

Aus der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin II  
(Direktor: Prof. Dr. med. U. Stephani)  
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel  
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**EINFLUSS FUNKTIONSBASIERTER  
(SENSOMOTORISCHER) EINLAGEN AUF DEN  
HABITUELLEN SPITZFUSSGANG BEI KINDERN**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von  
Dorothee Warrelmann  
aus Bremen

Kiel (2018)

1. Berichterstatter:	Prof. Dr. Paul-Martin Holterhus
2. Berichterstatter:	Priv.-Doz. Dr. Andreas van Baalen
Tag der mündlichen Prüfung:	20.09.2018
Zum Druck genehmigt, Kiel, den	23.07.2018
	gez.: Prof. Dr. Johann Roider
	(Vorsitzender des Ausschusses für Promotion)

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	1
1.1 Funktionsbasierte Einlagen .....	2
1.1.2 Geschichte .....	2
1.1.3. Wirkungsweise und Anwendungsgebiet .....	3
1.2 Habituellem Zehenspitzenengang .....	5
1.2.1 Diagnostik .....	8
1.2.2 Therapieansätze .....	8
1.3 Fragestellungen .....	10
2. Material und Methoden .....	11
2.1 Patienten und Studienaufbau .....	11
2.2 Einlagenherstellung .....	15
2.3 Fragebögen .....	15
2.3.1 Eltern .....	15
2.3.2 Ärzte .....	18
2.4 Kameraaufnahmen .....	18
2.4.1 Laterale Aufnahmen .....	19
2.4.2 Frontale Aufnahmen .....	21
2.5 Messungen im Motoriklabor .....	21
2.6 Statistik .....	24
2.6.1 Statistische Verfahren .....	24
2.6.2 Elternfragebogen .....	25
2.6.3 Ärzefragebogen .....	25
2.6.4 <i>Dartfish</i> -Messungen .....	26
3. Ergebnisse .....	27
3.1 Patientenkollektiv .....	27
3.2 Eltern-Fragebogen .....	28
3.2.1 Frage 1: Ich fühle mich wegen des Spitzfußganges meines Kindes belastet. ....	28
3.2.2 Gesamtergebnisse .....	30
3.2.3 Belastungs-Score .....	31
3.3 Ärzte-Fragebogen .....	32

3.3.1 Frage 1.1 bis 1.3 .....	32
3.3.2 Frage 1.4: Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk .....	35
3.3.3 Frage 2: Ferse-Boden-Kontakt im Stand.....	37
3.3.4 Frage 3: Ferse-Boden-Kontakt im Gang .....	38
3.4 Kameraaufnahmen ( <i>Dartfish</i> ) .....	39
3.4.1 laterale Aufnahmen, barfuß.....	39
3.4.2 laterale Aufnahmen, mit Schuhen ohne Einlagen .....	39
3.4.3 Normalisierung der Messwerte .....	41
3.5 Motoriklabor-Messungen .....	43
4. Diskussion .....	47
4.1 Messungen.....	48
4.1.1 <i>Dartfish</i> .....	48
4.1.2 Goniometrie.....	49
4.1.3 Motoriklabor.....	49
4.2 klinische Veränderungen.....	51
4.2.1 <i>Dartfish</i> .....	51
4.2.2 Goniometrie.....	52
4.2.3 Motoriklabor.....	53
4.3 psychische Belastung .....	53
5. Zusammenfassung .....	54
6. Literaturverzeichnis.....	56
7. Danksagung .....	64
8. Publikation .....	65
9. Anhang .....	67

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Oberfläche einer Einlage für einen Spitzfußgänger (rechter Fuß).....	4
Abbildung 2: normaler Bewegungsumfang während eines Doppelschrittes (aus Perry 2003)..	6
Abbildung 3: Gangabweichung in der mittleren Standphase aufgrund übermäßiger Plantarflexion des oberen Sprunggelenks, a: übermäßige Plantarflexion des oberen Sprunggelenks, b: Hyperextension im Kniegelenk, c: Vorwärtsneigung des Rumpfes bei verstärkter Flexion in der Hüfte (aus Perry 2003).....	7
Abbildung 4: Darstellung des Patientenkollektivs .....	11
Abbildung 5: Zeitstrahl zum Ablauf der Studie .....	12
Abbildung 6: Instrument zur reproduzierbaren Positionsmarkierung eines Markers am Schuh .....	14
Abbildung 7: Fuß-Scan als Grundlage für die Einlagenherstellung .....	15
Abbildung 8a: Kameraaufstellung 1, Blick von der Laufstrecke 8b: Kameraaufstellung 2, Blick auf die Laufstrecke .....	20
Abbildung 9: Beispiel Kameraaufnahme .....	20
Abbildung 10: Beispiel Messung Ferse-Boden-Abstand .....	21
Abbildung 11: Positionen der Infrarotlicht-reflektierenden-Marker.....	22
Abbildung 12: Versuchsaufbau im Motoriklabor (die Kinder bekamen einen entsprechend kleinen Kindergurt).....	23
Abbildung 13: ausgewertete Eltern-Fragebögen.....	28
Abbildung 14 a,b und c: Ergebnisse der Frage 1 zu den drei Messzeitpunkten in absoluten Zahlen, Belastungs-Score T1=48, T2=52, T3=31 .....	29
Abbildung 15 a, b und c: Ergebnisse der Frage 1 zu den drei Messzeitpunkten in Prozent ....	30
Abbildung 16a, b und c: Gesamtergebnisse (alle 5 Fragen) zu den drei Befragungszeitpunkten in Prozent.....	30
Abbildung 17: Anzahl der ausgewerteten Ärzte-Fragebögen zu T1, T2 und T3.....	32
Abbildung 18 a, b und c: Frage 1.1: Tonus des Rumpfes zu den drei Untersuchungszeitpunkten.....	32
Abbildung 19 a, b und c: Frage 1.2: Tonus der Extremitäten zu den drei Untersuchungszeitpunkten.....	33
Abbildung 20 a, b und c: Frage 1.3 Muskeleigenreflexe zu den drei Untersuchungszeitpunkten .....	34
Abbildung 21: Gelenkbeweglichkeit im OSG rechts.....	35
Abbildung 22: Gelenkbeweglichkeit im OSG links.....	36

Abbildung 23 a, b und c: Anzahl der Kinder bei denen ein Ferse-Boden-Kontakt im Stand vorhanden bzw. nicht vorhanden war .....	37
Abbildung 24 a, b und c: Anzahl der Kinder bei denen ein Ferse-Boden-Kontakt im Gang vorhanden bzw. nicht vorhanden war .....	38
Abbildung 25 a und b: Entwicklung der Fersenhöhe barfuß .....	39
Abbildung 26 a und b: Entwicklung der Fersenhöhe mit Schuhen ohne Einlagen .....	40
Abbildung 27: Aufschlüsselung der Grafik 27a zur Verdeutlichung der Fersenhöhe der einzelnen Kinder .....	41
Abbildung 28 a und b: Fersenhöhe im Verlauf mit normalisierten Messwerten (rechts und links).....	42
Abbildung 29 a, b und c: Ergebnisse der Messungen im Motoriklabor (ohne Einlagen) .....	44
Abbildung 30a, b und c: vergleichende Darstellung der <i>Qualisys</i> und <i>Dartfish</i> Ergebnisse ...	45

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Studienteilnehmer .....	27
Tabelle 2: Belastungs-Scores der Eltern zum Zeitpunkt T1, T2 und T3.....	31

## Abkürzungsverzeichnis

OSG	oberes Sprunggelenk
DE	Dorsalextension
PF	Plantarflexion
MFK	Mittelfußköpfchen
MBI	Mind Body Insole (Firma, die die Einlagen herstellt hat (25315 Homburg))
FB	Fragebogen



## 1. Einleitung

Die Überprüfung der Wirksamkeit von funktionsbasierten Schuheinlagen ist, vor allem seit ihrem vermehrten Einsatz in den letzten 40 Jahren (Götz 2008), immer wieder Gegenstand vereinzelter klinischer Studien. Dabei wurden bisher viele unterschiedliche Varianten von Einlagen getestet (Nagel 2005), welche aber einen gemeinsamen Grundgedanken haben: Durch Modifikation der propriozeptiven Informationen, ausgehend von den Rezeptoren der Fußsohle und -muskulatur, soll der sensomotorische Regelkreis beeinflusst werden und somit pathologisch veränderte Bewegungsmuster der Norm angepasst werden (Kornbrust 2001). Dieses Konzept unterscheidet sich deutlich von dem der klassisch bettenden Einlagen, die über Jahre verbreitet zur Anwendung kamen. Die Einlagen wurden hierbei der jeweiligen Fußform korrespondierend angefertigt, mit dem Ziel, den Fuß statisch aufzurichten und durch eine optimierte Druckverteilung passiv zu korrigieren (Grifka 2005). Bei bestehenden Fehlstellungen und Abweichungen von physiologischen Gangmustern kann dieses Wirkprinzip, das eine Betrachtung des Fußes nur im Stand und nicht in der Abrollphase beinhaltet (Bernius 2010) jedoch nicht ausreichen. Für eine Anpassung dieser veränderten Muster ist eine aktive Beeinflussung des Muskeltonus im Rahmen einer dynamischen Reaktion erforderlich (Greitemann et al. 2016). Zweck dieser Anpassung kann einerseits die Prävention von fehlbelastungsbedingten körperlichen und damit einhergehenden psychosozialen Beschwerden sein, andererseits sollen bereits bestehende Beschwerden auf diesem Weg gelindert bzw. im Optimalfall behoben werden. Aufgrund der Ergebnisse der bisher durchgeführten Studien besteht ein Diskurs zwischen Befürwortern und Kritikern des Einsatzes funktionsbasierter Einlagen. Mit der Stellungnahme vom März 2016 versuchte ein Expertenausschuss der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC) die bisherige Datenlage zu sichten und daraus abzuleiten, welche Kriterien bei der Verordnung und Ausführung der Fußorthesen zu beachten sind. Es resultierte eine „Empfehlung niedriger Evidenz im Sinne einer konsentierten Expertenempfehlung“ (Greitemann et al. 2016) für den Einsatz sensomotorischer Fußorthesen unter bestimmten Voraussetzungen. Es wird dennoch deutlich, dass weitere Forschung in diesem Gebiet nötig ist.

In Anbetracht eines zunehmend von Medikamenteneinsatz und interventionellen bzw. operativen Verfahren geprägten Medizinalltags wäre es ein viel versprechendes Ergebnis, wenn eine konservative, günstige und wenig strapaziöse medizinische Maßnahme, wie der

Einsatz von funktionsbasierten Einlagen, bei bestimmten Indikationen als erfolgversprechende Behandlungsmethode nachgewiesen werden könnte.

In dieser Pilotstudie soll der Effekt von sensomotorischen Einlagen auf ein spezielles Krankheitsbild, den kindlichen habituellen Spitzfußgang, überprüft werden, da dieses mit einem intakten neuronalen Informationssystem einhergeht und daher besonders gute Chancen auf ein Ansprechen auf die Therapie bestehen (Kornbrust 2001). Bisherige Studien untersuchten den Einfluss sensomotorischer Einlagen auf das Gangbild von Kindern mit frühkindlichem Hirnschaden/Zerebralparese (Poppenborg 2006, Kornbrust 2001, Brinckmann 2005). Wie von Hettfleisch 2011 beschrieben, lassen sich solche Ergebnisse allerdings nicht ohne weiteres auf neurologisch gesunde Kinder übertragen.

## **1.1 Funktionsbasierte Einlagen**

### **1.1.2 Geschichte**

Nach der Innung für Orthopädieschuhtechnik heißt es: „Einlagen sind funktionelle Orthesen zur Korrektur, Stützung oder Bettung von Fußdeformitäten, zur Entlastung oder Lastumverteilung der Fußweichteile, der Bein- oder auch Wirbelsäulengelenke.“ Solche oder ähnliche Definitionen finden sich in vielen Bereichen, die sich mit Orthopädieschuhtechnik beschäftigen. Die Erkenntnis, dass Einlagen eine Wirkung auf die gesamte Körperstatik und -dynamik bis hinauf zu den Gelenken des Kopf/Halsbereichs haben können, ist allerdings medizinhistorisch betrachtet noch recht jung. Die ersten Überlegungen in diese Richtung gehen unter anderem auf Max Schotte zurück, der 1935 in seinem Buch „Fußbeschwerden und ihre Behandlung“ die Therapie von Ischias- und Kniebeschwerden über den Fuß beschrieb (Schotte 1935).

Sensomotorische Einlagen sind seit den 70er Jahren mehr und mehr in den Interessenfokus der Orthopädieschuhtechnik gerückt (Götz 2008). Die Idee einer gezielten Reizung der plantaren Fußmuskulatur und die sukzessive Beeinflussung der neurologischen Regelkreise, mit dem Ziel einer veränderten Körperhaltung bzw. veränderter Bewegungsabläufe, führte zur Entwicklung von Einlagen nach der amerikanischen Physiotherapeutin Nancy Hylton, dem deutschen Orthopädieschuhmacher Lothar Jahrling oder dem französischen Mediziner René-Jacques Bourdiol.

### 1.1.3. Wirkungsweise und Anwendungsgebiet

Hinter der Erklärung der Wirkungsweise der sensomotorischen Einlagen steht die Annahme, dass Haltung und Bewegungsmuster von sensomotorischen Schleifen beeinflusst werden (Pfaff 2007), die auch die Propriozeption mit einbeziehen. Diese wiederum beschreibt die Eigenwahrnehmung und Kontrolle von Bewegungen und Positionen des Körpers im Raum mittels Rezeptoren in der Muskulatur, den Gelenken, den Sehnen und der Haut (Brinckmann 2005). Die Fußsohle wird als sensorisches Organ verstanden, von dem aus Informationen aufgenommen, verarbeitet und nach zentral weitergeleitet werden (Kimmich 2006), was letztlich zur Modifikation von Bewegungsabläufen führt (Roll et al. 2002). Hier setzen die sensomotorischen Einlagen an: durch ihre spezielle Oberfläche stimulieren sie zum einen die kutanen Rezeptoren der Fußsohle, welche eine wichtige Rolle in der Beeinflussung von Gangmustern spielen (Nurse u. Nigg 2001, Kavounoudias et al. 2001). Zum anderen nähern sie Muskelansatz und -ursprung einander an, die Rezeptoren in der Muskulatur registrieren eine geringere Spannung, senden diese Information zum Gehirn, woraufhin dieses die Impulse für eine verstärkte Kontraktion des Muskels sendet. Der betreffende Muskel wird aktiviert, was bei hypotonen Muskeln gewünscht ist. Zur Deaktivierung werden Muskelansatz und -ursprung durch die Einlagenelemente voneinander entfernt. Es kommt zu einer erhöhten Vorspannung des Muskels, was wiederum durch den nachfolgenden Regelkreis zur Tonusminderung und somit Entspannung eines hypertonen Muskels führt (Brinckmann 2005). Dieser in der Theorie sinnig erscheinende Effekt konnte 2013 in einer Arbeit von Ludwig et al. untermauert werden: In einer doppelt verblindeten, randomisierten Studie konnte ein aktivierender Einfluss der sensomotorischen Einlage auf den M. peroneus longus nachgewiesen werden (Ludwig et al. 2013). Man geht davon aus, dass eine gezielte und kontinuierliche Reizung bestimmter Rezeptoren, verbunden mit den konsekutiven Reaktionen des Körpers, zu einem Umlernprozess führt, der auch anhaltende Gangbildveränderungen bewirkt (Bernius 2010).

Als weiteres Wirkprinzip der Einlagen lässt sich die Änderung in der Gelenkstellung anführen. Insbesondere die Stellungsänderung des unteren Sprunggelenks durch eine Anhebung des Längsgewölbes (aktiv über die Aktivierung des M. tibialis posterior oder passiv über eine Sustentaculum-Stütze) kann zu sensomotorischen Antworten führen (Greitemann et al. 2016).

Abbildung 1 zeigt die Grundform einer Einlage, die für einen Spitzfußgänger einsetzbar wäre. Die Höhe der Informationen wird individuell angefertigt und es werden je nach Gangbild indikationsgerecht Informationen modifiziert.

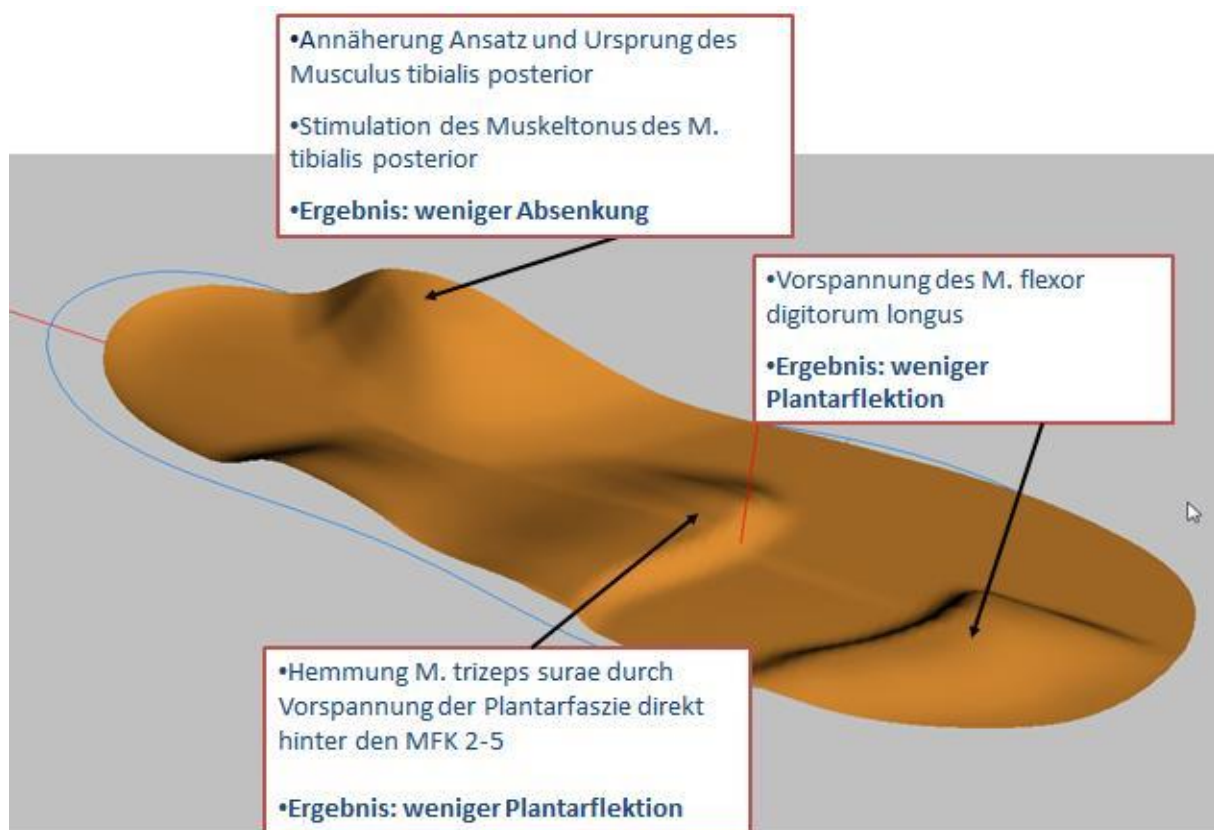


Abbildung 1: Oberfläche einer Einlage für einen Spitzfußgänger (rechter Fuß)

Quelle: MBI

Der mediale Informationspunkt hat seine höchste Stelle unter dem Sustentaculum tali. Dadurch kommt es zu einer Verkürzung und damit Aktivierung des M. tibialis posterior, was wiederum zu einer verbesserten Aufrichtung des Längsgewölbes führt. Die retrokapitale Stufe hinter den Mittelfußköpfchen (MFK) 2-5 führt über die Vorspannung der Plantarfaszie zu einer Tonusminderung des M. triceps surae und somit zu einer geringeren Plantarflexion im Gang. Der Zehensteg unter den Zehenbeeren 2-5 sorgt für eine Streckung der Zehen und somit für eine Vorspannung des M. flexor digitorum longus, woraus ebenfalls eine geringere Plantarflexion resultiert.

Da sensomotorischen Einlagen zugesprochen wird, eine Wirkung auf den gesamten Bewegungs- und Haltungsapparat zu haben, ist ihr Einsatz vielfältig. Im Bereich des Sports gibt es Erfahrungen, die zeigen, dass der Einsatz von sensomotorischen Einlagen zu einer Reduktion der bewegungsassoziierten Verletzungen und zu einer Schmerzreduktion bei Überbelastung führen kann (Leppänen et al. 2014). Es wird aber in der Meta-Analyse von Leppänen et al. darauf aufmerksam gemacht, dass viele Studien zu diesem Thema, bedingt durch das jeweilige Studiendesign, begrenzte Aussagekraft aufweisen.

Auch ihr Einfluss auf das Gangbild bei bestimmten Erkrankungen im Erwachsenenalter wurde bereits untersucht. Beispielsweise können Einlagen mit einer lateralen Erhöhung in Zusammenarbeit mit physiotherapeutischen Übungen zu einer Schmerzreduktion bei medialer

Kniearthrose führen (Sanchez et al. 2010). An Parkinson-Erkrankten sowie Patienten mit einer Multiplen Sklerose wurden ebenfalls Studien mit afferenzstimulierenden Einlagen durchgeführt und teils eine Verbesserung des Gleichgewichtsvermögens gezeigt (Qui et al. 2013, Hatton et al. 2016).

Ohlendorf et al. konnten zeigen, dass das Tragen sensomotorischer Einlagen zu einer Verbesserung der Oberkörperhaltung führt und die subjektive Beurteilung von haltungsbedingten Beschwerden gebessert werden kann (Ohlendorf et al. 2008). Im Gegensatz hierzu ergab die Arbeit von Müller-Gliemann et al., dass sensomotorische Einlagen eben keinen Einfluss auf die Wirbelsäulenstatik haben (Müller-Gliemann et al. 2006)

Es wird somit deutlich, dass widersprüchliche Ergebnisse bezüglich der Evidenz zur Wirksamkeit von sensomotorischen Einlagen vorliegen und weitere Studien zur Klärung dieser Unsicherheiten notwendig sind, wobei großer Wert auf die Auswahl methodischer Verfahren und deren Validität gelegt werden sollte.

Einigkeit besteht weitestgehend darüber, dass kontrakte Fehlstellungen und schwerwiegende strukturelle Defizite als Kontraindikationen für die Verordnung sensomotorischer Einlagen gelten (Greitemann et al. 2016).

## **1.2 Habituellel Zehenspitzengang**

In der Literatur finden sich unterschiedliche Prävalenz-Angaben zum habituellen Spitzfußgang bei Kindern. Sie reichen von 4,9% (Engström und Tedroff 2012), über 15% (Pomarino et al. 2012) bis 7-24% (Engelbert et al. 2011). Meist sind die betroffenen Kinder in der neurologischen Untersuchung unauffällig (Guerassimiouk et al. 2015). Obwohl es sich oftmals nur um ein temporäres Phänomen handelt, welches ohne Behandlung zurückgeht (Pomarino et al. 2012), treten mit zunehmender Dauer des Spitzfußganges Probleme des Bewegungsapparates und der Gangsicherheit auf (Sobel et al. 1997). Verschiedene Autoren konnten zudem feststellen, dass bei habituellen Spitzfußgängern die motorische und sprachliche Entwicklung sowie Verarbeitung sensorischer Reize im Vergleich zu Kindern ohne Spitzfußgang verzögert ist (Williams et al. 2014, Shulman et al. 1997). Eine Studie von Engström et al. ergab, dass Kinder mit einem habituellen Spitzfußgang gehäuft neuropsychiatrische Probleme in Bezug auf motorische Fähigkeiten, Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Sprache, Lernen, soziale Interaktion und Verhalten im Vergleich zu einer gleichaltrigen Kontrollgruppe aufweisen (Engström et al. 2012). Die Schwierigkeiten in der sozialen Interaktion sollen in der vorliegenden Studie in Hinblick auf

die Eltern-Kind-Beziehung untersucht werden, die laut Berichten der Eltern durch den Spitzfußgang und die damit einhergehenden Spannungen in der Familie beeinträchtigt sein kann.

Beim habituellen Spitzfußgang kommt es zur intermittierenden, verstärkten Vorfußbelastung beim Gehen, bis hin zum kompletten Fehlen des Kontakts zwischen Ferse und Boden. Als habituelle- oder idiopathischer Spitzfußgänger wird ein Kind dann bezeichnet, wenn es mehr als 50% der Zeit auf dem Vorfuß geht, steht und läuft (Pomarino et al. 2012). Bei Betrachtung der Funktionen des initialen Bodenkontaktes über die Ferse, der damit eingeleiteten Abrollphase sowie der mittleren Standphase (mid stance phase (Götz-Neumann 2011)), lässt sich verstehen, welche Schwierigkeiten durch das Gangbild des habituellen Spitzfußganges entstehen können, bei dem diese Funktionen nicht oder nur eingeschränkt vorhanden sind: Ein gleichmäßiger und energetisch günstiger Gang entsteht dadurch, dass die Ferse als erstes Kontakt zum Boden erhält, während sich das obere Sprunggelenk in Neutralstellung (Rechtwinkelstellung) befindet (Perry 2003). Die prätibiale Muskulatur kontrahiert, sodass der Vorfuß nicht abrupt auf den Boden absinkt, sondern eine gedämpfte Abrollbewegung über das abgerundete Kalkaneuspulster gewährleistet wird (Fersenkipphebel) (Perry 2003). So führt auch die Gewichtsübernahme, die laut Götz-Neumann „anspruchsvollste Aufgabe innerhalb des Gangzyklus“ (Götz-Neumann 2011), nicht zu einem Stabilitätsverlust. Die dann zunehmende Dorsalextension im OSG (Sprunggelenkkipphebel) sorgt wiederum dafür, dass sich das Bein nach vorne bewegt und das Körpergewicht vor das obere Sprunggelenk verlagert wird. Dies sei laut Perry die „Hauptdeterminante der Fortbewegung“ (Perry 2003). Abbildung 2 verdeutlicht den Bewegungsumfang des oberen Sprunggelenks in einem physiologischen Gangzyklus, der bei einem Spitzfußgänger insbesondere durch die verminderte Dorsalextension eingeschränkt ist.

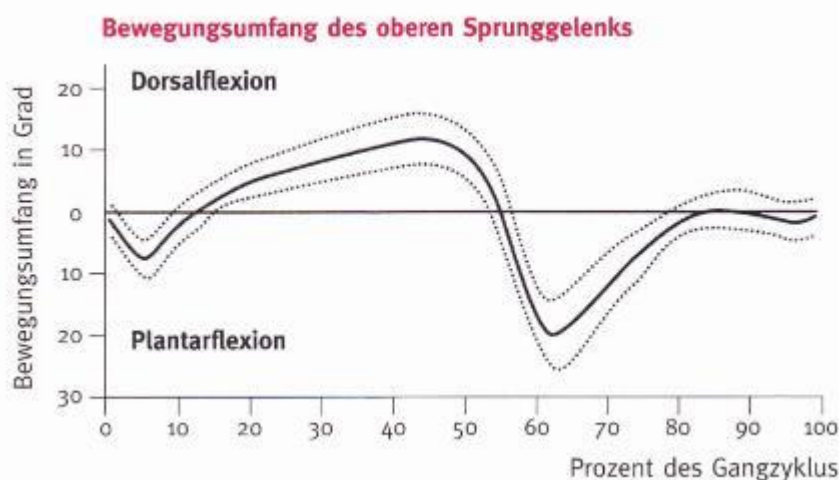
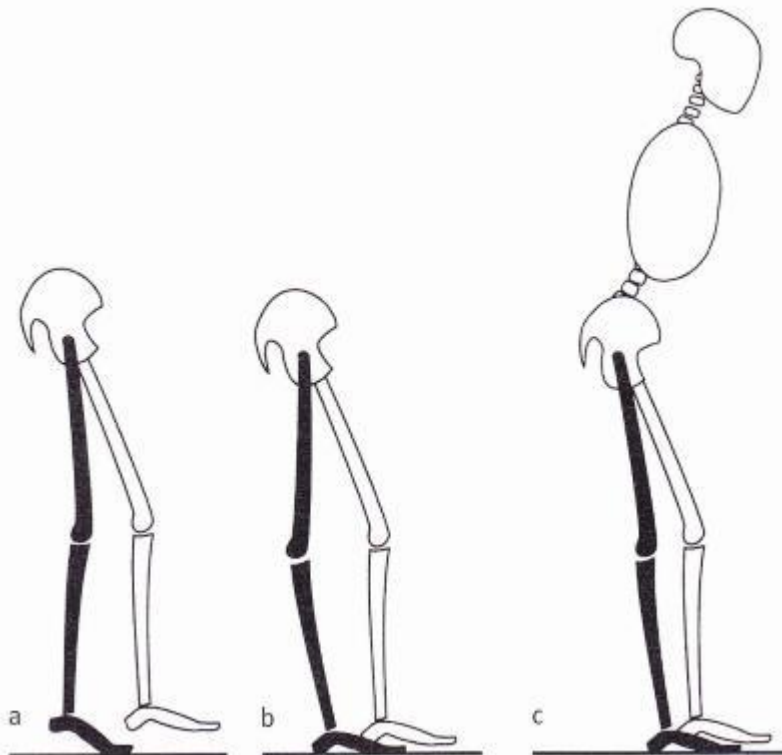


Abbildung 2: normaler Bewegungsumfang während eines Doppelschrittes (aus Perry 2003)

Beim Spitzfußgang entfallen, in den meisten Fällen, zum einen die Stützperiode auf der Ferse mit ihrer Kipphelffunktion (Westberry et al. 2008), welche eine schonende Gewichtsübernahme ermöglicht, zum anderen die gleichmäßige Vorwärtsbewegung durch den verminderten Bewegungsumfang im OSG. Der Fuß führt vielmehr die entgegengesetzte Bewegung zum Körperschwerpunkt aus (Döderlein et al. 2004). Die Verlagerung des Körpergewichts wird daher in vielen Fällen durch eine Hyperextension im Kniegelenk, verstärkte Flexion in der Hüfte mit Vorwärtsbeugung des Rumpfes oder durch vermehrte Armschwung, welche oft den Energieverbrauch erhöhen, kompensiert (s. Abbildung 3).



**Abbildung 3: Gangabweichung in der mittleren Standphase aufgrund übermäßiger Plantarflexion des oberen Sprunggelenks, a: übermäßige Plantarflexion des oberen Sprunggelenks, b: Hyperextension im Kniegelenk, c: Vorwärtsneigung des Rumpfes bei verstärkter Flexion in der Hüfte (aus Perry 2003)**

Durch die eingeschränkte Dorsalextension ist zudem die Gangstabilität herabgesetzt. Während der Belastungsphase werden im normalen Gang durch eine zunehmende Dorsalextension eine besonders große knöcherne Führung und straffe Bandstrukturen hergestellt, bedingt durch die Form der Trochlea tali, welche im vorderen Teil etwa 5-6 mm breiter ist als im hinteren Teil (Schünke et al. 2011). Artikuliert hingegen bei Plantarflexion (Spitzfußgang) der hintere Teil der Trochlea mit den Unterschenkelknochen, fehlt diese stabile knöcherne Führung. Es kann dadurch z.B. leichter zu Supinationstraumen kommen.

### 1.2.1 Diagnostik

Da dem (nicht habituellen) Spitzfußgang oft eine neurogene Ursache zugrunde liegt (Graf et al. 2005), war es wichtig, diese vor Eintritt in die Studie, wenn vorliegend, zu identifizieren. In der Literatur findet man folgende Hinweise dazu, wie sich der habituelle Spitzfußgang von bspw. einer leichten spastischen Diplegie unterscheiden lässt: Zum einen gibt es Hinweise darauf, dass hierzu elektromyographische Untersuchungen hilfreich sein können (Rose et al. 1999). Allerdings ist die Datenlage widersprüchlich (Kalen et al. 1986, Papariello et al. 1985). Zum anderen hat sich „The toe walking tool“, ein Fragebogen mit Fragen zur neuromuskulären-, neurologischen- und traumatologischen Vorgeschichte, in einer Untersuchung von Williams et al. 2010 als valides und reliables Instrument erwiesen. In dieser Studie wird jedoch, um die Praktikabilität zu wahren, die Diagnose des habituellen Spitzfußgangs durch die ärztliche Untersuchung gestellt, welche eine Anamnese, Inspektion des Gangmusters, Palpation und Funktionsprüfung der Gelenke und Muskulatur beinhaltet und auf apparative Diagnostik verzichtet.

Anamnestisch geht es vor allem darum zu erfragen, seit wann der Spitzfußgang besteht und wie häufig das Kind im Alltag auf dem Vorfuß geht. Da es den meisten Kindern mit einem habituellen Spitzfußgang möglich ist, bei entsprechender Konzentration den initialen Bodenkontakt mit der Ferse herzustellen (Westberry et al. 2008), kommt es während der Untersuchung oft zu einem kontrollierten Gangbild. Ein Ablenken des Kindes, durch Fragen stellen oder kleine Rechenaufgaben, führt möglicherweise in einigen Fällen zu einem Kontrollverlust und somit zu einer relativ unbeobachteten Gangsituation. Die Angaben der Eltern zum Ausmaß des Spitzfußganges sind hier in jedem Fall von großer Bedeutung.

Bei der Inspektion und Palpation geht es darum, die Vorfußform, die Achse des Rückfußes sowie eventuelle Druckstellen oder Schwielen zu erkennen und einzuordnen. Außerdem soll hier auf einen eventuell erhöhten Muskeltonus und gesteigerte Reflexe geachtet werden. Bei der Funktionsprüfung des oberen Sprunggelenks wird eventuell eine eingeschränkte Beweglichkeit in der Dorsalextension festgestellt werden, da ein dauerhafter Spitzfußgang zu einer Änderung der Funktionseinheit Fuß-Unterschenkel und zu einer möglichen Kontraktur mit verminderter Dorsalextension führen kann.

### 1.2.2 Therapieansätze

Die Therapiemöglichkeiten des habituellen Spitzfußganges sind vielfältig. Neben der konservativen Behandlung, in Form von Physiotherapie, unterschiedlichen Orthesen und Einlagen, kommen auch operative Eingriffe sowie Injektionen von Botulinumtoxin zum



Einsatz. Da diese invasiven Maßnahmen kostspielig und oft strapaziös für Kind und Eltern sein können, sollte die Indikationsstellung hier besonders streng erfolgen.

Einige operative Methoden sowie Injektionen und Orthesen wurden bereits wissenschaftlich auf ihre Wirksamkeit geprüft, wobei hier allerdings größtenteils Kinder mit Zerebralparese als Probanden gewählt wurden (Poppenborg 2006, Kornbrust 2001, Brinckmann 2005).

Im Bereich der operativen Therapie lässt sich die Baumann-Prozedur (Herzenberg et al. 2007) anführen, die bei Kindern mit Zerebralparese eine signifikante Besserung der Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk mit sich bringt (Svehlík et al. 2012). Hierbei wird der M. gastrocnemius isoliert und intraoperativ verlängert. Bei der Vulpius-Technik werden hingegen die Mm. gastrocnemius und soleus an ihrem gemeinsamen Ansatz, der Achillessehne, verlängert (Park et al. 2012).

In Studien konnte belegt werden, dass die Injektion von Botulinumtoxin A in den M. gastrocnemius bei Kindern mit Zerebralparese eine Reduktion des passiven Widerstandes und eine Verbesserung des Bewegungsumfanges bewirkt (Colovic et al. 2012). Eine kombinierte Therapie aus Botulinumtoxin A Injektionen und elektrischer Muskelstimulation (Galen et al. 2012) oder Etappengips (Lee et al. 2001) zeigten zum Teil noch überzeugendere Ergebnisse. Bei habituellen Spitzfußgängern scheint durch den Einsatz von Botulinumtoxin A das Gangmuster normalisiert werden zu können (Brunt et al. 2004). In einer Studie von Satila et al. zeigte sich allerdings nach 2 Jahren Therapie keine signifikante Verbesserung der mit Botox behandelten Gruppe habituelle Spitzfußgänger im Vergleich zu der mit Nachtschienen und Physiotherapie behandelten Kontrollgruppe (Satila et al. 2016). Ein wesentlicher Nachteil der Botox-Methode ist, dass eine einmalige Injektion meist nicht zu einer anhaltenden Verbesserung führt, sodass mehrmalige Sitzungen nötig sind (Engström et al. 2010).

Im Bereich der konservativen Therapie gibt es zahlreiche Behandlungsansätze: dynamische (Knöchel-)Fußorthesen nach Nancy Hylton (1989), gepolsterte Einlagen, Pyramideneinlagen nach Pomarino et al. (2012), Nachtschienen und spezielle Gipsformen (Brouwer et al. 2000). Die Studienlage hierzu ist allerdings unzureichend. In einer Arbeit von Radtka et al. konnte zwar gezeigt werden, dass Orthesen einen positiven Effekt auf den spastischen Spitzfuß haben, ob es sich dabei um dynamische oder statische Orthesen handelt, sei allerdings nicht ausschlaggebend (Radtka et al. 1997). Auch physiotherapeutische Interventionen kommen zur Anwendung und zeigen positive Auswirkungen auf die Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk (Clark et al. 2010). Zum jetzigen Zeitpunkt existieren keine publizierten Studien speziell zur Wirkung von sensomotorischen Einlagen auf den habituellen Spitzfußgang.

### 1.3 Fragestellungen

Die Anwendung funktionsbasierter Einlagen ist bislang kaum wissenschaftlich untersucht worden. Der habituelle Zehenspitzenengang stellt eine häufige Störung des Gangbildes bei Kindern dar. Die Herstellung der Messbarkeit möglicher Veränderungen des Gangbildes durch funktionsbasierte Einlagen erfordert Instrumente, die von der oftmals starken Variabilität der klinischen Außensituation möglichst unbeeinflusst bleiben sollten. Teil dieser Arbeit ist es daher zunächst, unterschiedliche Messsysteme zu entwickeln. Sie sollen in einer prospektiven Pilotstudie eingesetzt und kritisch evaluiert werden. Die Ergebnisse der Messungen sollen dahingehend bewertet werden, inwiefern ein interdisziplinäres Versorgungskonzept für die Anwendung funktionsbasierter Einlagen mit Zusammenarbeit von Neuropädiater, Physiotherapeut und Orthopädienschuhmacher zu systematischen Gangveränderungen bei Kindern mit habituellem Spitzfußgang führen kann.

Für diese Arbeit ergeben sich folgende Fragestellungen:

1. Können spitzfußassoziierte Gangveränderungen bei Kindern systematisch messbar gemacht werden?
2. Lassen sich mit Hilfe von sensomotorischen Einlagen in einer Pilotstudie mit einem interdisziplinären Konzept aus Neuropädiater, Physiotherapeut und Orthopädienschuhmacher klinisch relevante und signifikante Veränderungen des Gangbildes feststellen?
3. Welche psychischen Belastungen durch die Gangveränderungen ergeben sich initial und im therapeutischen Verlauf?

## 2. Material und Methoden

Vor Durchführung der Studie ist ein Antrag der Ethikkommission des UKSH vorgelegt worden. Die Bearbeitung dieses Antrages ergab seitens der Kommission keine berufsethischen und berufsrechtlichen Bedenken gegen die Durchführung des Projekts (s. Anhang, (AZ: D 479/12)).

### 2.1 Patienten und Studienaufbau

Die Versorgung der Patienten mit funktionsbasierten Einlagen (sogenannte sensomotorische Einlagen) fand im Rahmen der zugelassenen Indikation in der Regelversorgung von Kindern mit Einlagen statt. Alle Einlagen dieser Studie wurden durch das gleiche Orthopädieschuhmacherunternehmen technisch angefertigt (Firma MBI, 25315 Homburg) In die Auswertung der Studie fließen die Messdaten von 17 Kindern ein, die zwischen März 2013 und Dezember 2014 in die Studie aufgenommen wurden. Daten von 9 weiteren, zunächst ebenfalls in die Studie aufgenommenen Kindern, konnten aufgrund unterschiedlicher Gründe nicht ausgewertet werden (Abbildung 4).

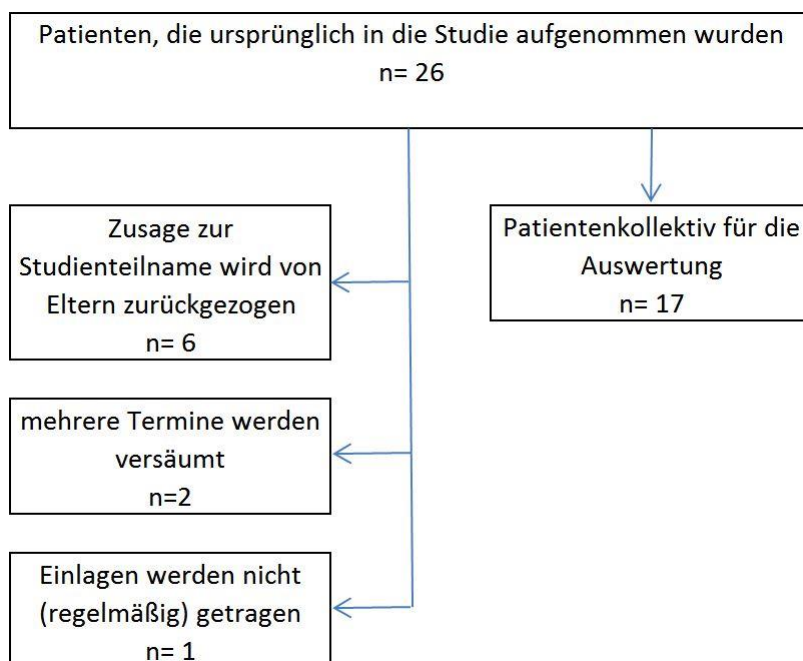


Abbildung 4: Darstellung des Patientenkollektivs

#### Studienaufbau

Es handelt sich um eine klinische Pilotstudie, in der prospektive Daten erhoben wurden.

Zu Beginn der Studie sowie 3 und 6 Monate danach fanden jeweils folgende Datenerhebungen statt:

1. Befragung der Eltern über ihre Belastung im Alltag und den Umgang mit dem Spitzfußgang ihres Kindes anhand eines standardisierten Fragebogens (s. Anhang sowie Kapitel 2.3.1)
2. Ärztliche Untersuchung unter Verwendung eines standardisierten Fragebogens (s. Anhang sowie Kapitel 2.3.2)
3. Videoaufnahmen des kindlichen Gangbildes mit und ohne Einlagen, anhand derer retrospektiv Messungen durchgeführt werden können. Dafür wurde das Computerprogramm *Dartfish* verwendet (s. Kapitel 2.4)

Das Computerprogramm *Dartfish* ist ein in der Orthopädietechnik, Physiotherapie und Klinik eingesetztes Bewegungsanalyseprogramm, was u.a. für Ganganalysen auf der Gehstrecke, dem Laufband, Rampen und Treppen, Haltungsanalysen, Sitzpositionsanalysen auf dem Fahrrad sowie Schuh- und Fußanalysen genutzt wird (Krosta et al. o.J.).

Die folgende Abbildung (Abbildung 5) verdeutlicht den zeitlichen Ablauf der Studie.

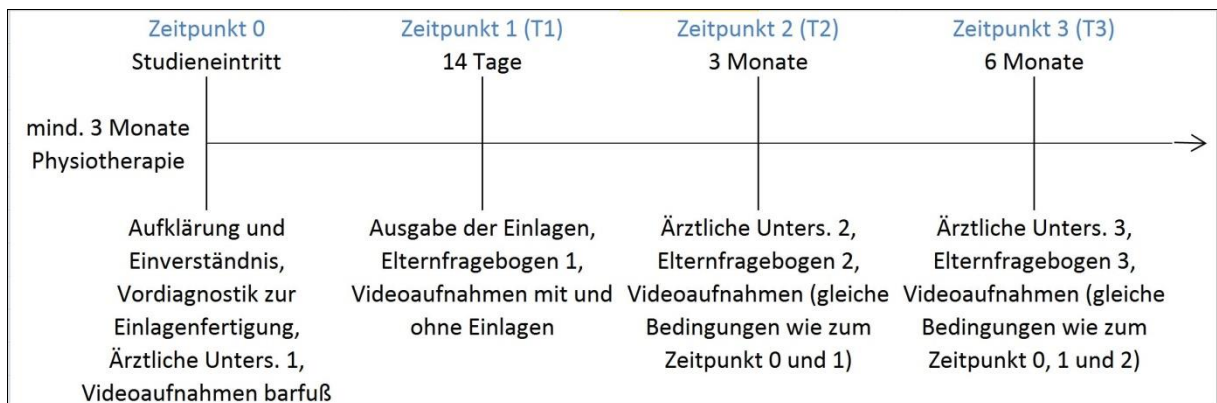


Abbildung 5: Zeitstrahl zum Ablauf der Studie

Alle Patienten mussten vor Eintritt in die Studie eine 3 Monate dauernde Physiotherapie ohne Einlagenversorgung durchlaufen haben.

Zeitpunkt 0:

Zu Beginn stand die Rekrutierung der Studienteilnehmer. Es wurde festgelegt, dass nur Kinder teilnehmen sollten, die einen habituellen Spitzfußgang aufweisen oder, um eine höhere Fallzahl zu erhalten, Kinder mit einer leichten spastischen Diplegie mit Spitzfußgang, die nicht auf Hilfsmittel angewiesen sind.

Potenzielle Teilnehmer der Studie stellen sich in der neuropädiatrischen Ambulanz des UKSH, Campus Kiel bei einem dort tätigen Neuropädiater vor. Hier fand die erste Informationsvermittlung über die Studie an die Eltern statt. Es wurde eine schriftliche Erläuterung der Studie und eine Einverständniserklärung (s. Anhang) ausgehändigt, welche die Eltern mit nach Hause nehmen konnten. Des Weiteren wurde durch den Arzt nach betreuenden Physiotherapeuten gefragt. Fand bisher keine Physiotherapie statt, wurde diese für drei Monate verschrieben und um einen erneuten Arzttermin zur Studienaufnahme nach diesem Zeitraum gebeten. Bei bereits stattfindender Physiotherapie für mindestens drei Monate war ein sofortiger Studieneintritt möglich. In diesem Fall wurden die ersten barfuß Videoaufnahmen des kindlichen Gangbildes gemacht, es wurden ein Scan der Fußsohle durchgeführt und die Füße inspiziert und palpiert, sodass auf dieser Basis die Einlagen angefertigt werden konnten. Ein Anschlusstermin 14 Tage später wurde geplant.

#### Zeitpunkt 1:

Das Kind erhielt seine individuell angefertigten Einlagen. Der anwesende Elternteil wurde gebeten, den ersten Fragebogen zur Spitzfuß-assozierten Belastung auszufüllen. Dies geschah direkt vor Ort, sodass aufkommende Fragen gleich beantwortet werden konnten und die Compliance so groß wie möglich war. Wichtig zu beachten war dabei, dass der Elternteil beim Ausfüllen des Fragebogens nicht durch das Kind oder andere Faktoren beeinflusst wurde, um ein möglichst aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Dies konnte gewährleistet werden, indem das Ausfüllen stattfand, während das Kind auf dem Flur gefilmt wurde. Es wurden Videoaufnahmen des Gangbildes zunächst in Schuhen ohne Einlagen gemacht, dann mit Einlagen und denselben Schuhen. Um den Ferse-Boden-Abstand in seitlicher Aufnahme messen zu können, musste ein Punkt am Schuh definiert werden, der reproduzierbar war und somit für alle Aufnahmen (auch nach drei und sechs Monaten) zur Verfügung stand. Dafür wurde ein von der Firma MBI mit Hilfe einer Drittmittelförderung entwickeltes Gerät zur Verfügung gestellt, welches durch zwei senkrecht aufeinander stehende Schienen auf einem Brett den Schuh in eine definierte Position bringt. Dann wird mit einem an einem Koordinatensystem befestigten Laserpointer ein Laserpunkt auf die gewünschte Stelle des Schuhs, als Markierung, projiziert. Am Koordinatensystem wird nun abgelesen in welcher Position sich der Laserpointer befinden muss, um diesen Punkt zu treffen. Diese Position wird dokumentiert, sodass sie jederzeit wieder eingestellt werden kann (Abbildung 6).



Abbildung 6: Instrument zur reproduzierbaren Positionsmarkierung eines Markers am Schuh

Zeitpunkt 2 und 3:

Nach drei und sechs Monaten fand erneut eine ärztliche Untersuchung statt. In der Fußsprechstunde wurde der anwesende Elternteil gebeten, ebenfalls den zweiten bzw. dritten Fragebogen zu beantworten und es wurden erneut Videoaufnahmen des Gangbildes des Kindes mit und ohne Einlagen gemacht. All dies fand unter den gleichen Rahmenbedingungen statt wie drei Monate zuvor: Die Kameras befanden sich an der gleichen Position, die Beleuchtung, die Gehunterlage und die Distanzen, die das Kind für die Aufnahmen zurücklegen soll, waren identisch.

Da es in dieser Arbeit auch darum gehen sollte, Messverfahren für die Erfassung von Veränderungen im kindlichen Gangbild zu entwickeln bzw. zu prüfen (vgl. Fragestellung 1) wurden bei drei Kindern zusätzliche Messungen im Motoriklabor der Klinik für Neurologie des UKSH, Campus Kiel, mit dem System *Qualisys* durchgeführt. Qualisys ist ein, von einer schwedischen Firma entwickeltes, Bewegungsanalysesystem. In der hier verwendeten Ausführung bestehend aus sechs Infrarotkameras mit einer 240 Hz Messfrequenz.

Es können damit Infrarotaufnahmen von an anatomischen Landmarken positionierten Punkten gemacht werden, mit denen sich neben Gelenkwinkeln ebenfalls der Fersenbodenabstand bestimmen lässt. Es sollte somit möglich sein, eine Aussage zu den Vor- und Nachteilen der jeweiligen Verfahren und deren Vergleichbarkeit zu treffen.

Die Auswertung der Fragebögen und Videoaufnahmen begann erst, als das im Zeitstrahl dargestellte Ablaufschema bei allen Patienten vollständig beendet war.

## 2.2 Einlagenherstellung

Hersteller und Auslieferer der Einlagen war die Firma MBI Homburg. Zur Herstellung der Einlagen wurde neben einer intensiven Inspektion, Palpation und beobachtenden Ganganalyse ein Scan der Fußsohlen durchgeführt, bei dem punktgenaue Positionierungen der medialen Sustentaculumstütze und der lateralen Peroneusstütze über bestimmte Pointer zu sehen waren. Zudem wurden die Mittelfußköpfchen über aufgezeichnete Striche auf der Fußsohle markiert und ein Abstandhalter an dem dorsalen Ende des Calcaneus platziert (s. Abbildung 7).



Abbildung 7: Fuß-Scan als Grundlage für die Einlagenherstellung

Mithilfe der Ergebnisse der Vordiagnostik konnte dann am PC die Einlage mit ihren gewünschten Pelotten konstruiert werden. Anschließend wurde die Einlage aus einem Blockmaterial gefräst, von oben mit Alcantara (Polyurethan) bezogen und in die Schuhe passend eingearbeitet. Die Shore-Härte d.h. der mechanische Widerstand, den die Einlage dem Fuß entgensetzt, betrug in den meisten Fällen 40. Die Shore-Härte wird über die Eindringtiefe eines federbelasteten Stifts in das zu prüfende Material bestimmt und kann einen Wert von 0 bis 100 annehmen. Eine hohe Zahl bedeutet eine große Härte (100 Shore: 0 Millimeter Eindringtiefe) eine kleine Zahl eine geringe Härte (0 Shore: 2,5 Millimeter Eindringtiefe). (chemie.de 1997-2017)

## 2.3 Fragebögen

### 2.3.1 Eltern

„Die Lebensqualität hat als Outcome-Parameter in der Medizin in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich an Stellenwert gewonnen.“ (Ravens-Sieberer et al. 2003)

Dies ist ein Grund, warum ein Fragebogen konzipiert wurde, der die gesundheitsbezogene Lebensqualität und möglicherweise deren Veränderung bei Eltern mit spitzfüßig gehenden Kindern erfasst. Weiterhin berichteten Ärzte und Physiotherapeuten aus der neuropädiatrischen Abteilung des UKSH, Campus Kiel, dass insbesondere die Spannungen zwischen Eltern und Kind, die aufgrund des ständigen Erinnerns an den richtigen Gang entstünden, ein Problem darstellten. Daher war davon auszugehen, dass die sensomotorischen Einlagen neben der Besserung des Gangbildes auch psychosoziale Wirkungen zeigen würden. Der erste Schritt der Fragebogenerstellung beinhaltete eine offene Datensammlung: Um einen Einblick in den durch den Spitzfußgang des Kindes geprägten Alltag von betroffenen Familien zu erhalten, wurden schriftlich angekündigte telefonische Interviews mit Eltern von spitzfüßig gehenden Kindern geführt. Die Kontaktdaten hierfür stammten aus der Datenbank der neuropädiatrischen Ambulanz des UKSH, Campus Kiel. Ziel war es, herauszufinden, welche Bereiche des alltäglichen Lebens durch den Spitzfußgang des Kindes beeinträchtigt sind. Die Gespräche wurden mit einer offenen Frage nach eben diesen Bereichen des Alltags begonnen. Danach wurden gezielt folgende Fragen gestellt (wenn diese nicht bereits durch die offene Frage beantwortet waren):

- Gab es Probleme bei sportlichen Aktivitäten in der Schule oder auch in der Freizeit?
- Fühlte sich das Kind, Ihrer Meinung nach, benachteiligt gegenüber Freunden oder Geschwistern?
- Wie häufig erinnerten Sie Ihr Kind daran, die Fersen aufzusetzen? Ergaben sich dadurch Spannungen zwischen Ihnen und Ihrem Kind?
- Hatten Sie Zukunftsängste aufgrund des Zehenspitzengangs, die z.B. die berufliche Laufbahn Ihres Kindes betreffen, aber auch eine eventuelle soziale Benachteiligung?
- Ergab sich durch einen erhöhten Schuhverbrauch eine finanzielle Belastungssituation in der Familie?

Nach der Durchführung von neun Telefonaten, wurden die Angaben der Eltern in Zusammenarbeit mit der psychologischen Abteilung des UKSH (s. Danksagung) ausgewertet und fünf Fragen bzw. Aussagen\* (es soll weiterhin der Begriff Fragen verwendet werden, da es sich um einen Fragebogen handelt) entwickelt:

- Ich fühle mich durch den Spitzfußgang meines Kindes belastet.
- Ich erinnere mein Kind täglich daran, dass es seine Ferse aufsetzen soll.
- Es gibt Spannungen innerhalb der Familie aufgrund des Spitzfußganges meines Kindes.



- Ich mache mir Sorgen, dass mein Kind durch den Spitzfußgang eine Fehlhaltung oder andere medizinische Probleme bekommt.
- Ich mache mir Sorgen, dass mein Kind in der Zukunft Schwierigkeiten mit Gleichaltrigen, Lehrern oder Vorgesetzten bekommen könnte (z.B. Mobbing, Probleme in Ausbildung und Beruf).

Es wurden ordinalskalierte Antworten formuliert, um ein differenziertes Ergebnis zu erhalten. 5 Kategorien (Ich stimme voll zu, - oft zu, - manchmal zu, - selten zu, - gar nicht zu) wurden gewählt, wie es von Kreienbrock et al. (2011) empfohlen wurde. Diese Skalierung wurde darüber hinaus bereits in anderen Fragebögen zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität, wie dem KINDL-R-Fragebogen (Ravens-Sieberer 2007) oder dem Brace questionnaire (Vasiliadis et al. 2006) angewendet.

Da der Fragebogen im klinischen Alltag anwendbar sein und direkt vor Ort von dem anwesenden Elternteil ausgefüllt werden sollte, um eine möglichst große Compliance zu erzielen, war es erforderlich, die Anzahl der Fragen limitiert zu halten. Dies ist vor allem von Bedeutung, wenn das Instrument wiederholt Anwendung findet (Hadorn und Uebersax 1995). Der Fragebogen, der nach drei bzw. sechs Monaten erneut ausgefüllt werden sollte, unterschied sich vom ersten nur durch die zusätzliche Frage nach der Tragedauer der Einlagen. Dadurch sollten später Veränderungen der Lebensqualität in Abhängigkeit von der Tragedauer analysiert werden.

So entstand ein Fragebogen, der die Veränderungen der Lebensqualität eines Patienten bzw. seiner Eltern jeweils im zeitlichen Verlauf betrachtet.

Um die Auswertung des Fragebogens möglichst einfach zu gestalten, wurden alle fünf Aussagen so formuliert, dass eine volle Zustimmung mit einer hohen Belastung und eine volle Ablehnung mit einer niedrigen Belastung der Betroffenen einhergehen. Ein Beispiel sei hier genannt: Ich fühle mich durch den Spitzfußgang meines Kindes belastet. Wird hier angekreuzt „Ich stimme voll zu“ ist von einer höheren Belastung auszugehen, als bei Ankreuzen der Möglichkeit „Ich stimme gar nicht zu“. Durch diese Formulierungen lassen sich den Antwortmöglichkeiten Punktwerte von Eins bis Fünf zuordnen, wobei für volles Zustimmung jeweils fünf Punkte vergeben wurde, für gar kein Zustimmung ein Punkt und für die Zwischenstufen jeweils zwei, drei und vier. Addiert man die Punktwerte der einzelnen Fragen, erhält man eine Gesamtpunktzahl für den jeweiligen Fragebogen, welche dann wiederum mit den Gesamtpunktzahlen nach 3 und 6 Monaten verglichen werden kann. Diese Auswertungsmethode beinhaltet die Annahme, dass allen fünf Fragen die gleiche Wichtigkeit

zugesprochen wird. Dies erscheint in diesem Fall insofern sinnvoll, dass eine Beurteilung der Bedeutung der einzelnen Fragen subjektiv ist.

### **2.3.2 Ärzte**

Das Ziel dieses Fragebogens war die Standardisierung der ärztlichen Untersuchung. Hierzu wurden Fragen aus fünf unterschiedlichen Bereichen gestellt. Diese beinhalteten eine Einschätzung der Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk und des Muskeltonus der Wadenmuskulatur, eine Beurteilung des Stand- und Gangbildes, eine Bewertung des Gleichgewichtsvermögens des Kindes sowie, in Fragebogen 2 und 3, die wahrgenommene Veränderung in den vergangenen drei Monaten.

Die Beurteilung des Muskeltonus erfolgte zum einen über die klinische Einschätzung des Untersuchers und zum anderen über die Erhebung des Reflexstatus des Kindes.

Die Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk wurde mithilfe eines Goniometers am liegenden Patienten bestimmt. Es handelt sich hierbei um die maximale passive Beweglichkeit, die durch den Untersucher erzeugt wurde. Die Messung fand sowohl bei Knieextension als auch bei Knieflexion statt.

Stand- und Gangbild wurden ebenfalls über die klinische Einschätzung des Untersuchers bestimmt, der das Kind aufforderte für mehrere Minuten den Flur entlang zu gehen. Das Gleichgewichtsvermögen wurde mithilfe unterschiedlicher Übungen überprüft, wie z.B. Hüpfen auf einem Bein oder Seiltänzerengang.

Die ärztliche Untersuchung wurde von einem neuropädiatrischen Fach- und Oberarzt mit langjähriger Erfahrung auf dem Gebiet der Gangveränderungen bei Kindern durchgeführt.

### **2.4 Kameraaufnahmen**

Der Einsatz von Videoaufzeichnungen ist ein wesentlicher Bestandteil der beobachteten Ganganalyse, welche wiederum „für die wissenschaftliche Arbeit sowie im täglichen Umgang mit dem Patienten [ein] unverzichtbares Werkzeug ist“ (Götz-Neumann 2011). In der Aufnahme können einzelne Sequenzen in langsamer Geschwindigkeit bzw. im Standbild beurteilt werden (Will et al. 2002).

Bei der Kamera, mit der Aufnahmen von den Gangbildern der Kinder jeweils zu Beginn der Studie, nach drei und sechs Monaten gemacht wurden, handelte es sich um eine Casio High Speed Exilim EX-F1. Sie wurde für die Aufnahmen in einer durch Markierungen festgelegten

Position auf einer Halterung befestigt, welche wiederum auf ein fest positioniertes Stativ gesetzt wurde.

Die Kinder trugen während der Aufnahmen eine kurze Sport- oder Unterhose, sodass die Knie nicht bedeckt waren und das Oberteil in die Hose gesteckt werden konnte. Sie sollten die vorgegebenen Strecken selbstständig zurücklegen und erhielten die Anweisung so zu gehen, als seien sie auf dem Weg zur Schule oder zum Kindergarten. Da es häufig vorkam, dass die Kinder zunächst einen unnatürlichen Gang zeigten, wurden sie mit Fragen zu Freizeitaktivitäten oder mit leichten Rechenaufgaben abgelenkt.

#### **2.4.1 Laterale Aufnahmen**

Das primäre Ziel der lateralen Aufnahmen war die Ermittlung des Ferse-Boden-Abstandes. Dieser wurde immer zum gleichen Zeitpunkt im Gangzyklus bestimmt, nämlich in der mittleren Standphase, wenn die Malleoli parallel zueinander standen. Bei einem physiologischen Gangbild befindet sich das Standbein zu diesem Zeitpunkt noch vollständig auf dem Boden (Midstance Phase), wohingegen bei habituellen Spitzfußgängern die Ferse des Standbeines oft bereits vom Boden abgelöst ist. Diese verfrühte Fersenablösung ist oft selbst dann zu beobachten, wenn die Kinder versuchen, ihren Spitzfußgang zu kontrollieren.

Für die Messungen des Ferse-Boden-Abstandes wurde, wie unter 2.1 beschrieben, ein Punkt am Schuh bzw. bei den Barfußaufnahmen unterhalb des Malleolus lateralis befestigt, der reproduzierbar war und als Messpunkt diente. Von diesem Punkt aus wurde jeweils der Abstand zum Boden gemessen. Um einen Maßstab im Bild zu haben, wurde als Gangunterlage eine Matte gewählt, die alterierend schwarze und weiße Streifen mit je einer Breite von 5 cm abbildete (s. Abbildung 10). Da sich auf dem Flur, der für die Aufnahmen genutzt wurde, ein Teppich befand, der eine Kante aufwies, wurde die Matte an dieser Kante orientierend hingelegt.

Die Strecke, die von den Kindern für die lateralen Aufnahmen zurückgelegt werden sollte, wurde durch zwei auf dem Boden platzierte Kartons markiert. Die Länge betrug 7 Meter in eine Richtung. Die Kinder erhielten die Anweisung, diese Strecke sechs Mal hin- und herzulaufen.

Die Kameraposition wurde durch eine spezielle Halterung festgelegt. Dies erlaubte eine identische Positionierung zu allen Messzeitpunkten. Um die horizontale Ausrichtung der Kamera zu überprüfen wurde, sobald sie in Position gebracht war, mit dem Zoom der gegenüberliegende farbige Wandstreifen eingestellt und die Kameraausrichtung dem Streifen entsprechend angepasst. Von großer Bedeutung für die Messungen war, dass eine möglichst

hohe zeitliche Auflösung gewählt wurde, um den oben beschriebenen Messzeitpunkt zu finden. Daher wurde hier der Highspeed-Modus der Kamera gewählt, der Bilder mit einer Frequenz von 300/sec aufnahm. Um eine gute Beleuchtung für die Highspeed-Aufnahmen zu gewährleisten, wurden links und rechts von der Kamera Stehlampen aufgestellt (s. Abbildung 8a und b).



Abbildung 8a: Kameraaufstellung 1, Blick von der Laufstrecke 8b: Kameraaufstellung 2, Blick auf die Laufstrecke

Die fertigen Aufnahmen wurden dann in dem Programm *Dartfish* geöffnet und jeweils die oben genannten Aufnahmezeitpunkte eingestellt. Dadurch erhielt man Bilder, die folgendermaßen aussahen:



Abbildung 9: Beispiel Kameraaufnahme

Mithilfe des Programms *Dartfish* konnten die Messungen dann wie folgt durchgeführt werden: Es wurden zunächst zum unteren Bildrand parallel verlaufende Linien in das Bild eingefügt. Dann wurde entlang einer dieser Linien der Abstand zwischen 20 Streifen auf der Matte markiert und einem Meter gleichgesetzt. Dies geschah in derselben Ebene in der auch die nun folgende Messung stattfand, nämlich auf der Höhe, auf der der zu betrachtende Fuß des Patienten am nächsten zum unteren Bildrand stand. Nun wurde ein zweiter Abstand

festgelegt, senkrecht zur ersten Markierung, zwischen dem am Knöchel positionierten Punkt und der Geraden, die zuvor positioniert wurde. Das Resultat waren Bilder wie diese (s. Abbildung 10):



**Abbildung 10: Beispiel Messung Ferse-Boden-Abstand**

Hier konnte nun direkt der Wert abgelesen werden, der den Abstand zwischen Knöchel und Boden angibt. In die Auswertung wurden möglichst viele Werte einbezogen, aber mindestens vier pro Fuß. Auf mögliche Messfehler, die durch diese Methode entstehen können, wird in der Diskussion eingegangen.

#### **2.4.2 Frontale Aufnahmen**

Wie von Perry empfohlen, wurden Videoaufzeichnungen in zwei Ebenen dokumentiert (Perry 2003). Die frontalen Aufnahmen dienten dazu, das gesamte Gangbild der Kinder beurteilen zu können. So konnten Einschätzungen über die Körperhaltung, die Breite der Gangspur, den Armschwung und Weiteres gemacht werden.

Die Kamera wurde auch hier auf einer speziellen Halterung befestigt und ihre Ausrichtung mithilfe des Zooms überprüft. Die zurückzulegende Strecke betrug bei diesen Aufnahmen 10 Meter in eine Richtung und sollte ebenfalls sechs Mal abgelaufen werden. Da in diesem Fall eine hohe bildliche Auflösung von großer Bedeutung war, wurde der HD-Modus der Kamera gewählt.

#### **2.5 Messungen im Motoriklabor**

Wie bereits unter 2.1 erwähnt wurde, sollten bei drei Kindern zusätzliche Messungen im Motoriklabor der Neurologie durchgeführt werden, um ein weiteres Messverfahren für die Erfassung von Veränderungen im kindlichen Gangbild zu untersuchen. Bei der Durchführung

wurde mir von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter aus der Neurologie Hilfe geleistet (s. Danksagung).

Zunächst wurde die Ganggeschwindigkeit des Probanden unter Verwendung eines Lichtschrankensystems sowohl mit als auch ohne Einlagen ermittelt. Der Proband ging dafür in selbst gewählter Geschwindigkeit zunächst mit Einlagen auf dem Flur entlang. Bei Durchbrechen des ersten Lichtschrankenspaars wurde eine Stoppuhr aktiviert. Diese wurde automatisch gestoppt wenn der Proband das zweite Lichtschrankenspaar, welches 5 Meter von dem ersten entfernt stand, durchbrochen hatte. Diese Prozedur wurde vier Mal wiederholt, dann der Mittelwert der gestoppten Zeiten gebildet und schließlich die Ganggeschwindigkeit errechnet. Das Ganze wurde dann ohne Einlagen wiederholt und die gewonnenen Daten gemittelt. Im Idealfall sollte das Laufband auf die errechnete Durchschnittsgeschwindigkeit eingestellt werden. Wenn es für das Kind allerdings nicht möglich war, diese Geschwindigkeit auf dem Laufband zu erreichen, wurde eine Geschwindigkeit gewählt, die das Kind ohne Probleme und Unsicherheiten aufnehmen konnte und die der errechneten Durchschnittsgeschwindigkeit so nah wie möglich kam.

Als nächstes wurden 12 (sechs pro Bein) Infrarotlicht-reflektierende-Marker an definierten anatomischen Punkten des Probanden platziert. Die Instruktionen für die korrekte Platzierung der Marker wurden von dem Hersteller des Systems *Qualisys* geliefert. Um einerseits das Ausmaß der Gelenkwinkel der Knie und Füße während des Ganges bestimmen zu können und andererseits den Ferse-Boden-Abstand zu ermitteln, wurden folgende Referenzpunkte jeweils beidseits mit Markern versehen: Spina iliaca ant. sup., Trochanter major, Kniegelenkspalt lateral, Malleolus lateralis, Calcaneus hinten und am Vorfuß zwischen dem zweiten und dritten Metatarsalen. Die folgende Abbildung (Abbildung 11) verdeutlicht die Marker Platzierung schematisch.

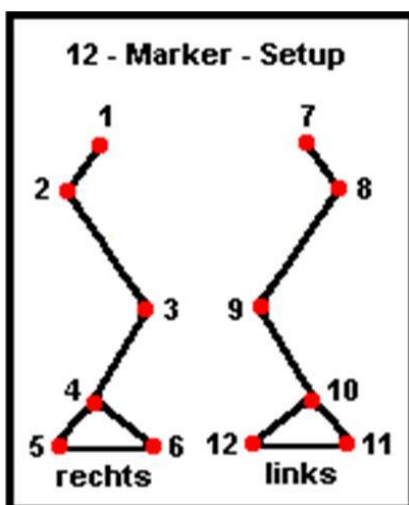


Abbildung 11: Positionen der Infrarotlicht-reflektierenden-Marker

Bei dem Laufband, auf dem die Messungen durchgeführt wurden, handelte es sich um ein Lamellen-Laufband der Firma Woodway® mit einer begehbaren Fläche von 200cm Länge und 70cm Breite. Das Bewegungsanalysesystem (*Qualisys*, Göteborg, Schweden) bestand aus 6 Infrarotkameras, die mit einer Messfrequenz von 240 Hz aufnahmen.

Die Versuchsteilnehmer wurden bevor das Laufband gestartet wurde mit einem Gurt gesichert (Abbildung 12).

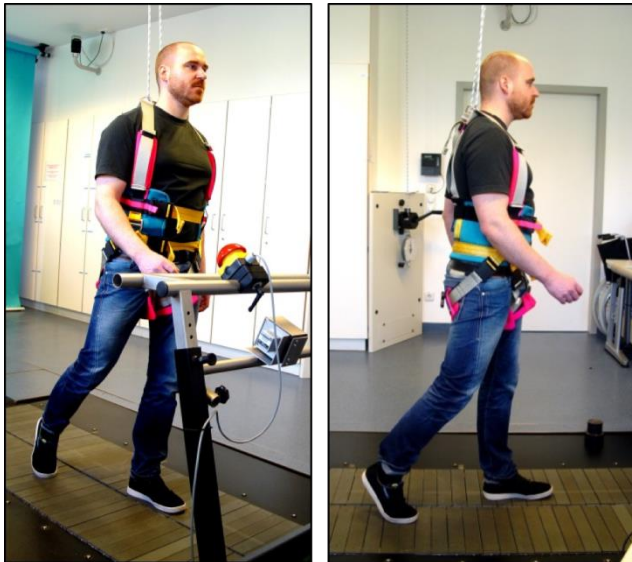


Abbildung 12: Versuchsaufbau im Motoriklabor (die Kinder bekamen einen entsprechend kleinen Kindergurt)

Sie stellten sich auf die Ausgangsposition des Laufbandes und es wurde eine Referenzmessung von 5 Sekunden durchgeführt. Die Geschwindigkeit wurde daraufhin langsam erhöht, bis die endgültige Geschwindigkeit erreicht war. Da es einigen Kindern zunächst schwer fiel freihändig auf dem Laufband zu gehen, wurde ihnen ein paar Minuten Zeit gegeben um sich mit dem Laufband vertraut zu machen. Wenn eine gewisse Gangsicherheit erreicht war, startete eine zweiminütige Messperiode. Diese erste Messung fand ohne Tragen der Einlagen statt. Anschließend wurden die Einlagen in die Schuhe gelegt und die Messung unter gleichen Bedingungen wiederholt. Damit sich die Probanden nicht zu sehr auf ihren Gang konzentrierten, wurden ihnen altersentsprechende Rechenaufgaben gestellt, die während der Messung im Kopf zu lösen waren.

Da über das System eine Vielzahl an Daten generiert wurde, war es entscheidend, die relevanten Daten herauszufiltern, um sie dann auszuwerten. Relevant waren die Werte der Z-Koordinate (vertikale Koordinate) des Fersenmarkers am Standbein zu dem Zeitpunkt an dem beide Füße parallel standen. Diese entsprachen dem Ferse-Boden-Abstand. Hierzu wurde von den Versuchsdurchführenden über Excel eine Vorlage entwickelt, in die die gewonnenen

Daten eingefügt und gefiltert werden konnten, sodass die Daten von Interesse untersucht werden konnten.

## **2.6 Statistik**

Vor der Datenanalyse wurde eine statistische Beratung im Institut für Medizinische Informatik und Statistik der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel in Anspruch genommen, um sachgerechte statistische Methoden zu erarbeiten und praktische Hilfestellung zu erhalten. Die statistischen Berechnungen und Erstellung der Graphen erfolgten mit dem Programm Microsoft Excel 2010.

### **2.6.1 Statistische Verfahren**

#### ***2.6.1.1 Zweistichproben-t-test für verbundene Stichproben***

Ein Zweistichproben-t-test für verbundene Stichproben wurde dann verwendet, wenn am selben Kollektiv zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten dieselben Parameter bestimmt wurden und mindestens ein intervallskaliertes Skalenniveau vorlag. So wurde getestet, ob der Ferse-Boden-Abstand zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten signifikant unterschiedlich war und ob die Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk nach drei bzw. sechs Monaten signifikant verändert war. Ein Unterschied wurde dann als signifikant angesehen, wenn der p-Wert nicht größer als  $p = 0,05$  war. Sehr signifikant ist ein Unterschied bei  $p < 0,01$ , hoch signifikant bei  $p < 0,001$ .

#### ***2.6.1.2 Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test***

Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang Test wurde verwendet, um die Unterschiede im Elternfragebogen bzw. im jeweils gebildeten Score zu den verschiedenen Befragungszeitpunkten auf Signifikanz zu untersuchen. Es handelt es sich dabei um einen nicht-parametrischen statistischen Test. Dieser findet hier Anwendung, da es sich bei den Ergebnissen des Elternfragebogens um ordinalskalierte Daten handelt und nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann (Du Prel et al. 2010). Da eben solche Daten auch im Ärzte-Fragebogen in den Fragen 1.1 bis 1.3 sowie 2 bis 5 gewonnen wurden, wurde für diese Auswertung ebenfalls der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test angewendet.



## 2.6.2 Elternfragebogen

Die Ergebnisse des Elternfragebogens werden zum einen als Säulendiagramme unter Verwendung der absoluten Zahlen dargestellt. Hierbei stellt jedes Diagramm die Ergebnisse einer bestimmten Frage zu einem bestimmten Erhebungszeitpunkt dar.

Da die Teilnehmerzahl zu den unterschiedlichen Befragungszeitpunkten variiert, wird außerdem eine prozentuale Darstellung der Ergebnisse in Form von Kreisdiagrammen angefertigt. Hierbei werden die Antwortmöglichkeiten „stimme voll zu“ und „stimme oft zu“ zusammengefasst. Dies repräsentiert eine starke Belastung der Eltern. Außerdem werden die Antwortmöglichkeiten „stimme manchmal zu“, „stimme selten zu“ und „stimme gar nicht zu“ zusammengefasst und als weniger stark belastete Eltern angesehen. Hierdurch lassen sich dichotome Merkmale bilden und übersichtliche Darstellungen ermöglichen.

Für die statistische Berechnung der Ergebnisse des Elternfragebogens wird ein Belastungs-Score gebildet. Jedem Fragebogen kann so ein Score von minimal 5 und maximal 25 Punkten zugeordnet werden. Da die Aussagen im Fragebogen so formuliert sind, dass eine volle Zustimmung mit einer hohen Belastung einhergeht, sieht die Punktevergabe folgendermaßen aus:

stimme voll zu	5 Punkte
stimme oft zu	4 Punkte
stimme manchmal zu	3 Punkte
stimme selten zu	2 Punkte
stimme gar nicht zu	1 Punkt

Eine höhere Punktzahl im Fragebogen macht somit eine stärkere Belastung des Elternteils wahrscheinlich und ergibt einen höheren Score. Die Unterschiede in den Punktzahlen bzw. Scores zu den jeweiligen Erhebungszeitpunkten werden mithilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test auf Signifikanz geprüft. Wir testen, ob es einen Unterschied zwischen dem T1 und dem T2 Score bzw. zwischen dem T1 und dem T3 Score gibt.

## 2.6.3 Ärztefragebogen

Die Fragen 1.1 bis 1.3 sowie 2 und 3 werden grafisch mithilfe von Säulendiagrammen unter Verwendung der absoluten Zahlen dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten werden statistisch mithilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests auf Signifikanz geprüft, indem auch hier den Antwortmöglichkeiten Zahlenwerte zugeordnet werden und somit Ränge gebildet werden können. In die Berechnung einbezogen werden nur die Daten der Patienten, die zu allen drei Messzeitpunkten untersucht wurden.

Die Ergebnisse der Frage 1.4 werden zum einen in einem Box-Whisker-Plot dargestellt. Zum anderen werden die Unterschiede zu den drei Messzeitpunkten mithilfe eines Zweistichproben-t-test für verbundene Stichproben statistisch berechnet und auf Signifikanz geprüft.

#### **2.6.4 *Dartfish*-Messungen**

Bei den mithilfe des Programms *Dartfish* gemessenen Daten handelt es sich um stetige Werte, die zunächst auf Normalverteilung geprüft werden. Da die Stichproben verbunden sind (es wurde zu jedem Zeitpunkt dasselbe Patientenkollektiv gemessen), kann der Zweistichproben-t-test für verbundene Stichproben auch hier zur Anwendung kommen.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Patientenkollektiv

In Tabelle 1 sind die Patienten aufgelistet, deren Messwerte in die Auswertung mit einbezogen wurden. Es handelt sich um 17 Teilnehmer. 15 davon zeigten einen habituellen Spitzfußgang, bei zwei Kindern (Nr. 22 und 25) wurde eine milde spastische Diplegie gesehen. Das Alter der Kinder variierte zwischen 2 und 12 Jahren (Durchschnittsalter 6,71 Jahre). 12 Teilnehmer waren männlich, 5 weiblich.

Die zum Zeitpunkt T1 gemessenen bzw. erhobenen Daten waren bei allen Patienten vollständig. Bei der T2 Kontrolle fehlte bei einem Patienten die ärztliche Kontrolle (Nr. 20). Die T3 Kontrolle konnte bei vier Patienten nicht durchgeführt werden (Nr. 4, 21, 25, 26), bei einem Teilnehmer fehlt der Elternfragebogen zum Zeitpunkt T3 (Nr. 18).

**Tabelle 1: Studienteilnehmer**

Patient Nr.	Geschlecht	Alter bei Studienaufnahme (Jahre)	T1	T2	T3
1	m	6	vollständig	vollständig	vollständig
2	m	3	vollständig	vollständig	vollständig
3	m	7	vollständig	vollständig	vollständig
4	w	6	vollständig	vollständig	fehlt
11	m	11	vollständig	vollständig	vollständig
13	m	11	vollständig	vollständig	vollständig
15	m	2	vollständig	vollständig	vollständig
16	m	8	vollständig	vollständig	vollständig
18	w	6	vollständig	vollständig	Eltern FB fehlt
19	w	2	vollständig	vollständig	vollständig
20	m	2	vollständig	ärztl. Kontrolle fehlt	vollständig
21	m	12	vollständig	vollständig	fehlt
22	w	9	vollständig	vollständig	vollständig
23	m	7	vollständig	vollständig	vollständig
24	m	8	vollständig	vollständig	vollständig
25	w	3	vollständig	vollständig	fehlt
26	m	11	vollständig	vollständig	fehlt
Summe 17	Verhältnis m:w 12:05	Durchschnittsalter 6,71			

## 3.2 Eltern-Fragebogen

Die folgende Grafik (Abbildung 13) verdeutlicht das Zustandekommen der ausgewerteten Fragebögen.

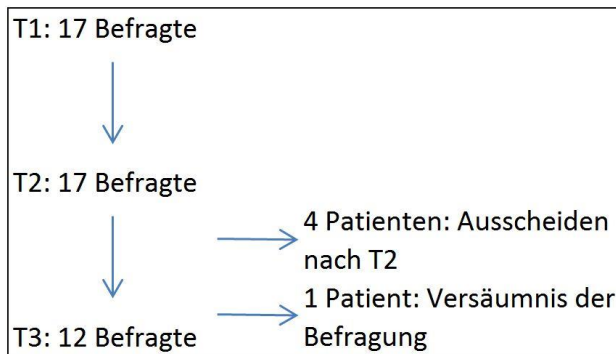
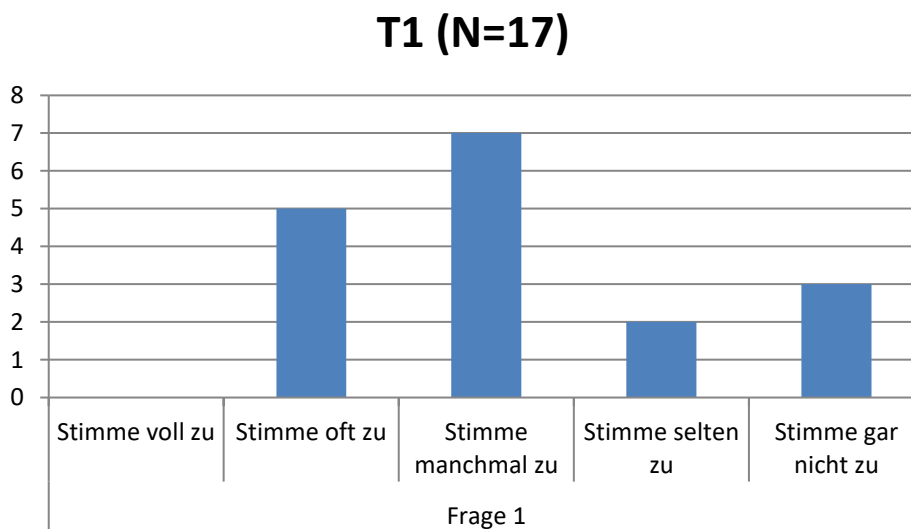


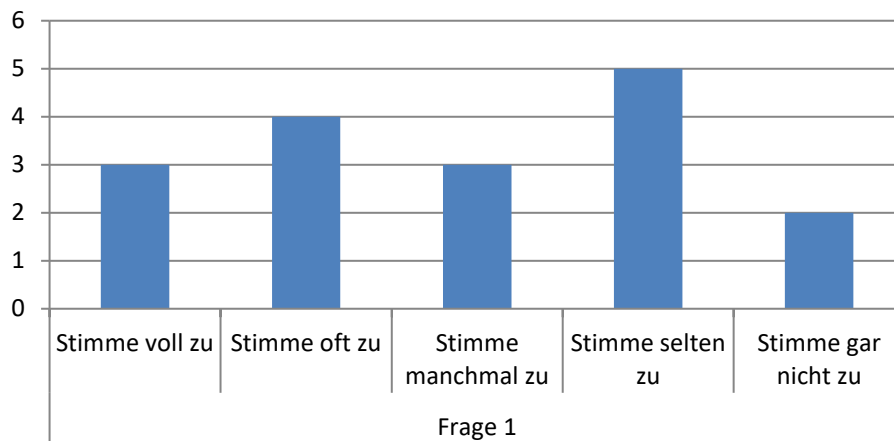
Abbildung 13: ausgewertete Eltern-Fragebögen

Die Ergebnisse der Frage 1 werden nun exemplarisch in grafischer Form als Säulendiagramme dargestellt (Abbildung 14a, b und c). Darauf folgt die Darstellung als Kreisdiagramm (Abbildung 15a, b und c). Aufgrund des großen Umfangs an ausgewerteten Daten wird bezüglich der Einzelergebnisse der vier anderen Fragen auf den Anhang verwiesen.

### 3.2.1 Frage 1: Ich fühle mich wegen des Spitzfußganges meines Kindes belastet.



### T2 (N=17)



### T3 (N=12)

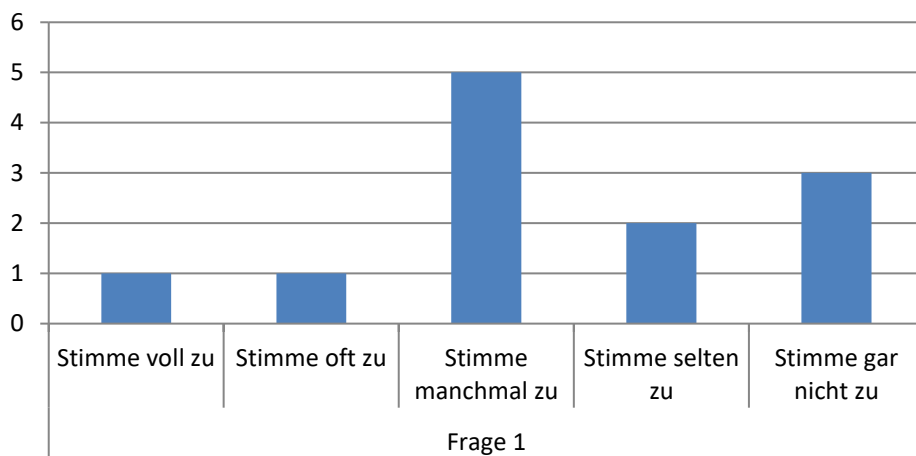
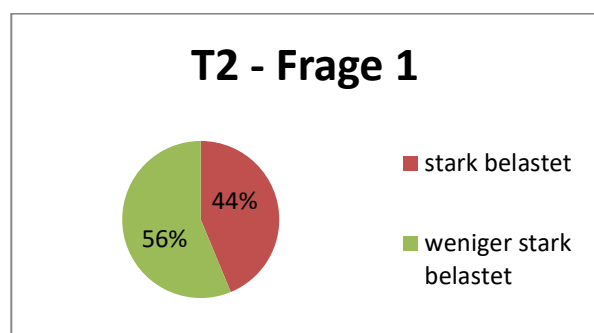
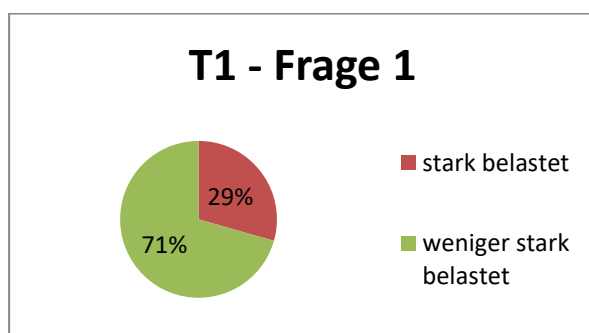


Abbildung 14 a,b und c: Ergebnisse der Frage 1 zu den drei Messzeitpunkten in absoluten Zahlen, Belastungs-Score T1=48, T2=52, T3=31



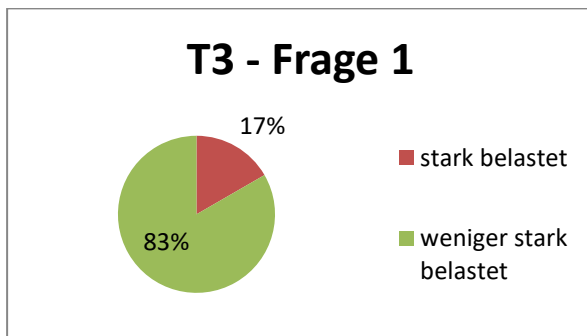


Abbildung 15 a, b und c: Ergebnisse der Frage 1 zu den drei Messzeitpunkten in Prozent

Bei der Auswertung und den Darstellungen der Ergebnisse der ersten Frage des Eltern-Fragebogens fällt auf, dass zum Zeitpunkt T2, also drei Monate nach Eintritt in die Studie, eine stärkere Spitzfuß-bezogene psychische Belastung bei den Befragten angegeben wird als zum Zeitpunkt T1 (Studienbeginn). Zum Zeitpunkt T3, also sechs Monate nach Studieneintritt hat sich die angegebene Belastung wieder deutlich verringert.

### 3.2.2 Gesamtergebnisse

Ebenfalls als Kreisdiagramm wird hier eine Zusammenfassung der Ergebnisse aller fünf Fragen dargestellt (Abbildung 16 a, b und c).

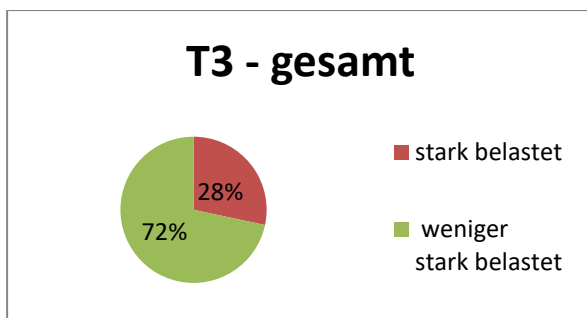
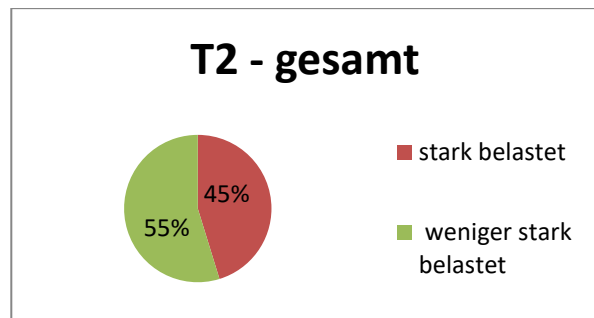
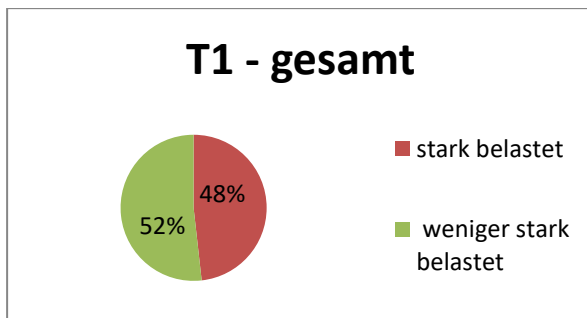


Abbildung 16a, b und c: Gesamtergebnisse (alle 5 Fragen) zu den drei Befragungszeitpunkten in Prozent

Es zeigt sich eine Abnahme der angegebenen Spitzfuß-bezogenen-Belastung von 48% zu Beginn der Studie auf 28% nach 6 Monaten.

### 3.2.3 Belastungs-Score

Nachfolgend dargestellt ist die Tabelle (Tabelle 2), in der die berechneten Punktzahlen (System erklärt im Methodikteil) aufgelistet sind. Es wurden nur die 12 Teilnehmer berücksichtigt, die zu allen drei Terminen anwesend waren und somit die Fragebogen vollständig ausgefüllt vorlagen.

**Tabelle 2: Belastungs-Score der Eltern zum Zeitpunkt T1, T2 und T3**

Patient	T1	T2	T3
1	20	23	17
2	17	13	11
3	19	14	15
4	22	14	15
5	13	11	11
6	13	14	11
7	18	13	13
8	16	15	14
9	14	14	13
10	14	14	14
11	11	19	19
12	16	18	14

Die Daten wurden auf statistisch signifikante Unterschiede geprüft. Zum einen wurde der Zeitpunkt T1 mit dem Zeitpunkt T2 verglichen und zum anderen der Zeitpunkt T1 mit dem Zeitpunkt T3. In beiden Fällen wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet. Die Teststatistik von T1 zu T2 ergab 23. Bei einem kritischen Wert von 13 (bei einem zweiseitigen Test mit einem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$ ) ergeben sich hier keine signifikanten Unterschiede. Zwischen T1 und T3 ergab die Teststatistik 12,5, sodass bei einem Signifikanzniveau von 0,05 bei einem zweiseitigen Test mit dem kritischen Wert 13 ein signifikanter Unterschied zwischen den Verteilungen angenommen werden kann. Das heißt die Belastung der Eltern hat sich nach 6 Monaten Studienteilnahme signifikant verringert verglichen mit der Belastung zu Studienbeginn.

### 3.3 Ärzte-Fragebogen

Die folgende Grafik (Abbildung 17) verdeutlicht, warum zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten eine unterschiedliche Anzahl an Ärzte-Fragebögen vorliegt.

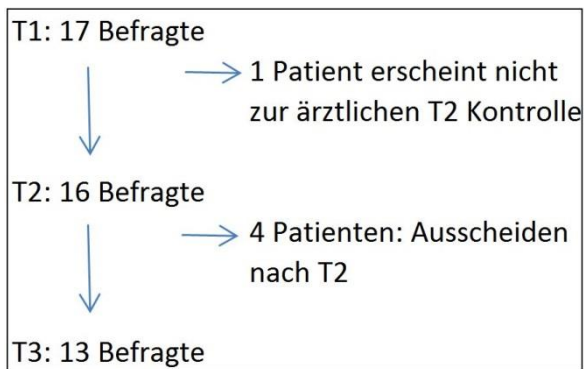


Abbildung 17: Anzahl der ausgewerteten Ärzte-Fragebögen zu T1, T2 und T3

#### 3.3.1 Frage 1.1 bis 1.3

Im Folgenden (Abbildung 18a, b und c) werden die Ergebnisse der Fragen 1.1 bis 1.3 des Ärzte-Fragebogens dargestellt.

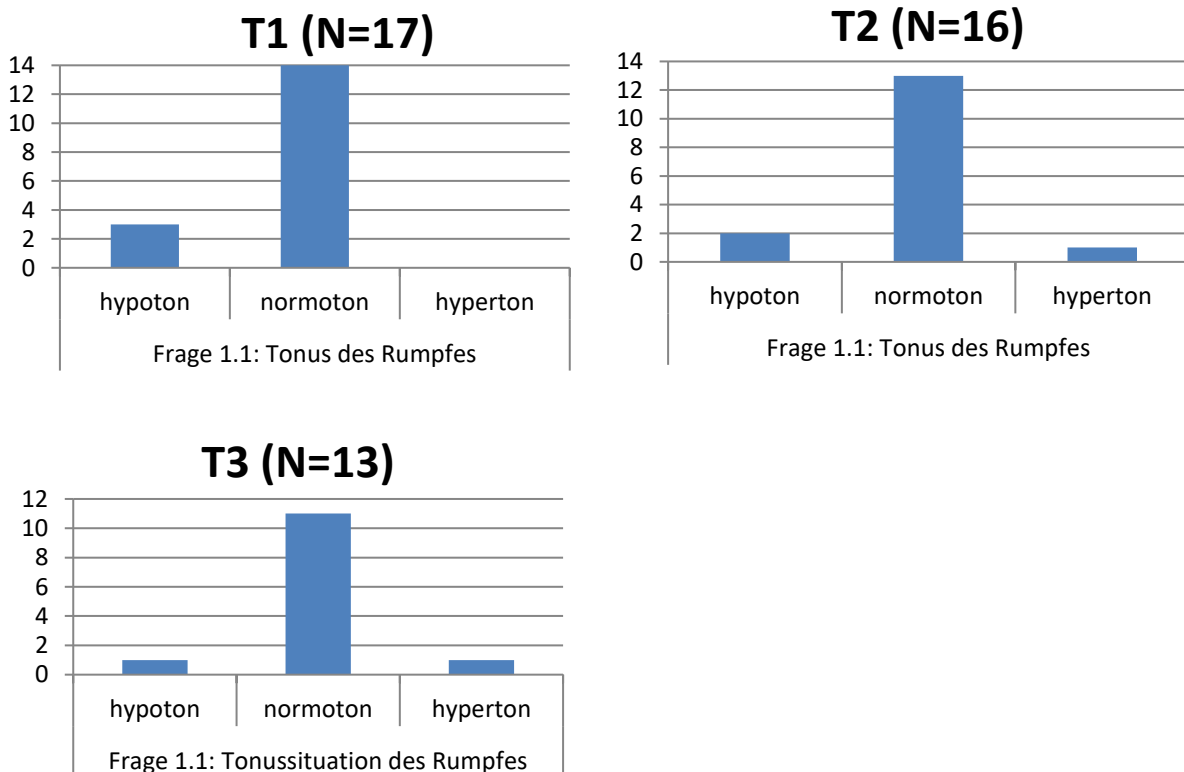


Abbildung 18 a, b und c: Frage 1.1: Tonus des Rumpfes zu den drei Untersuchungszeitpunkten



Zum Messzeitpunkt T1 zeigten 14 von 17 Kindern eine normotone Rumpfmuskulatur, die anderen drei wurden als hypoton eingestuft. Zum Messzeitpunkt T2 war bei 13 von 16 Kindern eine normotone Rumpfmuskulatur zu verzeichnen, zwei Kindern wurden als hypoton und ein Kind als hyperton beurteilt. Nach sechs Monaten (T3) zeigten 11 der 13 untersuchten Kinder eine normotone Rumpfmuskulatur. Ein Kind war weiterhin hypoton und ebenfalls ein Kind hyperton. Der Tonus des Rumpfes erhält insgesamt eine relativ konstante Beurteilung. Dementsprechend ergab auch die statistische Berechnung mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test keine signifikanten Unterschiede.

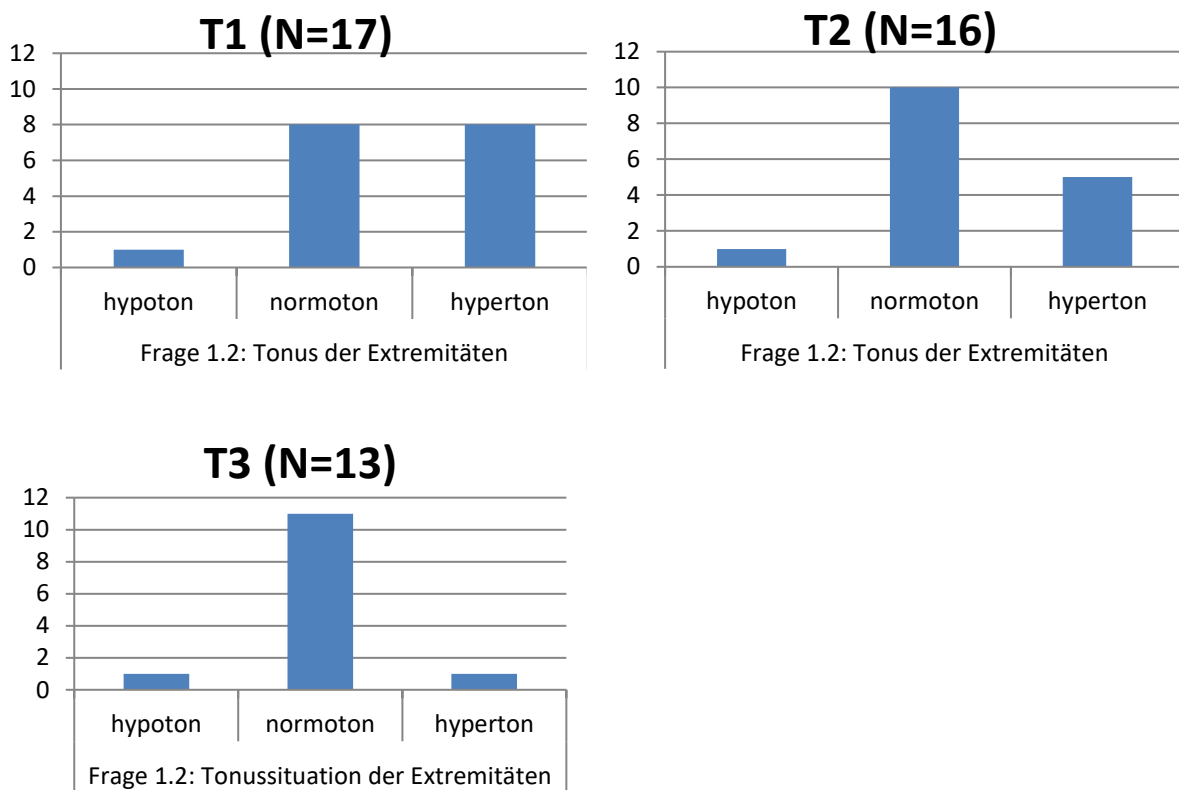


Abbildung 19 a, b und c: Frage 1.2: Tonus der Extremitäten zu den drei Untersuchungszeitpunkten

Der Tonus der Extremitäten (Abbildung 19,a b und c) wurde zum Zeitpunkt T1 bei 8 von 17 Kindern als normoton, bei 8 von 17 Kindern als hyperton und bei einem Kind als hypoton eingestuft. Die Anzahl der als hyperton eingestuften Kinder geht zum Zeitpunkt T2 auf 5 von 17 und zum Zeitpunkt T3 auf 1 von 13 zurück.

Die zugehörige statistische Berechnung mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, in die nur die Ergebnisse der durchgehend untersuchten Kinder eingeschlossen wurden, ergab keine signifikanten Unterschiede.

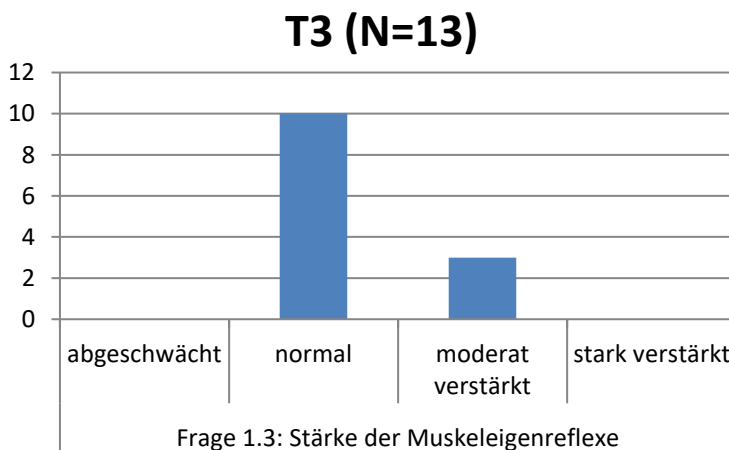
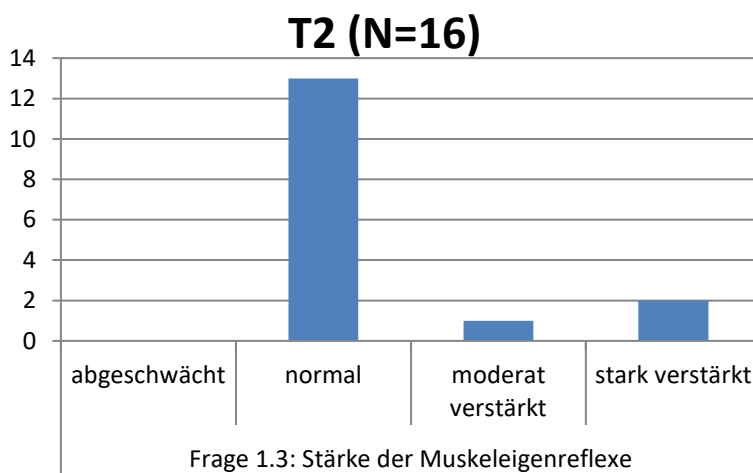
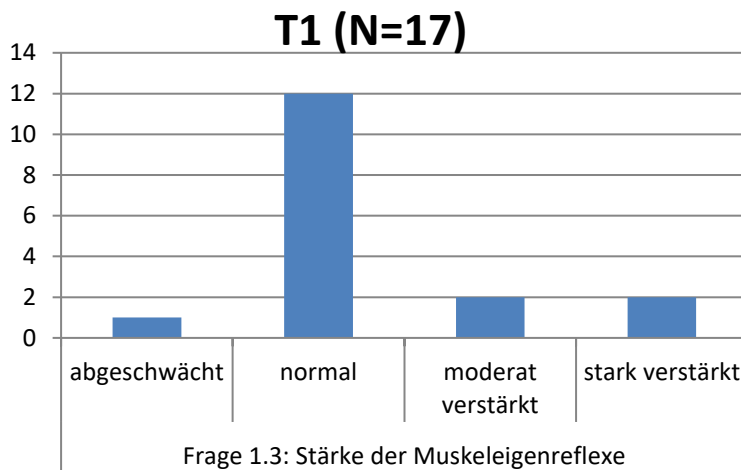


Abbildung 20 a, b und c: Frage 1.3 Muskeleigenreflexe zu den drei Untersuchungszeitpunkten

Die Beurteilung der Muskeleigenreflexe (Abbildung 20a, b und c) der Kinder fällt zu allen Zeitpunkten ähnlich aus. Es überwiegt jeweils deutlich die Beschreibung der Reflexe als ‚normal‘. Zum Zeitpunkt T3 zeigt sich kein Kind mehr mit stark verstärkten Muskeleigenreflexen (T1 und T2 jeweils zwei Kinder). Die Ergebnisse sind statistisch nicht signifikant unterschiedlich.

### 3.3.2 Frage 1.4: Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk

Die gemessene passive Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk rechts nahm sowohl von T1 zu T2 als auch von T1 zu T3 jeweils signifikant zu (Abbildung 21). Die folgende Abbildung stellt das Ausmaß der Gelenkbeweglichkeit rechts in einem Box-Whisker-Plot sowie die im Zweistichproben-t-test für verbundene Stichproben ermittelten p-Werte dar. Es zeigt sich von Zeitpunkt T1 zu T2 eine signifikante und von Zeitpunkt T1 zu T3 eine sehr signifikante Zunahme der Gelenkbeweglichkeit im rechten oberen Sprunggelenk.

Zum Zeitpunkt T1 betrug der Mittelwert der maximalen passiven Dorsalextension  $11,9^\circ$ , steigerte sich zum Zeitpunkt T2 auf  $13,8^\circ$  und nahm weiterhin zum Zeitpunkt T3 auf  $19,3^\circ$  zu.

#### Dorsalextension des OSG in Knie- Extension (rechts)

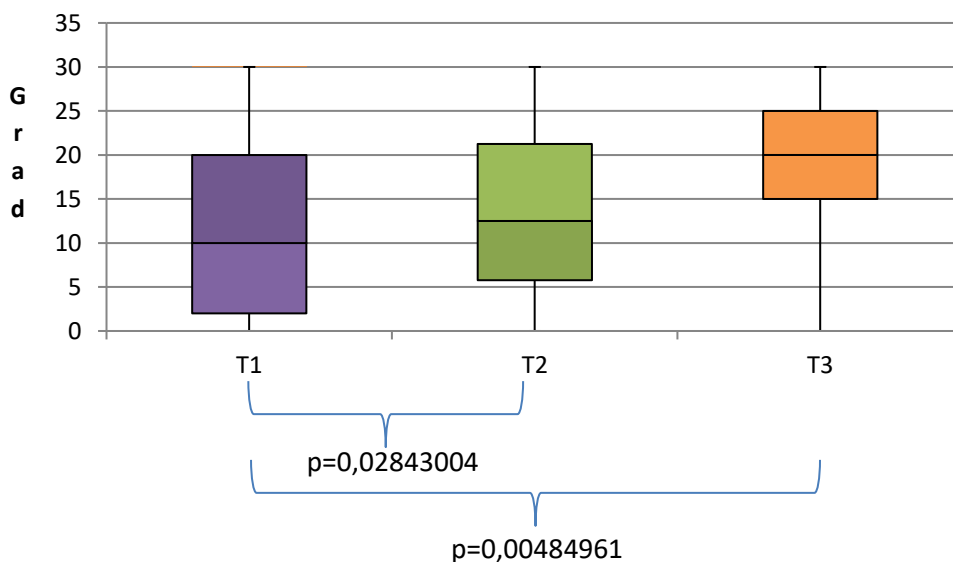


Abbildung 21: Gelenkbeweglichkeit im OSG rechts

Ein ähnliches Ergebnis ergibt die Messung der Gelenkbeweglichkeit des linken oberen Sprunggelenks (Abbildung 22). Hier war von Zeitpunkt T1 zu T2 eine signifikante und von Zeitpunkt T1 zu T3 eine hoch signifikante Zunahme des Bewegungsumfanges zu verzeichnen. Zu Beginn der Studie (T1) lag die maximale passive Dorsalextension im Mittelwert bei  $11,2^\circ$ , zum Zeitpunkt T2 bei  $15,5^\circ$  und zum Zeitpunkt T3 bei  $21,1^\circ$ .

## Dorsalextension des OSG in Knie-Extension (links)

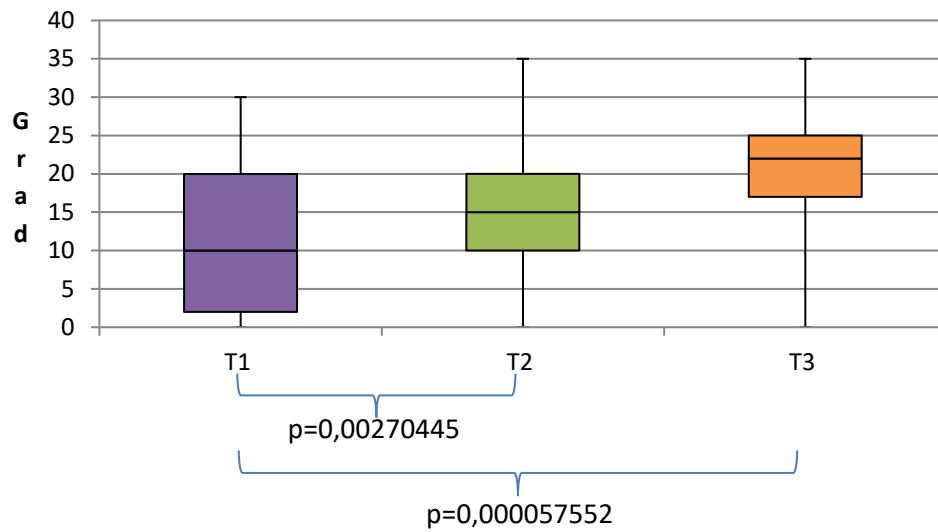


Abbildung 22: Gelenkbeweglichkeit im OSG links

Bei den Messungen in Knie-Flexion ergibt sich eine signifikante Zunahmen der Gelenkbeweglichkeit rechts von T1 zu T3 ( $p=0,04446001$ ), nicht aber von T1 zu T2 ( $p=0,11667411$ ). Die Messungen in Knie-Flexion links ergeben in beiden Fällen signifikante Unterschiede ( $p$ -Wert T1-T2=  $0,01667943$  und T1-T3=  $0,00020878$ ).

### 3.3.3 Frage 2: Ferse-Boden-Kontakt im Stand

Wie im Methodikteil beschrieben, wurde der Ferse-Boden-Abstand durch die ärztliche Beobachtung während der Untersuchung beurteilt (Abbildung 23a, b und c).

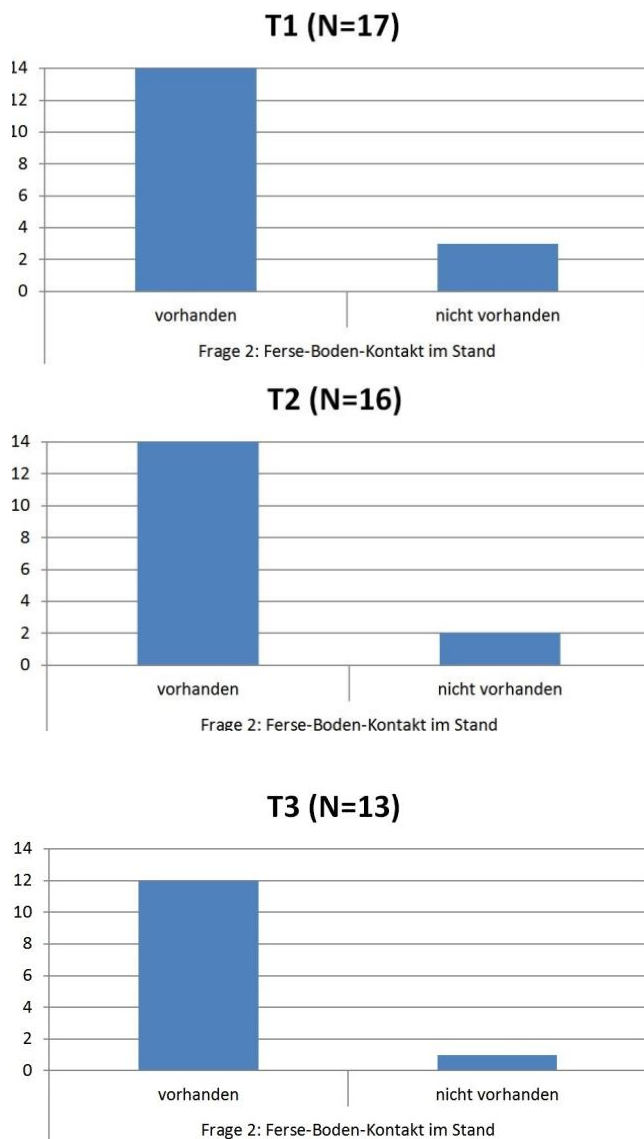


Abbildung 23 a, b und c: Anzahl der Kinder bei denen ein Ferse-Boden-Kontakt im Stand vorhanden bzw. nicht vorhanden war

Der Ferse-Boden-Kontakt war zu allen Messzeitpunkten bei der Mehrzahl der Kinder im Stand vorhanden: Zur T1 Messung bei 14 von 17, zur T2 Messung bei 14 von 16 und zur T3 Messung bei 12 von 13 Kindern. Diese Daten unterscheiden sich nicht statistisch signifikant (Teststatistik T1-T2: 33, T1-T3:27,5, kritischer Wert jeweils 13 bei Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$ ).

### 3.3.4 Frage 3: Ferse-Boden-Kontakt im Gang

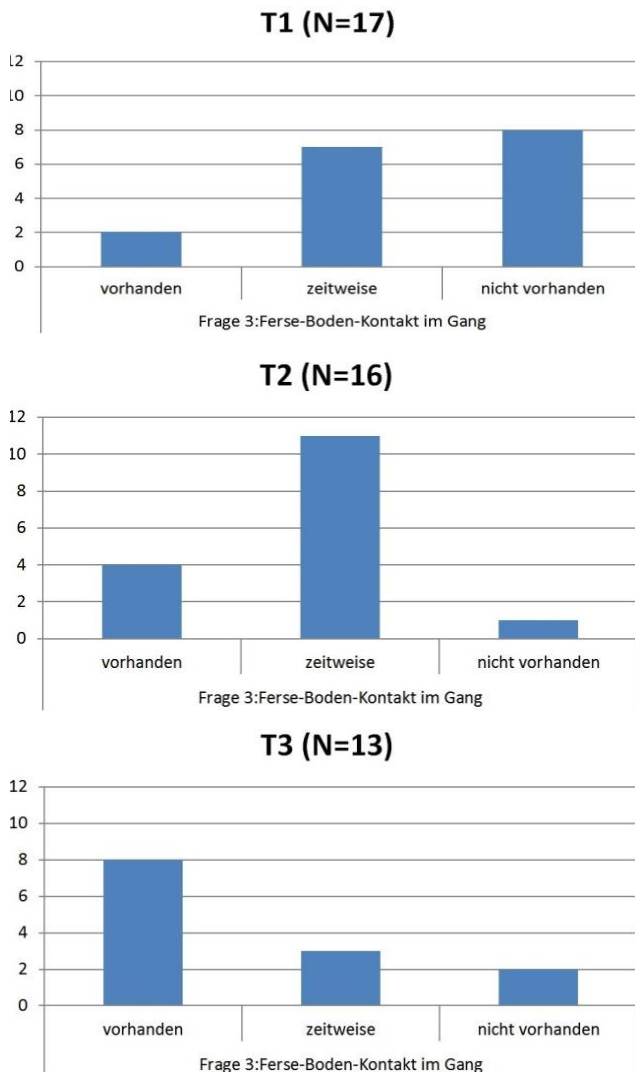


Abbildung 24 a, b und c: Anzahl der Kinder bei denen ein Ferse-Boden-Kontakt im Gang vorhanden bzw. nicht vorhanden war

Der Ferse-Boden-Kontakt im Gang (Abbildung 24a, b und c) war zum Zeitpunkt T1 bei 8 von 17 Kindern nicht vorhanden, bei 7 von 17 zeitweise und bei 2 von 17 (11,8%) permanent vorhanden. Zum Zeitpunkt T2 war nur noch bei einem Kind von 16 der Kontakt nicht vorhanden, bei 11 von 16 zeitweise und bei 4 von 16 (25%) vollständig vorhanden. Zum Zeitpunkt T3 war der Kontakt bei 2 von 13 Kindern nicht, bei 3 von 13 zeitweise und bei 8 von 13 (61,5%) vollständig vorhanden. Zwischen Zeitpunkt T1 und T2 liegt bei einer Teststatistik von 28,5 und einem kritischen Wert von 13 (Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ ) kein statistisch signifikanter Unterschied vor. Zwischen Zeitpunkt T1 und T3 wurde bei einer Teststatistik von 7,5 ein signifikanter Unterschied festgestellt.

Auf eine Auswertung der Ergebnisse der Frage 4 (Gleichgewichtsvermögen) wird verzichtet, da mit mehreren Kindern die Übungen zur Beantwortung der Frage altersbedingt nicht durchführbar waren.

Für die Ergebnisse der Frage 5 (Entwicklung der Tonussituation, der Abrollphase, des Gleichgewichts nach 3 bzw. 6 Monaten) wird aus Gründen der Übersichtlichkeit auf den Anhang verwiesen.

### 3.4 Kameraaufnahmen (*Dartfish*)

#### 3.4.1 laterale Aufnahmen, barfuß

In den folgenden Abbildungen (Abbildungen 25a und b) sind die durchschnittlichen Fersenhöhen des Standbeines der Teilnehmer in der mittleren Standphase zu den drei Messzeitpunkten aufgetragen. Man sieht sowohl links als auch rechts eine Tendenz zur Verkleinerung dieser Höhe. Diese Veränderungen sind im Zweistichproben-t-test für verbundene Stichproben allerdings nicht signifikant (siehe p-Werte).

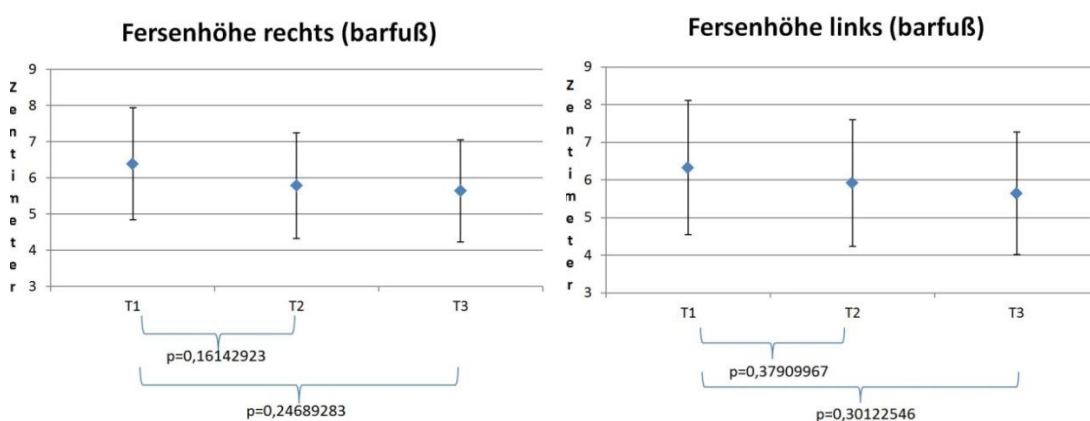


Abbildung 25 a und b: Entwicklung der Fersenhöhe barfuß

#### 3.4.2 laterale Aufnahmen, mit Schuhen ohne Einlagen

Die folgenden Darstellungen (Abbildung 26a und b) der Fersenhöhe sind vergleichbar mit den Graphen des vorherigen Unterkapitels. Anstelle der Barfuß-Aufnahmen wurden hier allerdings die Videos ausgewertet, in denen die Kinder ihre eigenen Schuhe ohne Einlagen trugen. Auch hier ist eine Tendenz zur Verringerung der Fersenhöhe erkennbar, die aber als nicht signifikant berechnet wurde (siehe p-Werte).

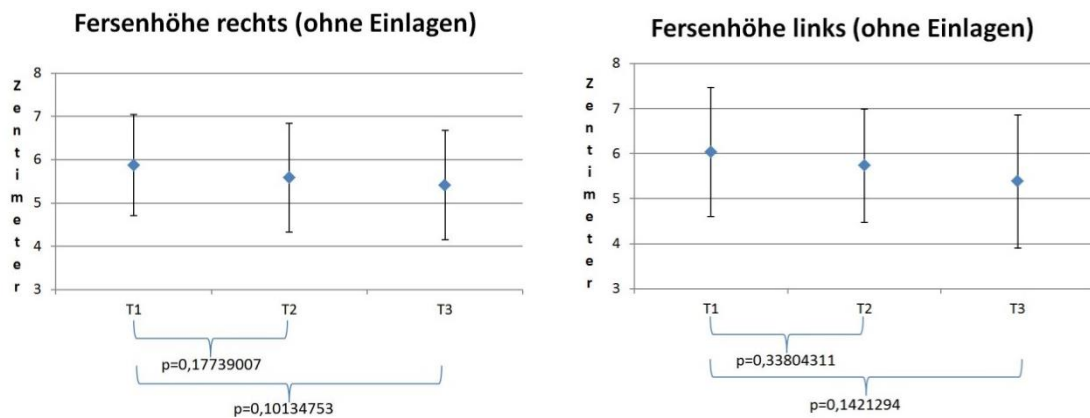


Abbildung 26 a und b: Entwicklung der Fersenhöhe mit Schuhen ohne Einlagen

An dieser Stelle soll noch einmal eine beispielhafte Aufschlüsselung der Abbildung 26a dargestellt werden. Hieran wird deutlich, wie die großen Standardabweichungen zustande kommen: Aufgrund der unterschiedlichen Körpergröße der Teilnehmer liegen bereits in den Ausgangswerten der Fersenhöhen deutliche Abweichungen vor, die auch nach drei und sechs Monaten in ähnlicher Größenordnung bestehen bleiben.

Die anfängliche Fersenhöhe variiert dabei von 3,5 bis 8 cm. Nach 6 Monaten zeigt sich immer noch eine Variabilität von 2,9 bis 7,4 cm. Die Grafik zeigt in diesem Zusammenhang, dass nicht etwa bei allen Kindern eine leichte Reduktion der Fersenhöhe eingetreten ist, wie es die Abbildung 26 vermuten lassen könnte, sondern, dass es bei einigen Kindern zu einer deutlichen Verringerung bei anderen Kindern aber auch zu einer Zunahme der Fersenhöhe gekommen ist. Auch gab es Fälle, bei denen zunächst eine Zunahme dann jedoch eine Abnahme der Fersenhöhe zu messen war und umgekehrt (Abbildung 27).

Insgesamt kam es bei 10 von 13 Kindern (77% der Patienten) zu einer Abnahme der Fersenhöhe im Verlauf, bei 3 Kindern nahm die Fersenhöhe zu.



## Fersenhöhe aller Teilnehmer im Verlauf (rechts)

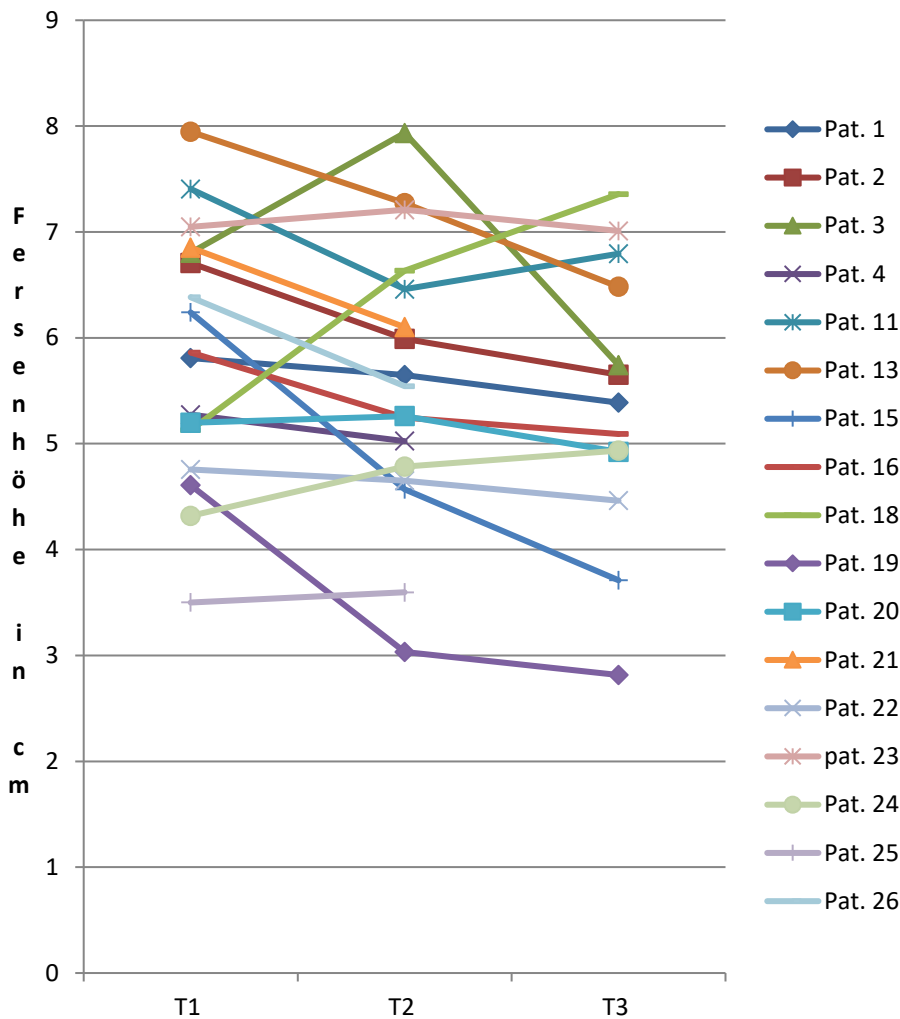


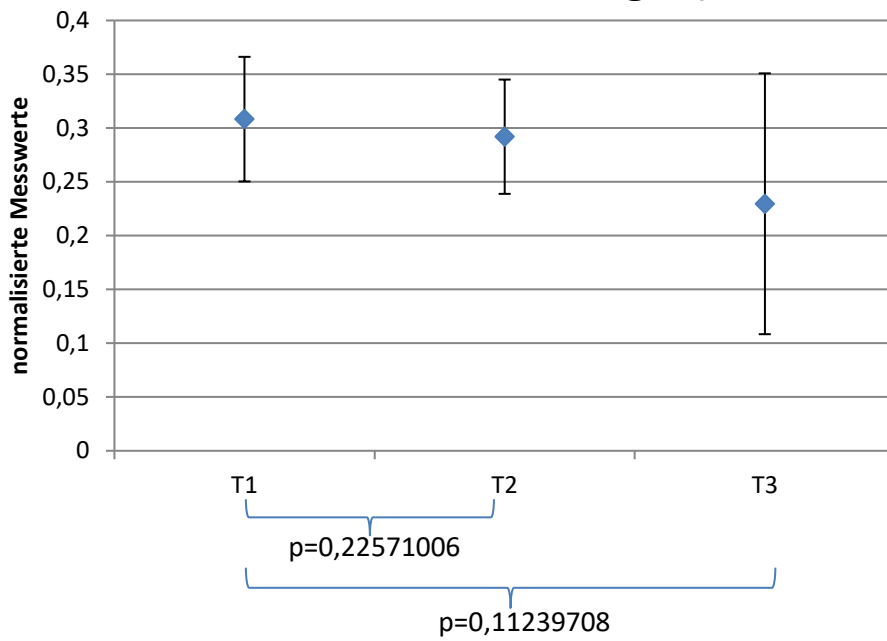
Abbildung 27: Aufschlüsselung der Grafik 27a zur Verdeutlichung der Fersenhöhe der einzelnen Kinder

### 3.4.3 Normalisierung der Messwerte

Um den deutlichen Größenunterschieden der Kinder in den Berechnungen zu begegnen, wird im Folgenden eine Normalisierung der gemessenen Werte über die Länge der Füße zum Zeitpunkt T1 vorgenommen. Die gemessenen Fersenhöhen in Zentimetern werden durch die jeweilige Fußlänge geteilt. Das Kind 1 hatte beispielsweise zu Beginn links eine Fersenhöhe von 5,47 cm und eine Fußlänge von 20 cm, sodass sich ein Wert von 0,27 ergibt.

Hierdurch zeigen sich die in der Abbildung 28 a und b dargestellten Ergebnisse. Es wird deutlich, dass die Normalisierung einen Einfluss auf die Werte hat (s. p-Werte), die Fersenhöhe nimmt ab, die Tendenz bleibt vergleichbar. Die Ergebnisse bleiben im Zweistichproben-t-test für verbundene Stichproben nicht signifikant.

### Fersenhöhe im Verlauf (rechts, mit Schuhen ohne Einlagen)



### Fersenhöhe im Verlauf (links, mit Schuhen ohne Einlagen)

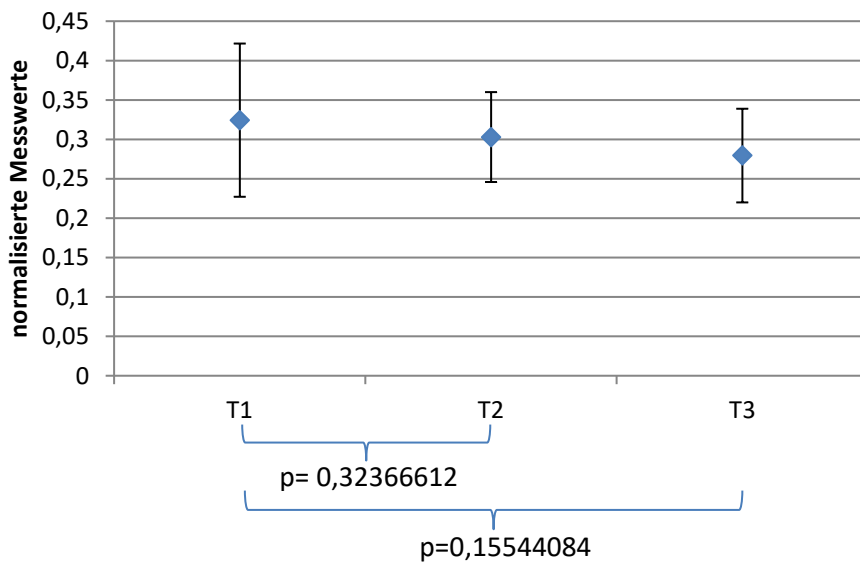
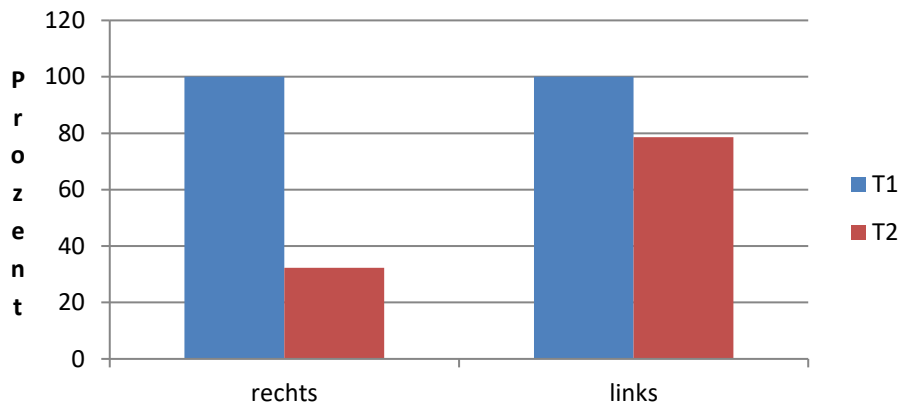


Abbildung 28 a und b: Fersenhöhe im Verlauf mit normalisierten Messwerten (rechts und links)

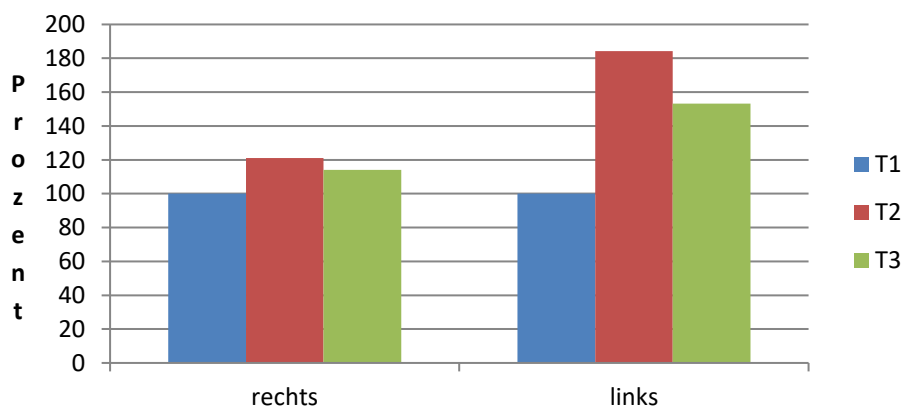
### 3.5 Motoriklabor-Messungen

In den folgenden Abbildungen werden die Messergebnisse der drei im Motoriklabor der Klinik für Neurologie des UKSH, Campus Kiel, untersuchten Kinder dargestellt (Abbildung 29 a, b und c).

#### Fersenhöhe im Verlauf (Pat. 4, ohne Einlagen)



#### Fersenhöhe im Verlauf (Pat. 13, ohne Einlagen)



## Fersenhöhe im Verlauf (Pat. 22, ohne Einlagen)

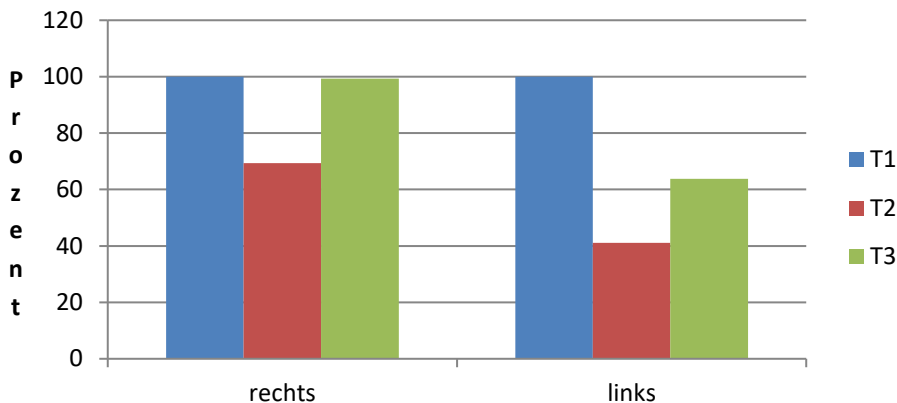


Abbildung 29 a, b und c: Ergebnisse der Messungen im Motoriklabor (ohne Einlagen)

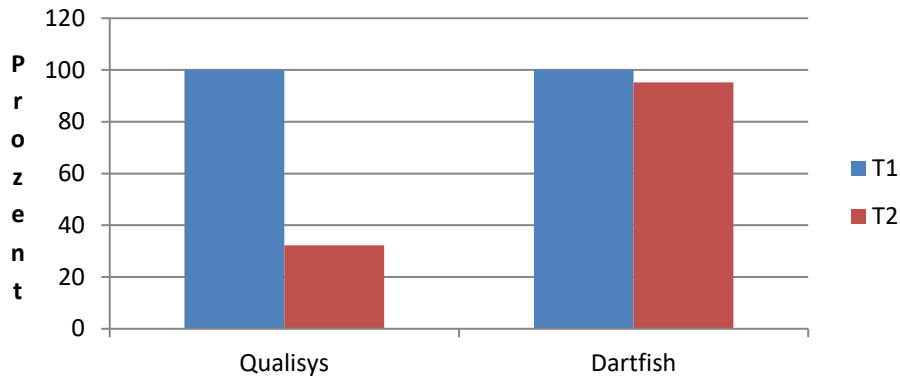
Der am ersten Messtag (T1) ermittelte Wert der Fersenhöhe wurde als Vergleichswert für die folgenden Messungen festgelegt und mit 100% Fersenhöhe bezeichnet. Die nach drei bzw. sechs Monaten gemessene Fersenhöhe konnte dann als auf den Ausgangswert bezogene Größe ebenfalls in Prozent angegeben werden. Würde z.B. nach drei Monaten eine Fersenhöhe von 50% vorliegen, hätte sich die Höhe im Vergleich zum Ausgangswert halbiert. Das erste Kind (Pat. 4) schied nach der T2 Kontrolle aus der Studie aus, weshalb im Motoriklabor nur zwei Messungen stattfinden konnten. Die Fersenhöhe hatte sich zum Zeitpunkt T2 rechts auf 32,27% und links auf 78,62% der Ausgangshöhe reduziert.

Bei dem Kind mit der Teilnehmernummer 13 kam es nach drei Monaten zu einer Zunahme der Fersenhöhe auf rechts 121,04% und links 184,22%. Nach weiteren drei Monaten lag die Fersenhöhe rechts bei 114,08% und links bei 153,21% des Ausgangswertes, sodass am Ende der Studie eine Zunahme der Fersenhöhe vorlag.

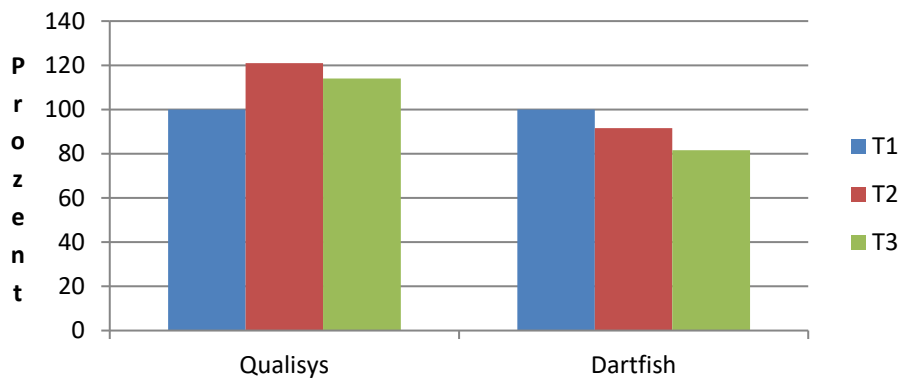
Das dritte Kind (Pat. 22) zeigte nach drei Monaten eine deutliche Verringerung der Fersenhöhe (rechts 69,38%, links 41,14%), bei der dritten und letzten Messung ergab sich aber wieder eine Erhöhung (rechts 99,35%, links 63,81%), sodass am Studienabschluss nur links eine Abnahme der Fersenhöhe vorlag.

Wenn man die *Dartfish*-Ergebnisse der drei im Motoriklabor untersuchten Kinder mit den dort gewonnenen Ergebnissen vergleicht, fallen nicht unerhebliche Abweichungen auf (Abbildung 30 a, b und c).

### Fersenhöhe im Verlauf (Pat. 04, rechts, ohne Einlagen)



### Fersenhöhe im Verlauf (Pat. 13, rechts, ohne Einlagen)



### Fersenhöhe im Verlauf (Pat. 22, rechts, ohne Einlagen)

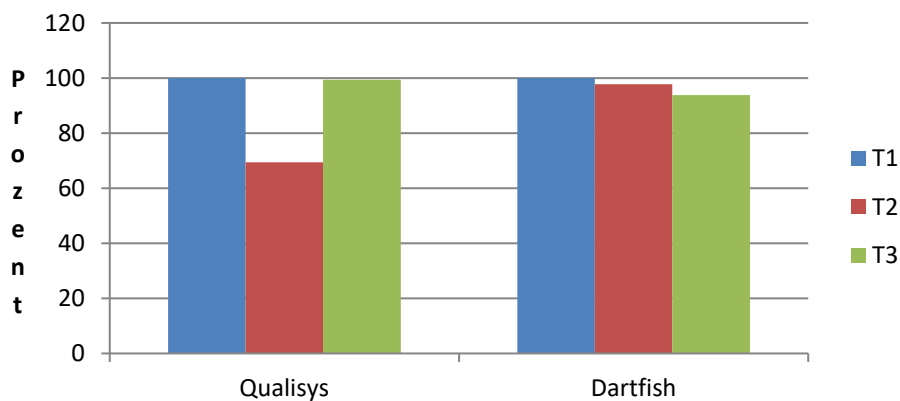


Abbildung 30a, b und c: vergleichende Darstellung der *Qualisys* und *Dartfish* Ergebnisse

Bei der Patienten 4 wurde mit *Dartfish* nur eine minimale Reduktion des Ferse-Boden-Abstandes gemessen. Bei den Kindern 13 und 22 wurde mit *Dartfish* eine leichte kontinuierliche Verringerung des Ferse-Boden-Abstandes bestimmt. Es zeigen sich somit deutliche Unterschiede zu den *Qualisys*-Ergebnissen die oben beschrieben wurden.

## 4. Diskussion

Im Rahmen dieser Studie ist es gelungen, 17 Patienten mit habituellem Spitzfußgang (bzw. zwei mit einer milden spastischen Diplegie) über einen längeren Zeitraum zu begleiten. Im Beobachtungszeitraum von 6 Monaten wurden die Patienten mit funktionsbasierten Einlagen und Physiotherapie behandelt und mittels verschiedener Datenerhebungsmethoden sowohl objektive als auch subjektive Parameter im Zeitverlauf erfasst. Da es bis heute kein optimales Messinstrument zur Erfassung kindlicher Gangbildveränderungen gibt, kamen hier unterschiedliche, sich zum Teil ergänzende Methoden zur Anwendung, mit denen eine möglichst vielschichtige Betrachtung der stattgefundenen Veränderungen erzielt werden sollte. Da es sich um eine Pilotstudie handelt, stellt die Methode und die Methodenkritik, neben den Ergebnissen der Messungen, eine wichtige Erkenntniskomponente der vorliegenden Arbeit dar.

Die drei wichtigsten klinischen Parameter, die gemessen werden sollten, waren: Die Messung des Ferse-Boden-Abstandes des Standbeines während der mittleren Standphase im Gang (*Dartfish* und Motoriklabor), die Messung der Gelenkbeweglichkeit des oberen Sprunggelenks (Goniometrie) und die Befragung der Eltern zu ihrer empfundenen spitzfußbezogenen Belastung. Diesen drei Komponenten kommt eine besondere Bedeutung zu: Der Ferse-Boden-Abstand spielt als unmittelbar ersichtlicher Parameter eine wichtige Rolle. Die besondere Bedeutung der Messung der Gelenkbeweglichkeit ergibt sich daraus, dass es bei einem anhaltenden Spitzfußgang zu einer Verkürzung der Wadenmuskulatur und der Achillessehne und somit zu einer Einschränkung der Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk kommen kann (Sobel et al. 1997). Zudem liegt für diesen Parameter mit der Goniometrie eine Messmethode vor, die in anderen Studien als reliabel (Farooq et al. 2016) getestet wurde und bei der eine geringe Interrater-Variabilität besteht (Brosseau et al. 2001). Die Bedeutung der empfundenen spitzfußbezogenen Belastung der Eltern wurde bereits in der Einleitung erläutert.

Die Auswahl der Gangabweichung ‚habituellem Spitzfußgang‘ für die Untersuchung brachte Vor- und Nachteile mit sich. Positiv und wichtig für die Studie war, dass bei den Teilnehmern gemäß der Diagnose keine kontrakten Fehlstellungen des oberen Sprunggelenks vorlagen, sodass keine Kontraindikation für die Ausgabe der sensomotorischen Einlagen vorlag (Greitemann et al. 2016). Ebenfalls sinnvoll war die Beschränkung auf eine relativ homogene Gruppe, bei welcher sich die Gangveränderungen sehr stark ähnelten. Bei Kindern die aufgrund einer spastischen Diplegie einen Spitzfußgang aufweisen, ließen sich in vorherigen Studien große gruppeninterne Unterschiede im Gangmuster feststellen, sodass von den

Autoren empfohlen wurde, Gruppenunterteilungen vorzunehmen und individuelle Therapieansätze zu wählen (Jagadamma et al. 2015).

Nachteilig hingegen war, dass aufgrund der freien Beweglichkeit im Fußbereich bei den meisten habituellen Spitzfußgängern die Möglichkeit bestand, einen normal Gang ‚vorzutäuschen‘ (Westberry et al. 2008). Somit war es in einigen Fällen schwierig, realitätsgetreue, der Alltagssituation entsprechende Ergebnisse in der Ganganalyse zu erreichen.

## 4.1 Messungen

Im Rahmen dieser Studie konnten Methoden entwickelt und angewendet werden, mit denen Veränderungen im Gangbild der Kinder messbar gemacht werden konnten. Die *Dartfish* Messungen und die Goniometrie stellten sich als zielführende Methoden heraus, die auch in ihrer Anwendbarkeit positiv hervorzuheben sind. Die Motoriklabor-Messungen, mit denen Daten, die den dreidimensionalen Raum erfassen, gewonnen werden konnten, lieferten wertvolle und präzise Informationen. In dem durchgeführten Versuchsaufbau mit Kindern ist die Messmethode dennoch als nicht zielführend anzusehen, da aufgrund der artifiziellen Untersuchungsbedingungen keine Adaptation der Kinder an die Situation erfolgt ist.

### 4.1.1 *Dartfish*

Die Messungen des Ferse-Boden-Abstandes am Computer mit dem Programm *Dartfish* wurden in allen Fällen von der Autorin durchgeführt, sodass die Problematik einer geringen Interrater-Reliabilität umgangen werden konnte.

Wichtig vor allem für vergleichende Ganganalysen mit einem mehrmonatigen Abstand ist die exakte Reproduzierbarkeit des Versuchsaufbaus und der Versuchsdurchführung (Perry 2003). Der Versuchsaufbau und die Rahmenbedingungen für die Videoaufnahmen ließen sich mithilfe der festgelegten Kriterien (s. Kapitel 2.3) an den unterschiedlichen Untersuchungstagen gut reproduzieren. Das Alter der Kinder stellte zum Teil eine Schwierigkeit bezüglich der Reproduzierbarkeit der Versuchsdurchführung dar. Gerade bei den sehr jungen Kindern war es an einigen Untersuchungstagen schwierig, einen reibungslosen Ablauf des Versuchs zu ermöglichen. Da es mitunter zu einem Hüpfen oder Rennen während der Aufnahmen kam oder die Kinder den Versuchsaufbau verließen, waren dementsprechend lange Aufnahmen bzw. viele Gangzyklen nötig, um die Mindestanzahl der Messungen zu erhalten. Im Hinblick auf diese Schwierigkeiten, lässt sich als Vorteil der Versuchsmethode festhalten, dass eine wiederholte Durchführung leicht zu ermöglichen war.



Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt bei der Interpretation der Ergebnisse dieser Studie, in der Kinder über einen längeren Zeitraum beobachtet wurden, ist der Einfluss des Wachstums der Kinder. Es besteht generell die Möglichkeit, dass das Größenwachstum einen Einfluss auf die Veränderung des Gangbildes hat. Wie oben bereits beschrieben, weisen bis zu 15% der Kinder einen temporären habituellen Spitzfußgang auf, der sich aber teils von selbst ‚verwächst‘ und somit keiner Behandlung bedarf (Pomarino et al 2012). Auch bei der Interpretation der Messwerte aus der *Dartfish*-Analyse muss das Größenwachstum der Kinder bzw. deren unterschiedliche Größe zum Zeitpunkt der Messung Beachtung finden. Es dürfen somit beispielsweise keine direkten Vergleiche der absoluten Messwerte zweier Kinder vorgenommen werden. Vergleiche können erst stattfinden, wenn die gemessenen Werte in Relation zur Körper- bzw. Fußgröße gesetzt wurden. In dieser Studie wurde hierfür die Fußlänge verwendet.

In dieser Studie wurden zu jedem Messzeitpunkt jeweils drei Videoaufnahmen gemacht: barfuß, mit Schuhen ohne Einlagen sowie mit Schuhen und Einlagen. Der praxisrelevanteste Informationsgewinn wurde durch den Vergleich des Ferse-Boden-Abstands vor Beginn der Einlagenversorgung (aber nach bereits drei monatiger Physiotherapie) und drei bzw. vor allem sechs Monate später jeweils barfuß bzw. mit Schuhen ohne Einlagen erzielt. Unter diesen Bedingungen wurde das Gangbild ohne den Einfluss einer eventuell nicht optimal sitzenden Einlage beurteilt.

#### **4.1.2 Goniometrie**

Die freie Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk ist für den Ablauf eines physiologischen Gangzyklus von großer Bedeutung (s. Abbildung 2, S. 12) und stellt somit die Voraussetzung für eine Anpassung der Gangveränderung an die Norm dar.

Die Messung der Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk mittels Goniometrie durch den Neuropädiater stellte sich als gut durchführbare und leicht zu reproduzierende Messmethode dar. Da hierbei wie erwähnt die passive Beweglichkeit ermittelt wurde, waren seitens der Teilnehmer lediglich ein ruhiges Liegen auf der Behandlungstrage und eine Entspannung der Muskulatur erforderlich. Eine aktive Mitarbeit war dabei nicht nötig und so wurde ein unproblematischer Ablauf der Messung ermöglicht.

#### **4.1.3 Motoriklabor**

Auch hier war es wichtig, eine gute Reproduzierbarkeit der Messungen zu ermöglichen. Da mehrere Teilschritte bei diesen Versuchen vorlagen, wurde ein Protokoll angefertigt mit

dessen Hilfe der Ablauf standardisiert werden konnte. Bei der Ermittlung der Ganggeschwindigkeit mit dem Lichtschrankensystem traten keine Probleme auf. Als die Kinder jedoch das Laufband betraten und dieses langsam gestartet wurde, konnte beobachtet werden, dass es zunächst eine unbekannte Erfahrung für die Versuchsteilnehmer war und sie sich erst einmal in die neue, ungewohnte Situation einfinden mussten. Sie griffen zu Beginn zum Teil mehrfach an die Halterung, die sich am vorderen Laufbandende befand, um ihr Gleichgewicht wiederzufinden. Auch schienen sie zunächst sehr konzentriert darauf, den linken Fuß jeweils auf die linke Seite des Laufbands (welches aus zwei Lamellen bestand, eine für den linken und eine für den rechten Fuß) und den rechten Fuß rechts aufzusetzen und nicht vor- bzw. hintereinander. Da es für die Untersuchung wichtig war, einen möglichst natürlichen Gang zu analysieren, wurde den Kindern eine individuell angepasste Eingewöhnungszeit auf dem Laufband ermöglicht. Dass es allerdings bei keinem Kind möglich war, die zuvor auf dem Flur ermittelte durchschnittliche Ganggeschwindigkeit auf dem Laufband zu erreichen, ohne dass ein Balanceverlust eingetreten wäre, weist darauf hin, dass trotz Eingewöhnungszeit kein natürliches Gangmuster zu ermöglichen war. Der Sicherheitsgurt sowie die zwölf am Körper befestigten Marker trugen vermutlich ebenfalls zur unnatürlichen Situation bei.

Die Ergebnisse der Laufbandanalyse mit *Qualisys* sind im Vergleich zu den mit *Dartfish* ermittelten Ergebnissen als präziser anzusehen, da hier nicht vier bis sechs Messwerte in die Berechnung der Fersenhöhe eingeflossen sind, sondern zwischen 76 und 120 Werte. Auch ermöglicht das *Qualisys*-System mit seinen Infrarotkameras eine Millimeter-genaue Positionsbestimmung der Marker im dreidimensionalen Raum. Obwohl auch mit *Dartfish* bereits sehr kleine Veränderungen im Gangbild messbar sind, kommt das Programm bzw. die Anwendung des Programms in dieser Weise nicht an die Exaktheit der mit *Qualisys* ermittelten Daten heran. Für die Bewertung der Messsysteme in Bezug auf den Zweck ihres Einsatzes in der Studie, sollten jedoch Vor- und Nachteile abgewogen werden. Es lässt sich insgesamt feststellen, dass die Messungen im Motoriklabor für diese Studie mit Kindern ungeeignet sind. Die Nachteile durch die Beeinflussung des Gangmusters und somit des Zielparameters durch die Komplexität des Versuchsaufbaus überwiegen gegenüber den Vorteilen durch eine präzisere Messmethode.

## 4.2 klinische Veränderungen

### 4.2.1 *Dartfish*

Mithilfe des *Dartfish*-Messverfahrens ließen sich Veränderungen des Ferse-Boden-Abstands im Verlauf der Studie messen. Der Mittelwert der Fersenhöhe bei den Teilnehmern reduzierte sich über den Zeitraum der Untersuchung (Abb. 25a), die beobachtete Reduktion zu den Zeitpunkten T2 und T3 war aber nicht statistisch signifikant unterschiedlich zu T1. Dies könnte folgende Ursachen haben: möglicherweise war die untersuchte Gruppe zu klein und in Eigenschaften wie Alter und Größe zu variabel, um statistisch signifikante Unterschiede messbar zu machen. Auch könnte die variable Tagesform der Kinder, zu den Messergebnissen beigetragen haben. Da aber festgestellt werden konnte, dass die Fersenhöhe unter „barfuß“ Bedingungen beidseits abnahm (Abb. 25 a und b) und dies ebenfalls, wenn die Kinder ihre Schuhe ohne Einlagen trugen, liegen somit letztlich 4 übereinstimmende Änderungen mit Abnahme der mittleren Fersenhöhe in der Gruppe vor. Abbildung 27 zeigt damit übereinstimmend für die einzelnen Fälle, dass bei 10 von 13 Kindern (77%) im Behandlungsverlauf eine Abnahme der Fersenhöhe erfolgte. Bei 3 Kindern nahm die Fersenhöhe zu. Bei diesen 3 Kindern handelte sich um zwei Mädchen und einen Jungen, die zu Studienbeginn 3, 6 und 8 Jahre alt waren und bei denen jeweils die Diagnose habituellem Spitzfußgang gestellt worden war. Es lassen sich somit keine offensichtlich übereinstimmenden Merkmale der Kinder erkennen, sodass sich an dieser Stelle kein Hinweis auf eine Vorhersage ergibt, in welchen Fällen die Therapie nicht anspricht.

Da ein Einfluss der unterschiedlichen Körperhöhe der Kinder auf die Messergebnisse vermieden werden sollte, wurden die Absolutwerte der Fersenhöhen normalisiert, indem sie in Relation zur jeweiligen Fußlänge gesetzt wurden. Auch die normalisierten Mittelwerte nehmen in der Tendenz durchgängig ab und zwar ebenfalls an beiden Füßen (Abb. 28 a und b). Gleichwohl besteht eine hohe Variabilität der Messdaten, weshalb sich auch hier eine statistische Signifikanz im untersuchten Kollektiv nicht nachweisen ließ.

Die durchgängige Abnahme der absoluten Fersenhöhe barfuß, mit Schuhen ohne Einlagen und die Abnahme der normalisierten mittleren Fersenhöhen scheinen für einen systematischen Effekt der durchgeführten Behandlung zu sprechen. Da es sich um ein Konzept mit weiteren Einflussfaktoren handelt, ist im vorliegenden Studiendesign nicht sicher auszuschließen, dass diese einen relevanten eigenen Einfluss auf die gemessenen Veränderungen hatten. Da allerdings im Vorfeld der Studie eine physiotherapeutische Behandlung durchgeführt wurde, die nach Einschätzung des behandelnden Neuropädiaters sowie der Eltern der Kinder nicht zu einer relevanten Besserung geführt hat, ergibt sich der Hinweis, dass Physiotherapie als

wichtigster Einflussfaktor alleine nur begrenzt effektiv ist und daher möglicherweise in der hier eingesetzten Form nur einen geringen Einfluss hat.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Daten zur Fersenhöhe gut vereinbar sind mit einem klinisch relevanten Effekt der funktionsbasierten Einlagen auf den Fersenabstand zum Boden als Maß für den habituellen Spitzfußgang. Die vorliegenden Beobachtungen sollten Anlass für eine kontrollierte Studie mit einer höheren Patientenzahl sein, die insbesondere den Einfluss der Physiotherapie in einer Kontrollgruppe ohne Einlagen systematisch miterfasst.

#### 4.2.2 Goniometrie

Die Messergebnisse der Goniometrie zur Bestimmung der Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk ergaben eine Zunahme sowohl von T1 zu T2 als auch von T1 zu T3 (Abbildung 21) jeweils auf Signifikanzniveau. Es ergaben sich ähnliche Ergebnisse für beide Füße (Abbildung 21 und 22) und sowohl in Knie-Extension als auch in Knie-Flexion, sodass auch hier 4 übereinstimmende Änderungen mit Zunahme der Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk vorliegen, die mit der funktionsbasierten Einlagenversorgung einhergingen.

Auf die Ergebnisse der anderen ebenfalls in der ärztlichen Untersuchung gemessenen Veränderungen, die in den Kapiteln 3.3.1, 3.3.3 und 3.3.4 vorgestellt wurden, soll im Folgenden eingegangen werden. Dass der Rumpftonus der untersuchten Kinder sowohl zu Beginn als auch in den Kontrollterminen größtenteils als ‚normal‘ bewertet wurde, unterstützt die Annahme, dass der habituelle Spitzfußgang im kindlichen Alter im Vergleich zu beispielsweise einem spastischen Spitzfußgang weniger Auswirkungen auf die Rumpfmuskulatur hat (Abbildung 18 a, b, c).

Der Tonus der Extremitäten war hingegen zu Beginn der Studie bei der Hälfte der Kinder gesteigert und verringerte sich sukzessive (Abb. 19 a, b, c). Am Ende der Untersuchungsphase ließen sich lediglich bei einem Kind weiterhin hypertone Extremitäten verzeichnen. Bei der statistischen Berechnung ließ sich bei Anwendung des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests keine Signifikanz feststellen, was am ehesten dem verhältnismäßig kleinen Kollektiv geschuldet ist. Eine Abnahme des Muskeltonus der Extremitäten ist allerdings in guter Übereinstimmung mit der Literatur (Brinckmann 2005, Pomarino et al. 2012).

Die Muskeleigenreflexe waren bereits zu Studienbeginn bei dem Hauptteil der Kinder – passend zur Diagnose ‚habituelle Spitzfußgang‘- als ‚normal‘ eingestuft worden und veränderten sich im Verlauf nur wenig (Abb. 20 a, b, c). Da, wie Abbildung 23 a, b, c zeigt,

bei den meisten Kindern bereits zu Beginn der Studie ein Bodenkontakt im Stehen vorhanden war, wird erkennbar, dass die meisten Kinder durchaus in der Lage dazu waren, ihre Ferse aufzusetzen und somit auch zum Teil ihr Gangbild bewusst beeinflussen konnten. Bei der Untersuchung des Ferse-Boden-Kontaktes im Gang, bei der die Kinder bewusst durch eine Unterhaltung von ihrer Konzentration auf das Gangbild abgelenkt wurden, ist bei den meisten Kindern zu Studienbeginn kein oder nur ein zeitweiser Kontakt vorhanden (Abb. 24 a). In den Nachkontrollen nimmt dieser Kontakt zu (Abb. 24 b, c), zum Zeitpunkt T3 ist nur noch bei zwei der untersuchten Kinder kein Ferse-Boden-Kontakt vorhanden. In diesem Fall stellen sich trotz des weiterhin kleinen Kollektivs die Veränderungen im Verlauf der Behandlung im angewendeten statistischen Test als signifikant dar.

Die hier durchgeführte Pilotstudie kann Kausalität methodisch nicht beweisen, die Ergebnisse sollten jedoch Anlass zu einer kontrollierten Studie geben, die unbehandelte Kinder einschließt.

#### **4.2.3 Motoriklabor**

Im Motoriklabor ließen sich keine Veränderungen des Fersen-Boden-Abstands in eine bestimmte Richtung messen. Bei einem Kind (Nr. 4) kam es zu einer Abnahme, bei einem anderen Kind (Nr. 13) zu keiner Veränderung und bei dem dritten Kind (Nr. 22) zu einer Zunahme des Ferse-Boden-Abstands nach sechs Monaten. Im Kapitel 4.1.3 wurde bereits beschrieben, warum die Messungen mit dieser Methode und diesem Versuchsaufbau nicht zielführend waren.

#### **4.3 psychische Belastung**

Bei der Durchführung der Elternbefragung ergaben sich keine Schwierigkeiten. Die gestellten Fragen wurden von den Ausfüllenden ohne Nachfragen bearbeitet, es wurde in allen Fällen jeweils derselbe Elternteil befragt.

Die im Vorfeld der Fragebogenerstellung durchgeführte telefonische Befragung von Eltern mit spitzfüßig gehenden Kindern erwies sich als sinnvoll. Hierdurch wurden bereits die Bereiche des Alltags identifiziert, welche durch den Spitzfußgang des Kindes beeinflusst wurden und somit potenzielle Belastungssituationen für die Eltern darstellten. Da in den Telefongesprächen wiederholt dieselben Bereiche genannt wurden, ist davon auszugehen, dass diese auch für die befragten Eltern in der Studie von Relevanz waren.

Obwohl im Material- und Methodenteil erläutert wurde, aus welchem Grund fünf Antwortmöglichkeiten zu den Fragen gewählt wurden, darf nicht unerwähnt bleiben, dass bei einer ungeraden Anzahl an Antwortmöglichkeiten gelegentlich eine Tendenz zur

Unentschiedenheit (Tendenz zur Mitte) bei den Ausfüllenden zu verzeichnen ist (Menold und Bogner 2014). Dennoch wurde dieser Aufbau aus o.g. Gründen (s. Kapitel 2.3.1) als sinnvoll erachtet.

Wie in den Ergebnissen dargestellt, wurde von den befragten Eltern unter Frage 1 des Fragebogens („Ich fühle mich wegen des Spitzfußganges meines Kindes belastet.“) zum Zeitpunkt T2, also drei Monate nach Studieneintritt, eine stärkere spitzfußbezogene Belastung angegeben als zum Zeitpunkt T1. Dies könnte damit zu erklären sein, dass durch die Teilnahme an der Studie eine größere Aufmerksamkeit auf den Spitzfußgang des Kindes gerichtet wird, die wiederum das Gefühl einer verstärkten Belastung erzeugt. Die sukzessive Verringerung dieser Aufmerksamkeit im Verlauf sowie die in einigen Fällen aufgetretene Verbesserung des Gangbildes, würde so auch die wieder deutlich reduzierte angegebene Belastung zum Zeitpunkt T3 erklären. Damit übereinstimmend zeigen sich auch die Ergebnisse der Frage 2 des Elternfragebogens, in der nach der Häufigkeit gefragt wurde, mit der das Kind an das Aufsetzen der Ferse erinnert wird (s. Anhang, S. j). Danach findet auch erst zum Zeitpunkt T3 eine Reduktion dieser Häufigkeit statt.

Vor dem Hintergrund dieser Annahme erklären sich auch die Berechnungen zum Belastungs-Score der Eltern, die zwischen T1 und T2 keinen signifikanten Unterschied ergeben, zwischen T1 und T3 aber eine signifikante Reduktion der Belastung zeigen.

Insgesamt lassen sich die gemessenen Veränderungen der psychischen Belastung der Eltern gut in Einklang bringen mit einem Einfluss der sensomotorischen Therapie. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass auch Studien-unabhängige Faktoren das Ergebnis beeinflusst haben.

## **5. Zusammenfassung**

Die vorliegende Arbeit sollte die Frage beantworten, wie mögliche (Gangbild-) Veränderungen durch das sechsmonatige Tragen von individuell angepassten funktionsbasierten Einlagen im Rahmen einer Pilotstudie mit einem interdisziplinären Konzept aus Neuropädiatrie, Orthopädieschuhtechnik und Physiotherapie bei kindlichen, habituellen Spitzfußgängern messbar gemacht werden können und wie die klinischen Veränderungen aussehen. Um den Effekt zu untersuchen, wurden verschiedene Messinstrumente angewendet, die sich zum Teil als gut geeignet herausstellten, zum Teil aber auch Probleme mit sich brachten.

Die Bestimmung der Fersenhöhe der Spitzfußgänger während der mittleren Standphase wurde mit zwei Messverfahren, *Dartfish* und *Qualisys*, untersucht. Dabei stellte die *Dartfish*-

Messung, aufgrund ihrer geringeren Beeinflussung des Zielparameters durch den relativ realitätsgetreuen Versuchsaufbau, die validere Methode dar. Auch wenn das Verfahren über *Qualisys* an sich präzisere Messergebnisse liefert, ist es in diesem Versuchsaufbau aufgrund der artifiziellen Untersuchungssituation für Kinder nicht geeignet. Die *Dartfish*-Ergebnisse zeigen eine Tendenz zur Abnahme der Fersenhöhe bei den untersuchten Kindern, die zwar nicht statistisch signifikant ist, sich jedoch unter drei verschiedenen Untersuchungsbedingungen in ähnlichem Ausmaß zeigt und somit mit einem klinisch relevanten Effekt der sensomotorischen Einlagenversorgung vereinbar ist.

Die Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk der Spitzfußgänger wurde von einem erfahrenen Oberarzt der Neuropädiatrie des UKSH, Campus Kiel im Verlauf mittels Goniometrie bestimmt. Dabei ergab sich eine signifikante Zunahme der Gelenkbeweglichkeit bereits nach dreimonatiger Studienteilnahme und eine weitere Zunahme nach sechs Monaten. Die freie Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk gilt als Voraussetzung für ein physiologisches Gangbild mit Fersenkontakt.

Als weiterer Aspekt wurden die psychischen Auswirkungen der Gangveränderungen der Spitzfußgänger auf deren Eltern untersucht, da erfahrungsgemäß Spannungen zwischen Eltern und Kindern, basierend auf deren Spitzfußgang, zu einer Belastung der Eltern und somit der familiären Situation führen. Mittels des dazu entwickelten Fragebogens konnte zum Ende der Studie eine Abnahme der elterlichen psychischen Belastung gezeigt werden.

Insgesamt lassen sich Veränderungen der untersuchten Parameter feststellen, die mit dem Tragen der funktionsbasierten Einlagen einhergingen und teilweise Signifikanzniveau aufweisen. Diese Ergebnisse sollten Anlass für eine Folgestudie sein, für die sich die folgenden Empfehlungen ableiten: ein größeres Kollektiv mit insgesamt weniger heterogenen Merkmalen sowie das Einschließen einer Kontrollgruppe, die lediglich eine physiotherapeutische Behandlung erhält. Weiterhin das Festlegen eines Mindestalters (z.B. 4 Jahre), die regelmäßige Bestimmung der Körperhöhe der Kinder, um eine weitere Möglichkeit der Normalisierung der Messdaten und damit Vergleichbarkeit der Daten zu erhalten sowie ein weiterer Kontrolltermin zu einem deutlich späteren Zeitpunkt (beispielsweise nach einem Jahr), um den Langzeiteffekt der Intervention beurteilen zu können.

## 6. Literaturverzeichnis

Baur, H., Hirschmueller, A., Mueller, S., Mayer, F. (2011). Neuromuscular Activity of the Peroneal Muscle after Foot Orthoses Therapy in Runners. *Med Sci Sports Exerc*, 43(8), 1500-1506

Bernius, Peter (2010): Sensomotorische Einlagenversorgung – was ist daran neu, was ist alt bekannt? In: *Fuß & Sprunggelenk* 8(1), S. 16–27

Brinckmann, F. (2005). Ganganalytische Untersuchung zur therapeutischen Effizienz der sensomotorischen Einlagen nach Jahrling bei zentralnervösen Erkrankungen. Diplomarbeit, Fachhochschule Gießen-Friedberg

Brosseau, L.; Balmer, S.; Tousignant, M.; O'Sullivan, J.; Goudreault, C.; Goudreault, M.; Gringras, S. (2001). Intra- and intertester reliability and criterion validity of the parallelogram and universal goniometers for measuring maximum active knee flexion and extension of patients with knee restrictions. *Arch Phys Med Rehabil*, 82(3), 396-402

Brouwer, B.; Davidson, L. K.; Olney, S. J. (2000). Serial casting in idiopathic toe-walkers and children with spastic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 20(2). 221-225

Brunt, D.; Woo, R.; Kim, H. D.; Ko, M. S.; Senesac, C.; Li, S. (2004). Effect of botulinum toxin type A on gait of children who are idiopathic toe-walkers. *J Surg Orthop Adv*. 13(3). 149-155

chemie.de, 1997-2017,

[http://www.chemie.de/lexikon/H%C3%A4rte.html#F.C3.BCr\\_Elastomere](http://www.chemie.de/lexikon/H%C3%A4rte.html#F.C3.BCr_Elastomere)

Clark, E.; Sweeney, J. K.; Yocum, A.; McCoy, S. (2010). Effects of motor control intervention for children with idiopathic toe walking: a 5-case series. *Pediatr Phys Ther*. 22(4). 417-426

Colovic, H.; Dimitrijevic, L.; Stankovic, I.; Nikolic, D.; Radovic-janosevic, D. (2012). Estimation of botulinum toxin type a efficacy on spasticity and functional outcome in



children with spastic cerebral palsy. Biomedical papers of the medical faculty of the university palacky, olomouc, Czechoslovakia. 156(1). 41-47

Döderlein, L.; Schneider, U.; Wenz, W. (2004). Fußdeformitäten. Der Spitzfuß/ Der Hackenfuß. Erscheinungsformen und Behandlungsprinzipien jeden Alters; Differentialdiagnose und Differentialtherapie. Springer. Berlin, Heidelberg

Du Prel, J.-B.; Röhrig, B.; Hommel, G.; Blettner, M. (2010). Auswahl statistischer Testverfahren. Dtsch Arztebl Int 2010, 107(19), 343-348

Engelbert, R.; Gorter, J.W.; Uiterwaal, C.; van de Putte, E.; Helders P. (2011). Idiopathic toe-walking in children, adolescents and young adults: a matter of local or generalised stiffness? BMC Musculoskeletal Disorders, 12(61), doi: 10.1186/1471-2474-12-61

Engström, P.; Gutierrez-Farewik, E.M.; Bartonek, A.; Tedroff, K.; Orefelt, C.; Haglund-Åkerlind, Y. (2010). Does botulinum toxin A improve the walking pattern in children with idiopathic toe-walking? J Child Orthop., 4(4), 301-308

Engström, P.; Tedroff, K.(2012): The prevalence and course of idiopathic toe-walking in 5-year-old children. Pediatrics, 130(2), 279-284

Engström, P.; Van't Hooft, I.; Tedroff, K. (2012). Neuropsychiatric symptoms and problems among children with idiopathic toe-walking. J Pediatr Orthop., 32(8), 848-852

Farooq, M.N.; Mohseni Bandpei, M.A.; Ali, M.; Khan, G.A. (2016). Reliability of the universal goniometer for assessing active cervical range of motion in asymptomatic healthy persons. Pak J Med Sci, 32(2), 457-461

Galen, S.; Wiggins, L.; McWilliam, R.; Granat, M. (2012). A combination of Botulinum Toxin A therapy and Functional Electrical Stimulation in children with cerebral palsy--a pilot study. Technol Health Care. 20(1). 1-97

Götz, M. (2008). Die Geschichte der orthopädischen Schuheinlage. Vom Schmied im 18. Jahrhundert zur ärztlichen sensomotorischen Einlage. *Orthopädische Praxis*, 44(4), 165-168

Götz-Neumann (2011). *Gehen verstehen. Ganganalyse in der Physiotherapie*. 3. Aufl. Thieme. Stuttgart

Graf, R.; Kohn, D.; Löhr, J. (2005). Kindliche Fußfehlformen. *Orthopäde* 34(10). 1061-1074

Greitemann, Bernhard, Franzen, M., Stinus, H., Walther, M., Dierolf, W., Schievink, F., Perick, H., Stief, T., Stumpf, J. (2016). DGOOC-Beratungsausschuss Orthopädieschuhtechnik: Stellungnahme zu sensomotorisch wirkenden Fußorthesen (SMFO). *Orthopädie und Unfallchirurgie - Mitteilungen und Nachrichten*, 5(3), 283-286

Grifka, J. (2005). *Einlagen, Schuhzurichtungen, orthopädische Schuhe : Indikation, Verordnung, Ausführung*. 4. Aufl., Thieme, Stuttgart

Guerassimiouk, D.; Goussel, W.; Rega, B. (2015). Der Zehengang. *DO – Deutsche Zeitschrift für Osteopathie*, 13(04), 24-27

Hadorn, D. C.; Uebersax, J. (1995). Large-scale health outcomes evaluation: how should quality of life be measured? Part I--Calibration of a brief questionnaire and a search for preference subgroups. *J Clin Epidemiol*. 48(5). 607-618

Hatton AL., Dixon, J., Rome, K., Brauer, SG., Williams, K., Kerr, G. (2016). The effects of prolonged wear of textured shoe insoles on gait, foot sensation and proprioception in people with multiple sclerosis: study protocol for a randomised controlled trial. *Trials*, 17 (208)

Herzenberg, J. E.; Lamm, B. M.; Corwin, C.; Sekel, J. (2007). Isolated recession of the gastrocnemius muscle: the Baumann procedure. *Foot Ankle Int*. 28(11). 1154-1159

- Hettfleisch, J. (2011). Zur medizinischen Notwendigkeit „propriozeptiver“ Schuheinlagen und anderer Behandlungsmaßnahmen des kindlichen Knick-Senk-Fußes aus der Sicht des Medizinischen Sachverständigen. *Fuß und Sprunggelenk*, 9(2), 72-78
- Hylton, N. (1989). Postural and functional impact of dynamic AFOs and Fos in a pediatric population. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 2(1), 40-43
- Jagadamma, K. C.; Coutts, F. J.; Mercer, T. H.; Herman, J.; Yirrell, J.; Forbes, L.; van der Linden, M. L. (2015). Optimising the effects of rigid ankle foot orthoses on the gait of children with cerebral palsy (CP) - an exploratory trial. *Disabil Rehabil.* 10(6). 445-451
- Kalen, V.; Adler, N.; Bleck, E. E. (1986). Electromyography of idiopathic toe walking. *J Pediatr Orthop.* 6(1). 31-33
- Kavounoudias, A., Roll, R., Roll, J. P. (2001). Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol*, 532(3), 869-878
- Kimmich, N. (2006). Die Bedeutung sensomotorischer Effekte in der Einlagenversorgung bei Läufern. Med. Diss., Universität Freiburg i. Br.
- Kornbrust, A. (2001). Zehengang bei Kindern - Häufigkeit, Ursachen und Behandlung mit propriozeptiven Einlagen. Med. Diss., Universität Gießen
- Kreienbrock, L.; Ahrens, W.; Pigeot, I. (2011). *Epidemiologische Methoden*. 5. Aufl. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg
- Krosta, N. et al. o.T., <http://www.dartfish-bewegungsanalyse.de/>,o.J.
- Lee, S. J.; Sung, I. Y.; Jang, D. H.; Yi, J. H.; Lee, J. H.; Ryu, J. S. (2011). The effect and complication of botulinum toxin type a injection with serial casting for the treatment of spastic equinus foot. *Annals of rehabilitation medicine.* 35(3)

- Leppänen, M., Aaltonen, S., Parkkari, J., Heinonen, A., Kujala, U.M. (2014). Interventions to prevent sports related injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Sports Med*, 44(4), 473–486
- Ludwig O., Quadflieg R., Koch M. (2013). Einfluss einer sensomotorischen Einlage auf die Aktivität des M. peroneus longus in der Standphase. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 64(3), 77-82
- Menold, N., Bogner, K. (2014). Gestaltung von Ratingskalen in Fragebögen. Mannheim, GESIS – Leibniz Institut für Sozialwissenschaften (SDM Survey Guidelines)
- Müller-Gliemann, C., Drerup, B., Osada, N., Wetz, H. H. (2006). Der Einfluss neurologischer Einlagen nach Bourdiol auf die Rumpfhaltung. *Orthopade*, 35(11), 1131-1136
- Nagel, A. (2005). Wirkungsweise und Wirksamkeit von Einlagen. *Orthopädieschuhtechnik*, 11/05, 16-19
- Nurse, M. A., Nigg, B. M. (2001). The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 16(9), 719-27
- Ohlendorf, D., Natrup, J., Niklas, A., Kopp, S. (2008). Veränderung der Körperhaltung durch haltungsverbessernde, sensomotorische, Einlegesohlen. *Manuelle Medizin*, 46(2), 93-98
- Papariello, S. G.; Skinner, S. R. (1985). Dynamic electromyography analysis of habitual toe-walkers. *J Pediatr Orthop*. 5(2). 171-175
- Park, S-S.; Lee, H. S.; Han, S-H.; Park, J-W.; de Peralta, M. J. (2012). Gastrosoleus fascial release for correction of equinus deformity in residual or relapsed clubfoot. *Foot Ankle Int*. 33(12). 1075-1078
- Perry, J. (2003). Ganganalyse. Norm und Pathologie des Gehens. Urban & Fischer. München, Jena

- Pfaff, G. (2007). Die neurophysiologischen Grundlagen der sensomotorischen Einlagenverordnung. Sonderdruck aus Orthopädie Schuhtechnik
- Pomarino, D.; Veelken, N.; Martin, S. (2012). Der habituelle Zehenspitzen gang. Diagnostik, Klassifikation, Therapie. Schattauer GmbH. Stuttgart
- Poppenburg, D. (2006). Vergleichende Ganguntersuchung an Kindern mit infantiler Zerebralparese zur Bewertung afferenzverstärkender Einlagen: Eine klinisch-experimentelle Untersuchung. Med. Diss., Universität Münster
- Qui, F., Cole, M.H., Davids, K.W., Hennig, E.M., Silburn, P.A., Netscher, H., Kerr, G.K. (2013). Effects of textured insoles on balance in people with Parkinson's disease. PLoS One, 8(12)
- Radtko, S. A.; Skinner, S. R.; Dixon, D. M.; Johanson, M. E. (1997). A comparison of gait with solid, dynamic, and no ankle-foot orthoses in children with spastic cerebral palsy. Phys Ther. 77(4). 395-409
- Ravens-Sieberer, U.; Bettge, S.; Erhart, M. (2003). Lebensqualität von Kindern und Jugendlichen - Ergebnisse aus der Pilotphase des Kinder- und Jugendgesundheits surveys. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz. 46(4). 340-345
- Ravens-Sieberer, U.; Ellert, U.; Erhart, M. (2007). Gesundheitsbezogene Lebensqualität von Kindern und Jugendlichen in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz. 50(5). 810-818
- Roll, R., Kavounoudias, A., Roll, J.P. (2002). Cutaneous afferents from human plantar sole contribute to body posture awareness. Neuroreport, 13(15), 1957-1961
- Rose, J.; Martin, J. G.; Torburn, L.; Rinsky, L. A.; Gamble, J. G. (1999). Electromyographic differentiation of diplegic cerebral palsy from idiopathic toe walking: involuntary coactivation of the quadriceps and gastrocnemius. J Pediatr Orthop. 19(5). 677-682

Sanchez, K., Eloumri, A., Rannou, F., Poiraudau, S. (2010). Nonpharmacological and nonsurgical therapies for osteoarthritis: orthosis, exercises. *Presse Med*, 39(11), 1172–1179

Sättilä H.; Beilmann<sup>4</sup>, A.; Olsén P.; Helander H.; Eskelinen M.; Huhtala h. (2016). Does Botulinum Toxin A Treatment Enhance the Walking Pattern in Idiopathic Toe-Walking? *Neuropediatrics*, 47(3), 162-168

Schlatter, L. (2003). Entwicklung und Anwendung eines Health-related quality-of-life-Fragebogens bei Kindern mit Cochlea-Implantat in Zürich. *HNO*. 48(9).675-683

Schotte, M., Kensley, B.F., Schotte, M. (1935). Fußbeschwerden und ihre Behandlung. Maudrich, Wien

Schünke, M.; Schulte, E.; Schumacher, U. (2011). Prometheus. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 3. Aufl. Thieme. Stuttgart

Shulman, L.H.; Sala, D.A.; Chu, M.L.; McCaul, P.R.; Sandler, B.J. (1997). Developmental implications of idiopathic toe walking. *J Pediatr.*, 130(4), 541-546

Sobel, E.; Caselli, M. A.; Velez, Z. (1997). Effect of persistent toe walking on ankle equinus. Analysis of 60 idiopathic toe walkers. *J Am Podiatr Med Assoc*. 87(1). 17-22

Svehlík, M.; Kraus, T.; Steinwender, G.; Zwick, E. B.; Saraph, V.; Linhart, W. E. (2012). The Baumann procedure to correct equinus gait in children with diplegic cerebral palsy: long-term results. *J Bone Joint Surg Br*. 94(8). 1143-1147

Vasiliadis, Elias; Grivas, Theodoros B.; Gkoltsiou, Konstantina. (2006). Development and preliminary validation of Brace Questionnaire (BrQ): a new instrument for measuring quality of life of brace treated scoliotics. *Scoliosis and Spinal Disorders*. 1(7).

Westberry, D. E.; Davids, J. R.; Davis, R. B.; de Morais Filho, M. C. (2008). Idiopathic toe walking: a kinematic and kinetic profile. *J Pediatr Orthop*. 28(3). 352-358

Will, M.; Häußler, M.; Straßburg, H.M.; Naumann, M. (2002).Einfache videogestützte Ganganalyse beim spastischen Spitzfuß. *Monatsschr Kinderheilkd.* 150(3). 316-323

Williams, C. M.; Tinley, P.; Curtin, M. (2010). The toe walking tool: a novel method for assessing idiopathic toe walking children. *Gait Posture.* 32(4). 508-5011

Williams, C.M.; Tinley, P.; Curtin, M.; Wakefield, S.; Nielsen, S. (2014). Is idiopathic toe walking really idiopathic? The motor skills and sensory processing abilities associated with idiopathic toe walking gait. *J Child Neurol.*, 29(1), 71-80

## 7. Danksagung

Diese Arbeit entstand an der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin I, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel (Direktor: Univ.-Prof. Dr. M. Schrappe). Für das Gelingen dieser Arbeit möchte ich mich bei folgenden Personen bedanken:

**Uni.-Prof. Dr. Paul-Martin Holterhus**, für das Überlassen des Themas dieser Arbeit und die stets freundliche und zuverlässige Unterstützung mit viel Engagement. *Sie haben mir geholfen viel über das wissenschaftliche Arbeiten zu lernen und mich durchgehend ermutigt und motiviert, vielen Dank dafür.*

**Dr. Gert Wiegand**, für die gute Betreuung und die kontinuierliche Unterstützung bei dieser Arbeit. *Du hast dir für die Beantwortung meiner Fragen und Klärung von Unklarheiten stets Zeit genommen und mich durch dein Interesse an der Thematik häufig motiviert, vielen Dank für alles.*

**Dr. Christian Schlenstedt**, für die hilfreiche Unterstützung bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Motoriklabor-Messungen.

**Dr. Christine Otto-Morris**, für die gute Zusammenarbeit bei der Erstellung des Eltern-Fragebogens sowie die stetige Bereitschaft zur Beantwortung meiner Fragen aus dem psychologischen Bereich.

**Frau Anne Dütschke**, für die tatkräftige Unterstützung bei der Erstellung des Ärzte-Fragebogens.

**Arbeitsgruppe MBI, insbesondere Herr Arnd vor dem Brocke, Herr Matthias Wanstrath, Herr Efthimios Stoimenou, Herr Jürgen Holterhus**, für die Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung der Videoaufnahmen und Elternbefragungen sowie für die Bereitstellung der dafür benötigten Materialien.

**Herr Norbert Krosta**, für die Bereitstellung des Bewegungsanalyseprogramms *Dartfish* für die Zeit der Datenauswertung.

**Meiner Familie und meinem Freund**, für das geduldige Zuhören und die konstruktiven Gespräche über die Thematik. Vielen Dank, dass ihr immer für mich da seid.



## 8. Publikation

Abstract zum Vortrag bei der 65. Jahrestagung der NDGKJ 2016 am 12.03.2016 in Hildesheim

### **Einfluss funktionsbasierter (sensomotorischer) Einlagen auf den habituellen Spitzfußgang bei Kindern**

*D. Warrelmann (1,2), C. Schlenstedt (3), A. von dem Brocke (4), J. Holterhus (4), C. Otto-Morris (5), U. Stephani (2), P.-M. Holterhus (1), G. Wiegand (2)*

*(1) Klinik für Allgemeine Pädiatrie, UKSH, Campus Kiel*

*(2) Klinik für Neuropädiatrie, UKSH, Campus Kiel*

*(3) Klinik für Neurologie, UKSH, Campus Kiel*

*(4) Orthopädie Holterhus, Quakenbrück*

*(5) Zentrum für integrative Psychiatrie, UKSH, Campus Kiel*

**Einleitung:** Der habituelle Spitzfußgang tritt im Kindesalter mit einer Prävalenz von bis zu 15% auf. Oft wird eine Therapieindikation gesehen, da ein Andauern dieser Gangabweichung zu Muskelverkürzungen oder Fehlhaltungen führen kann. Als Therapiemöglichkeiten kommen operative, interventionelle sowie konservative Methoden zum Einsatz. Gegenstand unserer Studie ist die Überprüfung der Wirksamkeit funktionsbasierter, nicht primär passiv bettender, sog. „sensomotorischer“ Einlagen auf den habituellen Spitzfußgang bei Kindern.

**Methodik:** 17 Patienten (5 weiblich, Alter 2-12 Jahre) mit neuropädiatrisch diagnostiziertem habituellem Spitzfußgang und nach vorheriger 3 monatiger Physiotherapie ohne erkennbare Befundbesserung nahmen an der Studie teil. Folgende Instrumente wurden jeweils zu drei Zeitpunkten (Baseline, 3 und 6 Monate) eingesetzt: 1. Erfassung der empfundenen Spitzfußbezogenen Belastung mittels Fragebogen (Eltern), 2. Ermittlung der Gelenkbeweglichkeit im oberen Sprunggelenk mittels Fragebogen (Ärzte), 3. Kinematische Analyse des Gangbildes zur systematischen Messung des Ferse-Boden-Abstandes des Standbeines während der „Mid-Stance“-Phase, videobasiert mithilfe des Analyseprogramms ‚Dartfish‘. Individualisierte Einlagenherstellung nach neuropädiatrischem Befund.

**Ergebnisse:** Das Belastungsausmaß für die Eltern nahm in allen diesbezüglich gestellten Fragen ab. Die maximale passive Dorsalextension im oberen Sprunggelenk (Goniometer) nahm von 11,9° (Mittelwert (MW)) (Standardabweichung (SD) 10,2°) auf 19,3° (MW) (SD 8,4°) nach 6 Monaten signifikant ( $p < 0,01$ ) zu. Der Fersen-Boden-Kontakt war während ärztlicher Beobachtung initial nur bei 2 von 17 Kindern (11,8%), nach 6 Monaten bei 8 von 13 Kindern (61,5%) vorhanden. Die Abnahme des Fersen-Boden-Abstandes war nicht signifikant ( $p = 0,101$ ; baseline: 6,0 cm (1,1); 6 Monate: 5,4 cm (1,3); MW (SD)).

**Schlussfolgerungen:** Unsere Studie liefert deutliche Hinweise, dass primär funktionsbasierte, „sensomotorische“ Einlagen bei der Behandlung des habituellen Spitzfußgangs klinisch effektiv sind. Sie könnten auch in der Versorgung nicht-habituellder Formen des Spitzfußgangs bei neuropädiatrischen Grunderkrankungen, z.B. Spastik, eine niedrigschwellige (kostengünstige) Alternative sein. Unsere Pilotergebnisse sollten Anlass für kontrollierte Studien zur funktionsbasierten Einlagenversorgung bei Kindern über einen längeren Zeitraum geben.

## 9. Anhang

Ethikantrag	a
Aufklärung Eltern	b
Einverständniserklärung zur Studienteilnahme	d
Fragebögen	e
Messprotokoll Motoriklabor	i
Eltern-FB Ergebnisse Frage 2-5	j
Ärzte FB Ergebnisse Frage 5	n



Universität Kiel - Center für Ethik - Schwarzenweg 20 - 24105 Kiel

Prof. Dr. med. P.-M. Holterhus  
Pädiatrische Endokrinologie & Diabetologie  
UKSH, Campus Kiel  
Klinik für Neuropädiatrie, Haus 9  
Schwanenweg 20  
24105 Kiel

Postadresse:  
Arnold-Heller-Straße 3 / Haus 9  
D-24105 Kiel

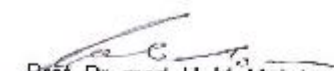
Telefon: 0431 / 597-18 00  
Telefax: 0431 / 597-43 33

Datum: 22.10.2012

AZ.: D 479/12 (bitte stets angeben)  
Studienplan: **Sensomotorik, geplante Studie, Entwicklung eines Fragebogens, Ankündigung einer telefonischen Befragung**  
Antragsteller: **Prof. Dr. med. P.-M. Holterhus, Pädiatrische Endokrinologie und Diabetologie, UKSH, Campus Kiel**  
Schreiben vom: **16.10.2012 (Eingang 19.10.2012)**

Sehr geehrter Herr Kollege Holterhus,  
vielen Dank für Ihren obengenannten Antrag zur Beratung gemäß § 15 Berufsordnung (BO) der Ärztekammer Schleswig-Holstein. Nach Durchsicht der Unterlagen durch die Geschäftsstelle und durch mich als Vorsitzenden der Ethik-Kommission bestehen gegen die Durchführung des Projektes keine berufsethischen und berufsrechtlichen Bedenken.

Mit freundlichen kollegialen Grüßen

  
Prof. Dr. med. H. M. Mehdorn  
Vorsitzender der Ethik-Kommission

  
Dr. med. Christine Glinicke  
Geschäftsführung der Ethik-Kommission

## Elterninformation

### **Wirksamkeit von sensomotorischen Einlagen auf den habituellen Spitzfußgang bei Kindern**

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr,

hiermit möchten wir Sie fragen, ob Sie und ihr Kind bereit sind, an einer klinischen Studie teilzunehmen.

Klinische Studien sind notwendig, um Erkenntnisse über die Wirksamkeit von medizinischen Hilfsmitteln, wie z.B. Einlagen, zu gewinnen oder zu erweitern.

Die klinische Prüfung, die wir Ihnen hier vorstellen, wurde von der zuständigen Ethikkommission genehmigt. Die Studie wird im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel durchgeführt, es sollen insgesamt ungefähr 30 Personen daran teilnehmen.

Selbstverständlich ist ihre Teilnahme an dieser klinischen Prüfung freiwillig. Sie werden eine schriftliche Einwilligungserklärung von uns erhalten sofern bei Ihnen Interesse besteht an der Studie teilzunehmen. Sollten Sie sich dagegen entscheiden erwachsen Ihnen daraus keine Nachteile. Im nachfolgenden Text werden Ihnen die Ziele und der Ablauf der Studie erläutert.

Während sich das Konzept von konventionellen Einlagen auf eine passive Korrektur und eine statische Stützung der Füße bezieht, hauptsächlich mit dem Ziel Schmerzen zu lindern, zielt die Idee der sensomotorischen Einlagen darauf ab, mit seinem individuell angefertigten Relief, bestimmte Muskeln zu aktivieren oder deaktivieren. Dadurch werden neue Bewegungsmuster im Körper gespeichert, sodass eine Verbesserung des Gangbildes die Folge ist. Erfahrungen haben gezeigt, dass dieses Wirkprinzip funktioniert: Viele Kinder mit Zehenspitzenengang setzen bereits nach kurzer Tragedauer der Einlagen die Ferse auf. Die von uns geplante Studie dient im Wesentlichen der wissenschaftlichen Bestätigung dieser Erfahrungen.

Jedes Kind, das an der Studie teilnimmt, erhält individuell angefertigte Einlagen. Im Rahmen der klinischen Studie wird untersucht und gemessen, wie sich das Gangbild sofort nach Einsetzen der Einlagen sowie nach drei und sechs Monaten ändert. Dafür findet eine ärztliche Untersuchung bei Aufnahme in die Studie statt, weitere folgen nach drei und sechs Monaten. Zu diesen drei Zeitpunkten werden auch die betreuenden Physiotherapeuten ihres Kindes gebeten einen von uns angefertigten Fragebogen auszufüllen, indem u.a. das Gangbild, die Gelenkbeweglichkeit und das Gleichgewichtsvermögen ihres Kindes beurteilt wird. Da es in der Studie auch darum gehen soll, welche Auswirkungen der

Zehenspitzenengang ihres Kindes auf ihren Alltag hat, bitten wir auch Sie jeweils zu Beginn, nach drei und nach sechs Monaten einen kurzen Fragebogen auszufüllen.

Um die Änderungen im Gangbild durch die Einlage messbar zu machen, werden vom Gang ihres Kindes, ebenfalls zu den drei genannten Zeitpunkten, Videoaufzeichnungen gemacht. Dabei sollen sowohl mit Einlagen als auch ohne Aufzeichnungen gemacht werden. Wir werden dann im Nachhinein Messungen in diesen Aufnahmen durchführen, die uns z.B. Daten über den Fersenbodenabstand während des Gehens liefern. Die Videoaufnahmen sollen außerdem von unabhängigen Physiotherapeuten beurteilt werden, die ihr Kind nicht kennen und die nicht wissen, ob ihr Kind in dem jeweiligen Video die Einlagen trägt oder nicht. Dadurch erhalten wir objektive Daten zur Gangbildsituation ihres Kindes.

Die Ergebnisse dieser Studie können möglicherweise dazu führen, dass vielen Kindern und deren Eltern eine kostspielige, strapaziöse operative Therapie erspart bleibt, welche bisher nicht selten beim Zehenspitzenengang zum Einsatz kommt.

Ihre Daten werden während der gesamten Studie vertraulich behandelt. Sobald es möglich ist, das heißt, sobald die Beurteilungen der Physiotherapeuten, Ärzte und die Videomessungen einander zugeordnet wurden, werden die Daten pseudonymisiert, es wird also anstelle des Namens ein Nummern- bzw. Buchstabencode verwendet, evtl. mit Angabe des Geburtstages.

Ihrerseits auftretende Fragen werden wir gerne beantworten. Melden Sie sich hierbei bitte an Frau Warrelmann ([d.warrelmann@web.de](mailto:d.warrelmann@web.de)).

Zusatz für Eltern, deren Kind einen Spitzfußgang aufgrund einer Zerebralparese hat:

Gerne möchten wir, dass auch ihr Kind an der Studie teilnimmt. Der Ablauf der Studie wird genau der gleiche sein, wie oben beschrieben. Wir erhoffen uns zum einen, durch den Einschluss einer weiteren Patientengruppe, mehr Teilnehmer für die Studie zu finden, sodass unsere Ergebnisse aussagekräftiger sind. Zum anderen ist es für uns interessant zu sehen, ob sich Unterschiede in der Einlagenwirkung zeigen, zwischen Kindern mit habituellem Spitzfußgang und Kindern, deren Spitzfußgang durch eine Zerebralparese begründet ist.



Klinik für Neuropädiatrie, UNIVERSITÄTSKLINIKUM Schleswig-Holstein,  
Campus Kiel, Arnold-Heffer-Str. 3 · Haus 9, 24105 Kiel

UNIVERSITÄTSKLINIKUM  
Schleswig-Holstein  
Campus Kiel



Klinik für Neuropädiatrie, Haus 9

Besucheradresse: Schwanenweg 20

Direktor: Prof. Dr. med. U. Stephani

	Tel:	Fax:
Sekretariat des Direktors:	0431 / 597-1761 (-1769)	
Kinderklinik-Pforte:	0431 / 597-1622 (-1831)	
Terminvergabe:	0431 / 597-1653 (-1831)	
Neuropädiatrische Station:	0431 / 597-1765 (-5094)	
Anfallsambulanz / EEG:	0431 / 597-1768 (-1769)	
Neuropädiatrische Ambulanz:	0431 / 597-1652 (-1769)	

Internet: [www.uk-s-h.de](http://www.uk-s-h.de) sekretariat@pedneuro.uni-kiel.de

## Einverständniserklärung

**Titel der Studie:** „Die Wirkung von sensomotorischen Einlagen auf den habituellen Spitzfußgang bei Kindern“

**Vor- und Nachname der Patientin/des Patienten:**

Ich bin ausreichend in mündlicher und schriftlicher Form über die Ziele und Methoden, die möglichen Risiken und Nutzen der Studie informiert worden. Ich habe die Elterninformation gelesen und den Inhalt verstanden.

Ich hatte ausreichend Gelegenheit, die Studie mit dem Arzt zu besprechen und Fragen zu stellen. Alle meine Fragen und Bedenken wurden zu meiner Zufriedenheit beantwortet.

Ich weiß, dass die Studie und die Teilnahme meines Kindes freiwillig ist und dass ich jederzeit ohne Angabe von Gründen meine Zusage zur Teilnahme zurückziehen kann und daraus für die weitere Behandlung keine Nachteile entstehen.

Ich bin damit einverstanden, dass im Rahmen der Studie die Daten meines Kindes über Alter, Geschlecht, Gewicht und Körpergröße aufgezeichnet und pseudonymisiert (d.h. mit Angabe einer Nummer ohne Namensnennung) zur Auswertung der Ergebnisse verwendet werden. Alle im Rahmen der Studie erhobenen Daten werden strikt vertraulich gemäß dem Datenschutz behandelt.

Einer wissenschaftlichen Auswertung der anonymisierten/pseudonymisierten Daten und einer möglichen Veröffentlichung und zukünftigen Verwendung der Ergebnisse in einem neuen Test bei Kindern und Erwachsenen mit Gangstörung stimme ich zu.

Ich gebe hiermit meine freiwillige Zustimmung zur Teilnahme meines Kindes an dieser Studie. Eine Kopie dieser Einwilligung und eine Kopie der Elterninformationsschrift habe ich erhalten.

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der Mutter/Erziehungsberechtigte

Ort/Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Vaters/Erziehungsberechtigter

Ort/Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der Ärztin/des Arztes

Ort/Datum

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstandsmitglieder:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
Peter Pansegrau  
Christa Meyer

Bankverbindungen:  
Fördesparkasse,  
Kto.-Nr. 100206, BLZ 21050170  
Commerzbank AG Lübeck (vormals Dresdner Bank)  
Kto.-Nr. 300 041 200, BLZ 230 800 40



## Fragebogen an die Eltern

Fragebogen ausgefüllt durch: Mutter  Vater  sonstiges

1. Ich fühle mich wegen des Spitzfußganges meines Kindes belastet.

Ich stimme...

...voll zu  ...oft zu  ...manchmal zu  ...selten zu  ...gar nicht zu

2. Ich erinnere mein Kind täglich daran, dass es seine Ferse aufsetzen soll.

Ich stimme...

...voll zu  ...oft zu  ...manchmal zu  ...selten zu  ...gar nicht zu

3. Es gibt Spannungen innerhalb der Familie aufgrund des Spitzfußganges meines Kindes.

Ich stimme...

...voll zu  ...oft zu  ...manchmal zu  ...selten zu  ...gar nicht zu

4. Ich mache mir Sorgen, dass mein Kind durch den Spitzfußgang eine Fehlhaltung oder andere medizinische Probleme bekommt.

Ich stimme...

...voll zu  ...oft zu  ...manchmal zu  ...selten zu  ...gar nicht zu

5. Ich mache mir Sorgen, dass mein Kind in der Zukunft Schwierigkeiten mit Gleichaltrigen, Lehrern oder Vorgesetzten bekommen könnte (z.B. Mobbing, Probleme in Ausbildung und Beruf).

Ich stimme...

...voll zu  ...oft zu  ...manchmal zu  ...selten zu  ...gar nicht zu

**Vielen Dank für ihre Mühe!**



## Fragebogen an die Ärzte (Studienbeginn)

Die Diagnose des Kindes lautet:

Der Spitzfußgang besteht seit:

War das Kind früher schon einmal einlagenversorgt?

Bestehen Nebenerkrankungen?

Besteht ADHS?

### 1. Gelenkbeweglichkeit und Tonussituation

#### 1.1 Wie ist die Tonussituation des Rumpfes?

hypoton

normoton

hyperton

#### 1.2 Wie ist die Tonussituation der Extremitäten?

hypoton

normoton

hyperton

#### 1.3. Wie ist die Stärke der Muskeleigenreflexe zu beschreiben? (PSR)

abgeschwächt  normal  moderat verstärkt  stark verstärkt

#### 1.4 Wie ist die Dorsalextension und die Plantarflexion des OSG in Rückenlage zu beschreiben?

(bitte nach der 0°Methode eintragen, z.B. DE/NN/PF: 20/0/40°)

a) extendierte Hüfte / extendiertes Knie: links / / rechts / /

b) flektierte Hüfte / flektiertes Knie: links / / rechts / /

### 2. Standbeurteilung

Ferse-Boden-Kontakt vorhanden

nicht vorhanden

### 3. Gangbeurteilung

Ferse-Boden-Kontakt vorhanden

zeitweise

nicht vorhanden

Außenrandbelastung

Innenrandbelastung

Falls unbeobachtete Gangbeurteilung möglich:

Ferse-Boden-Kontakt vorhanden

zeitweise

nicht vorhanden

### 4. Gleichgewicht

a) monopolarer Stand:

nicht möglich

kurzfristig möglich  Sekundenangabe:

langfristig möglich

b) monopolares Hüpfen

nicht möglich

kurzfristig möglich  Sekundenangabe:

langfristig möglich

c) Seiltänzerengang

nicht möglich

mit Seitwärtsschritt

ohne Seitwärtsschritt

mit Ferse-Zehen-Kontakt

ohne Ferse-Zehen-Kont.

**Vielen Dank für ihre Mühe!**

## Fragebogen an die Ärzte

Die Diagnose des Kindes lautet:

Datum:

Kontrolle nach \_\_\_ Monaten

### 1. Gelenkbeweglichkeit und Tonussituation

#### 1.1 Wie ist die Tonussituation des Rumpfes?

ohne Einlagen	mit Einlagen
hypoton <input type="radio"/>	hypoton <input type="radio"/>
normoton <input type="radio"/>	normoton <input type="radio"/>
hyperton <input type="radio"/>	hyperton <input type="radio"/>

#### 1.2 Wie ist die Tonussituation der Extremitäten?

ohne Einlagen	mit Einlagen
hypoton <input type="radio"/>	hypoton <input type="radio"/>
normoton <input type="radio"/>	normoton <input type="radio"/>
hyperton <input type="radio"/>	hyperton <input type="radio"/>

#### 1.3. Wie ist die Stärke der Muskeleigenreflexe zu beschreiben? (PSR)

abgeschwächt       normal       moderat verstärkt       stark verstärkt

#### 1.4 Wie ist die Dorsalextension und die Plantarflexion des OSG in Rückenlage zu beschreiben?

(bitte nach der 0°Methode eintragen, z.B. DE/NN/PF: 20/0/40°)

- a)      extendierte Hüfte / extendiertes Knie: links / / rechts / /  
b)      flektierte Hüfte / flektiertes Knie: links / / rechts / /

### 2. Standbeurteilung

ohne Einlagen	mit Einlagen
Ferse-Boden-Kontakt vorhanden <input type="radio"/>	Ferse-Boden-Kontakt vorhanden <input type="radio"/>
zeitweise <input type="radio"/>	zeitweise <input type="radio"/>
nicht vorhanden <input type="radio"/>	nicht vorhanden <input type="radio"/>

### 3. Gangbeurteilung

Abrollphase (im beobachteten Gang):

ohne Einlagen	mit Einlagen
Ferse-Boden-Kontakt vorhanden <input type="radio"/>	Ferse-Boden-Kontakt vorhanden <input type="radio"/>
zeitweise <input type="radio"/>	zeitweise <input type="radio"/>
nicht vorhanden <input type="radio"/>	nicht vorhanden <input type="radio"/>
Außenrandbelastung <input type="radio"/>	Außenrandbelastung <input type="radio"/>
Innenrandbelastung <input type="radio"/>	Innenrandbelastung <input type="radio"/>

Falls unbeobachtete Gangbeurteilung möglich:

ohne Einlagen	mit Einlagen
Ferse-Boden-Kontakt vorhanden <input type="radio"/>	Ferse-Boden-Kontakt vorhanden <input type="radio"/>
zeitweise <input type="radio"/>	zeitweise <input type="radio"/>
nicht vorhanden <input type="radio"/>	nicht vorhanden <input type="radio"/>

#### 4. Gleichgewicht

ohne Einlagen	mit Einlagen
<b>1. monopolarer Stand:</b>	<b>4. monopolarer Stand:</b>
nicht möglich <input type="radio"/>	nicht möglich <input type="radio"/>
kurzfristig möglich <input type="radio"/> Sekundenangabe:	kurzfristig möglich <input type="radio"/> Sekundenangabe:
langfristig möglich <input type="radio"/>	langfristig möglich <input type="radio"/>
<b>2. monopolares Hüpfen</b>	<b>5. monopolares Hüpfen</b>
nicht möglich <input type="radio"/>	nicht möglich <input type="radio"/>
kurzfristig möglich <input type="radio"/> Sekundenangabe:	kurzfristig möglich <input type="radio"/> Sekundenangabe:
langfristig möglich <input type="radio"/>	langfristig möglich <input type="radio"/>
<b>3. Seiltänzerengang</b>	<b>6. Seiltänzerengang</b>
nicht möglich <input type="radio"/>	nicht möglich <input type="radio"/>
mit Seitwärtsschritt <input type="radio"/>	mit Seitwärtsschritt <input type="radio"/>
ohne Seitwärtsschritt <input type="radio"/>	ohne Seitwärtsschritt <input type="radio"/>
mit Ferse-Zehen-Kontakt <input type="radio"/>	mit Ferse-Zehen-Kontakt <input type="radio"/>
ohne Ferse-Zehen-Kont. <input type="radio"/>	ohne Ferse-Zehen-Kont. <input type="radio"/>

#### 5. Entwicklung nach 3 bzw. 6 Monaten

ohne Einlagen	mit Einlagen
- Tonussituation	- Tonussituation
verbessert <input type="radio"/>	verbessert <input type="radio"/>
gleich geblieben <input type="radio"/>	gleich geblieben <input type="radio"/>
verschlechtert <input type="radio"/>	verschlechtert <input type="radio"/>
- Abrollphase	- Abrollphase
verbessert <input type="radio"/>	verbessert <input type="radio"/>
gleich geblieben <input type="radio"/>	gleich geblieben <input type="radio"/>
verschlechtert <input type="radio"/>	verschlechtert <input type="radio"/>
- Fersenkontakt	- Fersenkontakt
verbessert <input type="radio"/>	verbessert <input type="radio"/>
gleich geblieben <input type="radio"/>	gleich geblieben <input type="radio"/>
verschlechtert <input type="radio"/>	verschlechtert <input type="radio"/>
- Gleichgewicht	- Gleichgewicht
verbessert <input type="radio"/>	verbessert <input type="radio"/>
gleich geblieben <input type="radio"/>	gleich geblieben <input type="radio"/>
verschlechtert <input type="radio"/>	verschlechtert <input type="radio"/>

Vielen Dank für ihre Mühe!

## Protokoll

Datum:

Uhrzeit:

Name des Probanden/der Probandin:

Schuhmodell:

### Ermittlung der Ganggeschwindigkeit

#### 1. mit Einlagen


Mittelwert:

--

5/Mittelwert =

Geschw.:

--

#### 2. ohne Einlagen


--

5/Mittelwert =

--

**Laufbandanalyse** – hierbei wird die Probandin/ der Proband während der gesamten Messzeit durch Zähl- bzw. Rechenaufgaben (je nach Alter) abgelenkt

#### 3. Referenzmessung

Laufband-  
Geschw.:

5.
----

\_\_\_\_\_ Sekunden gemessen

4.

--

\_\_\_\_\_ Sekunden gemessen

Bemerkungen:

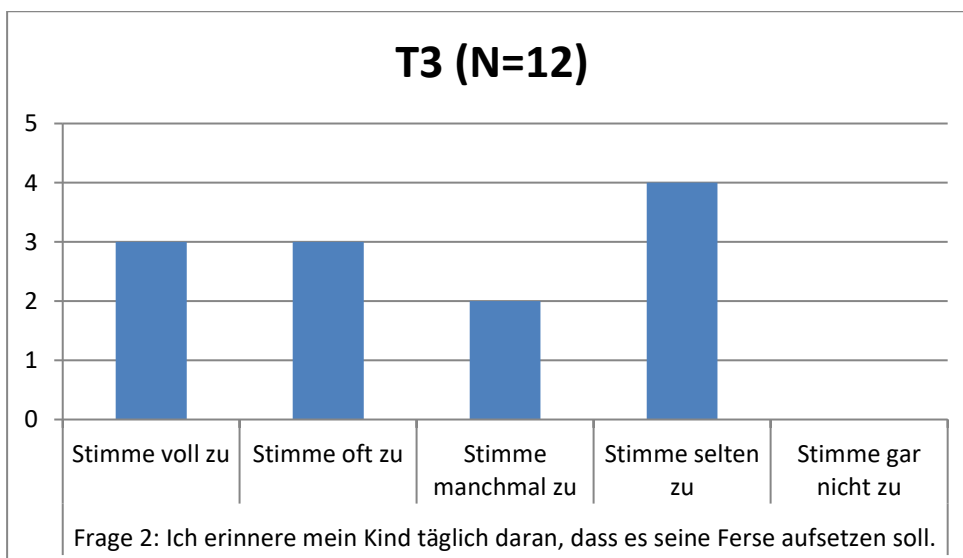
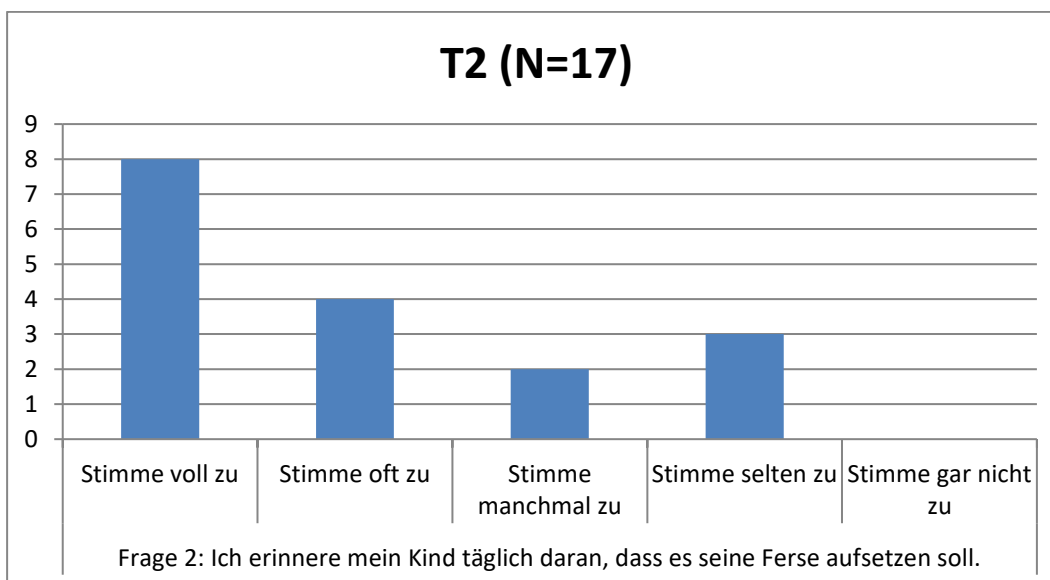
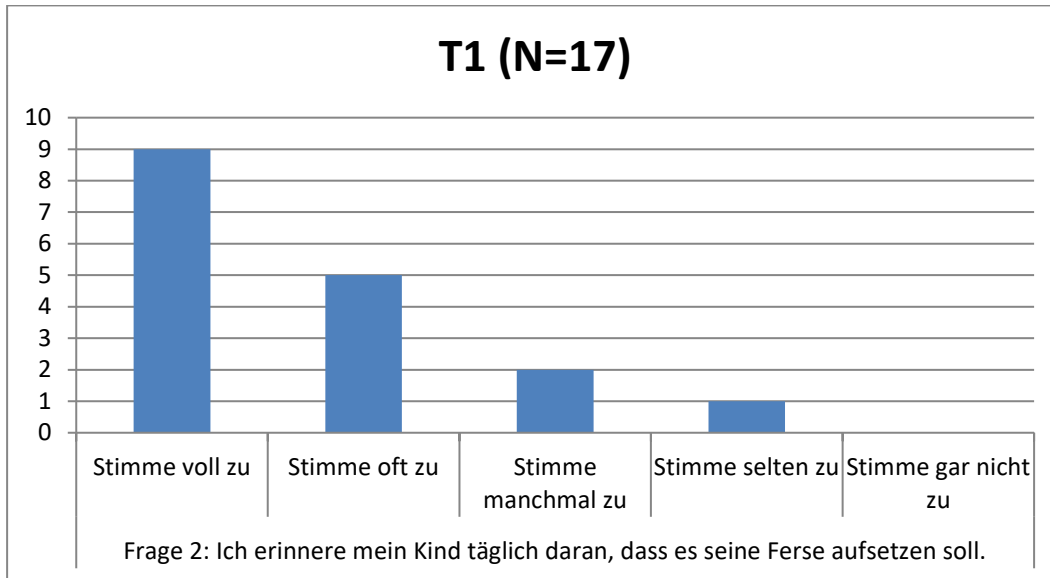
#### 6. Markerplatzierung (Koordinaten)

Calcaneus

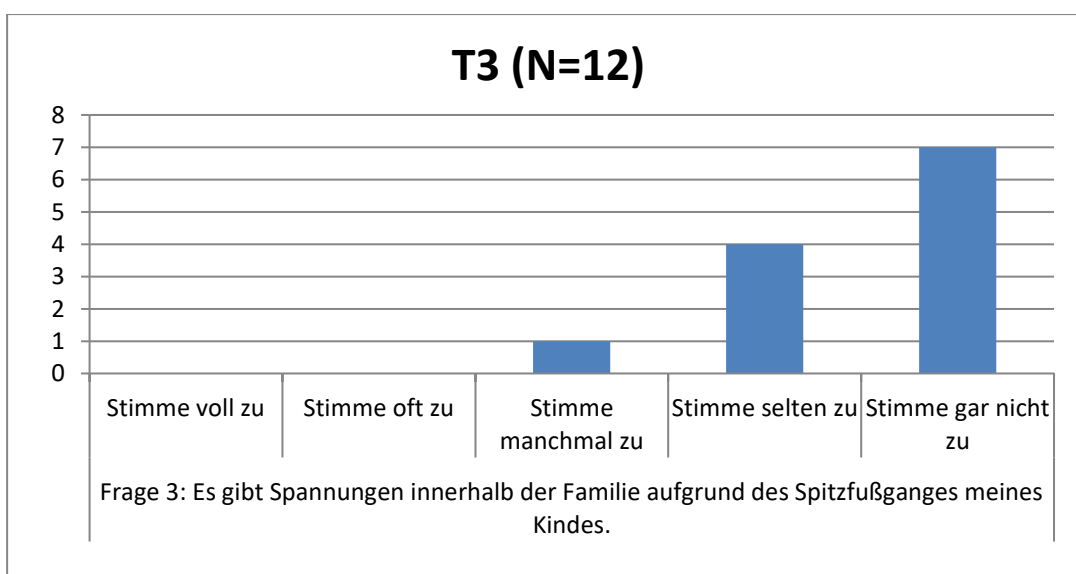
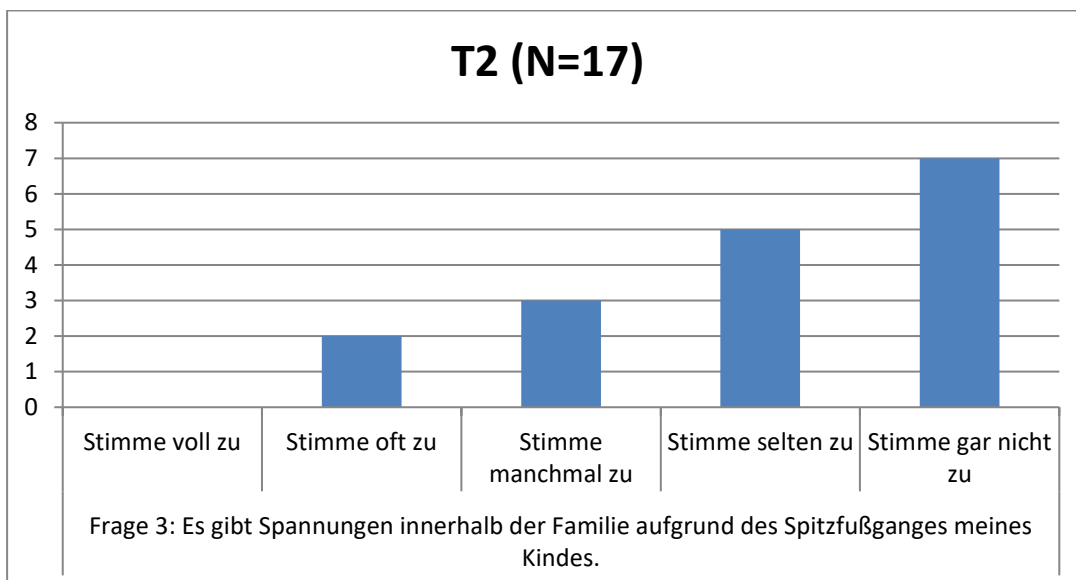
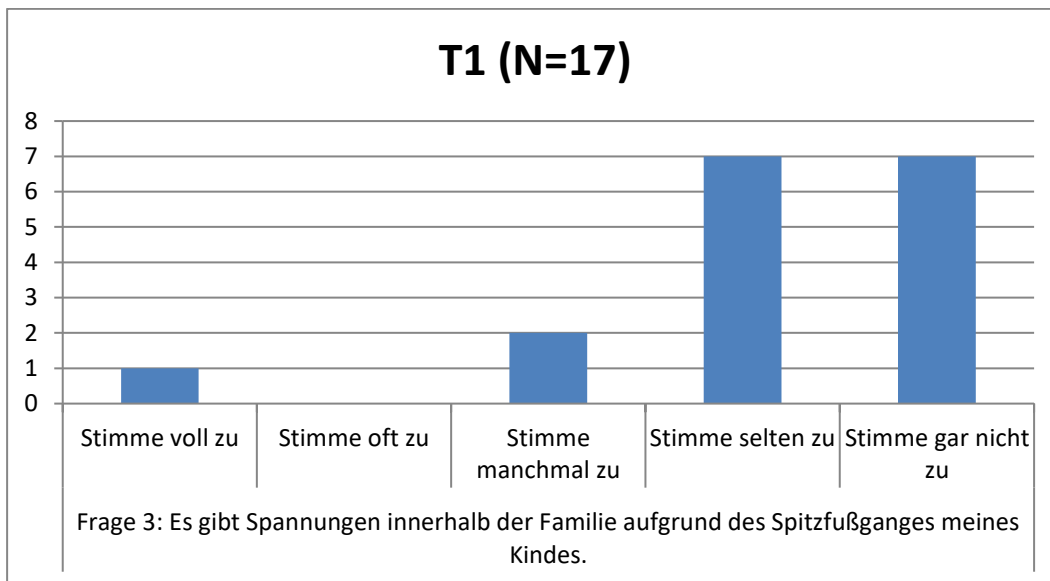
Rechts \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

Links \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

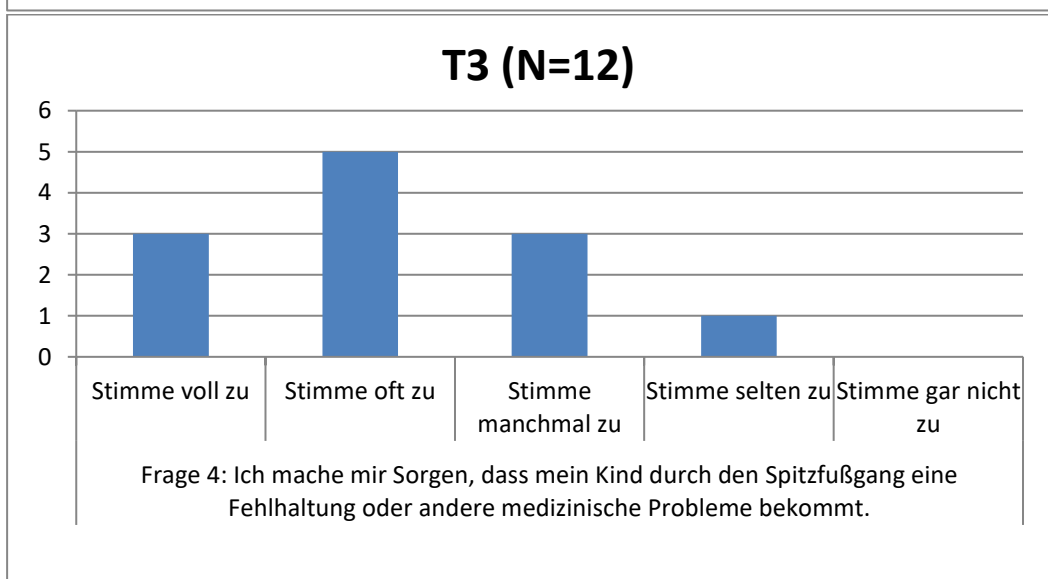
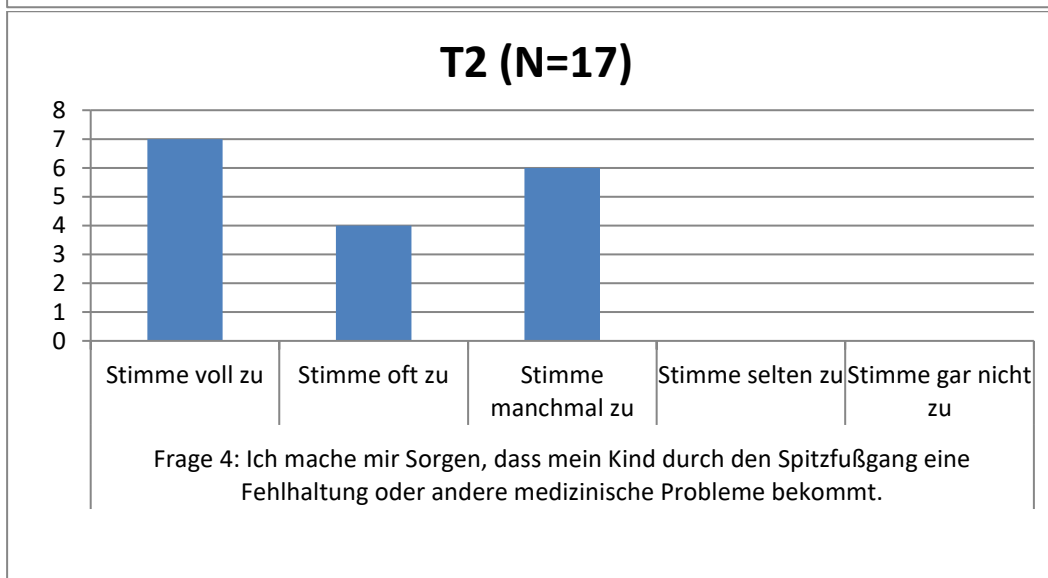
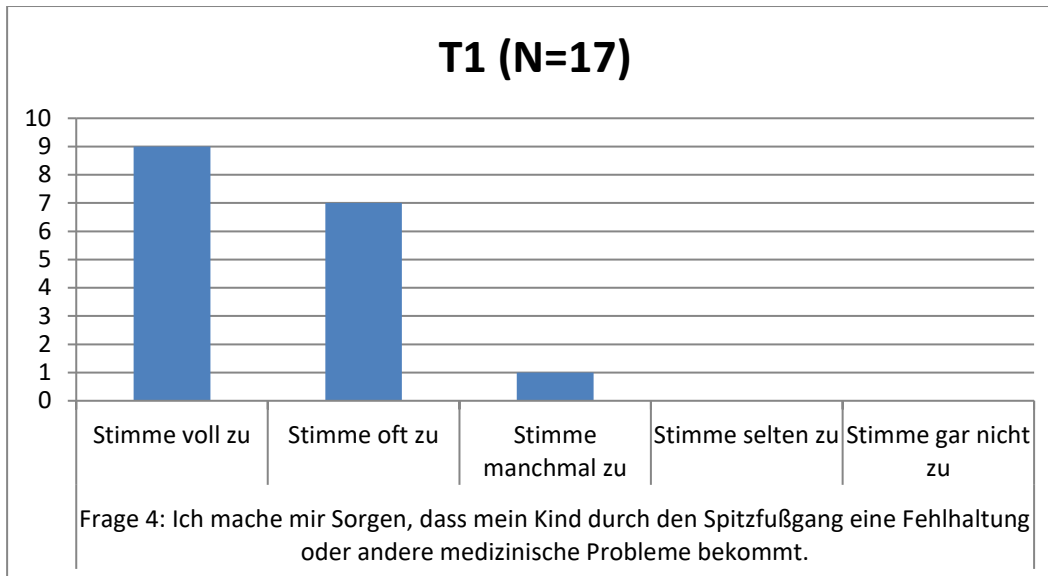
Elternfragebogen – Ergebnisse Frage 2



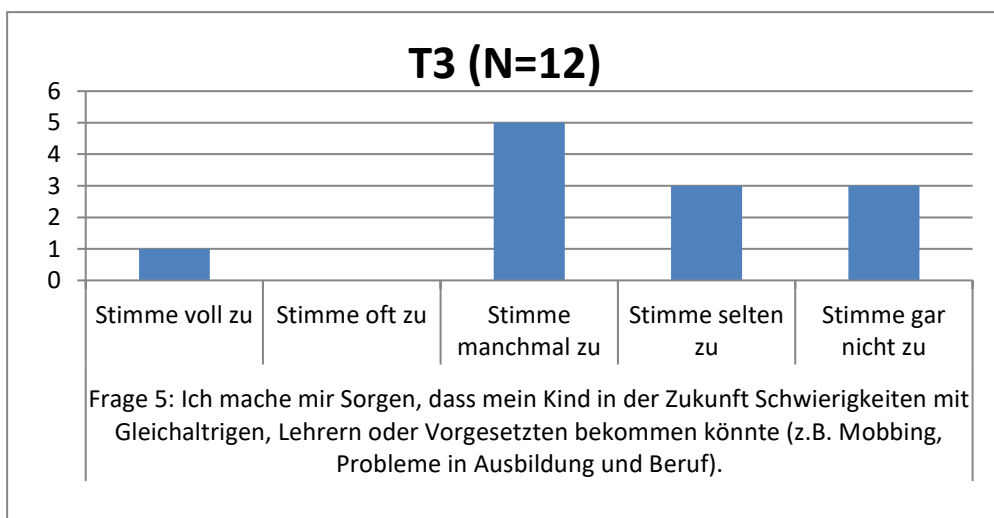
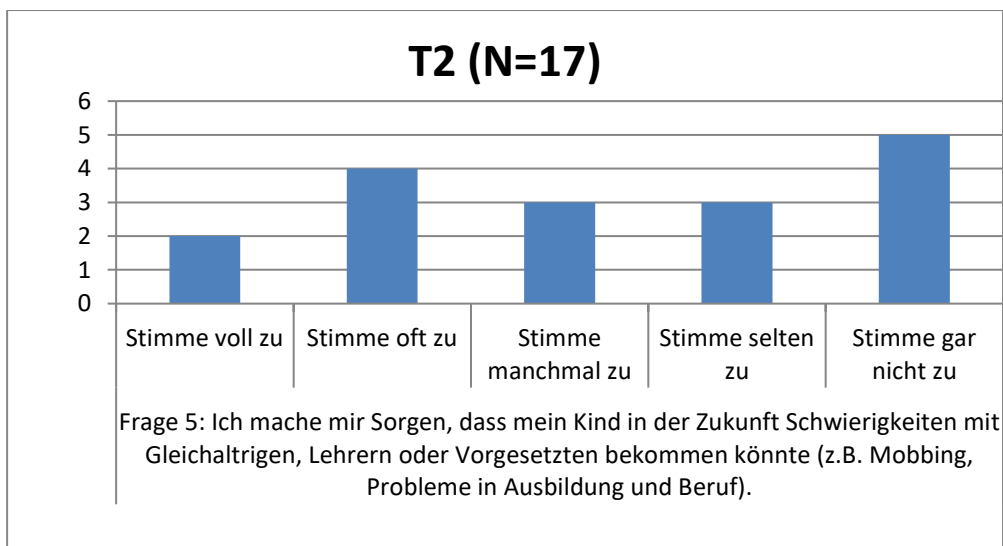
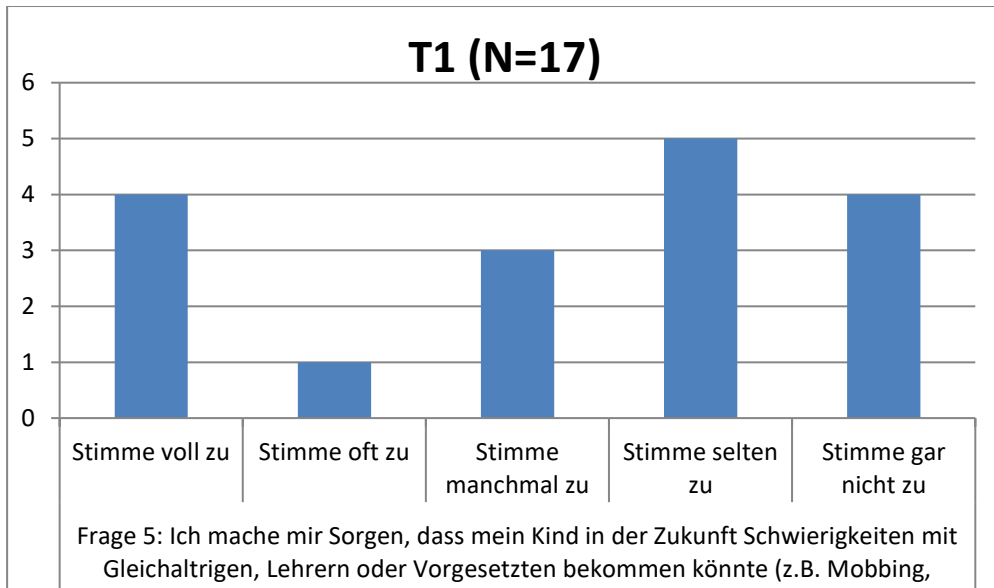
Elternfragebogen – Ergebnisse Frage 3



Elternfragebogen – Ergebnisse Frage 4



Elternfragebogen – Ergebnisse Frage 5





Ärzte-Fragebogen – Ergebnisse Frage 5

