

---

**Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik  
(König-Ludwig-Haus, Würzburg),  
Lehrstuhl für Orthopädie der Universität Würzburg**

**Direktor: Professor Dr. med. M. Rudert**

# **Über die Behandlung hochgradiger rachitischer Beinfehlstellungen im Kindesalter**

**Inaugural - Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der**

**Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

vorgelegt von

Viktor Wesselsky  
aus Frankfurt am Main

Würzburg, November 2012



---

Referent: Prof. Dr. med. P. Raab

Korreferent: Prof. Dr. med. F. Jakob

Dekan: Prof. Dr. med. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 27.06.2013

Der Promovend ist Arzt

---

*Meinem Vater Klaus gewidmet*

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>- 1 -</b>
1.1 Rachitis .....	- 1 -
1.1.1 Geschichte der Rachitis .....	- 1 -
1.1.2 Rachitis im 20. Jahrhundert .....	- 2 -
1.1.3 Rachitis in der Gegenwart .....	- 2 -
1.1.3.1 Rachitis in entwickelten Ländern .....	- 3 -
1.1.3.2 Rachitis in unterentwickelten Ländern .....	- 3 -
1.1.3.3 Rachitis in Nigeria .....	- 4 -
1.2 Kalzium-Phosphat-Stoffwechsel .....	- 5 -
1.2.1 Parathormon .....	- 5 -
1.2.2 Vitamin D .....	- 6 -
1.2.3 Kalzitinin .....	- 7 -
1.2.4 Fibroblastic Growth factor 23.....	- 7 -
1.3 Pathogenese der Rachitis .....	- 8 -
1.4 Formen der Rachitis.....	- 9 -
1.4.1 Nutritive Rachitis.....	- 9 -
1.4.2 Vitamin-D-abhängige Rachitis Typ I (VDAR I).....	- 10 -
1.4.3 Vitamin-D-abhängige Rachitis Typ II (VDAR II) .....	- 10 -
1.4.4 Kongenitale Rachitis .....	- 10 -
1.4.5 Rachitis als sekundäre Folge anderer Krankheiten und Medikamente .....	- 11 -
1.4.6 Phosphopenische Rachitiden .....	- 11 -
1.5 Klinik der Rachitis.....	- 11 -
1.5.1 Nicht-skelettale Klinik.....	- 11 -
1.5.2 Knöcherner Veränderungen .....	- 12 -
1.6 Rachitis unter orthopädischen Gesichtspunkten bezogen auf die untere Extremität .....	- 13 -
1.6.1 Physiologische Entwicklung der Beinachse .....	- 13 -
1.6.2 Deformationen der unteren Extremität und die Entwicklung der Beinachsen unter pathologischen Bedingungen.....	- 14 -
1.6.3 Differentialdiagnosen von Genu varum et valgum.....	- 17 -

---

1.6.4	Beingeometrie: Deformitätenanalyse anhand von Achsen und Winkeln .....	- 18 -
1.6.4.1	Der Malalignment-Test (MAT).....	- 20 -
1.6.5	Angulationsdeformitäten .....	- 21 -
1.6.6	Planung der Korrektur .....	- 22 -
1.6.7	Osteotomieformen und Indikationen .....	- 23 -
1.6.7.1	Quere Osteotomien .....	- 24 -
1.6.7.2	Opening- oder closing-wedge-Osteotomien.....	- 24 -
1.6.7.3	Focal-dome- und Pendelosteotomien .....	- 25 -
1.6.7.4	Scheibenwischerosteotomien.....	- 26 -
1.6.7.5	Treppenförmige Osteotomien.....	- 26 -
1.6.8	Korrekturtechniken .....	- 26 -
1.6.9	Osteosyntheseverfahren.....	- 27 -
<b>2.</b>	<b>Patienten und Methoden.....</b>	<b>- 30 -</b>
2.1	Hope for the Village Child und die Ethnie der Gbagy .....	- 30 -
2.2	Das Rachitisprojekt.....	- 31 -
2.3	Entwicklung des Rachitisprojekts und Ursachenforschung .....	- 32 -
2.4	Initiation der orthopädischen Therapie.....	- 34 -
2.5	Anforderungen an die Operation .....	- 35 -
2.6	Das Operationsverfahren .....	- 36 -
2.6.1	Mediale, subtraktive Osteotomie des distalen Femurs bei Genu valgum .....	- 37 -
2.6.2	Patella-Realignment bei Genu valgum .....	- 39 -
2.6.3	Laterale, subtraktive Osteotomie des diaphysären Femurs, proximale Tibiaosteotomie, distale derotierende Tibiaosteotomie bei Genu varum .....	- 39 -
2.6.4	Multiplanare, subtraktive Osteotomie der diaphysären Tibia und der Fibula bei Antekurvatur.....	- 42 -
2.6.5	Postoperatives Konzept .....	- 45 -
2.6.6	Patientenkollektiv .....	- 46 -
2.6.7	Auswahlkriterien .....	- 49 -
2.7	Methodik der vorliegenden Arbeit .....	- 49 -
2.7.1	Körperliche-orthopädische Untersuchung.....	- 50 -

---

2.7.2	Klassifikation nach Fraser .....	- 50 -
2.7.3	Photodokumentation.....	- 51 -
2.7.4	Auswertung des Bildmaterials.....	- 51 -
2.7.5	Bildbearbeitung .....	- 51 -
2.7.6	Statistische Auswertung .....	- 51 -
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>- 53 -</b>
3.1	Alter und Dauer der präoperativen medikamentösen Behandlung.....	- 53 -
3.2	Größe und Gewicht.....	- 53 -
3.3	Lebensqualitätsparameter .....	- 54 -
3.4	Körperliche-orthopädische Untersuchung.....	- 57 -
3.4.1	Rumpf und Wirbelsäule.....	- 57 -
3.4.2	Hüfte .....	- 57 -
3.4.2.1	Beckenstellung, Beinlängendifferenz.....	- 57 -
3.4.2.2	Freiheitsgrade .....	- 58 -
3.4.3	Knie .....	- 60 -
3.4.3.1	Intermalleolarer / interkondylärer Abstand .....	- 60 -
3.4.3.2	Palpation, Gelenkserguß.....	- 61 -
3.4.3.3	Flexion/Extension und Genu recurvatum.....	- 61 -
3.4.3.4	Kapselbandlaxizität .....	- 62 -
3.4.3.5	Patella .....	- 63 -
3.4.4	Fuß.....	- 63 -
3.4.4.1	Kalkaneusachse, Pes adductus.....	- 63 -
3.4.4.2	Plantarflexion / Dorsalextension .....	- 64 -
3.5	Obere Extremität.....	- 65 -
3.6	Achsen und Winkel .....	- 65 -
3.6.1	Analyse anhand der Nativaufnahmen.....	- 66 -
3.6.1.1	Anatomische Achsangulation des Beines bei Genu valgum und Genu varum.....	- 66 -
3.6.1.2	Angulation bei tibialer Antekurvatur.....	- 70 -
3.6.1.3	Aus- und Einwärtsdrehung des Fußes .....	- 71 -
3.6.2	Analyse anhand der Röntgenbilder .....	- 73 -
3.6.2.1	Tibiale und femorale CORAs in der Frontalebene.....	- 73 -
3.6.2.2	Tibiale und femorale CORAs in der Sagittalebene .....	- 75 -

---

3.6.2.3	Anatomischer Tibio-Femoraler Winkel (TFA) .....	- 77 -
3.6.2.4	L DFA bei Genu valgum und varum .....	- 80 -
3.6.2.5	MPTA bei Genu valgum und varum .....	- 82 -
3.6.3	Sagittale Winkel .....	- 83 -
3.6.3.1	PDFA bei Genu valgum/varum .....	- 83 -
3.6.3.2	mPPTA und mADTA bei tibialen Antekurvation .....	- 85 -
3.6.4	Durchblutung, Motorik und Sensibilität .....	- 86 -
3.6.5	OP-Komplikationen .....	- 88 -
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>- 91 -</b>
4.1	Reflektion der Methoden .....	- 92 -
4.2	Diskussion der Ergebnisse .....	- 94 -
4.2.1	Geschlechterverteilung .....	- 94 -
4.2.2	Dauer der medikamentösen Therapie und Alter .....	- 94 -
4.2.3	Lebensqualität und Gangbild .....	- 95 -
4.2.4	Orthopädische Untersuchung .....	- 96 -
4.2.5	Achsen und Winkel .....	- 101 -
4.2.5.1	Genu valgum und Genu varum .....	- 101 -
4.2.5.2	Tibiale Antekurvation .....	- 106 -
4.2.5.3	Rotationsfehlstellung .....	- 107 -
4.2.6	Kniewinkel nach Paley .....	- 108 -
4.2.7	Komplikationen .....	- 110 -
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>- 115 -</b>
<b>6.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>- 117 -</b>
<b>7.</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>- 118 -</b>
<b>8.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>- 118 -</b>
<b>9.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>- 121 -</b>
<b>10.</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>- 126 -</b>
	Untersuchungsbogen .....	
	<b>Danksagung</b> .....	
	<b>Lebenslauf</b> .....	





# 1. Einleitung

Die Rachitis, als klinische Diagnose im Kindesalter, ist größtenteils aus Europa und Nordamerika verdrängt worden. Dies geschah durch die konsequente Anreicherung der Nahrung mit Vitamin D oder durch dessen Substitution. In einigen Teilen der Welt bleibt sie jedoch als häufigste metabolische Erkrankung des Knochens bestehen und stellt damit eine globale Herausforderung dar.

Ziel der vorliegenden Ausführungen ist es, die Ergebnisse der operativen Therapie rachitischer Beindeformitäten von Kindern eines nordnigerianischen Stammes, zu beschreiben und zu evaluieren.

## 1.1 Rachitis

### 1.1.1 Geschichte der Rachitis

Das klinische Bild der Rachitis, mit Wachstumsverzögerungen, Verbreiterungen der Epiphysenfugen, Deformierungen von Extremitäten und Wirbelsäule, Auftreibungen am Brustkorb und „schlaffer, schwacher Muskulatur“ wurde Mitte des 17. Jahrhunderts erstbeschrieben [2]. Aus dieser Zeit stammt auch der Name „Rachitis“, der sich aus dem Wort „crooked“ (deutsch= gekrümmt) ableitet [3]. Noch mystifiziert und ohne ätiologische Erkenntnisse nahm die Prävalenz der Rachitis stetig zu und erreichte einen Höhepunkt Anfang des 20. Jahrhunderts, als histopathologische Veränderungen des kindlichen Knochens in über 90% durchgeführter Autopsien gefunden wurden [4]. Wachsende Industrialisierung und Migration in die Städte, mit ihren engen, verschmutzten und lichtarmen Lebensräumen, beschleunigten das Voranschreiten der floriden Rachitis. Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts nahm das Wissen über die Krankheit zu.

Der Zusammenhang von Sonnenlicht (später UV-Strahlen) als Präventions- oder Therapiemaßnahme gefolgt von der Verwendung von Lebertran und anderen antirachitisch-wirksamen Lebensmitteln, wie z. B. Milch, bis hin zur Entdeckung von

Vitamin D und dessen Stoffwechsel, stellten die entscheidenden Erkenntnisse in Bezug zur Rachitis dar [5].

Die prophylaktische Vitamin-D-Substitution bei Neugeborenen, vornehmlich in Westeuropa durchgeführt, die Anreicherung von Nahrungsmitteln z.B. Milch in den USA und die in Mode gekommene vermehrte Sonnenlichtexposition führten zu einem drastischen Rückgang dieser Erkrankung [6].

### 1.1.2 **Rachitis im 20. Jahrhundert**

Die Geschichte der Rachitis wurde neben der der Polio als eine der Erfolgsgeschichten in Sachen Prävention durch Vitamin-D-Substituierung in der frühen modernen Medizin angesehen. Ab Mitte des 20. Jahrhunderts kam es jedoch zu einem endemischen Wiederauftreten der Rachitis. 1960-1980 wurde eine zunehmende Inzidenz der Rachitis festgestellt, die sich auf epidemiologische Fakten zurückführen ließ und vor allem bei Kindern muslimischer Frauen in Städten und sonnenärmeren Gegenden beobachtet wurde. Diese Mütter selbst litten an Vitamin-D-Armut und konnten nicht genügend Vitamin D über die Muttermilch, die von Natur aus einen geringen Vitamin-D-Spiegel enthält, an ihre Säuglinge weitergeben [3]. Verstärkend kam hinzu, dass ihre dunklere Haut eine geringere Synthese an Vitamin D aufweist und die Säuglinge zudem keine Vitamin-D-Prophylaxe erhielten.

Die dritte Welle, beginnend 1990, trat innerhalb der dunkelhäutigen Bevölkerung in den USA auf. Zwar konnten keine Anzeichen von einer zu geringen Sonnenlichtexposition bei den Betroffenen gefunden werden, jedoch zeigte sich, dass die Mehrzahl der an Rachitis erkrankten Kinder ausschließlich gestillt wurde ohne eine zusätzliche Vitamin-D-Substitution erhalten zu haben [7]. Diese Entwicklung konnte bis heute nicht beeinflusst werden und so bleibt die Rachitis in gewissen Risikogruppen (dunkelhäutig, geringe Sonnenexposition, gestillt) auch Gegenstand der aktuellen medizinischen Behandlung in westlichen Nationen [8].

### 1.1.3 **Rachitis in der Gegenwart**

Rachitis tritt aktuell auf globaler Ebene wieder in den Fokus und beschreibt nicht mehr eine Krankheit der Vergangenheit. Vor allem ressourcenarme Länder sind von einem

massiven Anstieg der Prävalenz betroffen. Aber auch in Industrienationen finden sich innerhalb gewisser Bevölkerungsgruppen Nachweise einer floriden Rachitis [9].

Es gilt, die wesentlichen Ursachen des gemeinsamen klinischen Bildes der Rachitis zu unterscheiden.

### 1.1.3.1 **Rachitis in entwickelten Ländern**

In Europa und den USA ist die zentrale Ursache für den Wiederanstieg der Inzidenz der Rachitis das fehlende Verständnis dafür, dass humane Milch zu wenig bis gar kein Vitamin D enthält um den Bedarf des Kindes zu decken [5]. Die Unterversorgung durch die Brustmilch verstärkt sich bei Müttern schwarzer Hautfarbe, die in ein Land höheren Breitengrades ausgewandert sind und solchen, die sich selbst - aus kulturellen oder gesundheitlichen Gründen - nicht der Sonne aussetzen. Hinzu kommt die abnehmende Verwendung der Vitamin-D-Substitution in westlichen Nationen [10].

Ein eindeutiger auslösender, signifikanter Faktor ist bis heute nicht identifizierbar. Ein multifaktorielles Modell wird vermutet. Die Vitamin-D-Defizienz bildet hierbei wahrscheinlich die gemeinsame Endstrecke der Erkrankung. Niedrige Kalziumaufnahme und hohe Phytat-Aufnahme spielen darüber hinaus eine bedeutende Rolle [11], indem sie den Katabolismus des Vitamin-D's beschleunigen und so den Vitamin-D-Spiegel durch geringe Sonnenexposition weiter erniedrigen, bis hin zum Vitamin-D-Mangel und der Manifestation rachitischer Symptome [12].

Das Wiederauftreten symptomatischer Rachitiserkrankungen repräsentiert somit nur die „Spitze des Eisbergs“ der Vitamin-D-Defizienz innerhalb der Gesamtbevölkerung.

### 1.1.3.2 **Rachitis in unterentwickelten Ländern**

Nutritive Rachitis wurde in den letzten 20 Jahren in mehr als 59 verschiedenen unterentwickelten Ländern beschrieben [13]. Während es in entwickelteren Staaten zu einem relativ gesehen geringen Wiederauftreten kam, ist die Rachitis in tropischen Ländern allgegenwärtig und wird als häufigste nicht-infektiöse Kinderkrankheit der Welt bezeichnet [14].

Im Mittleren Osten und in den nordafrikanischen Staaten wie Ägypten, Algerien, Libyen und Äthiopien spielt Rachitis eine wesentliche Rolle im Gesundheitswesen [11]. Ätiologisch sind die meisten Fälle auf eine gesellschaftlich und religiös bedingte inadäquate Sonnenlichtexposition zurückzuführen und betreffen zumeist Kleinkinder, erwachsene Frauen und Schwangere [15]. Ebenso wurden Rachitisfälle in Assoziation mit schwerer Unterernährung beschrieben [11].

In asiatischen Ländern wie Nordchina, Mongolei und Afghanistan wurden die Rachitisfälle ebenfalls auf eine Vitamin-D-Defizienz zurückgeführt, die in unzureichender Sonnenlichtexposition, einem hohen Breitengrad und langen Wintern begründet lag [13].

### 1.1.3.3 Rachitis in Nigeria

Nigeria und Südafrika waren die ersten Länder auf dem afrikanischen Kontinent, in denen endemisch auftretende Fälle von Rachitis bei Kindern und Jugendlichen bis zum 16. Lebensjahr mit einer Kalziummangelernährung begründet wurden [16, 17]. Hier zeigten sich niedrige, aber noch im Referenzbereich liegende Vitamin-D-Spiegel, die sich nicht signifikant von denen der Kontrollgruppe unterschieden [17]. Außerdem führte eine alleinige therapeutische Kalziumsubstitution zur Erholung biochemischer Parameter und klinischer Symptome und dies effektiver als eine Therapie mit Vitamin D [18]. So wurde erstmals postuliert, dass die Entstehung von Rachitis bei nigerianischen Kindern nicht auf zu geringen Vitamin-D-Spiegeln, sondern auf einem Kalziummangel beruht [17]. Oginni et al. konnten diese These weiter bestätigen und erklärten den Kalziummangel als vornehmlich ursächlichen Faktor des Ausbruchs von Rachitis, während die Vitamin-D-Defizienz als synergistisch bewertet wurde [19]. Auch von Thacher et al. wurde in einer Fall-Kontroll-Studie die Vitamin-D-Defizienz als primäre Grundlage der Rachitis abgelehnt und eher bei einem Kalziummangel gesehen. Dieser scheint in Interaktion mit anderen genetischen, hormonellen und weiteren nutritiven Faktoren, wie hoher Phytataufnahme, zu stehen [18, 20]. Dieses multifaktorielle Modell wurde von Pettifor et al. gestützt und scheint der richtige Ansatz hinsichtlich weiterer Forschungen und der vollständigen Aufklärung der Ätiologie der Rachitis in Nigeria zu sein [21]. Weiterhin unklar ist, warum nur manche Kinder mit einer verminderten Kalziumaufnahme klinische Symptome der Rachitis entwickeln, während andere - mit gleichen Lebensbedingungen und Lebensgewohnheiten, innerhalb der gleichen Population - davon verschont bleiben

[14]. Auch ein definitiver genetischer Faktor konnte diesbezüglich bisher nicht erkannt werden.

Um die weitere Pathogenese verstehen zu können, ist es erforderlich, sich einen Überblick über den komplexen Kalzium-Phosphat-Stoffwechsel zu verschaffen.

## 1.2 Kalzium-Phosphat-Stoffwechsel

Kalzium ist mit circa 1400 Gramm (g) der am häufigsten vertretene Elektrolyt im menschlichen Körper. 10% des in der Nahrung enthaltenen Kalziums wird im oberen Dünndarm durch aktive Transportprozesse oder passive Diffusion netto resorbiert. Der Tagesbedarf der oral aufzunehmenden Menge liegt bei ca. 1 g. Die Ausscheidung erfolgt durch Sekretion in das Dünndarmlumen oder renal, jedoch werden 99% des glomerulär filtrierten  $\text{Ca}^{2+}$  tubulär rückresorbiert. Rund 99% des Kalziums und ca. 85% des Phosphats liegen in mineralischer Hydroxy-Apatit-Kristall-Form im Knochen gebunden vor [22].

Die Konzentrationen der beiden Elektrolyte  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{HPO}_4^{2-}$  sind durch ein konstantes Löslichkeitsprodukt eng miteinander verknüpft [23]. Schwankungen des Serumspiegels können durch Einlagerung in oder Lösen aus dem Knochen kurzfristig korrigiert werden. Langfristige Regulationsmöglichkeiten entstehen durch die Beeinflussbarkeit von intestinaler Absorption und renaler Elimination.

Die Homöostase wird durch das teils agonistische teils antagonistische Zusammenspiel von Parathormon (PTH), Vitamin-D und seinen Metaboliten - Kalzitonin und Fibroblastic-growth-factor-23 - koordiniert.

### 1.2.1 Parathormon

PTH wird in den Nebenschilddrüsen als Pro-Pro-PTH gebildet und hat als einziges kalziumsensorisches Hormon die Aufgabe die extrazelluläre Kalziumkonzentration aufrecht zu erhalten [24], zu der es reziprok sezerniert wird.

Am Knochen bewirkt es einige Minuten nach seiner Ausschüttung eine Aktivierung und Differenzierung der Osteoklasten und eine Hemmung der Osteoblasten. Am Nierentubulus erhöht PTH die Phosphatelimination und Kalzium- und Magnesiumreabsorption [25].

Außerdem induziert PTH in der Niere die 1- $\alpha$ -Hydroxylierung von 25-(OH)-Vit-D<sub>3</sub> zu seinem aktiven Metabolit 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub> und bewirkt somit eine indirekte Steigerung der Kalziumresorption im Dünndarmepithel [23].

### 1.2.2 Vitamin D

Durch das Einwirken ultravioletter UV<sub>B</sub> - Strahlen (290-315 nm) auf die Haut wird in den tiefen Schichten der Epidermis der überwiegende Teil von Vitamin D<sub>3</sub> (Cholekalziferol) aus 7-Dehydrocholesterol gebildet [23]. Diese Photosynthese wird von endogenen Faktoren - wie der Melaninpigmentation, die die UV<sub>B</sub> Strahlen absorbiert und der mit dem Alter abnehmenden Hautdicke und Speicherung von 7-Dehydrocholesterol - und exogenen Faktoren - wie der Ozonschicht, dem Tragen von Kleidern, der Verwendung von Sonnencreme, dem Breitengrad oder der Jahreszeit - stark beeinflusst [26].

Ein weitaus geringerer Anteil des Vitamin Ds wird enteral aus pflanzlichen (Ergocalciferol = Vitamin D<sub>2</sub>) und tierischen (Cholecalciferol = Vitamin D<sub>3</sub>) Produkten resorbiert. Hierbei gilt es besonders darauf hinzuweisen, dass keine natürlich vorkommende Vitamin-D-enhaltende Nahrungsquelle, einschließlich der Muttermilch, einen ausreichenden hohen Vitamin-D-Spiegel enthält, um den Tagesbedarf decken zu können [26] [27].

Das resorbierte Vitamin D gelangt durch ein Vitamin-D-Bindungsprotein (DBP) in die Leber und wird dort zu 25-(OH)-Vit-D<sub>3</sub> hydroxyliert. Nach einem weiteren DBP assistierten Transport kommt es in den proximalen und distalen Nierentubuluszellen zu einer zweiten, stark regulierten Hydroxylierung zu 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub>. Eine Erniedrigung des Serumkalzium- und Serumphosphatspiegels führt über PTH zu einer Steigerung dieser Synthese. Hyperkalziämie, Hyperphosphatämie, eine verminderte Nierenfunktion oder ein Überschuss an 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub> dagegen wirken hemmend und induzieren außerdem die Synthese des metabolisch schwächer wirksamen 24,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub>. Im Vergleich zu Vitamin D<sub>3</sub> ist 25-(OH)-Vit-D<sub>3</sub> 10-fach und 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub> 1000-fach stärker wirksam [23].

Der Tagesbedarf von Vitamin D ist schwierig zu ermitteln, da die Homöostase des Vitamin-Ds multifaktoriell bedingt und individuell unterschiedlich ist. Eine Vitamin-D-Insuffizienz wird bei einem 25-(OH)-Vit-D<sub>3</sub>-Serumspiegel unterhalb von 30 ng/ml, eine Defizienz unterhalb von 20 ng/ml diagnostiziert [28]. Die WHO empfiehlt bei

unzureichender Sonnenlichtexposition und Breitengraden höher als 42° im Winter die Einnahme einer täglichen Vitamin-D-Prophylaxe von 5 µg (200 IU).

Die Wirkung der aktivierten Vitamin-D-Metaboliten besteht in einer Stimulation der tubulären Reabsorption von Kalzium und Phosphat in der Niere. Im Darm induziert es ebenfalls die Kalzium- und Phosphatabsorption, entweder direkt oder indirekt durch Stimulation der Synthese von Kalziumbindungsproteinen [23]. Bei ungenügender Kalziumaufnahme durch die Nahrung bewirkt 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub> zusammen mit PTH eine Differenzierung von Pro-Osteoklasten zu Osteoklasten und setzt so Kalzium aus dem Knochen frei [29].

Vitamin D wirkt durch Binden an den intrazellulären Vitamin-D-Rezeptor (VDR), der als ligandengesteuerter Transkriptionsfaktor zur Familie der Steroidrezeptoren gehört. 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub> hat die höchste Affinität zum VDR und ist somit der hormonell wirksamste Metabolit [29]. Vitamin-D-Rezeptoren lassen sich nicht nur an am Kalzium- und Phosphathaushalt beteiligten Geweben finden, sondern auch an verschiedensten Geweben im gesamten Körper [30]. Vitamin D ist somit ein vielfältiges Hormon, dessen Beteiligung in Bezug auf Krankheiten, wie Diabetes Mellitus Typ 1/2, Hypertonus, koronarer Herzkrankheit, benignen und malignen Neoplasien, Autoimmunkrankheiten oder Infektanfälligkeit diskutiert wird [30].

### 1.2.3 Kalzitonin

Kalzitonin, in den C-Zellen der Schilddrüse gebildet, ist der Gegenspieler des Parathormons. Es hat eine blutkalziumsenkende Wirkung, indem es die Osteoklastenaktivierung hemmt. Außerdem erhöht es die Kalziumausscheidung über die Niere. Die Kalzitoninfreisetzung wird durch eine Hyperkalziämie und das gastrointestinale Hormon Pentagastrin stimuliert. Im Vergleich zu PTH und Vitamin D scheint es jedoch eine untergeordnete Rolle zu spielen.

### 1.2.4 Fibroblastic Growth factor 23

Fibroblastic growth factor 23 ist das gegenregulatorische Hormon zu Vitamin D. Vornehmlich in Osteozyten produziert, inhibiert es die Phosphatreabsorption und 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub>-Produktion der Niere. Es gilt als wichtigster phosphaturischer Faktor der

Knochen-Nieren-Achse und spielt damit eine wesentliche Rolle in der Kalzium- und Phosphathomöostase sowie der Knochenmineralisation [31].

Erhöhte Blutspiegel von FGF-23 führen zu Hypophosphatämie, verminderter Produktion von 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub> bis hin zum Vollbild der Rachitis bzw. Osteomalazie. Verminderte Blutspiegel von FGF-23 führen zu Hyperphosphatämie, erhöhter Produktion von 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub> und somit zu Weichteilverkalkungen, Hyperostosen und generell verminderter Lebenserwartung [32].

### 1.3 Pathogenese der Rachitis

Rachitis ist eine metabolische Erkrankung des wachsenden Knochens, zeitlich vor dem Verschluss der Epiphysenfugen (Adoleszenz). Es beschreibt die Unfähigkeit, Knochen suffizient zu mineralisieren - genannt *Osteomalazie* - in Zusammenhang mit einer Desorganisation der Epiphysenfugen [6].

Das Knochengewebe befindet sich in ständigen Auf- und Abbauprozessen, durch die dieses umstrukturiert und aktuellen Belastungen angepasst werden kann - genannt „Remodelling“. Die Mineralisation der neugebildeten Knochenmatrix ist von der Bioverfügbarkeit von Kalzium, Phosphat und Vitamin D und seinen Metaboliten abhängig [6]. Osteomalazie beschreibt somit den Zustand einer Mineralisationsstörung an diesen Umstrukturierungsstellen, an periostalen bzw. endostalen Appositionsstellen und an Kortikalis und Spongiosa [6].

Die Rachitis schließt neben den oben genannten osteomalazischen Störungen die Mineralisationsstörungen des enchondral wachsenden Knochens an den Epiphysenfugen mit ein. Durch Chondrozyten entsteht während des Körperwachstums bei der enchondralen Ossifikation ein vorläufiges, knorpeliges, aus Kollagen bestehendes Knochengüst, das zunächst durch hypertrophe Chondrozyten mineralisiert und dann durch Geflecht- und später Lamellenknochen ersetzt wird [29]. Liegt hier, wie bei der Osteomalazie, ein verringertes Kalzium-Phosphat-Produkt vor, fällt ein Überschuss an nicht-mineralisiertem Knochen an - genannt Osteoid [33]. Da Osteoid nicht die physikalische Steifigkeit des mineralisierten Knochens besitzt, können belastungsentsprechende Deformierungen des rachitischen Knochens die Folge sein.

Die Rachitis-typischen Auftreibungen der Wachstumsfuge sind durch die verminderte, Phosphat-regulierte Apoptose hypertropher Chondrozyten bedingt. Hierdurch kommt es



zur Verbreiterung der späten chondrozytischen Schicht [34], die zu den makroskopisch sichtbaren klinischen Verbreiterungen der Epiphysen führt.

## 1.4 Formen der Rachitis

Laborchemisch erfolgt die Einteilung in kalzipenische (Nutritive Rachitis, VDAR I, VDAR II) und phosphopenische Rachitis. Ätiologisch wird die nutritive Rachitis von genetisch oder metabolisch bedingten Formen unterschieden.

### 1.4.1 Nutritive Rachitis

Nutritive Rachitis lässt sich entweder auf eine mangelnde Aufnahme von Vitamin D, Kalzium und Phosphat durch die Nahrung oder auf eine ungenügende Sonnenlichtexposition zurückführen. Man unterscheidet die Vitamin-D-Mangel-Rachitis, Kalziummangel- oder Phosphatmangelrachitis [9]. Es können jedoch auch Mischformen auftreten.

Bei der Vitamin-D-Mangel-Rachitis ist die intestinale Kalziumresorption nicht ausreichend, was zu einem Abfall des Serumkalziums und einem sekundären Hyperparathyreodismus führt. Erhöhtes PTH bewirkt in der Niere eine Kalziumretention und eine Phosphatelimination, was sich in einem erniedrigten Serumphosphatspiegel zeigt. Ein weiteres Charakteristikum ist der PTH-induzierte hohe Knochenumbau („turnover“) [6].

Die Inzidenz ist stark mit den Phasen des schnellen Wachstums verknüpft. Der erste Häufigkeitsgipfel liegt zwischen dem 4. und 18. Lebensmonat, der zweite liegt im Zeitraum des pubertären Wachstumsschubs [29]. Serologische Kriterien für die Vitamin-D-Mangel-Rachitis sind ein erniedrigter 25-(OH)-Vit-D<sub>3</sub>-Spiegel bei normalem bis leicht erhöhtem 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub>-Spiegel. Die Therapie besteht in einer oralen Vitamin-D- und Kalziumsubstitution [23].

Die Kalziummangelrachitis bei intakter Vitamin-D-Versorgung kann ein Symptom von Fehlernährung sein. Sie tritt meist später als die Vitamin-D-Mangel-Rachitis auf (ab dem dritten Lebensjahr). Bei ihrer Therapie kann auf die orale Gabe von Vitamin D verzichtet werden.

Die ernährungsbedingte Phosphatmangel-Rachitis ist extrem selten.

#### **1.4.2 Vitamin-D-abhängige Rachitis Typ I (VDAR I)**

Dieser Form der Rachitis liegt ein autosomal-rezessiver Gendefekt der 1- $\alpha$ -Hydroxylase zu Grunde, durch den es zu einem Aktivitätsverlust dieser in unterschiedlicher Ausprägung kommt. Sie manifestiert sich in den ersten 24 Lebensmonaten. Der Serumspiegel von 25-(OH)-Vit-D<sub>3</sub> bleibt normal, während der des 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub> abfällt. Die Therapie besteht in der lebenslangen Substitution von 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub>, in den ersten Lebensjahren in Kombination mit Kalzium, um die Kalziumspeicher aufzusättigen („hungry bone“) [23].

#### **1.4.3 Vitamin-D-abhängige Rachitis Typ II (VDAR II)**

Durch die autosomal-rezessive Mutation des Vitamin-D-Rezeptor-Gens kommt es zu einer Hormonresistenz. Im Serum findet man exzessiv erhöhte 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub>-Spiegel bei normalen 25-(OH)-Vit-D<sub>3</sub>-Konzentrationen. Die Therapie gestaltet sich meist schwierig und besteht in einer hochdosierten Kalzium und Vitamin-D-Substitution [23].

#### **1.4.4 Kongenitale Rachitis**

Die frühkindliche oder kongenitale Rachitis ist auf einen Vitamin-D-Mangel der Mutter oder eine Frühgeburt zurückzuführen. Vitamin-D ist plazentagängig. Daher besteht im Regelfall eine ausreichende Versorgung des Fötus während der Zeit im Mutterleib und während der ersten 3 Lebensmonate [23]. Ist diese Versorgung unzureichend oder bricht sie ab, kann es zu den Symptomen einer Rachitis kommen, wobei der Säugling durch Krampfanfälle, Tetanie oder Apnoe gefährdet ist [6].

### **1.4.5 Rachitis als sekundäre Folge anderer Krankheiten und Medikamente**

Rachitis kann als sekundäre Folge gastrointestinaler Erkrankungen, die mit einer Malabsorptions- bzw. Maldigestionsstörung vergesellschaftet sind, auftreten. Beispiele hierfür sind Mukoviszidose, Morbus Crohn, Zöliakie oder cholestatische Lebererkrankungen [23].

Medikamente, wie die Antikonvulsiva Phenobarbital und Phenytoin, können direkt die enterale Kalziumabsorption hemmen oder in den Metabolismus von 25-(OH)-Vit-D<sub>3</sub> eingreifen [23].

Eine chronische Niereninsuffizienz bedingt eine chronisch erniedrigte 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub>-Synthese, wodurch ein sekundärer Hyperparathyreodismus zur Aufrechterhaltung des Serumkalziumspiegels induziert wird [23].

### **1.4.6 Phosphopenische Rachitiden**

Allen phosphopenischen Rachitiden liegt die vermehrte renale Ausscheidung von Phosphat zu Grunde. Laborchemisch lassen sich eine Hypophosphatämie, ein vermindertes tubuläres Transportmaximum für Phosphat (TmP/GFR = Phosphatschwelle) und ein bezogen auf die Hypophosphatämie inadäquat normaler 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit-D<sub>3</sub>-Spiegel finden. Die Alkalische Phosphatase ist wie bei der kalzipenischen Rachitis erhöht. Ätiologisch lassen sich verschiedene angeborene und erworbene Krankheiten, wie die familiäre hypophosphatämische Rachitis, die tumorinduzierte Rachitis, das renale Franconi-Syndrom oder der Phosphatmangel Frühgeborener, finden [23].

## **1.5 Klinik der Rachitis**

### **1.5.1 Nicht-skelettale Klinik**

Bei von Rachitis betroffenen Säuglingen unter 6 Monaten lassen sich hypokalziämische Krampfanfälle, meist noch vor dem Auftreten radiologischer Zeichen, finden. Tetanie, Apnoe und Stridor können ebenfalls vorkommen.

Hypokalzämie schwächt die linksventrikuläre Kontraktion des Herzens. Dies kann in einer Hypertrophie oder Dilatation, im Extremfall in eine hypertrophe Kardiomyopathie münden. Weitere Auswirkungen der Hypokalziämie auf das Herz sind QT-Zeit-Verlängerung, Arrhythmien und Hypotonie [29].

Eine Muskelschwäche als Folge einer proximalen Myopathie, ist ebenso möglich. Hierbei kann es zu Verzögerungen in der motorischen Entwicklung des Kindes kommen [6].

### 1.5.2 Knöcherner Veränderungen

Im Gegensatz zur Osteomalazie bilden sich die klinischen Symptome der Vitamin-D-Mangel-Rachitis am wachsenden Skelett relativ schnell aus [6]. Die gesteigerten metabolischen Prozesse des Körper- und Knochenwachstum und der Zahnentwicklung, die eine höhere Kalzium und Phosphataufnahme einfordern, beschleunigen die schädlichen Effekte der Vitamin-D-Defizienz hin zur klinisch manifesten Rachitis [29].

Das erste radiologische Zeichen skelettaler Veränderungen ist die Demarkierung zwischen Wachstumszone und Metaphyse an Handgelenken, Knie oder Sprunggelenken. Im Verlauf treten weitere radiologische Zeichen wie „metaphyseal cupping, fraying and splaying“ - eine Einbeulung, Ausfransung und Verbreiterung der Metaphyse - auf [29, 33]. Die Trabekelzeichnung ist grobsträhnig und ausgedünnt. Durch appositionell angelagertes, unminerallisiertes Osteoid erscheint das Periost im Röntgenbild von der Kortikalis abgelöst zu sein [29].

Die skelettalen Manifestationen der Rachitis sind folgende klassische Deformierungen:

Kraniotabes beschreibt die Erweichung und manuelle Eindrückbarkeit des Schädelknochens durch einen Defekt der intermembranösen Ossifikation, meist bei Neugeborenen und hypotrophen Frühgeborenen. Die übermäßige Ausbreitung der Schädelknochen gegenüber der Gesichtsknochen wird als „frontal bossing“ bezeichnet. Zusätzlich kann es am Kopf zu einem verspäteten Verschluss der Fontanellen kommen. Durch Auftreibungen an der Knorpel-Knochen-Grenze der Rippen entsteht der „rachitische Rosenkranz“. Dieser kann neben der Trichterbrust zu einer Verengung des Brustkorbes mit daraus folgenden Atemfunktionsstörungen und einer erhöhten Pneumoniegefahr führen. Das Zwerchfell und andere am Thorax ansetzende Muskelgruppen können den enthärteten Knochen derart verformen, dass eine Harrison Furche - eine sich nach innen wölbende Furche auf Höhe des Zwerchfellansatzes am Thorax - oder eine pectus carinatum - eine

kielförmige Vorwölbung des Brustbeines - entstehen. Auch das Becken kann Deformierungen unterworfen sein. Eine Verringerung des anterioposterioren Durchmessers bei der Frau kann später zu Geburtskomplikationen führen. An der Wirbelsäule sind Kyphoskoliosen, aber auch andere Fehlstellungen beschrieben. Eine ungenügende Zahnmineralisation kann sich in einer Zahnschmelzhypoplasie und verspätetem Durchbrechen der Zähne darstellen. Knochenaufreibungen an Hand und Sprunggelenken mit sichtbar vergrößerten Metaphysen sind ein wichtiges, spezifisches Zeichen der Rachitis.

Diffuse Knochenschmerzen sind ein häufiges Symptom und lassen sich auf Stressfrakturen zurückführen. Pathologische Frakturen treten allerdings nur selten auf [6, 23, 29, 33].

Das zentrale klinische Zeichen der Rachitis ist jedoch eine durch Knochenerweichung bedingte Deformation der unteren Extremität, die unter der Belastung des Laufens auftritt.

## **1.6 Rachitis unter orthopädischen Gesichtspunkten bezogen auf die untere Extremität**

### **1.6.1 Physiologische Entwicklung der Beinachse**

Eine varische Beinachse tritt physiologisch bei Kindern bis zum Alter von 2 Jahren auf, und stellt keinen pathologischen Zustand dar. Durch den intrauterinen Platzmangel für den Fetus kommt es zu einer Flexion in Hüfte und Knie und zur Innenrotation der Tibia und der Füße. Diese Lagerung führt zu einer Kontraktur des medialen Kapselbandapparates des Kniegelenkes, vor allem des hinteren Kreuzbandes. Diese Innenrotationskontraktur des Kniegelenkes führt zu einer Außenrotationsstellung des gesamten Beines und einem daraus folgenden Genu varum. Innerhalb der ersten 18 bis 22 Lebensmonate lockert sich diese Kontraktur kontinuierlich und es kommt zu einer Reduktion der Varusstellung. Dieser Prozess hält über die nächsten 2 Jahre an, und führt im Alter von 3 bis 4 zu einer Überkorrektur bis zu einer deutlichen Valgusstellung des Knies. Im weiteren Verlauf verringert sich der Valgus-Winkel bis zum siebten Lebensjahr wieder auf 5 bis 8 Grad (°) - dem physiologischen Achsenverhältnis der unteren Extremität des Erwachsenen [35, 36, 37].

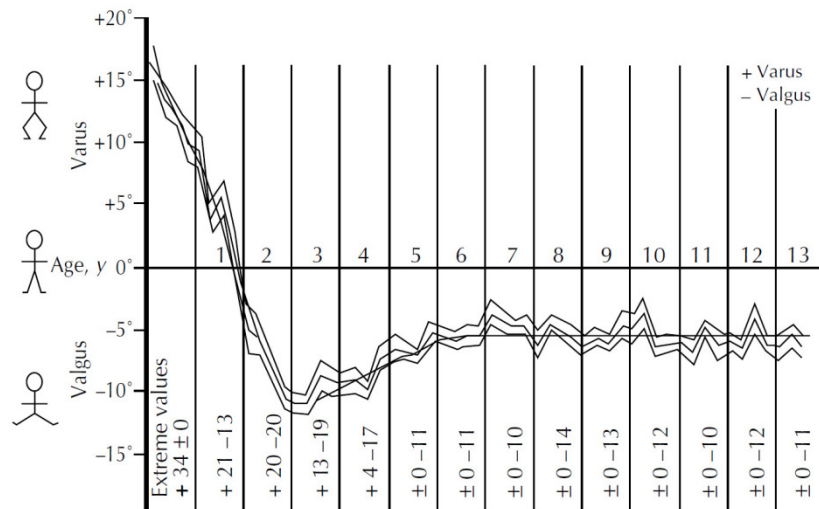


Abbildung 1: Entwicklung der Beinachsen nach Salenius et Vankka aus [35, 36]

### 1.6.2 Deformationen der unteren Extremität und die Entwicklung der Beinachsen unter pathologischen Bedingungen

Deformitäten der unteren Extremität sind unabhängig von Ihrer Ätiologie durch eine Abweichung der mechanischen Achse sowie der Malorientierung der benachbarten Gelenke oberhalb und unterhalb der Deformität charakterisiert [38].

Die letzten Endes resultierende Deformität hängt von der speziellen Wachstumsphase des Kindes zum Zeitpunkt der Rachitis-Manifestation ab [39]. Je nach physiologischer Beinstellung im Varus- oder Valgus-Sinn, abhängig vom Alter und Entwicklungsstand des Kindes, kommt es durch die floride, aktive Rachitis zur Exazerbation dieser Beinstellung hin zu einer Fehlstellung [39]. Dies ist bedingt durch die mechanische Kraft des aufrechten Ganges in Kombination mit dem pathologisch enthärteten Knochen [40].

Die häufigsten rachitischen Beineinstellungen umfassen demnach Genua vara und Genua valga, die außerhalb der physiologischen Norm auftreten. Um Pathologien vom Physiologischen abgrenzen zu können, wird die von Salenius et Vankka aufgestellte Graphik verwendet (siehe Abbildung 1). Anhand von 1480 Messungen des tibiofemorale Winkels unauffälliger Kinder im Alter von 0 bis 13 Jahren wurde die physiologische Norm definiert [36, 41]. Eine mit dieser Untersuchung übereinstimmende Entwicklung der Kniewinkel konnte von Heath et al. beschrieben werden [42]. Oginni et al. konnten dies auf nigerianische Kinder übertragen, mit dem einzigen Unterschied, dass sie die

Überkorrektur des physiologischen Varus hin zu einem verstärkten Valgus im Alter von 2 bis 3 Jahren nicht darstellen konnten [43].

Bei Genua vara und valga steht die Abweichung der mechanischen Längsachse (auch Tragachse oder Mikuliczlinie) in der Frontalebene im Vordergrund. Es gilt bei einem physiologischen, winkelnormalen, erwachsenen Bein, dass die Mittelpunkte des Hüft-, Knie- und Sprunggelenkes auf dieser Linie liegen [44]. Bei einem O-Bein ist die mechanische Achse jedoch auf Höhe des Kniegelenks medialwärts verschoben, bei einem X-Bein lateralwärts. Diese Verschiebung wird auch mechanical axis deviation (MAD) genannt [45]. Die mechanische Achsverschiebung stellt für eines der beiden Kniekompartimente eine höhere Belastung dar [44]. Bei einem Genu varum kommt es zur vermehrten Belastung des medialen Kompartiments und umgekehrt ist bei einem Genu valgum das lateralen Kompartiment der größeren Belastung ausgesetzt. Hierdurch kann es langfristig zu einer stärkeren Abnutzung des femoralen und tibialen Gelenksknorpels auf der jeweils betroffenen Seite kommen. Im Extremfall kann sogar die Entwicklung der Kondylen durch den statischen Druck derart gestört sein, dass es zu einer Hypoplasie des überbelasteten Kondylus kommt.

Des Weiteren steht der Kapsel-Band-Apparat des Kniegelenkes bei Deformitäten in der Frontalebene nicht mehr unter bilateral gleichmäßiger Spannung, sondern wird kontralateral zum vermehrt belasteten Kompartiment gedehnt, während er sich ipsilateral verkürzt. So kommt meist ein seitlicher Thrust (= Vorschub) des Femurs gegenüber der Tibia hinzu, der Ausdruck einer Insuffizienz der seitlichen Haltebandapparate am Knie ist. Ein lateraler Vorschub bei Genu varum und ein medialer Vorschub bei Genu valgum - vor allem beim Beginn der einseitigen Vollbelastung (= mittlere Standphase des Gangzyklus) beim Laufen - zeigt die Unfähigkeit des Kapsel-Band-Apparates der Deformität entgegenzuwirken und beschreibt die hohe Wahrscheinlichkeit eines Voranschreitens der Deformität [41]. Menisci und Gelenkknorpel sind zudem einer übermäßigen Belastung ausgesetzt und ein frühzeitiger Schaden kann hierbei die Folge sein.

Achsabweichungen in der Frontalebene wirken sich massiv auf die Biomechanik des oberen Sprunggelenkes, analog zu den Fehlbelastungen der Kniekompartimente, aus. So führt jede Varus-Deviation zu einer medialen, jede Valgus-Deviation zu einer lateralen tibiotalaren Hyperkompression. Auch hier können kartilaginäre Schäden oder osteokartilaginäre Schäden an der medialen oder lateralen Talusschulter die Folge sein [46].

Mechanische Achsauslenkungen in der Frontalebene des Beines bestimmen somit nicht nur die Form des Beines, sondern auch seine Leistungsfähigkeit und können neben Fehlformen zu statischer Überbelastung und frühzeitigem Gelenkverschleiß führen [44].

Genua vara und Genua valga können unilateral oder bilateral auftreten. Des Weiteren ist eine Kombination beider Deformitäten auf jeweils einer Seite möglich. Der Begriff „wind-swept deformity“ beschreibt diesen Zustand des einseitigen Genu valgum in Kombination mit einem Genu varum auf der Gegenseite. Es ist beschrieben, dass sich zunächst im Alter von 2 bis 3 Jahren die Valgus-Deformität ausbildet, in deren dichter Folge sich dann die Varus-Deformität entfaltet [47].

Neben Achsabweichungen in frontaler Ebene sind ebenfalls Abweichungen in sagittaler Ebene möglich. Auch hier ist eine gewisse Achsabweichung noch physiologisch und ohne Krankheitswert. So ist der Femur mit einer leichten Antekurvation als normal zu erachten, jedoch kann sich diese sagittale Angulation durch den rachitisch enthärteten Knochen leicht in ein pathologisches Maß steigern. Auch ein natürlicher vermehrter dorsal slope des Tibiaplateaus bei Kindern, mit daraus resultierender Überstreckbarkeit des Kniegelenkes, muss von dem krankhaften Genu recurvatum abgegrenzt werden [48]. Generell gilt, dass leichtere Deformationen in sagittaler Ebene meist von den Betroffenen ausgeglichen werden können, da sich diese in der Hauptbewegungsebene des Kniegelenks befinden [44]. Einen besonderen Grad der Deformation in sagittaler Ebene stellt die tibiale Antekurvation dar. Hier wird die Tibia durch das Gewicht des Oberkörpers und der Oberschenkel regelrecht „durchgedrückt“ und es kommt zu Kurvation exzessiven Ausmaßes nach ventral. Dies hat wesentliche Auswirkungen auf Muskel- und Sehnenzüge am Unterschenkel und stellt eine enorme Funktionseinschränkung dar. Das Ausmaß dieser Deformität kann wohl als Indiz einer verstärkt aktiven Rachitis mit einer extremen Knochenenthärtung gesehen werden.

In der dritten Ebene des Beines, der Längsachse, sind besonders tibiale Torsionsfehlstellungen zu beachten. Stalehi et al. beschrieben, dass die transmalleolare Achse der distalen Tibia im Bezug zur Kniegelenksachse von Geburt an leicht außenrotiert ist und dies mit dem Lebensalter zunimmt [49]. Im ersten Lebensjahr beträgt die Außenrotation bei 90° flektiertem Knie noch 5°, in der frühen Kindheit circa 10° und in der späten Kindheit und im Erwachsenenalter 14°. Geringe Abweichungen von dieser Norm sind nicht zwingend mit einem Krankheitswert zu vereinbaren und zeigen bei Kindern häufig eine Selbstheilungstendenz [41].



Bei Achsabweichungen in der Frontalebene allerdings können kombiniert massive Torsions- & Rotationsfehlstellungen auftreten, die einer Therapie bedürfen. Torsion beschreibt die Drehung im Knochen, während Rotation als die Drehung zwischen 2 Knochen, also die Gelenkbeweglichkeit, definiert ist [50]. So sind vermehrt Genua vara mit einer tibialen Innenrotation kombiniert, während bei Genua valga meist Außenrotationsfehlstellungen auftreten [40]. Zwar können Tibiatorsionen durch Gegenrotation in der Hüfte ausgeglichen werden, allerdings dreht sich damit auch die Kniegelenksachse aus der eigentlichen frontalen Ebene [44]. Bei einem dauerhaften Verbleiben in dieser Gegenregulationsposition kann es zu Kontrakturen am Hüftgelenk kommen.

Eine zusätzliche Verstärkung der Einwärtsdrehung des Fußes („In-Toeing“) kann durch eine vermehrte femorale Antetorsion oder ein Pes adductus bedingt sein. Gleichermäßen kann eine verminderte Antetorsion oder gar eine Retrotorsion des Femurs, sowie ein Pes abductus eine Auswärtsdrehung des Fußes verstärken [51, 52].

### 1.6.3 Differentialdiagnosen von Genu varum et valgum

<b>Genu valgum</b>	<b>Genu varum</b>
Idiopathisch	Idiopathisch
Physiologische Krümmung	Physiologische Krümmung
Posttraumatisch	Posttraumatisch
Rachitis	Rachitis
Multiple epiphysäre Dysplasie	Blount-Krankheit
Pseudoachondroplasia	Metaphysäre Chondrodysplasie
	Fokale fibrocartilaginäre Dysplasie

**Tabelle 1: Differentialdiagnose von Genu valgum und Genu varum aus [52]**

### 1.6.4 Beingeometrie: Deformitätenanalyse anhand von Achsen und Winkeln

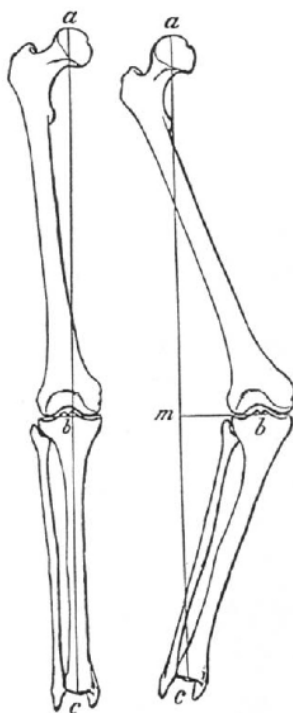
Die Erfassung von anatomischen und mechanischen Achsen und Winkeln an der unteren Extremität sind nicht nur zur Analyse und zum Verstehen komplexer Deformitäten von zentraler Bedeutung, sondern auch für die Planung einer möglichen operativen Deformitätenkorrektur.

Die mechanische Achse eines langen Röhrenknochens stellt die Linie zwischen den Zentren seiner beiden Gelenkflächen dar, die eines gesamten Beines wird als Linie zwischen dem Zentrum des Hüftkopfes bis zur Mitte des Sprunggelenks (Mikuliczlinie) angegeben. Diese Linie verläuft durch die Mitte des Kniegelenks, mit einer geringgradigen Tendenz um etwa 4-10 mm nach medial versetzt [50, 53]. Eine angedeutete Varusstellung zwischen der mechanischen Achse des Femurs und der mechanischen Achse der Tibia gilt so als physiologisch [54]. Die relative Druckverteilung zwischen dem medialen und dem lateralen Kompartiment des Kniegelenks liegt dann bei 3:1 medial/lateral [50]. Pape et al. beschreiben allerdings einen deckungsgleichen Verlauf der mechanischen Achse von Femur und Tibia und damit eine Angulation zwischen diesen beiden von 0° [55].

Höhergradige Verschiebungen der Miculiczlinie auf Höhe des Kniegelenks nach medial (>15 mm) oder lateral (>1 mm) gehen mit einer Drucksteigerung im jeweiligen

Kompartiment einher und können als mechanical axis deviation (MAD) in mm angegeben werden. Ein signifikanter MAD wird beim Vorhandensein einer Fehlstellung vorausgesetzt [45], da nach Miculicz „die Druckverteilung der Gelenke und damit die Bewegung derselben [...] alleine abhängig von der Stellung der mechanischen Achsen und unabhängig vom Verlauf der anatomischen Achsen des Knochens“ sind [56].

Die anatomische Achse von Femur und Tibia ist die Mittschafthlinie des entsprechenden Knochens [45] und verläuft im diaphysären Zentrum [50]. Am Femur entsteht somit ein Winkel zwischen mechanischer und anatomischer Achse von 7°, während an der Tibia beide Achsen beinahe parallel und



**Abbildung 2: mechanische Beinachse physiologisch und bei Genu valgum nach Miculicz aus [1]**

deckungsgleich verlaufen [45, 50].

Die Nomenklatur physiologischer Achsenverhältnisse und Gelenkwinkel folgt in der vorliegenden Arbeit den Vorschlägen von Paley et al. [45]. Durch diese wird die Lage der Winkel exakt durch 5 Buchstaben beschrieben:

Der erste Buchstabe steht für die zu bezeichnende Achse, mechanisch (=m) oder anatomisch (=a). Der zweite Buchstabe definiert die Lage zur dieser jeweiligen Achse, medial (=M) oder lateral (=L) bzw. anterior (=A) oder posterior (=P). Der dritte Buchstabe bezeichnet die Lage des Winkels im jeweiligen Extremitätensegment, proximal (=P) oder distal (=D). Der vierte Buchstabe differenziert das Segment der unteren Extremität, Femur (=F) oder Tibia (=T). Der fünfte Buchstabe steht für Winkel (engl. angle = A).

Die für die vorliegende Arbeit wichtigsten Achsen und Gelenkwinkel und ihre Toleranzbereiche sind in Abbildung 3 und Tabelle 2 dargestellt.

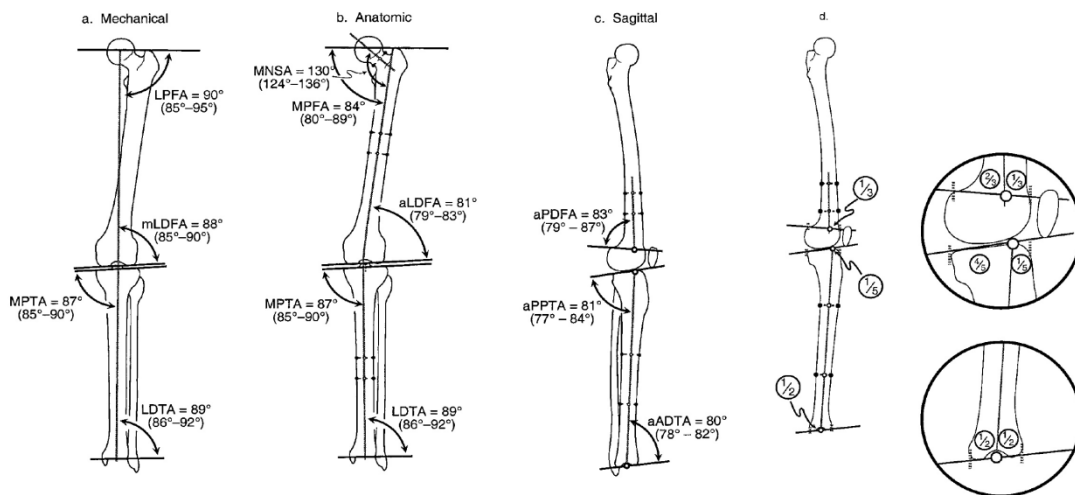


Abbildung 3: Bezeichnung der mechanischen und anatomischen Gelenkwinkel nach Paley aus [45]

Abk	Winkel	Normwert [°]	Streuung [°]
mLDFA	Mech. lateraler distaler Femur Winkel	88	85 - 90
aLDFA	Anat. lateraler distaler Femur Winkel	81	79 - 83
mMPTA	Mech. Medialer proximaler Tibia Winkel	87	85 - 90
mLDTA	Mech. Lateraler distaler Tibia Winkel	89	86 - 92
aPDF A	Anat. Posteriore distale Femur Winkel	83	79 - 87
aPP TA	Anat. Posteriore proximale Tibia Winkel	81	77 - 84
aAD TA	Anat. Anteriore distale Tibia Winkel	80	78 - 82
JLCA	Joint Line Convergence Angle		0 - 2

Tabelle 2: Relevante Gelenkwinkel nach Paley und deren Normbereiche

### 1.6.4.1 Der Malalignment-Test (MAT)

Der Malalignment-Test (MAT) wird verwendet, um Komponenten einer Angulationsdeformität im Bereich des Femur, der Tibia oder des Kniegelenks, die zu einer Abweichung des MAD beitragen, ausfindig zu machen [57]. Er beinhaltet die Messung von LDFA, MPTA und JLCA. Anhand dieser 3 Eckdaten kann eine umfangreiche Aussage über die vorliegende Deformität getroffen werden. Ein von der Norm abweichender LDFA weist darauf hin, dass der Femur die Quelle der Fehlstellung ist. Werte unter  $85^\circ$  stehen für ein Valgus, Werte oberhalb  $90^\circ$  für ein Varus. Entsprechendes gilt für einen abnormen MPTA bei einer Tibia als Fehlstellungsquelle. Hier deuten Werte über  $90^\circ$  auf ein Valgus und Werte unterhalb  $90^\circ$  auf ein Varus hin.

Der joint line convergence angle (JLCA) ist als Winkel zwischen der femoralen und der tibialen Kniebasislinie, als Verbindungslinie zwischen den distalen Konturen der Femurkondylen und den proximalen Tibiakondylen, beschrieben. Er beträgt beim Gesunden  $1-3^\circ$  und ist nach medial geöffnet [50]. Eine Abweichung hiervon lässt eine Kollateralbandlaxizität, Knorpel- oder Knochenverlust oder intraartikuläre Inkongruenz vermuten [45].

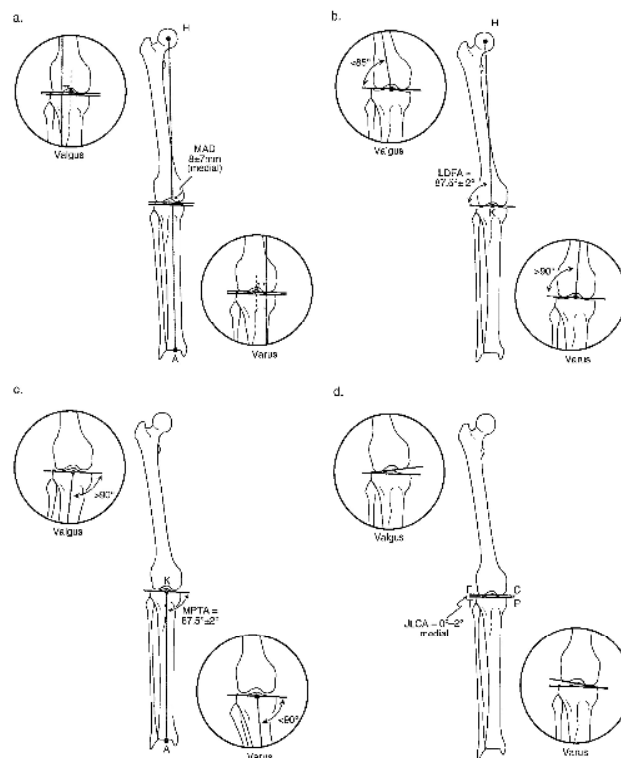


Abbildung 4: Malalignment-Test: a) MAD b) LDFA c) MPTA d) JLCA aus [45]

### 1.6.5 Angulationsdeformitäten

Nach dem MAT werden zur weiteren Analyse der Beindeformität mögliche Angulationen und deren Zentren erfasst. Angulationsdeformitäten sind durch 4 Parameter charakterisiert [45]:

- a. Ebene der Angulation
- b. Richtung des Scheitelpunktes (Apex) in der Ebene der Angulation
- c. Höhe des Scheitelpunktes (Apex) der Angulation (centre of rotation and angulation, CORA)
- d. Größe der Angulation

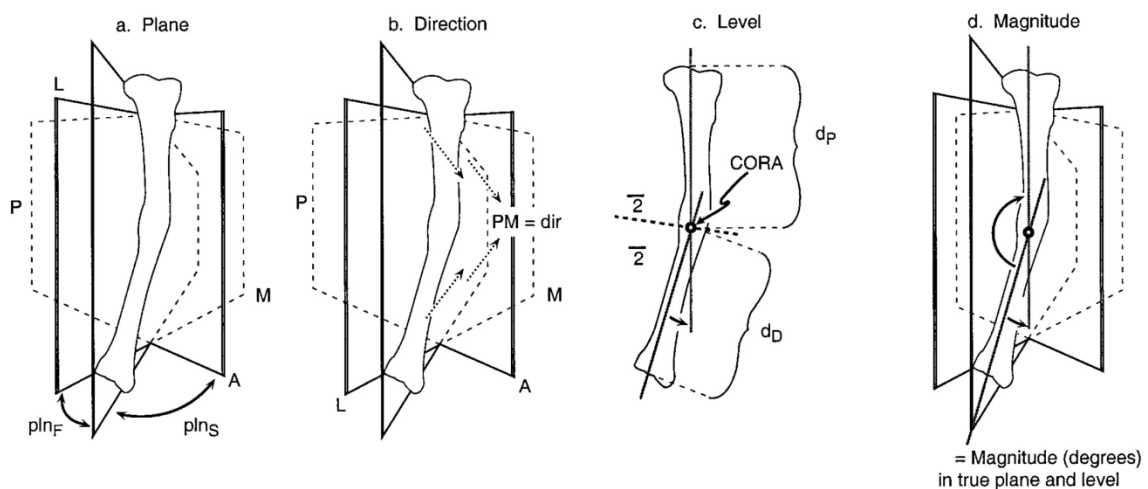
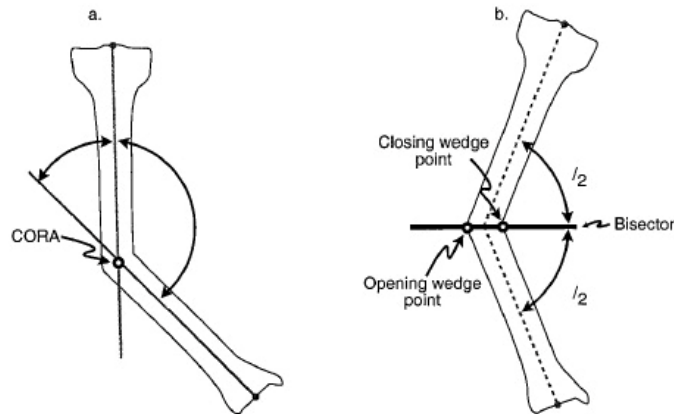


Abbildung 5: Angulationsparameter aus [45]

Der Schnittpunkt zwischen der proximalen und distalen anatomischen oder mechanischen Achslinie wird nach Paley als centre of rotation and angulation (CORA) definiert, und stellt gleichzeitig die zu wählende Höhe der Korrekturosteotomie dar. Zieht man auf Höhe des CORAs eine Winkelhalbierende des longitudinalen Angulationswinkels, so ist der Schnittpunkt dieser Winkelhalbierenden mit der konkaven Knochendiaphyse der Punkt einer closing-wedge-Osteotomie, der Schnittpunkt mit der konvexen Diaphyse der Punkt einer opening-wedge-Osteotomie [45]. Die Entfernung zum proximalen ( $dP$ ) oder distalen ( $dD$ ) Gelenk wird in cm angegeben.



**Abbildung 6:** a. Centre of Rotation and Angulation (CORA)  
b. Schnittpunkt der Winkelhalbierenden mit Kortikalis bei opening- und closing-wedge-Osteotomie

Die Stellung der Ebene der Angulation wird in Grad angegeben und steht im Bezug zu ein oder 2 anatomischen Ebenen (frontal =  $plnF$  oder sagittal =  $plnS$ ).

Die Richtung einer Angulation wird innerhalb ihrer Ebene hin zur Apex nach anatomischen Gegebenheiten mit anterior ( $A$ ), posterior ( $P$ ), medial ( $M$ ) und lateral ( $L$ ), sowie der schrägen Ebenen anteromedial ( $AM$ ), anterolateral ( $AL$ ), posteromedial ( $PM$ ) sowie posterolateral ( $PL$ ) angegeben.

Die Größe der Angulation wird in ihrer echten Ebene und Höhe zwischen den proximalen und distalen anatomischen oder mechanischen Achslien gemessen und in Gradzahlen angegeben.

### 1.6.6 Planung der Korrektur

Ist die Vermessung der Beingeometrie abgeschlossen, so kann die weitere Planung der vorzunehmenden Korrektur mittels einer Osteotomie vollzogen werden. Wie bereits oben beschrieben stellt der Schnittpunkt zwischen der Winkelhalbierenden des longitudinalen Angulationswinkels und der diaphysären Kortikalis die Ansatzpunkte für eine opening- oder closing-wedge-Osteotomie dar. Die Achse der Korrekturosteotomie sollte dieser Winkelhalbierenden entsprechen und ebenfalls durch das CORA führen. Wird die Osteotomie durch das CORA vollzogen, so kann die proximal und distal zur Angulation gelegene Achse in Einklang gebracht werden und eine einheitliche Achse des Knochens entsteht, unabhängig davon ob ein opening-, closing- oder neutral-wedge angewendet

wurde (= Osteotomieregel 1). Ist die Osteotomie abweichend zum CORA angebracht worden, so kommt es zu einer Translation der proximalen und distalen Achse (=Osteotomieregel 2) [45].

In der Frontalebene wird es bevorzugt, mechanische Achsen zur Deformitätenanalyse und zur Bestimmung der Höhe des CORAs zu verwenden. Denn eine rein anatomische Achsplanung könnte beim Vorliegen eines zweiten Apex der Deformität zu wesentlichen Fehlern führen.

Liegt die Deformität in Höhe von Epiphyse oder Metaphyse ist es nicht möglich, eine genaue Mittschaftlinie durch das Ende oder den Anfang des Knochens, wie bei der Diaphyse, zu ziehen und so den Ansatzpunkt der Korrekturosteotomie zu bestimmen. Daher basiert hier die mechanische Achsplanung auf der Bestimmung des Gelenkwinkels des angrenzenden Knochenendes - wenn dieser nicht formverändert ist - um damit eine Achslinie zu erhalten. Die Höhe des CORAs ist hierbei nicht ausschlaggebend. Ist auch der angrenzende Knochen deformiert, so wird der Winkel des gegenüberliegenden Beines als Referenz verwendet. Ist aber auch dieser von einer Angulation betroffen, wird die physiologische Norm herangezogen.

Grundsätzlich gilt, dass die Knochenqualität die Höhe der Osteotomie mitbestimmt. Stark sklerosierende oder postinfektiöse Knochenabschnitte sollten gemieden werden. Des Weiteren heilen Osteotomien im metaphysären Abschnitt eines Knochens besser, als in einem diaphysären Bereich. Auch mangelhafte Weichteildeckungen oder Narbenplatten im Operationsgebiet haben eine erhöhte Morbidität zur Folge [46].

### **1.6.7 Osteotomieformen und Indikationen**

Osteotomie beschreibt die vollständige Knochendurchtrennung über den gesamten Querschnitt eines Knochens ohne Unterscheidung zwischen Dia- und Metaphyse. Auch das Medullarsystem wird durchtrennt. Die umgebenden Weichteile und im Regelfall auch das Periost werden geschont [46]. Von der Osteotomie sind die von Ilizarov geprägten Begriffe Kortikotomie - die eine Durchtrennung der diaphysären Kortikalis in minimal invasiver Technik unter Schonung der umgebenden Weichteile, des Periosts und des Medullarsystems darstellt - und Kompaktotomie - ein in gleicher Weise schonende Knochendurchtrennung im Metaphysenbereich - abzugrenzen [58].

Die Wahl der unten beschriebenen Osteotomievarianten sollte in Abhängigkeit folgender Faktoren getroffen werden: der jeweiligen Korrekturziele, dem gewählten Verfahren der Osteosynthese (siehe 1.6.9), der Komplexität, dem Ausmaß und der Lokalisation der Fehlstellung, der Beinlänge, der Gelenkstabilität, der Knochen- und Weichteilqualität, des Alters des Patienten, der Beschwerdesymptomatik und nicht zuletzt der Erfahrung des Operateurs [59].

### 1.6.7.1 Quere Osteotomien

Die Schnittflächen querer Osteotomien sollten rechtwinklig zur anatomischen Achse und möglichst planar verlaufen. Sie eignen sich zur Korrektur von Torsionsfehlstellungen. Zur Knochendurchtrennung werden meist eine oszillierende Säge oder eine Gigli-Säge verwendet. Ist zusätzlich eine Kallusdistraktion geplant, so kann die horizontale Osteotomie mit Bohrer und Meißel durchgeführt werden, da so umliegendes Gewebe geschont werden kann [46].

### 1.6.7.2 Opening- oder closing-wedge-Osteotomien

Diese Variante beschreibt die Entnahme oder das Hinzufügen eines Keils am gemessenen Scheitelpunkt der Deformität. Bei der closing-wedge-Osteotomie wird die durch die Entnahme des Keils entstandene Lücke zur Deckung gebracht - was dem eigentlichen Schritt der Deformitätenkorrektur entspricht - und dann per Osteosynthese fixiert. So entsteht ein großer Kontakt zwischen beiden Osteotomieschnittflächen, was eine beschleunigte Heilung der Kontinuitätsunterbrechung zur Folge hat. Bei Resektion eines großen Keils kann ein signifikanter Knochenvorsprung (Offset) entstehen. Dies macht ein Einstauchen der harten diaphysären Kortikalis des einen Segmentes in den weichen metaphysären Knochen des anderen Segmentes möglich, und führt die Gefahr einer sekundären Überkorrektur mit sich [59]. Bei der opening-wedge-Osteotomie wird der Knochen einmal durchtrennt und dann entgegen dem Deformitätssinn aufgeklappt. Dies erfordert die Wahl eines weitaus stabileren Osteosyntheseverfahrens, als dies bei der closing-wedge-Osteotomie der Fall ist. Der artifiziell entstandene Knochendefekt, kann



mittels autologer Knochentransplantation - zum Beispiel aus dem Beckenkamm - aufgefüllt werden [46].

Opening- oder closing-wedge-Osteotomien eignen sich sowohl für frontale und sagittale Achskorrekturen, als auch für Translations- und Torsionskorrekturen. Meist wird per oszillierender Säge osteotomiert, wobei das Sägeblatt durch einen zuvor eingebrachten Kirschner-Draht geführt wird. Die der Keilbasis gegenüberliegende Kortikalis sollte geschont und nicht völlig durchtrennt werden. Sie kann mittels Bohrer oder Meißel punktuell geschwächt werden. Eine weitere Komponente dieser Osteotomievarianten ist eine Verkürzung (closing-wedge) oder Verlängerung (opening-wedge) des osteotomierten Beinsegments. Die Längenveränderung korreliert dann mit der mittleren Höhe des entnommenen oder hinzugefügten Keils [60].

### 1.6.7.3 Focal-dome- und Pendelosteotomien

Die Focal-dome-Osteotomie (FDO) ist eine zylindrische Osteotomie, die meist eine längenneutrale Achskorrektur in frontaler oder sagittaler Ebene ermöglicht [60].

Die korrespondierenden Knochenenden gleiten hierbei ineinander um das Zentrum der Deformität (CORA). Absolute Voraussetzung für die korrekte Ausführung dieser Osteotomie ist es, dass das Drehzentrum der Osteotomie mit dem Zentrum der Deformität (CORA) übereinstimmt. Nur so kann eine vollständige, achsengerechte Korrektur ohne mediale oder laterale Translationsabweichungen vorgenommen werden. Die FDO weist intraoperativ eine hohe Justierbarkeit auf. Zusätzlich besteht eine große, metaphysäre Kontaktfläche, die eine beschleunigte Knochenheilung begünstigt und eine hohe Primärstabilität aufweist. Bei supratuberositären Umstellungen wird die Stabilität zusätzlich durch eine Zuggurtung des Streck- und Seitenbandapparates verstärkt. Auch öffnende, schließende und neutrale Osteotomien - vergleichbar zur opening- oder closing-wedge-Osteotomie - können mit der FDO vorgenommen werden. Hierzu zieht man die Winkelhalbierende des longitudinalen Winkels zwischen der proximal und distal der Deformität gelegenen anatomischen Achse und verlängert sie durch das Zentrum der Deformität (CORA). Legt man nun das Drehzentrum der Osteotomie auf die konvexe Seite der Winkelhalbierenden, so entsteht eine öffnende FDO mit einer Beinlängenverlängerung. Liegt das Drehzentrum auf der zur Winkelhalbierenden konkaven Seite, so resultiert eine schließende FDO. Die Besonderheit hierbei ist, dass eine öffnende FDO ohne Verlust des

Knochenkontakts und eine schließende FDO ohne Verlust von Knochensubstanz und damit ohne eine Beinlängenverkürzung vorgenommen werden kann - bei vollständiger Korrektur der Deformität ohne Translationsabweichungen [59].

Als Nachteile der FDO gelten, dass sie technisch sehr anspruchsvoll ist und mögliche Fehlkorrekturen durch eine unpräzise präoperative Planung entstehen können [59].

Bei der Pendelosteotomie auch neutral-wedge-Osteotomie wird auf der einen Seite ein Keil entfernt und auf der gegenüberliegenden Seite eingefügt. Auch sie ist längenneutral und weist einen hohen Kontakt der Osteotomieschnittflächen auf [58].

#### 1.6.7.4 **Scheibenwischerosteotomien**

Suprakondyläre Achsabweichungen in der Frontalebene können alternativ per „Scheibenwischertechnik“ korrigiert werden. Hierzu wird in der Frontalebene eine von ventral-proximal nach dorsal-distal schrägverlaufende Schnittführung an der distalen Femurdiaphyse vorgenommen und dann das distale Fragment im Sinne eines Zeigers oder Hebels gegenüber dem proximalen verschoben. Als Drehachse fungiert eine Zugschraube die zentral und senkrecht zur Osteotomieebene eingebracht wird. Zeitgleich sind Längenkorrekturen bis etwa 2 cm möglich [61].

#### 1.6.7.5 **Treppenförmige Osteotomien**

Diese Form kann zur einzeitigen, subtrochantären oder suprakondylären Verlängerung des Femur um bis zu 3 cm verwendet werden. An der Tibia jedoch wird dieses Verfahren wegen der erhöhten Gefahr einer Peroneusläsion oder des Kompartmentsyndroms nicht verwendet. Durch auto- oder allogene cortico-spongiöse Knochentransplantation können die entstandenen Halbschaftdefekte geschlossen werden. Zusätzlich sind Achskorrekturen bis zu 5° und Torsionskorrekturen bis zu 20° möglich. Zur Osteosynthese eignen sich 95°-Kondylenplatten.

#### 1.6.8 **Korrekturtechniken**

Es können 2 grundsätzliche Prinzipien der Deformitätenkorrektur unterschieden werden:

- Einzeitige oder Akutkorrekturen
- Kontinuierliche oder distrahierte Verfahren

Einzeitige interne Korrekturverfahren verlangen eine präzise Planung und Umsetzung mit exakt durchgeführten planaren Osteotomien, so dass die Schnittflächen passgenau aufeinander liegen und durch die Osteosynthese flächig komprimiert werden. Ihre hohe Invasivität durch den großen Zugang und die Osteotomie mittels oszillierender Säge gilt jedoch als Nachteil. Akutkorrekturen können vorgenommen werden, wenn Risiken wie Dehnungsschäden und Kinking (Schlängelung und Knickung) von Blutgefäßen und Nerven ausgeschlossen sind. Vor allem am Unterschenkel werden die typischen Komplikationen Peroneusparese und Kompartmentsyndrom - zum Beispiel im Musculus-Tibialis-anterior-Kompartiment - gefürchtet. Am Oberschenkel hingegen können Verlängerungen proximal bis zu 2 cm und distal bis zu 3 cm vorgenommen werden, ohne den Nervus ischiadicus zu überdehnen [60].

Externe Korrekturtechniken sind meist gewebsschonender in Bezug auf Knochendurchtrennung und Osteosynthese, jedoch liegen ihre Nachteile im geringen Patientenkomfort bei langen Tragezeiten und hohen Raten an „Pin-track-Infekten“ und Weichteilirritationen. Sie gelten als indiziert, wenn potentielle Dehnungsschäden bestehen, oder bei gleichzeitig geplanten Verlängerungen des Unterschenkels und längerstreckigeren Verlängerungen des Oberschenkels [46].

### 1.6.9 Osteosyntheseverfahren

Die Wahl des Osteotomieverfahrens hat einen entscheidenden Einfluss auf die Wahl des nachfolgenden Syntheseverfahrens [62]. Die Seite und der Zugangsweg, von denen aus die Knochendurchtrennung erfolgte, sollte grundsätzlich auch dem Zugangsweg der Osteosynthese entsprechen [58].

Die Osteosynthese kann prinzipiell durch interne Verfahren, wie Platten, Schrauben, Knochenklammern, intramedulläre Nägel, Kirschner-Drähten oder externe Verfahren, wie den unilateralen Fixateur externe oder den Ilizarov-Ring-Fixateur vorgenommen werden [59, 63]. Auch Kombinationen aus internen und externen Verfahren, wie der Fixateur-assistierten Marknagelung sind möglich.

Interne Verfahren bieten sich bei unkritischen Weichteil- und Knochenverhältnissen zur Akutkorrektur an [59, 60]. Vorteile sind der gute Patientenkomfort und das zur externen

Behandlungsmethode relativ geringe Infektrisiko. Außerdem bietet die Möglichkeit der frühfunktionellen Nachbehandlung bei belastungsstabilen Systemen - wie der Plattenosteosynthese - eine kürzere Gesamtbehandlungsdauer. Interne Verfahren wie die Fixierung mittels Kirschner-Drähten oder Klammern hingegen, gelten lediglich als adaptionsstabil und bedürfen einer zusätzlichen äußeren Schienung mittels Gips sowie einer Entlastung durch den Patienten. Nachteilig ist außerdem das größere Operationstrauma während des Korrekturingriffs und der Metallentfernung. Auch postoperative Nachkorrekturen sind nicht möglich, weshalb hohe Anforderungen an die Operationsplanung und Operationstechnik gestellt werden müssen. Als Kontraindikation gelten postinfektiöse Knochen- und Weichteilverhältnisse. Diese sind Domäne externer Fixationssysteme [60].

Marknägel zeichnen sich im Vergleich zu anderen internen Syntheseverfahren durch ihr geringes Operationstrauma - bei ebenfalls hoher postoperativer Stabilität und der Möglichkeit der frühfunktionellen Nachbehandlung - aus [64, 65, 66]. Wird eine Marknagelung vorgenommen, muss jedoch sicher gestellt sein, dass die Fragmente ausreichend durch Verriegelungsschrauben fixiert sind [67].

Externe Korrekturverfahren lassen sich sehr variabel gestalten. Ihr Hauptanwendungsbereich ist die Kallusdistraktion - sowohl mit als auch ohne Deformitätenkorrektur. Meist können diese Systeme in minimalinvasiver Technik installiert werden, was das Operationstrauma stark reduziert und vor allem bei kritischen Knochen- und Weichteilverhältnissen von elementarer Wichtigkeit ist. Auch postoperative Nachkorrekturen können veranlasst werden. Negative Aspekte bleiben der geringe Patientenkomfort, auch durch die lange Tragezeit, die hohe Rate an Pin-track-Infekten, die eine systemische Antibiose notwendig macht, und die mögliche erschwerte Rehabilitation durch pin-bedingte Transfixierung der Weichteile [46].

Es gilt zwischen dem vom Gavril Ilizarov entworfenen Ringfixateur, der eine multiplanare graduelle Deformitätenkorrektur möglich macht [38, 68, 69, 70], und dem unilateral angebrachten Fixateur externe, der hauptsächlich zur Kallusdistraktion verwendet wird [71, 72, 73], zu unterscheiden.

Kombinierte Korrekturverfahren [74, 75, 76, 77] vereinen die Vorteile von Marknagelung und externer Fixation. Der Marknagel fungiert hierbei als zentrale, axiale Leitschiene, während die Länge durch die externe Fixation gewonnen werden kann. Ist die Kallusdistraktion abgeschlossen, wird der Marknagel statisch verriegelt und der Fixateur

externe entfernt. Hierbei kommt es gegenüber den rein externen Systemen zu einer wesentlich verkürzten Tragzeit des Fixateurs. Allerdings lassen sich bei dieser Variante auch die Komplikationen beider Korrekturverfahren, wie die Markraumphlegmone oder Pin-track-Infektionen, finden [60].

## 2. Patienten und Methoden

### 2.1 Hope for the Village Child und die Ethnie der Gbagy

Seit 1996 besteht die Nichtregierungsorganisation (NGO) „Hope for the village child“ (HVC) in der Region um Kaduna im Norden Nigerias. Das sogenannte „health centre“ der Organisation befindet sich circa 10 km außerhalb von Kaduna und stellt die zentrale Anlaufstation für Hilfesuchende aus den umliegenden 50 Dörfern dar. Zentrales Ziel der NGO ist es, der ländlichen Bevölkerung und hier vor allem Kindern Entwicklungshilfe zu leisten. Die Anzahl der von HVC betreuten Projekte wuchs über die Jahre und umfasst heute neben Bildungsangeboten, Anleitung zu nachhaltiger und verbesserter Landwirtschaft, Förderung von Frauen und Einkommensförderung der Dorfbewohner auch die Gesundheitsversorgung. Diese umfasst eine Mutter-Kind-Klinik mit genereller Gesundheitsberatung, Immunisierungskampagnen, Wachstumsüberwachungen, Behandlung alltäglicher Krankheiten und pränatale Beratung. Des Weiteren sorgt HVC für Entwurmungskampagnen, Trinkwasserprogramme, Abwasserentsorgungs- und Hygieneberatungen, Entbindungsüberwachung durch eine Hebamme und Ernährungsberatung. Auch ein umfassendes HIV-Programm konnte ins Leben gerufen werden.



Abbildung 7: Landkarte Nigeria, Kaduna rot unterstrichen

Das Gebiet um Kaduna wird hauptsächlich vom Volkstamm der Gbagyis bevölkert. Dieser als sehr friedlich geltende Stamm blickt auf eine lange Zeit der Unterdrückung und Versklavung, die von anderen Ethnien wie den Hausa oder Fulani mit Arabern und

Europäern betrieben wurde, zurück. Auch die Vertreibung der Gbagyi aus ihren ursprünglichen Lebensräumen durch die wachsenden Städte Abuja oder auch Kaduna selbst führte zu einer Stigmatisierung dieser Ethnie innerhalb Nigerias. Unter den Gbagyi Stammesmitgliedern gibt es keine soziale, politische oder ökonomische Unterdrückung. Jede Dorfbevölkerung überträgt gewisse Verantwortungen auf ein Dorfoberhaupt, der administrative und repräsentative Aufgaben übernimmt. Die überwiegende Mehrheit der Gbagyi lebt vom Ackerbau. Die Viehzucht wird als unehrenwerter Verdienst gesehen, was sich nicht zuletzt in dem geringen Verzehr von Milchprodukten widerspiegelt und einen wesentlichen Einfluss auf die hohe Prävalenz der Rachitis innerhalb dieses Volksstamms haben dürfte.

## 2.2 Das Rachitisprojekt

Im Rahmen ihrer zahlreichen Projekte im Umland von Kaduna fielen den Mitarbeitern von HVC in den letzten Jahren sprunghaft vermehrt Kinder mit massiven Beindeformitäten auf. Sister Rita Schwarzenberger, eine texanische Ordensschwester, die seit den frühen 80ern in Nigeria lebt und 2003 die Leitung von HVC übernahm, wandte sich zunächst erfolglos an das Gesundheitsministerium Kadunas, fand dann allerdings Hilfe durch das katholische Hilfswerk Misereor.



**Abbildung 8: Kinder mit rachitischen Symptomen unter Kindern des Gbagyi Stammes, Kaduna, Nigeria**

Durch Misereor wurde die Aufgabenstellung der fachgerechten Bewertung der offensichtlichen Pathologie an das Missionsärztliche Institut in Würzburg übertragen. Ein

weiterer von HVC kontaktierter Arzt, der Endokrinologe Dr. med. William Drake aus dem St. Bartholomew's Hospital in London, untersuchte erste Blutproben und Röntgenbilder und stellte in Zusammenarbeit mit dem Missionärztlichen Institut Würzburg die Verdachtsdiagnose Rachitis auf. Frau Dr. med Christa Kitz aus dem Missionsärztlichen Institut beurteilte 2005 erstmals die Situation vor Ort und konnte in mehreren Dörfern - allerdings ausschließlich den Stamm der Gbagyi betreffend - stark ausgeprägte Rachitisfälle diagnostizieren. Unter ihrer Koordination konnte noch im selben Jahr ein Rachitisprojekt - mit der zugesicherten Hilfe des örtlichen Gesundheitsministeriums sowie örtlicher Pädiater - initiiert werden. Der Großteil der nötigen Finanzen wurde vom deutschen Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) sowie Misereor bereitgestellt.

### **2.3 Entwicklung des Rachitisprojekts und Ursachenforschung**

Durch Wulf-Christian Emmert, einen Doktoranden der Tropenmedizinischen Abteilung des Missionsärztlichen Institutes Würzburg, konnte die Verdachtsdiagnose Rachitis durch Serumanalysen laborchemisch und durch epidemiologische Daten klinisch gesichert werden [78]. Anhand von 52 Fällen, 46 Kontrollen und 16 fraglichen Fällen konnten signifikant niedrige Spiegel von Kalzium in Blut und Urin, Phosphat und 25-Vit-D, sowie signifikant hohe Spiegel von 1,25-Vit-D, PTH und Alkalischer Phosphatase gefunden werden. Dieses Laborbild entspricht der kalziumdefizienten Rachitis und wurde in Nigeria bereits beschrieben [17, 19, 20].

Die Ursache der Kalziumdefizienz konnte in der extrem niedrigen Kalziumaufnahme durch die Nahrung begründet werden. Diese betrug etwa nur 200mg pro Tag, was weniger als 25% der erforderlichen Tagesdosis entspricht [79]. Des Weiteren konnten signifikante Unterschiede zwischen den Geschwistern in Fall- und Kontrollgruppe, ihre Exposition gegenüber Risikofaktoren betreffend, identifiziert werden. Dies erlaubt wiederum Rückschlüsse auf die bis jetzt nicht völlig aufgeklärte Ätiologie der kalziumdefizienten Rachitis und den größeren Kalziummangel betroffener Kinder im Vergleich zu ihren gesunden und in den gleichen Lebensumständen aufwachsenden Geschwistern. So ließen sich bei Mädchen signifikant niedrigere 25-Vit-D-Spiegel nachweisen, was ein Hinweis



auf geschlechtsbedingte Unterschiede im Vitamin-D-Stoffwechsel sein könnte und die vermehrte Prävalenz der Rachitis unter Mädchen einschließen würde. Die Beobachtung, die anhand von Korrelationen zwischen PTH-, 1,25-Vit-D- und 25-Vit-D-Serumspiegeln gemacht werden konnte, lässt außerdem eine Störung im System der Vitamin-D-modifizierenden Enzyme vermuten, z.B. eine Schwäche der 25-Hydroxylase oder ein verstärkt aktives kataboles Enzym. Ein weiterer ätiologischer Faktor könnte eine Minderfunktion des Vitamin-D-Rezeptors sein. Als Ursache dieser Minderfunktion konnte ein Gendefekt bisher nicht gefunden werden, ist aber zusammen mit einem genomischen Screen und Charakterisierung von Polymorphismen, die zur Manifestation der Rachitis führen können, Gegenstand aktueller Forschungen unter der Leitung von Prof. Dr. Franz Jakob und Frau Dr. rer. nat. Regina Ebert. Des Weiteren steht ein möglicher Zink-Mangel unter genauerer Betrachtung, da ein zentrales Zink-Ion die Konformität des Vitamin-D-Rezeptors stabilisiert. Auch ein weiteres Spurenelement, Selen, wird in Zusammenhang mit einer Manifestation der Rachitis gebracht und ist ebenfalls stark defizient bei Kindern des Gbagyi Stammes zu finden (unveröffentlichte Ergebnisse der gleichen Arbeitsgruppe). Es gilt festzuhalten, dass kein eindeutiger Pathomechanismus ausfindig gemacht werden konnte. Jedoch wurde das Verständnis gestärkt, dass die extrem limitierte Kalziumaufnahme selbst geringste Unterschiede im Metabolismus von Vitamin D und Kalzium eines Individuums potenziert, so dass - wie bereits von Thacher beschrieben - eine Kalziumdefizienz den Bedarf von 25-Vit-D steigert, um die 1,25-Vit-D-Spiegel aufrecht zu erhalten [80].

Die medizinischen Forschungsergebnisse wurden durch geologische Boden- und Wasserproben, die unter der Leitung von Frau Prof. Dr. Barbara Sponholz in der Projektregion entnommen wurden, ergänzt. Das Ergebnis passt in das bisherige Gesamtbild einer umfassenden Kalziumarmut. Durch die granitoide Bodenbeschaffenheit und klimatischen Bedingungen mit hohen saisonalen Niederschlägen konnte eine Bodenversauerung und starke Auswaschung der Böden festgestellt werden [79]. Durch das rasche Bevölkerungswachstum, den damit steigenden Nutzungsdruck der Äcker, die jahrzehntelange Verwendung von kalziumarmem Kunstdünger und der kulturell bedingten Ablehnung des Gbagyistammes von Milchprodukten, kann eine ausreichende Kalziumzufuhr durch natürliche Ressourcen so gut wie nicht mehr gewährleistet werden. Zu Beginn des Projektes wurde die Rachitis zunächst mit einem Kombinationspräparat aus Kalzium und Vitamin D<sub>3</sub> - zur besseren enteralen Resorption - verwendet. Es konnte

jedoch festgestellt werden, dass die alleinige Therapie mit Kalzium gleiche, wenn nicht bessere Ergebnisse erzielte [18], sich die Laborparameter verbesserten (Normalisierung der Alkalischen Phosphatase und des Parathormons) und eine deutliche Besserung der Lebensqualität durch Reduktion der Knochen- und Muskelschmerzen einstellte. Auch ein gradueller Rückgang der Beindeformitäten erstaunlichen Ausmaßes konnte beobachtet werden.



**Abbildung 9: Besserung der Fehlstellung nach 18 monatiger, medikamentöser Therapie, Bilderserie aus [79]**

Seit Beginn des Projektes 2005 steigt die Zahl der von HVC registrierten Patienten kontinuierlich an. Waren es 2005 noch 80 registrierte Patienten, stieg die Zahl im Verlauf auf über 800 an (Stand Oktober 2009). Es wird geschätzt, dass circa 30% der Kinder des Gbagyistammes von Rachitis betroffen sind und noch immer eine hohe Dunkelziffer besteht. Diese hohe Prävalenz und steigende Inzidenz macht die Initiation eines Präventionsprogrammes notwendig. Besonders während der Schwangerschaft und Stillzeit scheint ein Programm der konsequenten Kalziumsubstitution vielversprechend, da gerade im letzten Trimenon 80% des Knochenkalziums eingelagert wird. Auch eine Nahrungsmittelanreicherung wäre denkbar und wird bereits in manchen Ländern, wo ähnliche Phänomene der Kalziumdefizienz zu finden sind, angewendet [13].

## **2.4 Initiation der orthopädischen Therapie**

Mit Beginn der medikamentösen Therapie wurde es deutlich, dass trotz der großen Erfolge der Kalziumsubstitution einige Kinder (circa 15%) einer orthopädisch-chirurgischen Behandlung bedürfen. Zwar zeigten sich bei den meisten Patienten gute, spontane

Selbstheilungstendenzen der Beindeformitäten unter der Therapie, bei einigen blieben auch nach einer Therapiezeit von mehr als einem Jahr massivste Beindeformitäten mit funktionellen Einschränkungen zurück. Frau Dr. Christa Kitz stellte den Kontakt zu Prof. Dr. Peter Raab - Kinderorthopäde an der Orthopädischen Universitätsklinik in Würzburg - her. Prof. Dr. Peter Raab machte sich 2007 selbst ein Bild und beschloss, die orthopädische Intervention einzuleiten. In Zusammenarbeit mit dem nigerianischen, in Jos tätigen, Orthopäden Dr. Isaac Igo wurde das nachfolgende Operations- und postoperative Behandlungskonzept erarbeitet und die hierfür notwendige Infrastruktur gesucht. Nach der Besichtigung mehrerer Krankenhäuser, fiel die Wahl auf das St. Gerard's Catholic Hospital in Kakuri, Kaduna, das eine orthopädische Abteilung („orthopedic ward“) und einen Operationsaal („theater“) zur Verfügung stellen konnte. Um eine dem Standort angepasste, aber ausreichend sichere Therapie ohne Gefährdung der Patienten gewährleisten zu können, musste der Operationssaal modernisiert sowie der Bestand sowohl des Operationsbestecks als auch der apparativen Ausstattung verbessert werden. Unter der Leitung von Katharina Böhm, einer Mitarbeiterin des Missionsärztlichen Instituts in Würzburg, wurde der Operationssaal renoviert und das örtliche Personal im Umgang mit dem Autoklaven, den hygienischen Maßnahmen und dem sterilen Arbeiten geschult. 3 Siebe an orthopädischem Operationsbesteck, eine akkubetriebene, oszillierende Säge und einen akkubetriebenen Bohrer mit Inbegriffen sowie weitere Operationssaalausstattungen, wie ein Operationstisch, ein Tourniquet (=Blutsperre), ein Elektrokauter, eine Operationslampe, eine oszillierende Gipssäge sowie zahlreicher sterile Operationsabdeckungen, Verbände und Gipse wurden teils gespendet teils durch das Projekt erworben.

## 2.5 Anforderungen an die Operation

Die Korrektur von Beindeformitäten stellt hohe Ansprüche an eine korrekte und exakte Planung. Eine aufwendige apparative Diagnostik, wie sie z. B. eine präoperative CT-Untersuchung darstellt, die operative Durchführung unter Verwendung eines mobilen Röntgengerätes oder von winkelstabilen Platten oder externen Fixateuren und deren postoperativer Betreuung, kann von der lokalen Infrastruktur nicht geleistet werden. Ziel der Planung der orthopädischen Intervention - bei offensichtlichem Handlungsbedarf - war es, ein einfaches, unkompliziertes und den lokalen Verhältnissen angepasstes aber

effektives und möglichst exaktes Behandlungssystem, das eine Verbesserung der bestehenden Deformationen und Funktionseinschränkungen ermöglicht, ohne dabei den Patienten fahrlässigen Gefahren auszusetzen, zu wählen. Die technische Machbarkeit unter den örtlichen Bedingungen stand hierbei im Vordergrund.

Seit Beginn der Behandlung war es ein weiteres Ziel, örtliche Orthopäden in die Behandlung einzubeziehen, um so die Vorgehensweise und gesammelte Erfahrungen weiterzugeben und eine autonome Behandlung durch nigerianische Ärzte in Zukunft möglich machen zu können.

## 2.6 Das Operationsverfahren

Für die wesentlichen Komponenten der hier vorherrschenden rachitischen Deformitäten an der unteren Extremität, Genu varum, valgum und tibiale Antekurvatur, die meist in ihrer Gruppe relativ einheitliche Deformitätenmuster aufwiesen, wurden unterschiedliche Konzepte entwickelt, die grundlegend den von Paley postulierten Prinzipien der Deformitätenkorrektur angepasst waren. Das Zentrum der Deformität wurde ermittelt und dort die Korrektur im Sinne einer Osteotomie vorgenommen. Die Ausrichtung des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel - meist in der frontalen Ebene - war der zentrale Ansatzpunkt der Korrektur. Ziel war es, sowohl beim Genu valgum also auch beim Genu varum die Knochen in ein physiologisches Verhältnis zu setzen und so die Kniewinkel weitestgehend zu normalisieren, um so eine Verringerung der mechanischen Achsabweichung möglich zu machen. Waren mehrere Deformitätenkomponenten bei einem Patienten vereint - z.B. bei der wind-swept deformity -, wurde jede Seite nach dem jeweiligen Konzept behandelt. Gleiches geschah bei einem zeitgleichen Auftreten zweier Komponenten in einem Bein - z.B. tibiale Antekurvatur und Genu valgum.

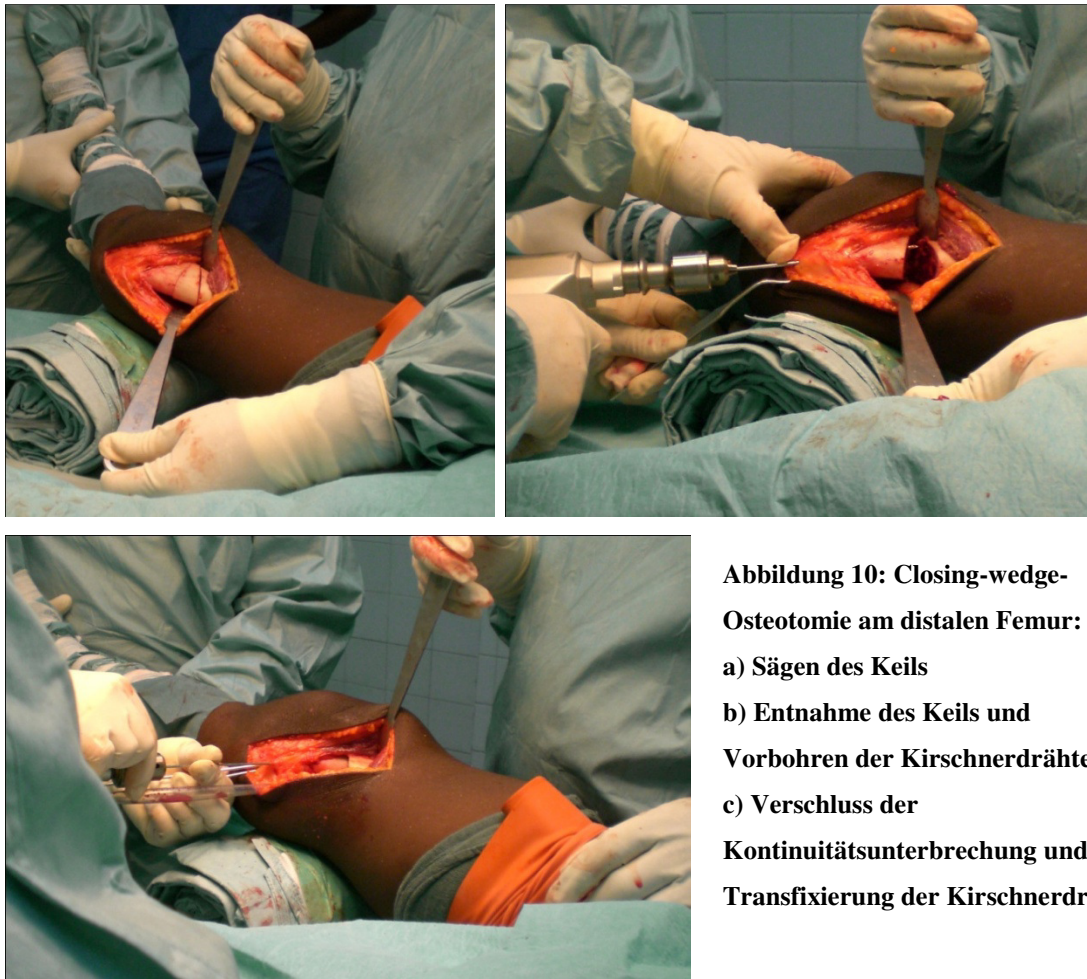
Die Wahl der Osteotomie fiel in der Vielzahl der Fälle auf eine subtraktive closing-wedge-Osteotomie, die zwar eine Beinverkürzung zur Folge hat, dafür aber einen großen Kontakt der osteotomierten Flächen aufweisen kann und nicht zu hohe Anforderungen an die Osteosynthese stellt, wie es bei der opening-wedge-Osteotomie der Fall ist. Andere angewandte Osteotomievarianten waren die Chevron-like-Osteotomie an der proximalen Tibia oder planare Osteotomien zur Korrektur von Rotationsfehlstellungen an der distalen Tibia.

Die Osteosynthese wurde im Regelfall mit Kirschner-Drähten vollzogen. Auch Richard-Knochenklammern und Schrauben fanden Anwendung. Tibiale Osteotomien bei Antekurvation wurden mit einem Titan-Marknagel versorgt.

### **2.6.1 Mediale, subtraktive Osteotomie des distalen Femurs bei Genu valgum**

Das Zentrum der Deformität bei rachitischem Genu valgum war stets im distalen Femur zu finden. Je nach Ausmaß der Deformität war der LDFA stark verkleinert und war Fokus der Aufmerksamkeit hinsichtlich der Korrektur. Bei einigen Patienten konnte zwar auch eine Beteiligung der proximalen Tibia an der Valgus-Fehlstellung gefunden werden, allerdings wurde meist entschieden, dass dieser Anteil zu gering sei, um dort eine Korrektur vorzunehmen. Nur in einem Fall betrug die Fehlstellung nach Korrektur am Femur immer noch annähernd 45°, was einen weiteren varisierenden Eingriff an der proximalen Tibia notwendig machte.

Der Zugang wurde von medialseitig am distalen Oberschenkel gewählt, da auch medial die Basis des bei der closing-wedge-Osteotomie zu entfernenden Keils lag und die zur Osteosynthese verwendeten Kirschner-Drähte auch von medial eingebracht werden können. Nach der Desinfektion der Haut, dem sterilen Abdecken, dem Auswickeln mit einer Gummibinde und dem Anlegen der Blutsperrung erfolgte demnach der Hautschnitt und die Durchtrennung des subkutanen Fettgewebes. Die Muskelfaszie wurde eröffnet und der Musculus (M.) quadriceps femoralis vastus medialis entlang des Septum intermusculare mobilisiert. Das Periost wurde inzidiert und 2 Hohmann-Haken eingebracht. Nun folgte die Planung der Osteotomie am intraoperativen Situs. Die Höhe der Osteotomie am distalen Femur und die Größe des zu entnehmenden Keils wurden festgelegt und mit Hilfe zweier eingebrachter Kirschner-Drähte die Richtung beider Osteotomieschnittflächen markiert. Zusätzlich wurde geprüft, ob die distale Osteotomie durch die Wachstumsfuge führt, was es unbedingt zu vermeiden gilt. Konnte dies ausgeschlossen werden, erfolgte die Osteotomie mit der oszillierenden Säge entlang der Kirschner-Drähte. Die der Keilbasis gegenüberliegende Kortikalis wurde mit einem Meißel geschwächt.



**Abbildung 10: Closing-wedge-Osteotomie am distalen Femur:**  
**a) Sägen des Keils**  
**b) Entnahme des Keils und Vorbohren der Kirschnerdrähte**  
**c) Verschluss der Kontinuitätsunterbrechung und Transfixierung der Kirschnerdrähte**

Nach Entnahme des Keils wurden noch vor dem Verschluss der entstandenen Kontinuitätsunterbrechung 3 Kirschner-Drähte, vom medialen Epikondylus ausgehend, senkrecht zur distalen Schnittfläche eingebracht. Durch die Varisierung des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel, wurde die Kontinuitätsunterbrechung des Knochens geschlossen und die 3 Kirschner-Drähte zur Osteosynthese in die laterale Kortikalis des proximalen Fragments eingebracht. Nun erfolgte die Kürzung und das Umbiegen der Kirschnerdrähte. Eine Redon-Drainage wurde eingelegt, die Muskelfaszie fortlaufend verschlossen und nach subkutaner Naht erfolgte die Hautnaht intrakutan mit resorbierbaren Fäden.

Die Osteosynthese wurde in fast allen Fällen mit 3 von medial eingebrachten Kirschner-Drähten vollzogen. Bei den älteren Patienten, bei denen es im Rahmen des Zuklappens der Osteotomie zum Bruch der lateralen Kortikalis kam war eine zusätzliche Osteosynthese mittels Richard-Klammer von lateral über einen separaten Zugang notwendig.

Lag zusätzlich zur mechanischen Achsabweichung in der Frontalebene eine Rotationsdeformität des Unterschenkels vor, so wurde diese am distalen Unterschenkel korrigiert. Das operative Verfahren hierzu wird unter 2.6.3 beschrieben.

### **2.6.2 Patella-Realignment bei Genu valgum**

War die Valgus-Fehlstellung derart ausgeprägt, dass durch die Verkürzung der lateralen Strukturen am Kniegelenk die Patella auch nach der Umstellungsosteotomie nach lateral subluxierte oder luxierte, wurde zusätzlich ein Weichteileingriff zum Realignment der Patella vorgenommen.

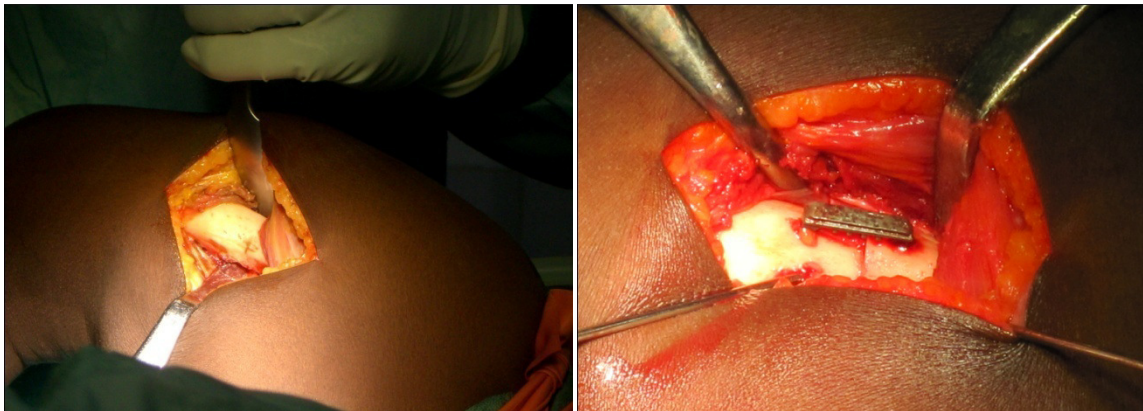
Bei einigen Patienten konnte eine Rezentrierung der Patella in ihr Gleitlager durch ein laterales Release erreicht werden. Hierzu wurde ein Hautschnitt lateral parapatellar in Längsrichtung des Beines gesetzt und das subkutane Fettgewebe durchtrennt. Nun wurde das laterale Retinakulum gespalten. Gelang das Realignment der Patella durch diese Maßnahme jedoch nicht ausreichend, so wurde über eine Erweiterung des medialen Zuganges nach distal das mediale Retinakulum gerafft und in bestimmten Fällen eine Desinsertion der M. quadriceps femoris vastus lateralis entlang der Quadricepssehne durchgeführt.

### **2.6.3 Laterale, subtraktive Osteotomie des diaphysären Femurs, proximale Tibiaosteotomie, distale derotierende Tibiaosteotomie bei Genu varum**

Die Fehlstellung bei Genu varum resultierte meist aus einem diaphysär deformierten Femur in Kombination mit einer Innenrotation von Tibia und Fibula oder aus einem Deformationszentrum in der proximalen Tibia. Dies spiegelte sich in einem vergrößerten LDFA bei femoraler Deformation oder in einem verringerten MPTA bei tibialer Deformation wieder. Die Beinfehlstellung im Varus-Sinn wurde meist durch eine erhebliche Kapsel-Band-Laxizität - im Sinne einer lateralen Überdehnung und Aufklappbarkeit - verstärkt.

Lag das Zentrum der Deformität im diaphysären Bereich des Femurs, so wurde ein lateraler Zugang am Oberschenkel auf Höhe des CORAs gewählt. Hierzu wurde nach

Desinfektion und sterilem Abdecken der Hautschnitt vorgenommen. Nach der Durchtrennung des subkutanen Fettgewebes wurde die Muskelfaszie eröffnet und der Vastus lateralis des M. quadriceps femoris entlang des Septum intermusculare mobilisiert. Das Periost wurde eröffnet und mobilisiert und Hohmann-Haken eingebracht. Nun erfolgte die Planung der Osteotomie in Höhe des CORAs. 2 Kirschner-Drähte, die die Richtung der Osteotomieschnittflächen anzeigten, wurden eingebohrt und dienten im weiteren Verlauf als Leitschiene der zur Osteotomie verwendeten oszillierenden Säge. Die Basis des entnommenen Keils lag stets auf der lateralen Seite. Die Breite dieser Basis wurde je nach Fehlstellungsausmaß gewählt. Nach Entnahme des Keils wurde die Kontinuitätsunterbrechung geschlossen. Wenn eine femorale Rotationsfehlstellung vorlag konnte diese bei nun planar aufliegenden Schnittflächen korrigiert werden. Dann erfolgte die Osteosynthese. Meist gewähltes Mittel war die Fixierung mit 2 sich kreuzenden Kirschner-Drähten, einer von proximal-lateral nach distal-medial, der andere von distal-lateral nach proximal-medial eingebracht. Zusätzlich wurde diese Transfixierung am diaphysären Oberschenkel meist mit einer Richard-Klammer, die ebenfalls proximales und distales Fragment verband, unterstützt. Nach Einlage einer Redon-Drainage, erfolgte der Verschluss der Muskelfaszie, des subkutanen Fettgewebes und der Haut.



**Abbildung 11: Closing-wedge-Osteotomie am diaphysären Femur:**

**a.) Zugang b.) Fixierung mit Richard-Klammer und 2 gekreuzten Kirschnerdrähten**

Waren nach Korrektur der femoralen Achsabweichung Rotationsfehlstellungen, die aus dem Unterschenkel resultierten, präsent, so wurde eine distale Derotations-Osteotomie der Tibia durchgeführt. Hierzu wurde ein Schnitt über der distalen Fibula angesetzt und die Fibula freipräpariert. Die Fibula wurde mit einer planaren Osteotomie einmal durchtrennt. Die Tibia wurde durch einen distalen, auf der anterioren medialen Tibiakante liegenden



Zugang freigelegt. 2 Kirschnerdrähte wurden in die distale Tibia eingebracht. Der weiter distal gelegene verlief deckungsgleich zum ersten Strahl des Fußes, während der proximalere Draht das Lot zur Mittellinie des Tibiaschaftes darstellte. Eine einfache, planare Osteotomie wurde zwischen den beiden Drähten vorgenommen und die Drähte durch Rotation des distalen Fragments so eingestellt, dass eine natürliche Außenrotation von circa  $10^\circ$  erzielt wurde. Bei Erreichen dieser Stellung wurden die Fragmente durch 2 sich kreuzende Kirschner-Drähte fixiert und die Wunden über der Tibia und Fibula verschlossen. Nach den Erfahrungen der ersten Operationen zeigte sich, dass bei Rotationsfehlstellungen bis circa  $40 - 50^\circ$  die Rotationsosteotomie ohne zusätzliche Fibulaosteotomie vorgenommen werden konnte. Der oben beschriebene Eingriff an der distalen Fibula entfiel somit bei gleichem Vorgehen an der Tibia.



**Abbildung 12: Derotations-Osteotomie**

War das Zentrum der Deformität in der proximalen Tibia zu finden, wurde hier die Osteotomie vorgenommen. Hierzu wurde zunächst ein Hautschnitt über der proximalen Fibula gesetzt und diese nach Eröffnung der Muskelloge freipräpariert. Es wurde dann ein circa 1 cm großes Stück der proximalen Fibula reseziert und die Wunde wieder verschlossen. Über der Tibia wurde ein in Richtung mediales Tibiaplateau gebogener Hautschnitt auf der vorderen Tibiakante vorgenommen. Die medialen und lateralen Anteile der proximalen Tibia wurden freipräpariert, das Periost eröffnet und zu beiden Seiten hin mobilisiert. Die Osteotomie erfolgte meist in Chevron-Art. So wurde zunächst ein von lateral und medial nach proximal zielender Schnitt auf der Tibiavorderfläche so angesetzt, dass sich beide Schnitte auf der Tibiamittellinie trafen und eine Art „Chevron“ (franz.

Dachgiebel) ausbildeten. Nun wurde auf der lateralen Seite des Chevrans ein Keil entfernt, der nach Entnahme auf der gegenüberliegenden medialen Seite eingesetzt werden konnte. Zuvor wurden Korrekturen in der transversalen Ebene bei zusätzlicher Rotationsfehlstellung vorgenommen. Hierzu wurde das distale Fragment in eine natürliche Außenrotation des Fußes von 10° bis 15° gebracht.

Nur in einem Fall einer höchstgradigen Deformität wurde an der proximalen Tibia eine andere Schnitttechnik angewendet. Auf Grund der sehr komplexen Deformität in allen 3 Ebenen wurde der proximale Schnitt parallel zur Kniegelenksebene gesetzt, während der distale Schnitt horizontal zur Mittschafflinie der diaphysären Tibia gesetzt wurde.

In allen Fällen konnte die Osteosynthese mittels Kirschner-Drähten und/oder Richard-Klammern vollzogen werden.



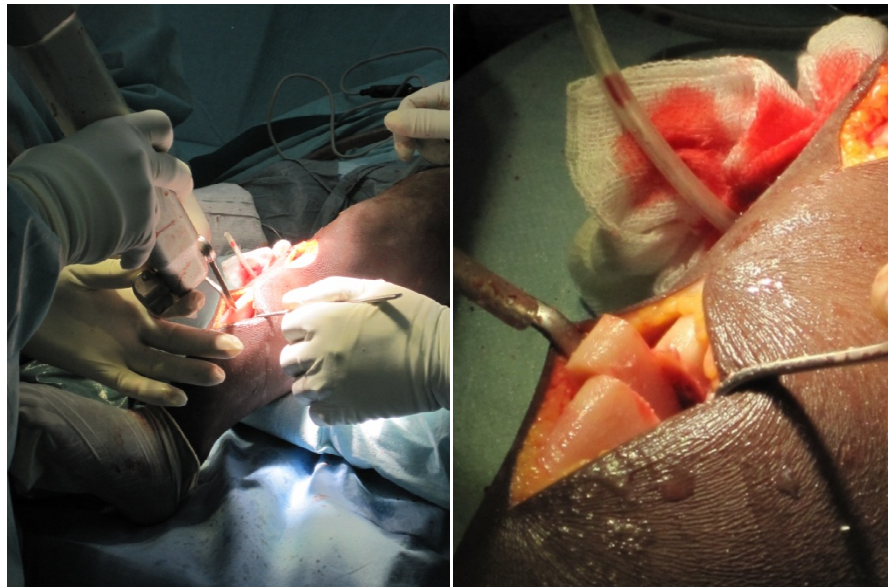
Abbildung 13: Chevron-like-Osteotomie und Transfixierung mit 3 Kirschnerdrähten

#### 2.6.4 Multiplanare, subtraktive Osteotomie der diaphysären Tibia und der Fibula bei Antekurvation

Die Antekurvation des Unterschenkels stellt eine außergewöhnliche Deformität dar und erfordert eine komplexe Korrektur. Die Antekurationskomponente, die mit Werten bis zu 90° aufzufinden war, war in manchen Fällen mit einer Valgus-Komponente und Rotationsfehlstellung des Femurs und/oder der Tibia selbst assoziiert. Lag das Zentrum der Valgus-Deformität am distalen Femur, so wurde dem Eingriff an der Tibia die oben beschriebene mediale subtraktive Osteotomie des distalen Femurs vorangestellt. Lagen

weitere Valgus- oder Rotations-Abweichungen in der Tibia vor, so wurden diese bei der Antekurvations-Osteotomie der Tibia berücksichtigt:

Nach der Desinfektion der Haut, dem sterilem Abdecken und dem Anbringen der Blutsperrre, erfolgte ein gebogener Hautschnitt über der proximalen, anterioren Tibiakante hin zum medialen Tibiaplateau. Dann wurde das subkutane Gewebe durchtrennt, das Periost eröffnet und der Pes anserinus abgeschoben. Medial der Tuberositas tibiae wurde der Markraum - zunächst mit einem 2,5 mm, dann mit einem 3,5 mm großen Bohrer in distaler Richtung - eröffnet. Je nach Ausmaß und Verlauf der tibialen Antekurvations wurden eine oder 2 Osteotomien im weiteren Verlauf der Tibia geplant. Die Höhe der Osteotomien wurde im Zentrum der maximalen Biegung gewählt. Es erfolgte ein longitudinaler Hautschnitt auf dieser Höhe der Tibiavorderkante und die Freilegung der Tibia. Nach einer intraoperativen Überprüfung der Planung wurde daraufhin die Osteotomie mit einer proximal von ventral nach dorsal abfallenden und distal von ventral nach dorsal ansteigender Schnitfführung vollzogen. Die Keilbasis lag somit an der ventralen Diaphyse.



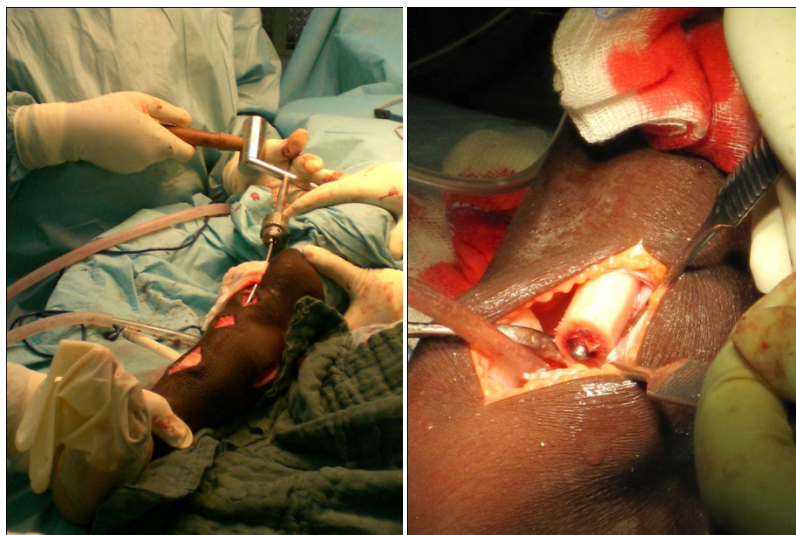
**Abbildung 14: Keilzision bei tibialer Antekurvations**

Wie bereits oben angedeutet konnten auch Abweichungen in der Frontalebene - meist im Valgus-Sinn - durch diese Schnitte korrigiert werden. Hierzu wurde dem distaleren der beiden Schnitte ein Gefälle von medial nach lateral mit in die Schnitfführung einbezogen, was eine Varisierung des distalen Fragments zur Folge hatte. Über einen weiteren Hautschnitt wurde ein ebenfalls keilförmiges Stück der proximalen Fibula reseziert.

Die Größe dieses Resektats richtete sich nach der Ausprägung der Deformität. Ziel war es, die beiden Fibulafragmente nach ihrer Osteotomie in ein axiales Alignment zu bringen.

War eine Korrekturosteotomie der Tibia an 2 Höhen notwendig, so wurde die zweite Osteotomie in gleicher Weise wie oben beschrieben vollzogen. Auch auf dieser Höhe wurde eine Fibulaosteotomie vorgenommen, meist durch denselben Zugang.

Die Osteosynthese der Tibia wurde mittels eines 3,5 mm starken elastischen Titannagels vollzogen. Dieser wurde nach der ersten Kontinuitätsunterbrechung durch die proximale Eröffnung in den Markraum eingebracht und zur ersten Osteotomie vorgeschoben. Nach der achsenentsprechenden Einstellung des distalen Fragments zum proximalen Fragment wurde der Titannagel bis in die distale Tibia oder auf die Höhe der zweiten Osteotomie weiter vorgeschoben. Bei Zweiterem erfolgte dann die erneute Einstellung des letzten Fragments, und der Vorschub des Nagels in die sprunggelenksnahe Tibiametaphyse.



**Abbildung 15: Fixation mittels Titannagel**

War die Nagelfixierung vollständig, so wurde der Situs auf eine korrekte Rotationsstellung überprüft und bei Instabilität mittels Kirschnerdrähten fixiert. Dann erfolgte der Verschluss aller Wunden.

### 2.6.5 Postoperatives Konzept

Postoperativ wurden alle Beine zunächst elastokompressiv gewickelt und die angelegte Blutsperre gelöst. Noch im Operationssaal wurde die elastokompressive Umwicklung nach einiger Zeit gelöst und ein Oberschenkelcast angelegt. Nach Aushärtung des Materials wurde der Cast zweifach der Länge nach gespalten und mit elastischen Binden erneut umwickelt.

Es erfolgte die Verlegung in den Orthopaedic Ward. Die postoperative Betreuung der Patienten erfolgte durch Ärzte und Krankenschwestern des St. Gerard's Catholic Hospital, sowie Krankenschwestern und Mitarbeitern der HVC. Auch die familiären Angehörigen spielten bei der weiteren Versorgung der Patienten eine elementare Rolle.

Die postoperative analgetische Therapie erfolgte mit Paracetamol, Pentazocin (Fortwin) oder Tramadol. Außerdem wurde eine ausreichende Infusionstherapie mit Elektrolytlösungen vorgenommen. Die präoperativ begonnene antibiotische Therapie mit Metronidazol (Flagyl) und Ceftriaxon als Single-Shot vor dem Hautschnitt wurde für 5 Tage weiterhin intravenös verabreicht. Danach wurde auf eine orale Therapie für weitere 5 Tage umgestellt.

Am 2. bis 4. postoperativen Tag wurden die gespaltenen Casts abgenommen, die Drainagen gezogen, sowie ein erneuter geschlossener, zirkulärer Oberschenkelcast angelegt. Die Patienten verbrachten die ersten 2 Wochen nach der Operation im St. Gerard's Catholic Hospital und unterlagen dort einer ständigen medizinischen Überwachung. Nach Ablauf dieser Zeit wurden sie in das „health centre“ von HVC verlegt, wo sie die weiteren 4 bis 6 Wochen verbrachten. Zusätzlich zu einem täglichen physiotherapeutischem Training erhielten die Kinder einen erweiterten Schulunterricht. Nach einer postoperativen Gesamtzeit von 6 bis 8 Wochen wurde eine Röntgenkontrolle der Osteotomien hinsichtlich ihrer knöchernen Konsolidierung durchgeführt. War diese fortgeschritten, so konnten die Casts abgenommen und mit dem Lauftraining am Gehbock begonnen werden. Wurden Defizite in der knöchernen Durchbauung festgestellt, so wurde erneut ein Cast für weitere 4 Wochen angelegt und die weitere Mobilisation verzögert.

### 2.6.6 Patientenkollektiv

Im Zeitraum von Mai 2007 bis Oktober 2009 konnten insgesamt 27 Kinder operiert werden. Es wurden sowohl einseitige als auch zweiseitige Deformitäten behandelt, so dass insgesamt 45 Beine korrigiert werden konnten (Verhältnis beidseitig zu einseitig 2:1). Die 27 Patienten teilen sich auf in:

6 Patienten mit einem einseitigen Genu valgum, darunter 1 Patient in Kombination mit einer tibialen Antekurvation,

7 Patienten mit beidseitigen Genu valgum, darunter 2 Patienten mit einer zusätzlichen tibialen Antekurvation,

3 Patienten mit einem einseitigen Genu varum,

2 Patienten mit beidseitigen Genu varum,

8 Patienten mit einer wind-swept Deformität (Kombination aus einseitigem Genu valgum und einseitigem Genu varum) und

1 Patient mit einer isolierten tibialen Antekurvation beidseits.

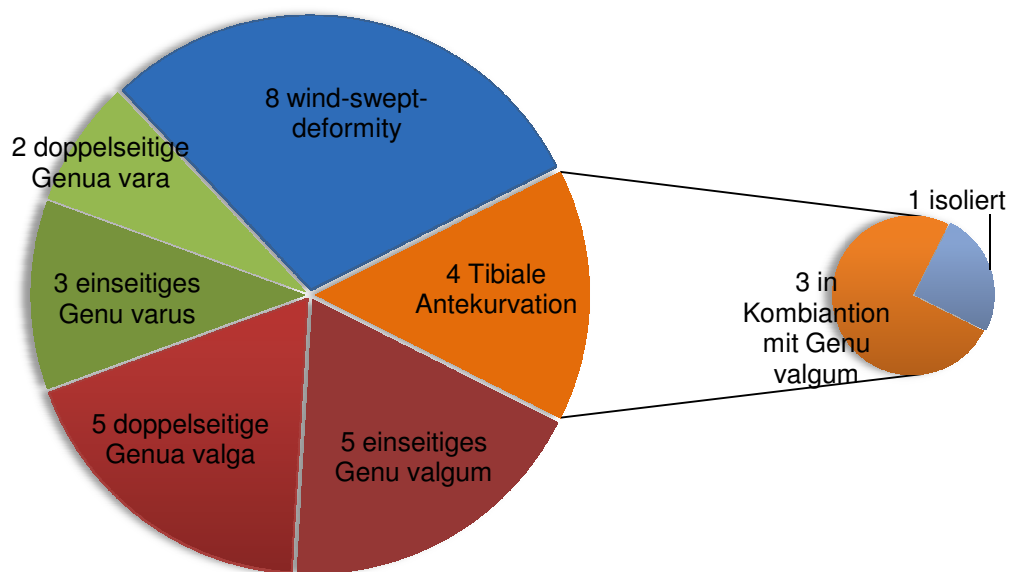


Abbildung 16: Deformitätenverteilung nach Patienten

Der Anteil der weiblichen Patienten lag bei 82% (n= 22, 38 Beine, 6 einseitig), der der männlichen Patienten bei 18% (n= 5, 7 Beine, 3 einseitig). Daraus gibt sich das Verhältnis weiblich zu männlich 4,4:1.

Unter den Mädchen fanden sich 15 Beine mit einem Genu varum, 23 mit einem Genu valgum und 5 mit einer tibialen Antekurvation, die in Kombination mit einem Genu valgum auftraten.

Bei den Jungen waren 5 der insgesamt 7 korrigierten Beine im Valgus-Sinn und die restlichen 2 durch eine isolierte tibiale Antekurvation deformiert.



**Abbildung 17: Patienten mit Genua vara, Genua valga und „wind-swept deformity“**



**Abbildung 18: Patientin mit Kombination aus tibialer Antekurvation und Genu valgum**

Die Deformitäten an 45 Beinen wurden durch insgesamt 88 Osteotomien korrigiert. Bei 28 Valgus-Fehlstellungen (23 weibl., 5 männl.) wurde 28-mal eine mediale subtraktive Osteotomie des distalen Femurs angewandt. Bei 2 Patienten war eine zusätzliche varisierende Osteotomie an der proximalen Tibia mit Durchtrennung der proximalen Fibula notwendig, um eine vollständige Korrektur zu ermöglichen. Die Gesamtzahl der zur Korrektur der Valgus-Fehlstellung verwendeten Osteotomien beläuft sich somit auf 32. Zudem wurde bei 9 Patienten (6 weibl., 3 männl.) mit einer Subluxation oder Luxation der Patella ein Realignment durch den zuvor beschriebenen Weichteileingriff durchgeführt.

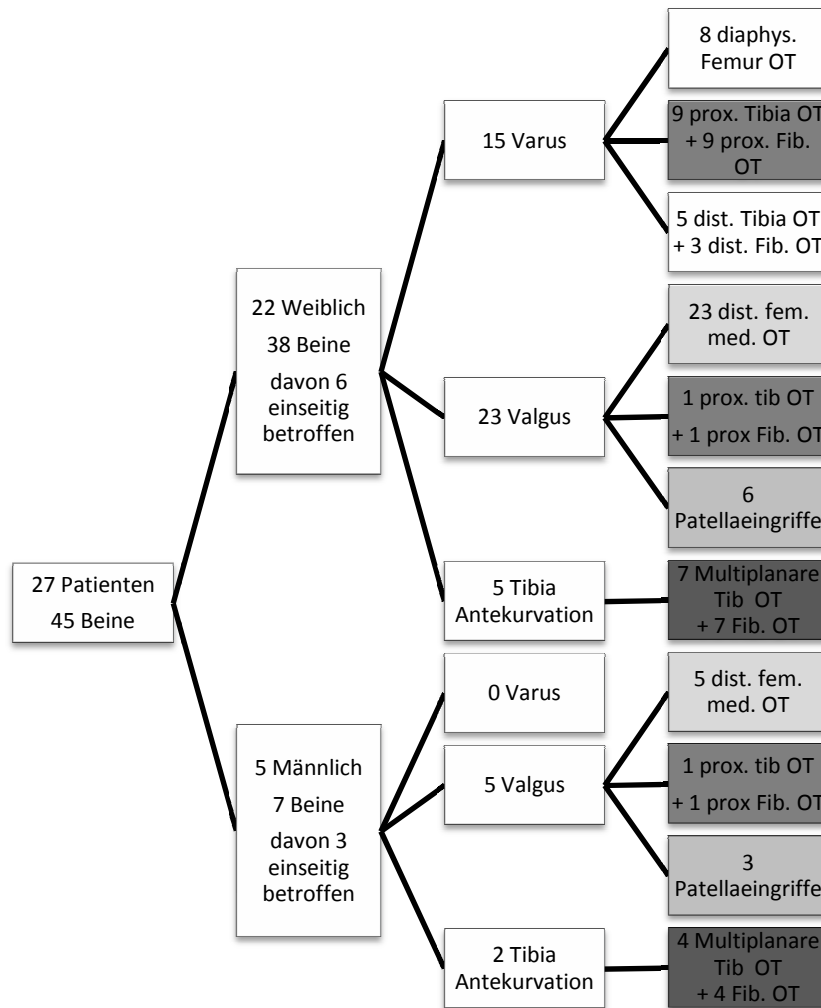


Abbildung 19: Patientenkollektiv

Die Varus-Deformität stellt eine weniger einheitliche Deformität dar und unterlag somit größeren Variationen in den Korrekturmaßnahmen. Insgesamt wurde 34-mal osteotomiert. Nur bei einer Patientin konnte die Varus-Fehlstellung mit einer alleinigen diaphysären Femur- Osteotomie begradigt werden. Bei 2 Patientinnen wurde die diaphysäre Osteotomie mit einer hohen Tibia- und Fibulaosteotomie zum distalen Angulations- und Rotationsausgleich kombiniert. In 5 weiteren Fällen wurde ein supramalleolarer Rotationsausgleich an der distalen Tibia vorgenommen, während die Varusfehlstellung mittels diaphysärer Femurosteotomie korrigiert wurde. 3 dieser 5 distalen Rotationsausgleiche geschahen mit zusätzlicher Fibulaosteotomie. Bei 5 Patientinnen konnte die Angulations- und Rotationsdeformität durch eine alleinige Chevron-artige, proximale Tibiaosteotomie korrigiert werden. Die Gesamtzahl der 34 angebrachten Osteotomien teilt sich somit in 8 diaphysäre Femurosteotomien, 9 proximale Tibia- und Fibulaosteotomien, 5 distale Tibiaosteotomien und 3 distale Fibula Osteotomien auf.



Die Tibiale Antekurvatur (n= 7) wurde entweder mit einer (n= 3) oder zwei (n= 4) Osteotomien pro Bein und Knochen korrigiert. Insgesamt 22 Osteotomien (11 Tibia-Osteotomie, 11 Fibula Osteotomie) wurden zur Korrektur dieser Deformitäten angewendet. Nur eine Patientin (n= 1) wies eine einseitige Deformität auf.

### **2.6.7 Auswahlkriterien**

Unter der großen Menge (circa 800), der im Projekt der HVC registrierten Kinder, fanden sich circa 10-15% der bereits medikamentös behandelten Kinder, bei denen eine orthopädische Behandlung erforderlich wurde, da sich nur eine unzureichende Remission der Deformitäten unter der medikamentösen Behandlung zeigte. Nach der medikamentösen Behandlungsdauer wurde nach Schwere der Deformität und ihrer Auswirkungen im alltäglichen Leben entschieden. Des Weiteren stand die rein technische und zeitliche Machbarkeit im Vordergrund. Um eine flächendeckende, autarke, orthopädische Behandlung in Zukunft zu ermöglichen, wurden neben Dr. Isaac Igo weitere nigerianische, interessierte Ärzte eingeladen, an den Operationen teilzunehmen. Ziel war und ist es, das Behandlungskonzept bei suffizienter Infrastruktur und Ausführung in nigerianische Hände weiterzugeben.

## **2.7 Methodik der vorliegenden Arbeit**

Der Autor begleitete im Oktober 2008 und im Oktober 2009 Prof. Dr. Peter Raab und Fr. Maria Wagner, Operationstechnische Assistentin am König-Ludwig-Haus in Würzburg, bei ihren Besuchen in Kaduna, Nigeria. Neben der Assistenz bei der operativen Behandlung von 15 Patienten (25 Beinen) in diesen Zeiträumen, konnten diese Patienten durch den Autor präoperativ körperlich-orthopädisch und Patienten aus den vorherigen Operationsdurchläufen postoperativ untersucht werden. Im Oktober 2009 stellte sich außerdem die Möglichkeit, die im Oktober 2008 präoperativ untersuchten Kinder nun postoperativ zu untersuchen.

### 2.7.1 Körperliche-orthopädische Untersuchung

Insgesamt konnten 35 körperlich-orthopädische Untersuchungen vorgenommen werden. 12 Patienten konnten nur postoperativ gesehen werden, wurden allerdings auch zu ihrer präoperativen Situation befragt, 8 sowohl prä- als auch postoperativ, 7 Patienten nur präoperativ. Im Folgenden werden Patienten, die nur einmal - entweder präoperativ oder postoperativ - untersucht werden konnten, als einzeitig gesehene Patienten, die, die zweimal - sowohl prä als auch postoperativ - untersucht werden konnten, als zweizeitig gesehene Patienten bezeichnet.

Die Untersuchung beinhaltete einen umfassenden orthopädischen Status, vor allem der unteren Extremität (Hüfte, Knie, Fuß), aber auch von Rumpf, Wirbelsäule und der oberen Extremität. Außerdem erfolgte die Evaluation von Durchblutung, Motorik und Sensibilität. Neben der körperlichen Untersuchung wurden Lebensqualitätsparameter, wie Schmerzbild, alltägliche Bewegungsfähigkeiten und der Bewegungsradius erfasst.

Der vollständige Untersuchungsbogen ist unter 10.1. im Anhang zu finden.

### 2.7.2 Klassifikation nach Fraser

Fraser et al. stellten eine Klassifikation zur Beurteilung der Behandlungserfolge bei wachstumslenkenden Operationen mittels Epiphysen-Stapling bei Angulationsdeformitäten auf [81]. Ihre Einteilung orientiert sich an den von Salenius und Vankka definierten Normbereichen des radiologischen tibiofemorale Winkels [36]. Dieser Klassifikation nach ist ein Winkel im Valgus-Sinn zwischen 5° bis 9° bei Mädchen und 4° bis 7° bei Jungen als ein hervorragendes Ergebnis einzustufen. Abweichungen von bis zu +/- 4° werden immer noch als gutes Ergebnis gesehen, während Abweichungen über 4° als schlechtes Ergebnis erachtet werden. Diese Klassifikation wird im Folgenden bei der Beurteilung sowohl des tibio-femorale Winkels (TFA) anhand der Röntgenbilder, als auch der anatomischen Achsangulation zwischen Ober- und Unterschenkel anhand der Nativaufnahmen verwendet.

### 2.7.3 Photodokumentation

Zu jedem Patienten wurde eine umfassende Serie von Bildern angelegt. Diese beinhaltet prä-, intra- und postoperative Aufnahmen, sowie Aufnahmen vom Zeitpunkt der Castabnahme und der durch den Autor durchgeführten Nachuntersuchungen. Ebenso wurden alle verfügbaren prä- und postoperativen Röntgenaufnahmen, sowie die zum Zeitpunkt der Castabnahme und der Metallentfernung, ausgewertet.

### 2.7.4 Auswertung des Bildmaterials

Die Auswertung sowohl der Nativaufnahmen als auch der Röntgenbilder erfolgte mit dem Messprogramm MB Ruler Pro© (<http://www.markus-bader.de/MB-RulerPro/examples.d.php4>), einer frei einstellbaren Desktopmaske, die - mit ihrer Funktion „Winkelmessung zwischen 2 Geraden“ - über die aufgerufenen Bilder gelegt wurde und so Winkel bestmöglich bestimmt werden konnten.

### 2.7.5 Bildbearbeitung

Die Bildbearbeitung erfolgte mittels der „Bildergalerie“ von Microsoft Windows Vista, das Zusammenfügen einzelner Röntgenbilder mit PanoramaView.

### 2.7.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit STATISTICA 8.0, © StatSoft, Inc. 1984-2008. Zur Anwendung kam der t-Test für gepaarte und unabhängige Stichproben, um die Signifikanz der gemessenen Mittelwertsunterschiede zu beurteilen. Das Ergebnis wird als p-Value angegeben. Die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) wurden mittels der Funktion errechnet und mit ihrem minimalen (min) und maximalen (max) Wert entsprechend angegeben.

Hinsichtlich des Patientenkollektives muss in die Gruppe, der entweder präoperativ (n= 7) oder postoperativ (n= 12) Untersuchten und in die Gruppe, der sowohl prä- als auch postoperativ Untersuchten (n= 8) unterschieden werden. Bei Letzteren - den zweizeitig

Untersuchten - konnte eine patientenbezogene Entwicklung der einzelnen Parameter untersucht, und somit der t-Test für gepaarte Stichproben verwendet werden. Die Daten der einzeitig untersuchten Patienten können diese patientenbezogene Entwicklung nicht darstellen, jedoch eignen sie sich, um den prä- oder postoperativen Status der Gesamtheit der Patienten zu beschreiben. Hier konnte der t-Test für unabhängige Stichproben verwendet werden.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1 Alter und Dauer der präoperativen medikamentösen Behandlung**

Das durchschnittliche Alter der Patienten am Operationstag lag bei 12,1 Jahren (SD= 3,8; min= 5; max= 19). Die männlichen Patienten (MW= 10,6; SD= 4,4) waren im Vergleich zu den weiblichen Patienten (MW= 12,4; SD= 3,7) jünger, allerdings streuten ihre Werte auch stärker, bei geringer Anzahl (n= 5). Es fand sich kein signifikanter Unterschied des Alters in Abhängigkeit vom Geschlecht ( $p= 0,347$ ).

Die Patienten befanden sich im Mittel 2,4 Jahre (SD= 0,65; min= 0,7; max= 3) in medikamentöser Behandlung bevor eine orthopädische Korrektur erfolgte. Eine Behandlungsdauer von mehr als einem Jahr war ein Einschlusskriterium für die operative Deformitätenkorrektur.

#### **3.2 Größe und Gewicht**

Anhand der im Follow-up - das ein- bis eineinhalb Jahre nach der Operation stattfand - erfassten Daten, konnte festgestellt werden, dass die Kinder auch nach im Mittel 2,4 jähriger medikamentöser Therapie zu diesem Zeitpunkt zu klein für ihr Alter waren. Die für die Körpergröße errechneten Z-Scores, die den jeweiligen Grad der Abweichung eines individuellen Ergebnisses zu einer gesunden Referenzpopulation anzeigen, lagen im Mittel bei -2,36 (SD= 2,06; min= -7,66; max= 0,67). Diese Beobachtung lässt sich mit den von Wulf-Christian Emmert in einer Vergleichspopulation erhobenen Daten (Z-Score Height-for-age= -3,08; min= -4,16; max= -2,31) bestätigen.

Der Mittelwert der errechneten Body-Mass-Indices (BMI) lag bei 19,4 (SD= 2,98; min= 15,3; max= 25,6). Im Vergleich zu einer WHO-Referenzpopulation zeigte sich hieraus, dass kein Hinweis für eine Unterernährung vorlag. Die Patienten waren zwar zu klein,

jedoch für ihre Größe normalgewichtig (Z-Score BMI-for-age= 0,57; SD= 0,8; min= -0,63; max= 2,59). Auch diese Daten stimmen mit denen von Wulf-Christian Emmert überein: BMI-MW= 16,96; min= 16,15; max= 18,41; Z-Score BMI-for-age= 0,63; min= -0,26; max= 1,52

Da die WHO keine Angaben für das Gewicht einer Referenzpopulation über dem zehnten Lebensjahr macht, jedoch ein Großteil der operierten Patienten älter war, konnte kein Z-Score für das Gewicht errechnet werden.

### 3.3 Lebensqualitätsparameter

Im Gespräch mit den Patienten ließen sich einige Parameter ihrer Lebensqualität und deren Veränderung von prä- zu postoperativ erheben. Ein entscheidendes Merkmal war die tägliche Wegstrecke, die zurückgelegt werden konnte. Das präoperative Bild mit einer mittleren täglichen Wegstrecke von 0,94 km (n= 27; SD= 0,62; min= 0,05 km; max= 2 km) zeigte eine starke Einschränkung. Postoperativ konnte eine signifikante Verbesserung mit einem Mittelwert von 2,9 km pro Tag (n= 20; SD= 0,94; min= 1,5 km; max= 5 km) festgestellt werden ( $p < 0,001$ , n= 20).

Unter den 27 Patienten waren präoperativ 2, die zum Gehen einen Gehstock benötigten und eine Patientin, die nur gehen konnte, wenn sie sich auf ihren Knien abstützte. Im postoperativen Vergleich waren diese 3 Patienten nicht mehr auf eine Gehhilfe angewiesen und konnten frei gehen.

Auch das „Schnelle Laufen“ war bei den Patienten stark eingeschränkt. Von 27 Patienten konnten 20 präoperativ nicht schnell laufen, 6 von ihnen gelang es nur unter größten Anstrengungen für eine kurze Distanz (5m), während nur 1 Patient frei schnell laufen konnte. Postoperativ änderte sich dieses Bild stark. Von 20 postoperativ gesehenen Kindern konnten nun 14 schnell laufen, 5 waren eingeschränkt, und nur ein Patient konnte auch postoperativ nicht schnell laufen. Diese Besserung zeigte eine hohe Signifikanz ( $p < 0,001$ , n= 20).

Für eine Unterscheidung bezüglich der täglichen Aktivität des „Spielens“ der Patienten stand der Vergleich zu gesunden Kindern im Vordergrund. 16 von 27 präoperativ gesehenen Kindern konnten nicht mit Gleichaltrigen spielen, 9 waren nur in manchen Bereichen ohne Einschränkung, während nur 2 Kinder sich ohne Handicap im Vergleich zu Anderen sahen. Auch hier konnte ein hochsignifikanter Unterschied zum postoperativen

Bild festgestellt werden ( $p < 0,001$ ,  $n = 20$ ). Postoperativ konnten 16 von 20 Kindern in vollem Umfang mit Gleichaltrigen mithalten und nur 4 Kindern verspürten noch gewisse Einschränkungen in manchen Bereichen. Kein Patient war postoperativ vollständig rückständig im Vergleich zu Gleichaltrigen.

Ein weiteres Merkmal der Lebensqualität war die Fähigkeit zur Beteiligung an häuslicher Arbeit und die Fähigkeit, Dinge auf dem Kopf zu tragen. Die häusliche Arbeit betreffend wurde eine fünfstufige Skala von *keiner Mitarbeit* (0) bis hin zu *vollständiger Mitarbeit* (4) mit 3 Abstufungen der *partiellen Mitarbeit* (1-3) erstellt. Präoperativ konnten von 27 Patienten 6 gar nicht (0) bei der Hausarbeit mitwirken, 18 Patienten konnten nur ganz bedingt (1) mitarbeiten, 2 konnten ein wenig mehr (2), während nur ein Patient vollständig in die Hausarbeit miteinbezogen (4) werden konnte. Postoperativ gab es kein Kind mehr, das sich gar nicht an der Hausarbeit beteiligen konnte, nur ein Kind, das sich nur sehr gering einbringen (1) konnte, 5 mit mittlerer Mitarbeit (2), 8 konnten sich fast vollständig beteiligen (3), und 6 Patienten konnten vollständig an der Hausarbeit partizipieren (4). Die Besserung von prä- zu postoperativ war auch hier hoch signifikant ( $p < 0,001$ ,  $n = 20$ ,  $MW_{\text{prä}} = 1,05$ ,  $MW_{\text{post}} = 2,95$ ).

Bei der Fähigkeit Gegenstände auf dem Kopf zu tragen wurde in *nicht möglich* (0), *nur leichte Gegenstände* (1) und *vollständig möglich* (2) unterschieden. Präoperativ war es 17 Patienten völlig unmöglich, Dinge auf dem Kopf zu tragen, 8 konnten nur leichte Dinge tragen, und 2 konnten alles tragen. Bei der postoperativ signifikant veränderten Situation ( $p < 0,001$ ,  $n = 20$ ,  $MW_{\text{prä}} = 0,5$ ,  $MW_{\text{post}} = 1,7$ ) fand sich nun nur ein Kind, das weiterhin keine, 8 nur leichte (1), und 11 uneingeschränkt (2) Gegenstände auf dem Kopf tragen konnten.

Neben diesen, die alltäglichen Fähigkeiten umschreibenden Faktoren, war es von herausragender Bedeutung zur Evaluation der Lebensqualität, ein umfassendes Schmerzbild der Patienten zu erstellen. Es wurde hierzu in Schmerzen nach dem Gehen, Schmerzen in Ruhe, Schmerzqualität und Ausmaß der postoperativen Schmerzreduktion unterschieden.

Bei Schmerzen nach dem Gehen wurde in 5 Kategorien unterschieden: Keine Schmerzen auch *nach langen Märschen*  $>5\text{km}$  (0), Schmerzen *nach langer Distanz*  $<5\text{km}$  (1), *nach kurzer Distanz*  $<500\text{m}$  (2), *nach einigen Metern* (3), und *kontinuierliche Schmerzen auch im Stehen* (4). Präoperativ gab nur ein Kind an, keine Schmerzen auch nach längeren Märschen zu haben, 4 äußerten Schmerzen nach langer Distanz, 13 nach kurzer Distanz, 8

nach einigen Metern und ein Kind beschrieb Schmerzen auch im Stehen. Von den 20 postoperativ befragten Kindern gaben nun 14 an, keine Schmerzen auch nach langen Märschen (0) zu verspüren, die restlichen 6 beschrieben noch Schmerzen, allerdings nach einer langen Distanz (1). Die Unterschiede zwischen prä- und postoperativ waren hoch signifikant ( $p < 0,001$ ,  $n = 20$ ,  $MW_{\text{prä}} = 2,05$ ,  $MW_{\text{post}} = 0,3$ ).

	Skala	präoperativ	postoperativ
<b>tägliche Wegstrecke</b>	in km	0,94	2,9
<b>Gehstock</b>	ja/nein	3 ja/ 24 nein	20 nein
<b>Schnelles Laufen</b>	ja/nein	1 ja / 26 nein	14 ja / 6 nein
<b>Spielen wie Gleichaltrige</b>	ja/nein	2 ja / 25 nein	16 ja / 4 nein
<b>häusliche Arbeit</b>	0 - 4	1,05	2,95
<b>Tragen auf Kopf</b>	0 - 2	0,5	1,7
<b>Schmerzen nach Laufen</b>	0 - 4	2,05	0,3
<b>Schmerzen in Ruhe</b>	0 - 3	1,35	0,1
<b>Schmerzqualität</b>	0 - 4	2,5	0,4
<b>Schmerzreduktion</b>	0 - 3		2,55

**Tabelle 3: Lebensqualitätsparameter**

Auch die spontanen Schmerzen in Ruhe zeigten einen eindeutigen Rückgang durch die Operation. Hierbei wurde in 4 Kategorien von *keinen Schmerzen (0)*, über *leichte Schmerzen (1)* und *starke Schmerzen (2)* hin zu *konstanten Schmerzen (3)* unterschieden. Zeigten sich in Kategorie (0) präoperativ 3 Patienten, in Kategorie (1) 12 Patienten, Kategorie (2) 11 Patienten, und 1 Patient in Kategorie (3), so gaben 18 der 20 postoperativ befragten Patienten an, keine spontanen Schmerzen (0) mehr zu haben. Die restlichen 2 Patienten klagten über leichte Schmerzen (1). Auch hier zeigt sich eine hohe Signifikanz: ( $p < 0,001$ ,  $n = 20$ ,  $MW_{\text{prä}} = 1,35$ ,  $MW_{\text{post}} = 0,1$ ).

Die Schmerzqualität wurde präoperativ von 2 Patienten als *sehr stark (4)*, von 15 Patienten als *stark (3)*, von 8 Patienten als *mittelstark (2)* und von einem Patienten als *leicht (1)* angegeben. Nur ein Patient klagte über *keine Schmerzen (0)*. Mit einer Signifikanz von  $p < 0,001$  ( $n = 20$ ,  $MW_{\text{prä}} = 2,5$ ,  $MW_{\text{post}} = 0,4$ ) änderte sich dieses Bild. So gaben postoperativ 12 Patienten keine Schmerzen (0) und 8 Patienten leichte Schmerzen (1) an.

Die Schmerzreduktion durch die Operation bewerteten postoperativ 11 Patienten als *totale Schmerzreduktion (0)*, 9 Patienten sahen eine *sehr starke Veränderung (1)*. Kein Patient beklagte eine *geringe (2)* oder gar *keine Veränderung (3)* der Schmerzen durch die Operation.



## 3.4 Körperliche-orthopädische Untersuchung

Es konnten insgesamt 15 präoperative und 20 postoperative orthopädische Untersuchungen vorgenommen werden. 8 Kinder konnten sowohl prä- als auch postoperativ untersucht werden und somit 7 nur präoperativ und 12 nur postoperativ.

### 3.4.1 Rumpf und Wirbelsäule

Rotation und Lateralflexion waren bei allen Kindern sowohl prä- als auch postoperativ völlig unauffällig. Bei keinem Kind konnte eine Bewegungseinschränkung festgestellt werden. Der Finger-Boden-Abstand, als Ausdruck der Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule, lag präoperativ im Mittel bei -0.93cm (SD= 2,02; min= -4cm; max= 2cm) und postoperativ bei -0,7cm (SD= 1,3; min= -2cm; max= 2cm). Zwischen den 8 prä- und postoperativ vergleichbaren Ergebnissen ergab sich jedoch keine signifikante Veränderung ( $p= 0,18$ ). Der Vorbeugetest ergab präoperativ bei 10 Patienten einen unauffälligen Befund. Die restlichen 5 Patienten zeigten eine leichte skoliotische Fehlhaltung. Hiervon lagen 4 thorakal und eine lumbal. Von diesen 5 skoliotischen Fehlhaltungen wurden 3 postoperativ untersucht. Unter diesen waren 2 klinisch nicht mehr nachweisbar, nur eine bestand weiter. Unter den restlichen - nur postoperativ gesehenen Patienten - fanden sich 2 weitere Patienten mit einer skoliotischen Fehlhaltung. In allen Fällen waren die skoliotischen Fehlhaltungen jedoch nur leicht ausgeprägt und führten nicht zu einer Bewegungseinschränkung der Wirbelsäule oder chronischen Schmerzzuständen.

### 3.4.2 Hüfte

#### 3.4.2.1 Beckenstellung, Beinlängendifferenz

In 9 von 15 Fällen lag präoperativ ein Beckenschiefstand vor. Der Mittelwert betrug 1,53 cm (SD= 1,76; min= 0, max= 5). Bei den zweizeitig gesehenen Patienten stellte sich heraus, dass nur bei einem Fall der Beckengeradstand im Vergleich von prä- zu postoperativ gleich blieb. In 2 Fällen konnte ein präoperativ bestehender

Beckenschiefstand in einen Geradstand korrigiert werden. In 2 Fällen war eine Reduktion eines massiven Schiefstandes von 4 und 5 cm auf postoperativ 2 cm möglich. In 3 Fällen allerdings entstand durch die closing-wedge-Osteotomie an Femur und Tibia ein Schiefstand von 1,33 cm im Mittel bei präoperativem Geradstand. In der Gesamtheit der postoperativen Untersuchungen war ein Beckenschiefstand bei 15 von 20 Kindern zu finden. Im Mittel betrug dieser 1,05 cm (SD= 0,81; min= 0; max= 2,5). Es fand sich keine Korrelation zwischen dem prä- und postoperativem Beckenschiefstand ( $p= 0,743$ ).

Vergleichbares fand sich bei der Beinlängendifferenz - gemessen von der Spina iliaca anterior superior zum lateralen Malleolus. Lag das Mittel präoperativ hier bei 1,4 cm (SD= 1,85; n= 15; min= 0; max= 5), zeigte sich postoperativ ein Mittelwert von 1,14 (SD= 1,41; n= 20; min= 0; max= 4). In der Gruppe der zweizeitig Untersuchten konnte ebenfalls in 3 Fällen die Beinlängendifferenz reduziert werden, in 4 Fällen entstand durch die Operation eine Beinlängendifferenz von durchschnittlich 1 cm und in einem Fall bestand sowohl vor als auch nach der Operation keine Differenz.

Der Einbeinstand war von 15 präoperativ Untersuchten aufgrund der mechanischen Achsabweichung nur bei 5 Patienten möglich. Hierbei zeigte sich bei einer Patientin ein positives Trendelenburg'sches Zeichen als Anzeichen einer Insuffizienz der pelvitrochantären Muskulatur. In der postoperativen Untersuchung war bis auf ein Bein bei einer Patientin der Einbeinstand bei allen Patienten möglich. Hier zeigte sich kein positives Trendelenburg-Zeichen.

#### 3.4.2.2 **Freiheitsgrade**

Die Freiheitsgrade der Hüftgelenke wurden in 3 Ebenen untersucht. Die Hüftflexion und -extension war bei der Mehrzahl der präoperativ untersuchten Kinder unauffällig ( $MW_{\text{prä}}= 123^\circ$ ; SD=13°; min= 110; max= 140). An 3 der 25 präoperativ untersuchten Beine fielen Beugekontrakturen von 10 und 15° auf. Auch postoperativ änderte sich nichts an diesem Bild ( $MW_{\text{post}}= 124^\circ$ ; SD= 14°; min= 110; max= 140). 2 der 3 präoperativ festgestellten Beugekontrakturen konnten ein Jahr später zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung kontrolliert werden und zeigten eine deutliche Besserung.

Die Hüftabduktion konnte größtenteils als unauffällig bewertet werden. In 6 von 25 präoperativen Fällen allerdings war sie leichtgradig verringert, bei im Referenzbereich

liegendem Mittel von 39° (SD= 14°; min= 20; max= 55). Postoperativ stellte sich die Situation unverändert dar (MW<sub>post</sub>= 39,7°; n= 34; SD= 7°; min= 30; max= 50).

Gleiches gilt für die Hüftadduktion: MW<sub>prä</sub>= 29°; n= 25; SD= 6,7; min= 20; max= 40; MW<sub>post</sub>= 30°; n= 34; SD= 5,4; min= 20; max= 40.

Die Hüftaußen- und Innenrotation allerdings unterlag größeren Schwankungen in Abhängigkeit der dazugehörigen Deformität und ihrer Ausmaße. Anhand der präoperativen Daten fand sich mit hoher Signifikanz ( $p < 0,001$ ,  $n_{\text{valgus}} = 18$ ;  $n_{\text{varus}} = 7$ ) ein Zusammenhang von Genu valgum mit hoher Hüftaußenrotation (MW= 88°; SD= 17°) und von Genu varum mit geringer Hüftaußenrotation (MW= 27°, SD= 12°). Umgekehrtes galt für die Hüftinnenrotation ( $p < 0,001$ ;  $n_{\text{valgus}} = 18$ ;  $n_{\text{varus}} = 7$ ), die in Zusammenhang mit einem Genu valgum verringert war (MW= 26°, SD= 17°) und bei einem Genu varum erhöhte Werte aufwies (MW= 57°, SD= 14°). Diese Signifikanz konnte auch anhand der postoperativen Daten beschrieben werden ( $p_{\text{außen}} < 0,001$ ;  $p_{\text{innen}} < 0,001$ ). Hier lag bei Genu valgum die Hüftaußenrotation im Mittel bei 78° (n= 22; SD= 12°), die Hüftinnenrotation bei 25° (n= 22; SD=10,4°). Bei Genu varum wiederum war die Hüftaußenrotation mit 30° (n= 10; 11,5°) im Mittel verringert, die Hüftinnenrotation mit 60° (n= 10; SD= 21,6°) war erhöht. Im Vergleich der präoperativen zur postoperativen Situation auch der einzeitig untersuchten Patienten ließen sich leichte Besserungen der Rotationsfehlstellung im Hüftgelenk durch die Korrektur der Deformität erkennen.

	MW valgus	n valgus	SD valgus	MW varus	n varus	SD varus
<b>prä Außenrotation</b>	88	18	17	27	7	12
<b>prä Innenrotation</b>	25	18	16	57	7	13
<b>post Außenrotation</b>	78	22	11	30	10	11
<b>post Innenrotation</b>	24	22	10	60	10	21

**Tabelle 4: Hüftrotation bei Genu valgum et varum**

Jedoch zeigte der Vergleich prä- zu postoperativ der zweizeitig untersuchten Kinder sowohl bei der vermehrten Außenrotation bei Genu valgum als auch bei der vermehrten Innenrotation bei Genu varum keine signifikante Besserung hin zu normalisierten Werten. Die Werte blieben bei nun geringerer Streuung annähernd gleich:

	MW prä	SD prä	MW post	SD post	n	p
<b>ARO Valgus</b>	87,5	14,8	81,6	8,3	12	0,253
<b>IRO Valgus</b>	32,5	16,4	26,2	11,1	12	0,257
<b>ARO Varus</b>	40	14,1	40	0	2	1
<b>IRO Varus</b>	55	21,2	55	21,2	2	1

**Tabelle 5: Vergleich der Hüftrotation der zweizeitig untersuchten Patienten**

Die Einschätzung der Veränderung am varischen Bein ist auf Grund geringer Fallzahlen nicht aussagekräftig.

Kein Patient klagte sowohl prä- als auch postoperativ über Schmerzen in der Hüfte bei Bewegung oder in Ruhe.

### 3.4.3 Knie

#### 3.4.3.1 Intermalleolarer / interkondylärer Abstand

Bei ein- und beidseitigem Genu valgum, sowie der wind-swept Deformität wurden die intermalleolaren Abstände gemessen. Bei beidseitigen Genu varum, so wie einseitigem Genu varum mit nicht deformiertem, gegenüberliegendem Bein (kein Genu valgum) wurde der interkondyläre Abstand gemessen.

Der intermalleolare Abstand wurde bei 12 von 15 präoperativ untersuchten Kindern gemessen. Hiervon waren 2 Patienten von einem einseitigen X-Bein betroffen. Der präoperative intermalleolare Abstand betrug hier im Mittel 22,5 cm (14 cm - 31 cm). Bei weiteren 6 Patienten mit beidseitigen Genua valga betrug der Mittelwert 35 cm (24 cm - 63 cm). 4 Patienten mit einer wind-swept Deformität wiesen einen mittleren Abstand von 4,4 cm (3 cm - 11 cm) auf. Der interkondyläre Abstand wurde präoperativ bei 3 Kindern mit einseitigem Genu varum gemessen und lag im Mittel bei 10,3 cm (9 cm - 11 cm).

Postoperativ ergab sich bei 6 von einem einseitigen Genu valgum betroffenen Patienten ein Mittelwert von 3,4 cm (0 cm - 5,5 cm), bei 5 Patienten mit einem doppelten Valgus ein Mittelwert von 5 cm (2,5 cm - 5,5 cm), bei 6 Patienten mit wind-swept Deformität ein Mittelwert von 3 cm (2 cm - 5 cm) und bei einem Patienten mit einer isolierten tibialen Antekurvatur ein Wert von 2,5 cm. Insgesamt wurde bei 18 von 20 postoperativ untersuchten Kindern der intermalleolare Abstand gemessen. Die restlichen 2 Patienten wiesen bei präoperativem beidseitigem Genu varum einen postoperativen interkondylären Abstand von 9 cm auf.

Die Analyse der 8 prä- und postoperativ untersuchten Patienten ergab eine auch statistisch signifikante Besserung des intermalleolaren Abstandes ( $p= 0,001$ ,  $n= 8$ ;  $MW_{prä}= 21,7$ ;  $SD_{prä}= 10,9$ ;  $MW_{post}=4,2$ ;  $SD_{post}=2,4$ ).

	<b>prä</b>	<b>min - max</b>	<b>n</b>	<b>Post</b>	<b>min - max</b>	<b>n</b>
<b>einseitig Valgus</b>	22,5 cm	14 - 31	2	3,4 cm	0 cm - 5,5 cm	6
<b>beidseitiges Valgus</b>	35 cm	24 - 63	6	5 cm	2,5 cm - 5,5 cm	5
<b>wind-swept deformity</b>	4,4 cm	3 cm - 11 cm	4	3 cm	2 cm - 5 cm	6
<b>tibiale Antekurvatur</b>				2,5 cm		1

Tabelle 6: Intermalleolare Abstand

	<b>prä</b>	<b>min - max</b>	<b>n</b>	<b>post</b>	<b>min - max</b>	<b>n</b>
<b>einseitiges Varus</b>	10,3	9 cm - 11 cm	3			
<b>beidseitiges Varus</b>				9 cm	9 cm - 9 cm	2

Tabelle 7: Interkondyläre Abstand

### 3.4.3.2 Palpation, Gelenkserguß

Die Palpation der Bandstrukturen am Kniegelenk und der Menisci war in der Regel sowohl prä- als auch postoperativ unauffällig. Nur ein Patient klagte an einem Bein postoperativ über leichte Beschwerden. Auch der „Tanzende-Patella“-Test als Hinweis auf eine artikuläre Flüssigkeitsansammlung war sowohl vor als auch nach der Operation unauffällig. Nur in einem Fall konnte eine leichte Flüssigkeitsansammlung im Kniegelenk des Patienten ertastet werden. Die Flüssigkeitsansammlung bestand im einjährigen Follow-up nicht mehr.

### 3.4.3.3 Flexion/Extension und Genu recurvatum

Die maximale Knieflexion unterlag keiner Einschränkung durch die Deformität. Der präoperative Mittelwert lag hier bei 133° (n= 25; SD= 9,1; min= 110; max= 140). Auch postoperativ änderte sich diese Situation nicht. So betrug der Mittelwert weiterhin 132° (n= 34; SD= 11,5; min= 105°; max= 145°).

Bei 5 Patienten fand sich allerdings präoperativ ein Streckdefizit im Bereich des Kniegelenkes. Hiervon waren 4 beidseitig betroffen, so dass insgesamt bei 9 Beinen ein Streckdefizit festgestellt werden konnte. Dieses betrug im Mittel 11° (min= 5°; max= 15°). Postoperativ lag bei keinem dieser Patienten weiterhin ein Streckdefizit vor. Allerdings fand sich unter den nur postoperativ untersuchten Patienten ein geringgradiges

Streckdefizit an 6 Beinen mit einem Mittel von  $5,8^\circ$  (min= 5; max= 10). Ein Streckdefizit konnte prä- und postoperativ ausschließlich bei Genua valga festgestellt werden.

Genua vara hingegen waren vermehrt von einer Überstreckbarkeit im Kniegelenk von mehr als  $10^\circ$  - einem Genu recurvatum - begleitet. Bei 8 von insgesamt 25 präoperativ untersuchten Beinen konnte dies festgestellt werden, alle mit einem Genu varum vergesellschaftet. Das Mittel der Hyperextension lag hierbei bei  $17^\circ$  (min=  $12^\circ$ ; max=  $25^\circ$ ). Postoperativ fanden sich 11 von 35 untersuchten Beinen mit einer passiven Überstreckbarkeit mit gleicher Ausprägung (MW=  $17^\circ$ ; min= 15; max= 25). Hiervon standen 8 Beine in Verbindung mit einem Genu varum. Unter den zweizeitig untersuchten Patienten stellte sich heraus, dass sich die Zahl der Genua recurvata exakt entsprach und in den beschriebenen Fällen übereinstimmte.

#### 3.4.3.4 Kapselbandlaxizität

Die Kapselbandlaxizität am Kniegelenk wurde in  $20^\circ$  Beugung geprüft und in 3 Schweregrade unterteilt (0-3). Präoperativ fand sich eine verstärkte Ausprägung der lateralen Aufklappbarkeit beim Genu varum mit einem Mittelwert von 2,3 (n= 7; SD= 0,5). Aber auch beim Genu valgum zeigte sich die Kapselbandlaxizität im Sinne einer medialen Aufklappbarkeit als erhebliche Komponente der Deformität. Hier lag der Mittelwert bei 1,46 (n= 13; SD= 0,66). Bei 5 Beinen mit einer Kombination von Genu valgum mit tibialer Antekurvation zeigte sich eine mittlere Laxizität von 1,4 (n= 5; SD= 0,54). Postoperativ stellte sich die Kapselbandlaxizität weniger ausgeprägt dar. Hier zeigte sich bei 10 Genua vara ein Mittelwert von 1,4 (n= 10; SD= 0,8), bei 19 Genua valga ein Mittel von 0,74 (n= 19; SD= 0,8), bei 3 Patienten mit einer Kombination von Genu valgum und tibialer Antekurvation lag die Laxizität unter allen Patienten bei 1 und ein Patient mit einer isolierten tibialen Antekurvation wies postoperativ keine Laxizität auf. Im Vergleich 14 prä- und postoperativ untersuchter Beine sowohl mit Genu varum als auch mit Genu valgum zeigte sich eine signifikante Besserung der Laxizität nach der Korrektur der Deformität (MWprä= 1,57; SDprä= 0,75; MWpost= 0,86; SDpost= 0,53;  $p < 0,001$ ).

Die Laxizität betraf neben den Seitenbändern und der Kapsel auch das vordere und hintere Kreuzband und wies sich durch ein vermehrtes Spiel des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel im Schubladentest aus. Jedoch zeigte sich sowohl prä- als auch postoperativ

ein harter Anschlag, was als Anzeichen für ein intaktes, unrupturiertes Kreuzband gesehen werden kann.

#### 3.4.3.5 **Patella**

Die Untersuchung des Kniegelenks ergab bei 6 von 25 präoperativ untersuchten Beinen eine Hypermobilität der Patella. Postoperativ konnte diese nur bei 2 von 34 Beinen gefunden werden.

Außerdem wurde der Lauf der Patella in ihrem Gleitlager untersucht. Hierzu wurde zur Differenzierung in *normalem Verlauf (0)*, in Patellalateralisation mit *leichter (1)* und *starker Tendenz (2)* nach seitwärts bei Flexion und in *Luxation (4)* unterschieden. Präoperativ war der Lauf der Patella bei 12 untersuchten Beinen vollständig unauffällig, bei 10 Beinen fand sich eine leichte (1), und bei 2 Beinen eine starke Tendenz (2) nach lateral. An einem Bein war die Patella vollständig luxiert (3). Postoperativ zeigte sich an 32 Beinen ein unauffälliger Befund, an den restlichen 2 Beinen konnte eine leichte Seitwärtstendenz festgestellt werden.

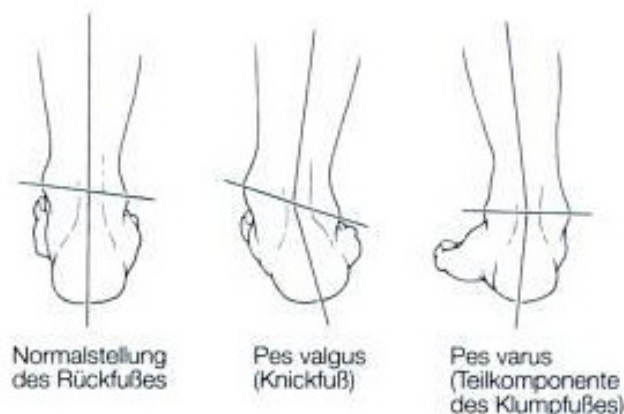
#### 3.4.4 **Fuß**

##### 3.4.4.1 **Kalkaneusachse, Pes adductus**

Die Untersuchung des Fußes ergab in den meisten Fällen eine kompensatorische Fehlstellung der Rückfußachse zur Deformitätenachse. Bei 7 präoperativ untersuchten Genua vara trat eine mittlere Fehlstellung der Kalkaneusachse nach lateral im Sinne eines Rückfußvalgus von  $18,5^\circ$  (SD=  $5,6^\circ$ ; min= 10; max= 25) auf. Auch die übrigen 18 Genua valga wiesen ein von der Norm ( $0-5^\circ$  Valgus-Stellung des Rückfußes) abweichendes Mittel auf. Hier fand sich eine mittlere Abweichung der Kalkaneusachse nach medial im Sinne eines Rückfußvarus von  $31,6^\circ$  (SD=  $12^\circ$ ; min= 10; max= 50).

In der Follow-up-Untersuchung konnte festgestellt werden, dass die Werte sich postoperativen stark der Norm annäherten. So wiesen nur noch 4 Beine eine geringgradige Fehlstellung der Kalkaneusachse nach medial auf (MW=  $5,25^\circ$ ; SD=  $2^\circ$ ; min= 3; max= 7).

An den restlichen 30 Beinen wurde ein mittlerer Winkel von  $7,3^\circ$  ( $SD= 5,2^\circ$ ;  $min= 0$ ;  $max= 20$ ) nach lateral gemessen. Unter den zweizeitig gesehenen Patienten stellte sich diese Veränderung als signifikant heraus ( $p < 0,001$ ;  $n= 14$ ;  $MW_{prä}= 32,9^\circ$ ;  $SD_{prä}=13,3^\circ$ ;  $MW_{post}= 5,1$ ;  $SD_{post}= 1,2$ ).



**Abbildung 20: Rückfußstellung**

Es konnte unter den 25 präoperativ untersuchten Patientenbeinen bei 18 Patienten ein kompensatorischer Sichelfuß (Pes adductus) festgestellt werden. Hierbei waren 3 von 7 varischen Beinen und 15 von 18 valgischen Beinen betroffen. Bei 5 (1 varus/4 valgus) dieser Beine hatte die Deformität auch postoperativ Bestand. Die restlichen 13 Deformitäten waren bei der Nachuntersuchung nach einem Jahr nicht mehr existent. Die Signifikanz der Veränderung zwischen der präoperativen Gruppe und der postoperativen Gruppe konnte in einem t-Test für unabhängige Stichproben (Variablen) mit  $p < 0,001$  ( $MW_{prä}= 0,72$ ;  $MW_{post}= 0,12$   $n_{prä}= 25$ ;  $n_{post}= 34$ ) errechnet werden.

### 3.4.4.2 Plantarflexion / Dorsalextension

Sowohl Dorsalextension als auch Plantarflexion waren präoperativ und postoperativ nicht durch die Deformität eingeschränkt. Es zeigten sich ausschließlich Werte im Normbereich:

	MW	SD	min	max
<b>Dorsalextension prä</b>	15°	7,1°	5°	30°
<b>Dorsalextension post</b>	15,8°	6,9°	5°	30°
<b>Plantarflexion prä</b>	34,8°	9,1°	10°	40°
<b>Plantarflexion post</b>	35,3°	8,9°	10°	40°

**Tabelle 8: Dorsalextension / Plantarflexion**



### 3.5 Obere Extremität

Bei 6 von 27 untersuchten Kindern fand sich eine beidseitige Fehlstellung der oberen Extremität. In allen Fällen entsprang die Fehlstellung des Armes einer varischen Deformation von sowohl Humerus als auch Radius und Ulna. In 3 Fällen ging dies mit einem Streckdefizit von 20° einher.

### 3.6 Achsen und Winkel

Es wurde eine Vielzahl von Achsangulation und anatomischen Winkeln gemessen und ausgewertet. Anhand der Nativbilder konnten Achsangulationen im Stehen und im Liegen sowie die Ein- oder Auswärtsdrehung des Fußes gemessen werden. Diese Aufnahmen wurden an 3 Zeitpunkten der Behandlung aufgenommen: Präoperativ (*präoperativ*), zum Zeitpunkt der 6 bis 10 Wochen nach der Operation erfolgten Gipsabnahme (*postoperativ*) - hier nur liegend Aufnahmen verfügbar - und nach einem mindestens einjährigen Follow-up.

Außerdem wurden alle verfügbaren Röntgenbilder ausgewertet. Hier wurden meist 3 Verlaufsaufnahmen angefertigt: präoperativ, postoperativ (2 Tage nach der Operation) und zum Follow-up (hier: zum Zeitpunkt der Gipsabnahme).

Die 27 Patienten mit 45 operierten Beinen wurden nach ihrer Ausgangsdeformität in der Frontalebene in 2 Gruppen eingeteilt. Unter der Gesamtzahl an operierten Beinen fanden sich 15 Beine mit einem Genu varum und 28 Beine mit einem Genu valgum. Die Genua valga schlossen 5 Beine mit zusätzlicher tibialen Antekurvatur ein. Ein Patient mit 2 operierten Beinen wies eine isolierte tibiale Antekurvatur auf, und war weder der Gruppe der Genua valga noch der Gruppe der Genua vara zugehörig.

### 3.6.1 Analyse anhand der Nativaufnahmen

#### 3.6.1.1 Anatomische Achsangulation des Beines bei Genu valgum und Genu varum

Präoperativ wiesen 28 Genua valga im Stehen eine mittlere Angulation der anatomischen Beinachse von  $52,6^\circ$  (SD=  $13,9^\circ$ ; min=  $32^\circ$  max=  $83^\circ$ ) auf. Unter 15 Genua vara fand sich eine mittlere Angulation von  $41,6^\circ$  (SD=  $11,6^\circ$ ; min=  $24^\circ$ ; max=  $67^\circ$ ). Im Liegen lagen leicht verminderte Werte für Genua valga ( $MW_{\text{Valgus}} = 48,3^\circ$ ;  $SD_{\text{Valgus}} = 15^\circ$ ; min=  $28^\circ$ ; max=  $80^\circ$ ) vor, während Genua vara im Liegen stärker verringerte Werte aufwiesen:  $MW_{\text{Varus}} = 33,6^\circ$ ;  $SD_{\text{Varus}} = 10,1^\circ$ ; min=  $13^\circ$ ; max=  $56^\circ$ .

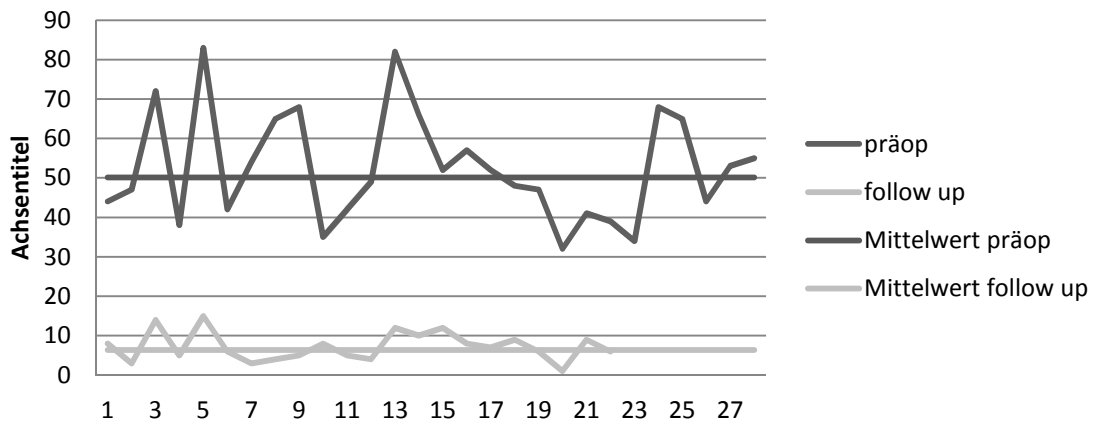


Abbildung 21: Anatomische Achsangulation bei Genu valgum im Stehen



Abbildung 22: Prä- und postoperativer Vergleich bei beidseitigem Genu valgum

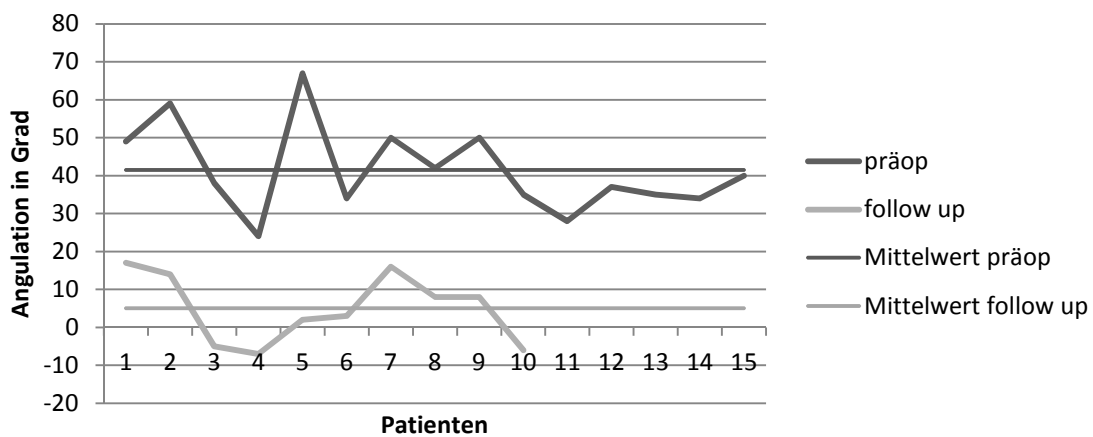


Abbildung 23: Anatomische Achsangulation bei Genu varum im Stehen



Abbildung 24: Prä- und postoperativer Vergleich bei beidseitigem Genu varum im Stehen und Liegen

Zum Zeitpunkt der Gipsabnahme - 6 Wochen postoperativ - wurden nur Liegend-Aufnahmen angefertigt, da bei einigen Patienten ein zweiter Gips angelegt wurde und so eine Vollbelastung noch nicht möglich war. Es zeigte sich zu diesem Zeitpunkt eine mittlere Deformität der 28 Genua valga von  $7,2^\circ$  (SD=  $3,8^\circ$ ; min=  $2^\circ$ ; max=  $19^\circ$ ). Von 15 präoperativen Genua vara wurden 8 Beine in ein leicht valgische Position gebracht, was der physiologischen Norm entspricht. So lag der postoperative Mittelwert aller Beine, bei denen präoperativ ein Genu varum vorlag, im Liegen bei  $0,73^\circ$  (SD=  $4,76^\circ$ ; min=  $-5^\circ$  (Valgus); max=  $10^\circ$ ). Unter den 7 Patienten, die auch nach der Operation ein residuelles Genu varum aufwiesen, betrug der Mittelwert  $5,1^\circ$ .

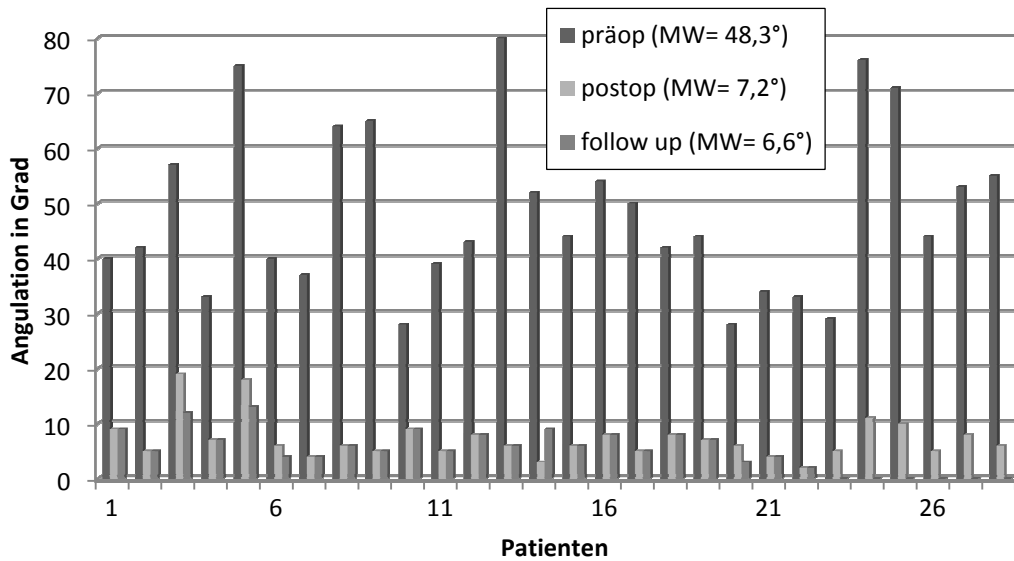


Abbildung 25: Anatomische Achsangulation bei Genu valgum im Liegen

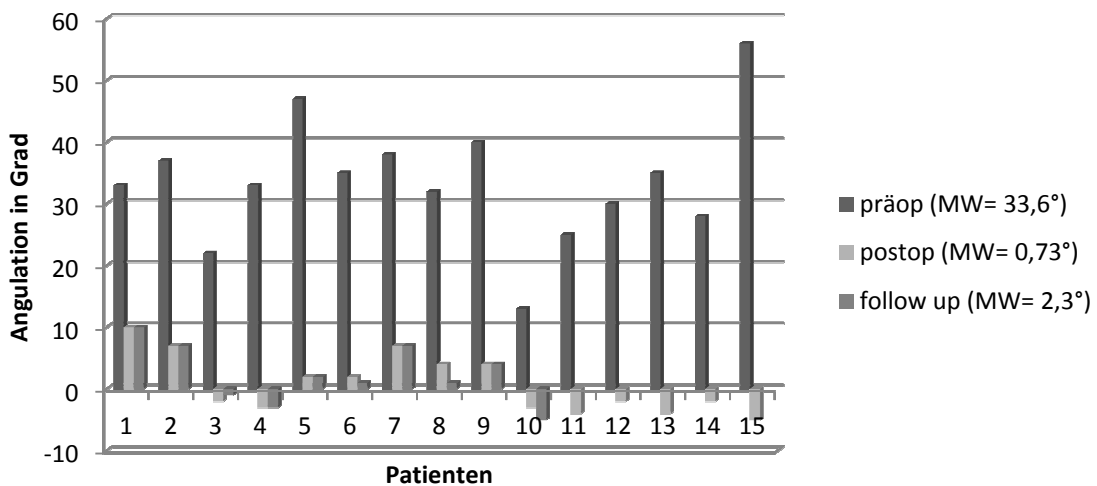


Abbildung 26: Anatomische Achsangulation bei Genu varum im Liegen

Im einjährigen Follow-up wurden die Aufnahmen sowohl im Stehen als auch im Liegen getätigt. Es liegen Ergebnisse von 20 Patienten mit 34 operierten Beinen (22 Genu valgum; 10 Genu varum) vor. Die im Oktober 2009 operierten Kinder konnten für diese Zusammenstellung nicht nachuntersucht werden. Bei den im Stehen aufgenommenen Nativbildern zeigte sich bei 22 Genua valga eine mittlere Angulation von 7,3° (SD= 3,7°; min= 1°; max= 15°). Von 10 ursprünglichen Genua vara wurden 3 in eine leicht valgische

Stellung gebracht. Die Mittelwert aller ursprünglich varischen Beine lag bei 5° (SD= 9°; min= -7°; max= 17°). Unter den 6 Patienten, die auch nach der Operation ein Genu varum aufwiesen, lag die postoperative mittlere Angulation bei 11° (SD= 5,5°; min= 3°; max= 17). Die Auswertung der im Liegen getätigten Nativbilder zeigt auch hier eine schwächere Verringerung der Deformität bei Genu valgum (MW<sub>Valgus</sub>= 6,59°; SD<sub>Valgus</sub>= 2,75°; min= 2°; max= 13°) und eine stärkere Verringerung bei Genu varum (MW<sub>Varus</sub>= 2,3°; SD<sub>Varus</sub>= 4,74°; min= -5°; max= 10°).

Der Vergleich der Angulationsdeformitäten zwischen der präoperativen Situation und sowohl der postoperativen als auch der Situation beim Follow-up erwies sich als statistisch signifikante Veränderung (p< 0,001). Dies gilt sowohl für die im Stehen als auch für die im Liegen getätigten Aufnahmen. Vergleicht man unter den Liegendaufnahmen die postoperative mit der Follow-up Situation, ergibt sich keine relevante Signifikanz (p= 0,107).

	MW	n	SD	min	max
<b>Genu valgum präop</b>	52,6°	28	13,9°	32°	83°
<b>Genu valgum Follow-up</b>	7,3°	22	3,7°	1°	15°
<b>Genu varum präop</b>	41,6°	15	11,6°	24°	67°
<b>Genu varum Follow-up</b>	5°	10	9°	-7°	17°

**Tabelle 9: Anatomische Achsangulation im Stehen**

	MW	n	SD	min	max
<b>Genu valgum präop</b>	48,3°	28	15°	28°	80°
<b>Genu valgum postop</b>	7,2°	28	3,8°	2°	19°
<b>Genu valgum Follow-up</b>	6,59°	22	2,75°	2°	13°
<b>Genu varum präop</b>	33,6°	15	10,1°	13°	56°
<b>Genu varum postop</b>	0,73°	15	4,76°	-5°	10°
<b>Genu varum Follow-up</b>	2,3°	10	4,74°	-5°	10°

**Tabelle 10: Anatomische Achsangulation im Liegen**

### 3.6.1.2 Angulation bei tibialer Antekurvation

Betrachtet man die Nativaufnahmen der 7 Patienten mit tibialer Antekurvation, so lässt sich präoperativ eine Angulation von  $59,2^\circ$  (SD=  $18^\circ$ ; min=  $40^\circ$ ; max=  $79^\circ$ ) im Mittel finden. Diese Deformität konnte auf durchschnittlich  $4,9^\circ$  (SD=  $2^\circ$ ; min=  $3^\circ$ ; max=  $9^\circ$ ) zum Zeitpunkt des einjährigen Follow-ups gesenkt werden. Bei einer Patientin, die bisher noch nicht nachuntersucht werden konnte, wurden Bilder vom Gipswechsel zur Evaluierung der Deformitätenrückgangs herangezogen.

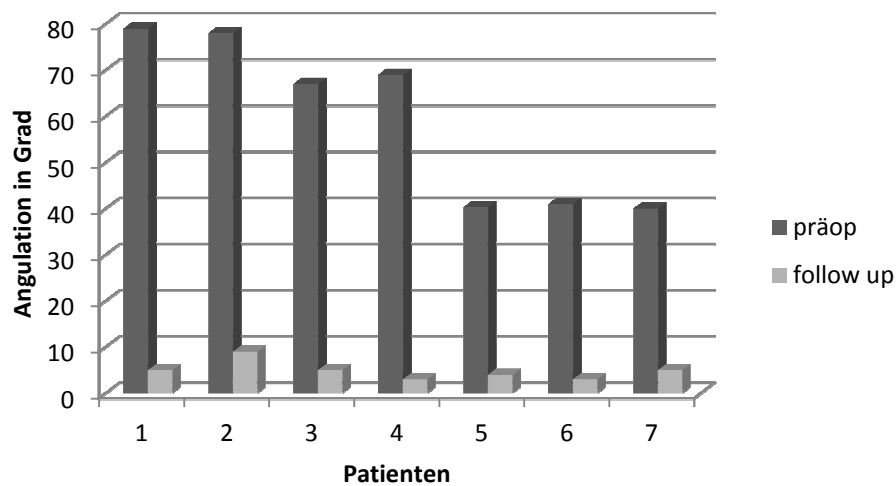


Abbildung 27: Tibiale Antekurvation (Nativaufnahmen)



Abbildung 28: Patientin mit tibialer Antekurvation prä- und postoperativ

### 3.6.1.3 Aus- und Einwärtsdrehung des Fußes

Anhand der präoperativen Nativbilder und denen der Nachuntersuchung konnte die Ein- und Auswärtsdrehung des Fußes gemessen werden. Die Bilder wurden im Stand mit einer streng nach frontal ausgerichteter Kniescheibe aufgenommen und beschreiben somit die Neutralposition des Beines in seiner Deformität. Bei den Patienten, die im Oktober 2009 operiert wurden, und bei denen, die noch nicht nachuntersucht wurden, wurden die Bilder im Rahmen des Castwechsels verwendet.

Die Drehung des Fußes, sei es einwärts oder auswärts gerichtet, betrug bei allen 45 operierten Beinen präoperativ  $30,1^\circ$  im Mittel ( $SD= 17,1^\circ$ ;  $min= 5^\circ$ ;  $max= 85^\circ$ ).

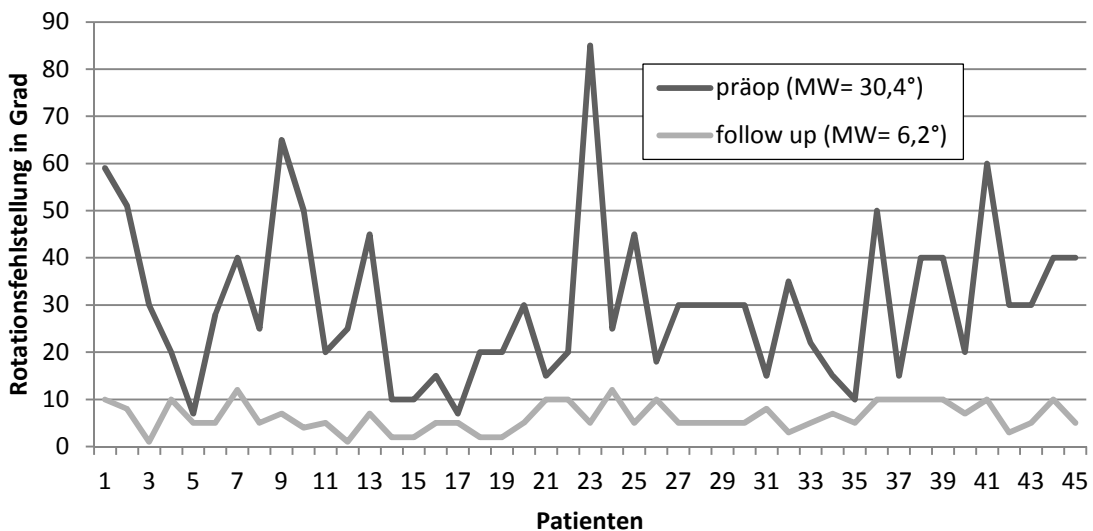


Abbildung 29: Rotationsfehlstellung prä- und postoperativ

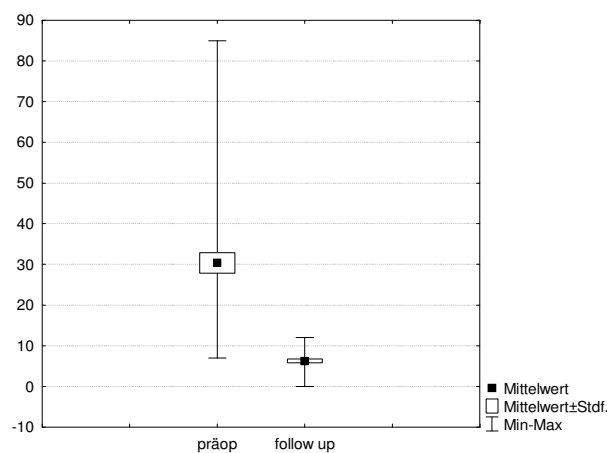


Abbildung 30: Box-Plot für Rotationsfehlstellungen des Fußes



**Abbildung 31: Prä- und postoperativer Vergleich der Rotationsfehlstellungen bei Genu valgum und Genu varum**

14 von 15 (93%) varischen Beinen waren von einer verstärkten Innenrotation des Fußes betroffen, während sich bei 28 X-Beinen 11 (39%) innenrotierte Füße fanden. Die Gesamtheit aller Beine mit Genu varum wiesen eine mittlere Rotationsdeformität von  $37,5^\circ$  (SD=  $16,9^\circ$ ; min=  $10^\circ$ ; max=  $60^\circ$ ) auf. Ein Patient mit einer isolierten tibialen Antekurvatur ohne Deformität in der Frontalebene wies präoperativ an einem Bein eine leicht erhöhte Außenrotationsfehlstellung von  $15^\circ$  auf, bei im Normbereich liegender Gegenseite ( $7^\circ$ ).

Bei der Gesamtheit der Genua valga lag die Außenrotationsfehlstellung bei  $27,9^\circ$  (SD=  $15,8^\circ$ ; min=  $7^\circ$ ; max=  $85^\circ$ ). Betrachtet man die Gesamtheit aller innenrotierten und außenrotierten Beine, so fällt auf, dass die Deformitäten im Mittel gleich stark ausgeprägt waren.

$MW_{IRO} = 30,4^\circ$ ;  $SD_{IRO} = 15,8^\circ$ ; min=  $7^\circ$ ; max=  $60^\circ$ ; n= 25

$MW_{ARO} = 30,35$ ;  $SD_{ARO} = 18,5$ ; min=  $7^\circ$ ; max=  $85^\circ$ ; n= 20

Im Follow-up konnten keine Innenrotationsfehlstellungen sowohl bei Genua vara als auch bei Genua valga mehr gefunden werden. Alle 45 operierten Beine wiesen hier eine mittlere Außenrotation von  $6,24^\circ$  (SD=  $3,1^\circ$ ; min=  $0^\circ$ ; max=  $12^\circ$ ) auf. Der Vergleich zur präoperativen Situation ergab eine statistisch signifikante Verbesserung ( $p < 0,001$ ). Es konnte zusätzlich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Genua valga und Genua vara zum Zeitpunkt des Follow-ups gefunden werden.



( $p=0,446$ ;  $MW_{\text{Valgus}}=6,5^\circ$ ;  $n_{\text{Valgus}}=28$ ;  $SD_{\text{Valgus}}=3,07^\circ$ ;  $MW_{\text{Varus}}=5,73^\circ$ ;  $n_{\text{Varus}}=15$ ;  $SD_{\text{Varus}}=3,3^\circ$ )

### 3.6.2 Analyse anhand der Röntgenbilder

	Normbereich	präop MW	n	SD	postop MW	n	SD
<b>Frontalebene</b>							
tib CORA	0°	19,9°	16	11,2°	4,5°	16	2,5°
fem CORA	0°	35,4°	5	12,5°	15,75°	8	7,4
TFA valgus	4° - 7°	39,4°	28	12,3°	4,8°	28	2,2°
TFA varus - postop varus	(-4°) - (-7°)	31,2°	14	11,8°	5,8°	5	3,3
TFA varus - postop valgus	4° - 7°				3,3°	10	2,3°
L DFA valgus	79° - 83°	59,9°	26	10°	86°	28	4,2°
L DFA varus	79° - 83°	112°	8	9,2°	92°	8	9,5°
MPTA valgus	85° - 90°	117°	2	4,2°	87,5°	2	4,9°
MPTA varus	85° - 90°	64°	9	16,3°	85,3°	9	10°
<b>Sagittalebene</b>							
tib CORA	0°	79,3°	7	15,8°	7,3°	7	3,5°
fem CORA	0°	22°	30	16,6°	10,8°	38	11,1°
P DFA valgus	79° - 87°	68°	17	10,7°	79°	21	5,9°
P DFA varus	79° - 87°	65,7°	10	17°	77,9°	12	5,1°
mPPTA	81° - 86°	50°	7	5,5°	78,6°	7	3,6°
mADTA	79° - 82°	123°	7	14,3°	87,4°	7	2,6°

Tabelle 11: Die wichtigsten Beinwinkel auf einen Blick

#### 3.6.2.1 Tibiale und femorale CORAs in der Frontalebene

Bei 41 von 45 operierten Beinen konnte präoperativ eine Abweichung der anatomischen und mechanischen Beinachse der Tibia in der Frontalebene und somit auch ein CORA (Centre of Rotation and Angulation) festgestellt werden. Allerdings wurden nur 16 dieser Angulationen als korrekturbedürftig eingestuft und mit einer proximalen Tibia- und Fibulaosteotomie korrigiert. 9 dieser Angulationen verliefen varisch, die restlichen 7 valgisch, wovon wiederum 5 Beine in Kombination mit der tibialen Antekurvatur korrigiert wurden. In allen Fällen war die Richtung der tibialen Angulation deckungsgleich

mit der Deformität des gesamten Beines. Die tibiale Achsabweichung lag im Mittel bei  $19,9^\circ$  (SD=  $11,2^\circ$ ; min=  $7^\circ$ ; max=  $44^\circ$ ) und konnte im postoperativen Röntgenbild auf  $4,5^\circ$  im Mittel reduziert werden (SD=  $2,5^\circ$ ; min=  $1,5^\circ$ ; max=  $9^\circ$ ). Die Veränderung war statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ).

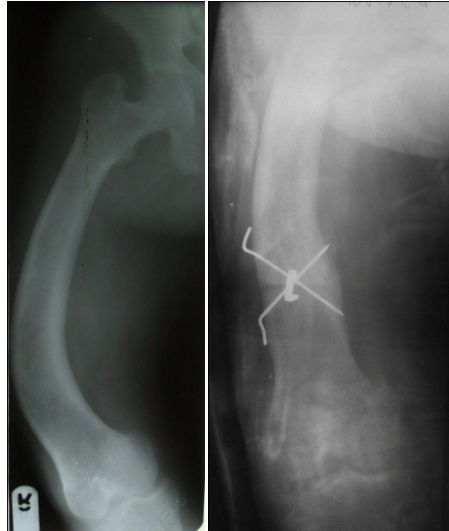


**Abbildung 32: Prä- und postoperativer Vergleich des tibialen CORAs bei Genu valgum**

Zum Zeitpunkt der Gipsabnahme lagen von 12 Patienten Röntgenbilder vor. Im Vergleich zu der direkt postoperativen Situation ließ sich kein statistisch signifikanter Unterschied, im Sinne einer Verschlechterung z.B. bedingt durch eine insuffiziente Osteosynthese – erkennen ( $p = 1,000$ ;  $n = 12$ ;  $MW_{\text{postop}} = 4,9^\circ$ ;  $SD = 2,6^\circ$ ;  $MW_{\text{Follow-up}} = 4,9^\circ$ ;  $SD = 2,87^\circ$ ).

Betrachtet man die femoralen Angulationen, so kann auf Grund der vorhandenen Röntgenbilder nur eine Beurteilung der Veränderung der varischen CORAs getroffen werden. Die valgischen CORAs lagen allesamt im metaphysären Bereich des distalen Femurs. Um hier einen CORA bestimmen zu können, müsste eine Ganzbeinaufnahme vorliegen, damit die mechanische Achse der Tibia über den Kniegelenksspalt in den metaphysären, femoralen Knochenabschnitt verlängert werden kann. Da diese Aufnahmen nicht vorlagen, muss auf eine Darstellung der Veränderung der valgischen CORAs am Femur verzichtet werden. Hier kann jedoch auf die Entwicklung des LDFAs (siehe Kapitel 3.6.2.4) verwiesen werden, da dieser einen metaphysären CORA miteinschließt.

Präoperativ ließen sich auf Grund mangelnder Qualität der Bilder nur 5 von 8 femoralen Aufnahmen auswerten. Es fand sich eine mittlere Angulation der Femurdiaphyse von  $35,4^\circ$  ( $n= 5$ ;  $SD= 12,5^\circ$ ;  $min= 19^\circ$ ;  $max= 48^\circ$ ). Die postoperative Situation stellte sich mit einem Mittelwert von  $15,75^\circ$  ( $n= 8$ ;  $SD= 7,4^\circ$ ;  $min= 5^\circ$ ;  $max= 25^\circ$ ) dar und zum Zeitpunkt der Gipsabnahme fanden sich im Mittel  $16,4^\circ$  ( $n= 5$ ;  $SD= 7,98^\circ$ ;  $min= 5^\circ$ ;  $max= 25^\circ$ ). Die Veränderung von prä- zu postoperativ war statistisch signifikant ( $p= 0,004$ ), von postoperativ zum Follow-up fand sich keine Signifikanz ( $p= 0,887$ ).



**Abbildung 33: Femoraler CORA bei hochgradigem Genu varum**

### 3.6.2.2 Tibiale und femorale CORAs in der Sagittalebene

Die tibiale Antekurvation war bei 7 von 45 Beinen die Hauptdeformität. Bei 5 dieser Fälle lag eine Kombination mit einem klinisch gemessenem Genu valgum von durchschnittlich  $52,8^\circ$  ( $SD= 3^\circ$ ;  $min= 50^\circ$ ;  $max= 55^\circ$ ) vor. Die mittlere präoperative tibiale Antekurvation dieser 7 Patientenbeine betrug  $79,3^\circ$  Angulation ( $SD= 15,8^\circ$ ;  $min= 53^\circ$ ;  $max= 98^\circ$ ). Postoperativ konnte dies auf durchschnittliche  $7,3^\circ$  ( $SD= 3,5^\circ$ ;  $min= 1,5^\circ$ ;  $max= 13^\circ$ ) gesenkt werden. Zum Zeitpunkt der Gipsabnahme lag die mittlere Restangulation bei  $10^\circ$  ( $SD= 6,3^\circ$ ;  $min= 3^\circ$ ;  $max= 19^\circ$ ). Zu letzterem Zeitpunkt lagen allerdings nur 5 Aufnahmen vor. Auf die Bilder der Patientin, die im Oktober 2009 operiert wurde, konnte zum bisherigen Zeitpunkt noch nicht zugegriffen werden.

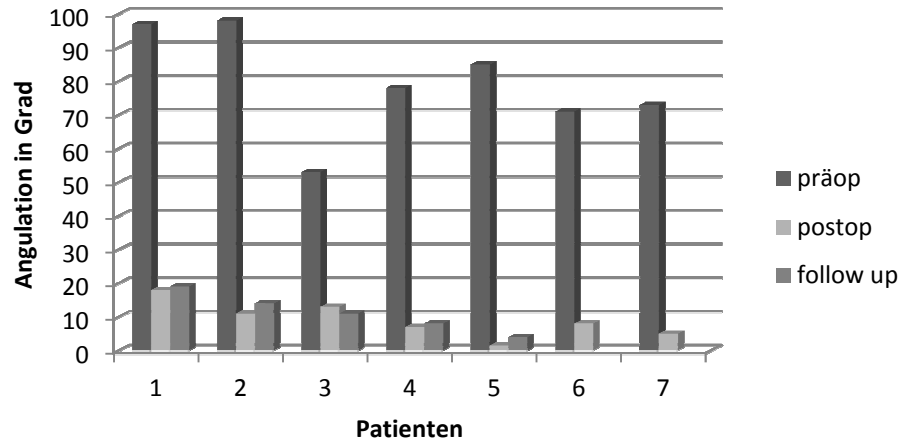


Abbildung 34: Tibiale Antekurvation (Röntgen)

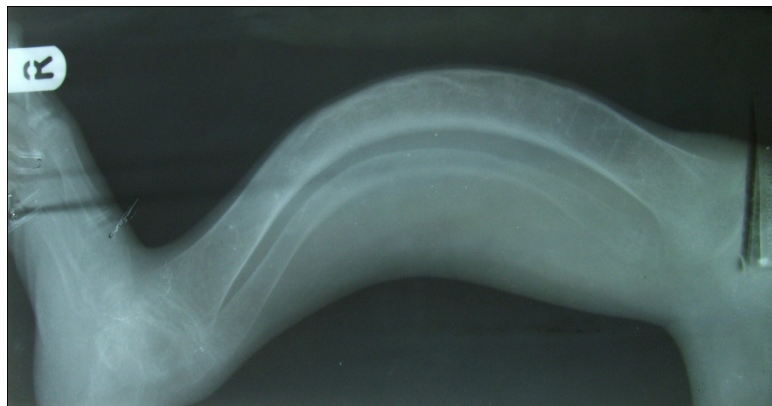


Abbildung 35: Tibiale Antekurvation präoperativ



Abbildung 36: Tibiale Antekurvation postoperativ

Die femorale Antekurvation konnte bei 25 Patientenbeinen sowohl prä- als auch postoperativ anhand der Röntgenbilder ermittelt und somit verglichen werden. Präoperativ zeigte sich eine mittlere Angulation von  $23^\circ$  (SD= 17), die als pathologisch vergrößert anzusehen ist. Postoperativ konnte diese auf  $12^\circ$  (SD= 13) verringert werden. Die Veränderung stellte sich als signifikant heraus ( $p < 0,001$ ). Hinsichtlich der Ausprägung der

femorale Antekurvatur bei Genu valgum oder Genu varum fanden sich sowohl prä- als auch postoperativ geringe Unterschiede, die jedoch keine Signifikanz aufwiesen:

Präop:  $MW_{\text{valgus}} = 22^\circ$ ,  $n_{\text{valgus}} = 16$ ,  $SD_{\text{valgus}} = 17$ ;  $MW_{\text{varus}} = 26^\circ$ ,  $n_{\text{varus}} = 9$ ,  $SD_{\text{varus}} = 17$ ;

$p = 0,495$

Postop:  $MW_{\text{valgus}} = 12^\circ$ ,  $n_{\text{valgus}} = 16$ ,  $SD_{\text{valgus}} = 13$ ;  $MW_{\text{varus}} = 17^\circ$ ,  $n_{\text{varus}} = 9$ ,  $SD_{\text{varus}} = 15$ ;

$p = 0,396$

### 3.6.2.3 Anatomischer Tibio-Femoraler Winkel (TFA)

Neben den Nativbildern wurden auch die aufgenommenen Röntgenbilder auf ihre anatomische Achsangulation am Kniegelenk - den tibio-femorale Winkel (TFA) - hin ausgewertet. Unter physiologischen Bedingungen stehen die anatomische Achse des Femurs und die anatomische Achse der Tibia in einem valgischen Winkel zwischen  $4^\circ$  bis  $7^\circ$  bei Männern und auf Grund des breiteren Beckens  $5^\circ$  bis  $8^\circ$  bei Frauen zueinander. Werte unterhalb dieses Referenzbereiches können als pathologisches Varus und Werte oberhalb als pathologisches Valgus gewertet werden.

Unter 28 auswertbaren Röntgenbildern mit Genu valgum fand sich ein mittlerer TFA von  $39,4^\circ$  ( $SD = 12,3^\circ$ ;  $\text{min} = 23^\circ$ ;  $\text{max} = 73^\circ$ ). 14 auswertbare präoperative Röntgenbilder mit Genu varum wiesen einen mittleren TFA von  $31,2^\circ$  ( $SD = 11,8^\circ$ ;  $\text{min} = 14^\circ$ ;  $\text{max} = 51^\circ$ ) auf.

Postoperativ konnten die 28 valgischen Beine auf eine mittlere Angulation des TFAs von  $4,8^\circ$  ( $SD = 2,2^\circ$ ;  $\text{min} = 2^\circ$ ;  $\text{max} = 10^\circ$ ) korrigiert werden. 10 der ursprünglich 15 Beine mit Genu varum konnten auf den Röntgenaufnahmen in eine valgische Beinachse versetzt werden. Hier betrug das postoperative Mittel  $3,3^\circ$  ( $SD = 2,3^\circ$ ;  $\text{min} = 1^\circ$ ;  $\text{max} = 7^\circ$ ). Die restlichen 5 Beine wiesen auch postoperativ ein Genu varum auf. Dieses lag im Mittel bei  $5,8^\circ$  ( $SD = 3,3^\circ$ ;  $\text{min} = 1^\circ$ ;  $\text{max} = 9^\circ$ ).

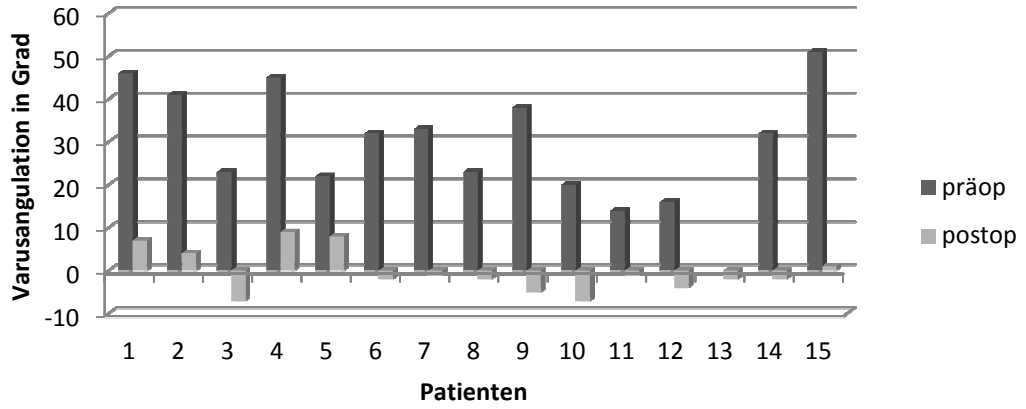


Abbildung 37: TFA bei Genu varum (Röntgen)



Abbildung 38: TFA bei Genu varum prä- und postoperativ

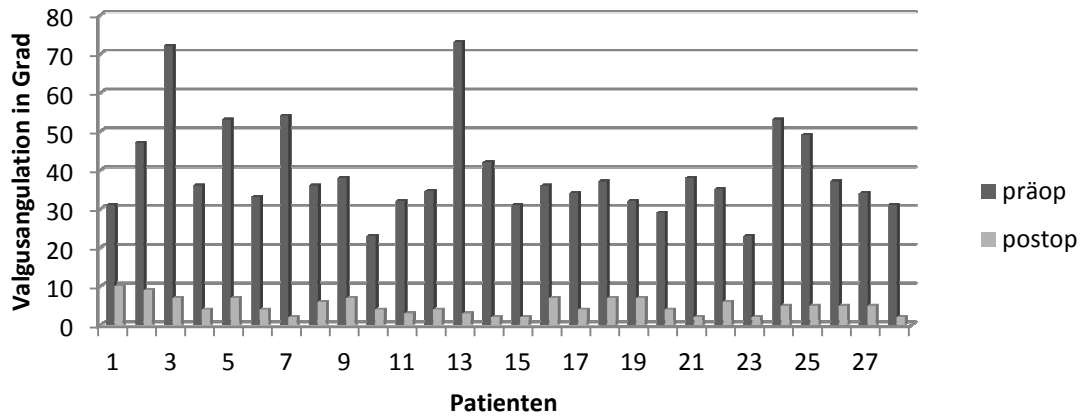


Abbildung 39: TFA bei Genu valgum (Röntgen)



Abbildung 40: TFA bei Genu valgum prä- und postoperativ

Zum Zeitpunkt der Gipsabnahme konnten keine signifikanten Unterschiede zu den postoperativen Ergebnissen gefunden werden ( $p=0,309$ ).

### 3.6.2.4 LDFA bei Genu valgum und varum

Der laterale distale Femur Winkel (LDFA) kann eine Aussage über die kniegelenksnahe Fehlstellung des Femurs sowohl beim Genu valgum als auch beim Genu varum machen. Sein anatomischer Normwert liegt im Bereich von  $79^\circ$  bis  $83^\circ$ . Eine Verringerung des LDFA unter  $79^\circ$  spricht für eine valgische Abweichung der anatomischen Achse des Femurs, eine Erhöhung über  $83^\circ$  für eine varische Abweichung. Bei allen 26 valgischen Beinen, bei denen ein LDFA gemessen werden konnte, zeigte sich eine deutliche Abweichung von der Norm. Der Mittelwert lag hier bei  $59,9^\circ$  (SD=  $10^\circ$ ; min=  $38^\circ$ ; max=  $72^\circ$ ). Dies entspricht einer Abweichung von der unteren Normgrenze ( $79^\circ$ ) von durchschnittlich  $19,1^\circ$  (SD=  $10^\circ$ ; min=  $7^\circ$ ; max=  $41^\circ$ ). Betrachtet man die postoperative Situation bei 28 auswertbaren Röntgenbildern mit einer ursprünglich valgischen Deformität, so zeigte sich ein mittlerer LDFA von  $86,7^\circ$  (SD=  $4,2^\circ$ ; min=  $80^\circ$ ; max=  $102^\circ$ ) und deutete einen eher varischen Zustand des distalen Femurs an. Dies entspricht einer mittleren Abweichung von  $-7,4^\circ$  (SD=  $4,2^\circ$ ; min=  $0^\circ$ ; max=  $-23^\circ$ ) zu der unteren Normbereichsgrenze von  $79^\circ$ . Nimmt man den oberen Wert des Normbereichs als Referenz, so liegt die mittlere Abweichung zu diesem bei den postoperativen Genua valga bei  $-3,4^\circ$ . Zum Zeitpunkt der Gipsabnahme zeigte sich bei 23 auswertbaren Röntgenbildern ein mittlerer LDFA von  $86^\circ$  (2,9°; min=  $78^\circ$ ; max=  $100^\circ$ ) mit einer mittleren Abweichung zum unteren Normwert von  $-7^\circ$  (SD=  $2,9^\circ$ ; min=  $1^\circ$ ; max=  $-21^\circ$ ). Nimmt man hier wiederum den oberen Wert des Normbereichs als Referenz, ergibt sich eine Abweichung von  $-3^\circ$ .

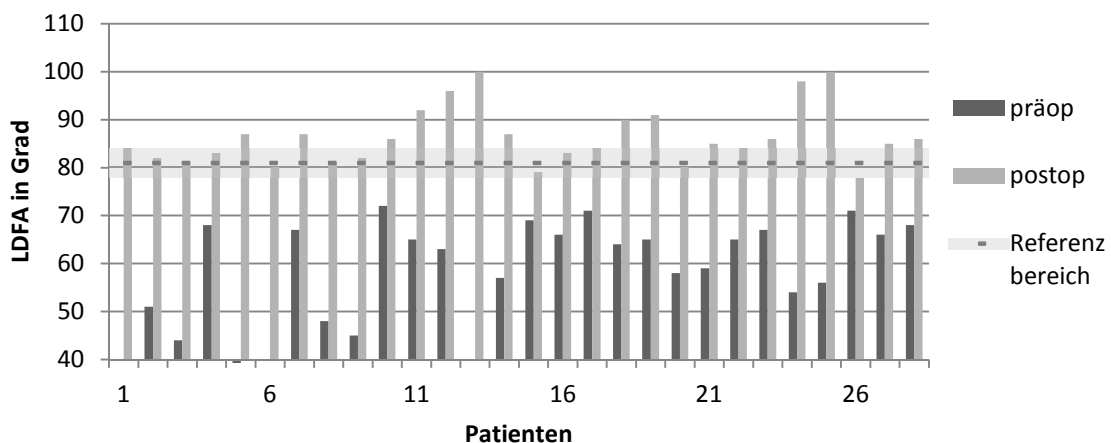


Abbildung 41: LDFA bei Genu valgum



Der LDFA bei den Genua vara zeigte eine unterschiedlich starke Abweichung vom Normbereich. 7 der 15 insgesamt operierten Genua vara wiesen nur eine geringgradige Abweichung von  $6^\circ$  oder weniger in Bezug zum oberen Normwert ( $83^\circ$ ) auf. Bei einem Patienten lag der präoperative LDFA sogar im Referenzbereich. Dies ist auf die unterschiedlichen möglichen Zentren der Deformität bei Genu varum zurückzuführen. Während bei allen Genua valga ein CORA im metaphysären Bereich des distalen Femurs vorlag, fanden sich unter den Genua vara 8 Patienten mit einem CORA im diaphysären Bereich des Femur und 7 Patienten mit einem CORA in der proximalen Tibia. Bei Letzteren wurde keine Korrekturosteotomie am Femur vorgenommen, weshalb hier der LDFA nur wenig über die Korrektur der Deformität aussagen kann. Vielmehr ist der im Weiteren besprochene MPTA bei diesen Fällen von besonderer Bedeutung. Diese 7 Patienten wiesen präoperativ einen mittleren LDFA von  $86^\circ$  (SD=  $1,9^\circ$ ; min=  $83^\circ$ ; max=  $89^\circ$ ) auf, der auch dem postoperativen Ergebnis mit einer Variation von  $0,5^\circ$  entspricht. Bei den restlichen 8 Patienten mit einem Zentrum der Deformität im diaphysären Femur zeigte sich hingegen eine deutliche Abweichung zum Normbereich bei allen Patienten. Der mittlere präoperative LDFA betrug hier  $112^\circ$  (SD=  $9,2^\circ$ ; min=  $100^\circ$ ; max=  $130^\circ$ ). Dies entspricht einem mittleren Abstand zum oberen Normwert von  $29^\circ$  (SD=  $9,2^\circ$ ; min=  $17^\circ$ ; max=  $47^\circ$ ). Postoperativ betrug der korrigierte laterale distale Femurwinkel im Mittel  $92^\circ$  (SD=  $9,5^\circ$ ; min=  $79^\circ$ ; max=  $105^\circ$ ). Die mittlere Normwertabweichung lag somit bei  $9^\circ$  (SD=  $9,5^\circ$ ; min=  $0^\circ$ ; max=  $22^\circ$ ). An 2 Beinen konnte der LDFA in den Normbereich unter  $83^\circ$  korrigiert werden. Zum Zeitpunkt der Gipsabnahme konnten wie bei den Genua valga keine Unterschiede festgestellt werden. Die Werte blieben konstant.

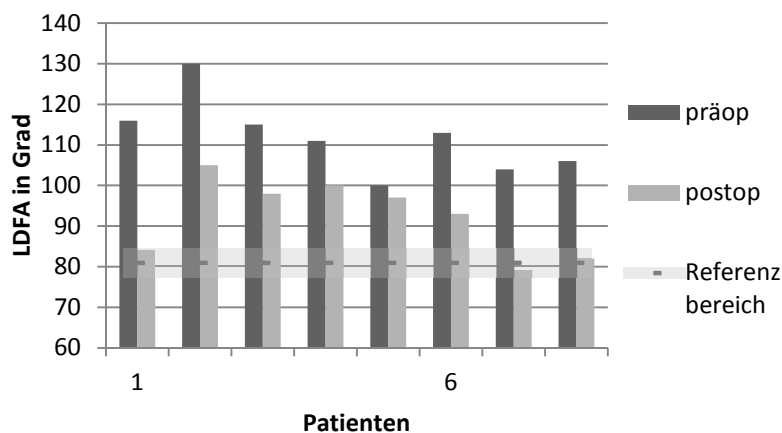


Abbildung 42: LDFA bei Genu varum

### 3.6.2.5 MPTA bei Genu valgum und varum

Der mediale proximale Tibia Winkel (MPTA) kann zur Einschätzung einer Tibiadeformation herangezogen werden. Sein Normbereich liegt zwischen  $85^{\circ}$  -  $90^{\circ}$ . Ein Winkel unter  $85^{\circ}$  indiziert ein Genu varum, das aus einem CORA in der proximalen Tibia resultiert, ein Winkel über  $90^{\circ}$  steht für ein aus der proximalen Tibia resultierendes Genu valgum.

Betrachtet man die Gesamtheit aller valgischen und varischen Beine, so fällt auf, dass zwar beide Deformitäten im Mittel annähernd gleiche Abweichung zum Normbereich aufzeigen, jedoch Genu vara eine weitaus höhere Streuung aufweisen und somit stärkere Deformitäten an der proximalen Tibia zeigen können als Genu valgum. So liegt der Mittelwert des valgischen MPTA bei  $101^{\circ}$  ( $n= 27$ ;  $SD= 9,1^{\circ}$ ;  $min= 82^{\circ}$ ;  $max= 120^{\circ}$ ), der des varischen MPTA bei  $74,8^{\circ}$  ( $n= 15$ ;  $SD= 18,8^{\circ}$ ;  $min= 31^{\circ}$ ;  $max= 102^{\circ}$ ). Postoperativ lag bei der Gesamtheit aller 28 Genu valgum ein Mittelwert von  $94^{\circ}$  ( $n= 28$ ;  $SD= 8,1^{\circ}$ ;  $min= 84^{\circ}$ ;  $max= 115^{\circ}$ ) vor. Auch die Gesamtheit der Genu vara zeigte eine ähnliche Verbesserung. So lag der postoperative Mittelwert im Normbereich bei  $87^{\circ}$  ( $n= 15$ ;  $SD= 9,3^{\circ}$ ;  $min= 68^{\circ}$ ;  $max= 101^{\circ}$ ). Zum Zeitpunkt des Follow-ups zeigte sich noch einmal eine geringgradige Verbesserung:

Valgus: MW=  $92^{\circ}$ ;  $n= 24$ ;  $SD= 6,3^{\circ}$ ;  $min= 83^{\circ}$ ;  $max= 113^{\circ}$

Varus: MW=  $89^{\circ}$ ;  $n= 10$ ;  $SD= 9,2^{\circ}$ ;  $min= 72^{\circ}$ ;  $max= 101^{\circ}$

An 11 Beinen wurde ein Angulationszentrum in der proximalen Tibia als korrekturbedürftig eingestuft und mit einer Osteotomie versorgt. Hiervon waren 9 Beine mit einem Genu varum vergesellschaftet und 2 Beine im valgischen Sinn deformiert. Letztere wiesen präoperativ mit einem mittleren MPTA von  $117^{\circ}$  ( $n= 2$ ;  $SD= 4,2^{\circ}$ ;  $min= 114^{\circ}$ ;  $max= 120^{\circ}$ ) eine mittlere Abweichung zum oberen Normwert von  $27^{\circ}$  auf. Dies konnte auf einen postoperativen Wert von durchschnittlich  $87,5^{\circ}$  ( $n= 2$ ;  $SD= 4,9^{\circ}$ ;  $min= 84^{\circ}$ ;  $max= 91^{\circ}$ ) korrigiert werden. Es zeigten sich keine Veränderungen zum Zeitpunkt der Gipsabnahme.

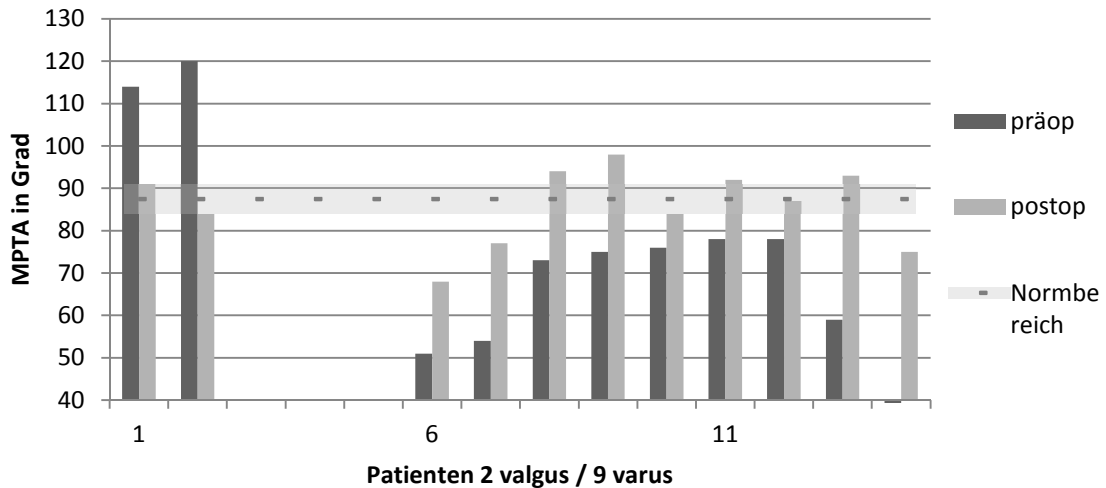


Abbildung 43: MPTA bei Genu valgum et varum

Die 9 korrekturbedürftigen, varisch deformierten Beine wiesen präoperativ einen Mittelwert von  $64^\circ$  (SD=  $16,3^\circ$ ; min=  $31^\circ$ ; max=  $78^\circ$ ) auf. Dies entspricht einer mittleren Abweichung zum unteren Normwert von  $21^\circ$ . Postoperativ lag der Mittelwert mit  $85,3^\circ$  (SD=  $10^\circ$ ; min=  $68^\circ$ ; max=  $98^\circ$ ) im Normbereich. Es konnte eine weitere leichte Verbesserung des MPTAs zum Zeitpunkt der Gipsabnahme festgestellt werden: MW=  $88^\circ$ ; n= 7; SD=  $9,7^\circ$ ; min=  $72^\circ$ ; max;  $99^\circ$ .

### 3.6.3 Sagittale Winkel

Die Erfassung der sagittalen Winkel stellte sich schwieriger als die der Frontalebene dar. Ursächlich hierfür ist, dass einige Beine aufgrund ihrer Deformität nicht immer auf dem Röntgentisch in eine anatomisch korrekte Seitenlage gebracht werden konnten. Auch lagen nicht von allen Patienten Seitenaufnahmen vor. Daraus resultiert die teilweise abnehmende Zahl der Fälle.

#### 3.6.3.1 PDFA bei Genu valgum/varum

Der posteriore distale Femurwinkel (PDFA) kann eine Aussage über die Abweichung des distalen Femurs in der Sagittalebene machen. Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägung

der physiologischen Antekurvatur des Femurs unterliegt der Winkel und somit auch sein Normbereich größeren Schwankungen. Als Normwert werden  $83^\circ$  angegeben, der Normbereich liegt im Bereich von  $79^\circ$  bis  $87^\circ$ .

Bei 10 Genua vara konnte präoperativ ein mittlerer PDFA von  $65,7^\circ$  (SD=  $17^\circ$ ; min=  $43^\circ$ ; max=  $85^\circ$ ) ermittelt werden. Postoperativ lag dieser bei 12 Beinen bei einem Mittelwert von  $77,9^\circ$  (SD=  $5,1^\circ$ ; min=  $67^\circ$ ; max=  $85^\circ$ ) und zum Zeitpunkt der Gipsabnahme bei  $77^\circ$  (SD=  $5,9^\circ$ ; min=  $67^\circ$ ; max=  $84^\circ$ ).

Die Entwicklung der valgisch deformierten Beine verlief entsprechend. So konnte präoperativ ein mittlerer PDFA von  $68^\circ$  (SD=  $10,7^\circ$ ; n= 17; min=  $40^\circ$ ; max=  $88^\circ$ ) gemessen werden, postoperativ lag dieser bei  $79^\circ$  (SD=  $5,9^\circ$ ; n= 21; min=  $68^\circ$ ; max=  $89^\circ$ ) und zum Zeitpunkt der Gipsabnahme bei  $80^\circ$  (SD=  $5^\circ$ ; n= 18; min=  $68^\circ$ ; max=  $89^\circ$ ).

Im Vergleich sowohl der valgischen als auch der varischen Werte konnte im t-Test für gepaarte Stichproben eine statistisch signifikante Veränderung zwischen der präoperativen und der postoperativen Situation erfasst werden ( $p < 0,001$ ). Im Vergleich postoperativ zu Follow-up zeigte sich keine statistische Signifikanz ( $p = 0,99$ ).

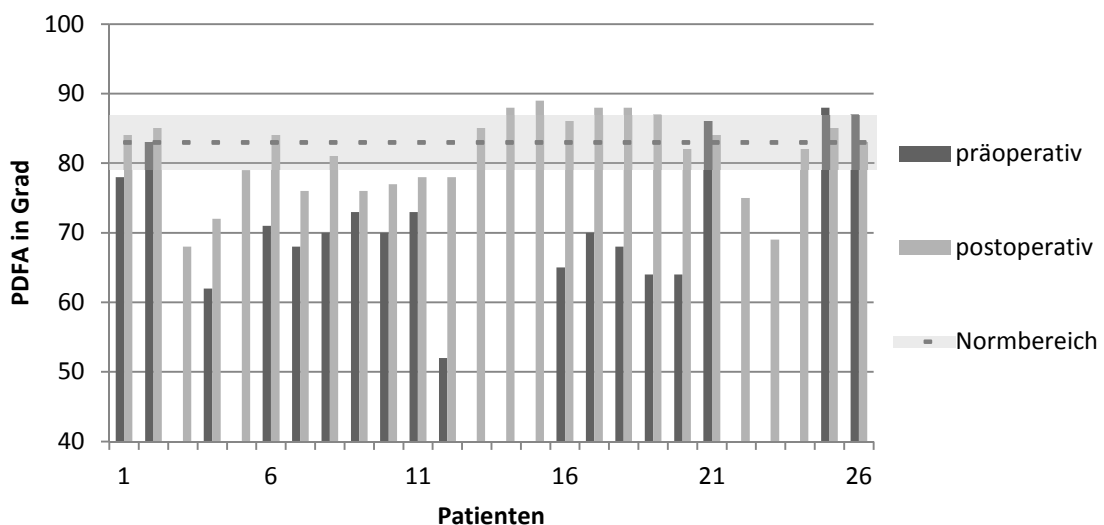


Abbildung 44: PDFA bei Genu valgum

### 3.6.3.2 mPPTA und mADTA bei tibialen Antekurvatur

Der mechanische posteriore proximale Tibiawinkel (PPTA) und der anteriore distale Tibiawinkel sind vor allem bei den Deformitäten mit tibialer Antekurvatur von Bedeutung.

Der mPPTA unterliegt einer stetigen Veränderung im Kindersalter. So ist auch hier der Normbereich breiter gestreut ( $81^\circ - 86^\circ$ ). Bei den 7 Beinen mit einer operativ korrigierten tibialen Antekurvatur betrug der präoperative Mittelwert des PPTAs  $50^\circ$  (SD=  $5,5^\circ$ ; min=  $43^\circ$ ; max=  $59^\circ$ ). Postoperativ konnte eine deutliche Besserung festgestellt werden. So betrug der Mittelwert hier  $78,6^\circ$  (SD=  $3,6^\circ$ ; n= 7; min=  $73^\circ$ ; max=  $83^\circ$ ). Eine weitere leichte Besserungstendenz konnte zum Zeitpunkt des Follow-ups mit durchschnittlich  $80,4^\circ$  (SD=  $4,1^\circ$ ; n= 5; min=  $74^\circ$ ; max=  $84^\circ$ ) gezeigt werden.

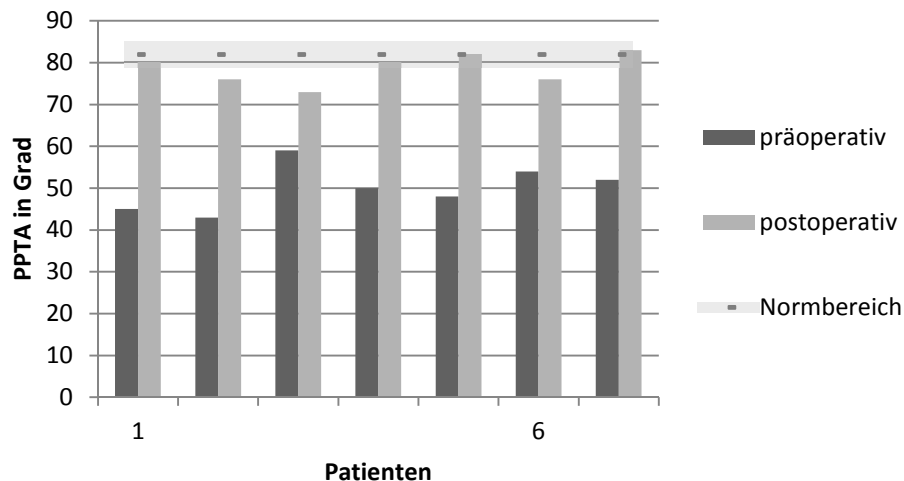


Abbildung 45: PPTA bei tibialen Antekurvatur

Auch der mADTA war bei Beinen mit tibialer Antekurvatur hochgradig von der Norm abweichend. Der Normbereich dieses Winkels liegt bei  $79^\circ - 82^\circ$ . Präoperativ konnte bei den 7 Patientenbeinen mit einer operierten tibialen Antekurvatur ein Mittelwert von  $123^\circ$  (SD=  $14,3^\circ$ ; min=  $105^\circ$ ; max=  $140^\circ$ ) gemessen werden. Postoperativ fiel der Mittelwert auf  $91,7^\circ$  (SD=  $3,9^\circ$ ; n= 7; min=  $87^\circ$ ; max=  $97^\circ$ ) und zeigte zum Zeitpunkt des Follow-ups mit einem Durchschnitt von  $87,4^\circ$  (SD=  $2,6^\circ$ ; min =  $86^\circ$ ; max=  $93^\circ$ ) einen weiteren Rückgang in Richtung Normbereich.

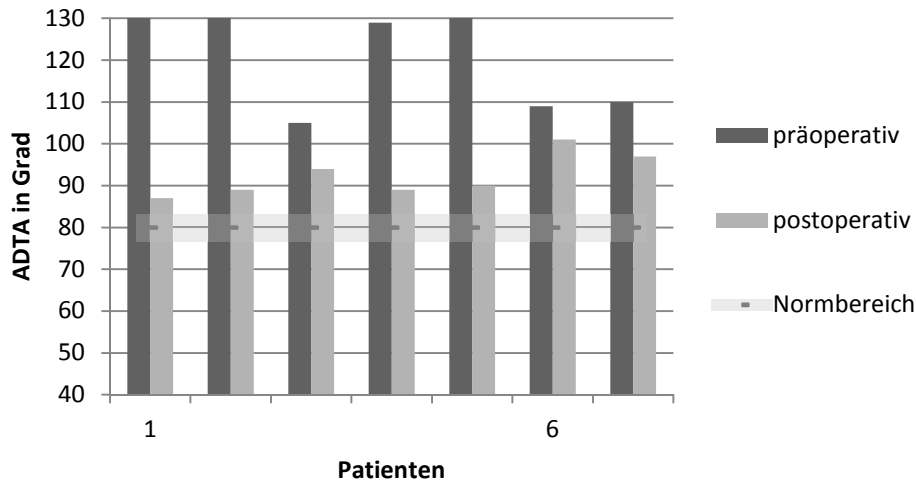


Abbildung 46: ADTA bei tibialen Antekurvation

### 3.6.4 Durchblutung, Motorik und Sensibilität

Zur Feststellung der Durchblutungssituation wurden bei der klinischen Untersuchung die Fußpulse getastet und die Nagelbettdurchblutung geprüft. Es konnte bei keinem der 25 präoperativ untersuchten Patientenbeine eine Störung der Durchblutung festgestellt werden. Auch bei den 34 Beinen, die postoperativ untersucht werden konnten, war die Durchblutungssituation vollständig intakt.

Zur Prüfung der Motorik wurden folgende Tests angewendet:

Treppensteiger- und Reiter- und Zehengang. Außerdem wurde auf den Ausfall von Muskeln oder Muskelgruppen, Atrophien und Kontrakturen geachtet.

Bei 7 Beinen (4 Patienten) zeigte sich in der präoperativen Untersuchung eine Kontraktur. 6 Beine (3 Patienten) waren hierbei von einer Beugekontraktur der Hüfte von circa 20° betroffen. An einem Bein konnte präoperativ ein Spitzfuß, mit einer Kontraktur der fußstreckenden Muskulatur festgestellt werden. Diese Fehlstellung zeigte zum Zeitpunkt des Follow-ups eine vollständige Remission. Vier der präoperativen Hüftbeugekontrakturen an 2 Patienten konnten zweizeitig und somit auch beim Follow-up nach einem Jahr untersucht werden. Hier zeigte sich zwar ein weiteres Bestehen der Kontraktur, jedoch mit einem geringeren Ausmaß. Bei beiden Patienten betrug die Beugekontraktur nur noch circa 10°.

Neben diesen 4 weiterhin bestehenden Kontrakturen konnten außerdem bei einem Patienten, der nur postoperativ untersucht werden konnte, an beiden Beinen eine Hüftbeugekontraktur gefunden werden. Hier betrug die Fehlstellung circa 15° beidseits. Eine weitere, nur postoperativ untersuchte Patientin, wies einen Hohlfuß auf. Diese war mit einer Peroneusläsion vergesellschaftet und wird unter (3.6.5) näher besprochen.

Bei den 4 oben erwähnten Motoriktests zeigten sich bei der präoperativen Untersuchung, auf Grund der massiven Deformitäten und der teilweise damit verbundenen Unmöglichkeit auf einem Bein zu stehen, bei einigen Kindern deutliche Einschränkungen. Es galt, diese von muskulären oder von Nerven ausgehenden Pathologien abzugrenzen.

Präoperativ kann allgemein geltend festgehalten werden, dass keines der Kinder Schwierigkeiten beim Motoriktest auf Grund von Muskelschwächen oder Nervenläsionen aufwies. Die folgenden deformitätsbedingten Auffälligkeiten konnten beim Stand in der Hauptachse der Deformität gefunden werden. Wurden jedoch die einzelnen Muskelgruppen im Liegen untersucht, so konnte hier eine ausreichende Muskelkraft festgestellt werden.

Von den 25 präoperativ untersuchten Patientenbeinen zeigte sich bei 18 Beinen keine Auffälligkeit beim Treppensteiger-Test, bei dem das Treppensteigen nachgestellt wird. Bei 7 Patienten war der Einbeinstand und damit die Ausführung des Testes auf Grund der Deformität nicht möglich..

Der Reiter-Test, der im Sitzen durchgeführt wird und die Adduktoren der Hüfte testet, war bei allen Patienten präoperativ unauffällig.

Beim Gehen auf der Hacke und auf den Zehenspitzen zeigten alle Patienten relativ einheitliche deformitätenspezifische Einschränkungen dieser Tests. Hierbei fanden sich in der präoperativen Untersuchung 16 Beine mit gering gradigen Einschränkungen. Bei 7 war eine deutliche Verminderung der Fähigkeit zum Zehenspitzenstand auf Grund der Deformität zu sehen und an 2 Beinen war der Test nicht durchführbar.

Bei 34 Beinen, die im Follow-up untersucht werden konnten, zeigten sich bei allen Patienten keine Auffälligkeiten beim Treppensteiger- oder Reiter-Test. Der Zehenspitzenstand war bei 5 Beinen nur leicht eingeschränkt durchführbar, was auf eine bestehende leichte Schwäche der Plantarflexoren des Fußes hinweist. 2 dieser Beine wiesen präoperativ ein Genu varum auf, 3 eine tibiale Antekurvatur. Die restlichen 29 Beine waren hinsichtlich des Zehenspitzenstandes unauffällig.

Der Hackengang zeigte sich im Follow-up bei 4 Beinen leicht eingeschränkt, was sich auf eine leichte Schwäche der Dorsalextensoren zurückführen lässt. All diese Beine wiesen präoperativ ein Genu valgum auf.

Die restlichen Beine waren bis auf eine Ausnahme völlig unauffällig.

Bei einer Patientin konnte an einem Bein (präoperativ Genu varum) bei der Follow-up Untersuchung ein ausgeprägtes Fußextensionsdefizit festgestellt werden. Der Hackengang war nicht durchführbar. Außerdem bestand ein Taubheitsgefühl am lateralen Unterschenkel und es kam zur Ausprägung eines Hohlfußes. Es wird somit eine Läsion des N. peroneus angenommen, wahrscheinlich herbeigeführt durch die proximale fibulare Osteotomie, die an diesem Bein vorgenommen wurde.

### 3.6.5 OP-Komplikationen

Bei der Untersuchung bezüglich Operationskomplikationen wurde zunächst auf ein Wiederauftreten der Deformität geachtet. Bei keinem der Patienten konnte jedoch eine massive, nennenswerte Veränderung der postoperativen Ausgangssituation hin zur ursprünglichen Deformität beobachtet werden. Dies gilt sowohl für die Zeit, in der sich die Beine noch im Kunststoffgips befanden, als auch für das erste Jahr nach der Operation bis zur Follow-up Untersuchung. Außerdem konnte bei keiner der Osteotomien eine Insuffizienz der Osteosynthese ausgemacht werden. Bei allen 88 Kontinuitätsunterbrechungen fand eine stabile Fusion der Knochenenden statt, so dass sich keine Pseudarthrose ausbilden konnte. Auch das Auftreten einer Fraktur nach Gipsabnahme oder Metallentfernung konnte nicht beobachtet werden.

Des Weiteren kam es zu keiner Dislokation des eingebrachten Osteosynthesematerials. An 4 Beinen kam es ein Jahr nach der Operation zu einer Reizung des umliegenden Weichteilgewebes durch das implantierte Metall, worauf dieses entfernt wurde. Die Metallentfernungen waren völlig komplikationslos und wiesen postoperativ keine Stabilitätsminderung der osteotomierten Stellen auf. Die Weichteilreizung verschwand unmittelbar postoperativ und verheilte komplikationslos.

Auch eine Ankylose der zu den Osteotomien benachbarten Gelenke konnte bei keinem der Patienten - auch nach Tragen des Gipsverbandes - gefunden werden. Chronische Schmerzzustände durch Nervenverletzungen zeigten sich ebenfalls nicht.



Die unter 3.6.4. beschriebene Peroneusläsion war der einzige Fall, in dem es postoperativ zu einem Ausfall der Nervenfunktion kam. Jedoch muss beachtet werden, dass die präoperative Deformität mit einem Genu varum von 42° hochgradig ausgeprägt war, und das Bein bereits voroperiert war. Nachdem das Defizit der Peroneusfunktion festgestellt wurde, wurde unverzüglich damit begonnen physiotherapeutische Maßnahmen sowie ein Gehtraining einzuleiten.

Eine zweite Komplikation, neben der Peroneusläsion, war die Infektion eines proximal in der Tibia eingebrachten Kirschnerdrahts bei einem ursprünglichen Genu varum. Die Infektion zeigte sich sowohl oberflächlich an der Haut als auch in den tiefen Gewebeschichten und im Knochen und wurde beim ersten Gipswechsel 6 Wochen postoperativ erfasst. Es erfolgte die weitere Stabilisierung in einem Gipsverband mit Aussparung des infizierten Bereichs. Nach engmaschiger oberflächlicher Wundversorgung und oraler breitbandantibiotischer Abdeckung erfolgte eine Revisionsoperation mit Extraktion des infizierten Osteosynthesematerials sowie der Entfernung eines Sequesters, der sich durch die Infektion gebildet hatte. Nach circa dreimonatiger Therapie konnte, nach einer Röntgenkontrolle, die Behandlung bei reizlosen Wundverhältnissen mit einem kleineren, aber stabilen Knochendefekt abgeschlossen werden.



**Abbildung 47: postoperative Osteomyelitis und knöcherne Durchbauung nach 2 Jahren**

Im einjährigen Follow-up zeigte sich keine Instabilität im ehemals infizierten Bereich, bei reizlosen Narbenverhältnissen. 18 Monate nach Abschluss der antimikrobiellen Therapie konnte bei dieser Patientin im Röntgenbild eine komplette Durchbauung der ehemaligen Osteomyelitis mit Knochengewebe gefunden werden. Zu einer erneuten Deformierung kam es nicht durch die Infektion. Die postoperativen Aufnahmen zeigten eine identisch verbliebene Angulation, wie die 2 Jahre später aufgenommene Kontrollaufnahme.

An 7 von 34 im Follow-up untersuchten Beinen konnte eine Hypertrophie der Narbe festgestellt werden, die aber völlig reizlos war und ohne Ausbildung von beweglichkeitsmindernden Hautkontrakturen auftrat.

Ein postoperatives Kompartment-Syndrom trat bei keinem der operierten Patienten auf.

## 4. Diskussion

Rachitis ist eine metabolische Erkrankung des Knochens mit einer steigenden Prävalenz, vor allem in weniger entwickelten Staaten der Erde [9]. Aus einer Vielzahl von Ländern kann von einer endemisch auftretenden Welle von Kindern, die an der kalziumdefizienten Form der Rachitis erkrankten, berichtet werden [11, 13, 14, 15]. Ein eindeutiger determinativer Faktor, der zum Ausbruch der Krankheit führt, konnte bisher nicht entschlüsselt werden. Daher wird ein multifaktorielles Modell mit genetischen, hormonellen und nutritiven Risikofaktoren, kombiniert mit einer umfassenden Kalziumdefizienz in Nahrung und Umwelt, angenommen [16, 17, 18, 19].

Im Norden Nigerias wurde die örtliche Non-Governmental Organisation (NGO) „Hope for the village child“ bei der Arbeit auf den ländlichen Dörfern im Umkreis der Großstadt Kaduna auf Kinder mit massiven Beindeformitäten aufmerksam. Durch das Hilfswerk MISEREOR konnte ein Kontakt zum Missionsärztlichen Institut in Würzburg hergestellt werden, durch welches wiederum Untersuchungen vor Ort veranlasst wurden. Durch serumanalytische und epidemiologische Studien konnte die Diagnose einer kalziumdefizienten Rachitis gestellt werden [78]. Die Kinder wiesen neben den massiven Deformitäten der Extremitäten weitere ossäre rachitistypische Merkmale wie Kraniotabes, „Frontal Bossing“, Harrison-Furche, Kielbrust, Kyphoskoliose und Knochenaufreibungen an Hand- und Sprunggelenken, sowie Allgemeinsymptome wie Muskel- und Knochenschmerzen, Muskelschwäche und Unruhe auf. Durch eine medikamentöse Therapie mit Kalzium - anfänglich in Kombination mit Vitamin D -, die durch das Missionsärztliche Institut initiiert werden konnte und durch die ansässige NGO ausgegeben wurde, zeigte sich bei einer Vielzahl der Patienten ein Rückgang sowohl der Allgemeinsymptome als auch der ossären Manifestationen und der Beindeformitäten im Speziellen. Die Anzahl der registrierten Patienten stieg von anfänglich 80 im Jahr 2005 auf über 800 (Stand Oktober 2009). Trotz dem Erfolg der medikamentösen Therapie zeigten circa 15% der behandelten Patienten eine nur ungenügende Selbstheilungstendenz und so wurde ein Konzept zur orthopädischen operativen Korrektur der Deformitäten erstellt. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es die Ergebnisse dieses Behandlungskonzeptes zu beschreiben und sie mit ähnlichen Konzepten, die in der Literatur beschrieben sind, zu

vergleichen. Eine Schwierigkeit hierbei stellt die geringe Anzahl an Veröffentlichungen zur operativen Korrektur rachitischer Deformitäten dar. Die kalziumdefiziente Rachitis im Speziellen betreffend konnten keine Erfahrungsberichte hinsichtlich operativer Herangehensweisen gefunden werden. Daher werden im Folgenden meist Studien zur operativen Korrektur bei hypophosphatämischer Rachitis zum Vergleich herangezogen. Die vorliegende Arbeit kann außerdem keine Aussage über den Langzeiterfolg des präventiven, den frühzeitigen Gelenkverschleiß verhindernden Effekt der Operationen treffen, da die Nachuntersuchung ein bis anderthalb Jahre nach der Operation durchgeführt wurden. Hierzu wären weitere Untersuchungen im Erwachsenenalter notwendig [82]. Es gilt jedoch festzuhalten, dass nicht korrigierte Angulationsdeformitäten neben Einschränkungen der Leistungsfähigkeit des Beines zu frühzeitigem Gelenkverschleiß durch statische Überbelastung und damit andauernden Schmerzzuständen und Haltungstörungen u.a. mit Auswirkungen auf die Wirbelsäule führen [44].

Somit ist das Ziel, die kurzfristigen, frühzeitig evaluierbaren Erfolge darzustellen und das hier angewandte Verfahren unter ressourcenarmen Umständen - wie sie in Nigeria vorliegen - im Vergleich zu etablierten, modernen Verfahren zu sehen. Ziel ist es nicht, eine Alternative für die „westliche“ Medizin zu beschreiben, sondern einen Anhaltspunkt zur Herangehensweise einer erfolgreichen Therapie in ressourcenärmeren Regionen dieser Welt zu geben.

#### **4.1 Reflektion der Methoden**

Durch die gegebene räumliche Distanz zum Projekt und damit auch zu den Patienten mussten sowohl die operativen Korrekturen als auch die Nachuntersuchungen etappenweise vollzogen werden. So kam es, dass nicht alle Patienten sowohl präoperativ als auch postoperativ gesehen werden konnten. Die Patienten, die zweizeitig (sowohl prä- als auch postoperativ) gesehen werden konnten, wurden herangezogen, um im t-Test für gepaarte Stichproben statistisch signifikante Veränderungen zu beschreiben. Die Daten aus den nur einzeitig (sei es nur präoperativ oder nur postoperativ) untersuchten Patienten dienten der Vervollständigung der durch die Signifikanztests beschriebenen Situationen. Zwar wären 2 vollständige prä- zu postoperativ vergleichbare Datensätze verfahrenstreuer gewesen, jedoch zeigten sich in der Auswertung der Ergebnisse keine nennenswerten Unterschiede zwischen der Gruppe der zweizeitig und der Gruppe der einzeitig

Untersuchten. Daher wird die angewandte Methodik zur Datenerhebung als verfahrenstechnisch korrekt erachtet.

Hingegen beinhaltet das Verfahren der Bestimmung der Achsdeformität anhand der Nativbilder, die mit einer handelsüblichen Digitalkamera gemacht wurden, Fehlerquellen. Zwar wurde penibel darauf geachtet, dass sich die abgelichteten Beine in Neutral-Nullstellung in der Frontalebene befanden und die Kniescheibe streng nach vorne gerichtet war, jedoch sind Abweichungen durch perspektivische Verzerrungen möglich.

Die ausgewerteten Röntgenbilder bergen ebenfalls gewisse Ungenauigkeiten. Zum einen sind die Bilder des veralteten Röntgengeräts des St. Gerrards Hospitals in Kaduna meist von mangelhafter Qualität, was vor allem bei den postoperativen Aufnahmen mit angelegtem Gipsverband deutlich wird, zum anderen ist nicht immer davon auszugehen, dass die Aufnahmen in einem streng anterior-posteriorem oder lateralem Strahlengang aufgenommen wurden. Auch Ganzbeinaufnahmen im Stand waren technisch nicht möglich. Achsgenauere Computertomographieaufnahmen, wie sie in westlichen Kliniken zum Standard gehören, bietet die nigerianische Infrastruktur nicht und wären außerdem durch das Projekt nicht finanzierbar.

Die meisten der operierten Patienten oder deren Angehörige sprachen kein Englisch. So wurden zur Befragung der Patienten zu ihrer Alltagstauglichkeit und Lebensqualität Mitarbeiter der NGO „Hope for the Village Child“ (HVC) zur Übersetzung in die Stammsprache Hausa hinzugezogen. Den Übersetzern wurde vorher der Fragenkatalog erklärt, so dass die festzuhaltenden Angaben von ihnen genau erfragt werden konnten. Jedoch mag auch dies als mögliche Fehlerquelle durch Übersetzungsschwierigkeiten gelten.

Es bleibt festzuhalten, dass die angesprochenen Ungenauigkeitsquellen als gering einzuschätzen sind, da sie relativ gesehen nur kleinere Auswirkungen auf das tatsächliche Ergebnis haben. Die generelle Tendenz und damit die Kernaussage der vorliegenden Arbeit, werden unserer Einschätzung nach nicht verfälscht und so lässt sich annehmen, dass das Maximum an Genauigkeit unter den vorgegebenen Umständen erreicht worden ist.

## 4.2 Diskussion der Ergebnisse

### 4.2.1 Geschlechterverteilung

Insgesamt 27 Patienten konnten in die dargestellte Untersuchung einbezogen werden. Hiervon waren 22 weiblich (82%), und 5 Patienten männlich (18%). Diese höhere Prävalenz unter Mädchen als unter Jungen lässt sich mit anderen Ergebnissen aus Rachitisstudien in Nigeria vergleichen. In einer Studie aus Jos war der Mädchenanteil unter 123 Fällen 55,3% [20]. Oginni et al. wiesen ebenfalls in Nigeria einen Mädchenanteil von 52,3% unter 44 Fällen auf [19]. Die von Wulf-Kristian Emmert durchgeführte epidemiologische Studie in selbigem von HVC betreutem Projekt wies 31 Mädchen (58,5%) auf. Mädchen scheinen demnach ein höheres Rachitisrisiko als Jungen zu besitzen.

Ein weiterer Hinweis, der aus der zu den übrigen Rachitisstudien in Nigeria erhöhten Rate von Mädchen unter den operierten Patienten (82%) gewonnen werden kann, ist, dass es den Anschein hat, als wären Mädchen stärker von der Rachitis betroffen, oder, dass sie ein geringeres Maß an Selbstheilungspotential aufweisen. In der Literatur zeigten sich ähnlich hohe Mädchenanteile von über 75% unter operierten Patienten, bei denen Korrekturosteotomien auf Grund von hypophosphatämischer Rachitis notwendig wurden [63, 83].

### 4.2.2 Dauer der medikamentösen Therapie und Alter

Die medikamentöse Behandlungsdauer betrug bis zum Zeitpunkt der Operation im Mittel 2,4 Jahre. Sie wurde auch nach der Operation weitergeführt, da die enthärteten, entkalkifizierten Knochen mehrere Jahre benötigen, um wieder aufgesättigt zu werden. Die durch die Korrekturosteotomie entfernten Knochenkeile wurden in einem Osteologielabor untersucht. Hier zeigte sich, dass sich auch nach der langen medikamentösen Therapie immer noch überschüssiges Osteoid vor allem in der Spongiosa des Knochens befindet (Jakob, Amling et al., unveröffentlichte Daten). Dies ist ein eindeutiger Hinweis darauf, dass die Rachitis noch nicht abgeklungen war, sondern als weiterhin „fluoride“ zu gelten hatte und einer weiteren medikamentösen Therapie bedurfte. Okonofua et al. konnten ein

gleiches histologisches Bild einer Knochenprobe bei einem an kalziumdefizienter Rachitis erkrankten Kind beschreiben [17]. Der von uns gewählte Zeitpunkt der Operation lässt sich hinsichtlich der präoperativen Dauer der medikamentösen Therapie als richtig erachten, da keine Komplikationen wie ein erneutes Auftreten der Deformität oder eine ungenügende Knochenheilung beobachtet werden konnte. Evans et al. beschreiben hierzu die Bedeutung einer ausreichenden medikamentösen Therapie in der operativen Behandlung bei hypophosphatämischer Rachitis, um Komplikationen wie diese zu vermeiden [84].

Auf dem Rickets Convergence Group Meeting von 2006 wurde erstmals ein Behandlungskonzept für die kalziumdefiziente Form der Rachitis ausgegeben. Demnach wird eine operative Korrektur kombiniert mit einer perioperativen Kalziumsubstitution bei 7 bis 11 Jährigen erst ab einer Deformität von 30° empfohlen. Ab dem 12. Lebensjahr könnten dann auch geringere Deformitäten operativ korrigiert werden [85]. Das durchschnittliche Alter unserer Patienten zum Zeitpunkt der Operation lag bei 12,1 Jahren (SD= 3,8) und kann somit als mit dem Vorschlag vom Rickets Convergence Group Meeting übereinstimmend gesehen werden. Auch unserer Erfahrung nach empfiehlt es sich zunächst die Entwicklung der Deformität unter suffizienter medikamentöser Therapie abzuwarten. Sollte sich im Verlauf jedoch kein ausreichendes Remodelling der Deformität einstellen, oder die Deformität ein zu hohes Ausmaß erreicht haben, sollte vor Erreichen der Adoleszenz operativ korrigiert werden, um irreversible Folgeschäden, wie dem frühzeitigen Gelenksverschleiß resultierend aus der stark abweichenden Gelenkmechanik, frühzeitig vorzubeugen.

#### **4.2.3 Lebensqualität und Gangbild**

Rachitis hat nicht nur auf Grund starker generalisierter Schmerzzustände sondern auch auf Grund der Auswirkungen auf die alltägliche Mobilität der Patienten durch die Deformationen eine hohe Beeinträchtigung der Lebensqualität zur Folge. Ziel war es sowohl ein Schmerzprofil als auch ein Fähigkeits- und Bewegungsprofil, gemessen an gleichaltrigen, nicht an Rachitis leidenden Kindern anzufertigen und eine Veränderung dieser Parameter durch die Operationen beschreiben zu können.

Unter den Lebensqualitätsparametern konnte über die gesamte Breite der erfassten Daten hinweg eine deutliche und signifikante Besserung der Umstände beschrieben werden (siehe Tabelle 3: Lebensqualitätsparameter). Die tägliche Wegstrecke verlängerte sich von

präoperativ durchschnittlich 0,94 km auf 2,9 km. Außerdem zeigte sich eine deutliche Verbesserungen bezüglich des Spielverhaltens, des schnellen Laufens, der Möglichkeit zur häuslichen Mitarbeit und der Fähigkeit, Gegenstände auf dem Kopf zu tragen. Von besonderem Stellenwert war die positive Entwicklung des Schmerzbildes bei allen Patienten. Hier konnten Schmerzzustände nach dem Laufen in ihrer Intensität und Qualität extrem stark reduziert werden, so dass postoperativ nur noch wenige Kinder über leichte Schmerzen nach größeren Belastungen klagten. In der überwiegenden Zahl der Fälle konnte eine vollständige Schmerzreduktion durch den operativen Eingriff erreicht werden. Song et al. (2006) berichteten über eine ähnlich deutliche Schmerzreduktion und Verlängerung der täglichen Wegstrecke bei ihrer Patientenpopulation nach Umstellungsosteotomien bei hypophosphatämischer Rachitis [77]. Außerdem konnten sie bei 19 von 20 Kindern eine deutliche Verbesserung des Gangbildes beschreiben. Auch bei den von uns operierten Patienten zeigte sich diese positive Entwicklung. Bei allen Patienten konnte eine deutliche Verbesserung hinsichtlich Gangstabilität, Schrittweite und Ausgleichsbewegungen mit dem Rumpf festgestellt werden. Allerdings wiesen 2 Patienten mit beidseitigen Genu varum auch postoperativ ein zwar vermindertes, aber immer noch präsenes pathologisches Gangbild auf. Dies wurde auf die auch postoperativ bestehende ausgeprägte Kapsel-Band-Laxizität im Kniegelenk zurückgeführt. Um die Laxizität zu verbessern erfolgte zunächst eine erneute Anpassung postoperativ bereits verordneter Kniegelenksschienen (Donjoy-Schienen). Ziel war es, durch die seitliche Stabilisation des Kniegelenks bei anhaltendem Wachstum eine Straffung der Kapsel und Bänder zu erreichen.

#### **4.2.4 Orthopädische Untersuchung**

Die orthopädische Untersuchung der Wirbelsäule ergab den Hinweis, dass es durch die operative Korrektur der Beindeformitäten zu einer Verringerung oder gar zu einem Verschwinden einer präoperativ bestehenden Wirbelsäulenasymmetrie im Sinne einer skoliotischen Fehlhaltung kommen kann. Von 3 Fehlhaltungen, die präoperativ vorlagen, waren 2 zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nicht mehr existent. Diese traten vermehrt bei der wind-swept Deformität auf (3 von 5 Präoperativen). Dies ist auf den bei dieser Deformität stark abweichenden Körperschwerpunkt mit einem relativen Beinlängenunterschied und der daraus resultierenden Ausgleichbewegung vor allem der



lumbalen Wirbelsäulenanteile zurückzuführen. Porter et al. konnten unter 747 untersuchten Patienten ein Ausfallmuster der konvexen Seite der skoliotischen Fehllhaltung hin zu der der wind-swept Deformität gegenüberliegenden Seite feststellen [86]. Die restlichen 2 präoperativen Fehllhaltungen gingen mit einer einseitig betroffenen Deformität (jeweils ein Genu valgum und ein Genu varum) einher. Die restlichen Untersuchungen des Rückens waren sowohl präoperativ als auch postoperativ unauffällig.

Bei der Messung des Beckenstandes zeigte sich im Vergleich, dass, bedingt durch die beinlängenverändernden closing-wedge-Osteotomien, postoperativ häufiger, dafür mildere Beckenschiefstände auftraten als präoperativ. Im Mittel konnte der präoperative Beckenschiefstand von 1,53 cm (SD= 1,76) auf 1,05 cm (SD= 0,8) verringert werden. Unter den zweizeitig gesehenen Patienten zeigte sich neben der Reduktion des Schiefstandes in 4 Fällen die Erzeugung eines neuen Schiefstandes von 1,33 cm im Mittel. Dies ist auf die closing-wedge-Osteotomie zurückzuführen und stellt eine der Hauptkritikpunkte dieser Osteotomieform dar. Die in den Industrienationen verwendete Technik der Kallusdistraktion durch einen Ilizarov-Ring Fixateur [38, 68, 70] oder einen unilateralen Fixateur externe [71, 72, 73] stellen die Antwort auf diese Problemstellung dar und führen zu guten Ergebnissen bezüglich der postoperativen Beinlängendifferenz und der konsekutiven Beckenstellung. Zur Anwendung externer Fixationssysteme bei den von uns betreuten Patienten in Nigeria fehlten jedoch die finanziellen Mittel. Außerdem bedürfen diese Systeme einer intensiven und fachgerechten Pflege, mit regelmäßigen Einstellungen der Fixateure, was durch das Personal oder die Eltern vor Ort nicht gewährleistet werden konnte.

Die postoperativ bestehenden Beckenschiefstände betragen nur in einem Fall über 2 cm. Nach aktueller Meinung in der Kinderorthopädie sind Beinlängenunterschiede und damit auch Beckenschiefstände, bis zu 2 cm nicht von pathologischem Wert, denn sie werden häufig in der kindlichen Wachstumsphase beobachtet [87]. Sie haben meist keine Auswirkung auf das spätere Leben, zeigen eine hohe Selbstheilungstendenz und können übergangsweise durch eine Schuhsohlenerhöhung behoben werden. Erst ab einem Unterschied von mehr als 2 cm kommt eine operative Korrektur mittels Fixateur externe auf der kürzeren Seite, oder einer zeitlich begrenzten Epiphyseodese auf der längeren Seite in Betracht. Aber auch hier können die Unterschiede durch dauerhafte Unterlegung des Schuhwerks ausgeglichen werden. Im afrikanischen Kontext ist die iatrogene Erzeugung eines Beinlängenunterschiedes durch die verwendete closing-wedge-Osteotomie zur

Korrektur der Deformität somit tragbar, so lange sie unter 2 cm liegt und sich der Patient noch im Wachstum befindet. Es sollten jedoch Nachkontrollen veranlasst werden, um die Entwicklung der Beinlängenunterschiede zu beobachten. Falls eine Schuhsohlenerhöhung dauerhaft notwendig werden würde, wäre sie leicht durchzuführen, da meist einfache Plastiksandalen getragen werden, die leicht unterklebt werden könnten.

Die Hüftflexion und -extension war größtenteils sowohl präoperativ als auch postoperativ unauffällig. Es zeigte sich eine eindeutige Besserung von 2 präoperativ bestehenden Hüftbeugekontrakturen unter den zweizeitig untersuchten Patienten. Die Hüftabduktion und Adduktion waren prä- und postoperativ vollständig unauffällig. Bei der Hüftaußenrotation und Hüftinnenrotation zeigte sich ein eindeutiges Muster der Freiheitsgrade in Abhängigkeit der vorliegenden Deformität des Beines. Genua valga gingen mit einer durchschnittlich erhöhten Hüftaußenrotation (88°) und einer durchschnittlich verminderten Innenrotation (26°) einher, während Umgekehrtes für Genua vara galt (ARO 27°; IRO 57°). In der Nachuntersuchung war diese asymmetrische Verteilung der Hüftrotation weiterhin existent und zeigte nur leichte Verbesserungen. Hefti beschreibt, dass die Innenrotationsfähigkeit indirekter Ausdruck des Antetorsionswinkels des Schenkelhalses ist [88]. Demnach kann die erhöhte Innenrotationsfähigkeit bei Genua vara auf eine erhöhte Antetorsion und die erhöhte Außenrotation bei Genua valga auf eine verminderte Antetorsion oder sogar Retrotorsion des Femurs zurückgeführt werden. Im prä- zum postoperativen funktionellen Vergleich zeigt sich, dass bei den oben beschriebenen mechanischen Achskorrekturen kein Einfluss auf die Ante- oder vermeintliche Retrotorsion genommen werden konnte.

Der intermalleolare und interkondyläre Abstand quantifizieren die Angulation von Beindeformitäten. Sie stellen ein relatives Maß dar, da der gemessene Abstand von der Körpergröße der Messperson abhängig ist. Des Weiteren spielt es eine Rolle, ob nur eine einseitige oder eine beidseitige Deformität vorliegt. Werte, die ober- oder unterhalb der zweifachen Standardabweichung von der Norm liegen, gelten als pathologisch [52].

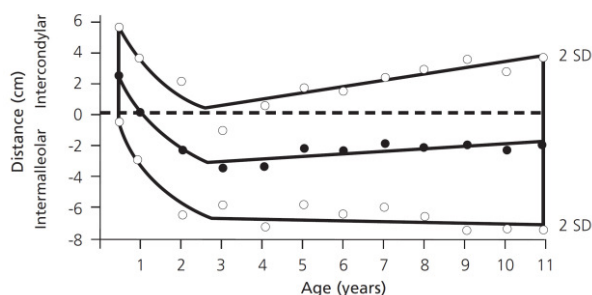


Abbildung 48: Standardwerte für den interkondylären und intermalleolären Abstand aus [52]

Die untersuchten Patienten wiesen präoperativ deutlich pathologische Werte auf. Präoperativ konnte bei 2 Patienten mit einem einseitigen Genu valgum ein mittlerer intermalleolarer Abstand von 22,5 cm, bei 6 beidseitigen Genu valgum ein durchschnittlicher Abstand von 35 cm und bei 3 Patienten mit einseitigem Genu varum ein mittlerer interkondylärer von 10,3 cm gemessen werden. Die 4 Patienten mit einer windswept Deformität wiesen im Mittel ein nicht pathologisches Maß des interkondylären Abstandes von 4,4 cm auf, was sich auf die zwar parallel verlaufende, aber aus der Körperlängsachse herauslaufende Beinstellung zurückführen lässt. Der intermalleolare/interkondyläre Abstand ist bei diesen Fehlstellungen daher als Maß zur Beurteilung der Deformität ungeeignet.

Die postoperativen Werte lagen in 25 von 27 Fällen innerhalb der zweifachen Standardabweichungsgrenze und stellen somit keine Pathologie mehr dar. Bei den 6 einseitigen Genua valga konnte ein Mittelwert von 3,4 cm, bei 5 beidseitigem Genua valga 5 cm gemessen werden. Die einseitigen Genua vara konnten bisher noch nicht nachuntersucht werden. Lediglich 2 von 27 Patienten mit beidseitigem Genu varum wiesen postoperativ ein weiterhin pathologisches Maß auf. Hier lag der Mittelwert des interkondylären Abstandes bei 9 cm. Präoperativ vergleichbare Werte liegen leider nicht vor.

Im Vergleich der zweizeitig untersuchten Patienten stellte sich heraus, dass durch die Operation kein Einfluss auf das Vorliegen von Genu recurvata ausgeübt wurde, die nicht stark ausgeprägt waren. Dies kann auch anhand der erhobenen Daten zur Extension im Kniegelenk erkannt werden. Hier zeigte sich ebenfalls keine Veränderung bei 8 Beinen mit einer leichten passiven Überstreckbarkeit. Auffällig war die Beobachtung, dass 6 dieser 8 Beine mit einer passiven Überstreckbarkeit und somit einem Genu recurvatum in Zusammenhang mit Genu vara standen.

Die Kapselbandlaxizität vor allem des hinteren Weichteilgewebes des Kniegelenkes spielt eine herausragende Rolle bei der Ausbildung von Genu recurvata [89, 90]. Somit erhärtet sich die Vermutung, dass Genu vara mit einer häufigeren Kapselbandlaxizität als Genu valga einher gehen. Dieser Eindruck konnte durch die Prüfung der Seitenbandlaxizität durch varischen oder valgischen Stress bestätigt werden. Unter 7 Genu vara konnte eine mittlere Laxizität von 2,3 (SD= 0,5) auf einer Skala von 0 bis 3 gefunden werden. Bei Genu valga fand sich präoperativ ein Mittelwert von 1,46 (SD= 0,66). Somit scheint die Kapselbandlaxizität bei Genu valga ebenfalls zur Deformität des Beines beizutragen,

jedoch in schwächerem Ausmaß als bei Genua vara. Im Vergleich zur postoperativen Situation konnte eine Reduktion der seitlichen Instabilität festgestellt werden. Bei Genua vara betrug der Mittelwert 1,4, bei Genua valga 0,74. Diese Verbesserung stellte sich als statistisch signifikant dar ( $p < 0,001$ ).

Eine weitere Verbesserung stellte sich bei der Knieextension bei präoperativ bestehenden Streckdefiziten ein. Hier konnte bei 5 betroffenen Beinen ein mittleres Defizit von  $11^\circ$  vollständig korrigiert werden.

Die Angaben zur physiologischen Stellung des Rückfußes reichen von  $0^\circ$  bis  $2^\circ$ - $7^\circ$  in Valgus- Stellung [91]. Bei den von uns operierten Patienten trat eine Abweichung der Norm kompensatorisch zur eigentlichen Deformität des Beines auf. Unter der Korrektur der Beindeformität ließ sich eine eindeutige Verbesserung der Fehlstellung des Rückfußes nachweisen. So verringerte sich der mittlere Winkel der valgischen Rückfußstellung bei Genu varum von präoperativ  $18,5^\circ$  auf  $5,25^\circ$ , der der varischen Rückfußstellung bei Genu valgum von  $31,6^\circ$  auf  $7,3^\circ$ . Diese Veränderung erwies sich als statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ).

Eine weitere durch die Korrektur der Beindeformität rückgängige Fußdeformität betrifft die Pes adductus Stellung. Durch die Einwärtsdrehung des Fußes begünstigt, bei sowohl Genu varum als auch Genu valgum, kommt es zu einer Entlastung des Fußinnenrandes und zu einer Überlastung des Außenrandes. Durch die kompensatorische Biegung des Mittelfußes entwickelt sich ein Pes adductus [92]. Präoperativ zeigte sich ein verstärktes Auftreten einer Pes adductus Fehlstellung bei Genua valga. Hier waren 15 von 18 präoperativ untersuchten Beinen betroffen. Bei Genua vara hingegen zeigten sich 3 Pedes adducti unter 7 untersuchten Beinen. In allen Fällen war die Fehlstellung erkennbar, aber nicht besonders stark ausgeprägt. Unter den zweizeitig untersuchten Kindern zeigte sich, dass 5 (1 varus / 4 valgus) Deformitäten auch nach der Operation Bestand hatten. Bei den restlichen 13 Beinen mit einer präoperativen Fehlstellung konnte diese nicht mehr nachgewiesen werden. Es ergab sich hierfür eine statistische Signifikanz von  $p < 0,001$ .

Trotz zum Teil deutlicher Deformitäten am Fuß waren bei unseren Patienten die Bewegungsausmaße nicht eingeschränkt und zeigten im prä- zum postoperativen Vergleich keine Veränderung. Sie lagen allesamt im Normbereich, der mit  $20^\circ - 0 - 40^\circ$  für die Dorsalextension/Plantarflektion und mit  $15^\circ - 0 - 35^\circ$  für die Pronation/Supination angegeben wird.

Zusammenfassend kann also eine Reduktion der sekundären angulationsassoziierten Fehlstellungen, an der gesamten unteren Extremität durch die operative Korrektur der Deformität beschrieben werden. Es konnten positive Veränderungen auf skoliotische Fehlhaltungen, Beckenschiefstände, Kapselbandlaxizität am Kniegelenk, die Rückfuß- und Mittelfußstellung, Bewegungsgrade in Hüfte und Knie festgestellt werden. Besonders hervorzuheben ist, dass die Bewegungsgrade der unteren Extremität durch die Ruhigstellung im Gipsverband nicht kompromittiert wurden und sich keine Kontrakturen ausbildeten.

#### **4.2.5 Achsen und Winkel**

##### **4.2.5.1 Genu valgum und Genu varum**

Ziel der operativen Deformitätenkorrektur sollte sein, die mechanische Tragachse und den physiologischen Kniewinkel des Beines wiederherzustellen [46]. Deformitäten in der Frontalebene im Valgus- oder Varus-Sinn haben hierbei vorrangige klinische Relevanz, da sie zu einer Überlastung der betreffenden Kniekompartimente führen können [88]. Wie unter zuvor beschrieben beträgt nach neuerer Auffassung die Angulation der mechanischen Femurachse und der mechanischen Tibiaachse  $1,2^\circ$  [54]. Somit verläuft die physiologische Tragachse (Mikulicz-Linie) circa 5 mm medial der Gelenkmitte. Die Normwerte der von Paley beschriebenen Kniewinkel wurden zuvor beschrieben.

Bei den von uns operierten Patienten musste auf Grund der infrastrukturellen Bedingungen die Erfassung dieser obengenannten Parameter der Beinmechanik angepasst werden. Aus technischen Gründen waren keine Ganzbeinaufnahmen möglich. Anhand der einzelnen vorhandenen Röntgenaufnahmen konnten jedoch in den meisten Fällen die wichtigsten Kniewinkel (aLDFA und MPTA) und die anatomische Achsangulation zwischen Femur und Tibia (TFA) erfasst werden. Die Nativbilder, die zudem bezüglich der anatomischen Achsangulation ausgemessen wurden, erlauben weitere Rückschlüsse auf die Veränderung der Beingeometrie. So konnte auch unter den vor Ort gegebenen Umständen eine Quantifizierung der Korrekturmaßnahmen und deren relative Annäherung an ein physiologisches Maß erfolgen. Hinsichtlich der Zielsetzung der operativen Deformitätenkorrektur musste außerdem nicht die vollständige Wiederherstellung der

genauen physiologischen Parameter gelten, sondern eine möglichst effektive Art und Weise gefunden werden, die Deformitäten zu reduzieren. Auf Grund der massiven und komplexen Ausprägung dieser Deformitäten musste zwischen maximaler Auswirkung und möglichst geringem technischem Aufwand abgewogen werden.

Trotz dieser Voraussetzungen konnte bei den operierten Kindern eine hochgradige Reduktion der Deformität gemessen und annähernd physiologische Verhältnisse wiederhergestellt werden. 28 Valgus-Deformitäten zeigten in den Liegendaufnahmen einen mittleren Rückgang der Angulation von  $48,3^\circ$  auf  $7,2^\circ$ . 22 Patienten, die aus diesem Kollektiv in der Nachuntersuchung gesehen werden konnten, zeigten einen weiteren Rückgang auf  $6,6^\circ$  im Mittel. Der Vergleich der Stehendaufnahmen, präoperativ zu Follow-up, zeigte einen Rückgang von  $52,6^\circ$  zu  $7,3^\circ$ . Anhand der Röntgenbilder zeigte sich eine Reduktion des TFAs von präoperativ  $39,4^\circ$  auf postoperativ  $4,8^\circ$ . Zum Zeitpunkt der Gipsentnahme konnten keine signifikanten Unterschiede zu den direkt postoperativen Ergebnissen festgestellt werden.

Bei 15 Varusdeformitäten konnte anhand der Liegendaufnahmen ein mittlerer Rückgang von  $33,6^\circ$  auf postoperativ  $0,7^\circ$  festgestellt werden. Hierunter konnten nach den Erfahrungen der ersten Varuskorrekturen 8 Beine in eine physiologische valgische anatomische Achsangulation versetzt werden. Unter den Stehendaufnahmen zeigt sich ein Rückgang der Varusdeformität von 15 präoperativen Beinen mit  $41,6^\circ$  auf 10 Beine zum Zeitpunkt des Follow-ups mit durchschnittlich  $5^\circ$  Varus-Angulation. Dieser Wert wird vor allem auf Grund der 4 Beine mit einem postoperativ bestehendem varischen TFA hoch gehalten. Zudem weisen die hier fehlenden 5 Beine direkt postoperativ eine valgische Beinachse auf und werden wahrscheinlich die bisherigen  $5^\circ$  als Mittelwert der Stehendaufnahmen weiter in Richtung physiologischer Achsenverhältnisse vermindern. Der auf den Röntgenbildern gemessene Tibiofemorale Winkel (TFA) wies präoperativ eine mittlere Deformität von  $31,2^\circ$  auf. Hier konnten 10 Beine postoperativ in einen mittleren valgischen Zustand von  $3,3^\circ$  versetzt werden. 4 Beine wiesen auch postoperativ ein Varus von durchschnittlich  $5,8^\circ$  auf.

Rubinovitch et al. (1988) konnten anhand 44 Osteotomien bei 10 Patienten erstmals zeigen, dass es möglich ist hochgradige Beindeformitäten bei hypophosphatämischer Rachitis in einer einzigen operativen Prozedur zu korrigieren. Sie empfahlen die Resektion keilförmiger Knochenstücke, um zum Einen größere Korrekturen möglich zu machen und zum Anderen neurovaskuläre Traktionsschäden zu minimieren. So konnten sie eine

mittlere Korrektur von 24° (13° - 36°) am Femur und 26° (13° - 70°) an der Tibia in der Frontalebene erreichen. Die Osteosynthese erfolgte in der überwiegenden Zahl der Fälle mittels Kompressionsplatte mit anschließender Ruhigstellung im Ganzbeingips für 6 bis 8 Wochen. Hauptkomplikation war das Wiederauftreten der Deformität, mit einem Korrekturverlust von über 10°. Dies mussten sie in 27% ihrer Patienten beschreiben [83].

Choi et al.(2002) hingegen behandelten 14 Patienten mit hypophosphatämischer Rachitis mittels Ilizarov-Ringfixateur. Nach einer mittleren Behandlungsdauer von 7,5 Monaten konnten sie eine Reduktion des TFA bei 10 bilateralen Genua vara von 24° Varus auf 5° Valgus und bei 4 bilateralen Genua valga von 25° Valgus auf 4,3° Valgus beschreiben. Damit betrug die totale mittlere Korrektur 27°. Als Komplikationen traten 2 Peroneusläsionen, eine Tibiafraktur, sowie eine frühzeitige Kalluskonsolidierung auf. Die Einteilung ihrer Ergebnisse erfolgte nach der Klassifikation nach Fraser und so wurden 16 Ergebnisse als exzellent, 10 als gut und 2 als mangelhaft eingeschätzt [68].

Wendet man die Klassifikation nach Fraser bei den von uns operierten 28 Genua valga an, so sind anhand der postoperativen Röntgenbilder 16 davon als exzellentes Ergebnis zu werten. Die übrigen 12 Beine zeigen immer noch gute Resultate, kein einziges galt als mangelhaft. Analog zu den Normwinkeln des TFA gilt die Normalangulation zwischen Ober- und Unterschenkel in der normalen Betrachtung anhand der Nativbilder. Hier gelten beim weiblichen Skelett auf Grund des breiteren Beckens ebenfalls größere Werte des physiologischen Valgus als normal. Wendet man die Klassifikation von Fraser et al. auf die nativen Liegendaufnahmen der valgischen Deformationen zum Zeitpunkt der Gipsabnahme an, so können 21 Korrekturen als exzellent, 5 als gut und nur 2 als mangelhafte Ergebnisse gewertet werden. Die beiden mangelhaften Ergebnisse betreffen eine postoperative Deformitätenpersistenz von 19° und 18° in 2 Fällen von besonderer Schwere, mit präoperativen Werten von 72° und 83° Valgus. Eines dieser beiden Beine war bereits voroperiert, was eine zusätzliche Schwierigkeit darstellte. Die von uns durchgeführten Korrekturen von 53° und 65° belegen den tatsächlichen Erfolg auch dieser Operationstechnik, wenn auch das Ergebnis durch die Klassifikation nach Fraser als mangelhaft eingestuft werden muss. Eine weitere Korrektur dieser Beine war auf Grund der Gefahr einer Kompromittierung der Weichteile, insbesondere der neurovaskulären Strukturen, und der technischen Realisierbarkeit nicht möglich.

Zum Zeitpunkt des einjährigen Follow-ups konnten bei 22 Patienten mit initialem Genu valgum eine native Stehendaufnahme ausgewertet werden. Die hier dokumentierten Ergebnisse zeigten 17 Patienten mit einem exzellenten, 3 mit einem guten, und 2 mit einem mangelhaften Ergebnis nach Fraser. Hierbei zeigte sich bei den oben beschriebenen Extremfällen eine weitere Reduktion der postoperativ persistierten Angulation auf 14° bei beiden Fällen.

	<b>n<sub>gesamt</sub></b>	<b>Exzellent</b>	<b>Gut</b>	<b>Mangelhaft</b>
<b>postoperativ (Röntgen)</b>	28	16	12	0
<b>zur Gipsabnahme (liegend nativ)</b>	28	21	6	2
<b>Follow-up (stehend nativ)</b>	22	17	3	2

**Tabelle 12: Klassifikation nach Fraser et al. bei Genu valgum**

Zusammenfassend bleibt zu festzustellen, dass die Korrektur von Genu valgum Deformitäten äußerst erfolgreich verlaufen ist. Mit der Wahl der medialen, subtraktiven Osteotomie am distalen Femur, auf Höhe der Schnittpunkte der mechanischen Achsen (CORA), konnte ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis unter den gegebenen Umständen und Möglichkeiten erzielt werden. Trotz der deutlich ressourcenärmeren Herangehensweise ohne die Verwendung von externen Fixateuren, Platten oder Nägeln konnten dennoch höchst zufriedenstellende und mit der bisherigen Literatur völlig vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Deutlich wird zwar auch, dass all zu komplexe Formen der Valgus-Deformität ein komplexeres Behandlungskonzept zur totalen Deformitätenkorrektur benötigen würden, jedoch profitieren diese Patienten von einer teilweisen Reduktion der Deformität. Die Patienten, die ein gewisses Maß an Restdeformität behielten, gaben eine deutliche Schmerzreduktion, und somit eine starke Zufriedenheit mit der Behandlung an.

Betrachtet man die Analyse der Korrekturen der varischen Deformitäten, erhält man die in Tabelle 13: Klassifikation nach Fraser et al. bei Genu varu dargestellten Einstufungen.

	<b>n<sub>gesamt</sub></b>	<b>Exzellent</b>	<b>Gut</b>	<b>Mangelhaft</b>
<b>postoperativ (Röntgen)</b>	15	4	7	4
<b>zur Gipsabnahme (liegend nativ)</b>	15	3	7	5
<b>Follow-up (stehend nativ)</b>	10	3	3	4

**Tabelle 13: Klassifikation nach Fraser et al. bei Genu varum**



Ziel der Deformitätenkorrektur beim Genu varum ist es, die anatomische Beinachse in einen leicht valgischen Zustand zu versetzen. Dies liegt zum einen an der physiologischen valgischen Ausrichtung der Beinachse, zum anderen ist bei einem Genu varum der laterale Kapselbandapparat massiv gedehnt, während der mediale Kapselbandapparat mehr Stabilität aufweist. Erfolgt die Umstellung einer Varus-Deformität in eine physiologische Valgusstellung, wird nunmehr der mediale und stabilere Kapselbandapparat vermehrt beansprucht. Somit erfolgt neben der Achskorrektur eine Verbesserung der seitlichen Kniestabilität.

Die Korrektur der varisch deformierten Beine erfolgte in den ersten 2 operierten Fällen (4 korrigierte Genua vara) nicht zufriedenstellend. Die Varus-Deformität konnte nicht gänzlich in eine Valgusstellung umgekehrt werden und somit die oben beschriebene Umkehr der Belastung vom lateralen auf den medialen Kapselbandapparat vollzogen werden. Es kam zu einer Persistenz der Varus-Deformität des Beines unter Belastung trotz knöchern nur mäßiger Varusstellung bedingt durch die laterale Aufklappbarkeit durch die Laxizität der Kapsel- und Bandstrukturen am Knie. Ein Jahr nach der Operation zeigte sich zudem, dass die Donjoy-Schienen, die den Patienten mit starker Kapselbandlaxizität angepasst wurden, nicht zum gewünschten Erfolg geführt haben. Ziel war es, durch die seitliche Stabilisierung von außen, eine Straffung der Seitenbänder unter dem weiteren Wachstum der Patienten zu erlangen. Jedoch zeigte sich keine deutliche Besserung der Verhältnisse. Dies kann auch an der mangelnden Patientencompliance liegen, da sich nicht nachvollziehen ließ, ob und wie lange die Schienen getragen wurden.

Eine weitere Beobachtung ist, dass sich nach der operativen Korrektur eine zusätzliche Besserung der Angulation durch das weitere Wachstum einstellte. Zwischen der Gipsabnahme und dem einjährigen Follow-up stiegen 3 korrigierte Beine von einem „guten“ Ergebnis zu einem „exzellenten“ auf, 3 blieben gleich in der Kategorie „gut“, und keines verschlechterte sich hin zu einem „mangelhaften“ Ergebnis. Die 4 primär mangelhaften Ergebnisse zeigten weiterhin keine Besserungstendenz und lagen quasi unverändert zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung vor. Somit ergibt sich die Feststellung, dass Deformitäten die genauer an eine physiologische Norm hin korrigiert werden, eine weitere postoperative Remodellingtendenz unter Belastung aufweisen.

5 primäre Varus-Deformitäten konnten bisher nicht nachuntersucht werden. Jedoch finden sich hier auf den Röntgenbildern und bei den Nativaufnahmen zum Zeitpunkt der Gipsabnahme 3 „exzellente“ und 2 „gute“ Ergebnisse. Zeigt sich auch bei diesen Patienten

keine späte Osteosyntheseninsuffizienz, die in den bisherigen nachuntersuchten Fällen nicht auftrat, ist somit ein positives Ergebnis beim einjährigen Follow-up zu erwarten. Mit der Erfahrung der ersten, nicht zufriedenstellenden Ergebnisse konnten mit der Erkenntnis, dass die „Überkorrektur“ in ein Valgus von essentieller Bedeutung ist, in den nachfolgenden Fällen sehr positive Ergebnisse erzielt werden.

#### 4.2.5.2 Tibiale Antekurvatur

Die dritte Hauptdeformität neben Genu valgum und Genu varum und deren Kombinationen stellt die tibiale Antekurvatur dar. Für die Beschreibung des Erfolges für die durchgeführten Korrekturosteotomien bestehen keine Klassifikationen wie für die Beurteilung bei Genu valgum und varum. Daher muss die physiologische Norm von 0° Antekurvatur als Referenz gelten. Bei 7 Patientenbeinen konnte die präoperative mittlere Angulation im Röntgenbild von 79,3° auf postoperativ bestehende 7,3° gesenkt werden. Zwar bleibt somit ein kleines Residuum der Deformität zurück, jedoch wird auch deutlich, dass durch die vorliegende Operationsmethode die Deformität im Röntgenbild um 90,8% reduziert werden konnte. Vergleichend konnten Rubinovitch et al. (1988) eine mittlere Korrektur von 42° (12° - 78°) in der Sagittalebene an der Tibia beschreiben [83].

Im weiteren Verlauf zeigte sich, die gewählte Osteosynthesemethode mittels intramedullärem elastischen Titannagel als suffizient, da bei 5 Patientenbeinen, die ein Jahr nach der Operation untersucht werden konnten, keine Entwicklung von Pseudarthrosen oder ein Wiederauftreten der Deformität beobachtet werden konnte. Auch hier lag die mittlere Deformität bei 7,4° zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

	n	präoperativ	Gipsabnahme	Follow-up	Prozentual
<b>Röntgen</b>	7	79,3°	7,3°	7,4°	90,8
<b>Nativ</b>	7	59,2°	4,9°	4,9°	91,7

**Tabelle 14: Angulation bei tibialer Antekurvatur**

Betrachtet man die Auswertung der Nativbilder, zeigt sich eine Reduktion von 59,2° präoperativ auf 4,9° zum Zeitpunkt des Follow-ups. Da bei 2 dieser korrigierten Beine bisher keine Nachuntersuchung vorgenommen werden konnte, wurde hier das postoperative Bild zum Zeitpunkt der Gipsabnahme herangezogen. Es zeigte sich auch hier ein hoher mittlerer Rückgang der Deformität um 91,7%.

Zusammenfassend sind die Ergebnisse der Behandlung bei tibialer Antekurvatur sehr zufriedenstellend. Die Deformitäten konnten um mehr als 90% verringert werden und die Osteosynthese stellte sich als suffizient heraus, so dass von keiner Pseudarthrosenbildung oder einem Wiederauftreten der Deformität berichtet werden könnte.

#### 4.2.5.3 Rotationsfehlstellung

Neben der Behandlung der Angulationsdeformitäten fand die operative Korrektur der Rotationsfehlstellungen des Unterschenkels besondere Beachtung: In 5 Fällen wurde eine eigene die Fehlrotationsausgleichende Querosteotomie am distalen Unterschenkel vorgenommen, in den anderen Fällen konnte dies durch die Korrekturosteotomien der Achsangulation ausgeglichen werden. Nimmt man eine Normalstellung des Fußes in 5-10° Außenrotation als Referenz, so lag nur bei 5 Beinen präoperativ eine nicht korrekturbedürftige Situation vor. Die restlichen 40 Beine wiesen eine Fehlstellung von 15° bis 85° (MW= 37,5°) auf. Dies konnte postoperativ erheblich reduziert werden. In der einjährigen Nachuntersuchung lag nur ein Bein in einer minimalen Außenrotationsfehlstellung von 12° vor, die restlichen 41 Beine wiesen nun eine Außenrotation innerhalb des Referenzwertes (MW= 6,24°) auf. Bei den Patienten, die bisher nicht nachuntersucht werden konnten, wurden die Aufnahmen vom Zeitpunkt des Gipswechsels zur Bestimmung der Rotationsstellung herangezogen. Es zeigt sich somit eine fast 100%ige Erfolgsquote der operativen Behandlung von Rotationsfehlstellungen des Unterschenkels.

Betrachtet man die zuvor beschriebene Verteilung der Rotationsfehlstellungen, so fällt auf, dass bei Genua vara in der Mehrzahl der Fälle eine Innenrotationsfehlstellung vorlag (93%), während bei Genua valga sich sowohl eine pathologisch erhöhte Innenrotationen (38%) als auch Aussenrotationen (62%) finden ließen.

Nach Sass et al. führen 3 Bedingungen zur Innenrotationsfehlstellung („Intoeing“): Innenrotation der Tibia, Pes adductus und femorale Antetorsion [52]. Bei der körperlichen Untersuchung der Patienten konnte eine vermehrte Antetorsion des Femurs anhand der erhöhten Innenrotationsfähigkeit der Hüfte festgestellt werden. Auch die übrigen 2 Merkmalen konnten bei unseren Patient mit einem Genu varum gefunden werden, womit sich die häufige Kombination aus Genu varum und Innenrotationsfehlstellung erklären lässt. Auch Genua valga können mit diesen Ursachen der Innenrotation einhergehen, sind

jedoch meistens kompensatorisch. Wie sich bei unseren Patienten zeigt, sind aber auch Außenrotationsfehlstellungen durch Außenrotation der Tibia möglich.

#### 4.2.6 Kniewinkel nach Paley

Die durch Paley et al. (1994) definierten Kniewinkel stellen einen guten und verlässlichen Parameter in der Deformitätenkorrektur dar. So zeigte sich postoperativ sowohl bei Genu valgum als auch Genu varum eine generelle Annäherung der Werte an den Normbereich. In den 26 Fällen mit ursprünglichem Genu valgum (LDFA = 59,6°; Normbereich = 79° - 83°) wird eine vermeintliche Überkorrektur des lateralen distalen Femurwinkels (LDFA) hin zu varischen Verhältnissen (LDFA = 86°), deutlich. Dies ist auf eine durch die mediale Keilosteotomie bedingte Abkipfung des lateralen Kniegelenkspaltes nach kaudal zurückzuführen. Die anatomische Achse zwischen Femur und Tibia wurde in den meisten Fällen hin zu physiologischen Verhältnissen korrigiert und lag postoperativ keinesfalls varisch anmutend vor, auch wenn dies durch die kniegelenksnahen Winkel angedeutet wird. Stattdessen stellt die Reduktion der Abweichung vom Normbereich des LDFA von 19,1° auf -3° im Mittel den Erfolg der operativen Therapie bei Genu valgum, gemessen an den kniegelenksnahen Winkeln, dar.

Der LDFA bei 8 Beinen, die einen varischen diaphysären CORA aufwiesen, zeigt einen Rückgang der Abweichung von präoperativ 29° (LDFA = 112°) auf postoperativ 9° (LDFA = 92°) im Mittel. Dies macht deutlich, dass zwar eine Besserung der Verhältnisse um 19° im Mittel stattfand, jedoch auch, dass die Herstellung perfekter physiologischer Kniewinkel durch die fehlende intraoperative Kontrollmöglichkeit mittels eines Bildwandlers und die ressourcenbegrenzten Therapieoptionen nicht erlangt werden kann. Bei der Schwere der vorliegenden Deformitäten wären externe Fixationsmethoden, die eine graduelle Korrektur sowohl des Femurs als auch der Tibia möglich machen, notwendig gewesen, um eine gänzlich physiologische Ausrichtung der Gelenklinie herstellen zu können.

Petje et al. (2008) verwendeten bei Kindern zwischen 5-14 Jahren mit hypophosphatämischer Rachitis externe Fixationsmethoden wie 13-mal einen Taylor-spatial-frame oder 19-mal einen Ilizarov-Ringfixateur. Auch multiple Osteotomien mit anschließender Fixation per Markraumnagelung fanden 12-mal Anwendung. Bei 18 Kleinkindern zwischen 3-4 Jahren wurden die Osteotomien an der unteren Extremität

mittels Kirschnerdrähte und einem Beckenbeingips fixiert. Hierunter konnten die Autoren eine Korrektur des mL DFA (Norm =  $85^{\circ}$  -  $90^{\circ}$ ) von  $21^{\circ}$  bei Genu varum und  $5^{\circ}$  bei Genu valgum auf einen postoperativen im unteren Normbereich liegenden und damit ebenfalls varisch anmutenden Mittelwert der Deformitäten beschreiben. Sie wiesen in 90% ihrer Fälle ein enormes Wiederauftreten der Deformität innerhalb von 5 bis 12 Monaten nach der Knochenheilung mit einem mittleren Wiederanstieg des mL DFA bei Genu valgum um  $6^{\circ}$  und bei Genu varum um  $13^{\circ}$  nach trotz Weiterführung der medikamentösen Therapie. Hinzu kamen weitere Fixateur-externe-assoziierte Komplikationen wie Pin-track-Infektionen und 2 Femurfrakturen nach Pin-Entfernung. Der mediale posteriore Tibiawinkel (MPTA) konnte zunächst bei Genu varum um  $15^{\circ}$  und bei Genu valgum um  $4^{\circ}$  auf postoperativ  $91^{\circ}$  korrigiert werden, bevor es zu einem Wiederauftreten mit Werten zwischen  $80^{\circ}$  bis  $102^{\circ}$  bei Genu valgum und  $80^{\circ}$  bis  $94^{\circ}$  bei Genu varus kam [63].

Kocaoglu et al. (2011) verwendeten ein kombiniertes Verfahren aus Korrektur mittels unilateralem Fixateur externe und einer intramedullären Marknagelfixierung. Hierunter konnten sie bei 15 von hypophosphatämischer Rachitis betroffenen Kindern bei 9 Genu vara eine Besserung des mL DFA von  $110^{\circ}$  auf  $90^{\circ}$  im Mittel und bei 6 Genu valga eine Besserung des mL DFA von  $76^{\circ}$  auf  $87^{\circ}$  erreichen. Den MPTA konnten die Autoren von  $78^{\circ}$  auf  $88^{\circ}$  bei Genu vara und von  $94^{\circ}$  auf  $87^{\circ}$  bei Genu valga korrigieren [82].

Der MPTA bei dem vorliegenden Patientenkollektiv zeigte präoperativ bei 2 an der proximalen Tibia operierten Genu valga eine Abweichung zur Norm ( $85^{\circ}$  -  $90^{\circ}$ ) von  $27^{\circ}$  im Mittel, bei 9 Beinen mit Genu vara eine Abweichung von  $21^{\circ}$  im Mittel. Dies konnte bei Genu valga auf  $1^{\circ}$  Abstand zum Normbereich und  $5,9^{\circ}$  bei Genu vara reduziert werden. Auch hier wird somit die Schwierigkeit bei der operativen Rekonstruktion exakter physiologischer Kniewinkel und der Ausrichtung der Gelenklinie deutlich.

Die Betrachtung des posterioren distalen Femurwinkels (PDFA) zeigt eine deutliche Verbesserung. Bei 10 Genu vara konnte der mittlere PDFA um  $12^{\circ}$  auf  $77^{\circ}$ , bei 17 Genu valga um  $11^{\circ}$  auf  $79^{\circ}$  korrigiert werden. Diese Werte liegen am Unterrand des physiologischen Normbereiches. Kocaoglu et al. (2011) konnten ein ähnliches Ausmaß der Korrektur mittels kombinierter Methode aus externem Fixateur und intramedullärer Marknagelung beschreiben. Bei ihnen stellte sich eine mit unseren Werten vergleichbare Besserung des PDFAs von  $16^{\circ}$  ein. Den PPTA konnten sie um  $11,8^{\circ}$  verbessern [82].

Die Entwicklung des PPTA und MDTA bei unseren Patienten zeigte sich als besonders eindrücklich unter den Patienten mit tibialer Antekurvatur. Der bereits oben beschriebene

Erfolg unseres Korrekturansatzes bei dieser speziellen Deformität zeigte sich auch an den Knie- und Sprunggelenksnahen Winkel der Tibia (mPPTA und mADTA). So konnte eine Verbesserung des mPPTA von präoperativ  $50^\circ$  auf postoperativ  $80,4^\circ$  gezeigt werden. Diese Verbesserung um  $30,4^\circ$  führte in den meisten Fällen zu einem im Normbereich ( $81^\circ$  -  $86^\circ$ ) liegenden Resultat. Auch der mADTA unserer Patienten zeigte im prä- zum postoperativen Vergleich eine deutliche Verbesserung. Es kam zu einer Abnahme der Abweichung zum Normbereich von  $41^\circ$  auf  $9,7^\circ$  (mADTA).

Ein Wiederauftreten der Deformität konnten wir bei keinem unserer Patienten beschreiben. Festzuhalten bleibt auch hier, dass eine deutliche Reduktion der Abweichung zum Normbereich erzielt werden konnte und somit eine Verbesserung festzustellen ist, auch wenn die exakte Wiederherstellung der physiologischen Kniewinkel nicht immer erreicht werden konnte. Korrekturmethode wie sie von Petje et al. und Kocaoglu et al. angewendet wurden können diesbezüglich sicherlich eine höhere Erfolgsrate aufweisen, da sie eine geringere postoperative Abweichung zu den Normbereichen zeigen konnten, sind allerdings auch mit einer Vielzahl von Komplikationen behaftet [63, 68, 77, 82, 83, 84]. Das primäre Ziel unseres operativen Vorgehens war zudem nicht perfekte physiologische Kniewinkel herzustellen, sondern die Korrektur der anatomischen und mechanischen Tragachsen.

#### 4.2.7 Komplikationen

Es liegt wenig Literatur über die Ergebnisse der operativen Deformitätenkorrektur bei metabolischen Krankheiten, die mit einer Knochenenthärtung, wie bei der Rachitis, einhergehen, vor [68]. Über das operative Vorgehen bei der kalziumdefizienten nutritiven Rachitis, wie sie, durch vorhergehende Studien bestätigt, bei den behandelten Kindern vorlag, existieren keine Erfahrungsberichte zur operativen Korrektur. Die Ergebnisse müssen daher mit der hypophosphatämischen Form der Rachitis verglichen werden, da hierzu Berichte über Korrekturmaßnahmen existieren.

Eine Schwierigkeit, bei der operativen Versorgung von Beindeformitäten bei Vorliegen einer Stoffwechselerkrankung, ist das hohe Auftreten einer rekurrenden Deformität. Hierzu existieren unterschiedlichste Angaben:

Rubinovitch et al. (1988) beschrieben ein Wiederauftreten der Deformität in 27% ihrer Fälle - unter hauptsächlichlicher Verwendung von diaphysären Plattenosteosynthesen mit achtwöchiger Ruhigstellung in einem Oberschenkelgipsverband an 34 femoralen und tibialen Segmenten [83].

Andere Autoren bevorzugten das von Sofield und Millar [93] erstmals bei Osteogenesis imperfecta beschriebene Verfahren zur Korrektur von Angulations- und Rotationsfehlstellungen durch Multilevel-Osteotomien und anschließender Fixierung mittels intramedullärem Nagel und konnten hierunter ein geringes Wiederauftreten der Deformität beschreiben [64, 94, 95]. Evans et al. (1980) wiederum zeigten unter Verwendung von Marknägeln eine hohe Rate an Komplikationen wie dem Wiederauftreten der Deformität in 27% der Fälle [84].

Petje et al. (2008) gaben eine erneute Deformität sogar mit 90% nach der ersten Operation und 60% nach der zweiten Korrektur an. Sie führten 98 Osteotomien an 19 varisch und 16 valgisch verformten Beinen durch und verwendeten bei Kleinkindern zwischen 3-4 Jahren ausschließlich Kirschnerdrähte und einen Beckenbeingips, bei Kindern zwischen 5-14 Jahren externe Fixationsmethoden wie den Taylor-spatial-frame oder den Ilizarov-Ringfixateur [63]. Andere Autoren konnten von besseren Ergebnissen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei Verwendung von externen Fixationsmethoden berichten. Zu den Vorteilen zählten sie die Möglichkeit zur exakten Korrektur multiplanarer Deformitäten und zur postoperativen Nachjustierung. Außerdem wurde so eine belastungsstabile Situation geschaffen, die eine postoperative Mobilisierung und somit ein reduziertes Risiko der Gelenkseinstellung möglich macht. Nachteile sahen sie im geringen Patientenkomfort, der langen Behandlungsdauer, dem häufigen Auftreten von Pin-track-Infektionen, den täglichen Nachjustierungen und wöchentlichen Kontrolluntersuchungen und dem erhöhten Risiko eines Wiederauftretens der Deformität oder einer Refraktur nach Entfernung des externen Fixateurs [72, 96].

Song et al. (2006) verglichen in einer retrospektiven Studie den Erfolg und die Komplikationen von rein externen Verfahren zur Osteosynthese, mit rein interner Marknagelung und der Kombination aus beidem. Sie berichteten über 15 erneut aufgetretene Deformitäten unter 55 operierten Segmenten. Den geringsten Anteil dieser stellten die Beine, die unter Verwendung der Kombination aus intramedullärer Marknagelung und externer Fixation versorgt wurden. Der Marknagel stellte hierbei die Stabilisation der betreffenden Diaphyse dar. Die durch den Marknagel nicht stabilisierbare

Metaphyse wurde durch die externen Fixationssysteme bis zur Fusion der Knochenunterbrechung gehalten. Allerdings beschrieben sie eine hohe Rate an Komplikationen, die mit dieser Operationsmethode assoziiert waren [77].

Das Wiederauftreten von Deformitäten konnte bei unserem Patientenkollektiv nicht beschrieben werden, was auf die richtige Wahl des Zeitpunktes der Operation, auch im Kontext mit der medikamentösen Therapie, und auf eine suffiziente Osteosynthese hindeutet. Ferris et al. (1991) und Evens et al. (1980) konnten die Relevanz einer suffizienten medikamentösen Therapie für die Knochenheilung unter rachitischen Bedingungen feststellen [84, 94]. Sie empfahlen operative Korrekturen bei hypophosphatämischer Rachitis erst nach Abschluss des Wachstums mit dem Erreichen der Adoleszenz, da sie das Risiko des Wiederauftretens der Deformitäten im wachsenden Knochen höher sahen [64, 84, 94]. Inzwischen liegen andere Studien vor, die das Wiederauftreten der Deformität unabhängig vom Patientenalter sehen [95, 96]. Eine operative Korrektur kann bei der kalziumdefizienten Form der Rachitis unter medikamentöser Substitution schon vor Sistieren des Knochenwachstums in Betracht gezogen werden, ohne dass ein Wiederauftreten der Deformität in Kauf genommen werden müsste. Voraussetzung hierfür ist eine Gewährleistung einer suffizienten Kalziumzufuhr.

Im Gegenteil, es konnte unter unseren Patienten sogar eine postoperative Verbesserung der gemessenen Winkelwerte hin zu ihrer physiologischen Norm zwischen der Gipsabnahme und der Nachuntersuchung nachgewiesen werden. Dies ist u.a. auf ein wachstumsbedingtes Remodellingpotential bei postoperativ regelrecht ausgerichteter Wachstumsfuge zurückzuführen. So zeigte sich anhand der anatomischen Achsangulation im Liegen eine mittlere Reduktion der Angulation bei Genu valgum von postoperativ  $7,2^\circ$  ( $n= 28$ ,  $SD= 3,8^\circ$ ) auf  $6,6^\circ$  ( $n= 22$ ;  $SD= 2,75^\circ$ ) zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Für die operierten Genua vara konnte postoperativ eine mittlere Angulation von  $0,73^\circ$  ( $n= 15$ ;  $SD= 4,76^\circ$ ) gemessen werden. Im Follow-up zeigte sich zwar eine mittlere, leichte Erhöhung auf  $2,3^\circ$  ( $n= 10$ ,  $SD= 4,7^\circ$ ), jedoch ist dies auf das inkongruente Patientenkollektiv zurückzuführen. 5 der varisch deformierten Beine konnten bisher nur postoperativ liegend und noch nicht im einjährigen Follow-up stehend nachuntersucht werden. Wenn diese Patienten im einjährigen Follow-up untersucht wurden, und somit in die weiterführende Statistik mit einbezogen werden können, ist davon auszugehen, dass eine weitere Reduktion der mittleren Angulation unter  $0,73^\circ$  Varus festzustellen ist.



Übereinstimmung unter allen operativen Korrekturansätzen bei hypophosphatämischer und kalziumdefizienter Rachitis besteht hinsichtlich der Wichtigkeit der initialen und fortwährenden medikamentösen Therapie. Ein operatives Eingreifen kann erst in Betracht gezogen werden, wenn die medikamentöse Therapie hinsichtlich der Wiederherstellung oder Annäherung an physiologische Achsen durch das weitere Körperlängenwachstums nicht erfolgreich war und eine korrekturbedürftige Deformität verbleibt [64, 68, 72, 77, 82, 83, 84, 94, 95, 96].

Die operative Deformitätenkorrektur - sowohl in Kombination mit einer externen als auch mit internen Osteosyntheseverfahren - ist ein invasives Verfahren und daher auch mit einer Reihe von möglichen Komplikationen behaftet. Bei dem von Song et al. untersuchten Patientenkollektiv traten 18 Haupt- und 13 Nebenkomplikationen in 26 von 28 Segmenten, die graduell begradigt wurden, und 13 Haupt- und 10 Nebenkomplikationen in 19 von 27 Segmenten, die akut korrigiert wurden, auf [77]. Zu den Hauptkomplikationen zählten neben dem Wiederauftreten der Deformität auch Knieversteifung, Fraktur, tiefe intramedulläre Infektion, Nervenschädigungen und Implantat assoziierte Probleme. Hingegen konnten Kanel et al. unter der vorwiegenden Verwendung von unilateralen Fixateuren in 26 Segmenten nur ein Kompartment-Syndrom, eine Quadricepshernie, jedoch Pin-track-Infektionen bei allen Patienten finden [72]. Choi et al., die mittels Ilizarov-Ring-Fixateur korrigierten, wiesen in 40 Segmenten bei 14 Patienten 2 Peroneusläsionen, eine Tibiafraktur, und eine vorzeitige Konsolidierung nach [68]. Kocaoglu et al. beschrieben 9 Komplikationen (2 Korrekturverluste, 2 Schraubenlockerungen und 5 Pin-track-Infektionen) bei 33 Beinen von 15 Patienten, die sie mittels der aus Ringfixateur und intramedullärer Nagelung kombinierten Methode korrigierten [82]. Und auch Asirvatham et al. beschrieben bei 9 von 105 suprakondylären femoralen Osteotomien, die überwiegend intern osteosynthetisiert wurden, neurovaskuläre Komplikationen. Es gibt eine Vielzahl weiterer Berichte von Komplikationen nach Osteotomien an der unteren Extremität, vor allem in Kombination mit internen aber auch externen Stabilisierungsverfahren [76]. Bei den von uns operierten Patienten konnten 2 Komplikationen bei 45 operierten Beinen mit 88 Osteotomien beobachtet werden. Dies entspricht einer Komplikationsrate von 2,3%. Eine Patientin entwickelte nach einer hohen Tibia-Osteotomie eine Peroneusläsion mit Anästhesie an der lateralen Unterschenkelvorderseite, einer Fußheberschwäche und Entwicklung eines sekundären Hohlfußes. Eine andere Patientin wies postoperativ eine tiefe intramedulläre Infektion auf,

die nach Entfernung der Kirschner-Drähte, Ruhigstellung und Antibiotika-Gabe erfolgreich therapiert werden konnte. Das Röntgenbild 2 Jahre nach Abschluss der Therapie zeigte eine belastungsstabile knöcherne Durchbauung des Fokus. Nach dem Auftreten dieser Komplikation, die sich unter der ersten Serie der operierten Patienten zeigte, wurden alle weiteren Operationsfelder, neben der intraoperativ begonnenen Antibiotika-Therapie mit Metronidazol (Flagyl) und Ceftriaxon nach dem sterilen Abwaschen mit einem bakteriziden Film benetzt, der durch den Integuseal-Applikator von Kimberly-Clarke aufgebracht wurde. Im weiteren Verlauf der operativen Korrekturen kam es zu keiner weiteren Infektion.

Die Komplikationsrate bei Osteotomien gerade auf Höhe der proximalen Tibia ist auf Grund eng benachbarter, neurovaskulärer Strukturen sehr hoch. Steel et al. beschrieben eine 20% Komplikationsrate, neurovaskulärer Genese, bei 21 Genua vara und 25 Genua valga, die durch Osteotomien an der proximalen Tibia korrigiert wurden [97].

Ekenze et al. beschrieben ein Auftreten von Komplikationen bei der operativen Korrektur frühkindlicher Anomalitäten in 27,7% der 148 operierten Kinder am Federal Medical Centre (FMC) in Oqerri, Nigeria. Hiervon waren Hämatome (46%) und Wundinfektionen (24,8%) die häufigsten Komplikationen [98]. Betrachtet man im Vergleich hierzu die bei unseren Patienten vorliegende Komplikationsrate von 2,3% kann unter ähnlichen Umständen, wie sie bei diesem Projekt vorlagen, von einer akzeptablen Komplikationsrate gesprochen werden.

Somit lässt sich abschließend resümierend sagen, dass die Korrektur rachitischer Beindeformitäten anhand des oben beschriebenen Behandlungskonzeptes auch im Kontext der Erfahrungsberichte über andere korrigierende Eingriffe bei rachitischen Beindeformitäten, mit hoher Zufriedenheit erfolgte. Zwar konnte gezeigt werden, dass eine exakte Wiederherstellung der physiologischen Beingeometrie nicht immer erreicht werden konnte, jedoch die Hauptdeformitäten in Frontal- und Sagittalebene meist mit exzellentem Ergebnis korrigiert wurden. Hierunter zeigte sich eine enorme Besserung des Funktionaliät der Extremität und der Fähigkeiten der Patienten im alltäglichen Leben. Zudem konnte eine wesentliche Reduzierung der Schmerzen erzielt werden. Die Komplikationsrate lag unter den bisherigen Erfahrungsberichten operativer Korrekturen bei Rachitis.

## 5. Zusammenfassung

**Einleitung:** Im Norden Nigerias fanden sich in der Region um Kaduna zahlreiche Kinder mit den klinischen Symptomen einer nutritiven kalziumdefizienten Rachitis. Ein Großteil dieser Kinder konnte mittels medikamentöser Kalziumsubstitution erfolgreich therapiert werden. Bei circa 10% wurde jedoch eine orthopädische Intervention notwendig, um therapierefraktären Beindeformitäten zu korrigieren.

**Patienten und Methoden:** Es konnten im Zeitraum von 2007 bis 2009 insgesamt 27 Kinder an 45 massiv deformierten, rachitischen Beinen operativ versorgt werden. Es waren 22 Mädchen mit 38 Beinen und 5 Jungen mit 7 Beinen betroffen. Es fanden sich 28 Genua valga, 15 Genua vara, ein- und beidseitig oder kombiniert als sogenannte wind-swept Deformität bei 8 Patienten, und 7 Beine mit tibialer Antekurvation. Unter Letzteren waren 5 Beine mit einem Genu valgum kombiniert. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation betrug 12,1 Jahre. Die Patienten wurden vor der Operation 2,4 Jahre im Mittel mit Kalzium substituiert.

**Ergebnisse:** Es zeigte sich eine durchweg positive Veränderung der Lebensqualitätsparameter hinsichtlich täglicher Wegstrecke, Gehen, Spielen, häuslicher Arbeit, Tragen von Gegenständen auf dem Kopf und Schmerzzuständen. In der klinisch-orthopädischen Untersuchung zeigten sich deutliche Verbesserungen beim intermalleolaren/interkondylären Abstand, der Kasselbandlaxizität und der Fußstellung sowie eine positive Beeinflussung auf skoliotische Fehlhaltungen und auf Beckenschiefstände. Kein Einfluss konnte auf die asymmetrische Hüftrotation und Genua recurvata genommen werden.

Genua valga konnten - anhand der nativen Stehendbilder gemessen - von  $52,6^\circ$  auf  $7,3^\circ$  korrigiert werden. Der TFA konnte von durchschnittlich  $39,4^\circ$  auf  $4,9^\circ$  gesenkt werden. Bei Genua vara fand sich bei den nativen Stehendaufnahmen ein Rückgang von  $41,6^\circ$  auf  $5^\circ$  im Mittel. Der TFA konnte von  $31,2^\circ$  auf  $3,3^\circ$  (10 Beine mit einem postoperativem physiologischen Genu valgum) und  $5,8^\circ$  (5 eine mit einen postoperativem residuellen Genu varum) korrigiert werden.

Die tibiale Antekurvation wurde in Röntgenbildern um 90,8% von  $79,3^\circ$  auf  $7,4^\circ$  im Mittel begradigt. Innen- oder Außenrotationsfehlstellungen des Fußes konnten von  $30,1^\circ$  im

Mittel auf ein eine Außenrotation von  $6,24^\circ$  unter allen Patientenbeinen umgestellt werden. Die restlichen Kniewinkel nach Paley zeigten allesamt eine deutliche Annäherung an den Normbereich, wenn auch eine exakte physiologische Wiederherstellung nicht möglich war. Unter den 88 vorgenommenen Osteotomien traten 2 Komplikationen, eine tiefe intramedulläre Infektion und eine Peroneusläsion, auf.

**Diskussion:**

Bei dem vorliegenden Patientenkollektiv mit kalziumdefizienter Rachitis und noch unreifer Knochenstruktur (durchschnittliches Alter 12 Jahre) konnte nach präoperativ mittlerer medikamentöser Therapiedauer von 2,4 Jahren kein Wiederauftreten der Deformität im Rahmen der Nachuntersuchung festgestellt werden. Die Komplikationsrate lag bei 4,4%.

Andere Arbeitsgruppen beschrieben ein Wiederauftreten der Deformität bei Knochenstoffwechselkrankheiten in bis zu 90% der Fälle sowie zahlreiche Osteosyntheseverfahren-assoziierte Komplikationen [63].

Die Einteilung der Korrekturergebnisse erfolgte entsprechend der Klassifikation nach Fraser. Die Ergebnisse der Achskorrektur bei 28 Genua valga konnten zum Zeitpunkt der Gipsabnahme in 21 Fällen als „exzellent“ 6 als „gut“ und nur 2 als „mangelhaft“ eingestuft werden. Bei 15 Genua vara fanden sich 3 „exzellente“, 7 „gute“ und 5 „mangelhafte“ Ergebnisse.

Alle Patienten waren mit dem Operationsergebnis sehr zufrieden. Die vorgestellte operative Intervention kann somit als erfolgreich eingeschätzt werden.

## 6. Abkürzungsverzeichnis

°	Grad
CORA	Centre of rotation and angulation
cm	Zentimeter
DBP	Vitamin-D-Bindungsprotein
FDO	Focal-dome-Osteotomie
FGF23	Fibroblastic growth factor 23
g	Gramm
HVC	Hope for the village child (Nichtregierungsorganisation)
JLCA	Joint line convergence angle
km	Kilometer
LDFA	Lateraler distaler Femur Winkel
M	Musculus
MAD	Mechanical axis deviation
MAT	Malalignment-Test
max	Maximum
min	Minimum
MPTA	Medialer proximaler Tibia Winkel
MW	Mittelwert
N	Nervus
NGO	Non-Governmental Organisation (Nichtregierungsorganisation)
OT	Osteotomie
PTH	Parathormon
SD	Standardabweichung
TFA	Anatomischer Tibio-Femoraler Winkel (= engl. Angle)
VDR	Vitamin-D-Rezeptor

## 7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Differentialdiagnose von Genu valgum und Genu varum aus [51].....	- 17 -
Tabelle 2: Relevante Gelenkwinkel nach Paley und deren Normbereiche .....	- 19 -
Tabelle 3: Lebensqualitätsparameter .....	- 56 -
Tabelle 4: Hüftrotation bei Genu valgum et varum.....	- 59 -
Tabelle 5: Vergleich der Hüftrotation der zweizeitig untersuchten Patienten.....	- 59 -
Tabelle 6: Intermalleolare Abstand .....	- 61 -
Tabelle 7: Interkondyläre Abstand .....	- 61 -
Tabelle 8: Dorsalextension / Plantarflexion .....	- 64 -
Tabelle 9: Anatomische Achsangulation im Stehen.....	- 69 -
Tabelle 10: Anatomische Achsangulation im Liegen.....	- 69 -
Tabelle 11: Die wichtigsten Beinwinkel auf einen Blick.....	- 73 -
Tabelle 12: Klassifikation nach Fraser et al. bei Genu valgum.....	- 104 -
Tabelle 13: Klassifikation nach Fraser et al. bei Genu varum.....	- 104 -
Tabelle 14: Angulation bei tibialer Antekurvatur.....	- 106 -

## 8. Bildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Beinachsen nach Salenius et Vankka aus [34, 35].....	- 14 -
Abbildung 2: mechanische Beinachse physiologisch und bei Genu valgum nach Miculicz aus [1] .....	- 18 -
Abbildung 3: Bezeichnung der mechanischen und anatomischen Gelenkwinkel nach Paley aus [44].....	- 19 -
Abbildung 4: Malalignment-Test: a) MAD b) LDFA c) MPTA d) JLCA aus [44].....	- 20 -
Abbildung 5: Angulationsparameter aus [44] .....	- 21 -
Abbildung 6: a. Centre of Rotation and Angulation (CORA).....	- 22 -
Abbildung 7: Landkarte Nigeria, Kaduna rot unterstrichen .....	- 30 -
Abbildung 8: Kinder mit rachitischen Symptomen unter Kindern des Gbagyi Stammes, Kaduna, Nigeria .....	- 31 -

Abbildung 9: Besserung der Fehlstellung nach 18 monatiger, medikamentöser Therapie, Bilderserie aus [78] .....	- 34 -
Abbildung 10: Closing-wedge-Osteotomie am distalen Femur: .....	- 38 -
Abbildung 11: Closing-wedge-Osteotomie am diaphysären Femur: .....	- 40 -
Abbildung 12: Derotations-Osteotomie.....	- 41 -
Abbildung 13: Chevron-like-Osteotomie und Transfixierung mit 3 Kirschnerdrähten .	- 42 -
Abbildung 14: Keilexzision bei tibialer Antekurvatur .....	- 43 -
Abbildung 15: Fixation mittels Titannagel.....	- 44 -
Abbildung 16: Deformitätenverteilung nach Patienten.....	- 46 -
Abbildung 17: Patienten mit Genua vara, Genua valga und „wind-swept deformity" ..	- 47 -
Abbildung 18: Patientin mit Kombination aus tibialer Antekurvatur und Genu valgum .....	- 47 -
Abbildung 19: Patientenkollektiv.....	- 48 -
Abbildung 20: Rückfußstellung .....	- 64 -
Abbildung 21: Anatomische Achsangulation bei Genu valgum im Stehen.....	- 66 -
Abbildung 22: Prä- und postoperativer Vergleich bei beidseitigem Genu valgum.....	- 66 -
Abbildung 23: Anatomische Achsangulation bei Genu varum im Stehen.....	- 67 -
Abbildung 24: Prä- und postoperativer Vergleich bei beidseitigem Genu varum im Stehen und Liegen.....	- 67 -
Abbildung 25: Anatomische Achsangulation bei Genu valgum im Liegen.....	- 68 -
Abbildung 26: Anatomische Achsangulation bei Genu varum im Liegen.....	- 68 -
Abbildung 27: Tibiale Antekurvatur (Nativtaufnahmen) .....	- 70 -
Abbildung 28: Patientin mit tibialer Antekurvatur prä- und postoperativ.....	- 70 -
Abbildung 29: Rotationsfehlstellung prä- und postoperativ .....	- 71 -
Abbildung 30: Box-Plot für Rotationsfehlstellungen des Fußes.....	- 71 -
Abbildung 31: Prä- und postoperativer Vergleich der Rotationsfehlstellungen bei Genu valgum und Genu varum.....	- 72 -
Abbildung 32: Prä- und postoperativer Vergleich des tibialen CORAs bei Genu valgum.....	- 74 -
Abbildung 33: Femoraler CORA bei hochgradigem Genu varum.....	- 75 -
Abbildung 34: Tibiale Antekurvatur (Röntgen) .....	- 76 -
Abbildung 35: Tibiale Antekurvatur präoperativ .....	- 76 -
Abbildung 36: Tibiale Antekurvatur postoperativ.....	- 76 -

Abbildung 37: TFA bei Genu varum (Röntgen) .....	- 78 -
Abbildung 38: TFA bei Genu varum prä- und postoperativ .....	- 78 -
Abbildung 39: TFA bei Genu valgum (Röntgen).....	- 79 -
Abbildung 40: TFA bei Genu valgum prä- und postoperativ.....	- 79 -
Abbildung 41: LDFA bei Genu valgum.....	- 80 -
Abbildung 42: LDFA bei Genu varum.....	- 81 -
Abbildung 43: MPTA bei Genu valgum et varum .....	- 83 -
Abbildung 44: PDFA bei Genu valgum .....	- 84 -
Abbildung 45: PPTA bei tibialen Antekurvation .....	- 85 -
Abbildung 46: ADTA bei tibialen Antekurvation.....	- 86 -
Abbildung 47: postoperative Osteomyelitis und knöcherne Durchbauung nach 2 Jahren .....	- 89 -
Abbildung 48: Standardwerte für den interkondylären und intermalleolären Abstand aus [51].....	- 98 -



## 9. Literaturverzeichnis

1. Rauschmann, M.A., et al., *Das rachitische X-Bein im Kindesalter*. Der Orthopäde, 2003. **32**(2): p. 101-109.
2. Hess, A.F., *Rickets, osteomalacia and tetany*. Rickets, osteomalacia and tetany, 1930: p. 429p.
3. Chesney, R.W., *Rickets: The Third Wave*. Clinical Pediatrics, 2002. **41**(3): p. 137-139.
4. Rajakumar, K., *Vitamin D, cod-liver oil, sunlight, and rickets: A historical perspective*. Pediatrics, 2003. **112**(2): p. E132-E135.
5. Holick, M.F., *Resurrection of vitamin D deficiency and rickets*. Journal of Clinical Investigation, 2006. **116**(8): p. 2062-2072.
6. Bernecker, P., *Osteomalacia and rickets*. Wien Med Wochenschr, 2004. **154**(5-6): p. 102-6.
7. Welch, T.R., W.H. Bergstrom, and R.C. Tsang, *Vitamin D-deficient rickets: The reemergence of a once-conquered disease*. The Journal of Pediatrics, 2000. **137**(2): p. 143-145.
8. Kreiter, S., et al., *Nutritional rickets in african american breast-fed infants*. The Journal of Pediatrics, 2000. **137**(2): p. 153-157.
9. Nield, L.S., et al., *Rickets: Not disease of the past*. American Family Physician, 2006. **74**(4): p. 619-626.
10. Harris, R.J., *Nutrition in the 21st century: what is going wrong*. Archives of Disease in Childhood, 2004. **89**(2): p. 154-158.
11. Pettifor, J.M., *Vitamin D &/or calcium deficiency rickets in infants & children: a global perspective*. Indian Journal of Medical Research, 2008. **127**(3): p. 245-249.
12. Clements, M.R. and L. Johnson, *A new mechanism for induced vitamin-d deficiency in calcium deprivation*. Nature, 1987. **325**(6099): p. 62-65.
13. Thacher, T.D., et al., *Nutritional rickets around the world: causes and future directions*. Annals of Tropical Paediatrics, 2006. **26**(1): p. 1-16.
14. Fischer, P.R., T. Thacher, and J.M. Pettifor, *Pediatric vitamin D and calcium nutrition in developing countries*. Rev Endocr Metab Disord, 2008. **9**: p. 181-192.
15. Al-Jurayyan, N.A. and M.E. El-Desouki, *Nutritional rickets and osteomalacia in school children and adolescents*. Saudi Medical Journal, 2002. **23**(2): p. 182-185.
16. Pettifor, J.M., et al., *Rickets in children of rural origin in south-africa - is low dietary calcium a factor*. Journal of Pediatrics, 1978. **92**(2): p. 320-324.
17. Okonofua, F., et al., *Rickets in nigerian children - a consequence of calcium malnutrition*. Metabolism-Clinical and Experimental, 1991. **40**(2): p. 209-213.
18. Thacher, T.D., et al., *A comparison of calcium, vitamin D, or both for nutritional rickets in nigerian children*. N Engl J Med, 1999. **341**(8): p. 563-568.
19. Oginni, L.M., et al., *Etiology of rickets in nigerian children*. J Pediatr, 1996. **128**(5 Pt 1): p. 692-4.
20. Thacher, T.D., et al., *Case-control study of factors associated with nutritional rickets in nigerian children*. J Pediatr, 2000. **137**(3): p. 367-73.
21. Pettifor, J.M., *Nutritional rickets: deficiency of vitamin D, calcium, or both?* Am J Clin Nutr, 2004. **80**(6): p. 1725S-1729.

22. Kaufmann, W., G. Wambach, A. Helber, *Kalzium-, Phosphat und Magnesiumstoffwechsel*, in *Pathophysiologie*, W. Kaufmann, G.W. Löhr, Editor. 1991, Thieme Verlag: Stuttgart, New York. p. 132 - 141.
23. Schnabel, D. and D. Haffner, *Diagnosis and treatment of rickets*. *Orthopade*, 2005. **34**(7): p. 703-714.
24. Krück, F., *Elektrolyt- und Wasserhaushalt*, in *Pathophysiologie*, F. Krück, Editor. 1988, Urban & Schwarzenberg: München, Wien, Baltimore. p. 539 - 547.
25. Lang, F. and H. Murer, *Kalzium-, Magnesium- und Phosphathaushalt*, in *Physiologie des Menschen*, R.F. Schmidt, F. Lang, and M. Heckmann, Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg. p. 682-693.
26. Holick, M.F., *Environmental factors that influence the cutaneous production of vitamin D*. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1995. **61**(3): p. S638-S645.
27. Henderson, A., *Vitamin D and the breastfed infant*. *Journal of Obstetric Gynecologic and Neonatal Nursing*, 2005. **34**(3): p. 367-372.
28. Holick, M.F. and T.C. Chen, *Vitamin D deficiency: a worldwide problem with health consequences*. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2008. **87**(4): p. 1080S-1086S.
29. Dimitri, P. and N. Bishop, *Rickets*. *Paediatrics and Child Health*, 2007. **17**(7): p. 279-287.
30. Dusso, A.S., A.J. Brown, and E. Slatopolsky, *Vitamin D*. *Am J Physiol Renal Physiol*, 2005. **289**(1): p. F8-28.
31. Liu, S.G., A. Gupta, and L.D. Quarles, *Emerging role of fibroblast growth factor 23 in a bone-kidney axis regulating systemic phosphate homeostasis and extracellular matrix mineralization*. *Current Opinion in Nephrology and Hypertension*, 2007. **16**(4): p. 329-335.
32. Gutierrez, O.M., et al., *Fibroblast Growth Factor 23 and mortality among patients undergoing hemodialysis*. *N Engl J Med*, 2008. **359**(6): p. 584-592.
33. Wharton, B. and N. Bishop, *Rickets*. *Lancet*, 2003. **362**(9393): p. 1389-1400.
34. Sabbagh, Y., T.O. Carpenter, and M.B. Demay, *Hypophosphatemia leads to rickets by impairing caspase-mediated apoptosis of hypertrophic chondrocytes*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005. **102**(27): p. 9637-9642.
35. Do, T.T., *Clinical and radiographic evaluation of bowlegs*. *Current Opinion in Pediatrics*, 2001. **13**(1): p. 42-46.
36. Salenius, P. and E. Vankka, *Development of tibiofemoral angle in children*. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 1975. **A 57**(2): p. 259-261.
37. Wilkins, K.E., *Bowlegs*. *Pediatric Clinics of North America*, 1986. **33**(6): p. 1429-1438.
38. Shtarker, H., et al., *Correction of combined angular and rotational deformities by the Ilizarov method*. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 2002(402): p. 184-195.
39. Kling, T.F., *Angular deformities of the lower-limbs in children*. *Orthopedic Clinics of North America*, 1987. **18**(4): p. 513-527.
40. Nwadiaro, H.C., *Surgical Management of Rickets*, in *Nutritional Rickets in Nigerian Children: The Way Forward*, T.D. Thacher, Editor. 2002: State House, Abuja. p. 48-51.
41. Kling, T.F., Jr. and R.N. Hensinger, *Angular and torsional deformities of the lower limbs in children*. *Clin Orthop Relat Res*, 1983(176): p. 136-47.
42. Heath, C.H. and L.T. Staheli, *Normal limits of knee angle in white children - genu varum and genu valgum*. *J Pediatr Orthop*, 1993. **13**(2): p. 259-62.

43. Oginni, L.M., et al., *Knee angles and rickets in nigerian children*. J Pediatr Orthop, 2004. **24**(4): p. 403-7.
44. Schultz, W., *X- und O-Beine bei Kindern und Erwachsenen*, in *Bücherei des Orthopäden*, J. Grifka, Editor. 1997, Enke: Stuttgart.
45. Paley, D. and J. Pfeil, *Prinzipien der kniegelenknahen Deformitätenkorrektur*. Der Orthopäde, 2000. **29**(1): p. 18-38.
46. Strecker, W., *Beindeformitäten - Analyse und Korrektur*, in *Praxisbuch Unfallchirurgie*, B.W.u.M. Nerlich, Editor. 2005, Springer Berlin. p. 683-764.
47. Smyth, E.H., *Windswept deformity*. J Bone Joint Surg Br, 1980. **62-B**(2): p. 166-7.
48. Hefti, F., et al., *Kinderorthopädie in der Praxis, 2. erw. u. vollst. überarb. Aufl.* 2006, Springer Verlag.
49. Staheli, L.T. and G.M. Engel, *Tibial torsion: a method of assessment and a survey of normal children*. Clin Orthop Relat Res, 1972. **86**: p. 183-6.
50. Strecker, W. and P. Keppler, *Analyse und Korrektur von Beindeformitäten, Teil 1: Analyse*. Der Unfallchirurg, 2002. **105**(9): p. 811-829.
51. hopkinsortho.org. *Femoral Anteversion*. 25.11.2009]; Available from: [http://www.hopkinsortho.org/femoral\\_anteversion.html](http://www.hopkinsortho.org/femoral_anteversion.html).
52. Sass, P., Hassan, G., *Lower extremity abnormalities in children*. Am Fam Physician, 2003. **68**(3): p. 461-8.
53. Paley, D., et al., *Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies*. Orthop Clin North Am, 1994. **25**(3): p. 425-65.
54. Hsu, R.W., et al., *Normal axial alignment of the lower extremity and load-bearing distribution at the knee*. Clin Orthop Relat Res, 1990(255): p. 215-27.
55. Pape, D., O. Lorbach, and O. Steimer, *Analyse der Deformität und präoperative Planung einer knienahen Osteotomie*. Arthroskopie, 2007. **20**(4): p. 277-290.
56. Mikulicz, J., *Ueber individuelle Formdifferenzen am Femur and an der Tibia des Menschen*. Archiv f A u Ph, 1878(Anat Abthlg): p. 351 - 404.
57. Paley, D. and K. Tetsworth, *Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of uniapical angular deformities of the tibia or femur*. Clin Orthop Relat Res, 1992(280): p. 48-64.
58. Baumgart, R. and M. Kettler, *Möglichkeiten der Knochendurchtrennung. Osteotomie- und Kortikotomietechniken*. Unfallchirurg, 1997. **100**(10): p. 797-804.
59. Hankemeier, S., et al., *Die kniegelenknahe Focal-dome-Osteotomie*. Der Orthopäde, 2004. **33**(2): p. 170-7.
60. Strecker, W. and P. Keppler, *Analyse und Korrektur von Beindeformitäten, Teil 2: Korrektur*. Der Unfallchirurg, 2002. **105**(10): p. 901-918.
61. Kinzl, L. and W. Strecker, *Einzeitige Korrekturosteotomie nach kniegelenksnahen Frakturen*. Chirurg, 1998. **69**(11): p. 1161-6.
62. Paley, D., *Correction of limb deformities in the 21st century*. J Pediatr Orthop, 2000. **20**(3): p. 279-81.
63. Petje, G., et al., *Deformity correction in children with hereditary hypophosphatemic rickets*. Clin Orthop Relat Res, 2008. **466**(12): p. 3078-85.
64. Eyres, K.S., J. Brown, and D.L. Douglas, *Osteotomy and intramedullary nailing for the correction of progressive deformity in vitamin D-resistant hypophosphataemic rickets*. J R Coll Surg Edinb, 1993. **38**(1): p. 50-4.
65. Guichet, J.M., *Beinverlängerung und Deformitätenkorrektur mit dem Femur-Albizzia Nagel*. Orthopäde, 1999. **28**(12): p. 1066-77.
66. Paley, D., et al., *Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening*. J Bone Joint Surg Am, 1997. **79**(10): p. 1464-80.

67. Krettek, C., *Prinzipien der intramedullären Knochenbruchstabilisierung. Teil 2: Operationstechnik*. Unfallchirurg, 2001. **104**(8): p. 749-69; quiz 770-1.
68. Choi, I.H., J.K. Kim, and C.Y. Chung, *Deformity correction of knee and leg lengthening by Ilizarov method in hypophosphatemic rickets: outcomes and significance of serum phosphate level*. J Pediatr Orthop, 2002. **22**(5): p. 626-31.
69. Manner, H.M., et al., *Accuracy of complex lower-limb deformity correction with external fixation: a comparison of the Taylor Spatial Frame with the Ilizarov ring fixator*. J Child Orthop, 2007. **1**(1): p. 55-61.
70. Tetsworth, K.D. and D. Paley, *Accuracy of correction of complex lower-extremity deformities by the Ilizarov method*. Clin Orthop Relat Res, 1994(301): p. 102-10.
71. De Bastiani, G. and R. Aldegheri, *Limb lengthening by callus distraction (callotaxis)*. J Pediatr Orthop, 1987. **7**(2): p. 129-34.
72. Kanel, J.S. and C.T. Price, *Unilateral external fixation for corrective osteotomies in patients with hypophosphatemic rickets*. J Pediatr Orthop, 1995. **15**(2): p. 232-5.
73. Pfeil, J., E. Heijens, and B. Gladbach, *Deformitätenkorrektur der Extremitäten mit unilateralen Fixateur externe*. Orthopade, 2000. **29**(1): p. 47-53.
74. Eralp, L., et al., *A correction of windswept deformity by fixator assisted nailing - A report of two cases*. Journal of Bone and Joint Surgery-British Volume, 2004. **86B**(7): p. 1065-1068.
75. Kocaoglu, M., et al., *Fixator-assisted acute femoral deformity correction and consecutive lengthening over an intramedullary nail*. J Bone Joint Surg Am, 2009. **91**(1): p. 152-159.
76. Paley, D., J. Herzenberg, and N. Bor, *Fixator-assisted nailing of femoral and tibial deformities*. Techniques in Orthopaedics, 1997. **12**(4): p. 260-275.
77. Song, H.R., et al., *Deformity correction by external fixation and/or intramedullary nailing in hypophosphatemic rickets*. Acta Orthop, 2006. **77**(2): p. 307-14.
78. Emmert, W.-K., *Rachitis-ähnliche Symptome bei nigerianischen Kindern aus der Ethnie der Gbagyi in der südwestlichen Region Kadunas: Identifizierung des biochemischen Defekts, Sammeln von epidemiologischen Daten und Beschreibung des klinischen Bildes*, in *Tropenmedizinischen Abteilung der Missionsärztlichen Klinik gGmbH*. 2008, Bayerischen Julius-Maximilians-Universität: Würzburg. p. 160.
79. Kitz C., et al., *Rachitis in Nigeria - Spielen neben extremem Kalziummangel auch geologische und genetische Faktoren eine Rolle?* Tropen-, Flug- u Reisemed, 2009. **16**(2): p. 76-80.
80. Thacher, T.D., et al., *Early response to vitamin D2 in children with calcium deficiency rickets*. J Pediatr, 2006. **149**(6): p. 840-4.
81. Fraser, R., D. Dickens, and W. Cole, *Medial physeal stapling for primary and secondary genu valgum in late childhood and adolescence*. J Bone Joint Surg Br, 1995. **77-B**(5): p. 733-735.
82. Kocaoglu, M., et al., *Combined technique for the correction of lower-limb deformities resulting from metabolic bone disease*. J Bone Joint Surg Br, 2011. **93-B**(1): p. 52-56.
83. Rubinovitch, M., et al., *Principles and results of corrective lower limb osteotomies for patients with vitamin D-resistant hypophosphatemic rickets*. Clin Orthop Relat Res, 1988(237): p. 264-70.
84. Evans, G.A., K. Arulanantham, and J.R. Gage, *Primary hypophosphatemic rickets - effect of oral phosphate and vitamin-D in growth and surgical treatment*. Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume, 1980. **62**(7): p. 1130-1138.

85. Craviari, T., et al., *Rickets: An overview and future directions, with special reference to Bangladesh - A summary of the Rickets Convergence Group meeting, Dhaka, 26-27 January 2006*. Journal of Health Population and Nutrition, 2008. **26**(1): p. 112-121.
86. Porter, D., S. Michael, and C. Kirkwood, *Patterns of postural deformity in non-ambulant people with cerebral palsy: what is the relationship between the direction of scoliosis, direction of pelvic obliquity, direction of windswept hip deformity and side of hip dislocation?* Clinical Rehabilitation, 2007. **21**(12): p. 1087-1096.
87. Fabry, G., *Clinical practice : Static, axial, and rotational deformities of the lower extremities in children*. Eur J Pediatr, 2010.
88. Hefti, F., *Achsenfehler an den unteren Extremitäten*. Der Orthopäde, 2000. **29**(9): p. 814-820.
89. Loudon JK, G.H., *Genu recurvatum syndrome*. 1998(0190-6011 (Print)).
90. Jung YB, L., Yong Seuk, *Correction of bony genu recurvatum combined with ligamentous instability of the knee: three case reports*. 2008(0942-2056 (Print)).
91. Waldecker, U. and S. Drewitz, *Untersuchung zur Verteilung der Rückfußwinkel bei 550 Probanden*. Fuß & Sprunggelenk, 2005. **3**(4): p. 224-228.
92. Woick, R. *Sichelfuß | Pes adductus*. 2003 02.02.2010]; Available from: <http://www.medizin-websites.de/fussprobleme/fuss-6/sichelfuss-pes-adductus.html#>.
93. Sofield, H.A. and E.A. Millar, *Fragmentation, realignment, and intramedullary rod fixation of deformities of the long bones in children - a 10-year appraisal*. Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume, 1959. **41**(8): p. 1371-1391.
94. Ferris, B., et al., *The orthopedic management of hypophosphatemic rickets*. Journal of Pediatric Orthopaedics, 1991. **11**(3): p. 367-373.
95. Platzer, P., et al., *Surgical treatment of femoral bending deformity in a patient with vitamin D-resistant rickets*. Wiener Klinische Wochenschrift, 2005. **117**(19-20): p. 721-724.
96. Fucentese, S.F., et al., *Metabolic and orthopedic management of X-linked vitamin D-resistant hypophosphatemic rickets*. Journal of children's orthopaedics, 2008. **2**(4): p. 285-91.
97. Steel, H., R. Sandrown, and P. Sullivan, *Complications of tibial osteotomy in children for genu varum or valgum. Evidence that neurological changes are due to ischemia*. J Bone Joint Surg Am., 1971. **53**(8): p. 1629-35.
98. Ekenze, S.O., R.N. Ikechukwu, and D.C. Oparaocha, *Surgically correctable congenital anomalies: prospective analysis of management problems and outcome in a developing country*. J Trop Pediatr, 2006. **52**(2): p. 126-131.

# 10. Anhang

## Untersuchungsbogen

pre-op      follow up after \_\_\_\_ years

### General

Date \_\_\_\_\_  
First- & Surname \_\_\_\_\_  
Patientnumber \_\_\_\_\_  
Code \_\_\_\_\_  
Village \_\_\_\_\_  
Date of Birth / Age \_\_\_\_\_  
Gender                      male    female  
Weight \_\_\_\_\_kg  
Height \_\_\_\_\_cm  
Medical Treatment      Since \_\_\_\_\_

### Walking

Gait \_\_\_\_\_  
daily distance, sticks needed, in fields \_\_\_\_\_  
running, playing, \_\_\_\_\_  
pain (weight bearing, spontaneous) \_\_\_\_\_

### Trunk and spinal column

rotation (l/O/r)                      (\_\_\_\_°/\_\_\_\_°/\_\_\_\_°)  
lateralflecion (l/O/r)                (\_\_\_\_°/\_\_\_\_°/\_\_\_\_°)  
finger-ground-distance              Cer.: \_\_\_\_cm                      Lom.: \_\_\_\_cm  
matthiass' arm-raising test        path.    physiol. \_\_\_\_\_  
lean-forward-test \_\_\_\_\_

### Hip

malalignment \_\_\_\_\_  
length of legs: spina - mal. med.    l: \_\_\_\_cm                      r: \_\_\_\_cm  
trendelenburg sign                      l:    pos.    neg.                      r:    pos.    neg.  
flection/extension                      l: (\_\_\_\_°/\_\_\_\_°/\_\_\_\_°)              r: (\_\_\_\_°/\_\_\_\_°/\_\_\_\_°)  
outer- / innerrotation 90°            l: (\_\_\_\_°/\_\_\_\_°/\_\_\_\_°)              r: (\_\_\_\_°/\_\_\_\_°/\_\_\_\_°)  
abduction / adduction                l: (\_\_\_\_°/\_\_\_\_°/\_\_\_\_°)              r: (\_\_\_\_°/\_\_\_\_°/\_\_\_\_°)

Pain

---

Knee

Inspection

l: \_\_\_\_\_

r: \_\_\_\_\_

intercondylus- Intermalleolus distance

\_\_\_\_\_ cm

genu recurvatum

l: pos. neg.

r: pos. neg.

palpation menisci, ligaments

l: \_\_\_\_\_

r: \_\_\_\_\_

articular effusion

l: pos. neg.

r: pos. neg.

flexion/extension

l: (\_\_\_\_°/\_\_\_\_°/\_\_\_\_°)

r: (\_\_\_\_°/\_\_\_\_°/\_\_\_\_°)

med. & lat. Lift-off in 0° & 20°

l: \_\_\_\_\_

r: \_\_\_\_\_

ant. & post. Translation, lachmann

l: \_\_\_\_\_

r: pos. neg.

q-angle

l: \_\_\_\_\_°

r: \_\_\_\_\_°

hypermobility der patella

l: \_\_\_\_\_

r: \_\_\_\_\_

patella position / luxation

l: \_\_\_\_\_

r: \_\_\_\_\_

Foot

Deformity

l: \_\_\_\_\_

r: \_\_\_\_\_

calcaneusaxis

l: \_\_\_\_\_°

r: \_\_\_\_\_°

prefoot-position

l: \_\_\_\_\_

r: \_\_\_\_\_

dorsalextension/plantarflexion

l: \_\_\_\_\_°

r: \_\_\_\_\_°

pronation/supination

l: \_\_\_\_\_°

r: \_\_\_\_\_°

blood flow/motor functions/sensitivity

Footpulse

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

Atrophy

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

contracture

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

stair climbing

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

Rider

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

heel walking

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

tip toe walking

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

paresis/paralysis

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

Patellarsehnenreflex

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

Achillesehnenreflex

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

Tibialisposteriorreflex

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

Hypästhesieareale

l: \_\_\_\_\_

r: \_\_\_\_\_

Bone Deformity

*Nativ*

*Frontal*

genu varum/valgum	l: _____°	r: _____°
femoral CORA angulation	l: _____°	r: _____°
tibial CORA angulation	l: _____°	r: _____°
joint line convergence angle (JLCA)	medial lateral opened _____°	
mechanical axis deviation (MAD)	l: _____°	r: _____°
mechanical axis angulation	l: _____°	r: _____°
anatomic tibiofemoral angle	l: _____°	r: _____°
lat. dist. femurangle (LDFA)	l: _____°	r: _____°
med. prox. Tibiaangle (MPTA)	l: _____°	r: _____°
lat. dist. Tibiaangle (LDTA)	l: _____°	r: _____°
tibial alignment angle	l: _____°	r: _____°

*Sagittal*

femoral CORA angulation		
tibial CORA angulation	l: _____°	r: _____°
post. dist. femurangle (PDFA)	l: _____°	r: _____°
post. prox. tibiaangle (PPTA)	l: _____°	r: _____°
ant. dist. tibiaangle (ADTA)	l: _____°	r: _____°

*Other*

femoral length	l: _____cm	r: _____cm
tibial length	l: _____cm	r: _____cm
femoral aro/iro	l: _____°	r: _____°
tibial iro/aro	l: _____°	r: _____°
femoral translation	l: _____°	r: _____°
tibial translation	l: _____°	r: _____°
other pathologies	l: _____	r: _____

*x-ray*

*Frontal*

genu varum/valgum	l: _____°	r: _____°
femoral CORA angulation	l: _____°	r: _____°
tibial CORA angulation	l: _____°	r: _____°
joint line convergence angle (JLCA)	medial lateral opened _____°	
mechanical axis deviation (MAD)	l: _____°	r: _____°
mechanical axis angulation	l: _____°	r: _____°
anatomic tibiofemoral angle	l: _____°	r: _____°
lat. dist. femurangle (LDFA)	l: _____°	r: _____°
med. prox. Tibiaangle (MPTA)	l: _____°	r: _____°
lat. dist. Tibiaangle (LDTA)	l: _____°	r: _____°
tibial alignment angle	l: _____°	r: _____°

*Sagittal*

femoral CORA angulation		
tibial CORA angulation	l: _____°	r: _____°
post. dist. femurangle (PDFA)	l: _____°	r: _____°
post. prox. tibiaangle (PPTA)	l: _____°	r: _____°



ant. dist. tibiaangle (ADTA)

l: \_\_\_\_\_°

r: \_\_\_\_\_°

*Other*

femoral length

l: \_\_\_\_\_cm

r: \_\_\_\_\_cm

tibial length

l: \_\_\_\_\_cm

r: \_\_\_\_\_cm

femoral aro/iro

l: \_\_\_\_\_°

r: \_\_\_\_\_°

tibial iro/aro

l: \_\_\_\_\_°

r: \_\_\_\_\_°

femoral translation

l: \_\_\_\_\_°

r: \_\_\_\_\_°

tibial translation

l: \_\_\_\_\_°

r: \_\_\_\_\_°

other pathologies

l: \_\_\_\_\_

r: \_\_\_\_\_

*Operation*

Date

\_\_\_\_\_

Plan

\_\_\_\_\_

Summary

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

post op

\_\_\_\_\_

metal removal

\_\_\_\_\_

*OP complications*

recurrent deformity

l: \_\_\_\_\_

r: \_\_\_\_\_

stability of osteotomie

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

pseudarthrosis/nonunion

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

Refracture

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

migration of implanted metall

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

Ankylosis

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

deep intramedullary infection

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

infection of implanted metall

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

Pain

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

wound healing disorder

l: o.b. \_\_\_\_\_

r: o.b. \_\_\_\_\_

others

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **Danksagung**

Bei Prof. Dr. Raab möchte ich mich für die Überlassung des Themas und die damit verbundene Möglichkeit eine Vielzahl an persönlichen und fachlichen Erfahrungen zu sammeln, bedanken.

Herzlichen Dank an Prof. Dr. Jakob für das Übernehmen des Korreferates.

Des Weiteren, einen ganz besonderen Dank an alle Mitarbeiter des Würzburger Teams, insbesondere Maria Wagner, Prof. Dr. Stich, Dr. Christa Kitz, Frau Zürn sowie vielen Anderen.

Allen Mitarbeitern von "Hope for the Village Child" - insbesondere Michael Ogundele, Sr. Rita Schwarzenberger, Ruth, Abigal, Hakuri - möchte ich meinen höchsten Respekt für Ihre Arbeit und Ihre Aufopferung aussprechen. Ich bedanke mich herzlichst für Ihre Hilfsbereitschaft und Mitarbeit. Ohne Sie wäre dieses Projekt so nicht möglich geworden.  
WELL DONE!!!

Bei meiner Familie und meinen Freunden möchte ich mich für die ausdauernde Unterstützung, das Vertrauen und die Anteilnahme auf das Äußerste bedanken.

# Lebenslauf

## PERSÖNLICHES

*Name:* Viktor Wesselsky  
*Geburtsdatum:* 07.08.1985  
*Geburtsort:* Frankfurt / Main  
*Wohnsitz:* Kreuzbergstraße 43  
10965 Berlin  
*Eltern:* Klaus Wesselsky  
Lilian Bliesener-Wesselsky  
*Familienstand:* ledig  
*Email* vwesselsky@gmx.de

## SCHULE

*Grundschule:* Textor-Schule (Frankfurt/M) von 1990 bis 1994  
*Gymnasium:* Freiherr-von-Stein-Schule (Frankfurt/M) von 1994 bis 1995  
Heinrich-von-Gagern-Gymnasium - humanistisches  
Gymnasium (Frankfurt/M) von 1995 bis 2004

## STUDIUM

*04/2005:* Immatrikulation für Humanmedizin an der Julius-Maximilians-Universität in Würzburg  
*03/2007:* Bestehen des ersten Abschnitts der ärztlichen Prüfung (Physikum)  
*06/2008:* Unterzeichnung des Doktorantenvertrags an der Orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus in Würzburg (Thema: “Über die Behandlung hochgradiger rachitischer Beinefehlstellungen im Kindesalter in Nigeria“)  
*07/ 2008:* Teilnahme an der Sommerakademie für Globale Gesundheit & Tropenmedizin am Missionsärztlichen Institut in Würzburg

2008/2009                      Jeweils Aufenthalt in Kaduna, Nigeria im Rahmen der  
Doktorarbeit

06/2011                         Zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung

### **FAMULATUREN**

08/2007:                        Viszeralchirurgie im Zentrum für operative Medizin  
(ZOM) in Würzburg

03/2008:                        Herz-Thorax-Chirurgie im Allgemeinen Krankenhaus  
(AKH) Wien

04/2008:                        Orthopädie im Krankenhaus der barmherzigen Schwestern  
Wien

03/2009:                        Unfallchirurgische        Notfallambulanz        im        BG  
Unfallkrankenhaus (BGU) Frankfurt/Main

### **PRAKTISCHES JAHR**

02/2010 - 05/2010            Chirurgie im Kantonsspital Bruderholz in Basel, Schweiz

06/2010 - 07/2010            Kinderorthopädie im Universitäts-Kinderspital beider Basel  
(UKBB) Basel, Schweiz

08/2010 - 09/2010            Orthopädie im Universitätsklinikum Basel, Schweiz

10/2010 - 01/2011            Innere Medizin im Klinikum Aschaffenburg

### **BERUFLICHE ANSTELLUNGEN**

01/2012 -                        Orthopädie    und    Unfallchirurgie    im    Evangelischen  
Waldkrankenhaus Spandau, Berlin