

Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik (König-Ludwig-Haus, Würzburg),
Lehrstuhl für Orthopädie der Universität Würzburg
Direktor: Prof. Dr. med J. Eulert

**Entwicklungsabhängige Anforderungen an einen
Kindersportschuh unter besonderer Berücksichtigung
der Sohlenparameter**

Inaugural-Dissertation
Zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayrischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg
vorgelegt von
Angela Christine Sinderhauf
aus Heilbronn
Würzburg, Juni 2005

Referent: Prof. Dr. med Jochen Eulert

Koreferent: Priv. -Doz. Dr. med Markus Walther

Dekan: Prof. Dr. med Georg Ertl

Tag der mündlichen Prüfung: 25.10.2005

Die Promovendin ist Ärztin

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Einfluss von Schuhen auf den Fuß	1
1.2 Schuhaufbau.....	2
2 Material und Methoden	5
2.1 Bestimmung der Dämpfungsparameter	5
2.2 Dynamischer 3-Punkt-Biegetest	8
3 Ergebnisse	11
3.1 Allgemeine Daten der getesteten Sportschuhe.....	11
3.2 Instron™-Messungen der Dämpfungsparameter der Sohle.....	12
3.2.1 Grundsteifigkeit	12
3.2.2 Funktionelle Steifigkeit	16
3.2.3 Energieverlust	19
3.3 Dynamischer 3-Punkte-Biegungstest.....	21
3.3.1 Flexionssteifigkeit der Vorfußsohle.....	21
3.3.2 Energieverlust der Vorfußsohle.....	22
4 Diskussion	24
4.1 Entwicklung des Kinderfußes.....	24
4.1.1 Pränatale Entwicklung.....	24
4.1.2 Die knöcherne Entwicklung des Fußes	25
4.1.3 Das Fußwachstum	26
4.1.4 Das Bindegewebe in seiner Entwicklung.....	28
4.1.5 Die Änderung der Achsenverhältnisse	29
4.1.6 Der ausgereifte Fuß	31
4.2 Anforderungen an einen Kinderschuh	32
4.2.1 Allgemeine Anforderungen.....	32
4.2.2 Spezielle Anforderungen	33
4.2.2.1 Material.....	33
4.2.2.2 Dämpfung	33
4.2.2.3 Flexibilität - Stabilität.....	34
4.2.2.4 Form	36

4.2.2.5 Länge, Weite.....	36
4.2.2.6 Fußbett	38
4.2.2.7 Verschluss	39
4.2.2.8 Sprengung	40
4.3 Auswertung der Testungen in Bezug auf die Literatur	41
5 Zusammenfassung.....	43
6 Literatur	48
7 Abbildungsverzeichnis	52

1 Einleitung

1.1 Einfluss von Schuhen auf den Fuß

Für viele Eltern steht die Gesundheit ihrer Kinder an erster Stelle. Doch die empfohlenen Vorsorgeuntersuchungen beim Kinderarzt konzentrieren sich auf die internistische und neurologische Entwicklung, während der Fuß und die Kontrolle des Schuhwerks kaum einen Raum einnehmen.

89 % der Kinder kommen mit gesunden Füßen auf die Welt. Im Erwachsenenalter haben nur noch 60 % der Bevölkerung gesunde Füße (46). Eine der einfachsten präventiven Maßnahmen die wir ergreifen können, ist das Tragen passender Schuhe. Im Kindesalter ist die Struktur des kleinen Fußes auf Wachstum ausgerichtet. Dementsprechend weich sind Knochen und Gelenke. Vor allem in diesem Zeitraum ist darauf zu achten, dass es nicht zu einer Wachstumsfehlenkung durch unpassende Schuhe kommt, denn diese gilt als eine der Hauptursachen erworbener Fußschäden (46).

Man darf aber nicht nur die direkte Schädigung des Fußes sehen, sondern muss auch an die Folgeschäden denken. Von den so genannten sekundären Schädigungen sind vor allem Sprung-, Knie-, Hüft-, und Wirbelgelenke betroffen. Auch der venöse Rückstrom der unteren Extremität kann betroffen sein (25).

Kinder merken nicht, wenn ein Schuh drückt (23). Sie haben eine geringe Schmerzempfindlichkeit gegenüber Druck. Zustimmung aus Kindermund zum passenden Schuh ist deshalb mit besonderer Vorsicht zu bewerten.

Anlässlich der WMS-Aktionstage vom 12. -26. Mai 2001 wurden Fuß- und Schuhmessungen durchgeführt. Nur 46,7 % der Kinder trug passende Schuhe. 9,6 % der vermessenden Schuhe waren zu groß. Von den restlichen 43,8 % waren 33,4 % eine Nummer zu klein und 10,3 % waren sogar viel zu klein (Abbildung 1) (46).

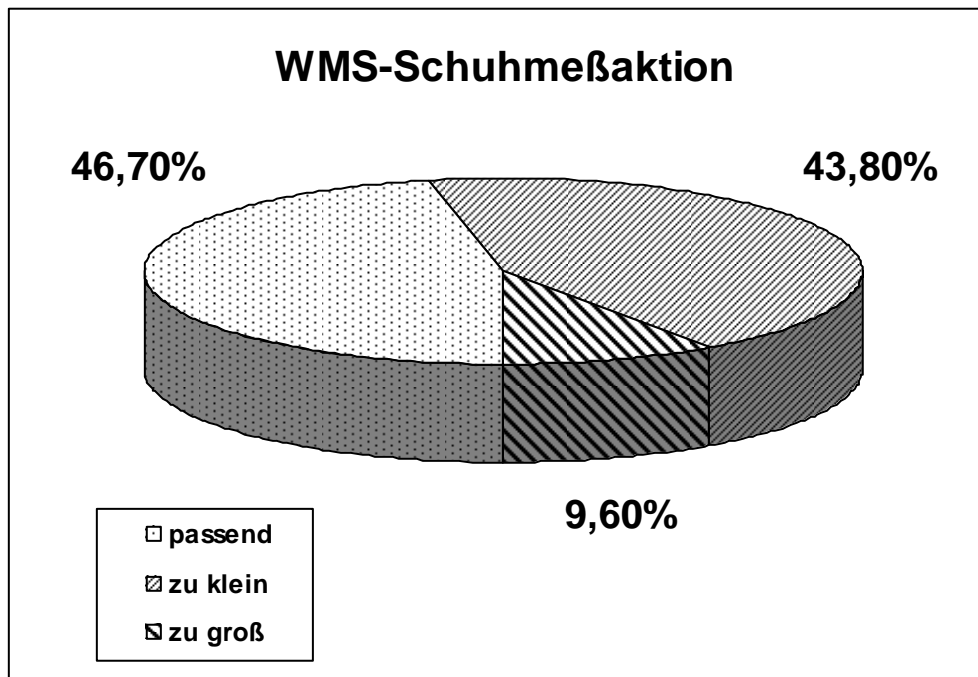


Abbildung 1: Ergebnisse der WMS-Schuhmeßaktion von 2001

1.2 Schuhaufbau

In den westlichen Breitengraden gehört das Tragen von Schuhen zur alltäglichen Kleiderordnung. In der frühen Kindheit, vor und beim Laufbeginn, stellt der Schuh hauptsächlich einen Schutz vor der Umwelt dar. Er schützt zum Beispiel vor Kälte, Wärme oder Wasser.

Mit wachsender Beanspruchung der Füße kommt die Entlastungs- und Unterstützungsfunktion hinzu. Je nach Verwendungszweck muss ein Schuh verschiedenen Anforderungen gerecht werden. Ein Sportschuh zum Beispiel muss weitaus höhere Dämpfungseigenschaften aufweisen als ein Straßenschuh, dessen Wetterfestigkeit für den Sportschuh dagegen eher sekundär ist.

Wenn man sich nun die anatomischen und physiologischen Unterschiede von Kinderfüßen und Erwachsenenfüßen vor Augen führt, scheint es sinnvoll einen Kinderschuh in seinem Aufbau den kindlichen Bedürfnissen anzupassen.



Abbildung 2: Allgemeiner Aufbau eines Sportschuhs

Als Grundgerüst für die Schuhherstellung steht der Leisten. Er bestimmt mit seinen Maßen die Form des Schuhs.

Auf den aus Holz oder Kunststoff gefertigten Leisten wird im ersten Arbeitsschritt die Brandsohle genagelt. Sie bildet das Fundament des Schuhs, da an ihr der Schaft, der Absatz und die anderen Bodenteile durch Nähte befestigt werden. Die Brandsohle dient außerdem der inneren unteren Festigkeit. Auf ihr ist das Fußbett angebracht.

Zwischen Brandsohle und Zwischensohle werden Futter- und Oberleder befestigt. Unter der Zwischensohle wird die Laufsohle befestigt. Der obere Schuhaufbau besteht aus der Vorderkappe und der Hinterkappe mit dem etwas nach vorn gezogenen Futter. Vorder- und Hinterkappe werden durch den Schaft verbunden. Der Schaft sorgt für die mehr oder weniger feste Fassung des Mittelfußbereiches. Die Hinterkappen verleihen der Ferse im Schuh einen festen Halt beim Gehen, geben die Leistenform exakt wieder und verhindern das Heraustreten der Ferse. Sie wird zwischen Futter- und Oberleder eingearbeitet.

Die verschiedenen Eigenschaften des Schuhs sind das Resultat des Zusammenspiels der zahlreichen Komponenten. Auf die Dämpfung haben zum Beispiel unter anderem das Material der Zwischensohle, Laufsohle und das Fußbett Einfluss. Die Flexibilität dagegen wird mitunter durch den Schaft, das Material, die Laufsohle und die Zwischensohle bestimmt.

Die zentrale Frage dieser Arbeit ist: Welche Parameter müssen wie an die Bedürfnisse eines Kinderfußes angepasst werden und inwieweit werden die

heutzutage auf dem Markt angebotenen Kinderschuhe den speziellen Anforderungen gerecht?

2 Material und Methoden

2.1 Bestimmung der Dämpfungsparameter

Im Wesentlichen gibt es zwei Testverfahren zur Überprüfung der Dämpfungseigenschaften von Schuhen (43). Das am häufigsten angewandte Verfahren besteht aus einem Gewicht, welches im freien Fall auf die Vorfuß- oder Rückfußsohle prallt. Die Parameter dieses Tests werden im Normalfall so gewählt, dass sie der Laufbelastung eines 70 kg schweren Läufers mit einer Laufgeschwindigkeit von etwa 15 km/h entsprechen. Durch Änderung der Fallhöhe bzw. des Gewichts können problemlos auch andere Belastungssituationen simuliert werden. Bei der Testung der Kinderschuhe wurden die Parameter den Werten von Kindern entsprechend gewählt.

Das zweite, auch im Rahmen dieser Untersuchungen verwendete Verfahren, erlaubt eine zeitabhängige Steuerung der Kraft, die auf die Sohle einwirkt. Beim Ferseläufer wird die Belastungsspitze des Aufpralls 30 bis 50 Millisekunden nach dem ersten Bodenkontakt beobachtet. Die meisten Dämpfungsmaterialien (Schäume wie Ethylenvinylacetat (EVA) oder Polyurethan (PU)) besitzen viskoelastische Eigenschaften, wobei je nach Bearbeitung ein visköses oder elastisches Verhalten dominieren kann. Dies bedeutet, dass die Dämpfungseigenschaften von dem Kraft-Zeit-Verlauf abhängig sind. Tests mit fallenden Gewichten simulieren dabei sehr gut die Belastung der Rückfußsohle durch die Ferse. Der Gipfel der Belastungsspitze am Vorfuß liegt jedoch erst bei 150 bis 200 Millisekunden nach dem ersten Bodenkontakt, auch ist der Verlauf der Belastungskurve deutlich flacher als am Rückfuß. Dieser Kraftverlauf kann daher nur durch eine maschinelle, zeitgesteuerte Belastung realisiert werden, wie sie Instron oder Scott Testsysteme ermöglichen.

Die im Rahmen der Untersuchung verwendete Instron™-Druckprüfmaschine (9) erlaubte ein der realen, mechanischen Belastung entsprechendes Kraft-Zeit-Profil auf den zu testenden Bereich des Schuhs zu übertragen. Die Werte für die Belastungsintervalle wurden anhand einer Studie über die Zusammenhänge von Alter, Größe, Gewicht und Schuhgröße von Kindern bestimmt. Hieraus

ergab sich, dass die Schuhgröße 22 einem Kind von unter drei Jahren entspricht. Kinder mit einer Schuhgröße von 30, sind im Schnitt sechs bis sieben Jahre alt. Die Größe 35,5 wird im Durchschnitt mit zehn bis elf Jahren erreicht (6). Die Form der verwendeten Stempel war der anatomischen Form des Fußes nachempfunden, wobei der Vorfußstempel aus dem entsprechenden Teil eines Laufschuhleists konstruiert worden war (41). Die Belastungsfläche des Vorfußstempel betrug für Größe 22 ca. $15,9 \text{ cm}^2$ (2,6 cm x 6 cm), für Größe 30 ca. $23,1 \text{ cm}^2$ (3,3 cm x 7 cm) und für Größe 35,5 ca. $45,24 \text{ cm}^2$ (5,2 cm x 8,7 cm). Der Rückfußstempelzylinder hatte bei Größe 22 einen Radius von 1,5 cm, was einer Belastungsfläche von ca. 7 cm^2 entsprach. Bei Größe 30 lag der Radius bei 2 cm, woraus sich eine Belastungsfläche von ca. $12,5 \text{ cm}^2$ ergab. Aus dem Radius von 2,5 cm für die Größe 35,5 ließ sich eine Belastungsfläche von ca. 20 cm^2 errechnen. Rück- und Vorfußsohle wurden jeweils mit 540 N belastet. Der Kraftaufbau am Rückfuß erfolgte über 35 ms, der Abbau über 60 ms. Am Vorfuß wurde die Belastung über einen Zeitraum von 100 ms auf- und abgebaut.

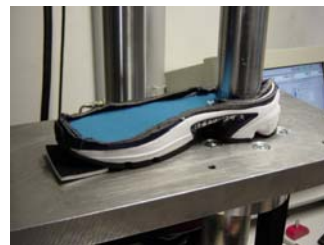


Abbildung 3: *Standardmessverfahren zur Bestimmung der Dämpfungsparameter eines Sportschuhs mittels InstronTM-Testmaschine*

Im Standardmessverfahren wurden mit der InstronTM-Testmaschine an jedem Schuh 20 Kraft-Deformationszyklen aufgenommen (Abbildung 3). Um die Dämpfungsparameter an jedem Schuh im Vor- und Rückfußbereich zu interpretieren, wurde für jeden gestesteten Laufschuh die Grundsteifigkeit, die funktionelle Steifigkeit sowie der Energieverlust aus dem 20. Zyklus ermittelt. Dabei beschreibt die Grundsteifigkeit die Steifigkeit eines Schuhs bei niedriger Belastung, wie zum Beispiel beim Stehen oder Gehen. Die funktionelle

Steifigkeit ist die Steifigkeit eines Schuhs bei hoher Belastung, zum Beispiel während einer Laufbewegung. Die Grundsteifigkeit wurde aus der Steigung der Kurve des Kraft-Deformationsdiagramms im Belastungsintervall im Bereich von 55-110 N bestimmt und die funktionelle aus der Steigung in Belastungsintervall 270-400 N bestimmt.

Die beiden Steigungen für die Grundsteifigkeit und die funktionelle Steifigkeit wurden aus der Differenz des entsprechenden Kraftintervalls zu dem entsprechenden Deformationsintervall ermittelt.

Sie wurden mit folgender Formel berechnet:

$$\text{Grundsteifigkeit} = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{F_{110N} - F_{55N}}{s_{110N} - s_{55N}} \left[\frac{N}{mm} \right]$$

$$\text{Funktionelle Steifigkeit} = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{F_{400N} - F_{270N}}{s_{400N} - s_{270N}} \left[\frac{N}{mm} \right]$$

F = wirkende Kraft

S = resultierende Deformation

Die Kraft-Deformationskurve wird auch als Hysteresekurve bezeichnet. Anhand dieser Kurve wurde der Energieverlust berechnet. Der Energieverlust ist die Differenz zwischen der von dem Prüfstempel zugeführten Energie und der während eines Testzyklus an den Prüfstempel zurückgegebenen Energie. Der Energieverlust wird durch die Fläche in der Hysteresekurve beschrieben. Eine breite Hysteresekurve bedeutet einen hohen Energieverlust, eine schmale einen geringen Energieverlust (44).

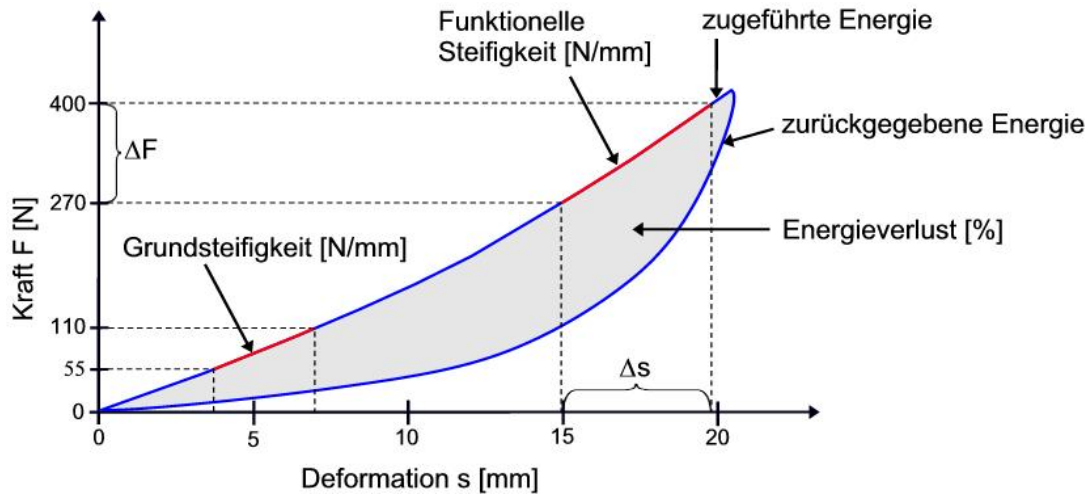


Abbildung 4: Hysteresekurve zur Bestimmung des Energieverlustes bei der Bestimmung der Dämpfungsparameter

Getestet wurden insgesamt 15 Schuhe der Marke Adidas, davon fünf der Größe 22, sechs der Gr. 30 und vier verschiedene Schuhe der Gr. 35,5.

2.2 Dynamischer 3-Punkt-Biegetest

Mit dem dynamischen 3-Punkt-Biegetest kann spezifisch die Biegesteifigkeit der Vorfußflexibilitätszone bestimmt werden. Zur Durchführung wird der Schuh von zwei Balken gestützt, die jeweils 12 mm breit und 30 mm hoch sind. Ihre Auflagefläche ist abgerundet, der Radius beträgt 6 mm. Der Abstand dieser beiden Auflagebalken beträgt von Mittellinie zu Mittellinie 60 mm. Nach vorheriger Markierung der Flexionszone unter den Zehengrundgelenken wird die Vorfußsohle mit einem Rollenstempel deformiert. Die Biegevorrichtung wird mit dem Prüfstempel mittig zwischen den beiden Auflagebalken fixiert. Der Schuh wird so positioniert, dass sich seine Vorfußbiegeline parallel zum Teststempel und direkt unter diesem befindet (Abbildung 5) (44).

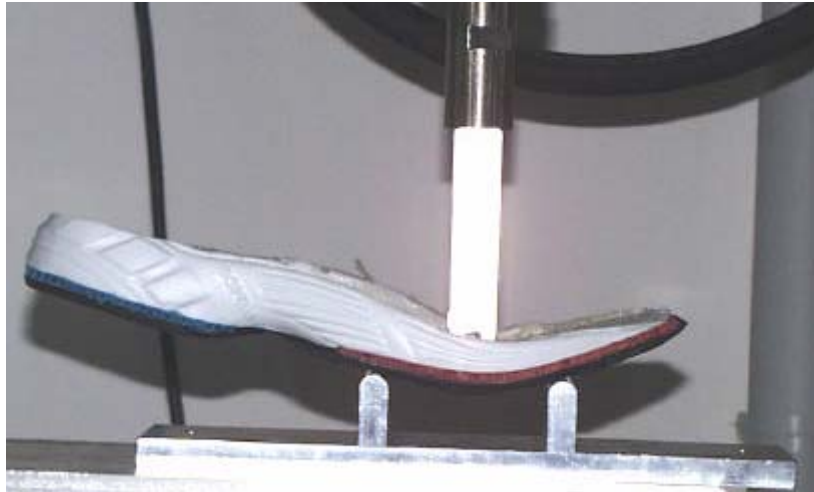


Abbildung 5: *Dynamischer 3-Punkt-Biegetest im Bereich der Vorfußflexionszone*

Der Test erfolgt weggesteuert mit einer bodenwärts gerichteten Biegung des Schuhs in der Vorfußflexionszone. Die maximale Deformationen wurde den verschiedenen Schuhgrößen angepasst: 7,5 mm für Größe 22, 11 mm für Größe 30 und 15 mm für Größe 35,5. Bei der Messung wird ein Kraft-Deformations-Profil aufgenommen. Die Be- und Entlastung erfolgte innerhalb von jeweils 100 Millisekunden.

Jeder Schuh wurde über 20 Kraft-Deformations-Zyklen belastet und der 20. Zyklus wurde ausgewertet. Die Flexionssteifigkeit gibt dabei die Kraft an, die nötig ist, den Vorfußbereich um einen weiteren Millimeter durchzubiegen. Hohe Werte entsprechen einer steifen Sohle. Gewählt wurde eine Auswertung der Biegesteifigkeit im Intervall 2-8 mm.

Sie wurden mit folgender Formel berechnet:

$$\text{Biegesteifigkeit} = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{F_{8\text{mm}} - F_{2\text{mm}}}{s_{8\text{mm}} - s_{2\text{mm}}} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

F = wirkende Kraft

s = resultierende Deformation

Der Energieverlust errechnet sich aus der Hysteresekurve wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben.

3 Ergebnisse

3.1 Allgemeine Daten der getesteten Sportschuhe

Im Vorfeld der Messungen wurden die Sohlendicken der zu testenden Schuhe im Bereich des Vorfußes und des Rückfußes gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

	Schuh Nr	Vorfußsohle (mm)	Rückfußsohle (mm)
Größe 22	1	7,3	11,6
	2	4,9	11,0
	3	9,8	9,9
	4	4,3	9,7
	5	7,1	11,9
Größe 30	1	10,1	18,3
	2	13,4	22,0
	3	15,0	26,0
	4	8,0	17,0
	5	12,0	20,5
	6	11,5	21,5
Größe 35,5	1	8,4	13,7
	2	14,8	22,9
	3	12,0	20,5
	4	11,5	20,0

Tabelle 1: Sohlendicke der getesteten Sportschuhe

Aus den ermittelten Werten für Vorfuß- und Rückfußsohlendicke wurde die Fersensprengung (heel lift) errechnet. Sie ergibt sich aus der Differenz der

beiden Sohlendicken. In Abbildung 5 sind die Fersensprengungen aller getesteten Schuhe dargestellt.

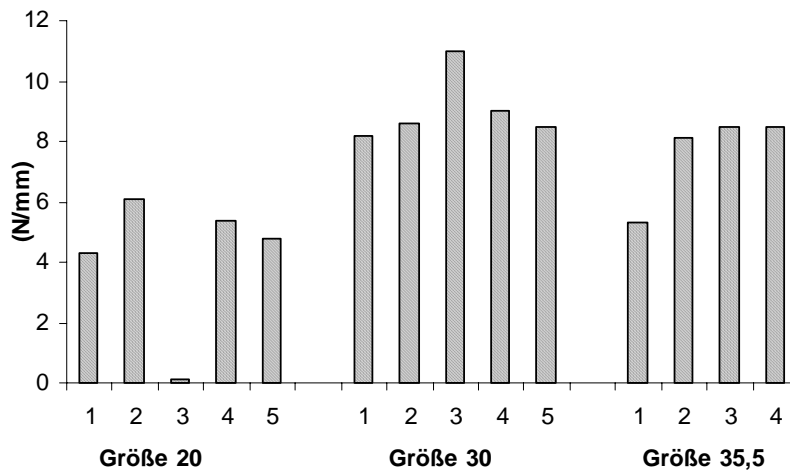


Abbildung 5: Vergleich der Fersensprengungen, die aus den Sohlendicken der Vor- und Rückfußsohlen der getesteten Sportschuhe errechnet wurden

Die Schuhe der Größe 20 ergaben Fersensprengungen im Bereich von 0,1 bis 6,1 mm. Hierbei fällt Schuh 3 mit nur 0,1 mm Fersensprengung auf.

Die Fersensprengungen der getesteten Sportschuhe in Größe 30 lagen im Bereich von 8,2 und 11,0 mm.

Bei Größe 35,5 lagen die ermittelten Werte zwischen 5,3 und 8,5 mm. Wobei die Fersensprengungen der Schuhe 3 und 4 denselben Wert ergaben.

3.2 Instron™-Messungen der Dämpfungsparameter der Sohle

3.2.1 Grundsteifigkeit

Die Grundsteifigkeit der Schuhsohle im Bereich einer Belastung von 55 bis 110 N wird einerseits durch die Einlegesohle, andererseits durch das Material der Zwischensohle bestimmt. Die 2-3 mm dicken Einlegesohlen sind aus Kunststoff gefertigt und sorgen für eine weiche Bettung des Fußes. Der Effekt der Einlegesohle ist beim Stehen in einem neuen Schuh, was beim Kind einer Belastung von 55-110 N entspricht, am stärksten ausgeprägt. Schon nach

einigen Wochen kann die Einlegesohle einen Teil ihrer Dämpfungseigenschaften verlieren, hauptsächlich durch eine plastische Verformung im Sinne einer Kompression (44). Die Abbildungen 6-8 zeigen die Mittelwerte der Grundsteifigkeiten der Vorfuß- und Rückfußsohlen der mittels InstronTM-Testmaschine gemessenen Dämpfungsparameter der verschiedenen Schuhgrößen.

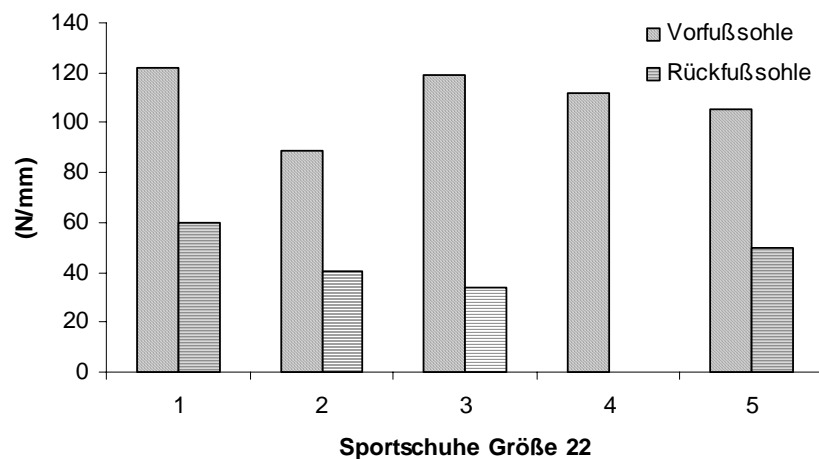


Abbildung 6: Vergleich der Grundsteifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-5) in Größe 22 (Initial Stiffness 55-110 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine

Die Grundsteifigkeiten der Vorfußsohlen der Größe 22 liegen im Bereich von 89 bis 122 N/mm. Für die Rückfußsohle wurden Werte zwischen 34 und 60 N/mm gemessen. Bei allen Schuhen weist die Vorfußsohle eine deutlich höhere Grundsteifigkeit auf als die Rückfußsohle.

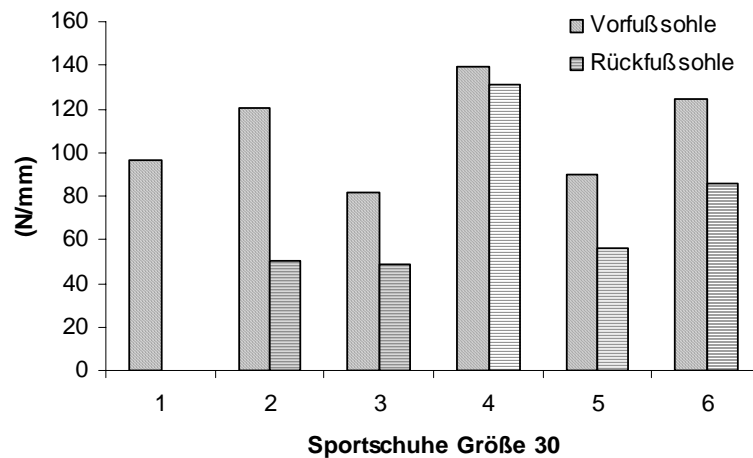


Abbildung 7: Vergleich der Grundsteifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-6) in Größe 30 (Initial Stiffness 55-110 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine

Bei den Sportschuhen der Größe 30 fällt auf, dass die Grundsteifigkeit der Vorfußsohle insgesamt auf einen ähnlichen Niveau (81,7 bis 139,7 N/mm) wie bei Größe 22 liegt, jedoch weiter streut. Die Werte für die Rückfußsohle liegen im Bereich von 49 bis 130,9 N/mm. Hierbei liegt die Grundsteifigkeit der Rückfußsohle wie bei Größe 22 unter der der Vorfußsohle, wobei sich die Werte nicht mehr so deutlich voneinander unterscheiden. Besonders auffällig ist, dass bei Schuh 4 kaum eine Differenz zwischen der Grundsteifigkeit der Vorfußsohle und der Rückfußsohle besteht.

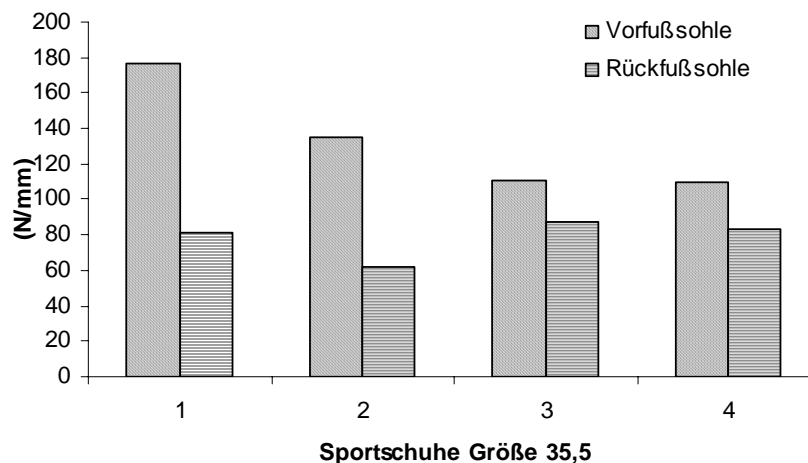


Abbildung 8: Vergleich der Grundsteifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-4) in Größe 35,5 (Initial Stiffness 55-110 N) bei der Testung der Dämpfungparameter mittels InstronTM-Testmaschine

Die Grundsteifigkeiten bei der Messung der Größe 35,5 lagen für die Vorfußsohle im Bereich von 135 bis 177 N/mm, für die Rückfußsohle im Bereich von 62 bis 87,2 N/mm. Damit sind die Rückfußsohlen erneut durchgehend stärker gedämpft als die Vorfußsohlen. Bei den Schuhen 3 und 4 zeigten sich wieder ähnliche Werte für Vor- und Rückfußsohle.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Differenz der Mittelwerte der Grundsteifigkeiten von Vorfuß- und Rückfußsohle mit der Zunahme der Schuhgröße abnimmt.

Laufschuhe für Erwachsene erreichen im entsprechenden Belastungsintervall 200 bis 400 N Durchschnittswerte von 179 N/mm für die Vorfußsohle bzw. 100 N/mm für die Rückfußsohle (44). Die Schuhe in diesem Test lagen bis auf Schuh Nr. 4 Gr. 30 (130,9 N/mm für Rückfußsohle) unter diesen Werten. Interessanterweise unterscheiden sich die Schuhe der Größen 22 und 30 hinsichtlich der Vorfuß-Grundsteifigkeit in ihren Mittelwerten kaum. Für Schuh Nr. 4 Gr. 22 liegen für die Rückfußsohle keine Messwerte vor.

3.2.2 Funktionelle Steifigkeit

Die funktionelle Steifigkeit der Vorfußsohle ist für die Dämpfung bei höheren Belastungen, wie sie zum Beispiel beim Sport vorkommen, verantwortlich. Der Messbereich 270-400 N entspricht einer Belastung durch ein mehrfaches des Körpergewichtes eines Kindes. Hohe Werte der funktionellen Steifigkeit entsprechen einer harten Sohle (44). Die Abbildungen 9-11 zeigen die Werte der funktionellen Steifigkeiten der Vor- und Rückfußsohlen der mittels InstronTM-Testmaschine gemessenen Dämpfungsparameter der Sportschuhe in verschiedenen Schuhgrößen.

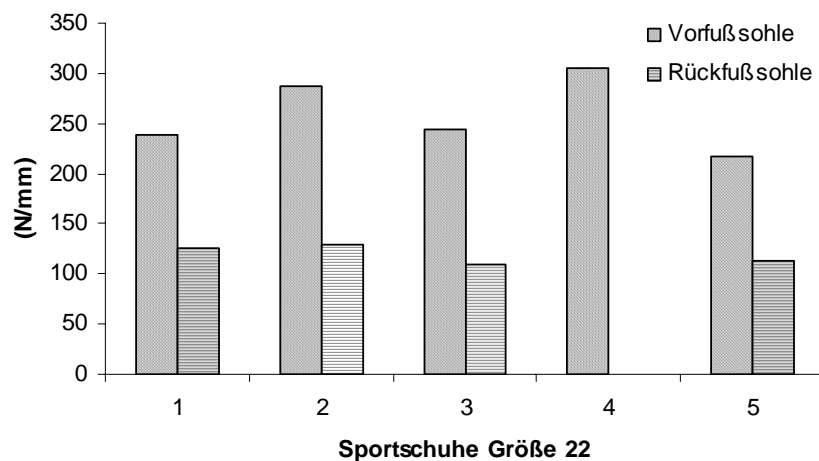


Abbildung 9: Vergleich der funktionellen Steifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-5) in Größe 22 (functional stiffness 270-400 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine

Für die funktionellen Steifigkeiten der Vorfußsohlen wurden Werte zwischen 244 und 305 N/mm ermittelt. Bei der Testung der Rückfußsohle wurden Werte im Bereich zwischen 109 und 129 N/mm ermittelt. Somit zeigen sich in Größe 22 durchgehend deutlich höhere Werte bei der funktionellen Steifigkeit der Vorfußsohle als bei der Rückfußsohle.

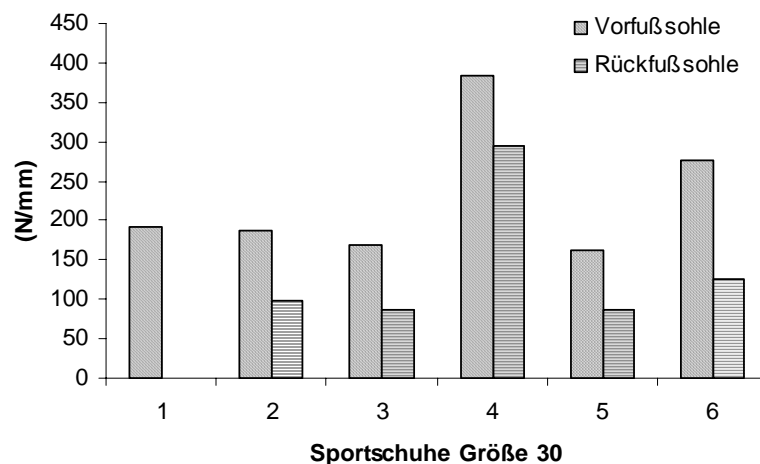


Abbildung 10: Vergleich der funktionellen Steifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-6) in Größe 30 (functional Stiffness 270-400 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine

Die funktionellen Steifigkeiten der Vorfußsohlen der Größe 30 liegen im Bereich von 169,1 bis 384,1 N/mm. Für die Rückfußsohle wurden Werte zwischen 86 und 295,3 N/mm ermittelt. Auch bei der funktionellen Steifigkeit liegen die Werte des Schuhs 4 deutlich über denen der anderen Sportschuhe und weisen im Vergleich untereinander wenig Differenz auf.

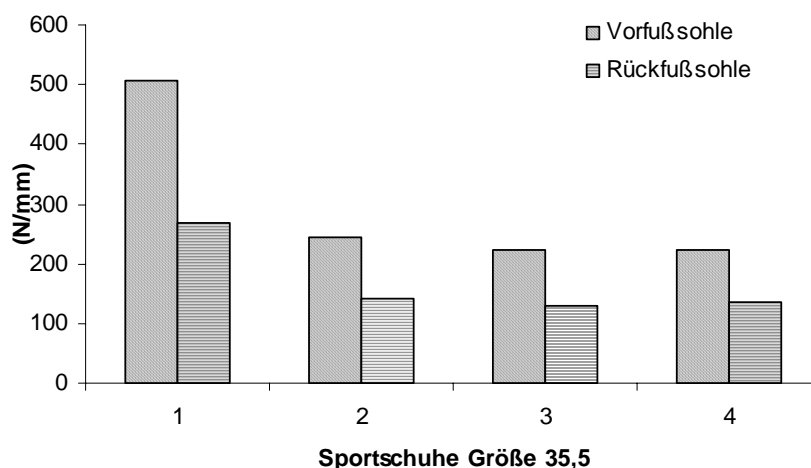


Abbildung 11: Vergleich der funktionellen Steifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-4) in Größe 35,5 (functional Stiffness 270-400 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine

Die funktionellen Steifigkeiten bei der Messung der Größe 35,5 lagen für die Vorfußsohle im Bereich von 223,5 bis 507 N/mm, die der Rückfußsohle im Bereich von 128,3 bis 269 N/mm. Somit ergibt sich erneut eine durchgehend stärkere Dämpfung der Rückfußsohlen. Wie auch bei den Werten der Grundsteifigkeit ähneln sich die funktionellen Steifigkeiten der Vor- und Rückfußsohlen der Schuhe 3 und 4.

Bei der Schuhfertigung im Erwachsenenbereich wird von den meisten Herstellern eine „Härtegrenze“ festgelegt, die 330 N/mm für die Rückfußsohle beträgt (44). Die gemessenen Werte für die funktionelle Steifigkeit der Rückfußsohle der Kindersportschuhe lagen insgesamt unter dieser Grenze.

3.2.3 Energieverlust

Der Energieverlust erfasst die Differenz zwischen der durch die Kompression der Sohle zugeführten Energie und der während des Abstoßes zurückgegebenen Energie. Diese Differenz wird durch die Fläche in der Hysteresekurve beschrieben (siehe auch Material und Methoden S.8). Ein Energieverlust unter 35 % wird als günstig angesehen (44). Die folgenden Abbildungen 12-14 zeigen die sich aus den Messungen ergebenden Werte des Energieverlustes für Vor- und Rückfußsohlen der getesteten Sportschuhe.

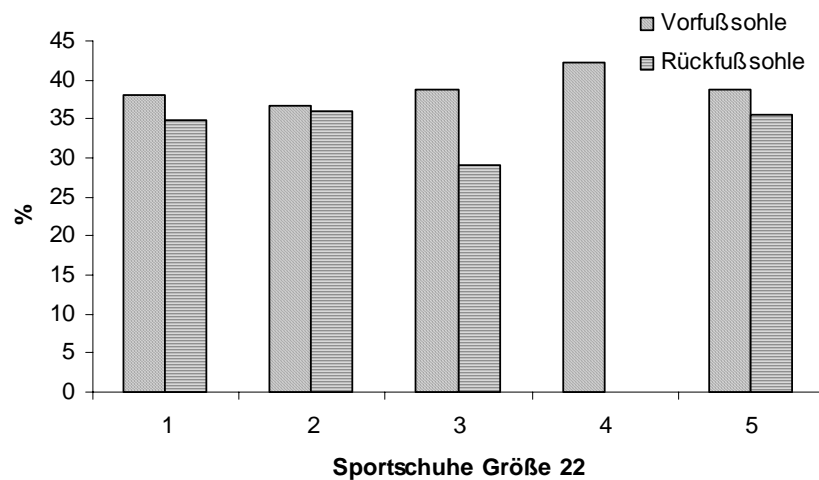


Abbildung 12: Vergleich des Energieverlustes der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der getesteten Sportschuhe (Nr. 1-5) in Größe 22 bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine

Der errechnete Energieverlust der Vorfußsohlen in Größe 22 lag im Bereich von 36,6 bis 42,2 %. Die Rückfußsohlen der getesteten Sportschuhe wiesen Werte zwischen 29,1 und 36 % auf.

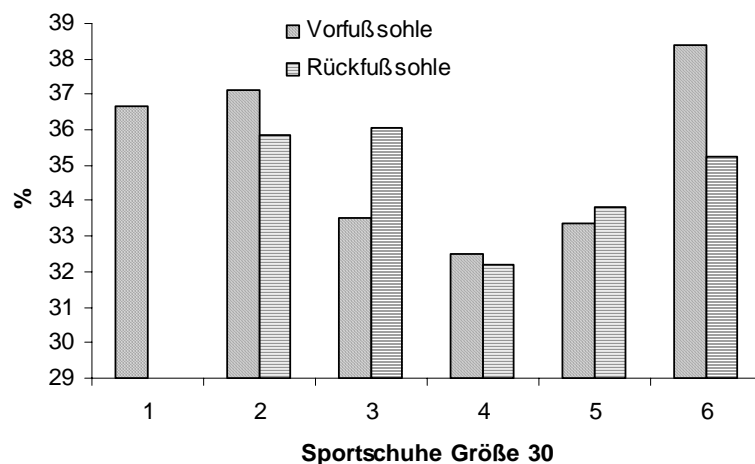


Abbildung 13: Vergleich des Energieverlustes der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-6) in Größe 30 bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine

Bei den getesteten Sportschuhen der Größe 30 lagen die ermittelten Werte für den Energieverlust der Vorfußsohlen zwischen 32,5 und 38,4 %. Die Werte der entsprechenden Rückfußsohlen lagen im Bereich von 32,2 und 36,0 %.

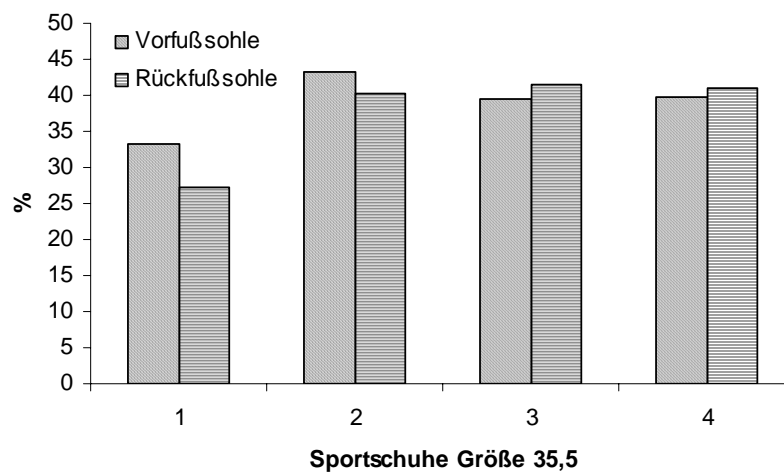


Abbildung 14: Vergleich des Energieverlustes der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-4) in Größe 35,5 bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine

Der Energieverlust der Schuhsohlen der getesteten Sportschuhe in Größe 35,5

lag im Bereich des Vorfußes zwischen 33,4 und 43,2 %. Im Bereich des Rückfußes konnten Werte zwischen 27,2 und 41,6 % errechnet werden.

Der Energieverlust lag somit bei fast allen getesteten Sportschuhen sowohl im Vorfuß- als auch im Rückfußbereich über den als günstig angesehenen 35 %.

3.3 Dynamischer 3-Punkte-Biegungstest

3.3.1 Flexionssteifigkeit der Vorfußsohle

Die Flexionssteifigkeit der Vorfußsohle wurde wie in Kapitel 2.2 beschrieben mittels dynamischen 3-Punkte-Biegungstest gemessen. Die Flexionssteifigkeit gibt dabei die Kraft an, die nötig ist, den Vorfußbereich um einen Millimeter durchzubiegen. Hohe Werte entsprechen demnach einer steifen Sohle. Abbildung 15 zeigt die mittels dynamischen 3-Punkte-Biegungstest gemessenen Werte aller getesteten Sportschuhe.

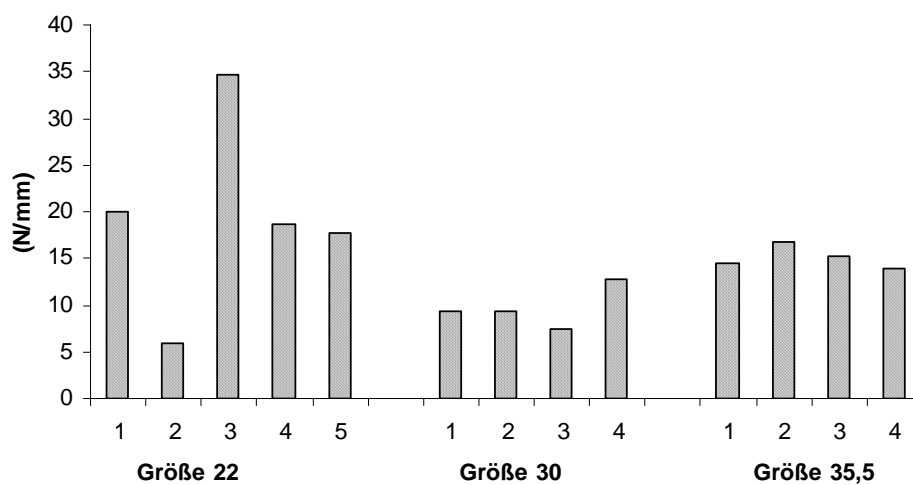


Abbildung 15: Flexionssteifigkeit der Vorfußsohle aller mittels dynamischem 3-Punkte-Biegungstest getesteten Sportschuhe

Bei den getesteten Schuhen der Größe 22 lagen die gemessenen Werte für die Flexionssteifigkeit im Bereich von 6 bis 35 N/mm. Hierbei fielen Schuh 2 mit einem niedrigen Wert (6 N/mm) und Schuh 3 mit einer Flexionssteifigkeit von

35 N/mm auf. Die Schuhe 1, 4 und 5 lagen auf einem ähnlichen Niveau (18-20 N/mm).

Für die Flexionssteifigkeit der Sportschuhe der Größe 30 wurden Werte im Bereich von 7 bis 13 N/mm gemessen.

Bei den Messungen der Schuhe der Größe 35,5 wurden Flexionssteifigkeiten von 14 bis 17 N/mm ermittelt.

Hieraus ergeben sich bei den Größen 30 und 35,5 relativ ähnliche Werte. Schuh 3 der Größe 22 hatte insgesamt die höchste Flexionssteifigkeit und hat somit die härteste Sohle.

3.3.2 Energieverlust der Vorfußsohle

Der Energieverlust erfasst die Differenz zwischen der durch die Kompression der Sohle zugeführten Energie und der während des Abstoßes zurückgegebenen Energie. Diese Differenz wird durch die Fläche in der Hysteresekurve beschrieben (siehe auch Material und Methoden S.8).

In Abbildung 16 werden die errechneten Werte für alle mittels dynamischen 3-Punkte-Biegungstest getesteten Sportschuhe aufgeführt.

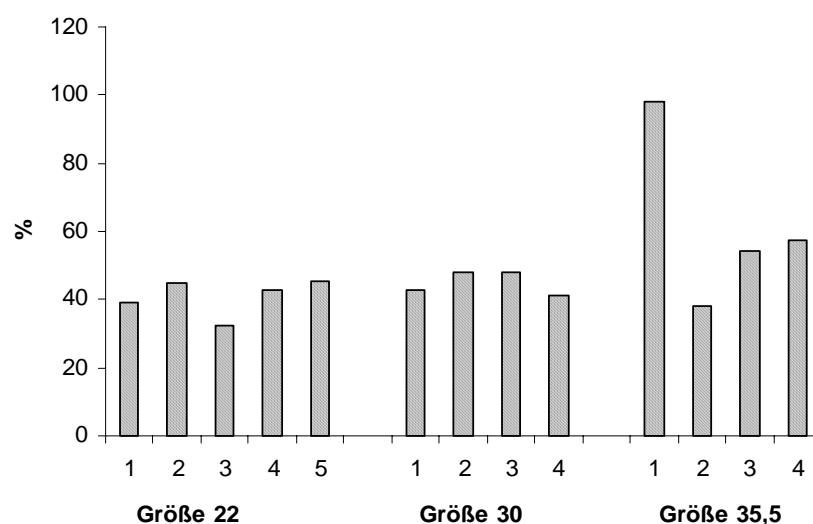


Abbildung 16: Energieverlust der Vorfußsohle der getesteten Sportschuhe beim dynamischen 3-Punkte-Biegungstest

Der Energieverlust der getesteten Sportschuhe der Größe 22 lag im Bereich von 32,6 bis 45,2 %.

Die Werte der Schuhe der Größe 30 ergaben Energieverluste von 43 bis 48 %. Bei der Größe 35,5 fiel Schuh 1 mit einem Energieverlust von 98,1 % auf. Die Werte der Schuhe 2 bis 4 lagen im Bereich von 38,2 bis 57,2 %.

4 Diskussion

4.1 *Entwicklung des Kinderfußes*

4.1.1 **Pränatale Entwicklung**

Die pränatale Entwicklung des Fußes beginnt am 27. Tag mit den Extremitätenknospen, die sich aus den Extremitätenleisten (Wolffschen Leisten) des Embryos hervorstülpen (20). Am 31. Tag ist bereits die Gliederung in Ober- und Unterschenkel vorhanden, der Fuß erscheint etwa am 42. Tag. Die Zehen entstehen durch Kondensation und Absterben von Mesenchymalzellen. Durch eine supinatorische Drehung von Talus und Calcaneus in der sechsten bis siebten Woche verliert sich die Anordnung der beiden Knochen in einer Ebene, es kommt zu einer Überlagerung des Calcaneus durch den Talus. Allerdings liegt der Talus dem Calcaneus noch nicht vollständig auf, sondern überragt ihn auf der Innenseite. Von der siebten Woche an hat nur noch der Talus Kontakt zur Knöchelgabel des Unterschenkels, das obere Sprunggelenk entsteht. Die Leisten und Furchen der Fußsohlenhaut werden zu Beginn der neunten Woche erkennbar, Fußnägel im fünften Schwangerschaftsmonat. Sie erreichen bis zum zehnten Monat die vordere Begrenzung der Zehenkuppen. Am 58. Tag, bei einer Länge von etwa drei Zentimetern, sind Bein und Fuß völlig differenziert. Durch die folgende Innenrotation des Beines kommt der Fuß von der ursprünglichen sagittalen Lage in die Horizontallage (1, 20).

Charakteristisch für die Stellung der unteren Extremitäten des Säuglings sind Knie- und Hüftbeugung, O-Bein und Supinationsstellung der Füße mit Vorfußadduktion. Längs- und Querwölbung sind vorhanden. Die Großzehen stehen oft von den anderen vier Zehen ab. Die Dorsalextension des Fußes ist unbehindert, die Plantarflexion eher eingeschränkt (20).

Bei Geburt hat der Fuß nahezu noch die Funktion eines Greiforgans, die Entwicklung der Gewölbe hat jedoch schon begonnen (14, 20). Um die morphologischen und funktionellen Voraussetzungen für den aufrechten Gang zu schaffen, müssen Bein und Fuß eine weitere Entwicklung durchlaufen. Der

Gestaltwandel setzt sich aus Einzelvorgängen zusammen, die funktionell zueinander in Beziehung stehen. Dazu gehören der Wandel vom O-Bein zum gestreckten Bein, bei vielen Kindern mit der Durchgangsphase des X-Beines, die Anteversion und Retroversion des Femurs, die als Scheintorsion zu verstehen ist, Gegenbewegung des Femur und der Tibia, Außenkreiselung der Knöchelgabel, Aufrichtung des Rückfußes und die Torsion des Fußes mit pronatorischer Drehung des Vorfußes (20).

4.1.2 Die knöcherne Entwicklung des Fußes

Die Aufrichtung des Rückfußes wird von mehreren Vorgängen bewirkt. Hierzu zählen der Gestaltwandel der knöchernen Anteile, die Außendrehung der Knöchelgabel, die Straffung des festen Bindegewebes und die Kräftigung der aufrichtenden Muskulatur (20). Zunächst liegt der Talus proniert auf der Fußinnenseite neben dem Calcaneus, seine Gelenkfläche zeigt nach medial. Die in der pränatalen Zeit begonnene Entwicklung setzt sich fort: der Calcaneus wandert weiter unter den Talus, indem er um seine Längsachse proniert, der Talus hingegen supiniert. Am Ende dieser gegenläufigen Entwicklungen, die sich bis ins Erwachsenenalter erstreckt, erreicht der Talus seine endgültige Position: er sitzt dem Calcaneus auf (Abbildung 17).

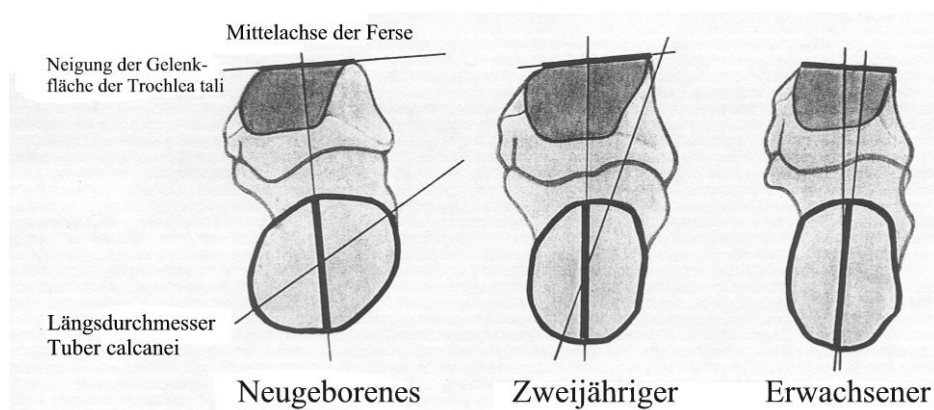


Abbildung 17: gegenläufige Entwicklung von Talus und Calcaneus gezeigt an ihrer Stellung zueinander bei einem Neugeborenen, einem Zweijährigen und einem Erwachsenen

Bei Geburt sind nur die Knochenkerne von Talus, Calcaneus, Os cuboideum, Ossa metatarsalia und die der Grund- und Mittelfalangen im Röntgenbild zu erkennen. Als letzter Knochenkern ist der des Os naviculare im Alter von drei Jahren zu sehen (1). Die Verknöcherung des Kinderfußes beginnt am Vorfuß innen, am Rückfuß außen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass an diesen Stellen ein größerer Reiz durch die höhere Belastung gesetzt wird (20). Mit sechs Jahren ist die Ossifikation in den kurzen Fußknochen fast abgeschlossen. Die Verknöcherung der langen Fußknochen (v.a. Metatarsalia) beginnt mit dem dritten Lebensjahr. Die Wachstumsfugen sind erst im Alter von 16-18 geschlossen (11).

Aufgrund der Tatsache, dass der mediale Strahl (Metatarsale 1-3, Ossa cuneiforme, Os naviculare) zum Talus, der laterale (Metatarsale 4+5, Os cuboideum) aber zum Calcaneus zieht, kommt es zur Vorfußverwringung und Ausbildung des medialen Längsgewölbes (14). Ein wesentlicher Antrieb für diese Entwicklung ist die Aufrichtung in den Stand, besonders die Aufrichtung in den Vorfußstand, und somit die Belastung des Fußes (22). Mit abgeschlossener Verwringung des Vorfußes gegen den Rückfuß hat der kindliche Fuß die supinatorische Ruhehaltung hinter sich gelassen.

Die Entwicklung des Längsgewölbes ist noch vor Ende des zweiten Lebensjahres abgeschlossen. Durch das bis zum vierten oder fünften Lebensjahr vorhandene „Spitz-Fettpolster“ wird jedoch inspektorisch ein Plattfuß vorgetäuscht (1, 12, 29). Ab dem Alter von sechs Jahren nimmt die Höhe des medialen Längsgewölbes in Bezug zur Fußlänge nicht mehr zu (29).

4.1.3 Das Fußwachstum

Kinderfüße wachsen in den ersten drei Lebensjahren im Schnitt um bis zu drei Stichtlängen (eine Stichtlänge beträgt 6,6 mm). Im frühen Schulalter ist mit einem Zuwachs von ca. eineinhalb Stichtlängen pro Jahr zu rechnen. Nach dem Beginn des Schulalters nimmt die Wachstumskurve zunächst ab, später kommt es bei Mädchen im Alter zwischen acht und zehn, bei Jungen im Alter zwischen zehn und zwölf nochmals zu einer Wachstumssteigerung auf eineinhalb bis zwei Stichtlängen pro Jahr. Die endgültige Fußlänge erreichen Mädchen mit 12-

13 Jahren, Jungen mit 14-15 Jahren (27). Abbildung 20 stellt die Wachstumskurve dar.

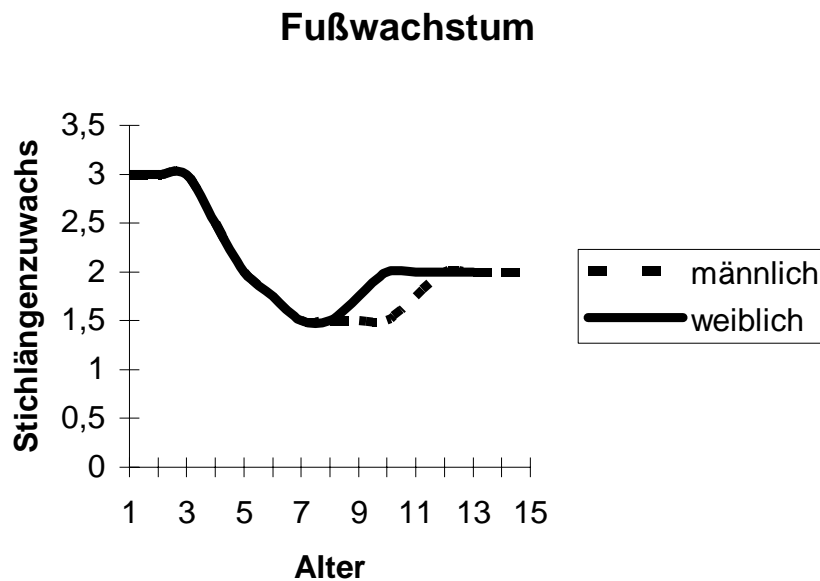


Abbildung 18: Fußwachstum von Mädchen und Jungen dargestellt als durchschnittlicher Schnittlängenzuwachs bezogen auf das Alter

Bis zum Alter von fünf Jahren verhalten sich Längen- und Breitenwachstum proportional. Danach nimmt das Breitenwachstum im Verhältnis zum Längenwachstum ab. Eine geschlechtliche Differenzierung in Bezug auf die Fußform tritt erst ab ca. acht Jahren auf. Dann kann man bei Jungen einen voluminöseren Fuß messen. Ab einer Fußlänge von ungefähr 20 cm Länge, was einem Alter von acht Jahren entspricht, wächst der kindliche Fuß am medialen Rand schneller als am lateralen, mit dem Ergebnis, dass der Winkel der Metatarsalenköpfchen-Achse immer spitzer wird (11). In Abbildung 19 wird die Achsänderung dargestellt. Die den Säuglingsfuß charakterisierende Vorfußadduktionsstellung besteht nun also nicht mehr.

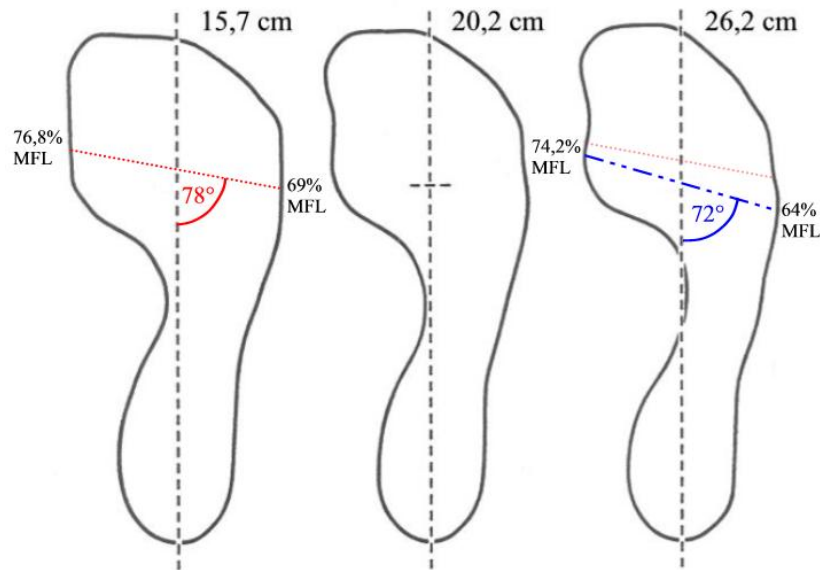


Abbildung 19: Änderung der Metatarsalenköpfchen-Achse im Vergleich bei einer Fußlänge von 15,7 cm, 20,2 cm und 26,2 cm.

Unter Belastung zeigt sich unabhängig vom Geschlecht und Alter ein Längenzuwachs von 2,5-3,4 mm (1,2-2,1 %) und ein Breitenzuwachs von 2,1-4 mm (3->4 %) im Vergleich zu den unbelasteten Werten (7).

4.1.4 Das Bindegewebe in seiner Entwicklung

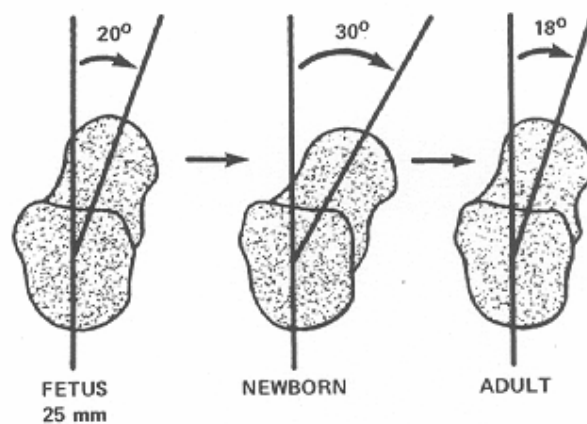
Das Bindegewebe durchzieht sich folgendem Wandel: Während es in der Embryogenese überwiegend aus Strukturglykoproteinen besteht, kommen in der Fetalzeit Proteoglykane (Makromoleküle, die bei hohem Wassergehalt einen fast flüssigen Charakter verleihen) hinzu. Das pränatale Bindegewebe ist an der Organdifferenzierung beteiligt, aber erfüllt noch nicht die Ansprüche der kommenden Anforderungen durch Belastungen (20). Im Säuglingsalter erhöht sich erst der Anteil der elastischen Fasern, dann der der Kollagene. Durch einen hohen Wassergehalt, einen erhöhten Anteil der Glykoproteine und Proteoglykane gegenüber dem an Kollagenfibrillen, erklärt sich die Lockerheit des kindlichen Sehnen-, Band- und Kapselgewebes. Im Laufe der Entwicklung nehmen Elastizität und Viskosität ab, die Festigkeit zu. Diese physiologische „Bindegewebsschwäche“ erlaubt die funktionelle Anpassung des Fußes an den aufrechten Gang (25, 20). Die Zunahme der Festigkeit ist Folge kovalenter

Quervernetzungen. Ausmaß und Art der Quervernetzungen variieren mit der Funktion des Gewebes. Die Zugfestigkeit des erwachsenen Bindegewebes ist an die Quervernetzungen gebunden, wobei die einzelne Brücke schwach ist. Die Stärke der Quervernetzungen hängt somit von der Zahl der Brücken ab. Diese steigt mit dem Alter (20).

Aufgrund der kraniokaudal gerichteten Reifung der Muskulatur sind die Muskeln des kindlichen Fußes erst im 6. Lebensjahr reif (8) und damit in der Lage, den an sie gestellten Anforderungen gerecht zu werden.

4.1.5 Die Änderung der Achsenverhältnisse

Bei Geburt beschreibt die Beinachse eine Varusstellung von ungefähr 15 Grad. Zudem besteht eine vermehrte Anteversion des Schenkelhalses und ein vergrößerter Talus-Neigungswinkel. Die Tibia ist in Neutralstellung. Der Fuß des Neugeborenen wird durch eine vermehrte Antetorsion und Adduktionsstellung des Talushalses in Neutralstellung gebracht.



Entwicklung des Talusneigungswinkel

Abbildung 20: Entwicklung des Talusneigungswinkel

Die im Laufe des Wachstums auftretende Außenrotation der Tibia, die im Alter von zehn Jahren 18-25 Grad beträgt, wird durch eine Abnahme des Taluswinkels aufgehoben (1).

Die Aufrichtung in den Stand bringt eine erhöhte Druckbelastung am medialen und eine vermehrte Zugbelastung am lateralen Knie mit sich. Diese asymmetrische Belastung wirkt als Wachstumsreiz. Die medialen Femurkondylen und Tibiaplateauanteile wachsen schneller als die lateralen und bewirken somit, dass die Traglinie (Femurkopf - oberes Sprunggelenk) zum Zentrum des Kniegelenks wächst. Das Alter des Kindes beträgt zum Zeitpunkt dieser Entwicklung ungefähr eineinhalb Jahre. Meist kommt es durch ein überschießendes mediales Wachstum zu einer valgischen Beinachse, die mit drei Jahren am ausgeprägtesten ist. Der Valgus kann einen Winkel von 10 Grad überschreiten. Die Neutralisierung der Beinachse ist im Normalfall mit sechs Jahren abgeschlossen, bei übergewichtigen Kindern kann sie sich jedoch verzögern oder ganz ausbleiben (Abbildung 21). Ab einem Alter von 14 Jahren gelten Achsabweichungen von über 5-7 Grad als pathologisch (24).

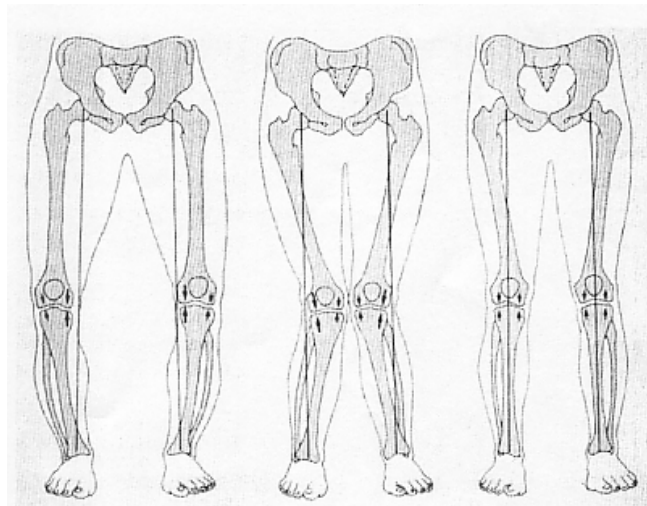


Abbildung 21: *physiologische Entwicklung der Beinachsen mit der Abfolge Genu varum, anschließendem Genu valgum und letztendlich neutraler Stellung*

Die Schenkelhalsachse des Femurs bildet mit der Achse durch die Kondylen, auf eine horizontale Ebene projiziert, beim Fetus ebenso wie beim

Erwachsenen einen Winkel von etwa 12 Grad. Im ersten bis dritten Lebensjahr dagegen bis zu 35 Grad (20). Durch die Reduktion der Femurhals-Anteversion gerät der Fuß in Außenrotationsstellung von zirka 20 Grad. Eine vermehrte Anteversion kann funktionell durch eine Innenrotation ausgeglichen werden, welche die Ferse in Eversion bringen und somit für den physiologischen Knick-Senk-Fuß bei Kleinkindern mitverantwortlich ist. Im Alter von 16 Jahren hat sich die Anteversion des Schenkelhalses auf ungefähr 16 Grad zurückgebildet (1).

4.1.6 Der ausgereifte Fuß

Vom ausgereiften Fuß erwarten wir ein ungehindertes Zusammenwirken aller Gewebe und Organe, die seine Funktion bestimmen, also auch des Bindegewebes, der Muskeln, der Arterien und Venen. Die Ausreifung fängt im Alter des Schulbeginns an und hält bis zum Ende des ersten Lebensjahrzehntes.

Die folgende Beschreibung stellt einen gesunden Fuß ohne nennenswerte angeborene Fehler dar, dabei darf aber die Vielfalt der Formen und die hohe Anzahl von Normvarianten nicht außer Acht gelassen werden.

Die Ferse ist leicht nach innen geneigt oder achsengerecht aufgerichtet. Nach innen besteht eine gewisse Flexibilität durch die Federung der Muskulatur und Sehnen, welche nach außen deutlich eingeschränkt ist. Das Längsgewölbe ist deutlich vom äußeren Fußrand abgesetzt, flach, mittelhoch oder hoch. Im Bereich des medialen Gelenkstrahls ist die Beweglichkeit am größten. Mit der Abwicklung über den I. Strahl und mit der Dorsalextension der Großzehe spannt sich der Innenrand der Plantaraponeurose. Die Längswölbung erhöht sich. Bei der Torsion des Fußes kommt es zu Mitbewegungen im Bereich der Fußwurzel und der Mittelfußknochen. Am unbeweglichsten ist der II. Strahl. Der Vorfuß steht plantigrad, verdreht bei vertikal gehaltenem Rückfuß. An der Fußsohle finden sich keine Hornhautverdickungen, Schwielen und Druckstellen. Innen- und Außenballen werden von der Furche getrennt, die unter dem II. Strahl nach vorn verläuft. Die Zehen des vollflächig auf dem Boden

stehenden Fußes liegen achsengerecht nebeneinander, meistens gestreckt, sonst leicht plantarflektiert (20).

4.2 Anforderungen an einen Kinderschuh

4.2.1 Allgemeine Anforderungen

Im Wesentlichen bestimmen zwei Eigenschaften des Kinderfußes die Anforderungen an einen Kinderschuh. Erstens wächst der Kinderfuß, er nimmt also in Länge und Weite zu, zweitens reift der Kinderfuß, er ändert sich also in seiner Haltung, Form und Funktion. Das Wachstum vollzieht sich, wie oben beschrieben, am schnellsten bis zum zweiten Lebensjahr. Der wichtigste Zeitpunkt der Reifung ist die Aufrichtung des Kindes zum Stand und Gang, also zwischen dem zweiten und dritten Lebensjahr (19, 20). Ein Schuh darf den Kinderfuß nicht in seinem Wachstum und seiner Reifung behindern oder gar aufhalten.

Um dem kindlichen Fuß nicht zu schaden, muss der Schuh eine gute Passform aufweisen.

Die Passform eines Schuhs hängt zu einem großen Maß von seinem Leisten ab. Betrachtet man die große Vielzahl an unterschiedlichen Fußformen, wird klar, dass an sich eine ähnlich große Menge an unterschiedlichen Leisten nötig wäre, um jedem Individuum gerecht zu werden. Da der individuelle, maßgefertigte Schuh jedoch auf absehbare Zeit für die große Masse der Bevölkerung nicht realisierbar sein wird, werden bei der Leistenherstellung ähnliche Fußformen in Gruppen zusammengefasst.

Wenn man sich die Bewegungsabläufe der Kinder vor Augen führt und beachtet, dass Kinder beim Spielen im Freien mit vielen unterschiedlichen Böden in Kontakt kommen, wird die Forderung nach funktioneller Vielfältigkeit und Strapazierfähigkeit laut (3.). Des Weiteren sollten die Schuhe ein geringes Gewicht aufweisen, um die physiologischen Bewegungsabläufe nicht zu behindern und den Energieaufwand zu reduzieren (35). Aufgrund der Tatsache, dass Kinderfüße schnell wachsen, in Spitzenzeiten um eine Schuhgröße in zwei Monaten, sollte darauf geachtet werden, dass die Preise für Kinderschuhe

erschwinglich bleiben, ohne zu einer Minderung der Qualität zu führen (27, 24). Auch der Aspekt einer ansprechenden Optik darf bei Kindern nicht vernachlässigt werden (35).

4.2.2 Spezielle Anforderungen

4.2.2.1 Material

Der Kinderfuß gibt in acht Stunden etwa 20 Gramm Feuchtigkeit von sich (27). Aus fußhygienischen Gründen sollte das verwendete Material in der Lage sein, die entstandene Menge an Flüssigkeit aufzunehmen und nach außen zu leiten. Einer der Gründe, warum Kinder in unseren Breitengraden Schuhe tragen, ist der Schutz vor Kälte. Somit ergibt sich als weitere Anforderung an das Material ein gutes Isolationsvermögen.

Eine hohe Hautverträglichkeit ist ebenfalls ein wichtiger Parameter für die Auswahl des Materials.

Genauso wichtig ist eine gute Anpassungsfähigkeit des Materials an den Fuß, denn der Schuh sollte sich dem Fuß anpassen und nicht umgekehrt.

Allen diesen Anforderungen wird ein Material gerecht, das Leder (15, 33, 35, 37).

4.2.2.2 Dämpfung

Was die Dämpfung betrifft, gehen die vorherrschenden Meinungen auseinander. Während ursprünglich eine Dämpfung empfohlen wurde, um Verletzungen zu vermeiden, belegen neuere Studien, dass es eher auf die anatomische Grundstruktur des Fußes und den dadurch determinierten Ablauf der Bewegungen in den Gelenken des Fußes ankommt (44).

Beim Erwachsenen gibt es mehrere Studien über die Auswirkungen einer Dämpfung auf den Fuß. Ein harter Schuh führt nicht zwangsläufig zu höheren passiven Kraftspitzen. Im Gegenteil, trotz harter Sohle findet sich teilweise eine niedrigere passive Kraftspitze (44). Auch wenn es beim Barfußlaufen zu einer signifikant höheren Belastungsrate kommt, wird diese durch ein flacheres Aufsetzen des Fußes versucht zu korrigieren (44). Die Läufer passen ihren

Laufstil den Schuhen an, so dass eine vom Schuh weitgehend unabhängige, konstante Belastung erreicht wird (2, 26).

Es wird sogar vermutet, dass das Tragen stark gedämpfter Schuhe das Wahrnehmungsvermögen hinsichtlich Belastungen negativ verändert (28).

Beim Kind ist der Effekt einer Dämpfung des Schuhs noch nicht so gut untersucht. Es lassen sich jedoch anhand der anatomischen Entwicklung Richtlinien stellen. Beginnend mit der Aufrichtung in den Stand bis etwa zum sechsten Lebensjahr stellen sich die Beinachsen ein. In dieser Phase des Wachstums würde eine dicke Sohle unerwünschterweise als Hebel wirken. Außerdem ist die Ossifikation noch nicht abgeschlossen. Zur korrekten Entwicklung von Muskulatur, Knochen und Bändern benötigt der Fuß Funktionsreize, die nicht durch eine Dämpfung vermindert oder abgefälscht werden dürfen (31). Durch das bis zum fünften Lebensjahr bestehende „Spitzzy-Fettpolster“ erhält der Fuß auf physiologische Weise eine vergrößerte Belastungsfläche und Dämpfung.

Für Kinder und Erwachsene gilt gleichermaßen, dass um eine optimale aktive, das heißt vom Körper selber erzeugte, Dämpfung zu bewirken, auf keinen Fall der normale Bewegungsablauf des Fußes behindert werden darf. Dies stellt wiederum hohen Anforderungen an die Flexibilität des Schuhs.

Eine zu stark ausgebaute Dämpfung ist nicht nur aus energetischen Aspekten abzulehnen, sie kann sich sogar durch ihre Einwirkungen auf die Propriozeption negativ auf den Fuß und den Körper auswirken.

4.2.2.3 Flexibilität - Stabilität

Der entscheidende Wandel, auf den die Schuhfertigung Rücksicht zu nehmen hat, besteht darin, dass der Säuglingsfuß die Supinationsstellung aufgibt und es zur Torsion kommt. Das Ziel dieser Entwicklung ist die für den Menschenfuß charakteristische Gegenbewegung des Vorfußes zum Rückfuß. Diese Bewegung darf durch den Schuhboden eines geschlossenen Schuhs nicht gehemmt werden (19).

Im Vergleich zum Erwachsenen beinhaltet die Motorik der Kinder unprogrammierte, unfertige, unsichere und vielseitigere Bewegungen. Deshalb sollte der Schuh möglichst flexibel und torsionsweich gehalten werden (3). Erst durch die dann ermöglichte Torsion entsteht ein optimaler Bodenkontakt in jeder Stellung des Unterschenkels. Ein starrer Schuh, der im Vorfuß oder Rückfuß als Hebel wirkt, unterdrückt diese Entkopplung, so dass der Fuß durch Eigenbewegung auf diese aufgezwungenen Hebel reagiert (32). Die Flexionslinie der Schuhsohle sollte im Bereich der Metatarsophalangealgelenke liegen, damit die Beugung in diesen Gelenken unterstützt und nicht behindert wird. Bei der Konstruktion der Leisten muss das Fußwachstum, insbesondere die sich verschiebende Achse der Metatarsophalangealgelenke beachtet werden.

Unter Stabilität wird beim Kinderschuhbau nicht eine Fixierung der Gelenke wie zum Beispiel beim Skischuh verstanden, sondern eine „dynamische Stabilität“ im Sinne von Funktionalität. Der Fuß kann somit unter Belastung unterstützt und die Provokation unphysiologischer Bewegungen vermieden werden (38).

Die Forderung nach Stabilität wird erst dann verständlich, wenn man berücksichtigt, dass heute vorwiegend statische Belastungen auf unnatürlich hartem Boden einen meist untrainierten Fuß treffen (17). Von großer Bedeutung erscheint hierbei eine stabile Führung des Rückfußes zu sein, die entweder durch eine hochgezogene Lasche an der Achillessehne oder durch einen Einschnitt in diesem Bereich gewährleistet werden kann. Bei Lauflernschuhen ist die Rückfußstabilität mit der Freigabe der Hauptbewegungsachsen Sprunggelenk und Zehengrundgelenke zu verbinden und das dynamische Verhalten in den Gangphasen zu berücksichtigen (18).

Bei der Konstruktion der stabilen Fersenkappe muss allerdings darauf geachtet werden, dass die Ränder nicht zu unflexibel werden.

Für ein weiteres, zusätzliches Maß an Stabilität kann die Schnürung sorgen, wenn man den Winkelbereich für die oberste Öse beziehungsweise Schnalle mit 35-45 Grad berechnet (17).

4.2.2.4 Form

Die Knochen der Kinderfüße sind weich, durch Wachstumsfehlentwicklung verformbar und gegen Druck relativ schmerzempfindlich. Kinder können deshalb bei der Anprobe keine verlässliche Auskunft geben, ob ein Schuh passt (46). Aus diesem Grund ist es besonders wichtig bei der Schuhherstellung sich nach der Fußform des kindlichen Fußes zu richten.

Die Form des Schuhs wird vom Brandsohlenumriß und dem Aufbau des Leistens bestimmt. Ist sie fußgerecht, kommt sie selbstverständlich nur zur Geltung, wenn der Fuß nach Länge und Weite korrekt passt (19).

Im Kleinkindalter sollte die Form der Schuhspitze noch in etwa quadratisch sein, da diese Form am ehesten der des kindlichen Fußes entspricht. Ab einer Fußlänge von 20 Zentimeter, was in etwa einem Alter von acht Jahren entspricht, wächst der mediale Rand des Fußes schneller als der laterale. Diese Entwicklung zieht mit sich, dass das Verhältnis der Länge des fünften Zehs im Vergleich zur gesamten Fußlänge stetig abnimmt. Die Form des kindlichen Fußes nähert sich langsam der des Erwachsenenfußes an (11).

Um einer Vorfußschädigung vorzubeugen, sollte für die Zehen, vor allem für die Großzehe, genügend Spitzenhöhe gewährleistet sein.

4.2.2.5 Länge, Weite

Da Vorfußschäden in der Regel durch eine Stauchung der Zehen von vorne verursacht werden, ist die passende Länge des Schuhs von entscheidender Bedeutung (21). Die bei uns übliche Längenbezeichnung bezieht sich auf die Brandsohlenlänge, nicht auf die Fußlänge (19). Zur Ausschaltung vieler Fehlerquellen, zum Beispiel der unterschiedlichen Größenangaben bei verschiedenen Herstellern, wäre der Schuhverkauf nach Fußlänge in mm zu überlegen (16).

Die Brandsohlenlänge setzt sich zusammen aus der Länge des Fußes und der Zugabe. Die Zugabe ist wichtig, da sich der Fuß im Verlauf des Abrollvorgangs im Schuh nach vorne schiebt. Zudem beinhaltet sie eine angemessene Wachstumszugabe. Sowohl für den Schub als auch für die Wachstumszugabe

werden mindestens 6 mm empfohlen, daraus ergibt sich eine Zugabe von 12-15 mm (17, 20). Das Anpassen in der richtigen Länge setzt das Passen in der Weite voraus. Die Weite ist ein Umfangsmaß im Ballen- und Vorspannbereich des Fußes. Da Kinderfüße sehr unterschiedlich weit sind, besteht ein Bedarf an unterschiedlichen Weitenangeboten für eine Schuhgröße. Der Arbeitskreis „Leisten und Schuhe“ der D.G.O.T. legte im November 2000 mit der bereits fünften Fassung der WMS-Richtlinien Grundsätze fest, die bei der Konstruktion von Kinderschuhen berücksichtigt werden sollten (45). Ziel dieser Richtlinien ist, möglichst viele Füße mit passenden Schuhen zu versorgen. Die Bezeichnung WMS steht für genormte Leisten. Das heißt, dass bestimmte Parameter für die Konstruktion der Schuhe vorgeschrieben sind. Dies gilt in besonderem Masse für die Brandsohle.

Die WMS-Richtlinien schreiben für jede Größe eine Schuhinnenlänge vor, die aus der Fußlänge und der notwendigen Zugabe besteht. Diese Zugabe ist in medizinwissenschaftlichen Großversuchen ermittelt worden. Die Schuhweite und die fußproportionsgerechte Lage der Ballenlinie sind fixiert. Eine ausreichende Zehenhöhe ist in der Vorschrift sichergestellt. Mindestwinkel für Groß- und Kleinzehe sorgen dafür, dass der Fuß vorne nicht eingeeengt wird (46).

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf Abbildung 22.

Die Länge der Brandsohle misst man auf einer konstruktiven Längsachse (Konstruktionsbasis A-B). Sie ergibt sich aus den Strecken A-D und D-B. Die Strecke A-D entspricht der Fußlänge, die Strecke D-B der Zugabe.

Die Weite als Umfangsmaß des Fußes im Ballenbereich steht in direktem Verhältnis zur Breite des Fußes in diesem Bereich. Die gemessene Ballenbreite beträgt 40 % der Ballenweite, die damit direkt umzurechnen ist. Um den Ansprüchen der verschieden breiten Kinderfüße gerecht zu werden müsste man eine Schuhlänge in etwa zehn Weiten anbieten. Da dies aus betriebswirtschaftlichen Aspekten nicht möglich ist, ist die Reduktion auf fünf Weiten vertretbar. In Deutschland werden von einigen Schuhfirmen drei Weiten angeboten. Für die Konstruktion der Brandsohle ergeben sich folgende Werte:

Die Ballenbreite beträgt für die Schuhgrößen 18 – 35 38 % der Ballenweite, für die Schuhgrößen 36 – 42 37 % der Ballenweite.

Da für die Passform eines Schuhs auch der Sohlenbiegungspunkt dynamisch von Bedeutung ist, muss die Lage der Ballenlinie in Relation zur Länge stimmen. Der Punkt C sollte mit 66 % der Fußlänge A-D von A aufgetragen werden. Mit einem nach medial offenem Winkel von 74° lässt sich in C die Ballenlinie festlegen. Im Abstand von 23 % der Ballenweite (für die Schuhgrößen 18 bis 35) bzw. im Abstand von 22,5 % der Ballenweite (für Größe 36) wird der Kleinzeheballenpunkt F festgelegt (16). Das Verhältnis Vorfuß zu Rückfuß sollte 38,2 % zu 61,8 % betragen (20).

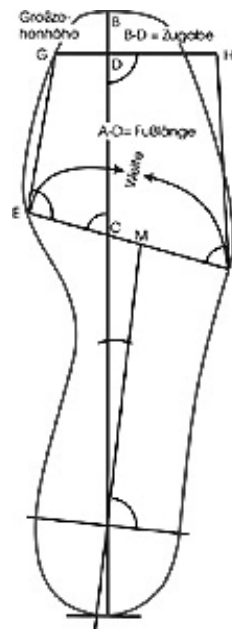


Abbildung 22: WMS-Richtlinien für die Konstruktion der Brandsohle eines Kinderschuhs

4.2.2.6 Fußbett

Der oft fälschlicherweise als pathologischer Knick-Senk-Fuß diagnostizierte Kinderfuß ist fast immer ein physiologischer Fuß. Durch das physiologisch weiche Bindegewebe (s.o.) ist der Kinderfuß statischen Belastungen nicht gewachsen und täuscht bei länger andauernder statischer Belastung einen Knick-Senk-Fuß vor (19). Ein weiterer Grund sind die vermehrte Femurhals-

Anteversion (12) und das physiologische Genu valgum (24). Fordert man das Kind auf, sich in den Zehenstand aufzurichten, wird man beobachten können, dass sich in nahezu allen Fällen das mediale Längsgewölbe ausbildet. Durch die Dorsalextension der Großzehe kommt es zur Anspannung der Plantaraponeurose und damit zur Verstärkung deren Zuggurtung. Die Annahme, eine Gewölbestütze erleichtere die Ausbildung des medialen Längsgewölbes, erweist sich somit als falsch, da sie die Zuggurtung behindert (25).

Bis zum sechsten Lebensjahr wird der kindliche Fuß durch das „Spitzzy-Fettpolster“ vor Überlastung geschützt, indem es den Druck verteilt (30). Dieses Fettpolster und eine exzessive Überpronation bedingen im Kleinkindalter den so genannten „developmental flatfoot“.

Es ist zu beachten, dass sowohl der Knick-Senk-Fuß, als auch der Plattfuß Etappen der kindlichen Fußentwicklung sind und sie als physiologische Übergangszustände keiner Korrektur bedürfen. Ein stark ausgebautes Fußbett kann die gesunde Fußentwicklung folglich behindern.

Eine weitere Voraussetzung für eine gute Entwicklung des Kinderfußes ist, dass die physiologische Greifbewegung der Zehen durch den Ausbau des Fußbettes nicht behindert werden darf, da sonst die harmonische Muskelaktivität unterbunden wird.

4.2.2.7 Verschluss

Der Verschluss sollte leicht zu bedienen und gleichmäßig zu schließen sein (33).

Eine Schnürung, Klettverschluss und verstellbare Schnallen gestatten die Anpassung an verschiedene Volumina und können bei mehreren Ösen bis zu einer Weite ausgleichen. Um das Vorrutschen des Fußes in die Schuhspitze zu verhindern, sollte der Schuh den Vorspann- und Spannbereich umgreifen. Die Schnalle oder Schnürung ist so zu gestalten, dass der Fuß im Vorspann entsprechend fixiert und die Ferse stabilisiert wird (17).

Klettverschlüsse bieten den Vorteil, dass sie von Kindern wesentlich früher selbst bedient werden können als Schnürsenkel. Damit unterstützen Klettverschlüsse den Drang der Kinder nach Selbständigkeit.

4.2.2.8 Sprengung

Die Fragestellung über eine Fersensprengung bzw. Absatzerhöhung bei Kinderschuhen wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Beispielsweise begründet Stracker (37) seine Forderung nach Absätzen an Kinderschuhen mit der Feststellung, dass Absätze das Abrollen und damit das Gehen erleichtern und das Kind sie später als Erwachsener doch tragen muss. Diebschlag (10) konnte belegen, dass Absätze von 10- 20 mm Höhe an Erwachsenenschuhen tatsächlich die Gehbewegung erleichtern, ohne dabei nachteilige Wirkungen, wie z.B. Achillessehnenverkürzungen zu haben. Er stimmt allerdings mit Staheli (35) in dem Punkt überein, dass Kleinkinder keine Absätze benötigen.

Kristen (18) untersuchte die Auswirkungen verschiedener Fersenhöhen auf die Bodenreaktionskräfte im Kleinkindalter. Hierbei ergab sich, dass eine Sprengung von 7 mm hatte im Gegensatz zu 3 mm deutlichen Einfluss auf die Bodenreaktionskräfte. Mehr als 5 mm Sprengung erscheint den Autoren deshalb im Kleinkindalter nicht sinnvoll.

Schon 1989 hatte Kristen (18) maximal 10 mm Absatzhöhe bis Schuhgröße 26 empfohlen, ab Größe 27 maximal 24 mm. Für einen Kindersportschuh erscheinen diese Werte aber in jedem Fall zu hoch, da gerade bei sportlicher Betätigung ein zu hoher Absatz als Hebel wirken kann, der die Pronation des Fußes über das natürliche Maß hinaus verstärkt (16, 18).

An sich scheint es daher als sinnvoll, im Kleinkindalter, der empfindlichsten Phase der Fußreifung, gänzlich auf Absätze zu verzichten (10, 34, 35). Im Bereich der Erwachsenensportschuhe hat sich eine Sprengung von etwa 12 mm Sprengung bewährt, daher sollte ab dem Schulalter auch der Kinderschuh eine leichte Absatzerhöhung erhalten, die bis zu den Erwachsenengrößen auf 12 mm aufgebaut werden kann (34).

4.3 Auswertung der Testungen in Bezug auf die Literatur

Aus der Studie des Centre Technique lässt sich entnehmen, dass die Größe 22 weitestgehend Kindern im Alter bis drei Jahren entspricht (6). Zu diesem Zeitpunkt dient der Schuh hauptsächlich als Schutz vor der Umwelt (16). Nach der vorherrschenden Meinung in der Literatur sollte der Kinderschuh nicht gedämpft sein, die Sohle sollte flexibel und möglichst dünn sein, um den natürlichen Bewegungsabläufen nicht im Wege zu stehen und um nicht als Hebel zu wirken (18, 19, 20, 22, 23, 25, 35, 46). Von den getesteten Sportschuhen wird Schuh 3 diesen Anforderungen am ehesten gerecht. Seine Fersensprengung beträgt 0,1 mm und im Vergleich zu den anderen Schuhen dieser Größe ist er relativ weich und energetisch günstig gedämpft. Seine hohe Biegesteifigkeit (35 N/mm) könnte durch die, mit 9,8 mm, relativ dicke Vorfußsohle erklärt werden. Schuh 2 zeigte dagegen mit 6 N/mm die geringste Biegesteifigkeit aller Schuhe im Test. Er besitzt eine sehr dünne Vorfußsohle (4,9 mm), jedoch eine hohe Sprengung (6,1 mm), und ist relativ hart gedämpft. Bei der Testung der Rückfußsohle schnitt der Schuh 1 am besten ab. Er vereinigt geringe Dämpfung mit akzeptablem Energieverlust.

In der Altersklasse sechs bis sieben Jahre, entsprechend der Schuhgröße 30 (6), ändern sich die Anforderungen an den Kinderschuh. Entsprechend der nun spezifischer werdenden Nutzung der Schuhe, kann bei entsprechender Bodenbeschaffenheit eine angepasste Dämpfung nützlich sein (33). Ebenso kann die Sohlensteifigkeit zugunsten einer erhöhten Stabilität geringfügig zunehmen (24, 27). Auch die Absatzerhöhung könnte nun langsam an die der Erwachsenenschuhe angepasst werden (34). Auch hier sollte der Energieverlust gering gehalten werden.

Schuh 3 der Größe 30 besitzt eine sehr dicke (15 mm Vorfuß/ 22 mm Rückfuß), hochgesprengte (11 mm) Sohle. Die Dämpfung ist sehr weich gehalten. Schuh 4 schneidet energetisch sehr positiv ab, was durch die hohe Steifigkeit seiner Sohle, insbesondere im Rückfußbereich, erklärt werden könnte. Leider liegen für diese beiden Schuhe keine Werte aus dem dynamischen Drei-Punkte-Biegetest vor. Schuh 6 liegt mit seinen Werten zwischen diesen beiden Schuhen. Die restlichen der getesteten Sportschuhe sind einander sehr ähnlich.

Sie sind weich gedämpft, haben eine leicht biegbare Vorfußsohle, sowie relativ dicke Sohlen bei akzeptabler Sprengung (8,2-8,6 mm).

Schuhe der Größe 35,5 werden hauptsächlich von Kindern getragen, die zwischen 10 (Jungen) und 13 (Mädchen) Jahren alt und 35-40 kg schwer sind (6). Ebenso wie das Körpergewicht nimmt auch die sportliche Beanspruchung und Leistungsfähigkeit zu (18). Dieser Entwicklung können die Parameter Dämpfung und Flexibilität Rechnung tragen, indem sie in Richtung Erwachsenensportschuh gesteigert werden. Die Sprengung kann nun weiter den angestrebten 12 mm angepasst werden, die im Erwachsenensportschuhbereich üblich sind (34). Schuh 1 besitzt mit einer funktionellen Steifigkeit von 507 bzw. 269 N/mm eine harte Dämpfung und gibt einen sehr hohen Anteil der Dämpfungsenergie zurück. Bei der Testung der Biegesteifigkeit kamen keine relevanten Unterschiede zu den anderen Schuhen der Größe 35,5 heraus. Auffallend ist sein extremer Energieverlust von 98,1 %. Seine Sohle ist mit 8,4 mm im Vorfußbereich und 13,7 mm im Rückfußbereich relativ dünn. Es ergibt sich eine geringe Fersensprengung (5,3 mm). Die Schuhe 2 bis 4 sind sich insgesamt sehr ähnlich. Die Dämpfung fällt relativ weich aus, die Sprengung ist mit Werten um 8 mm ebenfalls als gering zu bezeichnen. Schuh 2 fällt durch seine dicke Sohle (14,8 mm / 22,9 mm) auf, die auch die höhere Biegesteifigkeit mit wenig Energieverlust erklären könnte.

Wo die Schuhe jedoch genau einzustufen sind, ist zurzeit nicht zu beurteilen, da vergleichende Werte in der Literatur fehlen.

5 Zusammenfassung

Altersgruppe	Dämpfung
0-1Jahr	Keine (Kind läuft noch nicht)
1-2 Jahre (Laufbeginn)	Da sich die Beinachsen in diesem Zeitraum einstellen (Varus mit einem Jahr zu Valgus mit drei Jahren zu neutral mit sechs Jahren (24)), würde eine zu dicke Sohle als Hebel wirken.
2-4 Jahre	Außerdem erfolgt die Ossifikation der kurzen Fußknochen bis sechs Jahren; Laut <i>Schön und Kriwet (2000)</i> , <i>Berger (1993)</i> , sind Belastungsreize von außen nötig und sollten möglichst wenig weggenommen werden.
4-6 Jahre	Physiologischer Weise wird der Fuß durch eine relativ größere Belastungsfläche und das vermehrte plantare Fett gepolstert (30)
6-8 Jahre	<p>Laut <i>Stacoff</i> wird ab dem Schulkindalter Dämpfung wichtiger, da die Hallenböden für Erwachsenen-Biomechanik und -Gewicht ausgelegt sind.</p> <p><i>Henning 1994, Betts 1980</i>: Kinder belasten die Ferse relativ mehr.</p> <p>Trotzdem müssen immer noch Reize übermittelt werden können, damit der Knochen zum Wachstum und die Muskulatur zur aktiven Dämpfung angeregt werden (36).</p>

Altersgruppe	Dämpfung
8-10 Jahre	Ab acht Jahren sind die Bodenreaktionskräfte auf einem reifen Level (39, 40, 42).
10-15 Jahre	Die Dämpfung könnte in Richtung Erwachsenenschuh gehen, da auch die sportliche Betätigung und das Körpergewicht immer mehr zunehmen.

Altersgruppe	Flexion
0-1 Jahre	Sehr weich und flexibel
1-2 Jahre	Torsionsweich (3), um die Aufrichtung der Längsgewölbe durch Torsion von Vor- zu Rückfuß nicht zu behindern.
2-4 Jahre	Stabile Rückfußführung (21, 33).
4-6 Jahre	Flexible Vorfußsohlengestaltung: Zehengrundgelenke müssen frei beweglich sein (18), Biegeachse des Schuhs muss mit Zehengrundgelenk-Achse übereinstimmen, die den Vorfuß vom Rückfuß 37:63 trennt; außerdem wird der Zehengrundgelenk-Achsenwinkel immer spitzer (11) Physiologischer Knick-Senk-Fuß bis sechs Jahre (12)

Altersgruppe	Flexion
6-8 Jahre	<p>Zunahme der Bindegewebsfestigkeit ab sechs Jahren (24,27).</p> <p>Geringere Fußbeweglichkeit als im Kleinkindalter (14).</p> <p>Deshalb könnte die Sohlensteifigkeit zugunsten der Stabilität nun etwas gesteigert werden.</p>
8-10 Jahre	Reife Bodenreaktionskräfte mit acht Jahren.
10-12 Jahre	Langsame Entwicklung Richtung Erwachsenenschuh.
12-15 Jahre	Mit 15 Jahren erreicht der Fuß etwa die Bindegewebsfestigkeit und Beweglichkeit des Erwachsenen

Altersgruppe	Form
0-1 Jahr	Socke; lediglich als Schutz vor der Umwelt gedacht
1-2 Jahre (Laufbeginn)	Allgemein für alle Alterstufen (11): Das Verhältnis Länge fünfte Zeh zu mittlerer Fußlänge nimmt linear ab (87 % bei Fußlänge 132 mm → 81 % bei Endlänge)
2-4 Jahre	Die Zehengrundgelenk-Achse wandert linear in Richtung Rückfuß: - medial 77 % auf 74 % der mittleren Fußlänge - lateral 69 % auf 64 % der mittleren Fußlänge → der Medialrand wächst schneller, deshalb wird der Achsenwinkel spitzer, von 79° auf 72°
4-6 Jahre	Ebenso nehmen Breiten-. Höhen- und Weitenmaße im Verhältnis zur Fußlänge kontinuierlich ab. Staheli fordert einen über dem oberen Sprunggelenk geschlossenen Schuh
6-8 Jahre	Laut Maier ist die Stauchung von vorne am schlechtesten für den Fuß; er muss deshalb ausreichen lang sein, und die Zehenbox muss hoch genug sein.

Altergruppe	Form	
8-10 Jahre	Mädchen: Grazilerer, schmalere Fuß	Jungen: Voluminöser, vor allem im Mittelfußbereich (alle Fußumfänge ca. 5 mm größer)
12-15 Jahre	Endlänge mit 13 Jahren	Endlänge mit 15 Jahren

6 Literatur

1. Anetzberger H, v.Liebe A: Entwicklung und funktionelle Anatomie des kindlichen Fußes. Orthopädieschuhtechnik, 12, 2000, 41-43
2. Bates BT, Osternig LR, Sawhill JA, James SL: An assessment of subject variability, subject shoe interaction, and the evaluation of running shoes using ground reaction force data; J Biomech, 16, 1983, 181-191
3. Berger C: Kinderschuh: Miniaturausgabe des Erwachsenenschuhs? Sportverletzung Sportschaden, 7, 1993, 183-186
4. Betts RP, Francs CI, Druckworth T, Burke J: Static and dynamic foot-pressure measurements in clinical orthopedics, Med Biol Eng Comput, 18, 1980, 674-684
5. Betts RP, Francs CI, Druckworth T: Analysis of pressures and loads under the foot. Part I: Quantitation of the static distribution using the PET computer, Clin Phys Physiol Meas, 1, 1980, 101-102
6. Centre Technique Cuir Chaussure Maroquinerie : Une enquête de mensuration des jambes et pieds d'enfants, Lyon, 1977
7. Cheng JCY, Leung SSF, Leung AKL, Guo X, Sher A, Mak AFK: Change of foot size with weightbearing. Clin Orthop, 342, 1997, 123-131
8. D'Amico JC: Developmental flatfoot. Symposium on podopediatrics 535-546
9. Degler K, Lang A: Absorbieren, abrollen, abstoßen. Quality Engineering, 2000, 40-41
10. Diebschlag W. Die Druckverteilung an der Fußsohle des Menschen im Stehen und Gehen, barfuß und im Schuh. Z. Orthop. Ihre Grenzgeb., 120, 1982, 814-820

11. Hawes MR: Anatomical/ anthropometric differences. Human Performance Laboratory Calgary: Blue Book foot and leg. Adidas America Research and Innovation 1997, 25-27, 116-118
12. Hefti F, Brunner R: Das abgeflachte Fußlängsgewölbe. Orthopäde, 28, 1999, 159-172
13. Henning EM: Pressure distribution under the impacting human foot during expected and unexpected falls, unpublished doctoral thesis, The Pennsylvania State University, 1994
14. Koebke J: Funktionelle Anatomie der unteren Extremität, speziell des Fußes. Sportverletzung Sportschaden, 7, 1993, 162-166
15. Koller A, Fiedler R, Wetz HH: Passgenauigkeit und Größenbezeichnung bei Kinderschuhen, Med Orth Tech, 120(3), 2000, 91-95
16. Kristen H, Baumgartner R, Maier E, Schilling W: Richtlinien für fußgerechte Kinderschuhe, Med Orth Tech 109(2), 1989, 54-59
17. Kristen H: Was verlangen wir vom gesunden Kinderschuh? Med Orth Tech, 109(2), 1989, 51-53
18. Kristen KH, Kastner J, Holzreiter S, Wagner P, Engel A: Funktionelle Beurteilung von Kinderschuhen anhand der Ganganalyse von Kindern im Lauflernalter, Z Orthop, 136, 1998, 457-462
19. Maier E: Anforderungen an einen Kinderfreizeitschuh, Sozialpädiatrie in Praxis und Klinik, 10, 1987
20. Maier E: Kinderfuß und Kinderschuh, Entwicklung der kindlichen Beine – und Füße und ihre Anforderungen an fußgerechte Schuhe, Verlag Neuer Merkur, 2003
21. Maier E: Kinderschuhe. Aus: Baumgartner R, Stinus H: Die orthopädiotechnische Versorgung des Fußes, Thieme, 163-169
22. Maier E: Sinn oder Unsinn von Einlagen für Kinder, Der Allgemeinarzt, 9, 1987, 146-155

-
23. Maier E: U7, U8, U9: Auf passende Schuhe achten! Sozialpädiatrie in Klinik und Praxis , 8, 1991, 570-576
 24. Maier E: Über den Gestaltwandel der kindlichen Beine und Füße, Orthopädieschuhtechnik, 4 ,1999, 24-30
 25. Maier E: Über die Schädlichkeit von Gewölbstützen für Kinder, Der Kinderarzt, 1, 1991
 26. Nigg BM, Cole GK, Brüggemann GP: Impact forces during heel-toe running; J Appl Biom, 11, 1995, 407-432
 27. Rabl CRH, Nyga W: Orthopädie des Fußes, Enke 1994, 7-51
 28. Robbins SE, Gouw GJ: Athletic footwaer: unsafe due to perceptual illusions. Med Sci Sports Exerc3, 1991, 217-224
 29. Schilling FW: Das mediale Längsgewölbe des Fußes beim Kleinkind, Z Orthop 123, 1985, 296-299
 30. Schilling W: Der Säuglings- und Kleinkinderfuß, Bücherei des Orthopäden, 63, Enke Verlag 1994, 13-24
 31. Schön R, Kriwet A: Asics Schulungsscript, Technology, Innovation, Design, 1999/ 2000
 32. Segesser B: Sportschuhe; GOTS- Manual Sporttraumatologie, Verlag Hans Huber 1997
 33. Stacoff A: Sportschuhe in der Schule. Schweizer Schule, 9, 1984, 377-381
 34. Staheli LT. Footwear for children. Inst. Course Lect.,43, 1994; 193-197
 35. Staheli LT: Shoes for children: a review, Pediatrics, 88(2), 1991, 371-375
 36. Stefanyshyn DJ: Dynamic differenences. Human Performance Laboratory Calgary: Blue Book foot and leg. Adidas America Research and Innovation 1997, 25-27, 125-129

-
37. Stracker O: Kinderfuß und Kinderschuh. Arch für orthopädische und Unfallchirurgie, 59, 1965, 286-294
 38. Stüssi E, Stakoff A, Lucchinetti E: Dämpfung versus Stabilität, Sportverletzung – Sportschaden, 7, 1993, 167-170
 39. Sutherland DH, Valencia F: Pediatric gait. Aus: Drennan JC: The child's foot and ankle, Raven Press 1992, 19-35
 40. Sutherland DH: The development of mature gait, Review paper, Gait Post, 6, 1997, 163-170
 41. Swigard JF, Erdmann AG, Cain PJ: An energy-based method for testing cushioning durability of running shoes. J Appl Biom 9, 1993, 27-46
 42. Takegami Y: Wave pattern of ground reaction force of growing children, J Pediatr Orthop, 12(4), 1992, 522-526
 43. Walker CA: A hybrid system for testing shoes. Haake SJ The engineering of sport Blackwell Science, Cambridge, 1988
 44. Walther M: Zusammenhang zwischen subjektiver Beurteilung von Laufschuhen, den Materialdaten sowie kinetischen und kinematischen Parametern des Gangzyklus, 2001
 45. Weißler K: Weit , Mittel, Schmal, Orthopädieschuhtechnik 12, 2000, 58-60
 46. www.schuhinstitut.de

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: <i>Ergebnisse der WMS-Schuhmeßaktion von 2001</i>	2
Abbildung 2: <i>Allgemeiner Aufbau eines Sportschuhs</i>	3
Abbildung 3: <i>Standmessverfahren zur Bestimmung der Dämpfungsparameter eines Sportschuhs mittels InstronTM-Testmaschine</i>	6
Abbildung 4: <i>Hysteresekurve zur Bestimmung des Energieverlustes bei der Bestimmung der Dämpfungsparameter</i>	8
Abbildung 5: <i>Vergleich der Fersensprengungen, die aus den Sohlendicken der Vor- und Rückfußsohlen der getesteten Sportschuhe errechnet wurden</i> ..	12
Abbildung 6: <i>Vergleich der Grundsteifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-5) in Größe 22 (Initial Stiffness 55-110 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine</i>	13
Abbildung 7: <i>Vergleich der Grundsteifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-6) in Größe 30 (Initial Stiffness 55-110 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine</i>	14
Abbildung 8: <i>Vergleich der Grundsteifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-4) in Größe 35,5 (Initial Stiffness 55-110 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine</i>	15
Abbildung 9: <i>Vergleich der funktionellen Steifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-5) in Größe 22 (functional Stiffness 270-400 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine</i>	16
Abbildung 10: <i>Vergleich der funktionellen Steifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-6) in Größe 30 (functional Stiffness 270-400 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine</i>	17
Abbildung 11: <i>: Vergleich der funktionellen Steifigkeiten der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-4) in Größe 35,5</i>	

<i>(functional Stiffness 270-400 N) bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine</i>	<i>17</i>
Abbildung 12: <i>Vergleich des Energieverlustes der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-5) in Größe 22 bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine</i>	<i>19</i>
Abbildung 13: <i>Vergleich des Energieverlustes der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-6) in Größe 30 bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine</i>	<i>20</i>
Abbildung 14: <i>Vergleich des Energieverlustes der Vorfußsohle und der Rückfußsohle der gestesteten Sportschuhe (Nr. 1-4) in Größe 35,5 bei der Testung der Dämpfungsparameter mittels InstronTM-Testmaschine</i>	<i>20</i>
Abbildung 15: <i>Flexionssteifigkeit der Vorfußsohle aller mittels dynamischem 3-Punkte-Biegungstest getesteten Sportschuhe</i>	<i>21</i>
Abbildung 16: <i>Energieverlust der Vorfußsohle der getesteten Sportschuhe beim dynamischen 3-Punkte-Biegungstest.....</i>	<i>22</i>
Abbildung 17: <i>gegenläufige Entwicklung von Talus und Calcaneus gezeigt an ihrer Stellung zueinander bei einem Neugeborenen, einem Zweijährigen und einem Erwachsenen.....</i>	<i>25</i>
Abbildung 18: <i>Fußwachstum von Mädchen und Jungen dargestellt als durchschnittlicher Schnittlängenzuwachs bezogen auf das Alter.....</i>	<i>27</i>
Abbildung 19: <i>Änderung der Metatarsalenköpfchen-Achse im Vergleich bei einer Fußlänge von 15,7 cm, 20,2 cm und 26,2 cm.</i>	<i>28</i>
Abbildung 20: <i>Entwicklung des Talusneigungswinkel</i>	<i>29</i>
Abbildung 21: <i>physiologische Entwicklung der Beinachsen mit der Abfolge Genu varum, anschließendem Genu valgum und letztendlich neutraler Stellung.....</i>	<i>30</i>
Abbildung 22: <i>WMS-Richtlinien für die Konstruktion der Brandsohle eines Kinderschuhs</i>	<i>38</i>

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Jochen Eulert danke ich für die Unterstützung der Arbeit und die Schaffung der notwendigen Freiräume.

Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Markus Walther möchte ich ganz herzlich für die Überlassung des Themas und für seine hervorragende Betreuung und Beratung bei der Erstellung der vorliegenden Dissertationsarbeit danken.

Den Mitarbeitern des biomechanischen Labors der adidas-Salomon AG, insbesondere Herrn Dipl. Mathematiker Dr. Berthold Krabbe, Harald Körger, Karsten Westphal, Frank Kleindienst und Ute Dittrich möchte ich für die Unterstützung bei der Testdurchführung, Datenaufnahme und Datenanalyse sowie die Bereitstellung von Quellenmaterial danken.

Meinen Eltern Erika und Wolfgang Sinderhauf danke ich für ihre finanzielle und persönliche Unterstützung, ohne die mein Studium nicht möglich gewesen wäre.

Meiner Schwester Katrin Sinderhauf möchte ich für ihre Beratung und Tipps bei der Erstellung der Dissertationsarbeit danken.

Persönliche Daten

Angela Sinderhauf

Geboren am 12.12.1978 in Heilbronn/ Neckargartach

Staatsangehörigkeit: deutsch

Familienstand: ledig

Schulbildung

1985- 1989 Neuberger-Grundschule Neckarsulm

1989- 1998 Albert-Schweitzer-Gymnasium Neckarsulm

Studium

1999- 2005 Medizin-Studium an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

04/ 2001 Physikum

03/ 2002 1. Staatsexamen

04/ 2004 2. Staatsexamen

05/ 2005 3. Staatsexamen

Würzburg, Juni 2005



Angela Sinderhauf

