

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für Allgemeine Orthopädie und Tumororthopädie
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Georg Gosheger
Abteilung für Kinderorthopädie, Deformitätenrekonstruktion und
Fußchirurgie
Leiter: Prof. Dr. med. Robert Rödl

Wachstumslenkung bei Beinlängendifferenzen und
Beinachsenfehlstellungen

–

Klinische und radiologische Evaluation der temporären
Epiphysiodese mittels Orthofix eight-Plate™

INAUGURAL - DISSERTATION
zur
Erlangung des doctor medicinae
der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von

Hagedorn, Tim Werner
aus Gelsenkirchen

2013

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Schmitz

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Robert Rödl

2. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. soc. Dieter Rosenbaum

Tag der mündlichen Prüfung: 08.01.2013

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für Allgemeine Orthopädie und Tumororthopädie
-Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Georg Gosheger-
Referent: Prof. Dr. med. Robert Rödl
Koreferent: Prof. Dr. rer. soc. Dieter Rosenbaum

Zusammenfassung

Wachstumslenkung bei Beinlängendifferenzen und Beinachsenfehlstellungen –
Klinische und radiologische Evaluation der temporären Epiphysiodese mittels eight-
Plate™

Hagedorn, Tim Werner

Fragestellung: Temporäre Epiphysiodeseverfahren gehören seit langem zu den etablierten Therapieoptionen bei Achsenfehlstellungen und Beinlängendifferenzen. 2005 stellten Stevens et al. ein neues Verfahren mittels der sog. eight-Plate™ vor, einer 8-förmigen Platte mit 2 nicht winkelstabilen Schrauben, welches eine anwenderfreundlichere, komplikationsfreiere und schnellere Therapie bieten soll. Diese Studie soll anhand der Erfahrungen und Therapieergebnisse des Universitätsklinikums Münster das neue Verfahren evaluieren und den bisherigen Therapieoptionen und Bewertungen gegenüberstellen.

Methodik: In dieser Studie wurden die Daten von 93 Patienten mit 246 zur Beinachsen- oder Beinlängenkorrektur implantierten und 116 explantierten eight-Plates™ untersucht, welche diese Therapie im Zeitraum zwischen August 2005 und August 2009 erhalten haben. Zur Datenerhebung und Therapieplanung bzw. -evaluation wurden die Patienten direkt vor dem operativen Eingriff und zu definierten Nachuntersuchungsterminen klinisch und radiographisch untersucht.

Ergebnisse: Bei den Varusfehlstellungen konnte eine durchschnittliche Korrekturrate von 0,95° pro Monat femoral und 0,69° pro Monat tibial erreicht werden, wohingegen bei den Valgusfehlstellungen 0,69° pro Monat femoral und 0,59° pro Monat tibial bestimmt werden konnten. Bei den Beinlängendifferenzen wurde eine durchschnittliche Korrektur von 0,48 mm pro Monat bei rein femoraler, 0,14 mm pro Monat bei rein tibialer und 1,30 mm pro Monat bei kombiniert femoraler und tibialer Epiphysiodese erreicht.

Schlussfolgerungen: Die eight-Plate™-Epiphysiodese ist ein effektives Verfahren zur Korrektur von Achsenfehlstellungen und Beinlängendifferenzen, welches in seiner Effizienz vergleichbar mit der Methode nach Blount ist, ohne signifikant schneller zu korrigieren.

Tag der mündlichen Prüfung: 08.01.2013

ERKLÄRUNG

Ich gebe hiermit die Erklärung ab, dass ich die Dissertation mit dem Titel:

Wachstumslenkung bei Beinlängendifferenzen und Beinachsenfehlstellungen –

Klinische und radiologische Evaluation der temporären Epiphysiodese mittels Orthofix eight-Plate™

in der/im (Klinik, Institut, Krankenanstalt):

Universitätsklinikum Münster

Klinik und Poliklinik für Allgemeine Orthopädie und Tumororthopädie

Abteilung für Kinderorthopädie, Deformitätenrekonstruktion und Fußchirurgie

unter der Anleitung von:

Prof. Dr. med. Robert Rödl

1. selbständig angefertigt,
2. nur unter Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeiten angefertigt und sonst kein anderes gedrucktes oder ungedrucktes Material verwendet,
3. keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,
4. sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung einer in- oder ausländischen Fakultät als Dissertation, Semesterarbeit, Prüfungsarbeit, oder zur Erlangung eines akademischen Grades, vorgelegt habe.

Münster, 25.07.2012

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	6
2 Grundlagen.....	8
2.1 Anatomie und Wachstum	8
2.1.1 Funktionelle Anatomie des Beckens und der unteren Extremität.....	8
2.1.2 Radiologische Parameter und Messmethoden der unteren Extremität.....	8
2.1.3 Skelettwachstum und Entwicklung	11
2.1.4 Osteogenese und Epiphysenfugen.....	12
2.2 Beinlängendifferenzen	15
2.2.1 Definition.....	15
2.2.2 Ätiologie und Pathogenese	16
2.2.3 Auswirkungen und klinische Relevanz	17
2.2.4 Diagnostik.....	18
2.2.4.1 Klinische Diagnostik.....	18
2.2.4.2 Radiologische Diagnostik.....	18
2.2.5 Therapie	19
2.2.5.1 Konservative Therapie.....	20
2.2.5.2 Operative Therapie	20
2.3 Achsfehlstellungen	21
2.3.1 Definition.....	21
2.3.2 Ätiologie und Pathogenese	22
2.3.3 Auswirkungen und klinische Relevanz	23
2.3.4 Diagnostik.....	23
2.3.4.1 Klinische Diagnostik.....	23
2.3.4.2 Radiologische Diagnostik.....	24
2.3.5 Therapie	24
2.3.5.1 Konservative Therapie.....	24
2.3.5.2 Operative Therapie	25
2.4 Epiphysiodese.....	26
2.4.1 Prinzip der Epiphysiodese	26

Inhaltsverzeichnis

2.4.2	Geschichte der Epiphysiodese.....	29
2.4.3	Permanente Verfahren.....	30
2.4.3.1	Phemister	30
2.4.3.2	Canale.....	30
2.4.4	Temporäre Verfahren.....	31
2.4.4.1	Blount-Klammern	31
2.4.4.2	Percutaneous Epiphysiodesis Using Transphyseal Screws.....	33
2.4.4.3	eight-Plates™	33
2.4.4.3.1	Entwicklung und Theorie.....	33
2.4.4.3.2	Komplikationen	36
3	Patienten und Methode	37
3.1	Studientyp	37
3.2	Patientenkollektiv	37
3.2.1	Patienten mit Beinlängendifferenzen	38
3.2.2	Patienten mit Varusfehlstellungen.....	38
3.2.3	Patienten mit Valgusfehlstellungen	38
3.3	Operationsverfahren.....	38
3.3.1	Operationsplanung.....	38
3.3.2	Operationstechnik.....	39
3.3.3	Postoperative Nachbehandlung.....	43
3.3.4	Entfernung der Platten.....	44
3.4	Methoden.....	44
3.4.1	Untersuchte klinische Parameter.....	44
3.4.1.1	Geschlecht.....	44
3.4.1.2	Geburtstag.....	45
3.4.1.3	Skeletalter zum Implantationszeitpunkt.....	45
3.4.1.4	Implantationsdatum, Explantationsdatum	45
3.4.1.5	Operationszeiten Implantation und Explantation.....	45
3.4.1.6	Aufenthaltsdauern Implantation und Explantation	45
3.4.1.7	Durchleuchtungszeiten Implantation und Explantation	46
3.4.1.8	Epiphysiodeseindikation	46
3.4.1.9	Epiphysiodeselokalisation	46
3.4.1.10	Therapieerfolg.....	46

Inhaltsverzeichnis

3.4.1.11 Postoperative Komplikationen.....	46
3.4.1.12 Etwaige Grunderkrankungen	47
3.4.1.13 Begleitoperationen.....	47
3.4.2 Untersuchte radiologische Parameter	47
3.4.2.1 Beinlängendifferenz	49
3.4.2.2 Mechanischer lateraler distaler Femurwinkel	49
3.4.2.3 Mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel.....	50
3.4.2.4 Anatomischer femoro-tibialer Winkel	50
3.4.2.5 Abweichung der Mikulicz-Linie vom Gelenkmittelpunkt	50
3.4.3 Errechnete Parameter	51
3.4.3.1 Alter zum Implantationszeitpunkt	51
3.4.3.2 Epiphysiodesedauer	51
3.4.3.3 Operationsdauer pro eight-Plate™ für Implantation und Explantation	51
3.4.3.4 Durchleuchtungszeit pro eight-Plate™ für Implantation und Explantation	51
3.4.3.5 Durchschnittliche Aufenthaltsdauer bei Implantation und Explantation	51
3.5 Datenerfassung	51
3.5.1 Gesamtgruppe.....	53
3.5.2 Beinlängendifferenzgruppe.....	53
3.5.3 Varusgruppe	53
3.5.4 Valgusgruppe.....	54
3.6 Statistische Auswertung und Signifikanzanalyse	54
3.7 Tabellarische und graphische Darstellung	56
4 Ergebnisse	57
4.1 Gesamtgruppe.....	57
4.1.1 Patientenzahl und Anzahl der eight-Plates™	57
4.1.2 Alter	57
4.1.3 Skeletalter	57
4.1.4 Epiphysiodesedauer	57
4.1.5 Operationszeiten Implantation und Explantation.....	58
4.1.6 Aufenthaltsdauern Implantation und Explantation	59
4.1.7 Durchleuchtungszeiten Implantation und Explantation	59
4.2 Beinlängendifferenzgruppe.....	60
4.2.1 Patientenzahl und Anzahl der eight-Plates™	60

Inhaltsverzeichnis

4.2.2 Alter	61
4.2.3 Skeletalter	61
4.2.4 Beinlängendifferenz präoperativ und am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation.....	61
4.2.5 Absolute Korrektur und Korrekturgeschwindigkeit	62
4.2.6 Therapieerfolg	65
4.2.7 Grunderkrankungen	65
4.3 Varusgruppe	65
4.3.1 Patientenzahl und Anzahl der eight-Plates™	65
4.3.2 Alter	65
4.3.3 Skeletalter	66
4.3.4 Mechanische Achsdeviation präoperativ und am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation.....	66
4.3.5 Kniegelenkwinkel präoperativ und am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation.....	67
4.3.6 Absolute Korrekturen und Korrekturgeschwindigkeiten	68
4.3.7 Therapieerfolg	70
4.3.8 Grunderkrankungen	70
4.4 Valgusgruppe.....	71
4.4.1 Patientenzahl und Anzahl der eight-Plates™	71
4.4.2 Alter	71
4.4.3 Skeletalter	71
4.4.4 Mechanische Achsdeviation präoperativ und am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation.....	71
4.4.5 Kniegelenkwinkel präoperativ und am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation.....	72
4.4.6 Absolute Korrekturen und Korrekturgeschwindigkeiten	73
4.4.7 Therapieerfolg	75
4.4.8 Grunderkrankungen	75
4.5 Vergleich ausgewählter Ergebnisse von Varus- und Valgusgruppe	76
4.5.1 Vergleich des chronologischen Alters präoperativ	76
4.5.2 Vergleich der Epiphysiodesedauer	76
4.5.3 Vergleich der absoluten Korrekturen der Extremitätenwinkel und der MAD	77

Inhaltsverzeichnis

4.5.4 Vergleich der Korrekturgeschwindigkeiten der Extremitätenwinkel und der MAD	78
4.6. Komplikationen	80
5 Diskussion	83
5.1 Diskussion der Methoden	83
5.2 Diskussion der Ergebnisse	85
5.2.1 Epiphysiodeseindikation	85
5.2.2 Patientenalter	86
5.2.3 Epiphysiodeselokalisation	87
5.2.4 Operationsdauer und Einsatzzeit der Durchleuchtung	88
5.2.5 Stationäre Aufenthaltsdauer	89
5.2.6 Epiphysiodesedauer	89
5.2.7 Beinlängendifferenzen	90
5.2.8 Achsfehlstellungen	94
5.2.9 Therapieerfolg	102
5.2.10 Grunderkrankungen	103
5.2.11 Postoperative Komplikationen	104
5.2.12 Empfehlungen für die Epiphysiodese mit der eight-Plate™	109
6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	113
7 Literaturverzeichnis	117
8 Abkürzungsverzeichnis	126
9 Abbildungsverzeichnis	127
10 Tabellenverzeichnis	129
11 Erklärung der Selbstständigkeit	130
12 Lebenslauf	131
13 Danksagung	133

1 Einleitung

Wachstums- und Entwicklungsstörungen der unteren Extremitäten sind ein häufiges Krankheitsbild im Kindesalter, deren meistbeobachtete Ausprägungen sich in Beinlängendifferenzen und Beinachsenfehlstellungen aufteilen lassen. Während diesen Deformitäten in manchen Fällen eine auch andere Körperteile und -systeme betreffende Erkrankung zugrunde liegt, bleibt die Ursache in einer Vielzahl der Fälle ungeklärt. Geringe Beinlängenunterschiede und Beinachsendiformitäten können dabei während des Wachstums physiologisch auftreten, sich spontan korrigieren und bedürfen daher keiner oder einer bereits mit lediglich konservativen Methoden erreichbaren Korrektur [36, 39, 49, 55, 71, 126]. Bleibt diese spontane Korrektur jedoch aus, ist die Deformität weiter progredient oder ist eine Korrektur mit konservativen Methoden nicht zu erreichen, so kann sich dies ungünstig auf die weitere Entwicklung und die spätere längerfristige Mobilität des betroffenen Kindes auswirken. Eine pathologische Belastung des Kniegelenks kann bei Achsenfehlstellungen zu einer frühzeitigen Gonarthroseentwicklung beitragen [63, 102, 121]. Eine Beinlängendifferenz kann zu einer schiefen Hüftstellung mit Skolioseentwicklung und Rückenschmerzen führen. Daher wurden in der Vergangenheit mehrere Verfahren zur operativen Therapie entwickelt mit dem gemeinsamen Ziel gleiche Beinlängen, eine neutrale physiologische Beinachse und eine horizontale Kniestellung zu erreichen. Im Rahmen dieser Therapiemöglichkeiten gehört die temporäre Epiphysiodese seit nunmehr 65 Jahren neben der permanenten Epiphysiodese zum Spektrum interventioneller orthopädischer Therapie im Wachstumsalter und besitzt ein vielfältiges Einsatzgebiet. Hierbei sind besonders der Einsatz bei Beinlängendifferenzen oder den verschiedenen Beinachsenfehlstellungen zu nennen. Bisher gebührte dem temporären Verfahren nach Blount (Blount-Klammern) [10] und der permanenten Methode nach Canale (Perkutane Epiphysiodese) [21, 23] die größte Bedeutung. Seit den ersten Versuchen von Dr. Walter Blount im Jahre 1945 bis zum heutigen Tag wurde dabei das Verfahren der

1 Einleitung

temporären Epiphysiodese vielfach überdacht, überarbeitet, verändert und verbessert. Eine dieser Neuerungen ist das von der Firma Orthofix im Jahre 2005 vorgestellte eight-PlateTM-System (Orthofix, Lewisville, Texas) [118], das weniger Komplikationen, kürzere Immobilisationszeiten und geringere Invasivität des Eingriffs verspricht.

An der Klinik und Poliklinik für Allgemeine Orthopädie (und Tumororthopädie) wird dieses neue Verfahren nun bereits seit 2005 zur Therapie von Beinlängendifferenzen und Beinachsenfehlstellungen eingesetzt. Bis zum August 2009 ergibt sich dabei ein Patientenkollektiv von insgesamt 93 Patienten mit Implantation von insgesamt 246 eight-PlatesTM. Nach Auswertung der diese Fälle betreffenden prä- und postoperativen klinischen Verlaufsdokumentationen sowie der prä- und postoperativen Röntgenbilder sind nun längerfristige Daten und Ergebnisse zu diesem neuen Therapieverfahren bei einem größeren Patientenkollektiv verfügbar.

In der vorliegenden Arbeit werden diese Resultate vorgestellt und diskutiert. Hierbei liegt das Hauptaugenmerk auf der Wirksamkeit des Verfahrens in seinen verschiedenen Einsatzmöglichkeiten und auf den möglichen Komplikationen. Dabei werden unterschiedliche klinische und radiologische Parameter erhoben und evaluiert. Neben perioperativen Daten wie die für die Operation erforderliche Aufenthaltsdauer und Operationszeit, die notwendigen Durchleuchtungszeiten sowie die Rate an Komplikationen werden verschiedene klinische und radiologische Befunde evaluiert, wobei insbesondere die je nach Indikation und Lokalisation der Epiphysiodese erreichte Korrekturgeschwindigkeit, die absolut erreichten Korrekturen sowie die Dauer der wachstumslenkenden Behandlung gemessen und errechnet werden. Anhand der zur Verfügung stehenden Fachliteratur wird weiterhin dargestellt, inwieweit das neue System einen Platz neben den bisher etablierten Epiphysiodeseverfahren einnehmen kann, ob es dabei vergleichbare oder sogar bessere Ergebnisse liefert und wo seine Vor- und Nachteile liegen.

2 Grundlagen

2.1 Anatomie und Wachstum

2.1.1 Funktionelle Anatomie des Beckens und der unteren Extremität

Das Bein ist ein komplexer biomechanischer Apparat, der, mit einer Vielzahl von Gelenken ausgestattet, neben der stabilen Stützung des Rumpfes vor allem der Fortbewegung dient. Für die langandauernde Funktionalität dieses Apparats besteht die Notwendigkeit einer gewissen Abnutzungsresistenz, die durch die gleichmäßige Verteilung der Belastungen gewährleistet wird. Hierbei hervortretend ist die mechanische Beinachse, auch Mikulicz-Linie genannt, mit ihrem Verlauf vom Hüftkopfbereich zum Kniegelenkszentrum und weiter zum Zentrum des oberen Sprunggelenks. Eine deutliche Abweichung dieser Traglinie nach medial oder lateral des Kniegelenks führt zu Überbelastung eines Gelenkanteils mit dem Risiko einer frühen Gonarthroseentwicklung. Ebenso kann ein Unterschied in der Beinlänge mit Komplikationen einhergehen. So kann eine Beinlängendifferenz zu einer Fehlstellung, bzw. einem Schiefstand des Beckens, führen, welches im Stehen und Gehen durch eine weitere Fehlstellung der Wirbelsäule kompensiert wird. Dies kann wiederum zu einer Skolioseentwicklung führen und damit abermals zu Gelenküberbelastungen, früher Abnutzung von Gelenkflächen und chronischen Schmerzsymptomatiken im Bereich des Achsenskeletts.

2.1.2 Radiologische Parameter und Messmethoden der unteren Extremität

Für die Diagnostik und Therapieplanung bzw. Therapieevaluation wurden bestimmte Messwerte und Winkel, die sich aus der Anatomie ergeben, von Paley et al. definiert [96], welche auch am wachsenden Skelett Anwendung finden [17, 66, 88]. Die mechanische Achsabweichung oder mechanical axis deviation (MAD, mechanische Achsdeviation) ist dabei die Entfernung der mechanischen Achslinie vom Zentrum des Kniegelenks, der Normwert liegt im Bereich von 4,1mm +/- 4mm medial des Kniegelenks [88]. Eine Fehlstellung (Malalignment) geht grundsätzlich mit dem

2 Grundlagen

Vorhandensein einer signifikanten MAD einher, wobei eine MAD weiter medial des Normwerts eine Varusfehlstellung und eine MAD nach lateral des Normwerts eine Valgusfehlstellung bedeutet [97].

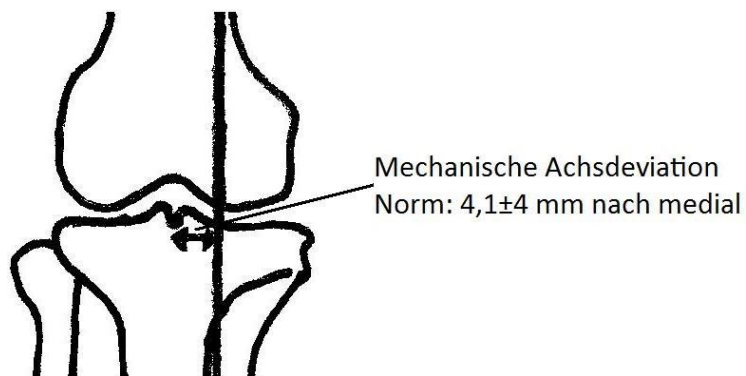
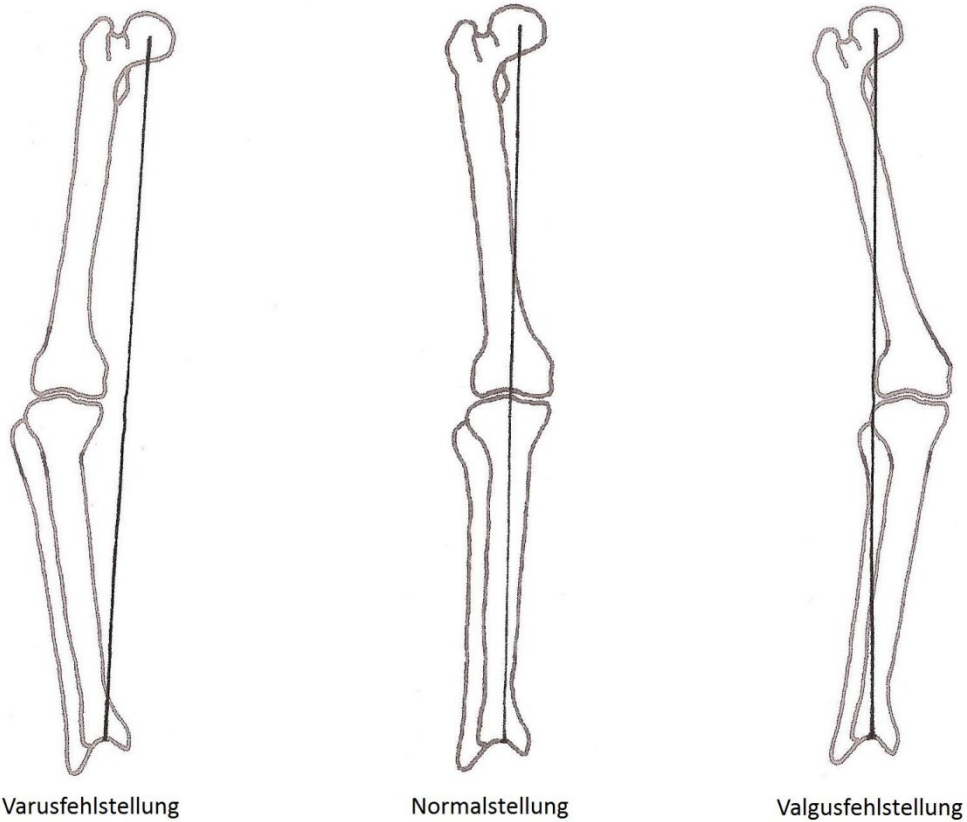


Abbildung 1: Beinachsenstellungen und mechanische Achsdeviation (frei nach [45, 87, 94])

Zur Beurteilung einer femoral bedingten Fehlstellung des Kniegelenks in der Frontalebene eignet sich der mechanische laterale distale Femurwinkel (mLDFW) mit einem Normwert von $87,5^\circ \pm 2,5^\circ$. Eine Abweichung des mLDFW kleiner als der

2 Grundlagen

Normwert deutet auf eine Valgusfehlstellung, eine Abweichung größer als der Normwert auf eine Varusfehlstellung hin. Um die tibial bedingten Kniefehlstellungen zu beurteilen kann entsprechend der (mechanische) mediale proximale Tibiawinkel (mMPTW), Normwert $87,5^\circ \pm 2,5^\circ$, herangezogen werden, wobei hier ein Wert kleiner als der Normwert eine Varusfehlstellung und ein Wert größer als der Normwert eine Valgusfehlstellung bedeutet [97]. Weiterhin kann der anatomische femorotibiale Winkel (aFTW) als lateralseitiger Winkel zwischen der Femur- und Tibiaschaftlinie (deren Definition siehe 3.4.2.4) bestimmt werden. Der Normwert liegt dabei leicht im Valgusbereich bei 173° - 175° [41].

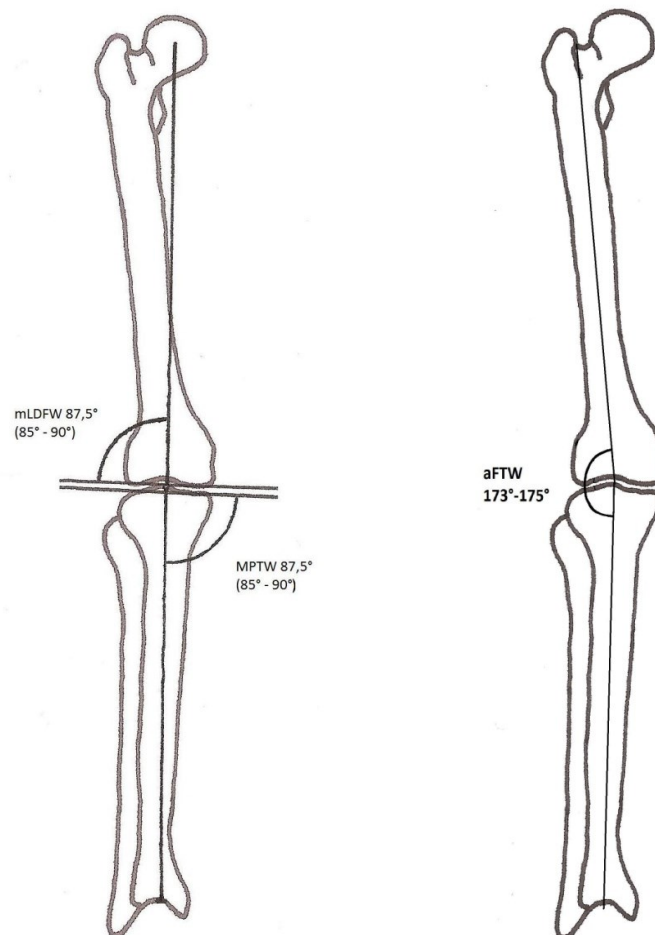


Abbildung 2: Kniegelenkwinkel (frei nach [45, 94, 97])

	mLDFW (°)	mMPTW (°)	aFTW (°)	MAD (mm)
Normwert	85 bis 90	85 bis 90	173 bis 175	4±4 nach medial

Tabelle 1: Normwerte der Kniegelenkwinkel und der mechanischen Achsdeviation

2.1.3 Skelettwachstum und Entwicklung

Die Beurteilung der Achsverhältnisse an der unteren Extremität eines Kindes setzt die Kenntnis der sich mit dem Wachstum ändernden physiologischen Entwicklungsstufen voraus. Diese Kenntnis ermöglicht erst die Einordnung eines vorhandenen Zustandes zu pathologischen Abweichungen oder physiologischen Varianten und muss daher zwingend die Grundlage jeder Indikationsstellung für eine etwaige Therapie sein [126].

Während der Gestationsphase nimmt das Kind im Mutterleib die so genannte „Buddha-Position“ ein, in der die Hüft- und Kniegelenke flektiert und die Tibia innenrotiert sind. Dabei kommt es zu einer Kontraktur der medialen Kniegelenkscapsel, die zur typischen Außenrotation der gesamten unteren Extremität führt. Dies bedingt die Crus/Genu varum-Haltung des Neugeborenen und Säuglings von durchschnittlich 15° [33, 129]. Im Alter von etwa einem Jahr kommt es zur Lösung der Kontraktur und im Verlauf mit zunehmender Mobilität zu zunehmender Valgisierung [33]. Bei Gehbeginn sollte sich das Kniegelenk etwa in Neutralstellung befinden [54]. Dabei kommt es mit Beginn der Vertikalisierung zu einer asymmetrischen Belastung der kniegelenksnahen Wachstumsfugen und damit zu einer biomechanischen Beanspruchung des Knorpels. Medialseitige Druckbelastung und lateralseitige Zugbelastung führen zu einem asymmetrischen Wachstum mit medialseitig überproportionalem Wachstum und somit zur genannten Valgisierung des Beins. Das Maximum dieser Entwicklung tritt mit dem 3.-4. Lebensjahr des Kindes ein, in dem die valgische Beinachse bis zu 10° - 12° betragen kann. Durch diese nun stark valgische Beinachse kommt es bis zum 8.-10. Lebensjahr zu einer Umkehr der Belastungsverhältnisse und damit des Wachstums, was zur Abnahme des valgischen Winkels zu der beim Erwachsenen physiologischen 4° - 7° Valgusstellung führt [53, 111, 126]. Hierbei ist zu beachten, dass die große physiologische Streubreite beim Neugeborenen und Kleinkind sich mit zunehmender Skelettreife verringert und dass eine noch in der Präadoleszenz bestehende Deformität nur noch sehr unwahrscheinlich eine Spontankorrektur zeigen wird [36, 126]. Die normale Entwicklung des Wachstums setzt dabei eine symmetrische Entwicklung der kniegelenksnahen Wachstumsfugen voraus [111].

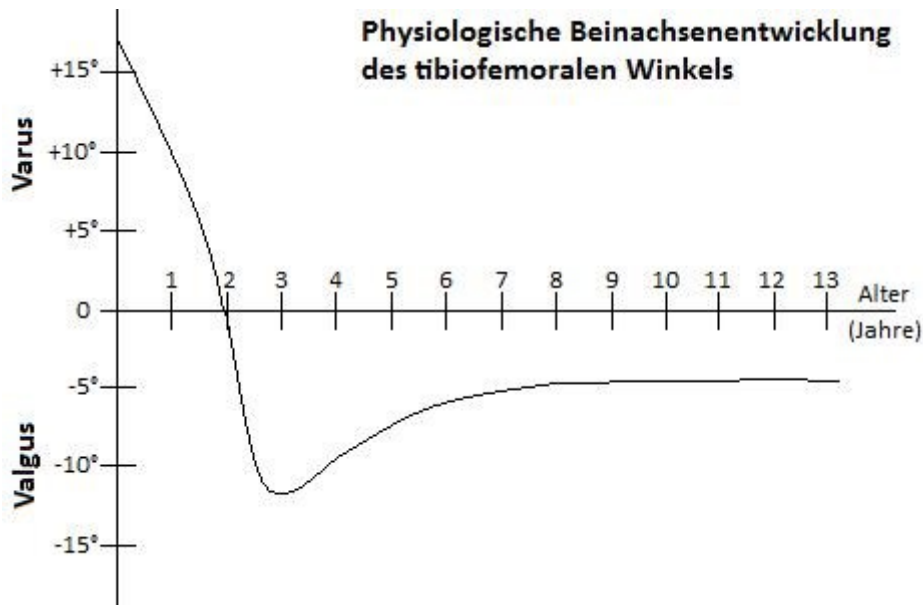


Abbildung 3: Physiologische Entwicklung des (anatomischen) tibiofemorale Winkels aTFW (frei nach [111]), aTFW=superiorer Winkel zwischen Femur- und Tibiaschaftlinie (=anatomische Achsen), positiv = Varus, negativ = Valgus

2.1.4 Osteogenese und Epiphysenfugen

Das Längenwachstum der langen Röhrenknochen und damit der unteren Extremitäten erfolgt ausschließlich an den so genannten Epiphysenfugen an den jeweils proximalen und distalen Enden jedes Knochens [48]. Diese Grenzzone zum hyalinen Knorpel der Epiphysen verschmälert sich nach dem Auftreten der epiphysären Knochenkerne zunehmend und bildet die typische Wachstumsfuge aus. Jene kann allerdings nicht als homogener Gewebekblock aufgefasst werden, sondern zeigt im histologischen Bild eine charakteristische Gliederung in 5 Zonen. Zum Epiphysenkern hin liegt eine Zone typisch hyalinen Knorpels, die sogenannte Reservezone, an die sich nach einer Übergangszone (Transformationszone) die eigentliche funktionelle Wachstumszone als Säulenknorpel anschließt. Diese Zone wird auch als Blasenknorpel bezeichnet, da sich von ihrer Basis an zunehmend das Volumen der Chondrozyten stark vergrößert. Sie bildet den Übergang zum Ossifikationsbereich der Diaphyse. In der sogenannten Verkalkungszone, zur Metaphyse hin, brechen die Knorpelhöhlen auf und es kommt zur Mineralisierung der Matrix. Übrig bleiben septenartige Knorpelreste, die von über das metaphysäre Blutgefäßsystem eingewanderten Osteoblasten als Basis zur Knochenneubildung genutzt werden [83]. Das eigentliche Zellreservoir der Fuge stellen hierbei die den Epiphysenkern umgebenden Stammzellen dar [125]. Hier sorgen die

gesteigerte Mitoserate und die Proliferation der Zellen für ein Auseinanderdrängen in der Transversalebene, bei der die Zellen in Longitudinalrichtung nahe zusammen bleiben und so quasi gestapelt den bereits genannten Blasenknorpel bilden [83].

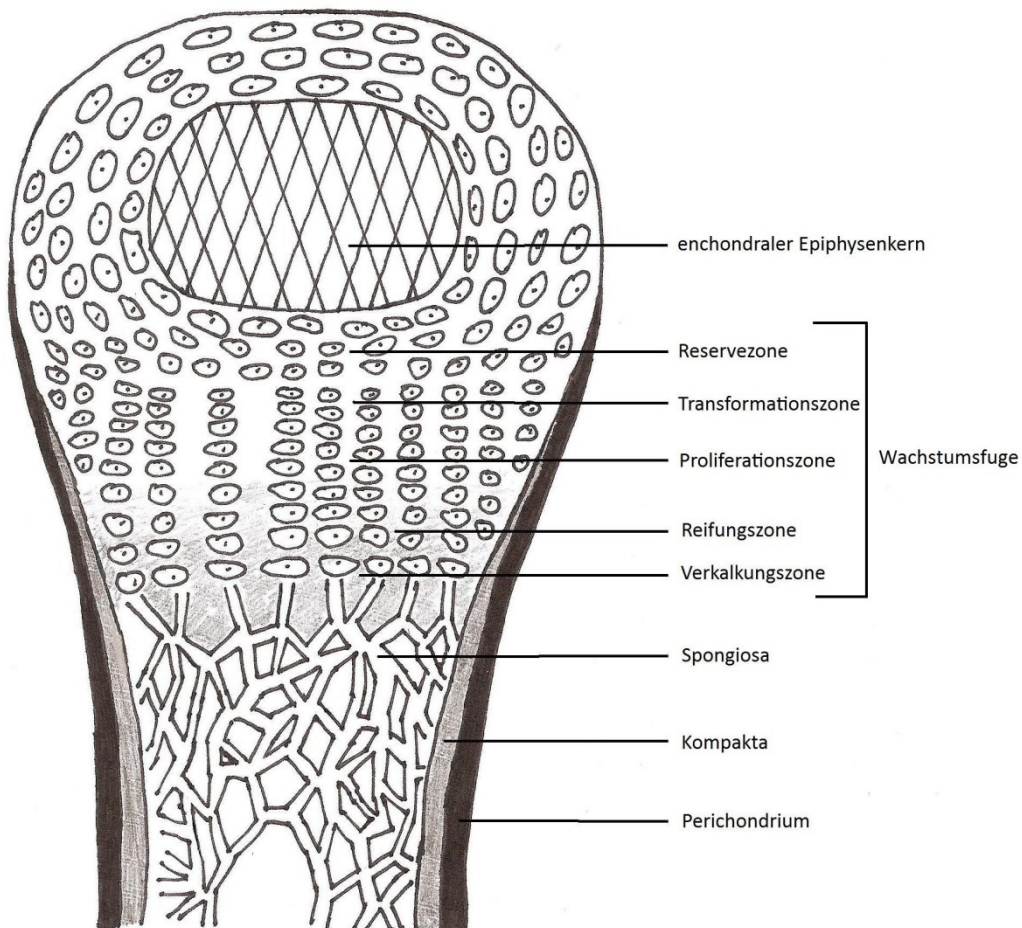


Abbildung 4: Anatomie der Epiphysenfuge (frei nach [87])

Im Normalfall entfällt ein Großteil des Wachstums auf die kniegelenksnahen Wachstumsfugen, was beim Femur 70% und bei der Tibia 55% des Gesamtwachstums des jeweiligen Knochens entspricht. Damit entfallen insgesamt 65% des gesamten Beinwachstums auf die kniegelenksnahen Anteile [2].

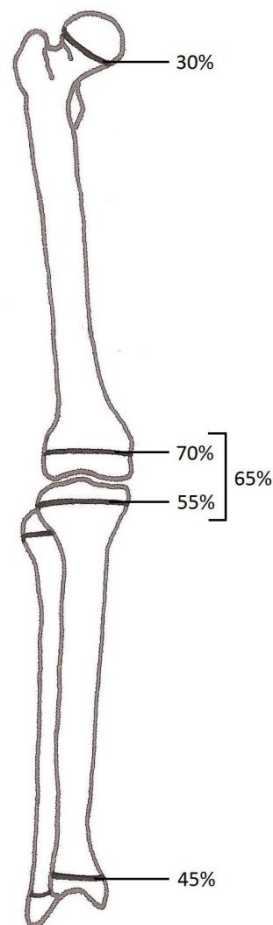


Abbildung 5: Wachstumszonen und deren Anteile am Wachstumsprozess (frei nach [70])

Dieses Wachstum ist ein zeitlich begrenzter Prozess, wobei der Fugenschluss bei Mädchen etwa mit dem 14. Lebensjahr, bei Jungen mit dem 16. Lebensjahr eintritt, eine Beobachtung, die durch Greulich und Pyle gemacht werden konnte [43, 48]. Die Kniegelenks-nahen Wachstumsfugen besitzen deshalb das größte Korrekturpotential, so dass eine Therapie von Beinlängendifferenzen optimaler Weise dort korrigiert werden sollte und auch Kniegelenksfehlstellungen dort sehr gut korrigierbar sind. Da es sich hierbei um wachstumslenkende Eingriffe handelt, sollte spätestens zeitgleich mit dem Schluss der Wachstumsfugen die Korrektur vollendet sein.

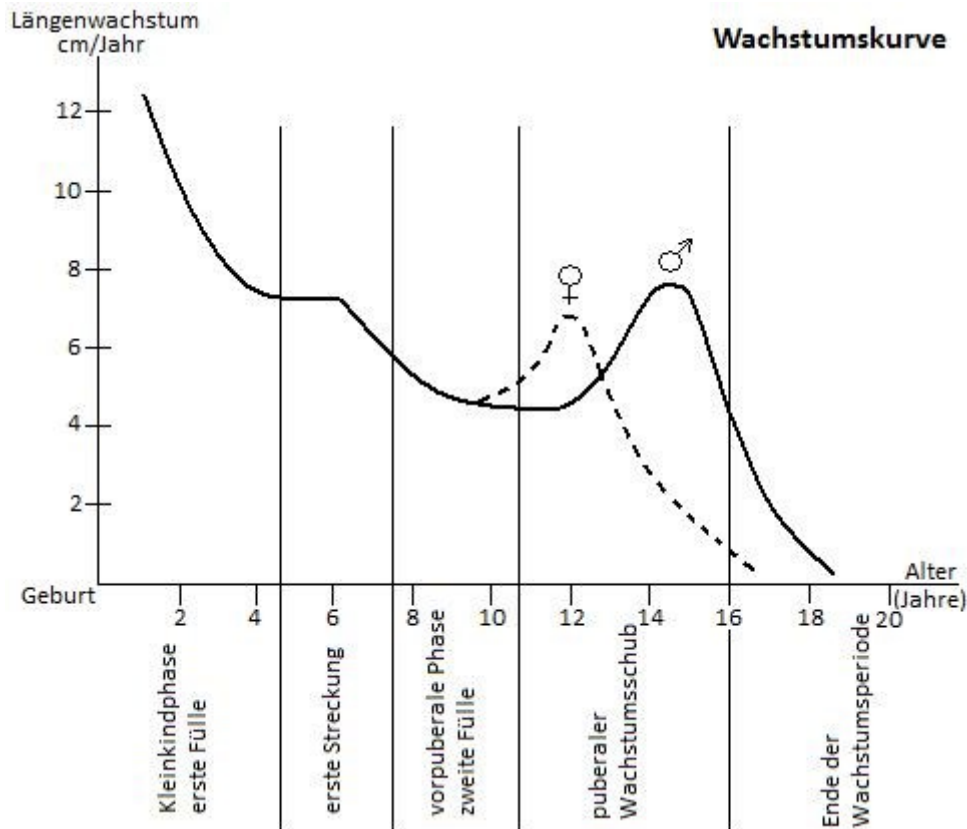


Abbildung 6: Physiologische Entwicklung der Wachstumsgeschwindigkeit (frei nach [31, 87])

2.2 Beinlängendifferenzen

2.2.1 Definition

Bei den wenigsten Menschen besteht eine absolut gleiche Länge beider Beine. Geringe Unterschiede, die meist von den betroffenen Personen weder ästhetisch noch funktionell bemerkt werden, gehören zum Kreis der physiologischen Normvarianten [39, 49]. Ab welcher Differenz es zu einem Krankheitswert mit daraus folgender Therapiebedürftigkeit kommt ist umstritten. Es kann jedoch als sicher angesehen werden, dass eine Beinlängendifferenz von einem Zentimeter oder mehr bei einem Kind als behandlungsbedürftig gelten muss [54]. Bei einem Erwachsenen hingegen tolerieren manche Autoren Beinlängendifferenzen von bis zu zwei Zentimetern [52], wobei größere Differenzen mit Komplikationen wie Fehlstellungen und Schmerzen verbunden sind [42, 107].

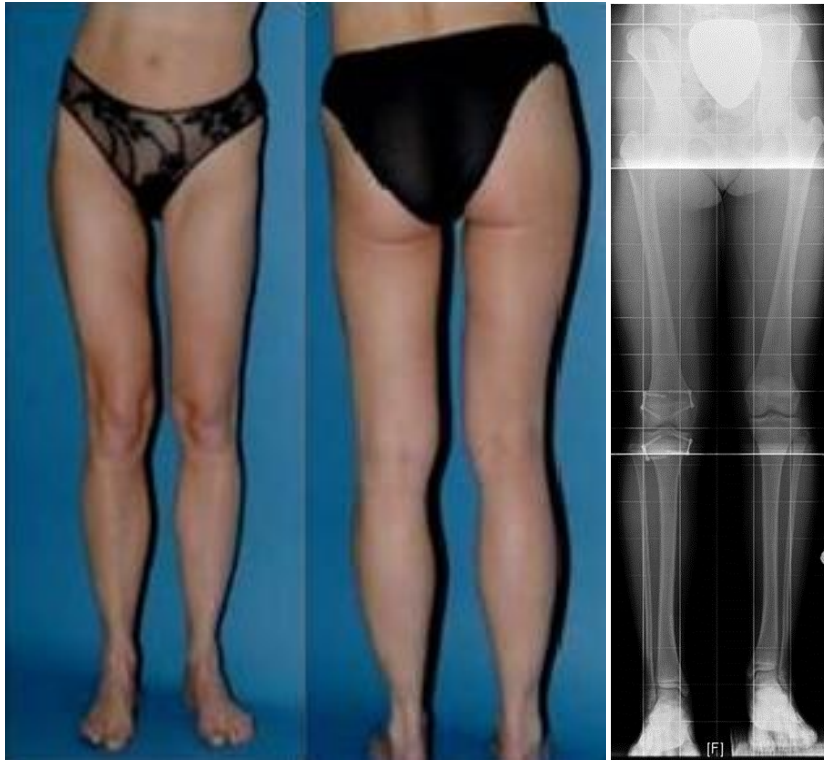


Abbildung 7: Beinlängendifferenz, Mädchen, 12 Jahre, -2,5cm links

2.2.2 Ätiologie und Pathogenese

Beinlängendifferenzen sind eine häufig auftretende Erscheinung. In Reihenuntersuchungen konnte gezeigt werden, dass Differenzen zwischen 0,5 und 1,5 cm bei ca. 32% und Differenzen über 1,5 cm bei ca. 4% der jungen Männer anzutreffen sind [57]. Wegen des sich daraus ergebenden Verkürzungshinkens mit Spitzfußstellung [49] und des Risikos einer Skolioseentwicklung sind meist jedoch nur Differenzen von über zwei Zentimetern bei Erwachsenen und über einem Zentimeter bei Kindern problematisch.

Als Ursachen für eine Beinlängendifferenz kommen eine Vielzahl an Erkrankungen in Frage, die je nach Dynamik wesentlichen Einfluss auf das Alter bei Erstvorstellung sowie auf die Prognose und das therapeutische Verfahren nehmen können [52].

Prinzipiell muss zunächst zwischen funktionellen und reellen Beinlängendifferenzen differenziert werden. Funktionelle Beinlängendifferenzen kommen zum Beispiel in Folge von Gelenkkontrakturen auf Hüft-, Knie- oder Sprunggelenkshöhe vor, die unterschiedliche Kompensationsmechanismen an ipsi- oder auch kontralateralen

Gelenken provozieren können [52]. Reelle Beinlängendifferenzen hingegen sind anatomische Verlängerungen bzw. Verkürzungen der Ober- oder Unterschenkelknochen bzw. der darunterliegenden Fußknochen Talus und Kalkaneus. Hier kann neben der Feststellung, ob es sich um eine Verkürzung infolge einer Wachstumshemmung oder um eine Verlängerung infolge einer Überstimulation handelt, des Weiteren zwischen sekundären angeborenen und erworbenen oder primären idiopathischen Ursachen unterschieden werden. Unter die angeborenen verkürzenden Fehlbildungsursachen fallen dabei longitudinale Defekte (Hemimelie), kongenitale Hemihypo- oder -atrophie, kongenitale Hüftluxation, Fußmissbildungen, amniotisches Band-Syndrom und Achsenfehler, während zum Beispiel Gefäßanomalien mit partiellem Riesenwuchs (Klippel-Trénaunay-Weber-Syndrom) mit Beinverlängerung einhergehen. Auf der Seite der erworbenen Deformitäten können Frakturen mit Fugenbeteiligung, Verbrennungen, Bestrahlungen, M. Perthes, Säuglingsosteomyelitis und auch eine Epiphysiolysis capitis femoris eine Verkürzung bedingen, wohingegen meta- und diaphysäre Frakturen (Wachstumsstimulation durch Remodelling) und aseptische Entzündungen (z.B. chronische Polyarthritits) verlängernd wirken können [4, 21, 45, 52, 56, 124]. Zusätzlich können auch Tumore und Infekte sowohl verlängernden als auch verkürzenden Einfluss haben, z.B. infolge einer gesteigerten Durchblutung im Areal einer Epiphysenfuge. Das Entwicklungsmuster einer Beinlängendifferenz ist dabei oft nicht linear, sondern folgt den Gesetzen der zugrunde liegenden Pathologie [11]. Shapiro hat dabei eine 5-Klassen-Einteilung vorgenommen, die diesen Dynamiken folgt. Die derzeitigen Methoden zur Berechnung einer zu erwartenden Beinlängendifferenz sind dabei auf den linearen Typ 1 anwendbar, dem die meisten Ursachen angehören, während die restlichen Typen Perioden der Akzeleration und Dezeleration beinhalten und eine prognostische Aussage nicht getroffen werden kann [95, 113].

2.2.3 Auswirkungen und klinische Relevanz

Neben der kosmetischen Auffälligkeit einer Beinlängendifferenz kann diese ein Verkürzungshinken, ein Malalignment der mechanischen Beinachse, Komplikationen im Iliosakralgelenk sowie gravierende Auswirkungen auf die physiologische

Wirbelsäulenstatik bewirken [43, 52, 100]. Änderungen an letzterer können im Wachstumsalter zur Entstehung einer Skoliose mit Konvexität auf Seite des kürzeren Beins sowie zur Kippung des Sacrums mit Dysbalance der Gesamtwirbelsäule zur Seite der Verkürzung führen [52]. Die Therapie muss daher auf die Horizontalstellung des Beckens im Zweibeinstand abzielen.

2.2.4 Diagnostik

Die Diagnose einer Beinlängendifferenz kann sowohl klinisch als auch röntgenologisch erfolgen, wobei spätestens zur Planung einer operativen Therapie eine a.-p.-Ganzbeinaufnahme mit streng nach vorne zeigender Patella durchgeführt werden sollte [75, 110].

2.2.4.1 Klinische Diagnostik

Standardverfahren der klinischen Untersuchung ist neben der indirekten Messung durch Handauflage auf beide Beckenkämme die Brettchenmethode nach Eichler [34]. Hierbei werden dem Patienten unter das verkürzte Bein definiert hohe Unterschlagbrettchen gelegt, bis es zu einem Ausgleich der Höhe der Beckenkämme kommt und der Rücken symmetrisch erscheint [84, 87]. Daneben kann auch die direkte Messung im Liegen (Messung der Länge vom Spina iliaca anterior superior zum Innenknöchel) erfolgen [68].

2.2.4.2 Radiologische Diagnostik

Radiographisch ist die Messung der Beinlängendifferenz vom höchsten Teil des Femurkopfes zum Zentrum des unteren Tibiaplateaus sinnvoll (Ganzbeinaufnahme), wobei auch ggf. die Längen von Femur und Tibia getrennt bestimmt werden können. Weiterhin sinnvoll ist außerdem die Messung der oben bereits beschriebenen MAD und der Kniegelenkwinkel mLDFW und mMPTW, da eine Beinlängendifferenz oftmals mit Beinachsenfehlstellungen einhergeht.

Eine weitere Möglichkeit der Beinlängenbestimmung existiert zudem in der sonographischen Messung [68], welche jedoch nicht so verbreitet ist wie die Bestimmung per Röntgenaufnahme.

Gegebenenfalls kann zur Therapieplanung zusätzlich eine a.-p.-Röntgenaufnahme der linken Hand durchgeführt werden, anhand welcher das Skeletalter (z.B. nach der Atlasmethode von Greulich und Pyle [48]) und damit die Zeit bis zum Wachstumsfugenschluss bestimmt werden kann. Diese ist nicht nur relevant für die permanente Epiphysiodese, bei der der Operationszeitpunkt anhand dieser Befunde zwingend geplant werden muss, sondern ebenso für eine temporäre Epiphysiodese, deren erfolgreiche Anwendung an ein noch vorhandenes Restwachstum gebunden ist und bei der ein nahe am Wachstumsabschluss liegender Therapieabschluss zu einer geringeren Rezidivgefahr führt.



Abbildung 8: a.-p.-Röntgenaufnahme der linken Hand nach der Atlasmethode von Greulich und Pyle

Je nach Ursache und Schwere einer Beinlängendifferenz können im viertel- bis halbjährlichen Abstand repetitive Messungen erfolgen, um zum Beispiel die Dynamik oder eine mögliche spontane Korrektur zu evaluieren.

2.2.5 Therapie

Die Therapie von Beinlängendifferenzen beinhaltet ein großes Spektrum konservativer und operativer Maßnahmen von einfachen Schuheinlagen bis zu großen knochenverlängernden Operationen [21].

2.2.5.1 Konservative Therapie

Geringe bis mittelgradige Differenzen können meist einfach konservativ durch verschiedene Verfahren ausgeglichen werden. Dazu gehören Schuheinlagen für Differenzen bis 0,5 cm, ein Sohlen- bzw. Absatzaufbau am Konfektionsschuh, eine Verminderung der Absätze auf der Gegenseite ggf. auch kombiniert für Differenzen bis 6 cm oder orthopädische Schuhe bzw. Orthoprothesen für größere Differenzen. Leider fehlt oftmals die Akzeptanz des Patienten für diese Maßnahmen aufgrund von funktionellen oder kosmetischen Beeinträchtigungen [87].

2.2.5.2 Operative Therapie

Verkürzungsosteotomien und Kallusdistraktionsverfahren sind häufig große operative Eingriffe mit vielen möglichen Komplikationen. Bezüglich Aufwand und Komplikationshäufigkeit sind die verkürzenden Osteotomien hierbei den Distraktionsverfahren überlegen (z.B. häufige Pininfekte bei externem Fixateur). Sie erlauben bis zu 6 cm Verkürzung am Femur und 3 cm an der Tibia, was durch das Risiko einer Muskelinsuffizienz aufgrund relativer Überlänge eingeschränkt wird. Weitere Nachteile sind der ausgedehnte Operationszugang, die lange Dauer bis zur Erholung von der Operation, die Osteosynthese mit dem meist damit verbundenen Zweiteingriff zur Metallentfernung sowie die kosmetische Störung durch die mögliche Umfangsvermehrung durch Weichteilüberschuss, erhöhte Thrombosegefahr, das Risiko eines Kompartmentsyndroms oder die Gefahr einer Pseudarthrosenbildung [65]. Vorteilhaft hingegen sind die genaue Planbarkeit der Korrektur sowie die Möglichkeit einer gleichzeitigen Korrektur von Achsen- und Rotationsfehlern.

An verlängernden Maßnahmen kommen hingegen hauptsächlich Osteotomieverfahren mit anschließender Kallusdistraktion per Fixateur externe oder internem Verlängerungsapparat mittels Verlängerungsmarknagel (Kallotaxis) zur Anwendung. Seltener wird bei kürzeren Strecken eine Distraktion der Epiphysenfuge mit Fixateur externe (Chondrotaxis) oder eine Osteotomie mit anschließender Defektüberbrückung mit lokaler Spongiosaplastik und Verplattung (Wagner-Methode) angewandt.

Eine attraktive deutlich weniger invasive Behandlungsmethode am wachsenden Skelett stellen die ebenfalls verkürzenden Epiphysiodese-Verfahren dar, bei welchen zwischen permanenten und temporären Methoden unterschieden wird. Bei ersteren ist die genaue Berechnung des korrekten Operationszeitpunktes anhand chronologischem Alter, Skelettalter und prognostizierter Beinlängendifferenz bei Wachstumsabschluss der kritische Faktor, welcher bei nur temporärer Epiphysiodese im Großen vernachlässigt werden kann, so noch genug Restwachstum vorhanden ist [52]. Eine mögliche Komplikation dieser Verfahren liegt allerdings in der verfrühten Korrektur der Beinlängendifferenz vor Wachstumsabschluss, welche Rezidive ermöglicht (eine eingehendere Beschreibung der Epiphysiodese siehe 2.4).

2.3 Achsfehlstellungen

2.3.1 Definition

Unter einer Achsfehlstellung versteht man im Allgemeinen eine Abweichung der Beinachse von der Norm in der Frontalebene (Winkel zwischen Femur- und Tibiaschaftlinie, Definition siehe 3.4.2.4). In der vorliegenden Arbeit ist hierbei im Folgenden in allen Punkten eine Beinachsenfehlstellung in der Frontalebene gemeint, so nicht ausdrücklich anders genannt. Dabei ist zu beachten, dass die als „gerade“ empfundene Beinachse des Menschen der physiologischen Valgusstellung von 5° bis 7° entspricht [126]. Obwohl Achsenfehlstellungen in allen Ebenen des Beins auftreten können, sind doch die Abweichungen in der Frontalebene am häufigsten und werden in dieser Arbeit vornehmlich behandelt. Hierbei spricht man von einer Valgusfehlstellung, wenn diese über das physiologische Maß hinausgeht und es zu einer im Volksmund so genannten X-Bein-Stellung kommt, bei der die Schaftlinien in Kniegelenkshöhe nach innen abweichen. Die entsprechend gegenläufige Deformität, im Volksmund auch O-Bein-Stellung genannt, nennt man eine Varusfehlstellung.



Abbildung 9: Valgus- und Varusfehlstellung, jeweils nativ und in der a.-p.-Röntgenstandaufnahme

2.3.2 Ätiologie und Pathogenese

Genua vara sind außerhalb des 1.-2. Lebensjahres immer als pathologisch anzusehen und können innerhalb physiologischer Grenzen im Alter von 1-2 Jahren regelrecht dramatische Ausmaße annehmen. Jedoch ist die Prognose solch früher Varusabweichungen, solange sie nicht Folge einer Pathologie sind, meist gut und eine Spontankorrektur tritt ein [55, 71]. Genua valga hingegen sind im Kindesalter zeitweise physiologisch (siehe 2.1.3) und damit meist erst in der Präadoleszenz oder Adoleszenz als pathologisch zu betrachten. Symmetrische Achsabweichungen sind meist idiopathisch bedingt, können jedoch manchmal auch Folge einer hereditären Pathologie, einer Unter- oder Fehlernährung oder einer systemischen Erkrankung sein. Dagegen muss bei unilateralen Achsfehlstellungen immer eine zugrunde liegende Pathologie abgeklärt werden, wie zum Beispiel Traumen mit Schädigung der Wachstumsfuge, Infektionen, entzündliche Gelenkprozesse, Tumoren oder Frakturen [126, 127]. So ist ein unilaterales Genu valgum eine typische Folge einer proximalen metaphysären Tibiafraktur [123, 126]. An systemischen Stoffwechselerkrankungen kommen vor allem Rachitis (ernährungsbedingt oder Vitamin D-resistent / bevorzugt Genua vara), Phosphatdiabetes und renale Osteodystrophie (bevorzugt Genua valga) vor, während aus dem Formenkreis der kongenitalen Systemerkrankungen die Achondroplasie (bevorzugt Genua vara), Osteogenesis imperfecta, das Marfan-

Syndrom (bevorzugt Genua valga), die spondyloepiphysäre Dysplasie, die multiple epiphyseale Dysplasie und die metaphysäre Chondrodysplasie zu nennen sind. Weiterhin ursächlich für Achsfehlstellungen kommen Adipositas, der Morbus Blount (Aseptische Nekrose im Bereich der proximalen medialen Tibiaepiphyse bedingt Genua vara), die fibrokartilaginäre Dysplasie (Genu varum), eine rheumatoide Arthritis (Genu valgum), Fibulaaplasie/-hypoplasie (Genu valgum), die juvenile idiopathische Arthritis, die multiple kartilaginäre Exostosenkrankheit sowie eine iatrogene Genese nach Glucokortikoidtherapie in Frage [3, 24, 26, 115, 127].

2.3.3 Auswirkungen und klinische Relevanz

Pathologische Fehlstellungen der Beinachsen führen zu einer Verschiebung der Belastungslinie aus der Mitte des Knies nach medial oder lateral, was eine lokale Überbeanspruchung eines Kniegelenkanteils nach sich zieht. Die betroffenen Patienten leiden oftmals neben der kosmetischen Beeinträchtigung an aktivitätsbezogenen Gelenkschmerzen, Gangstörungen sowie einer Gelenkinstabilität. Sekundär kann es zudem zu Affektionen im Hüft- und Sprunggelenk mit progressiver Störung der Gelenkbiomechanik führen [127]. Ebenfalls führt die genannte Überbeanspruchung eines Gelenkanteils zu einer präarthrotischen Deformität, welche im weiteren Verlauf eine Gonarthrose und als deren Folge die Notwendigkeit einer endoprothetischen Versorgung bedingen kann [63, 90, 102, 121]. Das Arthroserisiko ist dabei beim Genu varum als deutlich höher denn beim Genu valgum einzustufen [54]. So besteht bei einer Varusachse von $>3^\circ$ ein 1,5 mal höheres Risiko und bei $>6^\circ$ sogar ein 2 mal höheres Risiko für die Progression einer Gonarthrose im Vergleich zu einer normalen Beinachse mit 0° bis 2° [62].

2.3.4 Diagnostik

Den Verdacht auf eine Achsfehlstellung der Beine kann man sowohl klinisch als auch radiographisch verifizieren.

2.3.4.1 Klinische Diagnostik

Am einfachsten ist die Messung des Interkondylenabstandes (Distanz zwischen Kondylen auf Knieebene) zur Beurteilung eines Genu varum sowie die Messung des

Intermalleolarabstandes (Distanz der Innenknöchel auf Sprunggelenksebene) zur Beurteilung eines Genu valgum [127]. Insbesondere zur Verlaufsbeurteilung steht des Weiteren die Messung des Winkels zwischen den Längsachsen von Ober- und Unterschenkel mittels Goniometer zur Verfügung.

2.3.4.2 Radiologische Diagnostik

Neben einer weiteren Evaluation der Fehlstellung im Liegen und im Stand sowie unter Funktion beim Gehen sollte spätestens zur Planung einer Therapie eine a.-p.-Ganzbeinstandröntgenaufnahme angefertigt werden. Diese hilft den Ort der Deformität präzise festzustellen und ermöglicht ggf. eine Verlaufsbeurteilung oder Therapiekontrolle und –evaluation. Zur validen Beurteilung sollte darauf geachtet werden, dass die Patella streng nach ventral positioniert ist [88]. An der Standaufnahme können dann die Achsen in der Frontalebene beurteilt und u.a. die Extremitätenwinkel mLDFW, MPTW, der tibiofemorale Winkel sowie die mechanische Beinachse (Mikulicz-Linie) und daraus die MAD bestimmt werden (siehe 2.1.2) [25, 26, 46, 62, 96]. Anhand dieser lassen sich die Lokalisation der Fehlstellung feststellen, eine operative Korrektur planen und der Erfolg derselben kontrollieren. [96] Wie auch bei einer Beinlängendifferenz ist ggf. die Kontrolle des Skeletalters mit Hilfe einer a.-p.-Röntgenaufnahme der linken Hand sinnvoll, um das Vorhandensein weiteren Restwachstums zu sichern (siehe 2.2.4.2). Auch hier sind viertel- bis halbjährliche Kontrollen sinnvoll, entweder um im Falle einer zunächst abwartenden Haltung den Verlauf zu kontrollieren oder um die Entwicklung einer operativen Korrektur zu verfolgen.

2.3.5 Therapie

Auch bei der Therapie von Achsfehlstellungen steht ein großes Spektrum an konservativen und operativen Möglichkeiten zur Verfügung.

2.3.5.1 Konservative Therapie

Die einfachste Therapie ist die Versorgung mit orthopädietechnischen Hilfsmitteln, welche jedoch vielfach umstritten und in ihrer Wirkung nicht belegt sind. Hier kann zum Beispiel mit korrigierenden Nachtschienen behandelt werden, wobei ihr Nutzen

ungeklärt ist, da erstens nachts keine dynamischen Kräfte wirken und zweitens eine Korrektur eher im Gelenk als am Knochen stattfindet. Ebenso sind Schuhranderhöhungen von 3-5 mm (medial bei Genua vara, lateral bei Genua valga) verbreitet, die die Belastungsachse des Beins beeinflussen und dadurch den vermehrt belasteten Gelenkabschnitt entlasten sollen [54]. Auch ihre Wirkung ist nicht eindeutig belegt, doch sind sie für den Patienten so wenig belastend, dass sie trotzdem gut vertretbar sind [127], jedoch andererseits eine ständige Hilfsmittelversorgung des Patienten durch das Gesundheitssystem erfordern (finanzieller Aspekt). Weitere Möglichkeiten einer konservativen Therapie können auch die Beseitigung von Risikofaktoren sein, wie zum Beispiel der Adipositas bei kleinen Kindern mit Genua valga.

2.3.5.2 Operative Therapie

Auf der Seite der operativen Therapiemöglichkeiten stehen die akute Korrektur via Osteotomie, die graduelle Korrektur mit Hilfe eines Fixateur externe und Kallusdistraction oder die graduelle Korrektur durch Epiphysiodese [26, 91, 121]. Osteotomieverfahren sind technisch aufwendig, für den Patienten und seine Familie sehr belastend und mit zahlreichen Komplikationen verbunden [86, 116]. So können z.B. Infektionen, Wundheilungsstörungen, Verletzungen der Epiphysen mit nachfolgenden weiteren Fehlstellungen, Gefäßverletzungen, Kompartmentsyndrom, Nervenverletzungen (v.a. N. peroneus), iatrogene Frakturen, Korrekturverluste, Rezidive, Unter- oder Überkorrektur oder Pseudarthrosenbildung die Operation begleiten und die Situation verkomplizieren [1, 13, 15, 22, 32, 58-61, 74, 82, 86, 102, 108, 116, 123]. Auch bei der Fixateur kontrollierten Kallusdistraction muss eine künstliche Fraktur gesetzt werden, was mit den gleichen Komplikationen einhergehen kann und zusätzlich noch die Gefahr eines Pininfektes beinhaltet. Die volle Wiederherstellung der Funktion des Beins nimmt zudem Monate in Anspruch und wird häufig kosmetisch von den Patienten schlecht akzeptiert (große Narben). Die verschiedenen Verfahren der Hemiepiphysiodese bieten hingegen eine mit weniger Komplikationen beladene Alternative, die mit schonenderer Operation, schnellerer Rekonvaleszenz und besseren kosmetischen Ergebnissen heute die stark invasiven

Therapieverfahren am wachsenden Skelett zum Großteil verdrängt haben [25]. Innerhalb dieser Gruppe muss zwischen den permanenten und temporären Verfahren unterschieden werden, wobei heute vor allem die temporären Verfahren bei den Achsfehlstellungen zum Einsatz kommen [123].

2.4 Epiphysiodese

2.4.1 Prinzip der Epiphysiodese

Das Verfahren der Epiphysiodese bzw. Hemiepiphysiodese wird zur graduellen Korrektur von Beinlängendifferenzen und Achsfehlstellungen der Beine eingesetzt, wobei zwischen den permanenten und den temporären Verfahren unterschieden wird. Das jeweilige Verfahren wird dabei in der Regel in dem Teil der Extremität (Femur / Tibia) eingesetzt, das die Beinlängendifferenz bzw. Achsabweichung bedingt. Da die Therapie hierbei meist an den gesunden Anteilen der Wachstumsfugen stattfindet, ist insbesondere bei der Korrektur von Beinlängenunterschieden eine reduzierte Körperendgröße oft die Folge. Daher muss bei der Indikationsstellung stets die Akzeptanz dieser Auswirkung berücksichtigt werden.

Die permanenten Epiphysiodeseverfahren basieren auf der Schaffung einer frühzeitigen knöchernen Durchbauung der gesamten oder partiellen Epiphysenfuge, wodurch die gesunden Fugenanteile bzw. die Fuge der Gegenseite durch ihr fortwährendes Wachstum die Achsfehlstellung korrigieren bzw. die Beinlängendifferenz ausgleichen. Da durch die Verödung der Wachstumsfuge und die frühzeitige knöcherne Durchbauung jedoch jegliches weitere Wachstum verhindert wird, muss der Zeitpunkt der Operation genau berechnet werden. Das Ziel ist dabei, das Wachstum der gesunden Extremität bzw. der gesunden Fugenanteile so weit zu reduzieren, dass die Differenz bzw. der Achsfehler zum Wachstumsende genau ausgeglichen ist [43]. Es existieren mehrere Rechenverfahren, anhand derer das verbleibende Wachstum und so der richtige Zeitpunkt auf Basis des Skeletalters bestimmt werden kann. Hierunter fallen die Wachstumstabellen von Green und Anderson [2, 47], die Rechenmethode nach Bowen [12] (7° Korrektur / Jahr femoral und 5° Korrektur / Jahr tibial), die Graphen von Moseley [85] sowie die

Kalkulationsmethode nach Menelaus (dist. Femurwachstum 0,95cm/Jahr, prox. Tibiawachstum 0,64cm/Jahr, Wachstumsende Jungen 16 Jahre, Mädchen 14 Jahre) [79]. Jedoch muss festgehalten werden, dass solche Berechnungen nie das individuelle Wachstumsmuster eines Patienten wiedergeben können. Damit sind sie deutlich fehleranfällig und aus diesen Gründen bestenfalls immer nur als gute Schätzung anzusehen [7, 29, 73], die das Risiko von Unter- oder Überkorrektur beinhaltet und zudem diese Verfahren auf adoleszente Patienten limitiert. Diese Limitierung ist notwendig, da der Zeitpunkt des Therapieendes und somit der geplanten vollständigen Korrektur mit dem Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses zusammenfallen sollte, um genannte Über- oder Unterkorrektur zu verhindern. Außerdem ist eine genaue Kenntnis der Fugenanatomie notwendig um bei Ausgleich von Beinlängendifferenzen einen symmetrischen Verschluss der Wachstumsfuge ohne Ausbildung sekundärer Achsfehlstellungen zu gewährleisten [52].

Die temporären Verfahren hingegen basieren auf dem Hueter-Volkman-Gesetz, welches besagt, dass durch eine komprimierende Kraft auf die Wachstumsfuge ein Wachstumsstopp erreicht werden kann [82].

Auch hier basiert der Erfolg des Verfahrens auf dem Wachstum der unbehandelten Gegenseite (im Falle von Beinlängendifferenz) oder dem Wachstum der nicht unter Kompression stehenden Fugehälfte (im Falle von Achsfehlstellungen). Dabei bedient man sich eines die Epiphyse überbrückenden Implantats (Klammer bzw. Platte), welches als Angelpunkt wirkt und so das Wachstum der Fuge lenkt [106]. Dabei wird das Implantat im Falle von Achsfehlstellungen auf der konvexen Seite der Deformität implantiert, während im Falle von Beinlängendifferenzen die Wachstumsfuge sowohl medial als auch lateral und damit komplett angehalten wird. Der große Vorteil temporärer Epiphysiodeseverfahren liegt in der Möglichkeit, das Wachstum einer Fuge nach temporärem Arrest wieder freizugeben. Damit kann das Indikationsspektrum für eine Epiphysiodesetherapie auf deutlich jüngere Kinder ausgeweitet werden, deren Deformitäten dann bereits in einem früheren Stadium behandelt und damit Folgeschäden vermieden werden können und man nicht mehr bis hin zur Adoleszenz

warten muss. Auch eine ggf. drohende Überkorrektur kann einfach und effektiv umgangen werden. Eine Bestimmung des zu erwartenden Restwachstums ist hier nicht zwingend notwendig, kann aber im Einzelfall zur Abklärung eines noch vorhandenen adäquaten Restwachstums sowie zur Abschätzung des Rezidivrisikos insbesondere bei sekundären Achsendeformitäten und damit der Festlegung des Operationszeitpunktes sinnvoll sein [48, 98, 99]. Nachteilig gegenüber den permanenten Verfahren ist der notwendige Zweiteingriff zur Metallentfernung und die potentielle Gefahr von Rezidiven, welche auch hier durch eine entsprechende Terminierung der Therapie verhindert oder durch regelmäßige Nachkontrollen jedoch frühzeitig entdeckt und gegebenenfalls durch Wiederholung des Verfahrens therapiert werden können [45, 52, 121].

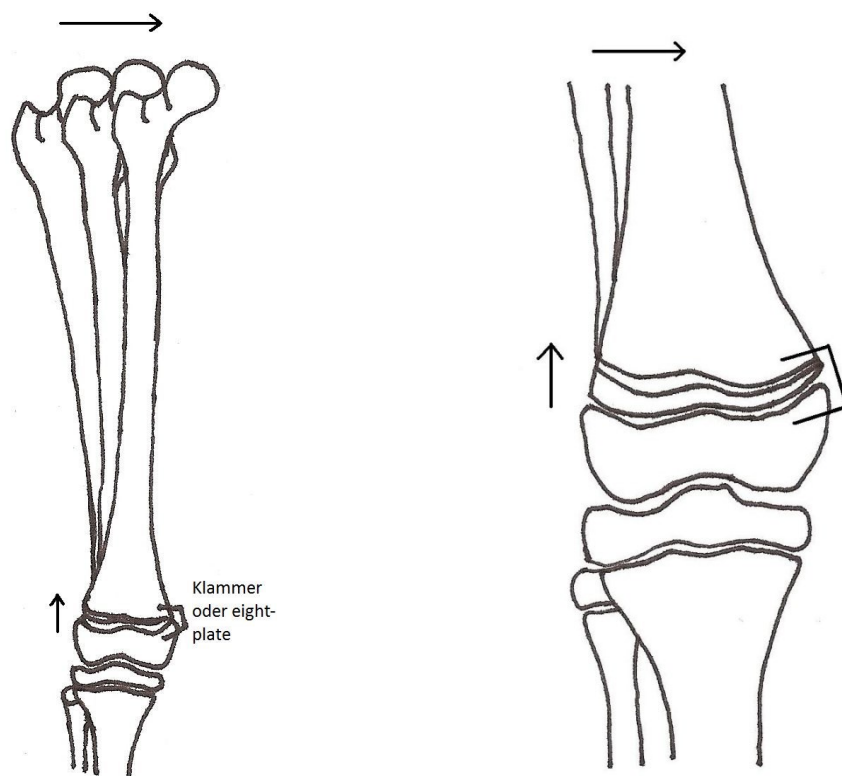


Abbildung 10: Wirkung der Hemiepiphysiodesese mittels eight-Plate™ oder Blount-Klammer (frei nach [121])

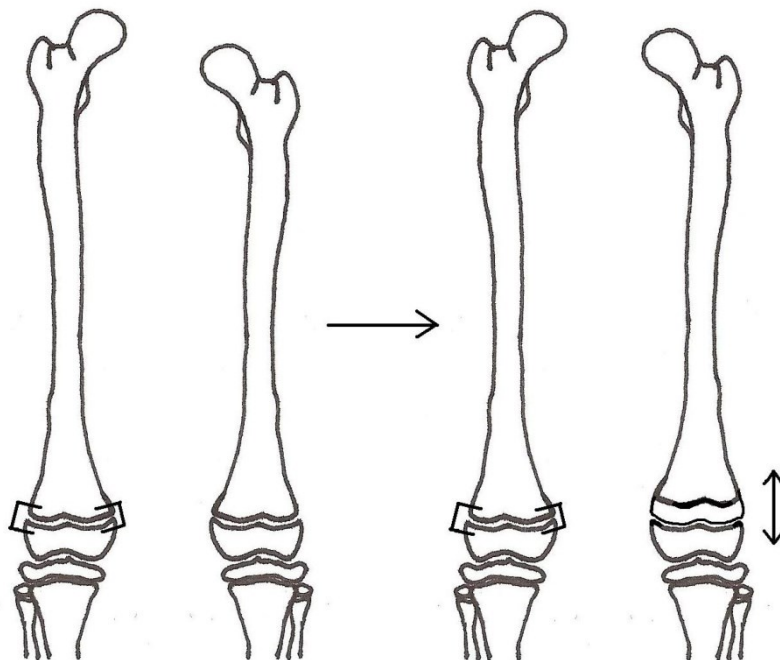


Abbildung 11: Beinlängendifferenzkorrektur durch die eight-Plate™ oder Blount-Klammer (frei nach [121])

2.4.2 Geschichte der Epiphysiodese

Erste Versuche mit dem Prinzip der Epiphysiodese als das Wachstum beeinflussende, kontrollierte Verletzung der Fuge wurden bereits 1933 von Phemister et al. beschrieben [104], allerdings noch als offenes Verfahren. 1949 stellten Blount und Clarke ihre Methode der Fugenklammerung vor, ein Verfahren, das modifiziert noch bis heute sehr gebräuchlich ist [10]. Dieses basiert auf den Entdeckungen von Haas et al. [51], die erstens beschrieben, dass eine einseitige Verletzung der Fuge einen Wachstumsstopp nur auf dieser Seite und damit eine Achsdeviation auslöst und zweitens, dass nach dem Entfernen einer die Fuge komprimierenden Kraft das Wachstum wieder einsetzt. Ermöglicht durch die Verfügbarkeit von leistungsstarken Bildwandlern wurden in den 80er Jahren perkutane Verfahren eingeführt. 1984 beschrieben Bowen et al. eine Curettage des peripheren Fugendrittels [11], was 1990 von Canale et al. [21] und 1994 von Gabriel et al. [40] weiterentwickelt wurde, indem sie Kirschner-Draht-gesteuert einen kanülierten Bohrer zur Curettage in die Fuge einführen. Auf dem Gebiet der temporären Epiphysiodese beschrieben Metaizeau et al. 1998 die (Hemi-) Epiphysiodese mittels transphysealer Schrauben [81], genannt „PETS“ (Percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws). 2005 beschrieben

Stevens et al. ihre Fortentwicklung der temporären Epiphysiodese mit einer schraubenbefestigten 2-Loch-Platte, die als Angelpunkt für das Fugenwachstum fungieren soll [118] und aufgrund der lokaleren und gezielteren Kompression der Fuge der Klammerung nach Blount überlegen sein soll [67, 118, 120]. Kürzlich kamen noch weitere Entwicklungen auf den Markt, welche allerdings bisher keine wissenschaftliche Evaluation durch Studien in der aktuellen Fachliteratur erfahren haben. Darunter fallen z.B. die „Peanut Plate™“ von Biomet, Parsippany, NJ (Peanut Growth Control Plating System™), die „PediPlates™“ von OrthoPediatrics, Warsaw, IN (Pedi plate System™) sowie die „HingePlate™“ von Pega-Medical, Laval, Quebec, Canada (Hinge Pediatric Plating System™), welche jeweils jedoch nur geringe „Weiterentwicklungen“ bzw. eher Modifikationen darstellen.

2.4.3 Permanente Verfahren

2.4.3.1 Phemister

Bei der permanenten Epiphysiodese nach Phemister wird nach einer ca. 3 bis 5 cm langen Hautinzision im Bereich der Wachstumsfuge ein peripherer Knochenblock bestehend aus 1/3 Epiphyse und 2/3 Metaphyse herausgemeißelt und nach Curettage der Fuge wieder um 180° gedreht eingesetzt. Dadurch entsteht eine knöcherne Verspannung der Wachstumsfuge [10, 43, 52, 72, 103, 104, 115, 117]. Das Verfahren kann bei den Indikationen Beinlängendifferenz und Achsfehlstellung eingesetzt werden, besitzt jedoch die Risiken eines kosmetisch ungünstigen Resultats, lokaler Infekte, sekundärer Achsabweichungen, von Exostosen im Bereich des Knochenblocks und von Bewegungseinschränkungen des Kniegelenks in immerhin 5-15% der Fälle [52]. Dies bedingt, dass dieses Verfahren heute nicht mehr eingesetzt wird und als obsolet gelten darf [42].

2.4.3.2 Canale

Die weniger invasive permanente Technik nach Canale besteht in der radiographisch gestützten Anfräsung und Curettage der Wachstumsfuge in perkutaner Technik [23]. Dabei kann der operative Zugang auf kleine kosmetisch ansprechendere Inzisionen begrenzt werden [21, 23, 43]. Das Verfahren kann ebenfalls zu beiden Indikationen

(Beinlängendifferenz und Achsfehlstellung) eingesetzt werden, jedoch mit quantitativ und qualitativ geringerer Komplikationsrate als beim Verfahren nach Phemister [21, 109].



Abbildung 12: Verfahren nach Canale

2.4.4 Temporäre Verfahren

2.4.4.1 Blount-Klammern

Das Verfahren, das 1949 von Blount et al. entwickelt wurde, wird mit gewissen Modifikationen bis heute weitreichend eingesetzt [10, 17]. Es basiert auf der Einbringung von meist 3 Klammern je Fugenseite und damit auf dem Wachstumsstopp durch Kompression der Fuge, indem deren Stifte jeweils proximal und distal der Fuge und horizontal zur Fugenachse in den Knochen eingebracht werden. Blount empfahl dabei das Einbringen von 3 Klammern je Fugenseite (2 bei kleinen Kindern [128]), da mit nur einer Klammer zu viele Klammerbrüche und –verbiegungen auftraten. Während die originalen Blount-Klammern noch aus rostfreiem Stahl bestanden und oftmals brachen, bestehen sie heutzutage aus Vitallium und wurden zur Bruchsicherheit an ihren Schultern verstärkt [8, 10, 14, 27, 35, 37, 38, 69, 82, 122]. Das Verfahren wird bei beiden Indikationen Beinlängendifferenz (v.a. bei > 2 und < 5 cm [45]) und Achsfehlstellung (Korrekturen bis zu 20° beschrieben [77]) eingesetzt und wurde dabei in verschiedenen Studien als erfolgreich und gut verträglich beschrieben [9, 10, 38, 82, 92, 119, 122]. Aufgrund der Reversibilität der Wachstumshehmung kann auch bei jüngeren Kindern bereits eine Korrektur vorgenommen werden, ohne dass man bis kurz vor den Wachstumsfugenschluss warten muss. Notfalls ist hierbei im Falle einer nach der Klammerentfernung rekurrenten Deformität das Therapieverfahren

wiederholbar, jedoch sollte bei erhöhtem Rezidivrisiko z.B. infolge einer Grunderkrankung bzw. bei sekundären Fehlstellungen eine Terminierung der Therapie optimalerweise mit dem Wachstumsabschluss erfolgen. Jedoch wurden trotz relativ guter Ergebnisse immer wieder Komplikationen beschrieben, darunter vor allem Lockerung oder sogar Bruch der Klammern [8, 10, 14, 20, 37, 38, 45, 47, 81, 82, 105, 114, 122, 130]. Besonders sind hierbei junge Patienten unter 10 Jahren betroffen [82]. Es wird angenommen, dass die Fuge bei diesen Patienten noch weitgehend unverknöchert und damit sehr nachgiebig und elastisch ist, wobei die Stifte der Klammern größtenteils in unverknöchertem Knorpel liegen und die Klammer sich so lockert [17, 82, 123]. Weitere Komplikationen, die über die Blount-Klammern berichtet werden, betreffen reduziertes oder überschießendes Wachstum nach Fugenfreigabe, prämaturnen Fugenschluss (Risiko vor allem bei einer Therapiedauer über 24 Monaten erhöht [17, 82])), Peronealnervenlähmung (bei Einsatz im Bereich der lateralen proximalen Tibia), Infektionen, Über- oder Unterkorrektur sowie sekundäre Achsabweichungen (insbesondere bei Korrektur von Beinlängendifferenzen mit isolierter tibialer Epiphysiodese [45]) und persistierende Knieschmerzen [5, 8, 10, 35, 45, 47, 105, 130]. Als Problem des Verfahrens wird dabei der durch die starre Klammer und das Wachstum aufgebaute Druck auf die Wachstumsfuge sowie der sehr zentral in der Fuge liegende Drehpunkt der Achskorrektur gesehen. Diese können nach Meinung mehrerer Autoren potentiell schädlich für die Fuge sein und den Korrekturerfolg einschränken [5, 35, 118, 120].



Abbildung 13: Blount-Klammern in situ

2.4.4.2 Percutaneous Epiphysiodesis Using Transphyseal Screws (PETS)

Das von Metaizeau beschriebene Verfahren "Percutaneous Epiphysiodesis Using Transphyseal Screws" erreicht einen temporären Wachstumsstopp durch das Setzen von Schrauben, die die Epiphyse kreuzen. Dabei können diese je nach Operateur parallel oder diagonal und damit sich gegenseitig kreuzend gesetzt werden [81]. Das Verfahren kann grundsätzlich als temporär angesehen werden, da nach dem Entfernen der Schrauben das Wachstum in der Regel wieder einsetzen sollte. Doch wurde ebenso ein gewisses Risiko für Wachstumsstörungen diskutiert, da die Fuge durch das Kreuzen der Schrauben direkten Schaden erleidet [112] und die Reversibilität bis heute nicht sicher belegt ist.

2.4.4.3 eight-Plates™

2.4.4.3.1 Entwicklung und Theorie

In seiner Erstbeschreibung der eight-Plates™ prägte Stevens den Begriff „Guided Growth“ um die Wirkweise seines neuen Verfahrens zu beschreiben [118]. Diese 8-förmige Platte soll den bisherigen Therapieverfahren überlegen sein, da sie für die Wachstumsfuge schonender, das Verfahren anwenderfreundlicher und zudem weniger mit Komplikationen vergesellschaftet sein soll.

Die eight-Plate™ kann als Weiterentwicklung der Fugenklammerung nach Blount gesehen werden und soll eine Antwort auf viele Komplikationen des bisherigen Verfahrens geben. Statt 3 Klammern pro Fugenseite kommt bei der eight-Plate™-Epiphysiodese eine 2-Loch-Platte zum Einsatz, die durch 2 in den Plattenlöchern bewegliche Schrauben proximal und distal der Epiphysenfuge und somit die Fuge überspannend am Knochen angebracht wird. Ein kleines zentrales Loch dient dabei der Platzierung der eight-Plate™ unter radiographischer Kontrolle, über einen Führungsdraht, auf den die Platte quasi aufgefädelt wird. Eben gleiches Verfahren ist zudem bei den Schrauben möglich, welche es in einer soliden und einer zentral kanülierten Ausführung gibt.



Abbildung 14: eight-Plate™ mit Schrauben vor Implantation und in situ

Die Ausrichtung der Platte ist dabei so wie die der Klammern senkrecht zur Fuge. Die Klammerarme werden von nicht winkelstabilen Schrauben gebildet, die in ihren Löchern in der Platte beweglich sind und damit beim Auseinanderdriften der nicht blockierten Epiphysenfugenseite zunehmend divergieren können. Dies soll laut Herstellerangaben den biomechanischen Vorteil gegenüber den Klammern bringen, dass die eight-Plate™ wie eine Zuggurtung wirkt und damit bei Achskorrekturen den Drehpunkt nach außerhalb der Fuge verlagert, wodurch theoretisch eine effizientere und durch den längeren Hebelarm schnellere Achskorrektur erreicht werden soll [16, 118]. Zudem soll die Kompression der Wachstumsfuge verringert werden. Diese war vor allem bei kleinen Kindern mit Blount-Klammern oft ein Problem, da die langen Stifte einen Großteil der Fugenbreite erfassten und damit einen kompletten Arrest

bewirkten [118]. Die eight-Plate™ soll das Wachstum hingegen nur in der Peripherie limitieren. Auch die Verankerung der Platte im Knochen soll durch die Schraubengewinde den Klammern überlegen sein, so dass sie sich nicht so leicht lockern können und das Risiko von Lockerung oder Migration minimiert werden soll [17]. Durch die Beweglichkeit der Schrauben in der Platte sollen diese während des Fugenwachstums von einer idealerweise nahezu parallelen in eine divergierende Lage wandern, wobei damit das Wachstum graduell und zur Platte hin abnehmend reguliert und gelenkt wird. Gleichzeitig soll ein Spannungsaufbau auf der Platte verhindert werden, der bei einer Klammer zu ihrem Bruch hätte führen können [77]. Der extraperiostale Sitz der Platte soll dabei zur Minimierung des Risikos einer Knochenbrücke das Periost schonen und ihre spätere Entfernung bei Therapieende erleichtern [46, 112]. Um einen Einsatz des Verfahrens bei kleineren und größeren Patienten zu ermöglichen, gibt es die Platte in einer 16 mm und einer 24 mm Variante, die zentral kanülierten Schrauben als 16 mm, 24 mm und 32 mm Variante und die soliden Schrauben als 24 mm und 32 mm Variante, wobei diese jeweils untereinander kombiniert werden können.

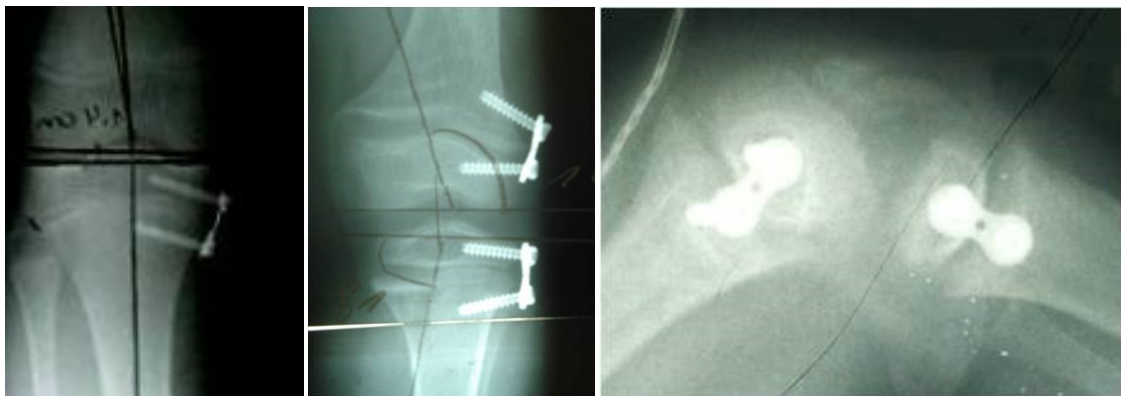


Abbildung 15: eight-Plate™ in situ: noch parallel stehende Schrauben, bereits divergierende Schrauben und Seitansicht

2.4.4.3.2 Komplikationen

Obwohl die eight-Plate™ entwickelt wurde, um die Komplikationen der Epiphysiodesetherapie zu reduzieren, sind doch theoretisch die gleichen Komplikationen möglich wie bei den Blount-Klammern. Der Entwickler der eight-Plate™ beschreibt hierbei allerdings in seinen Ergebnissen eine deutlich niedrigere Komplikationsrate gegenüber der Fugenklammerung, vor allem bezüglich deren häufigsten Komplikationen, dem Klammerbruch bzw. der Klammerlockerung [120]. Eine weitere Beschäftigung mit den Komplikationen der eight-Plate™-Epiphysiodese ist Teil dieser Arbeit und wird in den Ergebnissen und der Diskussion stattfinden.

3 Patienten und Methode

3.1 Studientyp

Für die vorliegende retrospektive Studie (Fallserie) wurden Patienten ermittelt, bei denen im Zeitraum von August 2005 bis August 2009 in der Klinik und Poliklinik für Allgemeine Orthopädie des Universitätsklinikums Münster Epiphysiodese-Operationen zur Beinlängen- oder Beinachsenkorrektur mittels des eight-Plate™-Systems, sowie radiologische Verlaufsaufnahmen und entsprechende klinische Verlaufsdocumentationen durchgeführt wurden. Es wurden hierbei alle Implantations- und Explantationsoperationen sowie Zwischenevaluationen im genannten Zeitraum in die Betrachtung miteinbezogen.

3.2 Patientenkollektiv

Mit den unter 3.1 aufgeführten Einschlusskriterien ergab sich ein Kollektiv von 93 Patienten (53 Jungen und 40 Mädchen), denen im Beobachtungszeitraum insgesamt 246 eight-Plates™ implantiert und 116 explantiert wurden. Dabei wurde bei 42 Patienten im genannten Zeitraum bereits wieder die komplette Explantation und bei 15 Patienten eine partielle Explantation der Platten durchgeführt. Das Kollektiv wurde zweckmäßig in die 3 Indikationsgruppen Beinlängendifferenz sowie Varus- und Valgusfehlstellung untergliedert, wobei teilweise Zuordnungen eines Patienten in mehrere Gruppen vorkamen, wenn zeitlich oder regional getrennt verschiedene Deformitäten mit eight-Plates™ therapiert wurden.

Es erfolgte keine Subklassifikation der Patienten nach zugrundeliegender Pathologie bzw. Grunderkrankung, da eine solche nur sehr kleine Gruppengrößen ergeben hätte, was in einer Analyse und besonders in einer statistischen Auswertung keine Aussagekraft gehabt hätte. Jedoch wurde die Ätiologie, wenn bekannt, dokumentiert.

3.2.1 Patienten mit Beinlängendifferenzen

Die Beinlängendifferenzgruppe wurde aus 29 Patienten (15 Jungen und 14 Mädchen) gebildet, von denen 4 bereits eine vollständige und 2 eine partielle Explantation im Zeitraum erfahren haben. Es wurden in dieser Gruppe 90 eight-PlatesTM im- und 14 eight-PlatesTM explantiert. Das Alter der Patienten lag dabei zwischen 10,1 und 14,9 Jahren mit dem Mittelwert bei 12,3 Jahren.

3.2.2 Patienten mit Varusfehlstellungen

Die Varusgruppe wurde aus 17 Patienten (10 Jungen und 7 Mädchen) gebildet, von denen 8 bereits eine vollständige und 3 eine partielle Explantation im Zeitraum erfahren haben. In dieser Gruppe wurden 33 eight-PlatesTM im- und 17 explantiert. Das Alter der Patienten lag dabei zwischen 2,9 und 15,7 Jahren mit dem Mittelwert bei 11,0 Jahren.

3.2.3 Patienten mit Valgusfehlstellungen

Die Valgusgruppe wurde aus 56 Patienten (31 Jungen und 25 Mädchen) gebildet, von denen 34 bereits eine vollständige und 9 eine partielle Explantation im Zeitraum erfahren haben. In dieser Gruppe wurden 123 eight-PlatesTM im- und 85 explantiert. Das Alter der Patienten lag dabei zwischen 4,3 und 14,9 Jahren mit dem Mittelwert bei 11,7 Jahren.

3.3 Operationsverfahren

3.3.1 Operationsplanung

Zur Planung des operativen Eingriffs einer eight-PlateTM-Epiphysiodese sowie ggf. auch schon zur Indikationsstellung sind Ganzbeinachsenstandaufnahmen mit strenger Ventralpositionierung der Patella notwendig, in denen die Fehlstellung oder Beinlängendifferenz radiographisch (auch anhand beschriebener Messwerte, siehe 2.1.1) gezeigt werden kann und mit Hilfe derer man den Therapieverlauf und –erfolg evaluieren kann [93, 128]. Dem vorhergehend stehen natürlich die klinischen Untersuchungen zur Beurteilung einer Achsfehlstellung (z.B. Messung des Intermalleolar- und Interkondylenabstandes) und einer Beinlängendifferenz (z.B.

Brettchenmethode) [118, 120]. Die in den Röntgenaufnahmen gemessenen Werte und Winkel können dabei Aufschluss über die Lokalisation der Fehlstellung und damit den bevorzugten Ort der Korrektur geben. Ebenso sind sie wichtige Parameter für die Verlaufsbeurteilung und im Falle der Normalisierung von pathologischen Werten indikationsgebend für die Metallentfernung und somit für das Ende der Therapie. Im Falle von Patienten im präadoleszenten Alter ist eine Bestimmung des Skeletalters mit der Methode von Greulich und Pyle zur Evaluation einer ausreichenden verbleibenden Wachstumskapazität sinnvoll [48], da für eine erfolgversprechende Therapie zumindest noch 6 bis 12 Monate Wachstum vorhanden sein sollten [17, 45]. Ein präzises Timing der Operation wie bei den permanenten Verfahren ist hingegen aufgrund der Reversibilität nicht zwingend notwendig.

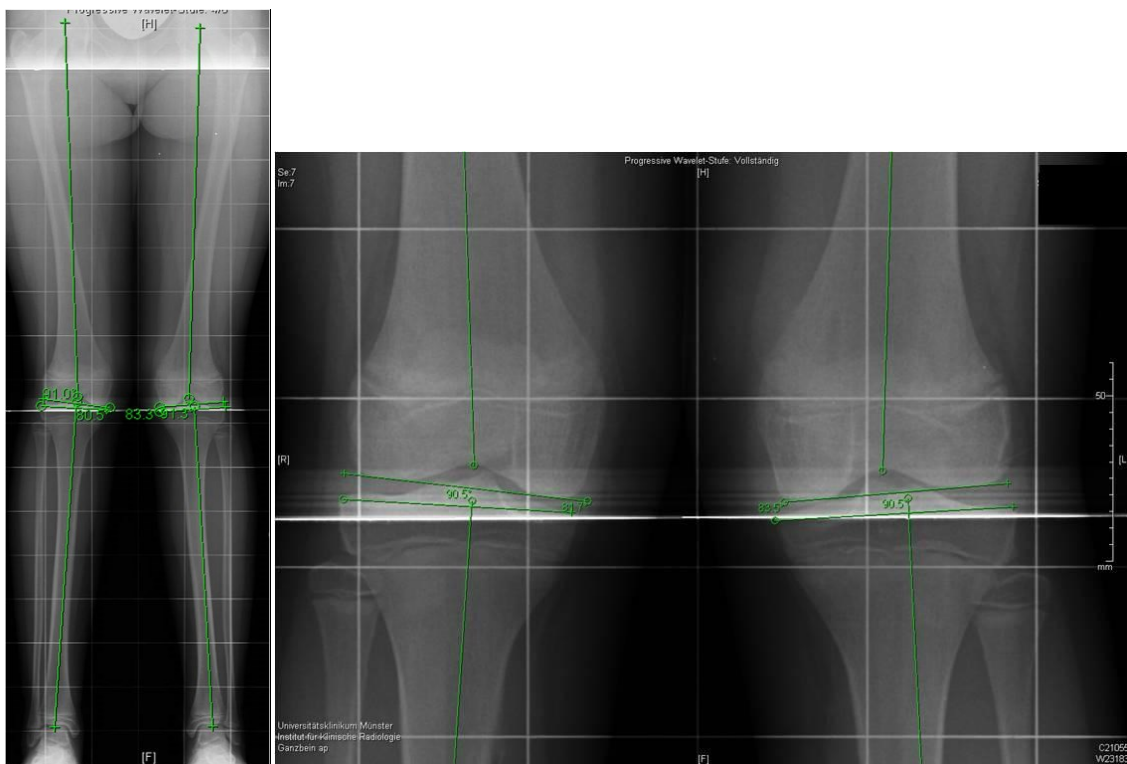


Abbildung 16: a.-p.-Ganzbeinstandaufnahme zur Operationsplanung

3.3.2 Operationstechnik

Die Implantationsoperation wird meist unter Vollnarkose und Blutleere der zu operierenden Extremität durchgeführt. Der Patient wird in Rückenlage auf dem Operationstisch gelagert. Ein C-Bogen wird für die intraoperative Durchleuchtung bereitgestellt. Unter Durchleuchtung wird die Wachstumsfuge in frontaler und

3 Patienten und Methode

sagittaler Ebene aufgesucht und ihre Position auf der Haut markiert. Dann wird eine 2-3 cm große vertikale Inzision über der Wachstumsfuge gemacht, genau an der Position, an der die eight-Plate™ angebracht werden soll. Während der longitudinalen Spaltung des über dem Periost liegenden Gewebes wird darauf geachtet, weder Nervenfasern noch Blutgefäße zu schädigen. Besonders gefährdet sind hierbei der N. saphenus bei Implantation am medialen distalen Femur und dessen infrapatellarer Zweig. Das Periost selbst wird bei seiner Freilegung geschont.

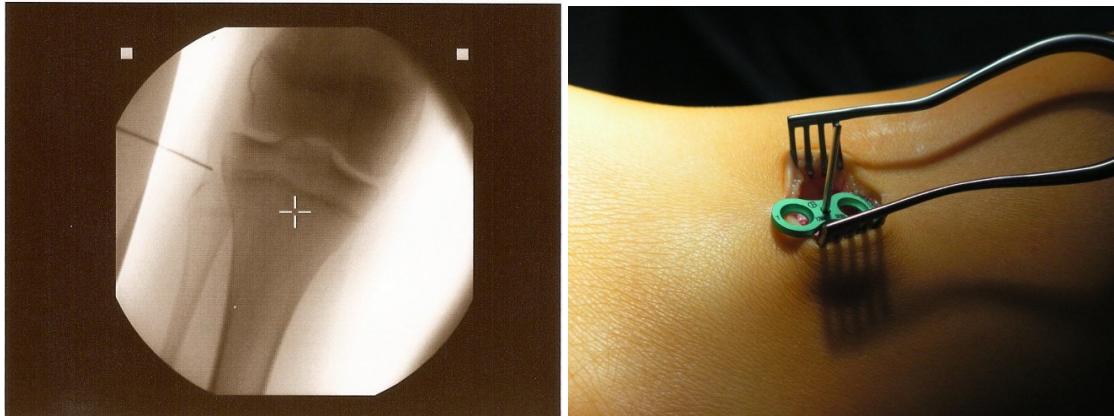


Abbildung 17: Aufsuchen der Epiphysenfuge und Einführen der eight-Plate™

Nach Freilegung der Wachstumsfuge wird mit einem 1,4 – 1,6 mm starken K-Draht die eight-Plate™ mittels ihres mittleren Loches zentral auf die Fuge gesetzt. Die dortige Position wird dann mittels Durchleuchtung in allen Ebenen überprüft und ggf. nachjustiert. Dabei wird darauf geachtet, dass die Platte in der mittelsagittalen Ebene liegt, da ansonsten sekundäre Achsfehler wie ein Genu recurvatum drohen [118]. Nach Einstellen der gewünschten Position können durch die Schraubenlöcher der Platte die 1,5 mm - Führungsdrähte für die Schrauben platziert werden. Auch deren korrekter Sitz wird dabei mittels Durchleuchtung kontrolliert. Je nach Erfahrung des jeweiligen Operateurs kann jedoch auch auf die Führungsdrähte zur Schraubenplatzierung verzichtet werden.

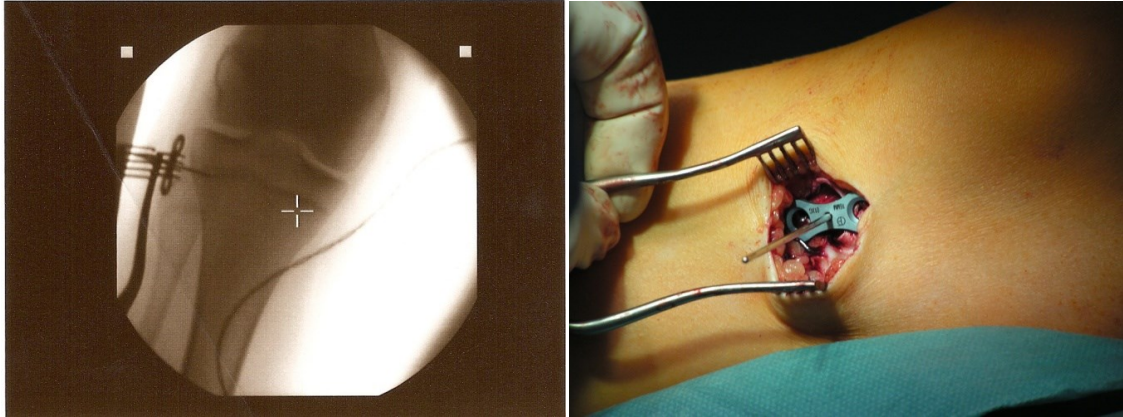


Abbildung 18: Positionierung der eight-Plate™

Trotz des Grundsatzes, dass die Drähte und damit die Schrauben so parallel wie möglich gesetzt werden sollten, ist vielmehr wichtig, dass sowohl Gelenk als auch Wachstumsfuge nicht geschädigt werden [67]. Daher kann eine nicht direkt parallele Lage der Schrauben toleriert werden solange eine ausreichende Reserve für die spätere wachstumsbedingte Divergenz der Schrauben gegeben ist. Mittels eines kanülierten Bohrers wird nun eine 5 mm Bohrung der Knochenrinde angelegt, in die darauf folgend die kanülierten 24 bzw. 32 mm Schrauben eingeschraubt werden. Da die Schrauben mit einem selbstschneidenden Gewinde versehen sind, kann auf die kortikale Vorbohrung je nach Belieben des Operateurs verzichtet und die Schraube direkt eingedreht werden. Hierbei soll nach Stevens (zitiert nach [19]) ein abwechselndes Festziehen der Schrauben (wie bei den Radmuttern einer Autofelge) die Spannung auf der eight-Plate™ und auf den Schrauben mindern, um zusätzliche Bruchsicherheit zu erreichen.

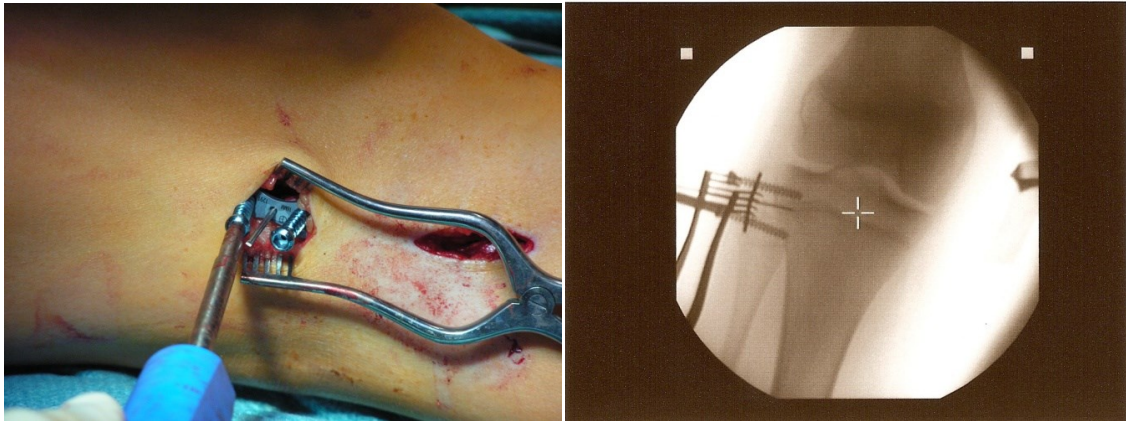


Abbildung 19: Fixierung der eight-Plate™

Vor dem Festziehen der Schrauben sollte zudem darauf geachtet werden, dass kein Weichgewebe (wie z.B. die Faszie) versehentlich mitfixiert wird. Nach Entfernen der Führungsdrähte und einer abschließenden radiographischen Kontrolle kann das Weichgewebe schichtweise mit resorbierbarem Nahtmaterial verschlossen und anschließend ein Lokalanästhetikum in die Wundränder injiziert werden [17].

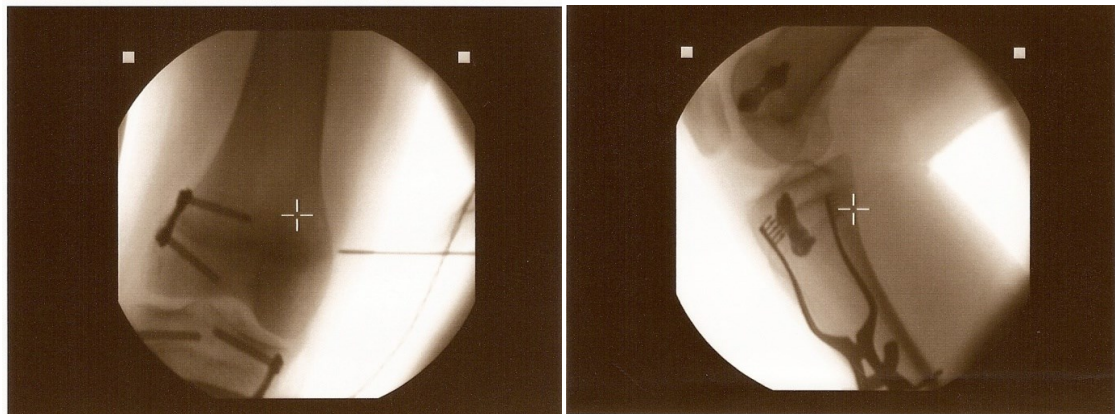


Abbildung 20: Lagekontrolle a.p. und seitlich

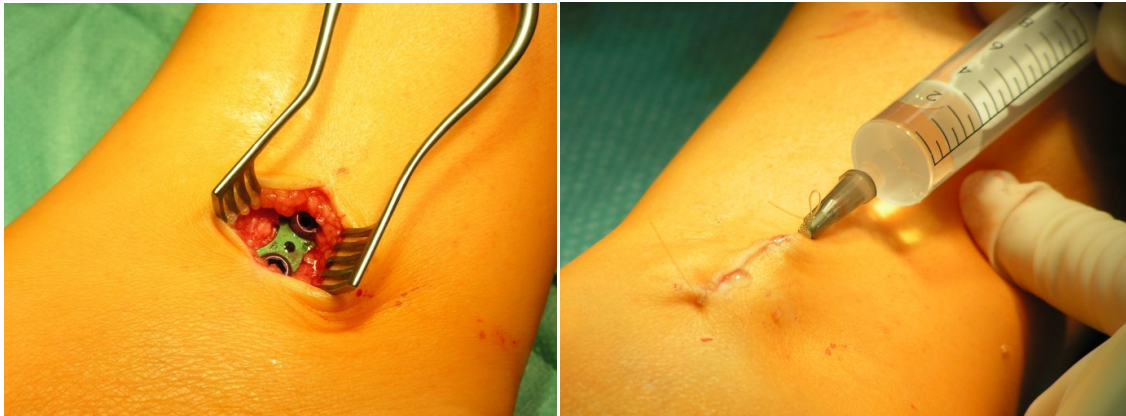


Abbildung 21: Wundverschluss und Lokalanästhesie

3.3.3 Postoperative Nachbehandlung

Nach der Operation kann die Wunde bei Bedarf mit Eisbeuteln gekühlt werden, um eine Schwellung zu minimieren. Dies ist vor allem bei distal femoraler Lokalisation sinnvoll [17]. Postoperativ ist keine Immobilisation erforderlich und eine rasche Wiederaufnahme von Aktivitäten unter beschwerdefreier Vollbelastung kann erfolgen, optional für 1 bis 2 Tage an Unterarmgehstützen. Eine medikamentöse Schmerztherapie ist meist nur für wenige Tage notwendig. Die Patienten werden angehalten für etwa 6 Wochen postoperativ auf sportliche Aktivitäten (inklusive Schulsport) zu verzichten.

Nach Entlassung machen wir regelmäßig alle 3 bis 6 Monate Nachuntersuchungen mit Ganzbeinstandaufnahmen, um die Korrektur zu überwachen und bei Neutralisierung der Messparameter die Indikation zur Metallentfernung zu stellen [118]. Manche Autoren empfehlen auch eine leichte Überkorrektur (insbesondere bei sekundären Achsfehlstellungen, z.B. fibulare Hemimelie oder Rachitis), um ein möglicherweise auftretendes überschießendes Wachstums nach Explantation der Platten zu kompensieren [17]. Den Patienten bzw. deren Eltern ist dringend die Notwendigkeit dieser Kontrolluntersuchungen zu verdeutlichen, da oftmals mit Besserung der Symptomatik eine Wiedervorstellung unterlassen wird. Dies könnte aber zu drastischen Überkorrekturen führen. Nach der Metallentfernung machen wir weiterhin in regelmäßigen Abständen (halbjährlich ggf. jährlich) Kontrollen, um ein mögliches

Rezidiv oder eine Komplikation wie einen prämaturen Fugenschluss rechtzeitig zu diagnostizieren und ggf. durch einen Zweiteingriff zu therapieren [17].

3.3.4 Entfernung der Platten

Nach vollständiger Korrektur der Beinlängendifferenz oder Achsfehlstellung und Neutralisierung der mechanischen Achse sowie bei Fugenschluss der Epiphysenfugen oder dem Auftreten von Komplikationen kann die Indikation zur Explantation der eight-Plates™ gestellt werden [64]. Dieser operative Eingriff erfolgt wie auch die Implantation unter Vollnarkose und Blutleere des Beins. Die Narbe der ersten Operation wird wieder eröffnet und bei Bedarf ausgeschnitten. Meistens kann die eight-Plate™ problemlos lokalisiert werden, zur Vorsicht sollte jedoch ein C-Bogen zur Durchleuchtung bereit stehen. Bei der Entfernung bzw. dem Herausschrauben der Schrauben und dem Anheben der Platte vom Knochen sollte auf die Schonung des Periosts geachtet werden, um die Bildung einer Knochenbrücke der Epiphyse zu verhindern [17].

3.4 Methoden

Grundlage zur Recherche der relevanten Parameter waren die Patientenakten, die als Folienausdrucke archivierten Röntgenbilder sowie die Patientendaten und -bilder im Klinikinformationssystem Orbis (Agfa Healthcare) und im Bildarchivierungs- und -bearbeitungssystem Centricity™ PACS (GM Healthcare) des Universitätsklinikums Münster (UKM). Aus den Patientenakten wurden die prä- und postoperativen klinischen Untersuchungsdokumentationen, Operationsberichte, Anästhesieberichte, Pflegeberichte und Verlaufdokumentationen ausgewertet.

3.4.1 Untersuchte klinische Parameter

Die bei allen eingeschlossenen Patienten untersuchten klinischen Parameter waren:

3.4.1.1 Geschlecht

Zur möglichen späteren Differenzierung zwischen den Geschlechtern notierten wir das Geschlecht der Patienten.

3.4.1.2 Geburtstag

Der Geburtstag der Patienten wurde dokumentiert, um eine spätere Bestimmung des Alters, zum Beispiel bei Implantation oder Explantation, zu gewährleisten.

3.4.1.3 Skeletalter zum Implantationszeitpunkt

Präoperativ wurde das Skeletalter nach der Methode von Greulich und Pyle bestimmt [48]. Hierzu wurden a.-p.-Standardröntgenbilder der linken Hand angefertigt und diese mit den Entwicklungsstadien im Atlas nach Greulich und Pyle verglichen. Das Skeletalter wurde nur für die Studie herangezogen, wenn der Zeitpunkt der Aufnahme maximal 3 Monate vor der Implantation lag. Aufgrund der Reversibilität des Verfahrens wurden nur in wenigen Fällen Skeletalterbestimmungen durchgeführt.

3.4.1.4 Implantationsdatum, Explantationsdatum

Zur späteren Berechnung des Alters zum Implantationszeitpunkt und des Verbleibs der eight-PlatesTM in situ wurden Implantations- und Explantationsdatum festgehalten. In wenigen Fällen lagen mehrere Operationstermine pro Patient vor, zu denen jeweils Platten implantiert wurden. In diesen Fällen wurde dies pro Zeitpunkt gesondert betrachtet und ausgewertet. Ebenso beinhaltet die Studie Fälle, bei denen zunächst nicht alle eight-PlatesTM zum selben Zeitpunkt explantiert wurden. Auch hier war eine jeweils gesonderte Betrachtung und Auswertung gewährleistet.

3.4.1.5 Operationszeiten Implantation und Explantation

Die Operationsdauer wurde retrospektiv in Minuten ermittelt. Dabei wurden die jeweiligen Operationsprotokolle und Anästhesieberichte als Quelle benutzt, wobei die „Schnitt-Naht-Zeit“ als Eingriffsdauer definiert wurde.

3.4.1.6 Aufenthaltsdauern Implantation und Explantation

Die stationäre Aufenthaltsdauer der Patienten wurde für alle Operationen aus den Arztbriefen, stationären Verlaufsberichten bzw. Pflegeprotokollen extrahiert. Ebenfalls darin berücksichtigt ist der in fast allen Fällen gegebene Tag der präoperativen Aufnahme. Keine Berücksichtigung fanden hingegen prästationäre Aufenthalte sowie ambulante prä- oder postoperative Vorstellungen.

3.4.1.7 Durchleuchtungszeiten Implantation und Explantation

Anhand der Operationsprotokolle und –berichte wurde die jeweilige Durchleuchtungszeit der Eingriffe eruiert. In einigen Fällen fanden sich widersprüchliche Daten in den Protokollen, die keinen Eingang in die Datenauswertung fanden.

3.4.1.8 Epiphysiodeseindikation

Zur späteren Verteilung der Patienten in die jeweilige Auswertungsgruppe wurde die Indikation der Epiphysiodese festgehalten, darunter Beinlängendifferenzen und Beinachsendiformitäten im Sinne von Varus- und Valgusfehlstellungen. In 3 Fällen gab es andere Indikationen zur Epiphysiodese. Diese 3 Fälle gingen jedoch nicht in die Berechnung innerhalb der jeweiligen Gruppen ein.

3.4.1.9 Epiphysiodeselokalisation

Die Lokalisation der durchgeführten Epiphysiodesen wurde jeweils festgehalten und nach einem festen und eindeutigen System kodiert. Die hierbei notwendigen Parameter waren die therapierte Seite (rechte/linke/beide), der jeweilige Knochen (Femur/Tibia/beide), das Knochenende (distale/proximale/beide) und die Knochenseite (mediale/laterale/beide). Quelle für die Lokalisation waren entweder die Operationsprotokolle, die Arztbriefe, die ärztlichen Verlaufsberichte oder die angefertigten Röntgenaufnahmen.

3.4.1.10 Therapieerfolg

Als Therapieerfolg wurde eine Rest-Beinlängendifferenz $\leq 1\text{cm}$ in der Beinlängendifferenzgruppe bzw. eine Normalisierung des jeweils korrigierten Winkels in den Normalbereich von 85° bis 90° (mLDFW, mMPTW) in den Achsfehlstellungsgruppen zum Zeitpunkt der Entfernung der Platten gewertet.

3.4.1.11 Postoperative Komplikationen

Anhand der Entlassungsbriefe, Pflegeprotokolle und ärztlichen Verlaufsprotokolle sowie der Dokumentationen der postoperativen ambulanten Vorstellungen ermittelten wir die Therapiekomplicationen. Dabei wurden postoperative Schmerzen als Komplikationen definiert, wenn sie länger als 48 h postoperativ anhielten bzw. zu

ihrer Schmerztherapie Präparate einer Klassifikation > Stufe 1 nach WHO-Stufenschema zur Schmerztherapie notwendig waren. Weitere erfasste Komplikationen waren Lockerung der eight-Plates™, Bruch der eight-Plates™, Gelenkerguss, Wundinfekt sowie Rezidiv der therapierten Deformität nach ihrer erfolgreichen Korrektur.

3.4.1.12 Etwaige Grunderkrankungen

In einigen Fällen liegt zusammenhängend oder begleitend mit der behandelten Deformität eine Grunderkrankung vor, die ebenfalls mit in die Datensammlung aufgenommen wurde.

3.4.1.13 Begleitoperationen

Die zu den eigentlich betrachteten Operationen der Epiphysiodese mittels eight-Plates™ in gleicher Sitzung zusätzlich vorgenommenen Begleiteingriffe, wie z.B. Exostosenentfernungen, wurden ebenfalls mit dokumentiert, um eine sonst mögliche Verzerrung bei den statistischen Berechnungen der Operationszeiten, der Aufenthaltsdauern und der Durchleuchtungszeiten zu vermeiden.

3.4.2 Untersuchte radiologische Parameter

Zur Planung der jeweiligen Operation und zur Feststellung des Ausmaßes einer Deformität wurden präoperativ Achsenstandaufnahmen mit streng nach vorn ausgerichteter Patella der Patienten angefertigt. Diese erfolgten ebenso postoperativ alle 3 (bei Korrektur von Achsfehlstellungen) bis 6 (bei Korrektur von Beinlängendifferenzen) Monate zur Verlaufsbeurteilung und Therapiekontrolle. Anhand dieser konnte ein eingetretener Therapieerfolg beurteilt werden und ggf. die Beendigung der Epiphysiodese erfolgen. Die im anterioposteriorem Strahlengang gefertigten Aufnahmen konnten für diese Studie zur Auswertung der nachfolgend beschriebenen Parameter herangezogen werden und wurden zu diesem Zweck aus dem Zentralarchiv des UKM ausgeliehen bzw. elektronisch mittels PACS-System vermessen.

Das Hüftkopfbereich lässt sich radiologisch mit einer Kreisbogenschablone ermitteln, während das Kniegelenkszentrum und das Zentrum des oberen Sprunggelenks mit nur

geringfügigen Abweichungen zwischen den Methoden unterschiedlich bestimmbar sind. So wird das Kniegelenkszentrum als oberer Punkt der Fossa intercondylaris, als Mitte zwischen den Femurkondylen, als Mitte der tibialen Eminentia intercondylaris, als Mitte des Tibiaplateaus oder als Mitte des Weichteilschattens auf Gelenkebene bestimmt, während zur Ermittlung des Zentrums des oberen Sprunggelenks die Bestimmung der Halbierenden der Talusbreite auf Höhe des Gelenks, der Halbierenden der Tibia- und Fibulabreite auf Höhe des Gelenks oder der Mitte des Weichteilschattens auf Gelenkebene beschrieben wurden. [93] Für diese Arbeit wurden dabei durchgängig für das Kniegelenk die Mitte der tibialen Eminentia intercondylaris und für das obere Sprunggelenk die Halbierende der Talusbreite auf Gelenkhöhe benutzt.

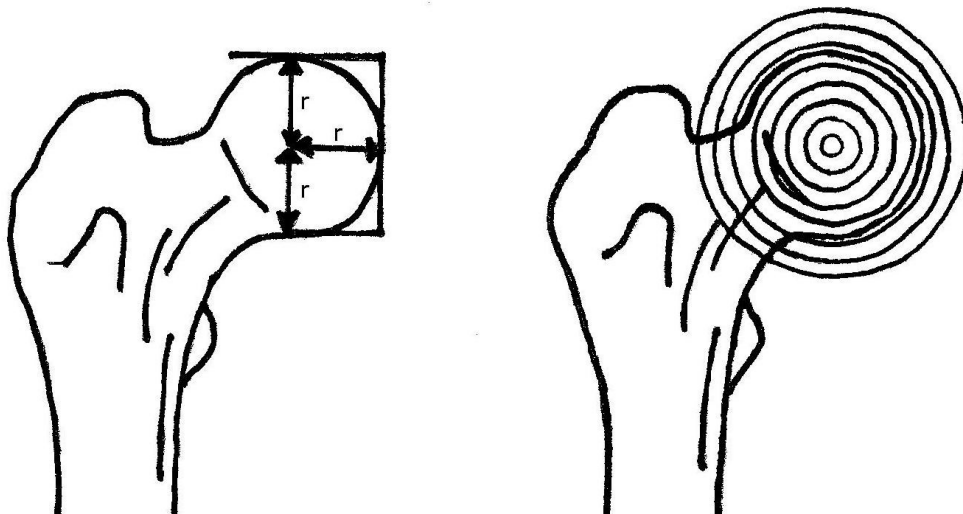


Abbildung 22: Bestimmung des Hüftkopfzentrums mittels Kreisbogenschablone (frei nach [94])

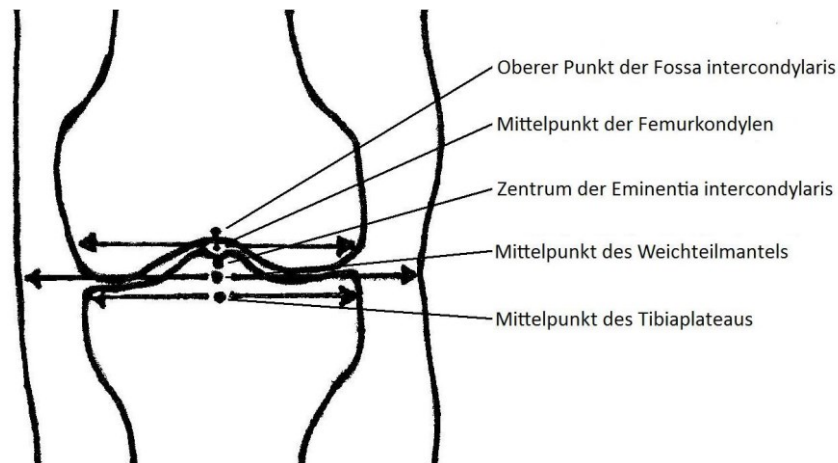


Abbildung 23: Kniegelenk und Kniegelenkszentrum (frei nach [94])

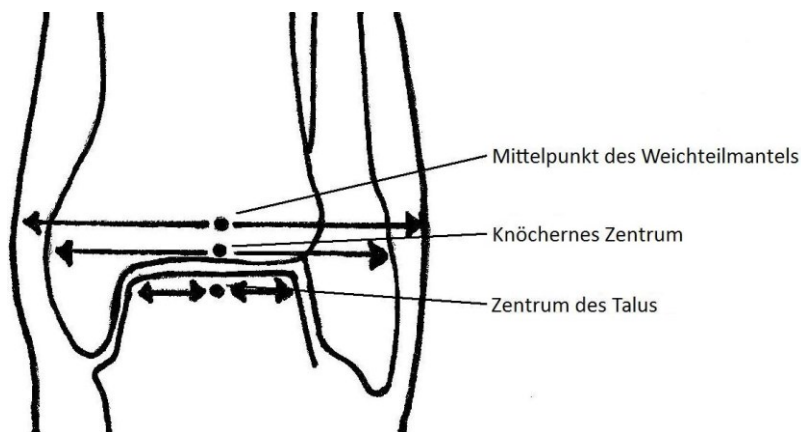


Abbildung 24: Oberes Sprunggelenk und Sprunggelenkszentrum (frei nach [94])

Die in den Röntgenbildern gemessenen Parameter waren:

3.4.2.1 Beinlängendifferenz

Die Beinlänge wurde in den Achsenstand-Röntgenbildern anhand der knöchernen Elemente als Entfernung der höchsten Stelle des Femurkopfes vom Mittelpunkt der distalen Gelenkfläche der Tibia in lotrechter Linie definiert.

3.4.2.2 Mechanischer lateraler distaler Femurwinkel (mLDFW)

Gemäß den Beschreibungen von Paley et al. wurde der mechanische laterale distale Femurwinkel (mLDFW) gemessen [96, 97]. Zu dessen Bestimmung wurde zunächst eine horizontale Linie durch den tiefsten Punkt beider Femurkondylen und dann eine weitere Linie von Hüftgelenkszentrum zum Mittelpunkt der Kondylen gebildet. An

deren Schnittpunkt ergab sich lateralseitig und proximal der mLDFW. Dies ist der bevorzugte Winkel zur Beurteilung von Fehlstellungen des Femurs.

3.4.2.3 Mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel (mMPTW)

Ebenso gemäß den Beschreibungen von Paley et al. [96, 97] wurde an der proximalen Tibia der mechanische mediale proximale Tibiawinkel (mMPTW) gemessen, indem zunächst eine Tangente an das Tibiaplateau und dann eine weitere Linie, die sog. Tibialinie, durch die Mitte der Tubercula intercondylaria Tubercula und den Mittelpunkt der Trochlea tali gelegt wurde. An deren Schnittpunkt ergab sich medialseitig und distal der mMPTW. Dies ist der bevorzugte Winkel zur Beurteilung von Fehlstellungen der Tibia.

3.4.2.4 Anatomischer femoro-tibialer Winkel (aFTW)

Zur allgemeinen Beurteilung der Beinachse und zum späteren Vergleich mit Arbeiten anderer Autoren wurde zudem der anatomische femorotibiale Winkel (aFTW) gemessen. Dieser ergab sich lateralseitig am Schnittpunkt von Femurschaftlinie und Tibiaschaftlinie. Die Femurschaftlinie entspricht dabei der anatomischen Mittelschaftlinie des Femur und bildet sich als Verbindung des auf dem Röntgenbild tiefsten sichtbaren Punktes der Fossa trochanterica und des höchsten Punktes der auf dem Röntgenbild sichtbaren Fossa intercondylaris als Mittelpunkt der Femurkondylen. Die Tibiaschaftlinie ergibt sich hingegen als Verbindung der Mitte der Tubercula intercondylaria und der Mitte der Malleolengabel.

3.4.2.5 Abweichung der Mikulicz-Linie vom Gelenkmittelpunkt (MAD)

In den Achsfehlstellungsgruppen wurde die Abweichung der Mikulicz-Linie vom Zentrum des Kniegelenks, durch das sie im Idealfall verläuft, bestimmt. Diese auch als Traglinie des Beines bezeichnete Linie verbindet das Hüftkopfbereich mit dem Zentrum des oberen Sprunggelenkes. Eine gegebenenfalls auftretende Abweichung vom Kniegelenkszentrum nach medial bedeutet hierbei eine Varus-Fehlstellung des Beines, während eine Abweichung nach lateral eine Valgus-Fehlstellung anzeigt. Eine Fehlstellung im Varusbereich ist dabei als positiver MAD-Wert, eine Fehlstellung im Valgusbereich als negativer MAD-Wert definiert.

3.4.3 Errechnete Parameter

Anhand der gemessenen Werte wurden die Berechnungen von den für unsere Studie relevanten Parametern durchgeführt.

3.4.3.1 Alter zum Implantationszeitpunkt

Anhand des Geburtsdatums und des Implantationsdatums wurde das Alter zum Zeitpunkt der Implantation errechnet.

3.4.3.2 Epiphysiodesedauer

Anhand der Datumsangaben zu Implantation und Explantation wurde der Verbleib der eight-Plates™ in Tagen errechnet.

3.4.3.3 Operationsdauer pro eight-Plate™ für Implantation und Explantation

Mittels der Eingriffsdauer wurde die mittlere Operationszeit pro implantierter bzw. explantierter eight-Plate™ errechnet. Hierbei wurden Operationen, bei denen in einer Sitzung neben der Implantation/Explantation weitere Eingriffe die individuelle Operationsdauer beeinflussten, aus der Berechnungsgrundlage entfernt, so dass Verzerrungen in der statistischen Auswertung vermieden wurden.

3.4.3.4 Durchleuchtungszeit pro eight-Plate™ für Implantation und Explantation

Anhand der Durchleuchtungszeiten wurde die mittlere Durchleuchtungsdauer pro implantierter bzw. explantierter eight-Plate™ errechnet. Auch hierbei wurden Operationen mit zusätzlichen Eingriffen nicht berücksichtigt, um Verzerrungen der statistischen Auswertung zu vermeiden.

3.4.3.5 Durchschnittliche Aufenthaltsdauer bei Implantation und Explantation

Wir mittelten jeweils die Aufenthaltsdauern der Patienten für die stationären Aufenthalte bei Implantation und Explantation.

3.5 Datenerfassung

Die genannten klinischen und radiologischen Parameter wurden fallbezogen erhoben und zunächst auf einem Patientendatenblatt zusammengetragen. Die Daten der einzelnen Patienten wurden dann in einer Tabellenkalkulation (Excel 2007, Version 12,

Microsoft Office Home and Student) gesammelt, welche die Liste der Gesamtgruppe bildete. Anschließend erfolgte zunächst die Berechnung der gruppenunabhängigen Parameter. Hier sind die Operationszeit sowie Durchleuchtungszeit pro eight-Plate™ bei Implantation und Explantation, der durchschnittliche Verbleib der Platten, die durchschnittliche Aufenthaltsdauer bei Implantation und Explantation, die Gesamtmittelwerte für Alter und Skeletalter zum Operationszeitpunkt und die Gesamtzahl an implantierten und explantierten eight-Plates™ zu nennen. Der Berechnung vorausgehend erfolgte der Ausschluss der Werte, die z.B. durch Nebeneingriffe nicht für diese Studie verwertbar waren und zu Verzerrungen geführt hätten. Gemäß den 3 Indikationsgruppen Beinlängendifferenz sowie Varus- und Valgusfehlstellung wurde die Gesamttabelle weiter in 3 Subgruppen gegliedert. Wenige Fälle mit Therapie unterschiedlicher Deformitäten wurden dabei mehreren Indikationsgruppen zugeordnet. Dabei wurde die jeweilige Therapie mit entsprechender Epiphysiodeseindikation und Epiphysiodeselokalisation der entsprechenden Gruppe zugeordnet. In der Gesamttabelle und den einzelnen Gruppentabellen wurden danach die weiteren allgemeinen bzw. gruppenspezifischen Berechnungen durchgeführt. Hierbei wurden zunächst die bei den individuellen Fällen relevanten Parameter, wie in der Tabelle 2 gezeigt, markiert, so dass daraus nun die für die Studie gewünschten Parameter (Mittelwert, Standardabweichung, Bereich) berechnet werden konnten. Ebenso wurden die Fälle markiert, in denen z.B. Nebeneingriffe die benötigten Werte verfälschten, so dass diese von den Berechnungen ausgeschlossen werden konnten.

Beinlängendifferenz	Beinlängendifferenz				
Achsenfehlstellung Femorale Epiphysiodese		mLDFW		aFTW	MAD
Achsenfehlstellung Tibiale Epiphysiodese			mMPTW	aFTW	MAD
Achsenfehlstellung Kombinierte Epiphysiodese		mLDFW	mMPTW	aFTW	MAD

Tabelle 2: Auflistung der in die Analyse einbezogenen Parameter abhängig von der Epiphysiodeselokalisation und Indikation

3.5.1 Gesamtgruppe

Zunächst wurden die gruppenunabhängigen Parameter in der Gesamtgruppe errechnet und bestimmt. Hier sind die durchschnittliche Operationszeit pro eight-PlateTM von Implantation und Explantation, die durchschnittliche Durchleuchtungszeit pro eight-PlateTM bei Implantation und Explantation, der durchschnittliche Verbleib der Platten, die durchschnittliche Aufenthaltsdauer bei Implantation und Explantation, die Gesamtmittelwerte für Alter und Skeletalter zum Operationszeitpunkt und die Gesamtzahl an implantierten und explantierten eight-PlatesTM zu nennen. Für die jeweiligen Parameter wurden zudem die Standardabweichungen und Wertebereiche ermittelt. Der Berechnung vorausgehend erfolgte der Ausschluss der Werte, die z.B. durch Nebeneingriffe nicht für diese Studie verwertbar waren und zu Verzerrungen geführt hätten.

3.5.2 Beinlängendifferenzgruppe

Zunächst wurden insgesamt und geschlechtsspezifisch das Alter und das Skeletalter zum Implantationszeitpunkt gemittelt und jeweils die Anzahl der insgesamt in dieser Gruppe implantierten und explantierten eight-PlatesTM gezählt. Danach wurden die Mittelwerte der präoperativen und zum Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. zur Metallentfernung bestehenden Beinlängendifferenzen berechnet. Anschließend wurde der Mittelwert der einzelnen in der Epiphysiodesezeit stattgefundenen Längendifferenzänderungen bestimmt. Die letztgenannten noch individuellen Daten wurden zudem pro Fall durch die Anzahl der individuell therapierten Epiphysenfugen geteilt und danach durch die jeweilige Anzahl der Monate an Epiphysiodesezeit. Hierbei ergab sich sodann die Längendifferenzänderung pro therapiertes Epiphysenfuge und pro Monat, welche nun ebenfalls über alle Patienten gemittelt wurde. Es wurden ebenso wie in der Gesamtgruppe für die jeweiligen Parameter die Standardabweichungen sowie die Minimal- und Maximalwerte ermittelt.

3.5.3 Varusgruppe

Auch hier wurde zunächst je allgemein und geschlechtsspezifisch das Alter und das Skeletalter zum Implantationszeitpunkt gemittelt und die Anzahl der insgesamt in

dieser Gruppe implantierten und explantierten eight-Plates™ gezählt. Danach wurden die Mittelwerte vom präoperativen und zum Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. zur Metallentfernung bestehenden mLDFW, mMPTW, aFTW und der MAD berechnet. Anschließend wurde bei jedem dieser Parameter personenbezogen die Veränderung während der Epiphysiodesezeit berechnet und gemittelt. Die individuellen Korrekturen von mLDFW und mMPTW wurden zudem durch die individuelle Anzahl der Monate an Epiphysiodesezeit geteilt. Es ergab sich die jeweilige Korrekturgeschwindigkeit von mLDFW und mMPTW pro Monat. Von diesen wurde dann ebenfalls über alle Personen der Mittelwert gebildet. Bei diesen Berechnungen ist zu beachten, dass natürlich bei jeder Person nur die Parameter in die Berechnungen einbezogen wurden, die auch von der Therapie betroffen waren (z.B. nur mLDFW bei femoraler Therapie, nur mMPTW bei tibialer Therapie oder beide bei einer simultanen Epiphysiodese an Femur und Tibia). Die individuellen Korrekturen von aFTW und der MAD wurden durch die jeweilige therapierte Epiphysenfugenanzahl sowie durch die individuelle Anzahl an Epiphysiodesemonaten geteilt, woraufhin wir die Korrekturgeschwindigkeit von aFTW und MAD pro Monat und pro therapierter Epiphysenfuge erhielten, welche wiederum gemittelt wurden. Es wurden auch hier für die jeweiligen Parameter die Standardabweichungen und Bereiche ermittelt.

3.5.4 Valgusgruppe

Es wurde hier zur Berechnung der Werte vollkommen entsprechend der Varusgruppe verfahren.

3.6 Statistische Auswertung und Signifikanzanalyse

Zum Vergleich der Epiphysiodeselokalisationen und –indikationen sowie der prä- und postoperativen Werte und damit des jeweiligen Therapieerfolges wurde eine analytisch-statistische Auswertung der gemessenen und berechneten Parameter durchgeführt. Dazu wurde sich kommerziell erhältlicher Tabellenkalkulationssoftware (Excel 2007, Version 12, Microsoft Office Home and Student) sowie eines Statistikprogramms (SPSS 2006, Version 15, SPSS Institute, Chicago, Illinois, USA) bedient.

Aus den gemessenen Rohdaten erfolgte zunächst die Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Ermittlung des Minimal- und Maximalwerts. Weiterhin erfolgte anhand des nicht-parametrischen Kolmogorov-Smirnov-Tests eine Prüfung auf das Vorliegen einer spezifischen Normalverteilung, welche in allen bis auf 2 Fällen vorlag. Für die normalverteilten Daten wurde anschließend eine Prüfung auf Mittelwertgleichheit mit Hilfe des Student's t-Tests für voneinander unabhängige Stichproben durchgeführt, wobei dem vorhergehend eine Analyse auf Varianzgleichheit durch den Levene-Test erfolgte. Für die Fälle mit nicht normalverteilten Daten erfolgte entsprechend eine Prüfung mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests. Allen Tests zugrunde lag das Konfidenzintervall von 95%, wobei die signifikanten und nicht-signifikanten Unterschiede unter Angabe des p-Wertes dargestellt wurden. Zur weiteren Differenzierung von graduellen Unterschieden wurde in den Diagrammen ein * bei p-Werten $\leq 0,05$ und $>0,01$ für signifikante, ein ** bei p-Werten $\leq 0,01$ und $> 0,001$ für hoch-signifikante und ein *** bei p-Werten $\leq 0,001$ für höchst-signifikante Unterschiede gewählt.

Zunächst wurde eine Gegenüberstellung der jeweiligen präoperativen Werte mit den Werten am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. zum Explantationzeitpunkt und zum Vergleich der Effektivität des Verfahrens bei Varus- und Valguskorrektur zudem ein Vergleich der jeweiligen absoluten Korrekturen von mLDFW, mMPTW, aFTW und MAD und der errechneten Korrekturgeschwindigkeiten derselben durchgeführt. Hier wurde eine mögliche unterschiedliche Reaktion auf die temporäre Epiphysiodese bereits von Guzman et al. [50] angedacht, was in dieser Studie überprüft werden soll. Im Weiteren erfolgte bei Varus- und Valguskorrektur eine Gegenüberstellung der absoluten Korrekturwerte und der Korrekturgeschwindigkeiten des mLDFW mit den Werten des mMPTW, da sie einen Vergleich von femoraler und tibialer Korrekturpotenz zulassen. Es wurden weiterhin die Operationsdauern und Durchleuchtungszeiten pro eight-PlateTM sowie die Aufenthaltsdauern jeweils der Implantation gegen die Explantation und zudem das Alter zum Implantationszeitpunkt in den verschiedenen Gruppen und für die verschiedenen Geschlechter analysiert. In der Beinlängendifferenzgruppe erfolgte eine Analyse der verschiedenen

Epiphysiodeselokalisationen gegeneinander bzw. gegen deren Kombination für die Absolutwerte und Korrekturgeschwindigkeiten.

3.7 Tabellarische und graphische Darstellung

Weiterhin erfolgte eine graphische Darstellung der Ergebnisse. Die Erstellung der Diagramme erfolgte hierbei mittels der Programmiersprache Python (Version 3.2.2, Python Software Foundation, Delaware, USA) und der Grafikbibliothek MathPlotLib (Version 1.1.0, John Hunter). Weitere Graphiken und Tabellen wurden zudem mit der oben genannten Tabellenkalkulationssoftware (Excel 2007, Version 12, Microsoft Office Home and Student) erstellt.

Die erhobenen und die daraus berechneten Werte wurden mit Angabe der Signifikanzen in eine tabellarische und eine graphische Darstellung überführt.

4 Ergebnisse

4.1 Gesamtgruppe

4.1.1 Patientenzahl und Anzahl der eight-Plates™

Es wurden im genannten Zeitraum 246 eight-Plates™ bei insgesamt 93 Patienten implantiert, wovon 116 im genannten Zeitraum bereits wieder explantiert werden konnten. Dabei wurden die eight-Plates™ bei 42 Personen bereits wieder vollständig und bei 15 Personen aufgrund eines erreichten Teiltherapieziels partiell entfernt (z.B. bei vollständiger Korrektur der Beinachse eines Beins bei bilateraler Fehlstellung).

4.1.2 Alter

Das Durchschnittsalter der Gesamtgruppe betrug $11,7 \pm 2,6$ Jahre mit einem Altersbereich von 2,9 bis 15,7 Jahren. Dabei lag das mittlere Alter der Jungen bei $12,2 \pm 2,7$ Jahren (Bereich von 2,9 bis 15,7 Jahren) und der Mädchen bei $11,1 \pm 2,4$ Jahren (Bereich von 5,0 bis 14,0 Jahren).

4.1.3 Skeletalter

Das durchschnittliche Skeletalter lag im Mittel bei $12,2 \pm 1,7$ Jahren mit einem Bereich von 9 bis 15,5 Jahren. Für die Jungen betrug das mittlere Skeletalter dabei $12,6 \pm 2,1$ Jahre (Bereich von 11,5 bis 15,5 Jahren) und für die Mädchen $11,9 \pm 1,4$ Jahre (Bereich von 9 bis 15 Jahren).

4.1.4 Epiphysiodesedauer

Für die bereits innerhalb des Beobachtungszeitraumes wieder explantierten eight-Plates™ konnte ein durchschnittlicher Verbleib im Körper von $370,5 \pm 176,7$ Tagen errechnet werden. Der längste Verbleib darunter lag bei 887 Tagen, der kürzeste bei 78 Tagen. Aufgeteilt in die einzelnen Indikationsgruppen ergab sich für die Beinlängendifferenzgruppe ein durchschnittlicher Verbleib von $479,4 \pm 208,7$ Tagen mit einem längsten Verbleib von 795 Tagen und einem kürzesten Verbleib von 206 Tagen. Die Varusgruppe betreffend errechnete sich ein durchschnittlicher Verbleib von

367,9 ± 190,7 Tagen (längster Verbleib von 700 Tagen und kürzester Verbleib von 101 Tagen), während sich für die Valgusgruppe ein durchschnittlicher Verbleib von 358,7 ± 169,1 Tagen (längster Verbleib von 887 Tagen und kürzester Verbleib von 78 Tagen) ergab.

Der Unterschied im Verbleib zwischen Varus- und Valgusgruppe zeigte sich in der statistischen Analyse mittels Student's t-Test erwartungsgemäß nicht statistisch signifikant ($p=0,866$). Die durchschnittliche Verweildauer der Implantate für die Indikation Beinlängendifferenz lag mit 479,4 Tagen deutlich höher, zeigte jedoch ebenfalls keine statistische Signifikanz in der Analyse mittels Student's t-Test gegenüber den Valgus- ($p=0,085$) oder den Varusdeformitäten ($p=0,251$).

4.1.5 Operationszeiten Implantation und Explantation

Anhand der intraoperativen Aufzeichnungen wurden Operationszeiten pro eight-Plate™ für die Implantation und die Explantation berechnet. Hierfür wurden ausschließlich Operationen ohne Nebeneingriff (wie zum Beispiel eine Exostosenentfernung) in die statistische Auswertung miteinbezogen. Es ergaben sich hierbei eine Implantationszeit von 36,8 ± 11,4 Minuten pro eingesetzter eight-Plate™ (Bereich von 18,8 bis 75 Minuten) sowie eine Explantationszeit von 28,3 ± 7,2 Minuten pro entfernter eight-Plate™ (Bereich von 12,5 bis 45 Minuten).

Ein statistischer Vergleich zwischen den Operationszeiten bei Implantation und Explantation mittels Student's t-Test zeigte einen höchst signifikanten Unterschied ($p<0,001$).

4 Ergebnisse

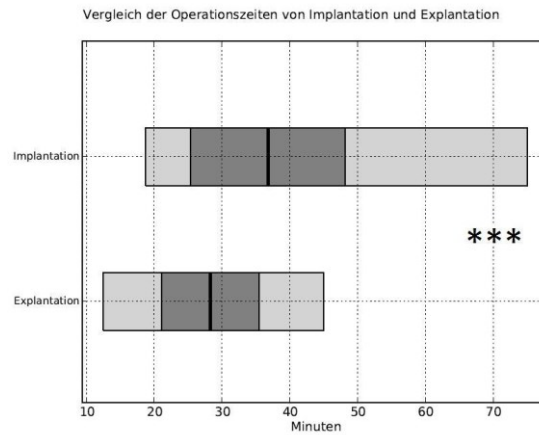


Abbildung 25: Operationszeiten Implantation, Explantation (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4.1.6 Aufenthaltsdauern Implantation und Explantation

Die durchschnittliche stationäre Aufenthaltsdauer der Patienten lag für die Implantation der eight-Plates™ bei $5,3 \pm 1,5$ Tagen (Bereich von 2 bis 9 Tagen) und für die Explantation bei $3,4 \pm 1,0$ Tagen (Bereich von 0 bis 6 Tagen).

Der statistische Vergleich mittels Mann-Whitney-U-Test zeigte hierbei einen höchst signifikanten Unterschied zwischen der Aufenthaltsdauer bei Implantation und bei Explantation ($p < 0,001$).

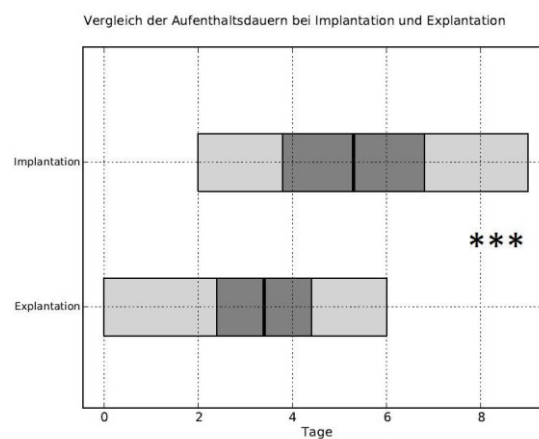


Abbildung 26: Aufenthaltsdauern Implantation, Explantation (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4.1.7 Durchleuchtungszeiten Implantation und Explantation

Intraoperativ wurde anhand radiographischer Kontrollen der korrekte Sitz bzw. die restlose Entfernung der eight-Plates™ kontrolliert. Anhand der intraoperativen

4 Ergebnisse

Aufzeichnungen ergaben sich dabei durchschnittliche Durchleuchtungszeiten von $0,36 \pm 0,38$ Minuten für die Implantationsoperationen (Bereich von 0 bis 2,65 Minuten) und von $0,02 \pm 0,05$ Minuten für die Explantationsoperationen (Bereich von 0 bis 0,28 Minuten). Operationen mit Nebeneingriffen wurden auch hier nicht mit zur Auswertung herangezogen.

Der statistische Vergleich mittels Mann-Whitney-U-Test zeigte einen höchst signifikanten Unterschied zwischen der Durchleuchtungszeit bei Implantation und bei Explantation ($p < 0,001$).

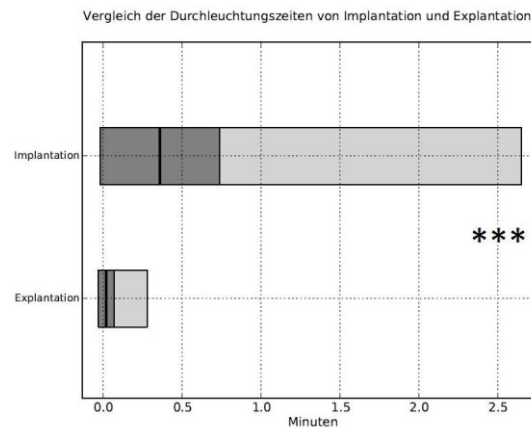


Abbildung 27: Durchleuchtungszeiten Implantation, Explantation (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

	Aufenthaltsdauer	Bereich	Operationszeit	Bereich	Durchleuchtungszeit	Bereich
Implantation	$5,3 \pm 1,5$ Tage	2 bis 9 Tage	$36,8 \pm 11,4$ Minuten	18,8 bis 75 Minuten	$0,36 \pm 0,38$ Minuten	0 bis 2,65 Minuten
Explantation	$3,4 \pm 1,0$ Tage	0 bis 6 Tage	$28,3 \pm 7,2$ Minuten	12,5 bis 45 Minuten	$0,02 \pm 0,05$ Minuten	0 bis 0,28 Minuten

Tabelle 3: Mittelwerte Aufenthaltsdauer, Operationszeit und Durchleuchtungszeit für Implantation und Explantation

4.2 Beinlängendifferenzgruppe

4.2.1 Patientenzahl und Anzahl der eight-Plates™

Eine Epiphysiodese aufgrund einer Beinlängendifferenz wurde bei 29 Personen, darunter 15 Jungen und 14 Mädchen, durchgeführt, von denen im Untersuchungszeitraum 4 bereits eine vollständige und 2 eine partielle Entfernung der

eight-Plates™ erhielten. Diese Patientengruppe erhielt dabei insgesamt 90 eight-Plates™, 14 davon wurden bereits wieder entfernt.

4.2.2 Alter

Das durchschnittliche Alter der Jungen in dieser Patientengruppe betrug $13,1 \pm 1,1$ Jahre mit einer Altersspanne von 10,4 bis 14,9 Jahren, während das durchschnittliche Alter der Mädchen bei $11,4 \pm 1,3$ Jahren mit einer Altersspanne von 10,1 bis 14,0 Jahren lag. Für die Gruppe insgesamt lag das Alter bei $12,3 \pm 1,4$ Jahren mit einer Altersspanne von 10,1 bis 14,9 Jahren.

4.2.3 Skeletalter

Entsprechend betrug das durchschnittliche Skeletalter der Jungen $13,3 \pm 1,7$ Jahre (Altersspanne von 11,5 bis 15,5 Jahren) und das der Mädchen $11,4 \pm 0,9$ Jahre (Altersspanne von 10 bis 12,5 Jahren). Insgesamt lag das durchschnittliche Skeletalter bei $12,3 \pm 1,6$ Jahren mit einem Bereich von 10 bis 15,5 Jahren.

4.2.4 Beinlängendifferenz präoperativ und am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation

Die röntgenologisch gemessene Beinlängendifferenz betrug präoperativ im Durchschnitt $23,5 \pm 11,5$ mm mit einem Minimalwert von 7 mm und einem Maximalwert von 49 mm.

Die röntgenologisch zum Ende des Beobachtungszeitraums gemessene durchschnittliche Beinlängendifferenz lag bei $16,6 \pm 10,3$ mm mit einem Minimalwert bei 4 mm und einem Maximalwert bei 44 mm.

Ein statistischer Vergleich zwischen prä- und postoperativ gemessener Beinlängendifferenz mittels Student's t-Test zeigte einen signifikanten Unterschied ($p=0,013$).

4 Ergebnisse

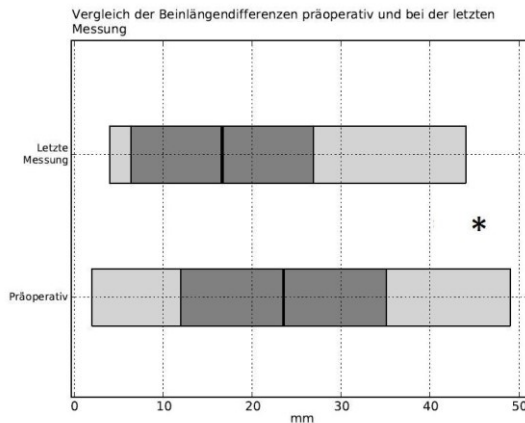


Abbildung 28: Beinlängendifferenzen präoperativ und letzte Messung (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4.2.5 Absolute Korrektur und Korrekturgeschwindigkeit

Rechnerisch ergab sich als Mittelwert der absoluten Beinlängenkorrekturen (Präoperative Beinlängendifferenz abzüglich Beinlängendifferenz am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation) eine durchschnittliche Korrektur von $8,8 \pm 11,6$ mm. Die minimale absolute Korrektur lag dabei bei 4 mm, die größte erreichte Korrektur bei 38 mm.

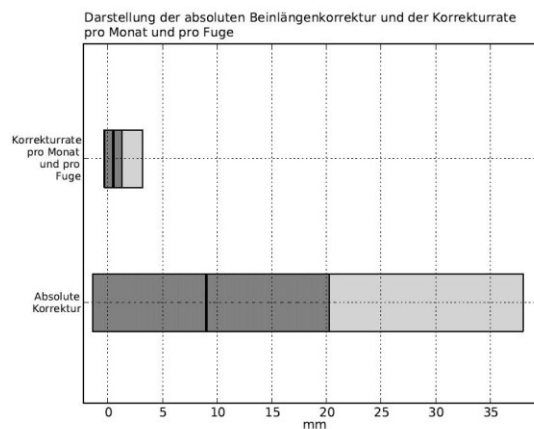


Abbildung 29: Absolute Beinlängenkorrektur und Korrekturrate pro Monat und Fuge (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

Schlüsselt man das Ergebnis weiter nach Epiphysideselokalisation auf, so ergibt sich bei rein femoraler Klammerung eine durchschnittliche Korrektur von $5,6 \pm 6,4$ mm (Bereich von -0,2 bis 1,6 mm). Bei rein tibialer Klammerung ergibt sich eine durchschnittliche Korrektur von $3,6 \pm 13,0$ mm (Bereich von -1,1 bis 3,3 mm) und bei

4 Ergebnisse

gleichzeitiger Klammerung beider Lokalisationen eine durchschnittliche Korrektur von $13,8 \pm 12,2$ mm (Bereich von -0,4 bis 3,8 mm).

Der statistische Vergleich der absoluten Korrekturen von rein femoraler und rein tibialer Klammerung mittels Student's t-Test zeigte jedoch keinen signifikanten Unterschied ($p=0,678$). Ebenso ergaben die statistischen Untersuchungen von rein femoraler gegen kombinierte Klammerung sowie rein tibialer gegen kombinierte Klammerung keine signifikanten Unterschiede ($p=0,064$ bzw. $p=0,076$).

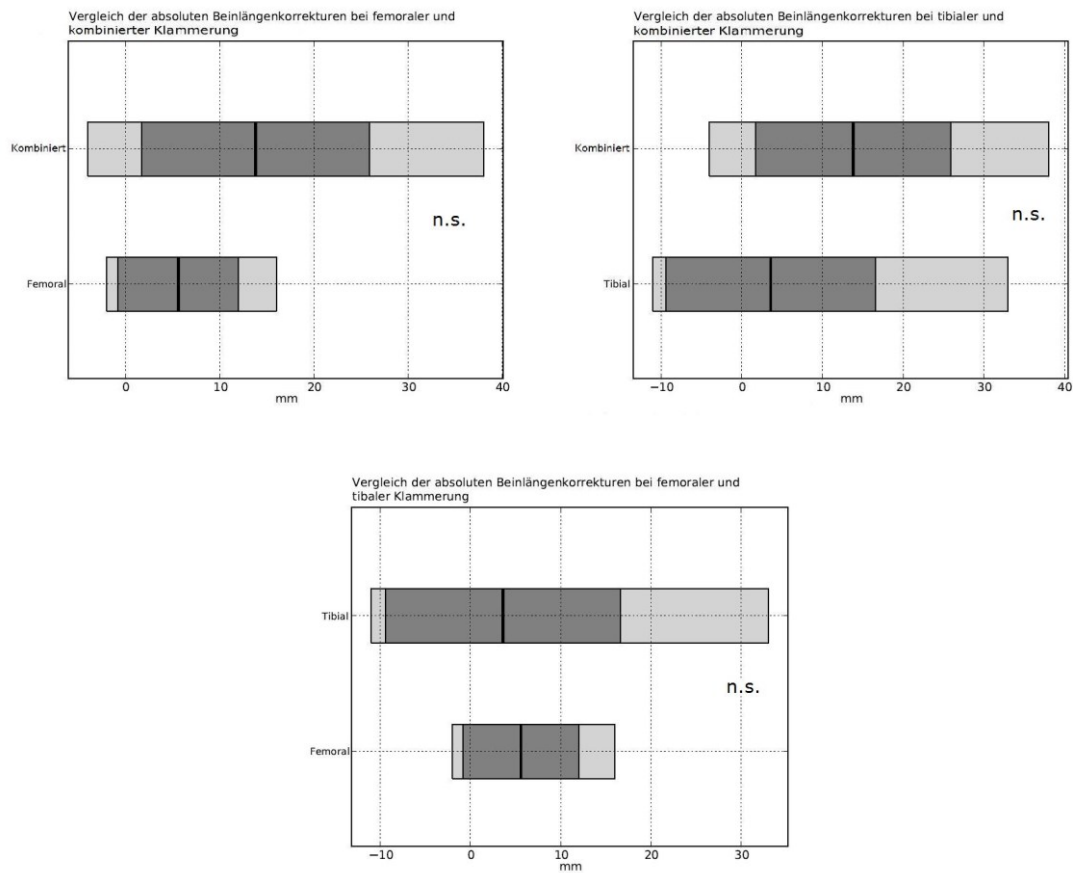


Abbildung 30: Absolute Beinlängenkorrekturen an verschiedenen Lokalisationen (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

Die errechnete Korrekturgeschwindigkeit pro Monat und pro operierter Wachstumsfuge lag bei $0,5 \pm 0,8$ mm mit einem Bereich von -1,2 mm Progredienz der Beinlängendifferenz bis zu einem Ausgleich von 3,2 mm.

Auch hier lässt sich durch Aufschlüsselung des Ergebnisses nach Epiphysoedelokalisation eine weitere Differenzierung vornehmen. Für die rein

4 Ergebnisse

femorale Klammerung ergibt sich eine Korrekturrate von $0,48 \pm 0,76$ mm pro Monat (Bereich von $-0,03$ bis $0,23$ mm), während sich für die rein tibiale Klammerung ein Wert von $0,14 \pm 0,80$ mm pro Monat (Bereich von $-0,12$ bis $0,16$ mm) ergibt. Für die Fälle mit gleichzeitiger Klammerung beider Lokalisationen hingegen ergibt sich eine Korrekturrate von $1,30 \pm 1,62$ mm pro Monat (Bereich von $-0,03$ bis $0,63$ mm).

Auch der statistische Vergleich der Korrekturgeschwindigkeit pro Monat von rein femoraler und rein tibialer Klammerung mittels Student's t-Test zeigte keinen signifikanten Unterschied ($p=0,366$). Weiterhin ergaben die statistischen Untersuchungen von rein femoraler gegen kombinierte Klammerung sowie rein tibialer gegen kombinierte Klammerung ebenso keine signifikanten Unterschiede ($p=0,154$ bzw. $p=0,073$).

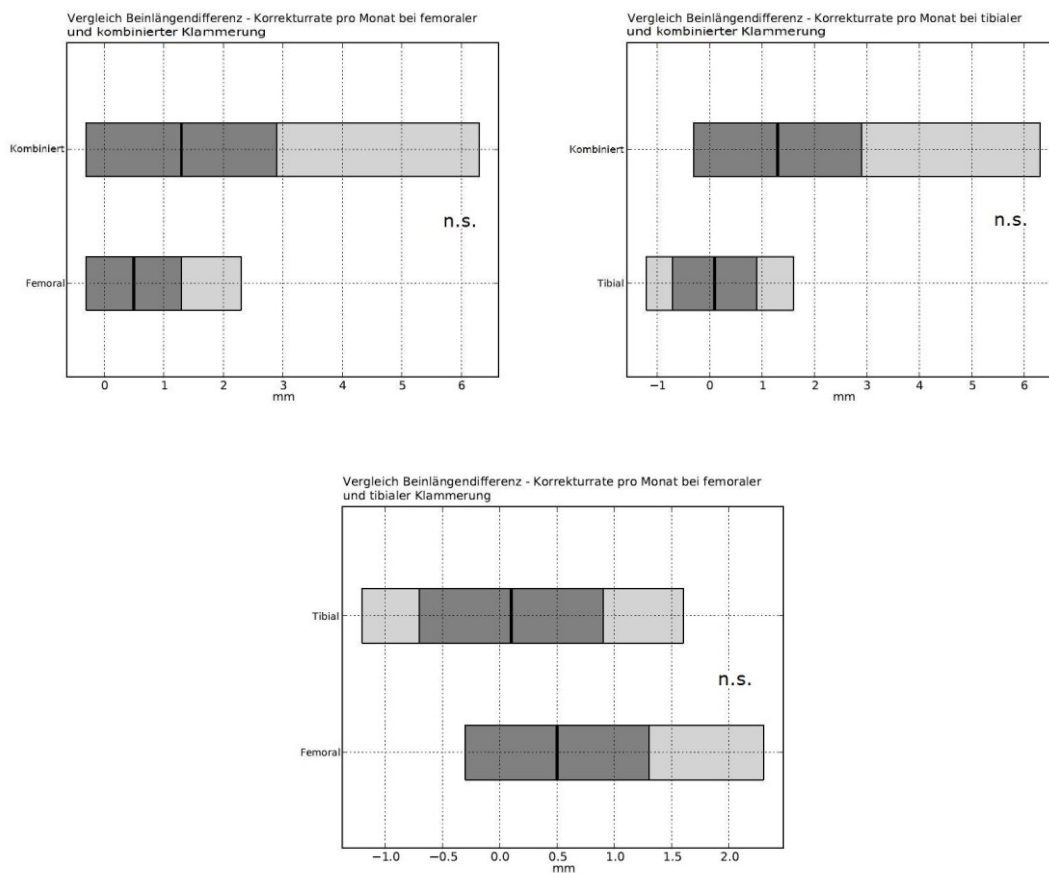


Abbildung 31: Beinlängendifferenz-Korrekturraten an verschiedenen Lokalisationen (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4.2.6 Therapieerfolg

Die Reduktion der Beinlängendifferenz auf unter 1 cm, was per Definition als Therapieerfolg gewertet wurde (siehe 3.4.1.10), erreichten von den 6 Patienten, deren eight-Plates™ bereits wieder explantiert wurden, leider nur 2 und damit 33,3%. Es fanden keine Überkorrekturen statt.

4.2.7 Grunderkrankungen

Bei insgesamt 11 von 29 Patienten, die aufgrund der Indikation Beinlängendifferenz behandelt wurden, konnte eine Grunderkrankung ermittelt werden. Es wurde bei jeweils einem Patienten eine Epiphysiolysis capitis femoris, eine Nierenagenesie, ein Klippel-Trenaunay-Weber-Syndrom, ein Marfan-Syndrom, eine Osteogenesis imperfecta, ein Morbus Perthes, eine Hüftgelenkdysplasie oder ein kongenitaler Femurdefekt (PFFD) gezählt, während bei drei Patienten eine fibuläre Hemimelie vorlag. 11 von 29 Patienten entsprachen dabei 37,9%, wobei bei 18 Patienten, also 69,1%, eine idiopathische Genese vorlag.

4.3 Varusgruppe

4.3.1 Patientenzahl und Anzahl der eight-Plates™

In die Gruppe der Varus-Achsfehlstellung fielen 17 Patienten, darunter 10 Jungen und 7 Mädchen. Im Untersuchungszeitraum wurden hier bereits 8 vollständige und 3 partielle Explantationen durchgeführt. Insgesamt erhielten diese 17 Patienten 33 eight-Plates™, von denen 17 bereits wieder explantiert wurden.

4.3.2 Alter

Das durchschnittliche Alter der Jungen in dieser Patientengruppe lag bei $11,7 \pm 4,2$ Jahren mit einer Altersspanne von 2,9 bis 15,7 Jahren, während das durchschnittliche Alter der Mädchen bei $10,0 \pm 3,8$ Jahren mit einer Altersspanne von 5,0 bis 14,7 Jahren lag. Insgesamt betrug für diese Untergruppe der Altersschnitt $11,0 \pm 4,0$ Jahre mit einer Spanne von 2,9 bis 15,7 Jahren.

4.3.3 Skeletalter

Entsprechend lag das durchschnittliche Skeletalter der Jungen bei $13,3 \pm 1,1$ Jahren (Altersspanne von 12,5 bis 14 Jahren) und das der Mädchen bei 12 ± 1 Jahren (Altersspanne von 11 bis 13 Jahren). Insgesamt betrug das durchschnittliche Skeletalter $12,5 \pm 1,1$ Jahre mit einer Spanne von 11 bis 14 Jahren. Leider waren für die Skeletalterberechnung nur bei wenigen Patienten Daten vorhanden (Diskordanz Minimalwert Alter – Skeletalter).

4.3.4 Mechanische Achsdeviation (MAD) präoperativ und am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation

Die durchschnittliche Verschiebung der Mikulicz-Linie vom Kniegelenksmittelpunkt betrug präoperativ $36,0 \pm 24,5$ mm nach medial mit einem Bereich von 3 mm nach medial bis 102 mm nach medial.

Am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation lag die Abweichung der Mikulicz-Linie durchschnittlich noch bei $17,8 \pm 22,4$ mm nach medial bei einem Bereich von 11 mm nach lateral bis 94 mm nach medial.

Der statistische Vergleich mittels Mann-Whitney-U-Test zeigte hierbei einen höchst signifikanten Unterschied zwischen dem präoperativen Wert und dem Wert am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation ($p=0,001$).

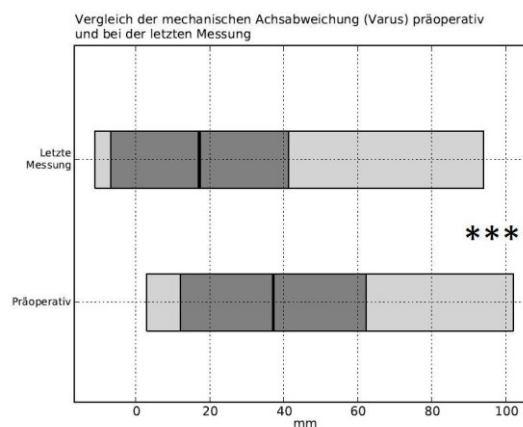


Abbildung 32: Mechanische Achsabweichung präoperativ und letzte Messung (Varus) (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4.3.5 Kniegelenkwinkel präoperativ und am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation

Die gemittelten Winkelmaße der Kniegelenkwinkel lagen präoperativ für den mLDFW bei $104^\circ \pm 9,5^\circ$ mit einem Bereich von 89° bis 120° , für den mMPTW bei $77,9^\circ \pm 6,1^\circ$ mit einem Bereich von 63° bis 88° sowie für den aFTW bei $190,1^\circ \pm 12,0^\circ$ mit einem Bereich von 176° bis 220° .

Am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation betragen die durchschnittlichen Winkelmaße der Kniegelenkwinkel für den mLDFW $92,8^\circ \pm 6,1^\circ$ bei einem Bereich von 84° bis 105° , für den mMPTW $84,9^\circ \pm 7,3^\circ$ bei einem Bereich von 73° bis 95° sowie für den aFTW $181,1^\circ \pm 5,6^\circ$ mit einem Bereich von 171° bis 190° .

Die statistische Analyse der präoperativen Winkelmaße und der Winkelmaße am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation jeweils mittels Student's t-Test ergab für den mLDFW einen höchst signifikanten Unterschied ($p=0,001$), für den mMPTW einen hoch signifikanten Unterschied ($p=0,007$) und für den aFTW ebenfalls einen hoch signifikanten Unterschied ($p=0,004$).

4 Ergebnisse

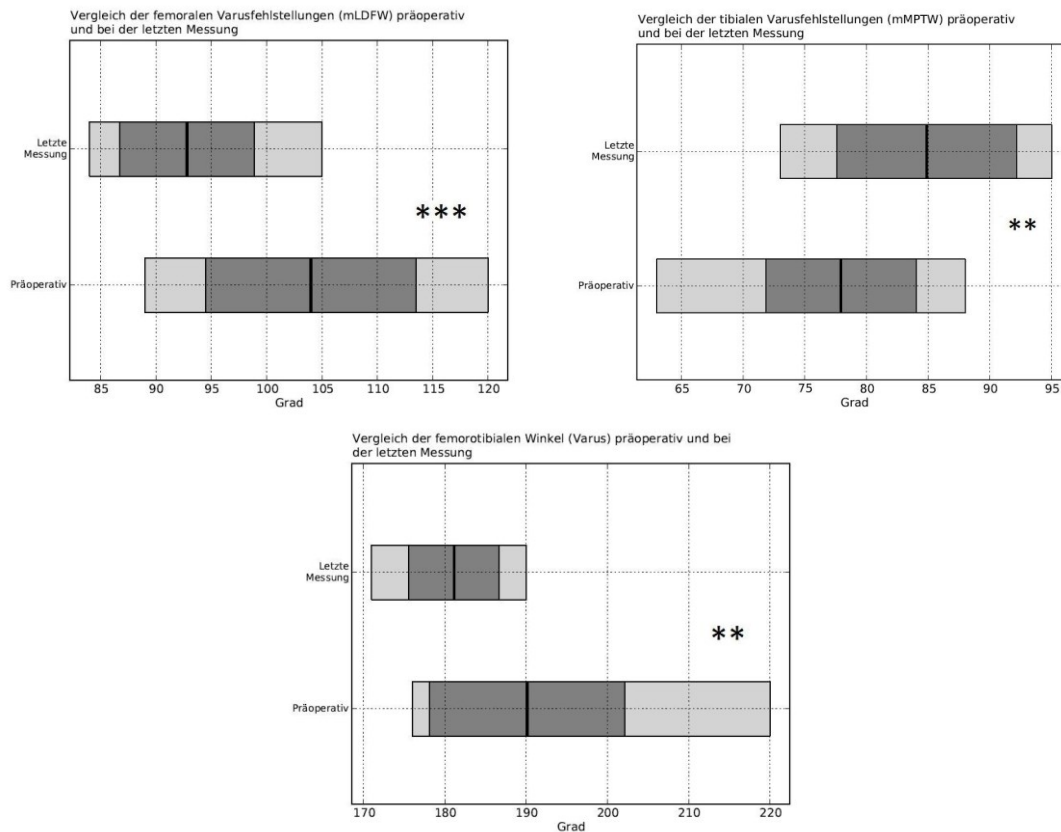


Abbildung 33: Winkelmaße mLDFW, mMPTW und aFTW präoperativ und letzte Messung (Varus) (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4.3.6 Absolute Korrekturen und Korrekturgeschwindigkeiten

Rechnerisch ergab sich als Mittelwert der absoluten Gesamtveränderungen der mechanischen Achsdeviationen (MAD) eine Korrektur von $17,9 \pm 19,5$ mm mit einem Bereich von -15 mm Progredienz der Achsdeviation bis zu 76 mm Korrektur.

Für die Kniegelenkwinkel ergaben sich als Mittelwerte der absoluten Korrekturen für den mLDFW $11,2^\circ \pm 8,7^\circ$ mit einem Bereich von 3° bis 31° , für den mMPTW $7,1^\circ \pm 6,4^\circ$ mit einem Bereich von -2° (Progredienz der Fehlstellung) bis 21° und für den aFTW $8,6^\circ \pm 14,3^\circ$ mit einem Bereich von -8° (Progredienz der Fehlstellung) bis 51° .

Der statistische Vergleich der absoluten Korrekturen von mLDFW und mMPTW mittels Student's t-Test zeigte hierbei keinen signifikanten Unterschied ($p=0,143$).

Die berechneten Korrekturgeschwindigkeiten erreichten eine Korrektur von $1,44 \text{ mm} \pm 1,89 \text{ mm}$ pro Monat und pro therapierter Epiphysenfuge für die mechanische

4 Ergebnisse

Achsdeviation (MAD)(Bereich von -1,5 bis 7,33 cm), $0,95^\circ \pm 0,78^\circ$ pro Monat beim mLDFW (Bereich von $0,14^\circ$ bis $2,58^\circ$), $0,69^\circ \pm 0,57^\circ$ pro Monat beim mMPTW (Bereich von $-0,17^\circ$ bis $2,00^\circ$) sowie $0,53^\circ \pm 1,14^\circ$ pro Monat und pro therapierter Epiphysenfuge beim aFTW (Bereich von $-1,33^\circ$ bis $4,25^\circ$).

Auch hier zeigte sich im statistischen Vergleich der Korrekturgeschwindigkeiten von mLDFW und mMPTW mittels Student's t-Test kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,296$).

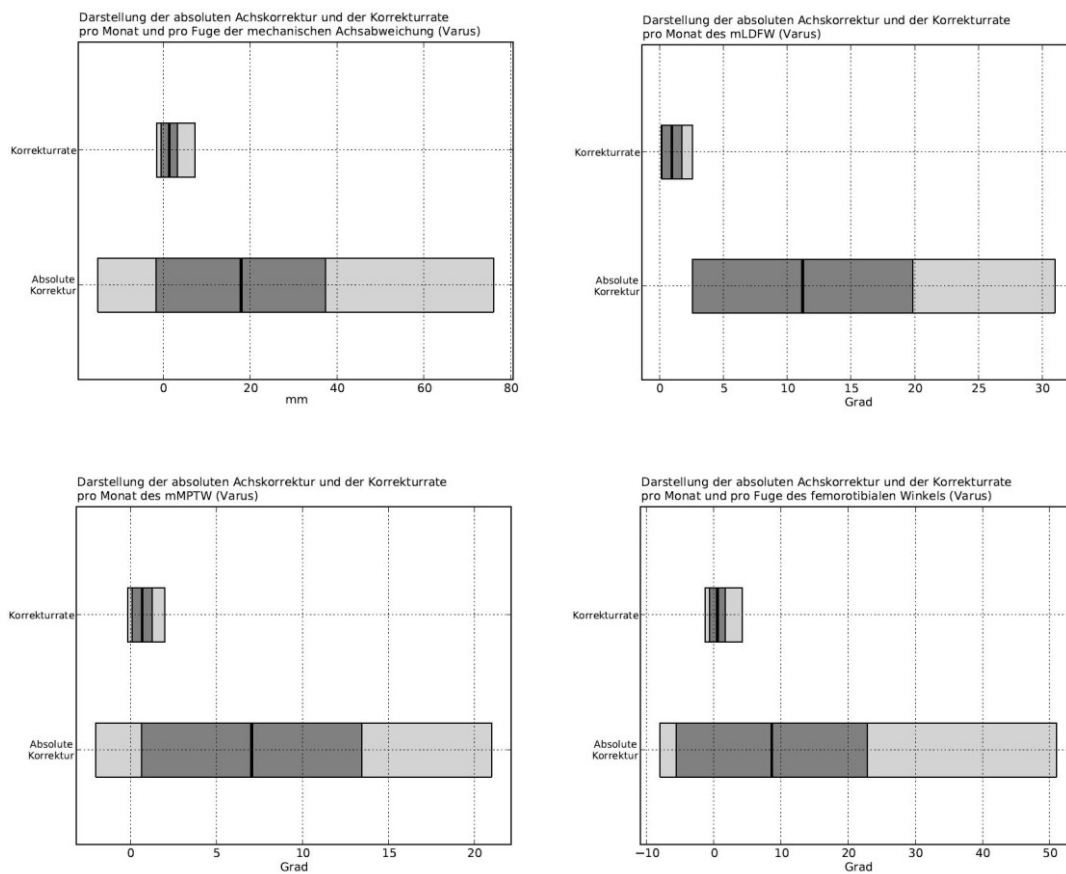


Abbildung 34: Absolute Korrekturen und Korrekturraten pro Monat ggf. auch pro Fuge des MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW (Varus) (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4 Ergebnisse

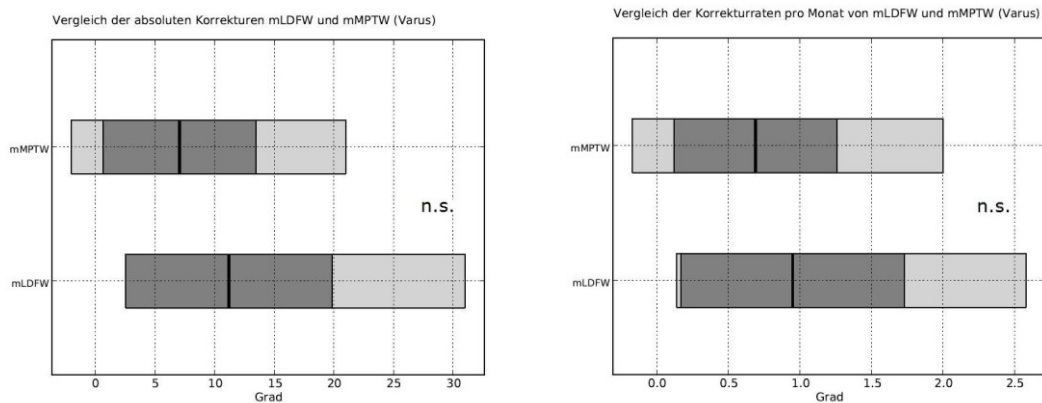


Abbildung 35: Absolute Korrekturen und Korrekturraten pro Monat von mLDFW und mMPTW (Varus) (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4.3.7 Therapieerfolg

Die Normalisierung des mLDFW bzw. mMPTW in den Bereich von 85° bis 90°, welche als Indikator für den Therapieerfolg gewertet wurde (siehe 3.4.1.10), konnte bei 17 Lokalisationen, an denen die eight-PlatesTM bereits wieder explantiert wurden, 11 mal erreicht (=64,7%) werden. Drei weitere erreichten eine milde gewünschte Überkorrektur (=17,6%), was einer Therapieerfolgsrate von 82,3% entspricht. Bei 3 Lokalisationen blieb eine ausreichende Korrektur aus (=17,6%).

4.3.8 Grunderkrankungen

Bei insgesamt 10 von 17 Patienten, die aufgrund der Indikation Varusdeformität behandelt wurden, konnte eine Grunderkrankung ermittelt werden. Es wurde bei jeweils einem Patienten ein Turner-Syndrom, ein Freeman-Sheldon-Syndrom (Whistling-Face-Syndrom) oder eine Osteomyelitis gezählt, während bei jeweils zwei Patienten eine Achondroplasie bzw. eine Vitamin D-resistente Rachitis (Phosphatdiabetes) und bei drei Patienten ein Morbus Blount vorlagen. 10 von 17 Patienten entsprachen dabei 58,8%, wobei bei 7 Patienten, also 41,2%, eine idiopathische Genese vorlag.

4.4 Valgusgruppe

4.4.1 Patientenzahl und Anzahl der eight-Plates™

In die Gruppe der Valgus-Achsfehlstellung fielen 56 Patienten, darunter 31 Jungen und 25 Mädchen. Somit war es die größte unter den untersuchten Gruppen. Im Untersuchungszeitraum wurden hier bereits 34 vollständige und 9 partielle Explantationen durchgeführt. Insgesamt erhielten diese 56 Patienten 123 eight-Plates™, von denen 85 bereits wieder explantiert wurden.

4.4.2 Alter

Das durchschnittliche Alter der Jungen in dieser Patientengruppe lag bei $12,0 \pm 2,7$ Jahren mit einer Altersspanne von 4,3 bis 14,9 Jahren, während das durchschnittliche Alter der Mädchen bei $11,4 \pm 2,2$ Jahren mit einer Altersspanne von 5,8 bis 14,0 Jahren lag. Insgesamt betrug das durchschnittliche Alter in dieser Gruppe $11,7 \pm 2,4$ Jahre mit einem Bereich von 4,3 bis 14,9 Jahren.

4.4.3 Skeletalter

Entsprechend betrug das durchschnittliche Skeletalter der Jungen $12,5 \pm 0,5$ Jahre (Altersspanne von 12 bis 13 Jahren) und das der Mädchen $12,2 \pm 1,7$ Jahre (Altersspanne von 9 bis 15 Jahren). Insgesamt lag das durchschnittliche Skeletalter bei $12,0 \pm 1,9$ Jahren mit einem Bereich von 9 bis 15 Jahren. Leider waren für die Skeletalterberechnung nur bei wenigen Patienten Daten vorhanden (Diskordanz Minimalwert Alter – Skeletalter).

4.4.4 Mechanische Achsdeviation (MAD) präoperativ und am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation

Die durchschnittliche Verschiebung der Mikulicz-Linie vom Kniegelenksmittelpunkt betrug präoperativ $24,8 \pm 14,2$ mm nach lateral mit einem Bereich von 0 mm Abweichung bis 85 mm nach lateral.

Am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation betrug die Abweichung der Mikulicz-Linie durchschnittlich noch $6,9 \pm 15,5$ mm nach lateral bei einem Bereich von 29 mm nach medial bis 36 mm nach lateral.

4 Ergebnisse

Der statistische Vergleich mittels Student's t-Test zeigte hierbei einen höchst signifikanten Unterschied zwischen dem präoperativen Wert und dem Wert am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation ($p < 0,001$).

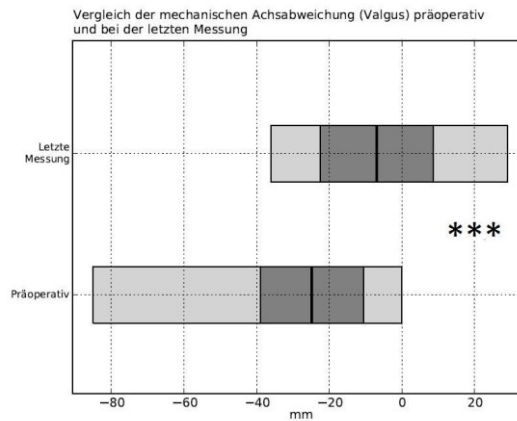


Abbildung 36: Mechanische Achsabweichung präoperativ und letzte Messung (Valgus) (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4.4.5 Kniegelenkwinkel präoperativ und am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation

Die gemittelten Winkelmaße der Kniegelenkwinkel lagen präoperativ für den mLDFW bei $81,5^\circ \pm 4,7^\circ$ mit einem Bereich von 68° bis 88° , für den mMPTW bei $94,5^\circ \pm 4,4^\circ$ mit einem Bereich von 85° bis 112° sowie für den aFTW bei $168,1^\circ \pm 4,8^\circ$ mit einem Bereich von 154° bis 175° .

Am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation betragen die durchschnittlichen Winkelmaße der Kniegelenkwinkel für den mLDFW $89,6^\circ \pm 3,8^\circ$ bei einem Bereich von 77° bis 98° , für den mMPTW $89,5^\circ \pm 3,9^\circ$ bei einem Bereich von 85° bis 101° sowie für den aFTW $173,3^\circ \pm 5,4^\circ$ bei einem Bereich von 154° bis 184° .

Die statistische Analyse der präoperativen Winkelmaße und der Winkelmaße am Ende des Beobachtungszeitraumes bzw. bei Explantation jeweils mittels Student's t-Test ergab für den mLDFW einen höchst signifikanten Unterschied ($p < 0,001$), für den mMPTW ebenso einen höchst signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) und für den aFTW einen hoch signifikanten Unterschied ($p = 0,004$).

4 Ergebnisse

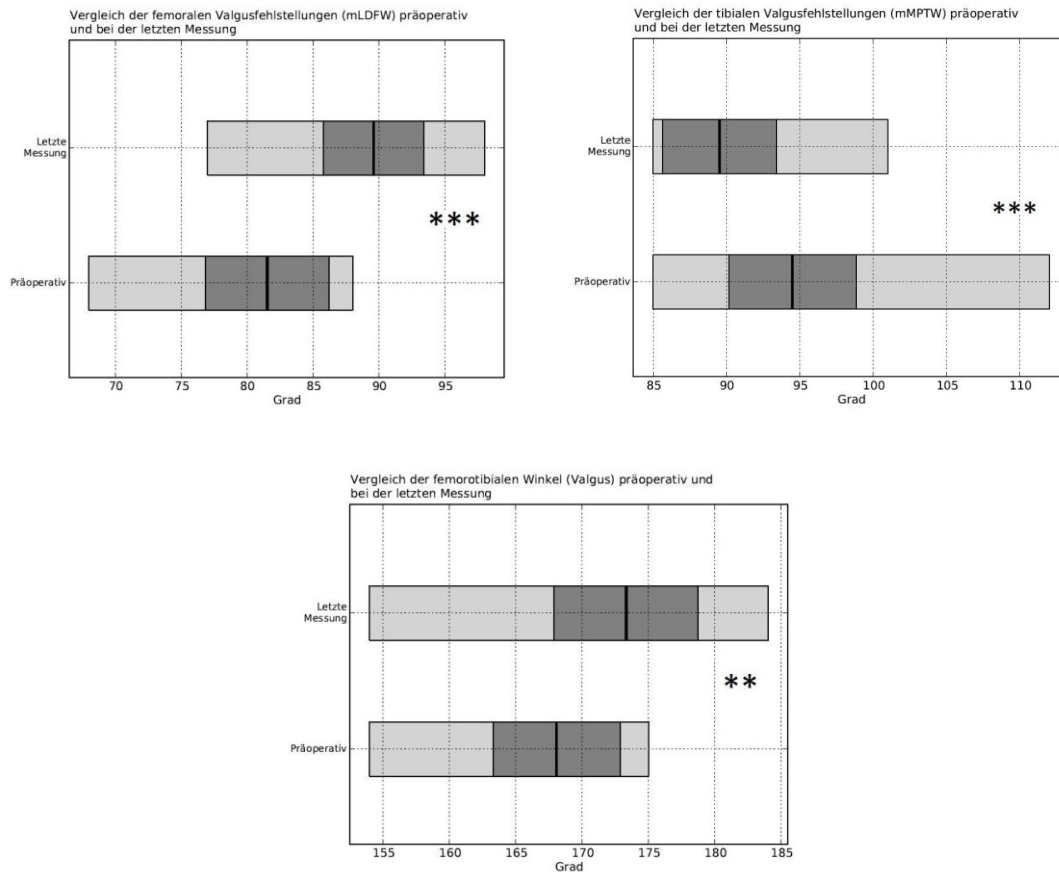


Abbildung 37: Winkelmaße mLDFW, mMPTW und aFTW präoperativ und letzte Messung (Valgus) (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4.4.6 Absolute Korrekturen und Korrekturgeschwindigkeiten

Rechnerisch ergab sich damit eine durchschnittliche absolute Gesamtveränderung der mechanischen Achsdeviation (MAD) von $17,9 \pm 17,6$ mm mit einem Bereich von -13 mm (Progredienz der Fehlstellung) bis 109 mm.

Die Berechnung der Mittelwerte der absoluten Korrekturen ergaben für den mLDFW $8,1^\circ \pm 5,7^\circ$ (Bereich von -1° (Progredienz der Fehlstellung) bis 26°) und des mMPTW von $5,1^\circ \pm 4,7^\circ$ (Bereich von -5° (Progredienz der Fehlstellung) bis 24°) sowie für den aFTW $5,2^\circ \pm 5,6^\circ$ (Bereich von -3° (Progredienz der Fehlstellung) bis 23°).

Der statistische Vergleich der absoluten Korrekturen von mLDFW und mMPTW mittels Student's t-Test zeigte hierbei einen hoch signifikanten Unterschied ($p=0,004$), es erfolgte also eine femoral signifikant stärkere Korrektur.

4 Ergebnisse

Für die Berechnung der Korrekturgeschwindigkeiten ergaben sich Werte von $1,59 \pm 1,62$ mm MAD-Korrektur pro Monat und pro therapiertes Epiphysenfuge (Bereich von -0,75 mm (Progredienz der Fehlstellung) bis 5,33 mm), $0,69^\circ \pm 0,46^\circ$ pro Monat beim mLDFW (Bereich von $-0,11^\circ$ (Progredienz der Fehlstellung) bis 2°), $0,59^\circ \pm 0,61^\circ$ pro Monat beim mMPTW (Bereich von $-0,56^\circ$ (Progredienz der Fehlstellung) bis $3,33^\circ$) sowie $0,57^\circ \pm 0,79^\circ$ pro Monat und pro therapiertes Epiphysenfuge (Bereich von $-0,66^\circ$ (Progredienz der Fehlstellung) bis 6°) beim aFTW.

Der statistische Vergleich der Korrekturgeschwindigkeiten von mLDFW und mMPTW mittels Student's t-Test konnte jedoch keinen statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,349$) nachweisen.

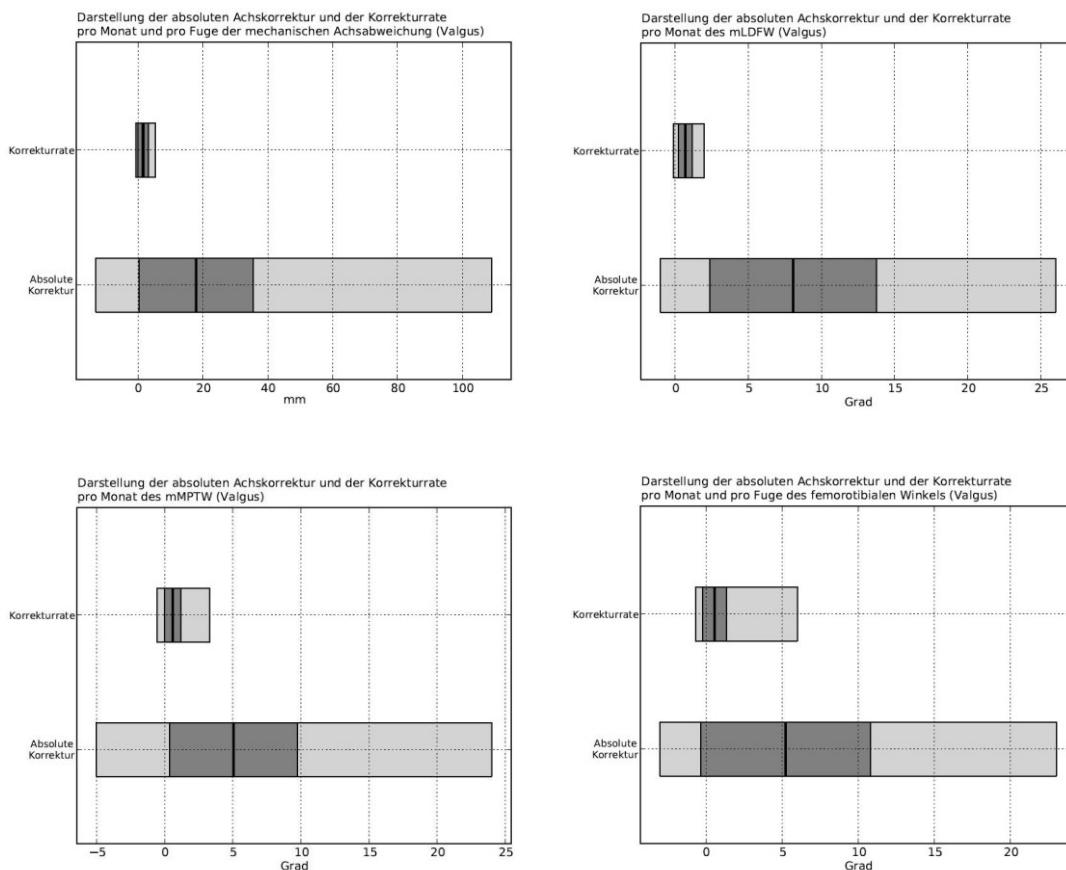


Abbildung 38: Absolute Korrekturen und Korrekturraten pro Monat ggf. auch pro Fuge des MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW (Valgus) (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4 Ergebnisse

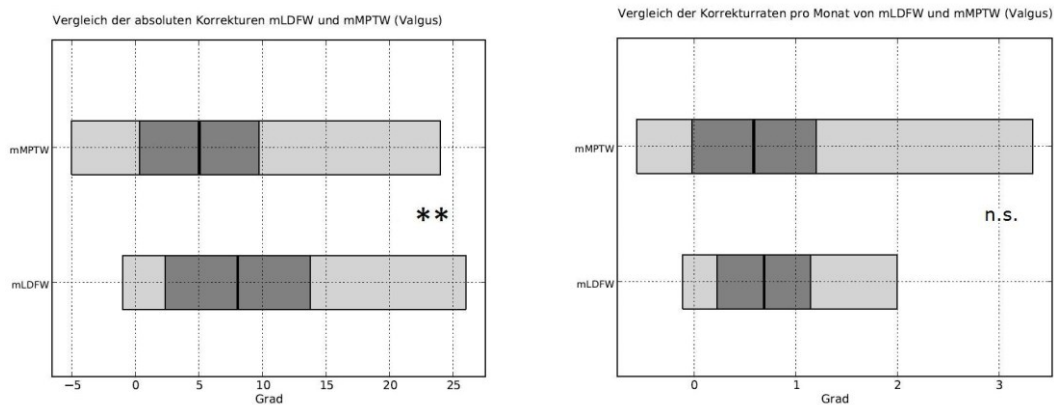


Abbildung 39: Absolute Korrekturen und Korrekturraten pro Monat von mLDFW und mMPTW (Valgus) (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

4.4.7 Therapieerfolg

Die Normalisierung des mLDFW bzw. mMPTW in den Bereich von 85° bis 90° , welcher als Indikator für den Therapieerfolg gewertet wurde (siehe 3.4.1.10), konnte bei 80 Lokalisationen, an denen die eight-PlatesTM bereits wieder explantiert wurden, 52 mal erreicht werden (=65%). Zwölf weitere erreichten eine milde gewünschte Überkorrektur (=15%), was einer Therapieerfolgsrate von 80% entspricht. An 3 Lokalisationen fand weiterhin eine nicht erwünschte Überkorrektur statt (=3,8%), während bei 13 Lokalisationen eine ausreichende Korrektur ausblieb (=16,3%).

4.4.8 Grunderkrankungen

Bei insgesamt 30 von 56 Patienten, die aufgrund der Indikation Valgusdeformität behandelt wurden, konnte eine Grunderkrankung ermittelt werden. Es wurde bei jeweils einem Patienten ein Dyggve-Melchior-Clausen-Syndrom, ein Freeman-Sheldon-Syndrom (Whistling-Face-Syndrom), eine Nierenagenesie, ein Marfan-Syndrom, eine juvenile Knochenzyste, ein Femur-Fibula-Ulna-Syndrom, eine Mukopolysaccharidose Typ Morquio oder ein Langer-Giedion-Syndrom (Exostosen) gezählt, während bei jeweils zwei Patienten eine nephropathische Zystinose, ein kongenitaler Femurdefekt (PFFD) oder eine Rachitis (Vitamin D-Mangel) vorlagen. Bei weiteren drei Patienten konnte eine fibuläre Hemimelie festgestellt werden sowie eine Fibulaaplasie bei vier und multiple kartilaginäre Exostosen bei neun Patienten. 30 von 56 Patienten entsprachen dabei 53,6%, wobei bei 26 Patienten, also 46,4%, eine idiopathische Genese vorlag.

4.5 Vergleich ausgewählter Ergebnisse von Varus- und Valgusgruppe

4.5.1 Vergleich des chronologischen Alters präoperativ

Das Alter am Epiphysiodesezeitpunkt ergab mit $11,0 \pm 4,0$ Jahren ein früheres durchschnittliches Lebensalter der Varusgruppe gegenüber der Valgusgruppe mit $11,7 \pm 2,4$ Jahren. Dieser Unterschied zeigte sich in der statistischen Analyse mittels Student's t-Test jedoch nicht signifikant ($p=0,508$).

Aufgeschlüsselt nach Geschlechtern stand bei den Jungen ein Durchschnittsalter von $12,0 \pm 2,7$ Jahren für die Behandlung von Valgus- einem Durchschnittsalter von $11,7 \pm 4,2$ Jahren für die Behandlung von Varusdeformitäten gegenüber, während es bei den Mädchen $11,4 \pm 2,2$ Jahre gegen $10,0 \pm 3,8$ Jahre sind.

Jedoch zeigte auch hier die statistische Analyse mittels Student's t-Test keinen signifikanten Unterschied, weder für die Jungen ($p=0,839$) noch für die Mädchen ($p=0,358$).

		Gesamtgruppe	Beinlängendifferenzen	Varus	Valgus
Alter	Gesamt	$11,7 \pm 2,6$	$12,3 \pm 1,4$	$11,0 \pm 4,0$	$11,7 \pm 2,4$
	Jungen	$12,2 \pm 2,7$	$13,1 \pm 1,1$	$11,7 \pm 4,2$	$12,0 \pm 2,7$
	Mädchen	$11,1 \pm 2,4$	$11,4 \pm 1,3$	$10,0 \pm 3,8$	$11,4 \pm 2,2$
Skeletalter	Gesamt	$12,2 \pm 1,7$	$12,3 \pm 1,6$	$12,5 \pm 1,1$	$12,0 \pm 1,9$
	Jungen	$12,6 \pm 2,1$	$13,3 \pm 1,7$	$13,3 \pm 1,1$	$12,5 \pm 0,5$
	Mädchen	$11,9 \pm 1,4$	$11,4 \pm 0,9$	$12,0 \pm 1,0$	$12,2 \pm 1,7$

Tabelle 4: Alter und Skeletalter in den verschiedenen Indikationsgruppen

4.5.2 Vergleich der Epiphysiodesedauer

Der durchschnittliche Verbleib der Implantate betrug bei den Valgusdeformitäten $358,7 \pm 169,7$ Tage (Bereich von 78 bis 887 Tage) gegenüber einer durchschnittlichen Verweildauer von $367,9 \pm 190,7$ Tagen (Bereich von 101 bis 700 Tage) bei den Varusdeformitäten. Dieser Unterschied zeigte sich in der statistischen Analyse mittels Student's t-Test nicht statistisch signifikant ($p=0,866$).

4.5.3 Vergleich der absoluten Korrekturen der Extremitätenwinkel und der MAD

Der Vergleich der Mittelwerte der Absolutveränderungen des mLDFW bei Varus- und Valgusdeformitäten zeigte mit durchschnittlich $11,2^\circ \pm 8,7^\circ$ gegenüber $8,1^\circ \pm 5,7^\circ$ eine höhere Korrektur bei den Varusdeformitäten, ein Umstand, der sich ebenso im Vergleich der Mittelwerte der Absolutveränderungen des mMPTW mit $7,1^\circ \pm 6,4^\circ$ für die Varus- und $5,1^\circ \pm 4,7^\circ$ für die Valgusdeformitäten und zudem bei den Mittelwerten der Absolutveränderungen des aFTW mit $8,6^\circ \pm 14,3^\circ$ für die Varus- und $5,2^\circ \pm 5,6^\circ$ für die Valgusdeformitäten widerspiegelte.

Der statistische Vergleich der Mittelwerte der absoluten Korrekturen mittels Student's t-Test zeigte hier jedoch mit $p=0,219$ für den mLDFW, $p=0,167$ für den mMPTW und $p=0,298$ für den aFTW in keinem Fall einen signifikanten Unterschied.

Der Vergleich der Mittelwerte der absoluten Gesamtveränderungen der mechanischen Achsdeviationen (MAD) ergab mit $17,9 \pm 19,5$ mm für die Varusdeformitäten und $17,9 \pm 17,6$ mm für die Valgusdeformitäten ein gleichwertiges Ergebnis.

Wie erwartet zeigte sich dabei in der statistischen Analyse mittels Mann-Whitney-U-Test kein signifikanter Unterschied ($p=0,791$).

4 Ergebnisse

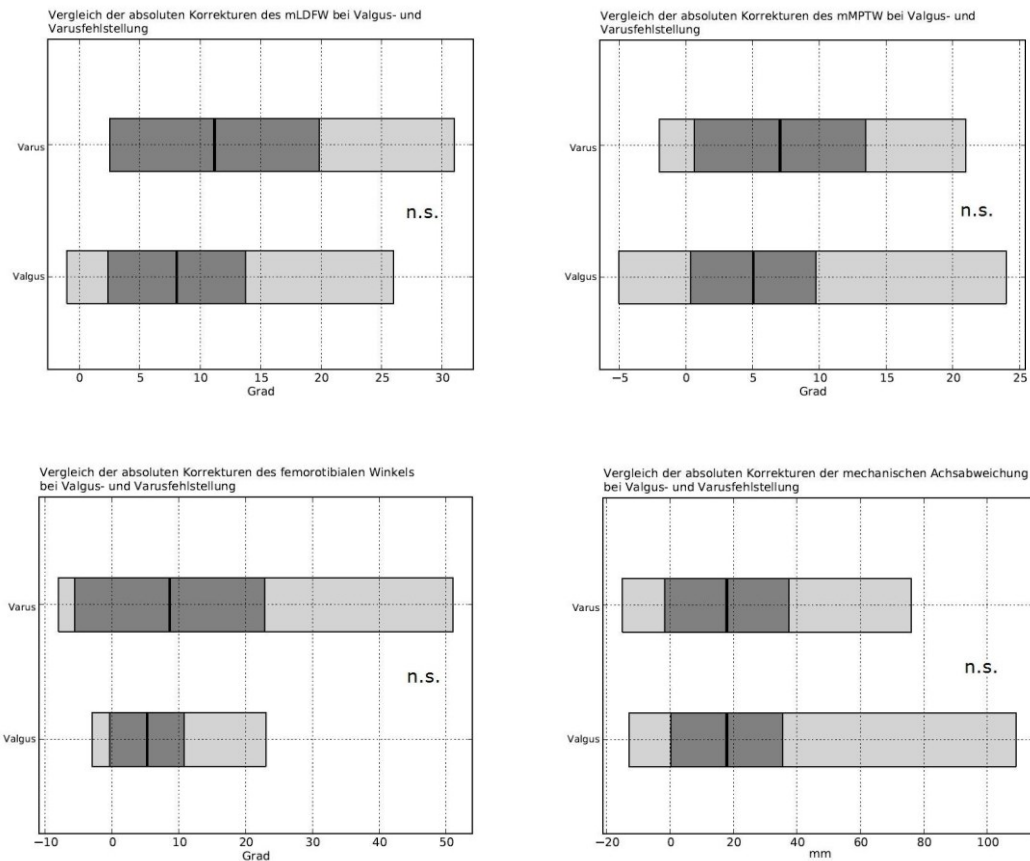


Abbildung 40: Absolute Korrekturen des mLDFW, mMPTW, aFTW und der MAD bei Valgus- und Varusfehlstellung (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

		Implantation	Explantation bzw. Ende des Beobachtungszeitraumes	mittlere Korrektur	Bereich der Korrekturen
mLDFW (°)	Varus	104±9,5	92,8±6,1	11,2±8,7	3 bis 31
	Valgus	81,5±4,7	89,6±3,8	8,1±5,7	-1 bis 26
mMPTW (°)	Varus	77,9±6,1	84,9±7,3	7,1±6,4	-2 bis 21
	Valgus	94,5±4,4	89,5±3,9	5,1±4,7	-5 bis 24
aFTW (°)	Varus	190,1±12	181,1±5,6	8,6±14,3	-8 bis 51
	Valgus	168,1±4,8	173,3±5,4	5,2±5,6	-3 bis 23
MAD (mm)	Varus	36±24,5	17,8±22,4	17,9±19,5	-15 bis 76
	Valgus	-24,8±14,2	-6,9±15,5	17,9±17,6	-13 bis 109

Tabelle 5: Absolutveränderungen mLDFW, mMPTW, aFTW und MAD

4.5.4 Vergleich der Korrekturgeschwindigkeiten der Extremitätenwinkel und der MAD

Ähnlich den Absolutkorrekturen zeigte der Vergleich der berechneten Korrekturgeschwindigkeiten des mLDFW bei Varus- und Valgusdeformitäten mit

4 Ergebnisse

durchschnittlich $0,95^\circ \pm 0,78^\circ$ pro Monat gegenüber $0,69^\circ \pm 0,46^\circ$ pro Monat eine höhere Korrektur bei den Varusdeformitäten, auch hier ebenso bei den berechneten Korrekturgeschwindigkeiten des mMPTW mit $0,69^\circ \pm 0,57^\circ$ pro Monat für die Varus- und $0,59^\circ \pm 0,61^\circ$ pro Monat für die Valgusdeformitäten.

Jedoch konnte in der statistischen Analyse mittels Student's t-Test keine statistische Signifikanz ermittelt werden ($p=0,261$ für den mLDFW und $p=0,571$ für den mMPTW).

Bei den berechneten Korrekturgeschwindigkeiten von aFTW und mechanischer Achsdeviation (MAD) hingegen ließ sich eine leicht höhere Korrektur bei den Valgus gegenüber den Varusdeformitäten feststellen. So beträgt die berechnete Korrekturgeschwindigkeit des aFTW $0,53^\circ \pm 1,14^\circ$ pro Monat und pro therapierter Epiphysenfuge für die Varus- und $0,57^\circ \pm 0,79^\circ$ pro Monat und pro therapierter Epiphysenfuge für die Valgusdeformitäten, während sie sich für die MAD auf $1,44 \text{ mm} \pm 1,89 \text{ mm}$ pro Monat und pro therapierter Epiphysenfuge für die Varusdeformitäten und $1,59 \pm 1,62 \text{ mm}$ MAD-Korrektur pro Monat und pro therapierter Epiphysenfuge für die Valgusdeformitäten beläuft.

In der statistischen Analyse mittels Mann-Whitney-U-Test zeigte sich allerdings auch hier in beiden Fällen kein signifikanter Unterschied ($p=0,253$ für den aFTW und $p=0,677$ für die MAD).

4 Ergebnisse

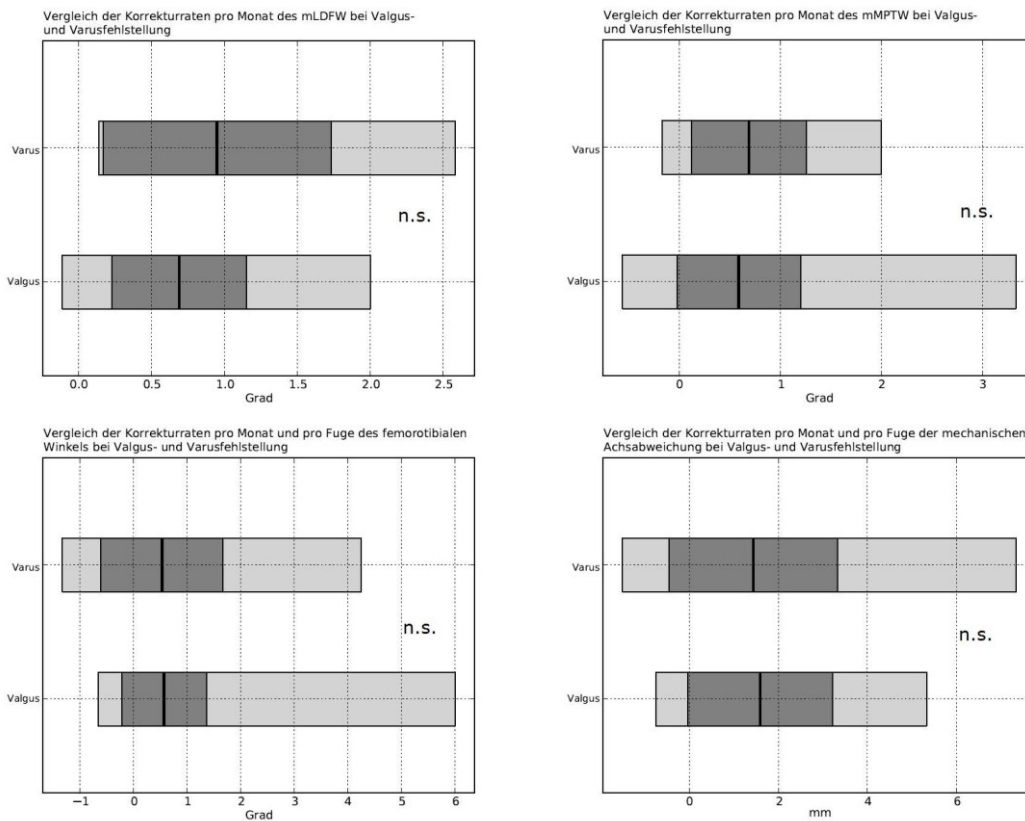


Abbildung 41: Korrekturraten pro Monat des mLDFW, mMPTW, aFTW und der MAD (pro Monat und pro Fuge) bei Valgus- und Varusfehlstellung (schwarzer Balken = Mittelwert, dunkelgrauer Bereich = Standardabweichung, hellgrauer Bereich = Wertebereich)

		Korrektur pro Monat	Korrektur pro Monat und Fuge	Bereich der Korrekturgeschwindigkeit
mLDFW (°)	Varus	0,95±0,78		0,14 bis 2,58
	Valgus	0,69±0,46		-0,11 bis 2
mMPTW (°)	Varus	0,69±0,57		-0,17 bis 2,00
	Valgus	0,59±0,61		-0,56 bis 3,33
aFTW (°)	Varus		0,53±1,14	-1,33 bis 4,25
	Valgus		0,57±0,79	-0,66 bis 6
MAD (mm)	Varus		1,44±1,89	-1,5 bis 7,33
	Valgus		1,59±1,62	-0,75 bis 5,33

Tabelle 6: Korrekturraten mLDFW, mMPTW, aFTW und MAD

4.6. Komplikationen

Es ergaben sich unter den 93 Patienten mit insgesamt 185 durchgeführten Eingriffen (115 Implantationsoperationen, 70 Explantationsoperationen) und 246 implantierten sowie 116 explantierten eight-Plates™ insgesamt nur wenige Komplikationen. Darunter wurden 8 Lockerungen der eight-Plates™, 1 Schraubenbruch, 3

4 Ergebnisse

Gelenkergüsse, 1 Wundinfekt sowie 10 postoperative Schmerzsymptomaten dokumentiert.

Acht gelockerte Platten entsprechen 3,3% der Gesamtmenge von insgesamt 246 implantierten eight-Plates™. Unter den 6 betroffenen Patienten waren zwei mit relevanten Systemerkrankungen, eine Patientin mit einer Mukopolysaccharidose und eine Patientin mit einem Phosphatdiabetes. Bei der Patientin mit der Mukopolysaccharidose kam es jedoch bei allen 3 implantierten eight-Plates™ zur Lockerung.

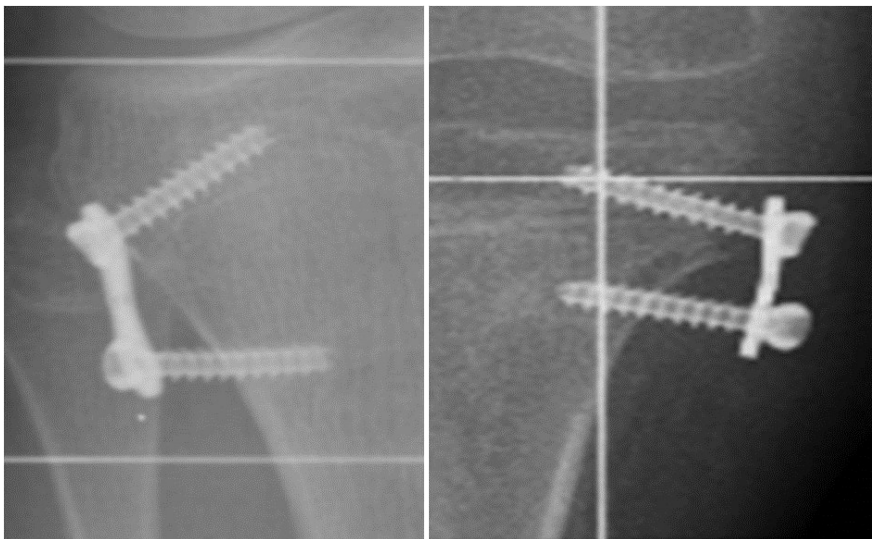


Abbildung 42: Lockerungen von eight-Plates™

Bei 3 Patienten kam es infolge der Eingriffe zu einem postoperativen Gelenkerguss, was bei einer Gesamtmenge von 185 Eingriffen 1,6% entspricht. Bezieht man nun die Patienten mit einer komplizierenden Nebenoperation (z.B. Exostosenentfernung) nicht mit ein, so bleiben 2 Patienten mit dieser Komplikation auf 163 Eingriffe, was 1,2% entspricht.

10 Patienten gaben postoperativ verstärkte Schmerzen an (Definition siehe Kapitel 3.4.1.11). Dies entspricht bei 185 Eingriffen einer Quote von 5,4%. Rechnet man nun auch hier ohne die Eingriffe mit Nebenoperationen zu berücksichtigen, so bleiben 7 Patienten auf 163 Eingriffe, was 4,3% entspricht.

4 Ergebnisse

Der oben genannte Schraubenbruch ereignete sich bei einem Patienten mit posttraumatischem Genu valgum.

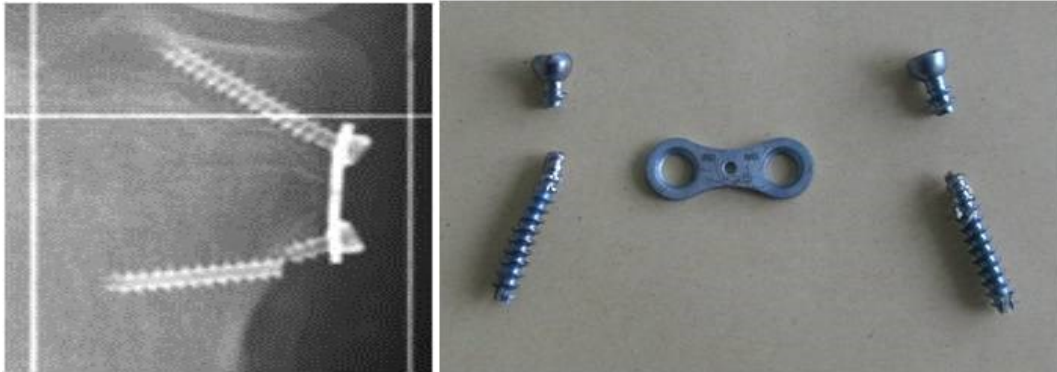


Abbildung 43: Bruch einer eight-Plate™

Komplikation	Anzahl	% der Gesamtzahl an eight-Plates™ bzw. Eingriffen
Lockerung	8	3,3
Bruch	1	0,4
Gelenkerguss	3	1,6
Wundinfekt	1	0,5
postoperativ starke Schmerzen	10	5,4

Tabelle 7: Komplikationen

Die Schraubenlockerungen und den Schraubenbruch betreffend kann hier aufgrund der geringen Anzahl dieser Komplikationen keine analytisch bewertete Zuordnung zu bestimmten Faktoren getroffen werden. Jedoch kann empirisch gesagt werden, dass die Patienten mit diesen Komplikationen eine Tendenz zu eher größeren und kompliziert zu therapierenden Fehlstellungen hatten mit z.B. femoraler und tibialer Winkelveränderung, hochgradigen Winkelveränderungen, hohen Abweichungen der MAD oder gleichzeitiger Therapie von verschiedenen Deformitäten (Varus/Valgus/Beinlängendifferenz). Eine mögliche Erklärung dieser empirisch empfundenen Verbindung mag in dem vermehrten Stress auf das Implantat eben durch die hohen Fehlstellungskorrekturen liegen.

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Methoden

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, das eight-PlateTM-Epiphysiodeseverfahren zu beschreiben, es in die „Landschaft“ der bisher verbreiteten Epiphysiodeseverfahren einzuordnen und in seiner Effektivität diesen gegenüberzustellen.

Ein Patientenkollektiv von 93 Patienten wurde dabei retrospektiv für den Zeitraum von August 2005 bis August 2009 untersucht, was zu einer ausreichend großen Anzahl an implantierten und wieder explantierten eight-PlatesTM für diese Studie führte. Anhand der unterschiedlichen Indikationen für die Epiphysiodese teilten wir das Kollektiv für die einzelnen Untersuchungen in verschiedene Gruppen auf, wobei diese bezüglich der Geschlechterverteilung homogen waren, sich jedoch bezüglich der Gruppengröße unterschieden. Eine weitere Analyse der Altersverteilung folgt im nachstehenden Kapitel.

Die Operationen wurden ausnahmslos im Universitätsklinikum Münster und damit unter annähernd gleichen Bedingungen durchgeführt. Zur Vermeidung personenbezogener Fehler bzw. einer Interobservervarianz wurde die retrospektive Auswertung der Patientenakten, der Operationsprotokolle und Röntgenbilder für diese Studie durch eine Person und unter konstanten Bedingungen durchgeführt. Dabei erfolgte die Bestimmung der radiologischen Parameter an den Original-Röntgenbildern beziehungsweise den digitalen Aufzeichnungen im Krankenhausinformationssystem (siehe 3.4). Hierbei sollte jedoch erwähnt werden, dass die im Patientenkollektiv durchgeführten Follow-Up-Untersuchungen wechselnd zwischen den einzelnen Patienten in 3- bis 6-monatigem Abstand (teilweise sogar längerem Intervall) durchgeführt wurden, so dass nicht bei jedem Patienten eine durchgehende Entwicklung dargestellt werden konnte. Daher wurden bei dieser Studie die Implantations- und Explantationszeitpunkte, bzw. das aktuellste Follow-Up bei Datenerfassung als Messpunkte genommen, da für die Darstellung der Veränderungen

alle 3 Monate nicht genügend Fälle zur Verfügung gestanden hätten. Die Wahl dieser Darstellung lässt eine mögliche Ungenauigkeit zu, welche durch die möglicherweise unterschiedliche Korrekturgeschwindigkeit zu Beginn und im Verlauf einer Epiphysiodese bedingt wird. Das Vorhandensein einer solchen wurde bereits im Vorfeld von Wiemann et al. beschrieben. [128] Leider ist jedoch aus oben genannten Gründen eine solche Bestimmung hier nicht möglich gewesen.

In dieser Studie wurde bei der Berechnung der Ergebnisse ein besonderer Augenmerk auf die Korrekturpotenzen des Verfahrens pro Zeit für die einzelnen Therapieindikationen und an den verschiedenen Epiphysiodeselokalisationen gelegt. Diese sind in ihrer Ausprägung unabhängiger vom Patientengut als absolute Korrekturwerte, welche eben durch die vorherige Auswahl an Patienten (mit unterschiedlichen Schweregraden der Fehlstellungen) beeinflusst sein können und sich damit nur bedingt für Vergleiche eignen. Werden zum Beispiel viele größere Fehlstellungen in längerer Zeit korrigiert, so wird der absolute Korrekturwert deutlich größer sein als bei kleineren Fehlstellungen, die in kurzer Zeit therapiert werden, selbst wenn die Korrekturgeschwindigkeit und damit die Effizienz des Verfahrens bei beiden Gruppen gleich groß sein sollte. Zudem ermöglicht dies dem Operateur seinen Patienten und ggf. deren Eltern einen etwaigen Zeitplan vorzustellen, was die Akzeptanz des Eingriffs erhöhen kann [6]. Durch diese genannte Fokussierung war es zudem möglich Patienten miteinzubeziehen, die noch keine vollständige Korrektur erfahren haben und denen die eight-PlatesTM zum Zeitpunkt der Datenerhebung noch nicht wieder explantiert worden sind. Dies vergrößerte damit das Patientenkollektiv und bedingt gegebenenfalls sicherere Ergebnisse, jedoch mit der Folge, dass die Werte des letzten Follow-Ups nicht im angestrebten Zielbereich liegen und die Werte der absoluten Korrekturen tendenziell zu klein sein dürften.

Bei den so errechneten Korrekturraten von aFTW und MAD ergibt sich durch die gewählte Darstellungsweise „pro Fuge“ zudem eine Möglichkeit für Ungenauigkeiten, da die Korrekturpotenz der Fugen als unterschiedlich angenommen werden darf [79] und so gemittelt wird. Jedoch dürfte bei der gewählten Darstellung eine geringere

Ungenauigkeit vorliegen als bei der Darstellung, die in vielen anderen Studien gewählt wurde und nicht zwischen der Epiphysiodese einer oder mehrerer Fugen unterscheidet [16, 64].

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Epiphysiodeseindikation

Das Indikationsspektrum, welches im untersuchten Zeitraum am Universitätsklinikum Münster mit der eight-Plate™ behandelt wurde, liegt vor allem im Ausgleich von Beinlängendifferenzen und Beinachsenfehlstellungen mit dem Ziel einer vollständigen Korrektur der Fehlstellung, wobei ein Einsatz bei den Beinlängendifferenzen an den kniegelenksnahen Wachstumsfugen aufgrund ihrer höheren Wachstumspotenz (siehe Kapitel 2.1.4) vorgezogen wurde. Bei den Achsenfehlstellungen hingegen war die Lokalisation der Deformität ausschlaggebend für den Ort der Epiphysiodese.

In dieser Studie erfolgte die Epiphysiodese beim größten Teil der Patienten zum Ausgleich einer Achsenfehlstellung (77,4%, 72 von 93 Patienten), wobei 17 Patienten (18,3%, 17 von 93 Patienten) zum Ausgleich einer Varus- und 56 Patienten (60,2%, 56 von 93 Patienten) zum Ausgleich einer Valgusfehlstellung therapiert wurden. Eine Patientin wurde hierbei gleichzeitig aufgrund einer Varus- und einer Valgusfehlstellung behandelt. Eine Beinlängendifferenz wurde bei 31,2% aller Patienten (29 von 93 Patienten) behandelt, wobei 7 Patienten eine gleichzeitige Korrektur einer Achsfehlstellung erhielten.

Auf die Indikationsstellung limitierend auswirken kann sich ein geringes verbleibendes Restwachstumspotenzial, wobei dies nur als relativer Faktor angesehen werden muss, da oft auch hier ein Einsatz der eight-Plate™ bzw. der Epiphysiodese sinnvoll ist. Durch die Therapie kann gegebenenfalls nämlich auch eine Stabilisierung des Zustandes bzw. eine Reduzierung der Fehlstellung als Erleichterung für geplante Folgeeingriffe erreicht werden, was eine weniger invasive und komplikationsbehaftete Gesamttherapie begünstigen kann [86] oder eine Verschiebung der endgültigen Therapie auf die Zeit

nach Wachstumsabschluss ermöglicht, so dass das Risiko von Rezidiven gemieden werden kann. [112]

5.2.2 Patientenalter

In der Gegenüberstellung des durchschnittlichen Patientenalters der Varus- und Valgusgruppe zeigte sich im Vergleich der Gesamtgruppen sowie auch in der Unterteilung nach Jungen und Mädchen ein leicht höheres Alter für die Korrektur einer Valgusdeformität. Hierbei steht im Vergleich der Gesamtgruppen ein Durchschnittsalter von 11,7 Jahren bei der Behandlung von Valgusdeformitäten dem Durchschnittsalter von 11,0 Jahren bei der Behandlung von Varusdeformitäten gegenüber, was sich jedoch in keinem Fall statistisch signifikant zeigte (siehe 4.5.1).

Die dargestellte Richtung einer jüngeren Patientengruppe bei der Operation der Varusdeformitäten geht mit aller Wahrscheinlichkeit darauf zurück, dass eine ggf. auch stärker valgische Beinachse bis zum 8.-10. Lebensjahr als physiologischer Teil der Wachstumsprozesse gesehen werden kann und somit aufgrund der meist stattfindenden spontanen Normalisierung keine Operationsindikation gestellt werden muss. Hingegen ist eine varische Beinachse nach dem Kleinkindalter immer als pathologisch anzusehen, was die Stellung einer frühen Operationsindikation ermöglicht (siehe Kapitel 2.1.3). Weiterhin fanden sich in dieser Studie in der Varusgruppe häufiger sekundäre Deformitäten mit verschiedenen ursächlichen Grunderkrankungen (siehe 5.2.10), bei welchen man zum einen eher nicht mit einem positiven Spontanverlauf rechnen konnte und zum anderen häufig schwerere Fehlstellungen vorlagen, so dass eine frühzeitigere Intervention erforderlich war oder eine frühere Indikationsstellung erfolgte. Andererseits konnte in der Valgusgruppe bei häufiger vorliegender idiopathischer Fehlstellung erst der Spontanverlauf abgewartet werden. Als Grund für eine aggressivere und frühere Therapie der Varusdeformitäten hinzukommend stellen diese laut Literatur erwiesenermaßen ein deutlicheres Risiko für eine mediale Gonarthrose dar als Valgusdeformitäten [30, 76], wobei bei letzteren ein erhöhtes Risiko unsicher ist und mit unterschiedlicher Auffassung diskutiert wird [101].

5.2.3 Epiphysiodeselokalisation

In der retrospektiven Beobachtung zeigt sich, dass die Epiphysiodese insgesamt mit 38 von 93 behandelten Patienten (=40,9%) am häufigsten an distaler femoraler und proximaler tibialer Epiphysenfuge gleichzeitig vorgenommen wurde. Dahinter folgt die rein tibiale Epiphysiodese mit 31 (=33,3%) und die rein femorale Epiphysiodese mit 24 (=25,8%) Patienten. In der Aufsplittung der Patienten in die einzelnen Epiphysiodeseindikationen zeigt sich jedoch ein anderes Bild. Während in der Patientengruppe mit Beinlängendifferenzen mit 15 von 29 Patienten (=51,7%) ebenfalls die gleichzeitige femorale und tibiale Epiphysiodese überwiegt (bei 9 Patienten mit rein femoraler (=31,0%) und 5 Patienten mit rein tibialer Epiphysiodese (=17,2%)), so ist bei der Gruppe mit den Valgusfehlstellungen die rein tibiale Epiphysiodese mit 23 von 56 Patienten (=41,1%) am häufigsten durchgeführt worden. In dieser Gruppe wurden ansonsten noch bei 17 Patienten rein femorale (=30,4%) und bei 16 Patienten femorale und tibiale Epiphysiodesen gleichzeitig (=28,6%) vorgenommen. In der dritten Gruppe mit den Varusfehlstellungen wurden mit 6 von 17 Patienten (=35,3%) bzw. 7 von 17 Patienten (=41,2%) nahezu gleich viele rein femorale wie rein tibiale Epiphysiodesen vorgenommen, während mit 4 von 17 weniger Patienten (=23,5%) eine gleichzeitige femorale und tibiale Epiphysiodese erhielten.

Eine Bevorzugung der kniegelenksnahen Epiphysenfugen war dabei vor allem bei der Korrektur von Beinlängendifferenzen sehr sinnvoll, da ein Großteil des Beinlängenwachstums, wie beschrieben (siehe 2.1.4), auf diese entfällt und man dadurch die Stellen mit dem größten Korrekturpotential benutzte. Bei den angulären Fehlstellungen richtete sich die Lokalisation der Epiphysiodese nach den jeweils pathologischen präoperativ gemessenen Beinwinkeln nach Paley [96, 97], wobei die allgemeine Indikation zur Deformitätenkorrektur anhand der MAD gestellt werden konnte. Entsprechend führte eine stärkere Abweichung des mLDFW zu einer femoralen und eine stärkere Abweichung des MPTW zu einer tibialen Epiphysiodese. Bei deutlicher Abweichung der MAD mit insgesamt sehr schwerer Fehlstellung oder auch einer Pathologie beider Winkel gleichzeitig war dabei gegebenenfalls auch die Epiphysiodese an beiden Lokalisationen sinnvoll.

Zu beachten ist hierbei, dass in dieser Studie manche Patienten sowohl in eine Achsfehlstellungs- als auch in die Beinlängendifferenzgruppe bzw. in beide Achsfehlstellungsgruppen zugleich fallen können, wenn Epiphysiodesen für beide Indikationen vorgenommen wurden, z.B. Achsfehlstellung an einem Bein, Beinlängendifferenz am anderen, femorale Korrektur einer Beinlängendifferenz und tibiale Korrektur einer Achsenfehlstellung oder rechtsseitige Korrektur eines Genu varum und linksseitige Korrektur eines Genu valgum.

5.2.4 Operationsdauer und Einsatzzeit der Durchleuchtung

Die Operationsdauer für die Implantation einer eight-Plate™ lag im Durchschnitt bei 36,8 Minuten, während für die Explantation im Durchschnitt nur 28,3 Minuten pro eight-Plate™ benötigt wurden. Dieser höchst signifikante Unterschied ($p < 0,001$) lässt sich mit dem weniger aufwendigen operativen Vorgehen bei der Explantation erklären, da hier im Allgemeinen nur das Aufsuchen und Herausschrauben der Schrauben und Platten (ggf. auch mit Bildwandlerkontrolle) notwendig sind, während bei der Implantation auf einen korrekten und festen Sitz der Platten inklusive per Bildwandlerkontrolle in 2 Ebenen geachtet werden muss. Hierbei ist anzumerken, dass die Bildwandlerkontrolle bei der Implantation eine absolute Notwendigkeit zur Prüfung auf sicheren korrekten Implantatsitz darstellt, während sie bei der Explantation in den meisten Fällen ausschließlich zur Dokumentation der vollständigen Implantatentfernung und knöchernen Integrität aus forensischen Gründen benötigt wird. Natürlich sollte sie jedoch für den Fall von Komplikationen (z.B. Schraubenbruch o.ä.) auch bei den Explantationen bereitstehen. Entsprechend stellt sich mit 0,36 Minuten bei Implantations- und 0,02 Minuten bei Explantationsoperationen die mittlere Durchleuchtungszeit in unserer Studie mit höchst signifikantem Unterschied ($p < 0,001$) dar. Jelinek et al. errechneten in ihrer Studie mit durchschnittlich 32 Minuten für die Implantation und durchschnittlich 23 Minuten für die Explantation sehr ähnliche Werte für das eight-Plate™ -Verfahren. Weiterhin konnten sie durch ihren Vergleich mit der Blount-Methode zeigen, dass mit durchschnittlich 42 Minuten für die Implantation und 35 Minuten für die Explantation dieses deutlich

zeitaufwendiger ist, was sich in ihrer statistischen Analyse hoch-signifikant für die Implantation und höchst-signifikant für die Explantation zeigte. [64]

5.2.5 Stationäre Aufenthaltsdauer

Die stationäre Aufenthaltsdauer liegt für die Implantationsoperationen durchschnittlich bei 5,3 Tagen, wohingegen die Patienten für die Explantation nur für eine durchschnittliche Zeitspanne von 3,4 Tagen bleiben müssen. Dies deutet auf einen schonenderen Eingriff mit weniger postoperativen Mobilisierungsschwierigkeiten und Schmerzproblemen bei der Explantation hin. Vergleichbare Daten des eight-PlateTM- oder anderer Epiphysiodese-Verfahren konnten vom Autor in der entsprechenden Literatur nicht gefunden werden, ein Umstand der sich auch aus der Unterschiedlichkeit der Gesundheitssysteme international und dem Paradigmenwechsel innerhalb des deutschen Gesundheitssystems 2004 mit Einführung der DRG-Fallpauschalen statt Tagessätzen erklärt.

5.2.6 Epiphysiodesedauer

Im Vergleich des durchschnittlichen Verbleibs der Implantate steht eine durchschnittliche Verweildauer von 358,7 Tagen bei den Valgusdeformitäten einer durchschnittlichen Verweildauer von 367,9 Tagen für die Varusdeformitäten gegenüber. Dieser Unterschied zeigte sich in der statistischen Analyse mittels Student's t-Test erwartungsgemäß nicht statistisch signifikant ($p=0,866$). Die durchschnittliche Verweildauer der Implantate für die Indikation Beinlängendifferenz lag mit 479,4 Tagen deutlich höher, zeigte jedoch ebenfalls keine statistische Signifikanz in der Analyse mittels Student's t-Test gegenüber den Valgus- ($p=0,085$) oder den Varusdeformitäten ($p=0,251$).

Anhand dieser Daten kann jedoch trotzdem von einer tendenziell längeren Therapiedauer für die Behandlung einer Beinlängendifferenz gegenüber der Behandlung von Achsfehlstellungen ausgegangen werden.

	Beinlängen- differenz	Bereich	Varus	Bereich	Valgus	Bereich
Verbleib (Tage)	479±209	206 bis 795	368±191	101 bis 700	359±169	78 bis 887

Tabelle 8: Verbleib der eight-Plates™ bei den verschiedenen Indikationen

5.2.7 Beinlängendifferenzen

Während die eight-Plate™-Epiphysiodese zur Korrektur von Achsfehlstellungen bereits in der Literatur zahlreich evaluiert wurde, existieren nach unserem Wissen bislang keine publizierten Arbeiten über den Einsatz der eight-Plate™ zur Korrektur von Beinlängendifferenzen.

Allgemein gilt die Therapieindikation für eine temporäre Epiphysiodese bei einer Beinlängendifferenz von > 2cm und < 5cm bei noch zu erwartendem Restwachstum von mindestens ½ bis 1 Jahr [17, 45] als gegeben, wobei jedoch auch bei geringeren oder größeren Differenzen eine Epiphysiodese zum Beispiel zur Prävention erwarteter Beinlängenunterschiede [45] oder zur unterstützenden Therapie vor endgültiger Operation (z.B. Osteotomie) sinnvoll sein kann.

Die Ergebnisse dieser Studie konnten mittels einer signifikanten Änderung der Beinlängendifferenz die Wirksamkeit des Verfahrens zeigen (siehe 4.2.4). Betrachtet man die Gruppe insgesamt, konnte eine durchschnittliche Korrektur von $8,8 \pm 11,6$ mm erreicht werden, wobei hier zu bedenken ist, dass diese Studie auch noch nicht abgeschlossene Fälle miteinschließt und somit der Gesamtbetrag bei reiner Betrachtung abgeschlossener Fälle noch höher liegen dürfte. (Dieser Einschluss unabgeschlossener Fälle wurde dabei aufgrund des Hauptaugenmerks dieser Studie auf die Korrekturgeschwindigkeit gewählt.) Entsprechend liegen die als Vergleich hinzuziehbaren Daten der absoluten Korrekturen anderer Autoren über die Erfolge bei der Methode nach Blount etwas höher. Studien mit Nennung absoluter Korrekturwerte oder von Korrekturgeschwindigkeiten für das eight-Plate™-Verfahren existieren nach Wissen des Autors bisher nicht.

Raab et al. beschreiben hierbei bei der Methode nach Blount, nach Ursache der Fehlstellung getrennt, bei pathologischer Verkürzung des Beines eine durchschnittliche Korrektur von 2,1 cm bei einem Bereich von 0,1 bis 7,5 cm sowie bei

fokalem Mehrwachstum eines Beines eine durchschnittliche Korrektur von 3,7 cm bei einem Bereich von 0,6 bis 7,4 cm (Der letztere Mittelwert wurde hierbei in der Studie selbst nicht genannt, konnte aber anhand der Datentabellen vom Autor berechnet werden.). Insgesamt beschreiben Raab et al. dabei eine durchschnittliche Veränderung von 2,6 cm, wobei eine jedoch nicht signifikante Tendenz zur besseren Therapierbarkeit von fokalem Mehrwachstum zu erkennen sei. [107] Aufgrund der Ähnlichkeit des Verfahrens mit der eight-Plate™-Epiphysiodese erscheint diese Feststellung auch für die eight-Plate™ logisch, vor allem vor dem Hintergrund, dass bei der fokalen Hypertrophie zur Therapie ein gesundes Bein normal weiterwachsen kann, während bei der Wachstumshemmung der Therapieerfolg allein vom Wachstum der betroffenen „kranken“ Seite abhängig ist. Einen Nachweis dieser Annahme müssen zukünftige Studien jedoch noch erbringen.

Gorman et al. hingegen beschreiben ihre Ergebnisse getrennt nach Lokalisation der von ihnen angewandten Blount-Epiphysiodese. Während sie insgesamt eine Korrektur von durchschnittlich $3,2 \pm 1,4$ cm präoperativ auf $1,6 \pm 1,3$ cm nach der Epiphysiodese beschreiben (also ca. 1,6 cm Korrektur), so liegt diese bei Aufteilung in die Gruppen nach Lokalisation unterschiedlich. Die Gruppe mit Korrektur an der distalen femoralen Epiphysenfuge erreicht hier eine Korrektur von $3,0 \pm 1,0$ cm präoperativ auf $1,4 \pm 1,1$ cm nach der Epiphysiodese (also ebenfalls ca. 1,6 cm Korrektur), während die Gruppe mit Korrektur an der proximalen tibialen Epiphysenfuge nur eine Korrektur von $2,3 \pm 1,0$ cm präoperativ auf $1,4 \pm 1,4$ cm nach der Epiphysiodese (also ca. 0,9 cm Korrektur) erreicht. Die Gruppe mit gleichzeitiger Korrektur an beiden Epiphysenfugen erreicht dabei eine Verbesserung von $4,0 \pm 1,5$ cm Fehlstellung präoperativ auf $1,8 \pm 1,4$ cm nach der Epiphysiodese (also ca. 2,2 cm Korrektur) [45].

Die hier gemachte Beobachtung einer besseren/schnelleren Korrektur an der distalen femoralen als proximal tibialen Epiphysenfuge bestätigte sich auch in unseren Ergebnissen. So zeigt sich mit $5,6 \pm 6,4$ mm durchschnittlicher Korrektur bei rein femoraler und $3,6 \pm 13,0$ mm durchschnittlicher Korrektur bei rein tibialer Epiphysiodese auch hier die Tendenz zu höherem Korrekturpotential der femoralen

Position. Überdies ergibt sich in dieser Studie mit einer durchschnittlichen Korrektur von $13,8 \pm 12,2$ mm bei gleichzeitiger Epiphysiodese beider Lokalisationen eine mehr als additive Wirkung. Leider konnte dabei diese beobachtete Tendenz nicht als statistisch signifikant gewertet werden (siehe 4.2.5). Es ist hierbei zudem zu beachten, dass unsere Absolutwerte für die Korrekturen mit der eight-Plate™ in der Berechnung nicht abgeschlossene Fälle mit berücksichtigen und deshalb wie im Vorhinein erwartet geringer sind als die vergleichbarer Studien mit eight-Plate™ oder Blount-Klammer.

Das Hauptaugenmerk dieser Studie liegt allerdings, wie schon erwähnt, auf den Korrekturgeschwindigkeiten, welche nach unserem Kenntnisstand bisher noch nicht in dieser Form beschrieben wurden. Aufgeschlüsselt nach Epiphysiodeselokalisation zeigt sich eine Korrekturrate von $0,48 \pm 0,76$ mm pro Monat für die rein femorale und von $0,14 \pm 0,80$ mm pro Monat für die rein tibiale Epiphysiodese, während sich bei gleichzeitiger Epiphysiodese beider Lokalisationen eine Korrekturrate von $1,30 \pm 1,62$ mm pro Monat ergibt. Dies bestätigte dabei unsere Erkenntnis aus den Absolutwerten, und zwar, dass die femorale Epiphysiodese ein größeres Korrekturpotential aufweist als die tibiale Epiphysiodese. Es zeigte sich hier ebenso eine mehr als additive Wirkung bei femoral und tibial kombiniertem Verfahren. Trotz der deutlichen Unterschiede der errechneten Mittelwerte konnte im statistischen Vergleich wahrscheinlich aufgrund nur kleiner Untergruppen keine statistische Signifikanz der Ergebnisse ermittelt werden (siehe 4.2.5).

Für diese Studie wurden Patienten mit zusätzlicher Fibulaepiphysiodese ausgeschlossen. Diese ist in der Literatur über die Methode nach Blount ein viel diskutiertes Thema bei rein tibialer Korrektur einer Beinlängendifferenz. Diese Operation ist mit dem Risiko einer Verletzung des Nervus peroneus verbunden und wird daher von vielen Operateuren möglichst gemieden [42]. Weiter beschreiben Ghanem et al. das Risiko einer sich entwickelnden Varusdeformität bei fehlender Epiphysiodese der Fibula im Falle einer zu großen Korrektur an der Tibia. So sollte eine Fibulaepiphysiodese nach Metaizeau et al. dann zusätzlich durchgeführt werden, wenn

die erhoffte tibiale Korrektur 2 cm übersteigt [81] oder nach McCarthy et al. wenn das erwartete Mehrwachstum der Fibula gegenüber der Tibia 2 cm übersteigt [78].

Weitere Studien über die Notwendigkeit einer Fibulaepiphysiodese und das Risiko einer gegebenenfalls auftretenden kollateralen Instabilität werden in Kürze aus dem Universitätsklinikum Münster erwartet.

Insgesamt kann das eight-Plate™-Epiphysiodeseverfahren als geeignetes Mittel zur Therapie von leicht- bis mittelgradigen Beinlängendifferenzen > 2cm und < 5cm gesehen werden [39], welches bezüglich der Korrekturpotenz mit der Methode nach Blount vergleichbar erscheint. Zur Therapie von höhergradigen Differenzen oder bei geringer Restwachstumszeit muss die kombinierte Epiphysiodese der distalen femoralen und proximalen tibialen Lokalisation dringend nahegelegt werden, da sie wahrscheinlich einen überadditiven Vorteil gegenüber den beiden Lokalisationen allein beinhaltet und somit eher zum Therapieerfolg führen kann. Gleichzeitig muss hier jedoch gegebenenfalls das postoperative Kontrollintervall, welches allgemein ca. 3 Monate bei der Korrektur von Achsenfehlstellungen und 6 Monate bei der Korrektur von Beinlängendifferenzen betragen sollte, sehr kurz gewählt werden, da ansonsten Überkorrekturen drohen [64]. Bei Planung einer tibialen Korrektur einer größeren Fehlstellung sollte zudem eine Epiphysiodese der proximalen Fibula in Betracht gezogen werden.

	Implanta- tion	Explan- tation bzw. Ende des Beobach- tungszeit- raumes	mittlere Korrektur	Bereich der Korrekt- uren	Korrektur pro Monat	Korrektur pro Monat und Fuge	Bereich der Korrektur geschwin- digkeiten
Gesamt	23,5±11,5	16,6±10,3	8,8±11,6	-11 bis 38		0,49±0,79	-1,2 bis 3,2
Rein Femoral	21,1±10,1	15,5±6,5	5,6±6,4	-2 bis 16	0,48±0,7 6		-0,33 bis 2,33
Rein Tibial	20,0±13,1	16,4±13,7	3,6±13,0	-11 bis 33	0,14±0,8 0		-1,22 bis 1,57
Beidseitig	27,0±11,3	17,5±10,9	13,8±12,2	-4 bis 38	1,30±1,6 2		-0,27 bis 6,33

Tabelle 9: Absolute Beinlängenkorrekturen und Korrekturraten an den verschiedenen Epiphysiodeselokalisationen

5.2.8 Achsfehlstellungen

Die Korrektur von Achsfehlstellungen ist neben der Korrektur von Beinlängendifferenzen eine der Hauptindikationen zum Einsatz der eight-Plate™ und kann nach Recherche der bisher veröffentlichten Arbeiten rechtmäßig als ihr derzeitiges Haupteinsatzgebiet angesehen werden. In diesem Zusammenhang berichteten ihr Entwickler sowie zahlreiche weitere Autoren vom erfolgreichen Einsatz der eight-Plates™ [17, 46, 64, 118, 128], jedoch gab es ebenso Berichte von Komplikationen bzw. von Therapieversagen [25, 112]. Zumeist eingesetzt wurden die eight-Plates™ laut dieser Arbeiten wie auch in unserer Studie zur Korrektur von Varus- und Valgusdeformitäten des Kniegelenks. Im Folgenden soll eine Analyse unserer Ergebnisse und der aufgetretenen Komplikationen sowie eine Gegenüberstellung mit bisherigen Studienergebnissen der temporären Epiphysiodese mittels eight-Plate™ oder Blount-Klammer stattfinden.

Die Ergebnisse aus unserer Varus- und Valgusgruppe mLDFW betreffend, fällt eine raschere Korrekturgeschwindigkeit von $0,95^\circ$ pro Monat bei der Therapie von Varusfehlstellungen auf, verglichen mit $0,7^\circ$ pro Monat bei den Valgusfehlstellungen. Eine parallele Tendenz, wenn auch mit geringerer Differenz, ist ebenso bei den Korrekturgeschwindigkeiten den mMPTW betreffend zu erkennen. Hier wird bei den Varusfehlstellungen eine durchschnittliche Korrekturgeschwindigkeit von $0,69^\circ$ pro Monat erreicht, im Gegensatz zu $0,58^\circ$ pro Monat bei den Valgusfehlstellungen. Betrachtet man die Korrekturpotenzen von Femur (mLDFW) und Tibia (mMPTW), so fällt in beiden Gruppen die höhere Korrekturgeschwindigkeit am Femur auf, eine Beobachtung, die zurückzuführen ist auf die höhere Wachstumspotenz der distalen Femurepiphysenfuge verglichen mit der proximalen Tibiaepiphysenfuge, wie schon von Anderson et al. beschrieben [2].

Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von Burghardt et al. [16], die mit $0,65^\circ$ pro Monat am Femur und $0,58^\circ$ pro Monat an der Tibia einen gleichartigen Unterschied konstatierten. Leider schlüsseln Burghardt et al. in ihrer Studie zwischen der Korrektur von Varus- und Valgusdeformitäten nicht weiter auf. Trotzdem kann das

Ergebnis von Burghardt et al. als Bestätigung unserer Ergebnisse angesehen werden, wobei wir tendenziell eine schnellere Korrektur berichten können. Jelinek et al. beschreiben hingegen eine Korrektur von $1^\circ \pm 1^\circ$ bzw. $1^\circ \pm 0^\circ$ pro Monat für sowohl die femorale (mLDFW) als auch die tibiale (mMPTW) Epiphysiodese, während hier jedoch durch Rundung der Werte tendenzielle Unterschiede gegebenenfalls nicht mehr ersichtlich sind. Eine Unterscheidung zwischen der Korrektur von Varus- und Valgusdeformität wird in letzterer Studie bei der Korrekturrate dabei nicht gemacht. Weiterhin verglichen Jelinek et al. die Epiphysiodese nach Blount mit dem eight-Plate™ Verfahren, wobei sie gleichwertige Ergebnisse mit gleichem Zahlenwert (je $1^\circ \pm 1^\circ$) erhielten [64]. Ein dem unsrigen ähnliches Ergebnis, jedoch bei der Epiphysiodese nach Blount, konnten bereits Castaneda et al. machen, die bei femoraler Epiphysiodese mit $6,6^\circ$ Korrektur pro Jahr ($\sim 0,55^\circ$ pro Monat) bei Varusdeformitäten und $4,5^\circ$ pro Jahr ($\sim 0,38^\circ$ pro Monat) bei Valgusdeformitäten ein gleichartiges Verhältnis fanden. In ihrer Studie zeigte sich bei tibialer Epiphysiodese jedoch ein umgekehrtes Verhältnis bei $4,3^\circ$ Korrektur pro Jahr ($\sim 0,36^\circ$ pro Monat) bei Varusdeformitäten und $6,8^\circ$ Korrektur pro Jahr ($\sim 0,57^\circ$ pro Monat) bei den Valgusdeformitäten [25]. Auf ein von der Korrekturrate weiteres ähnliches Ergebnis allerdings ebenso bei der Blount-Epiphysiodese kamen zudem Cho et al., die eine Korrekturrate des MPTW von $0,7^\circ$ pro Monat errechneten, jedoch auch hier ohne weitere Unterteilung in Korrektur von Varus- oder Valgusdeformität. Sie ermittelten hierbei zudem für den anatomischen LDFW eine Korrekturgeschwindigkeit von $0,9^\circ$ pro Monat [26].

Im Ergebnisbereich der Absolutveränderungen zeigte sich bei den Winkelveränderungen für den mLDFW bei den Varusfehlstellungen eine Korrektur von präoperativ durchschnittlich 104° auf 93° beim letzten Follow-Up und bei den Valgusfehlstellungen von präoperativ 82° auf 90° beim letzten Follow-Up. Dabei lag die durchschnittliche absolute Differenz für die Varusfälle bei 11° und für die Valgusfälle bei 8° . Diese Korrekturpotenz, die zwar nicht so aussagekräftig wie die Korrekturgeschwindigkeit ist (siehe 5.1), deckt sich dennoch sehr gut mit den in der Literatur vorbeschriebenen Werten. So beschreiben Niethard et al. einmal eine

durchschnittliche Korrektur von 10,6° [88] sowie eine Veränderung von präoperativ durchschnittlich 98° auf 88° nach dem letzten Follow-Up [89], während Burghardt et al. einmal einen Durchschnittswert von 9° [17] und in einer zweiten Studie einen Durchschnittswert von 10° beschreiben [16]. In ersterer Studie beschreiben Burghardt et al. weiterhin Veränderungen von präoperativ 103° auf 93° beim letzten Follow-Up bei Varus- und von 82° auf 91° bei Valgusfehlstellungen. Jelinek et al. beschreiben Werte in gleicher Größenordnung und differenzieren ebenso nach Varus- und Valgusdeformität. So errechneten sie eine durchschnittliche Korrektur von 9° für die Varusdeformitäten bei einer Veränderung von präoperativ durchschnittlich 99° auf 90° nach der Epiphysiodese und eine durchschnittliche Korrektur von 5° für die Valgusdeformitäten bei einer Veränderung von präoperativ durchschnittlich 84° auf 89° nach der Epiphysiodese [64]. Ohne weitere Differenzierung beschreiben zudem Stevens et al. eine Veränderung von präoperativ 17° auf nur noch 6° Abweichung zum Normalbefund beim letzten Follow-Up [123].

Der Vergleich mit Ergebnissen aus Studien über die Epiphysiodese nach Blount zeigt ein entsprechendes Ergebnis. So beschreiben Park et al. eine Korrektur von durchschnittlich 96° auf 86° bei Varusfehlstellungen [102], Castaneda et al. eine Korrektur von durchschnittlich 98° auf 93° bei den Varusfehlstellungen und von 83° auf 90° bei den Valgusfehlstellungen [25] und Jelinek et al. eine Veränderung von durchschnittlich 7° (von durchschnittlich 93° auf 87°) bei den Varus- und 6° (von durchschnittlich 83° auf 89°) bei den Valgusfehlstellungen [64].

Für den mMPTW konnten wir bei den Varusfehlstellungen eine Korrektur von präoperativ 78° auf 87° beim letzten Follow-Up und bei den Valgusfehlstellungen von präoperativ 95° auf 90° beim letzten Follow-Up feststellen. Die durchschnittliche absolute Differenz liegt dabei für die Varusfälle bei 7° und für die Valgusfälle bei 5°. Auch hier lässt sich unser Ergebnis gut in die vorbeschriebenen Ergebnisse anderer Studien einordnen. So erreicht Niethard eine absolute Korrekturdifferenz von 8° [88], während Burghardt einmal eine Differenz von 7° [17] und einmal eine Differenz von 7,78°, d.h. ca. 8°, beschreibt [16]. In ersterer Studie [17] gibt Burghardt zudem für die

Valgusfälle mit tibialer Epiphysiodese eine Veränderung von präoperativ durchschnittlich 94° auf 87° nach dem letzten Follow-Up an. Jelinek et al. differenzieren auch hier wieder zwischen der Therapie von Varus- und Valgusdeformität. Für die Varusfälle geben sie dabei eine Korrektur von präoperativ durchschnittlich 83° auf 91° nach der Epiphysiodese bei einer durchschnittlichen Korrektur von 8° an. Bei den Valgusfällen berichten sie entsprechend von einer Korrektur von präoperativ durchschnittlich 93° auf 88° nach der Epiphysiodese bei einer durchschnittlichen Korrektur von 5° [64].

Auch hier zeigte der Vergleich mit Ergebnissen aus Studien über die Epiphysiodese nach Blount gleichwertige Ergebnisse. Park et al. beschreiben hier eine Korrektur von durchschnittlich 77° auf 85° bei Varusfehlstellungen [102], Castaneda et al. eine Korrektur von durchschnittlich 82° auf 85° bei den Varusfehlstellungen und von 96° auf 89° bei den Valgusfehlstellungen [25] sowie Jelinek et al. eine Veränderung von durchschnittlich 2° (von durchschnittlich 83° auf 85°) bei den Varus- und 4° (von durchschnittlich 91° auf 87°) bei den Valgusfehlstellungen [64].

Insgesamt zeigen sich also da, wo eine differenzierte Betrachtung vorgenommen wird, die Korrekturen von Varusfehlstellungen sowohl bei den Korrekturgeschwindigkeiten als auch bei den Absolutwerten nahezu immer schneller als von Valgusfehlstellungen. Ebenso deutlich sind die allgemein schnelleren Korrekturen und die größeren Absolutwertveränderungen bei femoraler Epiphysiodese gegenüber tibialer Therapie. Eine Ursache, die zumindest partiell diesen Sachverhalt erklären könnte, hängt mit der Beinachsenentwicklung zusammen. So ist eine Varusstellung der Beine nur im Alter von unter einem Jahr physiologisch und kann danach immer als Pathologie angesehen werden, während eine Valgisierung der Beine physiologischerweise stattfindet und auch eine stärkere Valgusfehlstellung sich bis zum 8.-10. Lebensjahr noch physiologisch kompensieren kann. Infolge dessen und aufgrund der in 5.2.2 genannten weiteren Ursachen (Grunderkrankungen und Gonarthrosrisiko) ist eine Korrekturoperation bei Kindern mit Varusfehlstellung in einem viel früheren Lebensalter indiziert als bei Kindern mit Valgusfehlstellung, wobei durch das jüngere Lebensalter bedingt eine

stärkere Wachstumspotenz gegeben ist und schnellere bzw. größere Ergebnisse erzielt werden können. Diesen Zusammenhang beschreiben auch Ballal et al. in ihrer Arbeit „Correcting genu varum and genu valgum in children by guided growth“ [6]. Darin teilen sie ihr Patientenkollektiv mittels einer Altersgrenze von 10 Jahren in 2 Gruppen und beschreiben für die jüngeren Patienten eine Korrekturgeschwindigkeit des tibiofemorale Winkels von $1,4^\circ$ pro Monat, die damit gegenüber der Rate für die älteren Kinder von $0,6^\circ$ pro Monat mehr als doppelt so groß ist. Zu einem gleichbedeutenden Ergebnis kommen zudem Guzman et al. [50], die eine Altersgrenze von 13 Jahren bei Jungen und 11 Jahren bei Mädchen zugrunde legen. Sie kommen in ihren Beobachtungen des aLDFW zu dem Ergebnis einer Korrekturgeschwindigkeit von $4,5^\circ$ pro Jahr bei den jüngeren und von nur $3,4^\circ$ pro Jahr bei den älteren Kindern.

Guzman et al. benutzen in ihrer Studie anstelle des mLDFW den anatomischen LDFW (aLDFW). Hier erreichen sie eine Veränderung von $0,96^\circ$ in 3 Monaten, bzw. $3,8^\circ$ pro Jahr, was ca. $0,32^\circ$ Korrektur pro Monat bedeutet. Besonders interessant ist an ihrer Studie zudem die teilweise Verwendung von 2 eight-Plates™ entgegen der ursprünglichen Empfehlung ihres Entwicklers Stevens. In ihrer Arbeit schlüsseln sie die Korrekturgeschwindigkeit weiter auf in Personen, die entweder ein oder zwei Platten erhalten haben. Im Ergebnis zeigt sich mit $1,06^\circ$ Korrektur in 3 Monaten bzw. $4,2^\circ$ in einem Jahr bei zwei Platten ein signifikanter Unterschied ($p=0,035$) gegenüber $0,81^\circ$ in 3 Monaten bzw. $3,3^\circ$ in einem Jahr bei nur einer Platte [50].

Eine unterschiedliche Korrekturpotenz bei Varus- und Valgusfehlstellungen erscheint überdies möglich und logisch, da sowohl das Alter, bei dem die Fehlstellung als pathologisch gewertet wird, als auch die zugrunde liegenden Pathologien und Grunderkrankungen voneinander abweichen (siehe 5.2.2 und 5.2.10).

Weiterhin errechneten wir entsprechende Parameter für den femorotibialen Winkel (aFTW). Die hier errechnete durchschnittliche Korrekturgeschwindigkeit beträgt für die Varusgruppe $0,53^\circ$ pro Monat und pro in die Epiphysiodese einbezogene Epiphysenfuge und $0,56^\circ$ für die Valgusgruppe. Ballal et al. [6] benutzten in ihrer Studie auch die Korrekturgeschwindigkeit des femorotibialen Winkels als Parameter. Jedoch

unterteilten sie ihr Ergebnis nicht in die Korrektur von Varus- und Valgusfehlstellungen, sondern abhängig vom Ort der Epiphysiodese. Sie errechneten für eine Epiphysiodese am Femur eine Korrektur von $0,7^\circ$, an der Tibia von $0,5^\circ$ und für die gleichzeitige Einbeziehung beider Lokalisationen von $1,2^\circ$ pro Monat. Wie bereits erwähnt zeigen sie zusätzlich durch eine Aufteilung ihrer Probanden in 2 Altersgruppen über und unter einem Lebensalter von 10 Jahren einen deutlichen altersabhängigen Unterschied in der Korrekturgeschwindigkeit. Während die durchschnittliche Korrekturgeschwindigkeit bei den über 10-jährigen bei $0,6^\circ$ pro Monat lag, lag dieser Wert bei den unter 10-jährigen bei $1,4^\circ$ pro Monat und war damit mehr als doppelt so groß.

Dies zeigt umso mehr, wie sinnvoll eine frühe Therapie der Fehlstellungen ist. Neben dem Gesichtspunkt, dass eine frühe Therapie dem Kind eine lange Zeit des körperlichen und psychischen „Leidens“ erspart, kommt nun auch der medizinische und sogar ökonomische Aspekt zum Tragen, dass damit eine schnellere und somit günstigere Therapie umgesetzt werden kann, die dem Patienten frühestmöglich eine normale Entwicklung und Teilhabe an allen Aspekten des sozialen Lebens (darunter z.B. Schulsport, Vereinssport etc.) sowie eine maximal mögliche Lebensqualität ermöglicht und das sogar kombiniert mit einer besseren Ergebnisprognose. Zu bedenken ist jedoch ebenfalls die Rezidivgefahr bei früher Korrektur der Fehlstellungen, vor allem, wenn der Fehlstellung eine Grunderkrankung als bedingende Ursache zugrunde liegt.

Die Absolutwerte des aFTW betrachtend, veränderte sich bei der Varusgruppe der durchschnittliche Winkel von präoperativ 191° auf 181° beim letzten Follow-Up, bei der Valgusgruppe von präoperativ 168° auf 173° . Die durchschnittliche Differenz liegt dabei für die Varusgruppe bei 9° und für die Valgusgruppe bei 5° . Hier fällt eine Einordnung in bisherige Beobachtungen aufgrund nur weniger veröffentlichter Werte schwer. Guzman et al. [50] berichten jedoch von einer Korrektur von präoperativ $11,2^\circ$ Fehlstellung auf $6,0^\circ$ beim letzten Follow-Up, während Stevens von einer Veränderung des Winkels von präoperativ durchschnittlich 164° auf 177° beim letzten Follow-Up

berichtet [123]. Leider fehlt bei beiden eine Differenzierung des Ergebnisses in die Korrektur von Varus- oder Valgusdeformitäten, jedoch liegt ihr Korrekturwert von ca. 5° bzw. ca. 13° in einer ähnlichen Größenordnung wie die von uns bestimmten Werte.

Betrachtet man die Parameter für die mechanische Achsabweichung, so können wir hier von einer errechneten Korrekturgeschwindigkeit von 1,44 mm pro Monat und pro in die Epiphysiodese einbezogener Epiphysenfuge (distale femoral, proximal tibial oder kombiniert) bei den Varusfehlstellungen und von 1,59 mm bei den Valgusfehlstellungen berichten. Einen ähnlichen Wert berichtet Burghardt in seiner Studie [16], wo er eine Korrekturgeschwindigkeit von 1,73 mm pro Monat erreicht und unseren Wert damit leicht übertrifft. Die Höhe ihres Ergebnisses muss hierbei jedoch kritisch betrachtet werden. So wird in Burghardts Arbeit nicht angegeben, wie viele Fugen jeweils geblockt wurden, während unser Ergebnis sich jeweils auf die Epiphysiodese einer Fuge stützt. Damit liegt für den wahrscheinlichen Fall, dass auch Kinder mit Epiphysiodese beider Fugen inbegriffen sind, ihr Wert im Vergleich mit dem dieser Studie tendenziell zu hoch. Eine Studie, bei der sich eben gleiches Problem wiederum zeigt, ist die Arbeit von Jelinek et al. [64], die eine Korrekturrate von 0,3 cm pro Monat für die eight-PlateTM Epiphysiodese, undifferenziert nach Korrektur von Varus- oder Valgusdeformität bzw. nach Zahl der therapierten Fugen, zeigt, wobei möglicherweise zudem ein Genauigkeitsverlust durch Rundung der Zahlen hinzukommt.

Betrachtet man auch hier den Bereich der Absolutwerte, erreichten wir bei den Varusfehlstellungen eine Korrektur von präoperativ durchschnittlich 37,2 mm Abweichung der Mikuliczlinie nach medial auf nur noch 17,2 mm Abweichung nach medial beim letzten Follow-Up und bei den Valgusfehlstellungen von 24,6 mm Abweichung nach lateral auf 6,1 mm Abweichung nach lateral. Die durchschnittliche Differenz lag dabei für beide Gruppen bei 17,9 mm Korrektur. Hierbei lagen unsere erreichten Werte unter den in der Literatur beschriebenen. So berichten Niethard et al. [88] von einer durchschnittlichen Korrektur von 22 mm, Stevens et al. [123] von 21 mm, Burghardt in seiner jüngeren Studie einmal von 25,5 mm [16] und in einer

weiteren vorhergehenden Studie von 32,7 mm, wobei hier aufgesplittet bei Varus von 30,7 mm durchschnittlicher Korrektur und bei Valgus von 38,8 mm durchschnittlicher Korrektur berichtet wird [17]. Ebenso berichten auch Jelinek et al. von größeren erreichten Absolutwerten von 36 mm bei den Varusfehlstellungen und 34 mm bei den Valgusfehlstellungen [64].

Der Grund für diese Diskrepanz mag jedoch in der bereits erwähnten Tatsache liegen, dass unsere Studie auch noch nicht abgeschlossene Fälle enthält, die die Absolutwerte der Veränderungen mindern. Wie bereits genannt, liegt darum das Hauptaugenmerk unserer Studie auf den Korrekturgeschwindigkeiten.

Die MAD und den femorotibialen Winkel betrachtend, zeigt sich hier der bei mLDFW und mMPTW genannte tendenzielle Unterschied zwischen Varus- und Valgustherapie bei unseren Ergebnissen nicht und bei den Ergebnissen der anderen Studien höchstens minimal.

Den Vergleich von Ergebnissen erschwerend fehlte leider in vielen Studien die Nennung der betreffenden Winkel oder die Differenzierung zwischen Varus- und Valgusdeformität und es erfolgte oft eine abweichende Wahl von Gelenkwinkeln [50, 107, 112]. Eine besser abgeglichenere Nutzung von international definierten Winkeln in zukünftigen Studien könnte hier eine verbesserte Vergleichbarkeit erzielen.

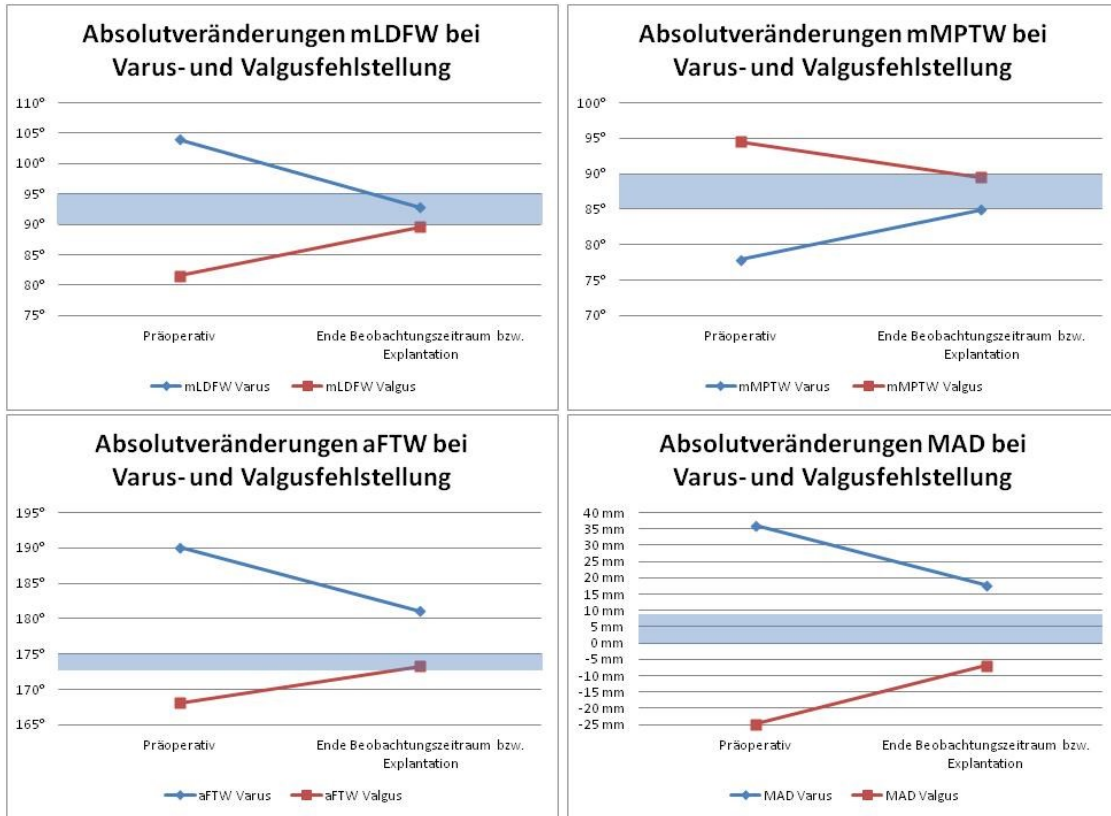


Abbildung 44: Absolutveränderungen von mLDFW, mMPTW, aFTW und MAD bei Varus- und Valgusfehlstellung (blauer Bereich = Normbereich)

5.2.9 Therapieerfolg

Den Therapieerfolg betreffend konnte die eight-PlateTM-Epiphysiodese sowohl bei den Varus- als auch den Valgusfehlstellungen gute und vergleichbare Ergebnisse erzielen. So erreichten bei den Varusfehlstellungen 64,7% den Normalbereich (11 von 17) und bei den Valgusfehlstellungen 65% (52 von 80). Die gewünschte bzw. geduldete Überkorrektur mit eingerechnet erhöhen sich diese Werte noch auf 82,3% für die Varus- und 80% für die Valgusfehlstellungen. Das eight-PlateTM-Verfahren zeigt sich damit als sehr gut geeignet für die Korrektur von Achsfehlstellungen mit gleicher Rate an Therapieerfolgen bei Genua vara und valga. Bei den Beinlängendifferenzen hingegen konnte das definierte Therapieziel nur in 33,3% (3 von 9) erreicht werden. Dies mag einerseits an der niedrigen Zahl der abgeschlossenen Therapien liegen, unterstützt aber andererseits die bereits diskutierte These einer Überlegenheit dieses Verfahrens bei den Achskorrekturen gegenüber den Beinlängendifferenzen, wobei für Letztere eine gewisse Problematik im Vorfeld zudem auch für die Epiphysiodese nach

Blount beschrieben wurde [45]. Vor dem Hintergrund der Konzeption des eight-Plate™-Verfahrens erscheint dies zudem plausibel, da dieses durch den Angelpunkt außerhalb der Epiphysenfuge das gegenüberliegende Wachstum ausnutzt, aber eben aufgrund des (begrenzt) elastischen Systems keine absolute Blockierung der Epiphysenfuge bietet.

5.2.10 Grunderkrankungen

In der Gruppen der Varuserkrankungen konnte bei 58,8% der Patienten eine Grunderkrankung festgestellt werden, wohingegen dies bei den Valguserkrankungen nur bei 53,6% der Patienten der Fall war. Es zeigt sich somit eine leichte Tendenz zu Ungunsten der Varuserkrankungen, die etwas häufiger mit einer zugrunde liegenden Pathologie in Verbindung gebracht werden können. Dabei zeigt sich allerdings ebenso, dass bestimmte Erkrankungen vor allem zu einer Fehlstellung tendieren, wie z.B. der M. Blount zur Varus- und multiple kartilaginäre Exostosen sowie Fibuladefekte zur Valgusfehlstellung. Dies mag wie bereits vorhergehend angenommen mit zur unterschiedlichen Korrekturpotenz der Epiphysiodese bei den verschiedenen Fehlstellungen beitragen.

In der Gruppe der Beinlängendifferenzen kamen Grunderkrankungen hingegen wesentlich seltener vor, nämlich nur bei 37,9% aller Patienten.

Erkrankung	Beinlängendifferenz	Varusfehlstellung	Valgusfehlstellung
Epiphysiolysis capitis femoris	1	0	0
Nierenagenesie	1	0	1
Longitudinale Reduktionsdefekte, davon	4	0	10
Fibulare Hemimelie	3	0	3
PFFD	1	0	2
Fibulaaplasie	0	0	4
Femur-Fibula-Ulna-Syndrom	0	0	1
Klippel-Trenaunay-Weber- Syndrom	1	0	0
Marfan-Syndrom	1	0	1
Osteogenesis imperfecta	1	0	0
multiple kartilaginäre Exostosen, davon	0	0	10
Langer-Giedion-Syndrom	0	0	1
Morbus Perthes	1	0	0
Hüftdysplasie	1	0	0
Achondroplasie	0	2	0
Turner-Syndrom	0	1	0
Rachitis	0	2	2
Freeman-Sheldon-Syndrom	0	1	1
Morbus Blount	0	3	0
Osteomyelitis	0	1	0
Dyggve-Melchior-Clausen- Syndrom	0	0	1
juvenile Knochenzyste	0	0	1
Mukopolysaccharidose	0	0	1

Tabelle 10: Verteilung der Grunderkrankungen

5.2.11 Postoperative Komplikationen

Wie bereits im Ergebnisteil dieser Arbeit dargelegt, kam es in unserem Patientenkollektiv nur zu wenigen Komplikationen, von denen acht Lockerungen von eight-Plates™ und ein Schraubenbruch zu den schwerwiegenderen gehörten. Jene 8 Lockerungen der eight-Plates™ ereigneten sich bei 6 Patienten, von denen eine Patientin 3 Lockerungen erfuhr. Wie bereits beschrieben lagen bei 2 dieser 6 Patienten (= 33,3%) relevante Systemerkrankungen vor, nämlich einmal Mukopolysaccharidose und einmal Phosphatdiabetes, wobei die Patientin mit der Mukopolysaccharidose diejenige mit 3 Lockerungen war. Entsprechend lag bei 4 von 8 Lockerungen eine der Deformität zugrundeliegende Erkrankung vor. Aufgrund der geringen Anzahl von Komplikationen insgesamt und auch unter den Patienten mit systemrelevanten

Erkrankungen erscheint eine Signifikanzanalyse nicht sinnvoll. Jedoch kann aufgrund des hier beschriebenen Sachverhalts ein deutlich höheres Komplikationsrisiko für Patienten mit Grunderkrankungen angenommen werden.

Diese Beobachtung machten auch bereits Burghardt et al. in ihrer Multicenterstudie mittels Fragebogen [19], in welcher 48 von 314 Operateuren (=15%) von insgesamt 65 Komplikationsfällen berichteten, für welche nahezu immer ein Versagen der metaphysären kanülierten Schraube ursächlich war. In ihrer Studie deckten sie dabei einen Zusammenhang der Komplikationen mit Übergewicht und dem Morbus Blount, einer aseptischen Epiphyseonekrose der medialen, proximalen Tibiaepiphyse, auf. Eine Berechnung der Gesamtinzidenz an Komplikationen war ihnen aufgrund des Charakters ihrer Studie nicht möglich. Den Zusammenhang zwischen dem Morbus Blount und dem Therapieversagen der eight-Plate™ beschreiben Schroerlucke et al. noch eingehender [112]. In ihrer Arbeit nennen sie ein Versagen des Implantats bei 8 von 31 tibialen Epiphysiodesen (=26%), wobei immer die metaphysäre Schraube einer tibialen Epiphysiodese betroffen war und alle betroffenen Patienten an Morbus Blount erkrankt waren. Unter allen von ihnen therapierten Blount-Patienten zeigte sich dabei eine Komplikationsrate von 44% (8 von 18 Patienten). Zudem zeigte sich in ihren Analysen, dass die betroffenen Patienten durchschnittlich signifikant schwerer waren als die Patienten ohne Komplikation, ein Zusammenhang, der sich jedoch innerhalb der Gruppe der Blount-Patienten nicht zeigte, wobei die Blount-Gruppe selbst auch signifikant schwerer war als die Gruppe der restlichen Patienten. Daraus schlussfolgerten Schroerlucke et al., dass die Kombination von Übergewicht sowie der tibialen anatomischen Besonderheiten bei Morbus Blount den Ermüdungsbruch der Schraube an immer derselben Stelle bedingen. Bereits Stevens et al. beschrieben in ihrer Studie eine Problematik bei Blount-Patienten, welche kein Ansprechen auf die Therapie zeigten [118]. Eine fehlende Korrektur auf die Epiphysiodesetherapie beschreiben ebenso Wiemann et al. bei eight-Plates™ sowie Blount-Klammern [128]. Während das Therapieversagen allgemein bei der Therapie mit der eight-Plate™ gleich häufig auftritt wie bei der Blount-Klammer (12,5% gegen 12,8%), so ist es doch deutlich häufiger bei Patienten mit abnormalen Wachstumsfugen wie z.B. dem Morbus

Blount oder skelettalen Dysplasien anzutreffen. Hier zeigte sich eine Versagensrate von 27,8% gegenüber 6,7% bei Patienten mit gesunden Epiphysenfugen. Casteneda et al. beschreiben hierzu, dass bereits bei der Blount-Methode eine Problematik mit Morbus Blount-Patienten gegeben war und bei diesen höchstens eine Stabilisierung des Zustandes, kaum aber eine ausreichende Korrektur erreicht werden kann [25].

In der vorliegenden Studie konnten 3 Patienten mit Morbus Blount allerdings erfolgreich behandelt werden, wobei ein Patient nach abgeschlossener erster Therapie ein Rezidiv seiner Varusfehlstellung erlitt und aufgrund dessen ein weiteres mal per eight-PlateTM-Hemiepiphysiodese therapiert wurde. Die Komplikation des Implantatversagens trat bei uns jedoch nicht auf.

Zur Lösung des Problems, das sich hier bei Blount-Patienten ergibt, wurden verschiedene Strategien angedacht. Schroerlucke [112] und Burghardt [19] setzen hierbei an den Schrauben an, die sie widerstandsfähiger machen möchten. Sie erwägen den alternativen Einsatz von soliden anstatt kanülierten Schrauben [19, 112], die durch ihre Massivität einer bis zu 16-27% höheren Torsionsbelastung [28] widerstehen können (bzw. 70% stärker sind[19]) sowie den Einsatz von Stahl- anstatt Titanschrauben, da diese stärker sind [112]. Zudem wird der Durchmesser der Schrauben in diesen Fällen als zu gering angesehen [80]. Burghardt et al. schlagen zudem den Einsatz von 2 parallel oder schräg implantierten 8-plates vor, wodurch die Belastung verteilt werden soll [19]. Ein Vorbohren der Knochenoberfläche soll zudem die Entstehung von Scherstress während der Implantation vermindern [19]. Durch ein Anpassen der Plattenform an die Form des Knochens vor der Implantation könnte ein besserer Knochenkontakt hergestellt werden, der den Stress auf die Schrauben reduziert.

Insgesamt war ein Implantatversagen mit 9 von 246 implantierten eight-PlatesTM (8 Lockerungen, 1 Schraubenbruch) jedoch sehr selten (3,7%). In Zusammenschau der Studienlage kann insgesamt die von Stevens et al. erhoffte Reduzierung des Migrations- und Bruchrisikos im Vergleich zu den vorbeschriebenen Techniken und Implantaten, darunter dem Verfahren nach Blount, bestätigt werden. So berichten

Ballal et al. bei der Therapie mit eight-PlatesTM von 1 Schraubenmigration bei 51 Epiphysiodesen (=2,0%) [6], Burghardt et al. von 1 Schraubenlockerung bei 54 Epiphysiodesen (=1,9%) [16], Niethard et al. von keinen Problemen [88, 89], Stevens et al. von keinen Problemen [120], Guzman et al. von keinem Implantatversagen [50] und Schroerlucke et al. [112] von Komplikationen bei 8 von 31 Epiphysiodesen (26%), wobei bei allen Patienten mit Komplikationen ein Morbus Blount vorliegt.

Auf der Seite der Arbeiten über die Methode nach Blount hingegen erscheint die Rate an Implantatversagen deutlich höher. So berichten Castaneda et al. von 5 Versagensfällen bei 62 Epiphysiodesen (=8,1%) [25], Gorman et al. von 4 bei 54 Epiphysiodesen (=7,4%) [45], Novais et al. bei 3 von 10 Patienten (=30%), hierbei bei einem Patienten dreifach und bei einem Patienten zweifach [91], Park et al. bei 3 von 33 Epiphysiodesen (=9,1%) [102], Raab et al. bei 10 von 39 Epiphysiodesen am distalen Femur (=26%) und 17 von 49 Epiphysiodesen an der proximalen Tibia (=35%) [107], Stevens et al. bei 24 von 53 Epiphysiodesen (=45%) und 7 von 10 Patienten (=70%) [120] sowie bei 3 von 12 Patienten (=25%) in einer weiteren Studie [123]. Weiterhin konnte in tierexperimentellen Studien mit Hasen durch Goyeneche et al. [46] und Mast et al. [77] ein höheres Risiko des Implantatversagens bei der Blount-Klammer gezeigt werden. Diese stellten beide in ihren Studien eine etwa 50%ige Wahrscheinlichkeit dieser Komplikation beim Hasen dar, während sie keine solche Komplikation bei den eight-PlatesTM feststellten. Raab et al. [107] bemerkten zudem eine Häufung der Komplikationen bei der Methode nach Blount bei unter 8jährigen Patienten, bei denen 79% aller aufgetretenen Komplikationen vorkamen. Dies bestätigt die von Burghardt et al., Wiemann et al. und Jelinek et al. formulierte Verschiebung des Indikationsspektrums der Epiphysiodese durch die eight-PlateTM auf Kinder unter 10 Jahren [17, 64, 128].

In unserer Studie kam es weiterhin bei insgesamt 4 Patienten zu einem therapiebedürftigen Rebound, welcher durch eine erneute Epiphysiodese therapiert werden musste. Dies zeigt, dass das Problem des Rebound-Phänomens, welches bereits durch die temporäre Epiphysiodese nach Blount bekannt war, keineswegs

durch das eight-PlateTM-Verfahren vollends gelöst werden kann. So berichten auch die Autoren anderer Studien über Rebound-Probleme nach Explantation der Platten. Stevens et al. berichten von 4 Fällen unter 34 Patienten mit 65 therapierten Extremitäten [118], stellt diesen jedoch in einer weiteren Studie eine Rebound-Rate von 41% beim Verfahren nach Blount gegenüber [120]. Ballal et al. dokumentierten unter 51 Epiphysiodesen an 37 Beinen einen Rebound-Fall bei einem 5-jährigen Kind [6] und Klatt et al. stellten einen Rebound-Fall unter 18 Patienten mit 29 Deformitäten bei anteriorer Epiphysiodese fest [67]. Wiederum in einem tierexperimentellen Versuch, diesmal mit Schweinen, beobachteten Burghardt et al., dass ein Rebound bzw. Rezidiv eher bei der Methode nach Blount auftreten kann, was in ihrer Studie jedoch zumeist in Verbindung mit einem Implantatversagen der Klammer erfolgte [18].

Zur Prävention eines Rebounds empfehlen mehrere Autoren von Studien über temporäre Epiphysiodesen eine leichte Überkorrektur [106, 107, 130], ein Punkt, der bereits oftmals kritisch diskutiert wurde [88] und auch bei der eight-PlateTM angedacht wurde [17, 118]. Diese Studie schließt in der Analyse die weitergehenden postoperativen Verläufe nicht mit ein, so dass eine fundierte Aussage anhand unserer Daten hierüber nicht möglich ist. Es wurde jedoch keine standardmäßige Überkorrektur geplant und wahrscheinlich muss eine solche in jedem Fall abhängig von Grunderkrankung, verbleibender Restwachstumszeit und bisherigem Verlauf individuell überdacht werden.

Weitere Komplikationen in unserer Studie waren eine geringe Zahl von Gelenkergüssen und oberflächlichen Wundinfekten, sowie einige weniger schwere postoperative Schmerzsymptomaten. Diese sind in vergleichbaren Studien über die eight-PlateTM wie auch die Blount-Klammer in gleich niedriger Häufigkeit ebenso belegt [25, 45, 64, 67, 107, 118, 120] und werden hier als minder schwere Komplikationen mit geringer Zahl nicht weiter diskutiert.

Von vielerlei Seite wurde in anderen Studien das Problem der Verletzung der Epiphysenfuge sowie die Möglichkeit der Verletzung des Periosts mit dem nachfolgenden Risiko einer sich bildenden Knochenbrücke über die Fuge angedacht [5,

112]. Damit wäre die ansonsten gegebene Reversibilität des Verfahrens gefährdet und Überkorrekturen und damit neue Fehlstellungen wären die Folge. Auch der durch die Klammer bzw. eight-Plate™ auf die Epiphysenfuge ausgeübte Druck wurde verdächtigt einen prämaturen Epiphysenfugenschluss auslösen zu können, während bei jungen und kleinen Patienten vor allem das Problem der langen Klammerarme vor allem bei der Methode nach Blount Bedenken hervorrief [67, 128]. Beide Komplikationen konnten jedoch in unserer Studie nicht beobachtet werden, wobei hier einschränkend das fehlende mittel- und langfristige Follow-Up nach Explantation genannt werden muss.

Guzman et al. [50] berichten weiterhin von 2 sagittalen Fehlstellungen, die wahrscheinlich durch eine zu weit anteriore Platzierung der eight-Plates™ verursacht wurden. Aus Bedenken vor der Erzeugung weiterer sagittaler Fehlstellungen implantierten sie in einigen Fällen zwei statt einer eight-Plate™ und konnten dabei feststellen, dass dadurch eine schnellere Korrektur erreicht wurde. Obwohl Stevens in seiner Vorstellung des Verfahrens einer Therapie mit mehr als einer Platte pro Epiphysenfuge bei Achsfehlstellungen keine weitere biomechanische Verbesserung zugestand [50, 118], konnten Guzman et al. mit einer Korrekturgeschwindigkeit des aLDFW von 4,2° pro Jahr bei zwei eight-Plates™ gegenüber 3,3° pro Jahr bei einer eight-Plate™ eine solche erreichen. Hier sollten zukünftige Studien diesen Sachverhalt auch z.B. im Vergleich zur Blount-Klammerung weiter evaluieren.

5.2.12 Empfehlungen für die Epiphysiodese mit der eight-Plate™

Bei der Indikationsstellung und Planung einer Epiphysiodesetherapie spielen viele Einflussfaktoren wie die Lokalisation der Deformität (tibial/femoral, siehe Winkel nach Paley), das Alter und Geschlecht des Kindes, das verbleibende Restwachstum, die Genese der Deformität (idiopathisch/sekundär), der Leidensdruck des Patienten und die Akzeptanz des Verfahrens und Zeitpunktes der Operation durch den Patienten und durch seine Eltern, eine Rolle. Es erfordert damit eine gute Planung des Eingriffes selbst, des Zeitpunktes, zu dem er vorgenommen wird, und der Zeitspanne, in der die Therapie stattfindet. Hierbei können die in dieser Arbeit bestimmten

Korrekturgeschwindigkeiten hilfreich sein, wobei das Vorgehen trotzdem in jedem Fall selbstverständlich individuell und auf den betroffenen Patienten zugeschnitten sein muss.

Die Korrelation des chronologischen Alters und des Skelettalters des Patienten sowie der damit bestimmbaren verbleibenden Restwachstumszeit mit der Art der Fehlstellung und ihrer Genese macht dabei den ersten Schritt aus. Damit kann zunächst festgelegt werden, ob eine Therapieindikation besteht und eingeschätzt werden, zu welchem Zeitpunkt die Korrektur gegebenenfalls stattfinden muss. Wie bereits beschrieben, können Valgusdeformitäten noch lange physiologische Varianten mit sich spontan einstellender Korrektur und ohne großes Risiko einer späteren Gonarthrose darstellen, während Varusdeformitäten jenseits den 2. Lebensjahres als pathologisch gelten müssen (siehe 2.1.3, 2.3.2 und [55, 71, 126]), das Risiko späterer Folgeerkrankungen beinhalten und daher möglichst zeitnah einer Therapie zugeführt werden sollten. Ebenso bergen sekundäre Fehlstellungen (siehe 2.2.2) mit einer zugrundeliegenden Erkrankung ein größeres Progredienzrisiko im Vergleich zu idiopathischen Deformitäten oder Fehlstellungen mit einer temporär begrenzten Ursache (siehe 2.2.2) und sollten daher frühzeitig einer korrigierenden Therapie unterliegen. Hier fällt zudem auf, dass insbesondere Varusdeformitäten häufiger als sekundäre Folgeerscheinungen auftreten (siehe 5.2.10), welche eben zusätzlich das genannte, höhere Gonarthrosrisiko beinhalten. Allerdings liegt gerade bei den sekundären Fehlstellungen außerdem eine höhere Rezidivwahrscheinlichkeit vor [120], so dass hier die Planung des Eingriffs gut mit dem gewünschten Endzustand abgeschätzt werden muss, um bei Wachstumsabschluss eine physiologische Beinstellung zu erreichen. Dieser Wunsch steht häufig in Konflikt mit dem möglichst frühzeitigen Therapiebeginn. Zur Lösung dieses Konfliktes wäre eine Abschätzung der notwendigen Therapiedauer mittels der in den Röntgenaufnahmen messbaren Winkel nach Paley und MAD und der in dieser Arbeit bestimmten Korrekturgeschwindigkeiten möglich, welche dann mit der verbleibenden Restwachstumszeit, gemessen durch eine Skelettalterbestimmung (siehe 2.2.4.2) oder genannte weitere Verfahren, verglichen werden könnte. Bei weiter erwartetem Fortschreiten der Fehlstellung auch nach

Therapieabschluss könnte sodann mit der Zeitdifferenz und den Korrekturgeschwindigkeiten eine gewünschte Überkorrektur (siehe auch 3.3.3 und [17]) berechnet werden. Alternativ führt man die Epiphysiodese noch etwa die Hälfte der verbliebenen Zeitdifferenz weiter fort. Auf diesem Wege wäre dann ein Ausgleich von Deformität und gewünschter Überkorrektur zur physiologischen Beinachse mit Wachstumsabschluss möglich. Natürlich muss bei dieser Berechnung auch die unterschiedlich lange Wachstumsphase bei Jungen und Mädchen [48] sowie die Möglichkeit einer kombinierten Femur- und Tibiaepiphysiodese mit wahrscheinlich mehr als nur additiver Wirkung (siehe Korrekturraten und 5.2.7) berücksichtigt werden. Einschränkend muss jedoch gesagt werden, dass das Wachstum keiner Linearität folgt, wie bei den Korrekturgeschwindigkeiten angenommen, sondern in mehreren Schüben verläuft und sich zum Ende der Wachstumsphase verlangsamt (siehe Abbildung 6 in 2.1.4). Daher sollte bei der Berechnung der Überkorrektur ggf. ein etwas kleinerer Wert, abhängig vom verbleibenden Restwachstum, bzw. eine kürzere Epiphysiodesezeit als die Hälfte des Zeitraum, gewählt werden und es sollten weiterhin regelmäßige Kontrollen des Therapiefortschritts erfolgen.

Als Indikationen für eine frühe Korrektur müssen dabei also Varus-Deformitäten, darunter insbesondere sekundäre Fehlstellungen und stark progrediente Deformitäten, gelten, ganz besonders natürlich deren Kombination. Hier sollte bei früher Therapie ein vor dem Wachstumsende liegender Therapieabschluss mit dem Risiko von Rezidivfehlstellungen mittels einer geplanten und gezielten Überkorrektur wie beschrieben verbunden werden. Bei den Valgusfehlstellungen mit idiopathischen Ursachen hingegen kann mit Berechnung der benötigten Therapiezeit (Korrekturgeschwindigkeiten) eine Planung der Therapie mit Abschluss zum Wachstumsende oder auch bei Bedarf und niedrigem Rezidivrisiko sofort vorgenommen werden. Andererseits ist bei sekundären Valgusfehlstellungen zur Rezidivvermeidung bei weniger dringender Indikation zur frühzeitigen Behandlung eine Epiphysiodese mit geplantem Therapieende zum Wachstumsabschluss anzuraten. Bei allen Entscheidungen muss zudem allerdings noch der Leidensdruck und der Therapiewunsch des Patienten bzw. der Eltern berücksichtigt werden, um die

individuell passende Therapie mit bestmöglicher Akzeptanz zu finden (siehe auch 5.1 und 5.2.8).

Therapie	Korrekturrate
Beinlängendifferenz Femorale Epiphysiodese	0,48 mm/Monat
Beinlängendifferenz Tibiale Epiphysiodese	0,14 mm/Monat
Beinlängendifferenz Kombinierte Epiphysiodese	1,29 mm/Monat
Varus mLDFW	0,95°/Monat
Varus mMPTW	0,69°/Monat
Varus aFTW	0,53°/Monat und therapierter Epiphysenfuge
Varus MAD	1,44 mm/Monat und therapierter Epiphysenfuge
Valgus mLDFW	0,69°/Monat
Valgus mMPTW	0,59°/Monat
Valgus aFTW	0,57°/Monat und therapierter Epiphysenfuge
Valgus MAD	1,59 mm/ Monat und therapierter Epiphysenfuge

Tabelle 11: Korrekturraten der verschiedenen Therapieformen

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Abschließend und zusammenfassend können aus dieser Studie und dem Literaturvergleich folgende Ergebnisse und Schlussfolgerungen gewonnen werden:

Das Epiphysiodeseverfahren mit der eight-PlateTM ist ein effizientes und komplikationsarmes Verfahren für die Behandlung von Achsfehlstellungen und leicht- bis mittelgradigen Beinlängendifferenzen bei Kindern und Jugendlichen, wobei es von seiner Effektivität vergleichbar mit der Methode der Fugenklammerung nach Blount ist und signifikante bis höchstsignifikante Änderungen bewirken kann. Eine vom Entwickler des Verfahrens beschriebene bis zu 30% schnellere Korrektur [118] durch die eight-PlateTM im Vergleich zur Blount-Klammer konnte jedoch nicht gezeigt werden.

Das Verfahren ist durch seine Konzeption sicher in der Anwendung, gut zu beherrschen und dank eines nur kleinen Eingriffs und niedriger Strahlenbelastung sehr schonend für die zumeist jungen Patienten. Im Vergleich mit der Fugenklammerung nach Blount zeigt es eine niedrigere Rate an Implantat-assoziierten Komplikationen bei ansonsten vergleichbarem Komplikationsspektrum, was das Indikationsspektrum auf Kinder unter 10 Jahren ausweitet. Die Operationszeit wurde dabei für Implantation als auch Explantation als vergleichsweise signifikant niedriger beschrieben.

Die Patienten mit einer Achsendeformität betreffend konnte diese Studie eine tendenziell schnellere Korrektur von Varus- gegenüber den Valgusfehlstellungen zeigen, bei femoralen Korrekturraten (mLDFW) von 0,95°/Monat gegenüber 0,69°/Monat und tibialen Korrekturraten (mMPTW) von 0,69°/Monat gegenüber 0,59°/Monat. Dies spiegelte sich ebenso in den Absolutveränderungen wider, wobei femoral 11° Veränderung bei Varus- und 8° bei Valgusfehlstellungen, tibial 7° bei Varus- und 5° bei Valgusfehlstellungen erreicht wurden.

Diesen Werten entsprechend konnte weiterhin für die Achsfehlstellungen die erwartete tendenzielle Überlegenheit der femoralen gegenüber der tibialen

Epiphysiodese nachgewiesen werden, was sich sowohl in den Korrekturraten (s.o.) als auch in den Absolutveränderungen (s.o.) zeigte.

Entsprechende Beurteilungen dieser Feststellungen und Zusammenhänge konnten bei insgesamt ähnlichen Werten in der Fachliteratur zahlreich gefunden werden, wobei dort zudem gezeigt werden konnte, dass eine Korrektur in jüngerem Alter mit einer schnelleren Korrekturgeschwindigkeit einhergeht und dass entgegen der ursprünglichen Konzeption eine Epiphysiodese mit 2 eight-Plates™ eine schnellere Korrektur ermöglichen kann.

Die Patienten mit einer Beinlängendifferenz betreffend, wurden bisher keine Studien mit Angabe von Korrekturwerten für die eight-Plate™-Epiphysiodese veröffentlicht. Wir konnten eine durchschnittliche Korrektur von 9,5 mm bei einer Korrekturrate von 0,49 mm pro Monat und pro therapierter Epiphysenfuge zeigen. Bei Aufteilung in die verschiedenen Epiphysiodeselokalisationen zeigt sich ebenso wie bei den Achsfehlstellungen die schnellere Korrektur an femoraler Lokalisation. Eine Korrekturgeschwindigkeit von 1,3 mm pro Monat bei gleichzeitiger femoraler und tibialer Epiphysiodese steht dabei einer Korrekturgeschwindigkeit von 0,48 mm pro Monat bei rein femoraler und 0,14 mm pro Monat bei rein tibialer Epiphysiodese gegenüber. Für die Absolutwerte bedeutet dies für die gleichzeitig femorale und tibiale Epiphysiodese einen Wert von 13,8 mm gegen 5,6 mm bei rein femoraler und 3,6 mm bei rein tibialer Epiphysiodese.

Insgesamt zeigt sich sowohl bei den Korrekturgeschwindigkeiten als auch den Absolutveränderungen ein überadditiver Effekt. In der Literatur über das Verfahren nach Blount konnten keine Korrekturgeschwindigkeiten gefunden werden, die Absolutwerte vergleichbarer Studien lagen jedoch tendenziell etwas höher. Die Ursache hierfür konnte nicht abschließend ermittelt werden. Einerseits werden unsere Absolutwerte durch die Einbeziehung noch nicht abgeschlossener Werte tendenziell zu niedrig liegen, andererseits wurde auch von anderer Seite bereits eine leichte Unterlegenheit der eight-Plate™ bei dieser Indikation gegenüber den

Achsfehlstellungen angedacht [42]. Weitere Studien zur Klärung dieser Frage sind notwendig.

Bei nahezu identischer Epiphysiodesedauer der Varus- und Valgusgruppe konnte dabei zudem eine tendenziell längere Epiphysiodesedauer die Beinlängendifferenzgruppe betreffend ermittelt werden (368 bzw. 359 Tage gegenüber 479 Tage). Dies mag ebenso ein Indiz für die bessere angulare als lineare Korrekturpotenz des Verfahrens sein und es somit mehr für die Achsfehlstellungen als die Beinlängenkorrektur prädestinieren.

Eine ähnliche Schlussfolgerung lassen zudem die Therapieerfolgsraten mit 82,3% für die Varus- und 80% für die Valgusdeformitäten gegenüber 33,3% für die Beinlängendifferenzen zu, wobei hier letzteres Ergebnis jedoch auch durch die geringe Zahl an Patienten mit Beinlängenkorrekturen und noch geringere Anzahl an davon abgeschlossenen Fällen in dieser Studie verzerrt sein kann.

Unsere Untersuchungen zeigen eine niedrige Komplikationsrate in unserem Patientenkollektiv mit nur 9 Fällen von Implantatversagen bei 246 eight-PlatesTM (=3,7%). Entgegen der vielfach in der Literatur beschriebenen Schwierigkeit des Einsatzes dieses Verfahrens bei Patienten mit Morbus Blount konnten wir erfolgreich 3 solcher Patienten behandeln, jedoch mit einem Rezidiv nach abgeschlossener Therapie, welches eine Re-Epiphysiodese erforderte. Einen bei diesen Patienten mit bis zu 44% Risiko beschriebenen Bruch der tibialen metaphysären Schraube konnten wir nicht verzeichnen. Genannten Studien zufolge scheint jedoch die tibiale metaphysäre Schraube, gerade in kanülierter Ausführung, bei Patienten mit pathologischen Epiphysenfugen die Schwachstelle des Implantats zu sein, wobei mehrere Autoren Überlegungen zur Prävention angestellt haben. Weitere Studien müssen deren Erfolg zeigen. In der Zusammenschau der Literatur und im Vergleich mit unseren Werten zeigt sich beim eight-PlateTM-Verfahren eine niedrigere Rate an Implantatversagen als beim Verfahren nach Blount. Dieses konnte zudem in mehreren tierexperimentellen Studien gezeigt werden. Da bei letztgenanntem Verfahren gerade jüngere Patienten überproportional oft betroffen waren, bietet das eight-PlateTM-Verfahren diesen eine

frühere Therapiemöglichkeit. Das Problem eines möglichen Rebounds nach Metallentfernung, welches in unserem Patientenkollektiv in 4 Fällen in therapiebedürftigem Ausmaß auftrat, konnte jedoch auch durch dieses Verfahren nicht vollends gelöst werden und wurde entsprechend in mehreren vergleichbaren Studien beschrieben.

Ein deutlicher Nachteil der eight-Plate™ ist mit 408€ [88] ihr Preis [16, 17], während die Kosten für 3 Blount-Klammern nur 59,33 € betragen [88]. Jedoch ist ihr Einsatz durch ihre schonendere Technik und exaktere Positionierungsmöglichkeit vor allem auch bei jüngeren Patienten gut zu rechtfertigen, schützt sie doch vor kostenintensiven Komplikationen, Reoperationen und Folgeeingriffen [44] und bietet eine schnelle Mobilisierung und Entlassung aus der stationären Behandlung. Nicht zuletzt konnte eine signifikant niedrigere Operationszeit sowohl für Implantation als auch Explantation nachgewiesen werden, was die Mehrkosten für das Implantat ebenfalls relativiert.

Allgemein problematisch für die Vergleichbarkeit von Studien zum Thema Hemiepiphysiodese ist der Einsatz von verschiedenen Winkeln durch die Autoren. Aus diesem Grunde wurden in dieser Studie zur besseren Vergleichbarkeit neben dem genannten Hauptaugenmerk auch die meistbenutzten anderen Parameter bestimmt und verglichen.

Eine weitere allgemeine Einschränkung, die immer bedacht werden muss und für alle Studien zum Gebiet der Epiphysiodese und Wachstumslenkung gilt, ist zudem die Tatsache, dass Wachstum starken interindividuellen Schwankungen unterliegt und keiner linearen Funktion folgt.

7 Literaturverzeichnis

1. Anderson M., Green W.T. and Messner M.B. (1963), *Growth and predictions of growth in the lower extremities*. J Bone Joint Surg Am. 45-A: p. 1-14.
2. Anderson M., Messner M.B. and Green W.T. (1964), *Distribution of Lengths of the Normal Femur and Tibia in Children from One to Eighteen Years of Age*. J Bone Joint Surg Am. 46: p. 1197-202.
3. Ansell B.M. (1977), *Joint manifestations in children with juvenile chronic polyarthritis*. Arthritis Rheum. 20(2 Suppl): p. 204-6.
4. Ansell B.M., Arden G.P. and McLennan I. (1970), *Valgus knee deformities in children with juvenile chronic polyarthritis treated by epiphysial stapling*. Arch Dis Child. 45(241): p. 388-92.
5. Aykut U.S., et al. (2005), *The effect of temporary hemiepiphysal stapling on the growth plate: a radiologic and immunohistochemical study in rabbits*. J Pediatr Orthop. 25(3): p. 336-41.
6. Ballal M.S., Bruce C.E. and Nayagam S. (2010), *Correcting genu varum and genu valgum in children by guided growth: temporary hemiepiphysiodesis using tension band plates*. J Bone Joint Surg Br. 92(2): p. 273-6.
7. Blair V.P. 3rd, et al. (1982), *Epiphysiodesis: a problem of timing*. J Pediatr Orthop. 2(3): p. 281-4.
8. Blount W.P. (1971), *A mature look at epiphysal stapling*. Clin Orthop Relat Res. 77: p. 158-63.
9. Blount W.P. and Clarke G.R. (1971), *The classic. Control of bone growth by epiphysal stapling. A preliminary report. Journal of Bone and Joint Surgery, July, 1949*. Clin Orthop Relat Res. 77: p. 4-17.
10. Blount W.P. and Clarke G.R. (1949), *Control of bone growth by epiphysal stapling; a preliminary report*. J Bone Joint Surg Am. 31A(3): p. 464-78.
11. Bowen J.R. and Johnson W.J. (1984), *Percutaneous epiphysiodesis*. Clin Orthop Relat Res. 190: p. 170-3.
12. Bowen J.R., et al. (1985), *Partial epiphysiodesis at the knee to correct angular deformity*. Clin Orthop Relat Res. 198: p. 184-90.

13. Bradway J.K., Klassen R.A. and Peterson H.A. (1987), *Blount disease: a review of the English literature*. J Pediatr Orthop. 7(4): p. 472-80.
14. Brockway A., Craig W.A. and Cockreli B.R. Jr. (1954), *End-result study of sixty-two stapling operations*. J Bone Joint Surg Am. 36-A(5): p. 1063-70; passim.
15. Buckley S.L., Carlson J.R. and Robertson W.W. Jr. (1993), *Osteotomy of the proximal tibia in the treatment of adolescent tibia vara*. Orthop Rev. 22(12): p. 1319-27.
16. Burghardt R.D. and Herzenberg J.E. (2010), *Temporary hemiepiphysiodesis with the eight-Plate for angular deformities: mid-term results*. J Orthop Sci. 15(5): p. 699-704.
17. Burghardt R.D., et al. (2008), *Temporary hemiepiphyseal arrest using a screw and plate device to treat knee and ankle deformities in children: a preliminary report*. J Child Orthop. 2(3): p. 187-97.
18. Burghardt R.D., Kanellopoulos A.D. and Herzenberg J.E. (2011), *Hemiepiphyseal arrest in a porcine model*. J Pediatr Orthop. 31(4): p. e25-9.
19. Burghardt R.D., Specht S.C. and Herzenberg J.E. (2010), *Mechanical failures of eight-plate guided growth system for temporary hemiepiphysiodesis*. J Pediatr Orthop. 30(6): p. 594-7.
20. Bylander B., et al. (1981), *A roentgen stereophotogrammetric analysis of growth arrest by stapling*. J Pediatr Orthop. 1(1): p. 81-90.
21. Canale S.T. and Christian C.A. (1990), *Techniques for epiphysiodesis about the knee*. Clin Orthop Relat Res. 255: p. 81-5.
22. Canale S.T. and Harper M.C. (1981), *Biotrigonometric analysis and practical applications of osteotomies of tibia in children*. Instr Course Lect. 30: p. 85-101.
23. Canale S.T., Russell T.A. and Holcomb R.L. (1986), *Percutaneous epiphysiodesis: experimental study and preliminary clinical results*. J Pediatr Orthop. 6(2): p. 150-6.
24. Carvell J.E. (1983), *The relationship of the periosteum to angular deformities of long bones. Experimental operations in rabbits*. Clin Orthop Relat Res. 173: p. 262-74.
25. Castaneda P., et al. (2008), *Hemiepiphysiodesis for the correction of angular deformity about the knee*. J Pediatr Orthop. 28(2): p. 188-91.
26. Cho T.J., et al. (2009), *Hemiepiphyseal stapling for angular deformity correction around the knee joint in children with multiple epiphyseal dysplasia*. J Pediatr Orthop. 29(1): p. 52-6.

7 Literaturverzeichnis

27. Christensen N.O. (1973), *Growth arrest by stapling. An experimental study of longitudinal bone growth and morphology of the growth region.* Acta Orthop Scand Suppl. p. 3-78.
28. Collinge C.A., et al. (2000), *Mechanical properties of small fragment screws.* Clin Orthop Relat Res. 373: p. 277-84.
29. Cundy P., et al. (1988), *Skeletal age estimation in leg length discrepancy.* J Pediatr Orthop. 8(5): p. 513-5.
30. Debrunner A.M. and Seewald K. (1964), *Stress on the Knee Joint in the Frontal Plane. (Apropos of Prearthrosis of the Knee).* Z Orthop Ihre Grenzgeb. 98: p. 508-23.
31. Debrunner H., ed. (1994), *Orthopädisches Diagnostikum.* Thieme-Verlag: Stuttgart, 6.Auflage.
32. Dietz F.R. and Merchant T.C. (1990), *Indications for osteotomy of the tibia in children.* J Pediatr Orthop. 10(4): p. 486-90.
33. Do T.T. (2001), *Clinical and radiographic evaluation of bowlegs.* Curr Opin Pediatr. 13(1): p. 42-6.
34. Eichler J. (1972), *Methodische Fehler bei der Feststellung der Beinlänge und der Beinlängendifferenzen.* Orthopäde. 1: p. 14-20.
35. Farnum C.E., et al. (2000), *Quantitative three-dimensional analysis of chondrocytic kinetic responses to short-term stapling of the rat proximal tibial growth plate.* Cells Tissues Organs. 167(4): p. 247-58.
36. Ferrick M.R., Birch J.G. and Albright M. (2004), *Correction of non-Blount's angular knee deformity by permanent hemiepiphysodesis.* J Pediatr Orthop. 24(4): p. 397-402.
37. Frantz C.H. (1971), *Epiphyseal stapling: a comprehensive review.* Clin Orthop Relat Res. 77: p. 149-57.
38. Fraser R.K., Dickens D.R. and Cole W.G. (1995), *Medial physeal stapling for primary and secondary genu valgum in late childhood and adolescence.* J Bone Joint Surg Br. 77(5): p. 733-5.
39. Friend L. and Widmann R.F. (2008), *Advances in management of limb length discrepancy and lower limb deformity.* Curr Opin Pediatr. 20(1): p. 46-51.
40. Gabriel K.R., et al. (1994), *Percutaneous epiphysodesis.* J Pediatr Orthop. 14(3): p. 358-62.
41. Galla M. and Lobenhoffer P. (2007), *Achsenfehlstellungen - Knie.* Orthopädie und Unfallchirurgie up2date. 2: p. 21-40.

42. Ghanem I., Karam J.A. and Widmann R.F. (2011), *Surgical epiphysiodesis indications and techniques: update*. Curr Opin Pediatr. 23(1): p. 53-9.
43. Gladbach B., Pfeil J. and Heijens E. (2000), *Percutaneous epiphyseodesis. Correction of leg length inequalities and frontal plane deformities*. Orthopade. 29(1): p. 2-8.
44. Goldman V. and Green D.W. (2010), *Advances in growth plate modulation for lower extremity malalignment (knock knees and bow legs)*. Curr Opin Pediatr. 22(1): p. 47-53.
45. Gorman, T.M., et al. (2009), *Mechanical axis following staple epiphysiodesis for limb-length inequality*. J Bone Joint Surg Am. 91(10): p. 2430-9.
46. Goyeneche R.A., et al. (2009), *Correction of bone angular deformities: experimental analysis of staples versus 8-plate*. J Pediatr Orthop. 29(7): p. 736-40.
47. Green W.T. and Anderson M. (1957), *Epiphyseal arrest for the correction of discrepancies in length of the lower extremities*. J Bone Joint Surg Am. 39-A(4): p. 853-72; discussion, 872; passim.
48. Greulich WW, Pyle S.I. (1959), *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*. Stanford University Press, Stanford, CA.
49. Grill F., Chochole M. and Schultz A. (1990), *Pelvic tilt and leg length discrepancy*. Orthopade. 19(5): p. 244-62.
50. Guzman H., et al. (2011), *Early experience with medial femoral tension band plating in idiopathic genu valgum*. J Child Orthop. 5(1): p. 11-7.
51. Haas S. (1945), *Retardation of bone growth by a wire loop*. J Bone Joint Surg Am. 27: p. 25-36.
52. Hasler C.C. (2000), *Leg length inequality. Indications for treatment and importance of shortening procedures*. Orthopade. 29(9): p. 766-74.
53. Heath C.H. and Staheli L.T. (1993), *Normal limits of knee angle in white children--genu varum and genu valgum*. J Pediatr Orthop. 13(2): p. 259-62.
54. Hefti F. (2000), *Deviations in the axes of the lower extremities*. Orthopade. 29(9): p. 814-20.
55. Hefti F., Hasler C. (2006), *Achsen und Längen*, in *Kinderorthopädie in der Praxis*. Springer Verlag: Berlin, 2.Auflage. p. 545-567.
56. Hefti F., Laer L.v. and Morscher E. (1991), *Principles and pathogenesis of post-traumatic axial malalignment in the growth years*. Orthopade. 20(6): p. 324-30.
57. Helling A.L. (1988), *Leg length inequality. A prospective study of young men during their military service*. Ups J Med Sci. 93(3): p. 245-53.

7 Literaturverzeichnis

58. Henderson R.C., Kemp G.J. Jr. and Greene W.B. (1992), *Adolescent tibia vara: alternatives for operative treatment*. J Bone Joint Surg Am. 74(3): p. 342-50.
59. Herring J.A. and Moseley C. (1981), *Posttraumatic valgus deformity of the tibia*. J Pediatr Orthop. 1(4): p. 435-9.
60. Herring J.A. and Wenger D.R. (1987), *Blount disease*. J Pediatr Orthop. 7(5): p. 601-4.
61. Hofmann A., Jones R.E. and Herring J.A. (1982), *Blount's disease after skeletal maturity*. J Bone Joint Surg Am. 64(7): p. 1004-9.
62. Hofmann S., Pietsch M. (2007), *Biomechanische Grundlagen und Indikationen bei der kniegelenksnahen Osteotomie*. Arthroskopie. 20: p. 270-276.
63. Janakiramanan N., et al. (2008), *Static knee alignment is associated with the risk of unicompartmental knee cartilage defects*. J Orthop Res. 26(2): p. 225-30.
64. Jelinek E.M., et al. (2011), *The 8-plate versus physeal stapling for temporary hemiepiphysodesis correcting genu valgum and genu varum: a retrospective analysis of thirty five patients*. Int Orthop. 36(3): p. 599-605.
65. Kenwright J. and Albinana J. (1991), *Problems encountered in leg shortening*. J Bone Joint Surg Br. 73(4): p. 671-5.
66. Khoury J.G., et al. (2007), *Results of screw epiphysiodesis for the treatment of limb length discrepancy and angular deformity*. J Pediatr Orthop. 27(6): p. 623-8.
67. Klatt J. and Stevens P.M. (2008), *Guided growth for fixed knee flexion deformity*. J Pediatr Orthop. 28(6): p. 626-31.
68. Konermann W. and Gruber G. (2002), *Ultrasound determination of leg length*. Orthopade. 31(3): p. 300-5.
69. Kramer, A. and Stevens P.M. (2001), *Anterior femoral stapling*. J Pediatr Orthop. 21(6): p. 804-7.
70. Laer L.v., ed. (1986), *Frakturen und Luxationen*. Thieme-Verlag: Stuttgart, 1.Auflage.
71. Levine A.M. and Drennan J.C. (1982), *Physiological bowing and tibia vara. The metaphyseal-diaphyseal angle in the measurement of bowleg deformities*. J Bone Joint Surg Am. 64(8): p. 1158-63.
72. Liotta F.J., Ambrose T.A. 2nd and Eilert R.E. (1992), *Fluoroscopic technique versus Phemister technique for epiphysiodesis*. J Pediatr Orthop. 12(2): p. 248-51.
73. Little D.G., Nigo L. and Aiona M.D. (1996), *Deficiencies of current methods for the timing of epiphysiodesis*. J Pediatr Orthop. 16(2): p. 173-9.

7 Literaturverzeichnis

74. Loder R.T., Schaffer J.J. and Bardenstein M.B. (1991), *Late-onset tibia vara*. J Pediatr Orthop. 11(2): p. 162-7.
75. Machen M.S. and Stevens P.M. (2005), *Should full-length standing anteroposterior radiographs replace the scanogram for measurement of limb length discrepancy?* J Pediatr Orthop B. 14(1): p. 30-7.
76. Maquet P. (1980), *The biomechanics of the knee and surgical possibilities of healing osteoarthritic knee joints*. Clin Orthop Relat Res. 146: p. 102-10.
77. Mast N., et al. (2008), *Validation of a genu valgum model in a rabbit hind limb*. J Pediatr Orthop. 28(3): p. 375-80.
78. McCarthy J.J., Burke T. and McCarthy M.C. (2003), *Need for concomitant proximal fibular epiphysiodesis when performing a proximal tibial epiphysiodesis*. J Pediatr Orthop. 23(1): p. 52-4.
79. Menelaus M.B. (1966), *Correction of leg length discrepancy by epiphysial arrest*. J Bone Joint Surg Br. 48(2): p. 336-9.
80. Merk B.R., et al. (2001), *A fatigue life analysis of small fragment screws*. J Orthop Trauma. 15(7): p. 494-9.
81. Metaizeau J.P., et al. (1998), *Percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws (PETS)*. J Pediatr Orthop. 18(3): p. 363-9.
82. Mielke C.H. and Stevens P.M. (1996), *Hemiepiphyseal stapling for knee deformities in children younger than 10 years: a preliminary report*. J Pediatr Orthop. 16(4): p. 423-9.
83. Milz S., Boszczyk A. and Putz R. (2002), *Development and functional structure of the epiphyseal plate*. Orthopade. 31(9): p. 835-40.
84. Morscher E, Figner G. (1972), *Die Messung der Beinlängen*. Orthopäde. 1: p. 9-13.
85. Moseley C.F. (1977), *A straight-line graph for leg-length discrepancies*. J Bone Joint Surg Am. 59(2): p. 174-9.
86. Mycoskie P. (1981), *Complications of osteotomies about the knee in children*. Orthopaedics. 4: p. 1005-1015.
87. Niethard F.U., Pfeil J. (2005), *Deformitäten der Extremitäten*, in *Duale Reihe Orthopädie*. Georg Thieme Verlag: Stuttgart, 5.Auflage. p. 133-143.
88. Niethard M., Deja M. and Rogalski M. (2010), *Correction of angular deformity of the knee in growing children by temporary hemiepiphysodesis using the eight-plate*. Z Orthop Unfall. 148(2): p. 215-21.

89. Niethard M., et al. (2008), *Partial physeal growth arrest with increasing genu varum deformity caused by a cortical enchondroma--a case report*. Z Orthop Unfall. 146(6): p. 725-9.
90. Nouth F. and Kuo L.A. (2004), *Percutaneous epiphysodesis using transphyseal screws (PETS): prospective case study and review*. J Pediatr Orthop. 24(6): p. 721-5.
91. Novais E. and Stevens P.M. (2006), *Hypophosphatemic rickets: the role of hemiepiphysodesis*. J Pediatr Orthop. 26(2): p. 238-44.
92. Omoloja A.A., et al. (2003), *Epiphyseal stapling and recombinant human growth hormone for correction of genu valgum in children with chronic renal insufficiency*. J Pediatr Orthop. 23(5): p. 639-42.
93. Paley D. (2005), *Frontal plane mechanical and anatomic axis planning.*, in *Principles of deformity correction, 1st edn Corr. 3rd printing. Revised edn.*, P. D., Editor. Springer Verlag: Berlin. p. 61-97.
94. Paley D., ed. (2002), *Principles of deformity correction*. Vol. 1. edn. Springer: Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
95. Paley D., et al. (2000), *Multiplier method for predicting limb-length discrepancy*. J Bone Joint Surg Am. 82-A(10): p. 1432-46.
96. Paley D., et al. (1994), *Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies*. Orthop Clin North Am. 25(3): p. 425-65.
97. Paley D. and Pfeil J. (2000), *Principles of deformity correction around the knee*. Orthopade. 29(1): p. 18-38.
98. Paley D. and Tetsworth K. (1992), *Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of multiapical frontal plane angular and bowing deformities of the femur and tibia*. Clin Orthop Relat Res. 280: p. 65-71.
99. Paley D. and Tetsworth K. (1992), *Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of uniapical angular deformities of the tibia or femur*. Clin Orthop Relat Res. 280: p. 48-64.
100. Pap A., Maager M. and Kolarz G. (1987), *Functional impairment of the sacroiliac joint after total hip replacement*. Int Rehabil Med. 8(4): p. 145-7.
101. Papadopoulos J.S. (1991), *Gonarthrosis: is the role of pathological statics overestimated?*. Z Orthop Ihre Grenzgeb. 129(1): p. 65-71.
102. Park S.S., et al. (2005), *Outcome of hemiepiphysal stapling for late-onset tibia vara*. J Bone Joint Surg Am. 87(10): p. 2259-66.

103. Pfeil J, Grill F. and Graf R. (1996), *Extremitätenverlängerung, Deformitätenkorrektur, Pseudarthrosenbehandlung*. Springer Verlag: Berlin, 1.Auflage. p. 81-83.
104. Phemister D. (1933), *Operative Arrestment of longitudinal growth of bone in the treatment of deformities*. Journal of Bone and Joint Surgery. 15: p. 1-15.
105. Piorier H. (1968), *Epiphysial stapling and leg equalisation*. J Bone Joint Surg Br. 50(1): p. 61-9.
106. Pistevos G. and Duckworth T. (1977), *The correction of genu valgum by epiphysial stapling*. J Bone Joint Surg Br. 59(1): p. 72-6.
107. Raab P., et al. (2001), *Correction of length discrepancies and angular deformities of the leg by Blount's epiphyseal stapling*. Eur J Pediatr. 160(11): p. 668-74.
108. Rab G.T. (1988), *Oblique tibial osteotomy for Blount's disease (tibia vara)*. J Pediatr Orthop. 8(6): p. 715-20.
109. Rasis L.W., Betz.R.R., Clancy M., Ostrum R.F. and Steel H.H. (1988), *Comparison of percutaneous versus open epiphysiodesis for leg length discrepancy.*, in Proc. American Academy of Orthopaedic Surgeons 55th Annual Meeting. Atlanta.
110. Sabharwal S., et al. (2006), *Computed radiographic measurement of limb-length discrepancy. Full-length standing anteroposterior radiograph compared with scanogram*. J Bone Joint Surg Am. 88(10): p. 2243-51.
111. Salenius P. and Vankka E. (1975), *The development of the tibiofemoral angle in children*. J Bone Joint Surg Am. 57(2): p. 259-61.
112. Schroerlucke S., et al. (2009), *Failure of Orthofix eight-Plate for the treatment of Blount disease*. J Pediatr Orthop. 29(1): p. 57-60.
113. Shapiro F. (1982), *Developmental patterns in lower-extremity length discrepancies*. J Bone Joint Surg Am. 64(5): p. 639-51.
114. Skytta E., et al. (2005), *Stapling of knees with valgus deformity in children with juvenile chronic arthritis*. Clin Exp Rheumatol. 23(2): p. 270-2.
115. Skytta E.T., et al. (2008), *Outcome after temporary physeal stapling for knee valgus deformity in children with JIA*. Arch Orthop Trauma Surg. 128(10): p. 1213-6.
116. Steel H.H., Sandrow R.E. and Sullivan P.D. (1971), *Complications of tibial osteotomy in children for genu varum or valgum. Evidence that neurological changes are due to ischemia*. J Bone Joint Surg Am. 53(8): p. 1629-35.
117. Stephens D.C., Herrick W. and MacEwen G.D. (1978), *Epiphysiodesis for limb length inequality: results and indications*. Clin Orthop Relat Res. 136: p. 41-8.

118. Stevens P.M. (2007), *Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate*. J Pediatr Orthop. 27(3): p. 253-9.
119. Stevens P.M. and Arms D. (2000), *Postaxial hypoplasia of the lower extremity*. J Pediatr Orthop. 20(2): p. 166-72.
120. Stevens P.M. and Klatt J.B. (2008), *Guided growth for pathological physes: radiographic improvement during realignment*. J Pediatr Orthop. 28(6): p. 632-9.
121. Stevens P.M., MacWilliams B. and Mohr R.A. (2004), *Gait analysis of stapling for genu valgum*. J Pediatr Orthop. 24(1): p. 70-4.
122. Stevens P.M., et al. (1999), *Physeal stapling for idiopathic genu valgum*. J Pediatr Orthop. 19(5): p. 645-9.
123. Stevens P.M. and Pease F. (2006), *Hemiepiphysodesis for posttraumatic tibial valgus*. J Pediatr Orthop. 26(3): p. 385-92.
124. Wallace C.A. and Levinson J.E. (1991), *Juvenile rheumatoid arthritis: outcome and treatment for the 1990s*. Rheum Dis Clin North Am. 17(4): p. 891-905.
125. Wasmer G., Pfürringer W. (1987), *Ultrastruktur und Biochemie der Epiphysenfugen*, in *Die Epiphysenfugen*, R.B.H. Pfürringer W., Editor. perimed: Erlangen.
126. Westhoff B., Jager M. and Krauspe R. (2007), *Axes of the legs in childhood. What is pathologic?*. Orthopade. 36(5): p. 485-98; quiz 499-500.
127. Westhoff B., Wild A. and Krauspe R. (2002), *Development of the leg axis in childhood and treatment options for deformities near the knee joint*. Orthopade. 31(12): p. 1198-208; quiz 1208-9.
128. Wiemann J.M.t., Tryon C. and Szalay E.A. (2009), *Physeal stapling versus 8-plate hemiepiphysodesis for guided correction of angular deformity about the knee*. J Pediatr Orthop. 29(5): p. 481-5.
129. Wilkins K.E. (1986), *Bowlegs*. Pediatr Clin North Am. 33(6): p. 1429-38.
130. Zuege R.C., Kempken T.G, and Blount W.P. (1979), *Epiphyseal stapling for angular deformity at the knee*. J Bone Joint Surg Am. 61(3): p. 320-9.

8 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
Abb.	Abbildung
aFTW	anatomischer Femorotibialwinkel
aLDFW	anatomischer lateral-distaler Femurwinkel
a.-p.	anterioposterior
BAD	Beinachsendeformität
BLD	Beinlängendifferenz
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
et al.	at alia = und andere
ggf.	gegebenenfalls
h	Stunde(n)
M.	Morbus
MAD	mechanical axis deviation = mechanische Achsdeviation / Achsabweichung
mm	Millimeter
mMPTW	mechanischer medial-proximaler Tibiawinkel
mLDFW	mechanischer lateral-distaler Femurwinkel
N.	Nervus
o.ä.	oder ähnlich(e/en/es/em)
o.g.	oben genannt(e/en/es/em)
PACS	Picture Archiving and Communication System
PETS	Percutaneous Epiphysiodesis using Transphyseal Screws
PFFD	proximal femoral focal deficiency
p-Wert	probability-Wert, Signifikanzwert
s.o.	siehe oben
sog.	sogenannt(e/en/es/em)
s.u.	siehe unten
Tab.	Tabelle
TM	Trademark
u.a.	unter anderem
UKM	Universitätsklinikum Münster
USA	United States of America
v.a.	vor allem
WHO	World Health Organisation
z.B.	zum Beispiel
vs.	versus

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beinachsenstellungen und mechanische Achsdeviation	9
Abbildung 2: Kniegelenkwinkel	10
Abbildung 3: Physiologische Entwicklung des (anatomischen) tibiofemorale Winkels.....	12
Abbildung 4: Anatomie der Epiphysenfuge	13
Abbildung 5: Wachstumszonen und deren Anteile am Wachstumsprozess	14
Abbildung 6: Physiologische Entwicklung der Wachstumsgeschwindigkeit.....	15
Abbildung 7: Beinlängendifferenz, Mädchen, 12 Jahre, -2,5cm links.....	16
Abbildung 8: a.-p.-Röntgenaufnahme der linken Hand nach der Atlasmethode von Greulich und Pyle	19
Abbildung 9: Valgus- und Varusfehlstellung, jeweils nativ und in der a.-p.- Röntgenstandaufnahme	22
Abbildung 10: Wirkung der Hemiepiphysiodese mittels eight-Plate™ oder Blount-Klammer...	28
Abbildung 11: Beinlängendifferenzkorrektur durch die eight-Plate™ oder Blount-Klammer ...	29
Abbildung 12: Verfahren nach Canale	31
Abbildung 13: Blount-Klammern in situ	33
Abbildung 14: eight-Plate™ mit Schrauben vor Implantation und in situ	34
Abbildung 15: eight-Plate™ in situ: noch parallel stehende Schrauben, bereits divergierende Schrauben und Seitansicht.....	35
Abbildung 16: a.-p.-Ganzbeinstandaufnahme zur Operationsplanung	39
Abbildung 17: Aufsuchen der Epiphysenfuge und Einführen der eight-Plate™	40
Abbildung 18: Positionierung der eight-Plate™	41
Abbildung 19: Fixierung der eight-Plate™	42
Abbildung 20: Lagekontrolle a.p. und seitlich.....	42
Abbildung 21: Wundverschluss und Lokalanästhesie	43
Abbildung 22: Bestimmung des Hüftkopfzentrums mittels Kreisbogenschablone	48
Abbildung 23: Kniegelenk und Kniegelenkszentrum.....	49
Abbildung 24: Oberes Sprunggelenk und Sprunggelenkszentrum	49
Abbildung 25: Operationszeiten Implantation, Explantation	59
Abbildung 26: Aufenthaltsdauern Implantation, Explantation.....	59
Abbildung 27: Durchleuchtungszeiten Implantation, Explantation.....	60
Abbildung 28: Beinlängendifferenzen präoperativ und letzte Messung	62
Abbildung 29: Absolute Beinlängenkorrektur und Korrekturrate pro Monat und Fuge	62
Abbildung 30: Absolute Beinlängenkorrekturen an verschiedenen Lokalisationen.....	63
Abbildung 31: Beinlängendifferenz-Korrekturraten an verschiedenen Lokalisationen.....	64
Abbildung 32: Mechanische Achsabweichung präoperativ und letzte Messung (Varus).....	66
Abbildung 33: Winkelmaße mLDFW, mMPTW und aFTW präoperativ und letzte Messung (Varus).....	68
Abbildung 34: Absolute Korrekturen und Korrekturraten pro Monat ggf. auch pro Fuge des MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW (Varus).....	69

Abbildung 35: Absolute Korrekturen und Korrekturraten pro Monat von mLDFW und mMPTW (Varus).....	70
Abbildung 36: Mechanische Achsabweichung präoperativ und letzte Messung (Valgus)	72
Abbildung 37: Winkelmaße mLDFW, mMPTW und aFTW präoperativ und letzte Messung (Valgus).....	73
Abbildung 38: Absolute Korrekturen und Korrekturraten pro Monat ggf. auch pro Fuge des MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW (Valgus).....	74
Abbildung 39: Absolute Korrekturen und Korrekturraten pro Monat von mLDFW und mMPTW (Valgus)	75
Abbildung 40: Absolute Korrekturen des mLDFW, mMPTW, aFTW und der MAD bei Valgus- und Varusfehlstellung	78
Abbildung 41: Korrekturraten pro Monat des mLDFW, mMPTW, aFTW und der MAD (pro Monat und pro Fuge) bei Valgus- und Varusfehlstellung	80
Abbildung 42: Lockerungen von eight-Plates™	81
Abbildung 43: Bruch einer eight-Plate™	82
Abbildung 44: Absolutveränderungen von mLDFW, mMPTW, aFTW und MAD bei Varus- und Valgusfehlstellung	102

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Normwerte der Kniegelenkwinkel und der mechanischen Achsdeviation	10
Tabelle 2: Auflistung der in die Analyse einbezogenen Parameter abhängig von der Epiphysiodeselokalisation und Indikation.....	52
Tabelle 3: Mittelwerte Aufenthaltsdauer, Operationszeit und Durchleuchtungszeit für Implantation und Explantation	60
Tabelle 4: Alter und Skeletalter in den verschiedenen Indikationsgruppen	76
Tabelle 5: Absolutveränderungen mLDFW, mMPTW, aFTW und MAD	78
Tabelle 6: Korrekturraten mLDFW, mMPTW, aFTW und MAD	80
Tabelle 7: Komplikationen	82
Tabelle 8: Verbleib der eight-Plates™ bei den verschiedenen Indikationen	90
Tabelle 9: Absolute Beinlängenkorrekturen und Korrekturraten an den verschiedenen Epiphysiodeselokalisationen	93
Tabelle 10: Verteilung der Grunderkrankungen	104
Tabelle 11: Korrekturraten der verschiedenen Therapieformen	112

11 Erklärung der Selbstständigkeit

„Ich, Tim Werner Hagedorn, erkläre, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift mit dem Thema „Wachstumslenkung bei Beinlängendifferenzen und Beinachsenfehlstellungen - Klinische und radiologische Evaluation der temporären Epiphysiodese mittels Orthofix eight-PlateTM“ ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.“

Münster, 25.07.2012

Tim Werner Hagedorn

12 Lebenslauf

12 Lebenslauf

13 Danksagung

Hiermit möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Robert Rödl und Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Georg Gosheger für die freundliche Überlassung des Themas dieser Promotionsarbeit danken. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. Dieter Rosenbaum für seine Mitbeurteilung dieser Arbeit.

Im Weiteren danke ich Herrn Dr. med. Tim Christopher Buller für die Einführung in die Thematik, seine produktiven Vorschläge bei der Datenerhebung, die Überlassung zahlreicher Bilder und für weitere kompetente Unterstützung. Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. Björn Vogt, der mich mit immer kompetentem Rat, guten Verbesserungsvorschlägen und sehr viel Geduld bei der Fertigstellung und Korrektur dieser Arbeit bis zum Ende begleitet hat.

Ebenso danke ich ganz besonders meinen Eltern Heinz-Werner Hagedorn und Christel Domian-Hagedorn dafür, dass sie mir diese Promotion und das Studium der Humanmedizin ermöglichten und mich bei der Fertigstellung dieser Promotion unterstützten.

Besonders danken möchte auch meiner Freundin Kirsten für ihr Verständnis und ihren immerwährenden moralischen Rückhalt.

Nicht zuletzt danke ich meinen Freunden Stefan, Peter, Karsten und Axel, die mich zur Dissertation und zur Fertigstellung dieser Arbeit ermutigten sowie Reiner für seine Motivation.