

# Die Entwicklung des gesunden Kinderfußes – Ergebnisse aus der 'Kidfoot Münster'-Längsschnittuntersuchung

## Zusammenfassung:

Von den ersten Schritten bis zum Alter von etwa zehn Jahren wurde in Münster die Entwicklung des kindlichen Fußes beobachtet und mit der Pedographie dokumentiert. Die Daten von etwa 100 Jungen und Mädchen zeigen, wie sich die Schrittabwicklung mit der Zeit stabilisiert und wie sich die Fußform im Wachstum und unter Belastung physiologisch verändert. Die Daten zeigen aber auch, dass sich bestimmte Fußformen schon früh abzeichnen und man bei Fehlentwicklungen nicht zuwarten sollte.

**F**at, flat, floppy', so wird der Kinderfuß plakativ in der englischsprachigen Literatur beschrieben, um damit seine etwa speckige, platte und flexible Erscheinung zu illustrieren. Während dieses Erscheinungsbild des kindlichen Fußes in frühen Entwicklungsstadien durchaus als physiologisch angesehen wird und daher keine Indikation für eine Behandlung ist, gibt es vor allem bei zunehmendem Alter oft Anlass für Eltern, sich Sorgen um die Entwicklung ihres Kind zu machen. So fragen sich besorgte Eltern, ob der Fuß ihres Kindes sich normal entwickelt oder ob Auffälligkeiten in der Form oder Funktion des Fußes beachtet und behandelt werden sollten.

Die Beantwortung solcher Fragen erfordert eine Abgrenzung einer (noch) normalen Fußform von einer manifesten Fußdeformität, die als behandlungsbedürftig angesehen wird. Da es in der Regel nicht ausreicht, allein das Erscheinungsbild des Fußes zu beurteilen, kommen den erweiterten diagnostischen Möglichkeiten zur Beschreibung der Fußfunktion zunehmende Bedeutung zu.

So haben sich zum Beispiel Untersuchungen des Gangbildes mit Hilfe der computergestützten dreidimensionalen Ganganalyse und/oder mit der plantaren Druckverteilungsmessung oder Pedobarographie etabliert. Letztere Methode wurde in einer Längsschnittuntersuchung bei einer Gruppe gesunder Kinder eingesetzt, um deren Entwicklung von den ersten eigenen Schritten bis hin zu einem Alter von ca. 10 Jahren zu begleiten und zu beschreiben. Ergebnisse aus dieser

'Kidfoot Münster'-Studie sollen hier zusammengefasst dargestellt werden.

## Das Wachstum des Kinderfußes

Mit Beginn der Gewichtsübernahme im zweibeinigen Stand und Gang entwickelt sich der Kinderfuß schnell und die Fußmorphologie ändert sich schon in den ersten 6 bis 12 Monaten (Bertsch 2004). Individuelle Charakteristika bilden sich früh aus, zeigen allerdings Unterschiede in der Entwicklungsgeschwindigkeit auf, und festigen sich in der Regel bis zu einem Alter von 5 bis 6 Jahren (Unger 2004, Bosch 2007). Trotzdem ist die Reifung des Fußes noch nicht komplett abgeschlossen, denn wenn man die primären und sekundären Ossifikationszentren des Fußes betrachtet, kann die vollständige Ossifikation des Fußskeletts bis zum 22. Lebensjahr dauern.

Die Hälfte der endgültigen Fußlänge wird in einem Alter von 1–1,5 Jahren erreicht und die anfängliche hohe Wachstumsgeschwindigkeit nimmt bis zum 5. Lebensjahr rasch ab (Niethard, 1997). Der Fuß wächst vom fünften Lebensjahr bis zur Pubertät um ca. 0,9 cm pro Jahr, danach ist das Fußwachstum weitgehend abgeschlossen (Niethard, 1997). Damit ist der Fuß das erste muskuloskeletale Organ, das während der Pubertät einen Wachstumsschub erfährt. Das Wachstum des Fußes stoppt bei Mädchen im Alter von ungefähr 12 Jahren (ca. 3 Jahre vor Abschluss des Wachstums), bei Jungen mit 14 Jahren (Lovell et al., 2005).

Da die meisten Erkenntnisse zur normalen Kinderfußentwicklung auf Querschnittsuntersuchungen beruhen, stellte sich uns die Frage, wie Wachstum und Reifung des Fußes von den ersten freien Schritten bis zum Abschluss des Grundschulalters sich vollzieht, wenn man die individuelle Entwicklung in einem Kollektiv longitudinal betrachtet. Diese Überlegungen führten zur Beantragung der 'Kidfoot Münster'-Studie, die mit finanzieller Unterstützung der DFG begonnen und mittlerweile erfolgreich abgeschlossen werden konnte.

Obwohl schon vielfältige Informationen zum Wachstum und zur Reifung des

kindlichen Fußes in Bezug auf die Entwicklung des Gangbildes vorliegen, sah Sutherland in seinem Review noch wissenschaftlichen Handlungsbedarf

bezüglich der Untersuchung der Wachstums- und Reifungsprozesse von kindlichen Gangbildveränderungen (Sutherland, "The development of mature gait", Gait & Posture 1997). Diese Aussagen bestätigten uns in unserer Absicht, die normale Kinderfußentwicklung in einer longitudinalen Studie zu untersuchen und so eine Normdatenbasis zu erstellen. 1999 starteten wir das 'Kidfoot Münster' Projekt. In diesem Jahr wurden die letzten turnusmäßigen Untersuchungen abgeschlossen.

## Methodisches Vorgehen

Ziel unserer Studie war es, die Entwicklung der kindlichen Fußform und Fußfunktion in einer großen Gruppe normaler Kinder vom Laufbeginn bis zu einem Alter von 10 Jahren prospektiv, longitudinal zu untersuchen.

Mittels Pedobarographie, also der Messung der Belastung unter der Fußsohle, sollten die intra- und interindividuellen Charakteristika von Wachstum und Entwicklung evaluiert werden. Die Methode bot sich an, da sie als klinisch relevant akzeptiert ist (Hughes, 1993) und mit mehreren Wiederholungsmessungen in der Lage ist, reliable und valide Messergebnisse auch an verschiedenen Messtagen zu liefern (Hughes et al, 1991; Gurney et al., 2008). Als klarer Vorteil ist zu sehen, dass die Messung 'nicht-invasiv' ist und keine Sensoren, Marker oder Kabel am Körper fixiert werden müssen, was bei kleinen Kindern zu Irritationen führen und so ihre Mitarbeit beeinträchtigen könnte. Mit einer in den Boden oder Laufsteg eingelassenen Messplatte kann man schon Kinder in jüngsten Jahren messen (Bertsch et al, 2003; Halleman et al., 2003). Dazu ist häufig die Mithilfe der Eltern notwendig, die das Kind z.B. mit Hilfe von Spielzeugen



oder Kuschtieren in die richtige Richtung locken, so dass der Fußkontakt auf der Messplatte erfolgt. Dabei sollte eine Sensordichte von 4 Sensoren pro cm<sup>2</sup> (Sensorgroße von 5x5 mm) nicht unterschritten werden (Davis et al., 1996), um eine ausreichende Auflösung zu gewährleisten; eine höhere Auflösung von 9 Sensoren pro cm<sup>2</sup> brachte keine zusätzlichen Informationen (Rosenbaum & Lorei, 2003).

In die 'Kidfoot Münster'-Studien-Gruppe wurden nach und nach über 100 Mädchen und Jungen aus Münster und Umgebung aufgenommen, die keine orthopädischen oder neurologischen Probleme aufwiesen. Bei ihrem ersten Besuch im Labor sollten sie in der Lage sein, einige Meter selbstständig zu gehen, was bei diesen Kindern in einem durchschnittlichen Alter von 15,3 Monaten möglich war. Die Kinder kamen zu insgesamt 17 Messterminen, die im ersten Jahr nach Laufbeginn alle 3 Monate (U1 bis U5), im Vorschulalter alle 6 Monate (U6 bis U13) und im Schulalter einmal pro Jahr (U14 bis U17) stattfanden. Im Lau-

fe der Zeit brachen nur wenige Kinder die Studienteilnahme ab (z. B. wegen Umzug der Familie in eine andere Stadt). Begonnen wurden die Messungen 1999 und da die letzten Probanden erst später rekrutiert wurden, wurden die letzten 10-Jahres-Messungen im Mai dieses Jahres abgeschlossen.

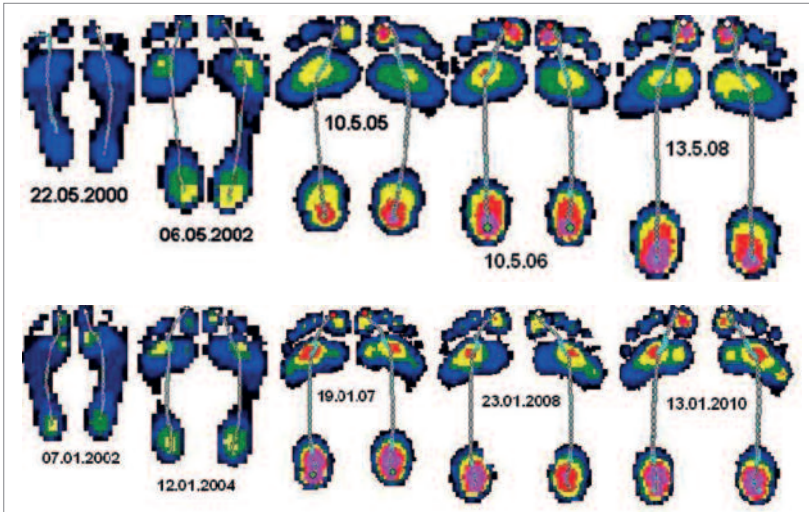
Zur Beurteilung der Fußbewegung und Fußbelastung wurden plantare Druckverteilungsmessungen beim Barfußgehen mit einer kapazitiven Druckverteilung-Messplattform (EMED ST-4/XT; Novel GmbH München) durchgeführt. Die Kinder sollten möglichst frei gehen, aber eine Begleitung durch die Eltern wurde vor allem bei den jüngeren Kindern akzeptiert. Ziel war es, die Probanden mit ausreichend Anlauf wiederholt über die Platte laufen zu lassen, bis insgesamt 5 Wiederholungsmessungen pro Fuß aufgezeichnet waren.

Die Verarbeitung und Analyse der Daten erfolgte mit kommerzieller Software (novel database pro, Novel GmbH). Der Fußabdruck wurde in die folgenden 5 Fußregionen unterteilt: Rückfuß, Mittel-

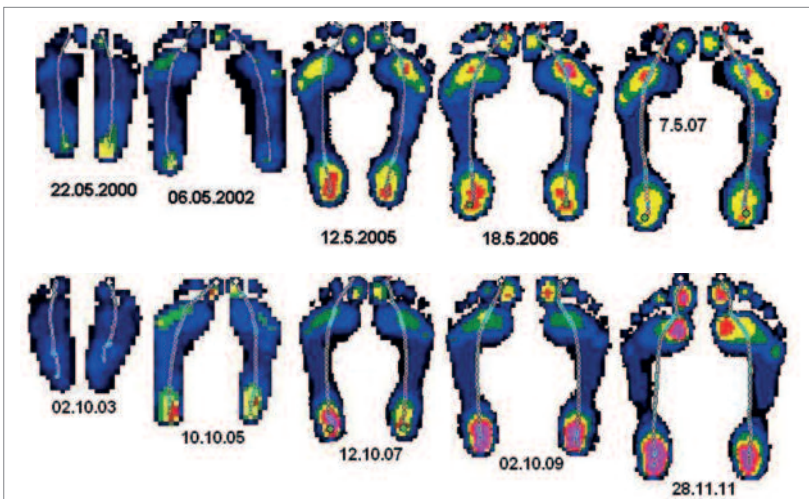
fuß, Vorfuß, Hallux und laterale Zehen. Zur Beschreibung der Fußbelastung wurden folgende Parameter für den gesamten Fuß und die fünf Fußregionen berechnet: Kontaktfläche (in % der Kontaktfläche des gesamten Fußes), Maximalkraft (in % des Körpergewichts), Spitzendruck (kPa), Kontaktzeit (in % der gesamten Kontaktzeit), Kraft-Zeit-Integral (in % des gesamten Kraft-Zeit-Integrals).

### Erste Ergebnisse

Die Entwicklung einer normalen Abrollbewegung mit initialem Fersenkontakt und Abstoß von der (Groß-)Zehe kann gut mit Hilfe der Ganglinie (gait line) überprüft werden. Hier werden sehr schnell nach Beginn des freien Gehens Veränderungen deutlich, die zum einen zeigen, dass der Fuß, der anfänglich flach oder mit dem Vorfuß aufgesetzt wird, in der Regel schon im Laufe des ersten Jahres nach Laufbeginn die Entwicklung eines 'heel-toe'-Abrollmusters aufweist. Außerdem zeigt der Verlauf der Ganglinie, dass der anfänglich 'unruhige' Verlauf, der auf ein noch unsicheres Abrollen in



1 Beispiele von kindlichen Druckverteilungsmustern, die sich im Verlauf des Beobachtungszeitraums zu Hohlfüßen entwickelten. Diese Tendenz ist in einigen Fällen schon frühzeitig (in den ersten 2 Jahren nach Laufbeginn) zu erkennen und festigt sich nach 5 bis 6 Jahren.



2 Beispiele von kindlichen Druckverteilungsmustern, die sich im Verlauf des Beobachtungszeitraums zu Normalfüßen entwickelten.

der Einbeinstandphase hindeutet, zunehmend harmonischer erscheint, wenn die Kontrolle der Gangbewegung und des labilen Gleichgewichts beim Gehen sich verbessert.

Ferner zeigen sich schon früh individuelle Unterschiede in den plantaren Belastungsmustern, die die unterschiedlichen Entwicklungsverläufe, aber auch auf das Ausbilden unterschiedlicher Fußformen belegen. So richtet sich bei einigen Kindern das Fußlängsgewölbe schon nach einem halben Jahr Lauferfahrung deutlich erkennbar auf, während andere Kinder auch noch nach einem Jahr einen breiteren Mittelfußkontakt aufweisen, der auf eine langsame Aufrichtung des Längsgewölbes oder auch auf die Entwicklung eines Plattfußes hinweisen

kann. Dagegen zeigen einige Kinder in jungen Jahren ein so stark ausgebildetes Längsgewölbe, dass das Belastungsmuster hohlfüßig erscheint. Diese Entwicklung ist allerdings nach einiger Zeit oft rückläufig, so dass sich die Frage stellt, ob der Hohlfuß ein ‚Durchgangsstadium‘ in der Entwicklung darstellt, das mit zunehmendem Wachstum wieder abnimmt.

### Was nutzen diese Daten?

Wie ein einzelner Fuß(-abdruck) zu beurteilen und in Bezug auf ‚die Norm‘ einzuordnen ist, kann mithilfe der bisher veröffentlichten Normdaten verglichen werden (Bosch, Gerst, Rosenbaum, 2007 & 2010). Hierzu wurde die Entwicklung der verschiedenen Parameter im zeitlichen Verlauf dargestellt. Mit Hilfe der

Mediane und Perzentile konnte so der Streubereich der Normdaten für das entsprechende Alter dargestellt werden. Dabei wurde deutlich, dass der Kinderfuß sich bis zum Ende unseres Beobachtungszeitraums zwar noch längenmäßig entwickelt, aber die Mittelfußbreite konstant bleibt beziehungsweise eher abnimmt. Dadurch kommt es zu einer Abnahme des Fußformindex, der sich aber nach ca. 60 bis 72 Monaten Lauferfahrung nicht weiter verändert (Abb. 4). Der Streubereich wird im Laufe der Zeit größer, was auf die individuelle Ausprägung der Fußform mit der gesamten Bandbreite vom Hohlfuß bis zu einem Plattfuß hinweist. Die höchsten Druckwerte unter dem Kinderfuß steigen über den gesamten Beobachtungszeitraum an, zeigen aber nur eine geringe Abhängigkeit vom Körpergewicht (Phethean et al., 2012 & 2014). Die Autoren machen in der von ihnen beobachteten Altersspanne von 4 bis 7 Jahren vor allem die Fußfunktion für Unterschiede in den Druckwerten verantwortlich, während aus unserer Sicht allerdings auch die Fußform einen Anteil hat.

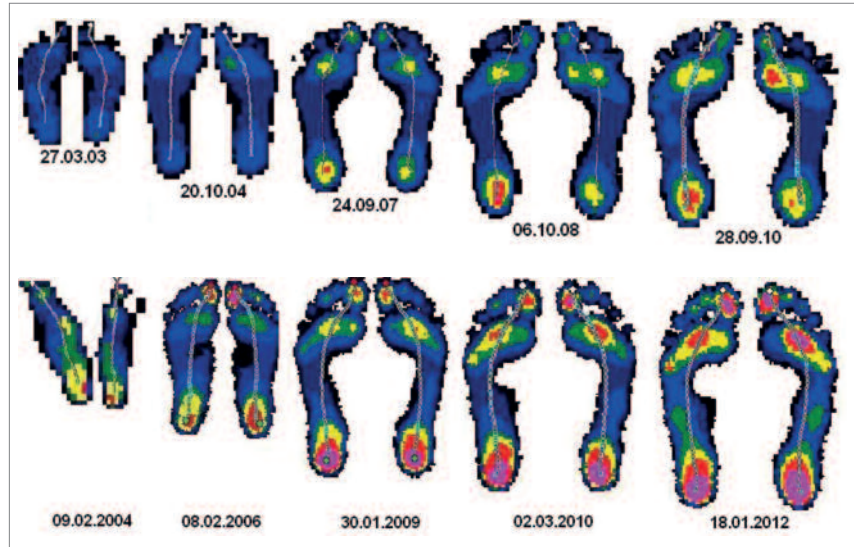
Wenn man die Daten eines einzelnen Probanden mit vergleichbarer Messtechnik und -methodik erfasst hat, können sie entsprechend des Alters in die passenden Diagramme eingeordnet werden und man kann überprüfen, wo im Streubereich dieses Parameters sie liegen, ob sie also nahe am Median der Normgruppe, im Randbereich der oberen oder unteren Perzentile oder schon außerhalb des Bereichs unserer bisherigen Probandendaten liegen. Somit kann beurteilt werden, ob ein Proband für sein Alter normale oder auffällige Daten bezüglich des Fußwachstums und der Fußbelastung aufweist.

### Früherkennungsmöglichkeiten der späteren Fußform?

Auch wenn in unserer Untersuchungsgruppe nur Probanden mit initial unauffälligen Füßen teilnahmen, entwickelten sich später doch individuell deutlich unterschiedliche Belastungsmuster, die zu einem breiten Spektrum von Plattfüßen, Normalfüßen und Hohlfüßen führten (Abb. 1-3). Somit lässt sich die Frage, ob der zunächst unauffällige Kinderfuß sich in der Tat zu einem Normalfuß entwickelt, solange er sich frei entfalten kann und nicht zum Beispiel durch unpassendes Schuhwerk in seiner Entwick-

lung behindert wird, nicht endgültig beantwortet. Allerdings weisen die deutlichen Unterschiede bei unseren Messergebnissen darauf hin, dass sich auch eine teilweise vererbte Fußform und Belastungscharakteristik durchsetzt, was teilweise durch subjektive Hinweise und Kommentare der Eltern bekräftigt wurde.

Daher haben wir die Kinderfüße nach ihrem so genannten ‚Arch Index‘ (definiert als Quotient aus minimaler Mittelfußbreite und Fußlänge ohne Zehen), den sie am Ende des Beobachtungszeitraums zeigten, sortiert und Gruppen gebildet, die die hohleren, normalen und platteren Füße zusammenfassten. Es zeigte sich, dass dieser Arch Index bei Betrachtung der gesamten Untersuchungsgruppe im Verlauf der Zeit erwartungsgemäß abnahm (Abb. 5) und dass die drei Gruppen schon früh voneinander zu differenzieren sind. Allerdings ist aufgrund der Streuung in den Daten eine sichere Vorhersage nicht einfach möglich. Hier müssten eventuell größere Datensätze zugrunde gelegt werden oder es müssten statistische Modelle

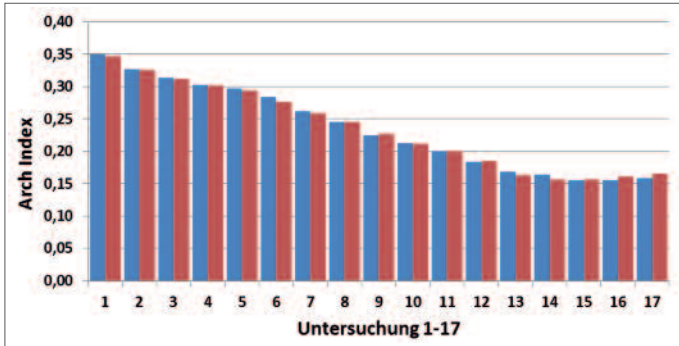


3 Beispiele von kindlichen Druckverteilungsmustern, die sich im Verlauf des Beobachtungszeitraums zu mehr oder weniger ausgeprägten Plattfüßen entwickelten. Man erkennt das späte Aufrichten des Längsgewölbes (z. B. im Vergleich zu den Hohlfüßen in Abb. 1), da der breitere Mittelfußkontakt länger persistiert.

entwickelt werden, die eine solche Vorhersage erlauben.

Allerdings unterstützen diese Daten auch unsere Beobachtung, dass der Kin-

derfuß schon recht früh eine charakteristische Ausprägung entwickelt und die meisten morphologischen Eigenschaften bis zum Grundschulalter deutlich werden.



4 Die allmähliche Abnahme des ‚Arch Index‘ (Quotient aus minimaler Mittelfußbreite und Fußlänge ohne Zehen) der linken (in blau) und rechten Füße (in rot) über die 17 Untersuchungstermine illustriert die Aufrichtung des Längsgewölbes.

Danach sind spontane Veränderungen der Fußform eher unwahrscheinlich, so dass bei vorliegenden Auffälligkeiten aktiv auf eine positive Beeinflussung der Fußreifung hingearbeitet werden sollte. Auch wenn nur wenige evidenzbasierte Daten zur Effektivität vorliegen, kann und sollte trotzdem der Versuch unternommen werden, durch ein regelmäßiges fußgymnastisches Training (z. B. durch ‚Spiraldynamik‘-Übungen) die aktive Stabilisierung des Fußes zu verbessern und die weiteren Reifungsprozesse zu unterstützen. Dies kann bei extremeren Fußfehlstellungen im Sinne einer ausgeprägten Knicksenkfußstellung bei Bedarf durch Einlagen ergänzt werden, die bei längerer oder intensiver Belastung eine ermüdungsbedingte Fehlstellung begrenzen sollten.

**Schlussfolgerungen**

- Der Kinderfuß entwickelt sich schnell während der ersten beiden Jahre des freien Gehens, aber in diesem Alter zeigen die Kinder schon individuell unterschiedliche Entwicklungen.
- Die normale Abrollbewegung mit initialem Fersenkontakt entwickelt sich in der Regel schon im ersten Jahr nach Laufbeginn.
- Die ‚Entwicklungsgeschwindigkeit‘ verlangsamt sich nach ca. 4 – 5 Jahren.

Die individuell charakteristische Fußform entwickelt sich schon früh bis zu einem Alter von ca. 6 Jahren; danach verändert sich die Fußform nicht mehr sehr stark, lediglich die Größe nimmt weiter zu.

- Ein ‚Auswachsen‘ von Fußproblemen ist nach diesem Alter eher unwahrscheinlich. Daher sollte nicht zu lange abgewartet werden; auffällige Fußdeformitäten, die in einem Alter ab 6 Jahren diagnostiziert werden, sollten aktiv angegangen und z. B. mit Fußgymnastik oder -training therapiert werden, um die aktive muskuläre Stabilisierung des Fußes zu verbessern. ■

**Danksagung**

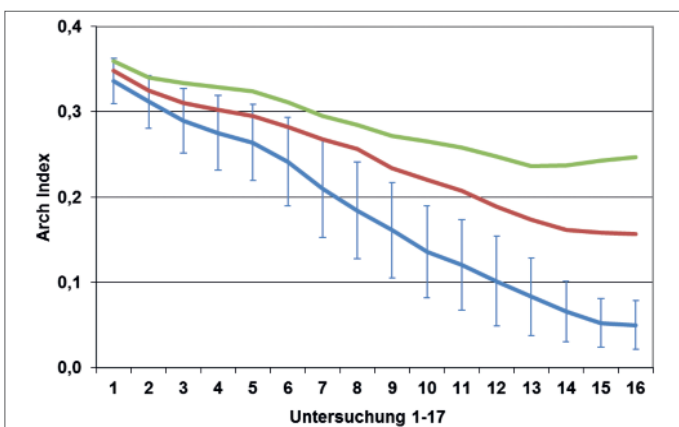
Unser Dank gilt den Probanden-Kindern und ihren Eltern für die ausdauernde und treue Unterstützung und den Mitarbeiterinnen Helga Raape, Carola Bertsch, Heidi Unger, Kerstin Bosch für die geduldige Datenerfassung und -verarbeitung, sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft für sieben Jahre finanzielle Unterstützung.

**Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. rer. soc. Dieter Rosenbaum  
 Funktionsbereich Bewegungsanalytik,  
 Institut für Experimentelle Muskuloskeletale  
 Medizin, Universitätsklinikum Münster  
 Albert-Schweitzer Campus 1, Gebäude D3,  
 48129 Münster  
 diro@uni-muenster.de

**Literatur**

1. Bertsch C, Unger H, Winkelmann W, Rosenbaum D. Evaluation of early walking patterns from plantar pressure distribution measurements. First year results of 42 children. *Gait Posture*. 2004; 19(3):235-42.
2. Bosch K, Gerss J, Rosenbaum D. Preliminary normative values for foot loading parameters of the developing child. *Gait Posture*. 2007; 26(2):238-47.
3. Bosch K, Gerss J, Rosenbaum D. Development of healthy children's feet-nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns. *Gait Posture*. 2010; 32(4):564-71.
4. Davis BL, Cothren RM, Quesada P, Hanson SB, Perry JE (1996) Frequency content of normal and diabetic plantar pressure profiles: implications for the selection of transducer sizes. *J Biomechanics* 29:979-983
5. Gurney JK, Kersting UG, Rosenbaum D (2008) Between-day reliability of repeated plantar pressure distribution measurements in a normal population. *Gait Posture* 27:706-709
6. Hallemans A, D'Aout K, De Clercq D, Aerts P (2003) Pressure distribution patterns under the feet of new walkers: the first two month of independent walking. *Foot & Ankle International* 24:444-453
7. Hughes J (1993) The clinical use of pedobarography. *Acta Orthop Belg* 59:10-16
8. Hughes J, Pratt L, Linge K, Clark P, Klenerman L (1991) Reliability of pressure measurements: the EMED F system. *Clin Biomech* 6:14-18
9. Lovell, Wood W., et al., eds. *Lovell and Winter's pediatric orthopaedics*. Vol. 1. Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
10. Niethard FU (1997) *Kinderorthopädie*. Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
11. Phethean J, Nester C (2012) The influence of body weight, body mass index and gender on plantar pressures: results of a cross-sectional study of healthy children's feet. *Gait Posture* 36:287-290
12. Phethean J, Pataky TC, Nester CJ, Findlow AH (2014) A cross-sectional study of age-related changes in plantar pressure distribution between 4 and 7 years: a comparison of regional and pixel-level analyses. *Gait Posture* 39:154-160
13. Rosenbaum D, Lorei T (2003) Einfluss der Drucksensorgroße auf Parameter der plantaren Fußbelastung – ein pedographischer Vergleich zweier Druckverteilungsmessplattformen. *Biomed Tech* 48:166-169
14. Sutherland D (1997) The development of mature gait. *Gait Posture* 6:163-170
15. Unger H, Rosenbaum D. Gender-specific differences of the foot during the first year of walking. *Foot Ankle Int*. 2004; 25(8):582-7.



5 Verlauf des ‚Arch Index‘ für die späteren Hohlfüße (in blau), Normalfüße (in rot) und Plattfüße (in grün) und über die ersten 16 Untersuchungstermine. Die drei Gruppen liegen anfänglich noch dicht beieinander und entfernen sich mit der Zeit voneinander, aber aufgrund der Streuung ist eine Differenzierung der Gruppen im frühen Beobachtungszeitraum noch nicht sicher möglich (beispielhaft ist die Standardabweichung für die Hohlfußdaten angezeigt).