

Aus der Fachklinik für Orthopädie dem Marienstift Arnstadt  
Akademisches Lehrkrankenhaus des Universitätsklinikums Jena  
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. med. Maik Hoberg

**Temporäre Hemiepiphyseodese bei  
idiopathischen Beinachsenfehlstellungen -  
klinische und radiologische Gegenüberstellung  
der VaWiKo<sup>®</sup> EPI-PLATTE und  
PediatrOS<sup>™</sup> FlexTack<sup>™</sup>  
- eine retrospektive Studie**

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
2023

vorgelegt von Enrico George  
aus Eisenach  
Würzburg, Februar 2023



## **Referentenblatt**

**Referent:** Professor Dr. med. Maik Hoberg

**Korreferent:** Professor Dr. med. Rainer Meffert

**Dekan:** Professor Dr. med. Matthias Frosch

**Tag der mündlichen Prüfung:** 04.09.2023

**Der Promovend ist Arzt**



Für Franziska,  
Magdalena und Raphael



# Inhaltsverzeichnis

<b><u>1</u></b>	<b><u>EINLEITUNG.....</u></b>	<b><u>1</u></b>
1.1	GRUNDLAGEN DER ANATOMIE .....	1
1.2	DIAGNOSTIK UND MESSMETHODEN DER UNTEREN EXTREMITÄT .....	4
1.3	ACHSFEHLSTELLUNGEN DER UNTEREN EXTREMITÄT .....	8
1.4	THERAPIE VON BEINACHSENFEHLSTELLUNGEN .....	11
1.5	TEMPORÄRE HEMIEPIPHYSEODESE MITTELS PEDIATROS™ FLEXTACK™ .....	18
1.6	TEMPORÄRE HEMIEPIPHYSEODESE MITTELS VAWiKo® EPI-PLATTE.....	20
1.7	FRAGESTELLUNG.....	20
<b><u>2</u></b>	<b><u>MATERIAL UND METHODEN.....</u></b>	<b><u>23</u></b>
2.1	STUDIENVORBEREITUNG.....	23
2.2	STUDIENTYP.....	24
2.3	PATIENTENAUSWAHL .....	24
2.4	THERAPIEVERLAUF .....	25
2.5	OPERATIONSVERFAHREN VAWiKo® EPI-PLATTE .....	30
2.6	OPERATIONSVERFAHREN PEDIATROS™ FLEXTACK™ .....	33
2.7	DATENERHEBUNG.....	37
<b><u>3</u></b>	<b><u>ERGEBNISSE.....</u></b>	<b><u>41</u></b>
3.1	DESKRIPTIVE ERGEBNISSE .....	41
3.1.1	PATIENTENKOLLEKTIV .....	41
3.1.2	VARUS-GRUPPE .....	42
3.1.3	VALGUS-GRUPPE .....	42
3.1.4	ALTER.....	43
3.1.5	KÖRPERGRÖßE .....	44
3.1.6	KÖRPERGEWICHT .....	44
3.1.7	BODY-MASS-INDEX .....	45
3.1.8	PERZENTILE .....	45

<b>3.2</b>	<b>ERGEBNISSE DES PRÄOPERATIVEN UNTERSUCHUNGSBEFUNDES .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3</b>	<b>ERGEBNISSE IM RAHMEN DER IMPLANTATION .....</b>	<b>47</b>
3.3.1	OPERATIONSZEIT IMPLANTATION.....	47
3.3.2	INTRAOPERATIVE DURCHLEUCHTUNGSZEIT IMPLANTATION.....	47
3.3.3	STATIONÄRE AUFENTHALTSDAUER IMPLANTATION .....	47
<b>3.4</b>	<b>ERGEBNISSE IM RAHMEN DER EXPLANTATION.....</b>	<b>49</b>
3.4.1	OPERATIONSZEIT EXPLANTATION .....	49
3.4.2	INTRAOPERATIVE DURCHLEUCHTUNGSZEIT EXPLANTATION .....	50
3.4.3	STATIONÄRE AUFENTHALTSDAUER EXPLANTATION.....	50
<b>3.5</b>	<b>ERGEBNISSE DER PRÄOPERATIVEN BILDGEBENDEN DIAGNOSTIK.....</b>	<b>52</b>
3.5.1	PRÄOPERATIVE MAD DER GESAMTPOPULATION .....	52
3.5.2	PRÄOPERATIVER mLDFW DER GESAMTPOPULATION .....	52
3.5.3	PRÄOPERATIVER MMPTW DER GESAMTPOPULATION .....	52
3.5.4	PRÄOPERATIVER AFTW DER GESAMTPOPULATION .....	53
3.5.5	ÜBERSICHT DER PRÄOPERATIVEN ERGEBNISSE IN DER GESAMTPOPULATION.....	53
<b>3.6</b>	<b>ERGEBNISSE DER POSTOPERATIVEN BILDGEBENDEN DIAGNOSTIK.....</b>	<b>54</b>
3.6.1	POSTOPERATIVE MAD DER GESAMTPOPULATION .....	54
3.6.2	POSTOPERATIVER mLDFW DER GESAMTPOPULATION .....	54
3.6.3	POSTOPERATIVER MMPTW DER GESAMTPOPULATION.....	54
3.6.4	POSTOPERATIVER AFTW DER GESAMTPOPULATION.....	55
3.6.5	ÜBERSICHT DER POSTOPERATIVEN ERGEBNISSE IN DER GESAMTPOPULATION .....	55
<b>3.7</b>	<b>PRÄ- UND POSTOPERATIVE ERGEBNISSE DER VALGUS- UND VARUS-GRUPPE IM VERGLEICH .....</b>	<b>56</b>
3.7.1	MAD DER VALGUS-GRUPPE .....	56
3.7.2	MAD DER VARUS-GRUPPE .....	57
3.7.3	mLDFW DER VALGUS-GRUPPE .....	58
3.7.4	mLDFW DER VARUS-GRUPPE .....	60
3.7.5	mMPTW DER VALGUS-GRUPPE .....	61
3.7.6	mMPTW DER VARUS-GRUPPE.....	62
3.7.7	AFTW DER VALGUSGRUPPE.....	64
3.7.8	AFTW DER VARUSGRUPPE.....	65
<b>3.8</b>	<b>ERGEBNISSE DER THERAPIEDAUER .....</b>	<b>67</b>

<b>3.9</b>	<b>ERGEBNISSE DER KOMPLIKATIONSANALYSE .....</b>	<b>69</b>
<b><u>4</u></b>	<b><u>DISKUSSION.....</u></b>	<b><u>70</u></b>
<b>4.1</b>	<b>INTERPRETATION DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>71</b>
4.1.1	INTERPRETATION DER DESKRIPTIVEN ERGEBNISSE .....	71
4.1.2	INTERPRETATION DER ERGEBNISSE IM RAHMEN DER IM- UND EXPLANTATION....	72
4.1.3	INTERPRETATION DER ERGEBNISSE IM PRÄ- UND POSTOPERATIVEN VERGLEICH..	76
<b>4.2</b>	<b>STÄRKEN UND SCHWÄCHEN DER STUDIE .....</b>	<b>80</b>
<b>4.3</b>	<b>AUSBLICK .....</b>	<b>81</b>
<b><u>5</u></b>	<b><u>ZUSAMMENFASSUNG.....</u></b>	<b><u>83</u></b>
<b><u>6</u></b>	<b><u>LITERATURVERZEICHNIS.....</u></b>	<b><u>84</u></b>

## **APPENDIX:**

- I. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**
- II. ABBILDUNGSVERZEICHNIS**
- III. TABELLENVERZEICHNIS**
- IV. DANKSAGUNG**

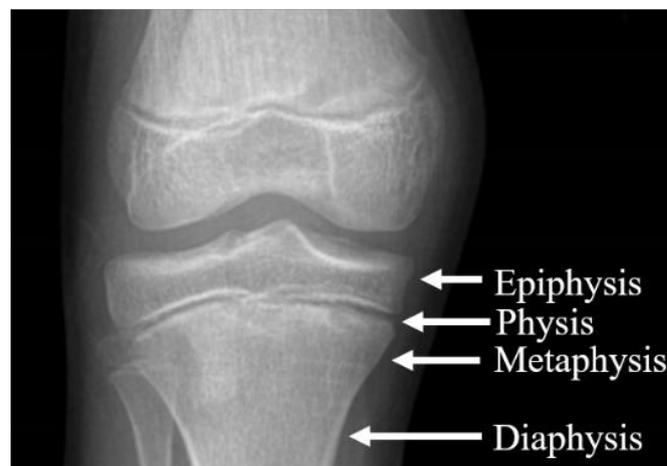


# 1 Einleitung

## 1.1 Grundlagen der Anatomie

Der Knochen gilt neben dem Zahnschmelz als einer der härtesten Substanzen des menschlichen Körpers, sodass dieser großen Kräften standhalten kann. (1) Die langen Röhrenknochen werden in drei verschiedene Abschnitte unterteilt, die Diaphyse, Metaphyse und Epiphyse. Zwischen der Metaphyse und der Epiphyse befindet sich die Epiphysenfuge, welche für das Längenwachstum verantwortlich ist. (2)

In Abbildung 1 wird die Einteilung der kindlichen proximalen Tibia anhand einer konventionellen Röntgenaufnahme in anterior-posteriore Projektion dargestellt. (3)



*Abbildung 1: Anatomische Einteilung der proximalen Tibia anhand einer konventionellen Röntgenaufnahme im anterior-posterioren-Strahlengang, mit freundlicher Genehmigung der MDPI AG Basel (Quelle: Biomechanical Analysis of Staples for Epiphysiodesis, Applied Sciences, Frydryšek K, 2022) (3)*

Der größte Anteil des Längenwachstums der unteren Extremitäten erfolgt in den kniegelenksnahen Wachstumsfugen. Beim Femur beträgt dies 70% und bei der Tibia 55% des Gesamtwachstums des jeweiligen Knochens. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass insgesamt 65% des gesamten Wachstums der unteren Extremitäten in den

kniegelenksnahen Epiphysenfugen stattfindet. (Abb. 2) Das unterstreicht die hervorzuhebende Bedeutung der Wachstumsfugen und verdeutlicht zum einen damit verbundene Risiken im Rahmen einer Epiphysenfugenverletzung, aber auch therapeutische Möglichkeiten bei Achs- oder Beinlängenkorrekturen. (1)

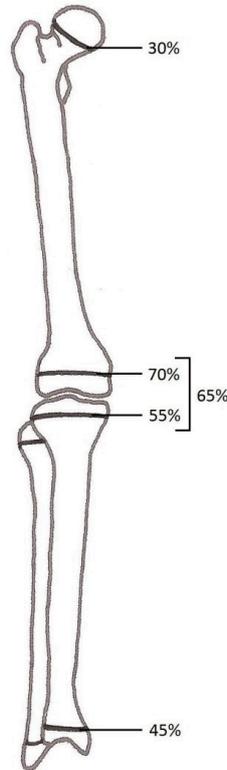


Abbildung 2: Modifizierte Darstellung der Wachstumszonen und deren Anteile am Wachstumsprozess der unteren Extremität, mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart (Quelle: *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*, von Laer L., 1986) (4)

In der histologischen Betrachtung der Epiphysenfuge können, entsprechend der Abbildung 3, fünf verschiedene Zonen unterteilt werden. Hierzu zählt die aus hyalinem Knorpel bestehende und an den Epiphysenkern angrenzende Reservezone. An diese grenzt zunächst die Transformationszone, ehe die eigentliche aus Säulenknorpel bestehende Wachstumszone folgt. Von der Basis der Knorpelsäulen aus nimmt die Menge der Chondrozyten zu. Diese Zone lässt sich erneut in unterschiedliche Bereiche unterteilen und wird als Blasenknorpel bezeichnet. Sie bildet den Übergang zum enchondralen Ossifikationsbereich der Diaphyse. In Richtung der Metaphyse brechen die Knorpelhöhlen auf und werden zunehmend mineralisiert, sodass dieses Areal als

Verkalkungszone bezeichnet wird. Abschließend bleiben septenartige Knorpelreste übrig, an die sich die durch das metaphysäre Blutgefäßsystem zugeführten Osteoblasten anlagern können und zu einem Knorpelabbau beziehungsweise Knochenaufbau führen.

Das tatsächliche Zellreservoir der Epiphysenfuge stellen die den epiphysären Knochenkern umgebenden Stammzellen dar. (5)

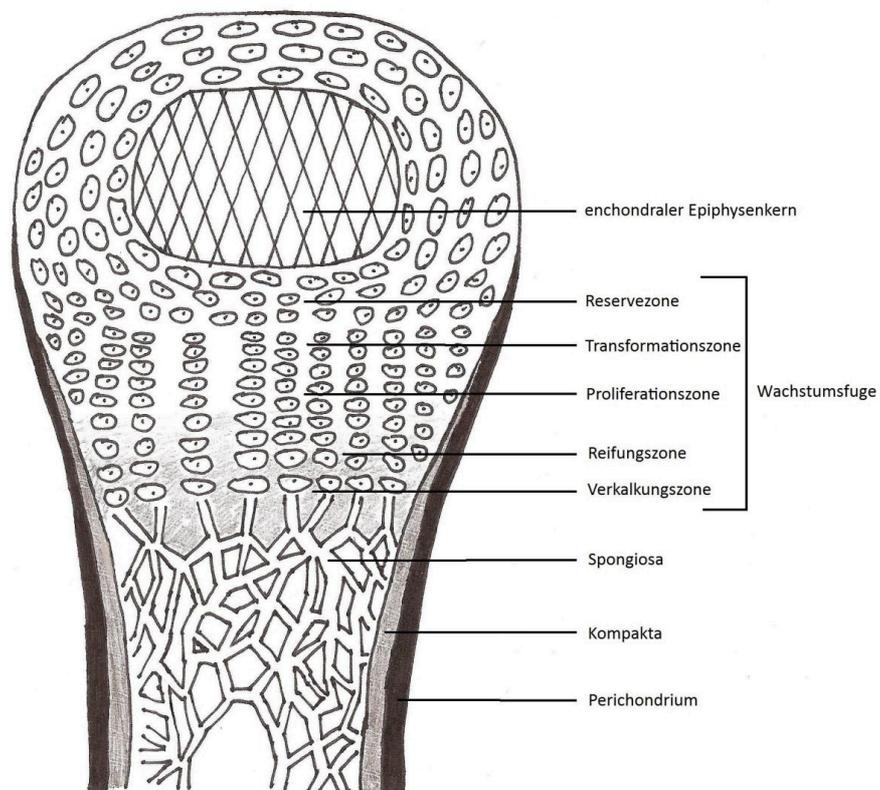


Abbildung 3: Modifizierte Darstellung der Wachstumsfugenanatomie, mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart (Quelle: Orthopädie, Niethard FU, 2005) (6)

Aus klinischer Betrachtungsweise kann die Epiphysenfuge in zwei Anteile unterschieden werden. Den epiphysären Anteil, welcher eine Proliferationspotenz aufweist und den metaphysären Anteil ohne Proliferationspotenz. (7)

Da das Wachstum ein zeitlich begrenzter Prozess ist, sollten Korrekturen bis zum Schluss der Wachstumsfugen abgeschlossen sein. Dieser Zeitpunkt ist zwar relativ individuell, liegt jedoch meistens bei den Mädchen um das 14. Lebensjahr. Bei den Jungen tritt der Epiphysenschluss in aller Regel erst mit dem 16. Lebensjahr ein. (8)

## **1.2 Diagnostik und Messmethoden der unteren Extremität**

Das Auftreten von Kniegelenksbeschwerden im Kindesalter bedarf einer umfangreichen orthopädischen Untersuchung, da die zugrundeliegenden Ursachen vielfältig sein können. (9)

Bei vorliegenden mobilitätslimitierenden Kniegelenksbeschwerden oder Instabilitäten, sollte stets eine Beinachsendiformität in Betracht gezogen werden. (10)

Neben einer ausführlichen Anamnese ist eine strukturierte körperliche Untersuchung von entscheidender Bedeutung. Gerade bei adipösen Kindern kann eine Achsfehlstellung ausgeprägter erscheinen, als tatsächlich vorliegend. Das ist vor allem beim Genu valgum der Fall, wobei ein erhöhtes Körpergewicht hierbei sogar zusätzlich als Risikofaktor gilt. (11)

Unter Einbeziehung des kindlichen Alters ist bei der klinischen Untersuchung der unteren Extremitäten vornehmlich auf Symmetrie, Ausmaß und Richtung der Fehlstellung zu achten. (9)

Nach einer Beurteilung des Gangbildes erfolgt die weiterführende Diagnostik bei neutraler Ausrichtung des Kindes und nach vorne gerichteten Patellae. Hierbei kann zunächst der Abstand zwischen den beiden Femurkondylen, der als Interkondylarabstand bezeichnet wird, gemessen werden. Dieser sollte nach vollendetem 8. bis 10. Lebensjahr nicht über 2 cm liegen. (12)

Einen weiteren Messwert stellt der Intermalleolarabstand dar, der in der gleichen Altersgruppe nicht größer als 10 cm sein sollte. (13)

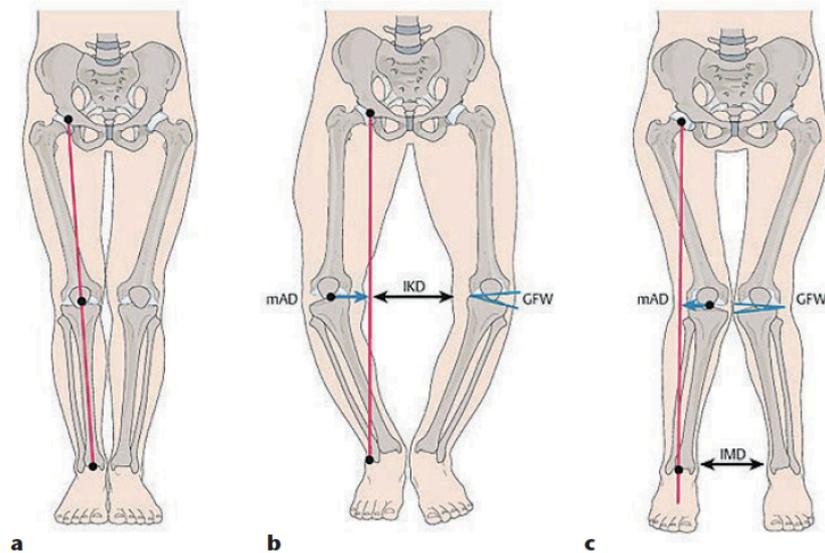


Abbildung 4: Schematische Darstellung der mechanischen Beinachse mit Berechnung der MAD, des Intermalleolar- und Interkondylarabstandes: a) gerade Beinachsen; b) Genua vara; c) Genua valga, mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart (Quelle: OUP - Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis, Rippke JN EA, 2019) (14)

Ergibt sich aus der Anamnese und der körperlichen Untersuchung der Verdacht einer therapiebedürftigen pathologischen Deformität der Beine, besteht die Indikation zur Anfertigung einer bilateralen Ganzbeinstandaufnahme im anterioren-posterioren-Strahlengang. (10)

Anhand der Röntgenaufnahme kann sowohl die anatomische, als auch die mechanische Beinachse bestimmt werden. Bei der mechanischen Achse handelt es sich um eine Linie zwischen Hüftkopfmittelpunkt und dem Zentrum des Sprunggelenkes in der Frontalebene. (15) Diese wird auch als Mikulicz-Linie bezeichnet und verläuft physiologisch leicht medial der Eminentia intercondylaris. Der Abstand zwischen dem Mittelpunkt des Kniegelenkes und der mechanischen Beinachse wird als „mechanical axis deviation“ (MAD) bezeichnet und in Millimetern angegeben. (16) Der Normbereich der MAD liegt bei  $8 \pm 7$  mm. (17) Eine therapierrelevante Abweichung der MAD von mehr als 15 mm nach medial wird als pathologischer Varus und eine Abweichung von mehr als 10 mm nach lateral als pathologischer Valgus bezeichnet. (18)

Eine weitere Möglichkeit zur Einschätzung der Beinachsenfehlstellung unter Beachtung der Kniegelenksbreite, ist die Einteilung der Röntgenaufnahme des Kniegelenkes in 3 Zonen. (Abb. 5) Liegt die MAD in Zone 1 besteht zunächst kein operativer Handlungsbedarf. Die MAD-Zone 2 stellt eine relative und Zone 3 eine absolute OP-Indikation dar. (15)

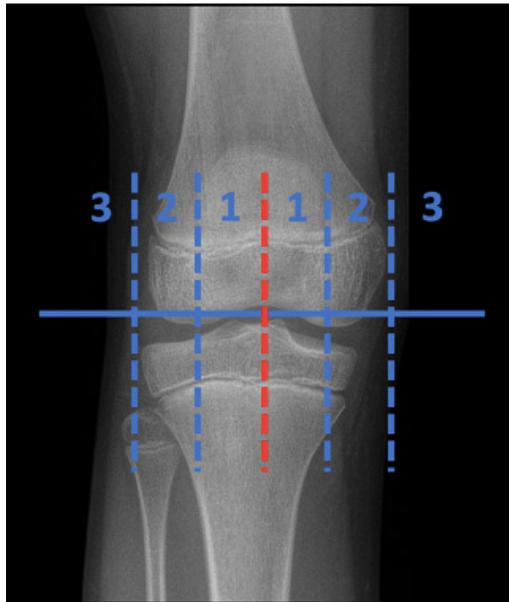


Abbildung 5: Einteilung der MAD- Zonen am Kniegelenk in 3 Areale, mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (Quelle: Orthopade, Willegger M, 2022) (15)

Um den Ursprung der bei pathologischer MAD vorliegenden kindlichen Achsdeviation genauer zu bestimmen, entwickelte Dror Paley den so genannten Malalignment-Test. (18) Dadurch besteht die Möglichkeit anhand einer Ganzbeinstandaufnahme herauszufinden, ob es sich um eine femoral- oder tibial bedingte Achsfehlstellung handelt.

Mit Hilfe des mechanischen lateralen distalen Femurwinkels (mLDFW) kann herausgefunden werden, ob eine femoral bedingte Fehlstellung des Kniegelenkes vorliegt. Der Normbereich der mLDFW liegt bei  $87^\circ \pm 3^\circ$ , wobei eine Abweichung der Norm nach unten für eine Valgus- und eine Abweichung nach oben für eine Varusfehlstellung spricht.

Zur Beurteilung einer tibial bedingten Achsfehlstellung, kommt der mechanische mediale proximale Tibiawinkel (mMPTW) zur Anwendung. Der Normbereich liegt ebenfalls bei  $87^\circ \pm 3^\circ$ , wobei entgegen des mLDFW eine Normabweichung nach unten beim mMPTW auf eine Varus- und eine nach oben auf eine Valgusfehlstellung hindeutet. (10, 18) Einen grafischen Überblick darüber gibt Abbildung 6.

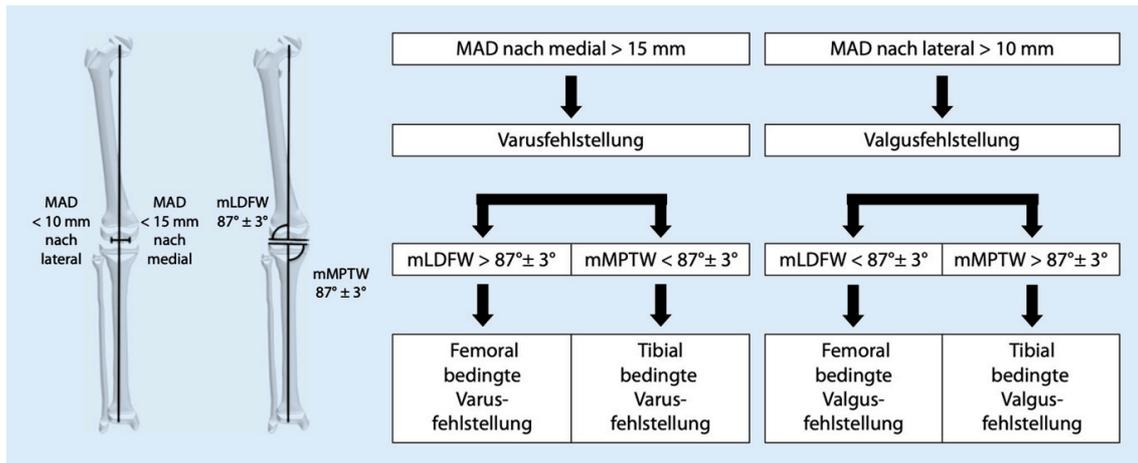


Abbildung 6: Malalignment-Test zur Verifizierung der kniegelenksnahen, frontalen Beinachsenpathologie, mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (Quelle: Orthopade, Vogt B, 2014) (10)

Anhand der anatomischen Beinachse kann zusätzlich der laterale Winkel zwischen Femur- und Tibiaschaftlinie ermittelt werden, welcher als anatomischer femorotibialer Winkel (aFTW) bezeichnet wird und einen Normbereich zwischen  $173^\circ$  und  $175^\circ$  aufweist. (19), (Abb. 7)

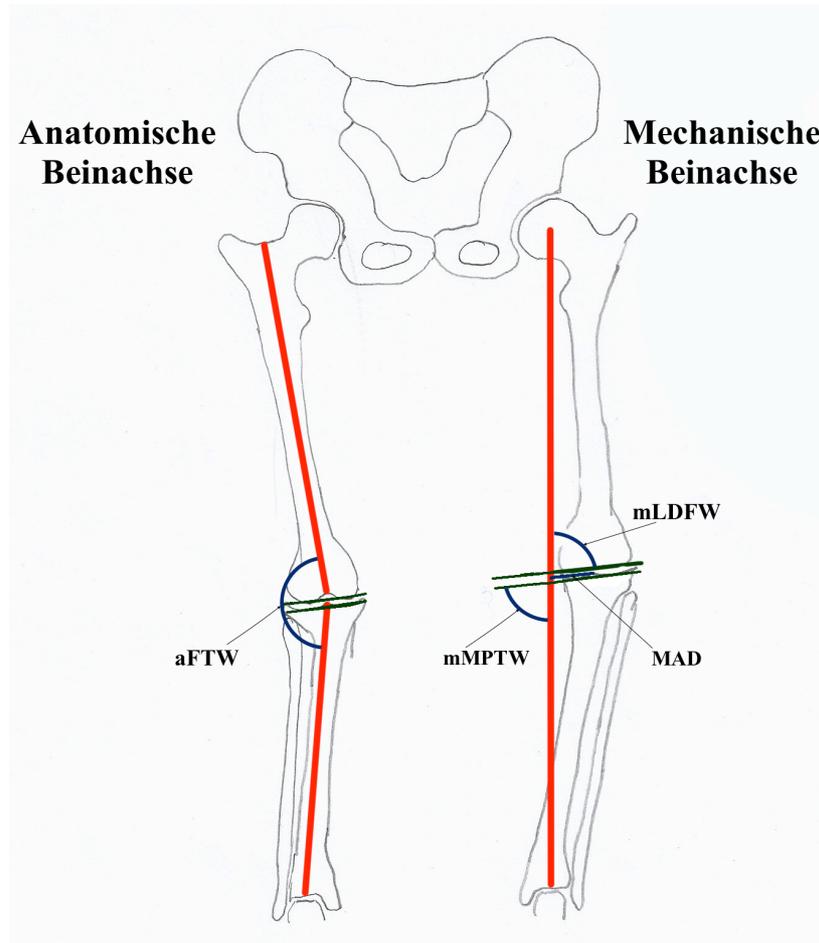


Abbildung 7: Unterscheidung der anatomischen und mechanischen Beinachse mit daraus resultierender Bemessungsgrundlage des MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW, mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (modifiziert nach „Mechanische und anatomische Achsverhältnisse an der unteren Extremität“, Orthopade, Willegger M, 2022) (15)

Ursprünglich beschrieb Paley die entsprechenden Winkelbemessungen in Bezug auf das ausgereifte Skelett im Erwachsenenalter. In verschiedenen Studien konnte jedoch der Bedeutungsbereich selbiger auch auf das kindliche Skelett übertragen werden, sodass die mechanischen Winkelwerte zur Beurteilung einer möglichen Pathologie genutzt werden können. (20-22)

### 1.3 Achsfehlstellungen der unteren Extremität

Ein besonderes Augenmerk wird in der kinderorthopädischen Untersuchung auf mögliche Achsfehlstellungen der unteren Extremitäten gelegt. Dies begründet sich in der daraus

resultierenden Prädisposition für degenerative Erkrankungen, wie eine vorzeitige Arthroseausbildung. (22)

Bei kindlichen Beinachsenfehlstellungen treten meist Gangstörungen mit begleitender Gelenkinstabilität und damit einhergehenden belastungsabhängigen Beschwerden auf. Mit einer fortschreitenden Gangstörung sind sowohl die Kniegelenke, als auch die Hüft- und Sprunggelenke pathologischen Biege-, Scher- und Torsionskräften ausgesetzt. (23)

Das Risiko einer präarthrotischen Deformität wird in der Literatur beim Genu varum, im Vergleich zum Genu valgum, als größer beschrieben. (17)

Beinachsenfehlstellungen zählen neben den Beinlängendifferenzen zu den häufigsten Wachstums- und Entwicklungsstörungen der unteren Extremitäten im Kindesalter. Bis zu einem gewissen Ausmaß sind Beinachsenabweichungen während der kindlichen Entwicklung physiologisch, sodass in einer Vielzahl der Fälle keine oder lediglich eine konservative Therapie ausreichend ist, um eine gerade Beinachse zu erlangen. (24)

Zum Zeitpunkt der Geburt liegt physiologisch eine durchschnittliche Varusachse des Beines von  $15^\circ$  vor. (2) Diese gilt bis zu einem Alter von 2 Jahren nicht als pathologisch. (25) Mit Laufbeginn sollte sich die mechanische Beinachse des Kniegelenkes annähernd in der Neutralstellung befinden, ehe sie sich zu Gunsten einer Valgusstellung von ungefähr  $10^\circ$  erneut ändert. Die endgültige und als physiologische Beinachse betrachtete Valgusstellung von  $5-7^\circ$  wird meist erst in einem Alter von 10 Jahren erreicht. (2)

Entsprechend der im Wachstum auftretenden Beinachsenveränderungen, sind ebenso Entwicklungen beim kindlichen Intermalleolenabstand zu verzeichnen. Der Intermalleolenabstand erreicht sein Maximum von 2-4 cm meist um das 3. Lebensjahr, bevor sich auch dieser rückläufig zeigt und eine Berührung der Malleolen sowie der Femurkondylen meist erst mit Erreichen der endgültigen, physiologischen Beinachse möglich ist. (2) Einen grafischen Überblick der kindlichen Kniegelenksachsen- und Intermalleolen-Abstandsveränderungen gibt Abbildung 8.

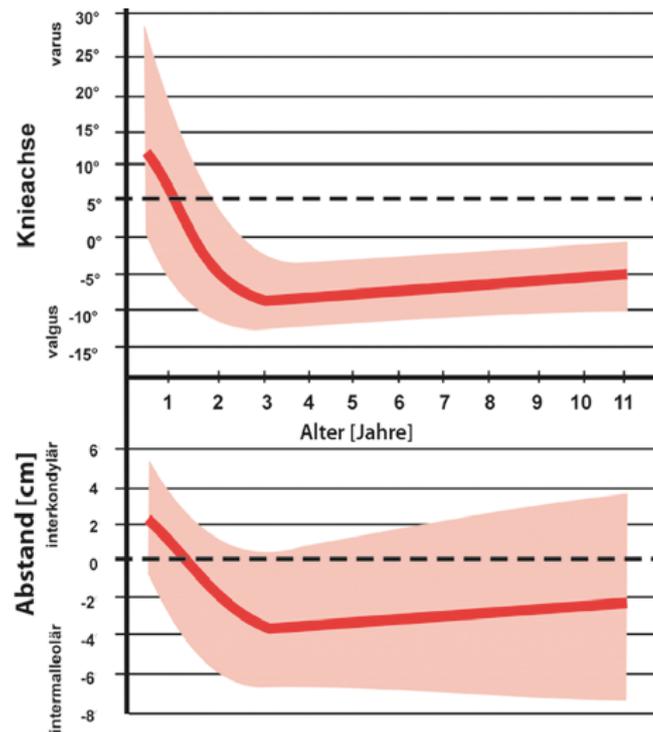


Abbildung 8: Veränderung der Knieachse (oben) und des Intermalleolar bzw. Intercondylar-Abstandes (unten) im Laufe des Wachstums, mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (Quelle: Kinderorthopädie in der Praxis, Hefti F, 2015) (2)

Weicht die kindliche Kniegelenksachse oder der Intermalleolenabstand von den physiologischen Normveränderungen ab, so besteht die Indikation zur weiterführenden Diagnostik. Betreffen diese Veränderungen beide unteren Extremitäten in ähnlichem Ausmaß, so liegt in den meisten Fällen eine idiopathische Achsabweichung vor. Dennoch kann auch eine hereditäre Pathologie oder eine systemische Grunderkrankung ursächlich sein. (17, 26)

Liegt hingegen eine unilaterale Beinachsenveränderung in der Frontalebene vor, so ist eine sekundäre Ursachenforschung obligat. Ursächlich hierfür können unter anderem Frakturen, Tumore oder Infektionen sein, die zu einer Verletzung der Epiphysenfuge führen. (17)

Ebenso können unter anderem systemische Stoffwechselerkrankungen, Skelettdysplasien oder kongenitale Fehlbildungen einer Beinachsenpathologie zu Grunde liegen. (17, 27)

Einen Überblick zur Ätiologie von Beinachsenabweichungen in der Frontalebene gibt Abbildung 9.

Idiopathisch
Adipositas (bevorzugt Genua valga)
Schädigung der Wachstumsfuge (Trauma, Infekt, Tumor)
Stoffwechselerkrankungen [Rachitis (bevorzugt Genua vara), Phosphatdiabetes, renale Osteodystrophie (bevorzugt Genua valga)]
Kongenitale Systemerkrankungen [z. B. multiple kartilaginäre Exostosenkrankheit, Achondroplasie Osteogenesis imperfecta, Marfan-Syndrom (Genua valga), spondyloepiphysäre Dysplasie, metaphysäre Chondrodysplasie]
Lähmungen
Morbus Blount (Genu varum)
Fokale fibrokartilaginäre Dysplasie (Genu varum)
Rheumatoide Arthritis (Genu valgum)
Fibulaaplasie/-hypoplasie (Genu valgum)
Fibröse Dysplasie, Morbus Ollier (Genu valgum)

Abbildung 9: Ätiologie der Beinachsenabweichung in der Frontalebene (Genu varum/valgum), mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (Quelle: Der Orthopäde, Westhoff B, 2007) (17)

#### 1.4 Therapie von Beinachsenfehlstellungen

Eine orthopädische Diagnostik und Therapieeinleitung kommt bei einer Beinachsenfehlstellung, die nicht auf eine therapierbare Grunderkrankung zurückzuführen ist, in aller Regel erst nach Laufbeginn in Betracht. (28)

Anschließend spielen sowohl konservative, als auch operative Therapieoptionen in der Behandlung von Beinachsenfehlstellungen eine Rolle. Hierbei ist anzumerken, dass die Möglichkeiten der konservativen Therapie und auch deren Wirksamkeit überschaubar sind. Der therapeutische Einsatz von Nachtlagerungsschienen zur Korrektur eines Genu varum oder Genu valgum hat in der Vergangenheit zunehmend an Bedeutung verloren. Das ist darin begründet, dass im Rahmen der nächtlichen Anwendung keine dynamischen Kräfte wirken und die Korrektur eher im Gelenk als im Knochen stattfindet. Eine weitere nichtinvasive Behandlungsmöglichkeit stellt eine Schuhranderhöhung dar. (12)

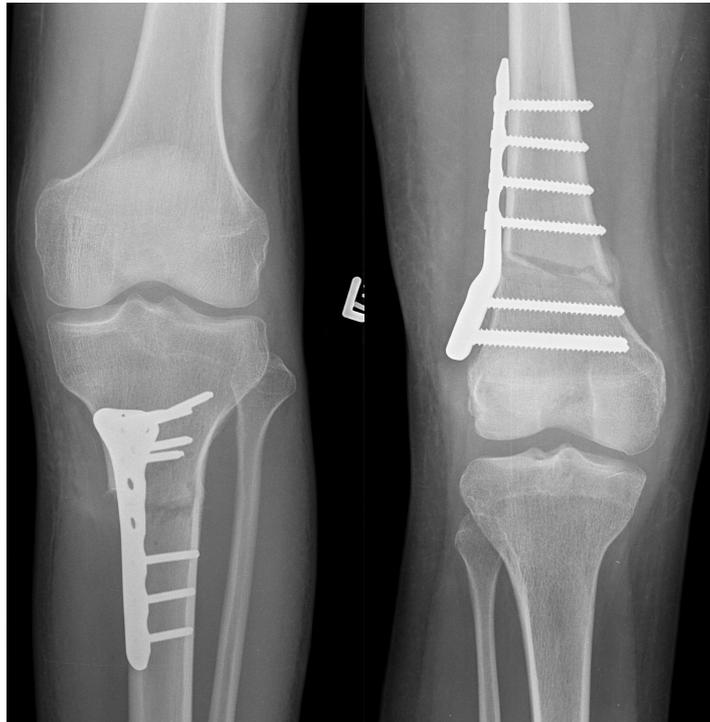
Neben den konservativen Therapieverfahren zur Korrektur von Achsfehlstellungen stehen verschiedene operative Möglichkeiten zur Verfügung.

Bei ausgeprägter O- beziehungsweise X-Beinstellung und progredientem Verlauf können nach dem 4. Lebensjahr Beinachsenfehlstellungen mittels infrakondylärer proximaler Tibiakorrekturosteotomie behandelt werden. Dabei erfolgt die Osteotomie-Fixierung bei kleineren Kindern durch gekreuzte Kirschnerdrähte, die bis zur sicheren Konsolidierung

durch einen Oberschenkelgips unterstützt werden. Bei älteren Kindern kann anstelle dessen ein Fixateur externe zum Einsatz kommen. Sind die kniegelenksnahen Wachstumsfugen bereits verschlossen, wird die relevante Deformität in der Regel mit einer Korrekturosteotomie therapiert. (17)

In unserer kinderorthopädischen Klinik erfolgt bei bereits verschlossenen Wachstumsfugen und einem symptomatischen tibialen Genu varum in der Regel eine extraligamentäre tiefe Tibiakopfosteotomie mit plattenosteosynthetischer Fixierung.

(Abbildung 10) Bei einer symptomatischen femoralen Valgus-Deformität, führen wir nach Abschluss des Wachstums in den meisten Fällen eine aufklappende, varisierende distale Femurosteotomie durch. (Abbildung 10)



*Abbildung 10: links: postoperativer Befund bei primär symptomatischem Genu varum nach aufklappende, extraligamentärer, tiefer Tibiakopfosteotomie; rechts: primär symptomatisches Genu valgum nach aufklappende, varisierende Femurosteotomie distal, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Auf Grund eines hohen Komplikationspotentials sind diese Verfahren bei noch offenen Wachstumsfugen zunehmend in das Hintertreffen geraten, sodass die Indikation zur Osteotomie in unserer Klinik nur noch nach Abschluss des Wachstums gestellt wird. (29)

Ein mit deutlich weniger Komplikationen einhergehendes Operationsverfahren zur Korrektur von frontalen Beinachsendiformitäten stellt die Hemiepiphyseodese dar. (29) Dieses wachstumslenkende Verfahren nutzt das Wachstumspotential der Epiphysenfuge, durch einen asymmetrischen Arrest des Fugenwachstums, aus. (30) Der Therapieansatz begründet sich auf dem Hueter-Volkman-Gesetz, welches einen Wachstumsstopp bei komprimierender Krafteinwirkung auf die Wachstumsfuge beschreibt. (31)

Ein entscheidender Faktor für den gewünschten Therapieerfolg der Hemiepiphyseodese ist die zeitliche Koordination der Im- und Explantation in Verbindung mit einer sorgfältigen Nachkontrolle, um mögliche Über- oder Unterkorrekturen zu vermeiden. (23)

Zur Planung eines günstigen Operationszeitpunktes der Durchführung einer temporären Hemiepiphyseodese können Wachstumskurven und Nomogramme zu Hilfe genommen werden. (32)

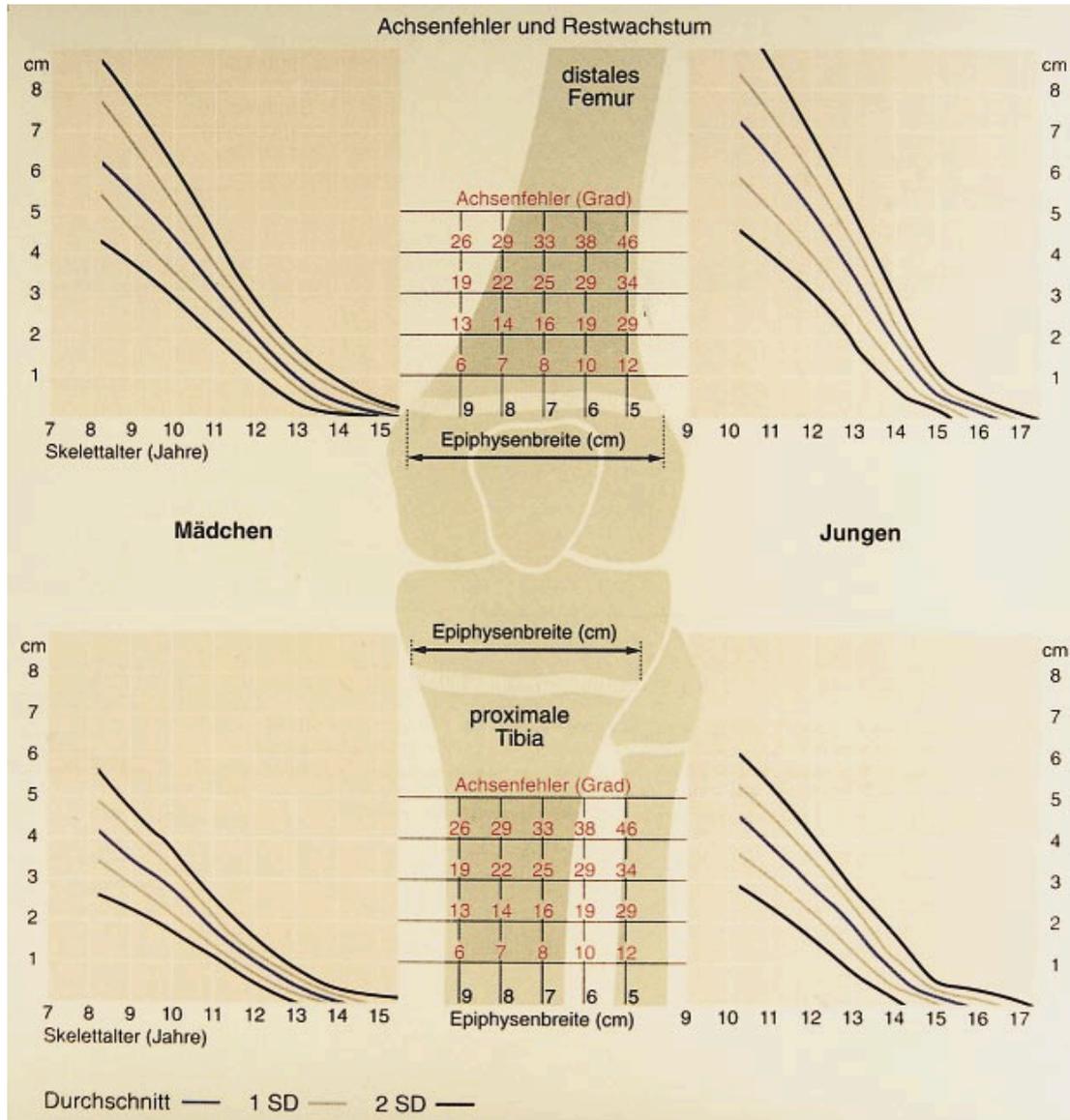


Abbildung 11: Nomogramm zur geschlechterabhängigen Bestimmung der Winkelkorrektur durch die Hemiepiphyseodese unter Beachtung des Skelettalters, mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (Quelle: Orthopade, Gladbach B, 2000) (32)

Mit dem in Abbildung 11 dargestellten Nomogramm, kann die zu erwartende Winkelkorrektur durch einen operativen Eingriff im Sinne einer Hemiepiphyseodese bei Genu varum und Genu valgum abgeschätzt werden. Der Abbildung zu entnehmen sind die jeweiligen Wachstumskurven des distalen Femurs und der proximalen Tibia, getrennt betrachtet von Mädchen und Jungen. Hierbei wird die Abhängigkeit des zu erreichenden Korrekturwinkels von der jeweiligen Epiphysenfugenbreite und dem Skelettalter deutlich. (32)

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung des Längenwachstumspotentials im Kindesalter ist die Methode nach Menelaus. Dabei wird von einem fest definierten Wachstum ausgegangen, welches im Bereich des distalen Femurs bei 0,95 cm und an der proximalen Tibia bei 0,64 cm pro Jahr liegt. (33)

Das Skeletalter kann ebenfalls mit einer konventionellen Röntgenaufnahme der linken Hand im anterior-posterioren-Strahlengang bestimmt werden. Da hierfür der Einsatz zusätzlicher Röntgenstrahlung notwendig ist, werden zunehmend die zuvor genannten Möglichkeiten zur Bestimmung des Skeletalters präferiert. (34)

Bei der Hemiepiphyseodese wird ein permanentes- und ein temporäres Verfahren unterschieden, wobei letzteres zunehmend an Bedeutung gewinnt. (35)

Den Grundstein der permanenten Hemiepiphyseodese legte Dallas B. Phemister bereits im Jahre 1933. Mit der Absicht einer epiphysiodiaphysialen Verbindung entwickelte er erstmalig eine Operationstechnik zur gezielten Manipulation der Wachstumsfuge. Bei diesem Verfahren wurde ein Knochenblock aus dem peripheren Epiphysenbereich entnommen, gedreht und wieder implantiert. (36)

In den Folgejahren wurden die permanenten Operationstechniken durch den Einzug weiterer medizin-technischer Möglichkeiten zunehmend weniger invasiv und komplikationsärmer. Seit den 1980er Jahren wurden zunehmend perkutane Aufbohrungen mit Fugen-Kürrettage zur Verödung der Wachstumsfuge eingesetzt. (10) Insgesamt werden die permanenten Hemiepiphyseodese-Techniken auf Grund der Irreversibilität kritisch betrachtet, da bei Fehleinschätzung des richtigen Interventionsmomentes ein vorzeitiger, verspäteter oder ausbleibender Wachstumsstopp auftreten kann. (37)

Um die Gefahr einer Überkorrektur zu vermeiden, wird im Marienstift Arnstadt die Indikation zur permanenten Hemiepiphyseodese nahezu ausschließlich kurz vor dem Epiphysenfugenschluss gestellt. Die in Abbildung 12 dargestellten intraoperativen Aufnahmen, zeigen eine perkutane permanente Hemiepiphyseodese bei einem 15-jährigen Jungen mit schon fast verschlossenen Fugen.



*Abbildung 12: permanente Hemiepiphyseseodese des distalen Femurs und der proximalen Tibia medial, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Bereits im Jahre 1949 beschrieben Blount und Clarke reversible operative Verfahren zur Beeinflussung des Knochenwachstums im Bereich der Epiphyse. (38)

Erstmalig wurde ein Operationsverfahren beschrieben, welches das natürliche Knochenwachstum ausnutzt und dadurch eine Manipulation einer Deformität der unteren Extremitäten möglich wurde. Mit der so genannten Blount-Klammer konnten seither vor allem Achsfehlstellungen der kindlichen Beine bei geöffneten Wachstumsfugen operativ korrigiert werden. Hierbei wird die Wachstumsfuge gezielt durch meist zwei bis drei Klammern überbrückt und dadurch fixiert, sodass bei isolierter medialer oder lateraler Epiphysenfugenfixierung eine Wachstumslenkung erzielt werden kann.

Dieses operative Verfahren, welches zu den temporären Hemiepiphyseseodesen zählt, kann bei medialer Epiphysenfugen-Implantation zur Korrektur eines vorbestehenden Genu valgum eingesetzt werden. Wird die Klammer auf die laterale Fuge aufgesetzt, so wird das Längenwachstum am lateralen Kniegelenk gehemmt, sodass eine Korrektur eines primären Genu varum möglich ist.

Bei Fixierung des medialen und lateralen Fugenanteils durch jeweils eine Klammer kann eine Hemmung des Längenwachstums der gesamten unteren Extremität erzielt werden. Diesen Effekt macht man sich bei der Therapie von Beinlängendifferenzen zu Nutzen. Der operative Eingriff wird als Epiphyseseodese oder auch Wachstumsbremsung

bezeichnet. Einen großen Vorteil dieses Verfahrens, stellt die zeitliche Begrenzung des therapeutischen Nutzens dar. Nach Erreichen des Therapieziels und Explantation des Implantats, wird das Wachstum im Bereich der Epiphysenfuge wieder aufgenommen. Daraus ergibt sich die Bezeichnung einer temporären (Hemi-) Epiphysiodese. (3)

Hierbei wurde ein frühzeitiger Therapiebeginn als prognostisch günstiger Parameter beschrieben, welcher jedoch nicht vor dem 8. Lebensjahr liegen sollte. (38)

Im Jahre 1967 ergänzte Blount seine Untersuchungen mit einer detaillierteren Festlegung des Zeitpunktes der Klammer-Implantation zur Wachstumslenkung. Er legte den günstigsten Operationszeitpunkt bei Mädchen zwischen dem 8. Und 11. Lebensjahr fest. Bei den Jungen lag dieser hingegen zwischen 8 und 13 Jahren. (39)

Sobald die Blount-Klammer entfernt wurde, kann das Wachstum im Bereich der Epiphysenfuge wieder aufgenommen werden, sodass die Reversibilität der Methode als großer Vorteil besteht. (40)

Ein Nachteil des temporären Verfahrens ist jedoch die Notwendigkeit einer Folgeoperation zur Entfernung des implantierten Materials. (10)

Nach Entfernung der Klammern wird in der Literatur das sogenannte Rebound-Phänomen beschrieben, was eine zwischenzeitliche Beschleunigung des Wachstums der gebremsten Fuge darstellt und die Empfehlung zur leichten Überkorrektur der Beinachse begründet. (41, 42)

Die fehlende Flexibilität der Blount-Klammern, sowie die nicht anatomische Verlagerung des Korrekturzentrums nach intraphyseal führten zu Komplikationen wie eine verlängerte Therapiedauer, Implantatbruch oder Klammerdislokation. (10, 37)

1998 entwickelte Metaizeau eine neue operative Methode zur temporären Wachstumsbeeinflussung der Epiphysenfuge, das so genannte Percutaneous Epiphysiodesis Using Transphyseal Screws (PETS) Verfahren. Im Rahmen dessen werden zum beabsichtigten Wachstumsstopp fugenkrenzende Schrauben implantiert. (43)

Da hierbei das Risiko einer wachstumsrelevanten Verletzung der Fuge diskutiert wird, ist das Verfahren der PETS, trotz guter kosmetischer Ergebnisse bei zügiger postoperativer Mobilitätssteigerung, umstritten. (34)

Im Jahre 2007 beschrieb Stevens erstmals ein neues Epiphyseodese-Verfahren bei dem durch eine extraperiostale Platte, die mit 2 nicht winkelstabilen Schrauben am Knochen fixiert ist, das Längenwachstum im Bereich der Epiphyse beeinflusst werden konnte. (23) Mit Hilfe der eight-Plate™ (Orthofix, Lewisville, TX, USA) konnte der Korrekturdrehpunkt nach extraphyseal verlagert werden, sodass eine anatomiegerechte juxtaartikuläre Korrektur der Beinachse möglich wurde. (23, 37, 44)

Die erfolgreiche Anwendung dieses innovativen, wachstumslenkenden Zuggurtungs-Verfahrens (tension band that guides growth) veranlasste, auf Grund rückläufiger Komplikationsraten und ansprechender postoperativer Ergebnisse, verschiedene Firmen zur Weiterentwicklung der Platten-Schrauben-Systeme. (45)

### **1.5 Temporäre Hemiepiphyseodese mittels PediatrOS™ FlexTack™**

Im Jahre 2013 wurde durch die Firma Merete® das Implantat PediatrOS™ FlexTack™ entwickelt, das zur 3. Generation der wachstumsbeeinflussenden Implantate gehört und seither zur Korrektur von Beinachsenfehlstellungen eingesetzt wird. (46)

Entgegen der Platten-Schrauben-Systeme handelt es sich bei der PediatrOS™ FlexTack™ um ein einteiliges Implantat mit einem flexiblen mittleren Anteil. Dadurch ist eine variable Aufbiegung des flexiblen Klammerstegs auf Höhe des Korrekturdrehpunktes möglich. (30) (Abb. 13)

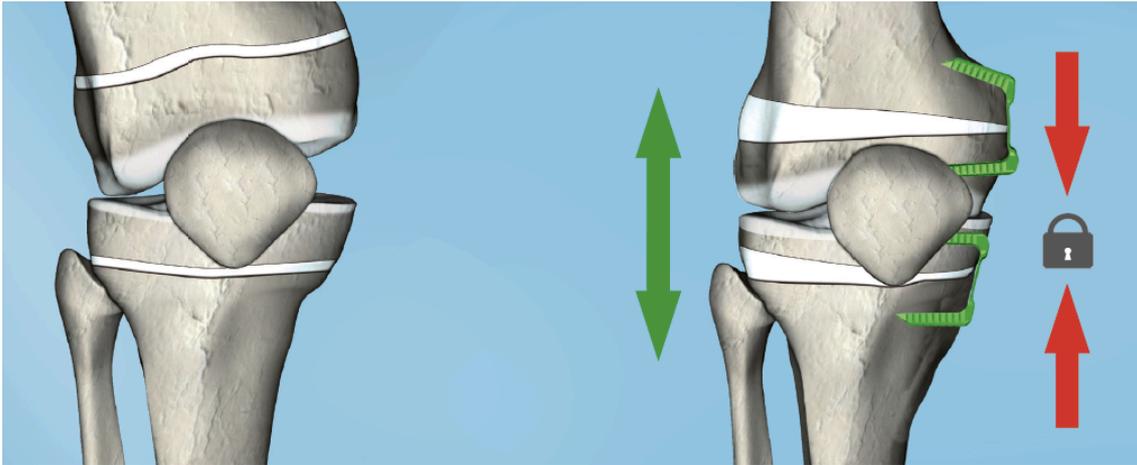


Abbildung 13: links: Darstellung eines präoperativen Kniegelenksbefundes bei Genu valgum; rechts: zeigt sich das postoperative Ergebnis nach PediatrOS™ FlexTack™ Implantation am Ende der Behandlung, mit freundlicher Genehmigung der Merete GmbH, Berlin (Quelle: Die neue Generation der Wachstumslenkung, Merete GmbH, 2015) (47)

Die PediatrOS™ FlexTack™ ist in drei unterschiedlichen Größen (20mm, 25mm und 30mm) erhältlich. (47) (Abb. 14)

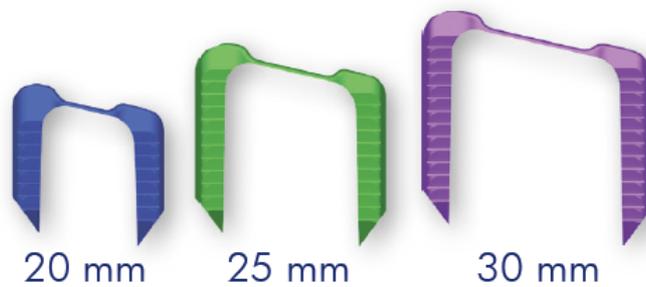


Abbildung 14: zeigt die 3 verschiedenen Implantatgrößen der PediatrOS™ FlexTack™, mit freundlicher Genehmigung der Merete GmbH, Berlin (Quelle: Die neue Generation der Wachstumslenkung, Merete GmbH, 2015) (47)

## 1.6 Temporäre Hemiepiphyseodese mittels VaWiKo® EPI-PLATTE

Im Frühjahr des Jahres 2016 brachte die Firma Königsee Implantate GmbH mit der VaWiKo® EPI-PLATTE ein neues Produkt auf den Markt. (Abb. 15)



Abbildung 15: Beeinflussung der Wachstumsfuge durch den therapeutischen Einsatz der VaWiKo® EPI-PLATTE, mit freundlicher Genehmigung der Königsee Implantate GmbH, Allendorf (Quelle: OP Anleitung VaWiKo EPI-PLATTE®, Königsee Implantate GmbH, 2021) (48)

Dabei handelt es sich um ein Platten-Schrauben-System mit einem extraphysealen Korrekturdrehpunkt, welches sowohl winkelstabil, als auch nicht winkelstabil implantiert werden kann. Die EPI-PLATTE ist in zwei verschiedenen Längen (24mm und 28mm) mit einem Lochabstand von 12 und 16 mm, jeweils mit oder ohne Krallen erhältlich. (48) Die auszuwählenden 4 mm dicken Titanschrauben sind als Kortikalis- oder durchbohrte Vollgewindeschrauben mit einer jeweiligen Länge von 22, 26, 30 und 36 mm verfügbar. (Abb. 16)



Abbildung 16: Modifizierte Darstellung der VaWiKo® EPI-PLATTE in zwei verfügbaren Längen, mit freundlicher Genehmigung der Königsee Implantate GmbH, Allendorf (Quelle: OP Anleitung VaWiKo EPI-PLATTE®, Königsee Implantate GmbH, 2021) (48)

## 1.7 Fragestellung

Durch die Weiterentwicklung der verwendeten Implantate zur temporären Hemiepiphyseodese konnte die intra- und postoperative Komplikationsrate deutlich reduziert werden. (49)

Dennoch bestehen nach wie vor implantatbedingte Komplikationen. (10)

So schreiben Vogt et al, in einer aktuellen Veröffentlichung über kniegelenksnahe Hemiepiphyseodesen aus dem Jahre 2021, über eine anhaltende Problematik von Materialermüdungen bei der Verwendung von Platten-Schrauben-Systemen zur Wachstumslenkung. Dabei wird ein zunehmendes Risiko von Schraubenbrüchen durch den mechanischen Stress bei voranschreitendem Wachstum und progredienter Schraubendivergenz beschrieben. (30) Des Weiteren stellt körperliches Übergewicht einen Risikofaktor für ein Versagen der, auch bei der VaWiKo® EPI-PLATTE zur Anwendung kommenden, kanülierten Schrauben dar. (50)

Durch die Einführung der PediatrOS™ FlexTack™ konnte laut Sattelberger et al. (49) eine verkürzte Korrekturzeit von Beinachsenfehlstellungen am Schweinemodell im Vergleich zu der eight-Plate™ erreicht werden. In einer Studie der Entwicklergruppe der PediatrOS™ FlexTack™ konnte eine signifikant schnellere Korrektur, von idiopathischen Beinachsenfehlstellung im Kindesalter, nachgewiesen werden. Außerdem waren die Implantations- und Durchleuchtungszeiten im Vergleich zu der eight-Plate™ deutlich kürzer. (30) Eine Problematik stellte jedoch die PediatrOS™ FlexTack™-Explantation dar. Hierbei wurden von Koob et al. 2018 vornehmlich K-Draht-Brüche oder am Implantat verbliebenes Knochenmaterial verzeichnet. (46) Diesbezüglich erfolgte eine Anpassung des Explantations-Instrumentariums, wodurch die Komplikationsrate deutlich gesenkt werden konnte. (30)

Ein aktueller Vergleich von Struwe et al. aus dem Jahre 2021, bezüglich der maximalen biomechanischen Belastbarkeit der lateralen temporären Hemiepiphyseodese im Vergleich der PediatrOS™ FlexTack™ und der eight-Plate™, ergab keinen Unterschied, sodass die Implantateauswahl nach den Präferenzen des jeweiligen Operateurs gewählt werden kann. (51)

Zusammengefasst entsteht, entsprechend der aktuellen Studienlage die Annahme, dass die PediatrOS™ FlexTack™ eine schnellere Beinachsenkorrektur mit kürzeren Implantations- und Durchleuchtungszeiten als die VaWiKo® EPI-PLATTE aufweist. Zugleich scheint die VaWiKo® EPI-PLATTE-Explantation einfacher und demzufolge mit weniger Komplikationen verbunden zu sein als die Explantation der PediatrOS™ FlexTack™.

Der derzeit vorliegenden Literatur ist kein direkter Vergleich, zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™, zu entnehmen. Beide Implantate finden in der kinderorthopädischen Klinik des Marienstift Arnstadt Anwendung.

In dieser Studie werden zwei unterschiedliche Operationsverfahren gegenübergestellt, um eine direkte Vergleichbarkeit herzustellen und dadurch mögliche therapeutische Konsequenzen ziehen zu können. Unter anderem soll herausgefunden werden, ob ein zeitlicher Unterschied der beiden Implantate bis zum Eintreten der gewünschten Beinachsenkorrektur festgestellt werden kann. Ein weiteres Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, Unterschiede in den Operations- und Durchleuchtungszeiten sowie den damit einhergehenden intra- und postoperativen Komplikationen, herauszufinden.

Da es aktuell keinen „Goldstandard“ in der Implantate-Auswahl zur operativen Korrektur von kindlichen Beinachsenfehlstellungen gibt, soll anhand dieser Untersuchung die präoperative Entscheidungsfindung anhand verschiedener Co-faktoren vereinfacht werden.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Studienvorbereitung

Im Vorfeld der Untersuchung erfolgte die Durchführung einer Power-Analyse, um die notwendigen Fallzahlen herauszufinden und deren Aussagekraft beurteilen zu können. Diese Analyse wurde anhand des Programms G\*Power 3.1 angefertigt. (Abb. 17) Dazu wurde als Testfamilie von einem t-Test ausgegangen, bei dem zwei voneinander unabhängige Gruppen mit einer gleichen Fallzahl (VaWiKo<sup>®</sup> EPI-PLATTE und PediatrOS<sup>™</sup> FlexTack<sup>™</sup>) miteinander verglichen wurden. Die Effektstärke Cohens  $d$  wurde im mittleren Bereich bei 0,5 gewählt. Der Alpha-Fehler wurde mit 0,05 und der Beta-Fehler mit 0,83 angegeben. Daraus resultiert eine Gesamtfallzahl von 138 mit jeweils 69 Fällen in jeder Gruppe.

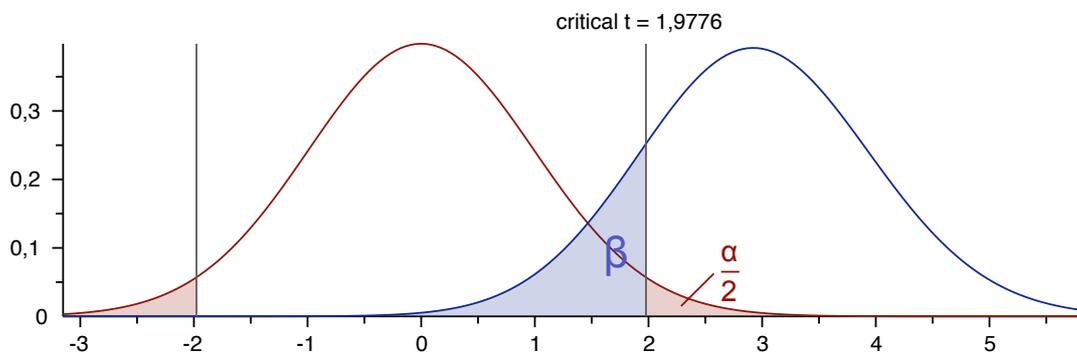


Abbildung 17: Grafische Darstellung des Alpha- und Beta-Fehlers mit Bestimmung des kritischen T-Wertes (Quelle: eigene Abbildung, erstellt mit G\*Power 3.1 der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf)

Des Weiteren erfolgte vor Beginn der Untersuchungen eine Kontaktaufnahme mit der zuständigen Ethikkommission der Landesärztekammer in Thüringen. Auf das Anschreiben vom 20.06.2022 mit einer Absichtserklärung zur Anfertigung einer retrospektiven Studie und einer detaillierten Erklärung der beabsichtigten Untersuchungen, folgte am 27.06.2022 eine Antwort von Priv.-Doz. Dr. med. F. Meier.

Darin teilte der Vorsitzende der Ethikkommission mit, dass das Promotionsvorhaben ohne ein Votum der Ethikkommission möglich ist.

## **2.2 Studientyp**

Zur Beurteilung und Objektivierung des Therapieerfolges von Wachstumslenkungen bei idiopathischen Beinachsenfehlstellungen im Kindesalter, wurden retrospektiv die vergangenen fünf Jahre in der Klinik für Kinderorthopädie des Marienstift Arnstadt betrachtet. In die Studie eingeschlossen wurden ausschließlich Wachstumslenkungen, die von Januar 2017 bis Dezember 2021 mit der VaWiKo® EPI-PLATTE oder der PediatrOS™ FlexTack™ in unserer Klinik operativ versorgt wurden. Dabei wurden die vorliegenden klinischen und radiologischen Befunde erhoben. Zur Verlaufskontrolle des Therapieerfolges wurden die Implantat-Explantationen noch bis Oktober 2022 betrachtet.

## **2.3 Patientenauswahl**

Insgesamt wurden in den Jahren 2017-2021 achtzig Kinder mit idiopathischen Achsfehlstellungen operativ versorgt. Darunter waren 40 Patienten/innen, welche eine Achskorrektur mittels VaWiKo® EPI-PLATTE erhalten haben. Bei ebenfalls 40 Patienten/innen erfolgte die operative Versorgung mit der PediatrOS™ FlexTack™.

Von den achtzig Kindern wurden sechzig beidseits und 20 Patienten/-innen einseitig operiert, sodass insgesamt 140 Beinachsen operativ, mittels temporärer Hemiepiphyseodese, gelenkt wurden. Die zuvor mittels Poweranalyse festgelegte Mindestfallzahl von 138 wurde somit erreicht.

Zunächst wurde festgelegt, dass ausschließlich idiopathische Beinachsenfehlstellungen bei noch offenen Wachstumsfugen in die Untersuchung mit einbezogen werden. Somit wurden, ausgenommen der Adipositas und der vorliegenden Varus- oder Valgus-Deformität der Beinachse, ausschließlich Patienten/innen ohne Grunderkrankung als Patientenkollektiv festgelegt. Kinder mit einer Exostosenkrankheit, einer syndromalen Grunderkrankung oder einer Zerebralparese wurden auf Grund einer daraus resultierenden möglichen Ergebnisbeeinflussung ausgeklammert.

Von den 80 Kindern waren 28 Mädchen und 52 Jungen, wobei von den insgesamt 140 Beinen 128 valgische- und 12 varische Beinachsen korrigiert wurden.

In der retrospektiven Gesamtbetrachtung der achskorrigierten unteren Extremitäten, wurden 128 Beine ausschließlich femoral, 4 Beine isoliert tibial und 8 kindliche Extremitäten femoral und tibial operativ versorgt. Von den acht temporären Hemiepiphyseodesen, die sowohl femoral als auch tibial erfolgten, wurden 4 kindliche Beine mit der VaWiKo® EPI-PLATTE und ebenfalls 4 Extremitäten mit der PediatrOS™ FlexTack™ behandelt. Die insgesamt vier isolierten tibialen Achskorrekturen, wurden ausschließlich mit der PediatrOS™ FlexTack™ durchgeführt.

In die Untersuchung einbezogen wurden lediglich Patienten/innen, bei denen die Behandlung mittels temporärer Hemiepiphyseodese bereits abgeschlossen war.

## **2.4 Therapieverlauf**

Die Primärvorstellung der Patienten/innen erfolgt in unserer kinderorthopädischen Ambulanz. Die Zuweisungen werden entweder durch den niedergelassenen Orthopäden oder Kinderarzt ausgestellt. Nach einer umfangreichen klinischen Untersuchung wird bei entsprechender Befunderhebung eines Genu varum oder Genu valgum sowie einer vorliegenden Symptomatik oder Anamnese bei Kindern im therapielevanten Alter die Indikation zur Ganzbeinstand-Röntgenaufnahme gestellt. (Abbildung 18, 19, 20, 21) Die Röntgenaufnahmen werden streng standardisiert nach den entsprechenden Vorgaben durch unsere hausinternen medizinisch-technischen Radiologieassistenten/innen angefertigt. Nach erfolgter Diagnostik wird die Röntgenaufnahme in das IMPAX System des Marienstift Arnstadt übernommen und digitalisiert. Durch den für die Sprechstunde verantwortlichen Facharzt/ärztin für Orthopädie und Unfallchirurgie mit der Zusatzbezeichnung Kinderorthopädie wird anhand der Bildgebung sowohl die Mikulicz-Linie, als auch die MAD bestimmt.

Im Rahmen der klinischen Untersuchung wird neben der Bewegungsumfang-Bestimmung der Kniegelenke nach der Neutral-Null-Methode, im Falle einer Valgusdeformität, der Intermalleolarabstand in Zentimetern gemessen und dokumentiert. Sollte sich aus den erhobenen Befunden eine OP-Indikation ergeben, so wird eine OP-

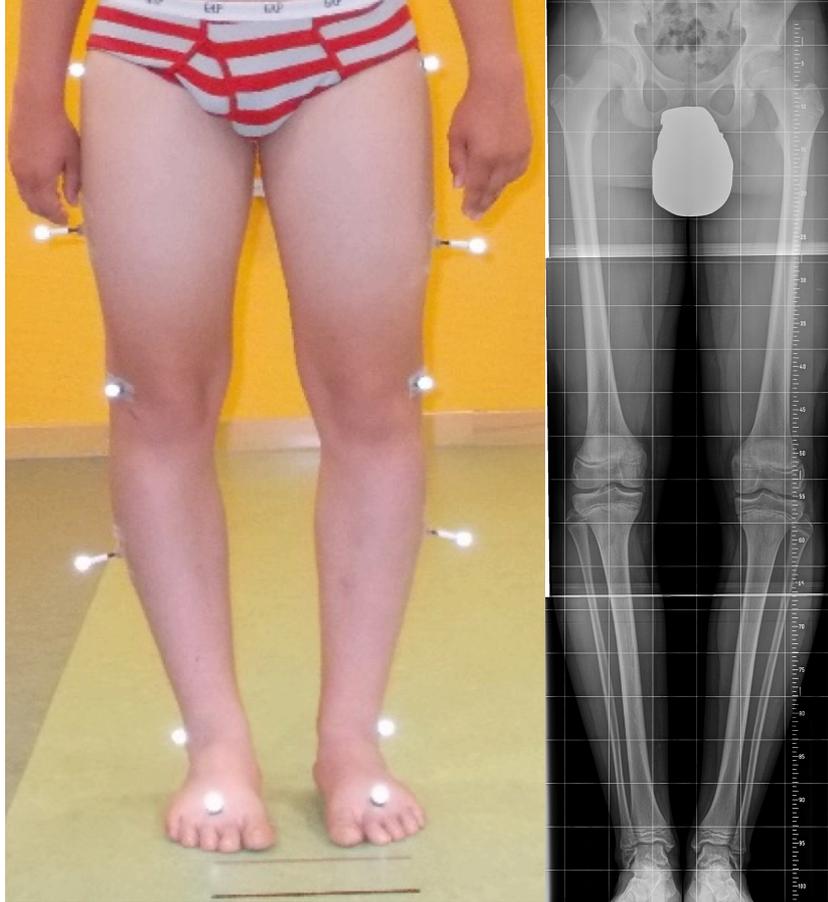
Checkliste angelegt und dem Mitarbeiter/in der Terminplanung übergeben. Darin wird unter Berücksichtigung des Alters und der Wachstumsfugenkonfiguration unter anderem die Dringlichkeit der Terminierung festgelegt. Zur Objektivierung der Beinachsenveränderung im zeitlichen Verlauf erfolgt eine Fotodokumentation. (Abb. 18, 19, 20, 21)



*Abbildung 18: links: eine präoperative Fotodokumentation eines 11-jährigen Mädchens mit Genua valga und einem Intermalleolarabstand von 17cm; rechts: eine Röntgen-Ganzbeinstand-Aufnahme der selben Patientin mit einer MAD von rechts -26 mm und links -23 mm, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Kann die Indikation zur Temporären Hemiepiphyseodese anhand der vorliegenden Befunde, zum Beispiel auf Grund einer fraglichen Hüft- oder Fußanomalie, nicht eindeutig gestellt werden, so besteht die Möglichkeit einer Ganganalyse. Dabei werden die Patienten/innen umfangreich dreidimensional untersucht und die erhobenen Befunde

anschließend besprochen, sodass die Indikation zur operativen Versorgung neu evaluiert werden kann.



*Abbildung 19: links: eine präoperative Fotodokumentation im Rahmen einer Ganganalyse eines 14-jährigen Jungen mit Genua vara; rechts: eine Röntgen-Ganzbeinstand-Aufnahme des selben Patienten mit einer MAD von rechts 26 mm und links 34 mm, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Nach Festlegung des Operations-Termins werden die Kinder, bei Anwesenheit der Erziehungsberechtigten, im Rahmen einer prästationären Vorstellung erneut umfangreich untersucht und aufgeklärt.

Die Patienten/innen stellen sich am Tag der operativen Versorgung nüchtern in unserer Klinik vor und werden aus der stationären Behandlung erst bei sicherer Mobilisation und reizlosen, trockenen Wundverhältnissen entlassen.

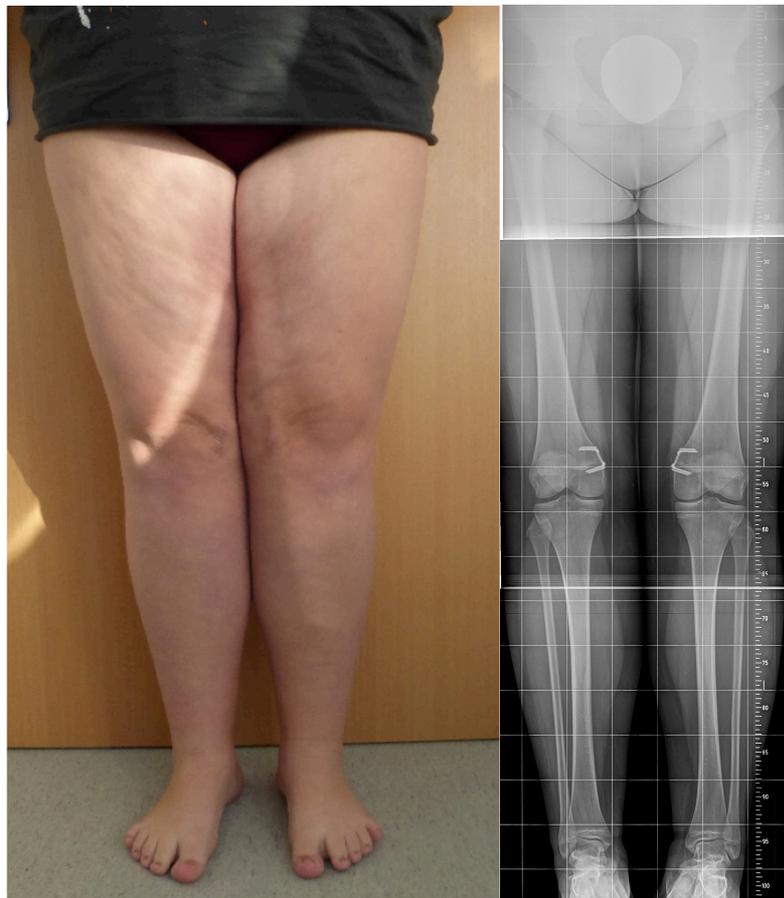
Der intraoperative Hautverschluss erfolgt in der Regel durch eine Intrakutannaht mit resorbierbarem Nahtmaterial. Die ambulanten postoperativen Wundkontrollen und das

Abschneiden der Fadenenden nach 12 bis 14 Tagen, werden durch die niedergelassenen Pädiater/innen gewährleistet.

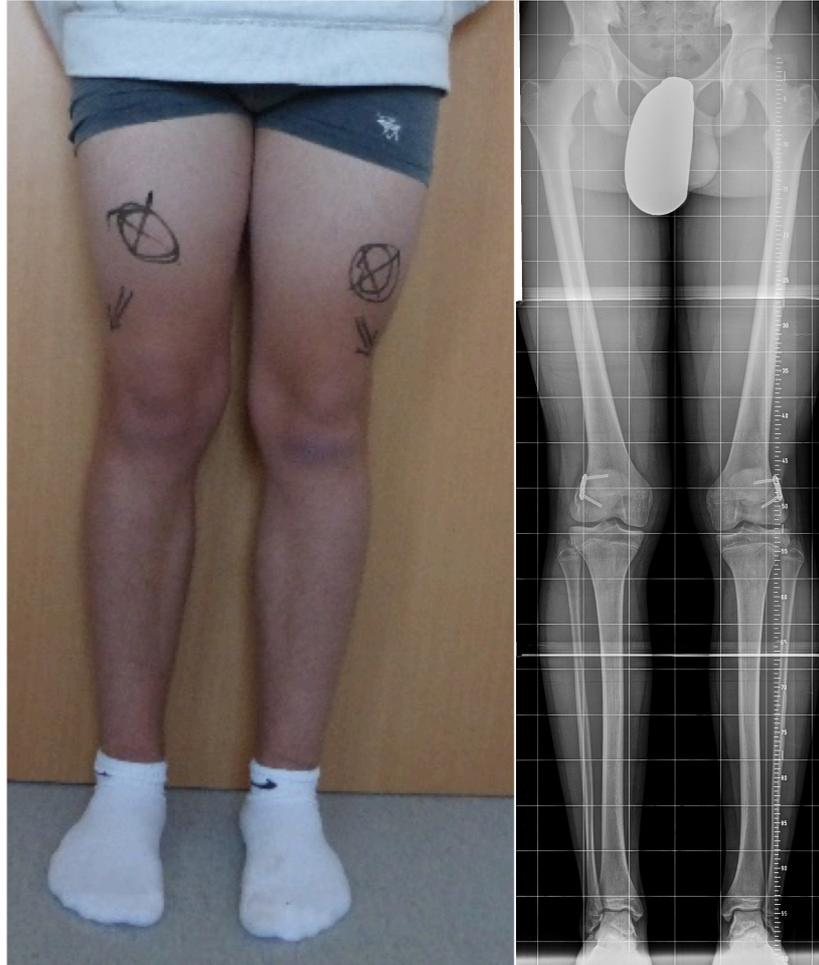
Bereits zum Zeitpunkt der Entlassung aus der stationären Behandlung wurde ein Termin in unserer kinderorthopädischen Sprechstunde für drei Monate postoperativ vereinbart.

Bei diesem Termin handelt es sich meist um eine rein klinische Verlaufskontrolle. Sollte sich daraus jedoch der Verdacht einer nahenden Beinachsenbegradigung ergeben, folgt die bilaterale Ganzbeinstandaufnahme. Insofern dies nicht der Fall ist, werden die kinderorthopädischen Verlaufskontrollen im dreimonatigen Abstand beibehalten.

Ist das Therapieziel erreicht erfolgt sowohl eine Fotodokumentation, als auch eine Bestimmung der postoperativen MAD vor der Materialentfernung unter Anwendung der Ganzbeinstandaufnahme.



*Abbildung 20: links: eine postoperative Fotodokumentation des selben Mädchens wie in Abbildung 18 mit initialen Genua valga 313 Tage nach Temporärer Hemiepiphyseodese mittels PediatrOS™ FlexTack™; rechts: eine Röntgen-Ganzbeinstand-Aufnahme des Mädchens vor der geplanten Materialentfernung mit einer MAD von rechts 5 mm und links -5 mm, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*



*Abbildung 21: links: eine postoperative Fotodokumentation des selben Jungen wie in Abbildung 19 mit initialen Genua vara 455 Tage nach Temporärer Hemiepiphyseodese mittels VaWiKo® EPI-PLATTE; rechts: eine Röntgen-Ganzbeinstand-Aufnahme des Jungen vor der geplanten Materialentfernung mit einer MAD von rechts -8 mm und links -1 mm, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Um Überkorrekturen zu vermeiden wird der Operationstermin zur Explantation des jeweiligen Implantats, je nach Dringlichkeit, im Rahmen der Sprechstunde festgelegt. Der operative Eingriff zur Beendigung der Wachstumslenkung erfolgt erneut unter stationären Bedingungen, sodass, ähnlich des Primäreingriffes, die Entlassung in die ambulante Behandlung erst nach entsprechender Mobilisation und bei trockenen, reizlosen Wundverhältnissen möglich ist.

Nach Beendigung der stationären Behandlung und damit auch der Therapie der temporären Hemiepiphyseodese, werden zur Vermeidung von Rebound-Phänomenen, weitere Verlaufskontrollen bis zum Abschluss des kindlichen Längenwachstums vereinbart.

## 2.5 Operationsverfahren VaWiKo® EPI-PLATTE

Zunächst erfolgt die Lagerung des Kindes in Rückenlage auf einen strahlendurchlässigen Operationstisch bei Larynxmaskennarkose. Anschließend wird eine gewichtsadaptierte Blutsperrung an den Oberschenkeln des Patienten/der Patientin angelegt. Nach steriler Abdeckung des Operationsgebietes, wird unter Bildwandlerkontrolle die Epiphysenfuge entweder medial oder lateral, tibial und/oder femoral in der Mitte des Knochendurchmessers angezeichnet. Daraufhin führen wir eine längsverlaufende, zwei bis drei Zentimeter lange, Schnittinzision durch. Bei einer beidseitigen operativen Wachstumslenkung erfolgt diese parallelverlaufenden durch zwei Operateure/innen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass es in Bezug auf die Operationszeit keinen Unterschied zwischen einer einseitigen oder beidseitigen Versorgung gibt. Nach der Schnittinzision führen wir eine Präparation des Subkutangewebes und eine in Verlängerung der Schnittführung verlaufende Faszienspaltung durch. Das sorgfältig freipräparierte Periost darf dabei nicht verletzt werden. (54) Darauf folgend wird ein 1,6 mm starker Führungsdraht parallel zum Epiphysenfugen-Verlauf unter Bildwandler-Kontrolle eingebracht. (Abb. 22)



*Abbildung 22: Intraoperative Durchleuchtung zur Platzierung des Führungsdrahtes im Bereich der Epiphysenfuge im Rahmen der VaWiKo® EPI-PLATTE-Implantation, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Nachdem die Größe der VaWiKo® EPI-PLATTE bestimmt wurde, wird diese über ein im Zentrum der Platte befindliches Loch auf den Führungsdraht aufgesteckt und bis zum Periost vorgeschoben. (Abb. 23)



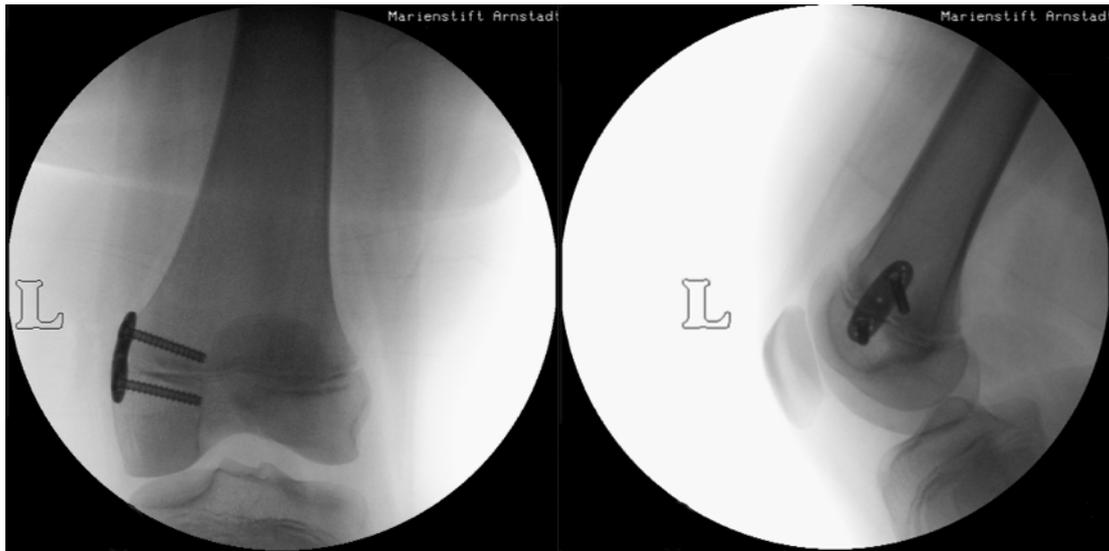
*Abbildung 23: Implantation der VaWiKo® EPI-PLATTE über den zuvor platzierten Führungsdraht, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

In unserer kinderorthopädischen Klinik des Marienstift Arnstadt werden stets die krallenlosen Platten in nichtwinkelstabiler Schraubenimplantation verwendet. Zunächst wird die epiphysäre Schraube, deren Länge bereits am präoperativen Röntgenbild bestimmt wurde und ungefähr ein Drittel der Epiphysenbreite betragen sollte, mit Hilfe eines Schraubendrehers eingebracht. (Abb. 24)



*Abbildung 24: Einbringen einer nicht winkelstabilen Schraube zur Fixierung der VaWiKo® EPI-PLATTE, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Anschließend wird die zweite, ebenfalls 4 mm im Durchmesser messende, durchbohrte, metaphysäre Vollgewinde Titanschraube in den kindlichen Knochen eingebracht. Dabei wird auf ein paralleles Einbringen der Schrauben geachtet, woraufhin der Führungsdraht entfernt werden kann. Nach erneuter Bildwandler-Kontrolle in zwei Ebenen, um die korrekte Implantat- und Schraubenlage zu kontrollieren, erfolgt eine gründliche Wundspülung, sowie eine Faszien-, Subkutan- und Hautnaht. (Abb. 25) Zum Hautverschluss verwenden wir resorbierbaren Monocryl-Faden in intrakutaner Nahttechnik. Zuletzt wird die Wunde, mittels sterilem Pflasterverband, verschlossen.



*Abbildung 25: Intraoperative Röntgenaufnahmen zur postoperativen Lagekontrolle der VaWiKo® EPI-PLATTE in zwei Ebenen, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Die Explantation der VaWiKo® EPI-PLATTE erfolgt in umgekehrter Reihenfolge zur Implantation. Implantationsunabhängige Instrumente sind zur Explantation des Platten-Schrauben-Systems nicht von Nöten.

## **2.6 Operationsverfahren PediatrOS™ FlexTack™**

Sowohl die Lagerung des Patienten/der Patientin, als auch der operative Zugangsweg sind identisch zum Implantations-Vorgehen der VaWiKo® EPI-PLATTE. Bei einer beidseitigen Beinachsenfehlstellung erfolgt die Implantation der PediatrOS™ FlexTack™ ebenso zeitgleich durch zwei Operateure/innen.

Nach Freipräparation des Periosts wird zunächst unter Bildwandler-Kontrolle und Verwendung eines Kirschnerdraht-Setzinstrumentes ein K-Draht im Bereich der Epiphyse gesetzt. Anschließend wird der abnehmbare Aufsatz des Einschlaginstrumentes über den implantierten K-Draht geführt, sodass der zweite, diaphysäre Draht in korrektem Abstand platziert werden kann. (Abb. 26, 27)



*Abbildung 26: Positionierung der K-Drähte im Rahmen der PediatrOS™ FlexTack™-Implantation, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*



*Abbildung 27: Intraoperative Durchleuchtung nach Positionierung der K-Drähte im anterior-posterioren und seitlichen Strahlengang im Rahmen der PediatrOS™ FlexTack™-Implantation, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Daraufhin kann der zur Positionierung des zweiten K-Drahtes benötigte Aufsatz des Einschlaginstruments entfernt werden und die ausgewählte PediatrOS™ FlexTack™ durch ihre kanülierten Schenkel über die Kirschnerdrähte vorgeschoben werden. (Abb. 28)



*Abbildung 28: Intraoperative Fotoaufnahme nach Aufsetzen der PediatrOS™ FlexTack™ auf die zuvor eingebrachten K-Drähte, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

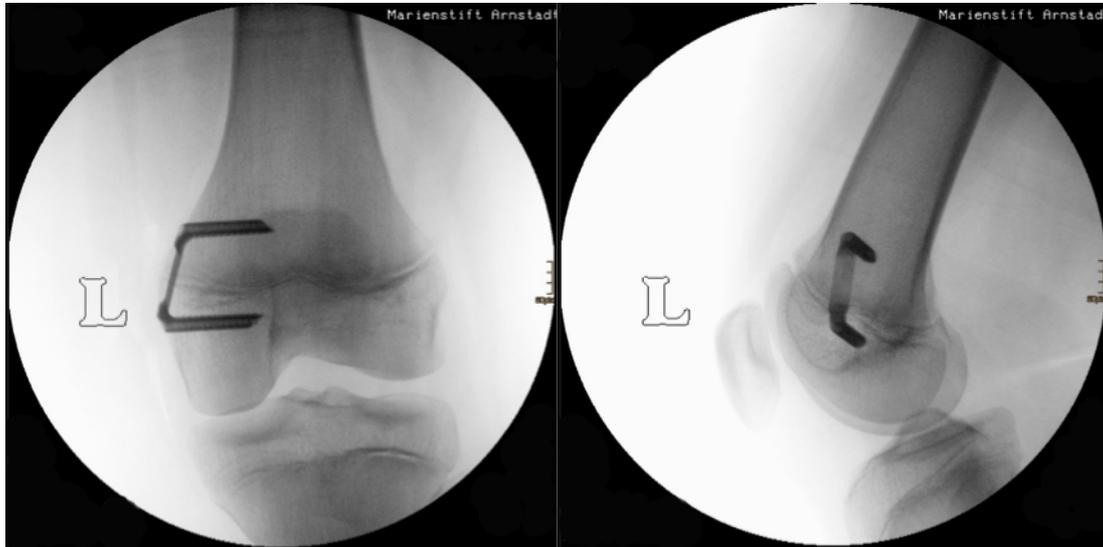
Nach gewünschter Positionierung der PediatrOS™ FlexTack™ wird durch eine Gewindeverbindung der bereits zuvor verwendete Aufsatz des Einschlaginstruments komplettiert, sodass das Implantat bis zu seiner endgültigen Lage eingeschlagen werden kann. (Abb. 29)



*Abbildung 29: Intraoperative Fotoaufnahme nach Aufsetzen des Einschlaginstruments auf die PediatrOS™ FlexTack™, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Anschließend können die Kirschner-Drähte nacheinander entfernt werden.

Zur Sicherstellung der korrekten Implantatlage folgt im weiteren Verlauf eine erneute intraoperative Röntgenkontrolle in zwei Ebenen. (Abb. 30)



*Abbildung 30: Intraoperative Durchleuchtung nach Entfernung der K-Drähte zur Sicherstellung der korrekten Positionierung der PediatrOS™ FlexTack™, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie*

Der anschließende Wundverschluss erfolgt in gleicher Weise wie beim Vorgehen der VaWiKo® EPI-PLATTE.

Im Rahmen der Materialentfernung werden zunächst die kanülierten Schenkel der PediatrOS™ FlexTack™ mit Kirschner-Drähten besetzt.

Zur Explantation der PediatrOS™ FlexTack™ verwendet man den zum modifizierten Explantationsinstrumentarium gehörenden, K-Draht geführten, u-förmigen Meißel, mit Hilfe dessen die Klammer vom umgebenen Knochen gelöst werden kann. (30)

Darauffolgend wird der Explantationsblock über die K-Drähte geführt und selbige um 90° umgebogen. Anschließend wird die Krampe über den Explantationsblock herausgeschlagen.

## 2.7 Datenerhebung

Nach Festlegung der Einschlusskriterien des Patientengutes wurden im internen Dedalus-Orbis-Programm des Marienstift Arnstadt sämtliche Operations-Pläne vom 01.01.2017 bis zum 31.12.2021 durchgesehen und die für die Studie in Frage kommenden Kinder anonymisiert in eine Excel-Tabelle übertragen.

Bei den daraus resultierenden Patienten/innen wurden im Orbis jeweils folgende Daten erhoben:

- Alter bei Implantation
- Geschlecht
- Implantatart (VaWiKo® EPI-PLATTE oder PediatrOS™ FlexTack™)
- Art der Beinachsenfehlstellung (Genu varum oder Genu valgum)
- Lokalisation (einseitig oder beidseitig)
- OP Dauer der Implantation in Minuten
- OP Dauer der Explantation in Minuten
- Implantatgröße in mm
- Durchleuchtungsdauer bei Implantation in Winkelminuten
- Durchleuchtungsdauer bei Explantation in Winkelminuten
- Stationäre Aufenthaltsdauer bei Implantation
- Stationäre Aufenthaltsdauer bei Explantation
- Präoperativer Intermalleolarabstand (bei Genua valga)

Anschließend wurden Körpergröße und Gewicht der betreffenden Kinder, aus dem in unserem Archiv vorliegenden Anästhesiebögen zum Zeitpunkt der Primäroperation entnommen. Anhand dieser beiden Werte konnte der Body-Mass-Index mit Hilfe der Formel:

„Körpergewicht in Kilogramm geteilt durch die Körperlänge in Metern zum Quadrat“, bestimmt werden.

Die Zuordnung der Normabweichung des Body-Mass-Index, erfolgte mithilfe des Ped(z) Kinderarzt Rechners. Dadurch gelang die Perzentilen-Bestimmung der jeweiligen Kinder

unter Berücksichtigung des Geschlechts, des Alters, der Körpergröße und des Gewichts. Die Referenz-Perzentilen beziehen sich hierbei auf Kromeyer-Hauschild et al.. (52)

Zur Verifizierung der Beinachsenfehlstellung wurden folgende Werte, anhand der vorhandenen prä- und postoperativ angefertigten Ganzbeinstand-Röntgenaufnahmen, bestimmt:

- „mechanical axis deviation“ (MAD) in Millimetern
- mechanische laterale distale Femurwinkel (mLDFW) in Grad
- mechanische mediale proximale Tibiawinkel (mMPTW) in Grad
- anatomischer femorotibialer Winkel (aFTW) in Grad

Zur Ermittlung der präoperativen Werte wurde die letzte Röntgenaufnahme vor der temporären Hemiepiphyseodese herangezogen. Die postoperativen Werte wurden anhand der letzten Ganzbeinstandaufnahme vor Implantat-Explantation gemessen.

Dazu wurden die bilateralen Ganzbeinstand-Röntgenaufnahmen aus dem klinikinternen IMPAX (EE R20 XVII SU3) –Röntgenprogramm in das mediCAD<sup>®</sup>-Planungsprogramm (Produktversion 6.5) importiert. Die Kalibrierung der Röntgenbilder erfolgte durch eine auf jeder Aufnahme dargestellten Zentimeterangabe. Nach Festlegung des Hüft-, Knie- und Sprunggelenkmittelpunktes, der Femurschaft- und Tibiaschaftachse, sowie der Gelenklinie des Kniegelenkes, wurde zunächst die MAD bestimmt. Diese wurde numerisch angegeben, wobei ein negativer Wert für eine valgische Achsabweichung und ein positiver für eine varische Achsabweichung spricht.

Anschließend wurden unter Verwendung eines digitalen Winkelmessers der mLDFW, mMPTW und aFTW bestimmt. (Abb. 31)

## Material und Methoden

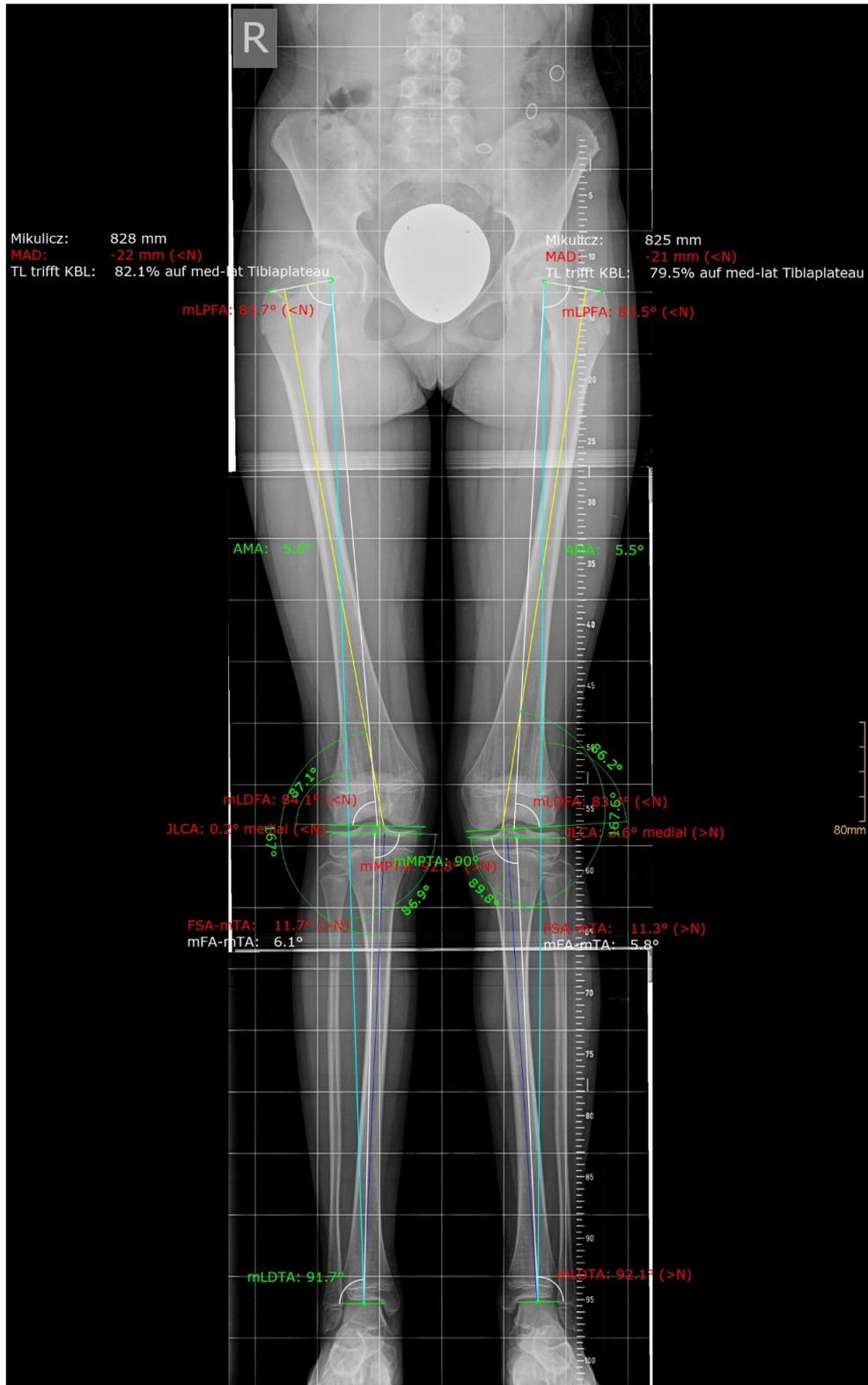


Abbildung 31: präoperative bilaterale Ganzbeinaufnahme eines 11-jährigen Mädchens nach Bestimmung der MAD, des mLDFA, mMPTW und aFTW im mediCAD-Planungsprogramm, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie

Die ermittelten Werte wurden getrennt nach Beinen ebenfalls in die Microsoft Excel 2011 Tabelle übertragen. Die prä- und postoperativen Messungen wurden an insgesamt 140 Beinen vorgenommen.

Somit wurde in der statistischen Auswertung in Bezug auf folgende Punkte nicht die Patientenzahl von insgesamt 80, sondern die Anzahl an wachstumsgelenkten Beinen von 140 angenommen:

- Art der Beinachsenfehlstellung (Genu varum oder Genu valgum)
- Implantatart (VaWiKo® EPI-PLATTE oder PediatrOS™ FlexTack™)
- prä- und postoperative MAD in Millimetern
- prä- und postoperativer mLDFW in Grad
- prä- und postoperativer mMPTW in Grad
- prä- und postoperativer aFTW in Grad
- Therapiedauer in Tagen

Die Therapiedauer wurde als Zeitraum zwischen Operationsdatum der Implantation und der letzten Ganzbeinstand-Röntgenaufnahme vor Implantat-Explantation festgelegt.

Nach Komplettierung der Excel-Tabelle, wurde diese in das Statistikprogramm IBM SPSS Statistics (Version 28.0.1.1) übertragen. Mithilfe der Software erfolgte die Erstellung der deskriptiven Statistik. Unter Anwendung des Kolmogorov-Smirnov-Tests wurden die entsprechenden Werte zunächst auf eine Normalverteilung geprüft. Lag eine Normalverteilung der zu untersuchenden Stichprobe vor, erfolgte die Signifikanzbestimmung durch einen t-Test. Waren die Stichproben hingegen nicht normalverteilt, so wurde die Signifikanz mittels Mann-Whitney-U-Test bestimmt.

Sowohl die statistische Auswertung, als auch die im nachfolgenden Abschnitt dargestellten Tabellen, Diagramme und Grafiken wurden durch den Autor dieser Studie mithilfe des IBM SPSS Statistics-Programm erstellt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Deskriptive Ergebnisse

##### 3.1.1 Patientenkollektiv

Von den insgesamt 80 Patienten/-innen waren 29 (36,25 %) weiblich und 51 (63,75 %) männlich. Davon wurden 14 Mädchen (17,5 %) und 26 Jungen (32,5 %) mit einer VaWiKo® EPI-PLATTE operativ versorgt. Bei 15 Patientinnen (18,75 %) und 25 Patienten (31,25 %) erfolgte die Wachstumslenkung unter Verwendung der PediatrOS™ FlexTack™. (Abb. 32)

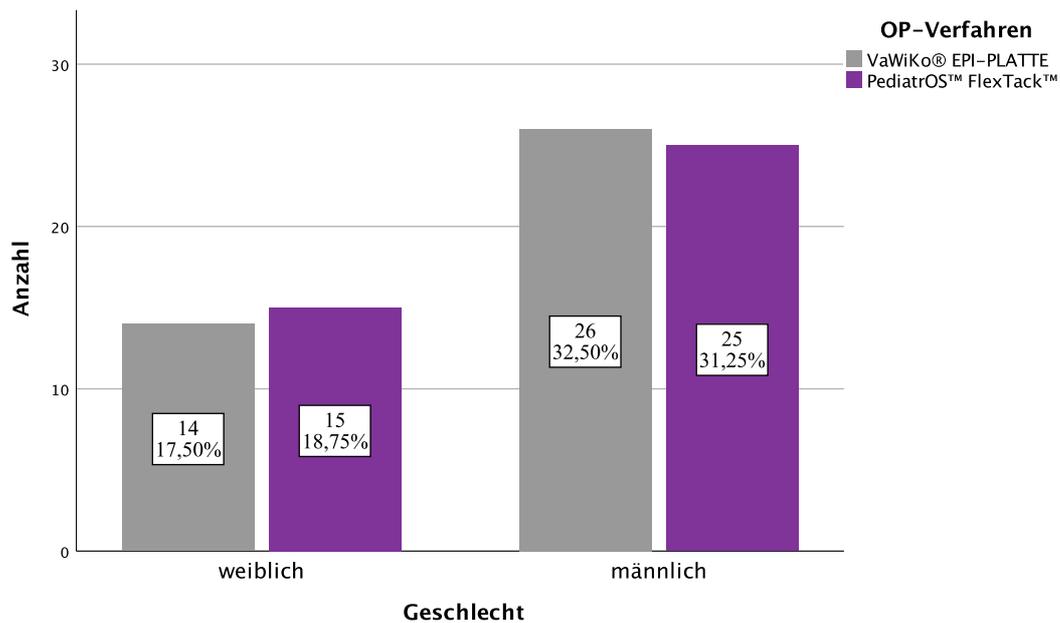


Abbildung 32: Anzahl der untersuchten Kinder in Bezug zur Gesamtpopulation unter Berücksichtigung des Geschlechts und Implantats

Von den 80 Kindern wurden 140 Beinachsenfehlstellungen korrigiert. Darunter waren 12 (8,57 %) O-Beine und 128 (91,43 %) X-Beine. (Abb. 33)

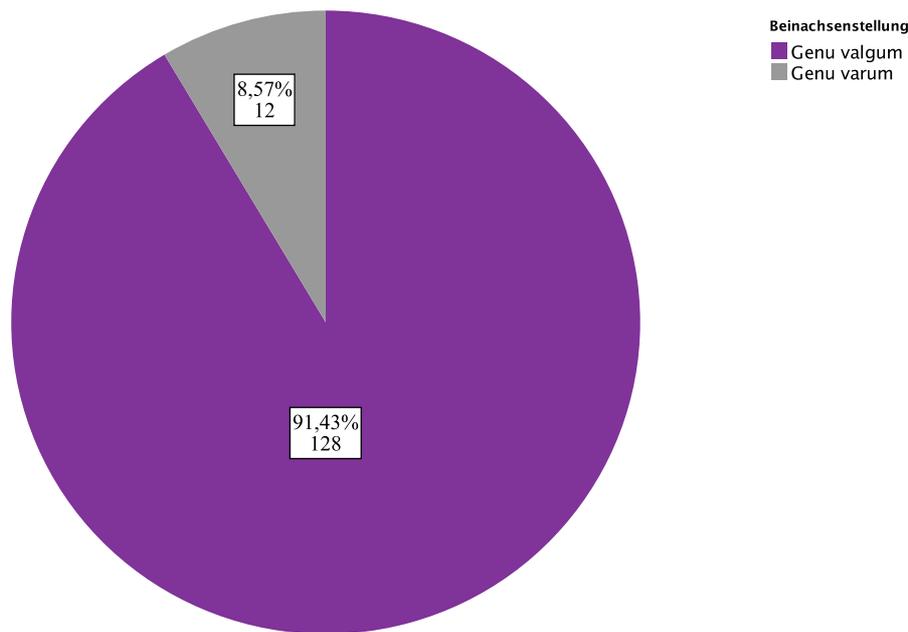


Abbildung 33: Anteil der valgischen- und varischen Beinachsenfehlstellungen in Bezug zur Gesamtpopulation

### 3.1.2 Varus-Gruppe

Bei den 12 Varusfehlstellungen handelte es sich um sieben Patienten/innen, von denen zwei weiblichen- und fünf männlichen Geschlechts waren. Darunter wurden fünf Kinder (71,4 %) beidseits und zwei Kinder (28,6 %) einseitig gelenkt. Zur Therapie der insgesamt 12 varischen Beinachsen kam bei vier Achskorrekturen (33,3 %) die VaWiKo® EPI-PLATTE und bei acht Achskorrekturen (66,7 %) die PediatrOS™ FlexTack™ zum Einsatz. (Abb. 34)

### 3.1.3 Valgus-Gruppe

Unter den 128 Beinachsen mit Valgusdeformität waren 27 Mädchen (37,0 %) und 46 Jungen (63,0 %). In Bezug auf die Seitenlokalisation wurden in der Valgus-Gruppe 55 Patienten/innen (75,3 %) beidseitig und 18 Patienten/innen (24,7 %) einseitig operativ korrigiert. Die temporäre Hemiepiphyseodese der insgesamt 128 valgischen Beinachsen erfolgte bei 65 unteren Extremitäten (50,8 %) unter Anwendung der VaWiKo® EPI-PLATTE und bei 63 Beinen (49,2 %) mithilfe der PediatrOS™ FlexTack™. (Abb. 34)

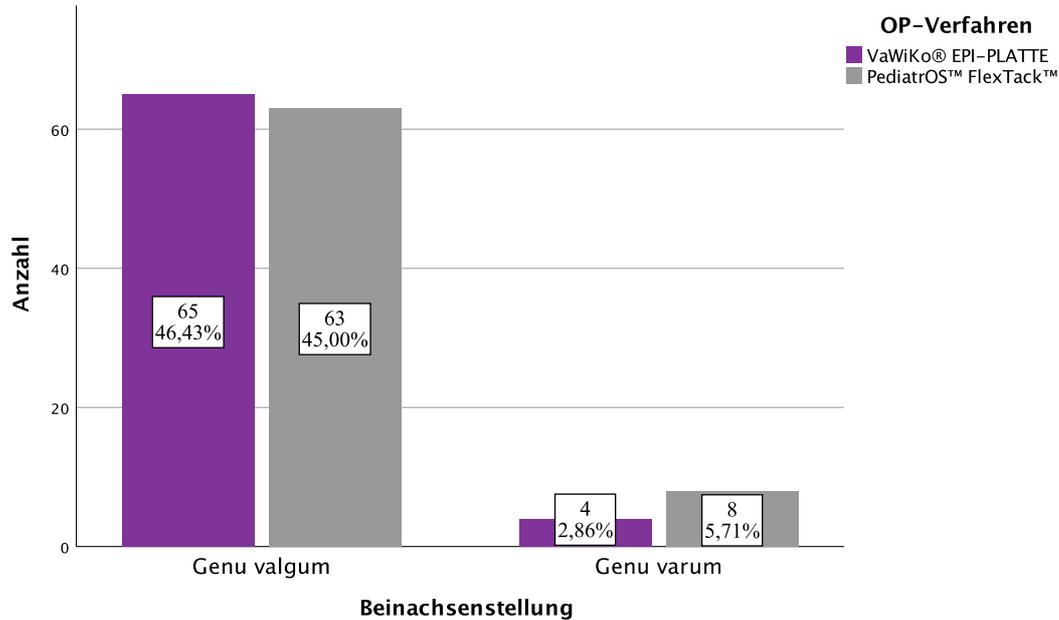


Abbildung 34: Implantatabhängige Unterteilung der Patientenanzahl in Bezug zur Gesamtpopulation unter Beachtung der Beinachsenstellung

### 3.1.4 Alter

Das ermittelte Durchschnittsalter der achtzig untersuchten Kinder lag zum Zeitpunkt des operativen Therapiebeginns bei 12,74 Jahren.

Die Patienten/-innen die mit einer VaWiKo® EPI-PLATTE behandelt wurden, waren durchschnittlich 12,35 Jahre alt. Das Implantationsalter bei der PediatrOS™ FlexTack™ lag bei durchschnittlich 13,13 Jahren. Auch wenn die Patienten/-innen im Mittel bei der Implantation der PediatrOS™ FlexTack™ jünger waren, so liegt im Vergleich zu der VaWiKo® EPI-PLATTE kein signifikanter Unterschied vor ( $p=0,058$ ).

Der Therapiebeginn erfolgte bei den Mädchen im Durchschnitt mit 11,90 und bei den Jungen mit 13,22 Jahren.

Dabei waren die jüngsten Patienten/-innen zum primären Operationszeitpunkt 7 Jahre und die ältesten 16 Jahre alt. (Abb. 35)

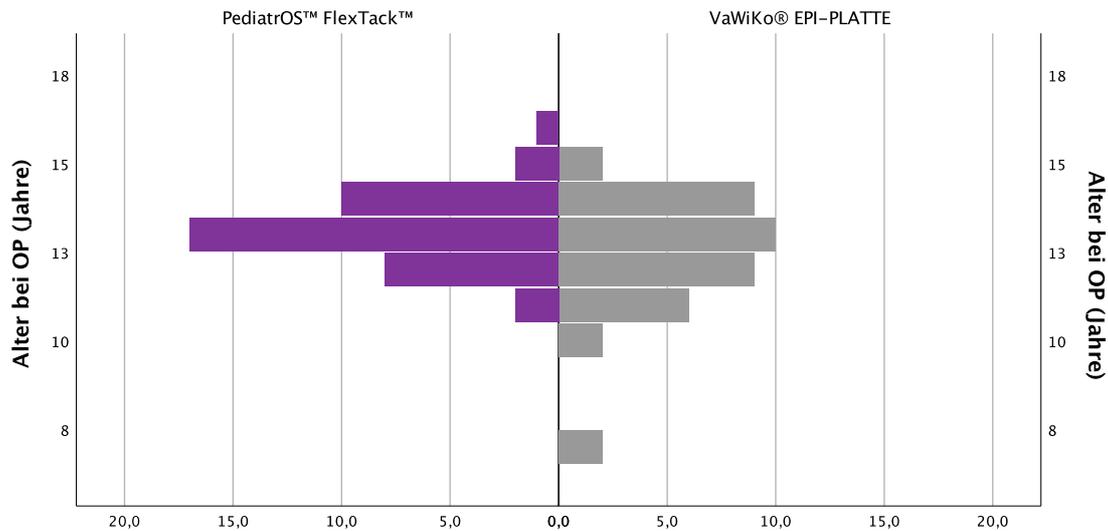


Abbildung 35: Gegenüberstellung der PediatrOS™ FlexTack™ und der VaWiKo® EPI-PLATTE zur Darstellung der Altersverteilung zum Zeitpunkt der Primäroperation

### 3.1.5 Körpergröße

In der Betrachtung der durchschnittlichen Körpergrößen ergab sich bei den Kindern ein Mittelwert von 165,16 cm. Dabei waren die Patienten/-innen der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe durchschnittlich 162,75 cm groß. Die Durchschnittskörpergröße der PediatrOS™ FlexTack™-Patienten/-innen betrug im Mittel 167,58 cm. In der Signifikanzbestimmung ergibt sich daraus, unter Anwendung des Mann-Whitney-U-Test, kein signifikanter Größenunterschied zwischen den beiden Gruppen ( $p=0,198$ ).

### 3.1.6 Körpergewicht

Da kindliches Übergewicht einen prädisponierenden Faktor zur Ausbildung einer Beinachsenfehlstellung darstellt, liegt ein weiteres Augenmerk auf der Betrachtung der Körpergewichte zum Zeitpunkt der Erstoperation. (50) Dabei lag der Mittelwert der untersuchten Gesamtpopulation bei 68,44 Kilogramm. Das Durchschnittsgewicht der Patienten/-innen, die mit einer VaWiKo® EPI-PLATTE operativ korrigiert wurden, betrug 66,93 kg. Im direkten Vergleich waren die Kinder, die mit einer PediatrOS™ FlexTack™ behandelt wurden, mit einem durchschnittlichen Gewicht von 69,95 kg, nicht signifikant schwerer als die Vergleichsgruppe ( $p=0,467$ ).

### 3.1.7 Body-Mass-Index

Betrachtet man die Größen- und Gewichtsangaben unter Beachtung des Alters und ermittelt aus diesen Angaben den Body-Mass-Index (BMI), so ergibt sich ein durchschnittlicher BMI von  $24,69 \text{ kg/m}^2$  bei einem Durchschnittsalter von 12,74 Jahren. Im Rahmen der Gegenüberstellung der VaWiKo<sup>®</sup> EPI-PLATTE mit einem durchschnittlichen BMI von  $24,56 \text{ kg/m}^2$  und der PediatrOS<sup>™</sup> FlexTack<sup>™</sup> mit einem Mittelwert von  $24,82 \text{ kg/m}^2$ , zeigte sich im t-Test erneut kein signifikanter Unterschied im vorliegenden Patienten/-innen-Kollektiv ( $p=0,827$ ).

### 3.1.8 Perzentile

Das nachfolgende Balkendiagramm gibt einen Überblick über die Patienten/-innen-Anzahl bezüglich der Body-Mass-Index-Perzentile unter Beachtung der altersentsprechenden Referenzwerte. (Abb. 36) Entsprechend Schienkiewitz et al. wurde als Normbereich des BMI die 10. bis 90. Perzentile angenommen. (58) Kinder, die unter der 10. Perzentile lagen, wurden als untergewichtig, diejenigen die über der 90. Perzentile lagen als übergewichtig eingestuft. Daraus geht hervor, dass lediglich ein Kind untergewichtig war, wohingegen der BMI bei insgesamt 46 Kindern (57,5 %) über der neunzigsten Perzentile lag und somit ein Übergewicht vorlag. Ein signifikanter Unterschied der Body-Mass-Index-Perzentile in Bezug auf die zwei unterschiedlichen Implantate zur Beinachsenkorrektur konnte nicht festgestellt werden ( $p=0,888$ ).

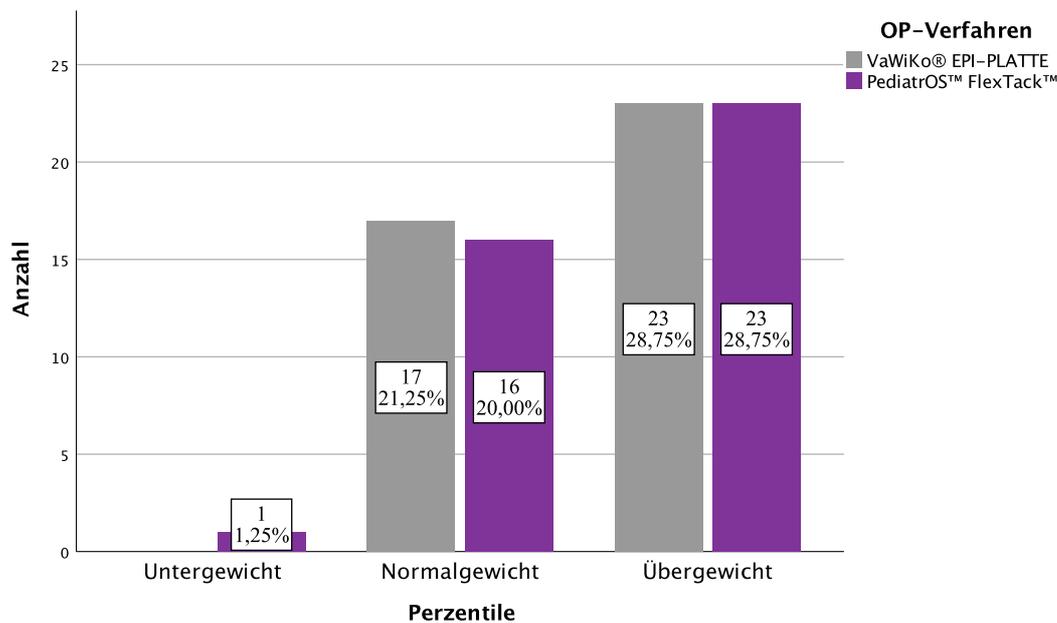


Abbildung 36: Implantatdifferenzierte Anzahl der Patienten/-innen nach Bestimmung der Body-Mass-Index-Perzentile unter Beachtung der altersentsprechenden Referenzwerte

### 3.2 Ergebnisse des präoperativen Untersuchungsbefundes

Im Rahmen des präoperativen klinischen Untersuchungsbefundes wird als diagnostisches Maß zur Einschätzung einer pathologischen Valgus-Deformität der Beinachse in unserer Klinik vornehmlich der Intermalleolarabstand dokumentiert. Da dieser hauptsächlich bei den beidseitigen Beinachsenfehlstellungen imponiert, wurden die 55 beidseitigen Valguskorrekturen detaillierter betrachtet.

Der Mittelwert des präoperativen Intermalleolarabstandes dieser 55 Patienten/-innen betrug 11,83 Zentimeter mit einer Standardabweichung von 2,88.

In der Gruppe der 27 VaWiKo® EPI-PLATTE-Kinder lag ein durchschnittlicher Intermalleolarabstand von 11,44 cm vor. Die PediatrOS™ FlexTack™ kam bei insgesamt 28 beidseitigen-, valgusbedingten Achskorrekturen zum Einsatz, wobei in dieser Gruppe der Intermalleolarabstand im Mittel bei 12,20 cm lag. Ein signifikanter Unterschied konnte im Rahmen der statistischen Auswertung somit nicht festgestellt werden ( $p=0,294$ ).

### 3.3 Ergebnisse im Rahmen der Implantation

#### 3.3.1 Operationszeit Implantation

Ein entscheidender Faktor im Rahmen der operativen Versorgung zur Beinachsenkorrektur im Kindesalter stellt die Zeit dar. Bei der Betrachtung der Operationszeiten zur Implantation der beiden zu untersuchenden Implantate lag die durchschnittliche Zeitspanne (Schnitt-Nahtende-Zeit) bei 39,11 Minuten. Die durchschnittliche OP-Zeit betrug bei der VaWiKo® EPI-PLATTE 38,25 Minuten. Zur Implantation der PediatrOS™ FlexTack™ wurden im Mittel 39,98 Minuten benötigt. Somit ergibt sich, bei der Bewertung der Operationszeiten, kein signifikanter Unterschied zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ ( $p=0,461$ ). (Tab. 1)

#### 3.3.2 Intraoperative Durchleuchtungszeit Implantation

Ein weiterer Parameter, dem im Rahmen des intraoperativen Vorgehens eine besondere Bedeutung zukommt, ist die Durchleuchtungszeit in Winkelminuten. Dies gibt einen Anhalt für die Röntgenstrahlung, der die Kinder während der Operation ausgesetzt sind. Im Durchschnitt lag die Durchleuchtungsdauer im Gesamtkollektiv bei 0,19 Winkelminuten. Die Durchleuchtungszeit zur temporären Hemiepiphyseodese mittels VaWiKo® EPI-PLATTE betrug 0,18 Winkelminuten. Zur Implantation der PediatrOS™ FlexTack™ waren durchschnittlich 0,19 Winkelminuten notwendig. Erneut besteht im direkten Vergleich der beiden wachstumslenkenden Operationsverfahren kein signifikanter Unterschied ( $p=0,472$ ). (Tab. 1)

#### 3.3.3 Stationäre Aufenthaltsdauer Implantation

Bei der Primär-Operation dauerte der durchschnittliche stationäre Aufenthalt in der vorliegenden Studie 4,97 Tage. Dabei befanden sich die Patienten/-innen, die mit einer VaWiKo® EPI-PLATTE therapiert wurden im Mittel 5,43 Tage in stationärer Behandlung. Mit einer Krankenhaus-Liegedauer von durchschnittlich 4,52 Tagen, waren Kinder, die mit einer PediatrOS™ FlexTack™ operiert wurden, signifikant kürzer in stationärer Behandlung ( $p<0,001$ ). (Abb. 37, Tab. 1)

## Ergebnisse

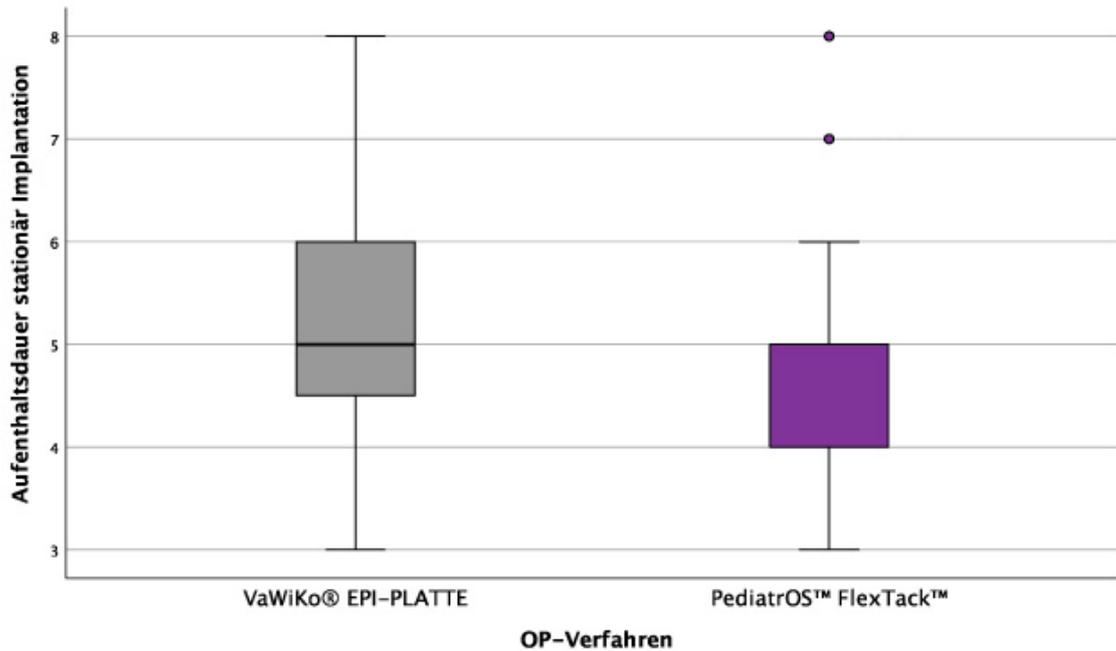


Abbildung 37: Vergleich der stationären Aufenthaltsdauer im Rahmen der Implantation zwischen der PediatrOS™ FlexTack™ und der VaWiKo® EPI-PLATTE

Tabelle 1: Gegenüberstellung der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ in Bezug auf OP-Dauer, Durchleuchtungsdauer und Aufenthaltsdauer im Rahmen der Implantation

OP-Verfahren		OP-Dauer Implantation in Minuten	Durchleuchtungsdauer Implantation (Winkelminute)	Aufenthaltsdauer stationär Implantation
VaWiKo® EPI- PLATTE	Mittelwert	38,25	0,1800	5,43
	N	40	40	40
	Std.-Abweichung	12,411	0,08196	1,338
PediatrOS™ FlexTack™	Mittelwert	39,98	0,1928	4,52
	N	40	40	40
	Std.-Abweichung	7,905	0,07558	1,062

### 3.4 Ergebnisse im Rahmen der Explantation

#### 3.4.1 Operationszeit Explantation

Die durchschnittliche Zeitdauer, die zur Explantation der beiden Implantate benötigt wurde, betrug im Gesamtkollektiv 30,83 Minuten. In der implantatabhängigen Zuteilung zeigte sich in der Gruppe der VaWiKo® EPI-PLATTE eine durchschnittliche Explantationszeit von 26,05 Minuten. Zur Materialentfernung der PediatrOS™ FlexTack™ wurden im Mittel 35,60 Minuten benötigt. (Abb. 38, Tab. 2) In der direkten Gegenüberstellung der beiden temporären Hemiepiphysedese-Verfahren, wurde eine durchschnittliche Zeitersparnis im Rahmen der Explantation der VaWiKo® EPI-PLATTE von 9,55 Minuten herausgefunden. Daraus ergibt sich in der statistischen Auswertung ein signifikanter Unterschied zwischen der mittleren Explantationsdauer der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ ( $p=0,006$ ).

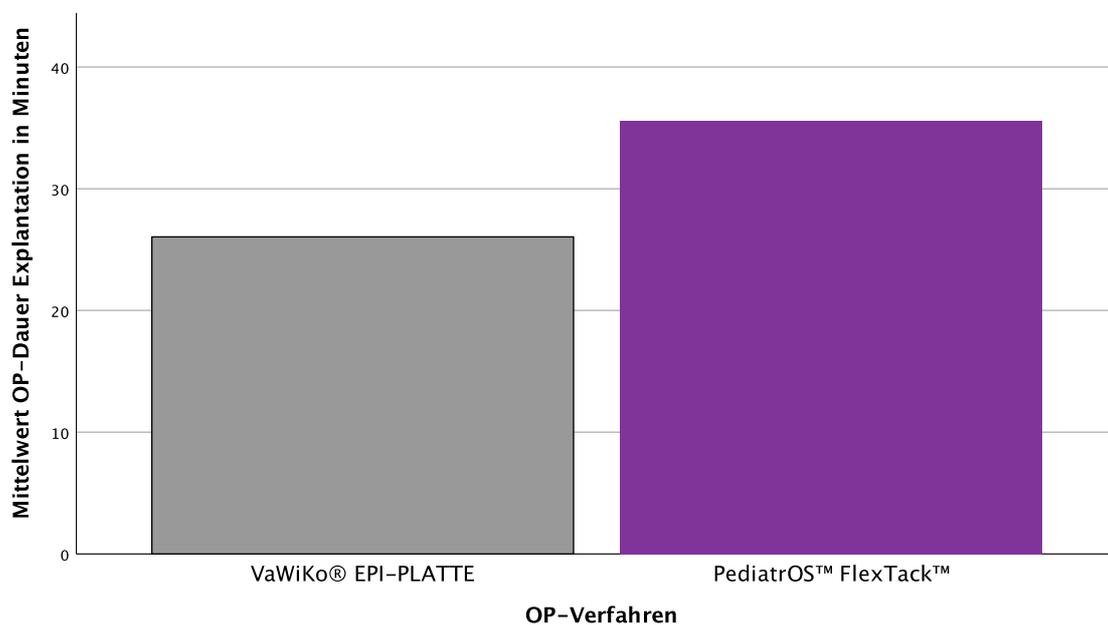


Abbildung 38: Vergleich zwischen den zur Explantation der VaWiKo® EPI-PLATTE und PediatrOS™ FlexTack™ benötigten Operationszeiten

### 3.4.2 Intraoperative Durchleuchtungszeit Explantation

Im Rahmen der intraoperativen Durchleuchtungszeit ergab sich bei der Materialentfernung ein Mittelwert von 0,05 Winkelminuten. Unter Beachtung des jeweiligen Operationsverfahrens, konnte eine durchschnittliche Durchleuchtungszeit zur Explantation der VaWiKo® EPI-PLATTE von 0,03 Winkelminuten festgestellt werden. Zur Entfernung der PediatrOS™ FlexTack™ wurden im Durchschnitt eine Durchleuchtungszeit von 0,07 Winkelminuten benötigt. (Abb. 39, Tab. 2) Mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests leitet sich daraus ein signifikanter Unterschied bei der Begutachtung der intraoperativen Durchleuchtungszeit zugunsten der VaWiKo® EPI-PLATTE ab ( $p=0,005$ ).

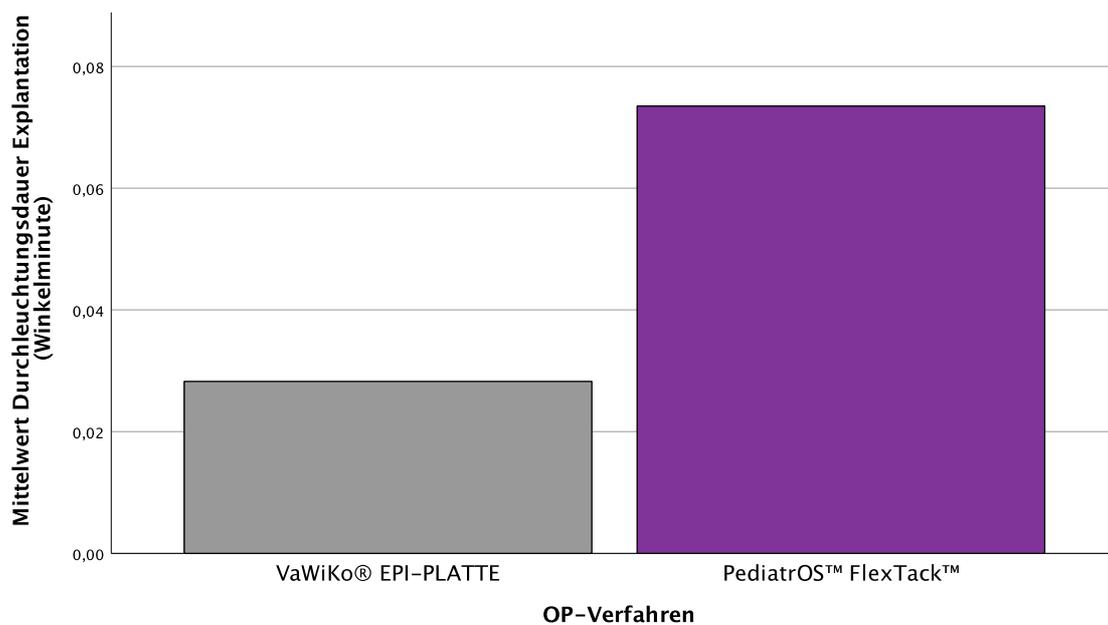


Abbildung 39: Vergleich der Durchleuchtungszeiten im Rahmen der Explantation zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™

### 3.4.3 Stationäre Aufenthaltsdauer Explantation

Die durchschnittliche stationäre Aufenthaltsdauer, zur Explantation des wachstumslenkenden Implantats, lag in dem vorliegenden Gesamtkollektiv bei 3,54 Tagen. Im Durchschnitt konnten Kinder, mit einer temporären Hemiepiphyseodese durch

die VaWiKo® EPI-PLATTE, nach 3,73 Tagen in die ambulante Weiterbehandlung entlassen werden. Patienten/-innen deren Beinachse unter Anwendung einer PediatrOS™ FlexTack™ korrigiert wurde, waren zur Materialentfernung, mit im Mittel 3,35 Tagen, signifikant kürzer in stationärer Behandlung ( $p=0,014$ ). (Abb. 40, Tab. 2)

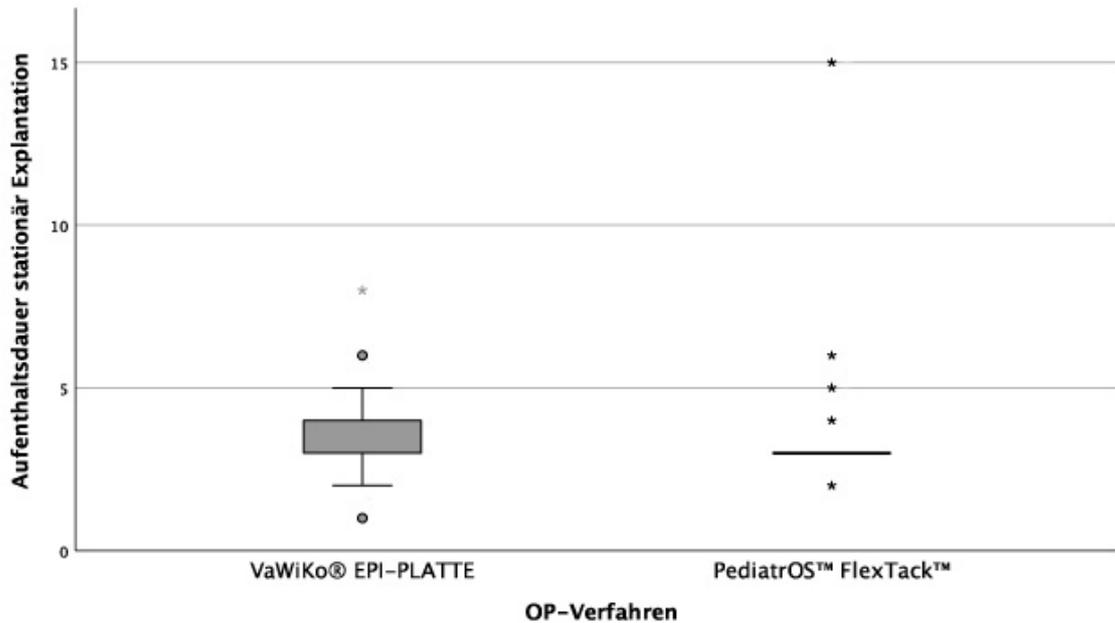


Abbildung 40: Vergleich der stationären Aufenthaltsdauer im Rahmen der Explantation zwischen der PediatrOS™ FlexTack™ und der VaWiKo® EPI-PLATTE

Tabelle 2: Gegenüberstellung der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ in Bezug auf OP-Dauer, Durchleuchtungsdauer und Aufenthaltsdauer im Rahmen der Implantation

OP-Verfahren		OP-Dauer Explantation in Minuten	Durchleuchtungsdauer Explantation (Winkelminute)	Aufenthaltsdauer stationär Explantation
VaWiKo® EPI- PLATTE	Mittelwert	26,05	0,0282	3,72
	N	40	40	40
	Std.-Abweichung	8,829	0,04872	1,320
PediatrOS™ FlexTack™	Mittelwert	35,60	0,0735	3,35
	N	40	40	40
	Std.-Abweichung	17,542	0,17155	2,070

### **3.5 Ergebnisse der präoperativen bildgebenden Diagnostik**

#### **3.5.1 Präoperative MAD der Gesamtpopulation**

Anhand der präoperativen Röntgen-Ganzbeinstandaufnahmen erfolgte zunächst die Erhebung der „mechanical axis deviation“ (MAD). Diese lag, im Gesamtkollektiv von 140 Beinen, bei durchschnittlich -13,38 Millimetern. Dieser Wert bestätigt, dass es sich mit 91,43 % bei einem Großteil der nachuntersuchten Kinder, um Patienten/-innen mit einer Valgus-Deformität handelte. Im Mittel betrug die präoperative MAD in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe -14,02 Millimeter. Bei Patienten/-innen, die mit einer PediatrOS™ FlexTack™ wachstumsgelenkt wurden, konnte ein Mittelwert der präoperative MAD von -12,76 Millimetern bestimmt werden.

Aus der Gegenüberstellung der Patientenkollektive zur Analyse der präoperativen MAD, ergibt sich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ kein signifikanter Unterschied. (Tab. 3)

#### **3.5.2 Präoperativer mLDFW der Gesamtpopulation**

Der ebenfalls mittels Ganzbeinstandaufnahme gemessene mechanische laterale distale Femurwinkel (mLDFW) betrug bei den 140 unteren Extremitäten im Mittel 86,72°.

Kinder bei denen die VaWiKo® EPI-PLATTE zur Anwendung kam, hatten einen durchschnittlichen präoperativen mLDFW von 86,77°. Der Durchschnittswert bei Patienten/-innen aus der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe lag präoperativ bei 86,66°.

Die beiden unwesentlich divergierenden mechanischen lateralen distalen Femurwinkel der beiden zu untersuchenden Gruppen stellen präoperativ keinen signifikanten Unterschied dar. (Tab. 3)

#### **3.5.3 Präoperativer mMPTW der Gesamtpopulation**

In der Ermittlung der einhundertvierzig präoperativen mechanischen medialen proximalen Tibiawinkel (mMPTW), ergibt sich ein Mittelwert von 87,51°. Im Durchschnitt konnte vor der operativen Intervention in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe ein mMPTW von 87,49° und in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe von 87,54°. In der implantatabhängigen Betrachtung des präoperativen mechanischen medialen proximalen Tibiawinkels ergibt sich daraus kein Signifikanzunterschied. (Tab. 3)

### 3.5.4 Präoperativer aFTW der Gesamtpopulation

Der präoperativen Röntgenbefundung abschließend, erfolgte die Bemessung des anatomischen femorotibialen Winkels (aFTW). In der Bewertung der letzten Ganzbeinstandaufnahme vor operativer Primärversorgung der Patienten/-innen, ergab sich ein implantatunabhängiger Mittelwert von 169,97°. Kinder die unter Anwendung einer VaWiKo® EPI-PLATTE wachstumsgelenkt wurden, hatten einen durchschnittlichen aFTW von 169,36°. Patienten/-innen, bei denen die temporäre Hemiepiphyseodese mithilfe der PediatrOS™ FlexTack™ erfolgte, hatten einen durchschnittlichen aFTW von 170,55°.

Die Begutachtung der anatomischen femorotibialen Winkeldifferenz, zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ stellt erneut keine Signifikanz dar.

### 3.5.5 Übersicht der präoperativen Ergebnisse in der Gesamtpopulation

Resümierend kann, sowohl bei der Betrachtung der präoperativ gemessenen Winkel (mLDFW, mMPTW und aFTW) als auch bei der MAD zwischen beiden Patientenkollektiven, mithilfe des t-Test, kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. (Tab. 3)

*Tabelle 3: Zusammenfassende Darstellung der anhand der präoperativen Röntgenaufnahme erhobenen MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW der Gesamtpopulation im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™*

	OP-Verfahren	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Signifikanz
MAD präoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	69	-14,02	12,507	0,544
	PediatrOS™ FlexTack™	71	-12,76	11,918	
mLDFW präoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	69	86,772	1,9387	0,745
	PediatrOS™ FlexTack™	71	86,669	1,8114	
mMPTW präoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	69	87,486	2,1329	0,878
	PediatrOS™ FlexTack™	71	87,538	1,9065	
aFTW präoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	69	169,364	3,9823	0,66
	PediatrOS™ FlexTack™	71	170,552	3,5925	

### **3.6 Ergebnisse der postoperativen bildgebenden Diagnostik**

#### **3.6.1 Postoperative MAD der Gesamtpopulation**

Entgegen des präoperativ valgischen MAD-Mittelwertes ergab sich postoperativ, mit 4,03 Millimetern, durchschnittlich eine leicht varische Überkorrektur. Der postoperative MAD-Durchschnittswert bei den nachuntersuchten Kindern mit operativer Versorgung durch eine VaWiKo® EPI-PLATTE lag bei 4,89 Millimetern. Mit 3,20 Millimetern befand sich der durchschnittliche postoperative MAD, in dem Patienten/-innen-Kollektiv bei denen die temporäre Hemiepiphyseodese unter Anwendung einer PediatrOS™ FlexTack™ erfolgte, geringfügig unter dem der Vergleichsgruppe. Die Differenz ergab nach statistischer Auswertung mittels t-Test keine Signifikanz. (Tab. 4)

#### **3.6.2 Postoperativer mLDFW der Gesamtpopulation**

Der postoperative mechanische laterale distale Femurwinkel (mLDFW) war in der Gesamtbetrachtung der 140 Extremitäten durchschnittlich 89,57°. Im VaWiKo® EPI-PLATTE-Kollektiv betrug der postoperative mLDFW im Mittel 90,05°. Der Durchschnittswert der postoperativen mLDFW lag im PediatrOS™ FlexTack™-Kollektiv bei 89,09°. Der anhand dieser Werte angefertigte t-Test, zeigte in der Betrachtung des postoperativen mechanischen lateralen distalen Femurwinkels, zwischen den beiden Patientenkollektiven einen signifikanten Unterschied. (Tab. 4)

#### **3.6.3 Postoperativer mMPTW der Gesamtpopulation**

Implantatunabhängig konnte postoperativ ein mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel (mMPTW) von durchschnittlich 90,28° ermittelt werden. Nach Unterscheidung in die jeweilige Implantat-Gruppe ergab sich bei der VaWiKo® EPI-PLATTE ein Mittelwert von 90,83° und bei der PediatrOS™ FlexTack™ von 89,76°. Somit ergibt sich, im direkten Vergleich des postoperativen mechanischen medialen proximalen Tibiawinkels zwischen den beiden Operationsverfahren, erneut ein signifikanter Unterschied. (Tab. 4)

### 3.6.4 Postoperativer aFTW der Gesamtpopulation

Nach Auswertung der postoperativen anatomischen femorotibialen Winkel (aFTW) konnte bei den 140 retrospektiv untersuchten Kinderbeinen ein Mittelwert von 175,18° erhoben werden. In der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe ergab sich ein Mittelwert der postoperativen aFTW von 175,17°. Der durchschnittliche postoperative aFTW betrug in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe 175,19°. Diese Winkeldifferenz ergibt in der statistischen Betrachtung mittels t-Test keinen signifikanten Unterschied. (Tab. 4)

### 3.6.5 Übersicht der postoperativen Ergebnisse in der Gesamtpopulation

Zusammenfassend kann, bei der Betrachtung der postoperativ gemessenen Winkel mLDFW und mMPTW, zwischen beiden Patientenkollektiven mithilfe des t-Test ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. In Bezug auf die MAD und den aFTW konnte postoperativ kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Implantat-Gruppen erhoben werden. (Tab. 4)

*Tabelle 4: Zusammenfassende Darstellung der anhand der postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW der Gesamtpopulation im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™*

	OP-Verfahren	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Signifikanz
MAD postoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	69	4,89	8,877	0,267
	PediatrOS™ FlexTack™	71	3,20	9,075	
mLDFW postoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	69	90,052	3,1682	0,043
	PediatrOS™ FlexTack™	71	89,093	2,3280	
mMPTW postoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	69	90,825	3,1353	0,022
	PediatrOS™ FlexTack™	71	89,755	2,2639	
aFTW postoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	69	175,171	3,0027	0,966
	PediatrOS™ FlexTack™	71	175,192	2,6008	

### 3.7 Prä- und postoperative Ergebnisse der Valgus- und Varus-Gruppe im Vergleich

#### 3.7.1 MAD der Valgus-Gruppe

In der Betrachtung der operativen Korrekturen von insgesamt 128 kindlichen Valgus-Beinachsen ergab sich in der vorliegenden Untersuchung eine Veränderung der mittleren MAD von präoperativ -16,52 mm zu postoperativ 3,60 mm.

In der Unterscheidung der Therapieeffizienz zur Veränderung der 128 primär valgischen MAD's von prä- zu postoperativ konnte zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. In der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe mit Valgus-Deformität lag eine MAD-Differenz von präoperativ durchschnittlich -16,59 mm und postoperativ von 4,77 mm vor. Bei Patienten/-innen mit primär valgischer Beinachse und einer Wachstumslenkung durch die PediatrOS™ FlexTack™, ergab sich präoperativ eine durchschnittliche MAD von -16,44 mm und postoperativ ein MAD-Mittelwert von 2,38 mm. (Tab. 5, Abb. 41)

*Tabelle 5: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen MAD-Mittelwerte bei valgischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™*

	OP-Verfahren	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Signifikanz
MAD präoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	65	-16,59	6,980	0,966
	PediatrOS™ FlexTack™	63	-16,44	5,924	
MAD postoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	65	4,77	8,584	0,125
	PediatrOS™ FlexTack™	63	2,38	8,965	

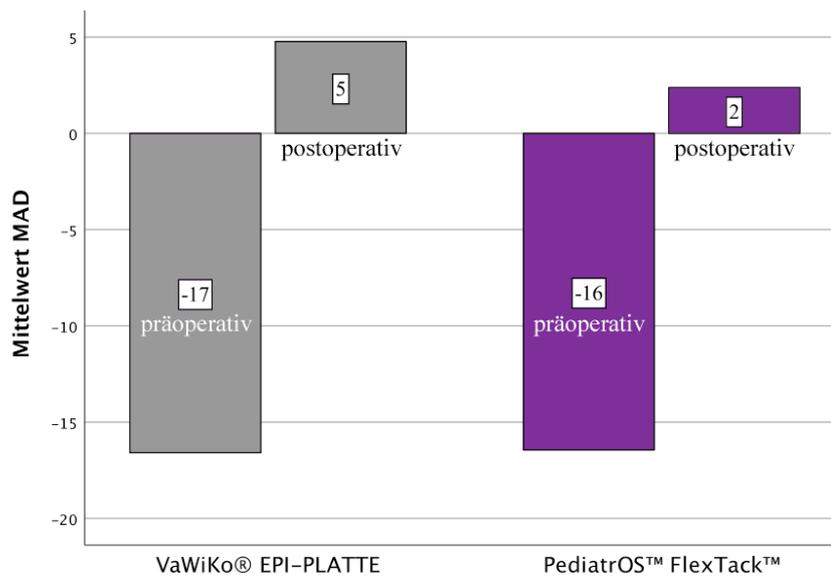


Abbildung 41: Übersicht zur mittleren MAD-Veränderung in Millimetern durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Valgusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich

### 3.7.2 MAD der Varus-Gruppe

Bei den insgesamt 12 nachuntersuchten Varus-Beinachsen lag die mittlere MAD präoperativ bei 20,08 mm und postoperativ bei 8,67 mm. Die MAD-Veränderungen bestätigen die Wirksamkeit beider Operationsverfahren zur Behandlung von pathologischen Varus- und Valgus-Beinachsen im Kindesalter, im Sinne einer positiven Beeinflussung der mechanischen Beinachse.

In der Nachuntersuchung der insgesamt 12 primär varischen MAD's ergab sich mithilfe des t-Testes im Mittel, zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE mit 27,75 mm und der PediatrOS™ FlexTack™ mit 16,25 mm, ein signifikanter Unterschied in den präoperativen Werten. Im Vergleich dazu zeigte sich in der Gegenüberstellung der durchschnittlichen postoperativen MAD, der initial varischen Beinachsendiformitäten, mit 6,75 mm bei der VaWiKo® EPI-PLATTE und 9,63 mm bei der PediatrOS™ FlexTack™ kein signifikanter Unterschied. (Tab. 6, Abb. 42)

Daraus lässt sich schließen, dass die VaWiKo® EPI-PLATTE zwar durchschnittlich bei ausgeprägterer Varus-Beinachse implantiert wurde, dennoch, im postoperativen Vergleich zur PediatrOS™ FlexTack™, ähnliche MAD-Mittelwerte erreicht werden konnten.

Tabelle 6: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen MAD-Mittelwerte bei varischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™

	OP-Verfahren	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Signifikanz
MAD präoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	4	27,75	6,131	0,006
	PediatrOS™ FlexTack™	8	16,25	5,064	
MAD postoperativ	VaWiKo® EPI-PLATTE	4	6,75	14,477	0,655
	PediatrOS™ FlexTack™	8	9,63	7,652	

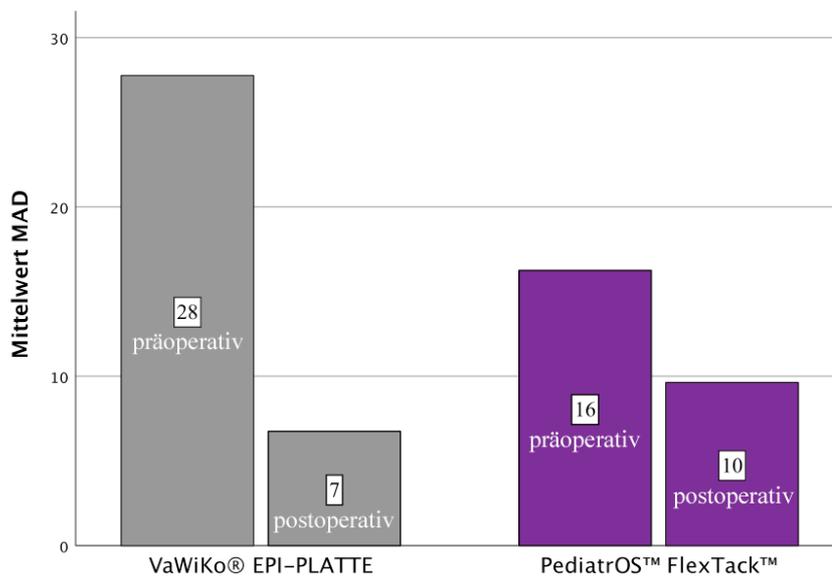


Abbildung 42: Übersicht zur mittleren MAD-Veränderung in Millimetern durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Varusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich

### 3.7.3 mLDFW der Valgus-Gruppe

In der retrospektiven Untersuchung der durchschnittlichen Veränderung des mechanischen lateralen distalen Femurwinkels zeigte sich in der Valgusgruppe, mit präoperativ 86,75° und postoperativ 89,95°, eine deutliche Winkeldifferenz.

In der Begrädigung der Valgusbeinachse bewiesen beide Implantate Ihre therapeutische Relevanz, wobei sich die präoperativen Werte mit im Mittel 86,80° bei der VaWiKo®

EPI-PLATTE und  $86,70^\circ$  bei der PediatrOS™ FlexTack™ nicht signifikant unterschieden. In der postoperativen Betrachtung des durchschnittlichen mLDFW bei ursprünglicher Valgusachse stellte sich jedoch, mit  $90,42^\circ$  in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe und  $89,47^\circ$  in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe, ein signifikanter Unterschied dar. (Tab. 7, Abb. 43)

Tabelle 7: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen mLDFW-Mittelwerte bei valgischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™

	OP-Verfahren	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Signifikanz
mLDFW	VaWiKo® EPI-PLATTE	65	86,797	1,9331	0,767
präoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	63	86,700	1,7538	
mLDFW	VaWiKo® EPI-PLATTE	65	90,417	2,8645	0,034
postoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	63	89,465	2,0786	

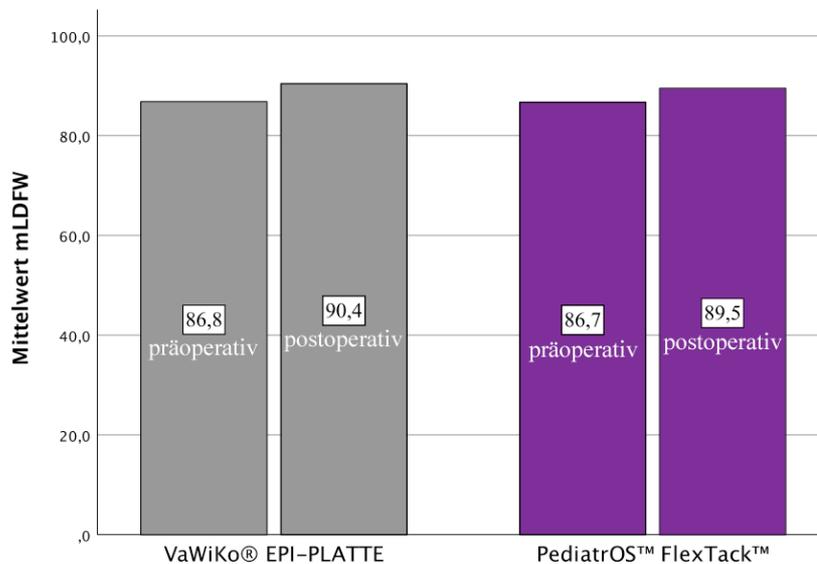


Abbildung 43: Übersicht zur mittleren mLDFW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Valgusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich

### 3.7.4 mLDFW der Varus-Gruppe

Auch aus der Nachbetrachtung der Mittelwert-Veränderungen des mechanischen lateralen distalen Femurwinkels der Varusgruppe, ließ sich eine entsprechende Winkeländerung von präoperativ 86,41° auf postoperativ 85,48° ableiten.

Dabei lag der durchschnittliche präoperative mLDFW bei vorbestehenden Genu varum, in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe bei 86,38° und in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe bei 86,43°. Mithilfe des t-Tests ergab sich daraus kein signifikanter Unterschied. Ebenso stellte sich bei der Auswertung des mittleren postoperativen mLDFW zwischen Patienten/-innen die mit einer VaWiKo® EPI-PLATTE (84,13°) behandelt wurden und Patienten/-innen bei denen die PediatrOS™ FlexTack™ (86,16°) zum Einsatz kam, kein signifikanter Unterschied dar. (Tab. 8, Abb. 44)

*Tabelle 8: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen mLDFW-Mittelwerte bei varischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™*

	OP-Verfahren	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Signifikanz
mLDFW	VaWiKo® EPI-PLATTE	4	86,375	2,2911	0,973
präoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	8	86,425	2,3438	
mLDFW	VaWiKo® EPI-PLATTE	4	84,125	1,6540	0,137
postoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	8	86,163	2,2064	

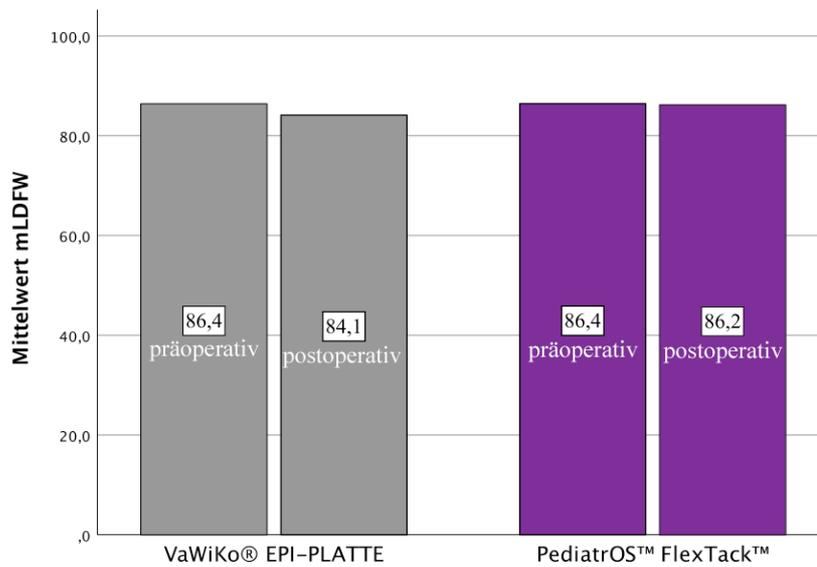


Abbildung 44: Übersicht zur mittleren mLDFW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Varusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich

### 3.7.5 mMPTW der Valgus-Gruppe

Die Mittelwerte des mechanischen medialen proximalen Tibiawinkels im Gesamt-Valgus-Kollektiv ergaben präoperativ 87,52° und postoperativ 90,66°. Damit konnte in der Gesamtbetrachtung der Patienten/-innen mit vorbestehender Valgusbeinachse, eine implantatunabhängige Beeinflussung des mMPTW nachgewiesen werden.

Dennoch zeigte sich, bei nicht signifikant unterschiedlichen Mittelwerten des präoperativen mMPTW in der Valgusgruppe (VaWiKo® EPI-PLATTE: 87,55°/ PediatrOS™ FlexTack™: 87,49°), in der postoperativen Bewertung des durchschnittlichen mMPTW nach Valguskorrektur (VaWiKo® EPI-PLATTE: 91,22°/ PediatrOS™ FlexTack™: 90,08°) ein signifikanter Unterschied. Somit konnte bei den 128 kindlichen Extremitäten mit valgischer Beinachse in der Beurteilung des postoperativen mechanischen medialen proximalen Tibiawinkels festgestellt werden, dass die VaWiKo® EPI-PLATTE zu einer signifikant größeren Winkelveränderung als die PediatrOS™ FlexTack™ geführt hat. (Tab. 9, Abb. 45)

Tabelle 9: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen mMPTW-Mittelwerte bei valgischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™

	OP-Verfahren	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Signifikanz
mMPTW	VaWiKo® EPI-PLATTE	65	87,554	2,1581	0,865
präoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	63	87,492	1,9391	
mMPTW	VaWiKo® EPI-PLATTE	65	91,220	2,7623	0,010
postoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	63	90,084	2,1267	

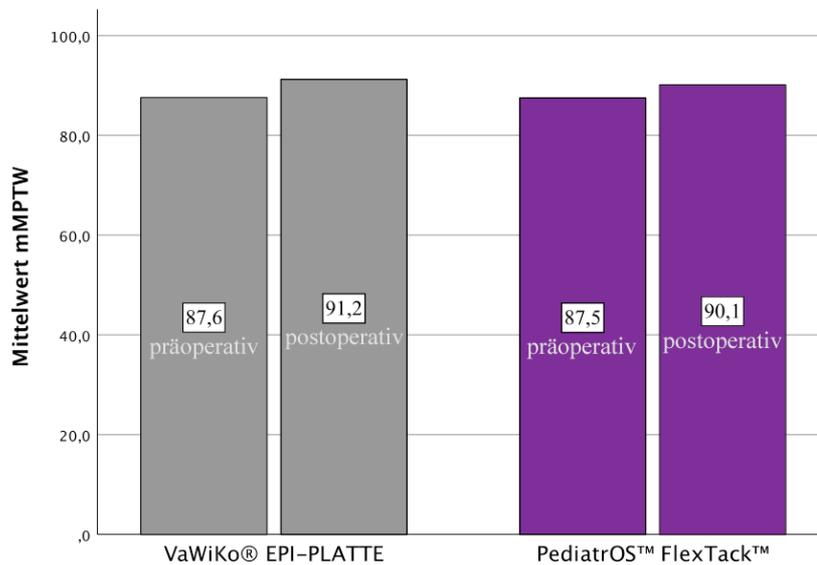


Abbildung 45: Übersicht zur mittleren mMPTW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Valgusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich

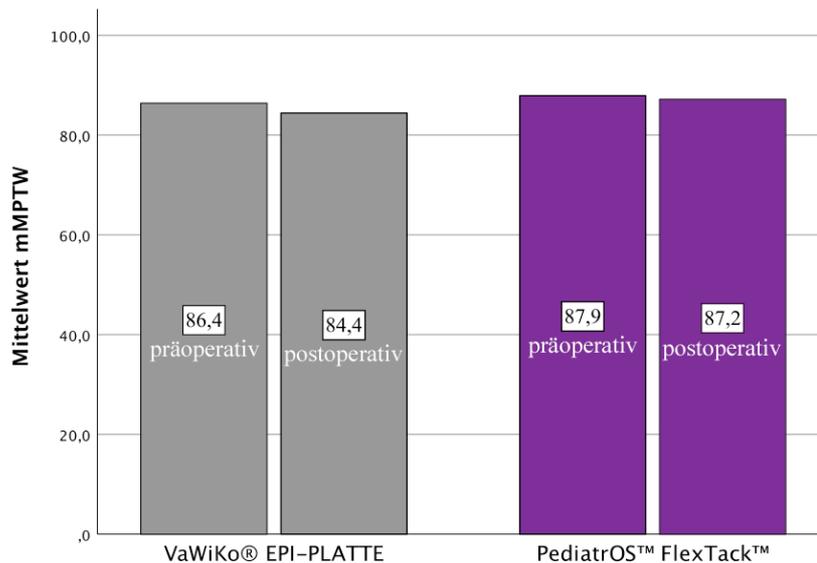
### 3.7.6 mMPTW der Varus-Gruppe

Bei den insgesamt 12 pädiatrischen Varusachsen betragen die Mittelwerte des präoperativen mechanischen medialen proximalen Tibiawinkels in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe 86,38° und in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe 87,90°. Diese Winkeldifferenz stellt keinen Signifikanzunterschied dar.

Entgegen dessen zeigte sich in der Betrachtung der durchschnittlichen mMPTW, bei Patienten/-innen nach erfolgter Varusachsenkorrektur, ein signifikanter Unterschied zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE (84,40°) und der PediatrOS™ FlexTack™ (87,16°). Daraus konnte abgeleitet werden, dass die VaWiKo® EPI-PLATTE im Vergleich zur PediatrOS™ FlexTack™, bei vorbestehender Varus-Beinachsendeformität, eine signifikant größere Winkelveränderung des mechanischen medialen proximalen Tibiawinkels herbeiführte. (Tab. 10, Abb. 46)

*Tabelle 10: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen mMPTW-Mittelwerte bei varischer Beinachsen deformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™*

	OP-Verfahren	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Signifikanz
mMPTW	VaWiKo® EPI-PLATTE	4	86,375	1,4198	0,155
präoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	8	87,900	1,6954	
mMPTW	VaWiKo® EPI-PLATTE	4	84,400	1,2728	0,013
postoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	8	87,163	1,5928	



*Abbildung 46: Übersicht zur mittleren mMPTW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Varusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich*

### 3.7.7 aFTW der Valgusgruppe

Der durchschnittliche postoperative anatomische femerotibiale Winkel konnte bei den nachuntersuchten 128 valgischen Kinderbeinen unter Anwendung des operativen Vorgehens von 169,06° auf 175,09° gesteigert werden.

Die durchschnittlichen aFTW aus dem Valgus-Kollektiv zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe mit präoperativ 168,65° und postoperativ 175,19° und der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe mit präoperativ 169,48° und postoperativ 174,99°, unterschieden sich jeweils nicht signifikant. (Tab. 11, Abb. 47)

Somit konnte, in Bezug auf die Veränderung des durchschnittlichen anatomischen femerotibialen Winkels bei der Korrektur von valgischen Beinachsen, kein Signifikanzunterschied in der Wirksamkeit der beiden verwendeten Implantate herausgefunden werden.

*Tabelle 11: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen aFTW-Mittelwerte bei valgischer Beinachsendeformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™*

	OP-Verfahren	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Signifikanz
aFTW	VaWiKo® EPI-PLATTE	65	168,654	2,7983	0,060
präoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	63	169,483	1,9514	
aFTW	VaWiKo® EPI-PLATTE	65	175,189	2,9653	0,690
postoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	63	174,992	2,6021	

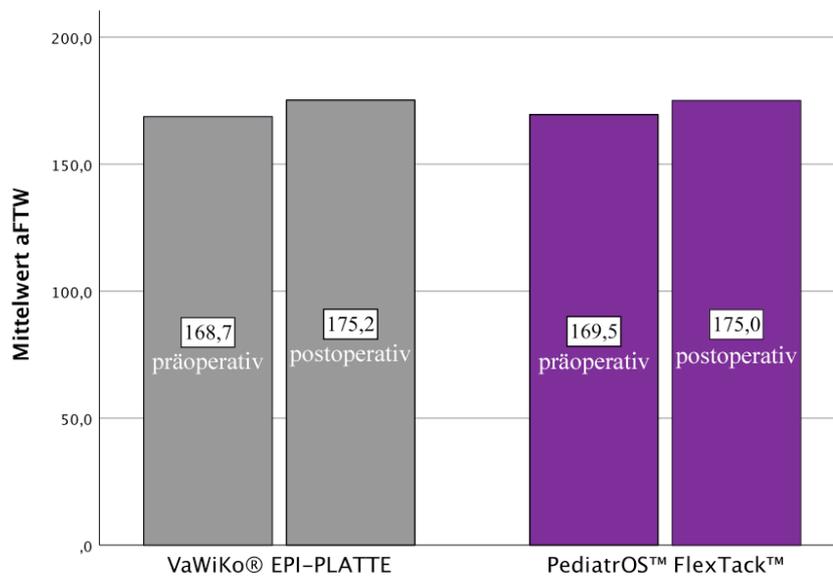


Abbildung 47: Übersicht zur mittleren aFTW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Valgusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich

### 3.7.8 aFTW der Varusgruppe

Im Rahmen der isolierten Nachuntersuchung des anatomischen femorotibialen Winkels während der temporären Hemiepiphyseodese bei kindlichen Varusachsendeformitäten ergab sich eine Winkelveränderung in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe von 180,90° zu 174,88° und in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe von 178,98° zu 176,76°. (Tab. 12, Abb. 48)

Die operative Manipulation des anatomischen femorotibialen Winkels in den Normbereich versicherte den therapeutischen Nutzen beider Implantate bei der Therapie von kindlichen Genua vara. Da zwischen den beiden verwendeten Implantaten jedoch kein Signifikanzunterschied in den prä- und postoperativen anatomischen femorotibialen Winkeln vorlag, konnten die VaWiKo® EPI-PLATTE und die PediatrOS™ FlexTack™, in Bezug auf die Winkelveränderung bei kindlichen Varusbeinachsen, als gleichwertige Operationsverfahren deklariert werden.

Tabelle 12: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen aFTW-Mittelwerte bei varischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™

	OP-Verfahren	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Signifikanz
aFTW	VaWiKo® EPI-PLATTE	4	180,900	2,0116	0,146
präoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	8	178,975	1,9898	
aFTW	VaWiKo® EPI-PLATTE	4	174,875	4,0828	0,305
postoperativ	PediatrOS™ FlexTack™	8	176,763	2,1193	

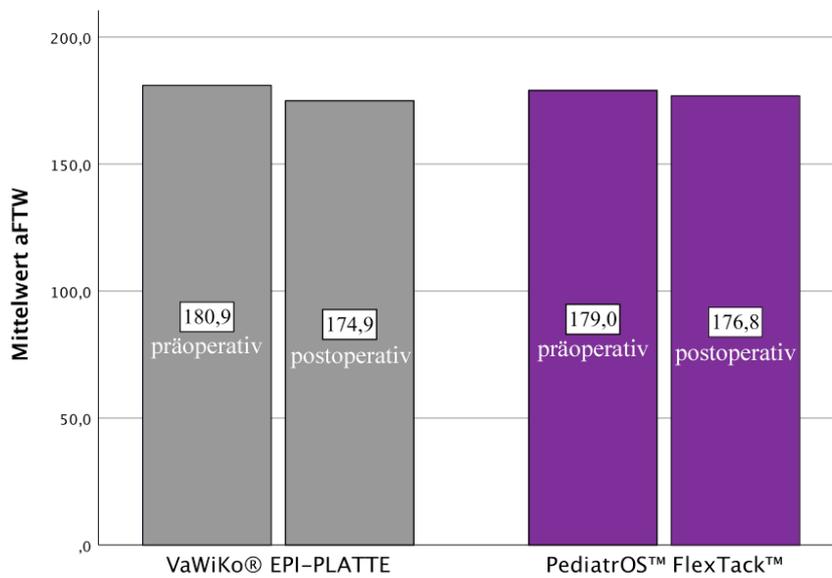


Abbildung 48: Übersicht zur mittleren aFTW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Varusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich

### 3.8 Ergebnisse der Therapiedauer

Die durchschnittliche Therapiedauer, welche als Zeitintervall vom Tag der Implantation bis zum Zeitpunkt der letzten Ganzbeinaufnahme vor Implantat-Explantation definiert wurde, betrug bei den insgesamt 140 Extremitäten 341,50 Tage.

In der implantatabhängigen Unterscheidung der mittleren Therapiedauer, zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE (353,48 Tage) und der PediatrOS™ FlexTack™ (329,86 Tage), zeigte sich im Mann-Whitney-U-Test kein signifikanter Unterschied.

Insgesamt lag, bei sich nicht signifikant unterscheidenden Ausgangspopulationen, die durchschnittliche Therapiedauer bei der temporären Hemiepiphyseodese mittels PediatrOS™ FlexTack™ zwar unter der benötigten Korrekturzeit der VaWiKo® EPI-PLATTE, jedoch stellte die mittlere Differenz von 23,62 Tagen keinen Signifikanzunterschied dar. (Abb. 49)

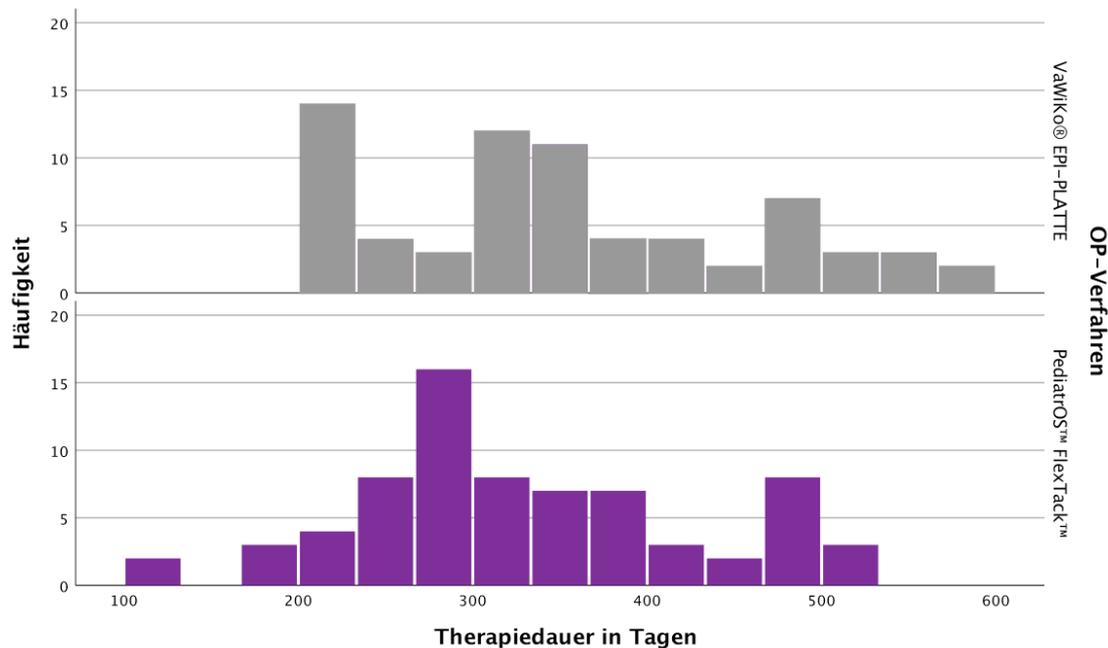


Abbildung 49: Grafische Darstellung zur Häufigkeitsverteilung der Therapiedauer im Vergleich der mittels VaWiKo® EPI-PLATTE zur PediatrOS™ FlexTack™

In einer detaillierteren Betrachtung der mittleren Korrekturdauern zeigte sich bei einem vorbestehenden Genu valgum in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe eine Zeitspanne von 343,42 Tagen und in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe eine Dauer von 333,78 Tagen. Die durchschnittliche Korrekturdauer bei einem primären Genu varum betrug bei Patienten/innen mit einer VaWiKo® EPI-PLATTE-Therapie 517,00 Tage und bei Patienten/innen mit einer PediatrOS™ FlexTack™-Therapie 299,00 Tage. (Abb. 50) Zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ resultiert daraus ein signifikanter Unterschied der Korrekturdauer des Genu varum ( $p=0,006$ ) zugunsten der PediatrOS™ FlexTack™. Innerhalb der Valgusgruppe zeigte sich in der Therapiedauer kein signifikanter Unterschied ( $p=0,603$ ) zwischen den beiden Implantaten.

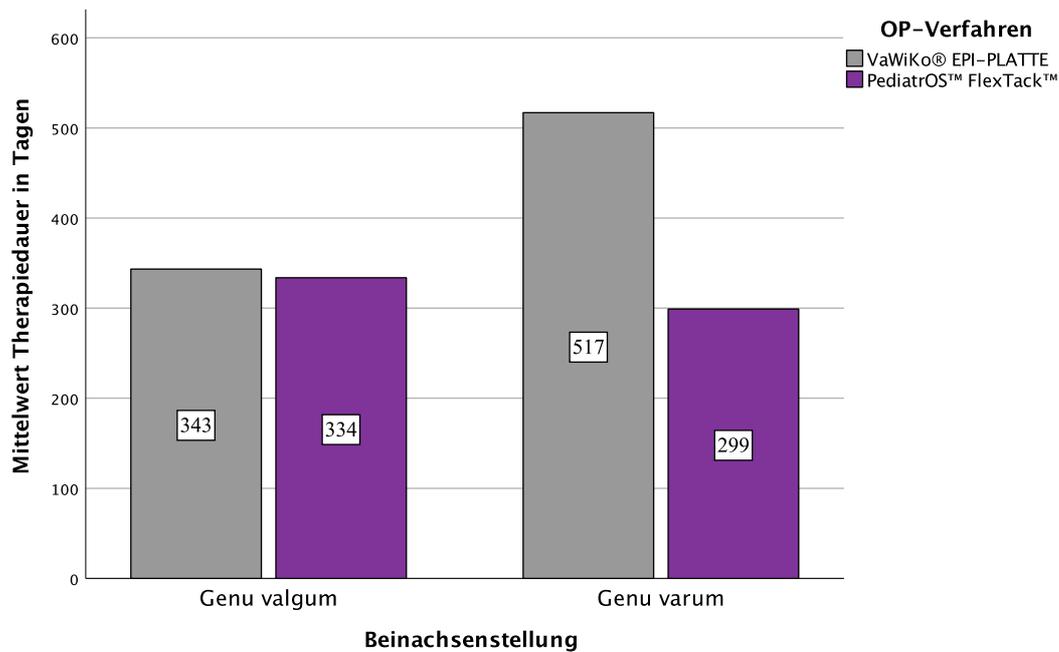


Abbildung 50: Grafische Darstellung zur mittleren Therapiedauer der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei Genu valgum und Genu varum

### 3.9 Ergebnisse der Komplikationsanalyse

In dem Zeitraum von Januar 2017 bis Dezember 2021 wurden in unserer Klinik insgesamt 140 idiopathische Beinachsenfehlstellungen mittels temporärer Hemiepiphyseodese korrigiert. Dabei kamen 148 Implantate zum Einsatz, von denen 73 VaWiKo® EPI-PLATTE's und 75 PediatrOS™ FlexTack™'s waren. In Zusammenschau der Im- und Explantationseingriffe entsprach dies insgesamt 161 Operationen. Es wurden im vorliegenden Patientenkollektiv 2 Komplikationen dokumentiert. In dem ersten Fall zeigte sich bei beidseitiger femoraler medialer temporärer Hemiepiphyseodese unter Verwendung einer PediatrOS™ FlexTack™' ein einseitiges postoperatives Hämatom nach Implantation, welches am 22. Postoperativen Tag revidiert werden musste.

Bei der zweiten Komplikation handelte es sich, ebenfalls bei einer femoralen medialen beidseitigen Beinachsenkorrektur mittels PediatrOS™ FlexTack™, um eine unvollständige Materialentfernung im Rahmen der Explantation. Dabei verblieb das proximale Krampfenende postoperativ in situ.

In der Zusammenschau der temporären Hemiepiphyseodese mithilfe der VaWiKo® EPI-PLATTE wurden in dem vorliegenden Patientenkollektiv keine Komplikationen dokumentiert.

## 4 Diskussion

Ein Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, durch einen direkten Vergleich von zwei parallel zueinander verwendeten Implantaten zur kindlichen Beinachsenkorrektur im Sinne einer temporären Hemiepiphyseodese, bereits präoperativ eine Präferenz zur Auswahl des jeweiligen Operationsverfahrens treffen zu können.

Aus der in Vorbereitung auf diese retrospektive Studie erfolgten Literaturrecherche ergaben sich bereits vorliegende Untersuchungen zur operativen Beinachsenkorrektur unter Anwendung der PediatrOS™ FlexTack™. (10, 30, 46, 49, 51)

Diese Untersuchungen stammten vornehmlich aus der Entwicklergruppe der PediatrOS™ FlexTack™, welche zumeist einen Vergleich mit der eight-Plate™ heranzogen. (30, 49, 51)

In Bezug auf die zur temporären Hemiepiphyseodese verwendeten Platten-Schrauben-Systeme lagen ebenfalls Untersuchungen vor, welche jedoch nicht die VaWiKo® EPI-PLATTE betrachteten (50, 53)

Somit ist der aktuellen Literatur bisher weder eine Nachuntersuchung der VaWiKo® EPI-PLATTE, noch ein Vergleich zur PediatrOS™ FlexTack™ zu entnehmen.

In dieser Studie lagen zwei, sich in der Gesamtbetrachtung der erhobenen Parameter nicht signifikant unterscheidender, Patientenkollektive vor.

Bei der Auswertung der Operationszeiten zeigte sich im Rahmen der PediatrOS™ FlexTack™-Explantation eine signifikant längere Eingriffs-Dauer, als bei der Entfernung der VaWiKo® EPI-PLATTE. Die Operationszeiten der Implantationen unterschieden sich hingegen nicht signifikant.

Zur Explantation der PediatrOS™ FlexTack™ wurde im Mittel eine längere Durchleuchtungszeit benötigt als bei der Entfernung der VaWiKo® EPI-PLATTE.

Bei der Analyse der stationären Aufenthaltsdauern ergab sich, sowohl bei der Im- als auch bei der Explantation, durchschnittlich eine signifikant kürzere Liegedauer bei Patienten/-innen aus der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe.

Entgegen der in der Fragestellung formulierten Annahme einer schnelleren Beinachsenkorrektur bei Verwendung der PediatrOS™ FlexTack™ im Vergleich zur VaWiKo® EPI-PLATTE, stellte sich in der Untersuchung der Valgusgruppe kein signifikanter Unterschied der definierten Therapiedauern dar.

Die Hypothese der verringerten Komplikationsrate durch den operativen Einsatz der VaWiKo® EPI-PLATTE, konnte in Bezug auf die Explantation bestätigt werden.

## **4.1 Interpretation der Ergebnisse**

### **4.1.1 Interpretation der deskriptiven Ergebnisse**

In der Gesamtbetrachtung der kindlichen Beinachsen deformitäten überwog mit 128 (91,43%) unteren Extremitäten die Valgus-Gruppe. Einen deutlich geringeren Anteil stellten mit lediglich 12 (8,57%) Beinen die Varusdeformitäten dar. Das gehäufte Auftreten von kindlichen Valgus-Fehlstellungen bei der Betrachtung von idiopathischen Achsfehlstellungen konnte bereits bei vorhandenen Untersuchungen belegt werden. So beschrieben Vogt et al. im Jahr 2021, in einer am Universitätsklinikum Münster durchgeführten Studie zur Gegenüberstellung des Therapieerfolges von PediatrOS™ FlexTack™ und eight-Plate™, einen prozentualen Anteil des Genu valgum von 84 % und des Genu varum von 16 %. (30)

Da kindliches Übergewicht einen prädisponierenden Faktor zur Ausbildung einer valgischen Beinachsen deformität darstellt, könnte bei einem Anteil von insgesamt 57,5 % der Patienten/-innen mit einem BMI über der neunzigsten Perzentile, dies einen Grund für die Beinachsenverteilung darstellen. (17)

Gleichzeitig belegt diese Tatsache die Notwendigkeit der Miteinbeziehung der adipösen Patienten/-innen in die Untersuchung, da bei Ausschluss die Aussagekraft der Ergebnisse bei lediglich 34 Kindern deutlich vermindert wäre.

Das Durchschnittsalter des untersuchten Patientenkollektivs lag bei 12,74 Jahren, wobei die operative Therapie bei den Mädchen mit durchschnittlich 11,90 Jahren deutlich früher, als bei den Jungen mit 13,22 Jahren, erfolgte. Als Grund der geschlechterspezifischen Unterscheidung des Operationszeitpunktes wird von einem späteren Verschluss der Wachstumsfuge beim männlichen Geschlecht ausgegangen.

In Anlehnung dessen beschrieben Hasgedorn et al. im Jahr 2013, bei insgesamt 93

Kindern die eine Wachstumslenkung mithilfe einer eight-Plate™ erhalten haben, ein Durchschnittsalter von 11,7 Jahren. Auch dabei lag der Mittelwert des Alters bei den weiblichen Patientinnen mit 11,9 Jahren unter dem der männlichen Patienten mit 12,6 Jahren. (54)

In der detaillierten Betrachtung des operativen Interventionszeitpunktes der untersuchten Patientengruppen fiel ein mit durchschnittlich 13,13 Jahren höheres Alter in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe, als mit 12,35 Jahren in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe, auf. Auch wenn diese Altersdifferenz, mit einem p-Wert von 0,058 im Mann-Whitney-U-Test, knapp nicht signifikant ist, so kann diese Tendenz mit der in der Fragestellung gestellten Annahme einer schnelleren Beinachsenkorrektur unter Anwendung der PediatrOS™ FlexTack™ erklärt werden.

Entsprechend des im Mittel um 0,78 Jahren höheren Alters im PediatrOS™ FlexTack™-Kollektiv, liegen auch die Werte der Körpergröße (167,58 cm) und des Körpergewichts (69,95 kg) etwas über den Angaben aus dem VaWiKo® EPI-PLATTE-Kollektiv (162,75 cm/ 66,93 kg). Diese Unterschiede sind jedoch jeweils nicht signifikant, sodass in der Gesamtbeurteilung von einer homogenen Patienten/-innen-Verteilung ausgegangen werden kann.

Dies bestätigen auch die nah beieinanderliegenden Durchschnittswerte des Body-Mass-Index mit 24,56 kg/m<sup>2</sup> bei Beinachsenkorrekturen mithilfe der VaWiKo® EPI-PLATTE und 24,82 kg/m<sup>2</sup> bei Achskorrekturen unter Anwendung der PediatrOS™ FlexTack™.

#### **4.1.2 Interpretation der Ergebnisse im Rahmen der Im- und Explantation**

Ein weiteres Augenmerk wurde auf die Beurteilung der zur Im- und Explantation benötigten Operationszeit gelegt. Dabei lag die durchschnittliche OP-Zeit zur Implantation der VaWiKo® EPI-PLATTE bei 38,25 Minuten und die der PediatrOS™ FlexTack™ im Mittel bei 39,98 Minuten. Entgegen der von Vogt et al. im Jahre 2021 beschriebenen reduzierten Implantationszeit bei Anwendung der PediatrOS™ FlexTack™ im Vergleich zur eight-Plate™, resultiert in der vorliegenden Untersuchung kein signifikanter Zeitgewinn (p=0,461) bei der Unterscheidung der betrachteten Implantate. (30)

Die bisherige Annahme, einer verlängerten Implantationszeit bei dreiteiligen Platten-Schrauben-Systemen wie bei der VaWiKo® EPI-PLATTE gegenüber der einteiligen PediatrOS™ FlexTack™, konnte im vorliegenden Vergleich nicht bestätigt werden.

Die benötigte Dauer zur Implantat-Explantation stellte im Gegensatz zur Implantation einen signifikanten Unterschied ( $p=0,006$ ) zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ dar. Durchschnittlich wurden für die Explantation der PediatrOS™ FlexTack™ 9,55 Minuten mehr benötigt, als für die Entfernung der VaWiKo® EPI-PLATTE. Bereits im Jahr 2018 beschrieben Koob et al. eine erschwerte Explantation der PediatrOS™ FlexTack™, woraufhin das Explantationsprozedere und Instrumentarium angepasst wurde. Mit der modifizierten Explantationsmethode konnten Komplikationen deutlich reduziert werden. (46)

Dennoch deutet die verlängerte Operationszeit der PediatrOS™ FlexTack™-Explantation auf die Notwendigkeit der Ummeißelung des proximalen und distalen Klammerpols, welche bei der Entfernung der VaWiKo® EPI-PLATTE nicht vonnöten ist. Des Weiteren erschwert eine zunehmende Divergenz der beiden PediatrOS™ FlexTack™-Pole die Materialentfernung.

Dies spiegelt sich auch in der Auswertung der durch den operativen Einsatz der temporären Hemiepiphyseodese resultierenden Komplikationen wider. Zusammengefasst traten in 161 Operationen, worunter 73 VaWiKo® EPI-PLATTE's und 75 PediatrOS™ FlexTack™'s im- und explantiert wurden, lediglich zwei Komplikationen auf. Auffällig war dabei, dass es sich in beiden Komplikationsfällen um Patienten/-innen aus der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe handelte. Bei den Kindern, die hingegen eine operative Beinachsenkorrektur mithilfe der VaWiKo® EPI-PLATTE erhalten haben, wurden keine Komplikationen dokumentiert.

In dem ersten Komplikationsfall lag ein revisionsbedürftiges, einseitiges postoperatives Hämatom nach Implantation vor. Eine mögliche Erklärung dafür könnte in dem unterschiedlichen intraoperativen Vorgehen im Rahmen der Implantation des jeweiligen Implantats liegen. Bei der VaWiKo® EPI-PLATTE werden die zwei kanülierten Schrauben eingedreht, wohingegen die zwei Klammerpole der PediatrOS™ FlexTack™ eingeschlagen werden. Dennoch stellt diese Komplikation mit einem Auftreten von

1,33 % bei Implantation einer PediatrOS™ FlexTack™ eine Rarität dar. Auch wenn in der vorliegenden Studie keine Komplikationen bei der operativen Beinachsenkorrektur mithilfe der VaWiKo® EPI-PLATTE dokumentiert wurden, so lagen bei vergleichbaren Studien mit anderen Platten-Schrauben-Systemen durchaus Komplikationen vor.

Hasgedorn et al. beschrieben im Jahr 2013 die Komplikation eines postoperativen Wundinfektes/infizierten Hämatoms bei der operativen Anwendung der eight-Plate™ mit einem Prozentsatz von 0,5 %. (54) Ähnliche Ergebnisse beschrieben Raab et al. bei der Wachstumslenkung durch die Blount-Klammer bereits im Jahre 2001, wobei das Risiko einer verzögerten Wundheilung bei 1,74 % lag. (42)

In einer durch Danino et al. im Jahr 2019 veröffentlichten Multicenterstudie von insgesamt 206 Patienten/-innen wurde eine implantatunabhängige Komplikationsrate von postoperativen Infektionen mit 1 % angegeben. (55)

In der Gesamtbetrachtung verdeutlichen diese Untersuchungen den geringen Anteil an postoperativen Hämatomen oder Wundheilungsstörungen rund um die temporären Hemiepiphyseodesen. Es liegt jedoch die Vermutung nahe, dass bei einem größeren Patientenkollektiv oder einer weiterführenden Wundkontrolle auch nach Entlassung aus der stationären Behandlung ebenfalls Wundheilungsstörungen oder Hämatome bei Patienten/-innen aus der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe festgestellt werden könnten.

Im zweiten Komplikationsfall zeigte sich eine erschwerte Explantation der PediatrOS™ FlexTack™, wobei nach Durchtrennung des flexiblen Klammerstegs, bei ausgeprägter Divergenz der Krampenenden, das proximale Krampenende bis weit in den metaphysären Teil des Femurs hereinragte und unter Kortikalisniveau verschwand. Eine gänzliche Materialentfernung wäre anschließend nur mit erheblichem Knochen- und Weichteildefekt möglich gewesen, sodass die Entscheidung zum Verbleib des proximalen PediatrOS™ FlexTack™-Anteils getroffen wurde. Daraus ergibt sich ein Risiko für die unvollständige Materialentfernung der PediatrOS™ FlexTack™ von 1,33 %. Koob et al. konnten in einer Untersuchung von 48 PediatrOS™ FlexTack™'s im Jahr 2018 bei dem modifizierten Explantationsvorgehen keine Komplikationen herausfinden. (46)

Der in der Literatur beschriebene Verbleib von Schraubenanteilen auf Grund eines Schraubenbruchs der eight-Plate™ im Sinne eines Materialversagens, konnte in der vorliegenden Studie bei der VaWiKo® EPI-PLATTE nicht beobachtet werden. Ein Grund

dafür könnte das von Schroerlucke et al. 2009 beschriebene gehäufte Auftreten bei der Blount-Krankheit sein, welches eines der Ausschlusskriterien dieser Studie war. (50) In Zusammenschau der 148 temporären Hemiepiphyseodesen traten ungeachtet des Implantats in 1,35 % der Fälle Komplikationen auf. Dieser Wert bestätigt das relativ niedrige Komplikationsrisiko der Therapie und nähert sich der mit 1 % angegebenen Komplikationsrate von Danino et al. aus dem Jahr 2019 an. (55)

Einen wichtigen Stellenwert in der operativen Therapie eines heranwachsenden Patientenkollektivs, stellt die im Rahmen dessen benötigte Belastung durch Röntgenstrahlung dar.

In einer Veröffentlichung von M. Salzmann aus dem Jahr 2021 wurde bei der temporären Hemiepiphyseodese unter Anwendung der PediatrOS™ FlexTack™ eine reduzierte Durchleuchtungszeit in Aussicht gestellt. (56)

In der aktuellen Untersuchung lag in der Auswertung der Durchleuchtungszeiten der Primäroperation mit einem Durchschnittswert von 0,19 Winkelminuten und einem p-Wert von 0,472 im t-Test kein signifikanter Unterschied zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ vor. Die zur Implantation notwendige Durchleuchtungszeit basiert meist auf wenigen intraoperativen Röntgenaufnahmen. Dabei wird zunächst implantatunabhängig die Wachstumsfuge röntgenologisch aufgesucht. Anschließend wird mit einer Röntgenkontrolle in 2 Ebenen die korrekte Kirschner-Draht-Position kontrolliert, ehe die Abschlusskontrolle der endgültigen Implantatlage folgt. Da sich die entscheidenden Implantationsschritte der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ nicht wesentlich unterscheiden ist dieses Ergebnis durchaus nachvollziehbar.

Im Gegensatz dazu zeigte sich bei der Explantation, mit einer durchschnittlichen Durchleuchtungszeit von 0,03 Winkelminuten bei der VaWiKo® EPI-PLATTE und einer Durchleuchtungszeit von 0,07 Winkelminuten bei der PediatrOS™ FlexTack™, mithilfe des Mann-Whitney-U-Test und einem p-Wert von 0,005 ein signifikanter Unterschied. Möglicherweise besteht dabei ein Zusammenhang zur verlängerten Explantationsdauer der PediatrOS™ FlexTack™.

In den zur Bewertung der temporären Hemiepiphyseodese durchgeführten Untersuchungen wurde die Dauer der stationären Behandlung bisher wenig beleuchtet. Dennoch erfolgte in dieser Studie die Auswertung der durchschnittlichen stationären Behandlungszeit, wobei die daraus resultierende Aussagekraft kritisch hinterfragt werden muss. Die mittlere stationäre Aufenthaltsdauer lag in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe bei der Implantation 0,91 Tage ( $p < 0,001$ ) und bei der Explantation 0,38 Tage ( $p = 0,014$ ) unter der Behandlungszeit der VaWiKo® EPI-PLATTE -Gruppe. Dabei ist anzumerken, dass im Jahr 2017 die operative Beinachsenkorrektur im Marienstift Arnstadt ausschließlich mit der VaWiKo® EPI-PLATTE erfolgte. Erst im November 2018 wurde in unserer Klinik zunehmend die PediatrOS™ FlexTack™ zur Wachstumslenkung eingeführt. Dabei könnte die in den vergangenen Jahren deutlich gesunkene Verweildauer in Krankenhäusern, Einfluss auf die Signifikanz der stationären Behandlungsdauer genommen haben. (57)

#### **4.1.3 Interpretation der Ergebnisse im prä- und postoperativen Vergleich**

Sowohl in der prä- als auch in der postoperativen Beurteilung der mittleren MAD der Valgus-Gruppe gab es zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE (-16,59 mm/ 4,77 mm) und der PediatrOS™ FlexTack™ (-16,44 mm/ 2,38 mm) keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,966/ p = 0,125$ ). In der implantatunabhängigen Zusammenschau lag eine mittlere MAD-Veränderung von präoperativ -16,52 mm zu postoperativ 3,60 mm vor.

Daraus lässt sich eine durchschnittliche Überkorrektur der primären Genua valga in eine leichte Varus-Beinachse ableiten.

Diese Tendenz beschrieben ebenfalls Hasgedorn et al. in einer Veröffentlichung zur eight-Plate™ aus dem Jahr 2013. Hierbei lag eine mittlere MAD-Veränderung von präoperativ -24,8 mm zu postoperativ 6,9 mm vor. (54)

Gründe für die durchschnittliche Überkorrektur der Beinachsen könnten zum einen die Berücksichtigung des zu erwartenden Rebound-Phänomens und zum anderen die teils kurzfristig einzutaktenden Operationstermine darstellen.

In der Beurteilung der präoperativen MAD bei primärem Genu varum lag mit 27,75 mm in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe und 16,25 mm in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe ein signifikanter Unterschied vor. Beide Implantate führten zu einer Annäherung der mittleren MAD an den Normbereich, wobei mit 6,75 mm bei der VaWiKo® EPI-

PLATTE und 9,63 mm bei der PediatrOS™ FlexTack™ jeweils ein Rest-Varus verblieb. In der Zusammenschau konnte die VaWiKo® EPI-PLATTE in der Varus-Gruppe eine mittlere MAD-Veränderung von 21 mm und die PediatrOS™ FlexTack™ von 6,62 mm erreichen. Die Beobachtung eines zum Ende des Behandlungszeitpunktes vorliegenden Rest-Varus bestätigten Hasgedorn et al. 2013. Hierbei konnte eine mittlere MAD-Korrektur von 36,0 mm präoperativ zu 17,8 mm postoperativ verzeichnet werden. (54) Auffallend ist hierbei das höhere Durchschnittsalter bei Therapiebeginn in der Varus-Gruppe (13,57 Jahre) im Vergleich zur Valgus-Gruppe (12,66 Jahre). Auch wenn diese Differenz mit einem p-Wert von 0,054 nicht signifikant ist, so könnte der näher an den Zeitpunkt des Verschlusses der Wachstumsfugen gelegte Therapiebeginn eine Begründung für den durchschnittlich erhobenen Rest-Varus darstellen.

Die Bemessung des mechanischen lateralen distalen Femurwinkels ergab in der Gruppe der Valgusdeformitäten bei der VaWiKo® EPI-PLATTE 86,80° und bei der PediatrOS™ FlexTack™ 86,70°. Die erhobene Differenz stellte einen nicht signifikanten Unterschied dar. Entgegen dessen zeigte sich beim durchschnittlichen postoperativen mLDFW bei ursprünglicher Valgusachse, in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe mit 90,42° und in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe mit 89,47°, ein signifikanter Unterschied. Entsprechend des Normbereiches des mLDFW von 87° plus/minus 3°, entsprachen bereits präoperativ die untersuchten Patientenkollektive im Mittel diesem Wert. (10) In der isolierten Betrachtung des postoperativen mLDFW der Valgusgruppe mit Beinachsenkorrektur durch die VaWiKo® EPI-PLATTE ergab sich daraus mit 90,42° eine leichte Überkorrektur. Die mittlere Korrekturrate des mLDFW der Valgusgruppe lag bei der VaWiKo® EPI-PLATTE bei 3,62° und bei der PediatrOS™ FlexTack™ bei 2,77°. Die Mittelwerte des prä- und postoperativen mLDFW der Varusgruppe unterschieden sich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ nicht signifikant, wobei die durchschnittliche therapiebedingte Veränderung bei 0,93° lag. Diese Winkelveränderungen liegen unter dem Korrekturausmaß des mLDFW, welche Dai et al. 2021 achsunabhängig mit durchschnittlich 13,38° angaben. (58) Jelinek et al. beschrieben 2012 hingegen eine mittlere Veränderung des mLDFW von 9° bei den Valgus- und 5° bei den Varusfehlstellungen. (59) Gründe für die Winkeldiskrepanzen könnten untersucherabhängige Messmethoden und unterschiedliche Patientenkollektive

darstellen. Die genannten Vergleichsstudien basieren meist auf einer Miteinbeziehung von multiplen Vorerkrankungen in die Studien, sodass nicht, wie in der vorliegenden Untersuchung, lediglich idiopathische Fehlstellungen betrachtet wurden.

Die mittlere Differenz zwischen dem prä- und postoperativen mMPTW betrug in der Valgusgruppe bei der VaWiKo® EPI-PLATTE 3,67° und bei der PediatrOS™ FlexTack™ 2,59°. In der Varusgruppe konnte eine durchschnittliche Veränderung des mMPTW von 1,98° im VaWiKo® EPI-PLATTE-Kollektiv und 0,74° im PediatrOS™ FlexTack™-Kollektiv erreicht werden.

Bezüglich des Korrekturausmaßes des mMPTW beschrieben Jelinek et al. im Jahr 2012 eine mittlere Veränderung von 4° bei Valgus- und 2° bei Varusdeformitäten. (59) Ähnlich wie beim mLDFW ergab sich aus der Literatur auch beim mMPTW eine beachtliche Streubreite der erhobenen Korrekturpotentiale. Während Jelinek et al. ähnliche Winkelkorrekturen des mMPTW wie in der vorliegenden Untersuchung beschreiben, so benennen Dai et al. eine operationsbedingte beinachsenunabhängige Veränderung des mechanischen medialen proximalen Tibiawinkels von durchschnittlich 10,5°. (58, 59) Auch wenn die beschriebenen Korrekturpotentiale des mMPTW weit divergieren, so wird in der Literatur einheitlich, entsprechend der Veröffentlichung von Danino et al aus dem Jahre 2019 (98 %), von einer großen Wirksamkeit der temporären Hemiepiphyseodese zur Manipulation des mMPTW in den Normbereich ausgegangen. (55)

Die durchschnittliche Korrekturrate des aussagekräftigen aFTW's lag bei vorbestehenden Genua valga und operativer Versorgung mithilfe der VaWiKo® EPI-PLATTE bei 6,54° und unter Anwendung der PediatrOS™ FlexTack™ bei 5.51°.

Die durch den Einsatz der temporären Hemiepiphyseodese erzielte durchschnittliche Anpassung des aFTW, ergab bei einer Varus-Fehlstellung in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe einen Wert von 6.02° und in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe von 2,22°. Die prä- und postoperativen Werte zeigten sowohl in der Valgus- als auch in der Varus-Gruppe zwischen den beiden Implantaten keinen signifikanten Unterschied. Bei den Valgusfehlstellungen gelang sowohl durch die VaWiKo® EPI-PLATTE, als auch durch die PediatrOS™ FlexTack™ eine Beinachsenkorrektur in den Normbereich von 173°-175°. (19) In Anlehnung des postoperativ festgestellten Rest-Varus bei

vorbestehender O-Beinstellung anhand des MAD stellte sich dieser auch bei den durchschnittlichen postoperativen aFTW's mit  $176,76^\circ$  bei der PediatrOS™ FlexTack™ dar. In einer Untersuchung der therapeutischen Wirksamkeit der eight-Plate™ veröffentlichten Hasgedorn et al. 2013 eine mittlere aFTW-Veränderung von  $5^\circ$  in der Valgus- und  $9^\circ$  in der Varusgruppe. (54) Einen weiteren Hinweis für die nicht unwesentliche Streuung der mittleren aFTW-Veränderungen in der vorliegenden Literatur liefern Guzman et al. mit  $5,2^\circ$  und Stevens et al. mit  $13^\circ$  jeweils unabhängig der Beinachsenfehlstellung. (35, 60)

Der vor allem für die Therapieplanung entscheidende Aspekt der mittleren Korrekturdauer lag bei einem vorbestehenden Genu valgum in der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe bei 343,42 Tagen und in der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe bei 333,78 Tagen. Die durchschnittliche Korrekturdauer bei einem primären Genu varum betrug bei Patienten/innen mit einer VaWiKo® EPI-PLATTE-Therapie 517,00 Tage und bei Patienten/innen mit einer PediatrOS™ FlexTack™-Therapie 299,00 Tage. Es resultiert ein signifikanter, implantatabhängiger Unterschied der Korrekturdauer innerhalb der Varusgruppe ( $p=0,006$ ) und ein nichtsignifikanter Unterschied innerhalb der Valgusgruppe ( $p=0,603$ ). Diese Tatsache ist in der Bewertung der MAD-Mittelwerte zu beachten und relativiert die durchschnittlich höheren MAD-Veränderungen der VaWiKo® EPI-PLATTE-Gruppe bei vorbestehenden O-Beinen.

Radtko et al. veröffentlichten 2020 eine Studie zur Nachuntersuchung von insgesamt 355 kindlichen Beinachsenkorrekturen mithilfe der eight-Plate™. Dabei lag die mittlere Zeitspanne von der temporären Hemiepiphyseodese bis zur Implantatentfernung, bei einem vorbestehenden idiopathischen X-Bein, bei 11,07 Monaten und bei einem idiopathischen O-Bein bei 18,39 Monaten. (61) Mit durchschnittlich 13,26 Monaten beschrieben Dai ZZ et al. im Jahr 2021 ähnliche Therapiedauern der temporären Hemiepiphyseodese. (58)

Vogt et al. legten 2021 eine signifikant schnellere Beinachsenkorrektur der PediatrOS™ FlexTack™ im Vergleich zur eight-Plate™ dar, die insbesondere die Valgusfehlstellungen betraf. (30) Diese Beobachtung konnte im Vergleich zwischen der PediatrOS™ FlexTack™ und der VaWiKo® EPI-PLATTE nicht reproduziert werden. In Bezug auf die zuvor definierte Therapiedauer konnte kein signifikanter Unterschied

zwischen beiden Gruppen festgestellt werden.

In den oben genannten Vergleichsstudien wurde die Therapiedauer zumeist als Zeitspanne zwischen Primäroperation und Materialentfernung formuliert. (54, 58, 61) Da der Therapieerfolg vornehmlich anhand der Ganzbeinstand-Röntgenaufnahmen objektiviert werden konnte, wurde in der vorliegenden Untersuchung die Therapiedauer als Zeitintervall zwischen Operationstag der Implantation und Zeitpunkt der letzten Röntgenaufnahme vor Materialentfernung deklariert. Diese Festlegung erfolgte in der Annahme einer unwesentlich differierenden präoperativen Veränderung der MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW zwischen der letzten Ganzbeinstandaufnahme vor operativer Intervention und dem Operationszeitpunkt. Als Endpunkt der Therapiedauer wurde die letzte Ganzbeinstand-Röntgenaufnahme vor der Materialentfernung festgelegt. Bei noch geöffneten Wachstumsfugen und meist zeitlicher Divergenz zwischen der Röntgenaufnahme und dem Explantations-Termin wurden dadurch mögliche Fehlbewertungen durch eine in diesem Zeitraum stattfindende prolongierte Beinachsenkorrektur vermieden.

#### **4.2 Stärken und Schwächen der Studie**

Ein großer Vorteil der Studie basiert auf der umfangreichen, gut organisierten und dokumentierten Patientenbetreuung in unserer kinderorthopädischen Klinik. Daraus resultiert eine retrospektive Studie mit der Betrachtung vielseitiger Aspekte. Die Arbeit gibt erste Einblicke in die Wirksamkeit der bisher nicht beleuchteten VaWiKo® EPI-PLATTE und stellt diese der PediatrOS™ FlexTack™ gegenüber.

Eine Stärke der aktuellen Untersuchung stellt die mit 140 kindlichen Beinachsenfehlstellungen, im Vergleich zu bereits vorhandenen Publikationen, relativ hohe Fallzahl dar. (22) Dabei imponiert vornehmlich die Nachuntersuchung der Valgus-Gruppe, die mit 128 Achsdeformitäten einen umfangreichen Überblick über den Therapieerfolg der zwei unterschiedlichen Operationsverfahren zur temporären Hemiepiphyseodese gibt. Dem gegenüber steht die Nachuntersuchung der Varus-Gruppe, die mit lediglich 12 pathologischen Beinachsen zwar einen Überblick gibt, jedoch in der Aussagekraft kritischer betrachtet werden muss.

Einen weiteren limitierenden Faktor der vorliegenden Untersuchung stellt die nicht dokumentierte Anzahl und das Ausmaß des in der Literatur beschriebenen Rebound-

Phänomens dar. Hierbei wird die Rebound-Quote von Meurer et al. in einer Veröffentlichung von 2021 mit bis zu 50 % angegeben. (62) Belegt ist jedoch, dass im nachuntersuchten Patientenkollektiv keine Re-Epiphyseodesen notwendig wurden.

Die zur Auswertung der prä- und postoperativen Befunde verwendeten Röntgenaufnahmen wurden hoch standardisiert und ausschließlich durch die hausinternen medizinisch-technischen Radiologieassistentinnen angefertigt. Dadurch ist eine gute Vergleichbarkeit der Röntgenbilder möglich und das Risiko einer von der Radiologie abhängigen Bildqualität reduziert. Da es sich hierbei um eine retrospektive Studie handelte, konnten nur vorhandene Röntgenbilder verwendet werden. Da die Röntgenverlaufskontrollen nach Primäroperation sich nach klinischem Befund und der daraus resultierenden Einschätzung des Facharztes/-ärztin für Kinderorthopädie richten, resultiert eine unterschiedliche Anzahl an Ganzbeinstandaufnahmen. Um die direkte Vergleichbarkeit zu wahren, konnten dadurch nur zwei Röntgenaufnahmen je Patient/in einbezogen werden. Daraus ergibt sich eine eingeschränkte Aussagekraft der Korrekturgeschwindigkeit der Beinachse. Zwar kann eine Aussage über die benötigte Zeitspanne bis zum Erreichen der Beinachsenbegradigung getroffen werden. Ob jedoch, wie von Vogt et al. 2021 beschrieben, die PediatrOS™ FlexTack™ unmittelbar nach Implantation und die Platten-Schrauben-Systeme erst mit einer Karenzdauer zu einem Korrektoreffekt führen, ist nicht zu bewerten. (30) Um eine Aussage darüber treffen zu können, wären engmaschigere Röntgenverlaufskontrollen in fest terminierten Abständen notwendig. Da sich dadurch eine erhöhte Strahlenbelastung der heranwachsenden Patienten/-innen ergeben würde, wäre das jedoch nur schwer vertretbar.

### **4.3 Ausblick**

Zur Vermeidung eines beinachsenbedingten vorzeitigen Gelenkverschleißes wird, bei zunehmender Alterserwartung der Gesamtbevölkerung, die Therapie prädisponierender Faktoren vermehrt an Bedeutung gewinnen. (22) Dabei wurde, sowohl durch die vorliegende Untersuchung als auch in zahlreichen vorhandenen Studien, die Wirksamkeit der temporären Hemiepiphyseodese zur Korrektur von Beinachsenfehlstellungen bei

offenen Wachstumsfugen belegt. Da die operative Korrektur von kindlichen Beinachsenfehlstellungen, trotz weiterentwickelter Therapiemöglichkeiten, nach wie vor Risiken birgt, besteht die Notwendigkeit der weiteren Untersuchung und Optimierung. Die vorliegende Arbeit gibt vielversprechende Aussichten zur Therapie-Verbesserung der temporären Hemiepiphyseodese mithilfe der VaWiKo® EPI-PLATTE. Es wäre wünschenswert, wenn die erhobenen Untersuchungsergebnisse durch eine prospektive klinische Studie kontrolliert würden und zur Therapieoptimierung der kindlichen Beinachsenkorrekturen beitragen könnten.

## 5 Zusammenfassung

Beinachsenfehlstellungen im Kindesalter zählen zu den häufigsten Wachstums- und Entwicklungsstörungen der unteren Extremitäten. Eine daraus resultierende Prädisposition für degenerative Erkrankungen begründet die Bedeutung der operativen Korrektur bei noch geöffneten Wachstumsfugen mittels temporärer Hemiepiphyseodese.

Zur Beurteilung des Therapieerfolges wurden insgesamt 140 Beinachsen mit idiopathischen Achsfehlstellungen retrospektiv betrachtet. In den Jahren 2017 bis 2021 wurden mit der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ zwei unterschiedliche Implantate zur temporären Hemiepiphyseodese in der kinderorthopädischen Klinik des Marienstift Arnstadt verwendet. Entsprechend der verwendeten Implantate erfolgte die Einteilung in zwei Patientengruppen, die sowohl klinisch als auch radiologisch jeweils prä- und postoperativ gegenübergestellt wurden.

Bei Patienten/-innen mit einer Beinachsenkorrektur durch die VaWiKo® EPI-PLATTE ergab sich durchschnittlich eine signifikant kürzere Explantationsdauer (EP 26,05 min; FT 35,60 min) sowie eine kürzere Durchleuchtungszeit in Winkelminuten (EP 0,03; FT 0,07) im Rahmen der Explantation. Dem gegenüber steht die signifikant kürzere stationäre Aufenthaltsdauer in Tagen bei der Im- und Explantation der PediatrOS™ FlexTack™. (EP 5,43/ 3,73; FT 4,52/ 3,35). In Bezug auf die zur Wachstumskorrektur benötigten Zeit in Tagen resultiert in der Varus-Gruppe ein signifikanter Unterschied zugunsten der PediatrOS™ FlexTack™, (EP 517; FT 299) wohingegen sich in der Valgus-Gruppe kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Implantaten zeigte (EP 343; FT 334). Zusammenfassend traten zwei Komplikationen auf, die jeweils Kinder aus der PediatrOS™ FlexTack™-Gruppe betrafen.

Sowohl die PediatrOS™ FlexTack™ als auch die VaWiKo® EPI-PLATTE konnten die gewünschte Beinachsenkorrektur erzielen. Die in der Literatur mit der PediatrOS™ FlexTack™ in Verbindung gebrachten kürzeren Implantations- und Durchleuchtungszeiten sowie die kürzeren Therapiedauern des Genu valgum konnten im Vergleich zur VaWiKo® EPI-PLATTE nicht bestätigt werden.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Anderson M, Messner MB, Green WT. Distribution of lengths of the normal femur and tibia in children from one to eighteen years of age. *J Bone Joint Surg Am.* 1964;46:1197-202.
2. Hefti F, Brunner R, Freuler FK. *Kinderorthopädie in der Praxis.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg; 2015.
3. Frydryšek K, Čepica D, Halo T, Skoupý O, Pleva L, Madeja R, et al. Biomechanical Analysis of Staples for Epiphysiodesis. *Applied Sciences.* 2022;12(2):614.
4. von Laer L. *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter.* Stuttgart: Thieme-Verlag; 1986.
5. Milz S, Boszczyk A, Putz R. [Development and functional structure of the epiphyseal plate]. *Orthopade.* 2002;31(9):835-40.
6. Niethard FU, Pfeil J. *Orthopädie: Thieme;* 2005. 133-43 p.
7. von Laer L. *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter* 1996. 2 p.
8. Greulich WW PSI. *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist.* . Stanford, CA.: Stanford University Press; 1959.
9. Radler C MG, Rudolf G. Korrektur von Achsabweichungen und Längendifferenzen der unteren Extremität im Wachstumsalter. *Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis.* 2016;07-08:433–45.
10. Vogt B, Schiedel F, Rödl R. Guided growth in children and adolescents. Correction of leg length discrepancies and leg axis deformities. *Orthopade.* 2014;43(3):267-84.
11. Landauer F, Huber G, Paulmichl K, O'Malley G, Mangge H, Weghuber D. Timely diagnosis of malalignment of the distal extremities is crucial in morbidly obese juveniles. *Obes Facts.* 2013;6(6):542-51.
12. Hefti F. Deviations in the axes of the lower extremities. *Orthopade.* 2000;29(9):814-20.
13. De Brauwier V, Moens P. Temporary hemiepiphysiodesis for idiopathic genua valga in adolescents: percutaneous transphyseal screws (PETS) versus stapling. *J Pediatr Orthop.* 2008;28(5):549-54.

14. Rippke JN EA, Mengis N. Physiologische Achsverhältnisse und Auswirkung von Achsenfehlstellungen der unteren Extremität. Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis. 2019;8:462–7
15. Willegger M, Bouchard M, Windhager R, Kolb A, Chiari C. Epiphysiodesis and hemiepiphysiodesis : Physeal arrest and guided growth for the lower extremity. Orthopade. 2022;51(5):415-32.
16. Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, McKie J, Bhave A. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. Orthop Clin North Am. 1994;25(3):425-65.
17. Westhoff B, Jäger M, Krauspe R. Kindliche Beinachsen. Der Orthopäde. 2007;36(5):485-500.
18. Paley D, Pfeil J. Prinzipien der kniegelenknahen Deformitätenkorrektur. Der Orthopäde. 2000;29(1):18-38.
19. Galla M, Lobenhoffer P. Achsenfehlstellungen - Knie. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date. 2007;2(01):21-40.
20. Khoury JG, Tavares JO, McConnell S, Zeiders G, Sanders JO. Results of screw epiphysiodesis for the treatment of limb length discrepancy and angular deformity. J Pediatr Orthop. 2007;27(6):623-8.
21. Burghardt RD, Herzenberg JE, Standard SC, Paley D. Temporary hemiepiphyseal arrest using a screw and plate device to treat knee and ankle deformities in children: a preliminary report. J Child Orthop. 2008;2(3):187-97.
22. Niethard M, Deja M, Rogalski M. Correction of angular deformity of the knee in growing children by temporary hemiepiphyseodesis using the eight-plate. Z Orthop Unfall. 2010;148(2):215-21.
23. Stevens PM. Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate. J Pediatr Orthop. 2007;27(3):253-9.
24. Ferrick MR, Birch JG, Albright M. Correction of non-Blount's angular knee deformity by permanent hemiepiphyseodesis. J Pediatr Orthop. 2004;24(4):397-402.
25. Vuille-Dit-Bille RN, Dierauer S, Aufdenblatten CA. Operative Wachstumslenkung im Kindesalter: EMH Swiss Medical Publishers; 2014.
26. Westhoff B, Wild A, Krauspe R. Development of the leg axis in childhood and treatment options for deformities near the knee joint. Orthopade. 2002;31(12):1198-208; quiz 208-9.

27. Skyttä ET, Savolainen A, Kautiainen HJ, Belt EA. Outcome after temporary physeal stapling for knee valgus deformity in children with JIA. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128(10):1213-6.
28. Schmid P. Achs-und Rotationsdeformitäten. *Pädiatrie up 2 date* 2010;5:299–319.
29. Castañeda P, Urquhart B, Sullivan E, Haynes RJ. Hemiepiphysiodesis for the correction of angular deformity about the knee. *J Pediatr Orthop.* 2008;28(2):188-91.
30. Vogt B, Frommer A, Gosheger G, Toporowski G, Tretow H, Rödl R, et al. Growth modulation through hemiepiphysiodesis : Novel surgical techniques: risks and progress. *Orthopade.* 2021;50(7):538-47.
31. Mielke CH, Stevens PM. Hemiepiphysal stapling for knee deformities in children younger than 10 years: a preliminary report. *J Pediatr Orthop.* 1996;16(4):423-9.
32. Gladbach B, Pfeil J, Heijens E. Percutaneous epiphyseodesis. Correction of leg length inequalities and frontal plane deformities. *Orthopade.* 2000;29(1):2-8.
33. Menelaus MB. Correction of leg length discrepancy by epiphysial arrest. *J Bone Joint Surg Br.* 1966;48(2):336-9.
34. Knapik DM, Sanders JO, Gilmore A, Weber DR, Cooperman DR, Liu RW. A quantitative method for the radiological assessment of skeletal maturity using the distal femur. *Bone Joint J.* 2018;100-b(8):1106-11.
35. Stevens PM, Pease F. Hemiepiphysiodesis for posttraumatic tibial valgus. *J Pediatr Orthop.* 2006;26(3):385-92.
36. Phemister DB. Operative arrestment of longitudinal growth of bones in the treatment of deformities. *JBJS.* 1933;15(1):1-15.
37. Ghanem I, Karam JA, Widmann RF. Surgical epiphysiodesis indications and techniques: update. *Curr Opin Pediatr.* 2011;23(1):53-9.
38. Blount WP, Clarke GR. Control of bone growth by epiphyseal stapling; a preliminary report. *J Bone Joint Surg Am.* 1949;31a(3):464-78.
39. Willert H-G, Pieper H-g. *Korrekturingriffe am Wachsenden Skelett.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg; 1989. 84-8 p.
40. Stevens PM, Maguire M, Dales MD, Robins AJ. Physeal stapling for idiopathic genu valgum. *J Pediatr Orthop.* 1999;19(5):645-9.

41. Degreeef I, Moens P, Fabry G. Temporary epiphysiodesis with Blount stapling for treatment of idiopathic genua valga in children. *Acta Orthop Belg.* 2003;69(5):426-32.
42. Raab P, Wild A, Seller K, Krauspe R. Correction of length discrepancies and angular deformities of the leg by Blount's epiphyseal stapling. *Eur J Pediatr.* 2001;160(11):668-74.
43. Métaizeau JP, Wong-Chung J, Bertrand H, Pasquier P. Percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws (PETS). *J Pediatr Orthop.* 1998;18(3):363-9.
44. Vogt B., Kleine-Konig M.-T., G. G. FlexTack™ and RigidTack™: new devices for correction of angular deformities and leg length discrepancies by temporary epiphysiodesis. *JChild Orthop.* 2016;10:17–8.
45. Kadhim M, Gauthier L, Logan K, El-Hawary R, Orlik B. Guided growth for angular correction in children: a comparison of two tension band plate designs. *Journal of Pediatric Orthopaedics B.* 2018;27(1):1-7.
46. Koob S, Kehrer M, Hettchen M, Jansen T, Schmolders J, Placzek R. Temporary epiphysiodesis using the FlexTack™ implant (tension band) featuring a modified explantation technique. *Oper Orthop Traumatol.* 2018;30(5):359-68.
47. Merete®. FlexTack™/RigidTack™, Die neue Generation der Wachstumslenkung. 2015.
48. Königsee, Implantate. OP Anleitung VaWiKo EPI-PLATTE®. 2021.
49. Sattelberger J, Hillebrand H, Gosheger G, Laufer A, Frommer A, Appelbaum S, et al. Comparison of histomorphometric and radiographic effects of growth guidance with tension-band devices (eight-Plate and FlexTack) in a pig model. *Acta Orthop.* 2021;92(3):364-70.
50. Schroerlucke S, Bertrand S, Clapp J, Bundy J, Gregg FO. Failure of Orthofix eight-Plate for the treatment of Blount disease. *J Pediatr Orthop.* 2009;29(1):57-60.
51. Struwe C, Walter SG, Druschel C, Bornemann R, Ploeger M, Koob S, et al. Biomechanical evaluation of temporary epiphysiodesis at the femoral epiphysis using established devices from clinical practice. *J Mater Sci Mater Med.* 2021;32(4):41.
52. Kromeyer-Hauschild K, Moss A, Wabitsch M. Referenzwerte für den Body-Mass-Index für Kinder, Jugendliche und Erwachsene in Deutschland. Anpassung der AGA-BMI-Referenz im Altersbereich von 15 bis 18 Jahren. 2015;09(03):123-7.
53. Burghardt RD, Specht SC, Herzenberg JE. Mechanical failures of eight-plateguided growth system for temporary hemiepiphysiodesis. *J Pediatr Orthop.* 2010;30(6):594-7.

54. Hagedorn TW. Wachstumslenkung bei Beinlängendifferenzen und Beinachsenfehlstellungen- Klinische und radiologische Evaluation der temporären Epiphysiodese mittels Orthofix eight-Plate™ Universitätsklinikum Münster 2013.
55. Danino B, Rödl R, Herzenberg JE, Shabtai L, Grill F, Narayanan U, et al. Growth modulation in idiopathic angular knee deformities: is it predictable? *J Child Orthop.* 2019;13(3):318-23.
56. Salzmann M. Kindliche Beinachsendiformitäten. *Knie Journal.* 2021;3(1):18-24.
57. Stationäre Versorgung – Die Auswirkung der stationären Bettenkapazität auf die Verweildauer. *Gesundheitsökonomie & Qualitätsmanagement.* 2022;27(04):163-.
58. Dai ZZ, Liang ZP, Li H, Ding J, Wu ZK, Zhang ZM, et al. Temporary hemiepiphysiodesis using an eight-plate implant for coronal angular deformity around the knee in children aged less than 10 years: efficacy, complications, occurrence of rebound and risk factors. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):53.
59. Jelinek EM, Bittersohl B, Martiny F, Scharfstädt A, Krauspe R, Westhoff B. The 8-plate versus physeal stapling for temporary hemiepiphysiodesis correcting genu valgum and genu varum: a retrospective analysis of thirty five patients. *Int Orthop.* 2012;36(3):599-605.
60. Guzman H, Yaszay B, Scott VP, Bastrom TP, Mubarak SJ. Early experience with medial femoral tension band plating in idiopathic genu valgum. *J Child Orthop.* 2011;5(1):11-7.
61. Radtke K, Goede F, Schweidtmann K, Schwamberger T, Calliess T, Fregien B, et al. Temporary hemiepiphysiodesis for correcting idiopathic and pathologic deformities of the knee: A retrospective analysis of 355 cases. *Knee.* 2020;27(3):723-30.
62. Meurer A, Stief F, Dussa CU. Achsfehlstellungen des Knies in der Frontalebene im Kindes- und Erwachsenenalter. *Der Orthopäde.* 2021;50(7):509-10.

## I. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
aFTW	anatomischer femorotibialer Winkel
BMI	Body-Mass-Index
EP	VaWiKo® EPI-PLATTE
FT	PediatrOS™ FlexTack™
K-Draht	Kirschner-Draht
MAD	mechanical axis deviation
mLDFW	mechanischen lateralen distalen Femurwinkel
mMPTW	mechanische mediale proximale Tibiawinkel
N	Anzahl
Std.	Standard
Tab.	Tabelle
THED	Temporäre Hemiepiphyseodese

## II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomische Einteilung der proximalen Tibia anhand einer konventionellen Röntgenaufnahme im anterior-posterioren-Strahlengang, mit freundlicher Genehmigung der MDPI AG Basel (Quelle: Biomechanical Analysis of Staples for Epiphysiodesis, Applied Sciences, Frydryšek K, 2022) (3).....	1
Abbildung 2: Modifizierte Darstellung der Wachstumszonen und deren Anteile am Wachstumsprozess der unteren Extremität, mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart (Quelle: Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, von Laer L., 1986) (4) .....	2
Abbildung 3: Modifizierte Darstellung der Wachstumsfugenanatomie, mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart (Quelle: Orthopädie, Niethard FU, 2005) (6) .....	3
Abbildung 4: Schematische Darstellung der mechanischen Beinachse mit Berechnung der MAD, des Intermalleolar- und Interkondylarabstandes: a gerade Beinachsen; b Genua vara; c Genua valga, mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart (Quelle: OUP - Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis, Rippke JN EA, 2019) (14).....	5
Abbildung 5: Einteilung der MAD- Zonen am Kniegelenk in 3 Areale, mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (Quelle: Orthopädie, Willegger M, 2022) (15) .....	6
Abbildung 6: Malalignment-Test zur Verifizierung der kniegelenksnahen, frontalen Beinachsenpathologie, mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (Quelle: Orthopädie, Vogt B, 2014) (10) .....	7

Abbildung 7: Unterscheidung der anatomischen und mechanischen Beinachse mit daraus resultierender Bemessungsgrundlage des MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW, mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (modifiziert nach „Mechanische und anatomische Achsverhältnisse an der unteren Extremität“, Orthopade, Willegger M, 2022) (15).....	8
Abbildung 8: Veränderung der Knieachse (oben) und des Intermalleolar bzw. Interkondylar-Abstandes (unten) im Laufe des Wachstums, mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (Quelle: Kinderorthopädie in der Praxis, Hefti F, 2015) (2).....	10
Abbildung 9: Ätiologie der Beinachsenabweichung in der Frontalebene (Genu varum/valgum), mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (Quelle: Der Orthopäde, Westhoff B, 2007) (17).....	11
Abbildung 10: links: postoperativer Befund bei primär symptomatischem Genu varum nach aufklappender, extraligamentärer, tiefer Tibiakopfoosteotomie; rechts: primär symptomatisches Genu valgum nach aufklappender, varisierender Femurosteotomie distal, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie .....	12
Abbildung 11: Nomogramm zur geschlechterabhängigen Bestimmung der Winkelkorrektur durch die Hemiepiphyseodese unter Beachtung des Skeletalters, mit freundlicher Genehmigung der Springer Nature Group, London (Quelle: Orthopade, Gladbach B, 2000) (32) .....	14
Abbildung 12: permanente Hemiepiphyseodese des distalen Femurs und der proximalen Tibia medial, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie .....	16

Abbildung 13: links: Darstellung eines präoperativen Kniegelenksbefundes bei Genu valgum; rechts: zeigt sich das postoperative Ergebnis nach PediatrOS™ FlexTack™ Implantation am Ende der Behandlung, mit freundlicher Genehmigung der Merete GmbH, Berlin (Quelle: Die neue Generation der Wachstumslenkung, Merete GmbH, 2015) (47) .....	19
Abbildung 14: zeigt die 3 verschiedenen Implantatgrößen der PediatrOS™ FlexTack™, mit freundlicher Genehmigung der Merete GmbH, Berlin (Quelle: Die neue Generation der Wachstumslenkung, Merete GmbH, 2015) (47) .....	19
Abbildung 15: Beeinflussung der Wachstumsfuge durch den therapeutischen Einsatz der VaWiKo® EPI-PLATTE, mit freundlicher Genehmigung der Königsee Implantate GmbH, Allendorf (Quelle: OP Anleitung VaWiKo EPI-PLATTE®, Königsee Implantate GmbH, 2021) (48) .....	20
Abbildung 16: Modifizierte Darstellung der VaWiKo® EPI-PLATTE in zwei verfügbaren Längen, mit freundlicher Genehmigung der Königsee Implantate GmbH, Allendorf (Quelle: OP Anleitung VaWiKo EPI-PLATTE®, Königsee Implantate GmbH, 2021) (48) .....	20
Abbildung 17: Grafische Darstellung des Alpha- und Beta-Fehlers mit Bestimmung des kritischen T-Wertes (Quelle: eigene Abbildung, erstellt mit G*Power 3.1 der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf).....	23
Abbildung 18: links: eine präoperative Fotodokumentation eines 11-jährigen Mädchens mit Genua valga und einem Intermalleolarabstand von 17cm; rechts: eine Röntgen-Ganzbeinstand-Aufnahme der selben Patientin mit einer MAD von rechts -26 mm und links -23 mm, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie .....	26

Abbildung 19: links: eine präoperative Fotodokumentation im Rahmen einer Ganganalyse eines 14-jährigen Jungen mit Genua vara; rechts: eine Röntgen-Ganzbeinstand-Aufnahme des selben Patienten mit einer MAD von rechts 26 mm und links 34 mm, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie ..... 27

Abbildung 20: links: eine postoperative Fotodokumentation des selben Mädchens wie in Abbildung 18 mit initialen Genua valga 313 Tage nach Temporärer Hemiepiphyseodese mittels PediatrOST™ FlexTack™; rechts: eine Röntgen-Ganzbeinstand-Aufnahme des Mädchens vor der geplanten Materialentfernung mit einer MAD von rechts 5 mm und links -5 mm, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie ..... 28

Abbildung 21: links: eine postoperative Fotodokumentation des selben Jungen wie in Abbildung 19 mit initialen Genua vara 455 Tage nach Temporärer Hemiepiphyseodese mittels VaWiKo® EPI-PLATTE; rechts: eine Röntgen-Ganzbeinstand-Aufnahme des Jungen vor der geplanten Materialentfernung mit einer MAD von rechts -8 mm und links -1 mm, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie ..... 29

Abbildung 22: Intraoperative Durchleuchtung zur Platzierung des Führungsdrahtes im Bereich der Epiphysenfuge im Rahmen der VaWiKo® EPI-PLATTE-Implantation, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie ..... 30

Abbildung 23: Implantation der VaWiKo® EPI-PLATTE über den zuvor platzierten Führungsdraht, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie ..... 31

Abbildung 24: Einbringen einer nicht winkelstabilen Schraube zur Fixierung der VaWiKo® EPI-PLATTE, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie .....	32
Abbildung 25: Intraoperative Röntgenaufnahmen zur postoperativen Lagekontrolle der VaWiKo® EPI-PLATTE in zwei Ebenen, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie .....	33
Abbildung 26: Positionierung der K-Drähte im Rahmen der PediatrOS™ FlexTack™-Implantation, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie .....	34
Abbildung 27: Intraoperative Durchleuchtung nach Positionierung der K-Drähte im anterior-posterioren und seitlichen Strahlengang im Rahmen der PediatrOS™ FlexTack™ -Implantation, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie .....	34
Abbildung 28: Intraoperative Fotoaufnahme nach Aufsetzen der PediatrOS™ FlexTack™ auf die zuvor eingebrachten K-Drähte, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie .....	35
Abbildung 29: Intraoperative Fotoaufnahme nach Aufsetzen des Einschlaginstruments auf die PediatrOS™ FlexTack™, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie.....	35
Abbildung 30: Intraoperative Durchleuchtung nach Entfernung der K-Drähte zur Sicherstellung der korrekten Positionierung der PediatrOS™ FlexTack™, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie .....	36

Abbildung 31: präoperative bilaterale Ganzbeinstandaufnahme eines 11-jährigen Mädchens nach Bestimmung der MAD, des mLDFW, mMPTW und aFTW im mediCAD-Planungsprogramm, mit freundlicher Genehmigung des Marienstift Arnstadt, Fachklinik für Orthopädie .....	39
Abbildung 32: Anzahl der untersuchten Kinder in Bezug zur Gesamtpopulation unter Berücksichtigung des Geschlechts und Implantats .....	41
Abbildung 33: Anteil der valgischen- und varischen Beinachsenfehlstellungen in Bezug zur Gesamtpopulation.....	42
Abbildung 34: Implantatabhängige Unterteilung der Patientenzahl in Bezug zur Gesamtpopulation unter Beachtung der Beinachsenfehlstellung .....	43
Abbildung 35: Gegenüberstellung der PediatrOS™ FlexTack™ und der VaWiKo® EPI-PLATTE zur Darstellung der Altersverteilung zum Zeitpunkt der Primäroperation.....	44
Abbildung 36: Implantatdifferenzierte Anzahl der Patienten/-innen nach Bestimmung der Body-Mass-Index-Perzentile unter Beachtung der altersentsprechenden Referenzwerte .....	46
Abbildung 37: Vergleich der stationären Aufenthaltsdauer im Rahmen der Implantation zwischen der PediatrOS™ FlexTack™ und der VaWiKo® EPI-PLATTE.....	48
Abbildung 38: Vergleich zwischen den zur Explantation der VaWiKo® EPI-PLATTE und PediatrOS™ FlexTack™ benötigten Operationszeiten.....	49

Abbildung 39: Vergleich der Durchleuchtungszeiten im Rahmen der Explantation zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ .....	50
Abbildung 40: Vergleich der stationären Aufenthaltsdauer im Rahmen der Explantation zwischen der PediatrOS™ FlexTack™ und der VaWiKo® EPI-PLATTE .....	51
Abbildung 41: Übersicht zur mittleren MAD-Veränderung in Millimetern durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Valgusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich.....	57
Abbildung 42: Übersicht zur mittleren MAD-Veränderung in Millimetern durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Varusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich .....	58
Abbildung 43: Übersicht zur mittleren mLDFW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Valgusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich .....	59
Abbildung 44: Übersicht zur mittleren mLDFW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Varusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich.....	61
Abbildung 45: Übersicht zur mittleren mMPTW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Valgusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich .....	62
Abbildung 46: Übersicht zur mittleren mMPTW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Varusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich.....	63

Abbildung 47: Übersicht zur mittleren aFTW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Valgusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich ..... 65

Abbildung 48: Übersicht zur mittleren aFTW-Veränderung in Grad durch die THED mittels VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei vorbestehender Varusbeinachse im prä- und postoperativen Vergleich..... 66

Abbildung 49: Grafische Darstellung zur Häufigkeitsverteilung der Therapiedauer im Vergleich der mittels VaWiKo® EPI-PLATTE zur PediatrOS™ FlexTack™ ..... 67

Abbildung 50: Grafische Darstellung zur mittleren Therapiedauer der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ bei Genu valgum und Genu varum ..... 68

### III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ in Bezug auf OP-Dauer, Durchleuchtungszeit und Aufenthaltsdauer im Rahmen der Implantation .....	48
Tabelle 2: Gegenüberstellung der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ in Bezug auf OP-Dauer, Durchleuchtungszeit und Aufenthaltsdauer im Rahmen der Implantation .....	51
Tabelle 3: Zusammenfassende Darstellung der anhand der präoperativen Röntgenaufnahme erhobenen MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW der Gesamtpopulation im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ .....	53
Tabelle 4: Zusammenfassende Darstellung der anhand der postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen MAD, mLDFW, mMPTW und aFTW der Gesamtpopulation im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ .....	55
Tabelle 5: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen MAD-Mittelwerte bei valgischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ .....	56
Tabelle 6: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen MAD-Mittelwerte bei varischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ .....	58

Tabelle 7: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen mLDFW-Mittelwerte bei valgischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ ..... 59

Tabelle 8: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen mLDFW-Mittelwerte bei varischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ ..... 60

Tabelle 9: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen mMPTW-Mittelwerte bei valgischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ ..... 62

Tabelle 10: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen mMPTW-Mittelwerte bei varischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ ..... 63

Tabelle 11: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen aFTW-Mittelwerte bei valgischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ ..... 64

Tabelle 12: Darstellung der anhand der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme erhobenen aFTW-Mittelwerte bei varischer Beinachsendiformität im Vergleich zwischen der VaWiKo® EPI-PLATTE und der PediatrOS™ FlexTack™ ..... 66

## **IV. Danksagung**

Ein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Maik Hoberg der mir als ärztlicher Direktor und Chefarzt der Fachklinik für Orthopädie dem Marienstift in Arnstadt die Möglichkeit einer wissenschaftlichen Arbeit zur Promotion an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg gegeben hat und mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Ebenso möchte ich mich recht herzlich bei der Chefärztin der Kinderorthopädie des Marienstift Arnstadt Frau Dr. med. Christine Bollmann für die sehr ausgiebige, hilfreiche und konstruktive Unterstützung bedanken.

Für die freundlichen Korrekturlesungen bedanken möchte ich mich bei Dr. med. Daniel Herz, Dr. med. Jens Raabe, Dr. med. Rainer Lorenz, Dr. rer. medic. Andrea Franz und Dr. rer. nat. Manfred Haak.

Des Weiteren möchte die Möglichkeit nutzen um mich bei meiner Familie zu bedanken. Ohne die vielseitige und liebevolle Unterstützung meiner Großeltern Karl-Heinz und Irene George, Peter und Luzie Idler sowie meiner Eltern Rainer und Heike George wäre weder ein Studium der Humanmedizin, noch eine Promotion möglich gewesen.

Mein abschließender Dank gilt meiner Ehefrau Franziska, die mich während der gesamten Zeit unterstützt, bestärkt und aufgemuntert hat.

