

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Physikalische Medizin und  
Rehabilitation - Campus Großhadern -  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. V. Jansson

**Evans-Osteotomie kombiniert mit modifizierter Müller-  
Niederecker-Sehnenverlagerung bei juvenilem Plattfuß**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Vanessa Catharina Drotleff

aus  
München

2014

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. med. Sandra Utzschneider  
Mitberichterstatter: PD Dr. med. Hans-Heinrich Trouillier  
Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR, FRCR  
Tag der mündlichen Prüfung: 10. Juli 2014

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>5</b>
1.1	Der juvenile Plattfuß.....	5
1.1.1	Der primäre Knickplattfuß.....	6
1.1.2	Der sekundäre Knickplattfuß.....	7
1.2	Angewandte Operationsverfahren.....	8
1.2.1	Modifizierte Müller-Niederecker-Sehnenverlagerung.....	8
1.2.2	Evans-Osteotomie.....	13
1.2.3	Gipsversorgung.....	15
1.3	Alternative Operationsverfahren.....	16
1.3.1	Arthrorise.....	16
1.3.2	Weichteilige Operationstechniken.....	16
1.3.3	Knöcherner Operationstechniken.....	17
1.3.4	Gelenkversteifungen.....	17
<b>2</b>	<b>Zielsetzung.....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>18</b>
3.1	Patientengut und Einteilung.....	18
3.2	Anamnese.....	20
3.3	Klinische Untersuchung.....	20
3.4	Angewandte Scores.....	21
3.4.1	Ankle-Hindfoot-Scale.....	21
3.4.2	Maryland Foot Score.....	21
3.5	Röntgenuntersuchung.....	22
3.6	Ganganalyse.....	25
3.6.1	Vergleichsgruppe.....	26
3.6.2	Kinetik-Analyse.....	27
3.6.3	Kinematik-Analyse.....	30
3.7	Auswertung der erhobenen Daten.....	31

<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>32</b>
4.1 Schmerz und Funktion .....	32
4.2 Lebensqualität .....	35
4.3 Patientenurteil.....	36
4.4 Einlagen- und Nachtschientherapie .....	36
4.5 Äußeres Erscheinungsbild.....	38
4.6 Bewegungsausmaß .....	39
4.7 Ankle-Hindfoot Scale und Maryland Foot Score.....	44
4.8 Komplikationen, Nervenverletzungen und Überkorrekturen.....	45
4.9 Röntgenuntersuchung.....	47
4.10 Ganganalyse .....	54
4.10.1 Kinetik-Analyse.....	54
4.10.2 Kinematik-Analyse.....	61
<b>5 Diskussion.....</b>	<b>65</b>
<b>6 Zusammenfassung .....</b>	<b>87</b>
<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>89</b>
<b>8 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>96</b>
<b>9 Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>102</b>
<b>10 Anhang .....</b>	<b>103</b>
10.1 Ankle-Hindfoot-Scale .....	103
10.2 Maryland Foot Score .....	105
<b>11 Danksagung.....</b>	<b>106</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Der juvenile Plattfuß

Der Plattfuß, auch Knickplattfuß oder Pes planovalgus genannt, ist eine Fußdeformität, die aus den Komponenten Pes planus und Pes valgus besteht. Pes planus bedeutet, dass das Längsgewölbe unter Belastung die physiologische Grenze der Abflachung überschritten hat oder sogar ganz aufgehoben ist (Abb. 1) [15]. Pes valgus meint hingegen die pathologische Abweichung des Rückfußes nach lateral [15, 94]. Sichtbar wird dies durch ein Abweichen der Fersenachse gegen die Unterschenkelachse (Abb. 2) [15, 94]. Zusätzlich wird der Vorfuß in eine Abduktionsstellung gedrängt [15, 94]. Döderlein et al. definieren den Knickplattfuß als „[...] eine Fußdeformität, die durch eine Verminderung, Aufhebung oder Umkehrung des Fußlängsgewölbes und Lateralabweichung des Rück- und Vorfußes in unterschiedlichem Ausmaß charakterisiert ist“ [15]. Der Fuß befindet sich dadurch in einer Abduktions-Pronationsstellung.



**Abb. 1:** Pes planus-Komponente des Plattfußes    **Abb. 2:** Pes valgus-Komponente des Plattfußes

Der Knickplattfuß ist die häufigste Fehlförmigkeit des Fußes [32, 33, 94, 100]. In dieser Arbeit soll insbesondere auf Knickplattfüße jugendlicher Patienten eingegangen werden. Man unterscheidet eine primäre von einer sekundären Form.

### 1.1.1 Der primäre Knickplattfuß

Zum primären Knickplattfuß zählen sowohl der angeborene als auch der erworbene Knickplattfuß [15, 79]. Die angeborene Deformität kann sowohl durch endogene und exogene Faktoren in der Embryonal- oder Fetalperiode (Wachstumsstörungen oder intrauterine Druckeinwirkung) als auch durch genetische oder neuromuskuläre Einflüsse bedingt sein [15]. Die Pathogenese des erworbenen Knickplattfußes ist dagegen ein Zusammenspiel mehrerer verschiedener Mechanismen, die im Folgenden näher erläutert werden sollen.

Wesentlicher Punkt in der Entstehung des Knickplattfußes ist eine fehlerhafte Fußstellung, durch welche die Muskulatur nicht mehr ausreichend ihrer physiologischen Funktion nachkommen kann [15].

Beim menschlichen Fuß besteht eine Verschraubung des Vorfußes gegen den Rückfuß, welche den Fuß stabilisiert [15]. Bei der Entstehung des Knickplattfußes ist diese Verschraubung aufgehoben und Vor- und Rückfuß stehen zunehmend parallel zueinander [15]. Durch diese Entriegelung resultiert zum einen eine Destabilisierung des Fußskeletts und zum anderen eine Verlagerung der Muskelansätze nach lateral (vor allem des Achillessehnenansatzes) [15]. Somit verlagert sich der Schwerpunkt der Gewichtsbelastung nach medial, was wiederum die Pronationsstellung des Rückfußes mit konsequenter Abduktion des Vorfußes verstärkt und somit die Fehlstellung weiter verschlechtert [15]. Die Deformität kann zusätzlich von proximalen Einflüssen wie Genu valgum [15, 30, 79] oder exzessivem Körpergewicht negativ beeinflusst werden [7, 15, 30, 49, 56, 87, 93].

Die Erkenntnis dieser Komplexität im Pathomechanismus des Knickplattfußes zeigt, dass ein Therapieansatz nicht nur aus muskulärer Funktionsänderung bestehen kann, sondern zusätzlich eine Fußformkorrektur beinhalten muss [15].

Neben der Fußfehlstellung und der muskulären Fehlbelastung ist auch das Missverhältnis von Belastung und Tragfähigkeit eine wichtige Komponente in der Deformitätsentstehung des Knickplattfußes [33]. Besonders wenn durch eine konstitutionelle Schwäche des Stützgewebes eine vermehrte Bandlaxizität, z.B. der

medialen Kapselbandstrukturen, tiefen Längsbändern oder der Plantaraponeurose besteht, kann das Fußgewölbe der stetigen Belastung nachgeben [30].

Eine weitere beobachtete Ursache stellt eine familiäre Disposition für Knickplattfüße dar [15].

Im Kleinkindesalter ist der Knickplattfuß als physiologisch anzusehen [15, 30, 87] und bis zum Schulalter sind bei reponierbarer Deformität konservative Maßnahmen ausreichend [15]. Bei der juvenilen Form des Plattfußes sollte die Indikation zur Operation nur bei Symptomen, die sich häufig als belastungsabhängige Beschwerden mit Schmerzen nach sportlicher Aktivität oder langer Stehbelastung äußern, gestellt werden [30, 94]. Da das Längsgewölbe erst nach dem 10. Lebensjahr vollständig ausgebildet ist [95], empfiehlt es sich, einen operativen Eingriff erst ab diesem Alter durchzuführen [30, 39].

### **1.1.2 Der sekundäre Knickplattfuß**

Der sekundäre Knickplattfuß kann durch neuromuskuläre und degenerative Ursachen, metabolische Erkrankungen, Verletzungen, Entzündungen, Kollagenstörungen, Malformationen oder Tumorleiden sowie iatrogen entstehen [15, 79]. In dieser Arbeit wird im Speziellen nur auf sekundäre Knickplattfüße im Rahmen einer infantilen Cerebralparese (ICP) eingegangen. Laut Döderlein et al. ist der Knickplattfuß nach dem Spitzfuß die häufigste Fußdeformität bei Patienten mit ICP, es gibt jedoch oft einen fließenden Übergang zwischen den beiden Deformitäten [15]. Meist findet sich eine Spastik der Plantarflektoren und der Pronatoren [15]. Besonders durch die Pronatorensplastik wird die Fußwurzel bei Vorfußbelastung in Valgusposition gebracht, was zur Lateralisierung der Achillessehne führt [15]. Die pathologische Überaktivität der Wadenmuskulatur verstärkt die Deformität ebenso wie der nach lateral verlagerte Ansatz des M. tibialis anterior [15].

Eine operative Therapie des sekundären Knickplattfußes ist indiziert, wenn funktionelle Beschwerden oder therapieresistente Druckstellen vorliegen [15].

## **1.2 Angewandte Operationsverfahren**

In der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Physikalische Medizin und Rehabilitation - Campus Großhadern - der Ludwig-Maximilians-Universität zu München wird zur Korrektur der oben beschriebenen Fußfehlstellung eine Kombination aus modifizierter Müller-Niederecker-Sehnenverlagerung und Evans-Osteotomie durchgeführt, welche im Folgenden erläutert werden.

### **1.2.1 Modifizierte Müller-Niederecker-Sehnenverlagerung**

Ernst Müller publizierte 1903 eine neue operative Technik zur Plattfußkorrektur. Er löste den Ansatz der M. tibialis anterior-Sehne, mobilisierte sie bis zur Fußgelenksgegend und zog sie durch einen gemeißelten Knochenkanal des Os naviculare [54]. Zusätzlich führte er eine Achillessehnenverlängerung durch [54].

Kaspar Niederecker entwickelte diese Operationstechnik weiter, indem er ab den 1920er Jahren ebenfalls die abgelöste Sehne des M. tibialis anterior in einem Knochenkanal im Os naviculare befestigte und zusätzlich den fakultativ vorhandenen M. peroneus tertius auf den Fußrücken verpflanzte [59, 60]. In seinen Publikationen geht er stets auf die Notwendigkeit der vollständigen Transplantation der Sehne mit Ablösen des Ansatzes und Verlagerung ohne Knick ein. Eine alleinige Translokation, also lediglich eine Umlenkung der Sehne, würde zu einer Kraftminderung führen und nicht den gewünschten Effekt erzielen [59, 60].

Dieser gewünschte Effekt besteht in einer Anhebung des Os naviculare und somit auch des Längsgewölbes [58]. Da der M. tibialis anterior seine Hauptaktivität beim Erstkontakt des Fußes mit dem Boden und in der Stoßdämpfungsphase des Gangzyklus entfaltet [66], ermöglicht er nach seiner Rückverlagerung die Stabilisierung des Längsgewölbes in dieser Phase. Niederecker untersuchte anatomische Anomalien der Muskeln bei den von ihm operierten Füßen und stellte dabei einen in 30% der Fälle auftretenden hauptsächlichen oder ausschließlichen Ansatz des M. tibialis anterior am Os metatarsale I fest [58]. Normalerweise inseriert dieser Muskel auch am Os cuneiforme medialis [81]. Dieser anomale, distale Ansatz



führt bei einer Aktivität des Muskels zu einer Abflachung des Längsgewölbes, anstatt dieses zu stützen [58].

Die in der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Physikalische Medizin und Rehabilitation - Campus Großhadern - der Ludwig-Maximilians-Universität zu München entwickelte modifizierte Müller-Niederecker-Sehnenverlagerung wird wie folgt durchgeführt:

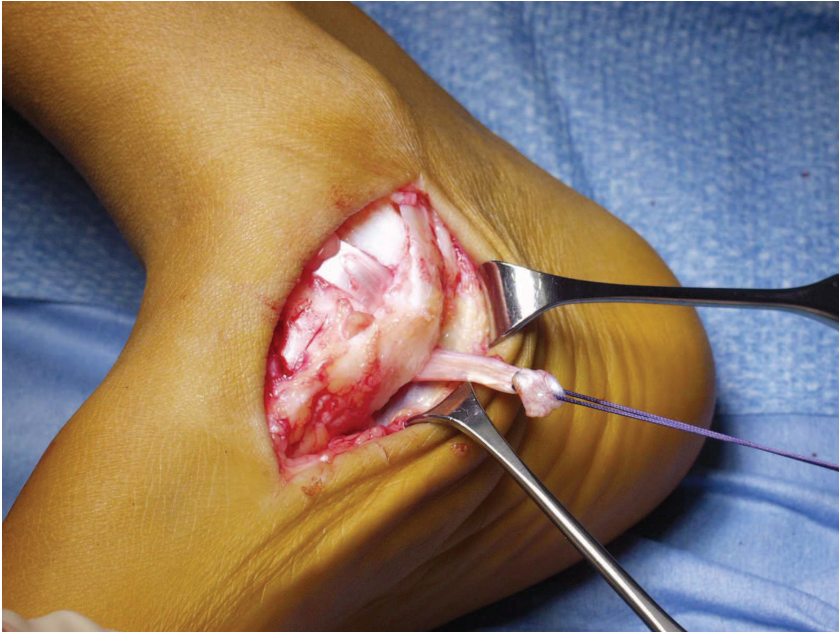
Nach Anlage einer Blutleere wird der Hautschnitt medialseitig entlang des Talonaviculargelenkes geführt. Nach Durchtrennung der Cutis und Subcutis wird das sichtbare subcutane Venengeflecht wegpräpariert, dann wird die Sehne des M. tibialis anterior am Ansatz präpariert, unterfahren und mittels einer Nikolaidoninaht gefasst, die Sehne wird dann abgetrennt (Abb. 3). Als nächstes wird die Sehne mit einer Spreizschere soweit mobilisiert, dass sie sich ohne Knick bis zum Talonaviculargelenk rückverlagern lässt (Abb. 4). Jetzt wird das Talonaviculargelenk kranial der Sehne des M. tibialis posterior längsgespalten, so dass man ins Gelenk einsieht. Das Talonaviculargelenk wird nach kranial und lateral reponiert. Es wird die plantare Gelenkkapsel des Talonaviculargelenkes längsgekerbt, so dass man mit einer gebogenen Klemme plantarseitig wieder aus der Gelenkkapsel herauskommt. Nun wird die Sehne des M. tibialis anterior durch beide Schlitze geführt und so lange gezogen, bis das Talonaviculargelenk deutlich angehoben ist (Abb. 5). Es wird die Sehne mit derjenigen des M. tibialis posterior fest vernäht (Abb. 6). Die beiden Schlitze werden mit Einzelknopfnähten verschlossen, wobei jeweils die M. tibialis posterior-Sehne mit eingenäht wird (Abb. 7). Sorgfältige Blutstillung, Einlegen eines Redons. Subcutannaht und Hautnaht mit monofilem Faden.



**Abb. 3:** Abgetrennte M. tibialis anterior-Sehne



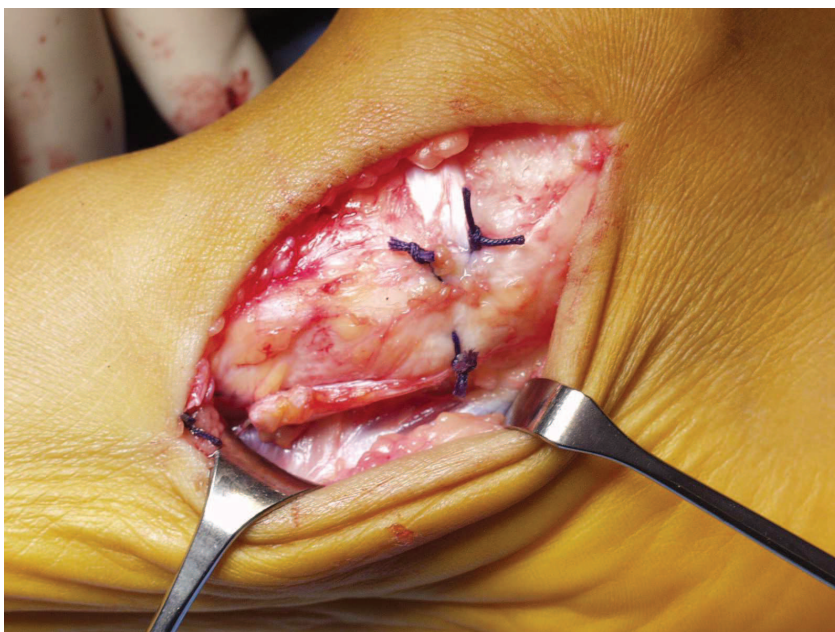
**Abb. 4:** Mobilisation zum Talonaviculargelenk



**Abb. 5:** Durchzug der Sehne durch das Talonaviculargelenk



**Abb. 6:** Naht an die M. tibialis posterior-Sehne und Verschluss der Gelenkkapsel



**Abb. 7:** Endergebnis

### 1.2.2 Evans-Osteotomie

Dillwyn Evans beschrieb seine Methode der Kalkaneus-Verlängerungsosteotomie 1975 [19]. Bereits weitaus früher hatten sich auch Perthes, Wilms und White mit der Theorie und Umsetzung der Verlängerung des lateralen Fußrandes beschäftigt, sie kombinierten sie jedoch mit einer Verkürzung des medialen Fußrandes [15]. Evans erkannte während seiner Klumpfußoperationen, dass eine relative Verkürzung des lateralen Fußrandes zu einer Knickplattfußdeformität führt und leitete daraus eine Therapie für diese ab [19]. Er verwendete für die Verlängerung des Kalkaneus aus der Tibia entnommene Knochenkeile [19]. In der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Physikalische Medizin und Rehabilitation - Campus Großhadern - der Ludwig-Maximilians-Universität zu München werden hierfür trikortikale Knochenkeile aus dem Beckenkamm verwendet.

Die Einbringung eines Knochenkeils korrigiert jedoch nicht nur die relative Verkürzung des lateralen Fußrandes im Gegensatz zum medialen, sondern führt zusätzlich zu einer Varisierung der Ferse und Einschränkung der Extension im oberen Sprunggelenk [19]. Dieser Effekt wird einerseits durch die Spannung der Sehne des M. peroneus longus erreicht und andererseits durch Verlagerung des hinteren Kalkaneusanteiles nach posteromedial, was wiederum auch den Talus nach hinten versetzt [15]. Die Spannung der Plantaraponeurose wird durch die Kalkaneusverlängerung jedoch eher verringert als erhöht, wie Horton et al. im Kadavermodell zeigen konnten [34].

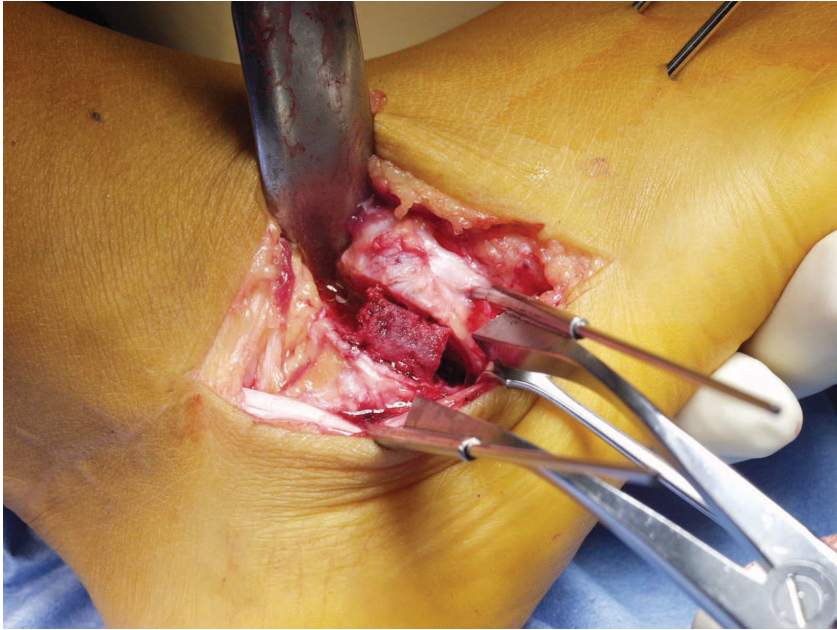
#### Durchführung:

Zunächst wird am Beckenkamm ein trikortikaler Knochenspan entnommen. Danach Hautschnitt vom lateralen Außenknöchel bis zur Basis des Metatarsale V des blutleeren Fußes. Es werden die in der Subcutis befindlichen Sehnen sowie der sichtbare Hautnerv sorgfältig präpariert und weggehalten. Als nächstes werden die Peronealsehnenscheiden gespalten und die Peronealsehnen präpariert. Dann wird der Kalkaneus 1 cm proximal des Kalkaneokuboidgelenkes mit zwei zierlichen

Hohmännern umfahren. Das Kalkaneokuboidgelenk wird quergespalten, so dass die Gelenkfläche einsichtig ist. Nun wird von proximal ein Kirschnerdraht eingebracht, der das Kuboid, das Kalkaneokuboidgelenk sowie ungefähr 1 cm des Kalkaneus fasst. In gleicher Weise wird ein zweiter Kirschnerdraht im Abstand von 1 cm parallel eingebracht. Bei fixiertem Kalkaneokuboidgelenk wird dann der Kalkaneus im Abstand von 1 cm zum Gelenk quer-osteotomiert (Abb. 8). Mit einer Spreizzange wird der Osteotomiespalt aufgehalten, dann wird der vorbereitete trikortikale Span aus dem Beckenkamm mit dem Stößel eingeschlagen, wobei sich eine Korrektur des Pes planus sowie des Pes abductus ergibt (Abb. 9). Nun werden die beiden Kirschnerdrähte um mehrere Zentimeter Richtung Kalkaneus vorgetrieben, umgebogen und gekürzt. Nach sorgfältiger Blutstillung wird ein subcutanes Redon eingelegt und die Haut mit monofilem, nicht resorbierbarem Faden genäht. Nach sterilem Wundverband wird die Blutleere eröffnet.



**Abb. 8:** Osteotomiespalt und eingebrachte Kirschnerdrähte



**Abb. 9:** eingefügter Knochenspan im Osteotomiespalt

### **1.2.3 Gipsversorgung**

In der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Physikalische Medizin und Rehabilitation - Campus Großhadern - der Ludwig-Maximilians-Universität zu München wird nach beendeter Operation ein zirkulärer Gipsverband angelegt und auf voller Länge gespalten. Dieser wird nach Anschwellen des Beines wieder zirkuliert und verbleibt zunächst drei Wochen. Der Patient muss das Bein während dieser Zeit komplett entlasten. Anschließend werden nach einer Röntgenkontrolle die Kirschnerdrähte entfernt. Nun ist eine Belastung des Fußes erlaubt, bis nach weiteren drei Wochen die endgültige Gipsentfernung erfolgt.

### **1.3 Alternative Operationsverfahren**

#### **1.3.1 Arthrorise**

Die Arthrorise stellt eine minimalinvasive Operationstechnik zur Behandlung von Knickplattfüßen dar [14, 24, 37, 42, 72]. Durch ein in den Sinus tarsi eingebrachtes Implantat wird eine übermäßige Gelenkbeweglichkeit limitiert. Dies führt zu einer verminderten Valgisierung und Pronation des Rückfußes [14]. Die Implantate sind hierbei Schrauben (Schrauben-Arthrorise) [14, 37, 40, 72] oder Polyethylenimplantate (STA-Peg-Implantat) [6, 20, 42]. Inzwischen gibt es auch Implantate, die resorbierbar sind [24].

Das Ziel dieser Operationsmethode ist es, die exzessive Valgisierung des Rückfußes zu unterbrechen und den Fuß für 2-3 Jahre zu stabilisieren [14]. Danach wird das Implantat wieder entfernt, da sich die Knochen funktionell angepasst haben sollten [14]. Somit wird die Pathogenese des Plattfußes unterbrochen und eine dauerhafte Korrektur angenommen [14]. Diese Operationsmethode eignet sich nur für Patienten, bei denen ein muskuläres Gleichgewicht erreicht werden kann, also nicht für fixierte Knickplattfüße und nur eingeschränkt für Patienten mit spastischer Grunderkrankung [42, 72, 85]. Koning et al. empfehlen zudem, die Arthrorise schon im Alter von 8 Jahren durchzuführen, da bei einer Behandlung nach dem 10. Lebensjahr mit keiner dauerhaften Korrektur zu rechnen sei [42].

#### **1.3.2 Weichteilige Operationstechniken**

Hier findet man eine Vielzahl verschiedener Operationstechniken in der Literatur. Häufiger Gegenstand der operativen Veränderung ist die Sehne des M. tibialis anterior [16, 91]. Manche Autoren transferieren lediglich einen Teil der Sehne [91] oder führen nur eine Umlenkung der selbigen durch [16]. Andere Autoren verlagern die Sehne des Flexor digitorum longus [63]. Die weichteiligen Operationen werden jedoch zumeist mit knöchernen Techniken kombiniert [16, 91].



### **1.3.3 Knöcherne Operationstechniken**

Neben der lateralen Kalkaneusosteotomie besteht auch die Möglichkeit einer medialen Osteotomie, bei welcher nicht der laterale Fußrand verlängert, sondern der mediale Fußrand durch Entnehmen eines oder mehrerer Knochenspäne verkürzt wird. Hierdurch wird ebenso eine pathologische Abduktion des Vorfußes verringert, jedoch wird die Technik nach Evans bevorzugt [6, 91, 99], da hierbei die Gelenkstellung zwischen Os naviculare und Taluskopf besser korrigiert wird [51]. Einzelne Autoren kombinieren die laterale und die mediale Kalkaneusosteotomie [63, 65].

### **1.3.4 Gelenkversteifungen**

Die Gelenkversteifung, auch Arthrodesen genannt, wird heutzutage zumeist nur noch angewendet, wenn der Plattfuß bereits so fixiert ist, dass durch eine knöchernen oder weichteiligen Operation keine Korrektur zu erwarten ist [15].

Die Arthrodesen sollte vermieden werden [43, 48, 52], da sie die Mechanik des Fußes einschränkt [87] und es somit häufig zu degenerativen Prozessen in den Fußgelenken kommt [53]. Zudem unterbindet dieser Eingriff die stoßdämpfende Funktion des Gelenks [53].

## **2 Zielsetzung**

Ziel dieser Studie war es, die Evans-Osteotomie in Kombination mit modifizierter Müller-Niederecker-Sehnenverlagerung retrospektiv zu evaluieren. Im Vordergrund stehen die postoperativen klinischen und radiologischen Ergebnisse sowie die postoperative Ganganalyse.

## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Patientengut und Einteilung**

Ausgewählt wurden Patienten mit juvenilem Plattfuß, die in den Jahren 2004 bis 2009 in der Kinderorthopädischen Abteilung der Orthopädischen Klinik und Poliklinik, Campus Großhadern, Ludwig-Maximilians-Universität zu München operiert wurden. Ausgeschlossen wurden Patienten mit vorangegangenem kongenitalem Klumpfuß, Coalitio calcaneonavicularis, Morbus Köhler I und ein Patient mit zusätzlicher Unterschenkelvarisationsosteotomie bei Achondroplasie. Von 33 Patienten konnten 28 telefonisch erreicht werden und 26 (78,8 %) zu einer Nachuntersuchung in die Kinderambulanz einbestellt werden. Es wurden 10 Mädchen und 16 Jungen postoperativ untersucht. Fünf dieser Patienten wurden einseitig operiert, 21 an beiden Füßen. Bei einem Patienten wurde aufgrund einseitiger anatomischer Variation der M. tibialis anterior-Sehne an einem Fuß nur die Evans-Osteotomie durchgeführt, deshalb geht nur der Fuß der anderen Seite in die Auswertung mit ein. Somit wurden 46 Füße untersucht. 6 Patienten (22,2 %) erhielten bei zu geringer intraoperativ erreichter Dorsalextension zusätzlich eine operative Achillessehnenstichelung. Da drei Patienten an einer infantilen Cerebralparese leiden, wurden die Patienten zur Auswertung in zwei Gruppen eingeteilt:

**Gruppe A:** Patienten ohne Gehbehinderung (n=23)

**Gruppe B:** Patienten mit infantiler Cerebralparese (n=3)

Die Geschlechts- und Seitenverteilung ist in Tab. 1 dargestellt.

**Tab. 1:** Geschlechts- und Seitenverteilung

	<i>n</i>	<i>Geschlecht</i>		<i>Seite</i>	
		m	w	einseitig	beidseits
Gruppe A	23	15	8	3	20
in Prozent		65,2	34,8	13,0	87,0
Gruppe B	3	1	2	3	0
in Prozent		33,3	66,7	100,0	0,0
<b>Gesamt</b>	26	16	10	6	20
<b>in Prozent</b>		61,5	38,5	23,1	76,9

Tab. 2 zeigt das Patientenalter zum Operationszeitpunkt.

Der Zeitraum zwischen OP und Nachuntersuchung, die zwischen Januar und Oktober 2010 stattfand, ist in Tab. 3 aufgelistet. Die Patienten waren zum Nachuntersuchungszeitpunkt zwischen 10 und 20 ( $14,0 \pm 2,6$ ) Jahre alt.

**Tab. 2:** Alter bei OP

	<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	23	6	16	11,0	2,4
Gruppe B	3	11	12	11,3	0,6
<b>Gesamt</b>	26	6	16	11,3	2,2

**Tab. 3:** Zeitraum zur Nachuntersuchung in Monaten

	<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	23	9	63	32,0	18,8
Gruppe B	3	13	48	35,3	19,4
<b>Gesamt</b>	27	9	63	32,4	18,5

### **3.2 Anamnese**

Die Patienten wurden bei der Nachuntersuchung zur Verwendungsdauer von Einlagen und Nachtschienen befragt. Bei der Schmerzanamnese wurde die präoperative und aktuelle Schmerzintensität der Füße ermittelt. Der Schmerz konnte auf einer numerischen Rating-Skala von 0-10 angegeben werden. Abgefragt wurde die Schmerzintensität im Alltag, beim Sport, bei langem Stehen und in Ruhe.

Die Patienten sollten zudem angeben, ob sie vor und nach der OP sportfähig waren und ob prä- oder postoperativ ein Instabilitätsgefühl empfunden wurde. Ein weiterer Punkt war die Lebensqualität der Patienten. Sie konnten zwischen „unzufrieden / weniger zufrieden / zufrieden“ auswählen und sollten ihre prä- und postoperative Empfindung angeben. Zusätzlich wurde gefragt, ob sie die Operation noch einmal durchführen lassen würden und wie lange es dauerte, bis keine Einschränkungen im Alltag mehr bestanden. Aus den Akten wurden Informationen über postoperative Komplikationen, Infektionen, Nachblutungen und Nervenverletzungen sowie Revisionen entnommen.

### **3.3 Klinische Untersuchung**

Im Stehen wurde das Längsgewölbe der operierten Füße beurteilt und in die Kategorien „aufgerichtet / abgesehenkt / stark abgesehenkt“ eingeteilt.

Ebenfalls im Stehen wurde die Rückfuß-Valgus-Stellung in Grad gemessen (postoperativ „Restvalgus“ genannt). Ein Restvalgus von bis zu 5° ist hierbei als physiologisch zu betrachten.

Bei allen Patienten wurden die grobe Fußmotorik und die Sensibilität der Hautoberfläche überprüft. Zusätzlich wurde auf die Durchblutung und Entzündungszeichen geachtet und die Narbenverhältnisse dokumentiert.

Die Gelenkbeweglichkeit wurde beim liegenden Patienten mit gestrecktem Bein untersucht. Dokumentiert wurden nach der Neutral-Null-Methode die aktive und passive Dorsalextension/Plantarflexion des oberen Sprunggelenks und die aktive und passive Pronation/Supination des Vorfußes. Bei der passiven Inversi-

on/Eversion des unteren Sprunggelenks wurde aufgrund fehlender Genauigkeit einer Winkelmessung die Einschränkung der Beweglichkeit mit 25%, 50%, 75% und 100% angegeben. 100% Einschränkung bedeuten hierbei, dass der Fuß in Inversions-/Eversionsrichtung steif oder wackelsteif ist.

### **3.4 Angewandte Scores**

#### **3.4.1 Ankle-Hindfoot-Scale**

Dieser Score beschreibt durch eine Punktzahl zwischen 0 und 100 Punkten den Zustand des Patienten mit Hilfe der folgenden Parameter: Schmerzen (bis zu 40 Punkte), Funktion (bis zu 50 Punkte) und Fußstellung (bis zu 10 Punkte) [41]. Die einzelnen Bereiche teilen sich noch in mehrere Untergruppen auf (siehe Anhang 10.1). Zur Bewertung ist Folgendes anzumerken: Traten bei den Patienten leichte Schmerzen beim Sport auf, wurde dies mit 30 Punkten in der Kategorie „Schmerz“ bewertet (=10 Punkte Abzug). Ein Valgus von 5° wurde als physiologisch betrachtet und erhielt volle Punktzahl, ein Valgus von 10° führte zu einem Abzug von 5 Punkten. Beim Tragen von Einlagen wurden ebenso 5 Punkte weniger vergeben.

Anschließend wurde eine mögliche Korrelation zwischen der Ankle-Hindfoot-Scale und dem Body-Mass-Index (BMI) überprüft.

#### **3.4.2 Maryland Foot Score**

Dieser Score beschreibt ebenfalls durch eine Punktzahl zwischen 0 und 100 Punkten den Zustand des Patienten. Die Bewertung teilt sich auf in: Schmerzen (bis zu 45 Punkte), Funktion (bis zu 45 Punkte) und kosmetisches Ergebnis (bis zu 10 Punkte) [73]. Es existieren wiederum Untergruppen (siehe Anhang 10.2). Zur Erklärung der Bewertung der Kosmetik: bei einem Restvalgus von  $\geq 10^\circ$  wurden 2 Punkte abgezogen und bei stark abgesenktem Fußlängsgewölbe 4.

Auch hier wurde eine Korrelation zum Body-Mass-Index überprüft.

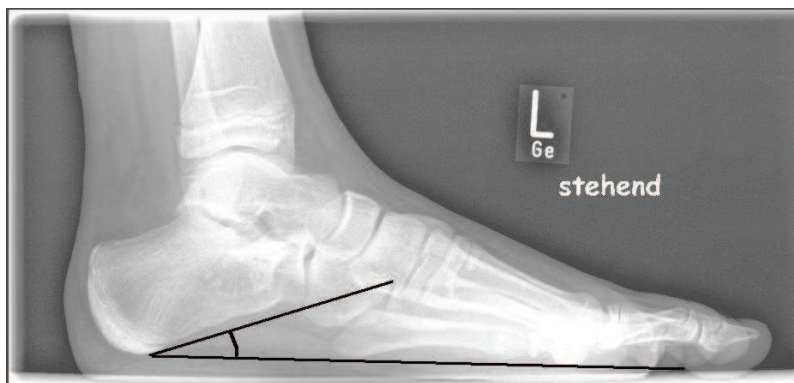
### 3.5 Röntgenuntersuchung

Zur Auswertung der prä- und postoperativen Röntgenbilder wurden die folgenden Parameter mit Hilfe des Programms „Magic Web“ ausgewertet:

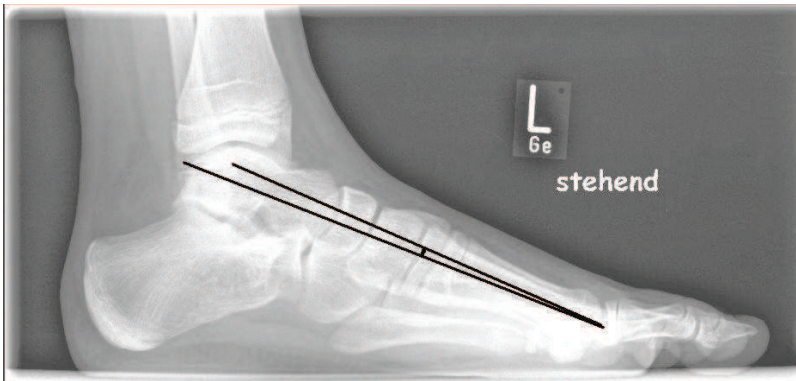
Lateraler Strahlengang im Stehen unter Belastung: Kalkaneus-Boden-Winkel (Norm: 20-30° [13], Abb. 10), Talus-Metatarsale-I-Winkel (Norm: -4 bis 4° [9], Abb. 11), Talus-Neigungswinkel (Norm: 21° [13], Abb. 12), sowie Talokalkaneärer-Winkel (Norm 35-50° [13], Abb. 13). Dorsoplantarer Strahlengang im Stehen unter Belastung: Talokalkaneärer-Winkel (Norm: 17-21° [13], Abb. 14), Kuboid-Abduktionswinkel (Norm: 0-5° [13], Abb. 15) und Talus-Metatarsale-I-Winkel (Norm: -20 bis 20° [15], Abb. 16).

Präoperative, laterale Bilder lagen bei 43 Füßen vor, präoperative dorsoplantare Bilder bei 44 Füßen. Postoperativ wurden bei 48 Füßen laterale Aufnahmen gemacht und bei 46 Füßen dorsoplantare.

Zusätzlich wurde untersucht, ob der Knochenspan eingewachsen war, ob er noch abgrenzbar war, ob er resorbiert wurde und ob sich Anzeichen einer degenerativen Veränderung im Kalkaneo-Kuboid-Gelenk zeigten. Die Patienten mit degenerativen Veränderungen wurden hinsichtlich ihres Alters zum Operationszeitpunkt mit denjenigen Patienten ohne Veränderungen verglichen.



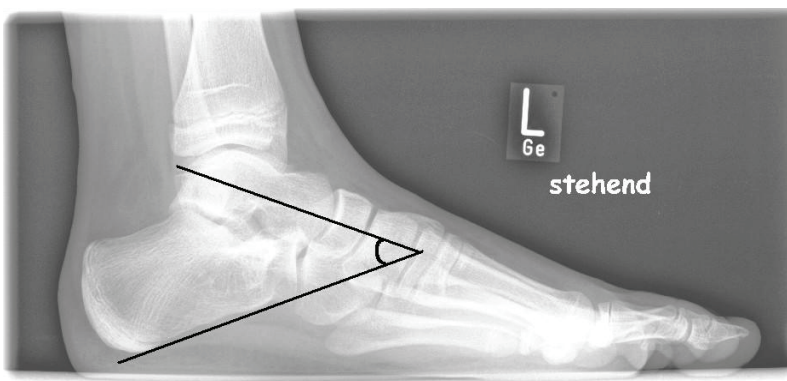
**Abb. 10:** Kalkaneus-Boden-Winkel (Norm: 20-30°)



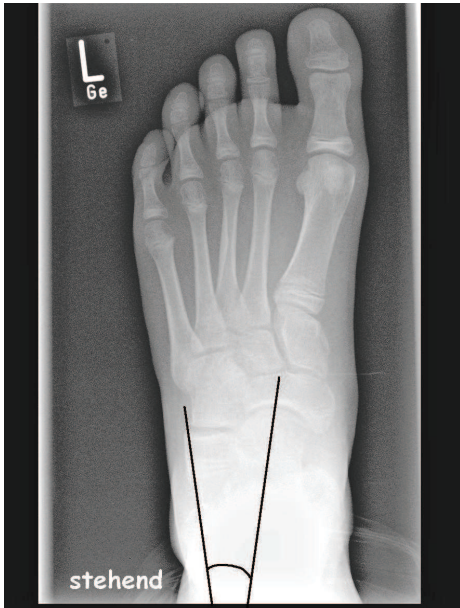
**Abb. 11:** Talus-Metatarsale I-Winkel (Norm: -4 bis 4°)



**Abb. 12:** Talus-Neigungswinkel (Norm: 21°)



**Abb. 13:** lateraler Talokalkaneärer Winkel (Norm: 35-50°)



**Abb. 14:** dorsoplantarer Talokalkaneärer Winkel (Norm: 17-21°)    **Abb. 15:** Kuboid-Abduktionswinkel (Norm: 0-5°)



**Abb. 16:** Talus-Metatarsale I-Winkel (Norm: -20 bis 20°)



### 3.6 Ganganalyse

Die postoperative Ganganalyse wurde wegen schlechter Vergleichbarkeit aufgrund unterschiedlicher Ausprägung der Gehbehinderung in Gruppe B nur bei Patienten der Gruppe A durchgeführt.

Der Gangzyklus wird in 8 Phasen eingeteilt, deren Zeitspanne in Prozent des Gangzyklus angegeben wird [67]:

- Initialer Kontakt (*initial contact*) : 0%
- Stoßdämpfungsphase (*load response*): 0-12%
- Mittlere Standphase (*mid stance*):12-31%
- Terminale Standphase (*terminal stance*): 31-50%
- Vorschwungphase (*pre-swing*): 50-62%
- Initiale Schwungphase (*initial swing*): 62-75%
- Mittlere Schwungphase (*mid swing*): 75-87%
- Terminale Schwungphase (*terminal swing*): 87-100%

Die gesamte Standphase wird vom initialen Kontakt bis zum Ende der Vorschwungphase definiert und beträgt bei komfortabler Gehgeschwindigkeit etwa 62% [67]. Die gesamte Schwungphase beginnt mit der initialen und endet mit der terminalen Schwungphase und nimmt etwa 38% des Gangzyklus in Anspruch [67].

Zusätzlich bestimmt werden kann die einfach unterstützte Standphase, also die Zeit, in der nur ein Fuß Bodenkontakt hat (ca. 40%), und die doppelt unterstützte Standphase in der beide Füße den Boden berühren (ca. 20%).

Zur Begriffsklärung sind in Abb. 17 die grundlegenden Phasen des Gangzyklus schematisch dargestellt.

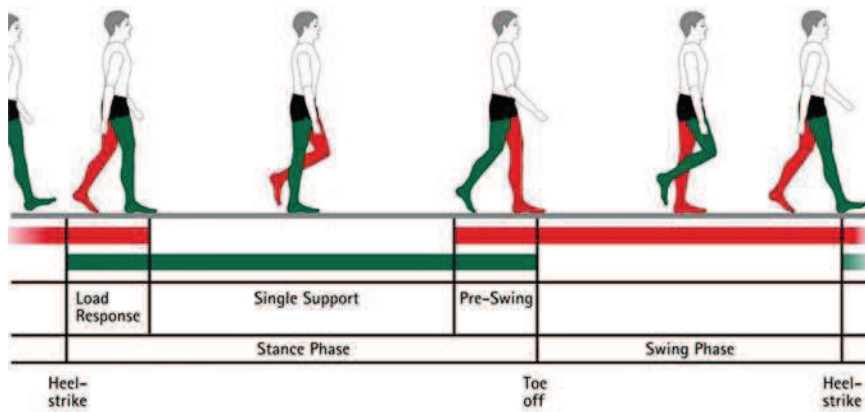


Abb. 17: Gangzyklus (Quelle: zebris)

### 3.6.1 Vergleichsgruppe

Da die meisten Patienten beidseits operiert wurden, bestand keine Möglichkeit einer vergleichenden Ganganalyse mit dem gesunden Fuß. So wurde als Vergleichsgruppe ein Normalkollektiv verwendet: 12 Jugendliche im Alter von durchschnittlich 14,8 Jahren (9-21 min.-max.). Aus dieser Vergleichsgruppe ausgeschlossen wurden Jugendliche mit bekannten Fußdeformitäten sowie Operationen oder Knochenbrüchen an der unteren Extremität. Die Analyse wurde wie bei den Patienten bei einer Laufbandgeschwindigkeit von 3 km/h durchgeführt.

### 3.6.2 Kinetik-Analyse

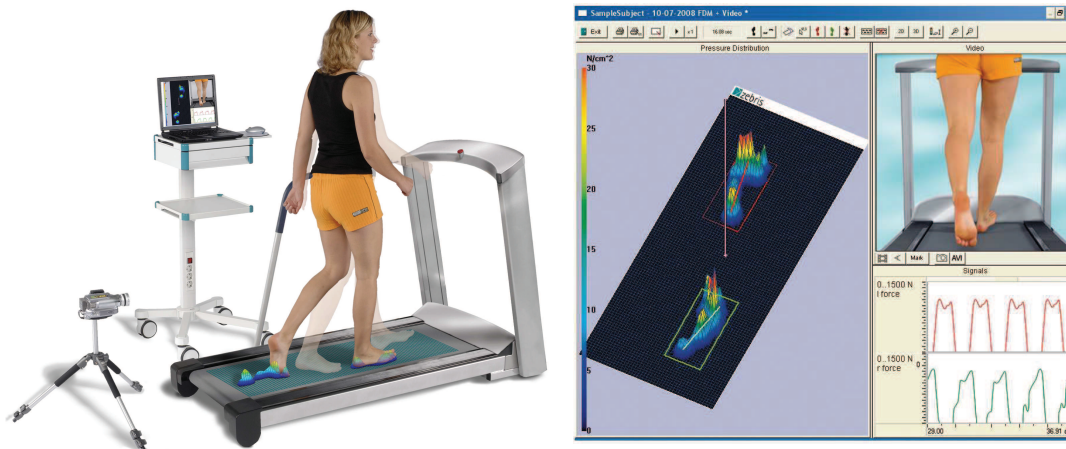
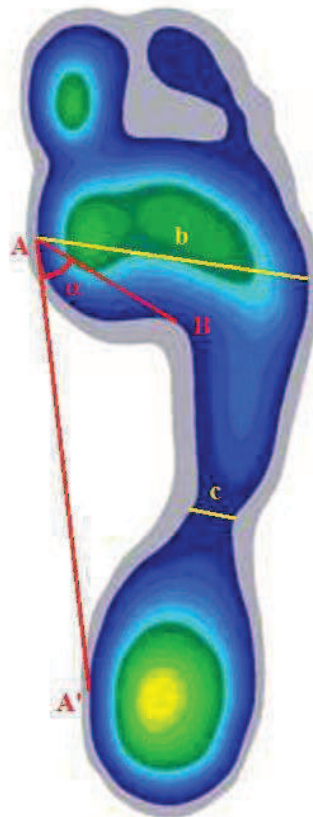


Abb. 18: Kinetik-Analyse (Quelle: zebris)

Für die Kinetik-Analyse wurde das System Win-FDM-T von zebris Medical GmbH verwendet (Abb. 18). Hierbei wurde mit Hilfe von im Laufband integrierten Druck- und Kraftsensoren die Belastungsverteilung der Fußsohle während des Gangzyklus aufgezeichnet. Mit dem daraus entstehenden Fußabdruck wurden der Chippaux-Smirak-Index sowie der Footprint-Winkel von 20 Patienten (37 Füße) der Gruppe A bestimmt (Abb. 19). Bei der Vermessung der Fußabdrücke wurde der Bereich mit einer Belastung von unter  $2 \text{ N/cm}^2$  (grau gefärbt in Abb. 19) nicht berücksichtigt.

Der Chippaux-Smirak-Index ist ein Indikator für die Höhe des Fußgewölbes [21]. Hierfür wurden die maximale Breite des Metatarsalbereichs ( $b$ ) sowie die hierzu parallele, minimale Breite des Fußabdrucks im Gewölbebereich ( $c$ ) gemessen (Abb. 19). Anschließend wurde der Prozentsatz  $c/b$  gebildet. Das Ergebnis wurde folgendermaßen eingeteilt: 0,1-29,9% normales Gewölbe, 30-39,9% intermediäres Gewölbe, 40-44,9% niedriges Gewölbe und  $>45\%$  morphologischer Plattfuß [21].

Auch der Footprint-Winkel ( $\alpha$ ) dient zur Abschätzung der Höhe des Fußgewölbes. Hierbei wurde der erste Schenkel durch den am weitesten medial gelegenen Punkt des Metatarsalbereichs (A) und den am weitesten medial gelegenen Punkt des Fersenbereichs (A') definiert (Abb. 19). Der zweite Schenkel des Footprint-Winkels wurde durch Punkt A und den Punkt der größten Konkavität des Fußgewölbes (B) gebildet (Abb. 19). Ein kleiner Footprint-Winkel korreliert mit einem niedrigen Längsgewölbe [21]. Das Gewölbe wurde schließlich folgendermaßen klassifiziert: 0-29,9° morphologischer Plattfuß, 30-34,9° niedriges Gewölbe, 35-41,9° intermediäres Gewölbe und >42° normales Gewölbe [21].



**Abb. 19:** Fußabdruck mit Chippaux-Smirak-Index ( $c/b$  %) und Footprint-Winkel ( $\alpha$ )

Zusätzlich konnten durch die Kinetik-Analyse folgende Parameter des Gangzyklus bestimmt werden: Standphase, Schwungphase, Stoßdämpfungsphase, Vorschwungphase, einfach unterstützte Standphase, doppelt unterstützte Standphase. Die Kinetik-Analyse erlaubte zudem, die Fußrotation während der Standphase zu quantifizieren sowie die Schrittlänge zu messen. Diese Analyse konnte sowohl in der Gruppe A (43 Füße) als auch in der Vergleichsgruppe (24 Füße) vollständig durchgeführt werden.

### 3.6.3 Kinematik-Analyse



Abb. 20: Kinematik-Analyse (Quelle: zebbris)

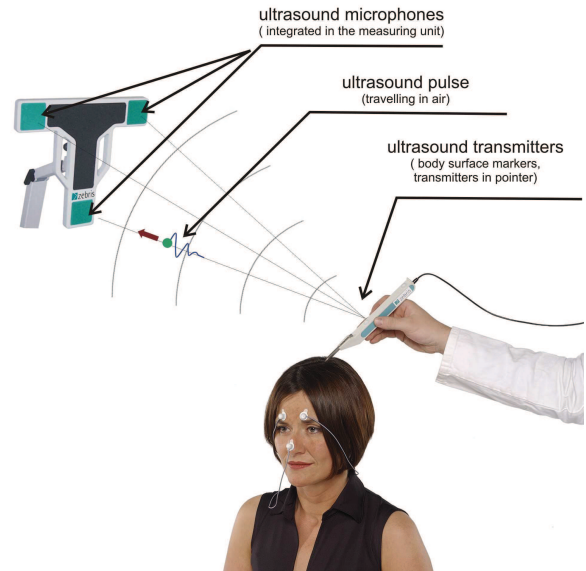


Abb. 21: Ultraschall-Transmitter (Quelle: zebbris)

Für die Kinematik-Analyse wurde das Messsystem CMS-HS in Kombination mit der Software WinGait für Windows von zebbris Medical GmbH verwendet. Wie auf Abb. 20 zu erkennen ist, wurden die Patienten und Probanden mit 12 Markern ausgestattet: jeweils drei an beiden Oberschenkeln und ebenfalls drei an jedem Mittelfuß. Diese mit Klettband und Klebeetiketten befestigten Marker senden Ultraschall-Signale aus, die von Mikrofonen, die seitlich des Laufbandes positioniert sind, empfangen werden. Mithilfe eines Ultraschall-Transmitters (Abb. 21) wurden nach Kalibrierung des Laufband-Bodens folgende anatomische Punkte der Patienten/Probanden beidseits markiert: Trochanter major, äußerer und innerer Kniegelenkspalt, Innen- und Außenknöchel, großer Zeh (am Bodenkontaktpunkt) und Ferse (am Bodenkontaktpunkt).

Nun wurde das Laufband auf 3 km/h beschleunigt und die Kinematik der Patienten/Probanden aufgezeichnet.

Bei der Auswertung wurden die einzelnen Schritte genau definiert und folgende Parameter gemessen: OSG-Dorsalextension, Fußrotation (Winkel zwischen Sagittalebene und Fußvektor), Knieflexion und Oberschenkelanteversion (Winkel zwischen Horizontalebene und Senkrechte des Oberschenkelvektors). Die Kinematik-Analyse konnte aufgrund technischer Ausfälle lediglich bei 14 Patienten der Gruppe A vollständig ausgeführt werden. In die Auswertung gingen 25 operierte Füße der Gruppe A sowie alle 24 Füße der Vergleichsgruppe ein.

### **3.7 Auswertung der erhobenen Daten**

Die erhobenen Daten wurden mit Microsoft Office Excel 2003 und GraphPad Prism 5 ausgewertet.

Der Vergleich prä- und postoperativer Daten erfolgte für metrische und nichtmetrische Daten mit dem verbundenen Wilcoxon-Test. Für den Vergleich von Patientengruppen mit und ohne arthrotischen Veränderungen wurde, ebenso wie beim Vergleich von Patienten- und Vergleichsgruppe in der Ganganalyse, der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Zur Korrelationsanalyse wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient verwendet.

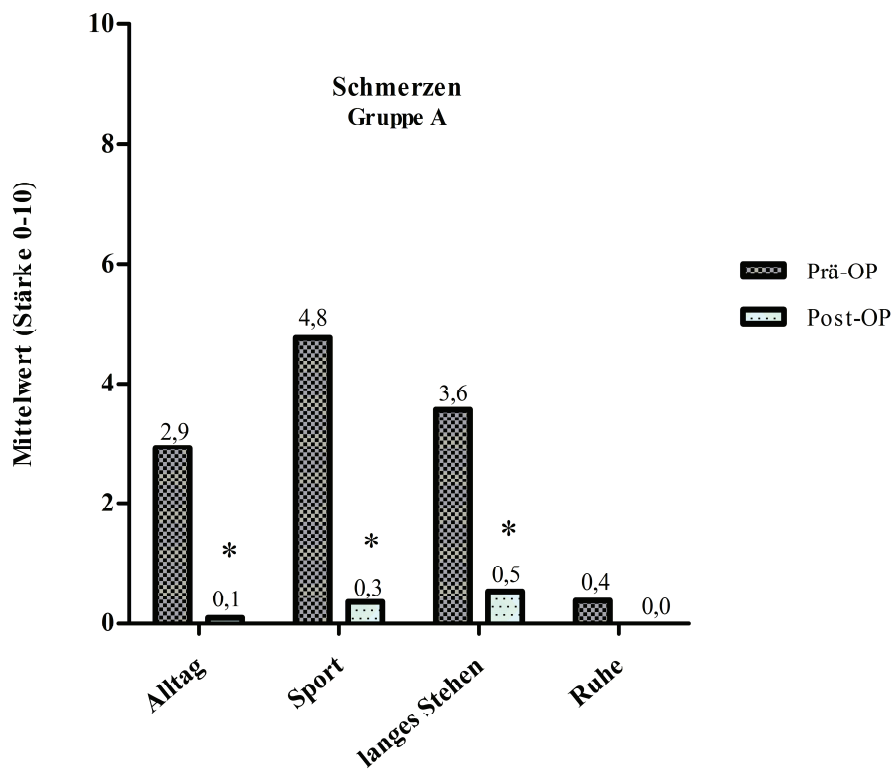
Irrtumswahrscheinlichkeiten kleiner als 0,05 wurden als signifikant eingestuft.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Schmerz und Funktion

In Gruppe A besserte sich die Schmerzintensität im Alltag, beim Sport und bei langem Stehen postoperativ signifikant ( $p < 0,0001$ );  $n=43$ , Abb. 22). Der Unterschied der Schmerzintensität in Ruhe war nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Im Alltag traten lediglich an zwei Füßen eines Patienten noch leichte Schmerzen (Stärke 1 und 3) auf, hierbei ist anzumerken, dass dieser Patient mit  $30,3 \text{ kg/m}^2$  den höchsten BMI-Wert des Patientenkollektivs aufwies. Die restlichen 41 Füße (95,3%) waren im Alltag vollkommen schmerzfrei (Tab. 4). Beim Sport traten postoperativ bei 42 (97,7%) Füßen keine oder leichte (Stärke 1 bis 3) Schmerzen auf, lediglich bei einem Fuß (2,3%) kam es zu Schmerzen der Stärke 4. 40 (93,0%) Füße waren postoperativ bei langem Stehen beschwerdefrei oder leicht schmerzhaft. Stärkere Schmerzen empfand hier lediglich ein Patient nach Überkorrektur. In Gruppe B hatte nur ein Patient präoperativ Schmerzen. Diese verbesserten sich von Stärke 7 auf 1 im Alltag und von 7 auf 3 bei langem Stehen. Die anderen waren prä- und postoperativ schmerzfrei.





**Abb. 22:** Schmerzintensität prä- und postoperativ im Alltag, beim Sport, bei langem Stehen und in Ruhe, Gruppe A (n=43, \* p<0,0001)

**Tab. 4:** Schmerzintensität postoperativ, Gruppe A (n=43)

Stärke	Alltag	Sport	Langes Stehen	Ruhe
0	41	36	36	43
1	1	2	1	0
2	0	2	3	0
3	1	2	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	0	0
7	0	0	1	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
<b>Mittelwert</b>	0,1	0,3	0,5	0,0

Zwei (7,7%) Patientinnen aus dem Gesamtkollektiv gaben zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung Schmerzen an der Keilentnahmestelle am Beckenkamm an. Diese äußerten sich bei Stauchung in der Längsachse (z.B. beim Seilspringen) oder bei manuellem Druck auf den Beckenkamm. Die beiden Mädchen waren zum Operationszeitpunkt 13 und 16 Jahre alt.

Die Sportfähigkeit war präoperativ bei 21 von 23 (91,3%) Patienten aus Gruppe A gegeben und erhöhte sich postoperativ auf 22 von 23 (95,7%). Der eine Patient, der Sportunfähigkeit angab, weigerte sich aus fehlendem Interesse und nicht schmerzbedingt, Freizeitsport auszuüben. Im Schulsport zeigte er nur leichte Schmerzen. In Gruppe B war die Cerebralparese bei zwei Patienten so stark ausgeprägt, dass sowohl prä- als auch postoperativ Sportunfähigkeit bestand. Der dritte Patient war prä- und postoperativ sportfähig.

Sechs (26,1%) Patienten aus Gruppe A gaben ein präoperatives Instabilitätsgefühl seitens ihrer Füße an. Dieses verschwand postoperativ bei allen sechs Patienten und trat auch bei keinem anderen Gruppe A-Patienten auf. In Gruppe B bestand bei zwei Patienten aufgrund der ausgeprägten Cerebralparese prä- und postoperativ ein Instabilitätsgefühl. Bei einem Gruppe B-Patienten verbesserte sich die subjektive Instabilität postoperativ.

## 4.2 Lebensqualität

Die Lebensqualität verbesserte sich in Gruppe A signifikant ( $p < 0,0002$ ,  $n=23$ ). Die Verteilung ist in Tab. 5 dargestellt.

**Tab. 5:** Lebensqualität prä- und postoperativ

		<i>n</i>	<i>unzufrieden</i>	<i>zufrieden</i>	<i>sehr zufrieden</i>
Gruppe A	Prä-OP	23	6	13	4
	In Prozent		23,1	50,0	17,4
	Post-OP	23	1	0	22
	In Prozent		4,3	0,0	95,7
Gruppe B	Prä-OP	3	0	3	0
	In Prozent		0,0	100,0	0,0
	Post-Op	3	0	2	1
	In Prozent		0,0	66,7	33,3
<b>Gesamt</b>	<b>Prä-OP</b>	26	6	16	4
	<b>In Prozent</b>		23,1	61,5	15,4
	<b>Post-Op</b>	26	1	2	23
	<b>In Prozent</b>		3,8	7,7	88,5

Von 23 Patienten in Gruppe A hatten 22 (95,7%) Patienten keinerlei Einschränkungen im Alltag mehr. Ein Patient gab noch leichte Einschränkungen bei langen Spaziergängen an, sein BMI-Wert war mit 30,3 kg/m<sup>2</sup> deutlich erhöht.

Wie lange es postoperativ dauerte, bis keine Einschränkungen im Alltag mehr bestanden, ist in Tab. 6 dargestellt. In Gruppe A konnte sich ein Patient nicht an die Dauer des Zeitraumes erinnern und ein Patient hatte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (in diesem Fall 35 Monate) noch Einschränkungen.

**Tab. 6:** Dauer postoperativer Einschränkungen im Alltag in Monaten

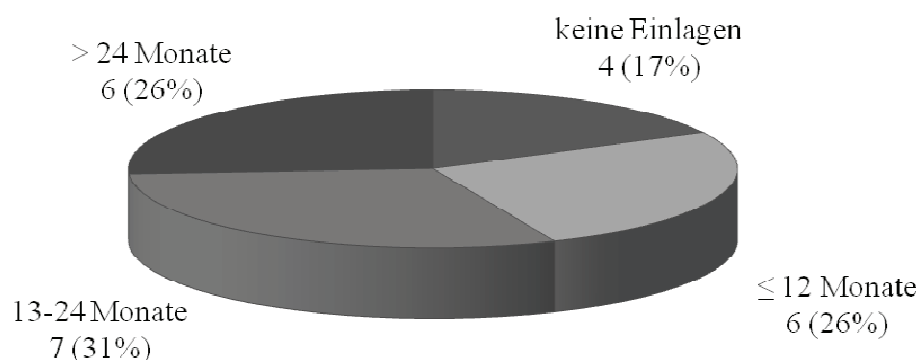
	<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	21	2	12	4,6	2,6
Gruppe B	3	2,5	6	4,5	1,8
<b>Gesamt</b>	24	2	12	4,5	2,5

### 4.3 Patientenurteil

Bei der Frage, ob die Patienten die Operation im Hinblick auf das Ergebnis noch einmal durchführen lassen würden, antworteten in Gruppe A 18 (78,3%) Patienten mit „Ja“. Vier (17,4%) empfanden die postoperativen Schmerzen und das lange Gipstragen als zu belastend und bei einem (4,3%) Patient war die subjektive Rückbildung des ursprünglich guten Ergebnisses ausschlaggebend. In Gruppe B würden zwei Patienten die Operation noch einmal durchführen lassen, einer bedauerte die erneute Verschlechterung nach initial gutem Ergebnis und würde deshalb davon absehen.

### 4.4 Einlagen- und Nachtschientherapie

Postoperativ wurde 22 (84,6%) Patienten eine Einlagentherapie verschrieben. Die Dauer dieser Therapie streut erheblich (Abb. 23, Tab. 7) und hielt bei neun (39,1%) Gruppe A-Patienten und bei allen drei Gruppe B-Patienten bis zum Nachuntersuchungsdatum an.

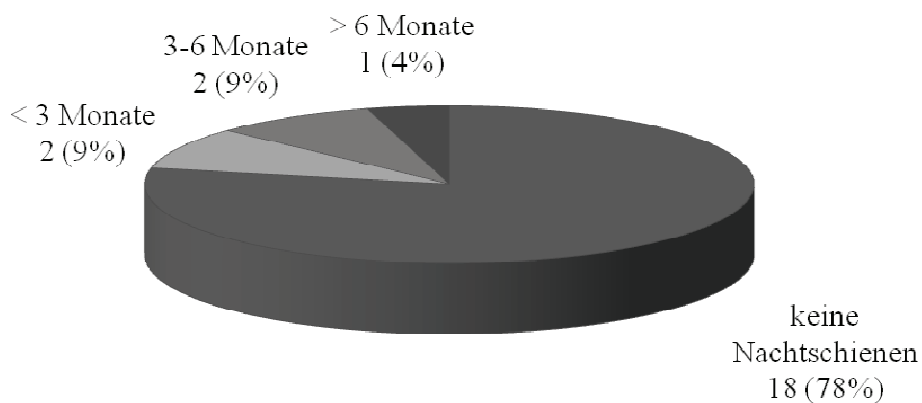


**Abb. 23:** Dauer der postoperativen Einlagentherapie Gruppe A (n=23)

**Tab. 7:** Dauer der postoperativen Einlagentherapie in Monaten

	<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	23	0	50	17,8	15,4
Gruppe B	3	13	48	35,3	19,4
<b>Gesamt</b>	26	0	50	20,0	16,5

Unterschenkel-Nachtschienen wurden postoperativ fünf (21,7%) Gruppe A-Patienten und allen drei Gruppe B-Patienten verschrieben. Zwei der drei Gruppe B-Patienten tragen die Schienen zum Nachuntersuchungszeitpunkt immer noch, aus Gruppe A keiner (Abb. 24, Tab. 8).



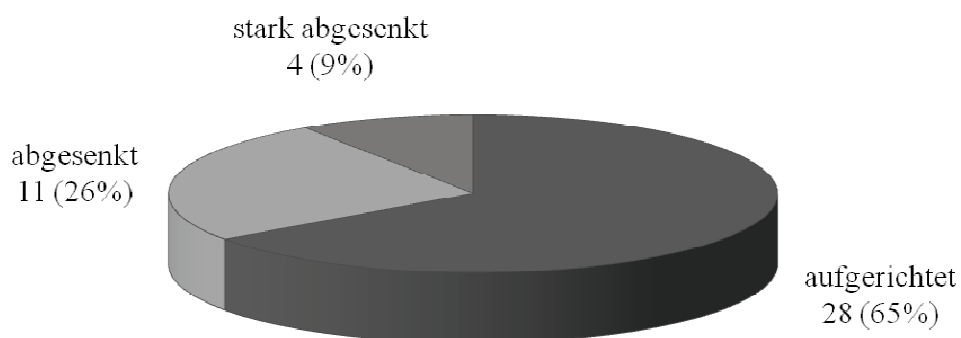
**Abb. 24:** Dauer der postoperativen Nachtschientherapie Gruppe A (n=23)

**Tab. 8:** Dauer der postoperativen Nachtschientherapie in Monaten

	<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	23	0	18	1,4	3,9
Gruppe B	3	13	48	33,0	18,0
<b>Gesamt</b>	26	0	48	5,1	12,1

#### 4.5 Äußeres Erscheinungsbild

Abb. 25 zeigt die postoperative Aufrichtung des Längsgewölbes in Gruppe A. In Gruppe B zeigten sich postoperativ zwei Füße aufgerichtet und einer stark abgelenkt.



**Abb. 25:** Längsgewölbe postoperativ Gruppe A (n=43)

In Gruppe A konnte zum Nachuntersuchungszeitpunkt ein durchschnittlicher Restvalgus von  $3,7^\circ$  ( $0-20^\circ$  min.-max., n=43) festgestellt werden. Die genaue Verteilung der verschiedenen Schweregrade ist in Tab. 9 dargestellt. Ein Restvalgus von bis zu  $5^\circ$  ist hierbei als physiologisch zu betrachten. In Gruppe B betrug der durchschnittliche Restvalgus  $3,3^\circ$  ( $0-10^\circ$  min.-max., n=3) und im Gesamtkollektiv  $3,7^\circ$  ( $0-20^\circ$  min.-max, n=46).

**Tab. 9:** Restvalgus postoperativ

	<i>n</i>	<i>0-5°</i>	<i>6-10°</i>	<i>11-15°</i>	<i>16-20°</i>
Gruppe A	43	34	6	1	2
In Prozent		79,1	14,0	2,3	4,7
Gruppe B	3	2	1	0	0
In Prozent		66,7	33,3	0,0	0,0
<b>Gesamt</b>	46	36	7	1	2
<b>In Prozent</b>		78,3	15,2	2,2	4,3

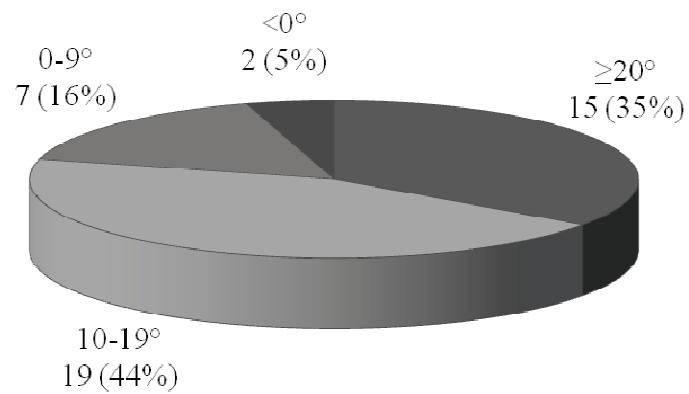
Somit besteht bei 9 Füßen aus Gruppe A mit einem Valgus  $> 5^\circ$  eine Knickfußkomponente, in Gruppe B bei einem Fuß.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zeigten sich bei allen Patienten des Gesamtkollektivs reizlose Narben und keine Entzündungszeichen wie Rötung, Überwärmung oder Schwellung. Vereinzelt waren die Narben noch breit und farblich deutlich von der gesunden Haut abzugrenzen. Ein Patient klagte über Wetterfühligkeit im Narbenbereich.

#### **4.6 Bewegungsausmaß**

Die Überprüfung der groben Fußmotorik zeigte in Gruppe A keine Auffälligkeiten. In Gruppe B war bei allen drei Patienten die durch die Cerebralparese bedingte Spastik zu sehen.

Die aktive Dorsalextension zeigte sich bei 28 von 43 Füßen eingeschränkt ( $<20^\circ$ ) (Abb. 26).

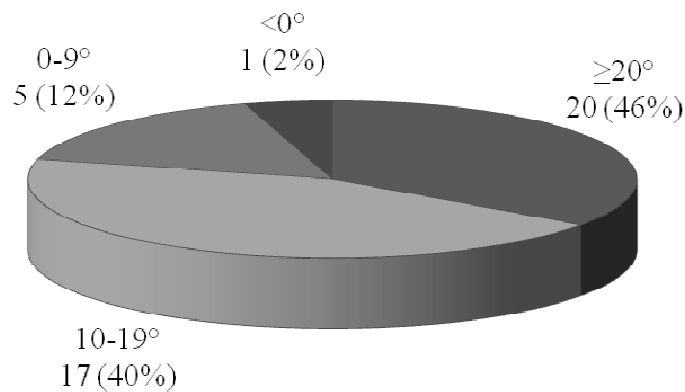


**Abb. 26:** postoperative Dorsalextension aktiv Gruppe A (n=43)

Die durchschnittliche aktive Dorsalextensionsfähigkeit betrug in Gruppe A  $13,3 \pm 8,7^\circ$  (Tab. 10). In Gruppe B zeigte sich bei zwei Füßen eine deutliche Einschränkung ( $<10^\circ$ ) und bei einem eine leichte Einschränkung ( $10-19^\circ$ ). Durchschnittlich war in Gruppe B eine aktive Dorsalextension von  $11,0 \pm 7,6^\circ$  möglich (Tab. 10).

Bei der passiven Dorsalextension zeigten sich lediglich 23 eingeschränkte ( $<20^\circ$ ) Füße (Abb. 27).





**Abb. 27:** postoperative Dorsalextension passiv Gruppe A (n=43)

Der Mittelwert in Gruppe A betrug  $15,7 \pm 8,8^\circ$  (Tab. 10). In Gruppe B zeigte sich wie bei der aktiven Dorsalextension bei zwei Füßen eine deutliche Einschränkung ( $<10^\circ$ ) sowie eine leichte Einschränkung (10-19°). Der Durchschnitt betrug hierbei  $12,3 \pm 7,6^\circ$  (Tab. 10).

**Tab. 10:** postoperative Dorsalextension aktiv und passiv

		<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	Aktiv	43	-10	30	13,3	8,7
	Passiv		-10	30	15,7	8,8
Gruppe B	Aktiv	3	-5	10	11,0	7,6
	Passiv		-5	10	11,0	7,6
Gesamt	Aktiv	46	-10	30	12,5	9,1
	passiv		-10	30	14,8	9,4

Bei der aktiven und passiven Plantarflexion zeigten sich in Gruppe A keinerlei Einschränkungen. In Gruppe B war ein Patient mit einer aktiven und passiven Plantarflexion von  $30^\circ$  eingeschränkt.

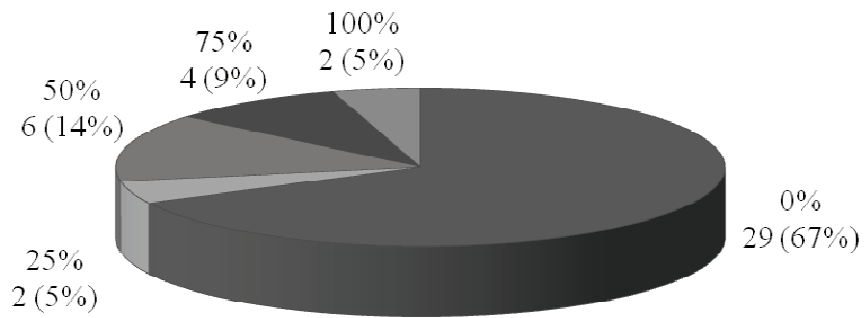
Die aktive Pronation des Vorfußes betrug in Gruppe A durchschnittlich  $13,6 \pm 4,3^\circ$  (0-20° min.-max., n=43). 36 (83,7%) Füße erreichten den Normwert von 15° oder lagen darüber, drei (7,0%) waren mit 10° Pronation leicht eingeschränkt und vier (9,3%) Füße erreichten weniger als 10°. In Gruppe B wurde bei zwei Füßen eine uneingeschränkte Pronation festgestellt, ein Fuß war wackelsteif und ließ sich nicht in Pronationsstellung bewegen.

Die passive Pronation des Vorfußes betrug in Gruppe A durchschnittlich  $15,5 \pm 4,3^\circ$  (5-30° min.-max., n=43). 37 (86,0%) Füße erreichten den Normwert von 15° oder lagen darüber, vier (9,3%) waren mit 10° Pronation leicht eingeschränkt und zwei (4,7%) Füße erreichten weniger als 10°. In Gruppe B waren wieder zwei Füße im Normbereich und ein Fuß konnte auch passiv nicht in Pronationsstellung gebracht werden.

Die aktive Supination des Vorfußes betrug in Gruppe A durchschnittlich  $28,7 \pm 12,0^\circ$  (0-45° min.-max., n=43). 30 (69,8%) Füße erreichten den Normwert von 35° oder lagen darüber, drei (7,0%) zeigten mit 20-30° eine leichte Einschränkung und 10 (23,3%) Füße konnten 20° nicht erreichen. In Gruppe B erreichte ein Fuß den Normwert von 35°, einer zeigte mit 30° eine leichte Einschränkung und einer konnte aktiv nicht in Supinationsstellung gebracht werden.

Die passive Supination des Vorfußes betrug in Gruppe A durchschnittlich  $31,9 \pm 9,1^\circ$  (5-50° min.-max., n=43). 32 (74,4%) Füße erreichten den Normwert von 35° oder lagen darüber, 7 (16,3%) zeigten mit 20-30° eine leichte Einschränkung und vier (9,3%) erreichten weniger als 20°. In Gruppe B erreichte ein Fuß den Normwert von 35°, einer zeigte mit 30° eine leichte Einschränkung und einer konnte auch passiv nicht in Supinationsstellung gebracht werden.

Die Verteilung der passiven Inversions-/Eversions-Bewegungseinschränkung in Gruppe A ist in Abb. 28 dargestellt.



**Abb. 28:** postoperative Einschränkung der Inversion/Eversion Gruppe A (n=43)

In Gruppe B wurde postoperativ bei zwei Füßen eine vollständige (100%) Einschränkung und bei einem Fuß eine schwere (75%) Einschränkung festgestellt. Die Ergebnisse beider Gruppen lassen sich aus Tab. 11 entnehmen.

**Tab. 11:** postoperative Einschränkung der Inversion/Eversion in Prozent

	<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	43	0	100	19,8	31,6
Gruppe B	3	75	100	91,7	14,4
<b>Gesamt</b>	46	0	100	24,5	35,5

#### 4.7 Ankle-Hindfoot Scale und Maryland Foot Score

Die Verteilung der Ergebnisse der Ankle-Hindfoot Scale und des Maryland Foot Score ist in Tab. 12 dargestellt.

**Tab. 12:** Ankle-Hindfoot Scale und Maryland Foot Score

		<i>n</i>	<i>&lt;80 Punkte</i>	<i>80-89 Punkte</i>	<i>90-99 Punkte</i>	<i>100 Punkte</i>
Gruppe A	Ankle-Hindfoot	43	0	11	16	16
	In Prozent		0,0	25,6	37,2	37,2
	Maryland	43	0	5	22	16
	In Prozent		0,0	11,6	51,2	37,2
Gruppe B	Ankle-Hindfoot	3	2	0	1	0
	In Prozent		66,6	0,0	33,3	0,0
	Maryland	3	1	1	1	0
	In Prozent		33,3	33,3	33,3	0,0
<b>Gesamt</b>	<b>Ankle-Hindfoot</b>	46	2	11	17	16
	<b>In Prozent</b>		4,3	23,9	37,0	34,8
	<b>Maryland</b>	46	1	6	23	16
	<b>In Prozent</b>		2,2	13,0	50,0	34,8

Bei der Ankle-Hindfoot Scale wurde in Gruppe A ein Mittelwert von 94,5 (82-100 min.-max., n=43) Punkten ermittelt. In Gruppe B wurde ein Mittelwert von 70,0 (44-90 min.-max., n=3) erreicht.

Beim Maryland Foot Score wurde in Gruppe A ein durchschnittlicher Wert von 95,5 (82-100 min.-max., n=43) Punkten erfasst. In Gruppe B betrug der mittlere Maryland Foot Score 74,3 (43-93 min.-max., n=3) Punkte.

In Gruppe A konnte zudem eine signifikante negative Korrelation zwischen dem Body-Mass-Index und der Ankle-Hindfoot Scale ( $p=0,0034$ ,  $r=-0,4363$ , Abb. 29) und zwischen Body-Mass-Index und dem Maryland Foot Score ( $p=0,0359$ ,  $r=-0,3209$ , Abb. 30) festgestellt werden.

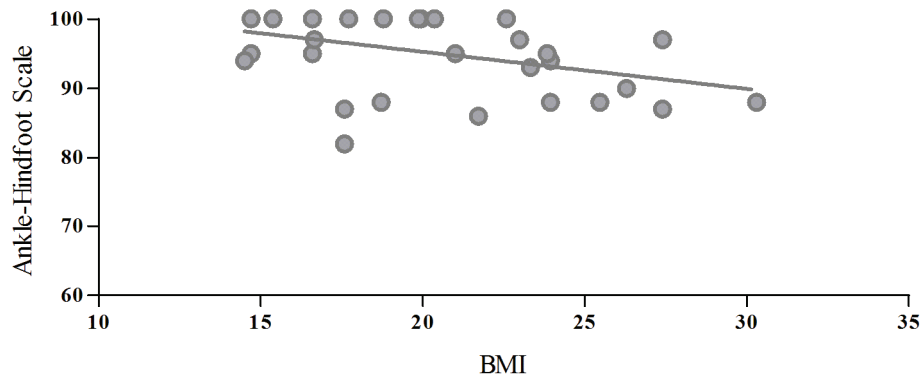


Abb. 29: Korrelation BMI mit Ankle-Hindfoot Scale Gruppe A (n=43)

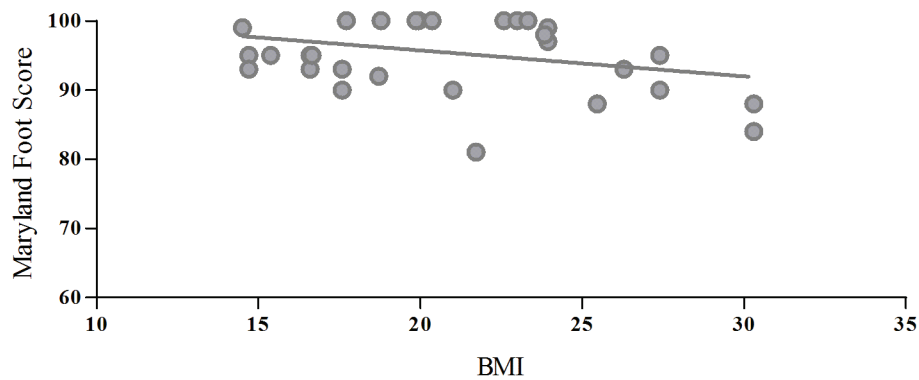


Abb. 30: Korrelation BMI mit Maryland Foot Score Gruppe A (n=43)

#### 4.8 Komplikationen, Nervenverletzungen und Überkorrekturen

Die aufgetretenen Komplikationen, Nervenverletzungen und Überkorrekturen sind in Tab. 13 dargestellt.

**Tab. 13:** Komplikationen, Nervenverletzungen und Überkorrekturen

	<i>n</i>	<i>Anzahl</i>	<i>in Prozent</i>
<i>Nachblutung</i>	46	0	0
<i>Revision</i>	46	0	0
<i>Wundheilungsstörung</i>	46	1	2,2
<i>N. suralis-Hyperästhesie</i>	46	3	6,5
<i>N. suralis-Hypästhesie</i>	46	5	10,9
<i>N. cut. dors. intermedius Hypästhesie</i>	46	1	2,2
<i>N. cutaneus. femoris lat.-Hypästhesie</i>	26	1	3,8
<i>Überkorrektur</i>	46	2	4,3

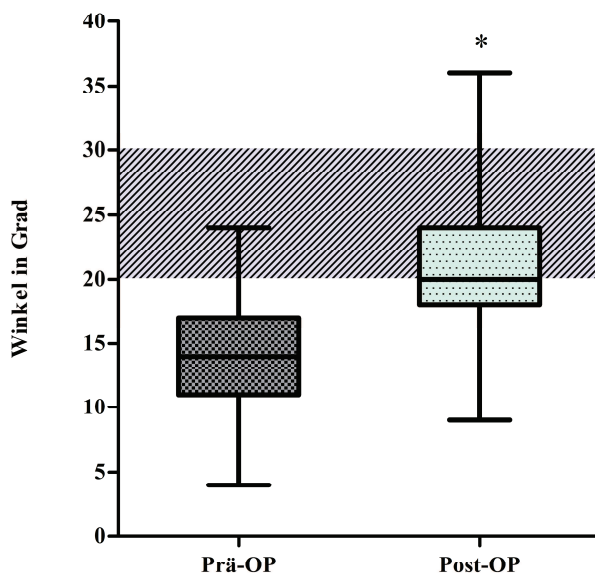
Die Wundheilungsstörung bestand lediglich aus einer oberflächlichen Infektion der Einstichstellen der Kirschnerdrähte und verlief unkompliziert.

Bei der Sensibilitätsüberprüfung fielen im Versorgungsgebiet des N. suralis sowohl Hyper- als auch Hypästhesien auf. Zusätzlich traten Hypästhesien im Versorgungsgebiet des N. cutaneus dorsalis intermedius und des N. cutaneus femoris lateralis auf (Tab. 13). Vier dieser sieben Hypästhesien sind seit dem OP-Datum rückläufig.

Bei einem Patienten wurde postoperativ an beiden Füßen eine Überkorrektur festgestellt. Der Kalkaneus-Boden-Winkel lag mit 35 bzw. 36° über der Norm von 20-30°, der Kuboid-Abduktionswinkel betrug -8 bzw. -17° statt 0-5°. Der Patient hatte zum Nachuntersuchungszeitpunkt postoperativ neu aufgetretene Schmerzen bei langem Stehen von 4 bzw. 7 auf der Schmerzskala. Die präoperativ angegebenen Schmerzen beim Sport waren jedoch nicht mehr vorhanden und die subjektive Lebensqualität besserte sich von „zufrieden“ auf „sehr zufrieden“. Der Wert auf der Ankle-Hindfoot Scale betrug an beiden Füßen 90 Punkte, der Maryland Foot Score jeweils 93 Punkte.

#### 4.9 Röntgenuntersuchung

Der Kalkaneus-Boden-Winkel besserte sich in Gruppe A signifikant ( $p < 0,0001$ ;  $n=41$ ; Tab. 14; Abb. 31). 22 (51,2%) FüÙe liegen in der Norm zwischen 20 und 30°, 14 (32,6%) zwischen 15 und 19° und fünf (11,6%) unter 15°. Zwei (4,7%) FüÙe sind überkorrigiert mit 35 und 36°. Durchschnittlich hat sich der Winkel um 6,2° verbessert. In Gruppe B hat er sich um durchschnittlich 6,5° gebessert, einer liegt in der Norm, einer knapp darunter und einer unter 15°.

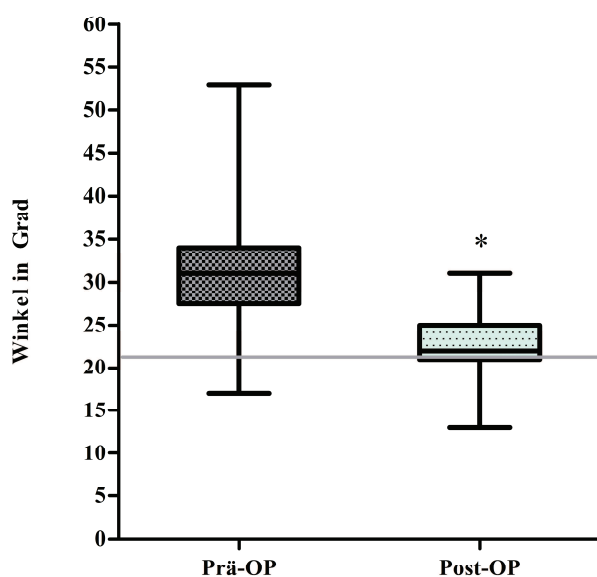


**Abb. 31:** Kalkaneus-Boden-Winkel prä- und postoperativ Gruppe A (Norm: 20-30°, \*  $p < 0,0001$ )

**Tab. 14:** Kalkaneus-Boden-Winkel prä- und postoperativ (Norm: 20-30°)

		<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	Prä-OP	41	4	24	14,3	5,1
	Post-OP	43	9	36	20,6	5,5
Gruppe B	Prä-OP	2	8	17	12,5	6,4
	Post-Op	3	14	20	17,3	3,1
<b>Gesamt</b>	Prä-OP	43	4	24	14,3	5,1
	Post-OP	46	9	36	20,4	5,4

Der Talus-Neigungswinkel besserte sich in Gruppe A signifikant ( $p < 0,0001$ ;  $n=41$ ; Tab. 15, Abb. 32). Zehn (23,3%) FüÙe haben postoperativ den Normwert  $21^\circ$ , 17 (39,5%) lagen im Substandard-Bereich ( $19-23^\circ$ ) und bei 16 (37,2%) FüÙen war der Talus-Neigungswinkel unter  $19^\circ$  oder über  $23^\circ$ . In Gruppe B lag der Winkel aller FüÙe über  $23^\circ$ , es zeigte sich jedoch eine durchschnittliche Verbesserung von  $8,0^\circ$ .



**Abb. 32:** Talus-Neigungswinkel prä- und postoperativ Gruppe A (Norm:  $21^\circ$ , \*  $p < 0,0001$ )

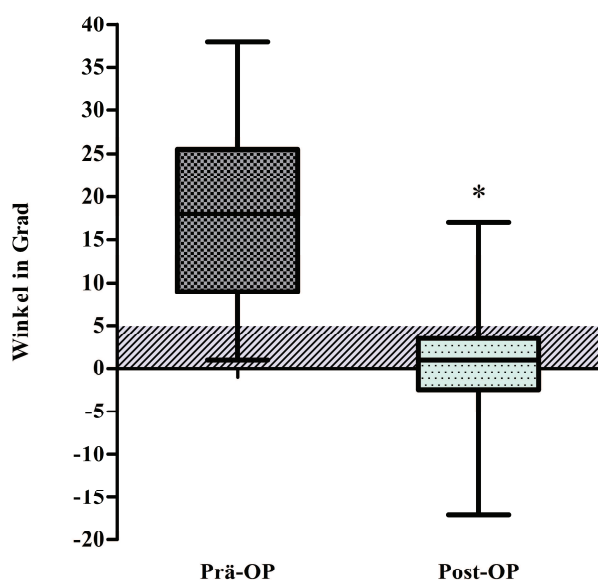
**Tab. 15:** Talus-Neigungswinkel prä- und postoperativ (Norm:  $21^\circ$ )

		<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	Prä-OP	41	17	53	31,0	7,4
	Post-OP	43	13	31	22,4	3,3
Gruppe B	Prä-OP	2	30	38	34,0	5,7
	Post-Op	3	24	30	27,3	3,1
<b>Gesamt</b>	Prä-OP	43	17	53	31,2	7,3
	Post-OP	46	13	31	22,7	3,5

Der Kuboid-Abduktionswinkel besserte sich signifikant ( $p < 0,0001$ ;  $n=39$ ; Tab. 16; Abb. 33). 24 (58,5%) liegen in der Norm ( $0-5^\circ$ ), 5 (12,2%) entsprechen dem



Substandard ( $-2-7^\circ$ ) und 12 (29,3%) befinden sich unter  $-2^\circ$  oder über  $7^\circ$ . Durchschnittlich verbesserte sich der Winkel um  $16,9^\circ$ . In Gruppe B lag ein Fuß in der Norm, einer leicht darüber, einer unter  $-2^\circ$ . Der Kuboid-Abduktionswinkel verbesserte sich durchschnittlich um  $26,7^\circ$ .

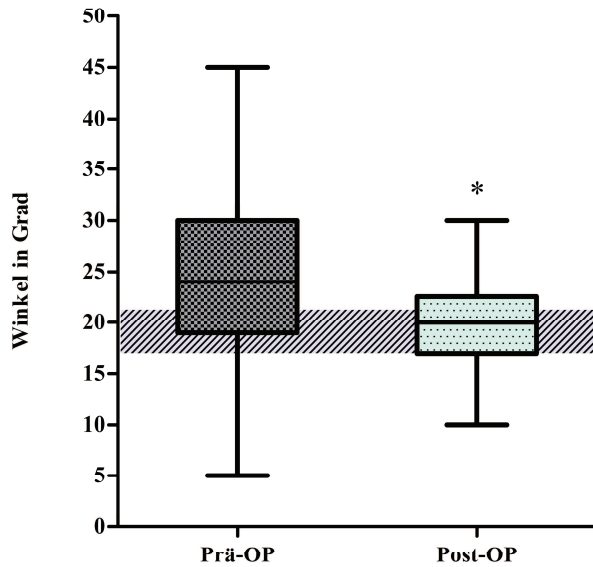


**Abb. 33:** Kuboid-Abduktionswinkel prä- und postoperativ Gruppe A (Norm:  $0-5^\circ$ , \*  $p < 0,0001$ )

**Tab. 16:** Kuboid-Abduktionswinkel prä- und postoperativ (Norm:  $0-5^\circ$ )

		<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	Prä-OP	41	1	38	18,3	10,3
	Post-OP	41	-17	17	0,8	5,6
Gruppe B	Prä-OP	3	23	34	27,3	5,9
	Post-Op	3	-5	6	0,7	5,5
<b>Gesamt</b>	Prä-OP	44	1	38	18,9	10,3
	Post-OP	44	-17	17	0,8	5,6

Der dorsoplantare Talus-Kalkaneus-Winkel besserte sich in Gruppe A signifikant ( $p < 0,001$ ;  $n=39$ ; Tab. 17, Abb. 34). 19 (46,3%) Füße sind postoperativ in der Norm ( $17-21^\circ$ ), 13 (31,7%) knapp unter der Norm ( $15-23^\circ$ ) und 9 (22,0%) sind darunter. Durchschnittlich verbesserte sich der Winkel um  $5,3^\circ$ .

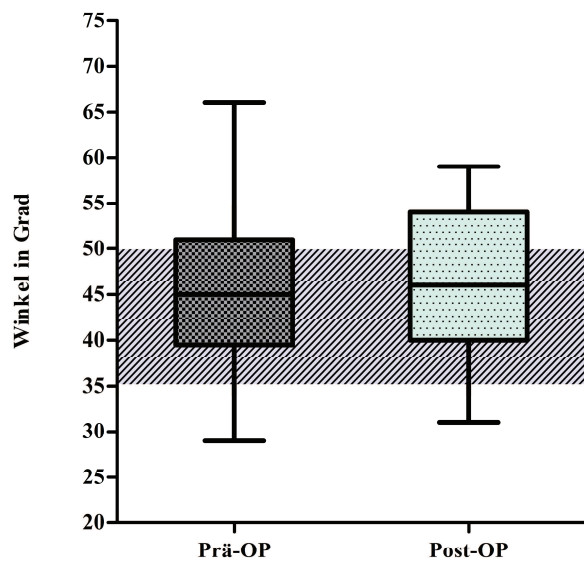


**Abb. 34:** Talus-Kalkaneus-Winkel d.p. prä- und postoperativ Gruppe A (Norm: 17-21°, \* p<0,001)

**Tab. 17:** Talus-Kalkaneus-Winkel d.p. prä- und postoperativ (Norm: 17-21°)

		<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	Prä-OP	41	5	45	24,7	8,2
	Post-OP	41	10	30	19,6	4,2
Gruppe B	Prä-OP	3	12	31	22,3	9,6
	Post-OP	3	22	24	23,0	1,0
<b>Gesamt</b>	Prä-OP	44	5	45	24,6	8,2
	Post-OP	44	10	30	19,8	4,2

Der laterale Talus-Kalkaneus-Winkel zeigte keine signifikante Veränderung ( $p>0,05$ ,  $n=41$ ; Tab. 18, Abb. 35). Er lag aber mit einem präoperativen Mittelwert von 45,4° in Gruppe A sowie mit 48,5° in Gruppe B schon im Normbereich (35-50°).

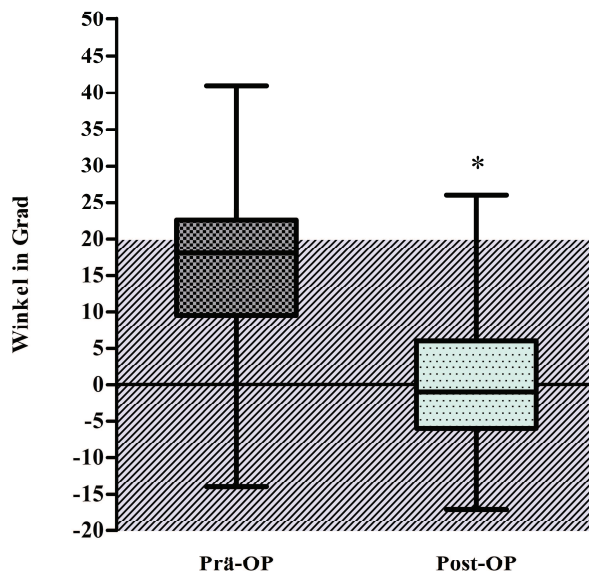


**Abb. 35:** lateraler Talus-Kalkaneus-Winkel prä- und postoperativ Gruppe A (Norm 35-50°)

**Tab. 18:** lateraler Talus-Kalkaneus-Winkel prä- und postoperativ (Norm 35-50°)

		<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	Prä-OP	41	29	66	45,4	8,9
	Post-OP	43	31	59	46,3	7,3
Gruppe B	Prä-OP	2	44	53	48,5	6,4
	Post-OP	3	45	58	51,3	6,5
<b>Gesamt</b>	Prä-OP	43	29	66	45,6	8,7
	Post-OP	46	31	59	46,6	7,3

Der dorsoplantare Talus-Metatarsale-I-Winkel besserte sich signifikant ( $p < 0,0001$ ;  $n = 39$ ; Tab. 19, Abb. 36). 40 (97,6%) FüÙe lagen postoperativ in der Norm (-20 bis 20°) und einer (2,4%) über der Norm. Durchschnittlich verbesserte sich der Winkel um 14,1°. In Gruppe B lagen postoperativ alle Winkel im Normbereich. Es konnte eine Verbesserung von durchschnittlich 23,0° festgestellt werden.

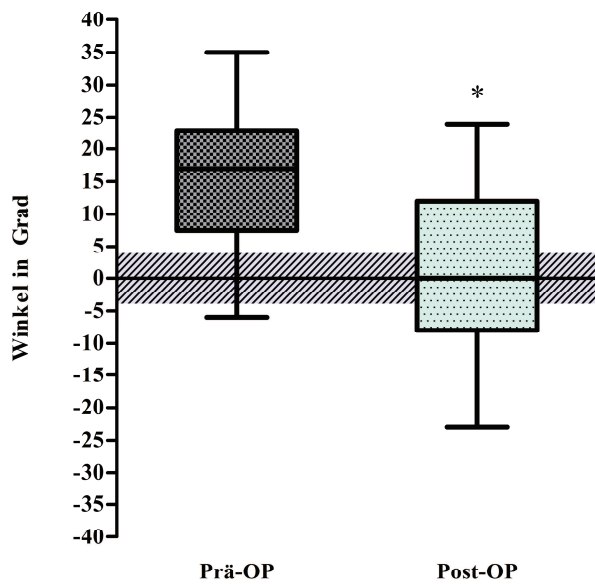


**Abb. 36:** Talus-Metatarsale I-Winkel d.p. prä- und postoperativ Gruppe A (Norm: -20 bis 20°, \* p<0,0001)

**Tab. 19:** Talus-Metatarsale I-Winkel d.p. prä- und postoperativ (Norm: -20 bis 20°)

		<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	Prä-OP	41	-14	41	15,0	11,7
	Post-OP	41	-17	26	0,6	8,7
Gruppe B	Prä-OP	3	19	37	25,7	9,9
	Post-Op	3	-1	8	2,7	4,7
<b>Gesamt</b>	Prä-OP	44	-14	41	15,8	11,8
	Post-OP	44	-17	26	0,8	8,5

Der laterale Talus-Metatarsale-I-Winkel besserte sich in Gruppe A postoperativ signifikant ( $p < 0,0001$ ;  $n=41$ ; Tab. 20, Abb. 37) auf einen Durchschnittswert von 1,7°. 11 (25,6%) Füße lagen postoperativ in der strengen Norm von -4 bis 4°, 11 (25,6%) zwischen -5 und -15°, zwei (4,7%) unter -15°, 14 (32,6%) zwischen 5 und 15°, und lediglich fünf (11,6%) zwischen 15 und 30°. Der Winkel verbesserte sich durchschnittlich um 13,2°. In Gruppe B ist kein Fuß in der Norm, einer liegt unter 15° und zwei zwischen 15 und 30°. Der Winkel verbesserte sich um Durchschnitt um 10,5°.



**Abb. 37:** Talus-Metatarsale I-Winkel lateral prä- und postoperativ Gruppe A (Norm:  $\pm 4^\circ$ , \*  $p < 0,0001$ )

**Tab. 20:** Talus-Metatarsale I-Winkel lateral prä- und postoperativ (Norm:  $\pm 4^\circ$ )

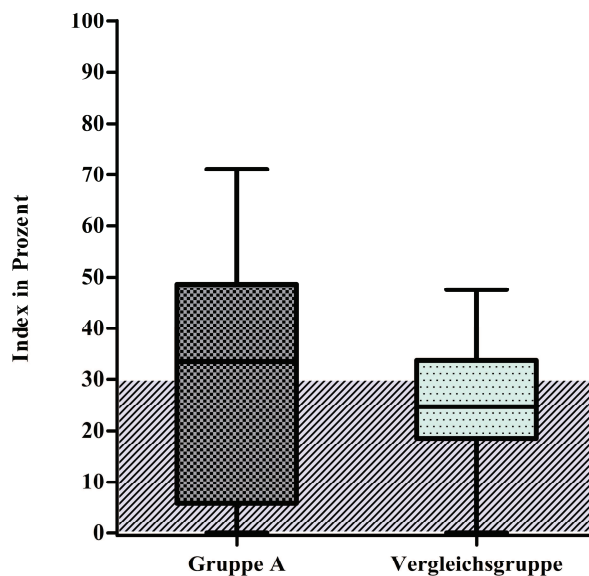
		<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Gruppe A	Prä-OP	41	-6	35	15,5	9,6
	Post-OP	43	-23	24	1,7	11,7
Gruppe B	Prä-OP	2	20	24	22,0	2,8
	Post-Op	3	8	27	16,7	9,6
<b>Gesamt</b>	Prä-OP	43	-6	35	15,8	9,5
	Post-OP	46	-23	27	2,7	12,0

Auf den postoperativen Röntgenbildern ist bei allen Füßen ein Einwachsen des Spans erkennbar. Noch abzugrenzen ist der Span bei 15 (32,6%) Füßen. Kein Span wurde resorbiert. Osteophytäre Veränderungen im Kalkaneo-Kuboid-Gelenk waren bei neun (19,6%) Füßen von sieben Patienten sichtbar. Bei diesen sieben betroffenen Patienten beträgt das Durchschnittsalter bei Operation 13,0 (zwischen 11 und 16) Jahre und unterscheidet sich signifikant ( $p < 0,05$ ) vom Durchschnitt derjenigen ohne Veränderungen (10,7 Jahre).

## 4.10 Ganganalyse

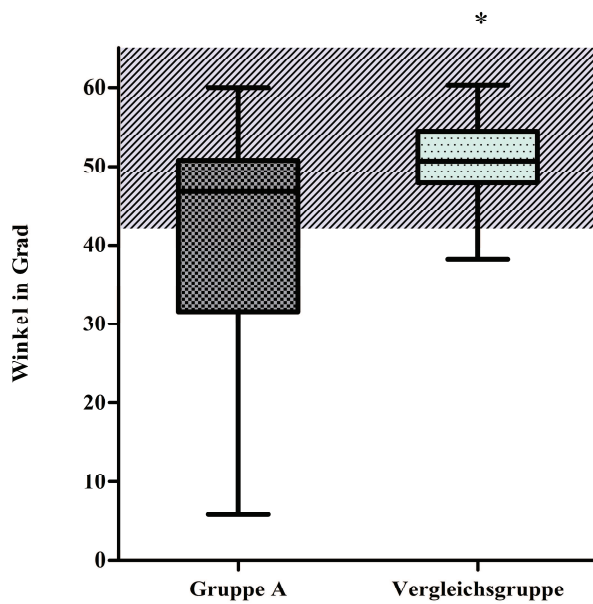
### 4.10.1 Kinetik-Analyse

Bei der postoperativen Bestimmung des Chippaux-Smirak Index ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p > 0,05$ ) zwischen Gruppe A und der Vergleichsgruppe (Abb. 38). In Gruppe A konnte ein Mittelwert von  $29,9 \pm 21,5\%$  erreicht werden. 40,6% der FüÙe lagen im Normbereich.



**Abb. 38:** Chippaux-Smirak Index Gruppe A (n=37) und Vergleichsgruppe (n=24)

Der Footprint-Winkel unterschied sich mit einem Mittelwert von  $41,0 \pm 14,4^\circ$  signifikant von der Vergleichsgruppe ( $p < 0,01$ ) (Abb. 39). 59,5% der FüÙe in Gruppe A lagen im Normbereich.



**Abb. 39:** Footprint-Winkel Gruppe A (n=37) und Vergleichsgruppe (n=24), \*  $p < 0,01$

Die Standphase war in Gruppe A mit einem Mittelwert von 63,0% des Gangzyklus signifikant länger als in der Vergleichsgruppe, die einen Mittelwert von 61,9% aufwies ( $p < 0,01$ ) (Abb. 40).

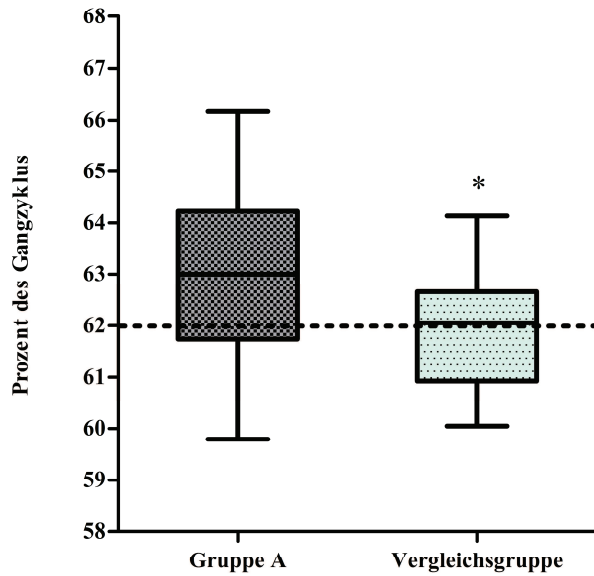


Abb. 40: Standphase Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24), \* p<0,01

Die Länge der Schwungphase zeigte sich in Gruppe A im Gegensatz zur Vergleichsgruppe signifikant verkürzt (p<0,01) (Abb. 41).

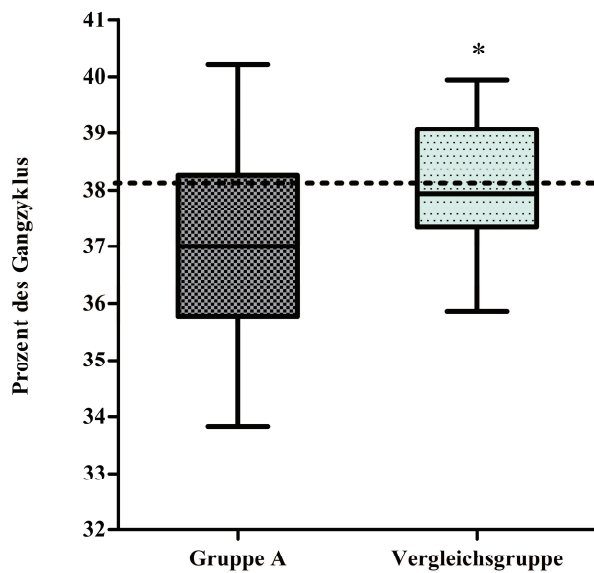


Abb. 41: Schwungphase Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24), \* p<0,01



Die Stoßdämpfungsphase zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen Gruppe A und der Vergleichsgruppe ( $p < 0,01$ ). Der Mittelwert der Gruppe A war mit 13,1% größer als derjenige der Vergleichsgruppe (11,9%) (Abb. 42).

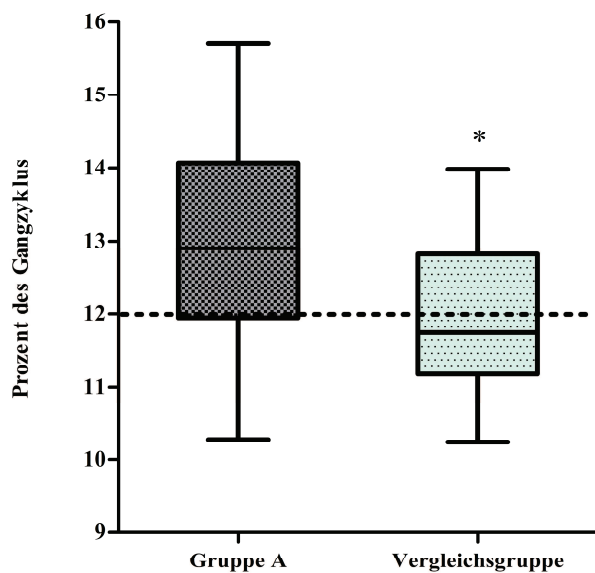
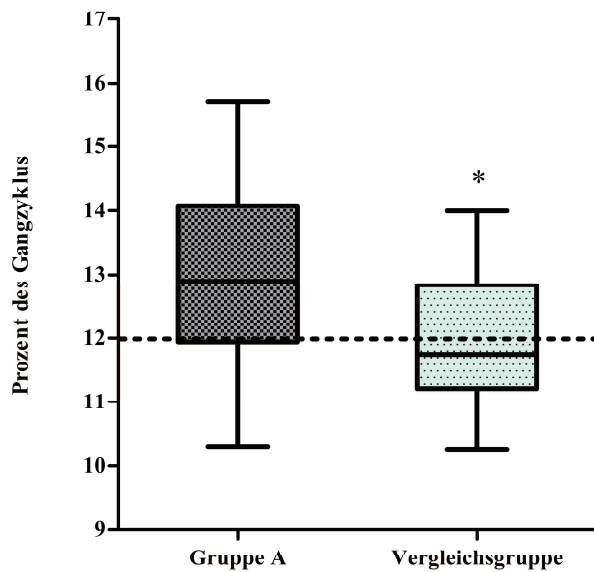


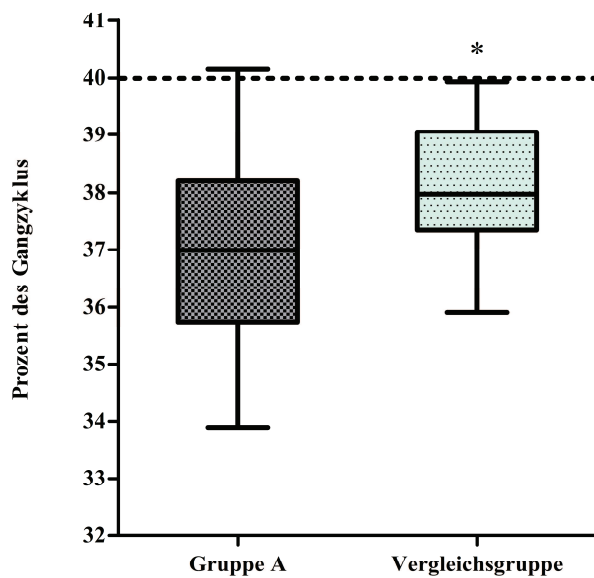
Abb. 42: Stoßdämpfungsphase Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24), \*  $p < 0,01$

Die Vorschwungphase war in Gruppe A mit einem Mittelwert von 13,1% des Gangzyklus signifikant länger als in der Vergleichsgruppe (11,9%) ( $p < 0,01$ ) (Abb. 43).



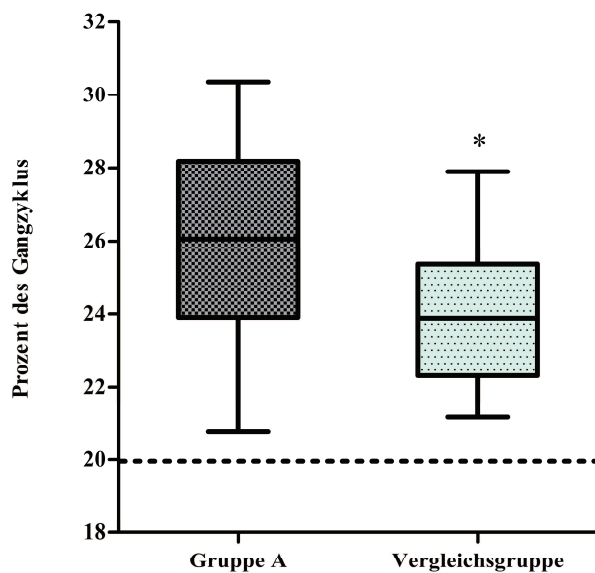
**Abb. 43:** Vorschwungphase Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24), \* p<0,01

In der einfach unterstützten Standphase konnte ein signifikanter Unterschied zur Vergleichsgruppe festgestellt werden ( $p < 0,01$ ). Gruppe A erzielte einen Mittelwert von 36,9%, die Vergleichsgruppe 38,1% (Abb. 44).



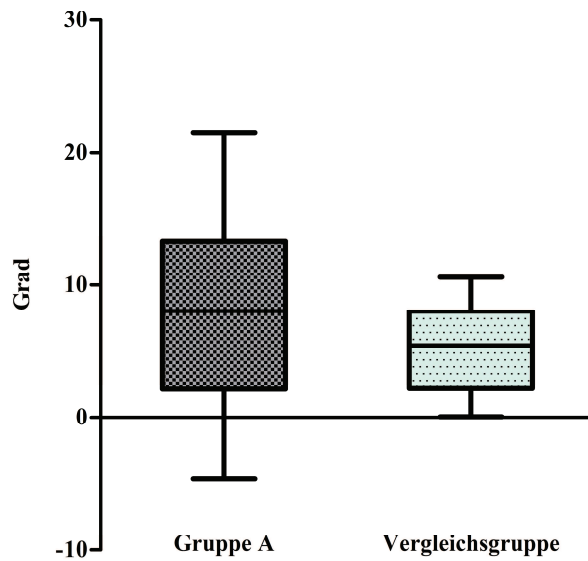
**Abb. 44:** einfach unterstützte Standphase Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24), \* p<0,01

Auch die doppelt unterstützte Standphase zeigte einen signifikanten Unterschied zur Vergleichsgruppe ( $p < 0,05$ ). Mit einem Mittelwert von 26,1 % des Gangzyklus war sie in Gruppe A verlängert (Vergleichsgruppe 23,9%) (Abb. 45).



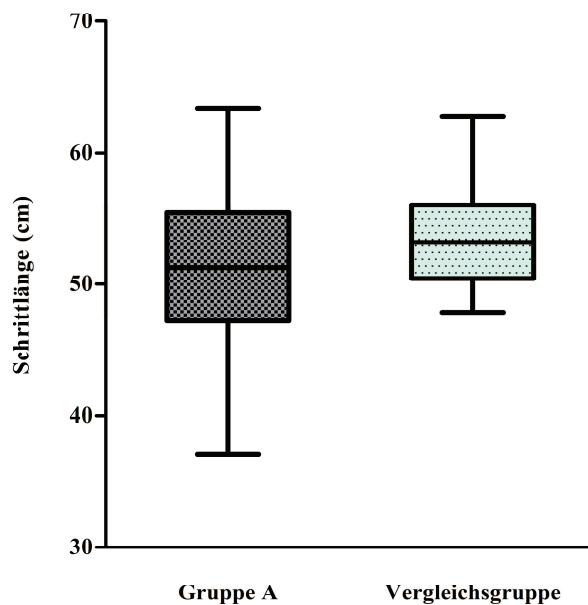
**Abb. 45:** doppelt unterstützte Standphase Gruppe A (n=23) und Vergleichsgruppe (n=12),  
\*  $p < 0,05$

In der Fußrotation zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $p > 0,05$ , Abb. 46).



**Abb. 46:** Fußrotation Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24)

Die Untersuchung der Schrittlänge zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Gruppe A und Vergleichsgruppe ( $p > 0,05$ ) (Abb. 47).



**Abb. 47:** Schrittlänge Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24)

#### 4.10.2 Kinematik-Analyse

Die Dorsalextension des oberen Sprunggelenks ist in Abb. 48 dargestellt. Gruppe A erreichte beim Aufsetzen des Fußes durchschnittlich  $-1,8^\circ$  Dorsalextension, die Vergleichsgruppe  $0,8^\circ$ . Die durchschnittliche passive Dorsalextension in der Standphase betrug in Gruppe A maximal  $13,6^\circ$ , in der Vergleichsgruppe  $12,4^\circ$ . Eine vermehrte Abweichung über die Standardabweichung der Vergleichsgruppe hinaus zeigt die Kurve der Mittelwerte lediglich in der mittleren Schwungphase. Hier erreichte Gruppe A einen maximalen Mittelwert von  $5,0^\circ$ , die Vergleichsgruppe  $7,7^\circ$ .

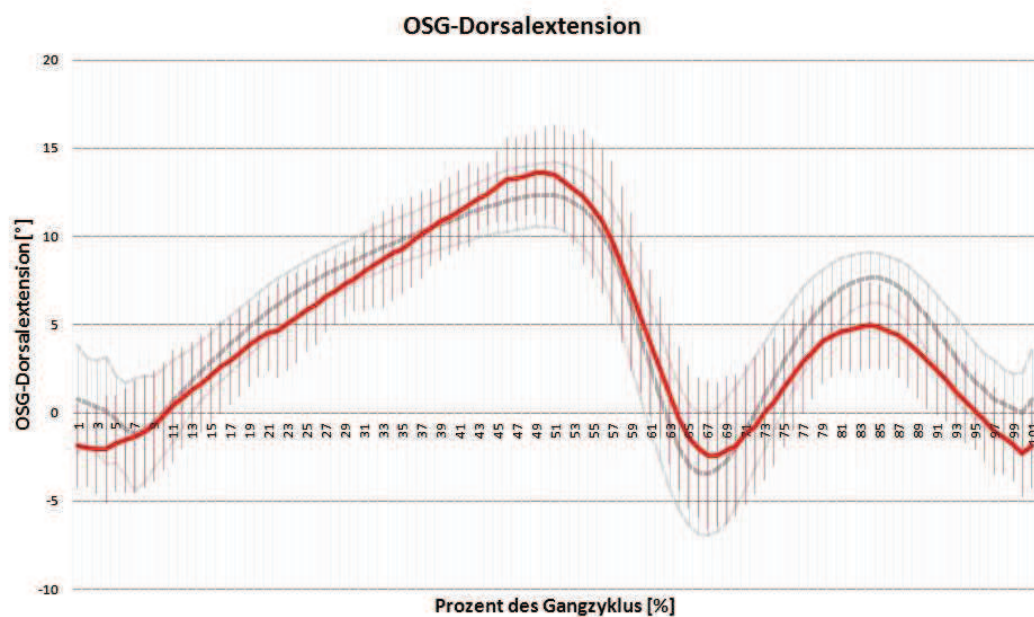
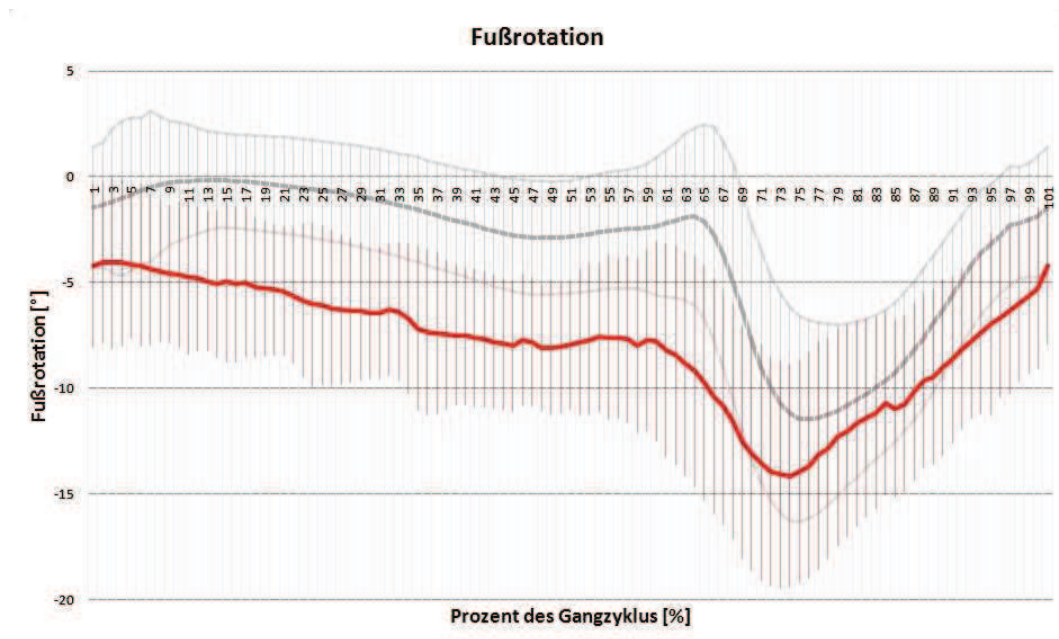


Abb. 48: OSG-Dorsalextension Gruppe A (n=25) (rot) und Vergleichsgruppe (n=24) (grau)

Bei der Rotation der Fußlängsachse gegen die Sagittalebene ist vor allem in der Standphase eine vermehrte Außenrotation der Patienten aus Gruppe A zu erkennen (Abb. 49). Die durchschnittliche Differenz der Mittelwerte betrug  $4,4^\circ$ . Insgesamt besteht bei beiden Gruppen eine weite Variation.



**Abb. 49:** Fußrotation Gruppe A (n=25) (rot) und Vergleichsgruppe (n=24) (grau)

Bei der Untersuchung der Knieflexion in der mittleren Schwungphase beträgt der Mittelwert in Gruppe A  $57,1^\circ$ , in der Vergleichsgruppe  $60,8^\circ$  (Abb. 50).

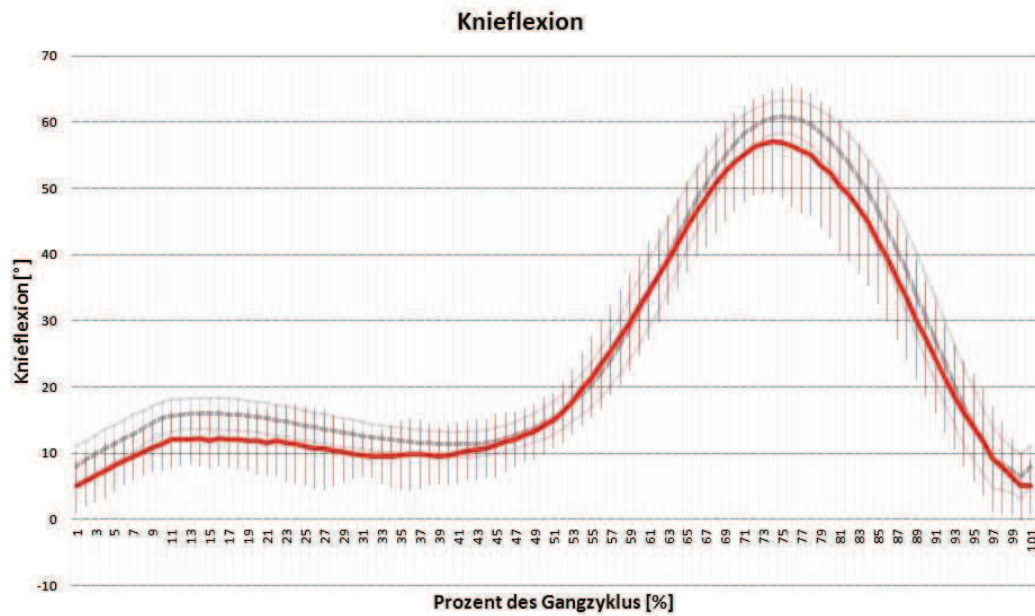
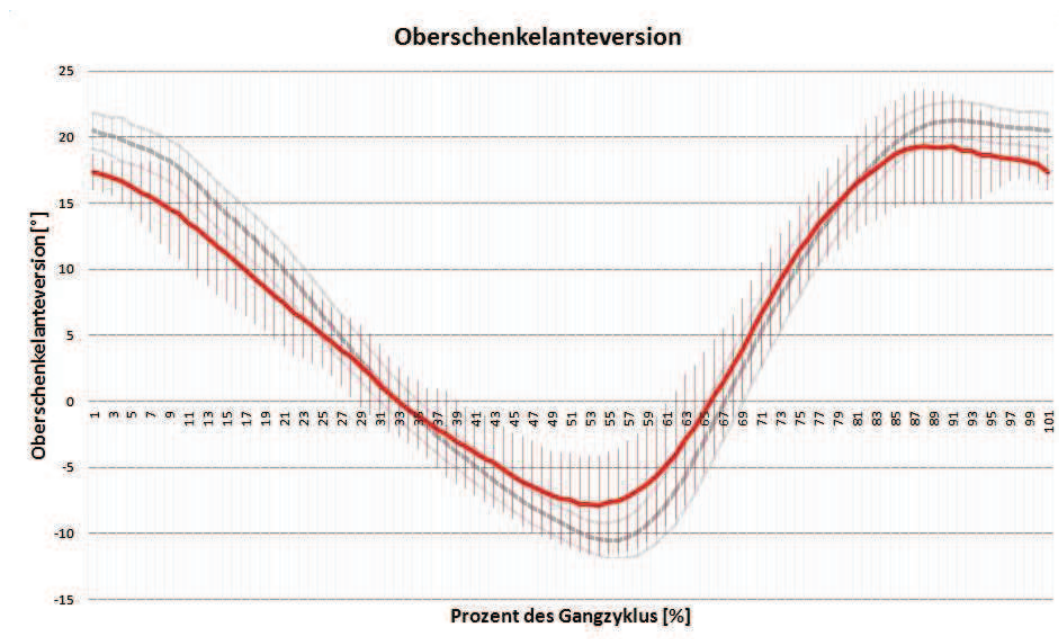


Abb. 50: Flexion Kniegelenk Gruppe A (n=25) (rot) und Vergleichsgruppe (n=24) (grau)

Die Oberschenkelanteversion in Abb. 51 zeigt im ersten Drittel des Gangzyklus mit einem Mittelwert von  $19,3^\circ$  eine leicht verminderte Ausprägung in Gruppe A (Vergleichsgruppe  $21,3^\circ$ ). Im zweiten Drittel, also in der terminalen Standphase und Vorschwungphase, zeigt sich mit  $-7,9^\circ$  eine geringere Retroversion der Gruppe A (Vergleichsgruppe  $-10,6^\circ$ ). In der mittleren Schwungphase lässt sich hingegen kein graphischer Unterschied feststellen.



**Abb. 51:** Oberschenkelanteversion Gruppe A (n=25) (rot) und Vergleichsgruppe (n=24) (grau)



## 5 Diskussion

Im Folgenden wird auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede in Material, Methoden und Ergebnissen zwischen der Evans-Osteotomie in Kombination mit modifizierter Müller-Niederecker-Sehnenverlagerung und anderen Operationstechniken eingegangen sowie die Ganganalyse bewertet.

In unserer Studie wurde nach sehr strengen Kriterien entschieden, ob ein Patient in das Patientenkollektiv aufgenommen wird. Viele andere Autoren führten ihre Untersuchungen mit einer großen Altersvariabilität durch [6, 25, 63, 69, 99], vermutlich, um die Fallzahl zu vergrößern. Dies verstärkt jedoch nicht die Aussagekraft, sondern erreicht eher das Gegenteil, da kontrakte Plattfüße von Erwachsenen schlecht mit juvenilen, flexiblen Plattfüßen vergleichbar sind. Zudem wurden sämtliche sekundäre Plattfußpathologien zusammengefasst, also auch anatomische Besonderheiten wie tarsale Coalitiones, zusätzliches Os naviculare oder Voroperationen [16, 22]. In unserer Studie haben wir diese sekundären Plattfüße mit bekannter Ursache sorgfältig ausgeschlossen, um das Ergebnis möglichst eindeutig dem idiopathischen Ursprung zuschreiben zu können. Einige Autoren fassen sogar verschiedene Operationstechniken in einer Nachuntersuchung zusammen [20, 22, 63, 75, 79, 99]. Da so nicht mehr nachvollziehbar ist, welches Ergebnis auf welche Technik zurückzuführen ist, haben wir strikt nur die kombinierte Evans/ Müller-Niederecker-Technik untersucht und bewertet.

In der Anamnese wurde eine Vielzahl an Daten erhoben und ausgewertet. Im Bezug auf Schmerzfreiheit konnte mit der untersuchten Operationsmethode ein exzellentes Ergebnis erzielt werden. Postoperativ waren in unserem Kollektiv 95,3% der Füße schmerzfrei im Alltag. Lediglich ein Patient berichtete noch über Schmerzen im Alltag. Dieser Patient hatte zudem einen BMI von 30,3 kg/m<sup>2</sup> und zeigte darunter eine Verschlechterung des initial sehr guten Ergebnisses. Dies passt zu der Tatsache, dass Übergewicht einen deutlich negativen Einfluss auf das

Fußlängsgewölbe hat [7, 15, 30, 49, 56, 87, 93]. Bei intensivem Sport gaben noch vier Patienten leichte Schmerzen an. Beim langen Stehen kam es nur bei einem überkorrigierten Patienten zu moderaten Schmerzen, 93,0% hatten leichte oder gar keine Schmerzen. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit anderen kombinierten knöchernen und weichteiligen Operationstechniken: Viegas berichtet, dass alle 17 Patienten nach seinem Operationsverfahren (Evans-Osteotomie kombiniert mit Transfer der gesplitteten M. tibialis anterior-Sehne) Schmerzfreiheit angaben [91]. Oh et al. beobachteten in ihrer Studie (laterale plus mediale Osteotomie kombiniert mit verschiedenen weichteiligen Verfahren) einen Patienten mit leichten Schmerzen am medialen und lateralen Fußrand [63]. Die Ergebnisse bei den Arthrorisen zeigen hier deutlichere Unterschiede: Koning et al. berichten, dass postoperativ 33,3% der Füße im Alltag schmerzhaft waren, 29,6% hatten Schmerzen bei langem Gehen und 25,9% beim Sport; zudem hatten 12 von 22 Patienten einen deutlichen Druckschmerz über dem Sinus tarsi, der allerdings nach regelrechter Entfernung der Implantate wieder verschwand [42]. Ein Patient hatte sogar so starke postoperative Schmerzen, dass eine vorzeitige Entfernung des Implantats mit einer Nervenfreilegung unumgänglich wurde [42]. Auch bei der Arthrorisestudie von Forg et al. berichten drei von 21 Patienten von Schmerzen im Sinus tarsi beim Sport, 20% empfinden noch Schmerzen beim Stehen oder Gehen und 15% Gewölbeschmerzen [20].

Hier zeigt sich somit die Tendenz, dass die kombinierten knöchernen und weichteiligen Techniken im Bezug auf Schmerzen ein besseres Ergebnis erreichen.

Die Schmerzen, die bei zwei Mädchen am Beckenkamm auftraten, sind vermutlich auf das fortgeschrittene Alter zum Operationszeitpunkt zurückzuführen, da die Knochenheilung im Kindesalter noch wesentlich besser ausgeprägt ist [27]. Sicherlich spielt hier auch noch eine individuelle Komponente der Knochenheilung eine Rolle, da andere Patienten, die ebenfalls in diesem Alter operiert wurden, keinerlei Irritationen verspüren. Dennoch verdeutlicht sich hier, wie wichtig der richtige Zeitpunkt der Operation für ein optimales Ergebnis ist.

In Gruppe B stand präoperativ lediglich bei einem Patienten der Schmerz im Vordergrund, der sich postoperativ aber sehr gut besserte. Bei den anderen beiden Patienten stellten funktionelle Beschwerden die Indikation zur Operation dar.

Die Sportfähigkeit ist bei jungen Patienten ein sehr wichtiges Kriterium. Präoperativ waren zwar schon 21 von 23 Patienten sportfähig, jedoch war die Ausübung sportlicher Aktivitäten meist von starken Schmerzen begleitet, die schon nach kürzester Zeit auftraten und eine deutliche Beeinträchtigung der Patienten darstellten. Nach der Operation konnten 22 von 23 Patienten ohne Einschränkungen z.B. am Schulsport teilnehmen und gewannen so deutlich an Lebensqualität. Der einzige Patient, der angab, auch postoperativ keinen Sport zu betreiben, zeigte fehlendes Interesse am Sport, aus ärztlicher Sicht bestand keine Limitation einer Sportausübung. Die anderen Operationsverfahren lieferten ähnliche Ergebnisse [63, 91], lediglich bei einer Arthrorise-Studie von Forg et al. kamen in dieser Hinsicht schlechtere Ergebnisse zum Vorschein: Durch die Implantation einer Schraube und den damit verbundenen Schmerzen konnten 9,5% der Patienten postoperativ keinen Sport ausüben [20].

In Gruppe B gab es andere Anforderungen an die postoperative Funktion. Den Patienten sollte durch Verringerung der Deformität ein verbessertes Gehen ermöglicht werden. Dies konnte bei allen drei Patienten erreicht werden und stellte die Patienten sehr zufrieden.

Im Bezug auf die Lebensqualität geht es bei jungen Patienten hauptsächlich um einen Alltagsablauf ohne körperliche Einschränkungen, das Erlernen und Ausüben ihres Wunschberufs und um durchschnittliche sportliche Aktivitäten. Da sie in jungen Jahren durch ihre Plattfüße stark eingeschränkt waren, zeigen die postoperativen Ergebnisse zumeist eine starke Verbesserung.

Nach unserer Operation gaben 95,7 % der Patienten an, sehr zufrieden mit ihrer Lebensqualität zu sein und keinerlei Einschränkungen im Alltag zu empfinden. Lediglich ein Patient gab noch leichte Einschränkungen an. Dieser Patient hatte

jedoch einen BMI von 30,3, der eventuell ebenfalls zu der verringerten Ausdauer beim Spaziergehen beitrug.

Die Gruppe B-Patienten sind durch ihre Cerebralparese teilweise von Grund auf in ihrem täglichen Leben eingeschränkt. Doch durch die Operation konnte hier einer Verschlimmerung der Gehunfähigkeit entgegengewirkt werden, was ihre Lebensqualität wieder deutlich steigerte.

Ein ausschlaggebender Aspekt der Lebensqualität ist auch die Zeit der postoperativen Alltagseinschränkung. Hier ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen den kombinierten knöchernen und weichteiligen Techniken und den Schrauben-Arthrorisen [6, 14, 20, 22, 42, 72, 98]. Die kürzeste Zeit der Einschränkung findet sich bei der subtalaren Schrauben-Arthrorise in der Publikation von M. de Pellegrin [14]. Hier beginnen die Patienten schon am ersten postoperativen Tag mit aktiver Mobilisation und sind ab der vierten postoperativen Woche bereits sportfähig [14]. Auch andere Arthrorise-Techniken erlauben die Belastung fast sofort [20, 72] oder nach zweiwöchiger Gehgips-Tragezeit [22]. Wenige Autoren empfehlen jedoch ebenfalls einen längeren Zeitraum der vollständigen Immobilisation von einer Woche bis 4 Wochen, zumeist aber nur, wenn die Arthrorise mit knöchernen oder weichteiligen Eingriffen kombiniert wurde. Bei diesen Autoren ist ein schrittweises Vorgehen mit initialer Immobilisation und anschließendem Gehgips üblich [6, 42, 98].

Bei den deutlich invasiveren Methoden mit knöchernen und eventuell kombinierten weichteiligen Operationen muss die postoperative Immobilisation verständlicherweise über einen längeren Zeitraum erfolgen. Hierbei empfehlen manche Autoren die Ruhigstellung von vier Wochen [99], sechs Wochen [25, 91] oder sogar von bis zu 8-10 Wochen [16, 63]. Danach wird meist ein Gehgips angepasst, der mehr Mobilität erlaubt und trotzdem stabilisiert. Bei unserem Operationsverfahren wird der Fuß zunächst drei Wochen vollständig immobilisiert und entlastet und anschließend drei Wochen ein Gehgips getragen. Somit besteht bei dieser Operationstechnik eine der kürzesten Immobilisationszeiten unter den knöchernen/kombinierten Verfahren.

Einer der wichtigsten Punkte in der Untersuchung postoperativer Ergebnisse ist die Patientenzufriedenheit. Bis auf 5 Gruppe A-Patienten würden alle Patienten unserer Studie die Operation erneut durchführen lassen oder anderen Patienten weiterempfehlen. Hier spielt das subjektive Empfinden der Patienten eine sehr große Rolle. Die zumeist beidseitige Operation geht mit Schmerzen und langer postoperativer Beeinträchtigung einher und ist für die jungen Patienten eine prägende Erfahrung. So war dies bei vier Patienten der Grund dafür, diese Operation nicht noch einmal durchführen zu lassen. Hier müsste sich also ein deutlicher Vorteil der Arthrorise-Operationsverfahren zeigen. Jedoch findet man hier bei Durchsicht der Literatur unzufriedenere Patienten: Bei Koning et al. würden nur 63,0% der Patienten die Operation wiederholen und bei Forg et al. spürten nur 71,4% eine Verbesserung um 90% [20, 42]. Bei dem kombinierten Verfahren von Viegas würden sich alle Patienten nochmals der Operation unterziehen [91].

Auch zwei von drei Gruppe B-Patienten der aktuellen Studie sind sehr zufrieden mit dem postoperativen Ergebnis und würden die Operation empfehlen. Leider verschlechterte sich subjektiv das initial gute Ergebnis eines Patienten wieder, so dass er die Operation nicht uneingeschränkt weiterempfehlen kann.

Über die postoperative Einlagen- und Nachtschienenversorgung findet man wenig in der Literatur. Lediglich bei Koning et al. ist angegeben, dass sechs von 54 Füßen mit Einlagen versorgt wurden [42]. Forg et al. geben hierzu nur an, dass 40% der operierten Patienten kein gewöhnliches Schuhwerk tragen können [20]. In der gegenwärtigen Studie wurden 84,5% der Patienten eine vorübergehende Einlagen-therapie verschrieben, um das postoperative Ergebnis zu festigen. Viele Patienten, die auch präoperativ immer Einlagen trugen, waren dann so an ihre langjährige Einlagenversorgung gewohnt, dass es ihnen schwerfiel, diese wegzulassen. Aus medizinischer Sicht war die Therapiefortführung jedoch nur vereinzelt indiziert.

In Gruppe B gestaltete sich die Einlagen- und Nachtschientherapie intensiver und langwieriger. Dies ist allerdings der Grunderkrankung mit spastischer Muskulatur zuzuschreiben und kein Ausdruck eines schlechteren Ergebnisses.

Trotz ihrer Subjektivität ist die klinische Untersuchung ein essentieller Bestandteil der postoperativen Ergebnisevaluation, da sich gezeigt hat, dass die Ergebnisse der radiologischen und klinischen Parameter oft nicht übereinstimmen [3, 42, 92]. Wenige Autoren verzichten dennoch auf die Erhebung von Daten aus der klinischen Untersuchung [20, 75].

Beim äußeren Erscheinungsbild zeigen die kombinierten Verfahren ein besseres Outcome als die Arthrorisen: Oh et al. berichten von durchschnittlich 1° Restvalgus (-3 bis 3°) [63], el-Tayeby et al. (laterale und mediale Osteotomie mit Straffung der plantaren Bänder und Umlenkung der M. tibialis anterior-Sehne) von leichtem, aber akzeptablem Restvalgus in 10,5% der Füße [16].

Mit unserer Technik konnten wir ebenso zufriedenstellende Ergebnisse erreichen: ein durchschnittlicher Restvalgus von 3,7°, und nur 3 Füße mit einem schweren Restvalgus von >10°. Das Fußlängsgewölbe war bei 65% der Füße vollständig aufgerichtet.

Bei der Arthrorise findet man hingegen schlechtere Ergebnisse: Bei Koning et al. konnte in lediglich 31,8% ein normales Erscheinungsbild erreicht werden, ein leichter Pes planus verblieb bei 20,4%, sowie ein leichter Valgus (<10°) bei 7,4% der Füße [42]. Außerdem wurden leichte kombinierte Planovalgus-Fehlstellungen bei 20,4% und sogar schwere bestehende Plattfüße bei 7,4% beobachtet [42]. Am wichtigsten erscheint uns jedoch die Tatsache, dass nach der Arthrorise 18,5% der Füße ein Rezidiv nach Entfernung der Schraube erlitten [42]. In ähnlichen Studien zur Arthrorise berichteten Forg et al. von bestehendem abgeflachtem Gewölbe bei 50% der Füße [20]. Bei Giannini et al. blieb nach Arthrorise ein signifikanter Restvalgus von 5,8° bestehen [22].

In der Literatur wird von mehreren Autoren bestätigt, dass die Arthrorise eher den Rückfuß-Valgus und die Abduktion korrigiert, als die Rückfuß- und Mittelfuß-Plattfuß-Komponenten [42, 57, 86].

Die Prüfung der Dorsalextensionsfähigkeit gehört zu den wichtigsten passiven Beweglichkeitsprüfungen beim Knickplattfuß [79]. Diese wurde stets bei ge-

strecktem Bein ausgeführt und ist somit gut mit anderen Veröffentlichungen vergleichbar [22, 63]. Die Beurteilung der individuellen Verbesserung durch präoperativ erhobene Werte des Patientenkollektivs war hier aufgrund von fehlenden Daten leider nicht möglich. Als zusätzliches Kriterium einer Plattfuß-Fehlstellung ist der postoperative Durchschnittswert von  $15,7^\circ$  bei passiver Dorsalextension trotz der fehlenden präoperativen Daten als Erfolg zu sehen. Die Extension über die Neutral-Null-Stellung hinaus ist eminent für volle Funktionstüchtigkeit und ein normales Gangbild [67]. Bei einer persistierenden Spitzfuß-Stellung kommt es häufig zu Gangunsicherheiten [67]. Hier begibt sich der Operateur jedoch auf eine schmale Gradwanderung. Wird die Achillessehne zu stark verlängert, um eine möglichst große Dorsalextension zu ermöglichen, resultieren noch stärkere Einschränkungen und Pathologien des Gangbilds [15, 67]. Zudem muss berücksichtigt werden, dass auch eine zu starke Verlängerung des Kalkaneus eine eingeschränkte Dorsalextension verursachen kann [19].

Die Einschränkung der Inversions-/Eversionsbeweglichkeit im Patientenkollektiv ist auf die Kalkaneusosteotomie nach Evans zurückzuführen [19]. Diese verhindert laut Erstbeschreiber Evans exzessive Eversion und stabilisiert somit den Fuß [19]. Dies korreliert mit dem Ergebnis dieser Studie, dass bei allen Gruppe A-Patienten das präoperativ bestehende Instabilitätsgefühl nach der Operation nicht mehr vorhanden war.

Die Ankle-Hindfoot Scale (siehe 10.1) wurde von der American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) entwickelt. Sie ist ausschließlich mit klinischen Untersuchungen zu erheben, Röntgenauswertungen spielen beispielsweise keine Rolle. Eine Einteilung in exzellent, gut, ausreichend, mangelhaft existiert nicht. Sowohl subjektive als auch objektive klinische Faktoren gehen in die Bewertung mit ein. Laut Kitaoka et al. ist es nicht möglich, die Bewegungsausmaße in den Fußgelenken klinisch genau festzulegen [41]. Deswegen wird die Dorsalextension und Plantarflexion zusammen als Beweglichkeit in der sagittalen Ebene angegeben und die Rückfuß-Beweglichkeit als Prozentsatz der Norm. Die Ankle-

Hindfoot Scale ist besonders für die Bewertung von Kalkaneus-Osteotomien und anderen Eingriffen am Sprunggelenk und Rückfuß geeignet [41] und wird auch von zahlreichen anderen Autoren für die Evaluation der postoperativen Ergebnisse verwendet [1, 12, 38, 45, 47, 55, 63, 68, 91].

In der durchgeführten Studie konnte in Gruppe A eine durchschnittliche Punktzahl von 94,5 ermittelt werden. Die meisten Abzüge entstanden bei der Bewertung der Fußstellung, der Schmerzen und der Inversions-/Eversionsbeweglichkeit. Hier wurde bereits ab einem Restvalgus von  $10^\circ$  von einer mittelgradigen Fußfehlstellung ausgegangen. Ebenso streng war der Abzug von 10 Punkten bei Schmerzen bei sportlicher Belastung. Viele Patienten konnten jedoch normale sportliche Aktivitäten schmerzfrei ausüben und entwickelten erst bei starker Belastung Symptome. Vergleichbar ist das Ergebnis mit demjenigen zweier anderer kombinierten Verfahren: Oh et al. publizierten einen postoperativen Score von 93,4 [63] und Viegas kam zu einer Punktzahl von 96,4 Punkten [91]. Bei Viegas erreichte jedoch ein geringerer Anteil der untersuchten Füße die volle Punktzahl (29,4%) [91].

Der Maryland Foot Score (siehe 10.2) wird häufig zur Beurteilung nach Kalkaneusfraktur, aber auch zur prä- und postoperativen Bewertung der Plattfußoperationen genutzt [4, 62, 73, 76, 77, 88, 97, 101]. Auch hier fließen nur klinische Untersuchungen mit objektiven und subjektiven Parametern in die Punktzahl mit ein. Die Einteilung erfolgt in exzellent (100-90 Punkte), gut (89-75 Punkte), ausreichend (74-50 Punkte) und mangelhaft (<50 Punkte). Die Beweglichkeit des Fußes spielt nur eine sehr untergeordnete Rolle, lediglich 5 Punkte sind zu erreichen. Eine genaue Unterteilung, in welchem Gelenk eine Bewegungseinschränkung besteht, existiert nicht.

In der durchgeführten Studie waren die häufigsten Abzüge beim Maryland Foot Score durch das Tragen von Einlagen bedingt. Dies entsprach 5 Punkte Abzug und änderte das Ergebnis somit deutlich. Bei einigen Patienten bestand jedoch, wie oben erwähnt, keine strenge Indikation zur Einlagentherapie. Deshalb kam es hier



unter Umständen zu ungerechtfertigten Punktabzügen. Kleinere Abzüge mussten aufgrund des subjektiven Schmerzempfindens gemacht werden.

Interessant ist die negative Korrelation vom Body-Mass-Index mit den klinischen Scores. In der Literatur findet man viele Publikationen, in denen Übergewicht einen deutlichen Einfluss auf das Fußgewölbe und die Plattfußdeformität an sich darstellt [7, 49, 56, 93].

Bei den klinischen Scores schnitten die Gruppe B-Patienten aufgrund ihrer Grunderkrankung ebenfalls deutlich schlechter ab. Leider erlaubte die lückenhafte präoperative Dokumentation keine präoperative Score-Berechnung. Insbesondere in der Gruppe B hätten diese präoperativen Daten zur Verdeutlichung des guten Ergebnisses beigetragen.

Die kombinierte Evans-Osteotomie mit modifizierter Müller-Niederecker-Sehnenverlagerung geht mit einer sehr niedrigen Komplikationsrate einher. Lediglich bei einem Patienten konnte eine Wundheilungsstörung der Eintrittsstellen der Kirschner-Drähte festgestellt werden. Diese Erfahrung kommt auch bei anderen Autoren, die über Evans-Osteotomien berichten, vor [16].

Deutlich häufigere (Komplikationsrate von 3,5-30% [53]) und ernstere Komplikationen findet man hingegen in den Publikationen zu den Arthrorise-Verfahren: Typisch sind hierbei neben persistierenden postoperativen Schmerzen, die teilweise zu einer vorzeitigen Entfernung des Implantats zwingen [5, 23, 29, 78, 90], auch Knochenveränderungen durch das Implantat [71, 78, 84, 89]. Beschrieben werden hier Entzündungen des Sinus tarsi [78] sowie avaskuläre Nekrosen [84] oder intraossäre zystische Gebilde im Talus [71].

Scher et al. beobachteten bei der Untersuchung zweier Fälle von anhaltenden Schmerzen und starker Gehbehinderung Folgendes: Bei Entfernung des Arthrorise-Implantats fand man intraoperativ viel Narbengewebe und exzessiv entzündete Synovialis [78]. Histologisch zeigte sich eine sklerotische Synovialis mit chronischer granulomatöser Reaktion auf die refraktilen Polyethylen-Splitter. In einem anderen Fall konnte neben ebenfalls exzessiver Synovitis histologisch

eine Hypertrophie und Hyperplasie der Synovialis mit starker Riesenzellreaktion auf die Polyethylen-Splitter gefunden werden [78]. Zudem wurden fokale Bereiche mit chronischer Entzündung bemerkt [78].

Zudem kann es bei der Arthrorise zu Lockerungen des Implantats kommen [42], oder es muss wegen Implantat-Wanderung ausgetauscht werden [75]. In einem Einzelfall kam es zehn Jahre nach einer subtalaren Schraubenarthrorise sogar zu einer Fraktur des Talushalses durch eine solche Implantat-Wanderung [11]. Roth et al. berichten davon, dass 9,6% der implantierten Schrauben brachen, was teilweise zu Schmerzen führte [72], und auch Giannini et al. beschreiben Komplikationen durch kleine Fragmente des Implantats [22]. In einer Studie bestand bei 7 % eine fehlerhafte Schraubenposition, die teilweise zu einer Re-Operation führte [72]. Auch zu kurz gewählte Schrauben können bei dem Arthrorise-Verfahren in Form einer Unterkorrektur ein Problem darstellen und zu Nachoperationen führen [14]. Eine weitere Komplikation stellt die Kontraktur der Peronealsehnenmuskulatur dar, die von De Pellegrin et al. beschrieben wird [14]. Hierbei ist der Fuß in einer pathologischen Pronationsstellung fixiert, die nur in 40% der Fälle durch einen Unterschenkelgips korrigierbar war und sonst bis zur Entfernung der Schrauben bestehen blieb [14].

Im Rahmen der Evans-Osteotomie und eventuell kombinierten weichteiligen Methoden kommt es gelegentlich zu einer Verletzung oder Irritation des rein sensiblen Nervus suralis [42, 63, 91]. Dies ist wohl durch den größeren lateralen Schnitt und vor allem durch die mechanische Reizung des Hautnervs im Rahmen der intraoperativen Manipulation zu erklären. Hierbei ist anzumerken, dass aus unserer Erfahrung der intraoperative Befund gelegentlich nicht mit dem klinischen übereinstimmt. So haben Patienten mit eindeutig intraoperativ geschädigtem Nervus suralis keine Symptome und umgekehrt. Da der Nervus suralis jedoch auch oft als Interponat zur Überbrückung größerer Nervendefekte genutzt wird, ist seine Bedeutung nicht zu überschätzen [2, 18, 61, 80]. Unsere Ergebnisse decken sich mit denen anderer Verfahren, die ebenfalls leichte postoperative Neuropathien be-

schreiben [91]. Lediglich ein Einzelfall im Patientenkollektiv von Oh et al. hatte postoperativ Adhäsionen des Nervs, die operativ gelöst werden mussten [63]. Zusätzlich fielen in der Untersuchung Hypästhesien im Versorgungsgebiet des N. cutaneus dorsalis intermedius und des N. cutaneus femoris lateralis auf. Ersteres ist vermutlich einer Reizung im Rahmen der Kirschnerdrahtversorgung zuzuschreiben, Letzteres der Spanentnahme am Beckenkamm.

Bei den Arthrorise-Techniken ist hingegen eher der gemischt sensible/motorische Nervus peroneus superficialis gefährdet. Hier wurde in Einzelfällen eine operative Neurolyse aufgrund von schmerzhaften Adhäsionen beschrieben [42].

Die Gefahr von Überkorrekturen im Sinne einer zu starken Dorsalextension ist vor allem bei zusätzlicher Achillessehnenverlängerung gegeben [16, 96]. Wie von mehreren Autoren beschrieben, kommt es durch eine zu exzessive Verlängerung zu deutlichen Einschränkungen im Sinne einer verminderten Abstoßkraft beim Gehen [16, 96]. Deswegen muss dieser Eingriff stets sehr sparsam und wohldosiert erfolgen und nur bis zum Erreichen einer Dorsalextension von 0-5° [17, 96]. Auch die zu exzessive Verlagerung der M. tibialis anterior-Sehne führte in einem beschriebenen Fall zu einer Abschwächung der Peronealsehnenmuskulatur und damit einhergehend zu einer leichten Gangstörung [91].

Auch bei den Arthrorise-Verfahren kann es zu Überkorrekturen, meist in Form von Varus-Fehlstellungen, kommen [14, 75]. Teilweise korrigieren sich diese spontan [14], in anderen Fällen müssen die Implantate jedoch operativ entfernt werden [75].

Röntgenuntersuchungen besitzen einen eingeschränkten diagnostischen Wert bei flexiblen Plattfüßen, wenn sie nicht als Verlaufsparemeter einzelner Patienten und kombiniert mit klinischen Betrachtungen genutzt werden [3]. Laut Literatur ist es nicht nötig, die Winkel zu normalisieren, um das beste Outcome zu erreichen [42, 92]. Für unsere retrospektive Studie eignete sie sich jedoch hervorragend, da bis auf sehr wenige Ausnahmen stets einheitlich aufgenommene prä- und postoperati-

ve Röntgenaufnahmen vermessen werden konnten und somit ein direkter Vergleich möglich war. Die genau seitliche Aufnahme unter Belastung des Fußes spielt eine sehr große Rolle bei der Beurteilung von Plattfüßen [3, 8, 16, 30, 42, 44, 53, 63, 79, 91, 93] und wurde stets eingehalten.

Der Kalkaneus-Boden-Winkel beurteilt laut De Pellegrin die eigentlich Plattfußkomponente [14] und wird von zahlreichen Autoren als Standard bei der Evaluation von Plattfüßen verwendet [6, 8, 14, 16, 20, 42, 44, 53, 63, 65, 91, 93, 99]. In unserem Patientenkollektiv sieht man eine deutliche und signifikante Verbesserung dieses Winkels auf einen Wert von  $20,4^\circ$  nach der Operation. Hier schnitten die knöchernen und kombinierten Operationsverfahren deutlich besser ab als die Arthrorise-Verfahren, die den Kalkaneus und somit das Fußlängsgewölbe nicht so stark aufrichten können [14, 16, 20, 42, 63, 74, 91]. Einen Durchschnittswert von  $31,0^\circ$  erreichte Viegas, der mit seiner Dreier-Kombination von Evans-Osteotomie, geteilter M. tibialis anterior-Sehnenverlagerung und Kidner-Prozedur (Entfernung eines fakultativ vorhandenen Os tibiale externum) wohl zu stark korrigierte und damit sogar über dem Normwert von  $20-30^\circ$  liegt [91].

Ebenfalls zum Standard gehören der Talusneigungswinkel [6, 8, 14, 16, 20, 53, 65], und der laterale Talus-Metatarsale I-Winkel [3, 6, 16, 42, 44, 53, 63, 91, 93, 98, 99, 101]. Der signifikant ( $p < 0,0001$ ) verbesserte Talus-Neigungswinkel ( $22,4^\circ$ ) lässt darauf schließen, dass die zur Pathologie des Plattfußes gehörende Komponente der Talus-Pronation durch die Operation weitestgehend aufgehoben wurde. Dies wird durch die exzellenten postoperativen Werte des lateralen Talus-Metatarsale-I-Winkel bestätigt. Dieser misst ebenfalls die Talusneigung und somit die Pronation, diesmal jedoch im Bezug zum ersten Metatarsalknochen. Er ist laut Benedetti et al. bei 93,5% der Kinder mit Plattfuß vergrößert und liefert so wichtige Informationen über die Abflachung des Längsgewölbes und somit den Schwerkgrad der Plattfußdeformität [3]. Trotzdem ist zu beachten, dass in Benedettis Studie keine vollständige Korrelation zwischen den Winkeln der Röntgenaufnah-

men und dem Fußabdruck bewiesen werden konnte [3]. Hier finden sich in der Literatur kaum zufriedenstellende Ergebnisse bei den Arthrorise-Verfahren [42], den rein knöchernen Operationen [74] und bei kombinierten Verfahren, die lediglich eine Umleitung des M. tibialis anterior beinhalten [16]. Dies lässt vermuten, dass die Hauptwirkung auf diesen Winkel vom Transfer des M. tibialis anterior ausgeübt wird. Bestätigt wird dies durch ebenfalls im Normbereich liegende Werte bei Viegas et al. und deren Teiltransfer des M. tibialis anterior [91]. Folglich bewirkt eine vollständige oder auch nur teilweise Verlagerung der M. tibialis anterior-Sehne durch den neuartigen Ansatz am Os naviculare eine Änderung der Talusstellung in den Normbereich, indem sie die verstärkte Pronation aufhebt. Die Verkleinerung des Winkels geht wie bereits erwähnt mit weniger Abflachung des Längsgewölbes und somit einem geringeren Schweregrad der Plattfußdeformität einher [3].

Ebenso für eine verringerte Pronation des Fußes spricht der in der Literatur häufig verwendete dorsoplantare Talus-Metatarsale-I-Winkel [6, 8, 16, 44, 63, 91, 98, 99, 101]. Dieser verbesserte sich signifikant auf einen sehr guten Wert von  $0,6^\circ$ . Zu bemerken ist hier, dass die alleinige Anwendung der Evans-Osteotomie erneut deutlich schlechtere Ergebnisse hervorbringt: Lediglich ein Durchschnittswert von  $11^\circ$  wird hier erreicht [74]. So kann vermutlich auch dieser verbesserte Parameter hauptsächlich auf die Verlagerung des M. tibialis anterior und die dadurch reduzierte Pronation zurückgeführt werden.

Die verringerte Abduktion des Vorfußes, die hauptsächlich mit der Kalkaneus-Osteotomie korrigiert wird, zeigte sich im signifikant ( $p < 0,0001$ ) verbesserten Kuboid-Abduktions-Winkel, der mit  $0,8^\circ$  postoperativ optimal in der Norm liegt. Dies verdeutlicht den großen Effekt der Kalkaneus-Osteotomie nach Evans.

Schwierigkeiten gab es in der Festlegung der Normwerte der einzelnen Winkel. Wie Benedetti et al. in ihrer Studie über klinisch-radiologische Bewertung des flexiblen Plattfußes bei Kindern anschaulich zeigen konnten, besteht eine sehr

weite Variabilität der Normwerte, insbesondere beim Talus-Kalkaneus-Winkel in beiden Ebenen [3]. Dies veranlasst die Autoren dazu, sowohl dem lateralen als auch dem dorsoplantaren Talus-Kalkaneus-Winkel keine eindeutige Aussagekraft zu einer veränderten Fußform zuzuschreiben. Jedoch konnte in Benedettis Studie ein vergrößerter lateraler Talus-Kalkaneus-Winkel signifikant öfter bei Plattfuß-Patienten mit Schmerzen oder Beschwerden gefunden werden, was wohl auf die stärkere Spannung der Weichteile zurückzuführen ist [3]. Da diese Winkel dennoch von vielen Autoren sowohl lateral [3, 6, 8, 20, 42, 44, 75, 91, 98, 99] als auch dorsoplantar [6, 14, 20, 75, 91, 98] verwendet werden, wurden sie auch in dieser Studie untersucht.

Der dorsoplantare Talus-Kalkaneus-Winkel, ein Parameter für die Pronation des Fußes [20], verringerte sich signifikant ( $p < 0,001$ ) in den Normbereich. Ein wichtiger Punkt wird hier von Heywood angesprochen: Der dorsoplantare Talus-Kalkaneus-Winkel verändert sich während des Wachstums stark und wird immer kleiner [31]. So kann die Winkelveränderung auch auf eine zusätzliche physiologische Entwicklung zurückgeführt werden.

Der laterale Talus-Kalkaneus-Winkel zeigte keine signifikante Verbesserung ( $p > 0,05$ ). Dies ist jedoch gut mit Benedettis Aussage vereinbar, dass dieser Winkel eine große Variabilität im Normwert zeigt [3] und so schon 62,8% der Füße präoperativ im Normbereich ( $35-50^\circ$ ) lagen. Zudem stellt der Talus-Kalkaneus-Winkel die Summe aus Kalkaneus-Boden- und Talus-Neigungswinkel dar. Folglich bleibt er annähernd gleich, wenn der Kalkaneus-Boden-Winkel sich vergrößert und der Talus-Neigungswinkel sich in gleichem Maße verkleinert, was für einen positiven Effekt mit Aufrichtung des Fußgewölbes sowie verringerter Pronation spricht.

Eine sehr wichtige Untersuchung stellt die Betrachtung der degenerativen Veränderungen der Fußgelenke dar. Bei den Gelenkversteifungen ist das Vorkommen von Arthrosen allgemein bekannt und kommt sehr häufig vor [53, 82]. Auch bei den Arthrorise-Verfahren wird von Arthrosen berichtet, die zumeist im Subtalar-

Gelenk auftreten und sogar einen Bewegungsverlust bedingen [78]. In unserem Patientenkollektiv sind nur osteophytäre Anbauten im Kalkaneo-Kuboid-Gelenk zu erkennen, die bis dato völlig asymptomatisch sind. Ob diese arthrotischen Veränderungen aufgrund der Kalkaneusosteotomie nach Evans entstehen, wird jedoch kontrovers diskutiert: Cooper et al. beobachteten in ihrer Kadaverstudie eine deutliche Zunahme des Drucks im Kalkaneo-Kuboid-Gelenk nach Einbringung eines Knochenspans mit der Technik nach Evans [10]. Momberger et al. konnten dies bei ähnlichem Versuchsaufbau nicht bestätigen [50]. In unserem Patientenkollektiv wurden die osteophytäre Anbauten im Kalkaneo-Kuboid-Gelenk in 19,6% der Füße beobachtet, hier wäre jedoch eine Verlaufsbeobachtung über viele Jahre essentiell. Bei diesen Veränderungen scheint auch das Alter der Patienten zum Operationszeitpunkt eine Rolle zu spielen. Cooper et al. betonen, dass die Osteotomie nach Evans im Kindesalter akzeptabel sei und hauptsächlich bei Erwachsenen zu einem erhöhten Druck und Arthrosebildung führe [10]. Diese These kann in unserer Studie dadurch gestützt werden, dass die Patienten mit Osteophyten-Bildung zum Operationszeitpunkt signifikant ( $p < 0,05$ ) älter waren, als diejenigen ohne arthrotische Veränderungen. Dies unterstreicht erneut die Wichtigkeit der rechtzeitigen Operation. Zudem sollte die Entwicklung der Gelenke in Langzeitstudien untersucht werden.

Die Einheilung der Knochenspäne verlief in allen Fällen problemlos. Zwar konnte man bei einigen Patienten den Knochenspan noch abgrenzen, es zeigten sich hierbei aber keinerlei Zeichen einer Absorption oder Pseudarthrosenbildung.

Die postoperativen Winkel der Gruppe B sind im Vergleich zur Gruppe A meist deutlich schlechter ausgefallen. Dies liegt an der muskulären Spastik und ihrer extremen Wirkung auf die knöchernen Strukturen, so dass ein vormals optimales Ergebnis auch wieder verschlechtern kann. Auch andere Autoren beobachteten diese Problematik [28, 99].

Bei der Ganganalyse entstand durch das Bilden einer Kontrollgruppe aus gesunden Probanden die Möglichkeit, zu untersuchen, inwieweit das postoperative Gangbild der Patienten dem eines gesunden Individuums nahekommt. Leider gab es keine präoperative Ganganalyse, die die Entwicklung der Patienten aufzeigen könnte. Eventuell könnte dies das Ziel einer nachfolgenden Studie werden. Durch die kombinierte Kinetik- und Kinematik-Analyse ist es möglich, sich einen umfassenden Eindruck über das Gangbild der Patienten zu verschaffen. Leider machten technische Probleme und Systemausfälle einige Patientendaten der Kinematik-Analyse unbrauchbar. Dies erklärt die geringere Fallzahl bei dieser Art der Ganganalyse.

Die Patienten aus Gruppe B konnten durch ihre unterschiedlich schwere Behinderung nicht einheitlich auf dem Laufband untersucht werden.

Im Rahmen der Kinetik-Analyse ergaben sich in der Patientengruppe bei 59,5% der Füße erhöhte Werte des Chippaux-Smirak Index, die laut Definition einer Plattfußdeformität entsprechen [21]. Doch auch in der Vergleichsgruppe kam es bei 29,1% der Füße zu einem erhöhten Wert. Da jedoch die Probanden der gesunden Kontrollgruppe keine Fußdeformität aufwiesen, muss davon ausgegangen werden, dass bei unserer Messmethode andere Normwerte gelten. Eine Erklärung hierfür wäre, dass in unserer Studie die dynamische Kraftverteilung während des Gehens erhoben wurde, die Normwerte dagegen bei statischer Druckmessung im Stehen definiert sind [21]. Möglicherweise wird der Mittelfußbereich (Strecke c in Abb. 19) durch die Druckentwicklung und Gewichtsverteilung während des Abrollvorganges verhältnismäßig stärker verbreitert als der Metatarsalbereich (Strecke b in Abb. 19). Daraus würde ein verändertes Verhältnis dieser beiden Strecken (Chippaux-Smirak Index  $c/b\%$ ) zugunsten des Mittelfußbereiches resultieren und der Index größer werden. Eine Abweichung vom Normwert der Standanalyse bestätigen auch Chen et al. in ihrer Studie mit dynamischer Messmethode [8].

Hervorzuheben ist vor diesem Hintergrund der erzielte Mittelwert von 29,9% in Gruppe A, der laut Definition einem normalen Fußgewölbe zugeordnet werden



kann [21] und die Tatsache, dass kein signifikanter Unterschied zur Vergleichsgruppe besteht. Außerdem konnten 40,5% der Füße den Normwert erreichen. Auch der Footprint-Winkel bestätigt die guten Ergebnisse. Hierbei liegt der Mittelwert der Patientengruppe bei  $41,0^\circ$  und 59,5% der Füße erreichten den Normbereich von  $>42^\circ$ .

Bei der Analyse der einzelnen Phasen des Gangzyklus konnten geringfügige Unterschiede zwischen Patienten- und Vergleichsgruppe festgestellt werden. Es zeigte sich eine leicht verlängerte Standphase und somit eine kürzere Schwungphase der Patientengruppe. Der minimale Unterschied der Standphasenlänge von ca. 1% zwischen Gruppe A und der Vergleichsgruppe ist aus unserer Sicht klinisch nicht bedeutsam. Die signifikant verlängerte Standphase ( $p < 0,01$ ) gliederte sich in signifikant verlängerte Stoßdämpfungsphasen ( $p < 0,01$ ) und Vorschwungphasen ( $p < 0,01$ ) und signifikant verkürzte einfach unterstützte Standphasen ( $p < 0,01$ ). Verlängerte doppelt unterstützte Phasen würden in Kombination mit einer reduzierten Gehgeschwindigkeit für eine Gangunsicherheit sprechen [26]. In unserem Patientenkollektiv wurde die Gehgeschwindigkeit jedoch mit Hilfe des Laufbands auf 3 km/h festgelegt. Zudem kann der Normbereich der Gangphasen variieren, ist individuell unterschiedlich und von mehreren Einflussfaktoren abhängig [26]. So ist diese Abweichung als klinisch irrelevant einzustufen.

Ziel der Kinematik-Analyse war es, Abweichungen von der Vergleichsgruppe zu detektieren und auf Kriterien einer möglicherweise veränderten Aktivität oder Wirkung des M. tibialis anterior zu untersuchen. Es ist anzunehmen, dass sich die Zugrichtung des Muskels durch die Sehnenrückverlagerung vom der Basis des ersten Os metatarsale zum Os naviculare verändert, was im Bezug auf die Anhebung des Längsgewölbes durchaus erwünscht ist. Der M. tibialis anterior verhindert physiologischerweise durch exzentrische Muskelarbeit die exzessive Pronation im Subtalgelenk [26]. Mit der Verlagerung an das Os naviculare wird das Fußgewölbe effektiver angehoben. Hier kommt nun die Frage auf, ob der M.

tibialis anterior durch die Verlagerung der Sehne in seiner zweiten Funktion, der Dorsalextension, durch den hier iatrogen verkürzten Hebel beeinträchtigt wird. Eine Insuffizienz des M. tibialis anterior wäre in der mittleren Standphase am offensichtlichsten und klinisch besonders relevant, zusätzlich auch beim initialen Bodenkontakt und in der Stoßdämpfungsphase [67].

In der mittleren Schwungphase wäre bei einer relevanten Insuffizienz der Dorsal-  
extensoren ein Schleifen der Zehen über den Boden (sogenannter *Toe drag*) zu erwarten, was die Fortbewegung durch vorzeitiges Beenden des Schwungs erheblich beeinträchtigen und zu Sturzgefahr führen würde [26]. In unserer Analyse zeigte sich in der mittleren Schwungphase lediglich ein leichter Unterschied von  $2,7^\circ$  zur Vergleichsgruppe. Ein *Toe drag* oder Gangunsicherheiten waren sowohl anamnestisch als auch ganganalytisch nicht zu beobachten, ebenso ließ sich keine signifikant verkürzte Schrittlänge feststellen.

Ein Kompensationsmechanismus einer verminderten Dorsalextension in der mittleren Schwungphase stellt eine übertriebene Hüftgelenksflexion dar [26, 67]. Diese wurde in unserer Analyse mit der Oberschenkelanteversion quantifiziert und zeigte in der mittleren Schwungphase keinen Unterschied zur Vergleichsgruppe. Reaktiv würde auf eine vermehrte Hüftgelenksflexion eine verstärkte Knieflexionsbewegung folgen [26, 67], in unserem Patientenkollektiv ist die Knieflexion während der mittleren Schwungphase jedoch leicht vermindert, was die These der unzureichenden Dorsalextension ebenfalls widerlegt.

Weitere wichtige Phasen zur Untersuchung des M. tibialis anterior sind, wie bereits oben erwähnt, der initiale Bodenkontakt und die Stoßdämpfungsphase [67]. Hier positioniert der M. tibialis anterior den Fuß zunächst für den Abrollvorgang und entfaltet dann seine Spitzenaktivität zur Minderung des Fußaufpralls [26]. Unterstützt wird er dabei durch die restliche prätibiale Muskulatur (M. extensor hallucis longus, M. extensor digitorum longus und M. peroneus tertius) [67]. Eine Tibialis anterior- Insuffizienz würde zu einer verkürzten Stoßdämpfungsphase führen, da eine wichtige Funktion des M. tibialis anterior im Abbremsen des Fuß-

aufpralls besteht [67, 96]. Bei einer Insuffizienz entstünde ein sogenannter „Foot Slap“ [26] oder „Footdrop Gait“ [36] (verstärktes „Aufklatschen“ des Vorfußes auf dem Untergrund). In unserer Analyse war die Belastungsantwort jedoch leicht verlängert, was dagegen spricht.

Während des initialen Bodenkontakts und der Stoßdämpfungsphase ist erneut die Dorsalextension relevant. Eine verringerte Dorsalextension ist Teil der Pathologie des Plattfußes und eine Normalisierung dieser sollte immer Ziel der Plattfußkorrektur sein. Zum Erreichen einer normalen Stoßdämpfungsfunktion genügt hier die Erzielung einer Neutral-Null-Position sowohl während des initialen Bodenkontakts als auch der Belastungsantwort [67]. Analysen von Plattfuß-Kollektiven zeigten hier keine relevanten Unterschiede zu Normalkollektiven [35, 46, 83]. Deswegen ist davon auszugehen, dass die von uns in der klinischen Untersuchung festgestellte postoperative Einschränkung der Dorsalextension keine Konsequenz für ein physiologisches Gangbild hat. Bestätigt wird dies durch die kinematische Analyse der aktiven Dorsalextension, die sich in den entsprechenden Gangphasen lediglich beim initialen Bodenkontakt um durchschnittlich  $2,6^\circ$  von der Vergleichsgruppe unterscheidet. Auch in der kinematischen Analyse der passiven Dorsalextension während des Abrollvorganges unterscheidet sich Gruppe A nicht von der Vergleichsgruppe. Die durchschnittliche maximale passive Dorsalextensionsfähigkeit ist in Gruppe A sogar tendenziell größer als die der Vergleichsgruppe. Hier zeigen andere Studien, die Plattfüße mit Normalkollektiven vergleichen, signifikante Unterschiede im Sinne einer reduzierten Dorsalextension in der terminalen Standphase beim *Heel off* (Abheben der Ferse am Ende der Standphase) [35, 46]. Hier könnte man also annehmen, dass die Operation zu einer Verbesserung der passiven Dorsalextension führt und ein physiologisches Gangbild ermöglicht. Zur Bestätigung dieser These wären jedoch präoperative Daten erforderlich.

An dieser Stelle ist warnend darauf hinzuweisen, dass eine zu starke operativ verursachte Dorsalextension erheblich mehr Probleme als eine leichte Einschränkung bereiten würde [16, 96]. Dies liegt laut Perry daran, dass die nach Achillessehnenverlängerung operativ veränderte Muskulatur über eine schlechtere neurologische

Kontrolle der Dorsalextension verfügt [67]. Dies führt zu weniger Stabilität des Schienbeins und damit zu höheren Anforderungen an den M. quadriceps [26]. Zusätzlich resultiert aus dem geschwächten Wadenmuskel eine verkürzte Schrittlänge und verlangsamte Gehgeschwindigkeit [26].

Die verstärkte Außenrotation in der Standphase wäre als typisch für die Plattfußdeformation zu anzusehen, da hier der Fuß durch die Kombination von Valgusfehlstellung mit Vorfußabduktion zu einer Außenrotation tendiert [30]. Levinger et al. beobachteten beim Plattfuß eine signifikant vermehrte Vorfußabduktion in der mittleren Standphase [46]. In unserer Kinetik-Analyse, welche die Fußrotation in der Standphase untersucht, konnte jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt werden, was für eine gute Korrektur dieser Fehlstellung spricht. In der Grafik der Kinematik-Analyse ist zudem auch in der Vergleichsgruppe eine weite interindividuelle Spannbreite zu erkennen, was darauf schließen lässt, dass die Fußrotation auch bei Menschen ohne Fußdeformität unterschiedlich ausgeprägt sein kann und was den durchschnittlichen Unterschied von  $4,4^\circ$  relativiert.

Bei der statistischen Auswertung der erhobenen Daten muss man anmerken, dass bei Untersuchungen auf Ebene der Füße die statistische Unabhängigkeit zweier Füße eines Individuums angenommen wurde, obwohl dies nicht immer der Fall ist. Dies wird jedoch von vielen anderen Autoren ebenfalls so praktiziert [6, 16, 20, 22, 25, 63, 72, 75, 99]. In einer Publikation von Park et al. wird beim Vorhandensein von bilateralen Fällen dazu geraten, komplexe statistische Auswertungen wie GEE- oder Multi-Level-Modelle durchzuführen [64]. Aufgrund der kleinen Fallzahl dieser Studie wären diese Analysen jedoch nicht sehr zielführend. Aus diesem Grund wurden bei denjenigen Untersuchungen, in denen die Füße einzeln und nicht das Individuum beurteilt wurden, unabhängige Verhältnisse angenommen. Eine andere Alternative wäre das Einbeziehen nur eines Fußes und Weglassen des anderen, wobei viele Daten wegfallen würden oder aber das Bilden eines Mittelwertes, was jedoch ebenfalls die statistische Power mindern würde.

In Gruppe B lässt die sehr kleine Fallzahl leider keine zuverlässige statistische Analyse zu. Deswegen wurden hier lediglich die Ergebnisse der Untersuchungen aufgeführt.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass beim juvenilen Plattfuß ein breites Spektrum an Operationsmöglichkeiten besteht. Ist die Indikation aufgrund von Symptomen wie belastungsabhängige Beschwerden mit Schmerzen nach sportlicher Aktivität oder langer Stehbelastung gegeben, ist es wichtig, die Patienten zum richtigen Zeitpunkt zu behandeln. Bei zu früher Operation ist das Längsgewölbe noch nicht vollständig ausgebildet [95] und bei zu spätem Eingriff kann das Risiko für arthrotische Veränderungen steigen [10]. Zur Wahl der Operationsmethode ist zu sagen, dass die oft gewählte Arthrorise ein kleiner Eingriff mit schneller postoperativer Mobilisation ist. Doch die Komplikationsraten sind bei dieser Methode so hoch, dass sie von manchen Autoren ausdrücklich nicht empfohlen wird [29, 78]. Zudem zeigen sich gehäuft Korrekturverluste nach mehreren Jahren oder nach Entfernung des Implantats [14]. Bei Patienten mit neuromuskulären Plattfüßen kann diese Operationstechnik nur durchgeführt werden, wenn durch die Operation mit Veränderung der Gelenkstellung ein muskuläres Gleichgewicht hergestellt werden kann. Besteht hingegen eine zu starke muskuläre Spastik oder liegt ein rigide Deformität vor, wird diese Technik nicht zum gewünschten Erfolg führen [85].

Viele Autoren sind sich einig darüber, dass eine Kombination aus knöchernen und weichteiligen Operationsverfahren die optimale Therapie für juvenile, flexible Plattfüße darstellt [16, 63, 69, 70, 91]. Die Evans-Osteotomie hat sich hier gut bewährt und wird von den meisten bevorzugt [16, 52, 53, 69, 74, 91, 99]. Bei den weichteiligen Verfahren konnten in dieser Studie mit der M. tibialis anterior-Sehnenverlagerung modifiziert nach Müller-Niederecker sehr gute Ergebnisse beobachtet werden. Die in der Ganganalyse aufgetretenen Unterschiede sind lediglich gering ausgeprägt und die Patienten empfinden subjektiv keinerlei Störung

ihres Gangbildes. Hier sollte jedoch noch ein Vergleich mit einer präoperativen Ganganalyse durchgeführt werden. Eine weitere Option der Weichteiloperation wäre die Verlagerung der gesplitteten M. tibialis anterior-Sehne, doch auch hier sollte in Studien der Einfluss auf das Gangbild untersucht werden.

Diese Studie lieferte mittelfristige Ergebnisse nach durchschnittlich 32,4 Monaten. Es fehlen Langzeitergebnisse, um die Beurteilung des endgültigen Operationserfolgs zu ermöglichen. Gerade im Hinblick auf die beginnenden leichten arthrotischen Veränderungen der Gelenke sollten hierzu Studien folgen.

Für die bereits operierten Patienten empfiehlt es sich, ihr Körpergewicht zu kontrollieren, weil es einen deutlichen Einfluss auf das Fußgewölbe hat [7, 49, 56, 93] und somit eventuell gute postoperative Ergebnisse verschlechtern kann. Da durch die Operation wieder eine sehr gute Sportfähigkeit erlangt wird, empfehlen wir unseren Patienten eine regelmäßige körperliche Aktivität.

## 6 Zusammenfassung

Der juvenile Plattfuß ist die häufigste Fußfehlstellung und Gegenstand aktueller Diskussionen. Treten therapieresistente Schmerzen auf, besteht häufig die Indikation zur Operation. Hier gibt es eine Vielzahl verschiedener Methoden.

Ziel der durchgeführten Untersuchung war es, die Evans-Osteotomie kombiniert mit modifizierter Müller-Niederecker-Sehnenverlagerung zu evaluieren.

Dafür wurden in dieser retrospektiven Studie 26 Patienten (46 Füße), die im Alter von 6 bis 16 ( $11,3 \pm 2,2$ ) Jahren operiert wurden, nach durchschnittlich 32,4 Monaten nachuntersucht. Gemäß der Pathogenese der Fußdeformität wurden sie in zwei Gruppen eingeteilt: Gruppe A mit primärem Knickplattfuß, Gruppe B mit sekundärem bei infantiler Cerebralparese. Es wurden klinische und radiologische Untersuchungen sowie eine kinetische und kinematische Ganganalyse mit Kontrollgruppe durchgeführt.

Postoperativ zeigte sich ein signifikanter Rückgang der Schmerzsymptomatik auf durchschnittlich 0,1 Punkte der numerischen Rating-Skala. 88,5% der Patienten waren „sehr zufrieden“ mit ihrer Lebensqualität. Bei der klinischen Ankle-Hindfoot Scale konnte in Gruppe A ein Durchschnittswert von 94,5 (82-100 min.-max.) erreicht werden, beim Maryland Foot Score 95,5 (82-100 min.-max.). Komplikationen traten in unserem Patientenkollektiv nicht auf. In der Röntgenuntersuchung zeigte sich eine signifikante Verbesserung bei folgenden Winkeln: Kalkaneus-Boden-Winkel ( $20,4^\circ$ ,  $9-36^\circ$  min.-max.), Talus-Neigungswinkel ( $22,7^\circ$ ,  $13-31^\circ$  min.-max.), Kuboid-Abduktionswinkel ( $0,8^\circ$ ,  $-17-17^\circ$  min.-max.), dorsoplantarer Talus-Kalkaneus-Winkel ( $19,8^\circ$ ,  $10-30^\circ$  min.-max.), lateraler Talus-Metatarsale-I-Winkel ( $2,7^\circ$ ,  $-23-27^\circ$  min.-max.). Bei 19,6% der Füße waren radiologisch osteophytäre Anbauten im Kalkaneo-Kuboid-Gelenk sichtbar. In der Ganganalyse konnten vor allem im Hinblick auf die Verlagerung der Sehne des M. tibialis anterior lediglich geringfügige Unterschiede von wenigen Grad zwischen Gruppe A und Kontrollgruppe detektiert werden, die keine Auswirkung auf ein physiologisches Gangbild zu haben scheinen. Vielmehr sollte in zukünftigen Stu-

dien überprüft werden, in wie weit sich das Gangbild durch die Korrektur der Deformität verbessert.

Im Vergleich mit anderen Operationsmethoden zeigte sich, dass die Evans-Osteotomie in Kombination mit modifizierter Müller-Niederecker-Sehnenverlagerung sehr gute Ergebnisse bringt und dabei sehr komplikationsarm ist. Langzeitergebnisse, vor allem im Bezug auf arthrotische Veränderungen im Kalkaneo-Kuboid-Gelenk, sowie eine präoperative Ganganalyse sollten Gegenstand weiterer Untersuchungen werden.



## 7 Literaturverzeichnis

1. Albert A, Deleu PA, Leemrijse T, Maldague P, Devos Bevernage B. Posterior arthroscopic subtalar arthrodesis: Ten cases at one-year follow-up. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2011 Jun;97(4):401-5.
2. Assmus H. Nervenkompressionssyndrome 2003.
3. Benedetti MG, Berti L, Straudi S, Ceccarelli F, Giannini S. Clinicoradiographic assessment of flexible flatfoot in children. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2010 Nov-Dec;100(6):463-71.
4. Berkowitz MJ, Clare MP, Walling AK, Sanders R. Salvage of failed total ankle arthroplasty with fusion using structural allograft and internal fixation. *Foot Ankle Int.* 2011 May;32(5):S493-502.
5. Black PR, Betts RP, Duckworth T, Smith TW. The Viladot implant in flatfooted children. *Foot Ankle Int.* 2000 Jun;21(6):478-81.
6. Bruyn JM, Cerniglia MW, Chaney DM. Combination of Evans calcaneal osteotomy and STA-Peg arthrodesis for correction of the severe pes valgo planus deformity. *J Foot Ankle Surg.* 1999 Sep-Oct;38(5):339-46.
7. Chang JH, Wang SH, Kuo CL, Shen HC, Hong YW, Lin LC. Prevalence of flexible flatfoot in Taiwanese school-aged children in relation to obesity, gender, and age. *Eur J Pediatr.* 2010 Apr;169(4):447-52.
8. Chen CH, Huang MH, Chen TW, Weng MC, Lee CL, Wang GJ. The correlation between selected measurements from footprint and radiograph of flatfoot. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006 Feb;87(2):235-40.
9. Chi TD, Toolan BC, Sangeorzan BJ, Hansen ST, Jr. The lateral column lengthening and medial column stabilization procedures. *Clin Orthop Relat Res.* 1999 Aug(365):81-90.
10. Cooper PS, Nowak MD, Shaer J. Calcaneocuboid joint pressures with lateral column lengthening (Evans) procedure. *Foot Ankle Int.* 1997 Apr;18(4):199-205.
11. Corpuz M, Shofler D, Labovitz J, Hodor L, Yu K. Fracture of the talus as a complication of subtalar arthrodesis. *J Foot Ankle Surg.* 2012 Jan-Feb;51(1):91-4.
12. Czurda T, Seidl M, Seiser AS, Schuh R, Trnka HJ, Ritschl P. Die Triple-Arthrodesis in der Therapie degenerativer Ruckfussfehlstellungen: Klinische, radiologische und pedobarografische Resultate. *Z Orthop Unfall.* 2009 May-Jun;147(3):356-61.
13. Davies AM, Whitehouse RW, Jenkins JPR. *Imaging of the Foot & Ankle. Techniques and Applications.* Berlin [u.a.]: Springer; 2003.
14. De Pellegrin M. Die subtalare Schrauben-Arthrodesis beim kindlichen Plattfuß. *Der Orthopäde.* 2005 Sep;34(9):941-53, quiz 54.
15. Döderlein L, Wenz W, Schneider U. *Der Knickplattfuß.* Berlin [u.a.]: Springer; 2002.
16. el-Tayeby HM. The severe flexible flatfoot: a combined reconstructive procedure with rerouting of the tibialis anterior tendon. *J Foot Ankle Surg.* 1999 Jan-Feb;38(1):41-9.

17. Engelhardt P. Orthopädische Fußchirurgie 2001.
18. Ernst A. Traumatologie des Kopf-Hals-Bereichs 2004.
19. Evans D. Calcaneo-valgus deformity. *J Bone Joint Surg Br.* 1975 Aug;57(3):270-8.
20. Forg P, Feldman K, Flake E, Green DR. Flake-Austin modification of the STA-Peg arthroereisis: a retrospective study. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2001 Sep;91(8):394-405.
21. Forriol F, Pascual J. Footprint analysis between three and seventeen years of age. *Foot Ankle.* 1990 Oct;11(2):101-4.
22. Giannini BS, Ceccarelli F, Benedetti MG, Catani F, Faldini C. Surgical treatment of flexible flatfoot in children: a four-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am.* 2001;83-A Suppl 2 Pt 2:73-9.
23. Giannini S. Kenneth A. Johnson Memorial Lecture. Operative treatment of the flatfoot: why and how. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society. [Lectures].* 1998 Jan;19(1):52-8.
24. Giannini S, Ceccarelli F, Vannini F, Baldi E. Operative treatment of flatfoot with talocalcaneal coalition. *Clin Orthop Relat Res.* 2003 Jun(411):178-87.
25. Giorgini R, Giorgini T, Calderaro M, Japour C, Cortes J, Kim D. The modified Kidner-Cobb procedure for symptomatic flexible pes planovalgus and posterior tibial tendon dysfunction stage II: review of 50 feet in 39 patients. *J Foot Ankle Surg.* 2010 Sep-Oct;49(5):411-6.
26. Götz-Neumann K. Gehen verstehen. Ganganalyse in der Physiotherapie ; 18 Tabellen. 2., unveränd. Aufl. ed. Stuttgart ; New York: Thieme; 2006.
27. Gruber R, Koch H, Doll BA, Tegtmeier F, Einhorn TA, Hollinger JO. Fracture healing in the elderly patient. *Exp Gerontol.* 2006 Nov;41(11):1080-93.
28. Hamel J, Kissling C, Heimkes B, Stotz S. A combined bony and soft-tissue tarsal stabilization procedure (Grice-Schede) for hindfoot valgus in children with cerebral palsy. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1994;113(5):237-43.
29. Hazany S, Ly N, Hazany D, Bader S, Ostuka N. Outcomes of subtalar arthroereisis for the planovalgus foot. *J Surg Orthop Adv.* 2012 Fall;21(3):147-50.
30. Hefti F, Brunner R. Das abgeflachte Fußlängsgewölbe. *Der Orthopäde.* 1999 Feb;28(2):159-72.
31. Heywood AW. The mechanics of the hind foot in club foot as demonstrated radiographically. *J Bone Joint Surg Br.* 1964 Feb;46:102-7.
32. Hoffa A. Orthopädische Chirurgie 1925.
33. Hohmann G. Fuß und Bein - Ihre Erkrankungen und deren Behandlung ; ein Lehrbuch. 4., neubearb. Aufl. ed. München: Bergmann; 1948.
34. Horton GA, Myerson MS, Parks BG, Park YW. Effect of calcaneal osteotomy and lateral column lengthening on the plantar fascia: a biomechanical investigation. *Foot Ankle Int.* 1998 Jun;19(6):370-3.
35. Hunt AE, Smith RM. Mechanics and control of the flat versus normal foot during the stance phase of walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2004 May;19(4):391-7.

36. Jellad A, Salah S, Bouaziz MA, Bouzaouache H, Ben Salah Z. Unusual clinical presentation of a partial tibialis anterior rupture. *Ann Phys Rehabil Med.* 2012 Feb;55(1):38-43.
37. Jerosch J, Schunck J, Abdel-Aziz H. The stop screw technique--a simple and reliable method in treating flexible flatfoot in children. *Foot Ankle Surg.* 2009;15(4):174-8.
38. Joveniaux P, Harisboure A, Ohl X, Dehoux E. Long-term results of in situ subtalar arthrodesis. *Int Orthop.* 2010 Dec;34(8):1199-205.
39. Kelikian A, Mosca V, Schoenhaus HD, Winson I, Weil L, Jr. When to operate on pediatric flatfoot. *Foot Ankle Spec.* 2011 Apr;4(2):112-9.
40. Kellermann P, Roth S, Gion K, Boda K, Toth K. Calcaneo-stop procedure for paediatric flexible flatfoot. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011 May 19.
41. Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS, Sanders M. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int.* 1994 Jul;15(7):349-53.
42. Koning PM, Heesterbeek PJ, de Visser E. Subtalar arthroereisis for pediatric flexible pes planovalgus: fifteen years experience with the cone-shaped implant. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2009 Sep-Oct;99(5):447-53.
43. Kwak YH, Park KB, Park HW, Kim HW. Use of allograft in skeletally immature patients for calcaneal neck lengthening osteotomy. *Yonsei Med J.* 2008 Feb 29;49(1):79-83.
44. Lee JH, Sung IY, Yoo JY. Clinical or radiologic measurements and 3-D gait analysis in children with pes planus. *Pediatr Int.* 2009 Apr;51(2):201-5.
45. Lee KB, Park CH, Seon JK, Kim MS. Arthroscopic subtalar arthrodesis using a posterior 2-portal approach in the prone position. *Arthroscopy.* 2010 Feb;26(2):230-8.
46. Levinger P, Murley GS, Barton CJ, Cotchett MP, McSweeney SR, Menz HB. A comparison of foot kinematics in people with normal- and flat-arched feet using the Oxford Foot Model. *Gait & posture.* [Research Support, Non-U.S. Gov't]. 2010 Oct;32(4):519-23.
47. Lisella JM, Bellapianta JM, Manoli A, 2nd. Tarsal coalition resection with pes planovalgus hindfoot reconstruction. *J Surg Orthop Adv.* 2011 Summer;20(2):102-5.
48. McCall RE, Lillich JS, Harris JR, Johnston FA. The Grice extraarticular subtalar arthrodesis: a clinical review. *J Pediatr Orthop.* 1985 Jul-Aug;5(4):442-5.
49. Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. The feet of overweight and obese young children: are they flat or fat? *Obesity (Silver Spring).* 2006 Nov;14(11):1949-53.
50. Momberger N, Morgan JM, Bachus KN, West JR. Calcaneocuboid joint pressure after lateral column lengthening in a cadaveric planovalgus deformity model. *Foot Ankle Int.* 2000 Sep;21(9):730-5.
51. Moraleda L, Salcedo M, Bastrom TP, Wenger DR, Albinana J, Mubarak SJ. Comparison of the calcaneo-cuboid-cuneiform osteotomies and the calcaneal lengthening osteotomy in the surgical treatment of symptomatic flexible flatfoot. *J Pediatr Orthop.* 2012 Dec;32(8):821-9.

52. Mosca VS. Calcaneal lengthening for valgus deformity of the hindfoot. Results in children who had severe, symptomatic flatfoot and skewfoot. *J Bone Joint Surg Am.* 1995 Apr;77(4):500-12.
53. Mosca VS. Flexible flatfoot in children and adolescents. *J Child Orthop.* 2010 Apr;4(2):107-21.
54. Müller E. Sehnen transplantationen und Verhalten der Sehnen beim Plattfuß. *Zentralbl Chir.* 1903;30:40-2.
55. Napiontek M, Pietrzak K. Triple arthrodesis of the foot after calcaneal fractures. Twelve patients treated using K wires stabilization. *Foot Ankle Surg.* 2011 Sep;17(3):128-30.
56. Napolitano C, Walsh S, Mahoney L, McCrea J. Risk factors that may adversely modify the natural history of the pediatric pronated foot. *Clin Podiatr Med Surg.* 2000 Jul;17(3):397-417.
57. Nelson SC, Haycock DM, Little ER. Flexible flatfoot treatment with arthroereisis: radiographic improvement and child health survey analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2004 May-Jun;43(3):144-55.
58. Niederecker K. Beiträge zur Entstehung des Plattfußes auf Grund von Muskelanomalien an Hand eines größeren Operationsmaterials. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1950;79(3):499-518.
59. Niederecker K. Erfahrungen bei operativer Behandlung des Plattfußes; eine kritische Betrachtung der Indikationsstellung. *Arch Orthop Unfallchir.* 1955;47(4-5):522-44.
60. Niederecker K. Operative Behandlung schwerer Plattfüße. *Langenbecks Arch Klin Chir Ver Dtsch Z Chir.* 1961;299:188-92.
61. Niethard FU. *Orthopädie und Unfallchirurgie* 2009.
62. Ogut T, Ayhan E, Irgit K, Sarikaya AI. Endoscopic treatment of posterior ankle pain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011 Aug;19(8):1355-61.
63. Oh I, Williams BR, Ellis SJ, Kwon DJ, Deland JT. Reconstruction of the symptomatic idiopathic flatfoot in adolescents and young adults. *Foot Ankle Int.* 2011 Mar;32(3):225-32.
64. Park MS, Kim SJ, Chung CY, Choi IH, Lee SH, Lee KM. Statistical consideration for bilateral cases in orthopaedic research. *J Bone Joint Surg Am.* 2010 Jul 21;92(8):1732-7.
65. Penney NT, Viselli SJ, Holmes TR, Weiner RD. Double-calcaneal osteotomy with a unilateral rail external fixator for correction of pes planus: a case report. *Foot Ankle Spec.* 2009 Aug;2(4):194-9.
66. Perry J. *Gait Analysis.* New York: Slack; 1992.
67. Perry J. *Ganganalyse. Norm und Pathologie des Gehens.* 1. Aufl. ed. München [u.a.]: Urban & Fischer; 2003.
68. Philbin TM, Pokabla C, Berlet GC. Lateral column lengthening using allograft interposition and cervical plate fixation. *Foot Ankle Spec.* 2008 Oct;1(5):288-96.

69. Richter M, Zech S. Lengthening osteotomy of the calcaneus and flexor digitorum longus tendon transfer in flexible flatfoot deformity improves talo-1st metatarsal-Index, clinical outcome and pedographic parameter. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2013 Mar;19(1):56-61.
70. Roche AJ, Calder JD. Lateral column lengthening osteotomies. *Foot Ankle Clin*. 2012 Jun;17(2):259-70.
71. Rockett AK, Mangum G, Mendicino SS. Bilateral intraosseous cystic formation in the talus: a complication of subtalar arthroereisis. *J Foot Ankle Surg*. 1998 Sep-Oct;37(5):421-5.
72. Roth S, Sestan B, Tudor A, Ostojic Z, Sasso A, Durbesic A. Minimally invasive calcaneo-stop method for idiopathic, flexible pes planovalgus in children. *Foot Ankle Int*. 2007 Sep;28(9):991-5.
73. Sanders R, Fortin P, DiPasquale T, Walling A. Operative treatment in 120 displaced intraarticular calcaneal fractures. Results using a prognostic computed tomography scan classification. *Clin Orthop Relat Res*. 1993 May(290):87-95.
74. Sangeorzan BJ, Mosca V, Hansen ST, Jr. Effect of calcaneal lengthening on relationships among the hindfoot, midfoot, and forefoot. *Foot Ankle*. 1993 Mar-Apr;14(3):136-41.
75. Scharer BM, Black BE, Sockrider N. Treatment of painful pediatric flatfoot with Maxwell-Brancheau subtalar arthroereisis implant a retrospective radiographic review. *Foot Ankle Spec*. 2010 Apr;3(2):67-72.
76. Schepers T, Heetveld MJ, Mulder PG, Patka P. Clinical outcome scoring of intra-articular calcaneal fractures. *J Foot Ankle Surg*. 2008 May-Jun;47(3):213-8.
77. Schepers T, Kieboom BC, Bessems GH, Vogels LM, van Lieshout EM, Patka P. Subtalar versus triple arthrodesis after intra-articular calcaneal fractures. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2010 Aug;5(2):97-103.
78. Scher DM, Bansal M, Handler-Matasar S, Bohne WH, Green DW. Extensive implant reaction in failed subtalar joint arthroereisis: report of two cases. *HSS J*. 2007 Sep;3(2):177-81.
79. Schmidt C, Parsch K. Der kindliche Knick-Senk-Fuß. *Der Orthopäde*. 2003 Mar;32(3):253-62; quiz 63.
80. Schmidt J, Winker KH. Macht die primäre Nerven transplantation bei Defektverletzungen peripherer Nerven Sinn? *Zentralbl Chir*. 2002 Mar;127(3):228-30.
81. Schünke M. Prometheus - LernAtlas der Anatomie  
allgemeine Anatomie und Bewegungssystem ; 182 Tabellen. 3., überarb. und erw. Aufl. ed. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2011.
82. Sekiya JK, Saltzman CL. Long term follow-up of medial column fusion and tibialis anterior transposition for adolescent flatfoot deformity. *The Iowa orthopaedic journal*. [Case Reports]. 1997;17:121-9.
83. Shih YF, Chen CY, Chen WY, Lin HC. Lower extremity kinematics in children with and without flexible flatfoot: a comparative study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2012;13:31.

84. Siff TE, Granberry WM. Avascular necrosis of the talus following subtalar arthroereisis with a polyethylene endoprosthesis: a case report. *Foot Ankle Int.* 2000 Mar;21(3):247-9.
85. Smith PA, Millar EA, Sullivan RC. Sta-Peg arthroereisis for treatment of the planovalgus foot in cerebral palsy. *Clin Podiatr Med Surg.* 2000 Jul;17(3):459-69.
86. Soomekh DJ, Baravarian B. Pediatric and adult flatfoot reconstruction: subtalar arthroereisis versus realignment osteotomy surgical options. *Clin Podiatr Med Surg.* 2006 Oct;23(4):695-708, v.
87. Staheli LT. Planovalgus foot deformity. Current status. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1999 Feb;89(2):94-9.
88. Tomesen T, Biert J, Frolke JP. Treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures with closed reduction and percutaneous screw fixation. *J Bone Joint Surg Am.* 2011 May 18;93(10):920-8.
89. Tompkins MH, Nigro JS, Mendicino S. The Smith STA-peg: a 7-year retrospective study. *J Foot Ankle Surg.* 1993 Jan-Feb;32(1):27-33.
90. Vedantam R, Capelli AM, Schoenecker PL. Subtalar arthroereisis for the correction of planovalgus foot in children with neuromuscular disorders. *Journal of pediatric orthopedics.* 1998 May-Jun;18(3):294-8.
91. Viegas GV. Reconstruction of the pediatric flexible planovalgus foot by using an Evans calcaneal osteotomy and augmentative medial split tibialis anterior tendon transfer. *J Foot Ankle Surg.* 2003 Jul-Aug;42(4):199-207.
92. Viladot R, Pons M, Alvarez F, Omana J. Subtalar arthroereisis for posterior tibial tendon dysfunction: a preliminary report. *Foot Ankle Int.* 2003 Aug;24(8):600-6.
93. Villarroya MA, Esquivel JM, Tomas C, Moreno LA, Buenafe A, Bueno G. Assessment of the medial longitudinal arch in children and adolescents with obesity: footprints and radiographic study. *Eur J Pediatr.* 2009 May;168(5):559-67.
94. Wachsmuth W. Die Operationen an den Extremitäten/21956.
95. Wenger DR, Mauldin D, Speck G, Morgan D, Lieber RL. Corrective shoes and inserts as treatment for flexible flatfoot in infants and children. *J Bone Joint Surg Am.* 1989 Jul;71(6):800-10.
96. Westhoff B, Weimann-Stahlschmidt K, Krauspe R. Spastischer Spitzfuss. *Orthopäde.* 2011 Jul;40(7):637-47.
97. Westphal T, Piatek S, Halm JP, Schubert S, Winckler S. Outcome of surgically treated intraarticular calcaneus fractures--SF-36 compared with AOFAS and MFS. *Acta Orthop Scand.* 2004 Dec;75(6):750-5.
98. Yoon HK, Park KB, Roh JY, Park HW, Chi HJ, Kim HW. Extraarticular subtalar arthrodesis for pes planovalgus: an interim result of 50 feet in patients with spastic diplegia. *Clin Orthop Surg.* 2010 Mar;2(1):13-21.
99. Zeifang F, Breusch SJ, Doderlein L. Evans calcaneal lengthening procedure for spastic flexible flatfoot in 32 patients (46 feet) with a followup of 3 to 9 years. *Foot Ankle Int.* 2006 Jul;27(7):500-7.
100. Zollinger H, Fledmann J. Spontanverlauf kindlicher Fußdeformitäten. *Der Orthopäde.* 1994;23:206-10.

101. Zwipp H, Rammelt S. Modifizierte Evans-Osteotomie zur operativen Behandlung des erworbenen Knick-Platt-Fußes. Oper Orthop Traumatol. 2006 Jun;18(2):182-97.

## **8 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis**

### **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Geschlechts- und Seitenverteilung.....	19
Tab. 2: Alter bei OP.....	19
Tab. 3: Zeitraum zur Nachuntersuchung in Monaten.....	19
Tab. 4: Schmerzintensität postoperativ, Gruppe A (n=43).....	33
Tab. 5: Lebensqualität prä- und postoperativ.....	35
Tab. 6: Dauer postoperativer Einschränkungen im Alltag in Monaten.....	35
Tab. 7: Dauer der postoperativen Einlagentherapie in Monaten.....	37
Tab. 8: Dauer der postoperativen Nachtschientherapie in Monaten.....	37
Tab. 9: Restvalgus postoperativ.....	39
Tab. 10: postoperative Dorsalextension aktiv und passiv.....	41
Tab. 11: postoperative Einschränkung der Inversion/Eversion in Prozent.....	43
Tab. 12: Ankle-Hindfoot Scale und Maryland Foot Score.....	44
Tab. 13: Komplikationen, Nervenverletzungen und Überkorrekturen.....	46
Tab. 14: Kalkaneus-Boden-Winkel prä- und postoperativ (Norm: 20-30°).....	47



Tab. 15: Talus-Neigungswinkel prä- und postoperativ (Norm: 21°) .....	48
Tab. 16: Kuboid-Abduktionswinkel prä- und postoperativ (Norm: 0-5°).....	49
Tab. 17: Talus-Kalkaneus-Winkel d.p. prä- und postoperativ (Norm: 17-21°).....	50
Tab. 18: lateraler Talus-Kalkaneus-Winkel prä- und postoperativ (Norm 35-50°)	51
Tab. 19: Talus-Metatarsale I-Winkel d.p. prä- und postoperativ (Norm: -20 bis 20°) .....	52
Tab. 20: Talus-Metatarsale I-Winkel lateral prä- und postoperativ (Norm: ±4°) ..	53

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Pes planus-Komponente des Plattfußes .....	5
Abb. 2: Pes valgus-Komponente des Plattfußes .....	5
Abb. 3: Abgetrennte M. tibialis anterior-Sehne .....	10
Abb. 4: Mobilisation zum Talonaviculargelenk .....	10
Abb. 5: Durchzug der Sehne durch das Talonaviculargelenk .....	11
Abb. 6: Naht an die M. tibialis posterior-Sehne und Verschluss der Gelenkkapsel .....	11
Abb. 7: Endergebnis .....	12
Abb. 8: Osteotomiespalt und eingebrachte Kirschnerdrähte.....	14
Abb. 9: eingefügter Knochenspan im Osteotomiespalt.....	15
Abb. 10: Kalkaneus-Boden-Winkel (Norm: 20-30°) .....	22
Abb. 11: Talus-Metatarsale I-Winkel (Norm: -4 bis 4°) .....	23
Abb. 12: Talus-Neigungswinkel (Norm: 21°).....	23
Abb. 13: lateraler Talokalkaneärer Winkel (Norm: 35-50°) .....	23
Abb. 14: dorsoplantarer Talokalkaneärer Winkel (Norm: 17-21°) .....	24
Abb. 15: Kuboid-Abduktionswinkel (Norm: 0-5°).....	24

Abb. 16: Talus-Metatarsale I-Winkel (Norm:-20 bis 20°).....	24
Abb. 17: Gangzyklus (Quelle: zebris).....	26
Abb. 18: Kinetik-Analyse (Quelle: zebris).....	27
Abb. 19: Fußabdruck mit Chippaux-Smirak-Index (c/b %) und Footprint-Winkel (α) .....	28
Abb. 20: Kinematik-Analyse (Quelle: zebris).....	30
Abb. 21: Ultraschall-Transmitter (Quelle: zebris).....	30
Abb. 22: Schmerzintensität prä- und postoperativ im Alltag, beim Sport, bei langem Stehen und in Ruhe, Gruppe A (n=43, * p<0,0001) .....	33
Abb. 23: Dauer der postoperativen Einlagentherapie Gruppe A (n=23) .....	36
Abb. 24: Dauer der postoperativen Nachtschientherapie Gruppe A (n=23).....	37
Abb. 25: Längsgewölbe postoperativ Gruppe A (n=43).....	38
Abb. 26: postoperative Dorsalextension aktiv Gruppe A (n=43) .....	40
Abb. 27: postoperative Dorsalextension passiv Gruppe A (n=43) .....	41
Abb. 28: postoperative Einschränkung der Inversion/Eversion Gruppe A (n=43)	43
Abb. 29: Korrelation BMI mit Ankle-Hindfoot Scale Gruppe A (n=43) .....	45
Abb. 30: Korrelation BMI mit Maryland Foot Score Gruppe A (n=43) .....	45

Abb. 31: Kalkaneus-Boden-Winkel prä- und postoperativ Gruppe A (Norm: 20-30°, * p<0,0001).....	47
Abb. 32: Talus-Neigungswinkel prä- und postoperativ Gruppe A (Norm: 21°, * p<0,0001) .....	48
Abb. 33: Kuboid-Abduktionswinkel prä- und postoperativ Gruppe A (Norm: 0-5°, * p<0,0001) .....	49
Abb. 34: Talus-Kalkaneus-Winkel d.p. prä- und postoperativ Gruppe A (Norm: 17-21°, * p<0,001) .....	50
Abb. 35: lateraler Talus-Kalkaneus-Winkel prä- und postoperativ Gruppe A (Norm 35-50°) .....	51
Abb. 36: Talus-Metatarsale I-Winkel d.p. prä- und postoperativ Gruppe A (Norm: -20 bis 20°, * p<0,0001).....	52
Abb. 37: Talus-Metatarsale I-Winkel lateral prä- und postoperativ Gruppe A (Norm: ±4°,..... * p<0,0001)	53
Abb. 38: Chippaux-Smirak Index Gruppe A (n=37) und Vergleichsgruppe (n=24) .....	54
Abb. 39: Footprint-Winkel Gruppe A (n=37) und Vergleichsgruppe (n=24), * p<0,01 .....	55
Abb. 40: Standphase Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24), * p<0,01 .	56
Abb. 41: Schwungphase Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24), * p<0,01 .....	56

Abb. 42: Stoßdämpfungsphase Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24), * p<0,01 .....	57
Abb. 43: Vorschwungphase Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24), * p<0,01 .....	58
Abb. 44: einfach unterstützte Standphase Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24), * p<0,01 .....	58
Abb. 45: doppelt unterstützte Standphase Gruppe A (n=23) und Vergleichsgruppe (n=12), * p<0,05 .....	59
Abb. 46: Fußrotation Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24) .....	60
Abb. 47: Schrittlänge Gruppe A (n=43) und Vergleichsgruppe (n=24).....	60
Abb. 48: OSG-Dorsalextension Gruppe A (n=25) (rot) und Vergleichsgruppe (n=24) (grau) .....	61
Abb. 49: Fußrotation Gruppe A (n=25) (rot) und Vergleichsgruppe (n=24) (grau) .....	62
Abb. 50: Flexion Kniegelenk Gruppe A (n=25) (rot) und Vergleichsgruppe (n=24) (grau) .....	63
Abb. 51: Oberschenkelanteversion Gruppe A (n=25) (rot) und Vergleichsgruppe (n=24) (grau) .....	64

## 9 Abkürzungsverzeichnis

Bds.	beidseits
BMI	Body-Mass-Index
d.p.	dorso-plantar
ICP	Infantile Cerebralparese
M.	Musculus
max.	Maximum
min.	Minimum
OSG	oberes Sprunggelenk
OP	Operation
Prä-OP	präoperativ
Post-OP	postoperativ
SD	Standardabweichung

## 10 Anhang

### 10.1 Ankle-Hindfoot-Scale

#### 1. Schmerzen (40 Punkte)

- Keine (40)
- Wenig, gelegentlich (30)
- Mäßig, täglich (20)
- stark, dauernd (0)

#### 2. Funktion (50 Punkte)

##### 2.1) Behinderung, Hilfsmittel

- keine Behinderung, keine Hilfsmittel (10)
- Behinderung bei Freizeitaktivitäten, keine Hilfsmittel (7)
- Behinderung in Alltag und Freizeit, Stock oä (4)
- Starke Behinderung, ständig Stöcke, Rollstuhl, Spezialschuh... (0)

##### 2.2) Maximale Gehstrecke

- mehr als 3km (5)
- 2-3 km (4)
- 500m – 2km (2)
- weniger als 500m (0)

##### 2.3) Untergrund

- keine Probleme auf allen Unterlagen (5)
- wenig Probleme auf unebenem Boden, Treppen, Leitern (3)
- Starke Probleme auf unebenem Grund, Treppen, Leitern (0)

##### 2.4) Gangabnormalitäten

- keine oder kaum sichtbar (8)
- offensichtlich (4)
- markant (0)

## 2.5) Beweglichkeit

### Dorsalflexion/Plantarextension(Grad):

- normal oder kaum eingeschränkt: 30 Grad oder mehr (8)
- wenig eingeschränkt: 15-29 Grad (4)
- stark eingeschränkt: weniger als 15 Grad (0)

### Inversion/Eversion(Prozent):

- normal oder kaum eingeschränkt: 75-100% (6)
- wenig eingeschränkt: 25-74% (3)
- stark eingeschränkt: weniger als 25% (0)

## 2.6) Stabilität (anteroposterior, Varus/Valgus)

- Stabil (8)
- Unstabil (0)

## 3) Fußstellung (10 P)

- Gut, Fußsohlenbelastung, OSG-Rückfußstellung (10)
- Leichte Fehlstellung, schlechte Sohlenbelastung,  
Achsenabweichung von OSG-Rückfuß, keine Symptome (5)
- Starke Fehlstellung, schlechte Fußsohlenbelastung,  
starke Achsenabweichung von OSG-Rückfuß, Symptome (0)

**Summe: /100P**



## 10.2 Maryland Foot Score

TABLE 1. Maryland Foot Score

1. Pain	
None: including with sports	45
Slight: no change in ADL's or work ability	40
Mild: minimal change in ADL's or work	35
Moderate: significant decrease in ADL's	30
Marked: during minimal ADL's, e.g., bathroom, simple housework. Stronger, more frequent analgesics	10
Disabled: unable to work or shop	5
2. Function	
Gait	
Distance walked	
Unlimited	10
Slight limitation	8
Moderate limitation (2-3 blocks)	5
Severe limitation (1 blocks)	2
Indoors only	0
Stability	
Normal	4
Weak feeling—no true giving way	3
Occasional giving way (1-2 mos)	2
Frequent giving way	1
Orthotic device used	0
Support	
None	4
Cane	3
Crutches	1
Wheelchair	0
Limp	
None	4
Slight	3
Moderate	2
Severe	1
Unable to walk	0
Shoes	
Any type	10
Minor concessions	9
Flat, laced	7
With orthotics	5
Space shoes	2
Unable to wear shoes	0
Stairs	
Normally	4
With bannister	3
Any method	2
Unable	0
Terrain	
No problem with any surface	4
Problems on stones, hills	2
Problems on flat surfaces	0
Cosmesis	
Normal	10
Mild deformity	8
Moderate	6
Severe	0
Multiple deformities	0
Motion (ankle, subtalar, midfoot, metatarsophalangeal)	
Normal	5
Slightly decreased	4
Markedly decreased	2
Ankylosed	0

Excellent, 90-100; good, 75-89; fair, 50-74; failure, <50.

## 11 Danksagung

Mein herzlicher Dank für die Unterstützung bei der Erstellung meiner Dissertation gilt vor allem PD Dr. med. Sandra Utzschneider. Sie war stets für alle Fragen und Probleme erreichbar und half mir schnellstmöglich, diese zu beseitigen. Ihr und Prof. Dr. med. Bernhard Heimkes danke ich für die Überlassung des Themas. Für die Hilfe bei Fragen über geschichtliche Hintergründe der Operationstechniken danke ich Prof. Dr. med. Bernhard Heimkes, Dr. med. Christian Günther und Dr. med. Arnd Steinbrück möchte ich für die tatkräftige Unterstützung bei der Ganganalyse besonders danken. Vielen Dank auch Dr. med. Alexander Crispin für die Ratschläge bei komplizierten Statistik-Sachverhalten. Für die großzügige Überlassung des Ganganalyse-Labors bedanke ich mich bei Dr. Dipl.-Psych. Josef Ilmberger und seinem Team. Danke auch an die Mitarbeiter der Kinderambulanz der Klinik für Orthopädie, physikalische Medizin und Rehabilitation für die freundliche Hilfe bei der Aktensuche und Terminplanung.

Mein ganz besonderer Dank gilt allen Patienten und freiwilligen Probanden, die sich Zeit genommen haben, um meine Arbeit überhaupt erst zu ermöglichen.

Zu guter Letzt möchte ich meinen Eltern und Geschwistern für ihre Unterstützung während meines Studiums und das entgegengebrachte Vertrauen danken. Meinem Partner danke ich für den seelischen und moralischen Rückhalt in allen Phasen der Verfassung dieser Arbeit.

## Eidesstattliche Versicherung

**Drotleff, Vanessa Catharina**

---

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

**Evans-Osteotomie kombiniert mit modifizierter Müller-Niederecker-Sehnenverlagerung bei juvenilem Plattfuß**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

**Germering, 10.07.2014**

---

Ort, Datum

---

Unterschrift Doktorandin/Doktorand