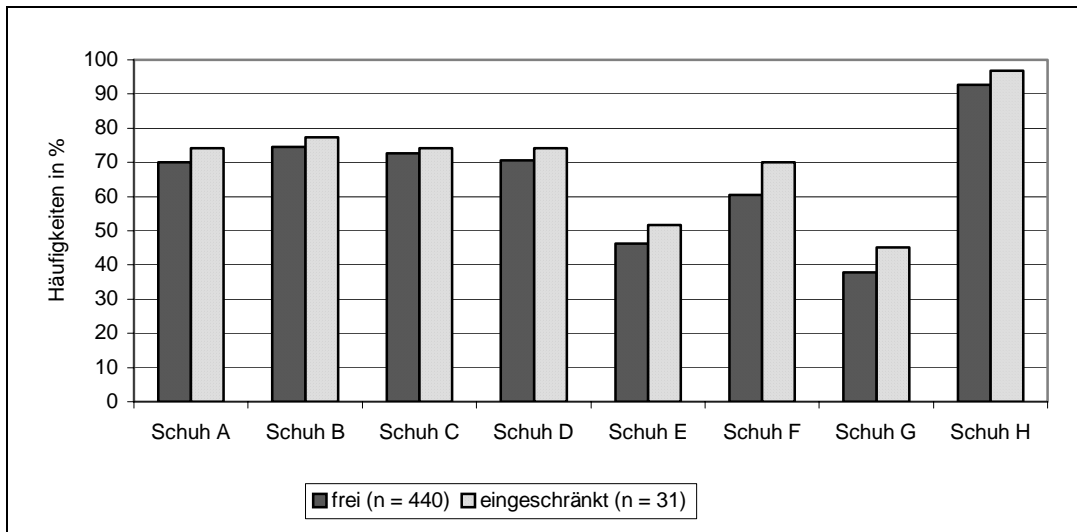


Abb.36 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von einer Bewegungseinschränkung im Vorfuß

### 3.5.7 Subjektive Evaluierung in Abhängigkeit von den fußanthropometrische Daten

Bei der anthropometrischen Bestimmung der Fußform ergaben sich keine Unterschiede bezüglich der Beurteilung innerhalb der Gesamtgruppe. Die nordamerikanischen Probanden zeigen eine erhöhte Zustimmung der weicheren Schuhe, wenn sie eine ägyptische Fußform besitzen. Haben sie eine quadratische Fußform, werden die harten Modifikationen eher bevorzugt (Abb.37). Bei dieser Betrachtung wurde die Gruppe mit griechischer Fußform aufgrund ihrer Größe von nur acht Probanden außen vor gelassen.



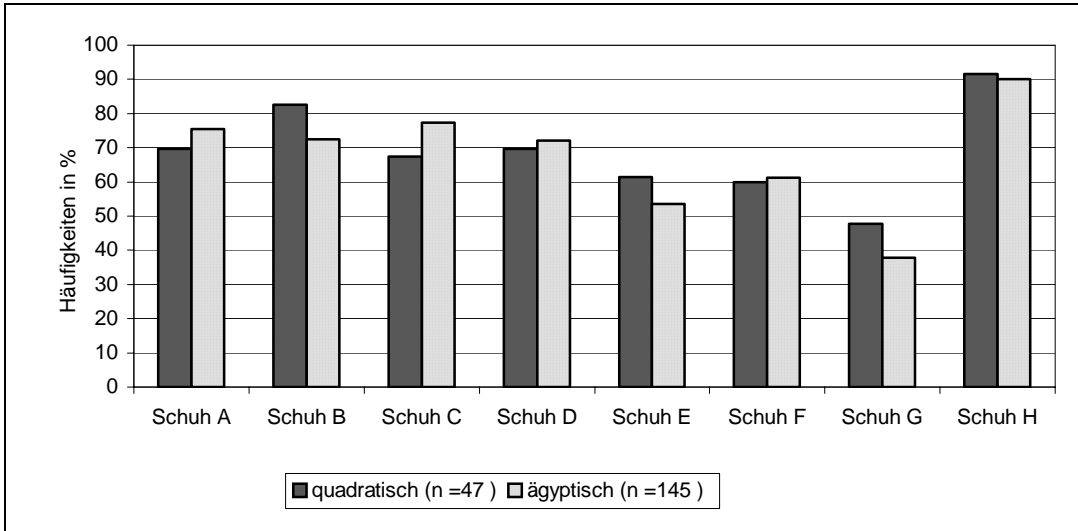


Abb.37 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der anthropometrisch bestimmten Fußform der nordamerikanischen Probandengruppe

Bei der subjektiven Evaluierung der Schuhe nach Metatarsalindex ergeben sich nur innerhalb der nordamerikanischen Läufergruppe Unterschiede. Dort erfahren alle Schuhe bei den Probanden mit einem Index plus-minus eine im Mittel 4.5% bessere Beurteilung.

Unterteilt man die Probanden nach dem Längen-Breiten-Index ihres linken Fußes, so zeigt sich bei den Schuhen A und B eine sinkende Akzeptanz, umso breiter der Fuß im Verhältnis zur Länge wird.

Teilt man die Probanden in drei Gruppen entsprechend der Länge ihrer Füße, so wächst die Zustimmung mit der Gesamtlänge bei allen Schuhmodifikationen (Abb.38).

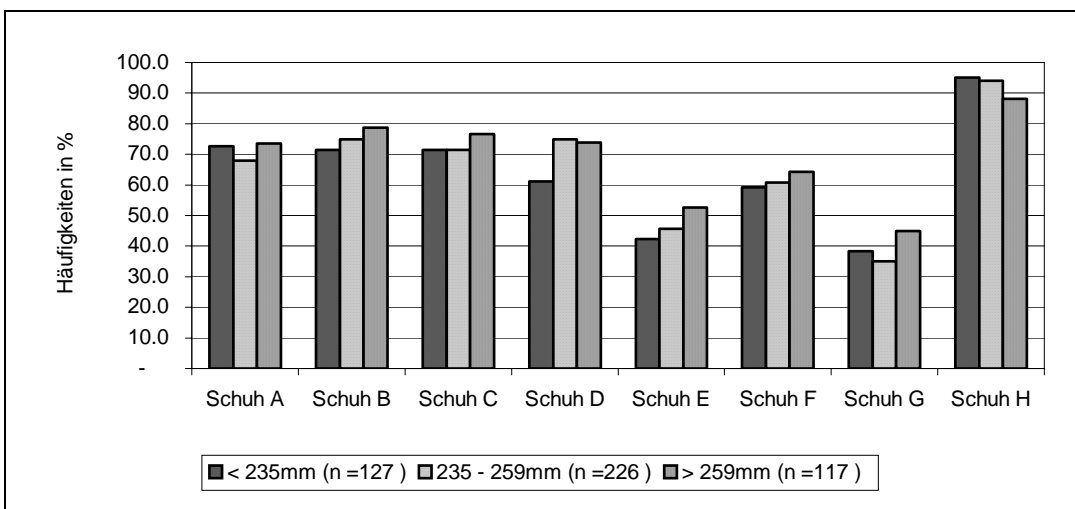


Abb.38 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der Gesamtfußlänge

Bei der subjektiven Evaluierung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit von der Fußlänge bis zu den Metatarsophalangealgelenken ist ein diskreter Anstieg der Zustimmung mit der Länge erkennbar. Da diese Länge mit der Gesamtfußlänge stark korreliert, lehnen sich die Ergebnisse auch stark an die der Gesamtlänge an. Dabei sind sie bei der Messung bis zum 1. MTP am stärksten ausgeprägt, bei der Länge bis zum 2. und 3. MTP weniger deutlich.

Die Probanden wurden auch nach dem Metarsal-Längen-Index eingeteilt. Dabei wurden Messungen bis zum Drehgelenk des 1. – 3. Metatarsalgelenk des linken Fußes herangezogen. Bei dem Vergleich der Gruppierungen zeigt sich eine mit dem Index wachsende Zustimmung der weichen Schuhe (A und C) (Abb.39). Dieses Ergebnis findet sich jedoch nur bei der Länge bis zum 1. und 2. MT-Kopf. Diese Modifikationen deuten auf eine Korrelation hin: Je distaler das Drehzentrum liegt, desto höher die Beliebtheit des Schuhs.

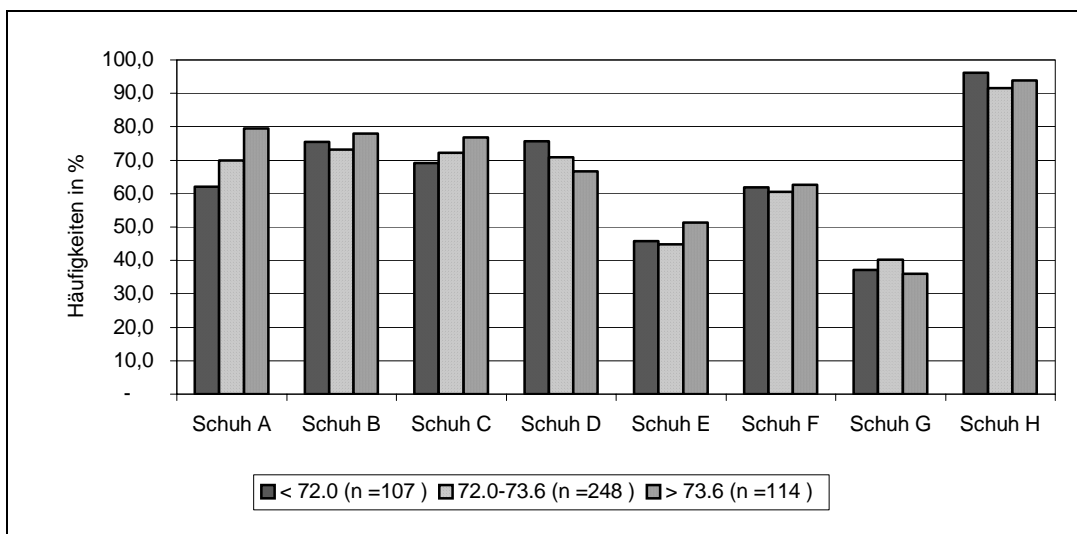


Abb.39 Bewertung des Abrollverhaltens in Abhängigkeit vom 1. Metatarsal-Längen-Index

Bei der Unterscheidung der Probanden nach der Längendifferenz zwischen 1. und 2. MPG zeigt sich kein Unterschied.

Dagegen findet sich bei der Längendifferenz zwischen 2. und 3. MPG eine erhöhte Zustimmung zu fast allen Schuhen, wenn der zweite Metatarsalkopf weit vor dem ersten liegt.

### 3.5.8 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

- Das Abrollverhalten ist ein entscheidendes Kaufmerkmal für Läufer.
- Die Beurteilung des Abrollverhaltens zeigt innerhalb der Gesamtgruppe ähnliche Ergebnisse wie die Vorfußflexibilität.
- Läufer mit einem hohen Trainingsumfang bevorzugen die eher weichen Schuhmodifikationen A bis D.
- Läufer, die angeben, eine Pronationsstütze in ihren Schuhen zu mögen, beurteilten die harten Schuhe besser.
- Die Fußstellung beim Laufen scheint keinen Einfluss auf die Bewertung des Abrollverhaltens zu haben.
- Läufer mit einer ägyptischen Fußform bewerten die harten Schuhe besser.
- Probanden mit der Diagnose Hammerzehe mögen die harten Modifikationen lieber, da sie darin evtl. mehr Unterstützung ihrer Zehen verspüren.
- Läufer mit einer Bewegungseinschränkung im Vorfuß bewerten die harten Schuhe besser. Der Grund dafür könnte die bessere Unterstützung der befallenen Gelenke in den harten Modifikationen sein.
- Der Metatarsalindex eines Läufers scheint keinen Einfluss auf die Evaluierung der Schuhe zu haben.
- Je größer der Metatarsallängenindex ist, also je weiter distal das Drehzentrum, desto besser werden die weichen Schuhe bewertet.

### 3.6 Fußanthropometrische Zusammenhänge

#### 3.6.1 Anthropometrische Dimensionen des Fußes

Die hierfür verwendeten Daten entstammen den im Rahmen der Einführungsuntersuchung durchgeführten Rothballer® Vermessung. Dabei werden absolute Daten wie die Fußlänge und Fußbreite nur für den Vergleich von rechtem und linkem Fuß verwendet. Es zeigt sich, dass der linke Fuß im Mittel um 0,7mm länger und um 0,4mm schmaler ist, was im Rahmen der Messungengenauigkeit liegt und daher zu vernachlässigen ist. Bei der getrennten Betrachtung der weiblichen und der männlichen Läufer zeigen sich keine geschlechtsspezifischen Unterschiede. Für die weiteren Auswertungen wurden diese Maße nicht herangezogen.

Stattdessen werden Daten wie der Metatarsal-Längen-Index (MTL) des ersten und fünften Strahls von beiden Füßen verwendet. Solche Indices sind unabhängig von der Schuhgröße zu bewerten und erlauben somit einen direkteren Vergleich aller Füße. Die Gesamtgruppe zeigt dabei keinen Seitenunterschied zwischen dem linken und rechten Fuß. Bei der getrennten Betrachtung der Geschlechter wird ebenfalls kein signifikanter Unterschied deutlich (Tab. 16).

Tab. 16 Statistische Kennwerte der fußanthropometrischen Daten der Metatarsallängenindices, unterteilt nach dem Geschlecht

	1. MTL-Index rechts			1. MTL-Index links			5. MTL-Index rechts			5. MTL-Index links		
	Total	M	W	Total	M	W	Total	M	W	Total	M	W
x	72,70	72,48	72,91	72,86	72,65	73,05	65,79	65,61	65,96	65,71	65,55	65,86
Sw	6,7	6,4	5,6	7,0	6,3	6,8	8,7	8,5	7,7	9,5	9,2	9,2
Min	69,3	69,3	70,4	69,3	69,9	69,3	60,8	60,8	61,8	61,0	61,3	61,0
Max	76,0	75,7	76,0	76,2	76,2	76,1	69,5	69,4	69,5	70,5	70,5	70,2

Im interkontinentalen Vergleich dagegen finden sich Unterschiede beim jeweils fünften Metatarsal-Längen-Index beider Füße (Tab. 17). Diese liegen bei den europäischen Läufern etwa einen Prozentpunkt höher als in der nordamerikanischen Probandengruppe, was jedoch einen sehr geringen Unterschied darstellt und daher vernachlässigt wird.

Tab. 17 Statistische Kennwerte der fußanthropometrischen Daten der Metatarsallängenindices, unterteilt nach dem Kontinent

	1. MTL-Index rechts			1. MTL-Index links			5. MTL-Index rechts			5. MTL-Index links		
	Total	ME	NA	Total	ME	NA	Total	ME	NA	Total	ME	NA
x	72,70	72,87	72,47	72,86	73,00	72,66	65,79	66,13	65,34	65,71	66,18	65,07
Sw	6,7	5,9	6,2	7,0	6,2	6,6	8,7	8,7	7,3	9,5	8,8	9,1
Min	69,3	70,1	69,3	69,3	70,0	69,3	60,8	60,8	61,8	61,0	61,7	61,0
Max	76,0	76,0	75,5	76,2	76,2	75,9	69,5	69,5	69,1	70,5	70,5	70,1

Vergleicht man die MTL-Indices, unterteilt in die acht getesteten Schuhgrößen, so zeigen sich bei allen Schuhgrößen Mittelwerte innerhalb von 0,4% des Mittelwerts der Gesamtgruppe. Der Bereich, in dem MT-Gelenke liegen, ist also unabhängig von der Schuhgröße (Tab. 18).

Tab. 18 Statistische Kennwerte der fußanthropometrischen Daten der Metatarsallängenindices, unterteilt nach der Schuhgröße

	1. MTL-Index rechts			1. MTL-Index links			5. MTL-Index rechts			5. MTL-Index links		
	Total	Gr.1	Gr.7	Total	Gr.1	Gr.7	Total	Gr.1	Gr.7	Total	Gr.1	Gr.7
x	72,70	73,10	72,40	72,86	73,06	72,57	65,79	66,40	65,34	65,71	66,42	65,20
Sw	6,7	4,3	5,5	7,0	4,4	5,2	8,7	5,0	7,5	9,5	6,5	7,7
Min	69,3	70,4	70,2	69,3	71,1	70,0	60,8	64,1	60,8	61,0	63,7	61,8
Max	76,0	74,7	75,7	76,2	75,5	75,2	69,5	69,1	68,3	70,5	70,1	69,5

### 3.6.2 Bestimmung der Rotationszentren der Metatarsophalangealgelenke

Beim Heranziehen der Messpunkte der Fußscan-Vermessung (Rothballer®) zeigt sich die Lage der Rotationszentren der Metatarsophalangealgelenke mit einer Genauigkeit von  $\pm 2\text{mm}$ . Bei der Eingangsuntersuchung wurde nicht der Gelenkspalt, sondern die Lage des Rotationszentrums markiert. Die Markierung beschreibt die Lage des Rotationszentrums bei planer Lage des Fußes. Bei einer Bewegung verschiebt sich die Lage des Rotationszentrums innerhalb des Gelenkkopfes auf Grund seiner Form [53]. Die Verschiebung der Rotationsachse innerhalb der Gelenkköpfe der Metatarsalknochen ist auf Grund der geringen Größe des Gelenks jedoch unwesentlich und liegt innerhalb der Meßungengenauigkeit.

Die Lage der Rotationszentren (0) ist wichtig, um den Bereich der Flexion im Vorfuß festzulegen (Abb. 40). Die Vorfußflexibilität wiederum ist ein entscheidender Parameter für ein dynamisches Abrollverhalten (Kap. 3.5.1).

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus der anthropometrischen Bestimmung der anatomischen Rotationszentren der Metatarsophalangealgelenke und der mögliche Einfluss ausgewählter Gruppierungsvariablen dargestellt.

Aus Tab. 19 ist zu entnehmen, dass bezüglich der Gesamtpersonenstichprobe der 2.

Metatarsal-Längen-Index (MLI) mit 74,0% am größten ist und somit dieses Rotationszentrum am weitesten vom Pternion entfernt ist. Die anatomischen Rotationszentren des ersten bzw. des dritten Strahls befinden sich mit 72,9% bzw. 71,8% nur ein bzw. zwei Prozentpunkte hinter dem des längsten Strahls. Die anatomischen Rotationszentren des vierten bzw. fünften Strahls liegen mit 68,6% respektive 65,7% deutlich hinter den anderen dreien. Diese Lage ist für spätere Überlegungen hinsichtlich der Flexion von entscheidender Bedeutung.



Abb.40 Röntgenographische Darstellung der anatomischen Rotationszentren der MPG bzw. MLI

Die Analyse der statistischen Kennwerte (Tab. 19) zeigt eine Zunahme der Standardabweichung der anatomischen Rotationszentren vom ersten bis zum fünften Strahl. Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich auch bei der Betrachtung der Spannweite. Besonders deutlich ist dies beim fünften Strahl mit einer Spannweite von 9,5 Prozentpunkten zu erkennen.

Tab. 19 Statistische Kennwerte der Metatarsal-Längen-Indices bez. der Gesamtpersonenstichprobe (Total) und im Zusammenhang mit der Schuhgröße (UK), Datenerhebung am linken Fuß

Metatarsal-Längen-Indices		Schuhgrößen (UK)								
		4.5w (n = 26)	5.5w (n = 57)	6.5w (n=100)	8.5w (n = 61)	6.5m (n = 15)	8.5m (n = 95)	10.5m (n = 81)	12.5m (n = 36)	Total (n=471)
1.	AM	73.1	73.2	73.0	73.0	73.1	72.7	72.6	72.6	<b>72.9</b>
	s	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.0	1.1	1.5	1.2
	MLI SW	4.4	5.4	6.7	4.8	4.3	5.9	5.2	6.3	7.0
	[%] Min	71.1	70.7	69.3	70.8	70.9	70.0	70.0	69.9	69.3
	Max	75.5	76.1	76.0	75.5	75.2	75.9	75.2	76.2	76.2
2.	AM	74.6	74.4	74.3	74.1	74.2	73.9	73.6	73.4	<b>74.0</b>
	s	1.1	1.3	1.3	1.4	1.7	1.1	1.3	1.6	1.3
	MLI SW	4.5	5.3	6.0	7.7	5.4	7.1	6.4	6.9	7.9
	[%] Min	72.4	72.2	70.9	70.0	71.9	70.0	69.9	70.9	69.9
	Max	77.0	77.4	76.8	77.7	77.4	77.1	76.3	77.8	77.8
3.	AM	72.3	72.0	71.8	71.7	72.0	71.5	72.3	72.0	<b>71.8</b>
	s	1.2	1.3	1.3	1.5	1.4	1.3	1.4	1.7	1.4
	MLI SW	4.4	5.5	5.6	7.5	4.7	7.6	6.0	6.7	8.5
	[%] Min	70.2	69.4	68.9	68.1	70.5	67.1	68.3	68.8	67.1
	Max	74.7	74.9	74.5	75.5	75.2	74.7	74.3	75.5	75.5
4.	AM	69.3	68.9	68.9	68.6	69.2	68.5	68.2	68.4	<b>68.6</b>
	s	1.4	1.3	1.5	1.6	1.4	1.3	1.3	1.7	1.4
	MLI SW	5.4	5.9	6.3	7.0	5.9	7.1	6.3	6.8	8.9
	[%] Min	67.0	65.5	65.7	65.2	67.2	64.2	65.3	65.6	64.2
	Max	72.4	71.4	72.0	72.2	73.1	71.3	71.5	72.4	73.1
5.	AM	66.4	65.8	65.9	65.6	66.3	65.6	65.2	65.8	<b>65.7</b>
	s	1.7	1.5	1.6	1.7	1.6	1.6	1.5	1.9	1.6
	MLI SW	6.5	6.4	8.8	8.9	5.6	7.7	7.7	8.3	9.5
	[%] Min	63.7	61.7	61.0	61.3	63.9	61.3	61.8	61.6	61.0
	Max	70.1	68.1	69.9	70.2	70.5	69.0	69.5	69.9	70.5

Werden die Absolutdaten (mm) hinsichtlich der Standardabweichung und der Spannweite betrachtet, so zeigt sich bei allen anatomischen Rotationszentren eine konstante Standardabweichung von 6mm und eine Spannweite von 26mm (Anhang). Lediglich das 5. Metatarsophalangealgelenk zeigt mit 27mm eine etwas höhere Varianz gegenüber den ersten vier.

Zusammenfassend lässt die Betrachtung aller Daten darauf schließen, dass bei der Laufschuhkonstruktion wohl eher von Flexionszonen anstatt von Flexionslinien gesprochen werden kann. Dies ist notwendig, um der Varianz der fußanthropometrischen Dimensionen Rechnung zu tragen.

Bei der detaillierten Betrachtung der fußanthropometrischen Daten hinsichtlich ausgewählter Gruppierungsvariablen zeigen sich bezüglich folgender Variablen keine Unterschiede.

- Geschlecht
- Geographische Herkunft
- Schuhgröße
- Körpergröße
- Körpergewicht
- Körper-Fußlängen-Index
- Längen-Breiten-Fußindex
- Metatarsalindex
- Anthropometrische Fußform
- Anthropologische Gesamtlänge des Fußes

Alle Unterschiede die bezüglich dieser Gruppierungsvariablen erkannt wurden, waren mit unter 1,0% vernachlässigbar. Aufgrund der „Homogenität“ der Metatarsal-Längen-Indices bezüglich dieser Gruppierungsvariablen kann auf eine Gradierung hinsichtlich der Lage der Flexionszonen verzichtet werden.



### 3.6.3 Bestimmung der Flexionszonen im Zusammenhang mit der Laufschuhkonstruktion

Bei der Bestimmung der Flexionszonen im Zusammenhang mit der Laufschuhkonstruktion ist generell der Einfluss der Zwischen- und Außensohlendicke zu berücksichtigen (Abb. 41). Die Vorfußsohlendicke der verwendeten Testschuhe zeigt ein homogenes Muster. Daher kann für die folgenden

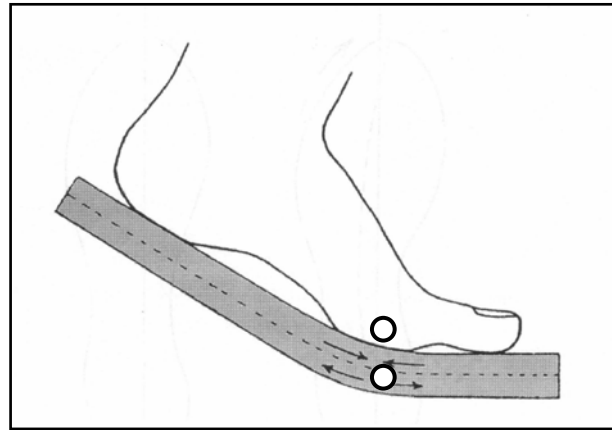


Abb.41 Einfluß der Vorfußsohlendicke auf die Bestimmung der Schuhflexionszentren bzw. flexionszonen

Betrachtungen von einer durchschnittlichen Sohlendicke von 16mm ausgegangen werden. Bei dieser Dicke liegen die Schuhflexionszentren ca. 8mm hinter den anatomischen Rotationszentren. Dies beträgt, umgerechnet auf die Metatarsal-Längen-Indices, etwa 4,0%. Daher müssen von den einzelnen Indices jeweils 4,0% subtrahiert werden, um den Einfluss der Vorfußsohlendicke Rechnung zu tragen. Diese Überlegungen werden in den Ausführungen zur Bestimmung der Flexionszonen in die Diskussion mit einbezogen.

## 3.7 Ergebnisse der statistischen Verfahren

### 3.7.1 Faktorenanalyse

In dieser Studie wurden 101 Variablen in die Faktorenanalyse miteinbezogen. Die 39 objektiv bestimmten Variablen entstammten den Bereichen Anthropometrie, Trainingsgestaltung, Kinematik, Orthopädie und Fußanthropometrie. Die 62 subjektiv erhobenen Variablen setzten sich aus der Bewertung der Testschuhe, den Probandenangaben zu Läufer- und Strike-

Index sowie der Ausprägung der ausgewählten Kaufmerkmale zusammen. Durch die Zusammenführung dieser Variablen sollte die Frage beantwortet werden, ob die subjektive Evaluierung der Testschuhe mit den objektiv bestimmten Variablen des Athleten korreliert.

Die Faktorenanalyse der Gesamtstichprobe ( $n = 471$ ) ergab 33 Hauptfaktoren mit einem Eigenwert über 1 (Kaiser – Guttman – Kriterium [19], [30]). Häufig ist die Zahl der wirklich bedeutsamen Faktoren jedoch noch wesentlich kleiner [6]. Eine weitere Möglichkeit, die bedeutsamen Faktoren herauszuarbeiten, liefert ein Diagramm, das die Eigenwerte der Größe nach als Funktion ihrer Rangnummern darstellt. Nach dem „Scree-Test“ von Cattell können diejenigen Faktoren als bedeutsam betrachtet werden, deren Eigenwerte vor dem Knick der Kurve in Richtung asymptotische Annäherung an die x-Achse liegen [10]. Der Scree – Test der vorliegenden Untersuchung zeigt den ersten Knick in Richtung Asymptote bei dem 15. Faktor (Abb.42), was auf eine sinnvolle Verwendbarkeit der ersten 15 Faktoren hindeutet. Mindestens eine Faktorladung der Hauptkomponenten 1 bis 15 lag über 0.6.

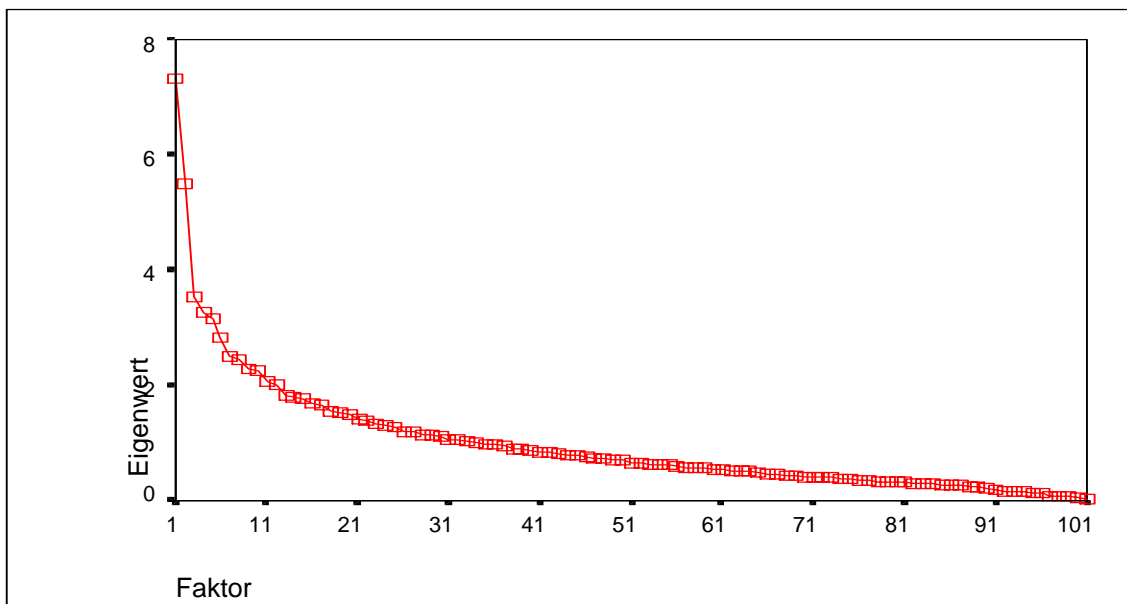


Abb.42 Eigenwertdiagramm zur Durchführung des Scree – Tests der 101 Variablen

Leider erklären diese 15 Hauptfaktoren nur 44.2% der Gesamtvarianz der 101 verwendeten Variablen, wobei der erste Hauptfaktor innerhalb dieses rotierten Lösungsansatzes 7.2% der Gesamtvarianz repräsentiert. Diese Tatsachen deutet schon auf ein wesentlich komplexeres Wahrnehmungs- und Entscheidungskonstrukt bez. des Athleten hin, welches sich mit den in dieser Studie bestimmten Variablen nicht suffizient erklären bzw. interpretieren lässt.

Von den 15 Hauptfaktoren sind für die im Rahmen dieser Arbeit angesprochenen Kontexte lediglich acht von Bedeutung und werden im Folgenden erläutert.

Die stärksten Korrelationen zeigen sich bei der „Metatarsal-Längen-Komponente“, bei der die MTL-Indices untereinander Faktorenladungen von über 0,80 aufweisen.

Des Weiteren zeigt sich bei den funktionellen Sportschuhparametern des Testschuhs D Zusammenhänge. Dabei stehen Vorfußflexibilität mit 0,78 und Abrollverhalten mit 0,76 im Vordergrund, gefolgt von Vorfußdämpfung (0,69), Torsionseigenschaften (0,59) und Rückfußdämpfung (0,39).

Die gleichen Zusammenhänge können auch für die anderen Testschuhmodifikationen gezeigt werden, wobei sie bei den Schuhen D, A und E am deutlichsten sind.

Die 8. Hauptkomponente wird durch die anthropometrische Bestimmung der Fußform (-0.46) und des Metatarsalindex (0.88) charakterisiert. Zudem lädt der zweite (0.31) und der dritte Metatarsal-Längen-Index (0.35) sowie die Differenz der Länge bis zum 2. MPG minus der Länge bis zum 1. MPG (0.91). Dies ist insofern sinnig, da der Metatarsalindex aus diesen Größen bestimmt wird.

Es konnten keine bedeutsamen Unterschiede hinsichtlich der geschlechtsspezifischen und der geographischen Differenzierung festgestellt werden.

Dennoch können folgende wichtige Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Faktorenanalyse abgeleitet werden:

1. Die Personenstichprobe ist in der Lage, zwischen den einzelnen Testschuhmodifikationen Unterschiede wahrzunehmen und diese differenziert zu evaluieren.
2. Die Personenstichprobe ist weitgehend nicht in der Lage, die funktionellen Sportschuhparameter isoliert bzw. unabhängig voneinander wahrzunehmen, sondern nur als ganzheitliches Konstrukt im Kontext von „weich, moderat und hart“.
3. Die Evaluierung der funktionellen Sportschuhparameter basiert wahrscheinlich ausschließlich auf der Materialhärte respektive Dichte im Kontext von „weich, moderat und hart“.

### **3.7.2 Clusteranalyse**

Im Bezug auf die Clusterzentrenanalyse muss darauf hingewiesen werden, dass es aufgrund der dichotomisierten Variablenkodierung bez. der subjektiven Evaluierung der Testschuhmodifikationen und der dichotomen Ausprägung des Geschlechts sowie der interkontinentalen Differenzierung nicht immer zu einer eindeutigen statistischen Gruppenabgrenzung kommt. Zudem wurden die Variablen Körpergewicht, Körpergröße, BMI und anthropologische Gesamtlänge (Fuß) als Gruppierungsvariablen und nicht als intervallskalierte bzw. verhältnisskalierte Daten in die Berechnung der Clusterzentrenanalyse einbezogen. Dies hat eine Reduzierung der „Trennschärfe“ bez. der Gruppenabgrenzung zur Folge. In diesem Zusammenhang sind die Ergebnisse der vorliegenden Clusterzentrenanalyse nicht als absolute Resultate, sondern vielmehr als Indizien bez. einer Gruppenbildung zu verstehen bzw. zu interpretieren.

Als sinnigstes wurde das 4-Gruppen-Modell angesehen und im Folgenden vorgestellt. Dabei bestand die vierte Gruppe primär aus Läuferinnen aus Amerika, die eine generelle Akzeptanz aller sieben Testschuhmodifikationen zeigten. Auf Grund dieser „Gleichgültigkeit“, hinsichtlich der Ausprägung

selektierter Kaufmerkmale, wurde eine Reduktion auf ein 3-Gruppen-Modell durchgeführt. Dadurch wird die Gruppenbildung bezüglich der Gradierung funktioneller Sportschuhparameter deutlicher.

Dabei besteht Gruppe 1 aus primär mitteleuropäischen Läuferinnen, mit eher „größeren anthropometrischen Merkmalen“ (Körpergröße, Körpergewicht, anthropometrische Gesamtlänge des Fußes), welche auch steifere Schuhmodifikationen (Testschuh E und G) akzeptieren.

Die Athleten der Gruppe 2 zeigen eine ähnliche anthropometrische Charakteristik, sind jedoch ausschließlich durch ihre Akzeptanz von moderaten und eher flexiblen Eigenschaften bei der subjektiven Evaluierung der Testschuhe gekennzeichnet.

Die dritte Gruppe besteht aus Läuferinnen mit kleineren anthropometrischen Merkmalen, welche auch ausschließlich durch die Akzeptanz von moderaten und flexiblen Eigenschaften der Testschuhe gekennzeichnet sind.

Zu den Gruppen 1 und 2 gehören nur sehr wenige Läufer aus Nordamerika. Dies ist dadurch zu erklären, dass Läufer aus Nordamerika grundsätzlich eher an flexibleren Schuhen interessiert sind. Dies hat sich auch schon in den nicht-parametrischen Testverfahren gezeigt.

Darüber hinaus zeigen die Resultate der Clusterzentrenanalyse, dass generell die eher steifen Testschuhmodifikationen E und G hinsichtlich der funktionellen Modifikationen eher selten akzeptiert wurden. Dies deutet im Zusammenhang mit entsprechenden Gradierungsvorschlägen darauf hin, dass die Materialhärte hierbei zu hart gewählt wurde.

## 4 Diskussion

### 4.1 Vorfußflexibilität

#### 4.1.1 Vergleich mit bisherigen Studien

Die meisten Studien zu verschiedenen Sportschuhparametern befassen sich ausschließlich mit Dämpfung oder Stabilität. Zur Vorfußflexibilität hingegen wurden in der Vergangenheit kaum Untersuchungen durchgeführt, da ihr bisher keine große Bedeutung beigemessen wurde. Inzwischen wird jedoch ein enger Zusammenhang zwischen der Vorfußflexibilität und dem Schuhkomfort gesehen [50].

Bei den im Rahmen der Functional Grading Studie durchgeführten Evaluierungen fanden sich bezüglich der Vorfußflexibilität ähnliche Ergebnisse, wie sie schon bei den anderen Parametern wie z.B. der Torsionsfähigkeit vorliegen [17]. Danach zeigen die weichen Testschuhmodifikationen (A und C) die höchste Akzeptanz. Die Schuhe mit moderater Härte (B, D und F) liegen etwas niedriger in der Zustimmung. Deutlich geringer werden dagegen die harten Schuhe (E und G) akzeptiert, deren Flexionseigenschaften als zu steif empfunden werden. Da die Schuhe, die eine vergleichbare Beurteilung erhalten, die gleiche Materialhärte im Vorfußsegment besitzen, kann davon ausgegangen werden, dass die Flexibilität im Vorfuß lediglich über die Härte dieses Segments beurteilt wird und der Mittelfuß dabei kaum eine Rolle spielt.

CAVANAGH weist in seiner Studie darauf hin, dass die Zwischensohle sowohl zu flexibel wie auch zu steif gefertigt sein kann [11]. Dabei gibt er keine konkreten Vorstellungen über die Härte an, sondern fordert weitere Studien, um einen Idealbereich der Sohlenhärte zu ermitteln. Eine Versteifung der Sohle im Vorfußbereich fand vor einigen Jahren im Sprintsport Einzug, doch diente dies nur einer Leistungssteigerung über kurze Strecken und ist für lange Strecken durch die enormen Komforteinbußen ungeeignet [37].

Der genaue biomechanische Ablauf der Vorfußflexion beim Abstoßen war lange Zeit unklar. BOJSEN-MOLLER sprach 1979 noch von einer Rotation um eine Achse, die lediglich durch die Metatarsophalangealgelenke eins und zwei führe. Die weiteren Metatarsalia seien nur im Stand belastet und würden beim Anheben der Ferse sukzessiv entlastet [4]. Durch diesen Mechanismus entsteht eine hohe Biegebelastung im zweiten Metatarsalknochen, dessen Kopf am weitesten distal steht. Diese Vermutung wird bereits 1987 durch FREDERICK geäußert. Er macht das zum Abbiegen eines Laufschuhs im Vorfußbereich erforderliche zusätzliche Drehmoment zu einem Hauptauslöser für Überlastungsschäden an Muskulatur und Knochen [16]. Er empfiehlt für eine Verbesserung dieser Situation eine möglichst flexible, dünne Sohle im Vorfußbereich. In seinen weiteren Ausführungen regt er erstmalig die Idee von Flexionslinien im Vorfußbereich an.

ZOLLINGER und JAKOB sind der Meinung, dass beim normalen Gang die Rotationsachse der Vorfußflexion durch die ersten drei Metatarsalköpfe geht [24]. Bei der Betrachtung dieser Rotationsachse fällt auf, dass der zweite Metatarsalkopf etwas distal der Achse liegt. Das könnte erklären, warum bei der Flexion unter diesem Bereich ein hoher Biegedruck entsteht, den der Knochen ertragen muss und Stressfrakturen kein seltenes Krankheitsbild darstellen.

Der Vorfuß wird in der zweiten Hälfte der Standphase mit dem gesamten Körpergewicht belastet, und muss es anschließend auch noch gegen die Schwerkraft beschleunigen um den Körper vorwärts zu treiben [5]. Dies ist eine immense Belastung, die bei wiederholtem Auftreten natürlicherweise zu Abnutzungen bzw. Verletzungen führt. Bei Läufern wird der Vorfuß noch dazu zur Dämpfung benutzt.

KÄLIN beschreibt eine Flexion um zwei, zueinander schräg verlaufende Achsen. Eine Achse verläuft durch die Metatarsophalangealgelenke eins bis drei. Durch den dritten bis fünften Strahl läuft eine weitere schräge Flexionslinie mit 37 Grad zur Transversalachse [31]. Laut Kälin's Ausführungen sind beide dieser Achsen für den „push-off“ von elementarer Bedeutung, wobei dem äußeren Teil der schrägen Flexionslinie dabei lediglich eine Bedeutung beim „lateralen push-off“ zukommt.

Die Idee Kälins, einen härteren medialen Vorfußbereich zu applizieren, wird von adidas® aufgegriffen [1]. Dabei werden zwar die Vorzüge eines flexiblen Vorfußes detailliert geschildert, doch wurden dabei evtl. auftretende negative Einflüsse auf die Vorfußflexibilität nicht bedacht. Daher ist diese Applikation mit Vorsicht anzuwenden.

Das „Functional Zones Projekt“ unter der Leitung von COLE hat des Fußskelett in 9 Teile eingeteilt, um die funktionellen Aspekte während des Laufens näher zu erörtern. Dabei wurden einige Aspekte aufgedeckt, die das Verständnis erleichtern. So zeigte sich eine gewisse Beweglichkeit zwischen Os naviculare, Os cuboideum und den drei Os cuneiforme. Dadurch wird ein besserer Bodenkontakt aller Metatarsalköpfe, auch auf unebenem Boden möglich. Bei der Betrachtung der „push-off“ Phase beschrieb man in Anlehnung an Bojse-Möller eine hohe Belastung der ersten beiden Metatarsalköpfe, wobei die finale Last in den meisten Fällen auf dem Endphalanx des ersten Strahls liegt. Auch zeigt sich bei einem direkten Vergleich mit barfuss laufenden Probanden eine Tendenz der Lafschuhe, die Flexion im Vorfuß zu unterbinden, was jedoch auch positive Effekte besitzen kann. Während der „push-off“ Phase entwickelt sich zwischen Vorfuß und Rückfuß eine gewisse Rigidität, die den Hebeleffekt verbessert und damit eine höhere Beschleunigung ermöglicht [12].

#### **4.1.2 Ausblick - basierend auf den Messungen**

Die bereits 1996 ausgeführten Überlegungen Kälins, die Zwischensohle entsprechend der Schuhgröße variabel zu gestalten, lieferten die Grundidee für die vorliegende Studie. Wie in Kapitel 3.4 ausgeführt, hängt die bevorzugte Härte im Vorfuß von verschiedenen Faktoren ab. Es hat sich gezeigt, dass ein Grossteil der Probanden tatsächlich eine flexiblere Sohle im Vorfuß bevorzugt. Eine steife Sohle im Vorfußbereich scheint eine Behinderung beim „push-off“ darzustellen, die von den Läufern als unangenehm empfunden wird.



Die Probanden des nordamerikanischen Kontinents bevorzugten die weichen Schuhe noch stärker und lehnen die steifen Modifikationen mit dem Kommentar „zu steif“ ab. Diese interkontinentale Diskrepanz kann viele Ursachen haben. Eine mögliche Erklärung wäre der unterschiedliche Untergrund beim Laufen. Aber auch die andere „Idealvorstellung“ eines Sportschuhs bei nordamerikanischen Läufern, die im Ganzen als „sloppy-fit“ bezeichnet wird, könnte eine Rolle spielen. Zu diesem Gesamtbild eines eher locker passenden, komfortablen Schuhs gehört auch eine weiche, flexible Sohle.

Auch war auffällig, dass Läufer mit einem hohen wöchentlichen Trainingspensum eine noch stärkere Akzeptanz der flexiblen Sohle zeigten. Dies mag zum einen an der besseren Abfederung des Drucks unter dem zweiten Metatarsal liegen, weil dieser über die Rotationsachse hinausstehende Metatarsalkopf besser in die Sohle einsinken kann. Zum anderen könnte es aber auch einfach daran liegen, dass diese Läufer über die größte Laufsporterfahrung verfügen und daher genau wissen, was sie wollen.

Läufer die nach eigenen Angaben vor der Studie eher flexible Schuhe im Vorfuß präferierten, ziehen diese auch im Test vor. Doch sind die Unterschiede zu Läufern, die auf hohe Flexibilität keinen großen Wert legen, sehr gering und statistisch nicht signifikant. Ein Grund für diese sehr geringe Differenz in der Beurteilung können die nicht genügend stark ausgeprägten Unterschiede in der Materialhärte sein.

Die steifen Testschuhe werden vor allem durch Läuferinnen mit einem sehr kurzen Fuß abgelehnt. Die vorliegenden Daten unterstützen Kälins Aussage, dass „Schuhe in den sehr kleinen Größen sehr steif werden“ und dass dies durch eine „funktionelle Gradierung“ ausgeglichen werden sollte. Unter diesem Gesichtspunkt erscheint auch eine unterschiedliche Betrachtung von Frauen- und Männerschuhen sinnvoll. Frauen haben aufgrund der geringeren Schuhgröße auch ungünstigere Hebelverhältnisse. Dieser kürzere Hebel erschwert die Flexion und benötigt daher einen niedrigen Widerstand des Schuhs bei der Flexion. Das kann nur durch einen weichen Vorfuß erreicht werden.

## 4.2 Abrollverhalten

### 4.2.1 Vergleich mit bisherigen Studien

Eng mit der Vorfußflexibilität verbunden ist das Abrollverhalten. Doch ist Abrollverhalten kein wissenschaftlich exakter Begriff. Vielmehr ist er ein Begriff, den die Sportschuhindustrie benutzt, um die Bewegung des Fußes mit dem Schuh während des Bodenkontakts zu beschreiben. FISHPOOL benutzt den Begriff „responsive“, um die Fähigkeit eines Schuhs zu beschreiben, die natürliche Bewegung des Fußes zu unterstützen, so wie es auch vom Abrollverhalten gefordert wird [15].

Laut WALTHER ist das Abrollverhalten ein Parameter, der zu einem großen Anteil durch die Vorfußflexibilität beeinflusst wird [51]. Das zeigt sich auch durch die annähernd identischen Beurteilungen der Vorfußflexibilität und des Abrollverhaltens eines jeden in dieser Studie verwendeten Laufschuhs.

Zwar gibt es keine Studien, die sich direkt mit dem Begriff Abrollverhalten beschäftigen, jedoch finden sich einige Aspekte hinsichtlich der Gesamtbeschaffenheit der Zwischensohle bei einem Laufschuh, die auch für das Abrollverhalten gelten. Es stellt sich die Frage, in wie weit Läufer Abrollverhalten und Vorfußflexibilität getrennt voneinander bewerten können? MILANI schrieb 1997 *„Laufschuhtests haben gezeigt, dass Läufer, die subjektiv Eigenschaften von Schuhen mit unterschiedlichen Konstruktionsmerkmalen einschätzen sollen, die Kriterien eines Schuhs, die sie nicht bewerten können, aufgrund ihres Gesamteindrucks beurteilen.“* [40] Starke Korrelationen zwischen den einzelnen, funktionellen Parametern deuten darauf hin, dass dies auch für die „Functional Grading“ Studie zutrifft. Daher können Studien, die sich mit einzelnen Parametern zur Zwischensohlenbeschaffenheit beschäftigen, zum Teil auch auf die Vorlieben von Läufern bezüglich des Abrollverhaltens bezogen werden.

In der Studie von BAYCROFT und CULP findet sich die Meinung, eine weiche Sohle fördere Verletzungen, da die Rezeptoren im Fuß, die für die Reflexe zuständig sind, nur auf Stoß reagieren. Diese Signale werden durch eine weiche Sohle vermindert, so dass die Rezeptoren nicht schnell genug auf eine

Lageänderung des Fußes reagieren können. [2] Die im Rahmen der Functional Grading Studie beobachteten Verletzungsmuster konnten diese Hypothese jedoch nicht bestätigen [45]! Auch COLE findet in seinen Messungen keinen Zusammenhang zwischen der Sohlenhärte und der Verletzungshäufigkeit [13]. Eine etwas genauere Vorstellung dazu, was einen guten Laufschuh ausmacht, hat NIGG veröffentlicht. [43] Danach sollte ein Laufschuh Support bieten, die physiologische Bewegungsfreiheit des Fußes ermöglichen, aber Schutz vor unphysiologischen Bewegungen bieten und damit die Verletzungshäufigkeit herabsetzen. Damit stehen die Grundideen, deren Umsetzung im Folgenden erläutert wird.

#### **4.2.2 Ausblick, basierend auf den erhobenen Daten**

Als Grundlage für die Bestimmung des Abrollverhaltens dient die in der Begriffsbestimmung enthaltene Aussage, die den Probanden das Abrollverhalten als „die Fähigkeit eines Schuhs, eine geschmeidige Bewegung vom Fersenaufsatz bis zum Zehenabstoß zu bieten“, beschreibt. Dabei sollte das Abrollverhalten „dynamisch sein und die natürliche Bewegung des Fußes unterstützen“ (siehe Anhang). Allein diese Aussagen machen deutlich, dass es sich hierbei um keinen isolierten Parameter handelt. Vielmehr unterstützen insbesondere die Ergebnisse der Faktorenanalyse ein mehrdimensionales Verständnis des Begriffs „Abrollverhalten“. Eine starke Korrelation zeigte sich dabei vor allem mit der Vorfußflexibilität. Das bedeutet, dass die funktionellen Parameter eines Laufschuhs nicht differenziert, sondern allgemein über einen „Gesamteindruck“ beurteilt werden. Das Abrollverhalten scheint diesem „funktionellen Gesamteindruck“ in etwa zu entsprechen, da er viele der dazugehörigen Sportschuhparameter in sich vereint.

In der Beurteilung des Abrollverhaltens zeigen sich am deutlichsten die Unterschiede zwischen den einzelnen Modifikationen, denn es wurden auch Schuhe verschieden beurteilt, die sich lediglich in einem Segment unterscheiden. Dabei bevorzugen die Läufer die eher weicheren Schuhe. Unter der Annahme, dass ein weicher Schuh das natürliche Abrollverhalten des

Fußes optimal unterstützt und der Fußbewegung nicht durch die eigene Festigkeit entgegen wirkt, erscheint dies verständlich. Diese Beobachtung unterstützt die Hypothese Kälins, dass steife Zwischensohlen beim Abrollen eine große Hebelwirkung entfalten können. Dieser Hebeleffekt ist nicht nur unangenehm für die Läufer, sondern kann bei einer Dauerbelastung zu Verletzungen an der Sehne des Musculus tibialis posterior führen [12]. Daher sollte die Sohle eines Schuhs Idealerweise so weich wie möglich sein, ohne dabei die Aufgabe des Schuhs, einen mechanischen Schutz für den Fuß zu gewährleisten, zu verlieren und ohne dabei zu einer Bewegungseinschränkung zu führen [4].

Bei zu weichen Schuhen bzw. einem zu hohen Körpergewicht steigt das Risiko, dass durch das „Durchtreten“ vermehrt Verletzungen an der Achillessehne auftreten [44].

Aus diesen Gründen ist es sinnvoll, das Abrollverhalten schuhgrößenabhängig in zwei Gruppen zu gradieren. Dies findet unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Materialstudie (Kap. 3.1) und der subjektiven Evaluierung der Vorfußflexibilität (Kap. 3.4) statt. Die erste Läufergruppe umfasst die Schuhgrößen 3.5UK bis 6.0UK. Diese Gruppe ist durch kürzere Füße und dementsprechend kleinerem Hebelweg bei der Vorfußflexion gekennzeichnet. Laufschuhe innerhalb dieser Schuhgrößen sollten daher eher flexiblere Eigenschaften aufweisen. Die zweite Gruppe umfasst alle Läufer ab Schuhgröße 6.5UK. Auch in dieser Gruppe sollten die Flexionseigenschaften nicht zu steif gewählt werden, obgleich sie deutlich steifer als die Schuhe für die erste Gruppe ausfallen sollten (Abb.43).

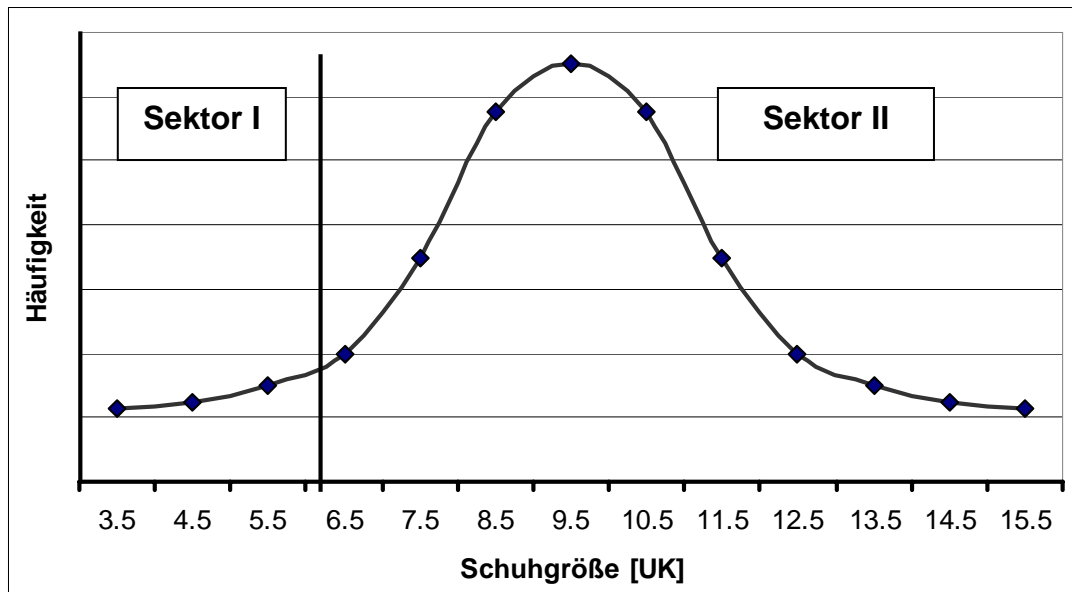


Abb.43 Vorgeschlagene Gradierungssektoren bezüglich der Vorfußflexion basierend auf der Schuhgröße (UK)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein durchweg flexibler Schuh, der aber auch eine gewisse Stabilität benötigt, wohl am komfortabelsten für die Läufer ist. Dabei darf der Schuh die natürliche Abrollbewegung des Fußes nicht behindern und muss gleichzeitig den Fuß vor unphysiologischen Bewegungen schützen. Damit ergibt sich ein enger Bereich für die Materialhärte. Innerhalb dieser geben wohl die persönlichen Vorlieben der Läufer den letztendlichen Kaufanstoß.

## **4.3 Fußanthropometrie**

### **4.3.1 Vergleich der Basisdaten mit der Literatur**

Der Vergleich mit Daten anderer Studien, die mit einer anderen Methodik durchgeführt wurden, gestalten sich als sehr schwierig [20],[42],[23]. Dies liegt zum einen an der unterschiedlichen Datenaufnahme (z.B. Blaupause, 2D-Scanner, 3D-Scanner), zum anderen an einer unterschiedlichen Vermessungsweise (parallele versus schräge Vermessung).

KÄLIN gibt 1996 die durchschnittliche Länge vom Pternion bis zum fünften Metatarsophalangealgelenk als 62% der Gesamtlänge an [31]. Dabei ist nicht näher angeführt, welche Messmethode der Untersuchung zu Grunde liegt. Das in der Functional Grading Studie vorliegende Probandenprofil zeigt bezüglich des MT-Indexes eine mittlere Länge von 65,7%. Besonders auffällig dabei ist die hohe Spannweite von 9,5%. Das 1. MPG liegt bei Kälin bei ca. 69%, was auch etwa 4% hinter den bei der hier durchgeführten Studie vorliegenden Messungen liegt (72,9%). Diese Unterschiede scheinen besonders groß, da bei der jetzigen Studie die Länge nicht bis zum Gelenk, sondern nur bis zum Drehpunkt gemessen wurde. Dieser Drehpunkt liegt innerhalb des Gelenkkopfes des Metatarsalknochens und damit im Fall des 1. Metatarsophalangealgelenks circa 5mm hinter dem Gelenkspalt.

KADANOFF und MUTAFOV haben die Füße von circa 2000 Probanden vermessen und anhand der erhaltenen Daten verschiedene Indices gebildet [27]. Bei dem Vergleich bezüglich des Fußlängen-Körperlängen-Indexes fällt auf, dass in dieser Studie die 471 Probanden durchschnittlich einen im Verhältnis zur Körperlänge kürzeren Fuß haben, als die damals vermessenen Probanden. Auch haben die beiden Forscher aus den ermittelten Daten einen Fußbreiten-Fußlängen-Index gebildet. Bezüglich dieses Indexes haben die Probanden der FG-Studie einen etwas schmalere Fuß im Vergleich zur Länge. Ein direkter Vergleich der Absolutdaten ist jedoch nicht möglich, da die Probanden bezüglich dieser beiden Indizes von Kadanoff et al. in 5 Gruppierungen unterteilt wurden und nur diese Verteilung in ihrer Arbeit veröffentlicht wurden. Daraus ist jedoch kein Mittelwert zu bilden.

HAWES beschreibt in seinen Ausführungen 1994 innerhalb des amerikanischen Probandenprofils nur zwei Indices, die mit den uns vorliegenden Daten vergleichbar sind [23]. In seiner Studie beläuft sich die Länge des 2. Strahls im Mittel auf 98.6%, die des 5. Strahls auf 82.6% der Gesamtfußlänge. Im Vergleich dazu betragen die Daten der amerikanischen Probanden in der vorliegenden Studie 97,7% bzw. 82,7% und entsprechen somit den von Hawes ermittelten Werten.

Hawes hat in einer weiteren Studie mit 1137 nordamerikanischen Probanden die Füße nach der „geraden Methode“ vermessen [21]. Dabei werden das Pternion und der Endpunkt der Messtrecke parallel verschoben. Anschließend bestimmt man die Länge auf einer parallel zur Fußlängsachse verlaufenden Strecke. Trotz unterschiedlicher Messmethoden können die Daten verglichen werden. Im hier dargestellten Kollektiv wurden zwar alle Maße „schräg“ gemessen, zum Vergleich jedoch nur Indices benutzt. Dabei fällt die etwas größere Länge bei der „schrägen Vermessung“ nur sehr gering ins Gewicht. Des Weiteren hat Hawes die im Vergleich zu den in der FG Studie verwendeten Drehpunkten etwas weiter distal liegenden Gelenkspalten als Bezugspunkt der MPG genutzt. Der von Hawes berechnete Mittelwert des 1. MTL-Index beträgt 74,65%, der für den 5. MTL-Index 64,40% der Gesamtfußlänge. Die in dieser Studie gemessenen Werte betragen 72,9% bzw. 65,7%. Die etwas kürzere Länge im 1. Strahl ist wohl auf die Benutzung des Drehpunkts zurückzuführen. Doch ist der abfallende Winkel zum 5. MPG nicht so steil wie bei Hawes proklamiert, da das 5. MPG weiter distal zu liegen scheint. Da Hawes' Probandenkollektiv aus verschiedenen ethnischen Gruppen bestand, könnte der „nicht-kaukasische“ Anteil den Unterschied erklären. Die Probanden der FG-Studie waren fast ausschließlich kaukasischer Abstammung.

Eine weitere Studie, die Unterschiede der Fußmaße erörtert, wurde 2001 von WUNDERLICH und CAVANAGH durchgeführt [52]. Darin werden keine absoluten Daten oder Indices verwendet. Lediglich auf Grund der Daten, die im Rahmen einer früheren Studie bei 293 Männern und 491 Frauen des U.S. Militärs erhoben wurden, konnten die Maße zwischen den Geschlechtern verglichen werden. Dabei fanden die Autoren unter anderem einen größeren

MTL-Index des 1. Strahls des rechten Fußes bei den männlichen Probanden. In der vorliegenden Studie wurde im Gegensatz dazu bei den Männern ein im Schnitt lediglich 0,43% kürzerer MTL-Index gefunden, der im Rahmen der Messungsgenauigkeit als unerheblich einzustufen ist. Interessant wären in diesem Zusammenhang die Rohdaten von Cavanagh, um zu sehen, wie gravierend der Unterschied der Messungen tatsächlich ist. Das Probandenkollektiv der FG-Studie zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede der Fußmaße bezüglich des Geschlechts oder der Abstammung.

Im „American Standard Measurement Book“ wird vorgeschlagen, Männerschuhe im Vorfuß etwas breiter zu fertigen, als die entsprechenden Frauenschuhe [42]. Auch ROBINSON berichtet über eine bei Männern größer ausfallende Fußbreite [47]. Hawes stellte bei einer Studie von über 2000 Probanden orientalischer und kaukasischer Herkunft die gleichen Verhältnisse fest [21],[22]. Die Studien wurden alle in Amerika durchgeführt, sind also nur mit den Daten der 201 nordamerikanischen Probanden zu vergleichen. Beim direkten Vergleich des Längen-Breiten-Fußindex amerikanischer Probanden mit der Größen 6.5 und 8.5, die bei beiden Geschlechtern vorkommen, ergab sich tatsächlich ein breiterer Fuß der männlichen Probanden.

Hinsichtlich der Bestimmung der Fußform werden in der Literatur unterschiedliche prozentuale Angaben formuliert. Einigkeit besteht jedoch darin, dass in der kaukasischen Bevölkerung die ägyptische Fußform am häufigsten auftritt [41],[21],[23]. Das deckt sich mit den Daten der vorliegenden Studie, bei der nach der Rothballer®-Vermessung 73,4% eine ägyptische Fußform besitzen. Diese wurde dann diagnostiziert, wenn der große Zeh mindestens 2 mm länger ist als der zweite. Eine andere Verteilung findet sich laut Hawes in der orientalischen Bevölkerung, wo ägyptische und griechische Fußform nahezu gleich häufig vorkommt.



### 4.3.2 Flexzonen versus Flexgrooves

Die Längenindices zu den Drehzentren der Metatarsalgelenke betragen für den ersten Strahl im Mittel 72,9%, für den zweiten Strahl 74,0% und für den dritten 71,8%. Auf Grund der großen Spannweite von durchschnittlich 7,8% (Kapitel 3.5.2), die aber in engem Zusammenhang mit anthropometrischen Grunddaten steht, wie z.B. Geschlecht, Schuhgröße,..., ist es nicht praktikabel, eine einzelne Flexlinie am Schuh vorzugeben. Des Weiteren trägt jeder Läufer seinen Schuh etwas anders. Der eine bevorzugt einen lockeren Sitz, mit ein oder gar zwei cm Platz vorne, der andere kommt mit eng anliegenden Schuhen besser zurecht. Daraus ergibt sich eine größere Spannweite der Flexionslinie des Fußes im Schuh. Aus all diesen Daten ergibt sich die zwingende Notwendigkeit, einen breiten Flexionsbereich am Vorfuß einzusetzen. Der genaue Aufbau und die Breite eines solchen Bereichs werden im Folgenden dargestellt.

Bei der Flexion in den Metatarsophalangealgelenken eins bis drei, die ungefähr auf einer Geraden liegen, kommt es durch den etwas distal liegenden Metatarsalkopf des zweiten Strahls zu einer hohen Biegebelastung in diesem Röhrenknochen. Eine denkbare Lösung dafür wäre ein in diesem Bereich angebrachtes weiches Inlay, um den Druck zu mindern. Dadurch könnte die in diesem Knochen auftretende erhöhte Frakturneigung gesenkt werden [24].

Die Platzierung der Flexzone sollte in Abhängigkeit von den MT-Indices und der Sohlendicke bestimmt werden. Wenn man die MT-Längen Indices eins bis drei betrachtet, so sollte die Flexzone ihren Mittelpunkt bei 68% der Gesamtfußlänge besitzen. Der Flexionsdrehpunkt der Sohle befindet sich in der Mitte der Flexzone. Bei einer Sohlendicke von 15 – 18 mm liegt der Drehpunkt ca. 6 bis 10mm distal des Rotationspunkts der MPG (Kapitel 3.5.3).

Bezieht man die Spannweite der MPG-Lage mit in die Berechnungen ein, so ergibt sich ein Flexionsbereich, der bei 63% der Gesamtfußlänge beginnt und sich bis zu 73% fortsetzt. Dieser Bereich macht also in etwa 10% der Gesamtfußlänge aus.

Des Weiteren muss die Reihenfolge betrachtet werden, in der die Anteile des Fußes in Bodenkontakt treten. Der nächste Kontakt nach der Ferse findet auf der lateralen Schuhseite auf Höhe des 5. MPG statt. Von dort aus rollt der Fuß nach medial ab. Um diese Bewegung nicht durch die Schuhkonstruktion zu erschweren, ist es sinnvoll unter der lateralen Schuhseite auch die longitudinale Flexionsbereitschaft zu erhöhen und den Hebeleffekt, der bei einer steifen Sohle entstehen würde, zu eliminieren. Dies macht sich dann auch in der Beurteilung des Abrollverhaltens eines Schuhs positiv bemerkbar.

Kälin fordert, eine schräge Flexion über den MPG 3-5 zu ermöglichen. Dies ist vor allem bei einem Richtungswechsel von entscheidender Bedeutung. Sicherlich spielt diese Bewegung beim Laufen keine so entscheidende Rolle, wie bei anderen Sportarten bei denen schnellen Richtungswechsel fundamental sind, wie z.B. Basketball. Doch sollte der Vorfuß eines Laufschuhs diese Bewegung keinesfalls erschweren.

Um alle drei Flexionsrichtungen zu ermöglichen, ist es notwendig, mit kleinen, untereinander beweglichen Elementen zu arbeiten und deren Flexibilität nicht durch afunktionell angebrachte Designelemente zu erschweren [31].

Oberstes Gebot bei der Konstruktion eines funktionell positiv bewerteten Vorfußbereichs in einem Laufschuh ist also ein hohes Maß an Bewegungsfreiheit. Nicht nur die Läufer wünschen sich eine eher flexible Sohle im Vorfuß, sondern auch aus biomechanischer Sicht scheint dies der richtige Weg zu sein. Ob dies auch aus medizinischer Sicht zu empfehlen ist, kann angesichts der bisherigen Erkenntnisse nicht mit Sicherheit gesagt werden, dürfte aber den Grundstein zukünftiger wissenschaftlicher Arbeiten in dieser Richtung legen.

## 5 Zusammenfassung

Beobachtet man das Teilnehmerfeld bei einer Laufveranstaltung, so zeigt sich darin eine heterogene Struktur. Sowohl Läuferinnen wie auch Läufer mit den unterschiedlichsten anthropometrischen Dimensionen (z.B. klein versus groß, schwer versus leicht) und im verschiedensten Alter haben das Laufen für sich entdeckt.

Daher stellt sich die Frage, ob diese Heterogenität im Zusammenhang mit der Ausprägung bestimmter funktioneller Sportschuhparameter beim Laufschuh berücksichtigt wird. Basierend auf den Ergebnissen einer Literaturanalyse, in der sich kein Anhalt für den Einsatz von funktioneller Gradierung im Sportschuhbau findet, soll diese Studie überprüfen inwieweit diese Annahme stimmt. Des Weiteren sollte auch geprüft werden, inwiefern Läufer die Gradierung funktioneller Sportschuhparameter für wünschenswert bzw. notwendig erachten.

Um die Annahme zu überprüfen, wurde eine Benchmarkstudie durchgeführt, in der vier handelsübliche Laufschuhmodelle in neun verschiedenen Größen auf ihre mechanischen Eigenschaften mittels dynamischer Materialtests untersucht wurden.

In einem zweiten Schritt wurde eine Feldstudie sowohl in Mitteleuropa, wie auch in Nordamerika durchgeführt. An dieser Studie nahmen 244 Läuferinnen und 227 Läufer teil. Jeder Studienteilnehmer lief und evaluierte mittels eines standardisierten Fragebogens jedes der sieben Testschuhmodelle jeweils in einer separaten Trainingseinheit für mindestens 30 Minuten. Als Basismodell diente dabei das Laufschuhmodell adidas® Unity. Dieses Basismodell wurde in den definierten Vor-, Mittel- und Rückfußsegmenten durch die Variation der Materialhärte modifiziert.

Im Rahmen der Eingangsuntersuchung wurden neben der Aufnahme der anthropometrischen Daten und der Daten der Trainingsgestaltung auch die Laufschuhpräferenzen der Studienteilnehmer bestimmt. Daraufhin folgten eine klinische Untersuchung und eine mittels 2D-Scanner erhobene fußanthropometrische Vermessung.

Die Bestimmung der Laufschuhpräferenzen zeigt, dass neben der Passform die Kaufmerkmale Stabilität, Dämpfung im Rückfuß und auch das Abrollverhalten die entscheidenden Kaufkriterien bei der Auswahl eines Laufschuhs darstellen.

Hinsichtlich der *geschlechtsspezifischen Differenzierung* lässt sich zusammenfassen, dass Männer gegenüber Frauen eher härtere respektive steifere Dämpfungs-, Torsions- sowie Vorfußflexibilitätseigenschaften präferieren. Die Analyse der *geographischen Differenzierung* zeigt, dass Nordamerikaner signifikant mehr an weicheren Dämpfungseigenschaften interessiert sind als Mitteleuropäer.

Die Ergebnisse der subjektiven Evaluierung der Testschuhmodifikationen im Feld und die Analyse der Faktorenanalyse deuten darauf hin, dass nicht jeder analysierte Sportschuhparameter durch den Athleten differenziert wahrgenommen und folglich isoliert evaluiert werden kann.

Hinsichtlich der Graduierung des Abrollverhaltens wird, basierend auf den Studienergebnissen, eine schuhgrößenabhängige Graduierung empfohlen, die in zwei Sektoren unterteilt ist. In diesem Zusammenhang umfasst der Gradierungssektor I die Läufergruppe mit einer Schuhgröße von 3.5 UK bis einschließlich 6.0 UK. Diese Läufergruppe ist durch kleinere bzw. kürzere fußanthropometrische Dimensionen sowie durch eine kleinere Körpergröße und geringeres Körpergewicht charakterisiert. Laufschuhe innerhalb dieser Schuhgrößen sollten daher eine eher flexible Dynamische Flexibilität vorweisen. Gradierungssektor II beinhaltet alle Läufer ab einer Schuhgröße von 6.5 UK bis 15.5 UK. Laufschuhe für diese Läufergruppe sollten eher moderate Dynamische Flexionseigenschaften besitzen. Unabhängig von dieser „Basisempfehlung“ wird für den (umfangreichen) Gradierungssektor II aufgrund der starken Heterogenität der Laufschuhpräferenzen eine Auswahl zwischen zwei verschiedenen Ausprägungen des Abrollverhaltens bezüglich eines Laufschuhmodells vorgeschlagen. Auch diese beiden Ausprägungen der Dynamischen Flexionseigenschaften sollten im moderaten Bereich liegen.

Ähnlich wie bei der geographischen Gradierung der Dämpfungseigenschaften wird aufgrund der Ergebnisse neben einer schuhgrößenabhängigen Gradierung auch eine geographische Gradierung des Abrollverhaltens vorgeschlagen. Auch in diesem Zusammenhang wird empfohlen, die Dynamischen Flexionseigenschaften von Laufschuhen für den nordamerikanischen Markt geringfügig flexibler zu gestalten.

Im Zusammenhang mit der präferierten Ausprägung der Vorfußflexibilitätseigenschaften bestand das Ziel bezüglich der Untersuchung zur Fußanthropometrie in der Bestimmung der anatomischen Rotationszentren der Metatarsophalangealgelenke, welche die entsprechende Voraussetzung für die richtige Platzierung der Flexionszonen darstellen. Aufgrund der „Homogenität“ der Metatarsal-Längen-Indizes im Zusammenhang mit der Analyse der ausgewählten Gruppierungsvariablen, ist es nicht notwendig, eine Gradierung hinsichtlich der Lage bzw. der Platzierung der Flexionszonen als Einflussgröße der Dynamischen Flexibilität vorzunehmen.

Abschließend ist festzustellen, dass zwar die Sportschuhindustrie keine systematische Gradierung von funktionellen Sportschuhparametern am Laufschuh berücksichtigt bzw. vornimmt, jedoch der Markt (Läufer bzw. Kunde) die Gradierung funktioneller Sportschuhparameter fordert bzw. wünscht.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Adidas®-Tech-Review. Spring 1998; Firmeninterner Bericht
- [2] Baycroft, Culp; Chiropractic Sports Medicine 1993 Vol. 7/1
- [3] BERNHARD, W., JUNG, K. (1998) *Sportanthropologie: Fragestellungen, Methoden und Ergebnisse am Beispiel der Laufdisziplinen und des alpinen Skisports*. Stuttgart: Fischer.
- [4] BOJSEN-MØLLER, F., LAMOREUX, I. (1979). Significance of free dorsiflexion of the toes in walking. *Acta orthop. Scand*, 50, 471-479.
- [5] BOJSEN-MØLLER, F. (1982). Normale und pathologische Anatomie des Vorfußes. *Orthopädie*, 11, 148-153
- [6] BORTZ, J (1999) *Statistik für Sozialwissenschaftler*, Berlin: Springer
- [7] BRONNER, O. (1992). *Die untere Extremität und ihre funktionelle Behandlung nach Verletzungen und bei anderen Störungen*. München: Pflaum.
- [8] BROSIUS, F. (1998). *SPSS 8: Professionelle Statistik unter Windows*. Bonn: MITP.
- [9] BÜHL, A., ZÖFEL, P. (2000). *SPSS Version 10: Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*. Massachusetts: Addison-Wesley-Longman.
- [10] CATELL, R.B. (1966). *The scree test for the number of factors*. *Multivariate behav. Res*, 1, 245-276
- [11] CAVANAGH, P.R., LAFORTUNE, M.A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, 13, 397-406.
- [12] COLE, G. (2001). *Functional zones – Research and innovation report for adidas International*. Calgary: University of Calgary, Human Performance Laboratory
- [13] COLE, G.K., NIGG, B.M., FICK, G.H., MORLOCK, M.M. (1995). Internal loading of the foot and ankle during impact in running. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 25-46.
- [14] ELLIS, J. (1994). *Laufen ohne Risiko: Wie Sie typische Verletzungen vermeiden, behandeln und heilen*. München: BVL Verlagsgemeinschaft

mbh

- [15] FISHPOOL, S. (2001a). The word on the feet is.... *Runner's World* (UK), 1, 66-69.
- [16] FREDERICK, E.C. (1987). Anforderungen an die Konstruktion von Laufschuhen. In B. Segesser, W. Pfürringer (Hrsg.), *Der Schuh im Sport – Orthopädische und biomechanische Grundlagen zur Schuhversorgung des Sportlers* (S. 31-39). Erlangen: perimed.
- [17] Grandmontagne, M. (2002) *Functional Grading bei Laufschuhen bzgl. Der Torsionsfähigkeit*. Diplomarbeit, Universität Köln
- [18] GUADAGNOLI, E., VELICER, W.F. (1988). Relation of sample size to the stability of component patterns. *Psych Bull*, 103, 265-275.
- [19] GUTTMAN, L. (1953). *Some necessary conditions for common factor analysis*. *Psychometrika*; 18, 177-296
- [20] HAWES, M.R. (1992). *Anthropometric protocol manual for measurement of the foot* – Forschungsbericht für adidas International. Calgary: University of Calgary, Human Performance Laboratory, Sport Anthropology Group.
- [21] HAWES, M.R., SOVAK, D., MIYASHITA, M., KANG, S.-J., YOSHIHUKU, Y., TANAKA, S. (1994). Ethnic differences in forefoot shape and the determination of shoe comfort. *Ergonomics*, 37(1), 187-196.
- [22] HAWES, M.R., NIGG, B.M. (1997). Anthropometry of the human foot. In M. Nordin, G.B. Andersson, M.H. Pope (Eds.), *Musculoskeletal disorders in the workplace: Principles and practice* (551-557). St. Louis: Mosby-Year Book.
- [23] HAWES, M.R., SOVAK, D. (1994). Quantitative morphology of the human foot in a North American population. *Ergonomics*, 37(7), 1213-1226.
- [24] JACOB, H.A.C., ZOLLINGER, H. (1992). Zur Biomechanik des Fußes – Kräfte beim Gehen im Vorfuß und ihre klinische Relevanz. *Orthopädie*, 21, 75-80.
- [25] KADANOFF, D., MUTAFOV, S. (1966). Korrelationen zwischen einigen wichtigeren Massen des Fusses. *Compt. Rend, Acad. Bulg. Sci.*, 19, 337-340.
- [26] KADANOFF, D., MUTAFOV, S. (1967). Über die Symmetrie und Asymmetrie der Füße erwachsener Menschen. *Gegenbauers Morphologisches Jahrbuch*, 110, 377-389.

- [27] KADANOFF, D., MUTAFOV, S. (1967/68). Die Gruppeneinteilung (Rubrikation) der Indizes des Fusses bei Erwachsenen beiderlei Geschlechts. *Bull. Schweiz. Ges. Anthrop. Ethnol.*, 44, 82-97.
- [28] KAISER, H.F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23, 187-200.
- [29] KAISER, H.F. (1959). Computer programm for varimax rotation in factor analysis. *Educ Psychol Measmt*, 19, 413-420
- [30] KAISER, H.F., DICKMAN, K. (1959). Analytic determination of common factors. *Am Psychol* 14, 425-435.
- [31] KÄLIN, X. (1996). *Flex grooves in athletic shoes – adidas internal research report*. Portland: adidas America, Research & Innovation
- [32] KENT, M., ROST, K. (1996). *Wörterbuch Sport und Sportmedizin*. Wiesbaden: Limpert
- [33] KRÄMER, K.-L. (1998). *Paper, Poster und Projekte: Ein praxisnaher, ganzheitlicher Leitfaden*. München: Novartis
- [34] KUHN, H., GERDES-KUHN, R. (2001). Sportschuh und Fußgesundheit. *Orthopädieschuhtechnik*, 7/8, 42-45.
- [35] LOHRER, H. (2001). Fasciitis Plantaris – eine Übersicht. *Orthopädieschuhtechnik*, 7/8, 63-65.
- [36] LUBIG, E. (1983). *Lexikon der Schuhtechnik*. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH
- [37] LÜTHI, S., KRANENEBURG, K. (1999). *Effect of different plate stiffnesses on running economy – adidas internal research report*. Portland: adidas International, Human Performance Research.
- [38] MAYER, F., GRAU, S., BAUR, H., HIRSCHMÜLLER, A., HORSTMANN, T. (2001). Verletzungen und Beschwerden im Laufsport. *Deutsches Ärzteblatt*, 98 (19), 1069-1074.
- [39] MEFFERT, H. (2000). *Marketing: Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung, Konzepte – Instrumente – Praxisbeispiele*. Wiesbaden: Gabler.
- [40] MILANI, T.L., KIMMESKAMP, S., HENNIG, E.M. (1997a). Zusammenhang von biomechanischen Parametern und subjektiver Belastungswahrnehmung in Laufschuhen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 48, 139-144



- [41] NIEZOLD, D., FERDINI, R.M. (1999). Klinische Untersuchungstechniken am Fuß. In A. Braun (Hrsg.), *Praktische Orthopädie: Fuß – Erkrankungen und Verletzungen* (S. 1-9). Darmstadt: Steinkopff.
- [42] NIGG, B.M, HAWES; M.R., STEFANYSHYN, D.J. SHORTON, M.R. (1997). *Blue book functional goals of athletic footwear – adidas America research and innovation report*. Calgary: University of Calgary, Human Performance Laboratory
- [43] NIGG, B.M., SEGESSER, B. (1992). Biomechanical and orthopedic concepts on sport shoe construction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5), 595-602.
- [44] NIGG, B.M., LÜTHI, S., SEGESSER, B., STACOFF, A., GUIDON, H.-W., SCHNEIDER, A. (1982). Sportschuhkorrekturen: Ein biomechanischer Vergleich von drei verschiedenen Sportschuhkorrekturen. *Z. Orthop.*, 120, 34-39
- [45] Schwab, Nina, (2004), *Verletzungsschemata bezüglich spezifischer, Fußanthropometrischer Daten*. Dissertation (Unveröffentlicht), Universität, Würzburg
- [46] RABL, C.R., NYGA, W. (1994). *Orthopädie des Fußes*. Stuttgart: Ferdinand Enke.
- [47] ROBINSON, J.R., FREDERICK, E.C. (1990). Human sexual dimorphism of feet. *American Journal of Biology*, 2, 199-200
- [48] RODEGHIER, M. (1997). *Marktforschung mit SPSS: Analyse, Datenerhebung und Auswertung*. Bonn: International Thomson Publication.
- [49] TSCHOGOWADSE, A., MÜLLER, R., ISRAEL, S. (1968). Simultane teleröntgenographische und plantographische Untersuchungen des Funktionszustandes des Fußgewölbes bei Leistungssportlern unter Standardbelastung. *Medizin und Sport*, 5, 140-143.
- [50] WALTHER, M. (2001). *Zusammenhänge zwischen der subjektiven Beurteilung von Laufschuhen, den Materialdaten sowie kinetischen und kinematischen Parametern des Gangzyklus*. Habilitation, Würzburg, Julius-Maximilians-Universität 29ff
- [51] WALTHER, M. (2001). *Zusammenhänge zwischen der subjektiven Beurteilung von Laufschuhen, den Materialdaten sowie kinetischen und kinematischen Parametern des Gangzyklus*. Habilitation, Würzburg, Julius-Maximilians-Universität 38ff
- [52] WUNDERLICH, R.E., CAVANAGH, P.R. (2001). Gender differences in

adult foot shape: Implications for shoe design. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(4), 605-611

- [53] ZATSIORSKY, V.M. (1998). Kinematics of Human Motion (S. 251ff), Human Kinetics
- [54] ZATSIORSKY, V.M. (1998). Kinematics of Human Motion (S. 292ff), Human Kinetics
- [55] LEWIN, R.; (1993). Human Evolution An illustrated Introduction; Blackwell Scientific Publications; S. 85ff
- [56] STREIT, B., (1995). Evolution des Menschen; Spektrum der Wissenschaft; S. 58ff
- [57] Lewis, O.J.; 1989; Functional Morphology of the Evolving Hand and Foot; Clarendon Press; S. 241f
- [58] BORG, I. (1986). Facettentheorie: Prinzipien und Beispiele. Psychologische Rundschau, 37, 121-137
- [59] HENNIG, E.M., VALIANT, G.A., LIU, Q. (1996). Biomechanical variables and the perception of cushioning for running in various types of footwear. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 44-57
- [60] PANDOLF, K.B. (1983). Advances in the Study and application of perceived exertion. In R.L. Terjung (Ed.), *Exercise and sport science reviews* 11 (pp. 118-158). New York: Franklin Institute.
- [61] <http://www.dpz.gwdg.de/cd-rom/EVO.pdf>
- [62] KLEINDIENST, F. (1996). *Analyse der Trainingsgestaltung von Freizeitsportlern zum Berlin-Marathon 1992 – Beziehung zwischen Trainingsumfang, Trainingsintensität und Wettkampfleistung*. Unveröff. Dipl.Arbeit, Universität Bayreuth.
- [63] ZAPF, J., KLEINDIENST, F., KEMMLER, W., SCHMIDT, W. (1997). Die Beurteilung des Trainings- und Wettkampfverhaltens von „Freizeit“-Marathonläufern aus gesundheitlicher Sicht. In W. Brehm, P. Kuhn, K. Lutter, W. Wabel (Red.), *Leistung im Sport Fitness im Leben* (Beiträge zum 13. Sportwissenschaftlichen Hochschultag der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft vom 22.-24.9.1997 in Bayreuth, S. 141-142). Ahrensburg bei Hamburg: Czwalina.
- [64] Kleindienst, F. (2003). *Gradierung funktioneller Sportschuhparameter am Laufschuh*. Dissertation, Universität, Köln

## 7 Anhang

**Tab. A1:** Testschuhmodifikationen – Materialstudie: Biomechanischer Vorfußflexibilitätstest

Schuh- kodierung	Modellname mit Härte- spezifikationen	Biomechanischer Vorfußflexibilitätstest	
		Biegesteifigkeit	Energieverlust
		[N/mm]	[%]
M1A	Unity 40-40-40	4.2	42.6
M1B	Unity 55-40-55	5.0	42.3
M1C	Unity 40-55-40	3.5	45.0
M1D	Unity 55-55-55	5.5	39.6
M1E	Unity 70-55-70	8.1	36.3
M1F	Unity 55-70-55	6.0	39.7
M1G	Unity 70-70-70	8.3	38.3
M2A	Unity 40-40-40	3.8	44.8
M2B	Unity 55-40-55	5.4	38.6
M2C	Unity 40-55-40	3.5	48.6
M2D	Unity 55-55-55	5.6	38.6
M2E	Unity 70-55-70	6.5	34.8
M2F	Unity 55-70-55	5.0	42.1
M2G	Unity 70-70-70	7.5	36.3
M3A	Unity 40-40-40	3.6	43.6
M3B	Unity 55-40-55	6.2	39.2
M3C	Unity 40-55-40	4.3	44.9
M3D	Unity 55-55-55	6.3	38.5
M3E	Unity 70-55-70	7.7	35.5
M3F	Unity 55-70-55	4.6	41.6
M3G	Unity 70-70-70	8.9	35.3
M4A	Unity 40-40-40	4.2	41.8
M4B	Unity 55-40-55	3.9	41.1
M4C	Unity 40-55-40	5.0	41.1
M4D	Unity 55-55-55	5.1	38.2
M4E	Unity 70-55-70	6.6	35.2
M4F	Unity 55-70-55	5.5	39.7
M4G	Unity 70-70-70	7.2	35.1
M5A	Unity 40-40-40	4.7	41.6
M5B	Unity 55-40-55	5.6	37.0
M5C	Unity 40-55-40	4.4	44.1
M5D	Unity 55-55-55	5.8	40.0
M5E	Unity 70-55-70	8.1	35.6
M5F	Unity 55-70-55	4.6	43.6
M5G	Unity 70-70-70	8.9	35.9
M6A	Unity 40-40-40	5.1	40.0
M6B	Unity 55-40-55	5.2	41.7
M6C	Unity 40-55-40	3.8	45.5
M6D	Unity 55-55-55	4.7	38.6
M6E	Unity 70-55-70	7.6	35.5
M6F	Unity 55-70-55	5.5	41.4
M6G	Unity 70-70-70	8.1	33.2
M7A	Unity 40-40-40	4.1	41.9
M7B	Unity 55-40-55	5.2	37.6
M7C	Unity 40-55-40	4.5	42.5
M7D	Unity 55-55-55	4.9	36.7
M7E	Unity 70-55-70	6.0	34.6
M7F	Unity 55-70-55	5.5	39.4
M7G	Unity 70-70-70	8.4	34.1
M8A	Unity 40-40-40	4.5	39.8
M8B	Unity 55-40-55	5.1	38.0
M8C	Unity 40-55-40	4.5	41.6
M8D	Unity 55-55-55	7.5	35.3
M8E	Unity 70-55-70	7.3	32.7
M8F	Unity 55-70-55	7.1	38.1
M8G	Unity 70-70-70	8.6	33.2

Tab A2: Testschuhmodifikationen – Materialstudie: Mechanischer Biegetest

Schuh- kodierung	Modellname mit Härte- spezifikationen	Mechanischer Biegetest		
		Biegesteifigkeit I	Biegesteifigkeit II	Energieverlust
		[N/mm]	[N/mm]	[%]
M1A	Unity 40-40-40	17.9	13.3	35.0
M1B	Unity 55-40-55	21.9	19.2	34.8
M1C	Unity 40-55-40	17.5	13.1	37.0
M1D	Unity 55-55-55	24.1	22.1	33.5
M1E	Unity 70-55-70	34.4	30.2	33.8
M1F	Unity 55-70-55	24.8	19.8	35.1
M1G	Unity 70-70-70	41.9	36.4	36.9
M2A	Unity 40-40-40	18.1	15.0	36.1
M2B	Unity 55-40-55	22.8	20.4	34.1
M2C	Unity 40-55-40	16.8	14.9	35.4
M2D	Unity 55-55-55	23.9	20.3	35.6
M2E	Unity 70-55-70	33.9	32.4	33.2
M2F	Unity 55-70-55	23.7	19.7	36.1
M2G	Unity 70-70-70	32.8	28.1	35.0
M3A	Unity 40-40-40	19.3	16.4	36.2
M3B	Unity 55-40-55	24.6	21.7	35.1
M3C	Unity 40-55-40	20.5	15.8	35.8
M3D	Unity 55-55-55	26.6	21.9	35.0
M3E	Unity 70-55-70	40.8	36.0	33.6
M3F	Unity 55-70-55	25.2	21.0	37.1
M3G	Unity 70-70-70	39.3	33.2	34.5
M4A	Unity 40-40-40	18.7	16.7	36.0
M4B	Unity 55-40-55	20.0	19.3	36.2
M4C	Unity 40-55-40	20.5	19.4	35.7
M4D	Unity 55-55-55	25.0	23.0	35.5
M4E	Unity 70-55-70	41.5	40.4	34.8
M4F	Unity 55-70-55	25.7	22.3	36.2
M4G	Unity 70-70-70	44.1	40.6	35.9
M5A	Unity 40-40-40	19.2	17.6	34.2
M5B	Unity 55-40-55	25.2	22.4	35.0
M5C	Unity 40-55-40	19.7	16.2	36.1
M5D	Unity 55-55-55	27.2	22.6	34.7
M5E	Unity 70-55-70	38.9	35.3	33.8
M5F	Unity 55-70-55	26.4	21.4	37.8
M5G	Unity 70-70-70	45.0	38.5	34.2
M6A	Unity 40-40-40	21.3	17.8	35.9
M6B	Unity 55-40-55	22.6	20.6	35.1
M6C	Unity 40-55-40	19.4	17.0	36.6
M6D	Unity 55-55-55	24.4	22.5	34.2
M6E	Unity 70-55-70	39.0	36.9	33.5
M6F	Unity 55-70-55	26.0	22.7	36.6
M6G	Unity 70-70-70	46.1	38.9	34.9
M7A	Unity 40-40-40	20.2	17.6	38.9
M7B	Unity 55-40-55	27.5	25.6	35.7
M7C	Unity 40-55-40	22.8	20.5	36.8
M7D	Unity 55-55-55	28.7	26.7	36.4
M7E	Unity 70-55-70	44.3	42.5	36.2
M7F	Unity 55-70-55	27.2	24.4	37.1
M7G	Unity 70-70-70	46.6	45.0	36.7
M8A	Unity 40-40-40	25.2	24.3	36.1
M8B	Unity 55-40-55	31.6	30.0	35.1
M8C	Unity 40-55-40	25.2	25.0	34.8
M8D	Unity 55-55-55	34.3	35.9	34.3
M8E	Unity 70-55-70	53.0	50.9	34.8
M8F	Unity 55-70-55	32.5	34.0	34.7
M8G	Unity 70-70-70	32.5	34.0	34.7

**Tab A3:** Langzeitstudie (Simulation von 200km) – Materialstudie: Biomechanische Vorfußflexibilität (alle Testschuhmodifikationen in 6.5 UK - Damenmodell)

Zyklus	simulierte Laufdistanz	Biomechanische Vorfußflexibilität (Langzeitstudie - 200km)					
		Biegesteifigkeit (1 - 5mm)			Energieverlust		
		[N/mm]			[%]		
		M3A (40)	M3D (55)	M3G (70)	M3A (40)	M3D (55)	M3G (70)
5	0.05	5.0	7.7	11.4	46.3	41.8	36.8
10	0.1	4.9	7.8	10.7	44.8	41.3	36.0
20	0.2	4.9	7.3	10.3	44.0	40.2	35.6
30	0.3	4.7	7.4	9.8	43.2	40.5	35.3
40	0.4	4.7	7.2	9.8	42.5	40.0	35.2
50	0.5	4.6	7.4	9.5	42.3	40.3	34.9
60	0.6	4.5	6.9	9.6	41.7	40.6	34.5
70	0.7	4.5	7.3	9.7	41.4	39.4	34.4
80	0.8	4.4	7.1	9.6	41.5	39.5	34.5
90	0.9	4.4	7.3	10.1	40.9	39.6	34.0
100	1	4.5	6.9	9.5	40.6	38.9	34.1
200	2	4.3	6.4	9.8	38.6	38.1	33.2
300	3	4.3	6.2	9.4	37.2	37.8	32.5
400	4	4.3	6.6	8.9	36.2	36.7	31.9
500	5	3.9	6.2	8.0	35.8	36.7	31.6
600	6	4.2	7.2	8.3	36.1	36.1	31.4
700	7	4.1	7.3	8.0	37.0	35.8	31.2
800	8	4.1	7.2	8.3	37.2	35.5	31.0
900	9	4.1	7.2	8.4	38.2	35.7	31.0
1000	10	3.5	7.1	8.4	39.1	35.9	30.8
2000	20	4.1	6.9	7.3	32.7	35.2	30.0
3000	30	3.8	7.1	7.9	39.3	34.4	30.1
4000	40	4.0	7.4	8.0	34.0	34.2	29.9
5000	50	3.8	7.2	7.8	35.8	33.5	29.7
6000	60	3.9	6.3	8.3	34.8	33.8	30.0
7000	70	3.7	5.9	7.7	34.0	33.2	29.9
8000	80	3.7	7.2	8.1	35.1	32.9	30.1
9000	90	3.5	7.4	8.8	33.5	32.6	29.4
10000	100	3.9	7.5	8.3	33.2	33.0	30.2
20000	200	3.3	6.8	9.8	34.3	32.1	30.0

# Projekteinführung / Testanleitung



## *Functional Grading*

### **Einleitung:**

Willkommen beim adidas Functional-Grading-Running-Projekt. Der Laufschuh ist der wichtigste Ausrüstungsgegenstand für ihren Sport. Sportschuhhersteller, insbesondere adidas, arbeiten intensiv an der Weiterentwicklung von Laufschuhen. Letztendlich ist jedoch entscheidend, wie die Laufschuhe von den eigentlichen Experten, den Trägern, beurteilt werden. Als Forschungsproband haben Sie die Möglichkeit, ein maßgeblicher Teil beim Bestreben nach fortschrittlichen und funktionellen Laufschuhen zu sein. Ihr Feedback ist entscheidend für diese Aufgabe, Ihre Ansichten wertvoll. Nehmen Sie sich bitte die Zeit, die Schuhe zu testen und beurteilen Sie die Funktionalität und Leistung der Schuhe ehrlich. Die gewonnenen Informationen werden selbstverständlich vertraulich und geheim gehalten, Ihre Anonymität ist gewährleistet und alle Ergebnisse werden einzig und allein für adidas-Forschungszwecke verwendet.

### **Protokoll:**

Bei unserem Einführungsbesuch, werden wir Sie in das Projekt einweisen, uns vorstellen und Ihnen mitteilen, warum Sie hier sind. Bei unserem Einführungsbesuch werden wir weiterhin eine orthopädische und biomechanische Anamnese bzw. Analyse durchführen (Bestimmung der Fußstruktur und der Fußdimensionen, Videoanalyse von Ihrem Laufstil...). Schließlich werden Sie sieben Paar Laufschuhe zum Testen erhalten, die Sie dann in den folgenden 10 bis 14 Tage laufen werden (einschließlich Ihren derzeitigen Lieblingslaufschuh). Bitte bringen Sie zu unserem Einführungsbesuch das ausgefüllte „Sportlerprofil“ und die „Testvereinbarung“ mit. Wir werden alle aufkommenden Fragen gerne beantworten. Und dann kann gelaufen und getestet werden...!

### **Trainingseinheiten (Läufe):**

Der Sinn, Ihnen die Schuhe für die nächsten 10 bis 14 Tage zu überlassen liegt darin, Ihnen ausführlich Zeit zum Testen und Einschätzen der Funktionalität und Leistung jedes einzelnen Schuhs zu geben, sowie die Flexibilität zu laufen, wann immer Sie wollen. Dafür ist es notwendig, daß Sie sich an die folgenden Grundregeln halten. Diese Grundregeln müssen eingehalten werden, um die Ergebnisse vergleichbar und reproduzierbar zu machen.

- Absolvieren Sie *jeweils nur einen Lauf* in jedem der acht (7 Testmodelle plus Ihr Lieblingslaufschuh) Paar Laufschuhe innerhalb der folgenden 10 bis 14 Tage. (Bitte, nicht den Schuh, der Ihnen am meisten gefällt nehmen und darin Ultra-Marathons laufen...) Ein Standardlauf von 30-60 Minuten für jedes Paar ist ausreichend.
- Bitte tragen Sie die Ihnen zur Verfügung gestellte *Laufsocke* bei jeder Trainingseinheit. Diese Standardisierung ist wiederum notwendig, um die Ergebnisse des gesamten Probandenkollektivs vergleichbar und reproduzierbar zu machen. Nach dem Laufschuhtest können Sie die Laufsocke natürlich behalten und weiter nutzen.
- Des Weiteren finden Sie nur ein Paar *Einlegesohlen* zu den 7 Testschuhen, welches Sie zu jedem Trainings- bzw. Testlauf nutzen sollen. Da heißt, Sie müssen vor jeder Trainingseinheit die Einlegesohlen aus dem schon gelaufenen Testschuh in den nun zu laufenden (neuen) Testschuh einlegen. Ihr Lieblingslaufschuh wird mit der normalen dazugehörigen Einlegesohle gelaufen.

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
Telefon (w) 09162 – 925259  
Telefon (mf) 0171 – 6041869  
Telefax 09162 – 925264  
e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
Testcenter  
Adi-Dassler-Str. 24-26  
91443 Scheinfeld  
Germany

ID-Code:

- Bleiben Sie dem *gleichen Untergrund* treu. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, sollten alle Läufe auf gleichem Untergrund durchgeführt werden. Laufen Sie eher auf Straßen, Bürgersteigen, ebenem Gelände als auf Laufbahnen, Rindenmulden (Finnenbahn), dreieckigem Gelände (Trail/Cross), etc.
- *Stoppen Sie die Zeit* der Läufe. Jeder Tages- (Schuh-) Fragebogen fragt nach der zurückgelegten Strecke (ungefähr, Sie müssen die Strecke nicht abmessen) und wie lange der Lauf gedauert hat. Ebenso fragen wir nach den Wetterverhältnissen und der Laufumgebung (z. B. "Straße" ist genügend, keine Details erforderlich).
- Füllen Sie den passenden *Fragebogen* für den Schuh, den Sie am jeweiligen Tag getragen haben *unmittelbar im Anschluss* an die Laufeinheit aus. Okay, ein Schluck Wasser ist schon erlaubt, aber versuchen Sie bitte, die Funktionalität und Leistung des Schuhs dann zu beurteilen, wenn der Eindruck in den Gedanken noch frisch ist. **Achten Sie darauf**, daß die richtige Schuhidentifikation (Buchstabe) und die Laufeinheit (Nummer) zu Beginn der Seite einzukreisen. Bitte halten Sie die vorgegebene Reihenfolge der zu testenden Laufschuhmodelle ein.

#### **Papierarbeit:**

Nehmen Sie sich bitte eine Minute und lesen die Fragen des täglichen Bewertungsbogens durch, bevor Sie loslaufen. Wir haben versucht, die Fragebögen einfach und wenig zeitraubend zu gestalten. Anbei ist eine Liste mit Definitionen zu den einzelnen Sportschuhparametern, die Sie bewerten werden. Versichern Sie sich, ein gutes Verständnis für jeden Sportschuhparameter zu haben, bevor Sie diesen bewerten. Lassen Sie uns bitte wissen, falls es Diskrepanzen zwischen Ihrem Verständnis und unseren Definitionen gibt.

#### **Hinweise zur Bearbeitung des Fragebogens:**

- Es gibt keine „guten“ oder „schlechten“ Antworten auf die Fragen in diesem Fragebogen. Es geht ausschließlich um Ihre persönliche Meinung.
- Lesen Sie bitte alle Sätze durch und beantworten Sie sie auf der vorgegebenen Antwortskala.
- Bearbeiten Sie die Sätze bitte nacheinander und lassen Sie bitte keinen Satz aus.
- Denken Sie bitte nicht allzu lange über einzelne Fragen nach; kreuzen Sie in Zweifelsfällen die Antwortalternative an, die am ehesten zutrifft.
- Wenn Sie eine Ankreuzung korrigieren wollen, streichen Sie bitte die falsche Antwort deutlich durch.
- Genauso wichtig wie die „Entscheidungsfragen“ sind für uns Ihre persönlichen Bemerkungen. Bitte formulieren Sie Ihre Bemerkungen so ausführlich (Rückseite des Bogens kann natürlich auch beschrieben werden) und kritisch wie möglich. Sie können nie zu viele Informationen weitergeben...
- Bitte vergessen Sie nicht, auf jeden Bewertungsbogen auch Ihre persönlichen Daten (Name, Schuhgröße, zurückgelegte Strecke etc.) anzugeben.

#### **Der Abschluß:**

Wir sehen Sie am Ende der Testzeit nach vollständiger Absolvierung der acht Läufe wieder. An diesem Tag werden Sie die Testschuhe samt Fragebögen zurückgeben, und wir werden Sie mit einem Trainingshirt, daß Sie als als Forschungsproband des Functional-Grading-Projektes ausweißt, ausstatten. Das war's schon.

Nochmals vielen Dank für die Entscheidung, ein Teil unserer Forschungsarbeit zu werden.

Viel Spaß beim Laufen!

Ihr adidas-Team

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
Telefon (w) 09162 – 925259  
Telefon (mf) 0171 – 6041869  
Telefax 09162 – 925264  
e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
Testcenter  
Adi-Dassler-Str. 24-26  
91443 Scheinfeld  
Germany

**ID-Code:**


<b>Sportlerprofil</b>			
<b>Functional Grading</b>			
Name: _____	Vorname: _____		
Straße: _____	PLZ / Ort: _____		
Telefon (privat): _____	Land: _____		
Telefon (Geschäft): _____	E-mail: _____		
Geburtsdatum: _____	Geschlecht: <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich		
Körpergröße [cm]: _____	Körpergewicht [kg]: _____		
Schuhgröße [UK]: _____			
Wie viele Kilometer laufen Sie (regelmäßig) pro Woche (Trainingsumfang) [km]? _____			
Wie oft laufen Sie (regelmäßig) pro Woche (Trainingshäufigkeit)? _____			
Wie lang ist Ihre Standardlaufstrecke [km]? _____			
Was ist Ihr bevorzugter Laufuntergrund (nur ein Kreuz)?	<input type="checkbox"/> Straße	<input type="checkbox"/> Gelände	<input type="checkbox"/> Laufbahn
Wie ist (vorwiegend) das Streckenprofil?	<input type="checkbox"/> eben	<input type="checkbox"/> hügelig/bergig	
Wie lange betreiben Sie schon (regelmäßig) Laufsport [Jahre]? _____			
Betreiben Sie den Laufsport als...?	<input type="checkbox"/> Wettkampfsport	<input type="checkbox"/> Freizeitsport	
Falls Sie Wettkampfsportler sind, an welchen Wettkampfdistanzen nehmen Sie teil?			
<input type="checkbox"/> 5km	<input type="checkbox"/> 10km	<input type="checkbox"/> Halbmarathon	<input type="checkbox"/> Marathon <input type="checkbox"/> Ultra <input type="checkbox"/> Duathlon/Triathlon
Führen Sie (falls vorhanden) Ihre Persönliche Bestleistung („PB“) für eine oder zwei bevorzugte Distanzen auf:			
Distanz: _____	PB: _____		
Distanz: _____	PB: _____		
Trainieren Sie in einem Verein/Lauftreff? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			
Wenn ja, wo und in welchem Verein/Lauftreff? _____			
<small>Frank Kleindienst, Biomechanical Lab          Telefon (w) 09162 – 925259          Telefon (mt) 0171 – 6041869          Telefax 09162 – 925264          e-mail frank.kleindienst@adidas.de</small>		<small>adidas-Salomon AG          Testcenter          Adi-Dassler-Str. 24-26          91443 Scheinfeld          Germany</small>	
ID-Code: _____			

Abb. A3: Sportlerprofil - Seite 1 von 2



Welche weiteren Sportarten werden neben dem Laufsport noch ausgeübt? _____ _____				
Welcher Laufschuh ist/war Ihr Lieblingslaufschuh? Marke: _____ Modell: _____ (siehe Begriffsbestimmung)				
Welche Dämpfungseigenschaften bevorzugen Sie?	<input type="checkbox"/> eher hart	<input type="checkbox"/> eher weich	<input type="checkbox"/> egal	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Welche Torsionseigenschaften bevorzugen Sie?	<input type="checkbox"/> eher steif	<input type="checkbox"/> eher flexibel	<input type="checkbox"/> egal	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Welche Vorfußflexibilitätseigenschaften bevorzugen Sie?	<input type="checkbox"/> eher steif	<input type="checkbox"/> eher flexibel	<input type="checkbox"/> egal	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Bevorzugen Sie einen Laufschuh mit Pronationsunterstützung?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> egal	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Zu welchem „Läufertyp“ gehören Sie? (siehe Begriffsbestimmung)				
<input type="checkbox"/> neutrales Abrollverhalten	<input type="checkbox"/> Supinierer	<input type="checkbox"/> ausgeprägte Pronation	<input type="checkbox"/> weiß ich nicht	
Gehören Sie zu den... („Strike-Index“)?				
<input type="checkbox"/> Vorfußläufer	<input type="checkbox"/> Mittelfußläufer	<input type="checkbox"/> Fersenläufer	<input type="checkbox"/> weiß ich nicht	
Haben/hatten Sie Verletzungen, Fußfehlstellungen oder andere Beschwerden (Operationen, ärztliche Behandlungen)? _____				
Tragen Sie orthopädische Einlagen? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein				
Falls ja, welche Art von Einlagen (z.B. gegen Spreizfuß, Senkfuß)? _____ _____				
Bitte kreuzen Sie <b>drei</b> der 16 folgenden <b>Merkmale</b> an, die für Sie beim Kauf eines Laufschuhs am wichtigsten sind:				
<input type="checkbox"/> Schnürung	<input type="checkbox"/> Preis	<input type="checkbox"/> Design	<input type="checkbox"/> Stabilität	
<input type="checkbox"/> Paßform	<input type="checkbox"/> Torsion	<input type="checkbox"/> Dämpfung im Vorfuß	<input type="checkbox"/> Farbe	
<input type="checkbox"/> Vorfußflexibilität	<input type="checkbox"/> Abrollverhalten	<input type="checkbox"/> Hersteller/Marke	<input type="checkbox"/> Schuhgewicht	
<input type="checkbox"/> Dämpfung im Rückfuß	<input type="checkbox"/> Haltbarkeit/Abrieb	<input type="checkbox"/> Griffigkeit/Außensohlenprofil	<input type="checkbox"/> Einlegesohle	
Frank Kleindienst, Biomechanical Lab Telefon (w) 09162 – 925259 Telefon (mf) 0171 – 6041869 Telefax 09162 – 925264 e-mail frank.kleindienst@adidas.de				adidas-Salomon AG Testcenter Adi-Dassler-Str. 24-26 91443 Scheinfeld Germany
ID-Code:				

Abb A4: Sportlerprofil - Seite 2 von 2

# Begriffsbestimmung

## *Functional Grading*



Ihr Feedback wird uns bei der Entwicklung eines noch funktionelleren Produktes helfen. Es umfaßt sowohl allgemeine Aussagen, als auch spezifische Informationen bezüglich des Trageverhaltens und der Funktion. Um sicherzustellen, daß Ihre Definitionen mit unseren übereinstimmen, wurde diese Übersicht erstellt. Die Liste besteht zum einen aus den Sportschuhparametern, die einen wichtigen Teil bei der Bewertung der zu testenden Laufschuhmodelle darstellen werden und zum anderen aus den wichtigsten Begriffen, die mit dem Abrollverhalten bzw. mit der Lauftypenanalyse (Sportlerprofil) in Verbindung gebracht werden. Bitte behalten Sie diese Definitionen im Kopf bzw. nutzen Sie dieses Blatt, wenn Sie Ihr Sportlerprofil und die Fragebögen für das getestete Schuhmodell ausfüllen.

### ***Begriffsbestimmung der Sportschuhparameter***

#### **Vorfußdämpfung (oder Nachgiebigkeit):**

Beim Laufschuh wird in der Regel von "guter" oder "schlechter" Dämpfung gesprochen. Dies ist insofern falsch, da die Beurteilung von Dämpfungseigenschaften eines Laufschuhs immer von den persönlichen Empfindungen bzw. von den persönlichen Präferenzen abhängt.

Vorfußdämpfung bezeichnet das Ausmaß der Verformung der Zwischensohle aufgrund der beim Laufen unter Ihrem Vorfuß auftretenden dynamischen Kräfte. Eine geringe Vorfußdämpfung entspricht einer dynamisch harten Zwischensohle, eine hohe Vorfußdämpfung entsprechend einer dynamisch weichen Zwischensohle (hohe Verformung, wird häufig auch als gutes Cushioning/Dämpfung bezeichnet).

#### **Rückfußdämpfung:**

Bezieht sich auf die Zwischensohle unter Ihrem Rückfuß (Ferse). Es gelten die gleichen Prinzipien wie für die Vorfußdämpfung.

#### **Stabilität:**

Stabilität in Laufrichtung ist die Voraussetzung für eine biomechanisch vertretbare Fußführung durch den Schuh. Durch die Stabilisierung des Fußes in eine aufrechte Position wird eine physiologische Belastung der Muskeln, Sehnen, Bänder und Gelenke erreicht und einseitige Belastungen vermieden.

Entsprechende "Stabilitätselemente" (zweiter Härtegrad, Geometrien, Schaftmaterialien) haben dabei die Aufgabe, daß der Fuß in einer neutralen Stellung bleibt, beziehungsweise nicht zu stark nach innen (ausgeprägte Pronation) oder außen (Supination) weg- bzw. durchsacken kann.

#### **Torsion:**

Der menschliche Fuß erlaubt eine Bewegung um die Fußlängsachse, bei der sich Rückfuß und Vorfuß voneinander entkoppelt gegenseitig verdrehen können. Jeder Sportschuh sollte dieses natürliche Bewegung erlauben, jedoch auf ein angemessenes Ausmaß reduzieren. Durch eine beschränkte Freigabe der Vorfußpro-/ und supination und eine kontrollierte Entkopplung des Vorfußes vom Rückfuß erhält der Fuß die Möglichkeit, seine natürliche Bewegungsfreiheit um die Fußlängsachse auf den Schuh zu übertragen, ohne daß dieser als unnötig großer Hebel wirkt.

Ist ein Laufschuh in der Längsrichtung zu wenig torsionsfreudig (hohe Torsionssteifigkeit), so wirkt der Schuh als Hebel und der Fuß wird in seiner natürlichen Bewegungsausführung stark eingeschränkt. Es kann zu Problemen an den Gelenken und an der Muskulatur kommen.

#### **Vorfußflexibilität:**

Die Vorfußflexibilität beinhaltet die Merkmale im Bezug auf die Biegesteifigkeit in der Vorfußregion (Bereich der Zehengrundgelenke) des Schuhs während der Abstoßphase. Nur wenn die Sohle des Laufschuhs in Querrichtung so flexibel ist, daß der Fuß entlang seiner anatomischen Flexline im Ballenbereich des Vorfußes definiert flexen kann, ist ein natürliches Abrollen des Laufschuhs gewährleistet. Je größer die Biegesteifigkeit der Sohle, um so mehr wird der

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
 Telefon (w) 09162 - 925259  
 Telefon (mf) 0171 - 6041869  
 Telefax 09162 - 925264  
 e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
 Testcenter  
 Adi-Dassler-Str. 24-26  
 91443 Scheinfeld  
 Germany

ID-Code:

Fuß gehebelt. Aus der falschen Lage, bzw. bei ganz fehlender Vorfußflexionslinie (Knicklinie) ergeben sich viele Nachteile. Jeder einzelne zwar klein, in ihrer Summe aber beeinträchtigen sie ein optimales Laufen.

**Abrollverhalten:**

Die Fähigkeit des Schuhs eine geschmeidige Bewegung vom Fersenaufsatz bis zum Zehenabstoß zu bieten. Das Abrollverhalten des Laufschuhs sollte dynamisch sein und die natürliche Bewegung des Fußes unterstützen. Das „Abrollverhalten“ hängt eng mit den anderen Sportschuhparametern (Dämpfung, Stabilität, Torsion und Vorfußflexibilität) zusammen.

**Gewicht:**

Ein Schuh der für den Läufer zu schwer ist, zwingt ihn beim Laufen, zusätzliche Energie aufzubringen, was Ermüdungserscheinungen beschleunigt. Dagegen bieten (zu) leichte Laufschuhe öfters nur ein Minimum an Dämpfung und Stabilität, was zu Beschwerden führen kann.

***Begriffsbestimmung zur Lauftypenanalyse***

**Neutrales Abrollverhalten:**

Ein neutrales Abrollverhalten ist gekennzeichnet durch ein leichtes Einknicken des Fußes nach innen. Diese leichte Pronationsbewegung ist die natürlichen Funktion des Fußes, zur Dämpfung eines Aufpralls nach innen einzuknicken. Ob barfuß oder mit Laufschuhen, nach dem Aufsetzen auf der Außenseite der Sohle verlagert sich die Belastung etwas zur Innenseite, damit das Längsgewölbe einsinken und damit einen Teil des Aufpralls absorbieren kann.

**Ausgeprägte Pronation (Überpronation):**

Eine ausgeprägte Pronation ist gekennzeichnet durch ein sehr starkes Einknicken des Fußes nach innen während der Abrollbewegung (Schuhsohle zeigt nach außen). Eine ausgeprägte Pronation verändert das Abrollverhalten gravierend und kann langfristig zu Beschwerden und Überlastungserscheinungen führen. Die Laufschuhhersteller bauen deshalb mehr oder weniger starke „Pronationsstützen“ in die Zwischensohlen ein, feste Schaumkeile, die von der Ferse bis zum Vorfußbereich auf der Schuhinnenseite reichen. In den meisten Schuhen ist das weichere Material weiß, die Pronationsstütze grau eingefärbt.

Achtung: Viele Läufer sehen den starken Abrieb unter der Fersenaußenseite und schließen daraus, eher zur Gruppe der Supinierer zu gehören. Richtig ist dagegen, daß gerade Läufer mit einer ausgeprägten Pronation einen hohen äußeren Sohlenverschleiß zeigen. Zudem ist bei dieser Läufergruppe ein hoher Abrieb an der Innenseite des Ballenbereiches festzustellen.

**Supination (Unterpronation):**

Als Supination wird das Einwärtsdrehen des Fußes beim Aufkommen bzw Abrollen bezeichnet (Schuhsohle zeigt nach innen). Die Abrollbewegung erfolgt hauptsächlich über die Außenkante des Schuhs. Den Supinierern fehlt das leichte Einknicken zur Fußinnenseite und das Absenken des Längsgewölbes. Die Gruppe der Supinierer ist relativ klein.

**Vorfußläufer (Ballenläufer, Tretstil):**

Vorfußläufer sind Läufer, die zuerst mit dem Vorfuß (Ballen) aufsetzen, auf der Ferse abfedern und um sich dann wieder mit dem Vorfuß abzurücken. Vorfußläufer findet man sehr häufig bei Kurz- und Mittelstrecklern.

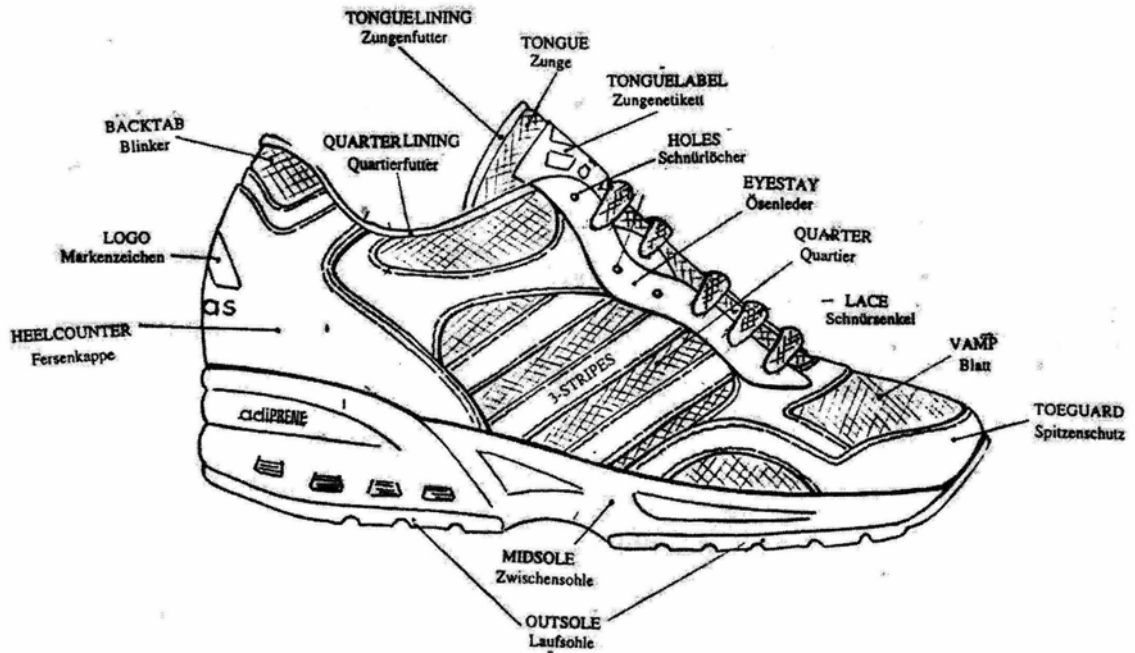
**Mittelfußläufer:**

Zu den Mittelfußläufern gehören die Läufer, die zuerst mit dem Mittelfuß bzw. mit dem ganzen Fuß aufsetzen.

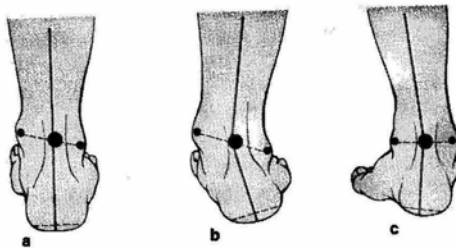
**Fersensäufer (Rückfußläufer, Schreitstil):**

Die meisten Langstreckenläufer gehören zu den Fersensäufern. Sie setzen zuerst mit der Ferse auf und rollen dann über den ganzen Fuß ab, um sich dann über den Ballen und die Großzehe zum nächsten Schritt abzurücken.

**Laufschuhskizze:**



**„Läufertyp“:**



- a: neutrales Abrollverhalten
- b: Ausgeprägte Pronation (Überpronation)
- c: Supination

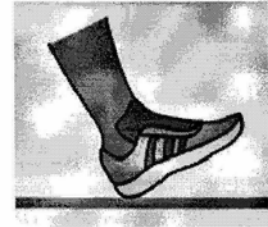
**„Strike-Index“:**



Vorfußläufer



Mittelfußläufer



Rückfußläufer (Fersenläufer)

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
 Telefon (w) 09162 – 925259  
 Telefon (mf) 0171 – 6041869  
 Telefax 09162 – 925264  
 e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
 Testcenter  
 Adi-Dassler-Str. 24-26  
 91443 Scheinfeld  
 Germany

ID-Code:

Abb A7: Begriffsbestimmung - Seite 3 von 3

# Orthopädischer und Biomechanischer Erhebungsbogen

## *Functional Grading*



Name: _____	Vorname: _____
Straße: _____	PLZ / Ort: _____
Telefon (privat): _____	Kontinent: <input type="checkbox"/> Europa <input type="checkbox"/> Amerika
Telefon (Geschäft): _____	E-mail: _____

### Allgemeine und klinische Anamnese

Geburtsdatum: _____	Geschlecht: <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich
Körpergröße [cm]: _____	Körpergewicht [kg]: _____
Schuhgröße [UK]: _____	Ethnische Herkunft: _____

### **Arbeits- und Berufsanamnese:**

Ausführung der Tätigkeit vorwiegend:  sitzend  stehend  gehend/laufend

### **Orthopädische Anamnese:**

Voroperationen?  nein  ja

Bemerkungen:

Weitere Diagnosen:  nein  ja

Bemerkungen:

Durch (Lauf-) Training induzierte Verletzungen, Beschwerden:  nein  ja

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
 Telefon (w) 09162 – 925259  
 Telefon (mf) 0171 – 6041869  
 Telefax 09162 – 925264  
 e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
 Testcenter  
 Adi-Dassler-Str. 24-26  
 91443 Scheinfeld  
 Germany

ID-Code:

**Abb A8:** Orthopädischer und Biomechanischer Erhebungsbogen- Seite 1 von 7

<b>Jetzige Beschwerden und funktionelle Einschränkungen:</b>	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja
Durch (Lauf-) Training derzeitige induzierte Verletzungen, Beschwerden:	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja
Bemerkungen:		
Belastungs-/Trainingsdauer bis zum Auftreten der Beschwerden: _____		
_____		
_____		
_____		
<b>Gegenwertige Therapie:</b>	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja
Medikation: _____		
Physiotherapie: _____		
Bemerkungen:		
<b>Orthopädische Einlegesohlenversorgung:</b>	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja
Art der Einlegesohlenversorgung: _____		
_____		
_____		
_____		
<small>Frank Kleindienst, Biomechanical Lab          Telefon (w) 09162 – 925259          Telefon (mf) 0171 – 6041869          Telefax 09162 – 925264          e-mail frank.kleindienst@adidas.de</small>	<small>adidas-Salomon AG          Testcenter          Adi-Dassler-Str. 24-26          91443 Scheinfeld          Germany</small>	
<b>ID-Code:</b>		

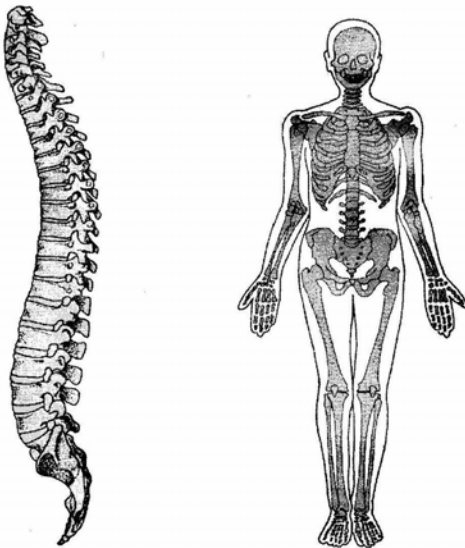
**Abb A9:** Orthopädischer und Biomechanischer Erhebungsbogen- Seite 2 von 7

## Orthopädischer Befund

### Wirbelsäule (orientierend)

Schulterstand (Geradstand, Schiefstand in cm) \_\_\_\_\_  
 Beckenstand (Geradstand, Schiefstand in cm) \_\_\_\_\_  
 Beinachse (Intercondylenabstand in cm) \_\_\_\_\_  
 Beinachse (Malleolenabstand in cm) \_\_\_\_\_

- lotrechter Aufbau  ja (physiologisch)  nein
- Skoliose (re./li. konvex, lumbal/thorakal/cervical, Scheitel)
  - strukturell  Schmerz  Beinverkürzung
  - funktionell  Schmerz  Beinverkürzung
  - Lendenwulst  re  li
  - Rippenbuckel  re  li
- Rückenform
  - normal  Rund-  Hohlrund-  Flachrücken
- Kyphose/Lordose (vermehrt/vermindert, LWS/BWS, Gibbus, Scheitel)



Bemerkungen:

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
 Telefon (w) 09162 – 925259  
 Telefon (mf) 0171 – 6041869  
 Telefax 09162 – 925264  
 e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
 Testcenter  
 Adi-Dassler-Str. 24-26  
 91443 Scheinfeld  
 Germany

ID-Code:

Abb A10: Orthopädischer und Biomechanischer Erhebungsbogen-Seite 3 von 7

<b>Bewegungsausmaß</b>				
<b>OSG:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> DE / PF	/	/	/ /
	<input type="checkbox"/> frei	<input type="checkbox"/> rechts eingeschränkt	<input type="checkbox"/> links eingeschränkt	<input type="checkbox"/> beide eingeschränkt
<b>USG:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Inversion/Eversion	/	/	/ /
	<input type="checkbox"/> frei	<input type="checkbox"/> rechts eingeschränkt	<input type="checkbox"/> links eingeschränkt	<input type="checkbox"/> beide eingeschränkt
<b>Chorpart/Lisfranc:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Supina./Prona.	/	/	/ /
	<input type="checkbox"/> frei	<input type="checkbox"/> rechts eingeschränkt	<input type="checkbox"/> links eingeschränkt	<input type="checkbox"/> beide eingeschränkt
<b>Instabilität im Seitenvergleich (Schublade):</b>	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> rechts>links	<input type="checkbox"/> links>rechts	<input type="checkbox"/> beidseits
<b>1. Strahl:</b>				
Tarsometatarsalgelenk.:				
	<input type="checkbox"/> hypomobil	<input type="checkbox"/> hypermobil	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> schmerzhaft
	<input type="checkbox"/> rechts	<input type="checkbox"/> links	<input type="checkbox"/> beide	
Metatarsophalangealgelenk:				
	<input checked="" type="checkbox"/> DE / PF	/	/	/ /
	<input type="checkbox"/> frei	<input type="checkbox"/> rechts eingeschränkt	<input type="checkbox"/> links eingeschränkt	<input type="checkbox"/> beide eingeschränkt
Interphalangealgelenk:				
	<input checked="" type="checkbox"/> DE / PF	/	/	/ /
	<input type="checkbox"/> frei	<input type="checkbox"/> rechts eingeschränkt	<input type="checkbox"/> links eingeschränkt	<input type="checkbox"/> beide eingeschränkt
<b>2.-5. Strahl:</b>				
Metatarsophalangealgelenk:				
	<input checked="" type="checkbox"/> DE / PF	/	/	/ /
	<input type="checkbox"/> frei	<input type="checkbox"/> rechts eingeschränkt	<input type="checkbox"/> links eingeschränkt	<input type="checkbox"/> beide eingeschränkt
Proximales Interphalangealgelenk:				
	<input checked="" type="checkbox"/> DE / PF	/	/	/ /
	<input type="checkbox"/> frei	<input type="checkbox"/> rechts eingeschränkt	<input type="checkbox"/> links eingeschränkt	<input type="checkbox"/> beide eingeschränkt
Distales Interphalangealgelenk:				
	<input checked="" type="checkbox"/> DE / PF	/	/	/ /
	<input type="checkbox"/> frei	<input type="checkbox"/> rechts eingeschränkt	<input type="checkbox"/> links eingeschränkt	<input type="checkbox"/> beide eingeschränkt

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
 Telefon (w) 09162 – 925259  
 Telefon (mf) 0171 – 6041869  
 Telefax 09162 – 925264  
 e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
 Testcenter  
 Adi-Dassler-Str. 24-26  
 91443 Scheinfeld  
 Germany

**ID-Code:**

Abb A11: Orthopädischer und Biomechanischer Erhebungsbogen-Seite 4 von 7



**Kniegelenk (orientierend)**       oB

**Bewegungsausmaß:**

Extension/Flexion      /      /      /      /

frei                       rechts eingeschränkt                       links eingeschränkt                       beide eingeschränkt

Rotation (bei 90° Flexion)      /      -      /      /      /

frei                       rechts eingeschränkt                       links eingeschränkt                       beide eingeschränkt

**Achsenstellung:**

Neutralstellung                       Valgusstellung                       Varusstellung

**Bemerkungen:**




  
  

**Fuß**

**Inspektion, Palpation**

Fußform:	<input type="checkbox"/> quadratisch	<input type="checkbox"/> griechisch	<input type="checkbox"/> ägyptisch	<input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Längsgewölbe:	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> Pes excavatus		<input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
	<input type="checkbox"/> Pes planus	<input type="checkbox"/> Knick-/Senkfuß		<input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Deformitäten:	<input type="checkbox"/> Spreizfuß	<input type="checkbox"/> Hallux valgus	<input type="checkbox"/> Hammerzehe (DI – V):	<input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Stellung im Zweibeinstand:	<input type="checkbox"/> N0	<input type="checkbox"/> Außenrot.:    °	<input type="checkbox"/> Innenrot.:    °	<input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Fersenwinkel (N0-Stellung):	<input type="checkbox"/> normal (0-5° valg.)	<input type="checkbox"/> valgus	<input type="checkbox"/> varus	<input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Fersenwinkel (Zehenstand):	<input type="checkbox"/> normal (0-5° valg.)	<input type="checkbox"/> Spontankorrektur	<input type="checkbox"/> fixiert	<input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Alignment (VF zu RF in N0):	<input type="checkbox"/> plantigrad	<input type="checkbox"/> varus	<input type="checkbox"/> valgus	<input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Metatarsalindex:	<input type="checkbox"/> Index plus minus	<input type="checkbox"/> Index minus	<input type="checkbox"/> Index plus	<input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li

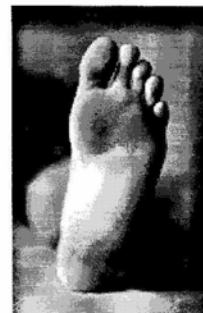
**Bemerkungen:**

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
Telefon (w) 09162 – 925259  
Telefon (mf) 0171 – 6041859  
Telefax 09162 – 925264  
e-mail frank.kleindienst@adidas.de
adidas-Salomon AG  
Testcenter  
Adi-Dassler-Str. 24-26  
91443 Scheinfeld  
Germany

**ID-Code:** \_\_\_\_\_

**Abb A12:** Orthopädischer und Biomechanischer Erhebungsbogen-Seite 5 von 7

**Lokalbefund****Rückfuß (z.B. Achillodynie, Exostosen, Fissuren, Schwielen)** physiologisch pathologisch**Vorfuß (z.B. Metatarsalgie, Sesamoiditis, Schwielen, Exostosen)** physiologisch pathologisch**Plantar (z.B. Druckschmerz, Schwielen, Fersensporn, Plantarfaszienverkürzung)** physiologisch pathologisch

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
 Telefon (w) 09162 – 925259  
 Telefon (mf) 0171 – 6041869  
 Telefax 09162 – 925264  
 e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
 Testcenter  
 Adi-Dassler-Str. 24-26  
 91443 Scheinfeld  
 Germany

ID-Code:

**Abb A13:** Orthopädischer und Biomechanischer Erhebungsbogen-Seite 6 von 7

## Biomechanische Analyse

### Läufertyp:

- neutrales Abrollverhalten
                         
  Supinierer
                         
  ausgeprägte Pronation

### Strike-Index:

- Vorfußläufern
                         
  Mittelfußläufern
                         
  Fersenläufern

### Fußstellung:

- Neutral -0- Stellung
- Exorotation/Abduktion
                         
  rechts
                         
  links
                         
  beide
- Endorotation/Aduktion
                         
  rechts
                         
  links
                         
  beide

### Analyseform:

- Schuhanalyse (Neutralschuh)
                         
  Barfußanalyse
- qualitative Videoanalyse
                         
  quantitative Videoanalyse
                         
  visuelle Analyse
- Overground (Hallenboden)
                         
  Overground (Straße)
                         
  Laufbandanalyse

Bemerkungen:

### Bestimmung der Fußdimensionen/Fußstruktur:

**Scanner:**                     durchgeführt                     nicht durchgeführt

**PFI:**                             durchgeführt                     nicht durchgeführt

**YETI:**                          durchgeführt                     nicht durchgeführt

**Meißkaliber:**                 durchgeführt                     nicht durchgeführt

rechts: Fußlänge: \_\_\_\_\_ mm                    Fußbreite: \_\_\_\_\_ mm

links: Fußlänge: \_\_\_\_\_ mm                    Fußbreite: \_\_\_\_\_ mm

**Blue print:**                     durchgeführt                     nicht durchgeführt

**Schaumabdruck:**               durchgeführt                     nicht durchgeführt

Bemerkungen:

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
 Telefon (w) 09162 – 925259  
 Telefon (mf) 0171 – 6041869  
 Telefax 09162 – 925264  
 e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
 Testcenter  
 Adi-Dassler-Str. 24-26  
 91443 Scheinfeld  
 Germany

ID-Code:

Abb A14: Orthopädischer und Biomechanischer Erhebungsbogen-Seite 7 von 7

# Bewertung - Schuhmodell

## Functional Grading



Der folgende Fragebogen soll für das Schuhmodell, das Sie heute getragen haben, unmittelbar nach dem Lauf ausgefüllt werden. Bitte nehmen Sie sich genügend Zeit, jedes der Sportschuhparameter genau zu beurteilen und beziehen Sie sich dabei auf den beigefügten Bogen mit den passenden Definitionen und Anweisungen.

**Wichtig:** Bitte vergessen Sie nicht, die Laufzeit zu stoppen und jeden Sportschuhparameter zu bewerten!

Schuhmodell:	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> G	<input type="checkbox"/> H
Laufeinheit:	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 8
Name: _____				Vorname: _____				
Schuhgröße [UK]: _____				Geschlecht:	<input type="checkbox"/> m	<input type="checkbox"/> w		
Zurückgelegte Strecke [km]: _____				Dauer des Laufes [min]: _____				
Beschreibung des Laufuntergrunds:	<input type="checkbox"/> Straße	<input type="checkbox"/> befestigte Waldwege	<input type="checkbox"/> Gelände/Trail					
Beschreibung des Laufstreckenreliefs:	<input type="checkbox"/> eben	<input type="checkbox"/> hügelig/bergig	<input type="checkbox"/> eben <u>und</u> hügelig/bergig					
Beschreibung des Wetters:	<input type="checkbox"/> trocken	<input type="checkbox"/> Regen	<input type="checkbox"/> Schnee					
Lufttemperatur [°C]:	ca. _____							

<b>Sportschuhparameter:</b>				
Ist die Dämpfung im Vorfuß gut?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein, wenn nein	<input type="checkbox"/> zu weich	<input type="checkbox"/> zu hart
Ist die Dämpfung im Rückfuß gut?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein, wenn nein	<input type="checkbox"/> zu weich	<input type="checkbox"/> zu hart
Ist die Stabilität im Vorfuß gut?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein, wenn nein	<input type="checkbox"/> instabil nach innen	<input type="checkbox"/> instabil nach außen
Ist die Stabilität im Rückfuß gut?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein, wenn nein	<input type="checkbox"/> instabil nach innen	<input type="checkbox"/> instabil nach außen
Sind die Torsionseigenschaften gut?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein, wenn nein	<input type="checkbox"/> zu flexibel	<input type="checkbox"/> zu steif
Ist die Vorfußflexibilität gut?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein, wenn nein	<input type="checkbox"/> zu flexibel	<input type="checkbox"/> zu steif
Ist das Abrollverhalten gut?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein, wenn nein	<input type="checkbox"/> zu weich/zu flexibel	<input type="checkbox"/> zu steif/hart
Ist das Gewicht des Schuhs gut?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein, wenn nein	<input type="checkbox"/> zu schwer	<input type="checkbox"/> zu leicht

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
 Telefon (w) 09162 – 925259  
 Telefon (mf) 0171 – 6041869  
 Telefax 09162 – 925264  
 e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
 Testcenter  
 Adi-Dassler-Str. 24-26  
 91443 Scheinfeld  
 Germany


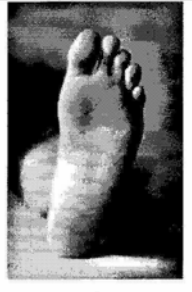



ID-Code:

Abb A15: Evaluierungsbogen - Seite 1 von 2

**Sind besondere Beschwerden/Verletzungen aufgetreten, die durch den Testschuh verursacht wurden:**

Zehenbereich	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, welcher Art?	<input type="checkbox"/> Ziehen	<input type="checkbox"/> Stechen	<input type="checkbox"/> Druck	<input type="checkbox"/> Reiben	<input type="checkbox"/> Blase
Vorfuß	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, welcher Art?	<input type="checkbox"/> Ziehen	<input type="checkbox"/> Stechen	<input type="checkbox"/> Druck	<input type="checkbox"/> Reiben	<input type="checkbox"/> Blase
Mittelfuß	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, welcher Art?	<input type="checkbox"/> Ziehen	<input type="checkbox"/> Stechen	<input type="checkbox"/> Druck	<input type="checkbox"/> Reiben	<input type="checkbox"/> Blase
Rückfuß/Ferse	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, welcher Art?	<input type="checkbox"/> Ziehen	<input type="checkbox"/> Stechen	<input type="checkbox"/> Druck	<input type="checkbox"/> Reiben	<input type="checkbox"/> Blase
Fußrücken/Rist	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, welcher Art?	<input type="checkbox"/> Ziehen	<input type="checkbox"/> Stechen	<input type="checkbox"/> Druck	<input type="checkbox"/> Reiben	<input type="checkbox"/> Blase
Archillessehne	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, welcher Art?	<input type="checkbox"/> Ziehen	<input type="checkbox"/> Stechen	<input type="checkbox"/> Druck	<input type="checkbox"/> Reiben	<input type="checkbox"/> Blase
Knie	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, welcher Art?	<input type="checkbox"/> Ziehen	<input type="checkbox"/> Stechen	<input type="checkbox"/> Druck	<input type="checkbox"/> Reiben	<input type="checkbox"/> Blase
Hüfte	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, welcher Art?	<input type="checkbox"/> Ziehen	<input type="checkbox"/> Stechen	<input type="checkbox"/> Druck	<input type="checkbox"/> Reiben	<input type="checkbox"/> Blase
Rücken	<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, welcher Art?	<input type="checkbox"/> Ziehen	<input type="checkbox"/> Stechen	<input type="checkbox"/> Druck	<input type="checkbox"/> Reiben	<input type="checkbox"/> Blase

Falls Probleme bzw. Beschwerden, die tatsächlich mit dem Testschuh in Verbindung gebracht werden können, aufgetreten sind, bitte diese Stellen auf den Abbildungen kennzeichnen!




Persönliche Bemerkungen: \_\_\_\_\_

---



---

**Probleme am Schuh:**  
 Falls am Schuhmodell irgendwelche Probleme aufgetreten sind, bitte kennzeichnen Sie die Stellen an den Zeichnungen!

Bemerkungen/Verbesserungsvorschläge:

---

**Gesamteindruck:**     sehr gut     gut     weniger gut     schlecht

Bemerkungen: \_\_\_\_\_

Frank Kleindienst, Biomechanical Lab  
 Telefon (w) 09162 – 925259  
 Telefon (mf) 0171 – 6041869  
 Telefax 09162 – 925264  
 e-mail frank.kleindienst@adidas.de

adidas-Salomon AG  
 Testcenter  
 Adi-Dassler-Str. 24-26  
 91443 Scheinfeld  
 Germany

**ID-Code:** \_\_\_\_\_

Abb A16: Evaluierungsbogen - Seite 2 von 2

## **Danksagung**

Mein Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. J. Eulert, sowie meinem Betreuer Priv.-Doz. Dr. med. M. Walther für die Überlassung des Themas und die wertvollen fachlichen Anregungen, sowie die ständige Unterstützung. In diesem Zusammenhang auch vielen Dank an Priv.-Doz. Dr. med. H. Girschick für die spontane Bereitschaft, einen Sitz bei dem Rigorosum zu übernehmen.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei der Firma adidas®, besonders bei Herrn Dr. B. Krabbe sowie Herrn Dr. F. Kleindienst für die ausdauernde Unterstützung, die Geduld und finanzielle Ermöglichung des Projekts. Besonders bedanken möchte ich mich noch bei Anja Wicklein für ihre moralische Unterstützung während des Studiums und die zeitaufwendige Korrektur der Arbeit.

Auch an meine Eltern geht ein besonderer Dank. Sie haben stets an mich geglaubt und mich zu dem Menschen gemacht, der ich heute bin.

Vielen Dank,

Robert Morrison