

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik
für Allgemeine Orthopädie und Tumororthopädie
-Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Georg Gosheger-

Permanente Epiphyseodese in den Techniken von Phemister und Canale

-

Eine klinische und radiologische Vergleichsstudie

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Kreuziger, Miriam Eva

aus Münster

2011

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

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

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

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

Tag der mündlichen Prüfung: 05.12.2011

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

ZUSAMMENFASSUNG

Permanente Epiphyseodese in den Techniken von Phemister und Canale –
Eine klinische und radiologische Vergleichsstudie
Kreuziger, Miriam Eva

Fragestellung: Die permanente Epiphyseodese ist eine etablierte Methode zur operativen Korrektur von Beinlängendifferenzen (BLD) und Beinachsendiformitäten (BAD) des wachsenden Skeletts. Bei der Methode nach Phemister wird ein Knochenblock aus der Epiphysenfuge entnommen und anschließend um 180° gedreht wieder eingesetzt. Beim Verfahren nach Canale wird die Epiphysenfuge unter Durchleuchtung perkutan auskürtiert. Diese Studie vergleicht beide Methoden anhand klinischer und radiologischer Befunde bezüglich Indikationsstellung, perioperativer Komplikationen und Therapieerfolg.

Methodik: In dieser Studie wurden 178 Patienten im Alter zwischen 8 und 17 Jahren untersucht, die zwischen 1980 und 2006 eine Epiphyseodese in der Technik von Phemister oder Canale erhielten. Alle Patienten wurden vor und unmittelbar nach dem Eingriff sowie zu einem definierten Nachuntersuchungstermin klinisch und radiologisch evaluiert.

Ergebnisse: Zum Eingriffszeitpunkt lag das durchschnittliche chronologische Alter bei 13,3 Jahren und das Skeletalter im Mittel bei 13,7 Jahren. Im Durchschnitt dauerte der operative Eingriff 78,5 min.. Bei 21,5 % der Patienten traten postoperativ Komplikationen auf. Die mittlere Gesamtdauer des stationären Aufenthalts betrug 16,9 Tage. Im direkten Gruppenvergleich zeigte sich, dass bei Patienten mit BLD in 36,7 % der Fälle ein Therapieerfolg (= Rest-BLD \leq 1 cm nach klinischer Messung) zu verzeichnen war. Bei Patienten mit BAD war kein eindeutiger Vergleich möglich, da zu wenig postoperative Nachmessungen vorlagen.

Schlussfolgerungen: Die Epiphyseodese ist ein effektives Verfahren zum Ausgleich von BLD und BAD. Es zeigt sich, dass die Methode nach Canale aufgrund ihrer minimalinvasiven Technik mit einer signifikant kürzeren Aufenthaltsdauer, geringeren Komplikationsrate und erleichterten postoperativen Mobilisation verbunden ist als das Verfahren nach Phemister.

Tag der mündlichen Prüfung: 05.12.2011

Eidesstattliche Erklärung

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

Permanente Epiphyseodese in den Techniken von Phemister und Canale

-

Eine klinische und radiologische Vergleichsstudie

in der

Klinik und Poliklinik

für Allgemeine Orthopädie und Tumororthopädie

des Universitätsklinikums Münster

unter Anleitung von

Prof. Dr. med. Robert Rödl

selbstständig angefertigt,

nur unter Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen

Arbeit angefertigt und sonst kein anderes gedrucktes

oder ungedrucktes Material verwendet,

keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,

sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung

einer in- oder ausländischen Fakultät als Dissertation,

Semesterarbeit, Prüfungsarbeit, oder zur Erlangung

eines akademischen Grades, vorgelegt habe.

Münster, den 01.08.2011

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	GRUNDLAGEN.....	1
1.1.1	<i>Beinlängendifferenz.....</i>	<i>1</i>
1.1.1.1	Definition.....	1
1.1.1.2	Ätiologie und Pathogenese	1
1.1.1.3	Epidemiologie.....	2
1.1.1.4	Diagnostik.....	3
1.1.1.4.1	Klinische Diagnostik.....	3
1.1.1.4.2	Radiologische Diagnostik	3
1.1.1.5	Auswirkungen und klinische Relevanz	4
1.1.2	<i>Beinachsenfehlstellung</i>	<i>5</i>
1.1.2.1	Definition.....	5
1.1.2.2	Ätiologie und Pathogenese	7
1.1.2.3	Diagnostik.....	8
1.1.2.3.1	Klinische Diagnostik.....	8
1.1.2.3.2	Radiologische Diagnostik	9
1.1.2.4	Auswirkungen und klinische Relevanz	11
1.1.3	<i>Therapie.....</i>	<i>12</i>
1.1.3.1	Konservative Verfahren.....	12
1.1.3.2	Operative Techniken.....	13
1.1.3.2.1	Epiphyseodesen	14
1.1.3.2.1.1	Aufbau und Struktur der Epiphysenfugen	15
1.1.3.2.1.2	Bestimmung des Wachstumspotentials.....	16
1.1.3.2.1.3	Prinzip der Epiphyseodesen.....	20
1.1.3.2.2	Temporäre Verfahren.....	20
1.1.3.2.2.1	Blount.....	20
1.1.3.2.2.2	Eight-Plates.....	22
1.1.3.2.2.3	PETS.....	22
1.1.3.2.3	Permanente Verfahren	23
1.1.3.2.3.1	Phemister	23
1.1.3.2.3.2	Canale.....	25
1.2	ZIELSETZUNG DER ARBEIT	26
2	MATERIAL UND METHODEN.....	28
2.1	STUDIENTYP	28
2.2	PATIENTENKOLLEKTIV	28
2.2.1	<i>Patientengruppe mit Phemister-Epiphyseodese</i>	<i>28</i>
2.2.2	<i>Patientengruppe mit Canale-Epiphyseodese.....</i>	<i>28</i>
2.3	UNTERSUCHUNGSGRÖßEN.....	29
2.3.1	<i>Klinische Parameter.....</i>	<i>29</i>
2.3.1.1	Indikation zur Epiphyseodese.....	29
2.3.1.2	Lokalisation der Epiphyseodese	29
2.3.1.3	Chronologisches Alter	30
2.3.1.4	Dauer des operativen Eingriffs	30
2.3.1.5	Postoperative Komplikationen	30
2.3.1.6	Postoperative Mobilisierung.....	31
2.3.1.7	Dauer des stationären Aufenthalts.....	31
2.3.1.8	Beinlängendifferenz präoperativ (klinisch gemessen)	31
2.3.1.9	Beinlängendifferenz postoperativ (klinisch gemessen).....	32

2.3.1.10	Therapieerfolg	32
2.3.2	<i>Radiologische Parameter</i>	32
2.3.2.1	Skeletalter präoperativ	33
2.3.2.2	Epiphysenfugenbreite präoperativ	33
2.3.2.3	Spezielle radiologische Parameter bei Beinlängendifferenz	33
2.3.2.3.1	Beinlängendifferenz präoperativ (radiologisch gemessen)	34
2.3.2.3.2	Beinlängendifferenz postoperativ (radiologisch gemessen)	34
2.3.2.3.3	Durchschnittliche Beinlängenkorrektur	34
2.3.2.3.4	Therapieerfolg bei Beinlängendifferenz	34
2.3.2.4	Spezielle radiologische Parameter bei Achsfehlstellung	34
2.3.2.4.1	Abweichung von der Mikulicz-Linie	35
2.3.2.4.2	Art der Achsabweichung	35
2.3.2.4.3	Extremitätenwinkel prä- und postoperativ	36
2.3.2.4.4	Durchschnittliche Winkelkorrektur	37
2.3.2.4.5	Therapieerfolg bei Achsfehlstellung	37
2.4	STATISTIK	37
2.4.1	<i>Zusammenführung der Daten</i>	37
2.4.2	<i>Statistische Auswertung</i>	38
3	ERGEBNISSE	40
3.1	PATIENTENGRUPPE MIT PHEMISTER-EPIPHYSEODESE	40
3.1.1	<i>Klinische Parameter</i>	40
3.1.1.1	Indikation zur Epiphyseodese	40
3.1.1.2	Lokalisation der Epiphyseodese	41
3.1.1.3	Chronologisches Alter präoperativ	42
3.1.1.4	Dauer des operativen Eingriffs	43
3.1.1.5	Postoperative Komplikationen	46
3.1.1.6	Postoperative Mobilisierung	47
3.1.1.7	Dauer des stationären Aufenthalts	48
3.1.1.8	Beinlängendifferenz präoperativ (klinisch gemessen)	49
3.1.1.9	Beinlängendifferenz postoperativ (klinisch gemessen)	50
3.1.1.10	Durchschnittliche Beinlängenkorrektur	51
3.1.1.11	Therapieerfolg bei Beinlängendifferenz	51
3.1.2	<i>Radiologische Parameter</i>	52
3.1.2.1	Skeletalter präoperativ	52
3.1.2.2	Epiphysenfugenbreite präoperativ	54
3.1.2.3	Spezielle radiologische Parameter bei Beinlängendifferenz	55
3.1.2.3.1	Beinlängendifferenz präoperativ (radiologisch gemessen)	55
3.1.2.3.2	Beinlängendifferenz postoperativ (radiologisch gemessen)	55
3.1.2.3.3	Durchschnittliche Beinlängenkorrektur	55
3.1.2.3.4	Therapieerfolg bei Beinlängendifferenz	56
3.1.2.4	Spezielle radiologische Parameter bei Achsfehlstellung	56
3.1.2.4.1	Abweichung von der Mikulicz-Linie	56
3.1.2.4.2	Art der Achsabweichung	57
3.1.2.4.3	Extremitätenwinkel prä- und postoperativ	57
3.1.2.4.4	Durchschnittliche Winkelkorrektur	58
3.1.2.4.5	Therapieerfolg bei Achsfehlstellung	58
3.2	PATIENTENGRUPPE MIT CANALE-EPIPHYSEODESE	59
3.2.1	<i>Klinische Parameter</i>	59
3.2.1.1	Indikation zur Epiphyseodese	59
3.2.1.2	Lokalisation der Epiphyseodese	59
3.2.1.3	Chronologisches Alter präoperativ	61
3.2.1.4	Dauer des operativen Eingriffs	62

3.2.1.5	Postoperative Komplikationen	64
3.2.1.6	Postoperative Mobilisierung.....	65
3.2.1.7	Dauer des stationären Aufenthalts.....	66
3.2.1.8	Beinlängendifferenz präoperativ (klinisch gemessen)	67
3.2.1.9	Beinlängendifferenz postoperativ (klinisch gemessen).....	67
3.2.1.10	Durchschnittliche Beinlängenkorrektur.....	68
3.2.1.11	Therapieerfolg bei Patienten mit Beinlängendifferenz.....	68
3.2.2	<i>Radiologische Parameter</i>	69
3.2.2.1	Skeletalter präoperativ	69
3.2.2.2	Epiphysenfugenbreite präoperativ	71
3.2.2.3	Spezielle radiologische Parameter bei Beinlängendifferenz	72
3.2.2.3.1	Beinlängendifferenz präoperativ (radiologisch gemessen)	72
3.2.2.3.2	Beinlängendifferenz postoperativ (radiologisch gemessen).....	72
3.2.2.3.3	Durchschnittliche Beinlängenkorrektur	73
3.2.2.3.4	Therapieerfolg bei Beinlängendifferenz.....	73
3.2.2.4	Spezielle radiologische Parameter bei Achsfehlstellung.....	74
3.2.2.4.1	Abweichung von der Mikulicz-Linie	74
3.2.2.4.2	Art der Achsabweichung.....	74
3.2.2.4.3	Extremitätenwinkel prä- und postoperativ	75
3.2.2.4.4	Durchschnittliche Winkelkorrektur.....	76
3.2.2.4.5	Therapieerfolg bei Achsfehlstellung	76
3.3	VERGLEICH BEIDER PATIENTENGRUPPEN	77
3.3.1	<i>Klinische Parameter (Gruppenvergleich)</i>	77
3.3.1.1	Indikation zur Epiphyseodese.....	77
3.3.1.2	Lokalisation der Epiphyseodese	78
3.3.1.3	Chronologisches Alter präoperativ	79
3.3.1.4	Dauer des operativen Eingriffs	80
3.3.1.5	Postoperative Komplikationen	82
3.3.1.6	Postoperative Mobilisierung.....	83
3.3.1.7	Dauer des stationären Aufenthalts.....	84
3.3.1.8	Beinlängendifferenz präoperativ (klinisch gemessen)	87
3.3.1.9	Beinlängendifferenz postoperativ (klinisch gemessen).....	88
3.3.1.10	Durchschnittliche Beinlängenkorrektur (klinisch gemessen).....	89
3.3.1.11	Therapieerfolg bei Patienten mit Beinlängendifferenz.....	89
3.3.2	<i>Radiologische Parameter (Gruppenvergleich)</i>	90
3.3.2.1	Skeletalter präoperativ	90
3.3.2.2	Epiphysenfugenbreite präoperativ	91
3.3.2.3	Spezielle radiologische Parameter bei Beinlängendifferenz	92
3.3.2.3.1	Beinlängendifferenz präoperativ (radiologisch gemessen)	92
3.3.2.3.2	Beinlängendifferenz postoperativ (radiologisch gemessen).....	93
3.3.2.3.3	Durchschnittliche Beinlängenkorrektur	95
3.3.2.3.4	Therapieerfolg bei Patienten mit Beinlängendifferenz.....	95
3.3.2.4	Spezielle radiologische Parameter bei Achsfehlstellung.....	95
3.3.2.4.1	Abweichung von der Mikulicz-Linie	95
3.3.2.4.2	Art der Achsabweichung.....	96
3.3.2.4.3	Extremitätenwinkel prä- und postoperativ	96
3.3.2.4.4	Durchschnittliche Winkelkorrektur.....	96
3.3.2.4.5	Therapieerfolg bei Achsfehlstellung	96
4	DISKUSSION	97
4.1	DISKUSSION DER METHODEN	97
4.2	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	99
4.2.1	<i>Indikation zur Epiphyseodese</i>	99

4.2.2	<i>Lokalisation der Epiphyseodese</i>	99
4.2.3	<i>Operationsdauer</i>	100
4.2.4	<i>Postoperative Komplikationen</i>	100
4.2.5	<i>Postoperative Mobilisierung</i>	101
4.2.6	<i>Stationäre Aufenthaltsdauer</i>	101
4.2.7	<i>Beinlängendifferenzen (Korrekturrate und –dauer)</i>	102
4.2.8	<i>Achsfehlstellung (Winkelkorrektur)</i>	104
5	ZUSAMMENFASSUNG	105
6	LITERATURVERZEICHNIS	107
7	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	I
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	II
9	TABELLENVERZEICHNIS	IV
10	ERKLÄRUNG DER SELBSTSTÄNDIGKEIT	V
11	LEBENS LAUF	VI
12	ANHANG	VII
12.1	DANKSAGUNG	VII

1 Einleitung

1.1 Grundlagen

1.1.1 Beinlängendifferenz

1.1.1.1 Definition

Als Beinlängendifferenz (BLD) wird ein Längenunterschied der unteren Extremitäten bezeichnet. Beine sind selten exakt gleich lang; meist treten kleinere Unterschiede auf, die jedoch nicht bemerkt werden und somit als physiologische Normvariante zu betrachten sind [31]. Über den Krankheitswert und die Therapiebedürftigkeit von Beinlängenunterschieden herrscht daher häufig Unklarheit.

HEFTI definiert den Begriff „Beinlängendifferenz“ als direkt oder indirekt gemessenen Unterschied in der Beinlänge von 1 cm oder mehr [37].

1.1.1.2 Ätiologie und Pathogenese

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Ursachen, die zu Beinlängendifferenzen führen können. Dabei nimmt die Ätiologie der Beinlängendifferenz wesentlichen Einfluss auf das Alter bei Erstvorstellung sowie auf die Prognose des Patienten und das therapeutische Verfahren [34].

Prinzipiell unterscheidet man reelle oder anatomische von funktionellen Beinlängendifferenzen. Reelle Beinlängendifferenzen sind auf Verkürzungen oder Verlängerungen einzelner Abschnitte des Ober- oder Unterschenkelknochens zurückzuführen. Ursächlich hierfür sind meist epiphysäre Verletzungen, Frakturen oder juvenile Hüftkopfnekrosen. Funktionelle Beinlängendifferenzen werden dagegen in erster Linie durch Kontrakturen von Gelenken oder Muskeln, durch Fehlstellungen der Hüfte oder eine veränderte Beckenlage (z. B. als Folge einer Skoliose) hervorgerufen.

Des Weiteren lässt sich zwischen angeborenen, idiopathischen, und erworbenen Beinlängenunterschieden differenzieren. Dabei sollte stets herausgestellt werden, ob es sich pathogenetisch um eine Beinverkürzung infolge Wachstums hemmung oder eine Beinverlängerung infolge Wachstumsstimulation handelt. Erstere tritt z. B. bei angeborenen

longitudinalen Defekten auf, kann aber auch bei Läsionen der hochaktiven kniegelenknahen Wachstumsfugen z. B. infolge einer Säuglingsosteomyelitis entstehen [34]. Dagegen wird eine Wachstumsstimulation häufig durch frakturbedingtes Mehrwachstum oder tumorinduzierte Stimulation der Epiphysenfuge hervorgerufen. So kann die Ausheilung von Schaftfrakturen in einigen Fällen nicht zu einer Verkürzung, sondern zu einer Beinverlängerung führen, da die Wachstumsstimulation durch das Remodelling die Verkürzung überkompensiert [38].

Daneben können auch verschiedene Syndrome ursächlich für eine Beinlängendifferenz sein. So kommt es beim Klippel-Trenaunay-Weber-Syndrom, einem angeborenen Fehlbildungssyndrom der Gefäße, unter anderem zu einem partiellen Riesenwuchs, der häufig nur eine Extremität betrifft. Möglich sind auch epiphysäre Dysplasien oder wachstumsfugennah lokalisierte Knochentumoren wie z. B. Osteochondrome oder Riesenzelltumoren, die die Epiphyse in ihrer Funktion beeinträchtigen und auf diese Weise Beinlängenunterschiede induzieren [38].

1.1.1.3 Epidemiologie

Hinsichtlich des Vorkommens von Beinlängendifferenzen zeigt der klinische Alltag, dass geringe Beinlängenunterschiede relativ häufig sind. Wegen der Ungenauigkeit der klinischen Messung fehlen jedoch bis heute präzise Angaben zur Prävalenz. Ob ein Längenunterschied von bis zu 1 cm eine klinische Bedeutung hat, ist bis heute umstritten [60]. Beinlängendifferenzen unter 2 cm sind häufig und stellen nur in seltenen Fällen eine Beeinträchtigung für den Patienten dar [70].

Als eindeutig erwiesen gilt hingegen, dass Beinlängendifferenzen von über 2 cm wegen ihrer Auswirkungen auf die Statik des Beckens und der Wirbelsäule in vielen Fällen klinische Relevanz besitzen und daher als therapiebedürftig einzustufen sind [78].

Eine epidemiologische Studie aus Frankreich zeigte, dass bei 0,1 % der Bevölkerung eine ausgleichsbedürftige Beinlängendifferenz bestand [33]. Insgesamt ist die tatsächliche Prävalenz jedoch als deutlich höher anzusehen, da nicht jede Beinlängendifferenz zum Arztbesuch und konsekutiv zur Behandlung führt.

1.1.1.4 Diagnostik

Zur Feststellung einer Beinlängendifferenz sollten alle verfügbaren diagnostischen Möglichkeiten genutzt werden. In der Regel erfolgt die Messung klinisch; nur in Ausnahmefällen ist eine röntgenologische Bestimmung notwendig, wenn zum Beispiel vor einem operativen Eingriff eine größere Messgenauigkeit gefordert wird [31]. Aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung sowie der hohen Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit bietet sich auch die Beinlängensonographie als ein weiteres, hochpräzises Verfahren zur Beinlängen- und Beinlängendifferenzmessung an [47].

1.1.1.4.1 Klinische Diagnostik

Prinzipiell sollten zunächst Gangbild, Bewegungsausmaß der Gelenke sowie Interkondylen- und Malleolenabstand des Patienten beurteilt werden.

Die direkte Beinlängenmessung erfolgt am liegenden Patienten durch Abmessung des Abstands zwischen Spina iliaca anterior superior und Malleolus lateralis. Für eine exakte Beurteilung sollte zusätzlich getrennt die Länge des Femur bzw. der Tibia bestimmt werden. Trotz Verwendung eines Zentimeterbands ist die direkte Messung aufgrund der Hautverschieblichkeit ungenauer als die indirekte Messung [75].

Bei der indirekten Beinlängenmessung wird hingegen der Beckenstand beurteilt; diese findet am stehenden Patienten durch Handauflegen auf beide Beckenkämme statt. Zur Bestimmung des Differenzausgleichs können Brettchen unter das verkürzte Bein geschoben werden, bis Symmetrie erreicht wird und kein Beckenschiefstand mehr sichtbar ist [21, 54].

1.1.1.4.2 Radiologische Diagnostik

Des Weiteren sollte eine exakte röntgenologische Messung der Beinlängen erfolgen. Hierbei wird ein halbdurchlässiger Maßstab auf der ganzen Länge des Beins auf Höhe des Knochens auf die Haut befestigt. Beidseitige Röntgenaufnahmen des Hüft-, Knie- und oberen Sprunggelenks mit Abbildung des Maßstabs erlauben so die Berechnung der Längen. Noch exakter ist die Verwendung des Computertomographen oder die Markierung der Gelenkhöhen mittels Ultraschall [37, 77].

1.1.1.5 Auswirkungen und klinische Relevanz

Bei einer bestehenden und nicht ausgeglichenen anatomischen Beinlängendifferenz treten vielfältige funktionsbedingte Kompensationsmechanismen des Körpers beim Stehen und Gehen auf, die Ursache zahlreicher Beschwerden sein können. So strebt die menschliche Bewegungssteuerung einen Ausgleich seitendifferenzter Asymmetrien durch mehr oder weniger ausgeprägte Kompensationsmechanismen an, die ihrerseits wiederum Überlastungen zur Folge haben können [34].

Die klinischen Symptome einer Beinlängendifferenz sind dabei abhängig vom Ausmaß des Längenunterschieds. Während eine Beinlängendifferenz < 1 cm noch im Bereich der Norm liegt und klinisch kaum auffällt, führen Unterschiede von 1 – 2 cm häufig schon zu einem leichten Beckenschiefstand und sind daher im Wachstumsalter aufgrund des erhöhten Risikos für konsekutive Wirbelsäulendeformitäten in den meisten Fällen therapiebedürftig [37].

Bei größeren Differenzen > 2 cm sollten möglichst rasch therapeutische Interventionen erfolgen, da diese auf Dauer zu unangenehmen Symptomen wie z. B. leichtem Hinken infolge einer Glutealinsuffizienz führen können. Vor allem im Wachstumsalter können Beinlängendifferenzen zur Entstehung einer Skoliose beitragen, die aus einer Dysbalance der Wirbelsäule zur Seite der Verkürzung resultieren [34, 64].

Zu Beginn fällt oft ein zunehmender Beckenschiefstand zur Kompensation der Beinlängendifferenz auf. Reicht dieser mit der Zeit nicht mehr aus, treten andere Anpassungserscheinungen auf. So kommt es auf der kürzeren Seite vermehrt zu einer kompensatorischen Spitzfußstellung. Dabei wird eine funktionelle Kompensation meist dadurch erreicht, dass der Fuß dieser Seite beim Gehen eine verstärkte Abrollbewegung des distalen Fußteils vollführen muss, was häufig zu früh einsetzenden Schmerzempfindungen im Bereich der Metatarsophalangealgelenke führt. Am längeren Bein tritt gleichzeitig eine verstärkte Kniebeugung in Erscheinung [31]. Um funktionell eine Längenkompensation zu erreichen, wird das längere Bein zudem stärker außenrotiert als das kontralaterale kürzere Bein. So kommt es nicht selten zu Reizzuständen am medialen Anteil des Kniegelenks durch die dort stattfindende periostal-ligamentäre Überlastung im Insertionsbereich der medialen Band- und Kapselstrukturen (Ligg. collaterale tibiale, meniscus me-

diale und meniscopatellare, Tendi mm. sartorii, gracilis, semitendinosi, semimembranosii). Auf Dauer führt diese kompensatorische Außenrotationshaltung des längeren Beins zu einer Fehlstellung, wobei der zusammen mit dem gesamten Bein nach außenrotierte belastete Fuß in der Abrollphase über die Achse des unteren Sprunggelenks vermehrt in eine Pronations- bzw. Eversionsstellung gerät, über die der druckbelastete Fuß eine Valgusstellung in Richtung Knickfußfehltstellung einnimmt [31, 34, 41].

Sowohl diese Stellungen als auch die gewohnheitsmäßige skoliotische Haltung der Wirbelsäule werden nach Jahren immer mehr fixiert und entwickeln sich damit zunehmend zu einem strukturellen Problem für den Patienten.

Des Weiteren trägt häufig auch der Aspekt der kosmetischen Beeinträchtigung (sei es durch die Verkürzung selbst bzw. das Verkürzungshinken oder durch den Einsatz von Schuherhöhungen) dazu bei, dass therapeutische Optionen in Anspruch genommen werden [34].

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass sich die Indikation zum Beinlängenausgleich sowohl nach funktionellen als auch prognostischen Aspekten (insbesondere bezüglich Skolioseentwicklung) sowie nach kosmetischen Faktoren richtet. Zur Beurteilung der Beinlängendifferenz sollte dabei stets die Körpergröße bzw. Gesamtbeinlänge des Patienten berücksichtigt werden, da je nach Relation zur Körpergröße auch schon bei geringen Beinlängendifferenzen biomechanische Anpassungsvorgänge auftreten können [34].

1.1.2 Beinachsendiformität

1.1.2.1 Definition

Unter einer Beinachsendiformität (BAD) versteht man eine aus unterschiedlichen Ursachen resultierende Abweichung der Beinachse von ihren physiologischen Maßen. Als Beinachse wird der Winkel zwischen Femur- und Tibiaschaftachse bezeichnet, welcher physiologisch etwa 5-7° Valgus beträgt [18]. Achsenfehltstellungen entstehen infolge unphysiologischer Beinachsenentwicklungen, die in allen drei Ebenen des Beins auftre-

ten können. Am häufigsten sind dabei Abweichungen in der Frontalebene. Um das Ausmaß einer Achsenfehlstellung genau zu definieren, orientiert man sich an der Mikulicz-Linie. Dabei handelt es sich um die so genannte Traglinie des Beins, die physiologischerweise im Zentrum des Hüftkopfs beginnt, die Mitte des Kniegelenks schneidet und im Mittelpunkt des Sprunggelenks endet. So spricht man von einer Varusstellung, wenn Knochen bzw. Gelenke nach lateral hin konvex stehen bzw. nach lateral von der Mikulicz-Linie abweichen. Bei einer Valgusstellung hingegen weicht die Oberschenkelachse im Kniegelenk nach innen bzw. nach medial von der Mikulicz-Linie ab (Abb. 1) [82, 83].

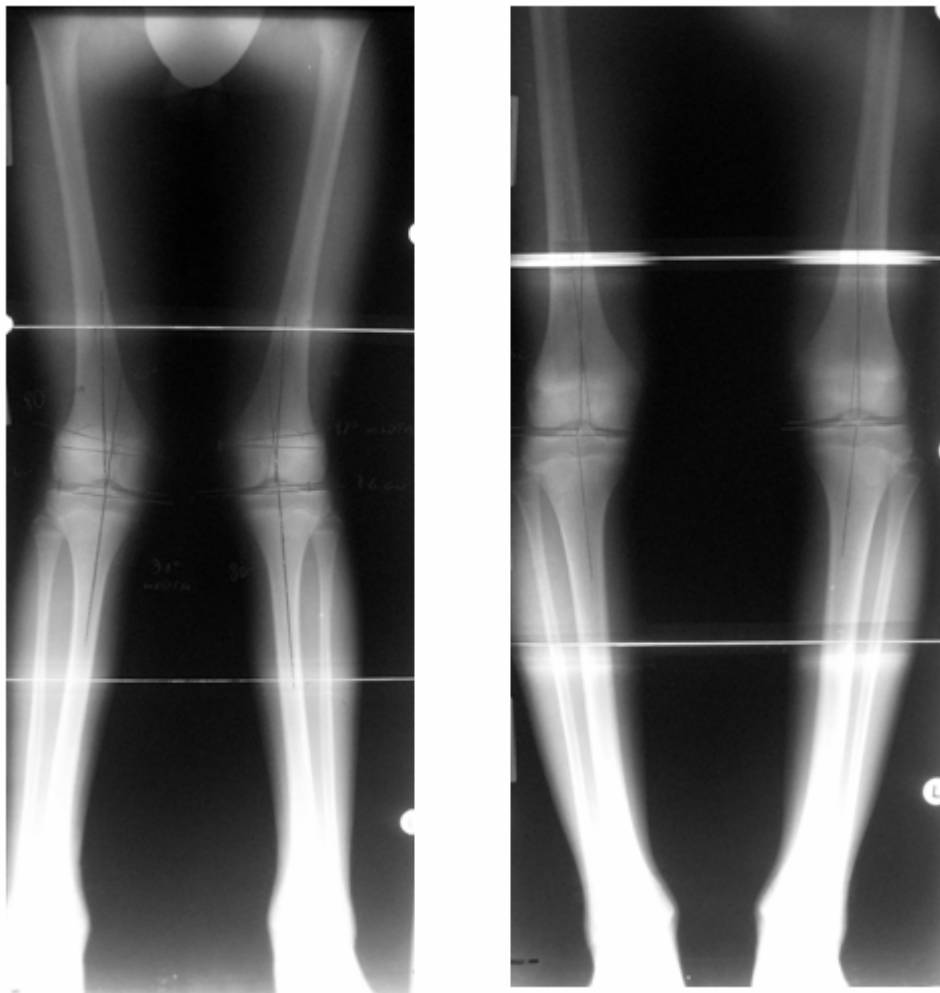


Abb. 1 *Genua valga (links) und Genua vara (rechts) in der Achsenstandaufnahme*

Achsen und Torsionen durchlaufen vom Säugling über das Kleinkind bis hin zum Erwachsenen charakteristische Veränderungen. Bei der überwiegenden Zahl der Kinder sind Genu varum und Genu valgum Ausdruck eines Übergangsstadiums der Beinachsenentwicklung, man spricht hier auch vom physiologischen Genu varum bzw. Genu valgum. So besteht bei Geburt eine physiologische Varusachse des Beins, die durchschnittlich 15° beträgt [72]. Mit Beginn der Vertikalisierung kommt es dann häufig zu asymmetrisch verteilten Belastungen der kniegelenksnahen Epiphysenfugen. Während medial die Druckbelastung überwiegt, tritt auf der lateralen Seite eher eine Zugbelastung auf. Die Folge ist eine ungleichmäßige biomechanische Beeinflussung des Knorpelwachstums, was sich in erster Linie durch eine überproportionale Proliferation auf der medialen Seite bemerkbar macht. Im Gesamtkontext führt dieser Prozess zu einer Verlagerung der Mikulicz-Linie nach lateral, so dass bis zum 3. / 4. Lebensjahr eine valgische Beinachse von etwa 10° resultiert. Infolge der nun lateralseitig überwiegenden Wachstumsstimulation entwickelt sich bis zum Alter von 8 – 10 Jahren die physiologische Valgusstellung des Kniegelenks von $5 - 7^\circ$, die wir als gerade Beinachse empfinden [82].

Wenn der Knieachsenwinkel zwischen Femur und Tibia die genannte physiologische Streubreite jedoch überschreitet, so liegen pathologische Formen vor. Für die Differenzierung zwischen physiologischen und pathologischen Abweichungen sind sorgfältige klinische und gegebenenfalls radiologische Untersuchungen notwendig [82].

1.1.2.2 Ätiologie und Pathogenese

Pathologische Beinachsenentwicklungen sind selten und oft erst nach wiederholter Beobachtung über einen längeren Zeitraum erkennbar. Dabei sind Abweichungen von mehr als zwei Standardabweichungen von der Norm als pathologisch zu werten [36, 82].

Während symmetrische Achsabweichungen meist idiopathisch bedingt sind, sollten insbesondere bei einseitigen Deviationen sekundäre Ursachen ausgeschlossen werden. Diese können zum Teil sehr vielfältig sein; meist liegen Schädigungen der Wachstumszonen durch Traumata, Infektionen oder Tumoren vor [35]. Insbesondere nach proximalen metaphysären Biegungsfrakturen der Tibia wird häufig ein asymmetrisches Wachs-

tum der Epiphysenfuge beobachtet, was letztlich in einer Valgusfehlstellung des Beins resultieren kann [82].

Achsendeformitäten können sich aber auch infolge von metabolischen Erkrankungen wie z. B. Rachitis, Phosphatdiabetes oder renaler Osteodystrophie manifestieren [71]. Ebenso kommen verschiedene Formen von Skelettdysplasien als Ursache in Frage: so tritt ein Genu valgum gehäuft bei Patienten mit Ollier-Enchondromatose oder multipler Exostosenkrankheit auf, während varische Kniegelenksfehlstellungen mit einem Morbus Blount, einer aseptischen Osteonekrose der proximal-medialen Tibiaepiphyse assoziiert sein können [83].

Auch Gelenkprozesse wie beispielsweise eine rheumatoide Arthritis oder das Skelettsystem betreffende kongenitale Systemerkrankungen (z. B. Osteogenesis imperfecta, Marfan-Syndrom) kommen als Ursachen für Achsenfehler in Frage [83].

Eine bislang weitgehend unterschätzte Bedeutung ist auch der früh manifesten Adipositas bei Kindern zuzuschreiben, die bei längerem Fortbestehen zu einer Valgisierung der Beinachse führen kann [32].

1.1.2.3 Diagnostik

1.1.2.3.1 *Klinische Diagnostik*

Zunächst sollte das Gangbild beobachtet werden. So weisen kleinere Kinder oft einen Einwärtsgang auf, wobei zwischen „Kniebohrgang“ (kneeing-in) und Einwärtsgang der Füße (toeing-in) differenziert werden muss [37]. Im Weiteren sind die Achsen am stehenden Patienten zu betrachten. Hier gilt es in erster Linie Interkondylenabstand, Malleolenabstand sowie die Stellung der Patella zu beurteilen. Auch die Beweglichkeit der Hüfte sowie die Torsion von Malleolen- und Fußachse im Vergleich zur Oberschenkelachse sollten bestimmt werden [82].

Die Beurteilung, ob eine Beinachse noch normal oder pathologisch ist, setzt die genaue Kenntnis der physiologischen Beinachsenentwicklung voraus. Grundsätzlich müssen daher alle drei Ebenen des Raums beurteilt werden (Frontal-, Sagittal- und Transversalebene), da in jeder Ebene Abweichungen auftreten können [83].

1.1.2.3.2 Radiologische Diagnostik

Bei auffälligen und progredienten Achsenfehlstellungen ist stets eine radiologische Untersuchung indiziert, um die Abweichung exakt messen und darüber hinaus auch eventuelle Wachstumsstörungen der kniegelenksnahen Wachstumszonen ausschließen zu können. Zur Beurteilung wird meist die Abweichung von der Mikulicz-Linie, der Traglinie des Beines, angegeben. Physiologischerweise sollten die Zentren von Hüftkopf, Kniegelenk und Sprunggelenk auf dieser Linie liegen (Abb. 2) [61, 83].

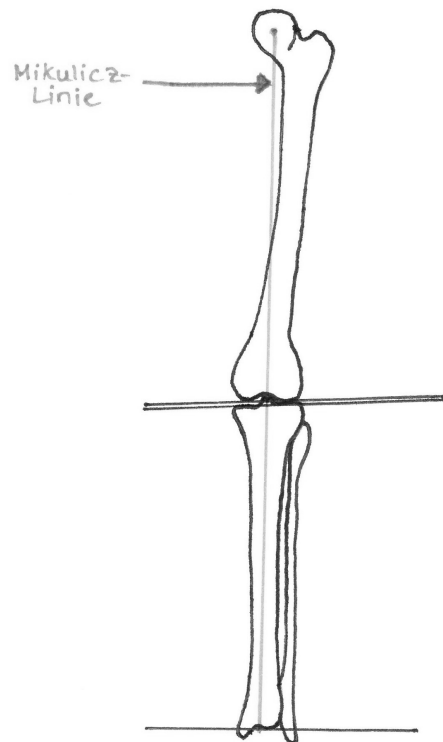


Abb. 2 Verlauf der Mikulicz-Linie

Zur besseren operativen Planung können anhand von Röntgenbildern (Abb. 4) zusätzliche Beinwinkel bestimmt werden, wie z. B. medial-proximale Tibiawinkel (MPTW), der mechanische laterale distale Femurwinkel (mLDFW) oder der anatomische laterale distale Femurwinkel (aLDFW) (Abb. 3) [61].

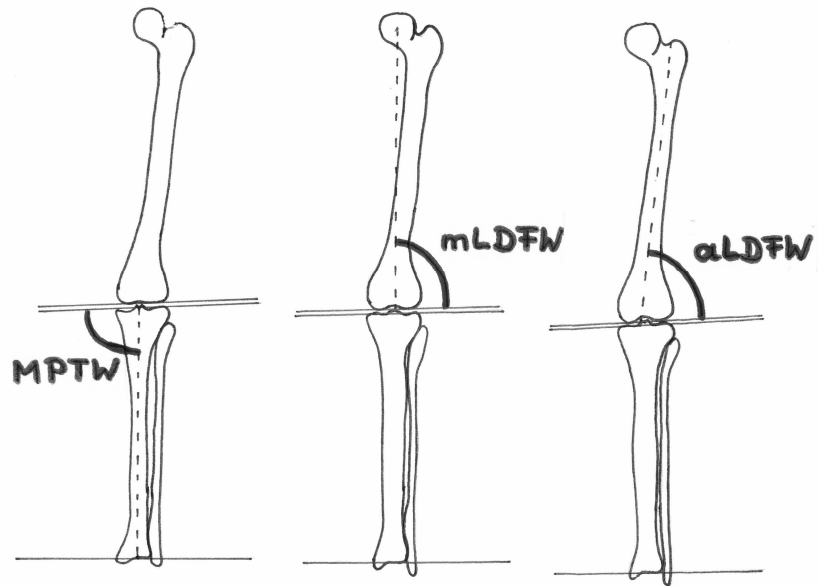


Abb. 3 Physiologische Achsen und Winkel der unteren Extremität nach Paley [63]

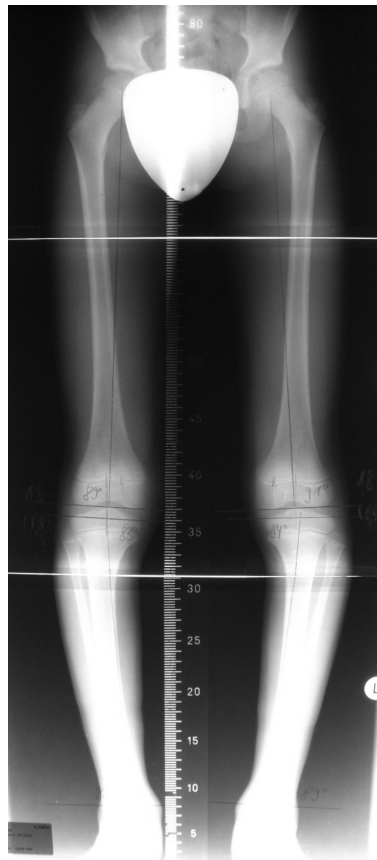


Abb. 4 Achsenstandaufnahme zur präoperativen Planung bei Genua vara

1.1.2.4 Auswirkungen und klinische Relevanz

Deformitäten der Kniegelenksachse führen dazu, dass die Belastungslinie aus der Kniegelenksmitte entweder nach außen oder innen verlagert wird, was eine lokale Überbeanspruchung nach sich zieht. Dies kann eine präarthrotische Deformität und im weiteren Verlauf eine Gonarthrose mit der Notwendigkeit zur prothetischen Versorgung zur Folge haben. Dabei scheint das Arthroserisiko beim Genu varum größer als beim Genu valgum zu sein [36].

Die Notwendigkeit einer Therapie ist im Wesentlichen abhängig vom Ausmaß und von der Ursache der Achsfehlstellung sowie vom Alter des Kindes. Bei kleineren Kindern mit symmetrischem Befund und sonst unauffälliger Anamnese ist es sinnvoll, zunächst den Spontanverlauf abzuwarten und regelmäßige Kontrolluntersuchungen mit Messung des Interkondylen- bzw. Intermalleolenabstands durchzuführen [83].

Genua vara werden in den meisten Fällen als pathologisch betrachtet. Da hier vor allem der innere Femurkondylus und damit auch der mediale Meniskus stärker beansprucht werden, kann es auf Dauer zu einer medialen Gonarthrose kommen. Eine Varusstellung mit einem Interkondylenabstand von mehr als 2 cm sollte daher ab einem bestimmten Alter gegebenenfalls korrigiert werden [36].

Varusabweichungen treten oft nach Gehbeginn auf und können im Alter von 1 – 2 Jahren recht dramatische Ausmaße annehmen. Dabei sind vor allem diejenigen Kinder betroffen, die verhältnismäßig früh mit dem Laufen beginnen und sich daher häufig noch in einer Wachstumsphase befinden, in der die Kniegelenke noch die physiologische Varusstellung besitzen. Die Varusachse ist dabei meist mit einer starken Innentorsion des Unterschenkels verbunden, so dass die Genua vara in diesen Fällen besonders deutlich werden. Häufig ist diese Fehlstellung idiopathisch und wird im Laufe der Entwicklung ausgeglichen, so dass eine vorzeitige Korrektur als kritisch anzusehen ist. Operative Maßnahmen sollten daher nur bei progredienten Deformitäten nach dem 4. Lebensjahr angestrebt werden [83].

Pathologische Formen, wie sie z.B. beim Morbus Blount, bei der Rachitis oder post-traumatisch vorkommen, bedürfen jedoch in den meisten Fällen einer frühzeitigen Korrektur schon vor dem 4. Lebensjahr.

Genua valga sind bei Kleinkindern physiologisch. Eine Persistenz über das 10. Lebensjahr hinaus ist recht selten und meist auf starkes Übergewicht zurückzuführen; ihm sollte entsprechend durch Gewichtsreduktion entgegengewirkt werden. Auch hier kann es zu dauerhaften Schädigungen kommen, da bei einem Genu valgum der äußere Teil des Kniegelenks stärker belastet wird, was zu einer übermäßigen Beanspruchung des lateralen Meniskus und schließlich zu einer lateralen Gonarthrose führen kann [45].

Eine Indikation zur operativen Korrektur der Valgusfehlstellung vor dem 10. Lebensjahr besteht in erster Linie bei Gangstörungen, Knieschmerzen, Patellalateralisation, Bandinstabilität sowie bei kosmetischen Beeinträchtigungen [83].

1.1.3 Therapie

Die Behandlung sowohl von Beinlängendifferenzen als auch von Achsenfehlstellungen richtet sich in erster Linie nach Ursache und Ausmaß der Abweichung. Aber auch das Alter des Patienten, der Funktionszustand der Gelenke sowie eventuell schon bestehende Sekundärveränderungen des Skeletts (v. a. an Wirbelsäule und Hüftgelenk) sollten bei der Auswahl eines geeigneten Verfahrens mit berücksichtigt werden. Erfolgt die Behandlung im Wachstumsalter, so ist es wichtig, die voraussichtliche Längen- bzw. Achsabweichung bei Wachstumsabschluss möglichst exakt einzuschätzen [34, 82, 83].

1.1.3.1 Konservative Verfahren

Bei Beinlängendifferenzen von 1-2 cm finden meist konservative Verfahren Anwendung. Hier kann in erster Linie durch Absatz- bzw. Sohlenerhöhungen am Schuh ein Ausgleich erzielt werden. Bei größeren Beinlängenunterschieden sollte darauf geachtet werden, dass sowohl Absatz als auch Sohle erhöht werden, da sonst eine Spitzfußstellung des Fußes erzeugt wird [37].

Differenzen von mehr als 4 cm müssen – wenn weiterhin eine konservative Therapie gewünscht ist – in jedem Fall durch eine Orthese ausgeglichen werden, um den Unterschenkel zu stabilisieren und einem möglichen Supinationstrauma des Sprunggelenks vorzubeugen [37].

So bleiben trotz allem bei einem rein konservativen Längenausgleich wichtige Probleme ungelöst. Zwar können orthopädische Hilfsmittel die Differenz einigermaßen kompensieren, jedoch bleibt die Deformität unverändert bestehen. Des Weiteren kann es zu einem gestörten Gangbild kommen; dies ist insbesondere bei einem Längenunterschied der Oberschenkel der Fall, wo die Kniegelenke auch trotz orthopädiotechnischem Schuhausgleich auf unterschiedlicher Höhe bleiben.

Dies macht schließlich bei den meisten Patienten eine operative Korrektur erforderlich, da nur so die Deformität auch tatsächlich beseitigt und der Patient von technischen Hilfsmitteln unabhängig wird [80].

Ebenso gibt es eine Vielzahl konservativer Maßnahmen, um Achsen- und Torsionsfehler auszugleichen. So hat man lange Zeit erprobt, Genua vara bzw. Genua valga durch speziell angepasste Schienen zu korrigieren. Dies hat sich jedoch in vielen Fällen als erfolglos erwiesen, da solche Schienen meist nur nachts getragen werden und somit keine dynamischen Kräfte wirken. Auch wird häufig versucht durch Aufsetzen eines Keils am Schuh eine Änderung der Belastungsachse hervorzurufen und auf diese Weise Genua valga oder Genua vara zu korrigieren. Bislang hat jedoch keines dieser Verfahren auf Dauer die gewünschte Wirksamkeit bewiesen [63].

1.1.3.2 Operative Techniken

Grundsätzlich sollte versucht werden Beinlängendifferenzen bis zu 2 cm zunächst durch konservative Verfahren zu kompensieren. Wenn sich diese zum Ausgleich als unzureichend erweisen, können invasive Methoden in Betracht gezogen werden.

Längenunterschiede von 2 – 5 cm sollten meist operativ korrigiert werden; hier kommen in erster Linie Epiphyseodesen sowie Verkürzungsosteotomien zum Einsatz. Bei größeren Beinlängendifferenzen von über 5 cm kommt als Ausgleich nur noch eine Ver-

längerung des Beins in Frage, z. B. mittels Kallusdistraction über einen distrahierenden Fixateur externe [22] oder einen Verlängerungsmarknagel [4, 48].

Bei einer Beinlängendifferenz kann prinzipiell entweder eine Verkürzung des längeren Beins oder eine Verlängerung der kürzeren Extremität erfolgen. Bei hochgradigem Beinlängenunterschied kann auch eine kombinierte Verkürzungs- und Verlängerungsosteotomie zum Einsatz kommen [70].

Achsfehlstellungen sind korrekturbedürftig, wenn die Extremitätenwinkel pathologische Abweichungen zeigen. Kleinere Abweichungen können zwar im Zuge der Entwicklung herauswachsen, da die Achsen der unteren Extremität während des Wachstums starke Veränderungen durchlaufen. In den meisten Fällen ist jedoch eine operative Korrektur erforderlich, da mittels konservativer Verfahren nur unzureichende Langzeitergebnisse erreicht werden können. Hier bieten sich vor allem Keilosteotomien [23, 39, 40] oder im Wachstumsalter ein partieller Epiphysenfugenverschluss im Sinne einer Hemiepiphyseodese an [8, 43, 74].

1.1.3.2.1 Epiphyseodesen

Epiphyseodesen sind Eingriffe, die am noch wachsenden Skelett im Bereich der Epiphysenfugen durchgeführt werden, um das weitere Wachstum in diesem Bereich zu unterbinden. Im Bereich der unteren Extremität werden sie vorwiegend an den kniegeleknahen Wachstumsfugen von Femur und Tibia angewandt, da an diesen Stellen das höchste Wachstumspotential vorliegt und dort somit gute Interventionsmöglichkeit besteht.

Eine Indikation für die Durchführung von Epiphyseodesen besteht bei prognostizierten Beinlängendifferenzen zwischen 2 und 5 cm bei Skelettreife. Sie sind technisch einfach durchführbar, so dass der Patient aufgrund des relativ kleinen Eingriffs nach einem kurzen Zeitraum bereits wieder voll belastbar ist. Heute stellen Epiphyseodesen in der Therapie moderater Beinlängendifferenzen das am häufigsten eingesetzte operative Verfahren dar [44]. Trotz der Vielfalt an operativen Möglichkeiten zum Ausgleich von Bein-

längendifferenzen oder zur Korrektur von Achsenabweichungen stellt das Prinzip der Epiphyseodese heute eine der zuverlässigsten und weit verbreiteten Methoden in der Kinderorthopädie dar [13].

Ziel einer permanenten Epiphyseodese ist es, einen frühzeitigen knöchernen Durchbau zwischen Metaphyse und Epiphyse und somit einen Wachstumsstopp zu erreichen [34]. Um das Prinzip dieses Verfahrens besser darstellen zu können, soll im Folgenden zunächst näher auf die Anatomie der Wachstumsfugen eingegangen werden.

1.1.3.2.1.1 Aufbau und Struktur der Epiphysenfugen

Als Epiphysenfuge bezeichnet man eine im Wachstum zunehmend schmaler werdende Knorpelscheibe, die sich zwischen der perichondral entstandenen Diaphyse und der enchondral entstandenen Epiphyse befindet. Aufgebaut aus hyalinem Knorpel stellt sie den wichtigsten Ort für das Längenwachstum der Röhrenknochen in Form der enchondralen Ossifikation dar [79]. Hier vermehren sich zunächst die Chondrozyten und werden sukzessive in Richtung Diaphyse in Knochenmaterial umgebaut.

Histologisch lässt sich die Epiphysenfuge in 5 charakteristische Zonen gliedern (*Abb. 5*); so schließt sich an den enchondralen Epiphysenkern zunächst die vorwiegend aus hyalinem Knorpel bestehende Reservezone an. Diese stellt aus heutiger Sicht mit ihren den epiphysären Knochenkern umgebenden Stammzellen das eigentliche Zellreservoir der Wachstumsfuge dar [81]. Angrenzend folgen Transformationszone sowie Proliferationszone, die die eigentliche Wachstumszone bildet und hauptsächlich Säulenknorpel enthält. Nach einem relativ vielgestaltigen Abschnitt, in dem vor allem Blasenknorpel zu finden ist, schließt sich zuletzt die Verkalkungszone an – ein zunehmend mineralisierter Bereich, in dem Knorpelabbau und Knochenneubildung stattfinden [52].

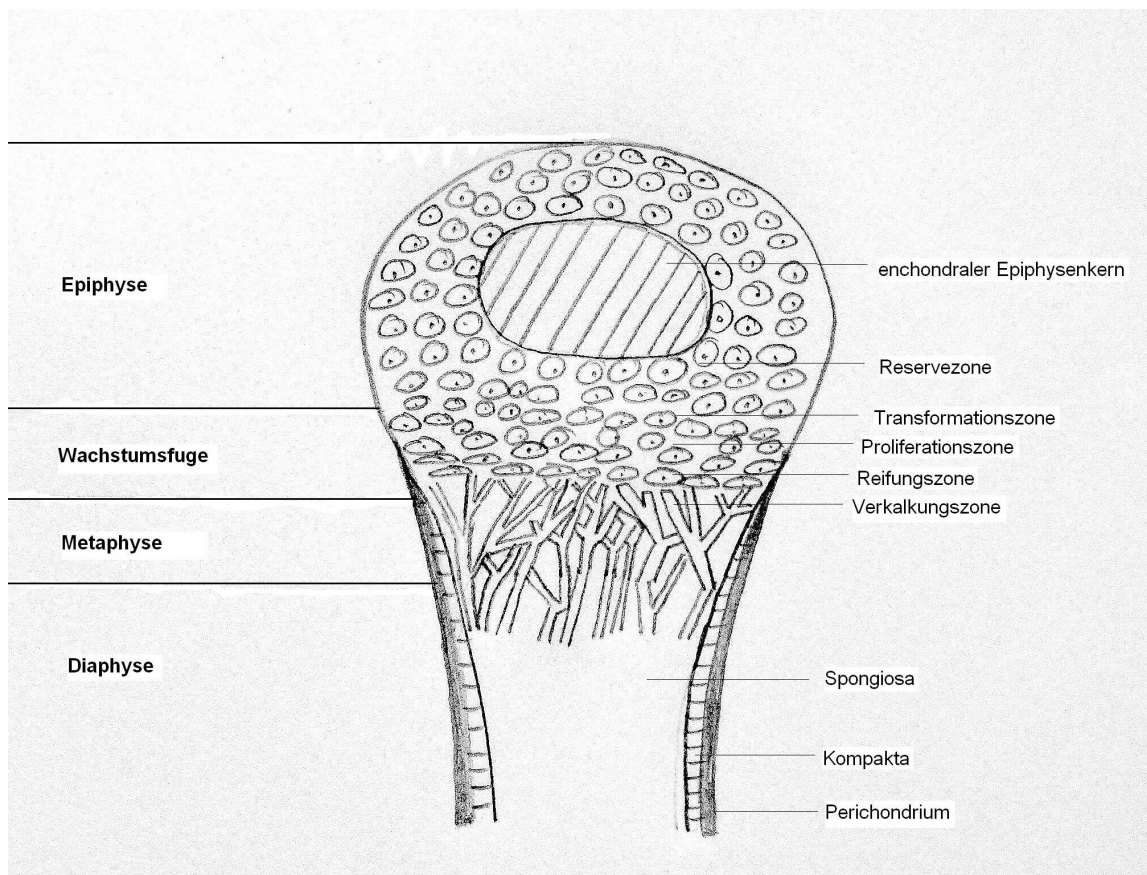


Abb. 5 Aufbau der Wachstumsfuge

Reguliert wird das epiphysäre Wachstum im Wesentlichen durch eine Reihe von Faktoren, u. a. IGF-1, Wachstumshormon GH und BMP-VII („Bone Morphogenetic Protein“), die sich über verschiedene Rückkopplungsmechanismen gegenseitig beeinflussen [58, 69]. Der Verknöcherungsprozess setzt bereits im zweiten Embryonalmonat im Bereich der metaphysären Enden der Diaphysen ein und gilt erst dann als abgeschlossen, wenn im Bereich der Epiphysenfugen kein hyaliner Knorpel mehr zu finden ist. Mit Abschluss des Wachstums verschwinden die Wachstumsfugen dann vollständig, so dass Diaphyse, Metaphysen und Epiphysen knöchern zusammenwachsen. Häufig ist die Grenze später noch als Fugenlinie (Linea physealis) zu erkennen [52].

1.1.3.2.1.2 Bestimmung des Wachstumspotentials

Voraussetzung für die Behandlung von Beinlängendifferenzen und Achsfehlstellungen ist es, das Wachstumspotential von Femur und Tibia genau zu kennen. Da bei permanenten Epiphysodesen der kritische Punkt in der Wahl des optimalen Zeitpunkts zur

Durchführung des operativen Eingriffs liegt, sind die Erfassung des bereits erfolgten Wachstums sowie die Vorhersage des Restwachstums von entscheidender Bedeutung. So wurden im Laufe der Zeit verschiedene Methoden entwickelt, das Längenwachstum der Extremitäten bestimmen und Wachstumsprognosen erstellen zu können [34].

Fest steht, dass das Längenwachstum der Röhrenknochen fast ausschließlich in den Epiphysenfugen des proximalen und distalen Knochenendes stattfindet [52]. Dabei lässt sich eine unterschiedliche Aktivitätsverteilung der Fugen feststellen. Während die proximale Epiphysenfuge des Femurs zu 30 % und die distale Femurfuge zu 70 % am Wachstum beteiligt ist, weist die Tibia ein Verteilungsmuster von 55% an der proximalen und 45 % an der distalen Wachstumsfuge auf. 65 % des Längenwachstums der unteren Extremität entfallen somit auf die kniegelenksnahen Epiphysenfugen [1, 34].

Die Methode nach Menelaus stellt eine vereinfachte Annahme des Beinlängenwachstums dar. Sie basiert auf der Annahme, dass an den Epiphysenfugen ein konstantes Längenwachstum von 0,95 cm / Jahr am distalen Femur und 0,64 cm / Jahr an der proximalen Tibia erfolgt. Weiterhin geht man davon aus, dass ein einheitlicher Schluss der Wachstumsfugen mit 14 Jahren bei Mädchen und mit 16 Jahren bei Jungen stattfindet [50].

Im Weiteren ist es wichtig, das Skeletalter und damit das verbleibende Zeitintervall bis zum physiologischen Wachstumsabschluss vorhersagen zu können. So gibt es für die Epiphysenfugen am Handskelett spezielle Atlanten, mit denen das chronologische Alter eines Kindes mit dem aktuellen Skeletalter verglichen werden kann (*Abb. 6*). Auf diese Weise können Aussagen über das noch zu erwartende Gesamtwachstum des Kindes oder des Jugendlichen gemacht werden, was für eine exakte Terminierung des optimalen Operationszeitpunkts von Bedeutung ist [30].



Abb. 6 Röntgenaufnahme der linken Hand zur Skelettalterbestimmung

So sollten für die Therapieplanung folgende Parameter bekannt sein [37]:

- das relative Wachstum der betroffenen Extremitätenanteile im Vergleich zur Gegenseite
- das voraussichtliche Wachstum der betroffenen Extremitätenanteile
- die Wirkung von verkürzenden oder verlängernden Maßnahmen auf das Wachstum

Nach ANDERSON und GREEN lässt sich die prozentuale Wachstumsstörung der betroffenen Extremität nach folgender Formel berechnen [29]:

$$\text{Wachstumsstörung} = \frac{\text{Wachstum normale Seite} - \text{Wachstum verkürzte Seite}}{\text{Wachstum normale Seite}}$$

Auf diese Weise können die Wachstumsstörungen in verschiedene Schweregrade eingeteilt werden (*Tab. 1*):

Schweregrad	Wachstumsstörung
Leicht	0 – 10 %
mäßig	11 – 20 %
schwer	21 – 30 %
sehr schwer	> 30 %

Tab. 1 Schweregrade von Wachstumsstörungen

Basierend auf den Berechnungen von ANDERSON und GREEN hat MOSELEY den sog. Straight-line-graph entwickelt, der eine relativ gute Prognose der Beinlängendifferenz bei Wachstumsabschluss erlaubt. Voraussetzung für diese Methode sind radiologische Beinlängenmessungen und Skeletalterbestimmungen zu drei verschiedenen Zeitpunkten innerhalb von 12 bis 18 Monaten, mit deren Hilfe sich schließlich die Endlänge des Beines vorhersagen lässt. Vereinfachend setzt diese Methode jedoch voraus, dass zum einen ein lineares Längenwachstum stattfindet und zum anderen das Wachstum stets auf derselben Längenperzentile bleibt [55].

Eine recht neue Methode zur Aufstellung von Wachstumsprognosen ist die Anwendung des Multiplikators nach Paley. So entwickelte dieser auf Grundlage der Daten von Anderson und Green ein Verfahren, das eine Bestimmung der prognostizierten Beinlängendifferenz und des verbleibenden Wachstums erlaubt. Daraus lässt sich wiederum der richtige Zeitpunkt zur Epiphyseodese sowie die voraussichtlich endgültige Beinlänge nach Eingriff berechnen. Vorteil dieser Methode ist, dass mit Hilfe definierter Tabellen eine sofortige Prognose erstellt werden kann [62].

Bei der Bestimmung des optimalen Operationszeitpunktes von Achsabweichungen findet das Nomogramm nach BOWEN Anwendung. Hierbei gilt es, den zu erzielenden Korrekturwinkel in Abhängigkeit vom Skeletalter und der aktuellen Wachstumsfugenbreite auf einem Nomogramm abzulesen und somit den optimalen Zeitpunkt zur Hemiepiphyseodese zu ermitteln [9].

Problematisch ist jedoch die Tatsache, dass bei allen prognostischen Methoden stets davon ausgegangen wird, dass sich die Wachstumsstörung während der gesamten Wachstumsphase proportional verhält. Dies ist jedoch nur in begrenztem Maße der Fall und zusätzlich stark von der klinischen Situation abhängig, was bei der Interpretation dieser Prognosen in jedem Fall berücksichtigt werden muss [37].

1.1.3.2.1.3 Prinzip der Epiphyseodesen

Das Prinzip der Epiphyseodese beschrieb erstmals 1933 Pnemister [59, 66] als permanentes, offenes Verfahren, bei dem das Längenwachstum durch Ausräumen der Epiphysenfugen und Einsetzen eines Knochenspans dauerhaft blockiert wird. Bei den 1949 von Blount eingeführten temporären Verfahren sollte hingegen durch Klammerung der Epiphysenfugen das Wachstum nur vorübergehend gehemmt werden [6]. Mit Entwicklung leistungsfähiger Bildwandlertechnik in den 80er Jahren gewannen perkutane Verfahren immer mehr an Bedeutung.

Im Folgenden soll nun auf die einzelnen Verfahren näher eingegangen werden.

1.1.3.2.2 Temporäre Verfahren

Hierzu zählen im Wesentlichen die Verklammerung der Wachstumsfugen nach BLOUNT sowie die von STEVENS eingeführten Eight-Plates als relativ neue Methode zur temporären Epiphyseodese. Diese Verfahren bieten den Vorteil, eine potentielle Überkorrektur durch rechtzeitiges Entfernen der eingesetzten Klammern bzw. Platten verhindern zu können.

1.1.3.2.2.1 Blount

Durch eine temporäre Klammerung der Epiphysenfuge von Ober- oder Unterschenkelknochen mittels krampenartiger BLOUNT-Klammern lässt sich eine weitere Knochenbildung verhindern (*Abb. 7*). Hierbei soll eine Korrektur noch im Wachstumsalter erreicht werden, wobei die Epiphysenfugen durch die Klammerung so lange blockiert werden, bis ein Ausgleich festzustellen ist. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin,

dass das Wachstum nur vorübergehend, nicht aber vollständig unterbunden wird. Dies macht es somit kontrollierbarer als permanente Verfahren, so dass eine exakte Berechnung des Operationszeitpunkts bei dieser Technik nicht unbedingt erforderlich ist [5, 6, 34].

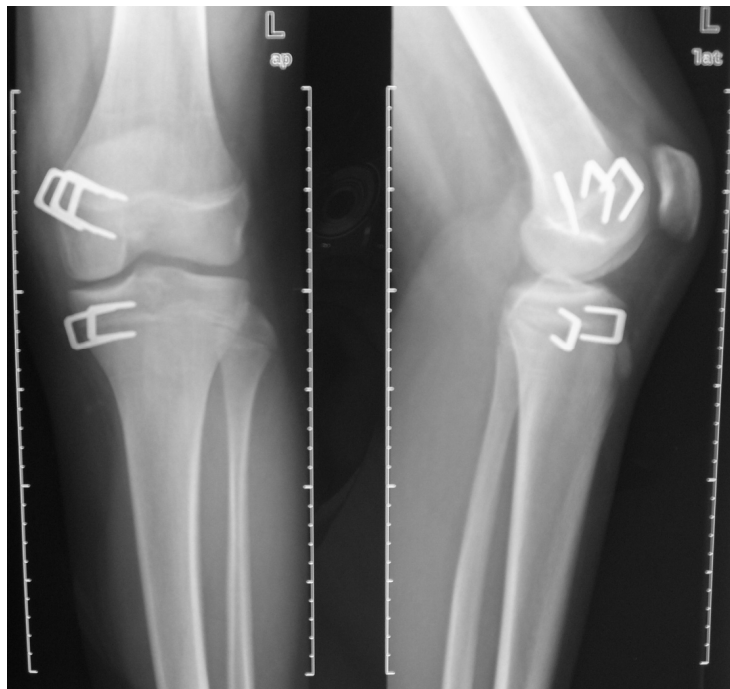


Abb. 7 Blount'sche Klammerung

Allerdings bringt diese Methode auch eine Reihe an Komplikationen mit sich; so kommt es nicht selten zu einer Lockerung oder Dislokation der eingebrachten Klammern, was zu unbeabsichtigten Verletzungen der Epiphysenfuge oder asymmetrischem Wachstum führen kann [34]. Zudem ist die Aktivität der Wachstumsfuge nach Entfernung der temporären Blockade nicht exakt kalkulierbar, was sowohl in einer Unterfunktion als auch in übermäßigem Wachstum resultieren kann [6, 28]. Wegen dieser Mechanismen kann es zu Achsabweichungen kommen, die unter Umständen sogar Sekundäreingriffe erforderlich machen.

Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass dieses Verfahren einen Zweiteingriff zur Entfernung der eingebrachten Metallklammern notwendig macht. So kann dies infolge größerer Inzisionen schließlich auch zu einem ungünstigeren kosmetischen Resultat führen [5, 34].

1.1.3.2.2.2 Eight-Plates

Diese Methode stellt ein relativ neues Prinzip zur Epiphyseodese dar, das den physiologischen Bau der Epiphysenfuge besser respektiert als vorausgehende Verfahren. Dabei sollen kleine Platten mit beweglichen Schrauben (*Abb. 8*), die in die Wachstumsfuge eingebracht werden, verfahrensspezifische Komplikationen verhindern [57]. BURG-HARDT und Kollegen beschrieben die Eight-Plates 2008 als ideales Verfahren zur Korrektur von Achsfehlstellungen [10].

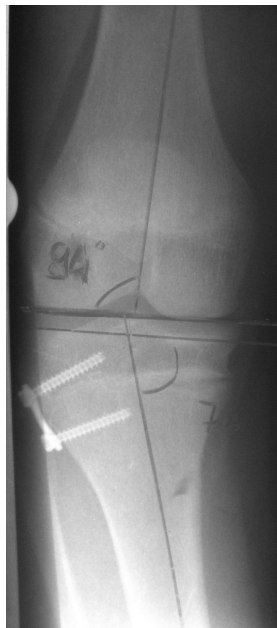


Abb. 8 Eight-Plate der proximalen Tibia

1.1.3.2.2.3 PETS

Die perkutane Schraubenepiphyseodese (PETS = percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws) ist eine relative neue Methode, die erstmals 1998 von METAIZEAU beschrieben wurde [51]. Dieses Verfahren bietet eine optimale Kombination aus minimal-invasiver Technik und Reversibilität und kann sowohl bei Patienten mit Beinlängendifferenz als auch mit Achsfehlstellung eingesetzt werden. Hierbei werden unter Bildwandlerkontrolle kleine kanülierte Schrauben in den Bereich der Epiphysenfuge eingesetzt, die das Wachstum dort vorübergehend hemmen sollen [46, 59].

1.1.3.2.3 Permanente Verfahren

Bei der definitiven Epiphyseodese wird das weitere Fugenwachstum zu berechnetem Zeitpunkt durch partielle Resektion der Epiphysenfuge und anschließende knöcherne Verspannung blockiert. Sie sollte daher erst relativ kurz vor Wachstumsabschluss durchgeführt werden [37, 65].

1.1.3.2.3.1 Phemister

PHEMISTER führte 1933 eine permanente Epiphyseodese ein, die auch heute noch Anwendung findet [66]. Hierbei wird im Bereich der Wachstumsfuge medial und / oder lateral ein rechteckiger Knochenblock mit Meißeln entfernt. Dann erfolgt die Anbohrung der Epiphysenfuge mittels Bohrer in verschiedenen Richtungen sowie das anschließende Kürettieren mit einem scharfen Löffel. In einem weiteren Schritt werden die entnommenen Knochenblöcke um 180° gedreht und an ihrer ursprünglichen Stelle wieder eingesetzt, so dass eine knöcherne Verspannung der Wachstumsfuge entsteht (*Abb. 9*) [65].



Abb. 9 Phemister-Epiphyseodese der proximalen Tibia

Operationstechnik im Bereich des distalen Femurs

Die Operation erfolgt unter Blutleere, Lagerung in Rückenlage und Beugung des Knie- und Hüftgelenks um jeweils etwa 20°. Zunächst erfolgt ein Hautschnitt medial und / oder lateral beginnend ca. 1 cm proximal des Kniegelenkspalts in der Mitte zwischen ventraler und dorsaler Begrenzung des Femurs. Eine Kontrolle mittels Bildwandler ist sinnvoll. Nachdem Subkutis und Faszie durchtrennt sind, erfolgt die stumpfe Präparation entlang des Septum intermusculare und das vorsichtige Abschieben der Muskulatur nach ventral. Bei der Präparation sollte stets darauf Acht genommen werden, dass der Recessus suprapatellaris nicht eröffnet wird. Sollte dies dennoch der Fall sein, so ist der Recessus durch Nähte zu verschließen.

Nun erfolgt die Koagulation der Vasa genua superiores mediales bzw. laterales, die in Höhe der Epiphysenfuge verlaufen. Danach wird das Periost bzw. Perichondrium durch Längsinzision eröffnet, so dass die Wachstumsfuge freigelegt wird. Jetzt kann mit zwei verschiedenen breiten Meißeln jeweils medial und lateral vorsichtig ein Knochenblock ausgemeißelt werden. Im Anschluss erfolgt das Anbohren der Fuge unter Sicht in alle Richtungen und nachfolgendes Kürettieren mit einem scharfen Löffel, wobei der Epiphysenknorpel möglichst vollständig entfernt werden sollte. Perforationen, vor allem dorsalseitig, sind dringend zu vermeiden, da es sonst zu einer Gefährdung der Poplitealgefäße kommt. Anschließend werden die ausgemeißelten Knochenblöcke um 180° gedreht wieder an ihrer ursprünglichen Stelle stabil verankert, das Periost verschlossen und nach Einlegen einer Redon-Drainage die Wunden schichtweise geschlossen [66].

Operationstechnik im Bereich der proximalen Tibia

Die Epiphyseodese des proximalen Unterschenkels ist in gleicher Technik wie im Bereich des distalen Femurs durchzuführen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass nicht nur die Epiphysenfuge der proximalen Tibia, sondern gegebenenfalls auch die proximale Fibulaepiphyse in die Behandlung miteinbezogen werden muss [66].

Postoperative Nachbehandlung

Postoperativ ist nach Phemister-Epiphyseodese eine Ober- und Unterschenkel-Gipshülse für insgesamt 4 Wochen sowie Teilbelastung mit Unterarmgehstützen vorgesehen [66, 70].

1.1.3.2.3.2 Canale

Eine weitere Form der permanenten Epiphyseodese wurde 1986 von CANALE entwickelt und hat sich mittlerweile an vielen Zentren als am wenigsten invasive, aber sehr wohl effektive Methode durchgesetzt.

Das Prinzip dieses Verfahrens besteht darin, die Epiphysenfuge in perkutaner Technik unter Bildwandlerkontrolle anzufräsen und anschließend mit Hilfe eines scharfen Löffels auszukürettieren [14]. Eine gute Bildgebung ist entscheidend bei diesem Verfahren. Sollten die Bildqualität unzulänglich und die Bildorientierung unsicher sein, so sollte auf offene Epiphyseodesen-Verfahren zurückgegriffen werden [13].

Die Vorteile dieses minimal-invasiven Verfahrens liegen vor allem in einer deutlich geringeren Morbidität und verminderten Anzahl postoperativer Komplikationen. So verglichen RAISIS und Kollegen die Ergebnisse von perkutanen Epiphyseodesen mit offenen Epiphyseodesen und stellten fest, dass es beim offenen Verfahren in 21 % der Fälle sekundär zu Achsabweichungen an der operierten Extremität kam, während hingegen bei der perkutanen Methode postoperativ keine Achsdeformitäten auftraten [68]. Weitere Studien haben gezeigt, dass durch die perkutane Technik ebenso zuverlässig ein vollständiger Wachstumsstopp der operierten Epiphysenfuge erreicht wird wie durch offene Verfahren [7, 26]. Auch die kosmetische Beeinträchtigung fällt nach perkutanen Verfahren durch die Verkleinerung der Zugänge auf Stichinzision deutlich geringer aus als nach offenen Verfahren, bei denen in einigen Fällen Vernarbungen und Adhäsionen der kniegelenksnahen Weichteile beobachtet wurden [25].

Operationstechnik

Die Epiphyseodese erfolgt in perkutaner Technik. Lagerung des Patienten und Blutsperrung erfolgen wie beim Verfahren nach Phemister.

Zunächst wird die Epiphysenfuge mit Hilfe des Bildwandlers identifiziert und mit einem Kirschner-Draht markiert. Danach erfolgen die Hautinzision oberhalb des Markierungsdrahts und das Einbringen einer Fräse oder eines Bohrers in die Wachstumsfuge unter Bildwandlersicht. Von der Eintrittsstelle her wird nun die Fuge in alle Richtungen angefräst und anschließend mit einem scharfen Löffel auskürettiert, um schließlich ei-

nen sogenannten „bull's-eye“-Effekt im Zentrum der Wachstumsfuge zu erreichen. Dabei erfolgt medial und lateral ein analoges Vorgehen.

Im Röntgenbild kann anschließend ein durchsichtiges Areal bzw. ein so genannter Blackout-Effekt im Bereich der ausgeräumten Epiphysenfuge sichtbar gemacht werden. Im Anschluss ist eine gründliche Spülung wichtig, um sämtliche abgelösten Knochen- und Knorpelfragmente zu entfernen. Die Schnitte werden jeweils mit Einstich-Wundnaht verschlossen und anschließend steril verbunden [13].

Postoperative Nachbehandlung

Postoperativ ist eine sofortige Gewichtsbelastung in einer weichen Knieschiene erlaubt [13].

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Beinlängenunterschiede und Beinachsdeformitäten zählen zu den häufigsten Beobachtungen in der (kinder)orthopädischen und pädiatrischen Praxis. Während geringe Ungleichheiten meist keiner Korrektur bedürfen oder lediglich mit konservativen Methoden ausgeglichen werden können, gibt es zur Behandlung größerer Abweichungen eine Vielzahl operativer Vorgehensweisen. So sind im Laufe der Zeit unterschiedlichste Operationsverfahren entwickelt worden, um eine Anpassung der Beinlänge bzw. -achse und somit eine Wiederherstellung der Beinsymmetrie zu erreichen.

Das Prinzip der Epiphyseodese besteht dabei in einer chirurgischen Blockierung des Wachstums durch Überbrückung oder Zerstörung der Epiphysenfuge. Dabei muss differenziert werden zwischen einer zeitlich begrenzten Wachstumsblockade (temporäre Epiphyseodese) und einer endgültigen Unterbrechung des Wachstums (permanente Epiphyseodese). Während bei temporären Epiphyseodesen die Wachstumsfugen des jeweiligen Knochens durch spezielle Implantate so lange blockiert werden, bis das gewünschte Korrekturziel erreicht ist, erfolgt bei definitiven Epiphyseodesen eine Zerstörung von Epiphysenfugenanteilen und somit eine dauerhafte Begrenzung des Wachstumspotentials. Diese permanenten Verfahren sollen in dieser Arbeit differenziert betrachtet werden.

Grundlage unserer Studie bildet ein Kollektiv von insgesamt 178 Patienten, die im Zeitraum von 1980 bis 2006 in der Klinik und Poliklinik für Allgemeine Orthopädie des Universitätsklinikums Münster eine permanente Epiphyseodese erhielten. Hierbei kamen zwei verschiedene Verfahren zum Einsatz; einerseits die Epiphyseodese nach Phemister und andererseits das Verfahren nach Canale.

Ziel dieser Arbeit ist somit, permanente Verfahren der Epiphyseodese mittels bewährter Parameter hinsichtlich Durchführung, Outcome und Komplikationsrate retrospektiv zu vergleichen. Anhand klinischer und radiologischer Messungen, die in festgelegten Zeitabständen prä- und postoperativ durchgeführt wurden, lassen sich jeweils Aussagen zum jeweiligen Korrekturpotential, zur realen Korrektur und zum Outcome in Abhängigkeit vom gewählten Verfahren treffen. Weiterhin wurde unser Patientenkollektiv hinsichtlich bestimmter Faktoren untersucht, von denen ein möglicher Einfluss auf das postoperative Outcome zu erwarten ist, wie z. B. Lokalisation der Epiphyseodese oder Zeitpunkt des Eingriffs. Ebenso soll geklärt werden, bei welcher Indikation eine permanente Epiphyseodese am ehesten erfolgsversprechend ist.

Durch direkten Vergleich der beiden genannten Patientengruppen soll schließlich geklärt werden, ob eines der Verfahren aufgrund besserer Langzeitresultate oder geringerer Komplikationsraten dem anderen überlegen ist. Auf diese Weise möchten wir erreichen, die Qualität der einzelnen Operationsverfahren zu verbessern und somit den Therapieerfolg des individuellen Patienten zu optimieren.

2 Material und Methoden

2.1 Studientyp

Anhand von Operationsberichten wurden für diese Studie retrospektiv Patienten ermittelt, bei denen in den Jahren 1980 bis 2006 in der Klinik und Poliklinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Münster eine Epiphyseodese nach Phemister oder Canale durchgeführt wurde. Beide Patientengruppen bzw. Verfahren wurden anschließend im Hinblick auf verschiedene Parameter miteinander verglichen.

2.2 Patientenkollektiv

Es ergaben sich unter Berücksichtigung der genannten Einschlusskriterien 178 Patienten für diese Studie. Davon wurde bei 95 Patienten eine Epiphyseodese nach Phemister durchgeführt, 83 Patienten erhielten hingegen eine Epiphyseodese nach Canale (*Tab. 2*).

2.2.1 Patientengruppe mit Phemister-Epiphyseodese

Es wurden sämtliche Phemister-Epiphyseodesen erfasst, die seit 1980 am Universitätsklinikum Münster durchgeführt wurden; zuletzt kam dieses Verfahren im Mai 2000 zum Einsatz. Insgesamt wurde diese Operation bei 56 Jungen und 39 Mädchen eingesetzt. Das Alter der Patienten lag zwischen 9 und 17 Jahren, der Mittelwert betrug 13,4 Jahre.

2.2.2 Patientengruppe mit Canale-Epiphyseodese

Diese Gruppe umfasst alle Patienten, bei denen zwischen dem Jahr 1998 und Juli 2006 eine Epiphyseodese nach Canale erfolgte. Dieses Verfahren wurde bei 40 Jungen und 43 Mädchen angewandt. Der jüngste Patient war zum Zeitpunkt des Eingriffs 8 Jahre alt; der älteste Patient 16 Jahre alt. Der Mittelwert des Lebensalters lag bei 13,0 Jahren.

	Patientengruppe (n = 178)	
	Phemister	Canale
Anzahl der Patienten	95	83
männlich	56	40
weiblich	39	43
Durchschnittsalter (in Jahren)	13,40	13,02

Tab. 2 Zusammensetzung der Patientengruppen

2.3 Untersuchungsgrößen

2.3.1 Klinische Parameter

Bei der Auswertung der klinischen Parameter dienten die Krankenakten der Patienten als Grundlage. Diese wurden im Archiv des Universitätsklinikum Münster (UKM) gesichtet und relevante Daten entnommen. Die archivierten Patientenakten konnten mittels eines im Archiv vorhandenen elektronischen Datensystems aufgesucht werden. Die Krankenakten der Patienten, die zuletzt vor mehr als fünf Jahren am UKM behandelt wurden, befanden sich auf Mikrofilmen. Diese wurden ebenfalls mit Hilfe der elektronischen Datenbank im Archiv aufgesucht und anschließend ausgewertet.

2.3.1.1 Indikation zur Epiphyseodese

Zunächst wurde untersucht, mit welcher Indikation eine Epiphyseodese durchgeführt wurde. Die beiden wesentlichen Indikationen waren Beinlängendifferenz oder Beinachsdeformität. In wenigen Fällen lagen sowohl eine Beinlängendifferenz als auch eine Beinachsabweichung oder sonstige Indikationen vor.

2.3.1.2 Lokalisation der Epiphyseodese

Es wurde dokumentiert, an welchem Knochen (Femur / Tibia / Fibula), an welchem Knochenende (distal / proximal) und an welcher Knochenseite (medial / lateral) die Epiphyseodese durchgeführt wurde. Dies war entweder dem Operationsprotokoll oder dem ärztlichen Verlaufsbericht zu entnehmen.

2.3.1.3 Chronologisches Alter

Hier wurde festgehalten, wie alt die Patienten zum Zeitpunkt der Epiphyseodese-Operation waren. Die Angaben wurden dabei jeweils auf das volle Lebensjahr auf- bzw. abgerundet.

2.3.1.4 Dauer des operativen Eingriffs

Für alle Eingriffe ermittelten wir retrospektiv die Operationsdauer in Minuten. Dies erfolgte zum einen mit Hilfe von Operationsprotokollen, die die genaue Eingriffsdauer dokumentierten. In einigen Fällen war die Operationszeit hieraus jedoch nicht ersichtlich, so dass auf die Anästhesieprotokolle zurückgegriffen werden musste. Hier definierten wir die „Schnitt-Naht-Zeit“ als Eingriffsdauer.

Anschließend stellten wir die Operationszeit in Abhängigkeit von der Anzahl der operierten Epiphysenfugen dar. Patienten, bei denen während der Operation neben der Epiphyseodese noch weitere Eingriffe erfolgten, wurden in der statistischen Wertung nicht mitberücksichtigt, da je nach zusätzlichem Eingriff die Operationsdauer individuell beeinflusst wurde.

2.3.1.5 Postoperative Komplikationen

Es wurde ermittelt, bei welchen Patienten nach dem Eingriff ein Gelenkerguss schriftlich dokumentiert war. Dies wurde meist im Entlassungsbrief der Patienten oder im stationären Verlaufsbericht aufgezeichnet.

Sämtliche andere Komplikationen, die in der Patientendokumentation aufgeführt waren, wurden erfasst und in die Auswertung miteinbezogen. Dabei differenzierten wir zwischen Minor- und Major-Komplikationen (*Tab. 3*).

Minor-Komplikationen	Major-Komplikationen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gelenkerguss ▪ Oberflächliche Wundinfektion ▪ Lokale Parästhesien ▪ Hämatom ▪ Retropatellarsyndrom 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiefe Wundinfektion ▪ Operationsversagen

Tab. 3 Komplikationen nach Epiphyseodese

2.3.1.6 Postoperative Mobilisierung

Es wurde untersucht, ob bei den Patienten nach dem Eingriff eine Mobilisierung an Unterarmgehstützen (UAG) erfolgte oder nicht. Dies war entweder dem Entlassungsbrief oder der Pflegedokumentation zu entnehmen.

2.3.1.7 Dauer des stationären Aufenthalts

Für sämtliche Operationen wurde die Dauer des stationären Aufenthalts dokumentiert. Hier fanden ebenfalls Tage präoperativen Stationsaufenthalts Berücksichtigung, die zumeist diagnostischen Zwecken dienten. Die Dauer der poststationären ambulanten Behandlung (u. a. von postoperativen Komplikationen) wurde dagegen nicht mehr miteinbezogen.

Das Datum der Aufnahme bzw. Entlassung wurde mit Hilfe der in der Krankenakte vorhandenen Arztbriefe oder stationären Verlaufsberichte ermittelt. Da in wenigen Fällen keine ärztlichen Dokumentationen zu finden waren, musste hier mit Hilfe der Aufzeichnungen des Pflegepersonals auf die Dauer des Klinikaufenthalts Rückschluss gezogen werden.

2.3.1.8 Beinlängendifferenz präoperativ (klinisch gemessen)

Es wurde untersucht, ob und inwieweit präoperativ eine Beinlängendifferenz vorlag. Dazu war in den meisten Fällen eine klinische Beinlängenmessung in den Krankenakten dokumentiert. Diese erfolgte standardgemäß durch direkte Bestimmung des Abstands

zwischen Spina iliaca anterior superior und Malleolus externus mittels Zentimeterband am Patienten.

2.3.1.9 Beinlängendifferenz postoperativ (klinisch gemessen)

Hier wurde erfasst, inwieweit postoperativ noch eine Beinlängendifferenz vorlag. Die Werte waren jeweils den Nachuntersuchungsberichten in den Krankenakten zu entnehmen. Bei einigen Patienten lagen mehrere Nachuntersuchungen mit verschiedenen Werten vor. Hier wurde jeweils der Wert berücksichtigt, der dem Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses am nächsten lag. Dieser liegt für Mädchen im Durchschnitt bei 14 bis 15 Jahren, bei Jungen zwischen 16 und 17 Jahren.

2.3.1.10 Therapieerfolg

Als Therapieerfolg definierten wir in der Patientengruppe mit Indikation Beinlängendifferenz – unabhängig vom präoperativen Ausgangswert – eine Rest-Beinlängendifferenz von ≤ 1 cm bis zum Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses.

Laut Fachliteratur gilt eine Beinlängendifferenz von kleiner gleich 1 cm als ausgeglichen, so dass kein Therapiebedarf mehr besteht. Dabei wurde zunächst geprüft, ob überhaupt ein Therapieerfolg während der kompletten Behandlungsdauer eines Patienten am UKM festgestellt werden konnte. Weiterhin untersuchten wir bei den Fällen *mit* Therapieerfolg, innerhalb welcher Zeit der Therapieerfolg nach dem Eingriff erreicht werden konnte.

2.3.2 **Radiologische Parameter**

Die Erhebung der radiologischen Parameter erfolgte zum Zwecke der retrospektiven Kontrolle des Operationserfolgs. Dazu wurden klinikeigene präoperativ und postoperativ erstellte Röntgenaufnahmen herangezogen, die aus dem Zentralarchiv des UKM ausgeliehen wurden.

Zur Bestimmung der präoperativen Parameter wurden Achsenstandsaufnahmen im anterioposterioren Strahlengang verwendet, die weniger als einen Monat vor Operationsdatum angefertigt worden waren. Für die Auswertung der postoperativen Parameter wur-

den – so weit vorhanden – entweder Achsenstandaufnahmen oder Röntgenaufnahmen der operierten unteren Extremität herangezogen, die im Zeitraum zwischen erfolgtem Eingriff bis zum Wachstumsabschluss des Patienten erstellt wurden.

2.3.2.1 Skelettalter präoperativ

Da der Therapieerfolg maßgeblich vom Zeitpunkt des Eingriffs bzw. vom Entwicklungsalter der Knochen zum Zeitpunkt der Epiphyseodese abhängt, wurde präoperativ das Skelettalter der Patienten nach der Methode von Greulich / Pyle bestimmt.

Bei diesem Verfahren wird ein Röntgenbild der linken Hand a.p. mit Standardröntgenbildern aus dem Atlas nach Greulich / Pyle verglichen und das zugehörige Skelettalter abgelesen [30, 34]. Fälle, bei denen die Skelettalterbestimmung mehr als 3 Monate zurücklag, wurden für die Auswertung nicht mitberücksichtigt. Die Angaben wurden dabei jeweils auf- bzw. abgerundet, z. B. 12,8 Jahre auf 13 aufgerundet.

2.3.2.2 Epiphysenfugenbreite präoperativ

Hier bestimmten wir die horizontale Ausdehnung der Wachstumsfugen an distalem Femur und proximaler Tibia. Dies erfolgte mit Hilfe von a.p.-Röntgenaufnahmen der Kniegelenkebene oder anhand von Achsenstandaufnahmen, die im Zeitraum von < 1 Monat vor Eingriff angefertigt wurden.

2.3.2.3 Spezielle radiologische Parameter bei Beinlängendifferenz

Je nach Indikationsstellung zur Epiphyseodese ergaben sich im Weiteren unterschiedliche radiologische Untersuchungsparameter. So wurde bei Patienten, die aufgrund einer Beinlängendifferenz eine Epiphyseodese erhielten, sowohl präoperativ als auch postoperativ der Längenunterschied anhand von Achsenstandaufnahmen mit Messlatte bestimmt. Anschließend dokumentierten wir, ob ein Therapieerfolg durch den Eingriff erreicht worden war oder nicht.

2.3.2.3.1 Beinlängendifferenz präoperativ (radiologisch gemessen)

Präoperativ erfolgte eine Messung der Beinlängendifferenz anhand von Röntgenbildern. Dazu dienten in erster Linie Achsenstandaufnahmen, mit Hilfe derer jeweils der Abstand zwischen Spina iliaca anterior superior und Malleolus externus mittels Zentimeterband ausgemessen wurde.

2.3.2.3.2 Beinlängendifferenz postoperativ (radiologisch gemessen)

Postoperativ erfolgte erneut eine entsprechende Messung der Beinlängendifferenz anhand von Achsenstandaufnahmen.

2.3.2.3.3 Durchschnittliche Beinlängenkorrektur

In den Fällen, in denen sowohl prä- als auch postoperativ eine radiologische Beinlängenmessung erfolgte, verglichen wir den Ausgangswert mit dem Ergebnis bei Wachstumsabschluss und konnten so die durchschnittliche Korrektur der Beinlängendifferenz bestimmen.

2.3.2.3.4 Therapieerfolg bei Beinlängendifferenz

Anschließend bestimmten wir, bei wie vielen Patienten aus radiologischer Sicht ein Therapieerfolg, d. h. eine Beinlängendifferenz von ≤ 1 cm zum Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses, erreicht werden konnte.

2.3.2.4 Spezielle radiologische Parameter bei Achsfehlstellung

Bei Patienten, bei denen wegen einer Achsendiformität die Indikation zur Epiphyseodesse gestellt war, wurden anhand von Achsenstandaufnahmen prä- und postoperativ verschiedene Größen bestimmt, um das Ausmaß der Angulationskorrektur quantifizieren zu können.

2.3.2.4.1 Abweichung von der Mikulicz-Linie

Anhand von Achsenstandsaufnahmen wurde die Abweichung von der Mikulicz-Linie bestimmt. Diese – auch als Traglinie des Beins bezeichnet – verbindet den Mittelpunkt des Hüftkopfs mit dem Zentrum der Trochlea tali und verläuft im Idealfall durch das Zentrum des Kniegelenks (Abb. 10).

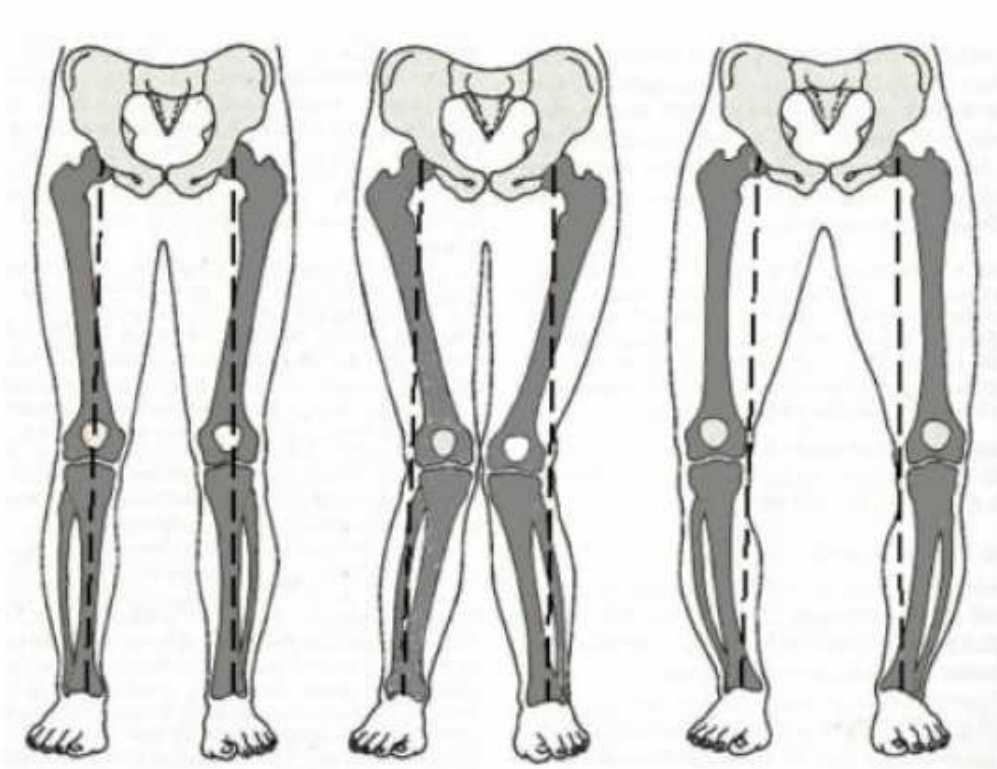


Abb. 10 Verlauf der Mikulicz-Linie (normal – Genua valga – Genua vara)

2.3.2.4.2 Art der Achsabweichung.

Im nächsten Schritt wurde bestimmt, welche Art der Achsabweichung beim Patienten vorlag. War eine Abweichung der Traglinie nach medial des Kniezentrums festzustellen, so lag eine Varusstellung vor. Fand sich hingegen eine Abweichung nach lateral, so war von einer Valgusstellung des Beines auszugehen (Abb. 10).

2.3.2.4.3 Extremitätenwinkel prä- und postoperativ

Im Weiteren bestimmten wir verschiedene Extremitätenwinkel in Anlehnung an die Vorschläge von PALEY [61, 63]. Zur Messung des medial-proximalen Tibiawinkels (MPTW) wurde zunächst am Unterschenkel eine Linie durch die Mitte der Tubercula intercondylaria und die Mitte der Malleolengabel gezogen, die auch als Tibialinie bezeichnet wird. Außerdem wurde eine Linie in der Kniegelenkshorizontalen gezeichnet, die durch beide Tubercula intercondylaria verläuft. Anschließend wurde der medial-proximale Tibiawinkel (MPTW) als Schnittpunkt beider Linien bestimmt (*Abb. 3*).

Im Bereich des Femur wurden der mechanische, lateral-distale Femurwinkel (mLDFW) sowie der anatomische, lateral-distale Femurwinkel (aLDFW) ausgemessen. Dazu wurde zum einen eine horizontale Linie, die beide Femurkondylen verbindet, und zum anderen eine Linie zwischen Hüftkopfbereich und Mittelpunkt des Kniegelenks gebildet. Als Schnittpunkt ergab sich dann lateralseitig der mechanisch, lateral-distale Femurwinkel (mLDFW). Als anatomischer, lateral-distale Femurwinkel (aLDFW) wurde der lateralseitige Schnittpunkt zwischen Kondylenlinie und Femurschaftlinie ausgemessen (*Abb. 3*).

Zuletzt bestimmten wir noch den anatomischen Femorotibialwinkel (aFTW), der sich als lateralseitiger Winkel zwischen Femurschaftlinie und Tibialinie ergibt.

Für die einzelnen Extremitätenwinkel wurden folgende Normwerte als Grundlage zur Auswertung verwendet (*Tab. 4*):

	Normwert [bzw. Normbereich]
MPTW	87° [85-90°]
mLDFW	88° [85-90°]
aLDFW	81° [79-83°]
aFT	186,5° [182-191°]

Tab. 4 Normwerte der Extremitätenwinkel nach Paley (63)

2.3.2.4.4 Durchschnittliche Winkelkorrektur

In den Fällen, in denen sowohl prä- als auch postoperativ eine radiologische Messung der Extremitätenwinkel erfolgte, verglichen wir den Ausgangswert mit dem Ergebnis bei Wachstumsabschluss und konnten so die durchschnittliche Korrektur der Achsabweichung bestimmen.

2.3.2.4.5 Therapieerfolg bei Achsfehlstellung

Anschließend bestimmten wir, bei wie vielen Patienten aus radiologischer Sicht ein Therapieerfolg, d. h. Vorliegen von Extremitätenwinkeln im Normbereich zum Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses, erreicht werden konnte.

2.4 Statistik

2.4.1 Zusammenführung der Daten

Die oben genannten klinischen und radiologischen Parameter wurden fallbezogen erfasst und für den jeweiligen Patienten auf einem Datenblatt zusammengetragen. Anschließend wurden die gesammelten Daten in ein Tabellenkalkulationsprogramm eingegeben.

Zwecks Zuordnung und Überprüfung der Daten wurden in die ersten beiden Tabellenspalten des Kalkulationsprogramms Name und Vorname des Patienten, in die Dritte das Geschlecht und in die Vierte das zugehörige Geburtsdatum eingetragen. In den weiteren Spalten dokumentierten wir zunächst die klinischen Parameter: Datum der Operation, Indikation zur Epiphyseodese, Lokalisation der Epiphyseodese (aufgeteilt in Knochenende und Knochenseite), präoperativ klinisch gemessene Beinlängendifferenz in cm, chronologisches Alter des Patienten in Jahren, Skeletalter, Operationszeit in Minuten, postoperative Komplikationen, postoperativer Gelenkerguss, Mobilisierung an Unterarmgehstützen, stationäre Aufenthaltsdauer in Tagen, postoperativ klinisch gemessene Beinlängendifferenz und Therapieerfolg.

Im Anschluss folgten die Spalten für die radiologischen Parameter mit der präoperativ gemessenen Epiphysenfugenbreite. Für Patienten, die wegen einer Beinlängendifferenz eine Epiphyseodese erhielten, wurden im Weiteren die prä- und postoperativ bestimmte Beinlängendifferenz dokumentiert. Bei den Patienten mit Achsfehlstellung folgten die präoperativ gemessene Abweichung von der Mikulicz-Linie in cm, die Richtungsangabe der Abweichung (medial / lateral), der medial-proximale Tibiawinkel (MPTW) in Grad, der mechanische lateral-distale Femurwinkel (mLDFW) in Grad, der anatomische lateral-distale Femurwinkel (aLDFW) in Grad, der anatomische Femorotibialwinkel (aFT) in Grad sowie die durchschnittliche Winkelkorrektur in Grad.

2.4.2 Statistische Auswertung

Es wurde eine statistische Auswertung mit dem Ziel einer vergleichenden Darstellung beider Patientengruppen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden grafisch demonstriert. Im Weiteren erfolgte eine analytisch-statistische Auswertung verschiedener Parameter, die als prä- und postoperative Messdaten und Befunde vorlagen. Wir untersuchten den Vergleich von prä- und postoperativen Daten, um den auf den Patienten bezogenen Therapieerfolg ermitteln zu können.

Weiterhin führten wir eine statistische Analyse der beiden verschiedenen Operationsverfahren durch, um zu prüfen, ob eine prinzipielle Vergleichbarkeit beider Stichproben hinsichtlich Merkmalsausprägungen in der präoperativen Ausgangssituation gegeben ist und ob sich ein signifikanter Unterschied im Therapieerfolg zwischen den beiden Methoden nachweisen lässt.

Die statistischen Auswertungen und die Diagrammerstellung dieser Arbeit erfolgten mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft® Office Excel 2003 sowie mit dem Statistikprogramm SPSS 16® 2008. Alle klinischen und radiologischen Parameter wurden getrennt nach Patientengruppen untersucht. Die Ergebnisse stellten wir anhand von Balkendiagrammen graphisch dar.

Aus metrischen Rohdaten wurden die Mittelwerte, Standardabweichungen sowie die Maximal- und Minimalwerte ermittelt. Im Weiteren prüften wir die Rohdaten mit Hilfe

des nicht parametrischen Kolmogorov-Smirnov-Tests auf das Vorliegen einer Normalverteilung. Für normalverteilte Daten erfolgte anschließend die Analyse auf Mittelwertgleichheit mit Hilfe des Student's t-Tests für unabhängige Stichproben. Die vorangehende Prüfung auf Varianzgleichheit führten wir mit dem Levene-Test durch. Bei nicht normalverteilten Daten wandten wir den Mann-Whitney-U-Test an, um einen Mittelwertvergleich zu erhalten.

Bei nominalen Variablen wurde der Chi-Quadrat-Test nach Pearson zur Analyse der Häufigkeitsverteilung zwischen den Gruppen eingesetzt.

Bei allen Tests wurde ein Konfidenzintervall von 95 % zugrunde gelegt. Anschließend wurden die signifikanten bzw. nicht signifikanten Unterschiede der jeweils verglichenen Mittelwerte unter Angabe des p-Werts dargestellt. Bei einem p-Wert $< 0,05$ lag ein signifikanter Unterschied vor, einen p-Wert $< 0,01$ werteten wir als hoch signifikanten Unterschied und einen p-Wert $< 0,001$ als höchst signifikanten Unterschied.

3 Ergebnisse

3.1 Patientengruppe mit Phemister-Epiphyseodese

3.1.1 Klinische Parameter

3.1.1.1 Indikation zur Epiphyseodese

Bei 75 Patienten erfolgte die Epiphyseodese aufgrund einer Beinlängendifferenz; 12 Patienten unterzogen sich diesem Eingriff wegen einer Achsabweichung. 5 Patienten wiesen sowohl eine Beinlängendifferenz als auch eine Achsfehlstellung auf. Bei einem Patienten wurde die Epiphyseodese wegen eines extremen Knick-/Senkfußes durchgeführt, was im Diagramm unter „sonstigen Indikationen“ berücksichtigt wurde. Bei 2 Patienten konnte die Indikation anhand der verfügbaren Unterlagen nicht eindeutig herausgestellt werden (*Abb. 11*).

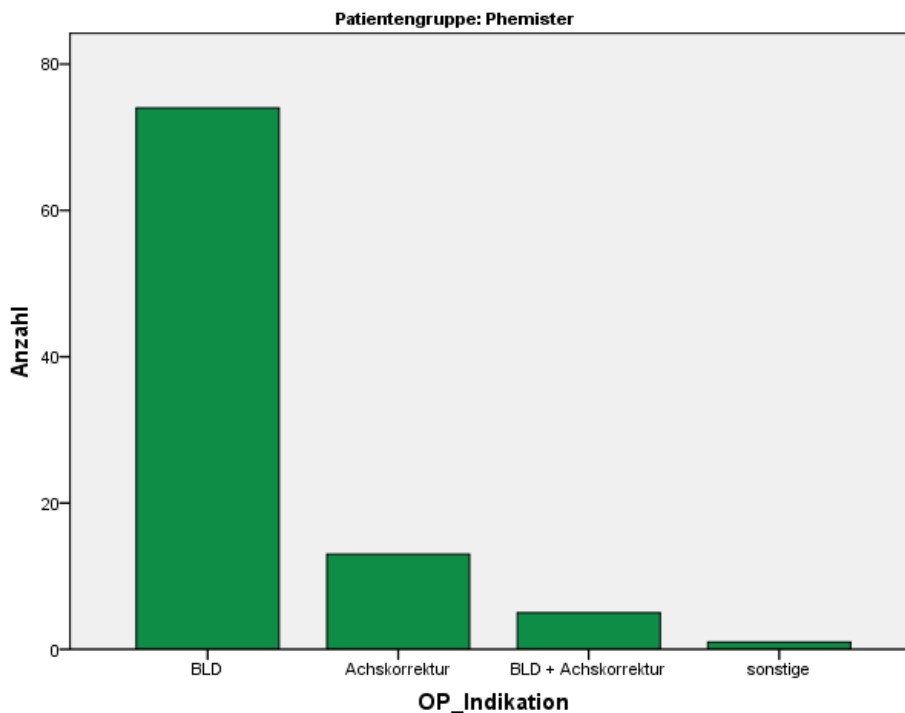


Abb. 11 Indikation zur Epiphyseodese in der Phemister-Gruppe

3.1.1.2 Lokalisation der Epiphyseodese

Der Eingriff wurde bei 22 Patienten an der Wachstumsfuge des distalen Femur durchgeführt. 18 Patienten erhielten eine Epiphyseodese der proximalen Tibia. Bei 51 Patienten wurden sowohl die Epiphysenfugen des distalen Femurs als auch der proximalen Tibia in die Epiphyseodese miteinbezogen. Zwei Patienten erhielten eine Epiphyseodese der distalen Tibia. Bei einem Patienten erfolgte der Eingriff an proximaler Tibia und proximaler Fibula. In einem Fall konnte die genaue Lokalisation anhand der verfügbaren Dokumentation nicht mehr zugeordnet werden (*Abb. 12*).

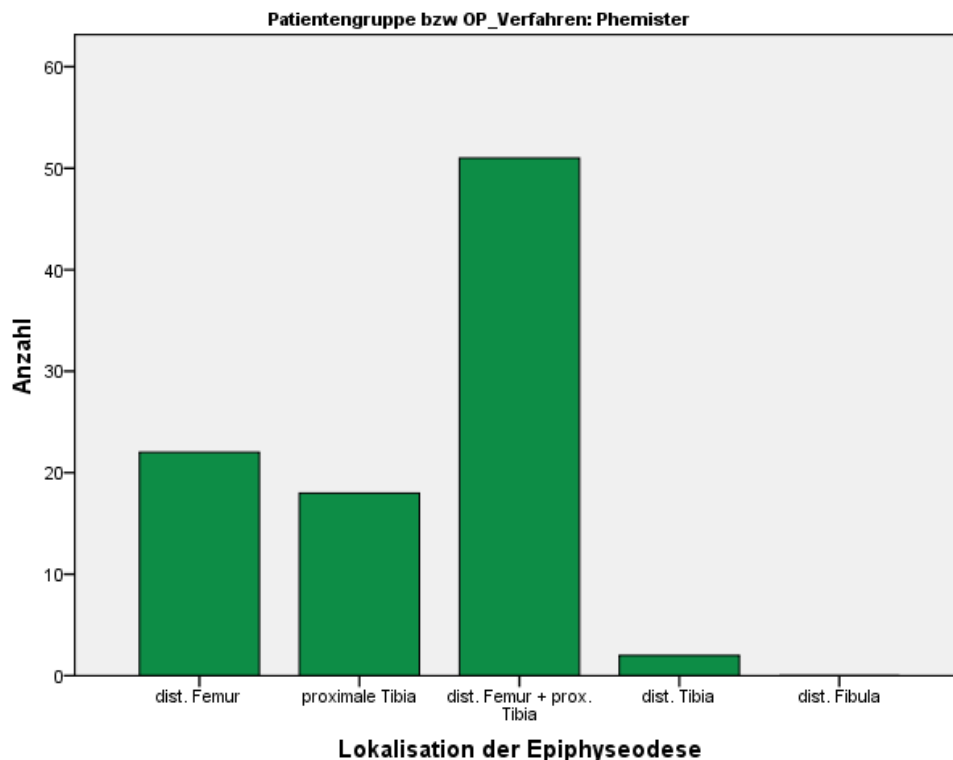


Abb. 12 Lokalisation der Epiphyseodese in der Plemister-Gruppe

Bei 81 Patienten wurden sowohl mediale als auch laterale Wachstumsfugen in die Epiphyseodese miteinbezogen. In 12 Fällen wurde der Eingriff nur an der medialen, in einem Fall nur an der lateralen Epiphysenfuge durchgeführt. Bei einer Patientin war die Lokalisation der Epiphyseodese nicht dokumentiert (*Abb. 13*).

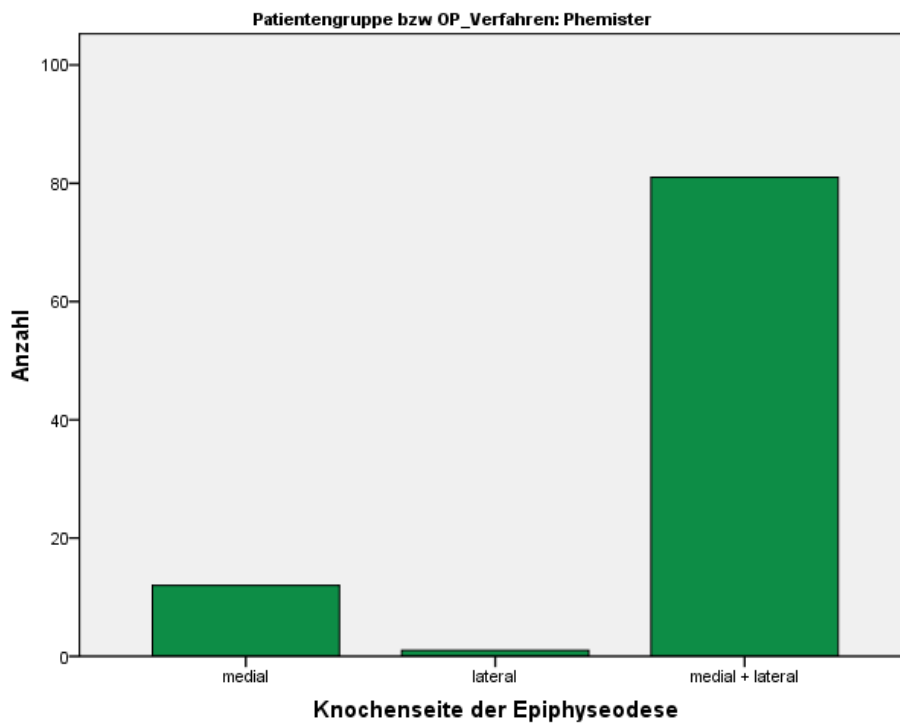


Abb. 13 Lokalisation am Knochen in der Phemister-Gruppe

3.1.1.3 Chronologisches Alter präoperativ

Das durchschnittliche Lebensalter zum Zeitpunkt der Epiphyseodese lag bei 13,7 +/- 3,1 Jahren. Insgesamt wurden in einer Altersspanne von 9 bis 17 Jahren Epiphyseodesen nach Phemister durchgeführt. Lediglich eine Patientin erhielt im Alter von 40 Jahren eine Epiphyseodese (Abb. 14). Da die Epiphyseodese nicht mehr im Wachstumsalter erfolgte, wurde dieser Wert als Ausreißer betrachtet und ist daher im Diagramm nicht mitberücksichtigt.

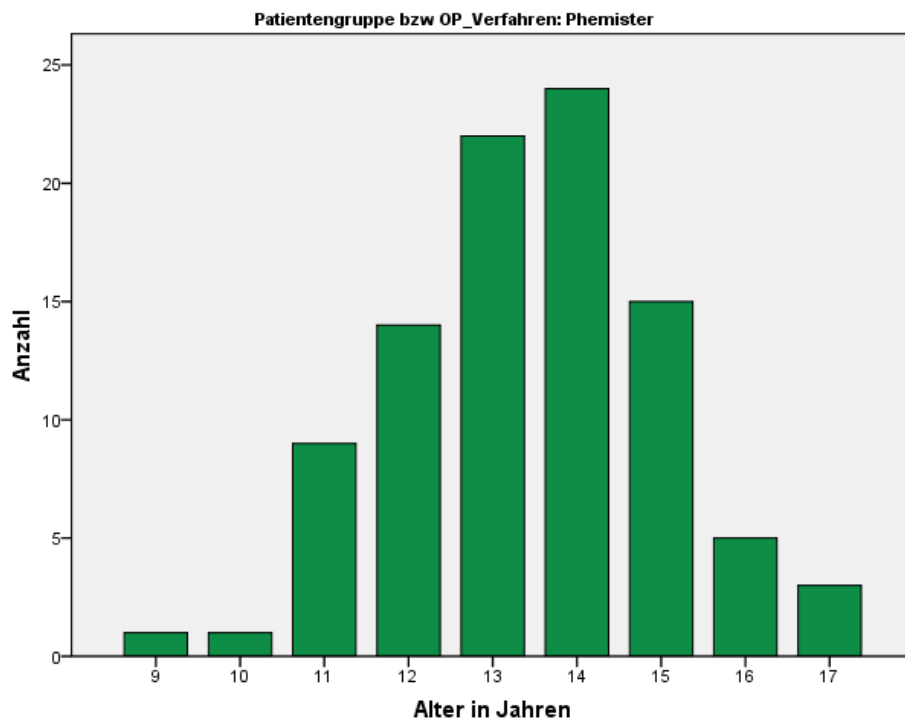


Abb. 14 Chronologisches Alter präoperativ in der Phemister-Gruppe

3.1.1.4 Dauer des operativen Eingriffs

Von den 95 durchgeführten Phemister-Epiphyseodesen wurden 71 Fälle in die statistische Auswertung hinsichtlich Eingriffsdauer miteinbezogen. Bei 20 Patienten erfolgten neben der Epiphyseodese weitere Eingriffe, so dass die Operationszeit bedingt durch den Mehrfacheingriff verlängert war. Bei 4 Patienten war keine Operationsdauer dokumentiert worden.

Bei den Mehrfacheingriffen handelte es sich dabei um folgende Behandlungen (*Tab. 5*):

Zusätzlicher Eingriff	Anzahl der Patienten
Blount'sche Klammerung	5
Metallentfernung	4
Achillessehnenverlängerung	2
Verkürzungsosteotomie	2
Valgisationsosteotomie	2
Verlängerungsosteotomie	1
Trochanterdistalisation	1
Langskjöld-Trochanterepiphyseodese	1
Exostosenabtragung	1
Narbenkorrektur	1
Fibulaosteotomie mit Fixateurmontage	1
Ausräumung bei fibröser Dysplasie	1

Tab. 5 Liste der Mehrfacheingriffe in der Phemister-Gruppe

In den untersuchten Fällen variierte die Dauer des operativen Eingriffs zwischen 40 und 230 Minuten (*Abb. 15*). Die durchschnittliche Eingriffsdauer lag bei 103,1 +/- 37,8 Minuten.

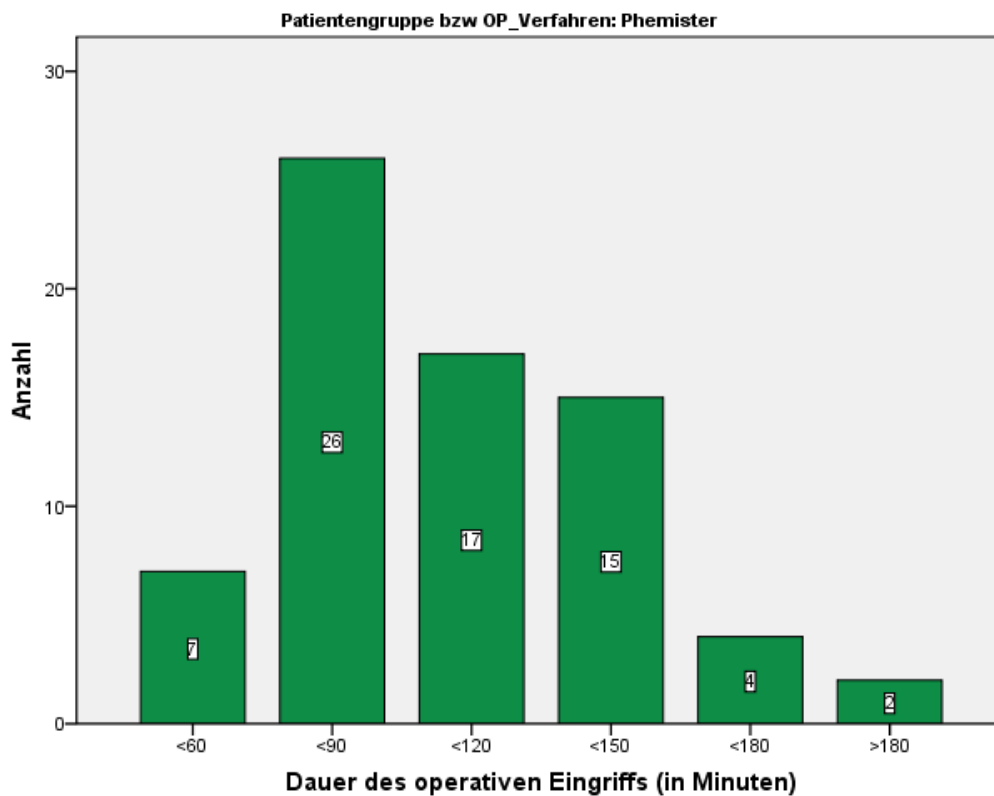


Abb. 15 Operationsdauer (in Minuten) in der Phemister-Gruppe

In Abhängigkeit von der Indikationsstellung wurde die Epiphyseodese an einer bis maximal vier Wachstumsfugen durchgeführt. Hier ergaben sich folgende Mittelwerte und Standardabweichungen für die jeweiligen Gruppen (*Tab. 6*):

Anzahl operierter Fugen	Anzahl der Patienten	durchschnittl. OP-Dauer (in min.)
1	7	58,6 [40 – 75]
2	25	84,6 [50 – 190]
4	39	120,1 [60 – 170]

Tab. 6 Eingriffsdauer nach Anzahl der operierten Fugen in der Phemister-Gruppe

3.1.1.5 Postoperative Komplikationen

Hier wurde in erster Linie das Auftreten eines Kniegelenkergusses untersucht, der im Wesentlichen auf den chirurgischen Eingriff zurückzuführen war.

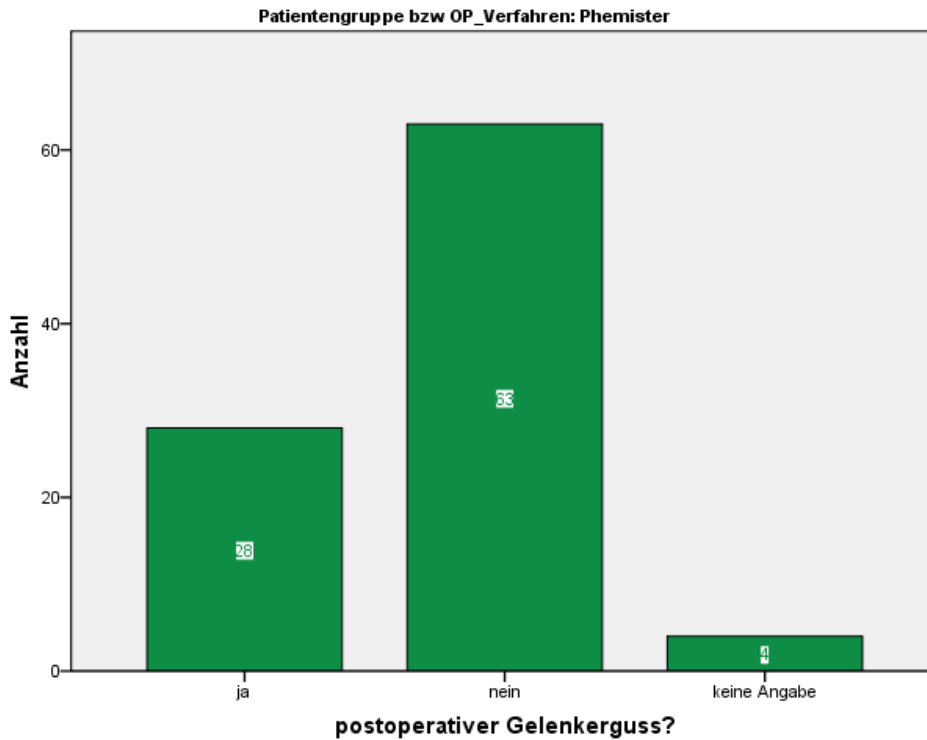


Abb. 16 Häufigkeit eines postoperativen Gelenkergusses in der Phemister-Gruppe

Bei 28 Patienten war postoperativ ein Gelenkerguss dokumentiert. 63 Patienten wiesen nach dem Eingriff keinen Gelenkerguss auf. In 4 Fällen war nicht eindeutig dokumentiert worden, ob ein Gelenkerguss vorlag oder ob dieser definitiv auf den Eingriff zurückzuführen war (Abb. 16).

Im Weiteren wurde untersucht, welche sonstigen Komplikationen nach einer Epiphyseodese-Operation auftraten. So fanden sich bei 11 Patienten weitere Komplikationen (Tab. 7).

postoperative Komplikation	Anzahl der Patienten
Gelenkschwellung ohne Erguss	4
eingeschränkte Kniegelenksbeweglichkeit	1
Nahtdehiszenz mit Sekretion	2
Fistelbildung im Narbenbereich	1
infiziertes subkutanes Hämatom	1
rezidivierende Schmerzen	1
Kribbelparästhesien	1
verminderte Hautsensibilität	1
sekundäre Achsfehlstellung	1
sonstige Wundheilungsstörungen	1

Tab. 7 Art der sonstigen postoperativen Komplikationen in der Phemister-Gruppe

Eine weitere Einteilung der Komplikationen in Gewichtungskategorien wurde aufgrund der geringen Patientenzahl nicht vorgenommen.

3.1.1.6 Postoperative Mobilisierung

Bei 84 Patienten erfolgte postoperativ eine Mobilisierung an Unterarmgehstützen. In 7 Fällen wurde auf eine solche Mobilisierung verzichtet, wobei in 6 Fällen keine Begründung angegeben war. Bei einer Patientin konnte aufgrund einer Tetraspastik keine postoperative Mobilisierung an Unterarmgehstützen erfolgen. Bei 4 Patienten lagen keine Angaben über die postoperative Mobilisierung vor (*Abb. 17*).

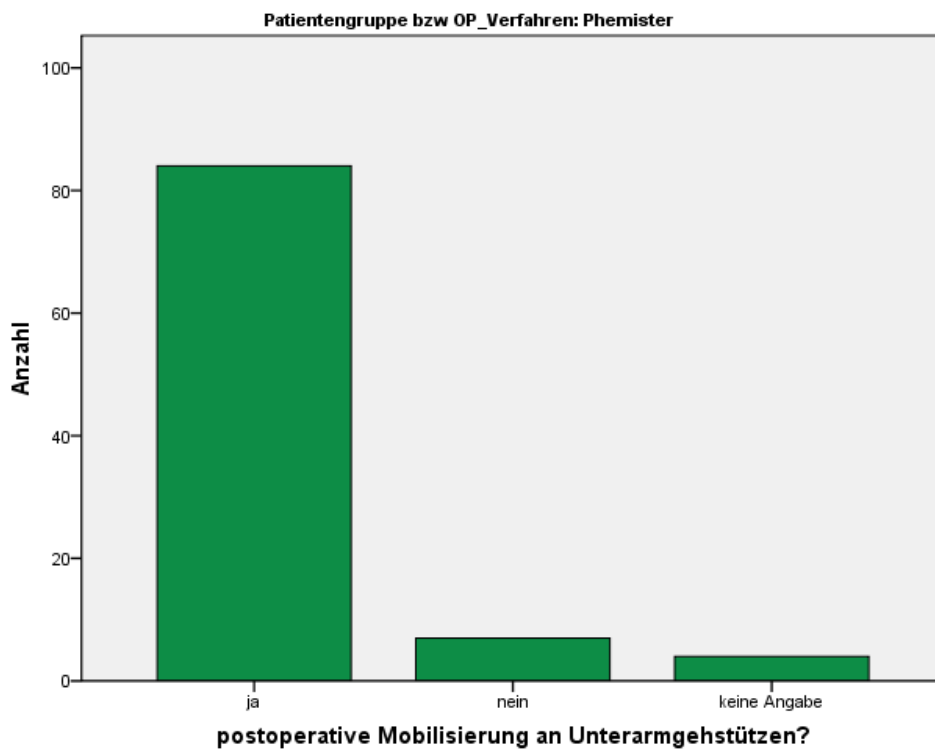


Abb. 17 Postoperative Mobilisierung in der Phemister-Gruppe

3.1.1.7 Dauer des stationären Aufenthalts

Bei 87 von 95 Patienten konnte anhand der vorliegenden Krankenakten die Dauer des stationären Aufenthalts bestimmt werden. In 8 Fällen war weder aus den Dokumentationen des Pflegepersonals noch aus den ärztlichen Berichten ersichtlich, wie lange der Patient stationär behandelt wurde (Abb. 18).

Da in einigen Fällen während des Aufenthalts nicht nur die Epiphyseodese, sondern weitere Eingriffe erfolgten, wurden diese Patienten in der folgenden Betrachtung der stationären Verweildauer nicht berücksichtigt.

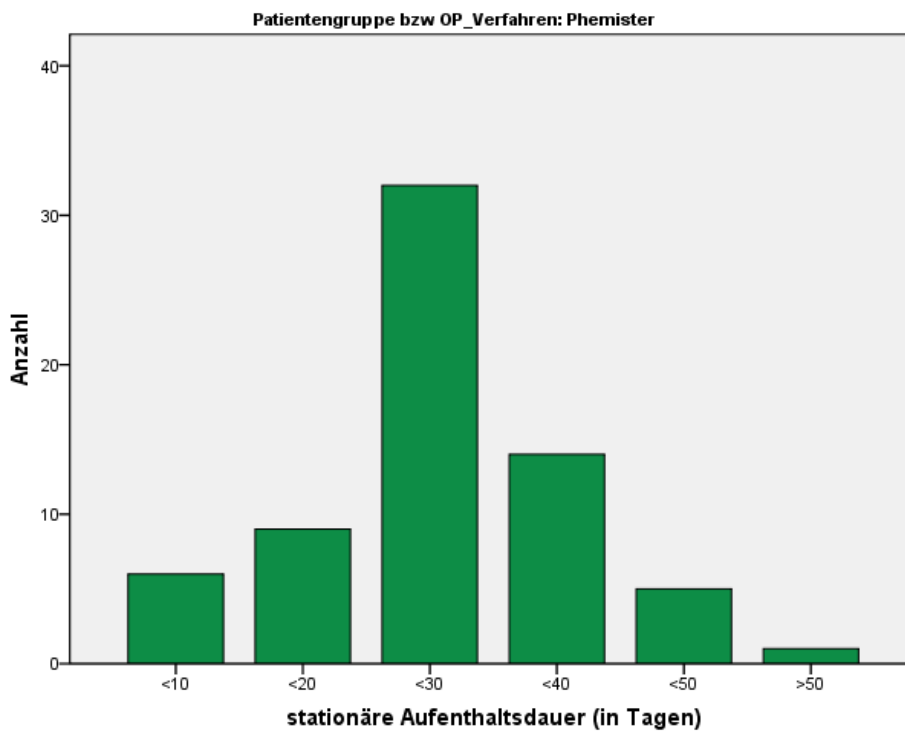


Abb. 18 Dauer des stationären Aufenthalts (in Tagen) in der Phemister-Gruppe

In den 73 dokumentierten Fällen mit Einfacheingriff dauerte die stationäre Behandlung im Durchschnitt 25,9 +/- 10,4 Tage. Dabei variierte die Dauer des Krankenhausaufenthalts bei allen Patienten zwischen 6 und 57 Tagen.

3.1.1.8 Beinlängendifferenz präoperativ (klinisch gemessen)

Bei 82 Patienten, die aufgrund eines Beinlängenunterschieds eine Epiphyseodese erhielten, erfolgte präoperativ eine klinische Beinlängenmessung. Hier betrug die durchschnittliche, klinisch gemessene Längendifferenz 3,0 cm mit einer Standardabweichung von 1,6. Die geringste Beinlängendifferenz, wegen der eine Epiphyseodese erfolgte, lag bei 0,2 cm. Der Maximalwert war 9 cm (Abb. 19).

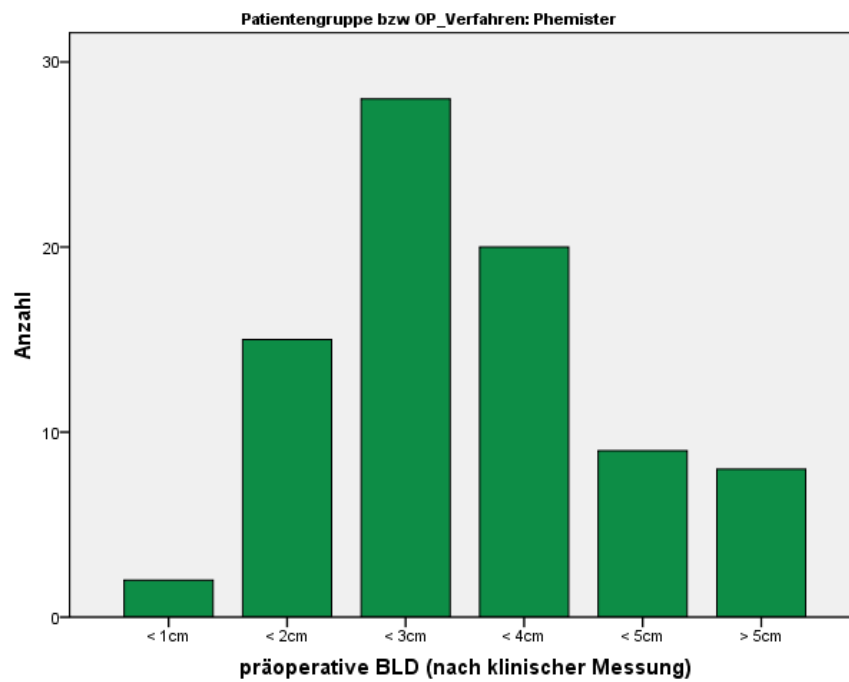


Abb. 19 BLD präoperativ (klinisch gemessen) in der Phemister-Gruppe

3.1.1.9 Beinlängendifferenz postoperativ (klinisch gemessen)

In 69 Fällen wurde postoperativ der Beinlängenunterschied bestimmt. In den übrigen Fällen lagen keine Angaben über die postoperative Beinlänge vor. Die mittlere postoperative Beinlängendifferenz betrug 1,6 +/- 1,1 cm (*Abb. 20*).

Im statistischen Vergleich mittels Student's t-Test zeigte sich ein höchst signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) zwischen prä- und postoperativ klinisch gemessener Beinlängendifferenz.

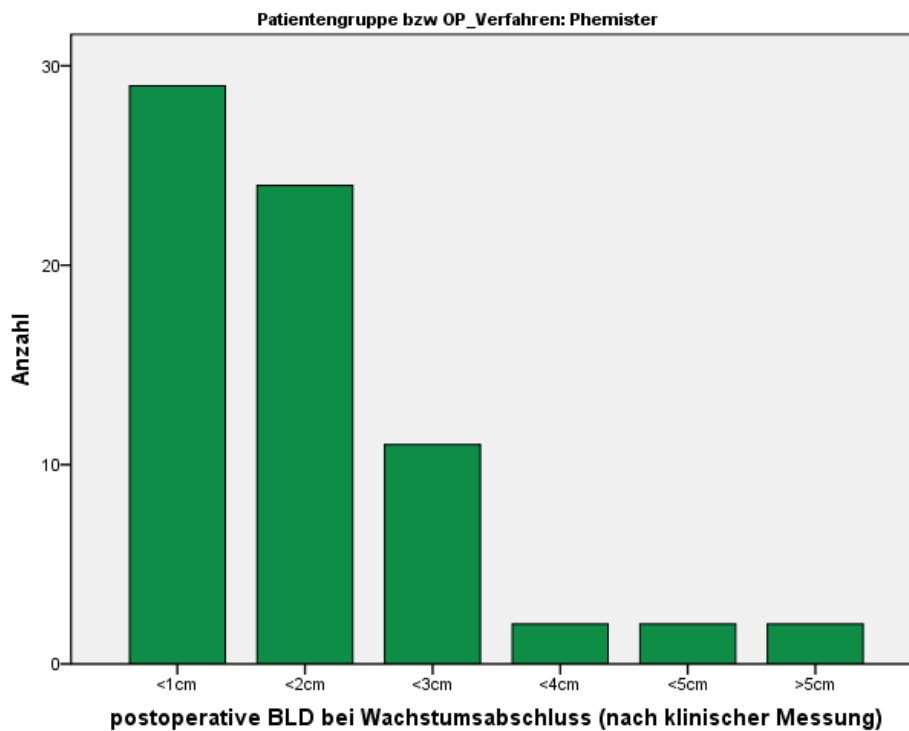


Abb. 20 BLD postoperativ (klinisch gemessen) in der Phemister-Gruppe

3.1.1.10 Durchschnittliche Beinlängenkorrektur

Es konnte demnach eine durchschnittliche Reduktion der Beinlängendifferenz um 1,3 cm bzw. 44,8 % erreicht werden.

3.1.1.11 Therapieerfolg bei Beinlängendifferenz

In 29 Fällen (41,4 %) konnte bis zum Wachstumsabschluss des Patienten ein Beinlängenausgleich, das heißt eine klinisch gemessene Beinlängendifferenz ≤ 1 cm, festgestellt werden. Bei 31 Patienten (44,3 %) bestand auch nach Wachstumsende noch eine Beinlängendifferenz von mehr als 1 cm (Abb. 21). Dabei lag die maximal postoperativ gemessene Beinlängendifferenz bei 5 cm. In 10 Fällen (14,3 %) lagen unvollständige Angaben bzw. keine Nachmessungen zur postoperativ klinisch gemessenen Beinlängendifferenz vor, so dass diese hinsichtlich des Therapieerfolgs keiner Beurteilung zugeführt werden konnten.

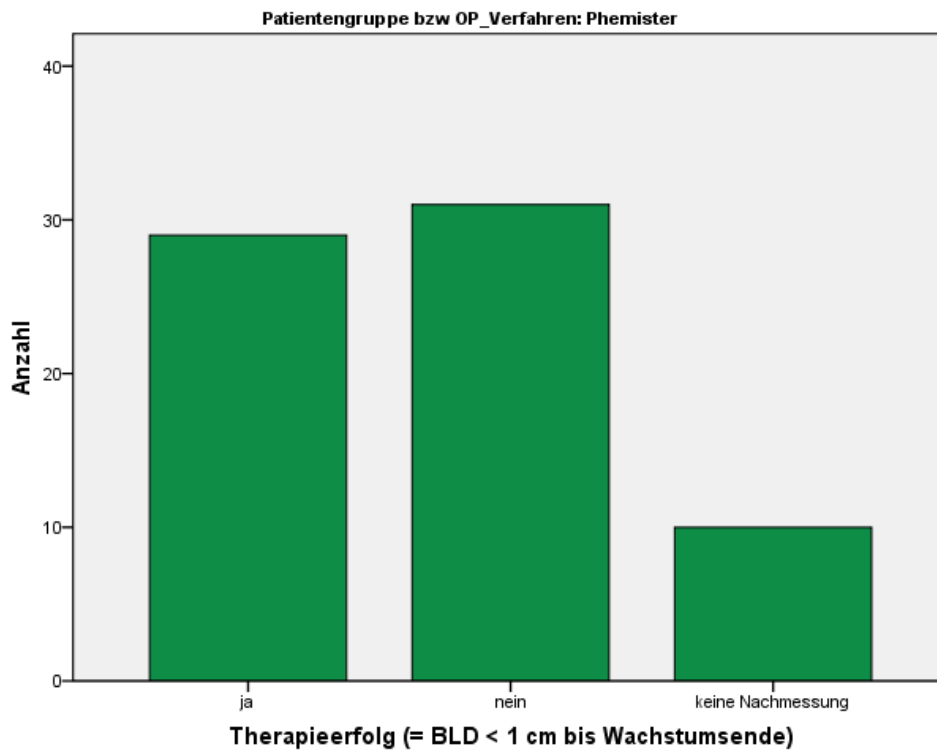


Abb. 21 Therapieerfolg bei Patienten mit BLD in der Phemister-Gruppe

Im Weiteren untersuchten wir, nach welchem Zeitraum bei den Patienten mit Therapieerfolg aus klinischer Sicht ein Beinlängenausgleich erreicht war. Hier ergab sich eine durchschnittliche Korrekturdauer von 19,1 +/- 13,3 Monaten. In allen Fällen mit Therapieerfolg variierte der Zeitraum bis zum Beinlängenausgleich zwischen 2 und 57 Monaten.

3.1.2 Radiologische Parameter

3.1.2.1 Skeletalter präoperativ

Bei 77 von 95 Patienten erfolgte präoperativ eine Skeletalterbestimmung. Dabei ergab sich ein mittleres Skeletalter von 14,0 +/- 1,1 Jahren. Das Skeletalter variierte dabei zwischen 11 und 16 Jahren (*Abb. 22*).

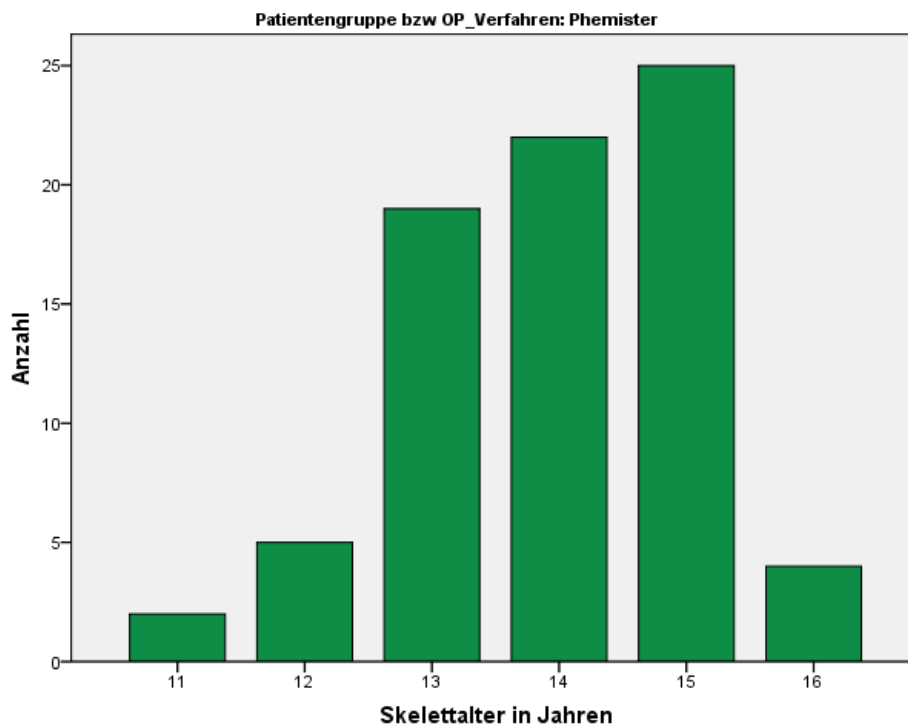


Abb. 22 Skelettalter in Jahren präoperativ in der Phemister-Gruppe

Im Weiteren untersuchten wir die Verteilung des Skelettalters in den einzelnen Altersgruppen (Abb. 23). Bei den Patienten, die zum Zeitpunkt des Eingriffs zwischen 11 und 13 Jahre alt waren, lag das Skelettalter in der Mehrzahl der Fälle über dem chronologischen Alter. In der Altersklasse der 14- bis 15-jährigen Patienten zeigte sich mehrheitlich eine Übereinstimmung zwischen Skelettalter und chronologischem Alter. In der Altersgruppe der 16- und 17-jährigen Patienten lag das Skelettalter in allen Fällen unterhalb des chronologischen Alters.

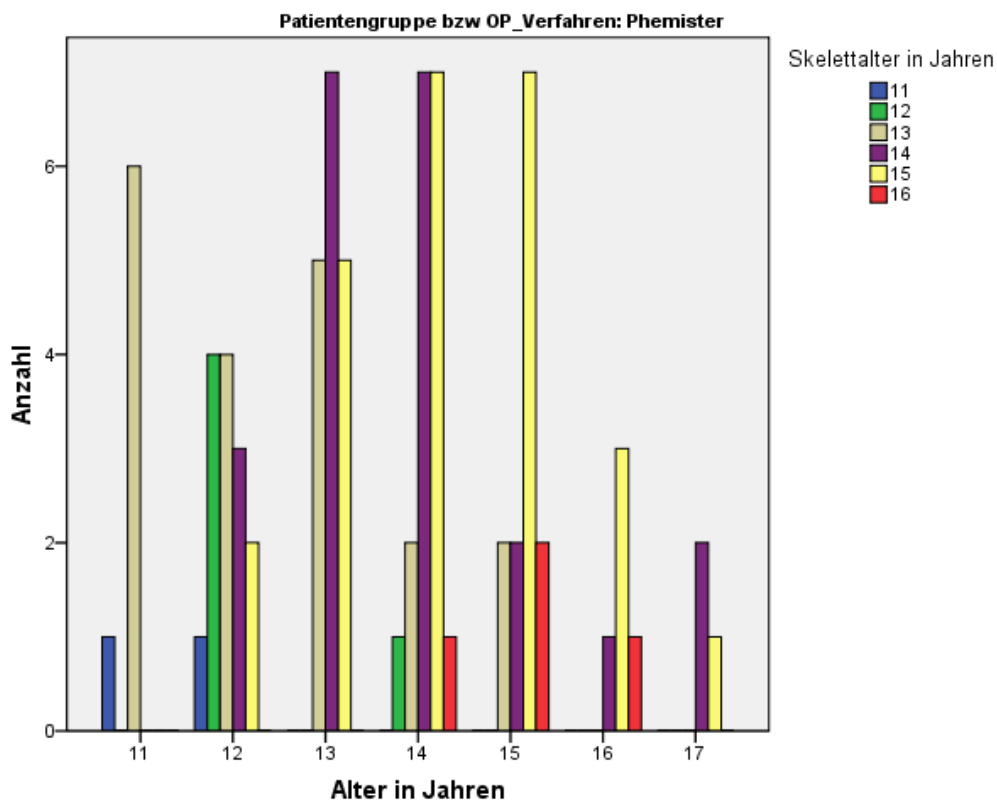


Abb. 23 Verteilung des Skelettalters in den Altersgruppen in der Phemister-Gruppe

3.1.2.2 Epiphysenfugenbreite präoperativ

Bei 43 Patienten konnte anhand präoperativ angefertigter Röntgenbilder die Breite der Wachstumsfugen von distalem Femur und proximaler Tibia bestimmt werden. In den übrigen Fällen lagen keine Röntgenaufnahmen der Kniegelenksebene vor.

Dabei ergab sich für die Epiphysenfuge des distalen Femur eine durchschnittliche Breite von $8,3 \pm 0,8$ cm. Die Wachstumsfugenbreite am distalen Femur differierte dabei zwischen 6,1 und 10,2 cm. Für die Epiphysenfugenbreite der proximalen Tibia erhielten wir einen Mittelwert von $7,1 \pm 0,9$ cm. Die Breite der tibialen Epiphysenfuge schwankte zwischen 4,7 und 9,1 cm.

Getrennt nach Geschlecht ergaben sich für Jungen und Mädchen folgende Mittelwerte (Tab. 8):

	Wachstumsfuge (Femur)	Wachstumsfuge (Tibia)
Jungen (n = 25)	8,6 cm	7,4 cm
Mädchen (n = 18)	7,9 cm	6,8 cm

Tab. 8 Mittlere Epiphysenfugenbreite präoperativ in der Phemister-Gruppe

3.1.2.3 Spezielle radiologische Parameter bei Beinlängendifferenz

3.1.2.3.1 Beinlängendifferenz präoperativ (radiologisch gemessen)

Bei 39 Patienten erfolgte präoperativ eine radiologische Bestimmung der Beinlängendifferenz. Dabei ergab sich ein Mittelwert von 3,1 cm. Die Standardabweichung betrug 1,3. Die radiologisch bestimmten Werte schwankten zwischen 0,3 und 7,3 cm.

3.1.2.3.2 Beinlängendifferenz postoperativ (radiologisch gemessen)

In insgesamt 28 Fällen wurden postoperativ röntgenologische Aufnahmen angefertigt, um den Beinlängenunterschied zu bestimmen. Da in einigen Fällen zu mehreren Zeitpunkten Nachuntersuchungen durchgeführt wurden, wurde hier jeweils diejenige Messung berücksichtigt, die dem Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses am nächsten war.

Es ergab sich ein Mittelwert von 2,6 cm sowie eine Standardabweichung von 1,6 cm. Die postoperative Beinlängendifferenz variierte unter allen erfassten Patienten zwischen 0,0 und 5,9 cm.

Statistisch ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen prä- und postoperativ radiologisch gemessener Beinlängendifferenz ($p = 0,08$).

3.1.2.3.3 Durchschnittliche Beinlängenkorrektur

In 27 Fällen erfolgte sowohl prä- als auch postoperativ eine radiologische Beinlängenmessung. Hier verglichen wir den Ausgangswert mit dem Ergebnis bei Wachstumsab-

schluss (Abb. 24). Es zeigte sich radiologisch eine durchschnittliche Minderung der Beinlängendifferenz von 0,5 cm.

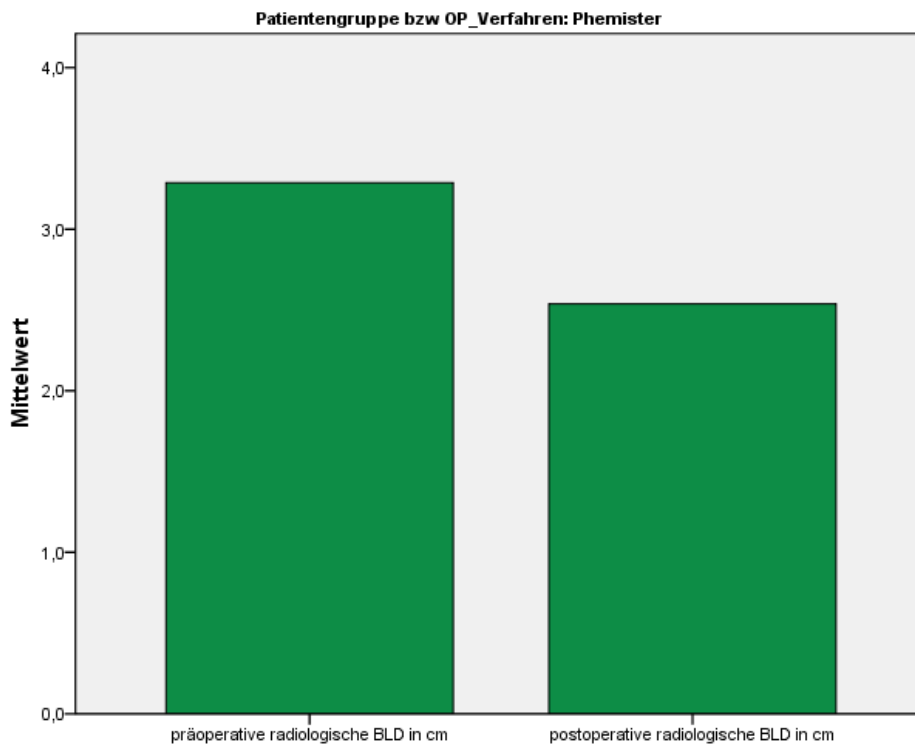


Abb. 24 Vergleich prä- und postoperative BLD in der Phemister-Gruppe

3.1.2.3.4 Therapieerfolg bei Beinlängendifferenz

Nach radiologischer Messung bei Wachstumsabschluss konnte bei 5 von 28 erfassten Patienten ein Beinlängenausgleich festgestellt werden, was einem Anteil von 17,9 % entspricht.

3.1.2.4 Spezielle radiologische Parameter bei Achsfehlstellung

3.1.2.4.1 Abweichung von der Mikulicz-Linie

Die Abweichung von der Mikulicz-Linie, die das Ausmaß der Achsabweichung beschreibt, wurde in der Patientengruppe mit Phemister-Epiphyseodese nicht bestimmt, da hierzu keine Daten vorlagen.

3.1.2.4.2 Art der Achsabweichung

Von 17 Patienten, die aufgrund einer Achsabweichung eine Epiphyseodese erhielten, wiesen 4 Patienten eine Varusfehlstellung und 13 Patienten eine Valgusfehlstellung auf (Abb. 25). In 9 Fällen lag die Fehlstellung an nur einem Bein vor; bei 8 Patienten waren beide Extremitäten von der Fehlstellung betroffen.

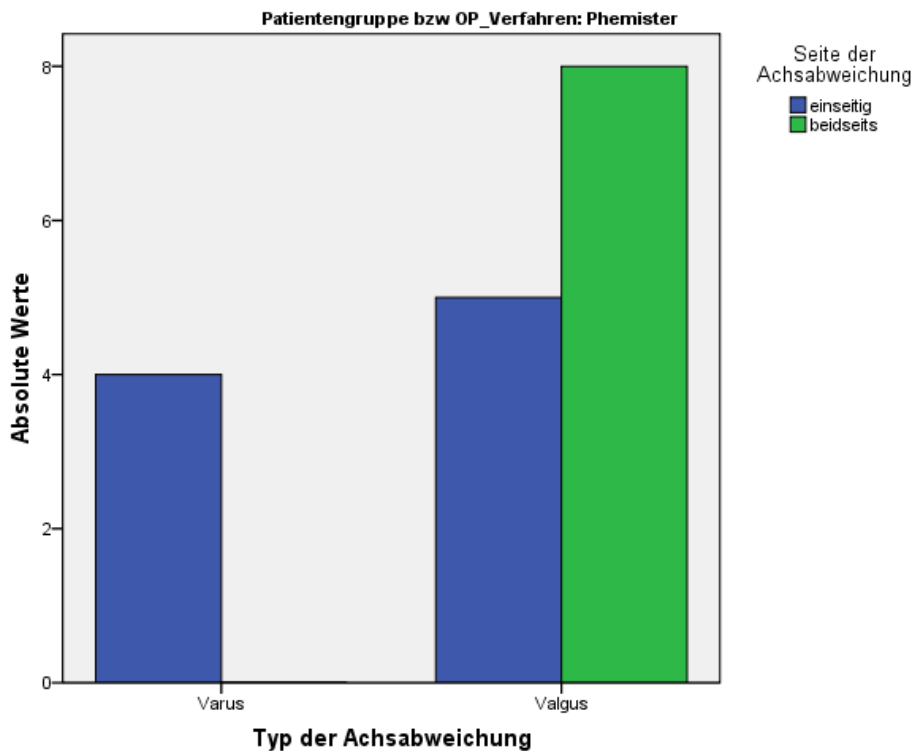


Abb. 25 Art der Achsabweichung in der Phemister-Gruppe

3.1.2.4.3 Extremitätenwinkel prä- und postoperativ

In der Patientengruppe mit Phemister-Epiphyseodese erfolgte nur in 4 Fällen eine prä- bzw. postoperative Nachmessung der Extremitätenwinkel. Da die Anzahl der Patienten zu gering ist, um den Anteil der wegen Achsfehlstellung operierten Patienten mit Phemister-Epiphyseodese zu repräsentieren, wurde für dieses Merkmal keine statistische Auswertung durchgeführt.

3.1.2.4.4 Durchschnittliche Winkelkorrektur

Es konnte keine Aussage über die im Durchschnitt erreichte Achskorrektur gemacht werden, da in dieser Patientengruppe für dieses Merkmal zu wenige Daten vorlagen.

3.1.2.4.5 Therapieerfolg bei Achsfehlstellung

Der Therapieerfolg bei Patienten mit Achsfehlstellung, die mittels einer Phemister-Epiphyseodese behandelt wurden, konnte nicht hinreichend beurteilt werden, da in nur 4 von 17 Fällen eine postoperative Nachuntersuchung erfolgte.

3.2 Patientengruppe mit Canale-Epiphyseodese

3.2.1 Klinische Parameter

3.2.1.1 Indikation zur Epiphyseodese

Bei 58 Patienten wurde die Indikation zur Epiphyseodese wegen einer Beinlängendifferenz gestellt. 20 Patienten erhielten aufgrund einer Achsdeformität eine Epiphyseodese. Bei 3 Patienten wurde der Eingriff sowohl wegen einer Beinlängendifferenz als auch wegen einer Achsabweichung durchgeführt. Bei 2 Patienten war keine Indikation angegeben (Abb. 26).

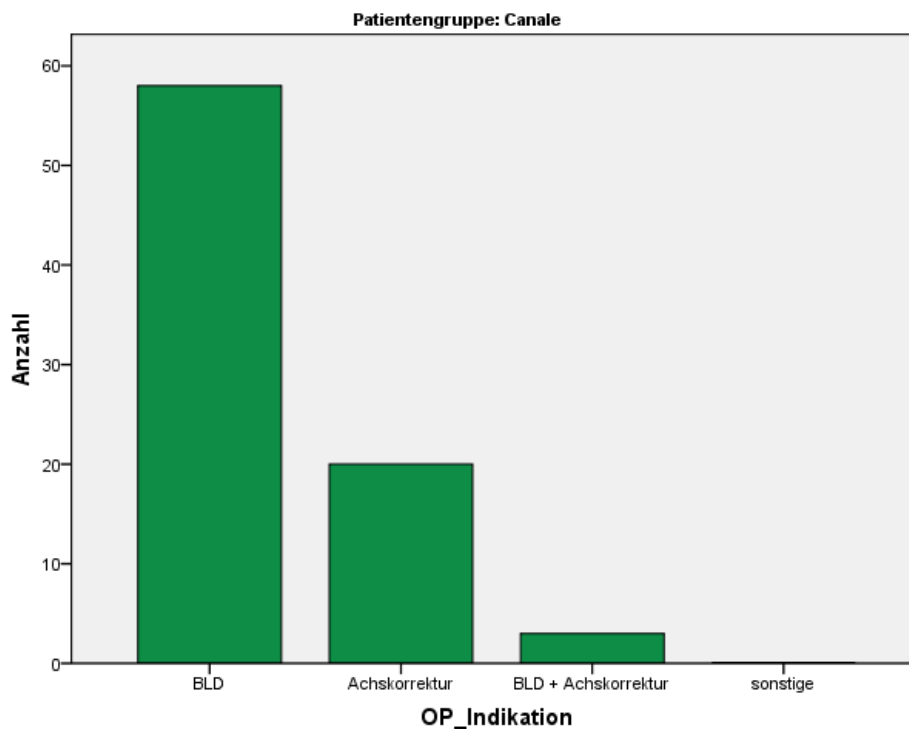


Abb. 26 Indikation zur Epiphyseodese in der Canale-Gruppe

3.2.1.2 Lokalisation der Epiphyseodese

Der Eingriff erfolgte bei 19 Patienten im Bereich des distalen Femur, bei weiteren 19 Patienten im Bereich der proximalen Tibia. Insgesamt 43 Patienten erhielten sowohl an distalem Femur als auch an proximaler Tibia eine Epiphyseodese nach Canale. Bei einem Patienten wurde im Bereich der distalen Fibula die Epiphyseodese durchgeführt.

Ein Patient erhielt eine Epiphyseodese an proximaler Tibia und proximaler Fibula (Abb. 27).

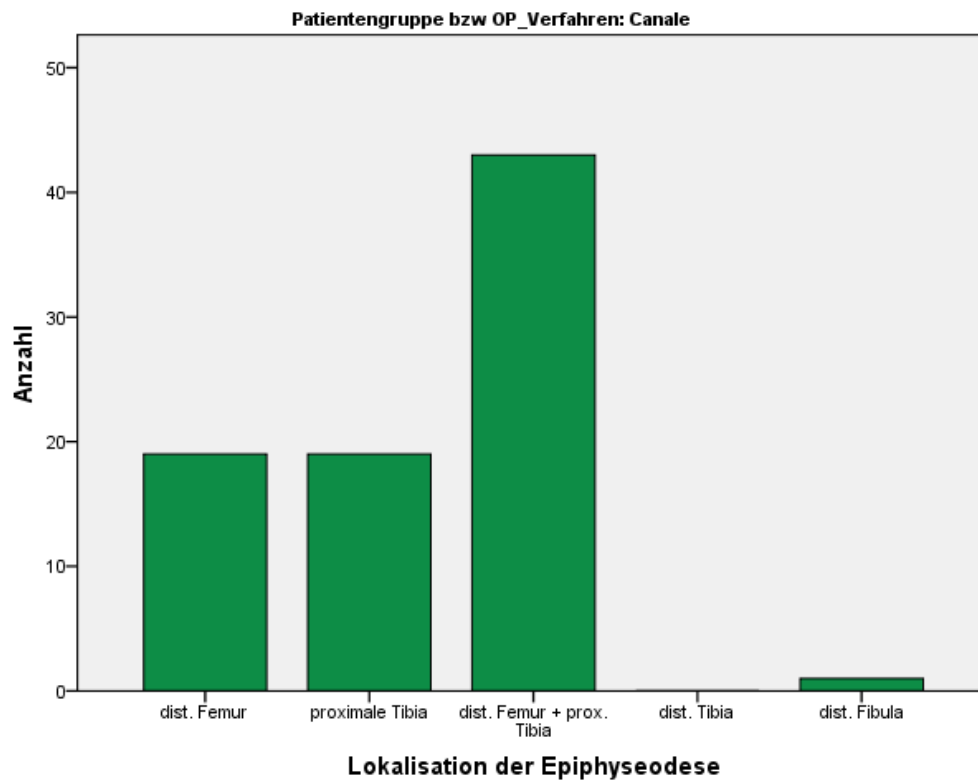


Abb. 27 Lokalisation der Epiphyseodese in der Canale-Gruppe

In 60 Fällen erfolgte der Eingriff sowohl im Bereich der medialen als auch der lateralen Wachstumsfuge. Bei 18 Patienten wurde nur der mediale Teil der Fuge in die Epiphyseodese einbezogen; bei 5 Patienten wurde ausschließlich der laterale Fugenteil operiert (Abb. 28).

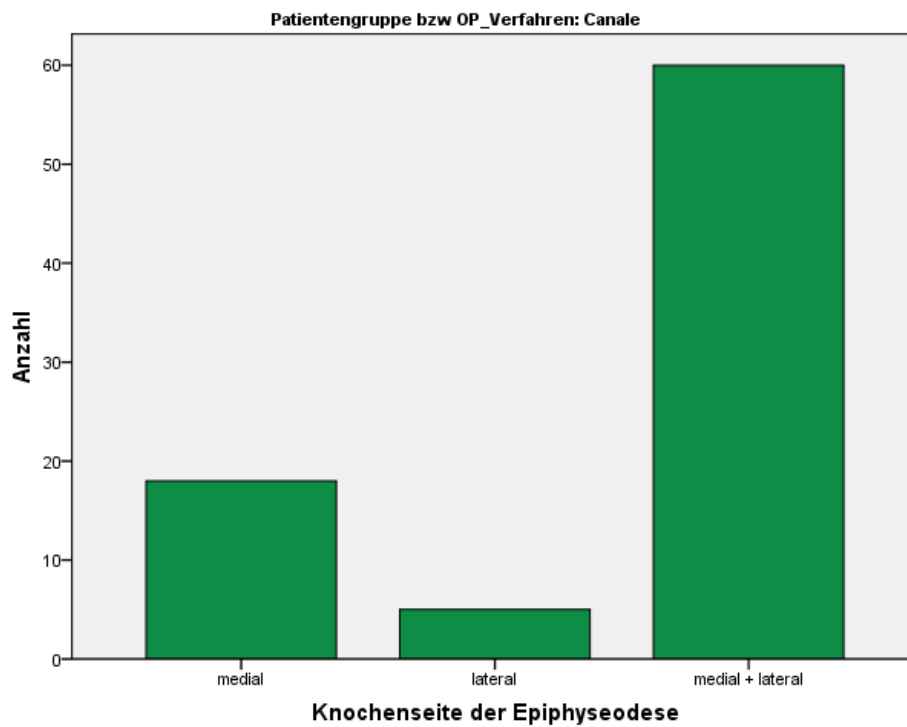


Abb. 28 Lokalisation am Knochen in der Canale-Gruppe

3.2.1.3 Chronologisches Alter präoperativ

Die Patienten, die eine Epiphyseodese nach Canale erhielten, waren im Durchschnitt 13,0 +/- 1,6 Jahre alt. Der jüngste Patient war dabei 8 Jahre alt, der älteste Patient 16 Jahre alt. Der Median lag bei 13 Jahren (*Abb. 29*).

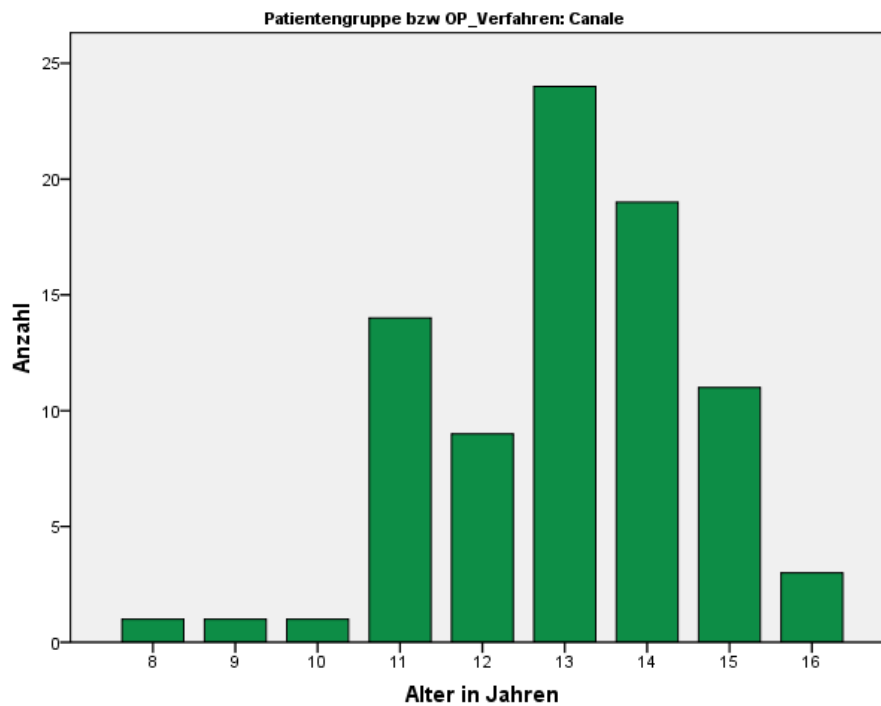


Abb. 29 Chronologisches Alter präoperativ in der Canale-Gruppe

3.2.1.4 Dauer des operativen Eingriffs

Von den 83 durchgeführten Canale-Epiphyseodesen konnte bei 82 Patienten die Eingriffsdauer aus den Dokumentationen erfasst werden. Bei einer Patientin lagen keine Angaben über die Operationsdauer vor. In 14 Fällen erfolgte neben der Epiphyseodese noch mindestens ein weiterer Eingriff (Tab. 9).

Eingriff	Anzahl der Patienten
Ringfixateur-Montage zur korrigierenden Kallotaxis	5
Achillessehnenverlängerung	3
Metallentfernung	2
intertrochantäre Verkürzungsosteotomie	2
Blount'sche Klammerung	1
Marknagelosteosynthese	1
dorsale Kapsulotomie des OSG	1
subtalare Arthrodesse des USG	1
Prothesenverlängerung	1

Tab. 9 Liste der Mehrfacheingriffe in der Canale-Gruppe

Bei 68 von 83 Patienten beschränkte sich der Eingriff auf die Durchführung der Epiphyseodese. In diesen Fällen schwankte die Dauer des Eingriffs zwischen 25 und 115 Minuten, wobei die Operation im Durchschnitt $53,9 \pm 17,2$ Minuten dauerte (Abb. 30).

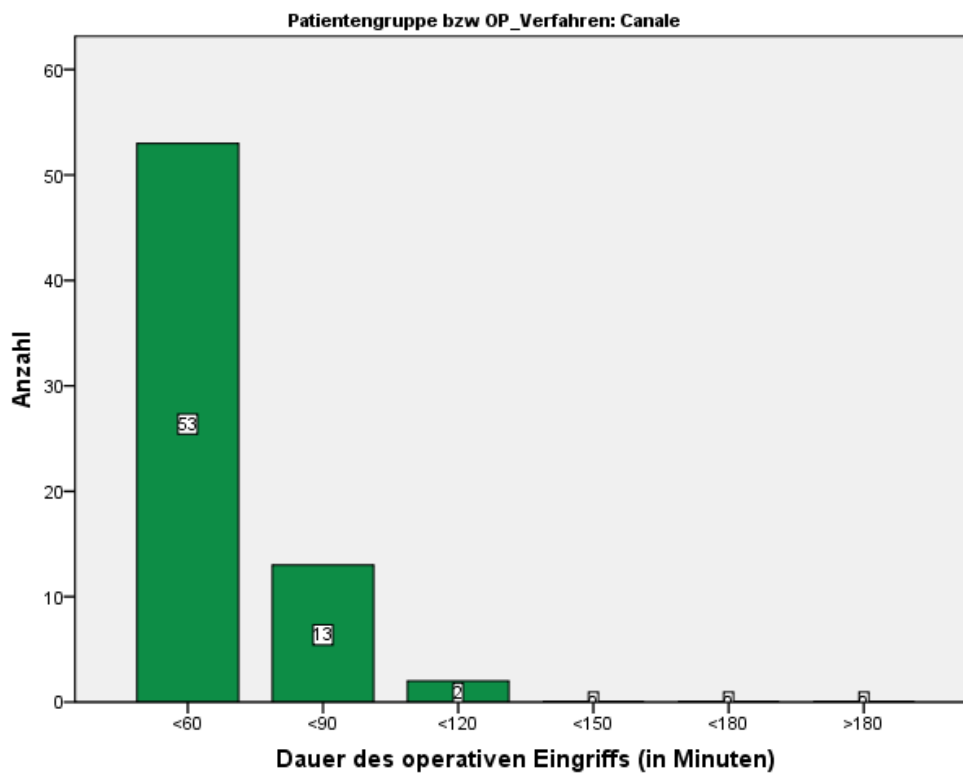


Abb. 30 Operationsdauer (in Minuten) in der Canale-Gruppe

Je nach Indikationsstellung erfolgte die Epiphyseodese an einer bis maximal vier Wachstumsfugen. So ergaben sich für die jeweiligen Gruppen folgende Mittelwerte und Standardabweichungen (Tab. 10):

Anzahl operierter Fugen	Anzahl der Patienten	durchschnittl. OP-Dauer (in min.)
1	15	49,7 [35 – 105]
2	20	52,8 [25 – 115]
4	33	56,6 [30 – 90]

Tab. 10 Eingriffsdauer nach Anzahl der operierten Fugen in der Canale-Gruppe

3.2.1.5 Postoperative Komplikationen

Es wurde in erster Linie das Auftreten eines Kniegelenkergusses untersucht, der im Wesentlichen auf den chirurgischen Eingriff zurückzuführen war.

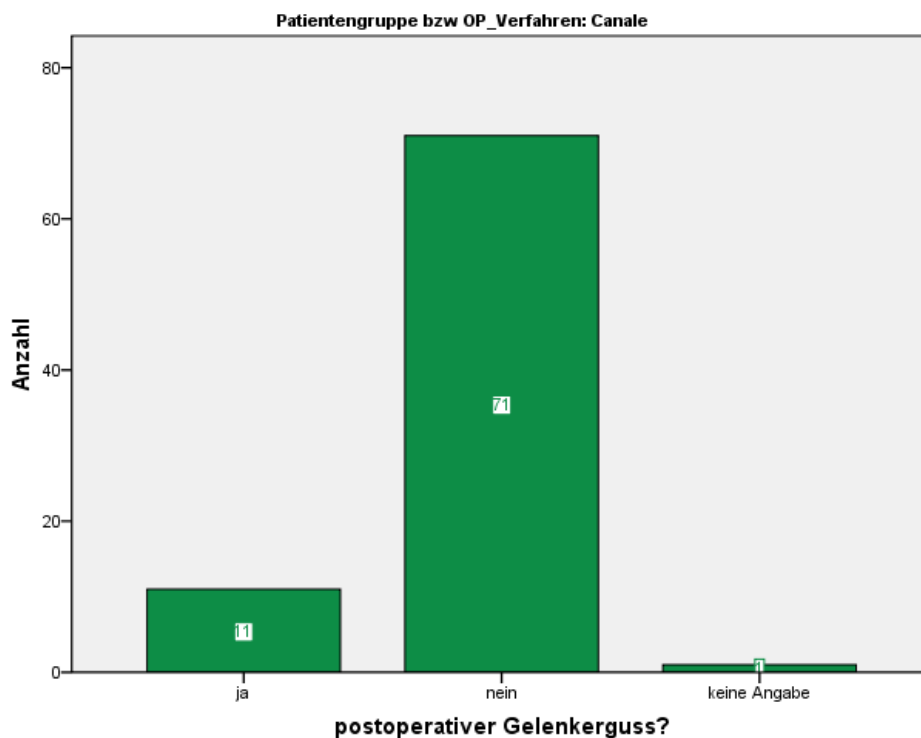


Abb. 31 Häufigkeit eines postoperativen Gelenkergusses in der Canale-Gruppe

Bei 11 Patienten war postoperativ ein Gelenkerguss dokumentiert. 71 Patienten wiesen nach dem Eingriff keinen Gelenkerguss auf. In einem Fall war nicht eindeutig dokumentiert worden, ob ein Gelenkerguss vorlag und ob er definitiv auf den Eingriff zurückzuführen war (Abb. 31). Im Weiteren wurde untersucht, welche sonstigen Komplikationen nach einer Epiphyseodesen-Operation auftraten. Hier fanden sich bei 2 Patienten weitere Komplikationen (Tab. 11).

postoperative Komplikation	Anzahl der Patienten
Retropatellares Schmerzsyndrom	1
Hämatom	1

Tab. 11 Art der sonstigen postoperativen Komplikationen in der Canale-Gruppe

3.2.1.6 Postoperative Mobilisierung

Bei 47 Patienten erfolgte postoperativ eine Mobilisierung an Unterarmgehstützen. In 34 Fällen konnte auf eine Mobilisierung mit Hilfsmitteln verzichtet werden. Bei 2 Patienten waren keine Angaben über die postoperative Mobilisierung vorhanden (Abb. 32).

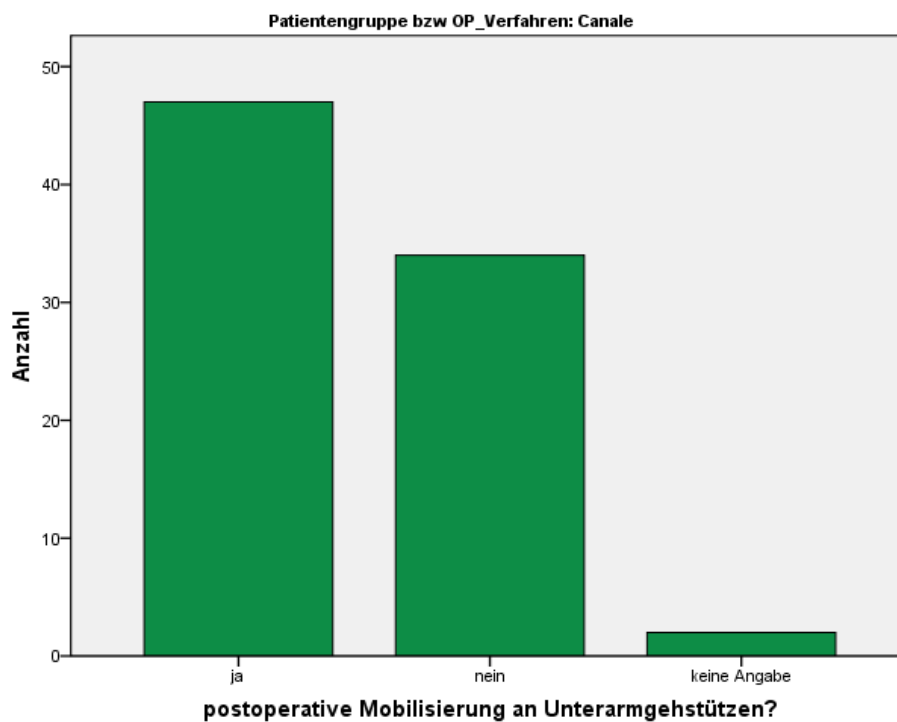


Abb. 32 Postoperative Mobilisierung in der Canale-Gruppe

3.2.1.7 Dauer des stationären Aufenthalts

Bei 81 von 83 Patienten konnte anhand der vorliegenden Krankenakten die Dauer des stationären Aufenthalts bestimmt werden. In 2 Fällen war weder aus den Dokumentationen des Pflegepersonals noch aus den ärztlichen Berichten ersichtlich, wie lange der Patient stationär behandelt wurde.

In 14 Fällen wurden während des Aufenthalts nicht nur die Epiphyseodese, sondern weitere Eingriffe vorgenommen, so dass diese Patienten in der weiteren Betrachtung der stationären Verweildauer nicht aufgeführt wurden.

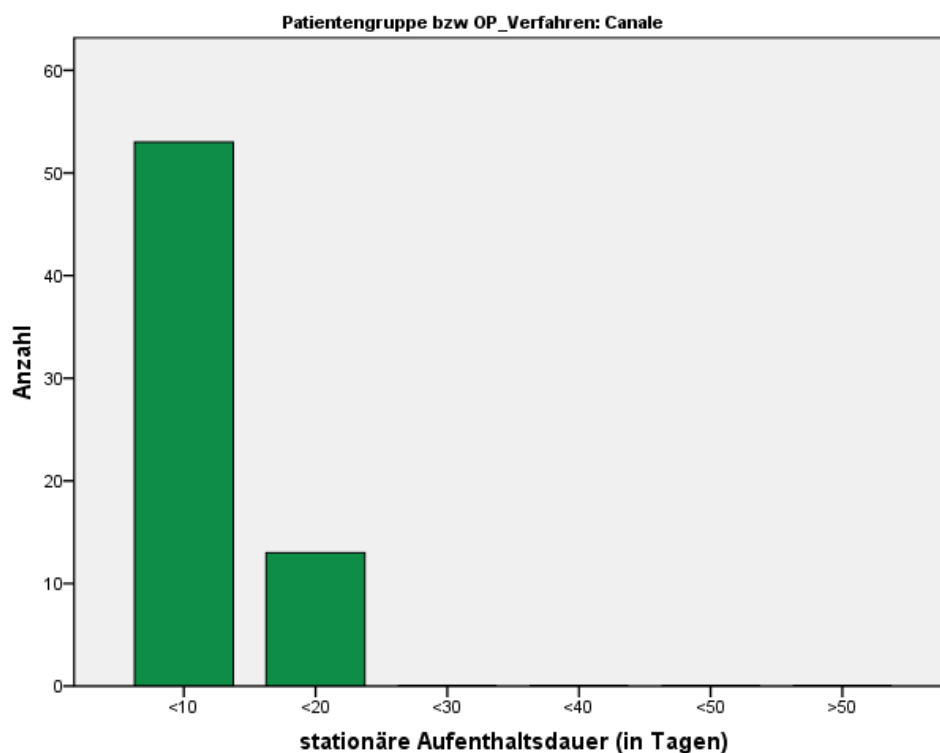


Abb. 33 Dauer des stationären Aufenthalts in Tagen in der Canale-Gruppe

In den 67 dokumentierten Fällen mit Einfacheingriff dauerte die stationäre Behandlung im Durchschnitt 7,9 +/- 3,5 Tage. Insgesamt differierte die Dauer des Krankenhausaufenthaltes bei allen Patienten zwischen 3 und 17 Tagen (*Abb. 33*). In einem Fall wurde der Eingriff ambulant durchgeführt.

3.2.1.8 Beinlängendifferenz präoperativ (klinisch gemessen)

Bei 61 Patienten, die aufgrund eines Beinlängenunterschieds eine Epiphyseodese nach Canale erhielten, erfolgte präoperativ eine klinische Beinlängenmessung. Hier betrug die durchschnittliche, klinisch gemessene Längendifferenz 3,6 cm mit einer Standardabweichung von 2,3. Die geringste Beinlängendifferenz, wegen der eine Epiphyseodese erfolgte, lag bei 1,0 cm. Der Maximalwert war 12,0 cm. Der Median lag bei 2,8 cm (Abb. 34).

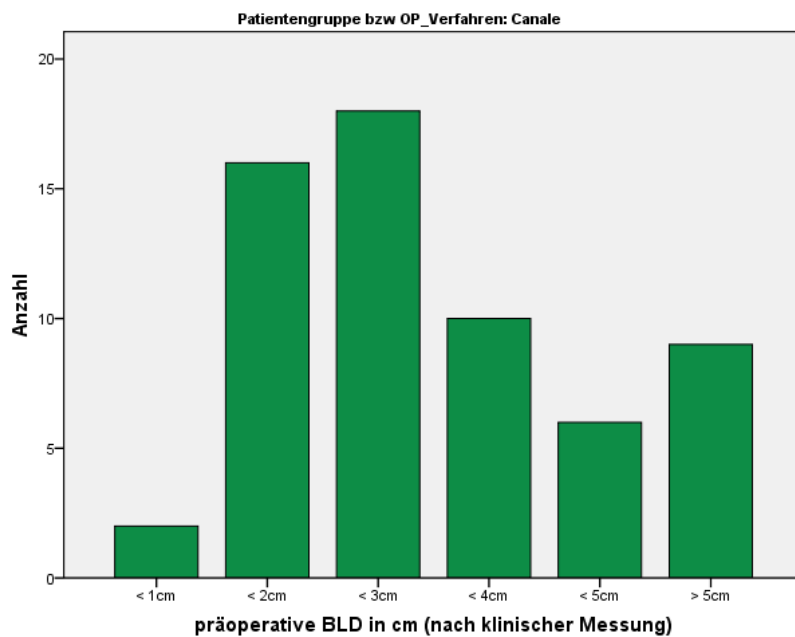


Abb. 34 BLD präoperativ (klinisch gemessen) in der Canale-Gruppe

3.2.1.9 Beinlängendifferenz postoperativ (klinisch gemessen)

Von 61 Patienten, die wegen einer Beinlängendifferenz eine Epiphyseodese erhielten, wurde in 41 Fällen postoperativ der klinische Beinlängenunterschied bestimmt. In 20 Fällen lagen keine Angaben über die postoperative Beinlänge vor oder der Nachuntersuchungszeitraum bis Wachstumsabschluss war zum Zeitpunkt der Datenerhebung noch nicht abgeschlossen. Die mittlere postoperative Beinlängendifferenz betrug 1,8 +/- 1,6 cm (Abb. 35).

Im statistischen Vergleich mittels Mann-Whitney-U-Test ergab sich ein höchst signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) zwischen prä- und postoperativ klinisch gemessener Beinlängendifferenz.

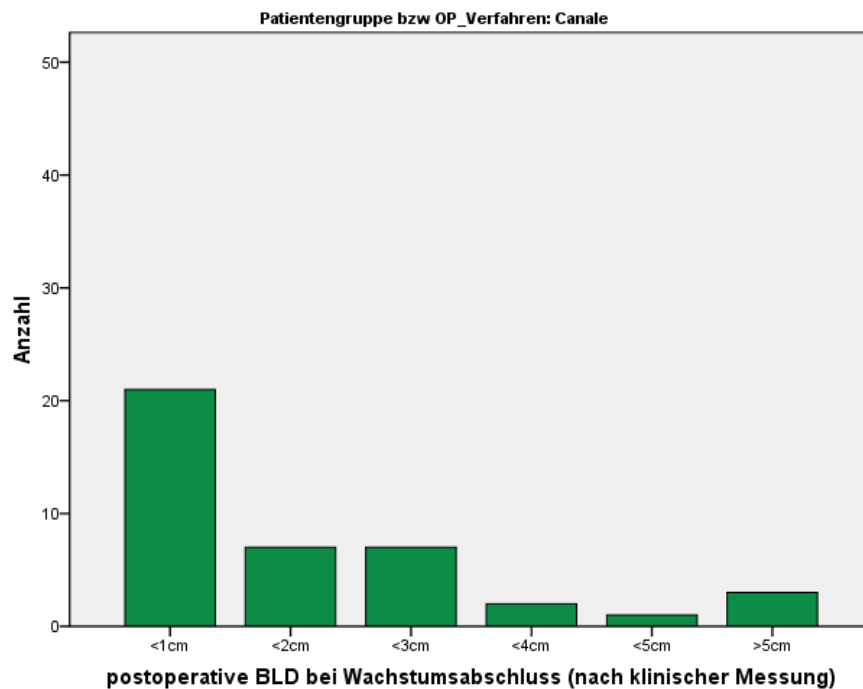


Abb. 35 BLD postoperativ (klinisch gemessen) in der Canale-Gruppe

3.2.1.10 Durchschnittliche Beinlängenkorrektur

Im Mittel konnte der Beinlängenunterschied um 1,7 cm bzw. um 48,2 % der klinisch gemessenen Ausgangslänge korrigiert werden.

3.2.1.11 Therapieerfolg bei Patienten mit Beinlängendifferenz

Bei 21 Patienten konnte bis Wachstumsende ein Beinlängenausgleich, das heißt eine klinisch gemessene Beinlängendifferenz kleiner gleich 1 cm, erzielt werden. In 20 Fällen lag auch nach Abschluss des Wachstums noch ein Beinlängenunterschied von mehr als 1 cm vor (Abb. 36). Die maximale postoperativ erreichte Beinlängendifferenz lag hier bei 7 cm. Bei 24 Patienten waren keine Nachmessungen erfolgt bzw. keine Angaben zum postoperativen Wachstum dokumentiert worden.

Es ergab sich eine durchschnittliche Korrekturdauer von 15,8 Monaten. In allen Fällen mit Therapieerfolg variierte der Zeitraum bis zum Beinlängenausgleich zwischen 1 und 34 Monaten.

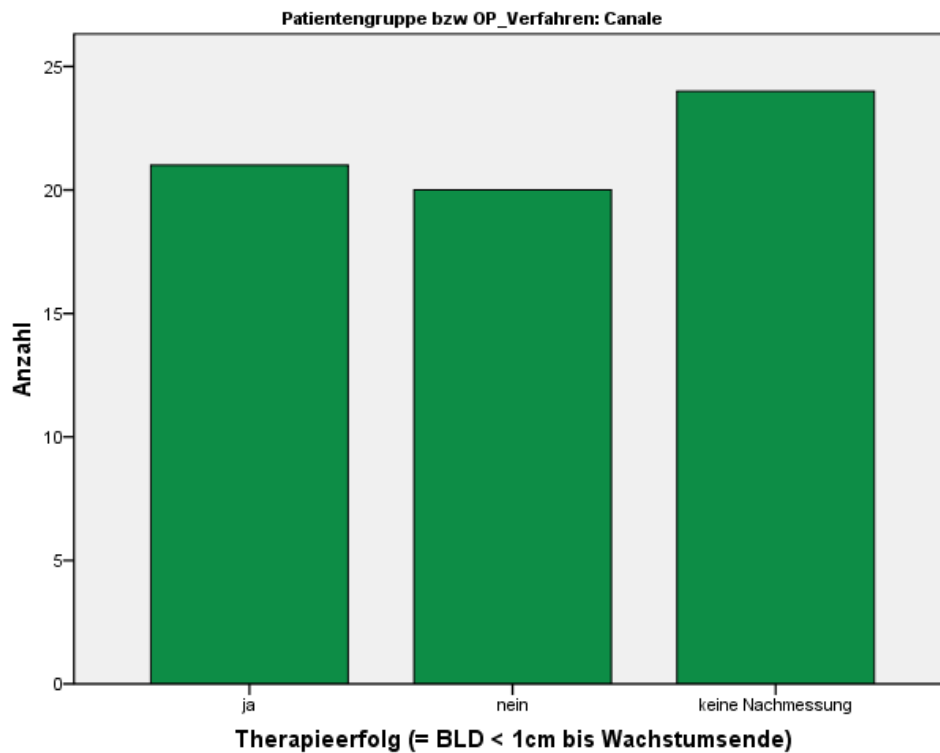


Abb. 36 Therapieerfolg bei Patienten mit BLD in der Canale-Gruppe

3.2.2 Radiologische Parameter

3.2.2.1 Skelettalter präoperativ

Bei 69 von 83 Patienten wurde präoperativ das Skelettalter bestimmt. Dabei ergab sich ein mittleres Skelettalter von 13,5 +/- 1,3 Jahren. Insgesamt variierte das Skelettalter bei allen Patienten zwischen 10 und 16 Jahren (Abb. 37).

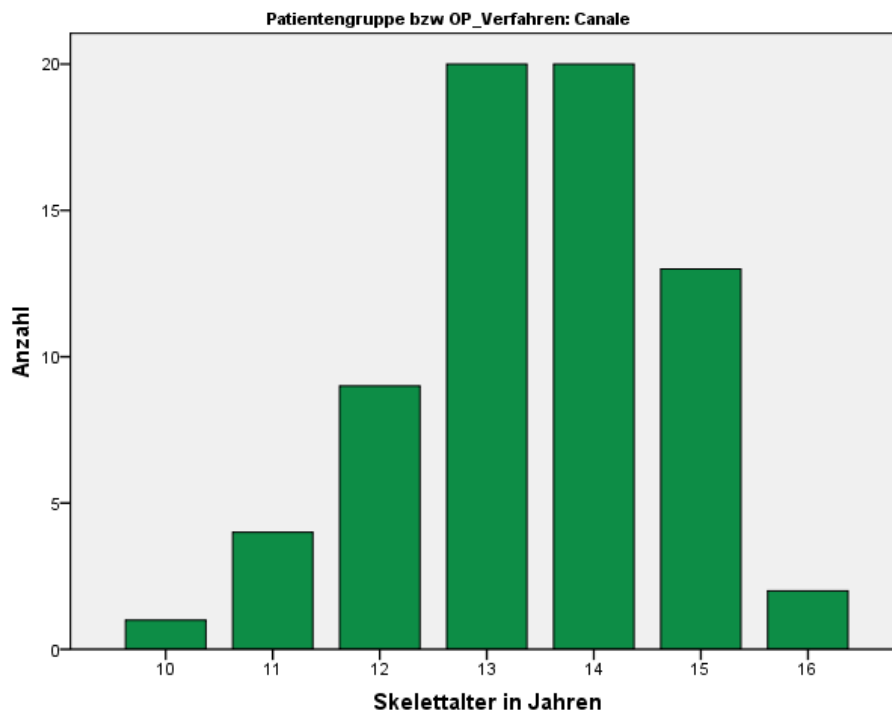


Abb. 37 Skeletalter präoperativ in Jahren in der Canale-Gruppe

Weiterhin untersuchten wir die Verteilung des Skeletalters in den einzelnen Altersgruppen (Abb. 38). Dabei zeigte sich in der Altersklasse der 13- bis 15-jährigen Patienten mehrheitlich eine Übereinstimmung zwischen Skeletalter und chronologischem Alter. Bei den Patienten, die 12 Jahre oder jünger waren, befand sich das Skeletalter in der Mehrzahl der Fälle oberhalb des chronologischen Alters. In der Altersgruppe der 16-jährigen Patienten lag das Skeletalter meist unterhalb des chronologischen Alters.

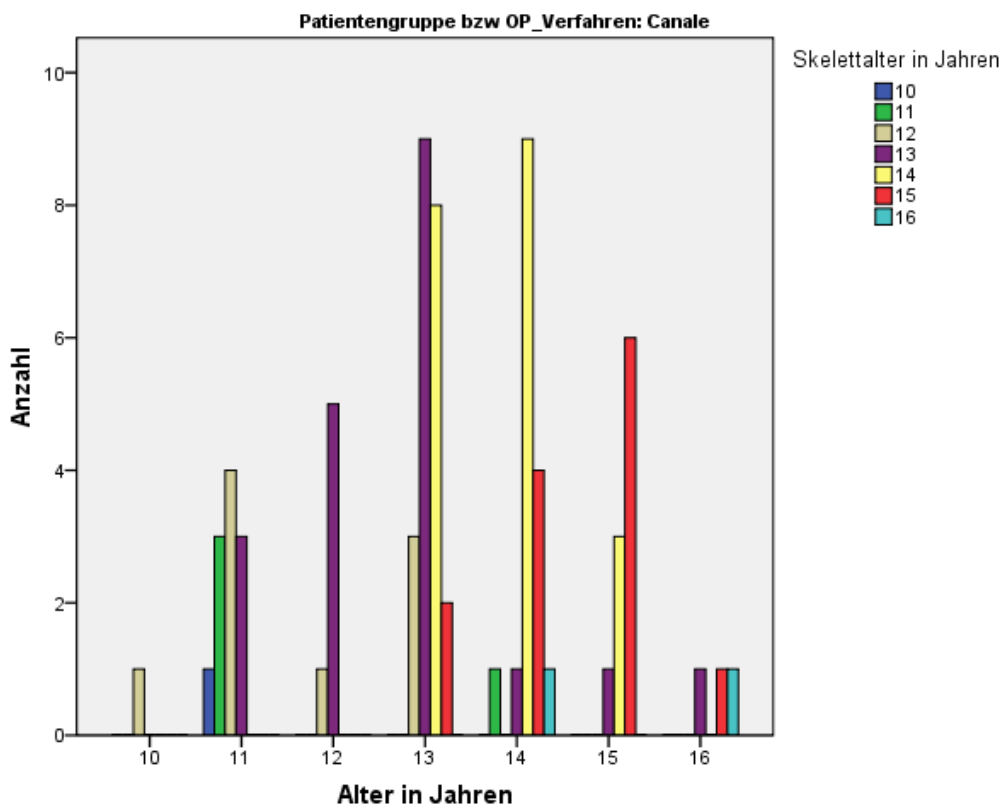


Abb. 38 Verteilung des Skeletalters in den Altersgruppen in der Canale-Gruppe

3.2.2.2 Epiphysenfugenbreite präoperativ

Bei 62 Patienten konnte anhand präoperativ angefertigter Röntgenbilder die Breite der Wachstumsfugen von distalem Femur und proximaler Tibia bestimmt werden. In den übrigen Fällen lagen keine Röntgenaufnahmen der Kniegelenksebene vor.

Es ergab sich für die Epiphysenfuge des distalen Femur eine mittlere Breite von 7,4 +/- 0,7 cm. Die Wachstumsfugenbreite am distalen Femur variierte zwischen 5,0 und 8,9 cm. Für die Fugenbreite der proximalen Tibia ergab sich ein Mittelwert von 6,3 cm. Die Standardabweichung lag hier bei 0,6. Die Breite der tibialen Epiphysenfuge schwankte zwischen 4,6 und 7,5 cm.

Für Jungen und Mädchen ergaben sich dabei folgende Mittelwerte (Tab. 12):

	Wachstumsfuge (Femur)	Wachstumsfuge (Tibia)
Jungen (n = 31)	7,1 cm	5,9 cm
Mädchen (n = 31)	7,8 cm	6,6 cm

Tab. 12 Mittlere Epiphysenfugenbreite präoperativ in der Canale-Gruppe

3.2.2.3 Spezielle radiologische Parameter bei Beinlängendifferenz

3.2.2.3.1 Beinlängendifferenz präoperativ (radiologisch gemessen)

Bei 48 Patienten wurde präoperativ eine radiologische Bestimmung der Beinlängendifferenz durchgeführt. Es ergab sich ein Mittelwert von 3,5 +/- 2,2 cm. Die radiologisch bestimmten Werte variierten dabei zwischen 0,9 und 10,3 cm.

3.2.2.3.2 Beinlängendifferenz postoperativ (radiologisch gemessen)

In insgesamt 26 Fällen wurden nach dem Eingriff röntgenologische Aufnahmen angefertigt, um den postoperativen Beinlängenunterschied zu bestimmen. Da in einigen Fällen zu mehreren Zeitpunkten Nachuntersuchungen durchgeführt wurden, wurde hier jeweils diejenige Messung berücksichtigt, die dem Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses am nächsten war. Hier ergab sich ein Mittelwert von 2,1 cm mit einer Standardabweichung von 1,6. Die postoperativ radiologisch gemessene Beinlängendifferenz schwankte unter allen erfassten Patienten zwischen 0,2 und 6,2 cm.

Im statistischen Vergleich mittels Mann-Whitney-U-Test zeigte sich ein signifikanter Unterschied ($p = 0,016$) zwischen prä- und postoperativ radiologisch gemessener Beinlängendifferenz.

3.2.2.3.3 Durchschnittliche Beinlängenkorrektur

Bei 26 Patienten lagen sowohl prä- als auch postoperative Werte einer radiologischen Beinlängenmessung vor. Hier verglichen wir den Ausgangswert mit dem Ergebnis bei Wachstumsabschluss (Abb. 39). Dabei zeigte sich aus radiologischer Sicht eine durchschnittliche Minderung der Beinlängendifferenz von 1,4 cm.

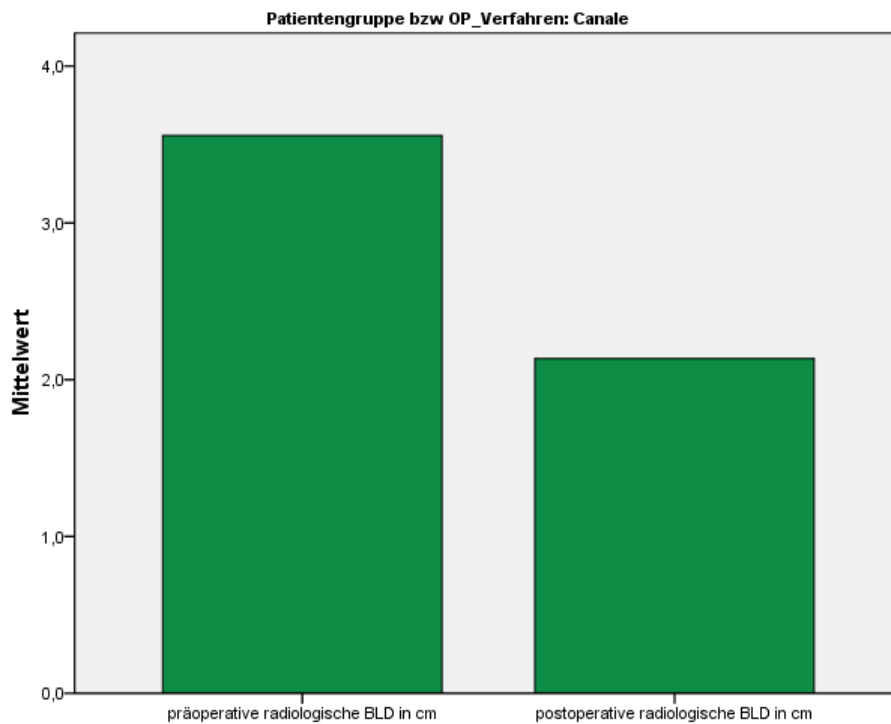


Abb. 39 Vergleich prä- und postoperative BLD in der Canale-Gruppe

3.2.2.3.4 Therapieerfolg bei Beinlängendifferenz

Nach radiologischer Messung bei Wachstumsabschluss konnte bei 5 von 26 erfassten Patienten ein Beinlängenausgleich erreicht werden. Dies entspricht einem prozentualen Anteil von 19,2 %.

3.2.2.4 Spezielle radiologische Parameter bei Achsfehlstellung

3.2.2.4.1 *Abweichung von der Mikulicz-Linie*

Bei 21 von 23 Canale-Patienten, die wegen einer Achsfehlstellung eine Epiphyseodese erhielten, wurde die Abweichung von der Mikulicz-Linie bestimmt. Bei Patienten mit Varusfehlstellung ergab sich eine durchschnittliche Abweichung von 2,4 cm, bei Patienten mit Valgusfehlstellung betrug die Abweichung im Mittel 2,0 cm.

3.2.2.4.2 *Art der Achsabweichung*

Bei 23 Patienten war die Indikation zur Epiphyseodese wegen einer Achsabweichung gegeben. Davon wiesen 7 Fälle eine Varusfehlstellung und 16 Fälle eine Valgusfehlstellung auf. In 9 Fällen betraf die Fehlstellung nur eine Extremität; bei 14 Patienten waren beide Beine von der Achsabweichung betroffen (*Abb. 40*).

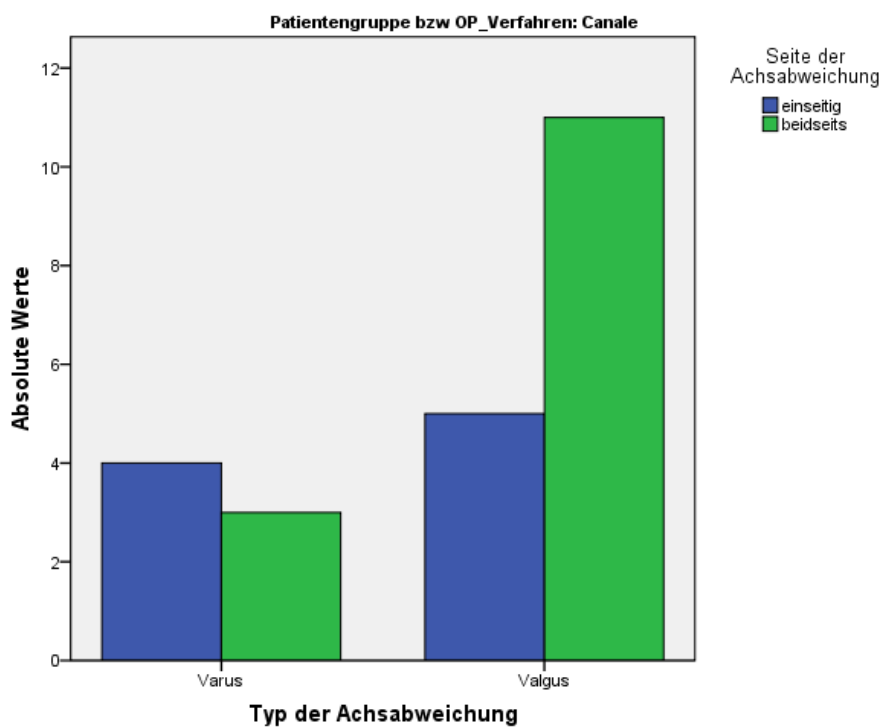


Abb. 40 Art der Achsabweichung in der Canale-Gruppe

3.2.2.4.3 Extremitätenwinkel prä- und postoperativ

Bei 18 von 23 Patienten mit Achsfehlstellung erfolgte prä- oder postoperativ eine Messung der Extremitätenwinkel, bei 11 von 23 Patienten wurden sowohl prä- als auch postoperative Messungen durchgeführt. Hier ergaben sich für Patienten mit Varus- bzw. Valgusabweichung folgende Durchschnittswerte (in Klammern Range angegeben) (Tab. 13, 14):

	präoperativ	postoperativ
MPTW	83,0° [81-86°]	--
mLDFW	90,7° [88-94°]	--
aLDFW	85,0° [82-88°]	--
aFTW	178° [173-181°]	--

Tab. 13 Extremitätenwinkel bei Varusabweichung (Canale-Gruppe)

	präoperativ	postoperativ
MPTW	91,8° [89-102°]	89,6° [86-92°]
mLDFW	86,1° [81-92°]	87,7° [85-92°]
aLDFW	80,8° [66-88°]	82,2° [77-88°]
aFTW	191,1° [182-207°]	187,5° [183-191°]

Tab. 14 Extremitätenwinkel bei Valgusabweichung (Canale-Gruppe)

Der statistische Vergleich mittels Student's t-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen prä- und postoperativ gemessenem MPTW ($p = 0,037$). Vergleich man den prä- und postoperativ bestimmten mLDFW, so ließ sich statistisch kein signifikanter Unterschied feststellen ($p = 0,265$). Zwischen prä- und postoperativ gemessenem aLDFW ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied ($p = 0,973$). Der Vergleich von prä- und postoperativ dokumentiertem aFTW ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p = 0,051$).

3.2.2.4.4 Durchschnittliche Winkelkorrektur

Bei den Patienten mit Varusfehlstellung lagen keine postoperativen Nachmessungen vor, daher konnte in diesen Fällen keine Aussage über die durchschnittliche Winkelkorrektur gemacht werden.

In der Patientengruppe, die wegen einer Valgusabweichung behandelt wurde, konnte durch die Epiphyseodese folgende durchschnittliche Korrektur der Extremitätenwinkel erreicht werden (Tab. 15):

	durchschnittliche Winkelkorrektur
MPTW	2,2°
mLDFW	1,6°
aLDFW	1,4°
aFTW	3,6°

Tab. 15 Mittlere Winkelkorrektur bei Valgusabweichung (Canale-Gruppe)

3.2.2.4.5 Therapieerfolg bei Achsfehlstellung

Da in den Fällen mit Varusabweichung keine postoperativen Messwerte vorlagen, konnte der Therapieerfolg der Epiphyseodese hier nicht beurteilt werden.

Bei den Patienten mit Valgusfehlstellung lagen in 11 von 15 Fällen postoperative Nachmessungen zum Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses vor. Ein Therapieerfolg wurde dann erreicht, wenn die Extremitätenwinkel im Normbereich lagen (Tab. 16).

	Patientenanzahl mit Nachmessung	davon Therapieerfolg
MPTW	11	9
mLDFW	11	10
aLDFW	11	7
aFTW	11	10

Tab. 16 Therapieerfolg bei Valgusfehlstellung (Canale-Gruppe)

3.3 Vergleich beider Patientengruppen

3.3.1 Klinische Parameter (Gruppenvergleich)

3.3.1.1 Indikation zur Epiphyseodese

Der Vergleich beider Gruppen zeigt, dass sowohl die Epiphyseodese nach Phemister als auch die Epiphyseodese nach Canale in erster Linie bei Patienten mit Beinlängendifferenz eingesetzt wurde. Während der relative Anteil der Patienten, die wegen einer Beinlängendifferenz eine Epiphyseodese erhielten, in der Phemister-Gruppe (79,8 %) etwas größer war als bei den Canale-Patienten (71,6 %), lag der prozentuale Anteil der Patienten, die wegen einer Achskorrektur eine Epiphyseodese erhielten, in der Canale-Gruppe (24,7 %) über der der Phemister-Fälle (14,0 %). Der Anteil der Patienten, die sowohl wegen einer Beinlängendifferenz als auch wegen einer Achsfehlstellung eine Epiphyseodese erhielten, war in beiden Gruppen etwa gleich groß (Phemister: 5,4 %; Canale: 3,7 %) (Abb. 41). Im statistischen Vergleich mittels Chi-Quadrat-Test nach Pearson ergab sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Indikationsverteilung in den beiden Gruppen ($p = 0,249$).

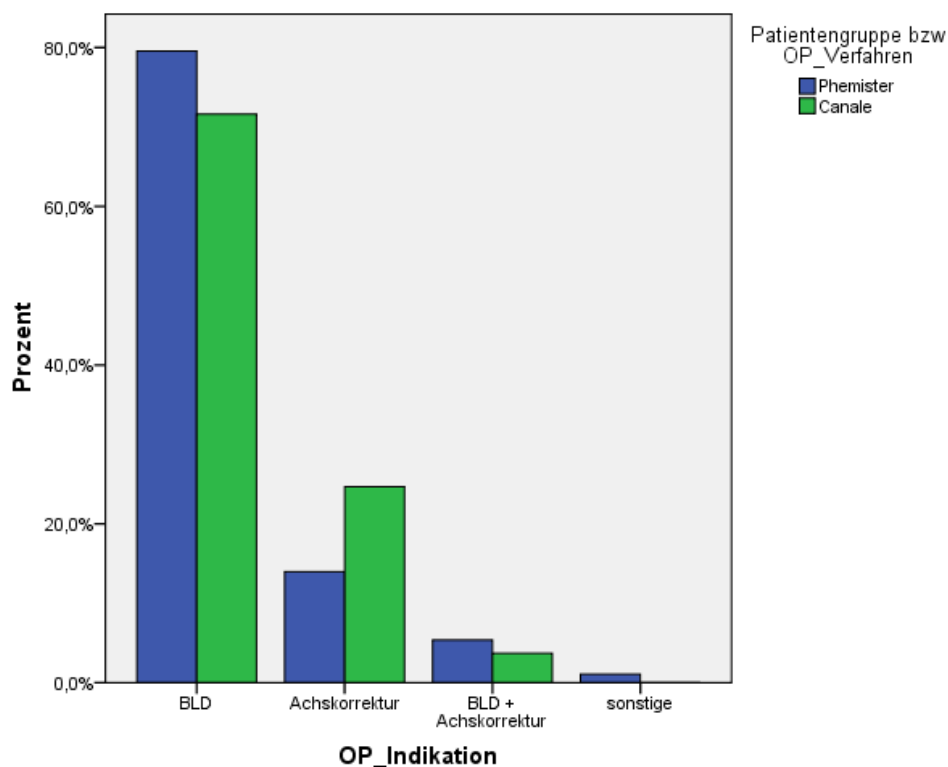


Abb. 41 Gruppenvergleich – Indikation zur Epiphyseodese

3.3.1.2 Lokalisation der Epiphyseodese

Hinsichtlich der Lokalisation des Eingriffes zeigte sich, dass die Epiphyseodese in beiden Patientengruppen in der Mehrzahl der Fälle sowohl an distalem Femur als auch an proximaler Tibia vorgenommen wurde (Phemister: 54,8 %; Canale: 52,4 %).

Weiterhin wurde die Operation in beiden Gruppen etwa gleichermaßen häufig nur an distalem Femur (Phemister: 23,7 %; Canale: 23,2 %) oder nur an proximaler Tibia (Phemister: 19,4 %; Canale: 23,2 %) durchgeführt (Abb. 42).

Die statistische Prüfung erbrachte bezüglich der Lokalisationsverteilung keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Patientengruppen ($p = 0,517$).

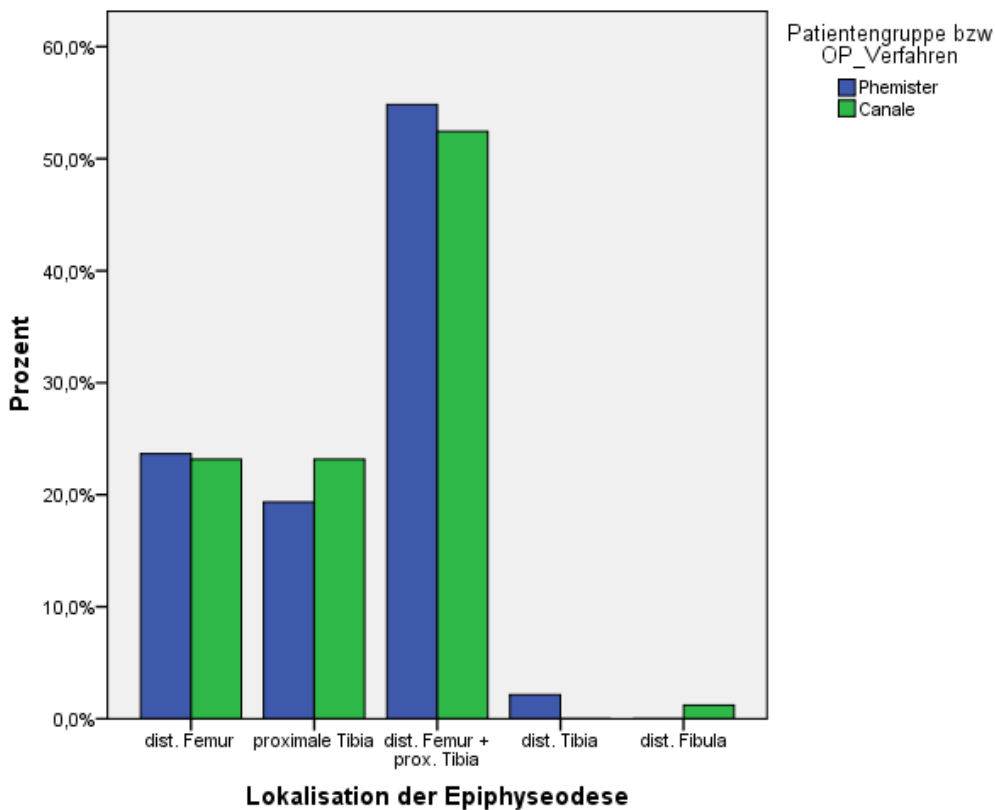


Abb. 42 Gruppenvergleich – Lokalisation der Epiphyseodese

3.3.1.3 Chronologisches Alter präoperativ

Im Vergleich des Alterszeitpunkts, zu dem die Epiphyseodese erfolgte, zeigte sich, dass das Verfahren nach Canale im Durchschnitt in früherem Lebensalter (13,0 Jahre) durchgeführt wurde als die Phemister-Technik (13,7 Jahre). Dabei ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Patientengruppen ($p = 0,111$).

Weiterhin stellte sich dar, dass der Eingriff in der Gruppe der Phemister-Patienten bei Mädchen durchschnittlich 1,7 Jahre früher erfolgte als bei Jungen. In der Canale-Gruppe wurde die Epiphyseodese hingegen bei männlichen Patienten im Mittel um 1,6 Jahre früher durchgeführt als bei weiblichen Patienten (Abb. 43).

Während die Altersspanne in der Phemister-Gruppe zwischen 9 und 17 Jahren lag, waren die Patienten, die eine Epiphyseodese nach Canale erhielten, zwischen 8 und 16 Jahren alt.

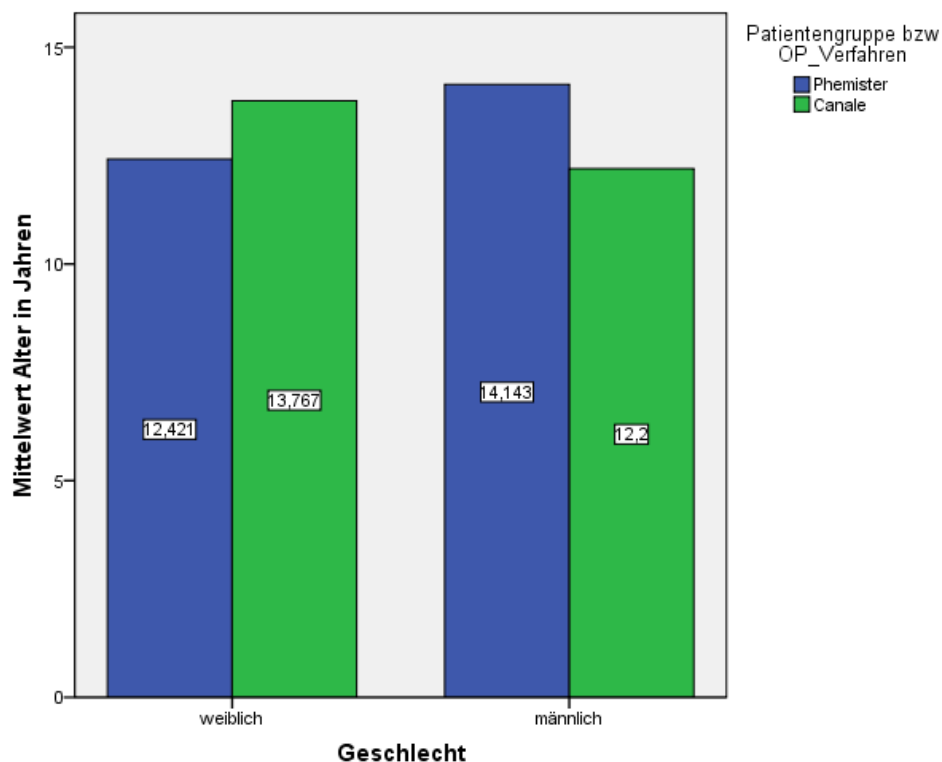


Abb. 43 Gruppenvergleich – Chronologisches Alter präoperativ (geschlechtsspezifisch)

Hinsichtlich Indikationsstellung zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede bezüglich des chronologischen Alters zum Zeitpunkt der Operation, d.h. sowohl Patienten mit Indikation Beinlängendifferenz als auch Patienten mit Indikation Achsfehlstellung oder Doppelindikation wurden etwa zum gleichen Alterszeitpunkt operiert. Es fiel jedoch auf, dass das Phemister-Verfahren im Durchschnitt zu einem späteren Alterszeitpunkt durchgeführt wurde als die Technik nach Canale (Abb. 44).

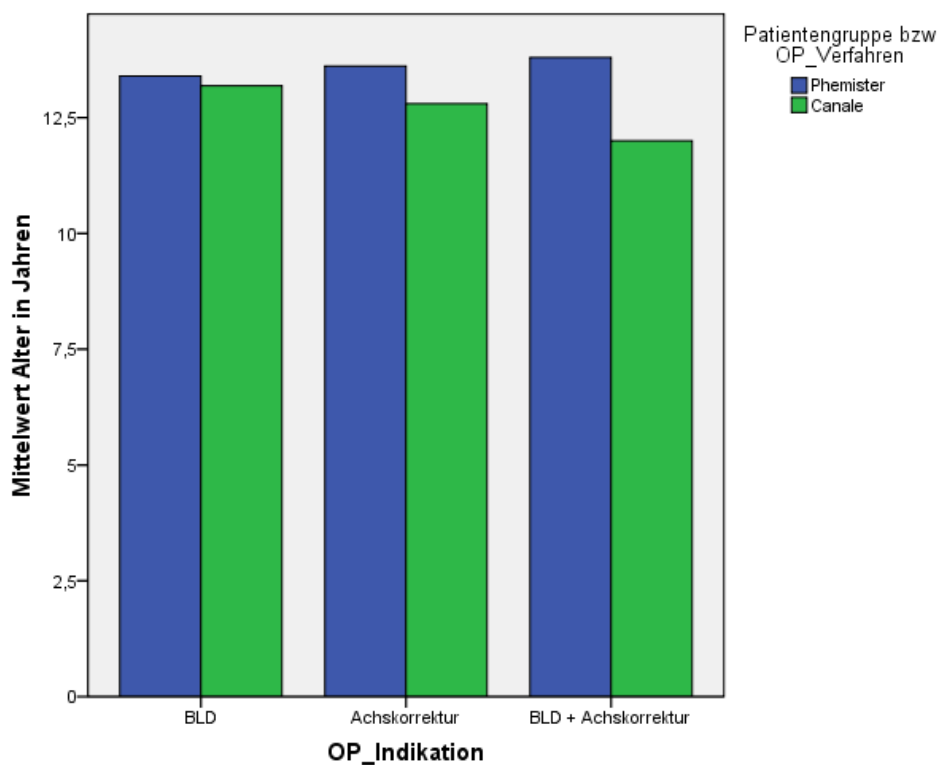


Abb. 44 Gruppenvergleich – Altersverteilung der OP-Indikation

3.3.1.4 Dauer des operativen Eingriffs

Im Vergleich ließ sich erkennen, dass die Eingriffsdauer in der Patientengruppe der Phemister-Patienten (Mittelwert: 103,1 min.) deutlich über der der Canale-Patienten (Mittelwert: 53,9 min.) liegt (Abb. 45). Die statistische Analyse mittels Student's t-Test zeigte einen höchst signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) zwischen beiden Gruppen. Mehrfacheingriffe wurden für den Vergleich ausgeschlossen.

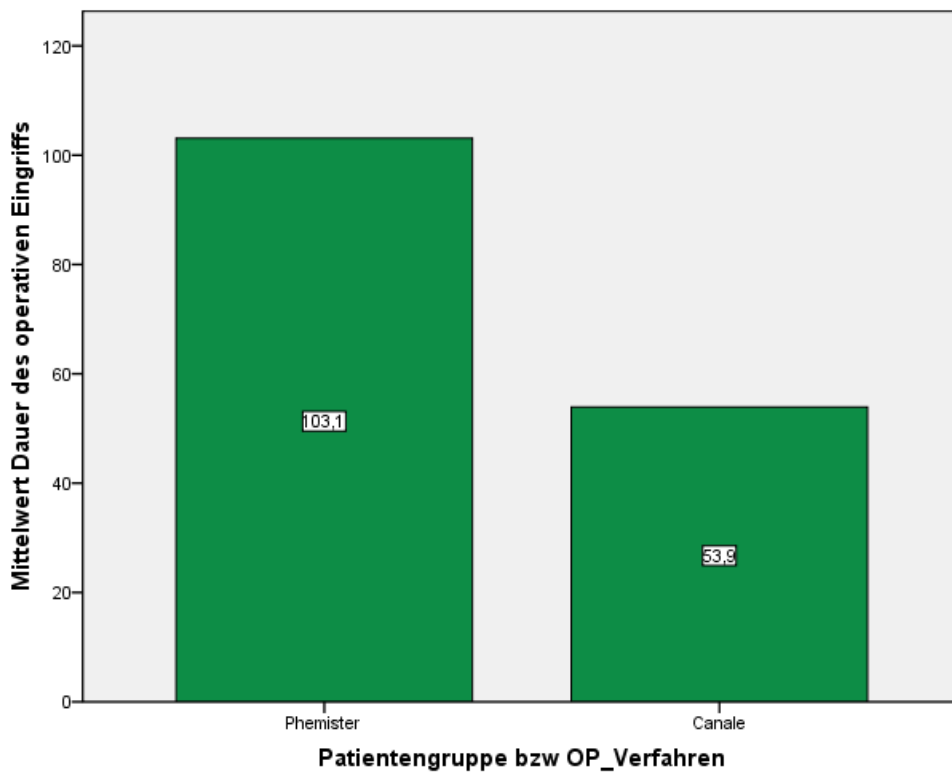
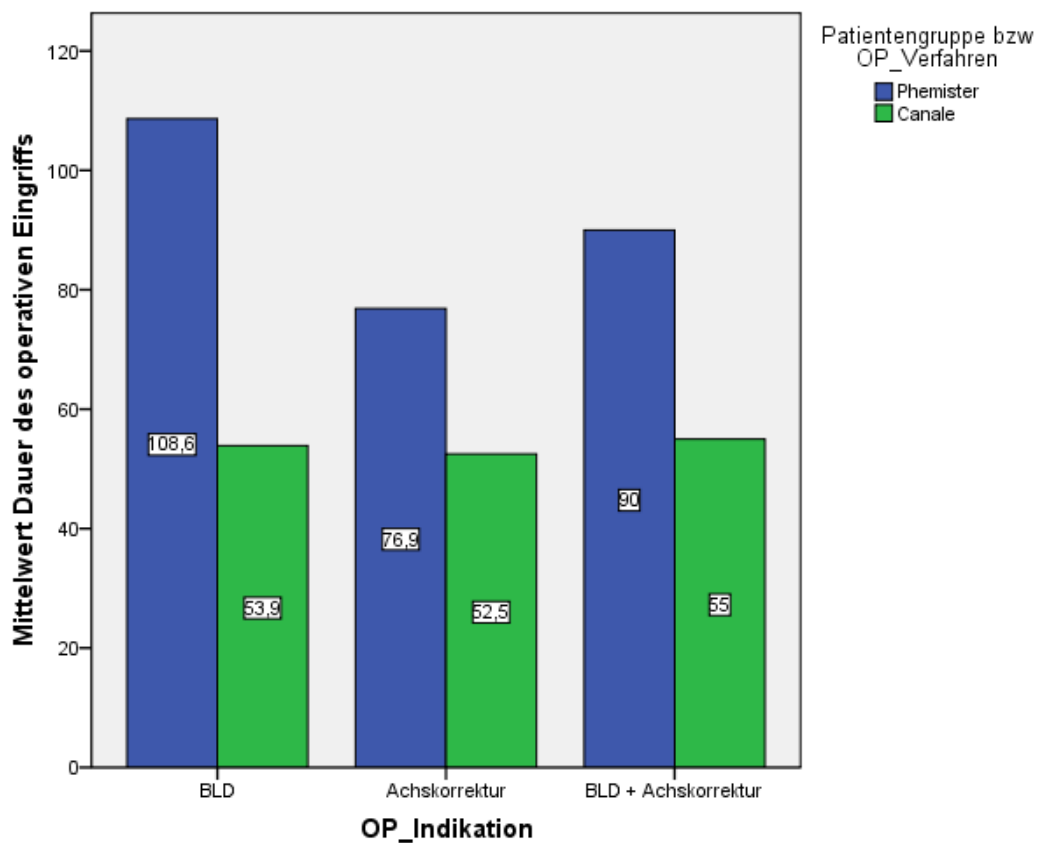


Abb. 45 Gruppenvergleich – Operationsdauer (in Minuten)

Je nach Indikation dauerte die Durchführung einer Phemister-Epiphyseodese durchschnittlich 20 bis 50 Minuten länger als das Verfahren nach Canale (Abb. 46). Vor allem bei Patienten, die aufgrund einer Beinlängendifferenz eine Epiphyseodese erhielten, zeigte sich ein höchst signifikanter Unterschied ($p < 0,001$); in diesen Fällen betrug die Eingriffsdauer für ein Phemister-Verfahren (108,6 Minuten) mehr als doppelt so viel wie die Operationsdauer des Canale-Verfahrens (53,9 Minuten).



*Abb. 46 Gruppenvergleich – Eingriffsdauer (in Minuten)
in Abhängigkeit von OP-Indikation*

3.3.1.5 Postoperative Komplikationen

Hier stellte sich dar, dass bei Patienten aus der Canale-Gruppe deutlich seltener ein postoperativer Gelenkerguss auftrat als bei Patienten aus der Phemister-Gruppe (13,4 % vs. 29,5 %) (Abb. 47). Der statistische Vergleich erbrachte einen hoch signifikanten Unterschied zwischen beiden Patientengruppen ($p = 0,006$).

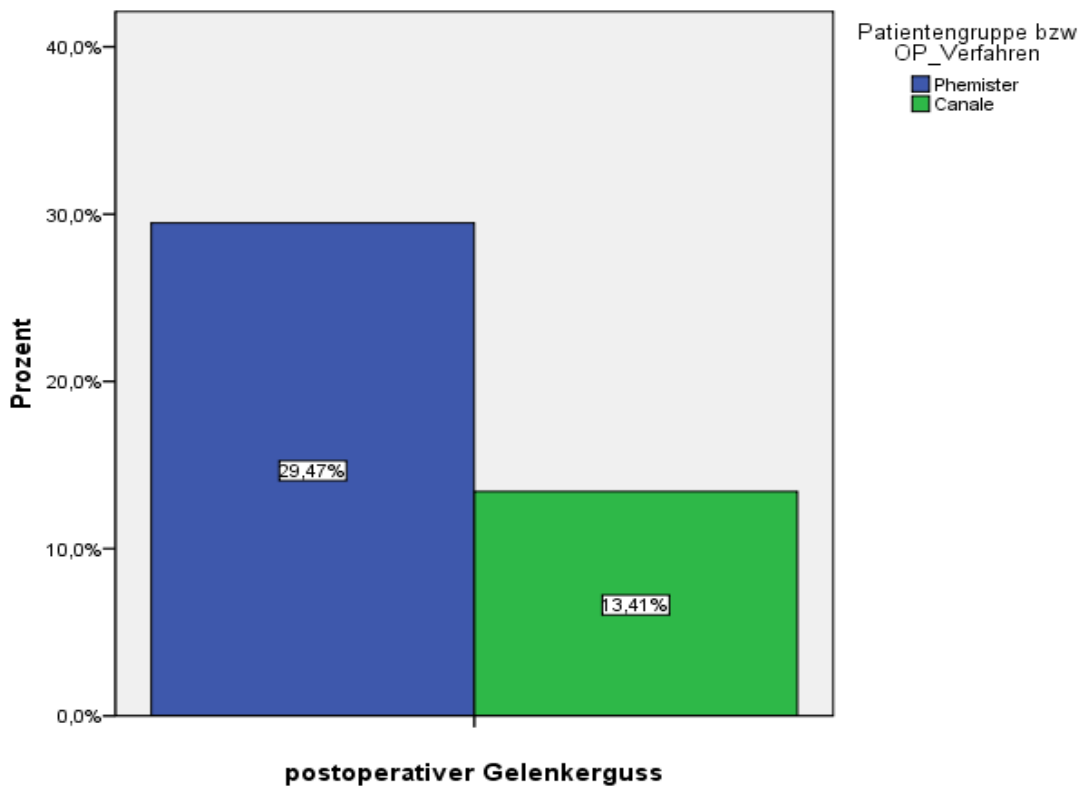


Abb. 47 Gruppenvergleich – Häufigkeit eines postoperativen Gelenkergusses

3.3.1.6 Postoperative Mobilisierung

Im Gruppenvergleich wurde ersichtlich, dass bei Phemister-Patienten in der Mehrzahl der Fälle eine postoperative Mobilisierung an Unterarmgehstützen erfolgte (92,3 %). Bei Patienten, die nach dem Verfahren von Canale operiert worden waren, war nur in 58,0 % der Fälle eine Mobilisierung an Unterarmgehstützen notwendig (Abb. 48). Im statistischen Vergleich ließ sich ein höchst signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen feststellen ($p < 0,001$).

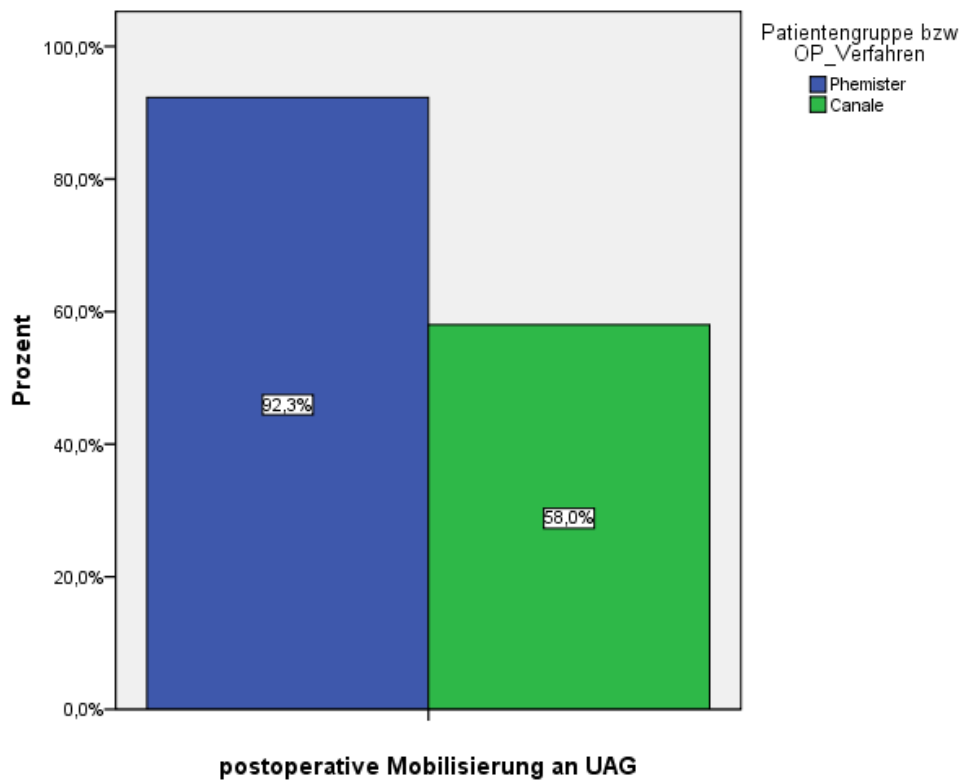


Abb. 48 Gruppenvergleich – Postoperative Mobilisierung

3.3.1.7 Dauer des stationären Aufenthalts

Im Vergleich der stationären Verweildauer der Patienten zeigte sich ein höchst signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) (Abb. 49); so wurden Patienten mit Phemister-Epiphyseodese durchschnittlich 25,9 Tage stationär betreut, während Patienten mit Canale-Epiphyseodese im Mittel schon nach 7,9 Tagen aus der stationären Behandlung entlassen werden konnten.

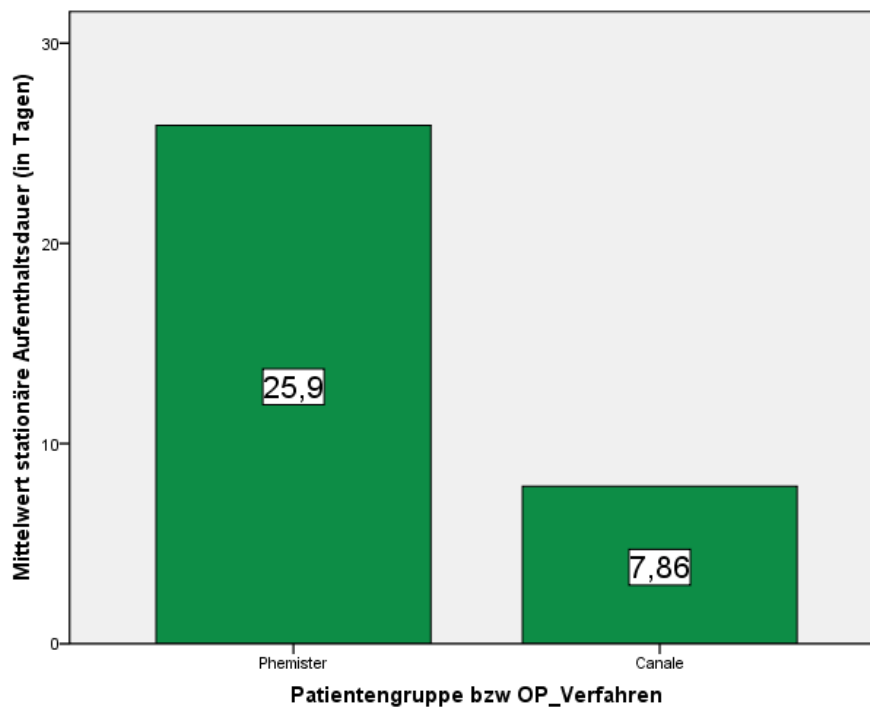
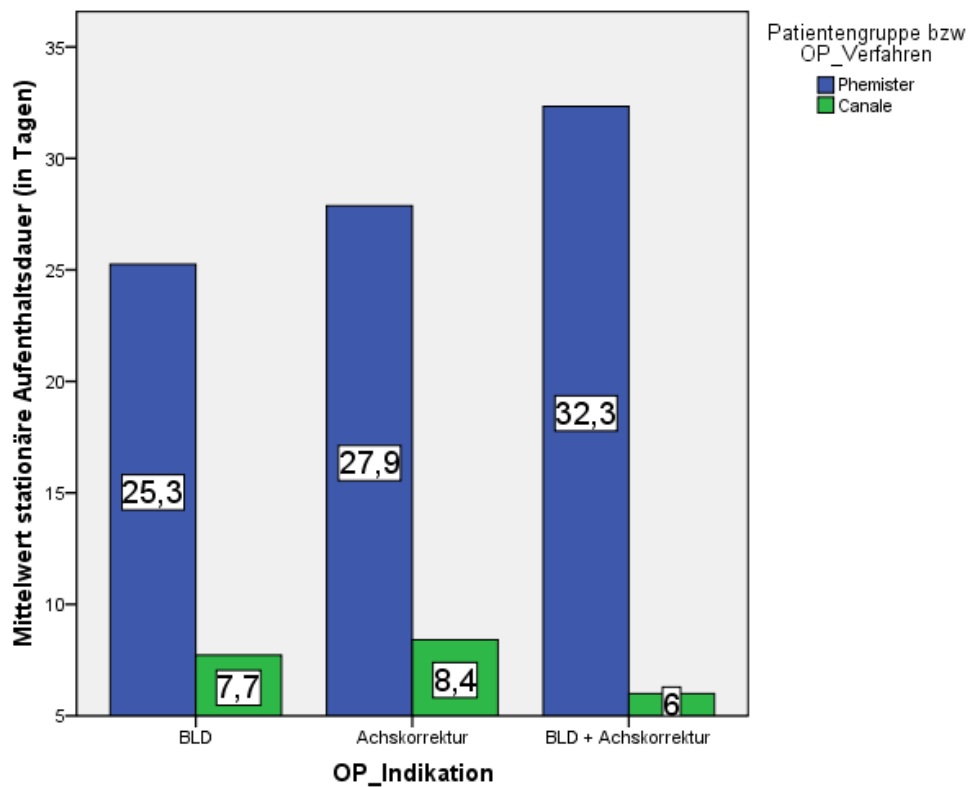


Abb. 49 Gruppenvergleich – Dauer des stationären Aufenthalts (in Tagen)

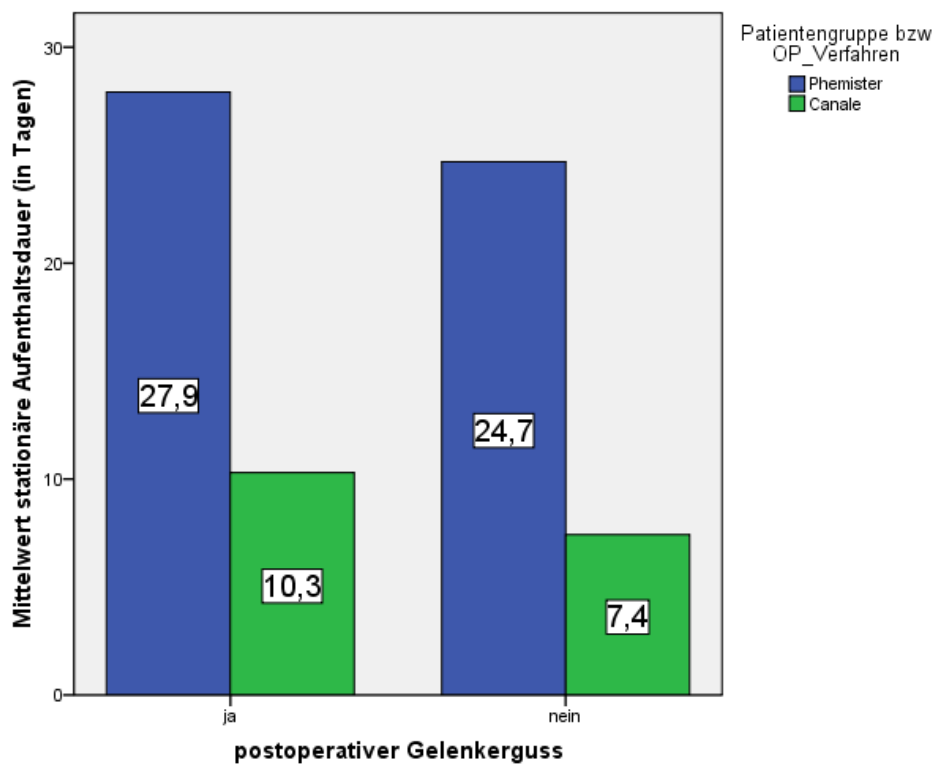
Hinsichtlich Indikationsstellung stellte sich dar, dass Patienten, die wegen einer Achsfehlstellung operiert wurden, in beiden Gruppen durchschnittlich 1 bis 2 Tage länger stationär behandelt wurden als Patienten mit Beinlängendifferenz (Abb. 50). In der statistischen Untersuchung ergab sich in beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied bezüglich der Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit von der jeweiligen Indikation (Phemister: $p = 0,355$, Canale: $p = 0,640$).

Im Vergleich der Fälle, die sowohl wegen einer Achsdeformität als auch wegen eines Beinlängenunterschieds (Doppelindikation) eine Epiphyseodese erhielten, zeigte sich in der Phemister-Gruppe eine durchschnittlich längere Aufenthaltsdauer als bei Einfachindikation (32,3 vs. 26,6 Tage). In der Canale-Gruppe hingegen ließ sich im Mittel bei Patienten mit Doppelindikation ein kürzerer stationärer Aufenthalt nachweisen als bei Patienten, die entweder nur wegen einer Beinlängendifferenz oder einer Achsabweichung operiert wurden (6,0 vs. 8,1 Tage). Aufgrund der geringen Fallzahl an Patienten mit Doppelindikation wurde hier auf eine Signifikanztestung verzichtet.



*Abb. 50 Gruppenvergleich – Aufenthaltsdauer (in Tagen)
in Abhängigkeit von OP-Indikation*

Weiterhin ließ sich feststellen, dass Patienten mit postoperativen Komplikationen in beiden Gruppen durchschnittlich 3 Tage länger stationär behandelt werden mussten als Patienten, bei denen keine Komplikationen nach dem Eingriff auftraten (*Abb. 51*).



*Abb. 51 Gruppenvergleich – Aufenthaltsdauer (in Tagen)
in Abhängigkeit vom Auftreten postoperativer Komplikationen*

3.3.1.8 Beinlängendifferenz präoperativ (klinisch gemessen)

Es zeigte sich, dass die klinisch gemessene, präoperative Beinlängendifferenz bei Patienten, die eine Canale-Epiphyseodese erhalten sollten, im Durchschnitt etwas größer war als bei Patienten mit Phemister-Epiphyseodese (3,6 cm vs. 3,0 cm) (Abb. 52). Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte nicht festgestellt werden ($p = 0,411$).

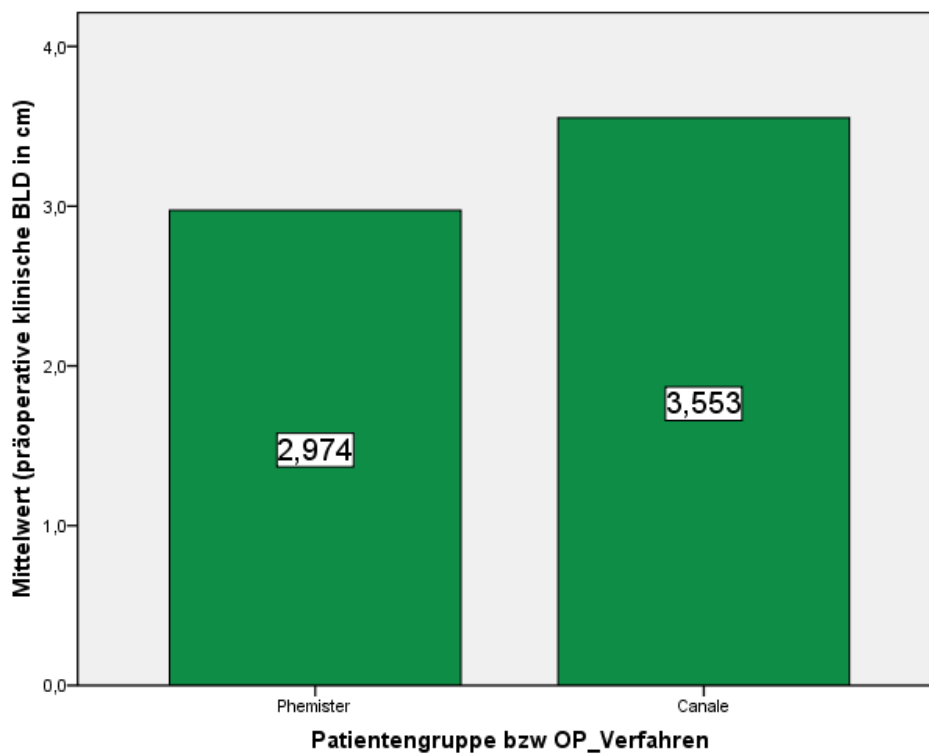


Abb. 52 Gruppenvergleich – BLD präoperativ in cm (klinisch gemessen)

3.3.1.9 Beinlängendifferenz postoperativ (klinisch gemessen)

Während in der Patientengruppe mit Phemister-Epiphyseodese im Durchschnitt eine End-Beinlängendifferenz von 1,6 cm klinisch gemessen wurde, lag die mittlere postoperative Beinlängendifferenz bei Patienten mit Canale-Epiphyseodese bei 1,8 cm (Abb. 53). Im Gruppenvergleich zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied ($p = 0,460$).

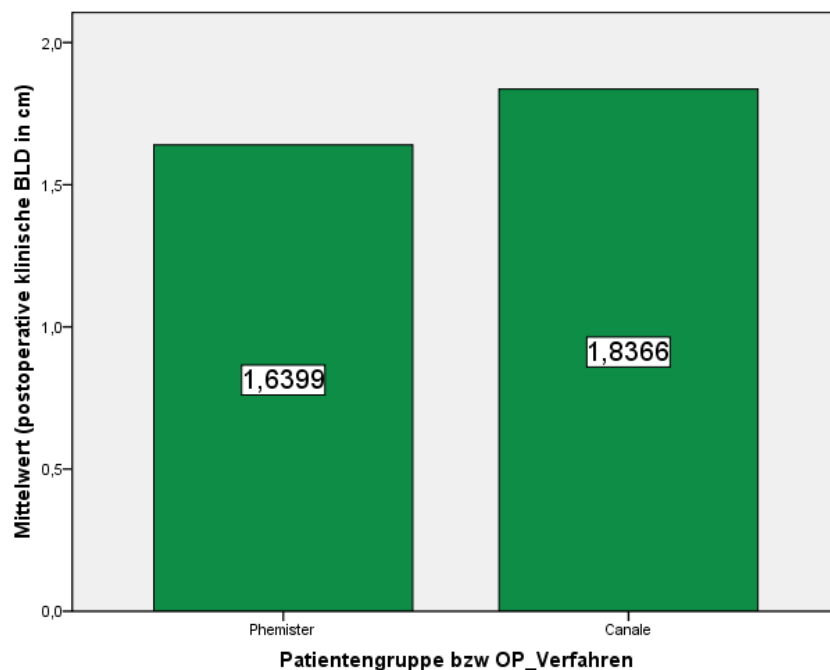


Abb. 53 Gruppenvergleich – BLD postoperativ in cm (klinisch gemessen)

3.3.1.10 Durchschnittliche Beinlängenkorrektur (klinisch gemessen)

Bei den Phemister-Fällen konnte demnach eine durchschnittliche Reduktion der Beinlängendifferenz um 1,3 cm bzw. 44,8 % erreicht werden. In der Gruppe der Canale-Patienten konnte der Beinlängenunterschied im Mittel um 1,7 cm bzw. 48,2 % korrigiert werden. Hier ergab sich statistisch kein signifikanter Unterschied ($p = 0,873$).

3.3.1.11 Therapieerfolg bei Patienten mit Beinlängendifferenz

Hier zeigte sich, dass in beiden Patientengruppen der prozentuale Anteil der Fälle mit Therapieerfolg (Phemister: 41,4 %, Canale: 32,0 %) in etwa gleich groß war wie der Anteil der Fälle ohne Therapieerfolg (Phemister: 44,3 %, Canale: 30,6 %) (Abb. 54). Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ließ sich nicht nachweisen ($p = 0,955$). In der Canale-Patientengruppe lagen jedoch in etwa 37,0 % der Fälle keine Angaben über Nachmessungen vor, so dass eine Beurteilung des Therapieerfolgs in dieser Gruppe nur eingeschränkt möglich ist.

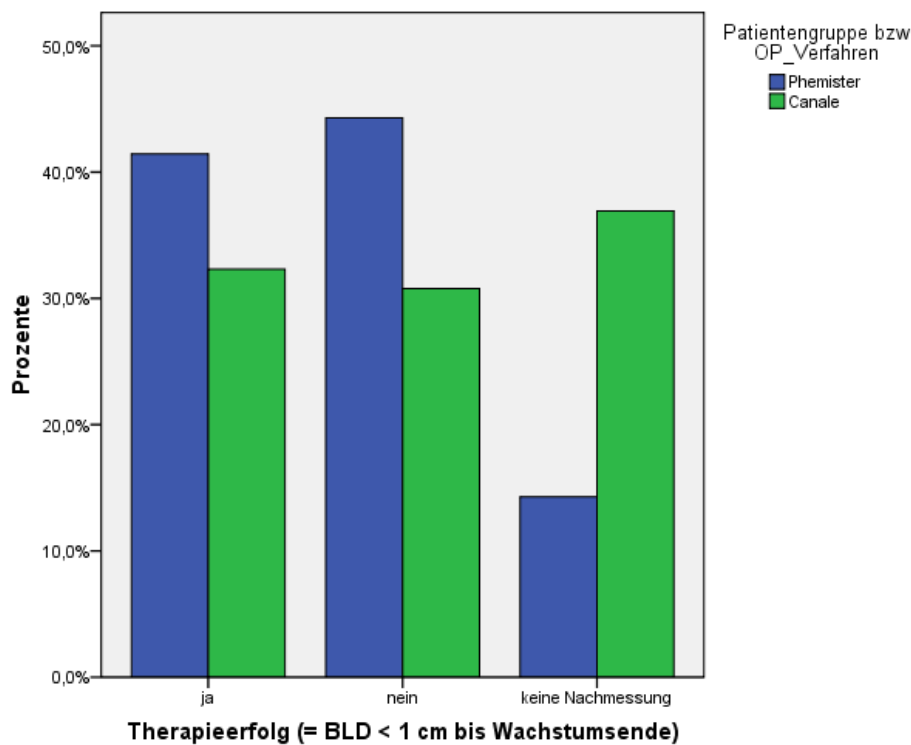


Abb. 54 Gruppenvergleich – Therapieerfolg bei Patienten mit BLD

Bei Betrachtung des Zeitraums, in dem ein Beinlängenausgleich erreicht werden konnte, zeigte sich in der Phemister-Gruppe ein zeitlicher Rahmen von 19,1 Monaten. Bei den Patienten, die nach dem Canale-Verfahren operiert wurden, ergab sich eine durchschnittliche Korrekturdauer von 15,8 Monaten. Ein statistisch signifikanter Unterschied ergab sich dabei nicht ($p = 0,272$).

3.3.2 Radiologische Parameter (Gruppenvergleich)

3.3.2.1 Skeletalter präoperativ

Im vorliegenden Gruppenvergleich zeigte sich, dass das durchschnittliche Skeletalter in der Phemister-Gruppe bei 14,0 Jahren lag; in der Gruppe der Canale-Patienten betrug das Skeletalter zum Zeitpunkt des Eingriffs im Mittel 13,5 Jahre (Abb. 55). Hier ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ($p = 0,014$).

Auffallend ist dabei, dass die Epiphyseodese in der Phemister-Gruppe bei weiblichen Patienten in einem früheren Skeletalterstadium durchgeführt wurde als bei männlichen Patienten. Bei Patienten, die eine Canale-Epiphyseodese erhielten, verhielt es sich entgegengesetzt; hier erfolgte der Eingriff bei Jungen zu einem früheren Zeitpunkt der Skelettreifung als bei Mädchen.

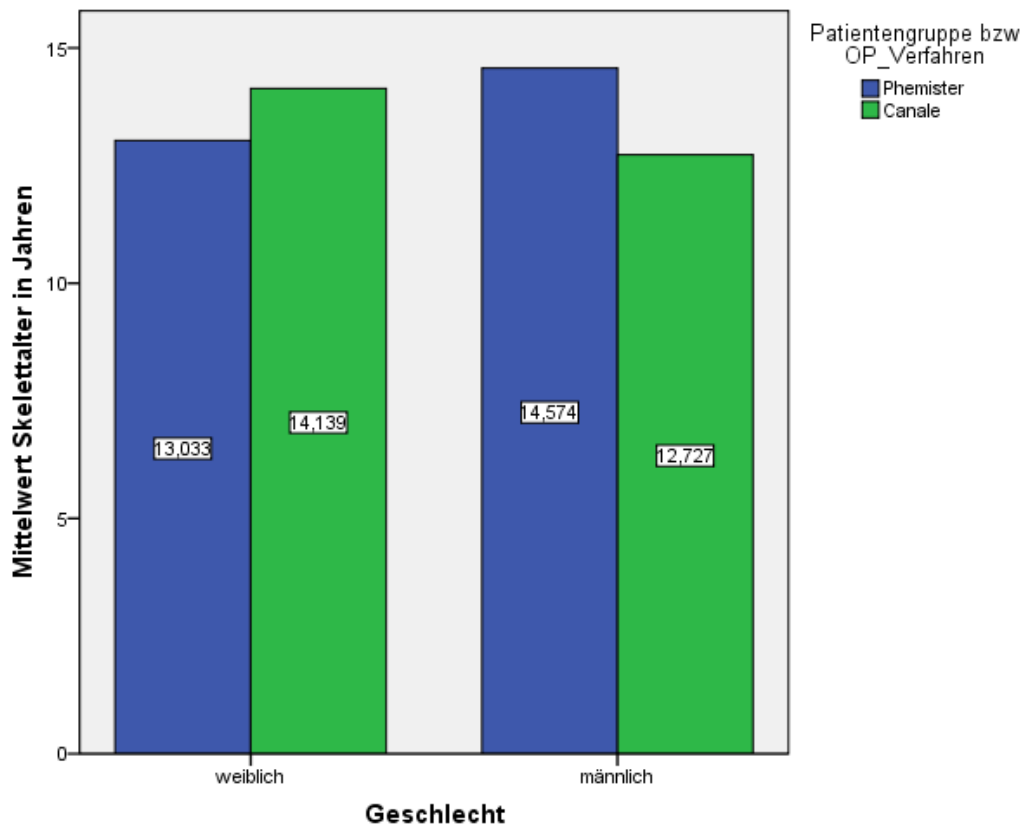


Abb. 55 Gruppenvergleich – Skeletalter präoperativ in Jahren (nach Geschlecht)

3.3.2.2 Epiphysenfugenbreite präoperativ

Während die durchschnittliche Breite der femoralen Epiphysenfuge in der Phemister-Gruppe 8,3 cm und in der Canale-Gruppe 7,4 cm betrug, ergab sich für die tibiale Wachstumsfuge in der Phemister-Gruppe ein Mittelwert von 7,1 cm und in der Canale-Gruppe ein Mittelwert von 6,3 cm (Tab. 17). In der statistischen Prüfung mittels Student's t-Test zeigte sich sowohl hinsichtlich der femoralen als auch hinsichtlich der tibi-

alen Epiphysenfugenbreite ein höchst signifikanter Unterschied zwischen beiden Patientengruppen ($p < 0,001$ bzw. $p < 0,001$).

	Phemister	Canale
femorale Epiphysenfuge	8,3 cm	7,4 cm
tibiale Epiphysenfuge	7,1 cm	6,3 cm

Tab. 17 Gruppenvergleich – Epiphysenfugenbreite präoperativ

3.3.2.3 Spezielle radiologische Parameter bei Beinlängendifferenz

3.3.2.3.1 Beinlängendifferenz präoperativ (radiologisch gemessen)

Die präoperativ radiologisch bestimmte Beinlängendifferenz lag in der Phemister-Gruppe im Mittel bei 3,1 cm, in der Canale-Gruppe bei 3,5 cm (Abb. 56). Statistisch ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ($p = 0,615$).

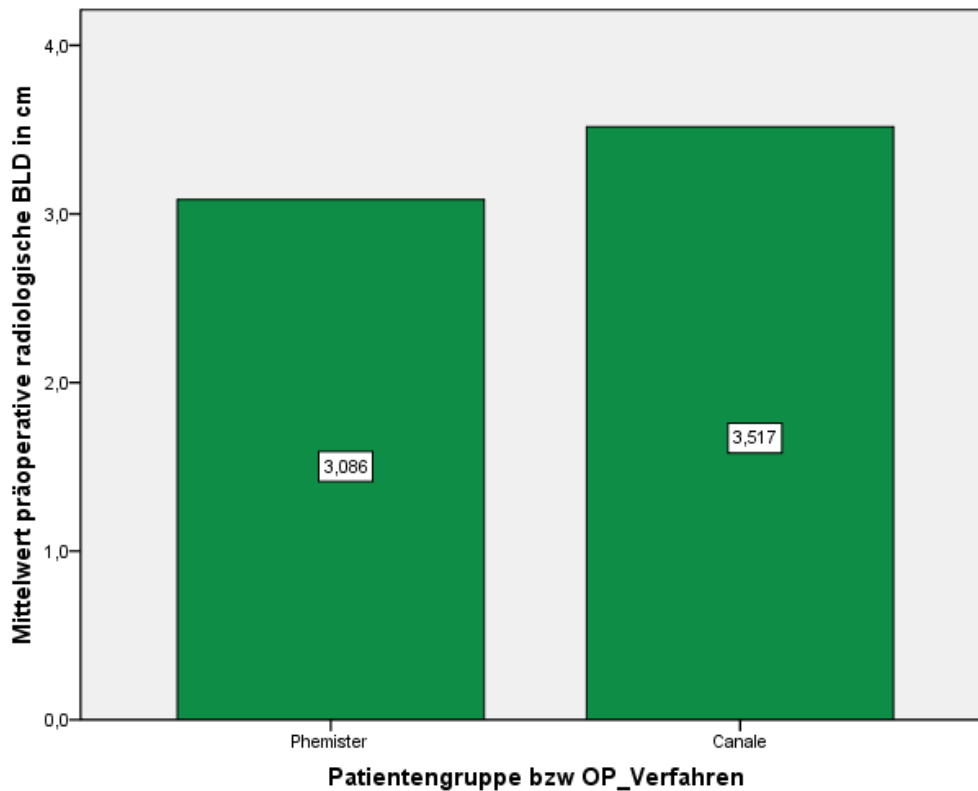


Abb. 56 Gruppenvergleich – Beinlängendifferenz präoperativ in cm (radiologisch gemessen)

Im Vergleich der präoperativ klinisch bestimmten Messwerte mit den präoperativ radiologisch bestimmten Messwerten zeigte sich in beiden Gruppen lediglich eine Abweichung im Dezimalstellenbereich (*Tab. 18, Tab. 19*). Dabei galt es zu berücksichtigen, dass in einigen Fällen nur klinische Messungen erfolgten und keine Daten zur radiologischen Messung vorlagen.

Phemister-Gruppe:

präoperative BLD-Messung	Anzahl	Mittelwert
klinisch	n = 83	3,0 cm
radiologisch	n = 39	3,1 cm

Tab. 18 Vergleich der klinischen und radiologischen BLD-Messung (präoperativ) in der Phemister-Gruppe

Canale-Gruppe:

präoperative BLD-Messung	Anzahl	Mittelwert
klinisch	n = 61	3,6 cm
radiologisch	n = 48	3,5 cm

Tab. 19 Vergleich der klinischen und radiologischen BLD-Messung (präoperativ) in der Canale-Gruppe

3.3.2.3.2 Beinlängendifferenz postoperativ (radiologisch gemessen)

Die postoperativ radiologisch gemessene Beinlängendifferenz betrug in der Gruppe der Phemister-Patienten durchschnittlich 2,6 cm, während sie in der Gruppe der Canale-Patienten bei 2,1 cm lag (*Abb. 57*). Statistisch zeigte sich kein signifikanter Unterschied ($p = 0,359$) zwischen beiden Gruppen.

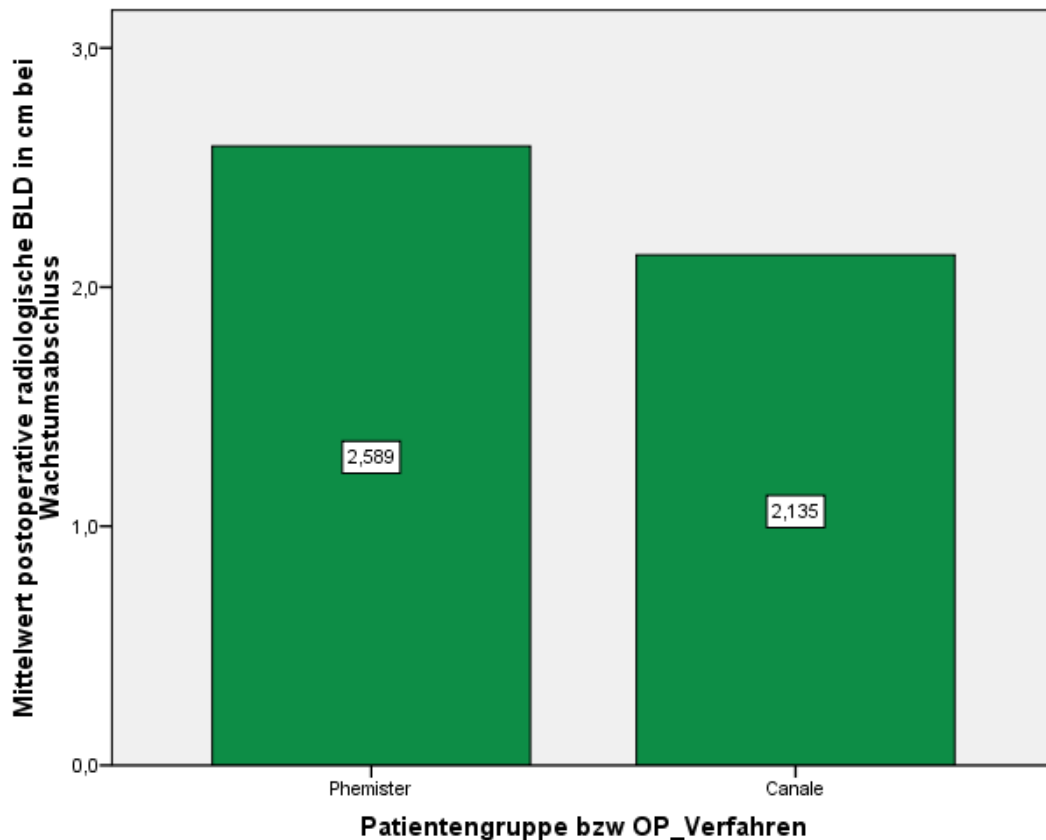


Abb. 57 Gruppenvergleich – BLD postoperativ in cm (radiologisch gemessen)

Verglich man die postoperativ klinisch bestimmten Messwerte mit den postoperativ radiologisch bestimmten Messwerten, so stellte sich in beiden Patientengruppen eine klare Divergenz hinsichtlich klinischer und röntgenologischer Messung dar (Tab. 20, Tab. 21). Auch hier war durch die unterschiedliche Gruppengröße nur eine eingeschränkte Aussagekraft gegeben.

Phemister-Gruppe:

postoperative BLD-Messung	Anzahl	Mittelwert
klinisch	n = 70	1,6 cm
radiologisch	n = 28	2,6 cm

Tab. 20 Vergleich der klinischen und radiologischen BLD-Messung (postoperativ) in der Phemister-Gruppe

Canale-Gruppe:

postoperative BLD-Messung	Anzahl	Mittelwert
klinisch	n = 41	1,8 cm
radiologisch	n = 26	2,1 cm

Tab. 21 Vergleich der klinischen und radiologischen BLD-Messung (postoperativ) in der Canale-Gruppe

3.3.2.3.3 Durchschnittliche Beinlängenkorrektur

Unter Berücksichtigung der radiologischen Messwerte konnte die Beinlänge in der Gruppe der Phemister-Patienten durchschnittlich um 0,5 cm (16,1 %) korrigiert werden. In der Canale-Gruppe ließ sich durch die radiologische Messung eine mittlere Beinlängenkorrektur von 1,4 cm (39,3 %) nachweisen. Statistisch ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ($p = 0,053$).

3.3.2.3.4 Therapieerfolg bei Patienten mit Beinlängendifferenz

In der Phemister-Gruppe konnte in 5 von 28 prä- und postoperativ radiologisch dokumentierten Fällen mit Beinlängendifferenz ein Therapieerfolg nachgewiesen werden. Dies entspricht einem Anteil von 17,9 %. Bei den Canale-Patienten ließ sich in 5 von 26 Fällen mit prä- und postoperativ radiologisch bestimmter Beinlänge ein Therapieerfolg feststellen, was einem prozentualen Anteil von 19,2 % entspricht. Statistisch ließ sich kein signifikanter Unterschied feststellen ($p = 0,897$).

3.3.2.4 Spezielle radiologische Parameter bei Achsfehlstellung

3.3.2.4.1 Abweichung von der Mikulicz-Linie

Die Abweichung von der Mikulicz-Linie konnte in der Phemister-Gruppe nicht bestimmt werden, da nicht genug Datenmaterial vorlag. In der Canale-Gruppe konnte bei 21 Patienten die Abweichung von der Mikulicz-Linie bestimmt werden. In der Gruppe mit Varusdeformität betrug die Abweichung durchschnittlich 2,4 cm nach lateral, in der

Gruppe mit Valgusdeformität ergab sich als Mittelwert eine Abweichung von 2,0 cm nach medial.

3.3.2.4.2 Art der Achsabweichung

Von den 17 wegen einer Achsdeformität operierten Phemister-Patienten wiesen 4 eine Varus- und 13 eine Valgusfehlstellung auf. In 9 von 17 Fällen lag diese einseitig vor, bei 8 Patienten war die Deformität beidseits ausgeprägt. In der Gruppe der Canale-Patienten lag in 7 von 23 Fällen eine Varus- sowie in 16 Fällen eine Valgusfehlstellung vor. Diese war bei 9 Patienten einseitig, in 14 Fällen beidseits ausgeprägt.

3.3.2.4.3 Extremitätenwinkel prä- und postoperativ

Dieser Parameter erlaubte keinen statistischen Gruppenvergleich, da in der Phemister-Gruppe keine ausreichenden Daten zu dieser Variable vorlagen.

3.3.2.4.4 Durchschnittliche Winkelkorrektur

Hinsichtlich dieses Parameters konnte kein Gruppenvergleich durchgeführt werden, da in der Phemister-Gruppe nicht genügend Daten zu dieser Variable vorlagen.

3.3.2.4.5 Therapieerfolg bei Achsfehlstellung

Bezüglich des radiologisch bestimmten Therapieerfolgs konnte kein Vergleich zwischen beiden Patientengruppen erfolgen, da in der Gruppe der Phemister-Patienten keine ausreichenden Daten zur postoperativen radiologischen Messung vorlagen.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Methoden

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, den Therapieerfolg zweier Verfahren der permanenten Epiphyseodese miteinander zu vergleichen.

Dabei untersuchten wir zwei Patientenkollektive retrospektiv über einen Zeitraum von 26 Jahren. Dieser große Beobachtungszeitraum ermöglichte es zum einen ein möglichst breites Kollektiv zu untersuchen und zum anderen alle postoperativen Nachuntersuchungen in die Auswertung einbeziehen zu können. Die Zusammensetzung der beiden Patientengruppen stellte sich weitgehend homogen dar. Es wurden insgesamt 178 Patienten im Alter von 8 bis 17 Jahren miteinbezogen, die sich sowohl hinsichtlich ihres Alters als auch hinsichtlich ihres Geschlechts gleichermaßen auf beide Patientenkollektive verteilten.

Beide Verfahren wurden unter nahezu gleichen Bedingungen eingesetzt, da sämtliche Eingriffe im Universitätsklinikum Münster durchgeführt wurden und dort langjährige Anwendung fanden. In der Gesamtbetrachtung sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Phemister-Methode hier bereits seit 1980 angewandt wurde, während das Canale-Verfahren dort erstmals 1998 zum Einsatz kam.

Wir untersuchten unsere Patientengruppen zum einen hinsichtlich klinischer Parameter und zum anderen hinsichtlich radiologischer Parameter. Auf diese Weise konnte eine breite Aussagekraft bezüglich der jeweiligen Effektivität des Verfahrens erreicht werden. Vor jedem Eingriff wurden Indikation, chronologisches Alter, Skeletalter sowie die klinische Beinlänge bzw. Achsabweichung des Patienten bestimmt. Während der Operation wurden Eingriffsdauer und Lokalisation der Epiphyseodese dokumentiert. Postoperativ beobachteten wir das Auftreten von Komplikationen, die Mobilisierung sowie die stationäre Verweildauer. In den einzelnen Nachuntersuchungen erfolgte die Bestimmung der postoperativen Beinlänge bzw. Achsabweichung und somit der Nachweis eines eventuellen Therapieerfolgs.

In unserem Patientenkollektiv erfolgten die Follow-Up-Untersuchungen nach unterschiedlichen Zeiträumen. So reichte die Spanne der postoperativen Nachuntersuchungen bei den Phemister-Patienten von 4 Monaten bis 5 Jahren, bei den Canale-Patienten von 2 Monaten bis 4 Jahren. Dieses Fehlen eines exakten Nachuntersuchungszeitpunkts mag mögliche Ungenauigkeiten hinsichtlich der Beurteilung des Therapieerfolgs hervorgerufen haben. Es wurde versucht, diese Abweichungen zu reduzieren, indem stets derjenige Messwert in die Auswertung einbezogen wurde, der dem Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses am nächsten lag.

Hinsichtlich der Definition des Therapieerfolgs bezogen wir uns auf die in der Fachliteratur verbreitete Auslegung, nach der eine Beinlängendifferenz von 1 cm oder weniger bis zum Zeitpunkt des Wachstumsendes erreicht sein sollte. So definiert HEFTI das Vorliegen einer Beinlängendifferenz als Beinlängenunterschied von 1 cm oder mehr [37].

Die Bestimmung der radiologischen Parameter erfolgte durch direkte Messung der jeweiligen Größen am Original-Röntgenbild. Auf diese Weise ließen sich personenabhängige Messfehler und Rückgriff auf möglicherweise ungenaue Dokumentationen vermeiden. Dabei führten wir unsere Messungen vorwiegend an den anterioposterioren Achsenstandaufnahmen durch, um eine exakte Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Aufnahmen zu erzielen. Problematisch stellte sich jedoch die Tatsache dar, dass in beiden Patientengruppen nur in etwa einem Drittel der Fälle sowohl prä- als auch postoperative Röntgenaufnahmen vorlagen und somit eine Aussage über den realen Therapieerfolg möglich war. Offensichtlich ergab sich bei den postoperativen Wiedervorstellungen vieler Patienten kein Bedarf einer erneuten radiologischen Kontrollmessung.

Bei Patienten mit einem Beinlängenunterschied führten wir jeweils eine Messung der absoluten Längendifferenz der Beine anhand o.g. Röntgenaufnahmen durch. Bei Patienten mit Achsabweichung erfolgte hingegen die Bestimmung verschiedener Extremitätenwinkel, die auch in anderen Studien breite Anwendung fanden [15, 17, 19].

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Indikation zur Epiphyseodese

In beiden Patientenkollektiven erfolgte die Epiphyseodese in erster Linie zum Ausgleich einer Beinlängendifferenz (Phemister: 79,8 %, Canale: 71,6 %). Ein deutlich geringerer Anteil an Patienten erhielt den Eingriff aufgrund einer Achsdeformität (Phemister: 14 %, Canale: 24,7 %). Dies lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass bei Achsabweichungen vorrangig temporäre Verfahren (z. B. Eight-Plates) Anwendung finden und den permanenten Epiphyseodesen damit vorgezogen werden. Auch STEVENS beschreibt in seiner Arbeit die Vorteile temporärer Verfahren bei Patienten mit Achsdeviation [73].

Weiterhin fällt auf, dass die Epiphyseodese vor allem seit Einführung des Canale-Verfahrens 1998 häufiger zum Ausgleich einer Achsabweichung eingesetzt wurde. Auch in der Literatur zeigt sich, dass bis Mitte der 90er Jahre bevorzugt Korrekturosteotomien zum Ausgleich von Genua valga bzw. vara eingesetzt wurden, da bei Anwendung der Epiphyseodese unter dieser Indikation häufig Rotationsfehler beschrieben worden sind [36, 37]. In den letzten Jahren jedoch findet die Hemiepiphyseodese als Verfahren der Wahl bei Achsfehlstellung zunehmend Erwähnung [3, 16, 82].

4.2.2 Lokalisation der Epiphyseodese

Wir stellten fest, dass die Epiphyseodese in beiden Patientengruppen in den meisten Fällen gleichzeitig an distalem Femur und proximaler Tibia durchgeführt wurde. Da etwa 65-70 % des Beinlängenwachstums auf die knienahen Epiphysenfugen entfallen [34, 70], kann auf diese Weise das höchstmögliche Korrekturpotential erreicht werden [25].

Schon CANALE setzte 1986 sein Verfahren bevorzugt als so genannte Panepiphyseodese an distalem Femur, proximaler Tibia und proximaler Fibula ein. Er begründet seine Auswahl in Abhängigkeit vom bleibenden Wachstumspotential der betreffenden Fuge sowie vom Abweichungsgrad [13]. Epiphyseodesen im Bereich der proximalen Fibula betrachtet CANALE jedoch nur dann als notwendig, wenn der gewünschte Wachstums-

stopp in der proximalen Tibia mehr als 2,5 cm beträgt [12]. Da bei isolierter Tibiaepiphyseodese potentiell das Risiko einer relativen Überlänge der Fibula bestehe, empfehlen einige Autoren in jedem Fall die Durchführung einer Fibulaepiphyseodese [67]. Letztendlich sollte für jeden Patienten individuell entschieden werden, ob eine fibuläre Beteiligung an der Epiphyseodese sinnvoll ist oder nicht.

4.2.3 Operationsdauer

Mit einer durchschnittlichen Eingriffsdauer von 54 Minuten erweist sich das Verfahren nach Canale als signifikant zeitsparender als die Phemister-Methode mit einer Operationsdauer von 103 Minuten im Mittel ($p < 0,001$). Diese fast um 50 % kürzere Eingriffsdauer lässt sich darauf zurückführen, dass es sich bei der Canale-Epiphyseodese um einen minimal-invasiven Eingriff handelt. Die Epiphyseodese nach Phemister erfordert die Ausmeißelung eines oder mehrerer großer Knochenblöcke, was zeitlich eindeutig aufwendiger ist als erstgenanntes Verfahren. Auch andere Studien zeigten eine deutlich geringere Eingriffsdauer bei Anwendung des Verfahrens nach Canale gegenüber dem Verfahren nach Phemister [2, 49, 76].

Der zeitliche Unterschied war vor allem bei Patienten mit der Indikation Beinlängendifferenz signifikant ausgeprägt; hier betrug die Eingriffsdauer für ein Phemister-Verfahren (108,6 Minuten) mehr als doppelt so viel wie die Operationsdauer des Canale-Verfahrens (53,9 Minuten). Dies wird darauf zurückzuführen sein, dass in diesen Fällen immer mindestens 2 oder sogar 4 Fugen operiert wurden. Bei Patienten mit der Indikation Achsdeviation reichte es hingegen aus, den Eingriff nur an einer oder max. 2 Wachstumsfugen durchzuführen, um eine Achsensymmetrie zu erreichen.

4.2.4 Postoperative Komplikationen

Ein wesentlicher Faktor zur Beurteilung der Überlegenheit eines der beiden Verfahren stellte die Komplikationsrate dar. Hier differenzierten wir zwischen Minor-Komplikationen (Gelenkerguss, Hämatom oberflächliche Wundinfektion, lokale Parästhesien, retropatellare Beschwerden) und Major-Komplikationen (tiefe Wundinfektion, Operationsversagen). Es zeigte sich, dass in der Phemister-Gruppe signifikant häu-

figer ($p = 0,006$) ein postoperativer Gelenkerguss auftrat (29,47 %) als bei Patienten aus der Canale-Gruppe (13,41 %). Major-Komplikationen traten nur bei Patienten auf, die nach der Phemister-Methode operiert worden waren (Phemister: 4,2 %, Canale: 0 %). Diese deutlich erhöhte Komplikationsrate in der Phemister-Gruppe lässt sich durch die höhere Invasivität dieses Verfahrens erklären. Durch die Verkleinerung der Zugänge auf Stichinzisionen treten beim Canale-Verfahren deutlich weniger Vernarbungen und Adhäsionen der kniegelenknahen Weichteile auf als bei der Methode nach Phemister. Auch GLADBACH und Kollegen beschreiben in ihrer Arbeit ein signifikant geringeres Komplikationsrisiko der perkutanen Methode [25]. Ebenso berichtet CANALE von einer deutlichen Reduktion des postoperativen Schmerzes nach minimal-invasiver Epiphyseodese [13]. HORTON und OLNEY untersuchten 1996 in ihrer Studie die Anwendung der perkutanen Methode und wiesen neben einer geringeren Inzidenz von Komplikationen auch eine kürzere Aufenthaltsdauer und ein kosmetisch günstigeres Ergebnis nach [42].

4.2.5 Postoperative Mobilisierung

Hinsichtlich der postoperativen Mobilisation stellt sich ein klarer Vorteil des Canale-Verfahrens gegenüber der Phemister-Methode dar. Während bei Patienten, die nach der Phemister-Technik operiert worden waren, in nahezu allen Fällen (92,3 %) eine Mobilisierung an Unterarmgehstützen erforderlich war, konnte fast die Hälfte der Canale-Patienten postoperativ sofort voll belastet werden (42 %). Auch LIOTTA berichtet von einer erschwerten postoperativen Mobilisation nach Phemister-Korrektur. So benötigten 40 % der nach Phemister operierten Patienten eine umfassende physiotherapeutische Behandlung, während diese nur bei 8 % der Canale-Patienten erforderlich war [49]. SURDAM und Kollegen beobachteten in ihrer Untersuchung eine kürzere Rehabilitationsphase bei Patienten, die nach der minimal-invasiven Methode nach Canale operiert worden waren [76].

4.2.6 Stationäre Aufenthaltsdauer

Auch in Bezug auf die stationäre Aufenthaltsdauer sehen wir einen höchst signifikanten Vorteil des Canale-Verfahrens gegenüber dem Phemister-Verfahren ($p < 0,001$). Wäh-

rend Patienten mit Phemister-Epiphyseodese durchschnittlich 25,9 Tage stationär behandelt wurden, konnten Patienten mit Canale-Epiphyseodese im Mittel schon nach 7,9 Tagen aus der stationären Behandlung entlassen werden. LIOTTA und Kollegen stellten ebenfalls eine kürzere Aufenthaltsdauer bei minimal-invasiv operierten Patienten (1,8 Tage) im Vergleich zu konventionell operierten Patienten (3,5 Tage) fest [49]. Auch EDMONDS und CAMPENS thematisieren in ihren Studien den verkürzten Klinikaufenthalt bei Durchführung perkutaner Verfahren [11, 20].

Weiterhin zeigt sich, dass Patienten mit Achsdeviation durchschnittlich 1 bis 2 Tage länger stationär behandelt werden mussten als Patienten mit Beinlängendifferenz. Dies könnte sich vor allem dadurch erklären, dass bei Ersteren häufig Begleiteingriffe (z. B. Valgisations-/ Varisationsosteotomien) erfolgten, die die postoperative Rehabilitation hinausgezögert haben.

Nachvollziehbar ist auch die Tatsache, dass die stationäre Aufenthaltsdauer bei Fällen mit perioperativen Komplikationen in beiden Patientengruppen durchschnittlich 3 Tage länger war als bei Fällen ohne Komplikationen.

4.2.7 Beinlängendifferenzen (Korrekturrate und –dauer)

In beiden Patientenkollektiven konnte eine Reduktion der Beinlängendifferenz um durchschnittlich 46,5 % (nach klinischer Messung) bzw. 27,7 % (nach radiologischer Messung) erreicht werden (Phemister: 44,8 % bzw. 16,1 %, Canale: 48,2 % bzw. 39,3 %). Während in der Phemister-Gruppe eine durchschnittliche Minderung des Beinlängenunterschieds um 1,3 cm (nach klinischer Messung) bzw. 0,5 cm (nach radiologischer Messung) verzeichnet werden konnte, erzielte die Canale-Gruppe im Mittel eine Reduktion um 1,7 cm (nach klinischer Messung) bzw. 1,4 cm (nach radiologischer Messung). Ein signifikanter Unterschied ließ sich hier sowohl nach klinischer als auch nach radiologischer Messung nicht nachweisen ($p = 0,873$ bzw. $p = 0,053$). Somit ist also bei beiden Verfahren von einer gleichermaßen ausgeprägten Effektivität auszugehen.

Bei Betrachtung der Korrekturdauer stellt sich jedoch ein Vorteil des Canale-Verfahrens dar. Hier betrug die durchschnittliche Dauer bis zum Ausgleich der Beinlängendifferenz

15,8 Monate. Bei den Phemister-Patienten ließ sich erst im Mittel nach 19,1 Monaten ein Beinlängenausgleich feststellen (Abb. 58). Ein statistisch signifikanter Unterschied ergab sich dabei jedoch nicht ($p = 0,272$).

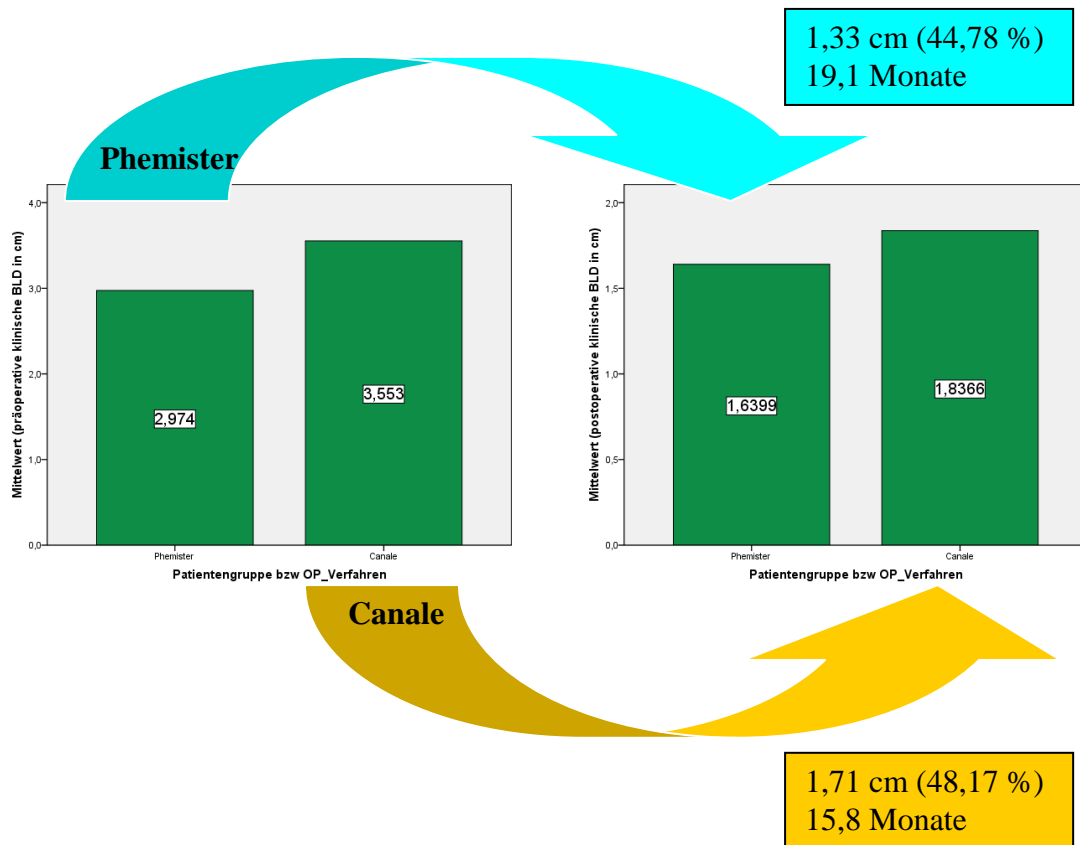


Abb. 58 Gruppenvergleich – Korrekturrate und –dauer

Betrachtet man das Vorliegen eines Therapieerfolgs (= Beinlängendifferenz ≤ 1 cm zum Zeitpunkt des Wachstumsabschlusses), so zeigt sich, dass in der Phemister-Gruppe in 41,4 % und in der Canale-Gruppe in 32,0 % ein Behandlungserfolg zu verzeichnen war. Gleichzeitig wurde in 44,3 % der Phemister-Fälle und in 30,6 % der Canale-Fälle das Therapieziel verfehlt. Letztendlich konnte jedoch keine eindeutige Aussage zur Überlegenheit eines der Verfahren hinsichtlich des Therapieerfolgs getroffen werden, da bei 14,3 % der Phemister-Patienten und bei 37,4 % der Canale-Patienten keine Angaben über Nachmessungen vorlagen (Abb. 59).

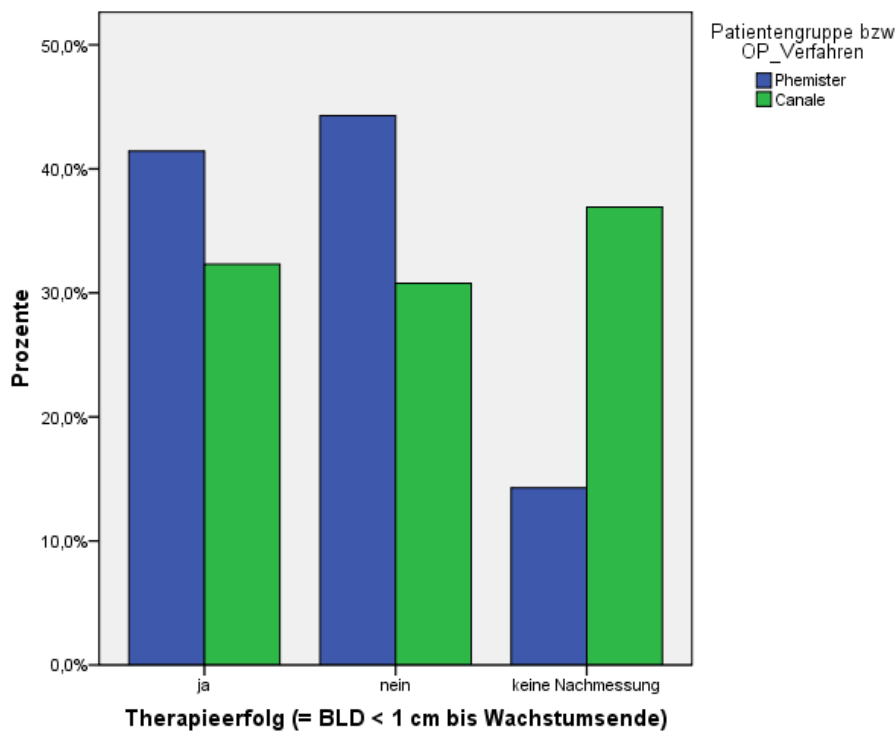


Abb. 59 Gruppenvergleich – Therapieerfolg bei Patienten mit BLD

4.2.8 Achsfehlstellung (Winkelkorrektur)

In der Phemister-Gruppe konnte keine signifikante Aussage zur Effektivität der Epiphyseodese bei Patienten mit Achsdeviation getroffen werden, da nur in 4 Fällen postoperative Nachmessungen erfolgten. Bei den Canale-Patienten ließ sich in 11 von 18 Fällen ein Therapieerfolg, d.h. eine Winkelkorrektur in den Normbereich, nachweisen. Dies entspricht einem Anteil von 61,1 %.

An dieser Stelle sollte berücksichtigt werden, dass bei Patienten mit Achsfehlstellung stets abgewogen werden sollte, ob nicht auch ein temporäres Verfahren, z. B. Eight-Plates, zu bevorzugen ist. So beschrieben BURGHARDT und Kollegen in ihrer 2008 veröffentlichten Studie, dass durch Anwendung der Eight-Plates bei 10 von 11 Patienten mit Achsdeviation eine vollständige Achskorrektur erreicht werden konnte [10].

5 Zusammenfassung

In der Zusammenschau der innerhalb dieser Studie und im Literaturvergleich gewonnenen Erkenntnisse können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Sowohl die Epiphyseodese nach Phemister als auch die Epiphyseodese nach Canale stellen eine effektive Technik zur Korrektur von Beinlängendifferenzen im Wachstumsalter dar. So konnte in unserer Untersuchung durch beide Verfahren eine Minderung des Beinlängenunterschieds um durchschnittlich 46,5 % erzielt werden. Die Korrekturdauer betrug in Abhängigkeit vom gewählten Operationsverfahren durchschnittlich 15,8 bis 19,1 Monate.

Wegen mangelnder Nachmessungsdaten konnte durch unsere Studie keine Aussage zur Überlegenheit eines der Verfahren bei der Achskorrektur getroffen werden. Es ließ sich jedoch nachweisen, dass durch die Canale-Methode in 61,1 % ein Ausgleich der Achsabweichung erreicht werden konnte.

Aufgrund der signifikant längeren Eingriffsdauer, einer deutlich erhöhten Rate an Komplikationen und einer erschwerten postoperativen Mobilisation im Vergleich zur perkutanen Methode ist das Verfahren nach Phemister zum Ausgleich einer Beinlängendifferenz heute als nicht mehr empfehlenswert zu betrachten. Ähnliche Beurteilungen sind in der Literatur mittlerweile zahlreich zu finden [49, 76, 82, 83]. Postoperative Bewegungseinschränkungen und länger dauernde Schmerzzustände wurden nach Anwendung der Phemister-Methode regelhaft beschrieben [34].

Das Verfahren nach Canale hingegen besticht in erster Linie durch seine unkomplizierte Ausführung sowie konsekutiv geringere Komplikationsrate und erleichterte postoperative Mobilisation. Diese Vorteile ließen sich in einigen wissenschaftlichen Studien belegen [25, 42]. Aufgrund dieser Eigenschaften führt die Canale-Methode zu einer signifikant kürzeren stationären Verweildauer im Vergleich zum Phemister-Verfahren, was nicht nur medizinisch, sondern auch wirtschaftlich von entscheidender Bedeutung ist.

Trotz aller vorzuweisender Vorteile der Canale-Methode sollte berücksichtigt werden, dass diese ein permanentes Verfahren darstellt und somit eine exakte präoperative Planung notwendig ist. So sind eine präzise Kalkulation des ausstehenden Wachstumspotentials sowie eine genaue Bestimmung des Skeletalters notwendig, um eine mögliche Über- oder Unterkorrektur zu vermeiden und ein optimales Langzeitergebnis zu erzielen.

6 Literaturverzeichnis

1 **Anderson M, Messner MB, Green WT (1964)**

Distribution of length of the normal femur and tibia in children from one to eighteen years of age

J Bone Joint Surg Am; Sep. 46: 1197-1202

2 **Atar D, Lehman WB, Grant AD et al. (1991)**

Percutaneous epiphysiodesis

J Bone Joint Surg Br. 73: 173

3 **Aykut U, Yazici M, Kandemir U, et al. (2001)**

The effect of temporary hemiepiphyseal stapling on the growth plate.

J Pediatr Orthop 25: 336-341

4 **Baumgart R, Bürklein D, Hinterwimmer S, Thaller P, Mutschler W (2005)**

The management of leg-length discrepancy in Ollier's disease with a fully implantable lengthening nail

J Bone Joint Surg Br. Jul 87 (7): 1000-1004

5 **Blount WP (1971)**

A mature look at epiphyseal stapling

Clin Orthop 77: 158-163

6 **Blount WP, Clarke GR (1949)**

Control of bone growth by epiphyseal stapling. Preliminary report

J Bone Joint Surg 31: 464-478

7 **Bowen JR, Johnson WJ (1984)**

Percutaneous epiphysiodesis.

Clin Orthop 190: 170-173.

- 8 Bowen JR, Leahey JL, Zhang ZH et al. (1985)**
Partial epiphyseodesis at the knee to correct angular deformity
Clin Orthop. 198: 184-190
- 9 Bowen JR, Torres RR, Forlin E (1992)**
Partial epiphyseodesis to address genu varum or valgum
J Pediatr Orthop 12: 359-364
- 10 Burghardt RD, Herzenberg JE, Standard SC, Paley D (2008)**
Temporary hemiepiphyseal arrest using a screw and plate device to treat knee and ankle deformities in children: a preliminary report
J Child Orthop 2: 187-197
- 11 Campens C, Mousny M, Docquier PL (2010)**
Comparison of three surgical epiphysiodesis techniques for the treatment of lower limb length discrepancy.
Acta Orthop Belg 76 (2): 226-32
- 12 Canale ST, Christian CA (1990)**
Techniques for epiphysiodesis about the knee.
Clin Orthop 255: 81-85
- 13 Canale ST, Claiborne AC (1986)**
Techniques for Epiphyseodesis About the Knee
Clin Orthop 25: 81-85
- 14 Canale ST, Russell TA, Holcomb RL (1986)**
Percutaneous epiphyseodesis: Experimental study and preliminary clinical results.
J Pediatr Orthop 6: 150

- 15 Castaneda P, Urquhart B, Sullivan E, Haynes RJ (2008)**
Hemiepiphyseodesis for the correction of angular deformity about the knee.
J Pediatr Orthop 28: 188-191
- 16 Cho TJ, In HC, Chin YC, Won JY, Moon SP, Dong YL (2009)**
Hemiepiphyseal stapling for angular deformity correction around the knee joint in children with multiple epiphyseal dysplasia.
J Pediatr Orthop 29: 52-56.
- 17 Davids JR, Blackhurst DW, Allen BL (2001)**
Radiographic evaluation of bowed legs in children.
J Pediatric Orthop 21: 257-263.
- 18 Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopäd. Chirurgie und BV der Ärzte für Orthopädie (Hrsg.) (2002)**
Leitlinien der Orthopädie
Dt. Ärzte-Verlag, 2. Aufl., Köln
- 19 Do TT (2001)**
Clinical and radiographic evaluation of bowlegs.
Curr Opin Pediatr 13: 42-46.
- 20 Edmonds EW, Stasikelis PJ (2007)**
Percutaneous epiphyseodesis of the lower extremity.
A comparison of single- versus double-portal techniques.
J Pediatr Orthop 27: 618-622.
- 21 Eichler J (1972)**
Methodische Fehler bei Feststellung der Beinlänge und der Beinlängendifferenzen.
Orthopäde 1: 14

- 22 Fadel M, Hosny G (2005)**
The Taylor spatial frame for deformity correction in the lower limbs
Int Orthop Apr 29(2): 125-9.
- 23 Franco V, Cipolla M, Gerullo G, Gianni E, Puddu G (2004)**
Öffnende Keilosteotomie des distalen Femurs beim Valgusknie
Orthopäde 33: 185-92
- 24 Gabriel KR, Crawford AH, Roy DR, True MS, Sauntry S (1994)**
Percutaneous epiphyseodesis.
J Pediatr Orthop 14: 358-362
- 25 Gladbach B, Pfeil J, Heijens E (2000)**
Die perkutane Epiphyseodese. Behandlung von Beinlängendifferenzen und Achs-
fehlstellungen in der Frontalebene
Orthopäde 29: 2-8
- 26 Gorman TM, Vanderwerff R, Pond M, MacWilliams B, Santora SD (2009)**
Mechanical axis following staple epiphysiodesis for limb-length inequality
J Bone Joint Surg Am 91: 2430-2439
- 27 Goyeneche RA, Primomo CE, Lambert N, Miscione H (2009)**
Correction of bone angular deformities: experimental analysis of staples versus 8-
plate
J Pediatr Orthop 29 (7): 736-740
- 28 Green WT, Anderson M (1957)**
Epiphyseal arrest for the correction of discrepancies in length of the lower
extremities
J Bone Joint Surg Am 39: 853-872

- 29 Green W, Anderson M (1960)**
Skeletal age and the control of bone growth
Am Acad Orthop Surg Inst Course Lect 1551: 199-218
- 30 Greulich WW, Pyle SI (1959)**
Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist
Stanford University Press, Stanford, CA
- 31 Grill F, Chochole M, Schultz A (1990)**
Beckenschiefstand und Beinlängendifferenzen
Orthopäde 19: 244-262
- 32 Günther KP, Thielemann F (2005)**
Orthopädische Komorbidität
In: Wabitsch M, Hebebrand J, Kiess W, Zwiauer K (Hrsg). Adipositas bei Kindern und Jugendlichen - Grundlagen und Klinik
Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo. 205–212
- 33 Guichet JM, Spivak JM, Trouilloud P, Grammont PM (1991)**
Lower Limb Discrepancies. An Epidemiological Study
Clinical Orthopaedics and Related Research 272: 235-241
- 34 Hasler CC (2000)**
Beinlängendifferenzen
Orthopäde 29: 766-774
- 35 Hasler CC, von Laer L (2000)**
Pathophysiologie posttraumatischer Deformitäten der unteren Extremität im Wachstumsalter
Orthopäde 29: 757-765

- 36 Hefti F (2000)**
Achsenfehler an den unteren Extremitäten
Orthopäde 29: 814-820
- 37 Hefti F, Hasler C (2006)**
Achsen und Längen
In: Kinderorthopädie in der Praxis. 2. Auflage
Springer Verlag, Berlin. 545-567
- 38 Hefti F, Laer L von, Morscher E (1991)**
Prinzipien der Pathogenese posttraumatischer Achsenfehler im Wachstumsalter
Orthopäde 20: 324-330
- 39 Hofmann S, Pietsch M (2007)**
Biomechanische Grundlagen und Indikationen bei der kniegelenksnahen Osteotomie
Arthroskopie 20: 270-276
- 40 Hooper G, Leslie H, Burn J, Schouten R, Beci I (2005)**
Oblique upper tibial opening wedge osteotomy for genu varum
Oper Orthop Traumatol 17: 662-73
- 41 Horn CF (1998)**
Biomechanische Grundlagenbetrachtungen zur Beckenstatik aus dem Blickwinkel der Dynamischen Wirbelsäulen-Therapie.
Physikalische Therapie 1998.
- 42 Horton GA, Olney BW (1996)**
Epiphysiodesis of the lower extremity: results of the percutaneous technique
J Pediatr Orthop 16 (2): 180-182

- 43 Inan M, Chan G, Bowen JR (2006)**
Correction of angular deformities of the knee by percutaneous hemiepiphysodesis
Clin. Orthop 456: 164-169
- 44 Kemnitz S, Moens P, Fabry G (2003)**
Percutaneous epiphysiodesis for leg length discrepancy
J Pediatr Orthop 12: 69-71
- 45 Keppler P, Suger G, Strecker W, Kinzl L (2002)**
Korrekturen bei Asymmetrien der unteren Extremität
Chirurg 73: 982-989
- 46 Khoury JG, Tavares JO, McConnell S, Zeiders G, Sanders JO (2007)**
Results of screw epiphysiodesis for the treatment of limb length discrepancy and
angular deformity
J Pediatr Orthop Sep 27(6): 623-628
- 47 Konermann W, Gruber G (2002)**
Die sonographische Bestimmung der Beinlänge
Orthopäde 31: 300-305
- 48 Leidinger B, Winkelmann W, Rödl R (2006)**
Limb lengthening with a fully implantable mechanical distraction intramedullary
nail
Z Orthop Ihre Grenzgeb.; Jul-Aug 144(4): 419-426
- 49 Liotta FJ, Ambrose TA, Eilert RE (1992)**
Fluoroscopic technique versus Pnemister technique for epiphysodesis.
J Pediatr Orthop 16: 180-182

- 50 Menelaus MB (1966)**
Correction of leg length discrepancy by epiphyseal arrest.
J Bone Joint Surg Br 48: 336-339
- 51 Metaizeau JP, Wong-Chung J, Bertrand H, Pasquier P (1998)**
Percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws (PETS)
J Pediatr Orthop; May-Jun; 18(3): 363-369
- 52 Milz S, Boszczyk A, Putz R (2002)**
Entwicklung und funktionelle Struktur der Epiphysenfugen
Orthopäde 31: 835-840
- 53 Morscher E (1972)**
Beinlängenunterschiede
In: Die Orthopädische Versorgung des Fußes
Stuttgart 1972. 119-120
- 54 Morscher E, Figner G (1972)**
Die Messung der Beinlängen
Orthopäde 1: 9-13
- 55 Moseley CF (1977)**
A straight line graph for leg-length discrepancies
J Bone Joint Surg (Am) 59: 174-179
- 56 Niethard FU (2019)**
Beinlängendifferenzen.
In: Kinderorthopädie (2. Aufl.)
Stuttgart 2010: 85-92.

- 57 Niethard M, Deja M, Rogalski M (2010)**
Correction of angular deformity of the knee in growing children by temporary hemiepiphyseodesis using the eight-plate
Z Orthop Unfall 148 (2): 215-221
- 58 Nilsson O, Marino R, De Luca F, Moshe P, Baron J (2005)**
Endocrine Regulation of the Growth Plate
Horm Res 64: 157-165
- 59 Nouh F, Kuo LA (2004)**
Percutaneous Epiphyseodesis Using Transphyseal Screws (PETS)
J Pediatr Orthop 24: 721-725
- 60 Nourbakhsh M, Arab A (2002)**
Relationship between mechanical factors and incidence of low back pain
J Orthop Sports Phys Ther 32: 447-460
- 61 Paley D (2002)**
Principles of deformity correction
1. edn. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokio: 1-18
- 62 Paley D, Bhave A, Herzenberg JE, Bowen JR (2000)**
Multiplier method for predicting limb-length discrepancy
J Bone Joint Surg Am 82: 1432-1446
- 63 Paley D, Pfeil J (2000)**
Prinzipien der kniegelenknahen Deformitätenkorrektur
Orthopäde 29: 18-38
- 64 Papaioannou T, Stokes I, Kenwright J (1982)**
Scoliosis associated with limb-length inequality
J Bone Joint Surg Am 64 (1): 59-62

- 65 Pfeil J, Grill F, Graf R (1996)**
Extremitätenverlängerung, Deformitätenkorrektur, Pseudarthrosenbehandlung
Berlin 1996: 81-83
- 66 Phemister DB (1933)**
Operative arrestment of longitudinal growth of bone in the treatment of deformities
J Bone Joint Surg 15: 1-15
- 67 Porat S, Peyer A, Robin GC (1991)**
Equalization of lower limbs by epiphyseodesis: results of treatment
J Pediatr Orthop 11: 442-448
- 68 Rasis LW, Betz RR, Clancy M, Ostrum RF, Steel HH (1988)**
Comparison of percutaneous versus open epiphysiodesis for leg length discrepancy
Proc. American Academy of Orthopaedic Surgeons 55th Annual Meeting, Atlanta, Feb. 6
- 69 Reinecke M, Schmidt AC, Heyberger-Meyer B et al. (2000)**
Effect of growth hormone and insulin-like factor I (IGF-I) on the expression of IGF-I messenger ribonucleic acid and peptide in rat tibial growth plate and articular chondrocytes in vivo
Endocrinology 141: 2847-2853
- 70 Rose R, Fuentes A, Hamel BJ, Dzialo CJ (1999)**
Pediatric Leg Length Discrepancy: Causes and Treatments
Orthopaedic Nursing March / April: 21-29
- 71 Rüttimann B, Böni T (2000)**
Krumme und kurze Beine. Ein historischer Rückblick
Orthopäde 29: 750-756

- 72 Salenius P, Vankka E (1975)**
The development of the tibiofemoral angle in children.
J Bone Joint Surg Am 57 (2): 259-261
- 73 Stevens PM (2007)**
Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate
J Pediatr Orthop 27 (3): 253-259
- 74 Stevens PM, Pease F (2006)**
Hemiepiphyseodesis for posttraumatic tibial valgus
J Pediatr Orthop 26: 385-92
- 75 Strecker W, Keppler P, Kinzl L (1997)**
Die klinische Untersuchung der Beingeometrie
In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (Hrsg). Posttraumatische Beindeformitäten
Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo: 9
- 76 Surdam JW, Morris CD, DeWeese JD et al. (2003)**
Leg length inequality and epiphysiodesis: review of 96 cases
J Pediatr Orthop 23 (3): 381-384
- 77 Terjesen T, Benum P, Rossvoll I, Svenningsen S, Floystad Isern AE, Nordbo T (1991)**
Leg-length discrepancy measured by ultrasonography
Acta Orthop Scand 62: 121-124
- 78 Tjernstrom B, Rehnberg L (1994)**
Back pain and arthralgia before and after lengthening. 75 patients questioned after 6 (1-11) years
Acta Orthop Scand 65: 328-332

- 79 Van der Eerden BCJ, Karperien M, Wit JM (2003)**
Systemic and Local Regulation of the Growth Plate
Endocrine Reviews 24 (6): 782-801
- 80 Wagner H (1972)**
Technik und Indikation der operativen Verkürzung und Verlängerung von
Ober- und Unterschenkel
Orthopäde 1: 59-74
- 81 Wasmer G, Pförringer W (1987)**
Ultrastruktur und Biochemie der Epiphysenfuge
In: Pförringer W, Rosemeyer B (Hrsg) Die Epiphysenfugen
perimed. Erlangen
- 82 Westhoff B, Jäger M, Krauspe R (2007)**
Kindliche Beinachsen
Orthopäde 36: 485-500
- 83 Westhoff B, Wild A, Krauspe R (2002)**
Entwicklung der Beinachse im Kindesalter und Therapieoptionen bei kniege-
lenksnahen Fehlstellungen
Orthopäde 31: 1198-1209

7 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
aFT	anatomischer Femorotibialwinkel
aLDFW	anatomischer lateral-distaler Femurwinkel
a. p.	anterioposterior
BAD	Beinachsendiformität
BLD	Beinlängendifferenz
BMP-VII	Bone morphogenetic protein VII
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
d	Tage
d. h.	das heißt
dt.	deutsch
engl.	englisch
GH	Growth Hormon
IGF-1	Insulin growth factor 1
Kap.	Kapitel
min.	Minuten
mind.	mindestens
mLDFW	mechanischer lateral-distaler Femurwinkel
mm	Millimeter
MPTW	medial-proximaler Tibiawinkel
n	Anzahl
o. g.	oben genannte/r/s
OSG	oberes Sprunggelenk
PETS	percutaneous epiphyseodesis using transphyseal screws
Std.	Stunde/n
Tab.	Tabelle
UAG	Unterarmgehstützen
vs.	versus

8 Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1 Genua valga (links) und Genua vara (rechts) in der Achsenstandaufnahme</i>	6
<i>Abb. 2 Verlauf der Mikulicz-Linie</i>	9
<i>Abb. 3 Physiologische Achsen und Winkel der unteren Extremität nach Paley</i>	10
<i>Abb. 4 Achsenstandaufnahme zur präoperativen Planung bei Genua vara</i>	10
<i>Abb. 5 Aufbau der Wachstumsfuge</i>	16
<i>Abb. 6 Röntgenaufnahme der linken Hand zur Skeletalterbestimmung</i>	18
<i>Abb. 7 Blount'sche Klammerung</i>	21
<i>Abb. 8 Eight-Plate der proximalen Tibia</i>	22
<i>Abb. 9 Phemister-Epiphyseodese der proximalen Tibia</i>	23
<i>Abb. 10 Verlauf der Mikulicz-Linie (normal – Genua valga – Genua vara)</i>	35
<i>Abb. 11 Indikation zur Epiphyseodese in der Phemister-Gruppe</i>	40
<i>Abb. 12 Lokalisation der Epiphyseodese in der Phemister-Gruppe</i>	41
<i>Abb. 13 Lokalisation am Knochen in der Phemister-Gruppe</i>	42
<i>Abb. 14 Chronologisches Alter präoperativ in der Phemister-Gruppe</i>	43
<i>Abb. 15 Operationsdauer (in Minuten) in der Phemister-Gruppe</i>	45
<i>Abb. 16 Häufigkeit eines postoperativen Gelenkergusses in der Phemister-Gruppe</i>	46
<i>Abb. 17 Postoperative Mobilisierung in der Phemister-Gruppe</i>	48
<i>Abb. 18 Dauer des stationären Aufenthalts (in Tagen) in der Phemister-Gruppe</i>	49
<i>Abb. 19 BLD präoperativ (klinisch gemessen) in der Phemister-Gruppe</i>	50
<i>Abb. 20 BLD postoperativ (klinisch gemessen) in der Phemister-Gruppe</i>	51
<i>Abb. 21 Therapieerfolg bei Patienten mit BLD in der Phemister-Gruppe</i>	52
<i>Abb. 22 Skeletalter in Jahren präoperativ in der Phemister-Gruppe</i>	53
<i>Abb. 23 Verteilung des Skeletalters in den Altersgruppen in der Phemister-Gruppe</i>	54
<i>Abb. 24 Vergleich prä- und postoperative BLD in der Phemister-Gruppe</i>	56
<i>Abb. 25 Art der Achsabweichung in der Phemister-Gruppe</i>	57
<i>Abb. 26 Indikation zur Epiphyseodese in der Canale-Gruppe</i>	59
<i>Abb. 27 Lokalisation der Epiphyseodese in der Canale-Gruppe</i>	60
<i>Abb. 28 Lokalisation am Knochen in der Canale-Gruppe</i>	61
<i>Abb. 29 Chronologisches Alter präoperativ in der Canale-Gruppe</i>	62
<i>Abb. 30 Operationsdauer (in Minuten) in der Canale-Gruppe</i>	63

<i>Abb. 31 Häufigkeit eines postoperativen Gelenkergusses in der Canale-Gruppe</i>	64
<i>Abb. 32 Postoperative Mobilisierung in der Canale-Gruppe</i>	65
<i>Abb. 33 Dauer des stationären Aufenthalts in Tagen in der Canale-Gruppe</i>	66
<i>Abb. 34 BLD präoperativ (klinisch gemessen) in der Canale-Gruppe</i>	67
<i>Abb. 35 BLD postoperativ (klinisch gemessen) in der Canale-Gruppe</i>	68
<i>Abb. 36 Therapieerfolg bei Patienten mit BLD in der Canale-Gruppe</i>	69
<i>Abb. 37 Skeletalter präoperativ in Jahren in der Canale-Gruppe</i>	70
<i>Abb. 38 Verteilung des Skeletalters in den Altersgruppen in der Canale-Gruppe</i>	71
<i>Abb. 39 Vergleich prä- und postoperative BLD in der Canale-Gruppe</i>	73
<i>Abb. 40 Art der Achsabweichung in der Canale-Gruppe</i>	74
<i>Abb. 41 Gruppenvergleich – Indikation zur Epiphyseodese</i>	77
<i>Abb. 42 Gruppenvergleich – Lokalisation der Epiphyseodese</i>	78
<i>Abb. 43 Gruppenvergleich – Chronologisches Alter präoperativ (geschlechtsspezifisch)</i>	79
<i>Abb. 44 Gruppenvergleich – Altersverteilung der OP-Indikation</i>	80
<i>Abb. 45 Gruppenvergleich – Operationsdauer (in Minuten)</i>	81
<i>Abb. 46 Gruppenvergleich – Eingriffsdauer (in Minuten)</i>	82
<i>Abb. 47 Gruppenvergleich – Häufigkeit eines postoperativen Gelenkergusses</i>	83
<i>Abb. 48 Gruppenvergleich – Postoperative Mobilisierung</i>	84
<i>Abb. 49 Gruppenvergleich – Dauer des stationären Aufenthalts (in Tagen)</i>	85
<i>Abb. 50 Gruppenvergleich – Aufenthaltsdauer (in Tagen)</i>	86
<i>Abb. 51 Gruppenvergleich – Aufenthaltsdauer (in Tagen)</i>	87
<i>Abb. 52 Gruppenvergleich – BLD präoperativ in cm (klinisch gemessen)</i>	88
<i>Abb. 53 Gruppenvergleich – BLD postoperativ in cm (klinisch gemessen)</i>	89
<i>Abb. 54 Gruppenvergleich – Therapieerfolg bei Patienten mit BLD</i>	90
<i>Abb. 55 Gruppenvergleich – Skeletalter präoperativ in Jahren (nach Geschlecht)</i>	91
<i>Abb. 56 Gruppenvergleich – Beinlängendifferenz präoperativ in cm</i>	92
<i>Abb. 57 Gruppenvergleich – BLD postoperativ in cm (radiologisch gemessen)</i>	94
<i>Abb. 58 Gruppenvergleich – Korrekturrate und –dauer</i>	103
<i>Abb. 59 Gruppenvergleich – Therapieerfolg bei Patienten mit BLD</i>	104

9 Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 1 Schweregrade von Wachstumsstörungen</i>	19
<i>Tab. 2 Zusammensetzung der Patientengruppen</i>	29
<i>Tab. 3 Komplikationen nach Epiphyseodese</i>	31
<i>Tab. 4 Normwerte der Extremitätenwinkel nach Paley</i>	36
<i>Tab. 5 Liste der Mehrfacheingriffe in der Phemister-Gruppe</i>	44
<i>Tab. 6 Eingriffsdauer nach Anzahl der operierten Fugen in der Phemister-Gruppe</i>	45
<i>Tab. 7 Art der sonstigen postoperativen Komplikationen in der Phemister-Gruppe</i>	47
<i>Tab. 8 Mittlere Epiphysenfugenbreite präoperativ in der Phemister-Gruppe</i>	55
<i>Tab. 9 Liste der Mehrfacheingriffe in der Canale-Gruppe</i>	63
<i>Tab. 10 Eingriffsdauer nach Anzahl der operierten Fugen in der Canale-Gruppe</i>	64
<i>Tab. 11 Art der sonstigen postoperativen Komplikationen in der Canale-Gruppe</i>	65
<i>Tab. 12 Mittlere Epiphysenfugenbreite präoperativ in der Canale-Gruppe</i>	72
<i>Tab. 13 Extremitätenwinkel bei Varusabweichung (Canale-Gruppe)</i>	75
<i>Tab. 14 Extremitätenwinkel bei Valgusabweichung (Canale-Gruppe)</i>	75
<i>Tab. 15 Mittlere Winkelkorrektur bei Valgusabweichung (Canale-Gruppe)</i>	76
<i>Tab. 16 Therapieerfolg bei Valgusfehlstellung (Canale-Gruppe)</i>	76
<i>Tab. 17 Gruppenvergleich – Epiphysenfugenbreite präoperativ</i>	92
<i>Tab. 18 Vergleich der klinischen und radiologischen BLD-Messung (präoperativ) in der Phemister-Gruppe</i>	93
<i>Tab. 19 Vergleich der klinischen und radiologischen BLD-Messung (präoperativ) in der Canale-Gruppe</i>	93
<i>Tab. 20 Vergleich der klinischen und radiologischen BLD-Messung (postoperativ) in der Phemister-Gruppe</i>	94
<i>Tab. 21 Vergleich der klinischen und radiologischen BLD-Messung (postoperativ) in der Canale-Gruppe</i>	95

10 Erklärung der Selbstständigkeit

“Ich, Miriam Eva Kreuziger, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema „Permanente Epiphyseodese in den Techniken von Phemister und Canale – Eine klinische und radiologische Vergleichsstudie“ ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.“

Münster, 01.08.2011

Miriam Kreuziger

11 Lebenslauf

12 Anhang

12.1 Danksagung

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

Weiterhin gilt mein herzlicher Dank Herrn Dr. med. Tim Christopher Buller für die geduldige Einführung in die Thematik und die langjährige kompetente Unterstützung im Rahmen der Datenerhebung und Hilfe bei der Ergebnisauswertung und Erstellung dieser Arbeit. Ganz besonders möchte ich mich auch bei Herrn Dr. med. Björn Vogt bedanken, der mir insbesondere in den letzten Monaten mit sehr viel Geduld und Rat bei der Fertigstellung und Korrektur dieser Arbeit beigestanden hat.

Nicht zuletzt bin ich meinen Eltern Dieter und Doris Kreuziger zu außerordentlichem Dank verpflichtet, da sie mir das Studium der Humanmedizin ermöglicht und die Fertigstellung meiner Dissertation unterstützt haben. Danken möchte ich auch allen anderen Familienmitgliedern und Freunden, die mir Rückhalt gegeben und mich ermutigt haben diese Arbeit zu bewerkstelligen.