

Behandlungsergebnisse nach Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia

Resultate einer prospektiven multizentrischen Studie

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereiches Medizin
an der Justus-Liebig-Universität Gießen

Vorgelegt von Leutheuser, Sebastian
aus Wetzlar

Gießen 2018

Aus der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, unter
der Leitung von Prof. Dr. Christian Heiß,
des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: PD Dr. Ralf Kraus
Gutachter: Prof. Dr. Markus Rickert

Tag der Disputation: 21.03.2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Überblick	1
1.2	Wachstumsphysiologie der distalen Tibia	2
1.3	Korrekturpotential der distalen Tibia	5
1.4	Klassifikation der Frakturen der distalen Tibia	6
1.5	Epidemiologie der Fugenlösungen der distalen Tibia	10
1.6	Diagnostik der Fugenlösungen	11
1.7	Therapieempfehlungen	12
1.8	Belassene Achsabweichungen und Wachstumsstörungen	13
1.9	Zielsetzung der Arbeit	16
2	Material und Methode	17
2.1	Studiendesign	17
2.1.1	<i>Ein- und Ausschlusskriterien</i>	19
2.1.2	<i>Studienplan</i>	20
2.1.3	<i>Zeitplan</i>	21
2.1.4	<i>Anleitung klinische Untersuchung und Fotodokumentation</i>	21
2.1.5	<i>Anleitung radiologische Untersuchung</i>	22
2.1.6	<i>Fragebögen</i>	22
2.1.7	<i>Datenschutz und Patientenidentifikation</i>	26
2.1.8	<i>Teilnehmende Kliniken</i>	28
2.2	Statistische Methoden	30
2.3	Aquirierung der Patientengruppe	30
3	Ergebnisse	31
3.1	Ergebnisse der Primärerhebung	31
3.1.1	<i>Charakterisierung der Patientengruppe</i>	31
3.1.2	<i>Frakturklassifikation</i>	34
3.1.3	<i>Behandlung</i>	41
3.1.4	<i>Verlauf</i>	44
3.2	Ergebnisse der Follow-up Untersuchungen	44
3.2.1	<i>Nachuntersuchungen zu definierten Zeitpunkten</i>	44
3.2.2	<i>Aktivitäten im Alltag</i>	45
3.2.3	<i>Subjektive Beurteilung</i>	47
3.2.4	<i>Klinische Beurteilung</i>	48

3.2.5	<i>Funktionelle Einschränkungen (Wachstumsstörungen)/Achse und Funktion</i>	56
3.3	Signifikanzstatistische Auswertung der deskriptiven Ergebnisse	62
3.3.1	<i>Einfluss der Patientencharakteristika auf die Entstehung von Wachstumsstörungen</i>	62
3.3.2	<i>Einfluss des Unfallmechanismus auf die Entstehung von Wachstumsstörungen</i>	64
4	Diskussion	67
4.1	Diskussion der Primärergebnisse	67
4.2	Diskussion der Follow-up Untersuchungen	72
4.3	Diskussion der signifikanzstatistischen Auswertung	80
4.4	Limitationen der vorliegenden Studie	87
5	Klinische Bedeutung, Empfehlungen, Perspektive	88
6	Zusammenfassung	89
7	Abstract	90
8	Abkürzungsverzeichnis	92
9	Abbildungsverzeichnis	93
10	Tabellenverzeichnis	95
11	Literaturübersicht	96
12	Anhang	101
12.1	Aufklärungsbogen	101
12.2	Einwilligungserklärung	102
12.3	Primäruntersuchungsbogen	103
12.4	Follow-up-Bogen	105
13	Publikationsverzeichnis	107
	Erklärung zur Dissertation	108
	Danksagung	109

1 Einleitung

1.1 Überblick

Traumatische Epiphysenlösungen sind seltene Verletzungen des heranwachsenden Skeletts und werden in der kindertraumatologischen Forschung nicht häufig untersucht. Die distale Tibia stellt die häufigste Prädilektionstelle der unteren Extremität für diese Frakturart dar und macht dort dennoch nur 2,8% aller Frakturen im Wachstumsalter aus, beruhend auf einer Studie von Jonasch und Bertel mit 62348 Frakturen auftretend zwischen der Geburt und dem 14. Lebensjahr [35]. Insgesamt machen die Verletzungen der Epiphysenfugen am oberen Sprunggelenk 10-25% aller Wachstumsfugenverletzungen aus und sind damit die häufigsten Verletzungen von Epiphysenfugen eines lasttragenden Gelenks [69]. Somit handelt es sich um eine nicht oft auftretende Fraktur mit jedoch zum Teil gravierenden Auswirkungen für den jungen Patienten. Die Seltenheit von Epiphysenlösungen der distalen Tibia erklärt die spärliche Datenlage in der aktuellen Literatur [46]. Das Risiko des Auftretens von Wachstumsstörungen macht eine systematische Untersuchung dafür umso wichtiger.

Insgesamt befassen sich aktuelle Studien fast ausschließlich mit retrospektiven Patientenkollektiven zu diesem Thema, beziehen sich meist nur auf sehr kleine Fallzahlen oder behandeln kleine Teilbereiche einer multifaktoriellen Thematik [72, 83, 84, 88]. Seel et al. beschreiben beispielsweise ein retrospektives Kollektiv von 725 Tibiafrakturen im Wachstumsalter, darunter 129 Epiphyseolysen, in einem Zeitraum von 15 Jahren und beziehen sich dabei hauptsächlich auf das Dislokationsausmaß nach Reposition. Sie konnten jedoch keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Dislokationsausmaß und Behandlungsergebnis darstellen [84]. Schurz et al. gelingt es hingegen, den positiven Einfluss einer anatomischen offenen oder geschlossenen Reposition in einem Kollektiv von 376 Patienten aufzuzeigen [83]. Einhergehend bestätigen Podeszwa und Mubarak in ihrer Studie „Physeal Fractures of the Distal Tibia and Fibula“ das Risiko eines frühzeitigen Wachstumsfugenverschlusses bei verbleibenden Fehlstellungen über 3mm nach Reposition, vermutlich durch eingeklemmtes Periost. Ein weiteres entscheidendes Problem ist die unscharfe, unzureichende Trennung vornehmlich in der amerikanischen Literatur

zwischen der metaphysären Epiphysenfugenlösung und den epiphysären Epiphysenfrakturen [45, 46, 80].

Aus den genannten Gründen erschien eine prospektive Erfassung von Inzidenz, Behandlungsstrategien und Outcome in Bezug auf die Entwicklung posttraumatischer Wachstumsstörungen und ihrer Folgen mehr als sinnvoll zu sein.

1.2 Wachstumsphysiologie der distalen Tibia

Das Wachstum der Röhrenknochen setzt sich zusammen aus einem Längen- und einem Dickenwachstum. Besondere Bedeutung für das Verständnis der Epiphyseolysen hat insbesondere das Längenwachstum, worauf im Folgenden näher eingegangen wird. Dieses wird durch die Wachstumsfuge (Physis) übernommen und besteht hauptsächlich aus zwei Anteilen, einem epiphysären Anteil mit Proliferationstendenz (germinativer Anteil) und einem metaphysären Anteil ohne Proliferationstendenz. Im epiphysären Teil überwiegt der Matrixanteil und im metaphysären Teil hingegen der Zellanteil. Die Knorpelzellen entwickeln sich über verschiedene Zwischenstufen zu aufgeblasenen Knorpelzellen. Durch Mineralisationsvorgänge wird die sie umgebende Matrix endgültig umgebaut und ossifiziert [95].

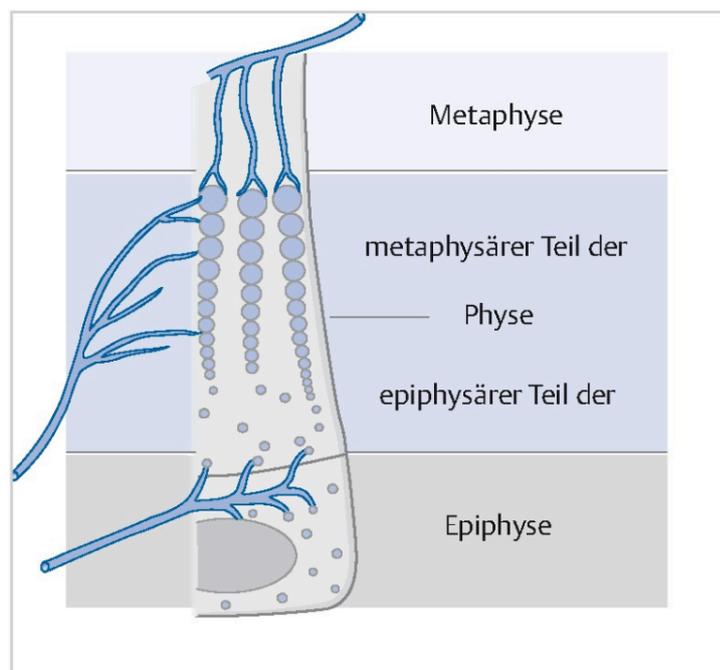


Abbildung 1: Aufbau einer Epiphysenfuge [95]

Die Blutversorgung der Region der Wachstumsfugen findet durch gesonderte Gefäßsysteme statt. Es gibt ein meta- und ein epiphysäres Gefäßsystem. Zusätzlich besteht eine perichondrale/periostale Blutversorgung. Die Epiphysenfuge wird vom Perichondrium umgeben und wird selbst nicht durch Gefäße durchdrungen. Hierüber scheinen ein epiphysärer und ein metaphysärer Kreislauf kommunizieren zu können [37, 95] (Abbildung 1).

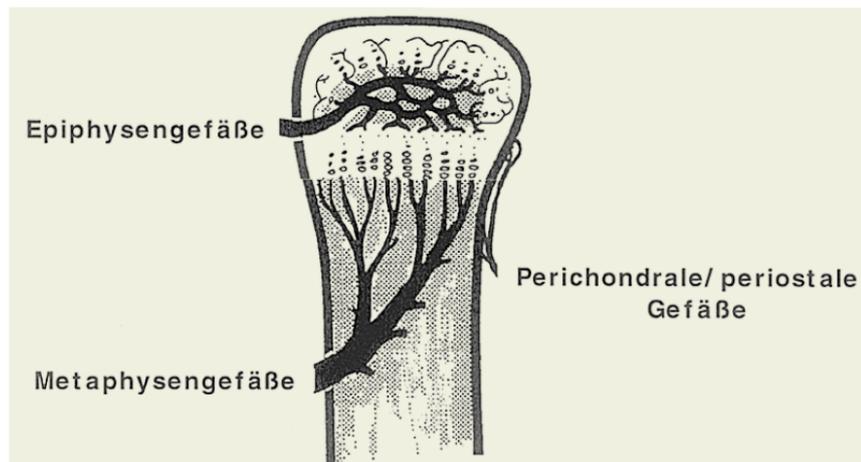


Abbildung 2: Schema Gefäßversorgung im Bereich der Wachstumsfuge nach Seifert [37]

Lyseverletzungen vom Typ I und II nach Salter und Harris beeinträchtigen die generative Zone der knorpeligen Wachstumsfuge nicht. In seltenen Fällen kann es bei starker Dislokation zu Schäden der Gefäße im Epiphysenbereich oder zu mechanischer Schädigung der germinativen Zone kommen [24, 37] (Abbildung 2), wodurch Knochenmarkszellen, Osteoblasten und -klasten aus der Epiphyse in die frakturierten vertikalen Septen eindringen [98]. Bei Epiphysenfrakturen vom Typ III und IV nach Salter und Harris hingegen kommt es regelhaft zu epiphysären Gefäßverletzungen [24] und damit einem erhöhten Risiko für die Entstehung von Wachstumsstörungen.

Klassifikation					
					
Salter	I	II	III	IV	V
Aitken	-	1	2	3	-
van Laer	Schafffraktur		Gelenkverletzung		
	Lyseverletzungen		Epiphysenfrakturen		

Abbildung 3: Einteilung der Verletzungstypen nach unterschiedlichen Autoren [37]

Das Patientenalter beziehungsweise das verbleibende Restwachstum scheinen in Hinsicht auf die Entstehung von Wachstumsstörungen eine entscheidende Rolle zu spielen [31]. Beals beschreibt bereits 1990 bei Traumata des prämaternen Knochens den frühzeitigen Fugenverschluss mit geringgradiger Verkürzung nach passagerem Längenzuwachs [5] in Abhängigkeit vom Alter. Auf diesen und weiteren Grundlagen [3, 36] konnten Hasler und van Laer eine grobe Regel bezüglich der stimulativen Wachstumsstörungen erstellen nach, welcher Kinder unter dem 10. Lebensjahr eher zu einer Verlängerung (Funktionssteigerung mit passagerer Längenzunahme) und nach dem 10. Lebensjahr eher zu einer Verkürzung (vorzeitiges Ausreifen der Fuge) der betroffenen Extremität tendieren [29]. Stimulative Wachstumsstörungen entstehen durch eine Aktivitätssteigerung der beteiligten Epiphysenfugen, welche durch eine lokale Hyperämie und die Ausschüttung von Wachstumsfaktoren begleitet werden [5, 42]. Fugenstimulationen sind auf die Dauer der Umbauvorgänge und Frakturkonsolidation begrenzt, während die Hemmung einer Fuge erst mit dem Verschluss derselben sistiert. Die Auswirkung der Stimulation hängt demzufolge vom Alter des Patienten und der Dauer der gesteigerten Aktivität ab [29].

1.3 Korrekturpotential der distalen Tibia

Das Wachstumspotential des heranreifenden kindlichen Skelettes ist sehr dynamisch und erlaubt es, im Gegensatz zum Skelett des Erwachsenen, spontane Korrekturen in den Behandlungsplan der Frakturen im Kindesalter mit einzubeziehen. Dabei ist das Korrekturpotential vom Alter des Patienten, von der Lokalisation der Fraktur - diaphysär oder metaphysär - und von der Relevanz der angrenzenden epiphysären Fugen für das Längenwachstum abhängig [76]. Damit variiert auch das Korrekturpotential der frakturierten Extremitäten vom Wachstumsanteil der nächstgelegenen Fuge. Funktionelle Belastung durch die umgebende Muskulatur, die Fraktur umgebenden Gelenke und die statische Belastung spielen in nicht unerheblichem Ausmaß eine wichtige Rolle [95].

Die proximale und distale Epiphysenfuge sind in unterschiedlichem Maße am Längenwachstum des einzelnen Knochens beteiligt (Exzentrizität) [62] und die Wachstumsprognose knöcherner Extremitätenverletzungen weist erhebliche Unterschiede zwischen oberer und unterer Extremität auf. Generell ist die Exzentrizität an der oberen Extremität ausgeprägter als an der unteren. Hochprozentig wachsende Fugen verschließen sich deutlich später als die niedrigprozentig wachsenden Fugen. Achsabweichungen mit engerer Beziehung zu hochprozentig wachsenden Fugen werden dementsprechend besser korrigiert [95]. Die proximale Fuge der Tibia trägt ca. 55% und der distale ca. 45% zum Längenwachstum des Schienbeines bei. Demzufolge tragen distale und proximale Tibia in annähernd gleichen Anteilen zum Längenwachstum des Knochens bei. In starken Wachstumsphasen der kindlichen Entwicklung trägt allein die distale Fuge der Tibia bis zu 6mm pro Jahr zum Längenwachstum bei [49].

Achsabweichungen und Seit-zu-Seit-Verschiebungen werden durch periostalen Anbau auf der Seite des größeren Drucks und endostalen Abbau auf der Zugseite korrigiert. Dies funktioniert in der Hauptbewegungsebene oder Sagittalebene bei den Ante- und Rekurvationsfehlern grundsätzlich besser als in der Frontalebene; bei den Varus- und Valgusfehlern und an belasteten Extremitäten laut Schmittbecher und Menzel mehr als an unbelasteten [76]. Ergänzend richten sich angrenzende Epiphysenfugen durch asymmetrisches Wachstum senkrecht zur Belastungsebene aus und unterstützen damit gezielt die diametaphysäre Korrektur [76, 95]. Hieraus ergeben sich altersspezifische Korrekturgrenzen, welche durch das verfügbare Restwachstum in Abhängigkeit des Skelettreifezustandes entstehen. Hier sind für die distale Tibia laut van Laer und Kraus bis zum 10.

Lebensjahr Achsabweichungen in der Frontal- und auch Sagittalebene bis zu 10° tolerabel, ebenso wie Seit-zu-Seit-Verschiebungen bis zu einem Viertel der Schaftbreite [95]. Schaftfrakturen sind sämtliche Frakturen, die die Gelenkfläche nicht tangieren, sondern außerhalb des eigentlichen Gelenkbereichs liegen. Diese unterstehen anderen diagnostischen und therapeutischen Prinzipien als die Gelenkfrakturen. Epiphysenlösungen mit und ohne metaphysären Keil sind die periphersten metaphysären Schaftfrakturen und sind so als Fugenschaftfrakturen aufzufassen [95]. Fehlstellungen nach solchen Fugenschaftfrakturen mit und ohne metaphysären Keil in der Frontal- und Sagittalebene der distalen Tibia sollten daher jenseits des 10. Lebensjahres laut gängiger Literatur nicht mehr belassen werden.

Täger et al. sprechen in einem 2009 erschienenem Bericht aus „Der Unfallchirurg“ sogar von tolerablen Dislokationen von bis zu 30° bei unter Zehnjährigen. Rotationsfehlstellungen werden prinzipiell durch physiologische Vorgänge nicht oder nur in geringem Ausmaß korrigiert und sind demnach nicht zu akzeptieren und bedürfen einer sehr genauen Korrektur [90].

1.4 Klassifikation der Frakturen der distalen Tibia

Frakturen im Wachstumsalter sind nicht mit denen Erwachsener gleichzusetzen und bedürfen einer differenzierteren Betrachtungsweise. Im Kindesalter führen diese bei ähnlichem Frakturmechanismus wie im Erwachsenenalter zu einem unterschiedlichen Verletzungsmuster und sind in vollständige und unvollständige Brüche, stabile und instabile sowie in Schaft- und Gelenkfrakturen aufzuteilen. Der vollständige Bruch entspricht dem des Erwachsenen mit Unterbrechung der Kontinuität von Knochen und Periost. Daneben gibt es beim Kind subperiostale Stauchungsfrakturen, Grünholzfrakturen, Fissuren oder Infraktionen und sogenannte „bowing fractures“ (plastische Verformung des Knochens ohne sichtbare Durchtrennung des Knochens), welche als stabil zu werten sind. Vollständige Schaftfrakturen gelten als instabil. Die metaphysäre Stauchungsfraktur ist für das Kleinkind charakteristisch. Die Übergangsfaktur (Two- und Triplane-Frakturen) bei partiell verknöchert Epiphysenfuge sind hingegen ein Charakteristikum des Jugendlichen [76]. Gemeinsam mit den Übergangsfrakturen nach Beginn des physiologischen Verschlusses der Fuge stellt die Epiphysenfraktur im Kindes- und Jugendalter das Korrelat zu den malleolären Verletzungen des Erwachsenenalters dar [100].



Abbildung 4: 11-jähriger Junge; schwer dislozierte Epiphyseolyse SH I mit begleitender Fibulaschaftfraktur

Die Diaphyse der langen Röhrenknochen wird formal durch das Gebiet zwischen Epi- und Metaphyse begrenzt und Fugenschaffrakturen sind die häufigsten Verletzungen der distalen Tibia im Wachstumsalter [95]. Eine Klassifizierung der distalen Tibiafrakturen im Wachstumsalter ist daher ebenso wichtig wie notwendig zur differenzierten Darstellung und deren Verständnis. Diese unterscheidet meist zwischen Epiphysenlösungen mit oder ohne metaphysärem Keil und steht im Gegensatz zu den epiphysären Frakturen mit Gelenkbeteiligung sowie eventuell einem zusätzlichen metaphysären Keil, welcher entsprechend alle Knochenschichten betreffen würde. Die gängigste Einteilung wurde 1963 von Salter und Harris (SH) eingeführt und hat sich bis heute etabliert [75]. In dieser fassen sie die Frakturklassifikationen von Poland (Typen 1-3), Bergfeldt (Typen 1-5) und Aitken (Typen 1-3) zusammen. SH V entspricht hingegen der Klassifikation Typ 4 von Brashear [7]. Die als „Crush“ bezeichnete Fraktur wurde erst im Nachhinein hinzugefügt und lässt sich wissenschaftlich derzeit nicht untermauern [44]. Viele Autoren haben ihre Enttäuschung über die nur schwache prognostische Aussagekraft der Salter-Harris-Klassifikation bekundet [64]. Andererseits hat sie weltweite Akzeptanz gefunden und stellt noch immer die verbreitetste Einteilung von Epiphysenlösungen und Epiphysenfrakturen

dar. [9, 74, 75] Nach dieser Klassifikation handelt es sich bei einer SH I um eine Fugenlösung ohne metaphysären Keil, bei einer SH II um eine Fugenlösung mit metaphysärem Keil. Gemeinsam lassen sich die Salter-Harris I und II-Fraktur unter dem Begriff der „Wachstumsfugenlösungen“ zusammenfassen und sind daher für diese Studie hauptsächlich relevant. Die folgenden Typen nach Salter und Harris können dem Schema in Abbildung 3 (siehe oben) entnommen werden.



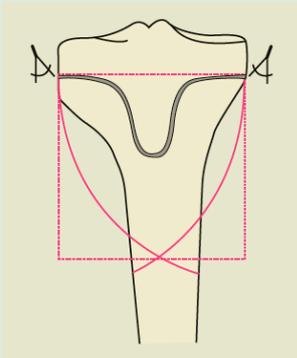
Abbildung 5: 13-jähriger Junge; schwer dislozierte Epiphyseolyse mit metaphysärem Keil SH II mit begleitender Fibulaschaftfraktur

Zur weiteren Optimierung der Behandlung von Kindern und Jugendlichen wurde durch LiLa - Licht und Lachen für kranke Kinder – Effizienz in der Medizin e.V. - eine kindgerechte Klassifikation unter Berücksichtigung der Besonderheiten kindlicher Frakturen im Wachstumsalter entwickelt. LiLa arbeitet gemeinsam mit dem „Institut für evaluative Forschung in orthopädischer Chirurgie der Universität Bern“ (IEFO) an einer Aufschlüsselung mit dem Ziel, die einheitliche Grundversorgung der jungen Patienten zwischen Allgemein-, Kinder-, Unfallchirurgen, Orthopäden und Pädiatern zu gewährleisten [38, 39, 82]. Dabei erhält die für uns interessante SH I - und SH II - Fraktur die Kodierung 4.3.S1. Diese schlüsselt sich folgendermaßen auf: 4 = Tibia (1. Stelle), Lokalisation im Skelett/betroffener langer Röhrenknochen; 3 = distales Segment, Lokalisation (Segment)

im Knochen/von proximal nach distal (2. Stelle); S = Schaft, Unterscheidung von Gelenk und Schaft (Epiphysenfrakturen = Gelenkfrakturen und Epiphysenlösungen/metaphysäre Frakturen = Schaftfrakturen; 3. Stelle); 1 = Epiphysenlösungen bei offenen Fugen (entspricht Salter-Harris I- und II-Frakturen), Morphologie der Schaft- und Gelenkfrakturen (4. Stelle) und die 5. Stelle würde sich auf das Dislokationsausmaß beziehen (5. Stelle) [94].

1. Stelle Lokalisation im Skelett: (1-4)	2. Stelle Lokalisation im Knochen (Segment): (1-3)	3. Stelle Morphologie: - Gelenk (a) - Schaft (s)	4. Stelle Spezifizierungen Morphologie: - Gelenk (1-5) - Schaft (1-5)	5. Stelle Dislokationsausmass: - undisloziert (0) - tolerabel (1) - nicht tolerabel (2)	6. Stelle (Ausnahme) paariger Knochen nicht tragend - Ulna (U) - Fibula (F)
---	---	--	---	--	--

- bei paarigen Knochen wird jeweils der haupttragende Knochen klassifiziert: **Radius** oder **Tibia**
- soll der Gegenknochen klassifiziert werden, so wird an 6. Stelle das **U** bzw. das **F** eingefügt (siehe Gelenkfrakturen Olekranon)
- die Metaphyse wird mit dem **Quadrat über der zugehörigen Fuge** definiert (Zirkelschlag von den Ecken der **Epiphysenfuge** aus)



Gelenkverletzungen die statistisch nicht ins Gewicht fallen, werden an der jeweiligen Lokalisation mit 5= andere klassifiziert (proximaler Humerus, proximaler und distaler Radius, proximale und distale Ulna und proximales Femur)

a

Abbildung 6: LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter [94]

Abschließend sei noch kurz die „AO-Klassifikation für Frakturen im Wachstumsalter“ (PCCF, „Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures“) der „pediatric expert group“ (PAEG) der AO International genannt [87], welche parallel mit der Lila-Klassifikation entstand [39]. Knochen- und Segmentkodierung wurden aus der Erwachsenenklassifikation entnommen. Hier erhalten die für diese Arbeit wichtigen epiphysären Frakturen die Kodierungen E/1 bis E/4, wobei E/1 und -2 analog mit SH I und -II-Verletzungen verwendet werden und so keinen zusätzlichen Informationsgehalt

beinhalten [76]. Beide Klassifikationen beruhen auf dem Prinzip der 1987 für Erwachsene veröffentlichten Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) [39]. Eine weitere Klassifikation nach Dias und Tachdjian [18], welche Frakturen nach ihrem Verletzungsmechanismus einteilt, hat sich in der Klinik nicht durchgesetzt.

Schneidmüller et al. beschreiben in einer retrospektiven Studie zwischen 1995 und 2005 von 621 Fällen der Unfallkasse Hessen (distale Tibiafrakturen bei Kindern bis einschließlich des 13. Lebensjahres) die große Bedeutung einer exakten Diagnosestellung im Kindesalter. In weniger als einem Drittel der Fälle wurde eine kinderspezifische Diagnose gestellt. Hier handelt es sich um Diagnosen, welche hinsichtlich ihrer Beschreibung nachvollziehbar oder mittels einer vorhandenen Klassifikation für epiphysennahe Frakturen im Kindesalter dokumentiert waren. Weiterhin machen sie über das mögliche Auftreten posttraumatischer Wachstumsstörungen aufmerksam, welche Achsfehler und Längendifferenzen bedingen können, und plädieren daher für eine verlässliche Dokumentation mit einheitlicher Frakturklassifikation als Basis für eine alters- und verletzungsspezifische Therapie [79].

1.5 Epidemiologie der Fugenlösungen der distalen Tibia

Die Inzidenz der Frakturen mit Wachstumsfugenverletzungen liegt unter allen Frakturen bei ca. 4-5% [77, 81, 100]. Darunter entfallen ca. 10-15% auf die distale Tibia [50, 51, 95]. Wachstumsfugenlösungen bei Kindern bis zum 14. Lebensjahr kommen laut einer retrospektiven Untersuchung von Bertel und Jonasch mit 62348 Frakturen im Wachstumsalter zu über 20% vor. Betroffen sind hauptsächlich Daumen und Phalangen der Finger (9,1%), der distale Radius (8,7%) und die distale Tibia (2,8%) [35].

Epiphysenlösungen der distalen Tibia sind übliche Frakturen im Alter zwischen 10 und 15 Jahren bei Jungen und Mädchen [68]. Dabei scheinen männliche Patienten mit 64% häufiger betroffen zu sein als die weiblichen mit 34% [83]. Der Verletzungsgipfel der Verletzungen hingegen liegt bei 11-12 Jahren [4, 12, 15, 72]. Andere Studien hingegen postulieren, dass 76% der Wachstumsfugenlösungen nach dem 11. Lebensjahr auftauchen [67] oder berichten nicht über jüngere Patientenkollektive [43, 60]. Das Durchschnittsalter für Salter-Harris-I-Frakturen soll ein bis zwei Jahre niedriger als für Salter-Harris-II-Frakturen sein [12, 67, 88]. Reine Epiphysenlösungen (SH I) scheinen dabei

einen geringeren Anteil als Epiphysenlösungen mit metaphysärem Keil (SH II) zu haben [33]. Dies konnte in weiteren Studien gleichermaßen gezeigt werden [68, 84].

Ursächlich werden meist Traumata angegeben, welche durch Sprünge bzw. Stürze und Sportunfälle entstehen. Die saubere Trennung zwischen Epiphyseolysen und –frakturen findet meist jedoch nicht statt [52, 84]. Die Supinations- und Abduktionstraumata haben hier jedoch die überwiegenden Anteile [15, 72]. Nach Dias und Tachdjian treten Epiphyseolysen nach bestimmten Krafterwirkungen im Besonderen auf: Supination - externer Rotation, Supination - Plantarflexion und Pronation - Eversion - externer Rotation [18]

1.6 Diagnostik der Fugenlösungen

Die klinische Untersuchung sowie eine detaillierte Anamnese bezüglich Unfallmechanismus und Schmerzcharakter ist unverzichtbar. Generell schließt sich der klinischen Untersuchung bei Verdacht auf Epiphysenlösung eine Röntgenaufnahme des oberen Sprunggelenkes in zwei Ebenen, anterior-posterior in 10-20° Innenrotation und lateral, an [59, 66, 71]. Diese sind in der Regel ausreichend und stellen für Erkennung und Beurteilung knöcherner Verletzungen der distalen Tibia des wachsenden Skelettes, und somit offener Wachstumsfugen, die Diagnostik der Wahl dar. Sollte die konventionelle Röntgenaufnahme inkonklusiv oder der Patient in einem Alter mit sich bereits schließenden Wachstumsfugen sein, was den Verdacht einer Übergangsfaktur nahelegt, so sind CT-Bilder im Einzelfall gerechtfertigt [90]. Auf eine Röntgenaufnahme zum Vergleich der Gegenseite ist zu verzichten [95]. Andererseits erhält die Magnetresonanztomografie in der Diagnostik zunehmend Bedeutung, da keine zusätzliche Strahlenexposition für den jungen Patienten entsteht und neben der Verletzung der Wachstumsfuge hervorragend Knorpelläsionen, ligamentäre Strukturen und Weichteile zu beurteilen sind [34, 85]. Moritz et al. schlägt aufgrund vergleichbarer Ergebnisse von MRT und CT vor, komplett auf die Computertomografie im Kindesalter zu verzichten [57].

Abschließend sollte noch die Bedeutung einer korrekten Diagnosestellung betont werden, welche insbesondere von erfahrenen Klinikern übernommen werden sollte. Die präzise Klassifikation nimmt direkt Einfluss auf Therapie und Prognose des jungen Patienten [79, 82, 86].

1.7 Therapieempfehlungen

Die distale Tibia stellt, wie bereits erwähnt, die häufigste Lokalisation für Fugenschaftfrakturen mit und ohne metaphysären Keil der unteren Extremität dar. Diese können mit und ohne begleitende Fibulafraktur auftreten. Weiterhin lassen sich die Frakturen in disloziert und nicht-disloziert unterscheiden.

Schwer dislozierte SH I- und II-Epiphyseolysen sollten idealerweise noch am Unfallort unter intravenöser Analgesie reponiert werden, um weitere Schäden an den Weichteilen zu verhindern und anschließend in Luftkammer- oder Vakuumschiene bis zur endgültigen Versorgung ruhiggestellt werden [69]. Spätestens im Krankenhaus muss eine Reposition vorgenommen werden, bevor diese durch ein zunehmendes Hämatom und eine voranschreitende Schwellung erschwert wird. Die Reposition findet auch hier in starker Sedierung oder Allgemeinanästhesie statt [41]. Je geringer die Anzahl der Repositionsversuche, desto geringer das Auftreten von Wachstumsstörungen [10]. Über das akzeptable Ausmaß der Dislokation gibt es keine genauen Aussagen. Ab einem verbleibenden Dislokationsausmaß von über zwei mm oder drei mm wird in der Regel zur offenen Reposition geraten [26, 52, 68, 69]. Der verbleibende Spalt scheint meist durch interponiertes Periost oder dem vorderen Gefäß-/Nervenbündel verursacht zu sein [35, 69, 91]. Ist aus Stabilitätsgründen eine Fixierung erforderlich, kann diese mittels retrograd eingebrachter gekreuzter Kirschnerdrähte oder in seltenen Fällen bei SH II-Frakturen einer zum Epiphysenspalt parallel eingebrachten, den metaphysären Keil komprimierenden Zugschraube erreicht werden [43, 49, 52, 68, 69]. Perkutane Bohrdrähte werden nach 4, spätestens nach 6 Wochen entfernt. Subkutan versenkte Bohrdrähte können bei Bedarf auch etwas länger verbleiben [37]. Die Prognose scheint direkt abhängig von der Genauigkeit der anatomischen Reduktion des Bruchspaltes zu sein [4, 43].

Die konservative Behandlung findet in der Regel in einer Unterschenkelgipsschiene statt, welche nach Abnahme der Schwellung am 4. Tag zirkulär geschlossen wird. Eine radiologische Stellungskontrolle sollte am 8. Tag nach Gipsanlage stattfinden, um eine sekundäre Dislokation auszuschließen. Die Ruhigstellung ohne Belastung erfolgt für 3-4 Wochen [23, 68, 69, 95]. Zeigt die gipsfreie Röntgenkontrolle dann eine gute periostale Abstützung, kann langsam aufbelastet und mit kräftigendem Training begonnen werden [95]. Allerdings bergen nicht dislozierte und spontan reponierte Epiphysenlösungen ohne metaphysären Keil die Gefahr, leicht übersehen zu werden, bei dem auch das

vergleichende Röntgenbild in zwei Ebenen keinen Aufschluss bringen kann [62, 89, 95]. Daher sollten im Röntgen unauffällige Patienten, bei denen supramalleoläre Schwellungen und Schmerzen bestehen, primär im Unterschenkelgips behandelt und sekundär diagnostiziert werden [95]. Eine MRT-Untersuchung scheint in entsprechenden Fällen sinnvoll zu sein. In die konservative Behandlung der Fugenschaftfrakturen sollte die unter 1.3 (Korrekturpotential der distalen Tibia) genannte tolerable Dislokation in Abhängigkeit vom Skelettreifegrad und in Rücksprache mit den Eltern einfließen. Täger et al. sprechen diesbezüglich in einem 2009 erschienenem Bericht aus „Der Unfallchirurg“ sogar von tolerablen Dislokationen von bis zu 30° bei unter Zehnjährigen im Gegensatz zu van Laer und Kraus mit bis zu 10° [90, 95]. Rotationsfehlstellungen werden prinzipiell durch physiologische Vorgänge nicht oder nur in geringem Ausmaß korrigiert und sind demnach nicht zu akzeptieren und bedürfen einer sehr genauen Korrektur [90].

Nachuntersuchungen sollten nach initialer Konsolidierung regelmäßig über einen Zeitraum von zwei Jahren vorgenommen werden, um Wachstumsstörungen möglichst früh zu entdecken und diesen entgegenwirken zu können [33].

1.8 Belassene Achsabweichungen und Wachstumsstörungen

Prinzipiell lassen sich die Komplikationen nach Epiphyseolysen in Früh- und Spät komplikationen unterteilen. Infekt, Wundheilungsstörungen, Gefäß- und Nervenschäden zählen zu den Frühkomplikationen und unterscheiden sich nicht von denen herkömmlicher Frakturen. In seltenen Fällen kann es zu Begleitverletzungen, wie einem Kompartmentsyndrom, kommen [100] oder Fälle von Extensor-Retinaculum-Syndromen wurden bei Patienten mit distalen Tibiafrakturen durch Kompression nervaler Strukturen und Sehnen bei longitudinaler anteriorer Schaftverschiebung beschrieben [58].

Spätkomplikationen scheinen von vielen Faktoren abzuhängen und lassen sich in hemmende und stimulative Wachstumsstörungen und eventuell daraus hervorgehende Achsabweichungen (partielle Konsolidierungsstörung bei Valgus- oder Varusbiegungsbrüchen) unterteilen. Die Dauer von Wachstumsstörungen ist unterschiedlich: stimulative Wachstumsstörungen (siehe Kapitel 1.2) sind im Gegensatz zu hemmenden und deren Folgen zeitlich immer relativ eng begrenzt und sistieren bis zum Wachstumsabschluss.

Hemmende Wachstumsstörungen entstehen durch vorzeitigen vollständigen oder partiellen Verschluss der Epiphysenfuge. Nach Schädigung des gesamten epiphysären Gefäßsystems kann es zu einem kompletten Verschluss der Epiphysenfuge - z.B. nach schweren Weichteil- oder Quetsch-, aber auch nach metaphysären Verletzungen - kommen. Daraus resultiert der Untergang des kompletten Fugenknorpels und eine vorzeitige Verknöcherung der gesamten Fuge führt zu einer Verkürzung des betroffenen Skelettabchnitts [29, 95]. Diese lassen sich therapeutisch nicht beeinflussen [95, 99]. Der partielle vorzeitige Wachstumsfugenverschluss ist eine typische Verletzung der unteren Extremitäten [95] und nach Epiphysenlösungen wie auch -frakturen prinzipiell möglich. Durch das knöcherne Auffüllen der fugenkreuzenden oder -tangierenden Verletzung kommt es zur Ausbildung einer Brücke, welche in diesem Bereich zu einem Sistieren des Wachstums mit Abweichungen in der Frontal- oder Sagittalebene führen kann [49, 91, 95]. Abhängig vom Ausmaß der Brücke kann das Wachstum an dieser Stelle sistieren und zu zunehmendem Fehlwachstum führen oder durch die Wachstumsschubkräfte wieder gesprengt werden [14]. Abschließend sei noch die von Brashear beschriebene Crush-Verletzung genannt, welche nachträglich der Klassifikation als SH V beigefügt wurde [7]. Hier soll es zu einer Zerstörung von Teilen oder der gesamten Wachstumsfuge durch hohe Kompressionskräfte kommen [21]. Dieser Mechanismus wird jedoch kontrovers diskutiert [94] und weniger eine Quetschung der Epiphysenfuge als eine posttraumatische Durchblutungsstörung im Fugenbereich (anteilig oder komplette) angenommen, welche eine Wachstumsfugenschädigung mit nachfolgender Ausbildung einer Knochenbrücke nach sich zieht [54, 96].

Die hemmenden Wachstumsstörungen sind fakultativ. Je näher eine knöcherne Läsion der Epiphysenfuge und damit einem Gelenk liegt (vor allem an den unteren Extremitäten), umso häufiger tritt sie auf. Die Wachstumsstörung des vorzeitigen partiellen Verschlusses mit konsekutivem Fehlwachstum ist grundsätzlich nach allen Fugen tangierenden metaphysären Frakturen möglich und somit auch als Komplikation zu erwarten [6, 16, 19, 28, 49, 61, 72, 73, 91-93]. Laut Jungbluth et al. beeinträchtigen Epiphysenfugenverletzungen des Typs SH I und -II die germinative Zone (Wachstumszone) der knorpeligen Wachstumsfuge nicht und führen deshalb regelhaft nicht zu Wachstumsstörungen [37]. Es kann generell nur zu Wachstumsstörungen und Achsabweichungen bei noch nicht geschlossenen Wachstumsfugen kommen und das Auftreten solcher hängt so von

Skelettreifezustand des Patienten zum Unfallzeitpunkt ab. Entsprechend haben Wachstumsstörungen bei fast ausgereiften Fugen keine relevanten Folgen mehr [95].

Die Literatur beschreibt sehr inhomogene Angaben von Komplikationen bei Epiphysenfugenlösungen. Dabei gilt es, hemmende und stimulative Wachstumsstörungen von belassenen Abweichungen in der Achsenebene zu differenzieren. Angaben in Fachbüchern variieren von 5 bis 35% [77, 78, 95, 100], wie es in älteren Publikationen ähnlich bestätigt wurde [12, 20, 43, 88]. Eine Umfrage mit 62 kindertraumatologisch tätigen Allgemeinchirurgen, Unfallchirurgen, Kinderchirurgen, Orthopäden und Kinderorthopäden zur Einschätzung des allgemeinen Risikos der Entwicklung einer Wachstumsstörung aus der klinischen Erfahrung der Befragten wurde zu einem Großteil sogar auf unter 10% geschätzt. Insgesamt schätzten Kinderchirurgen das Risiko einer möglichen Wachstumsstörung geringer ein als ihre nicht-kinderchirurgischen Kollegen. [47]. Neuere Veröffentlichungen sprechen meist von hemmenden Wachstumsstörungen und berichten von diesen in sehr unterschiedlichem Ausmaß. Podeszwa und Mubarak beschreiben einen frühzeitigen Wachstumsarrest bei SH I und-II-Frakturen zwischen 2-39,6% und machen dafür die Verletzung der germinalen Zone verantwortlich [68]. Rohmiller et al schildern ebenfalls Werte von 39,6% und zeigen einen Zusammenhang mit dem Unfallmechanismus auf [72]. Wohingegen Leary et al in einer Studie mit 124 Patienten nur in 12,1% Wachstumsstörungen beobachten konnten, jedoch davon $\frac{2}{3}$ bei SH-II-Frakturen [52]. Lalonde und Letts beschreiben in einer radiologischen retrospektiven Studie zu einem nur zwölf Patienten großen Kollektiv zwei Patienten mit Beinlängendifferenzen von 2,3cm und 2,5cm sowie vier Patienten mit Achsabweichungen von 5° und mehr [49]. Berson et al postulieren, dass Achsabweichungen desto häufiger sind je später der Wachstumsarrest auftritt [6].

Hohe Risikofaktoren für das Entstehen von Wachstumsstörungen sollen laut Podeszwa und Mubarak Hochenergieverletzungen, eine erheblich dislozierte Fraktur, Unfallmechanismus und multiple geschlossene Reponierungsversuche sein. Ein weiterer Faktor scheint bei Salter-Harris-I und -II-Frakturen eine Dislozierung von über 3mm durch Einklemmung von Periost im Frakturspalt nach geschlossenen Reponierungsversuchen zu sein.

Der Däne Al-Aubaidi beschreibt in seinem Artikel „Valgus Deformity after distal fibular fracture“ einen Einzelfall einer 10-jährigen Patientin mit einer symptomatischen Valgusdeformität nach guten Operationsergebnissen nach einer Salter-Harris-II-Fraktur. Zuvor beschreibt er die Salter-Harris-II-Fraktur mit begleitender Grünholzfraktur der Fibula als die häufigste Fraktur der distalen Tibia [2].

Diese inhomogenen Ergebnisse hinsichtlich der Entstehung von posttraumatischen Wachstumsstörungen nach Epiphyseolysen der distalen Tibia und die unscharfe Trennung zwischen Epiphyseolysen (SH-I und II-Frakturen) und Epiphysenfrakturen (SH-III und IV-Frakturen) bezüglich gerade dieser posttraumatischen Deformitäten machen eine differenzierte Betrachtung unerlässlich.

1.9 Zielsetzung der Arbeit

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt auf der Auswertung einer prospektiven multizentrischen Erfassung von Inzidenz, Behandlungsstrategien und -ergebnissen von kindlichen Epiphysenlösungen mit und ohne metaphysärem Keil. Ein weiterer besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung posttraumatischer, hemmender und stimulativer Wachstumsstörungen und deren Folgen.

Aktuelle Studien berichten von unzufrieden stellenden Ergebnissen oder mit Komplikationen behafteten Verläufen nach Epiphysenlösungen. Hier werden teilweise Inzidenzen von 36-39% aufgezeigt [4, 72]. Die Gefahr scheint von verschiedenen Faktoren wie dem Alter des jungen Patienten, dem Verletzungsmechanismus [15, 72], der primären Dislokation [11] und dem Repositionsergebnis [4, 72, 88] abzuhängen. Das Problem dieser Untersuchungen liegt jedoch in der ausbleibenden Differenzierung zwischen den Folgen belassener Achsabweichungen auf der einen Seite und den Folgen tatsächlicher posttraumatischer Wachstumsstörungen andererseits [45].

Auf dem Boden dieser Informationen haben sich folgende Fragestellungen ergeben:

- Wie oft und in welchem Umfang treten Wachstumsstörungen nach Epiphysenlösungen der distalen Tibia auf?
- Welchen Einfluss hat das Alter des Patienten auf die Entstehung von Wachstumsstörungen nach Epiphyseolysen der distalen Tibia?

- Welchen Einfluss hat der Unfallmechanismus bzw. die Frakturklassifikation von Epiphysenlösungen der distalen Tibia auf die Entstehung von Wachstumsstörungen (Richtung der Dislokation, SHI/II)?
- Gibt es beeinflussbare Faktoren, welche die Entstehung von Wachstumsstörungen fördern oder positiv beeinflussen können (Behandlungskonzepte, Behandlungszeitraum, Reposition, tolerable Dislokation, etc.)?
- Lassen sich aus den Ergebnissen konkrete Therapieempfehlungen ableiten?

Der Einfluss des Alters auf die Entstehung und Auswirkung von Wachstumsstörungen scheint von besonderem Interesse und bedarf einer differenzierteren Anschauung. Ein Großteil der Epiphyseolysen findet nach dem 10. Lebensjahr statt, ein Alter, in welchem die physiologische Verknöcherung der Fuge (Fugenverschluss) kurz bevorsteht und kein großes Wachstum mehr zu erwarten ist. Hier sollten hemmende Wachstumsstörungen keine große Bedeutung mehr haben. Bei Kindern vor Vollendung des 10. Lebensjahres ist noch ein erhebliches Restwachstumspotential der distalen Tibiaepiphyse vorhanden und daher ist anzunehmen, dass eine posttraumatische, hemmende Wachstumsstörung vermehrt zu klinisch relevanten Folgen einer Wachstumsstörung führen sollte.

2 Material und Methode

2.1 Studiendesign

Im Zusammenhang mit der geringen Anzahl an Wachstumsfugenlösungen wurde für diese klinisch prospektive Untersuchung eine multizentrische Erhebung über einen Zeitraum von 72 Monaten gewählt, um relevante und verlässliche Daten zu erheben. Dies geschah in Zusammenarbeit mit insgesamt 21 Kliniken, welche an das Netzwerk von LiLa – Licht und Lachen für kranke Kinder e.V. angeschlossen waren. Die zentrale Datenerhebung wurde durch ein Basisdokumentationssystem für Frakturen im Wachstumsalter, welches LiLa gemeinsam mit dem Institut für Evaluative Forschung in Orthopädischer Chirurgie der Universität Bern (MEMDOC; ehemalige Leitung: Prof. Dr. Aebi) entwickelt wurde, organisiert. Validiert und evaluiert wurde das Dokumentations- und Klassifikationssystem im Rahmen zweier multizentrischer Studien zum Aufkommen von Frakturen langer Röhrenknochen im Wachstumsalter [48]. Die Dokumentation beinhaltet

die Hinterlegung von Röntgenbildern, Fotografien und klinischen Untersuchungsbefunden, so dass jegliche Eingabe durch die Studienleitung überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden konnte. Weiterhin wurde das System um studienspezifische Fragebögen erweitert und erlaubt so eine zeitnahe Dokumentation und Auswertung der eingegangenen Daten. Die Nutzung des Systems wurde LiLa unentgeltlich von MEMDOC für diese Studie zur Verfügung gestellt.

Sämtliche ausgewählte Frakturen (Wachstumsfugenlösungen des distalen Femurs, der proximalen und distalen Tibia) sollten in den teilnehmenden Kliniken einbezogen werden. Die Voraussetzung einer offenen Wachstumsfuge determiniert letztendlich auch die Altersgrenze der Patienten und lag zwischen dem 14. und 16. Lebensjahr. Keinerlei Behandlungsregime wurde durch die Studie vorgegeben und erlaubte so jeder Klinik, nach ihren individuellen internen Richtlinien vorzugehen. Die nachfolgend aufgeführten klinischen und bildgebenden Untersuchungen stellen das Mindestmaß der heute angemessenen Kontrolluntersuchungen dar und sollten den teilnehmenden Kliniken nicht als limitierende Auflage bezüglich angemessener weiterer Untersuchungen und Kontrolltermine außerhalb des Studienprotokolls gelten.

Die Daten wurden zur Erstellung von Risikokonstellationen für die Entwicklung späterer Wachstumsstörungen – das Alter, die Verletzungsart und die Nachbehandlung betreffend – gewonnen, um betroffene Kinder und Jugendliche rechtzeitig einer besonders intensiven Betreuung zuleiten zu können.

Die Dokumentation und Erhebung der Daten wurde von einem Verantwortlichen jeder teilnehmenden Klinik unter der Gesamtleitung von PD Dr. med. Ralf Kraus realisiert. Die Dateneingabe und -auswertung konnte über das genannte Basisdokumentationssystem MEMDOC verwirklicht werden. Der erste Teil der Untersuchung wurde bereits 2011 im Unfallchirurgen unter dem Titel „Traumatische Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia“ [45] veröffentlicht. Ziel dieser Dissertation ist die verständliche Darstellung der erhobenen zusammengeführten Daten aus dem Erhebungs- (36 Monate; Primärbögen) und Nachuntersuchungszeitraum (36 Monate; Follow-up-Bögen). In einem weiteren abschließenden Teil sollen Rückschlüsse aus der Zusammenführung der Primär- und Follow-up-Daten gezogen werden.

2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Folgende Einschlusskriterien wurden für die Studie festgelegt: Im vorgegebenen Studienzeitraum sollten die teilnehmenden Institutionen alle Wachstumsfugenlösungen der unteren Extremität mit Ausnahme des proximalen Femur in die Studie integriert werden.

Durch die Vollständigkeit aller in Frage kommenden Frakturen wird die Vermeidung von Verzerrungen des epidemiologischen Aufkommens gewährleistet.

Es spielt keine Rolle, ob die jeweilige Verletzung ambulant oder stationär behandelt wird und ob ein „konservatives“ oder operatives Vorgehen gewählt wird. Auch Frakturen, deren Weiterbehandlung delegiert wurde, werden dokumentiert.

Bezüglich der Ausschlusskriterien wurden folgende Aspekte festgelegt:

- das Fehlen der Einwilligung des Patienten oder seiner Erziehungsberechtigten an die Teilnahme der Studie;
- vorbekannte Veränderungen oder Folgen vorausgegangener Verletzungen an der fraglichen Wachstumsfuge, wie beispielsweise frühere Frakturen im Bereich beider Sprunggelenke;
- pathologische Frakturen und Frakturen anderer Klassifikation (rein metaphysäre Frakturen, epiphysäre Frakturen, Übergangsfrakturen).

Die Weiterbehandlung durch eine auswärtige Klinik oder Praxis ist kein Ausschlusskriterium. Mit der Abgabe der Behandlung in andere Hände kann der Primärbogen abgeschlossen werden. Die Studienleitung sollte über die Weitergabe an den Weiterbehandler informiert werden und versuchen die nötigen Informationen der „follow-up“-Untersuchung von der weiterbehandelnden Stelle zu erheben.

2.1.2 Studienplan

Zeitraum	Aufgabe	Beteiligte Personen
Bis 15.03.2006	Fertigstellung Studienprotokoll	Kraus
15.03.06	Vorlage Ethikkommission Uniklinik Gießen	Kraus
Bis 15.05.2006	Implementierung Zusatzbogen in Li-La Dokumentationssystem	Röder, Kraus
20.05.06	Vorstellung der Studie, Li-La Mitgliederversammlung, Sektionstagung Kindertraumatologie DGU	Kraus, v. Laer
07.07.06	Teilnehmertreffen in Gießen	alle
01.08.2006 – 31.07.2009	Aquirierungsphase	alle
01.08.2006 – 30.07.2012	Nachuntersuchungsphase	alle
Ab 01.08.2009	Auswertung Fraktur-epidemiologie, Behandlungsstrategien (Primärbögen)	Memdoc, Kraus
Ab 01.08.2012	Auswertung Wachstumsstörungen (Follow-up)	Memdoc, Leutheuser, Kraus
16.08.12	Promotionsvereinbarung	Kraus, Leutheuser
31.12.12	Veröffentlichung der Ergebnisse	Li-La
01.07.18	Einreichung der Dissertation	Leutheuser

Tabelle 1: Studienplan

2.1.3 Zeitplan

Die Datenauswertung erfolgte, wie aus dem Studienplan ersichtlich, in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Evaluative Forschung in Orthopädischer Chirurgie der Universität Bern und wurde in zwei Schritte unterteilt. Initial erfolgte eine Aquirierungsphase von drei Jahren. Hier wurden epidemiologischen Daten zu Frakturhäufigkeit, Frakturformen und den primären Behandlungsstrategien mit Hilfe der Primäruntersuchungsbögen ausgewertet. In dieser Zeit wurde jeder Patient in vier Intervallen (Therapiephase) zum Unfallzeitpunkt, nach Therapie (Stellungskontrolle), nach vier Wochen (Mobilisationsbeginn) und nach acht Wochen (Sport-Beginn) untersucht. Röntgenkontrollen wurden leitliniengerecht angefertigt, das MRT war hingegen nur optional zum Unfallzeitpunkt und nach Therapie, jedoch zur Einjahres-Kontrolle erwünscht. Nach acht Wochen wurden die Prüfung der Beinachse, eine Funktionsprüfung und die Stabilität in Knie und OSG vorgenommen.

Nach Ende der Follow-up Phase, einem Zeitraum von weiteren drei Jahren, wurde das Auftreten von Komplikationen, insbesondere von posttraumatischen Wachstumsstörungen, überprüft und mit frakturbedingten (schicksalshaften) und behandlungsbedingten (iatrogenen) Parametern abgeglichen. Diese Faktoren wurden mit den Nachuntersuchungsbögen erfasst. Wachstumskontrollen fanden 3, 6, 12, 24 und 36 Monate (Wachstumsphase) nach Unfallereignis statt. Klinisch fanden zu jedem Zeitpunkt folgende Untersuchungen statt: Funktionelle Beinlängenmessung (Beckenschiefstand), die Überprüfung der Beinachse, Funktions- und Stabilitätsüberprüfung in Knie und OSG, sowie eine Fotodokumentation. Radiologisch war nur die Röntgenkontrolle nach 12 Monaten mit der langen Platte obligat. Weitere Röntgen- und MRT-Untersuchungen waren fakultativ.

2.1.4 Anleitung klinische Untersuchung und Fotodokumentation

Mit der photographischen Dokumentation der klinischen Untersuchung wurden der Beckenschiefstand und die Beinachsen beurteilt und die Ergebnisse für die Auswertung zur Festlegung von Achsabweichungen benutzt. Die Wachstumskontrolle begann drei Monate nach dem Unfallereignis. Bis zu diesem Zeitpunkt sollte es zu knöcherner Konsolidierung der Fraktur und zum Erreichen der Vollbelastung des Verletzten gekommen sein.

Der Bewegungsumfang von Hüfte, Knie und oberem Sprunggelenk (OSG) wurden mit der Neutraldurchgangsmethode erfasst, die Stabilität der Gelenke hingegen wurde manuell geprüft und beschrieben. Alle Daten wurden auf dem Dokumentationsbogen festgehalten und die Bilder im jpg.-Format angehängt. Jedem Primär- und Follow-up-Bogen konnten bis zu 5 Bilder angefügt werden.

2.1.5 Anleitung radiologische Untersuchung

Die bildgebende Diagnostik wurde auf Röntgenaufnahmen und Magnetresonanztomographie beschränkt.

Röntgen: Standardröntgenaufnahmen wurden zum Unfallzeitpunkt, zur Behandlungsdocumentation und zur Konsolidierungskontrolle nach 8 Wochen in zwei Ebenen durchgeführt. Mit der Konsolidierungskontrolle wurde die Dokumentation der Behandlungsphase abgeschlossen und die vorwiegend klinische Dokumentation der Wachstumsphase begonnen. Obligat war das Anfertigen einer Röntgenaufnahme nach 12 Monaten in zwei Ebenen mit einer Unterschenkelplatte im Zentralstrahlengang, um eine Auswertung nach Achsvermessung durchführen zu können. Optionale Aufnahmen konnten bei klinischem Verdacht auf eine Wachstumsstörung zu jedem anderen Untersuchungszeitpunkt eingeschlossen werden. Auf „Ganzbein-Standaufnahmen“ wurde bewusst verzichtet.

2.1.6 Fragebögen

Für die Erhebung wurden eigens zwei studienspezifische Fragebögen entwickelt, welche eine zeitnahe Dokumentation und Auswertung der eingehenden Daten gewährleisten. Die Bögen konnten entweder direkt online in das Dokumentationssystem eingegeben und an MEMDOC übermittelt werden oder als Papierform nach Ausfüllen per Fax oder per Post an die Studienleitung versendet werden. Dabei war es wichtig, jeden Punkt des Bogens auszufüllen und keine Felder frei zu lassen. Fragen ohne Antwortpflicht kamen in der Studie nicht vor. Eine Übermittlung der Online-Version war eben nur dann möglich, nicht ausgefüllte Bögen in Papierform wurden abgemahnt und mussten nachträglich nach Rückfrage durch die Studienleitung komplettiert werden. Übermittelte Bögen konnten nicht mehr korrigiert werden, nicht komplette Bögen konnten bis zur Übermittlung in einer elektronischen Patientenakte, der sogenannten Formliste, abgespeichert werden.

Die Daten sollten erst komplett an die zentrale Datenbank übermittelt werden, nachdem keine Änderungen, wie beispielsweise Komplikationen, mehr zu erwarten waren.

Alle teilnehmenden Kliniken, auch die, welche sich für die Papierdokumentation entschieden hatten, mussten sich für die online-Nutzung registrieren, um einen Zugangscode zu erhalten, mit welchem die Fälle der Ursprungsklinik zugeordnet werden konnten.

Formell gab es drei verschiedene Feldtypen: Kreis – nur eine von mehreren Antworten konnte angekreuzt werden, Quadrat – mehrere Antworten konnten angekreuzt werden und Rechteck – es wurde eine Freitextantwort verlangt, welche abhängig vom Zusammenhang Zahlen, Wörter oder das Datum enthalten konnte.

Primärbogen: Der zweiseitige Bogen musste in der Therapiephase ausgefüllt werden und bezog sich auf die Primärbehandlung. Das erste Blatt „Aufnahme“ war aufgeschlüsselt in die Aspekte persönliche Daten des Patienten, Aufnahme mit Unfall- und Aufnahme datum, Art und Ort des Unfalls (Mehrfachnennung war möglich; z.B. Schule und Sport/Schule und Verkehr), Haut und Weichteilverletzung, Nerven- und Gefäßverletzungen sowie der Frakturtyp (frisch, pathologisch, etc.). Blatt 2 „Fraktur-Klassifikation“ war aufgeteilt in Fraktur-Klassifikation (die ersten vier Stellen der LiLa-Klassifikation), Frakturtyp nach Salter und Lage des Keils (falls Typ II nach Salter), Dislokationsrichtung (Mehrfachnennung und „keine Dislokation“ möglich), Beschreibung der Dislokation in Grad und Status der Epiphysenfuge.

Unter Blatt 3 „Behandlung“ wurde die Primärbehandlung abgefragt (extern oder intern) mit den Unterpunkten Behandlungsdatum, Zeitpunkt der definitiven Primärbehandlung, primärer Entscheidung (Immobilisation, Keilung, Reposition), davon abhängig die Art der Reposition und Stabilisierung, zusätzliche Eingriffe, Anästhesie und Fehlstellung nach Therapie.

Folgend wurde unter Blatt 4 Verlauf/ Entlassung das Entlassungsdatum eingetragen. Hier konnten noch lokale und allgemeine Komplikationen eingetragen werden. War dies der Fall war das Blatt „Behandlung 2 binnen 4 Wochen“ auszufüllen mit erneutem Abfragen des Therapiekonzeptes und des Behandlungsverlaufes. Bei Sekundärbehandlung konnte „bekannt“ und „unbekannt“ (z.B. bei auswärtiger Therapie) ausgewählt werden. Nur

„bekannt“ zog die Beantwortung der Felder primäre Entscheidung, Art der Reposition, Stabilisierung, zusätzliche Eingriffe, Anästhesie und Fehlstellung nach Therapie nach sich.

„Spezifikationen 2“ war auszufüllen für den Fall, dass es zu Fehlstellungen nach Therapie unter Blatt 3 „Behandlung“ gekommen war. Wurde in der Kategorie der Unterpunkt „Externe Primärbehandlung“ mit Ja beantwortet und kam es daraufhin in der teilnehmenden Klinik zu einer Änderung der Behandlungsstrategie, so musste in Verlauf / Entlassung im Feld lokale Komplikationen „Nachreposition“ gewählt werden.

The image shows two pages of a medical form for 'Li-La MC UE' titled 'PRIMÄRBEHANDLUNG 2005 A'. The left page contains sections for 'Aufnahme' (Admission) and 'Fraktur-Klassifikation' (Fracture Classification). The right page contains sections for 'Verlauf / Entlassung' (Course / Discharge) and 'Spezifikationen Dislokation 2' (Dislocation Specifications 2).

Left Page: Aufnahme (Admission)

- Anweisungen:** Benutzen Sie einen weichen #2 Bleistift zur Markierung. Falschwertoren sind online auszufüllen. Felder sind komplett auszufüllen.
- Fragestypen:** rechts links nur 1 Antwort erlaubt mehrere Antworten erlaubt
- Art und Ort des Unfalls:**
 - kein Unfall
 - Schule / Kindergarten
 - Spielplatz
 - Zuhause
 - Sport
 - Verkehrsunfall: Mitfahrer
 - Verkehrsunfall: Fußgänger
 - Verkehrsunfall: Fahrrad
 - Verkehrsunfall: Fussgänger
 - Kindesmissbrauch
 - andere
- Haar- und Weichteilverletzungen:**
 - keine
 - geschlossen, erstgradig
 - geschlossen, drittggradig
 - offen, zweitgradig
 - offen, drittggradig
- Nerven- und Gefäßverletzungen:**
 - ja
 - nein
 - frisch
 - pathologisch
 - Re-Fraktur
 - anderer
- Fraktur-Klassifikation:**
 - Fraktur-Klassifikation: 3.3.S.1, 4.1.S.1, 4.3.S.1
 - Frakturtyp Salter: I, II
 - Lokalisation des metaphysären Keils: medial, lateral, dorsal, ventral
 - Dislokationsrichtung: Antekurvation, Retrokurvation, Varus, Valgus, Selbstverschiebung, Rotation
- Antekurvation:** ja / nein
- Ad latus Verschiebung:** um Corticalbreite und weniger als ein Drittel des Knochenenddurchmessers
- Status Epiphysenfuge:** offen, partiell geschlossen, physiologisch, vollständig geschlossen, physiologisch
- Retrokurvation:** ja / nein
- Varus Fehlstellung:** um weniger als die Hälfte, um mehr als die Hälfte
- Valgus Fehlstellung:** um die vollständige Knochenbreite

Right Page: Verlauf / Entlassung (Course / Discharge)

- Verlauf / Entlassung:**
 - bekannt
 - nicht bekannt
- Datum Sekundärbehandlung:** Tag, Monat, Jahr
- Primäre Entscheidung:**
 - Immobilisation
 - Kellung
 - Reposition
- Art der Reposition:**
 - geschlossen
 - offen
- Post-Repersionsstabilisierung:**
 - Gips
 - Gips, Kellung beabsichtigt
 - K-Draht
 - Fixateur Externe
 - ESIN (elastischer Marknagel)
 - Schrauben
 - andere
- Zusätzliche lokale Eingriffe (z.B. Fasciotomie, Debridement):** keine, ja
- Anästhesie / Sedierung:**
 - keine
 - Sedierung
 - Lokalanästhesie
 - Regionalanästhesie
 - andere
 - Volnarkose
 - andere
- Fehlstellung nach Therapie (nur wenn Rx):**
 - wie zuvor
 - verändert
 - besätigt
 - nicht kontrolliert
- Spezifikationen Dislokation 2:**
 - Antekurvation
 - Rekurvation
 - Varus Fehlstellung
 - Valgus Fehlstellung
 - Ad latus Verschiebung: keine, um Corticalbreite und weniger als ein Drittel des Knochenenddurchmessers, um weniger als die Hälfte, um die vollständige Knochenbreite
 - Rotationsfehler Tibia: vorhanden, nicht vorhanden
- Status Kompl. zum Entlassungszeitpunkt:**
 - geheilt
 - unverändert
 - gebessert
 - tot

Abbildung 7: Primärbogen

Follow-up-Bogen: Dieser ebenfalls zweiseitige Bogen wurde für die Wachstumsphase verwendet und musste zu jeder Nachuntersuchung erneut ausgefüllt werden. Folgende Unterpunkte wurden abgefragt:

Persönliche Daten des Patienten mit betroffener Seite (vorgegeben). Wichtig war hier die Überprüfung der MRN-Nummer, um eine einwandfreie Zuordnung von Primär- und Follow-up-Bogen zu gewährleisten.

Blatt 1 „klinische Beurteilung“ fragte die Felder Untersuchungsdatum, Zeitpunkt des Kontrollintervalls, Korrektur durchgeführt (falls ja auch das Datum), lokale Komplikationen (Mehrfachnennungen möglich), Vollbelastung, Druckschmerz mit Lokalisation (Mehrfachnennungen möglich), Teilnahme an Schul-, Freizeitsport und täglichen Aktivitäten, Ruhigstellung, Dokumentation (fotografisch, keine, Röntgen), Status der Epiphysefuge, Konsequenzen und Art der Korrekturbehandlung ab.

Blatt 2 „Achse und Funktion“ beginnt mit „sichtbare Deformität.“ Falls es keine Deformität gab, konnten die Felder Achsabweichung, Gradzahl und Rotationsfehler frei gelassen werden. Bei allen anderen Antworten mussten diese entsprechend mit Abweichungen in Grad und der Deformität in Sagittal- oder Frontalebene ausgefüllt werden.

Abschließend Blatt 3 „Achse und Funktion / Mobilität“ bezieht sich auf die Punkte Mobilität in Knie und Sprunggelenk und nur für den Fall, dass funktionelle Einschränkungen dokumentiert wurden, mussten die entsprechenden Freiheitsgrade in Grad (Verlust an Bewegungsumfang im Vergleich zur Gegenseite) eingetragen werden. Funktionsprüfungen sollten immer an Knie und Sprunggelenk durchgeführt werden. Bei dem Unterpunkt Stabilität waren, sofern nicht „normal“ gewählt, Mehrfachnennungen möglich. Falls das Gangbild nicht uneingeschränkt, symmetrisch erschien, war dies unter Spezifizierungen zum Gangbild mit möglichen Mehrfachnennungen anzugeben. Die Punkte Hocken und Beckenschiefstand konnten nur mit einer Einfachnennung beantwortet werden. Kam es unter dem Punkt funktionelle Beinlängendifferenz zu einem Unterschied, so war dieser in Millimetern anzugeben. Die Messung wurde im Stehen mit untergelegten Brettchen in 5mm Schritten vorgenommen und bei zu kleinen Kindern klinisch abgeschätzt. Die Punkte Wirbelsäule und subjektive Beurteilung konnten nur mit Einfachnennungen beantwortet werden.

Die erhobenen Daten wurden online über das akademische Dokumentationsportal <http://www.memdoc.org> anonymisiert in die Datenmaske eingegeben. Die Datensicherheit wurde dabei durch Passwortschutz und 128-Bit-Verschlüsselung gewährleistet. Im Dokumentationssystem wurde mit der Generierung eines neuen Primärbogens jedem Patienten eine MRN-Nummer zum Zweck der Anonymisierung zugeordnet. Diese setzt sich aus einem Kürzel für die anatomische Lokalisation der Fraktur, einem Kürzel der teilnehmenden Klinik und einer dreistelligen fortlaufenden klinikinternen Ziffernfolge zusammen. Die weitere Patientenidentifikation lief ausschließlich über das Geburtsdatum und das Geschlecht. Weitere Eingabemöglichkeiten standen nicht zur Verfügung. Die MRN-Nummern lassen sich nur mit Hilfe eines vertraulichen Studienbuches nachvollziehen und sind ausschließlich zur Beantwortung und eventuell fehlender Angaben seitens der Studienleitung abrufbar. Nach Absenden des Formulars war der Bogen unabänderlich gespeichert.

Die Erhebung, Verarbeitung, Weitergabe und Speicherung der Daten unterlag strengen spezialgesetzlichen Bestimmungen. Nur dem behandelnden Arzt sind persönliche Daten wie Name und Anschrift bekannt. Die Daten unterliegen im Übrigen dem hessischen Datenschutzgesetz. Insbesondere eine Veröffentlichung der Daten in wissenschaftlichen Publikationen erfolgt nur, wenn zuvor jeder Bezug zu Ihrer Person unkenntlich gemacht worden ist, entweder durch Anonymisierung oder durch Verwendung eines Pseudonyms. Über die Möglichkeit einer Veröffentlichung der ausgewerteten Gesundheitsdaten bzw. der Forschungsergebnisse und deren Archivierung wurden die Probanden und Eltern in Kenntnis gesetzt. Ein spezieller Versicherungsschutz ist nicht notwendig.

Die Datenauswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Evaluative Forschung in Orthopädischer Chirurgie der Universität Bern in einem dort speziell für die Untersuchung von Knochenbrüchen entwickelten Computerprogramm. Die Zuverlässigkeit und Datensicherheit dieses Programmes wurde durch die Kantonale Ethikkommission des Kantons Bern am 26.11.2002 bestätigt.

2.1.8 Patienteninformation und Einwilligungserklärung

Die Patienten und Ihre Erziehungsberechtigten bzw. gesetzlichen Vertreter wurden über Sinn, Zweck und Ablauf der Studie informiert und mussten ihr Teilnahmeeinverständnis

bekunden. Ein Widerruf bzw. Ausscheiden aus der klinischen Studie war ohne Angabe von Gründen jederzeit möglich.

Patient und Eltern sollten den Informationsbogen vollständig insbesondere mit einem lokalen Ansprechpartner ausgefüllt im Original ausgehändigt bekommen. Das Archivieren einer Kopie war nicht nötig.

Das Einwilligungsförmular musste vom rechtlich Verantwortlichen, in der Regel einem Elternteil, unterzeichnet werden. Jugendliche wurden zur Verbesserung der Compliance ebenfalls um Einwilligung und Unterschrift gebeten. Die unterschriebene Einwilligungserklärung sollte kopiert und ausgehändigt werden. Das Original wurde im Studienbuch abgeheftet. Der „Aufklärungsbogen“ befindet sich unter Punkt 11.1 und die „Einwilligungserklärung“ unter Punkt 11.2 im Anhang zur Einsicht.

2.1.9 Teilnehmende Kliniken

Anbei befindet sich tabellarisch eine Liste aller Institutionen, welche an der Studie teilgenommen haben. Für die Teilnahme konnten 21 kindertraumatologische Einrichtungen rekrutiert werden, davon waren 11 unfallchirurgisch und 10 kinderchirurgisch ausgerichtet. Es nahmen 9 Universitätsklinika, 8 Schwerpunktkrankenhäuser und 4 Krankenhäuser der Grund- und Regelversorgung teil. Letztendlich leisteten 7 Teilnehmer regelmäßige Studienbeiträge. Zur Übersichtlichkeit ist ebenfalls das MRN-Kürzel jeder Klinik mit aufgeführt.

Institution	Abteilung	Standort	MRN
Klinikum der Humboldt-Universität, Campus Virchow-Klinikum	Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie	Berlin	UEBER
Klinikum Braunschweig	Unfallchirurgie	Braunschweig	UEBRA
Klinikum der Universität Erlangen	Kinderchirurgie	Erlangen	UEERL
Klinikum der KFU, Graz	Kinderchirurgie	Graz	UEGRA
Klinikum der JWG Universität, Frankfurt	Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie	Frankfurt	UEFRA
Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Standort Gießen	Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie	Gießen	UEGIE
Altonaer Kinderkrankenhaus	Unfallchirurgie	Hamburg	UEHAM
Städtische Kliniken	Unfallchirurgie	Hanau	UEHAU
Kliniken des Main-Taunus-Kreises GmbH	Orthopädie & Unfallchirurgie	Hofheim	UEHOF
Klinikum der Friedrich Schiller Universität	Kinderchirurgie	Jena	UEJEN
Kinderkrankenhaus Park Schönfeld	Kinderchirurgie	Kassel	UEKAS
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel	Unfallchirurgie	Kiel	UEKIE
Asklepios Klinik Langen-Seligenstadt	Unfallchirurgie	Langen	UELAN
Kreiskrankenhaus Leer	Unfallchirurgie	Leer	UELEE
Uniklinikum Leipzig	Kinderchirurgie	Leipzig	UELEI
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck	Kinderchirurgie	Lübeck	UELUB
Klinik für Unfallchirurgie, Universitätsklinik Mainz	Bereich Kinder- Traumatologie	Mainz	UEMAI
Dr. v. Haunersches Kinderspital, LMU, München	Arbeitsgruppe Kinder-Traumatologie	München	UEMUN
Dietrich Bonhöffer Klinikum Neubrandenburg	Kinderchirurgie	Neubrandenburg	UENEU
Krankenhaus Barmherzige Brüder Klinik St. Hedwig	Kinderchirurgie	Regensburg	UEREG
Kinderkrankenhaus Wilhelmstift	Kinderchirurgie	Hamburg	UEWIL
Klinikum der Stadt Wolfsburg	Unfallchirurgie	Wolfsburg	UEWOL
Stadtspital Triemli	Kinderchirurgie	Zürich	UEZUR

Tabelle 2: Teilnehmende Kliniken

2.1.10 Personelle und technische Voraussetzungen

Jede der teilnehmenden Kliniken hat einen verbindlich verantwortlichen Mitarbeiter für die korrekte und vollständige Dateneingabe benannt, welcher auch als Ansprechpartner bei Rückfragen oder Änderungen für die Studienleitung fungierte.

Technische Mindestvoraussetzungen für die Online-Version waren ein Computer-Arbeitsplatz mit Internetzugang, Scanner (Digitalisierung der Röntgenbilder) und Drucker (nur für Papierversion). Für die Papierversion waren ein Internet-Arbeitsplatz mit Drucker zum Herunterladen der Befundbögen und ein Bleistift notwendig. Eine Digitalkamera mit mindestens 3,0 Megapixel war unabhängig von der Papier- oder online-Version zur klinischen Dokumentation notwendig. Jeder verantwortliche Mitarbeiter benötigte einen Zugangscode, damit alle Dokumente der Ursprungsklinik zugeordnet werden konnten. Für technische Fragen war Prof. Dr. med. Christoph Röder und für allgemeine sowie organisatorische Fragen war PD Dr. med. Ralf Kraus verantwortlich.

2.2 Statistische Methoden

Alle statistischen Analysen wurden mit SAS 9.4 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) durchgeführt. Um die Signifikanz der Unterschiede zwischen interessierten Gruppen zu prüfen, wurde der Wilcoxon-Rangsummen-Test für unabhängige Zweistichproben verwendet. Das Signifikanzniveau α wurde auf 5% festgelegt.

2.3 Aquirierung der Patientengruppe

In der dreijährigen Aquirierungsphase vom 01.08.2006 bis zum 31.07.2009 wurden alle Patienten in die teilnehmenden Kliniken unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien aufgenommen. Die obere Altersgrenze ergab sich durch die Voraussetzung der offenen Wachstumsfuge und lag zwischen dem 14. und 16. Lebensjahr. Das Resultat war eine Stichprobe aus 177 (3.3.S.1, 4.1.S.1, 4.3.S.1) Patienten, wovon 150 (4.3.S.1) den für uns relevanten Kriterien einer Epiphysenlösung der distalen Tibia entsprachen. 132 Patienten hatten der Klassifikation nach Salter und Harris eine Fraktur Typ I und 18 Patienten eine Fraktur Typ II.

Die Ethikkommission des Fachbereichs Humanmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen hat mit Beschluss vom 22.06.2006 das Vorhaben in der hier vorliegenden Form gebilligt. Änderungsaufgaben wurden nicht gemacht. Bedenken aus datenschutzrechtlicher Sicht liegen nicht vor. Der Ethikantrag ist unter dem Aktenzeichen AZ 4306 hinterlegt.

3 Ergebnisse

Der Ergebnisteil wurde in drei Unterpunkte gegliedert. Der erste Teil bezieht sich auf die deskriptiven Daten aus der Primärerhebung. Darauffolgend werden die deskriptiven Daten der Follow-up Untersuchung thematisiert. Der abschließende Teil bezieht sich dann auf die Zusammenhänge zwischen den ersten beiden Abschnitten.

3.1 Ergebnisse der Primärerhebung

3.1.1 Charakterisierung der Patientengruppe

3.1.1.1 Altersverteilung

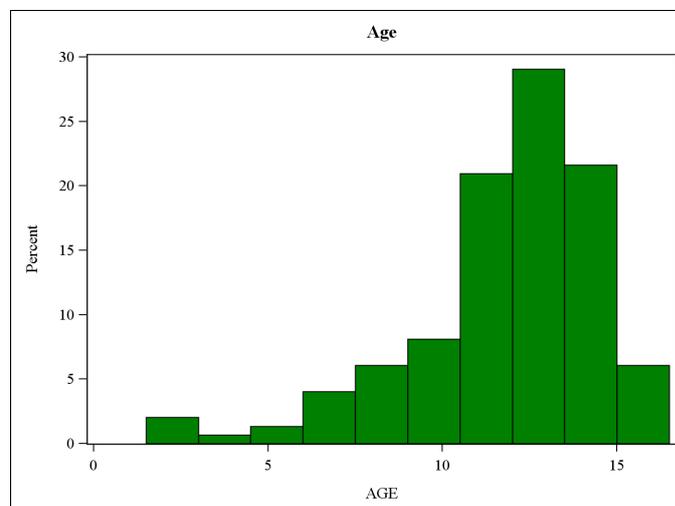


Abbildung 9: Altersverteilung Abbildung

Analysis Variable: AGE					
GENDER	N	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev
female	56	2.61	14.79	10.81	2.61
male	94	2.02	15.99	12.40	2.69

Tabelle 3: Altersverteilung

Wie in 2.3 besprochen, ergibt sich die Altersgrenze durch die Voraussetzung der offenen Wachstumsfuge. Der jüngste betroffene Patient im uns vorliegenden Kollektiv war zwei Jahre alt und der älteste 16 Jahre. Das jüngste Mädchen war drei Jahre alt, der jüngste männliche Patient hingegen zwei Jahre. Der älteste Junge andererseits 16 Jahre im Gegensatz zu den Mädchen mit 15 Jahren. Das Durchschnittsalter lag bei 11.8 Jahren, wobei die Mädchen mit 10.8 Jahren zu den Jungen mit 12.39 Jahren im Durchschnitt um etwa anderthalb Jahre differierten. Durch die jeweilige Standardabweichung, wie in Tabelle 3 ersichtlich, verteilten sich 70% der Mädchen im Alter von 8.2 bis 13.4 Jahren und bei den Jungen zwischen 9.7 und 15.1 Jahren.

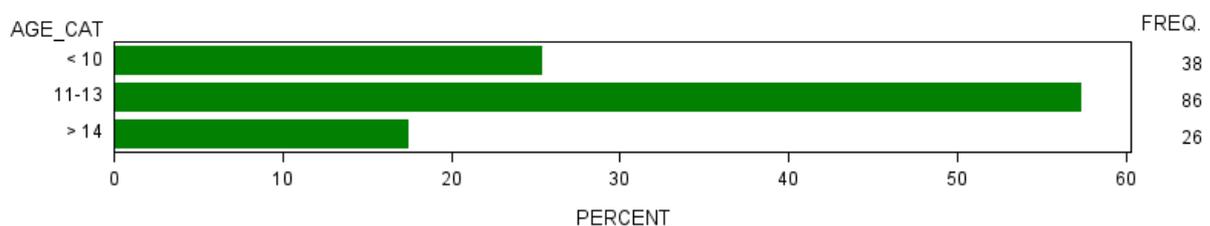


Abbildung 10: Altersverteilung gruppiert

In der Gesamtheit befanden sich 86 (57,3%) Patienten im Alter zwischen 11-13 Jahren. Die jüngeren 38 (25,3%) Patienten im Alter von 10 Jahren oder jünger und die älteren 26 (17,3%) Patienten im Alter von 14 Jahren oder älter befanden sich in der Unterzahl.

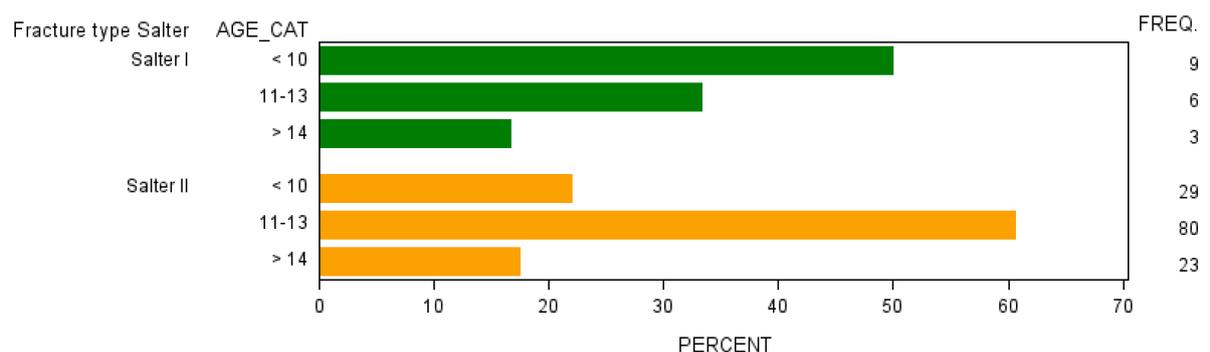


Abbildung 11: Altersverteilung gruppiert nach Klassifikation

Bezieht man die Altersverteilung auf den Frakturtyp nach SH I, so gibt es 9 Patienten (50,0%) unter 10 Jahren, 6 (33,3%) zwischen 11 und 13 Jahren und 3 Patienten (16,7%), welche älter als 13 Jahre sind. Unter den SH II - Frakturen spaltet sich die Verteilung

entsprechend in 29 Patienten (22,0%) unter 10 Jahren, 80 Patienten (60,6%) zwischen 11-13 Jahren und 23 Patienten (17,4%) über 13 Jahren auf.

3.1.1.2 Geschlechtsverteilung

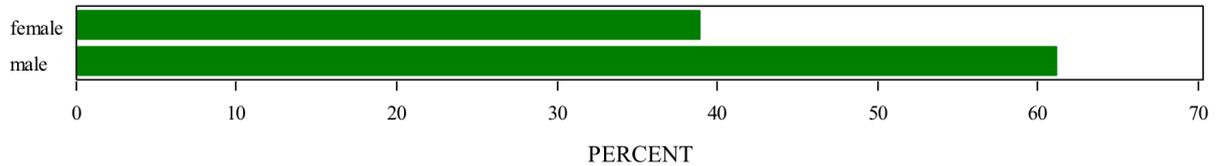


Abbildung 12: Geschlechtsverteilung nach Klassifikation SH I

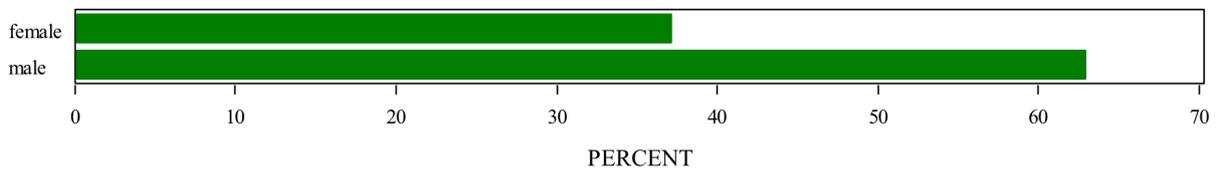


Abbildung 13: Geschlechtsverteilung nach Klassifikation SH II

Unter den im Zeitraum von 36 Monaten während der multizentrischen Studie aufgenommenen 150 Patienten mit einer Salter-Harris-Epiphysenlösung befanden sich, wie aus Tabelle 3 ersichtlich, 56 (37,33%) weibliche Patienten sowie 94 (62,67%) männliche Patienten. Sieben Mädchen (38,89%) und elf Jungen (61,11%) wiesen eine Salter-Harris-I-Fraktur auf. Bei der Salter-Harris-II-Fraktur waren es hingegen 49 Mädchen (37,12%) und 83 Jungen (62,88%).

3.1.1.3 Frakturklassifikation nach Seite

Side=right					Side=left				
Fracture classification					Fracture classification				
P_FX_CLASS	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent	P_FX_CLASS	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
4.3.S.1	74	100.00	74	10	4.3.S.1	75	100.00	75	10

Tabelle 4: Frakturklassifikationen nach Seite

Im gesamten Patientenkollektiv von 150 Patienten können 74 (49,3%) Patienten mit einer Fraktur auf der rechten Seite und 75 (50,0%) mit einer Fraktur auf der linken Seite registriert werden. Eine SH II-Fraktur (0,7%) wurde nicht zugeordnet.

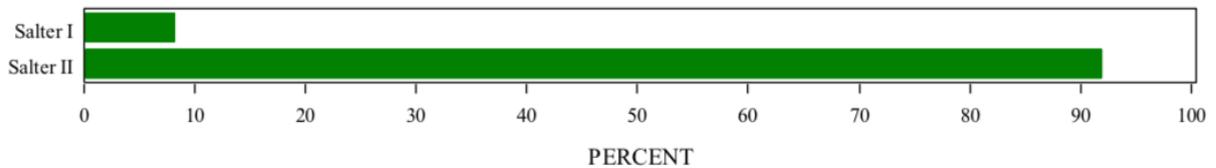


Abbildung 14: SH I-Frakturen nach Seite

Unter den 74 Frakturen auf der rechten Seite befinden sich 6 (8,1%) SH I- und 68 (91,9%) SH II-Frakturen.

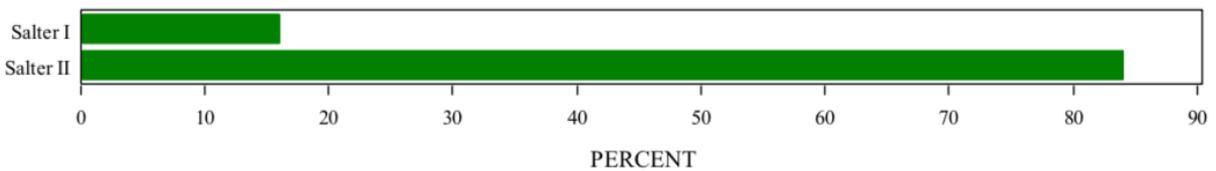


Abbildung 15: SH II-Frakturen nach Seite

Bei den 75 Frakturen der linken Seite hingegen befinden sich 12 (16,0%) mit einer SH I- und 63 (84,0%) mit einer SH II-Klassifikation.

Nimmt man eine Aufteilung nach Klassifikation vor, so sind das für die SH II-Fraktur 68 auf der rechten (51,9%) und 65 auf der linken (48,1%) Seite. Bei der SH I-Fraktur hingegen 6 auf der rechten (33,3%) und 12 auf der linken Seite (66,6%).

3.1.2 Frakturklassifikation

3.1.2.1 Frakturtypen

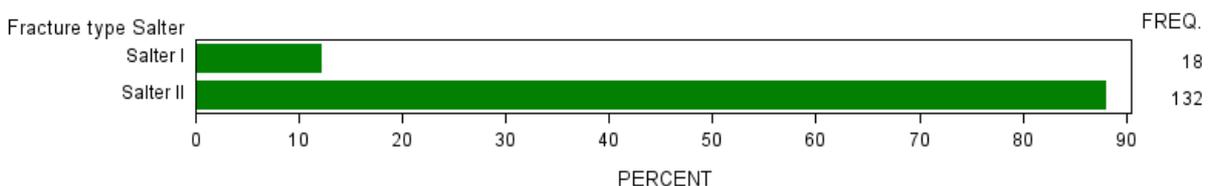


Abbildung 16: Verteilung nach Klassifikation

Über den kompletten Zeitraum der Erhebung wurde eine Gesamtheit von 150 Frakturen aufgezeichnet. Davon konnten 18 Fälle einer Salter-Harris Typ I-Fraktur zugeordnet werden und die restlichen 132 Fälle einer Salter-Harris Typ II-Fraktur. Dies entspricht für Typ I 12% und für Typ II 88%.

3.1.2.2 Status der Epiphysenfuge

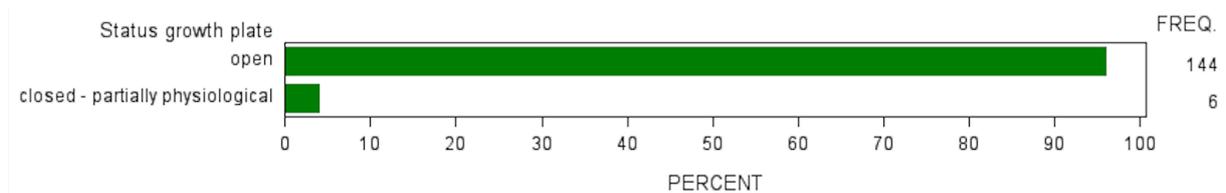


Abbildung 17: Status der Epiphysenfuge

Zum Zeitpunkt der Erhebung hatten 144 (96,0%) der 150 Patienten noch nicht verschlossene Epiphysenfugen. Bei den restlichen 6 (4,0%) Patienten waren die Wachstumsfugen bereits teilweise verschlossen.

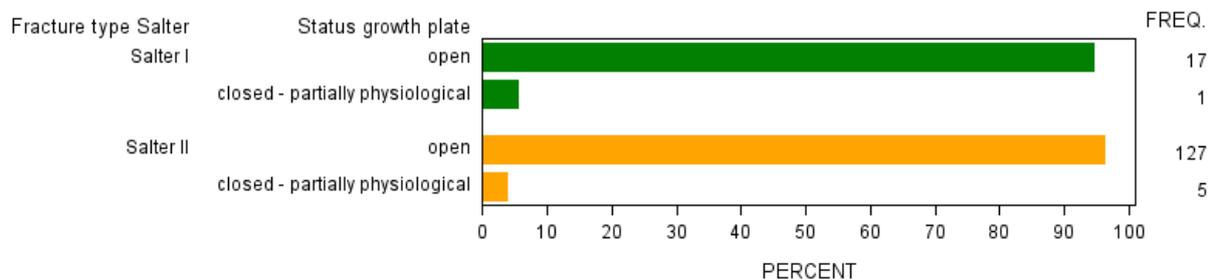


Abbildung 18: Status der Epiphysenfuge nach Klassifikation

Schaut man sich nun nur SH I-Frakturen an, so hatten 17 (94,4%) der Patienten noch offene Fugen und nur ein Patient (5,6%) physiologisch teilweise geschlossene Fugen. Bei den SH II-Frakturen waren es 127 Patienten (96,2%) mit offenen und 5 (3,8%) mit physiologisch teilweise geschlossenen Fugen.

3.1.2.3 Lokalisation des metaphysären Keils

Die Lokalisation des metaphysären Keils bezieht sich ausschließlich auf SH II-Frakturen, da nur diese laut Definition mit metaphysärem Keil einhergehen.

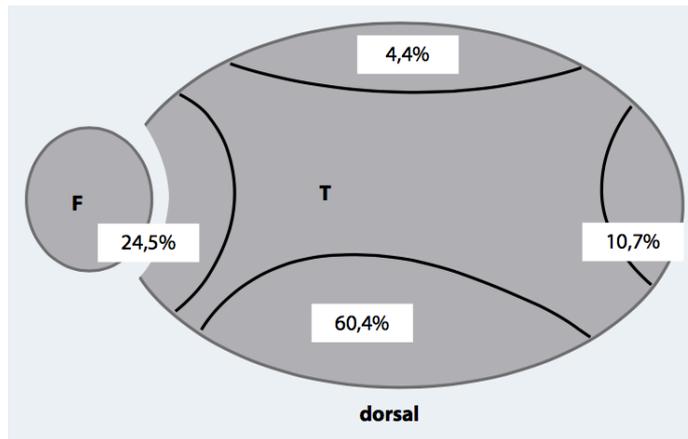


Abbildung 19: Hauptlagerichtung des metaphysären Keils bei SH II-Frakturen (F=Fibula, T=Tibia) [45]

In Abbildung 13 wird die Hauptlagerichtung des metaphysären Keils bei SH II-Frakturen ausgewertet. Dabei stellt F die Fibula dar und T die Tibia. Mit 60,4% (n=80) stellte die dorsale Lage des Keils die häufigste Lage dar; gefolgt von der lateralen Lage mit 24,5% (n=32). Mediale (10,7%; n=14) und ventrale Keilbildungen (4,4%; n=6) waren eher selten.

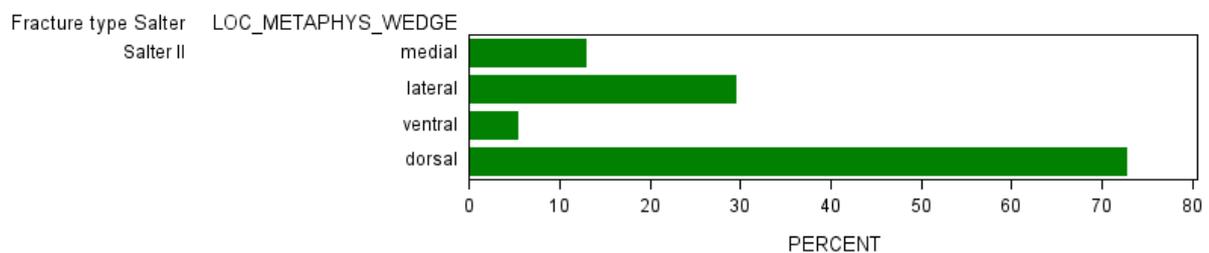


Abbildung 20: Lokalisation des metaphysären Keils

Die vorhergehende Abbildung zeigt die Gesamtanzahl an genannten Lokalisationsrichtungen eines metaphysären Keils. Der dorsale Keil stellte mit 72,7% den größten Anteil dar. Dies waren 96 Frakturen mit entsprechender Symptomatik. Laterale Keile traten in 29,5% der Fälle auf und somit bei 39 Frakturen. Mediale Metaphysenkeile gab es in 12,9% (17 Frakturen) und ventrale in 5,3% (7 Frakturen) der Fälle.

Die genaue Lage des metaphysären Keils konnte unter Umständen durch Abweichung in der Frontal- und Sagittalebene beschrieben werden und daher übersteigt die Gesamtanzahl der Lokalisationen des metaphysären Keils die Anzahl der Frakturen.

Dementsprechend war das Angeben mehrerer Lokalisationsrichtungen möglich. Das Ausfüllen einer Antwortmöglichkeit hingegen Pflicht.

3.1.2.4 Art der Dislokation

Unter den 150 erhobenen Frakturen der Klassifikation 4.3.S1 befanden sich n=111 (74,0%) undislozierte und n=39 (26,0%) dislozierte Frakturen. Der Dislokationsgrad wurde in 18 Fällen (16,2%) als tolerabel, d.h. nicht repositionsbedürftig angesehen. Als nicht tolerabel und ausschlaggebend für die Indikation zu einer Achskorrektur wurde von den Studienteilnehmern am häufigsten die Antekurvatur (44,9%), gefolgt von der Seit-zu-Seit-Verschiebung (42,8%) und einer Valgusfehlstellung (36,7%) angesehen. In dieser Gruppe fanden sich lediglich 1,3% offene Frakturen und 0,7% neurogene oder vaskuläre Begleitverletzungen.

3.1.2.5 Richtung der Dislokation

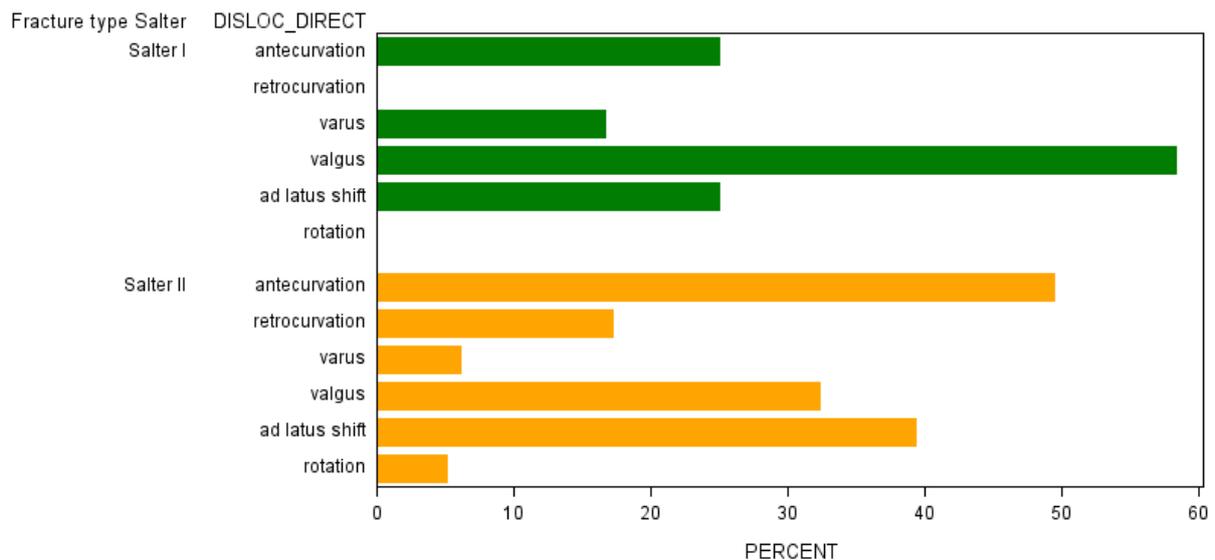


Abbildung 21: Richtung der Dislokation

Die Dislokation in Antekurvatur stellte mit 31,9% (n=52) den größten Anteil dar. Davon waren 5,8% (n=3) SH I-Frakturen und 94,2% (n=49) SH II-Frakturen. Im Anschluss kamen der ad-latus-shift (Seit-zu-Seit-Verschiebung) mit 25,8% (n=42), wovon 7,1% (n=3) SH I-Frakturen und 92,9% (n=39) SH II-Frakturen waren. Eine Valgusfehlstellung konnte in 23,9% (n=39) der Fälle festgestellt werden. Davon waren anteilig 17,9% (n=7) SH I- und 82,1% (n=32) SH II-Frakturen. Die Varusfehlstellung hatte einen Anteil von 4,9% (n=8) mit 25% (n=2) SH I- und 75% (n=6) SH II-Frakturen. Abschließend waren

noch die Retrokurvation mit 10,4% (n=17) und die Rotationsfehlstellung mit 3,1% (n=5) zu nennen, welche ausschließlich bei Patienten mit SH II-Frakturen festgestellt wurden.

Die Angabe einer Dislokationsrichtung war für das Ausfüllen des Bogens Pflicht; Mehrfachantworten waren ebenfalls möglich. War keine Dislokation feststellbar, so konnte auch nur diese Antwortmöglichkeit gewählt werden. Dies erklärt die größere Summe an Dislokationsrichtungen als absolut vorhandene Frakturen.

3.1.2.6 Dislokationsgrade

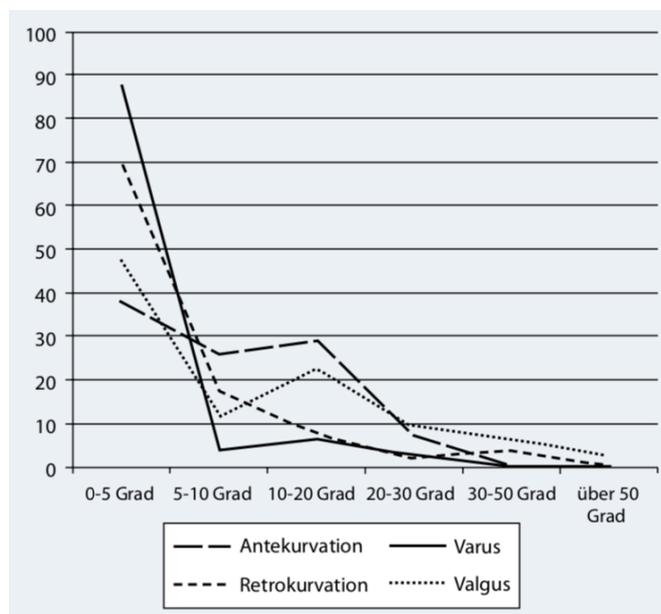


Abbildung 22: Übersicht der Achsabweichungen bei Wachstumsfugenlösungen in der Frontal- und Sagittalebene [45]

Die Dislokationsgrade stellen das Ausmaß der Fehlstellung der Fraktur in Grad dar. Dabei wird in folgende Dislokationsgrade unterschieden: $<10^\circ$, $10-20^\circ$, $20-30^\circ$ und $\leq 30^\circ$. Weiterhin wurde eine Unterteilung der Dislokationsgrade nach Epiphyseolyen mit bzw. ohne metaphysären Keil (SH I bzw. II = Wachstumsfugenlösungen) vorgenommen.

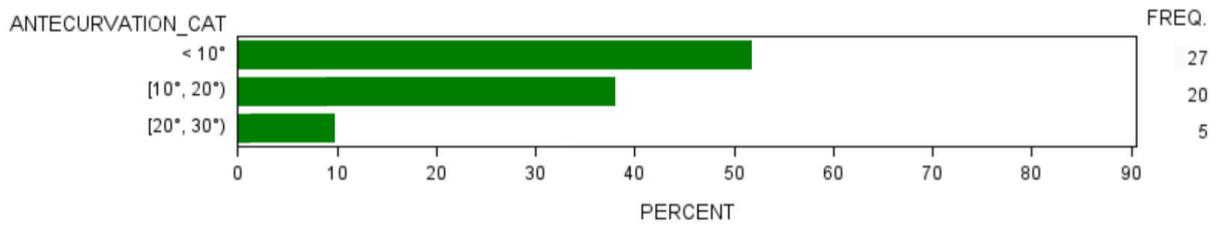


Abbildung 23: Antekurvationsfehlstellung in Grad gesamt

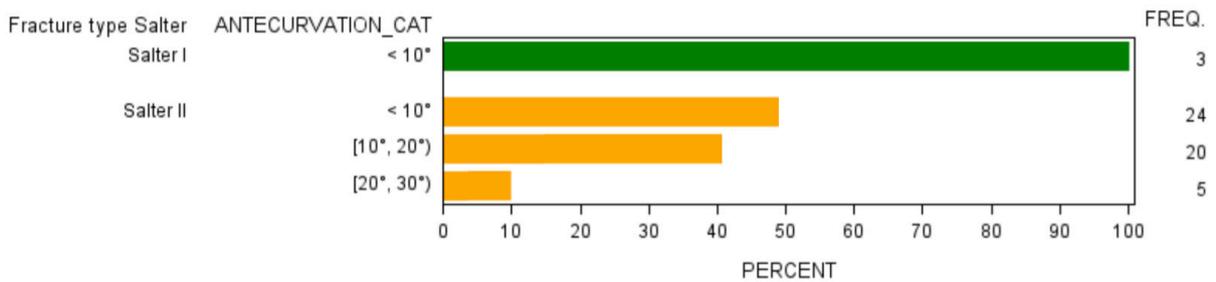


Abbildung 24: Antekurvationsfehlstellung in Grad nach Salter

Wie im vorangehenden Abschnitt 3.1.5 beschrieben, nimmt die Antekurvationsfehlstellung mit 52 Frakturen den absolut größten Stellenwert ein. Unter den SH I-Frakturen zeigen alle 3 Frakturen ein Dislokationsausmaß von <10°. Bei den SH II-Frakturen liegen 24 bei <10°, 20 zwischen 10-20° und 5 zwischen 20-30°.

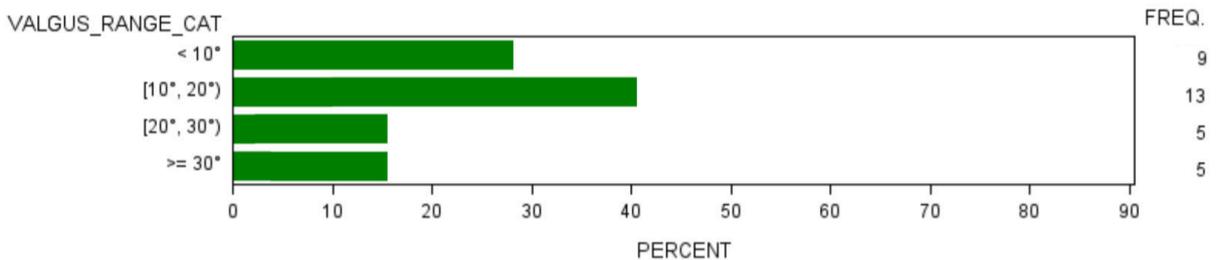


Abbildung 25: Valgusfehlstellung in Grad gesamt

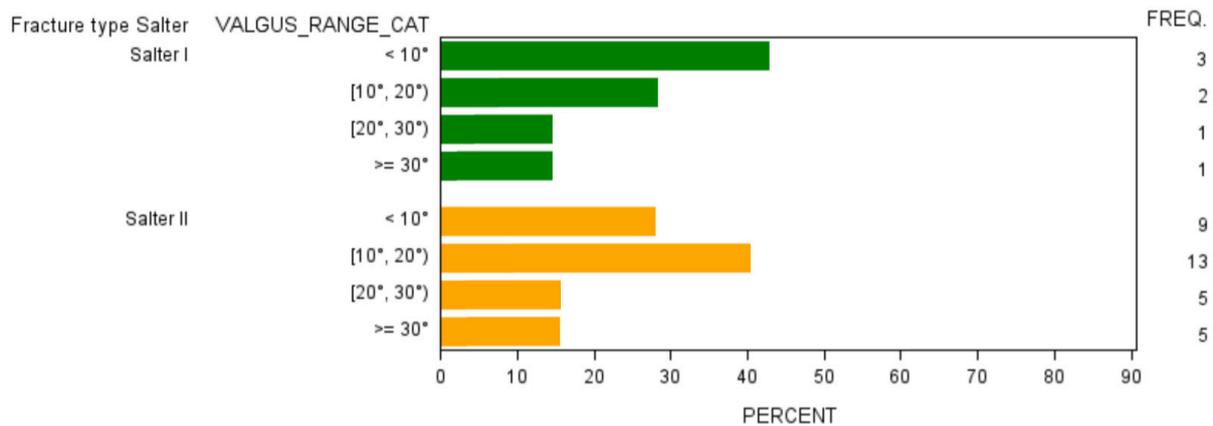


Abbildung 26: Valgusfehlstellung in Grad nach Salter

Daran anschließend mit 39 Frakturen die Valgusfehlstellung. Hier stellen sich unter den SH I-Frakturen 3 mit $<10^\circ$, 2 zwischen $10-20^\circ$ und jeweils 1 mit $20-30^\circ$ bzw. $\leq 30^\circ$ dar. Unter den SH II-Frakturen zeigen 9 ein Dislokationsausmaß von $<10^\circ$, 13 eines zwischen $10-20^\circ$ und jeweils 5 eines von $20-30^\circ$ bzw. $>30^\circ$.

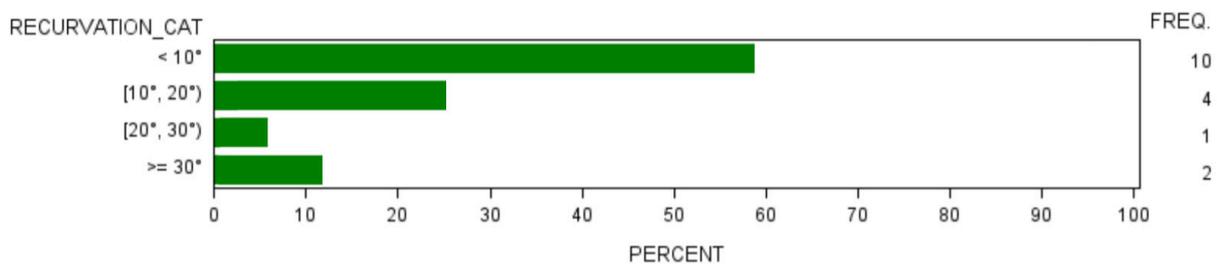


Abbildung 27: Rekurvationsfehlstellung in Grad bei SH II-Frakturen

Die Rekurvationsfehlstellung kommt in 17 Fällen vor, wovon ausschließlich SH II-Frakturen betroffen sind und 10 $<10^\circ$, 4 zwischen $10-20^\circ$, 1 zwischen $20-30^\circ$ und 2 $\geq 30^\circ$.

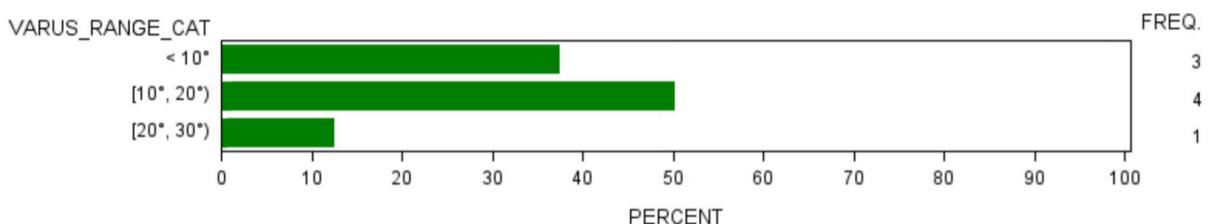


Abbildung 28: Varusfehlstellung in Grad gesamt

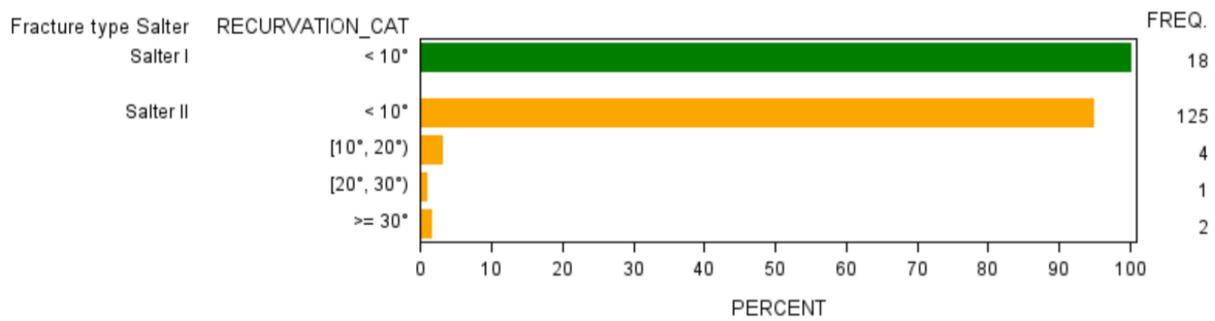


Abbildung 29: Varusfehlstellung in Grad nach Salter

Noch zu nennen bleibt die Varusfehlstellung in nur 8 Fällen. Hier gibt es 2 SH I-Frakturen jeweils eine mit <10° und eine zwischen 20-30°. Unter den 6 SH II-Frakturen bleiben noch 2 <10° und 4 zwischen 10-20°.

3.1.3 Behandlung

3.1.3.1 Zeitpunkt der Primärbehandlung

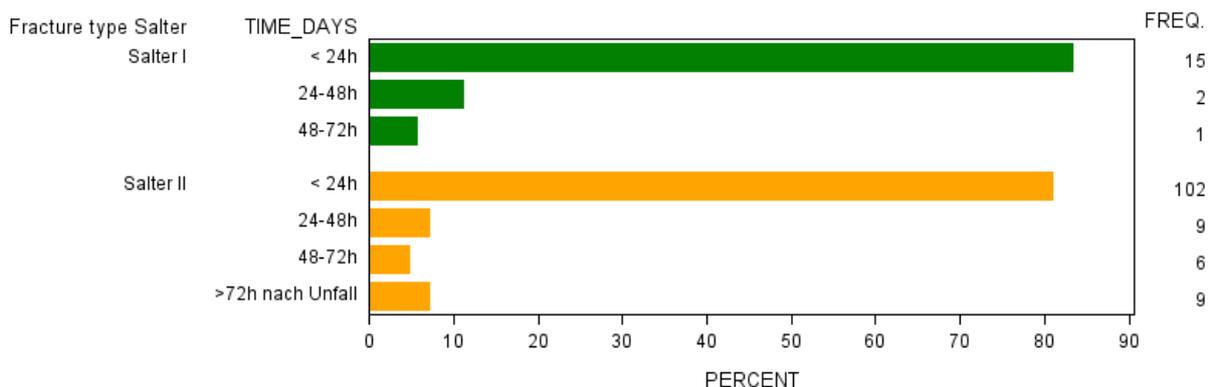


Abbildung 30: Zeitpunkt der Primärbehandlung nach Klassifikation

Innerhalb der ersten 24 Stunden nach einem Unfall wurden 117 der 150 Frakturen und somit 81,3% primär behandelt. Davon konnten 15 (83,3%) der SH I- und 102 (81,0%) der SH II- Klassifikation zugeordnet werden. Im Zeitraum von 24-48 Stunden wurden 2 (11,1%) SH I- und 9 (7,1%) SH II-Frakturen behandelt. Des Weiteren wurden 1 (5,6%) SH I-Fraktur und 6 (4,8%) SH II-Frakturen zwischen 48-72 Stunden behandelt. Nach 72 Stunden und mehr wurden ausschließlich 9 (7,1%) SH II-Frakturen versorgt. Unter den 150 Fällen wurden 6 Frakturen keinem Versorgungszeitraum zugewiesen, welche in der Tabelle nicht mitberücksichtigt wurden. Es waren allesamt SH II-Frakturen.

3.1.3.2 Art der Reposition

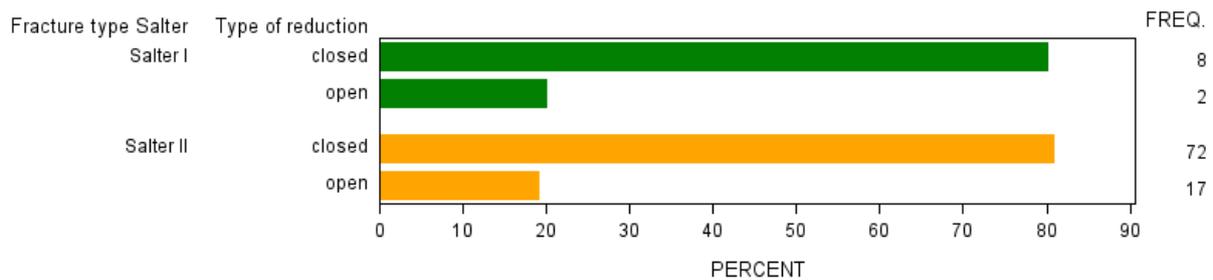


Abbildung 31: Art der Reposition nach Klassifikation

Die Art der Reposition wurde in geschlossen und offen unterteilt. In Gegensatz zur offenen Reposition erfordert die geschlossene Reposition keinen operativen Eingriff. Beide werden mit Hilfe der radiologischen Bildwandlerkontrolle durchgeführt. Unter den 150 Frakturen wurde in 99 Fällen eine Reposition notwendig. Dies geschah bei 10 SH I- und bei 89 SH II-Frakturen. Dementsprechend waren 8 SH I- und 43 SH II-Frakturen nicht repositionswürdig (34%) beziehungsweise wiesen keine Dislokation oder eine tolerable Dislokation auf. Hier bestand die Behandlung allein in der Immobilisation.

Von den SH I-Frakturen wurden 8 (80,0%) geschlossen und 2 (20,0%) offen reponiert. Bei den SH II-Frakturen hingegen wurden 72 (80,9%) geschlossen und 17 (19,1%) offen reponiert. Insgesamt wurden 80,8% der Repositionen (n=80) in geschlossener Weise vorgenommen und 19,2% offen reponiert (n=19). Unter den n=99 reponierten Frakturen wurde in 7 Fällen (7,1%) wurde eine verbliebene Dislokation $<10^\circ$ toleriert.

Eine „Nachreposition“ wurde in 9 von 150 Fällen (6,0%) notwendig. Dies bedeutete, dass eine überweisende Klinik, welche die Fraktur diagnostizierte, die konservative Ruhigstellung als ausreichende Maßnahme ansah. Hier musste ein neuer Behandlungsbogen erstellt werden.

3.1.3.3 Art der Repositionsstabilisierung

Mehrfachnennungen waren bei der Art der Repositionsstabilisierung möglich und waren oft nötig. Das Ankreuzen mindestens eines Feldes war Pflicht. In 22,2% der zu reponierenden Fälle erfolgte nur eine Reposition mit anschließender Gipsruhigstellung. In 50,7% (n=76) der Fälle wurde zusätzlich eine oder eine Kombination mehrerer Osteosynthesen durchgeführt.

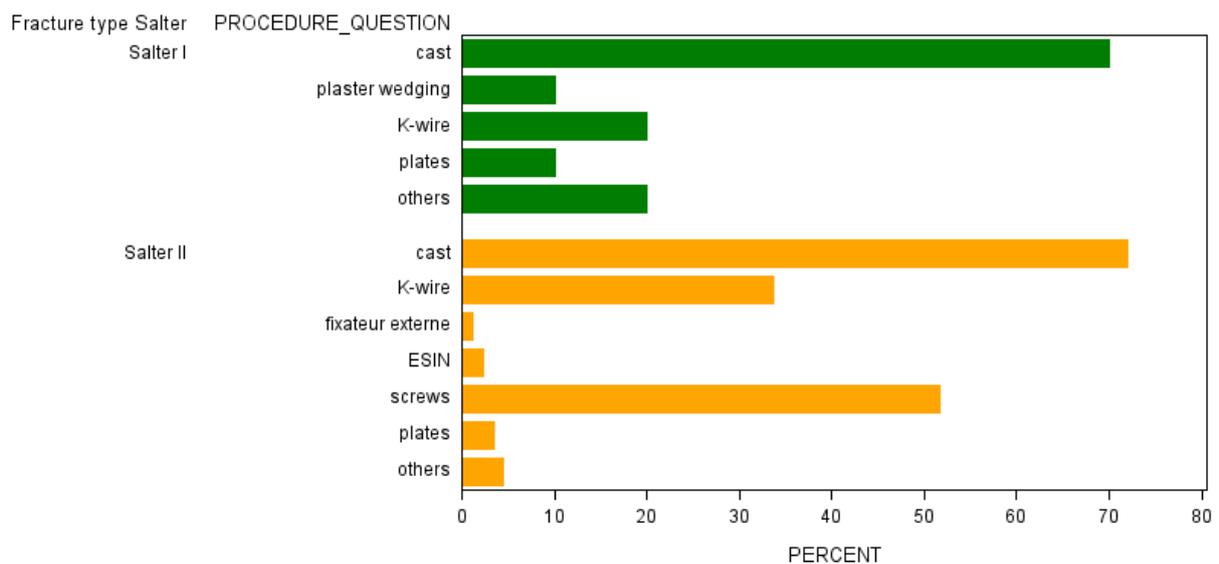


Abbildung 32: Art der Repositionsstabilisierung nach Klassifikation

Die Art der Repositionsstabilisierung bezieht, sich wie im vorangegangenen Abschnitt „Art der Reposition“ beschrieben, auf 10 Fälle mit einer SH I-Fraktur und 89 Fälle mit einer SH II-Fraktur. Eine Repositionsstabilisierung war bei den verbliebenen Epiphyseolysen nicht notwendig.

Unter den reponierten SH I-Frakturen wurden 7 (70,0%) Patienten im Unterschenkelgips behandelt. Zusätzlich wurde bei einem Patienten (10,0%) die Gipskeilung angewandt, zwei Patienten (20,0%) wurden mit gekreuzten Kirschnerdrähten versorgt, ein Patient (10,0%) mit einer Plattenosteosynthese und zwei Patienten (20,0%) mit einer anderen Verfahrensart (winkelstabile Platte, resorbierbares Material). Insgesamt wurden 5 der Epiphyseolysen ohne metaphysären Keil operativ (27,8%) versorgt.

Von den 89 reponierten SH II-Frakturen wurden 64 (71,9%) im Unterschenkelgips versorgt. Es erhielten 30 Patienten (33,7%) eine Versorgung mit gekreuzten Kirschnerdrähten, ein Patient (1,1%) erhielt einen Fixateur extern, zwei Patienten (2,2%) erhielten eine elastische stabile intramedulläre Nagelung (ESIN), 46 Patienten (51,7%) wurden mit einer Schraubenosteosynthese versorgt, drei Patienten (3,8%) mit einer Plattenosteosynthese. Die restlichen 4 Patienten (4,5%) mit einer SH II-Fraktur wurden mit einer anderen Verfahrensart (winkelstabile Platte, resorbierbares Material) versorgt. Die operative

Versorgung wurde bei 86 Patienten (65,2%) mit einer Epiphyseolyse mit metaphysärem Keil gewählt.

3.1.4 Verlauf

3.1.4.1 Frühkomplikationen

Insgesamt traten in 14 Fällen (9,3%) Komplikationen auf. Diese konnten im Einzelnen untergliedert werden in gipsbedingte Komplikationen in 4 Fällen (28,6%), weitere 4 Fälle (28,6%) machten eine Nachreposition notwendig, in 5 Fällen (35,7%) kam es zu einem Verfahrenswechsel und darüber hinaus gab es eine postoperative Infektion (7,1%). Die frakturassoziierten Komplikationen „Nachreposition und Verfahrenswechsel“ waren in 7,8% nach alleiniger Ruhigstellung bzw. Reposition ohne Osteosynthese aufgetreten, während sie nach operativer Frakturstabilisierung nur in 5,4% vorkamen [45].

3.2 Ergebnisse der Follow-up Untersuchungen

3.2.1 Nachuntersuchungen zu definierten Zeitpunkten

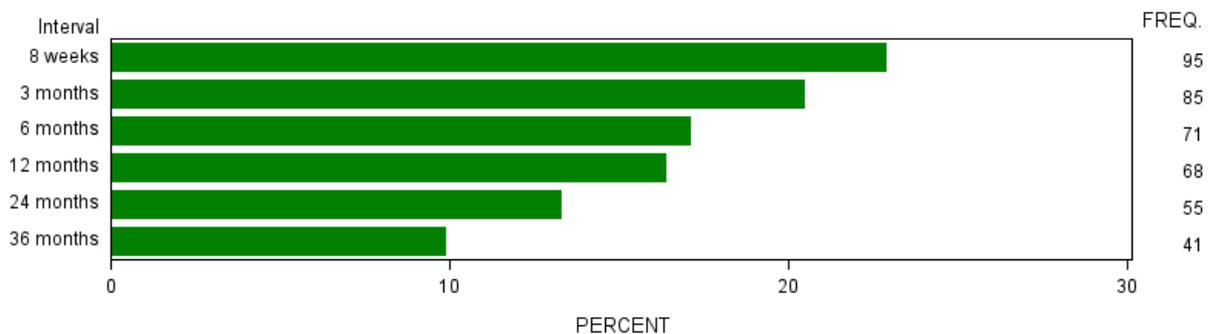


Abbildung 33: Verteilung der Nachuntersuchungen zu definierten Zeitpunkten

Diese Tabelle zeigt die Anzahl der Patienten, welche zu den Nachuntersuchungen im vorgeschlagenen Intervall erschienen sind. Diese fanden in den Intervallen 8 Wochen, 3 Monate, 6 Monate, 12 Monate, 24 Monate und 36 Monate statt.

Nach 8 Wochen waren es 95 (63,33%) Teilnehmer. Zur zweiten Nachuntersuchung nach 3 Monaten kamen 85 (56,66%) und zur dritten nach 6 Monaten erschienen 71 (47,33%) Teilnehmer. Zur Untersuchung nach einem Jahr erschienen 68 (45,33%) Patienten. Im

zweiten Jahr waren es noch 55 (36,66%) und abschließend im dritten und letzten Nachuntersuchungsjahr 41 (27,33%) Teilnehmer.

3.2.2 Aktivitäten im Alltag

3.2.2.1 Erreichen der Vollbelastung

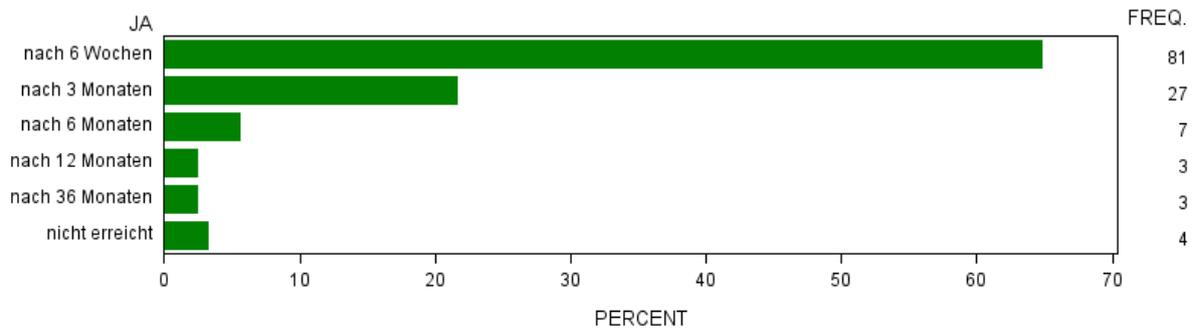


Abbildung 34: Erreichen der Vollbelastung zu definierten Zeitpunkten

Diese Auswertung beschreibt, zu welchem Zeitpunkt nach dem Unfall die Patienten wieder voll belasten konnten. Dabei nahmen Patienten, welche zu einem vorherigen Zeitpunkt bereits Vollbelastung erreichten, nicht mehr an der Auswertung teil.

Insgesamt wurden 125 von 150 Patienten ausgewertet. Von den 125 Patienten erreichten 81 Patienten (64,8%) bereits nach 6 Wochen wieder Vollbelastung. Weitere 27 Patienten (21,6%) waren dazu nach 3 Monaten imstande. Dies waren kumulativ bereits 86,40% (n=108) der Patienten. Nach 6 Monaten waren es 7 (5,6%) weitere und somit schon 92,0% der Teilnehmer. Weiterhin erlangten 3 Patienten (2,4%) nach 12 Monaten und 3 Patienten (2,4%) nach 36 Monaten Vollbelastung. Keine Vollbelastung erreichten nur 4 Patienten (3,2%).

3.2.2.2 Wiedererreichen der täglichen Aktivitäten

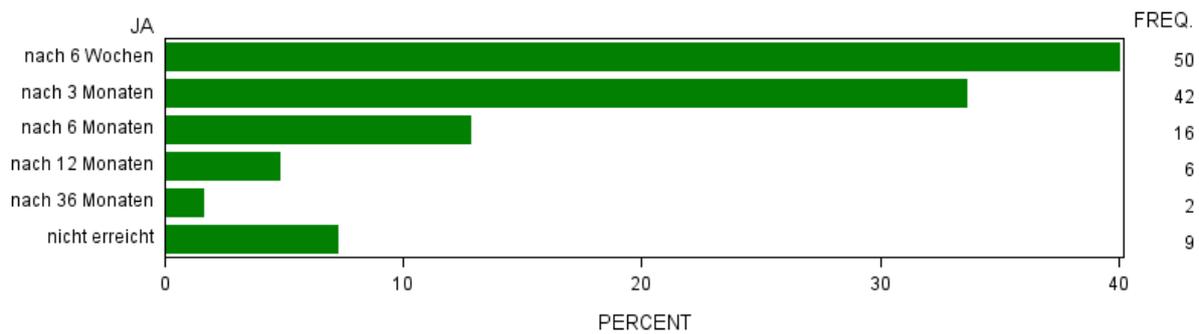


Abbildung 35: Wiedererreichen der täglichen Aktivitäten zu definierten Zeitpunkten

Diese Auswertung beschreibt, zu welchem Zeitpunkt nach dem Unfall die Patienten wieder ihren täglichen Aktivitäten „wie vorher“ nachgehen konnten. Darunter zählte beispielsweise dem Nachgehen von „Spielsport mit Freunden“. Auch hier nahmen Patienten, welche zu einem vorherigen Zeitpunkt bereits den täglichen Aktivitäten nachgehen konnten, nicht mehr an der Auswertung teil.

Von den 125 ausgewerteten Fällen konnten 50 (40,0%) bereits nach 6 Wochen wieder ihren täglichen Aktivitäten nachgehen. Bei 42 (33,6%) geschah dies nach 3 Monaten, bei 16 (12,8%) nach 6 Monaten und 6 (4,8%) nach 12 Monaten. Das sind nach 3 Monaten bereits drei Viertel der Patienten und nach 6 Monaten beinahe 90%. Erst nach 36 Monaten gelang es 2 Patienten (1,6%). Das Erreichen der täglichen Aktivitäten gelang 9 Patienten (7,2%) auch nach über 36 Monaten nicht.

3.2.2.3 Wiederaufnahme Freizeit-/Schulsport

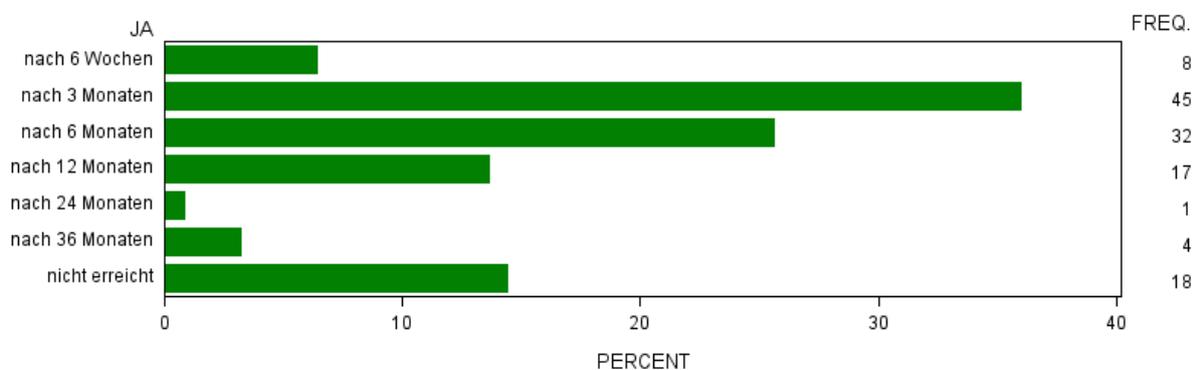


Abbildung 36: Wiederaufnahme von Freizeit-/Schulsport zu definierten Zeitpunkten

Diese Auswertung beschreibt, zu welchem Zeitpunkt nach dem Unfall die Patienten wieder dem Freizeit- oder Schulsport „wie vorher“ nachgehen konnten. Dies umfasste den „Pflichtsport“ mit Druck von außen, also gegebenenfalls auch mit Druck von innen. Auch hier nahmen Patienten, welche zu einem vorherigen Zeitpunkt bereits den genannten sportlichen Aktivitäten nachgehen konnten, nicht mehr an der Auswertung teil.

Bereits nach 6 Wochen gelang es 8 Patienten (6,4%) von 125 Patienten wieder, an Schul- oder Freizeitsport teilzunehmen. Ein weiterer Teil von 45 Patienten (36,0%) schaffte dies nach 3 Monaten. Sechs Monate hingegen benötigten 32 Patienten (25,6%). Damit erreichen 68,0% der Patienten nach einem halben Jahr die Wiederaufnahme von Freizeit- bzw. Schulsport. Nach 12 Monaten waren es dann 17 Patienten (13,6%), nach 24 Monaten ein weiterer (0,8%) und nach 36 Monaten 4 (3,2%) weitere. Bei 18 Patienten (14,4%) wurde das Sportniveau zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung noch nicht erreicht.

3.2.3 Subjektive Beurteilung

Die subjektive Beurteilung wurde nach Schulnoten von 1-6 vorgenommen. Bei kleinen Kindern fand dies durch die Eltern statt. Bei größeren Kindern zählte deren Meinung, auch wenn diese von den Eltern differierte.

Bereits nach 8 Wochen waren 85,2% der Patienten (sehr gut - 32,6% (n=31); gut - 52,6% (n=50)) mit dem Ergebnis ihrer Behandlung zufrieden beziehungsweise sehr zufrieden. Bei der Dreimonatsuntersuchung stieg die Zufriedenheit noch weiter auf 94,0% (sehr gut – 54,2% (n=45); gut – 39,8% (n=33) und bei der Halbjahresuntersuchung auf 95,8% (sehr gut – 76,1% (n=54); gut – 19,7% (n=14)). Bereits nach einem Jahr nach dem Trauma lag die Zufriedenheit bei rund 100%. Lediglich ein einziger Patient (2,4%) bewertete das Gesamtergebnis nach drei Jahren als schlecht.

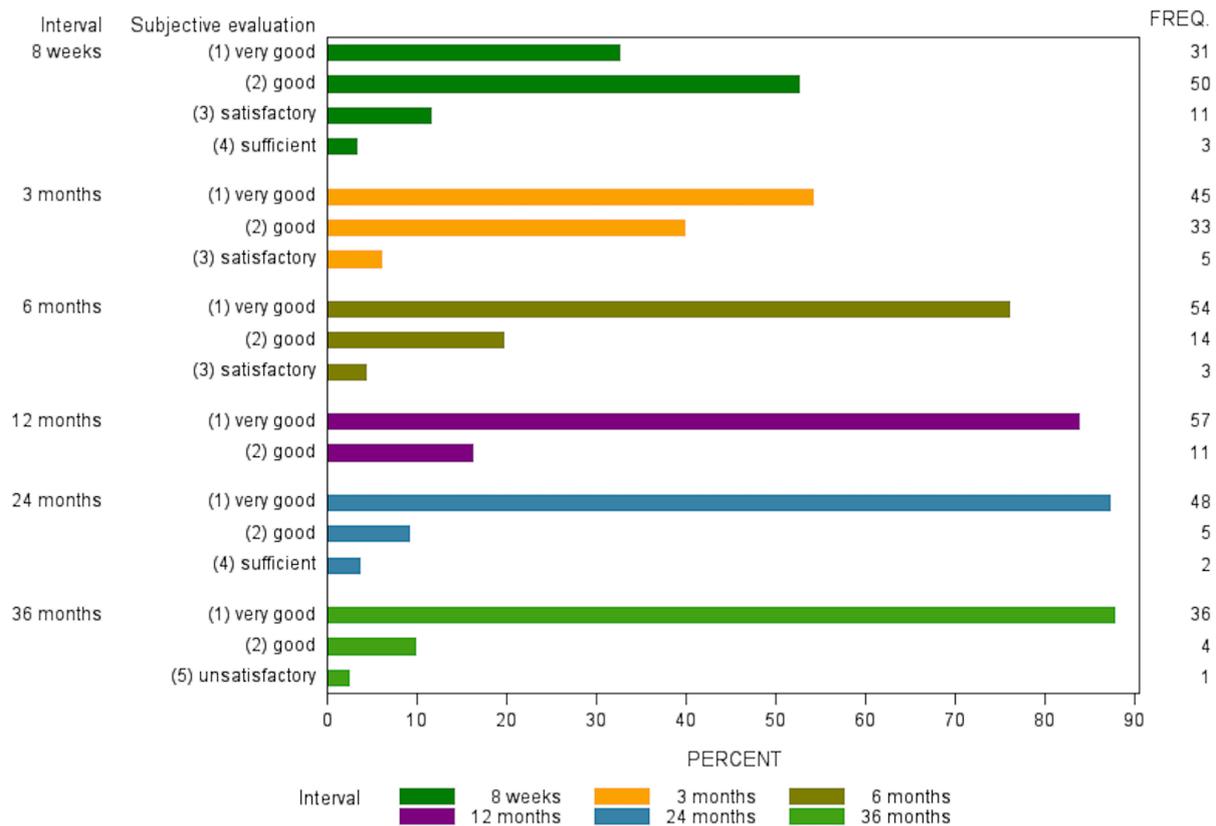


Abbildung 37: Subjektive Beurteilung der Patienten

3.2.4 Klinische Beurteilung

3.2.4.1 Lokale Komplikationen

Unter dem Punkt lokale Komplikationen konnte unter fünf Feldern (keine, lokale Infektion, Nerven-/Gefäßschäden, Implantatlockerung, andere) gewählt werden. Allerdings kam es in allen Fällen ausschließlich zu keine Komplikationen, lokale Infektionen oder andere Komplikationen.

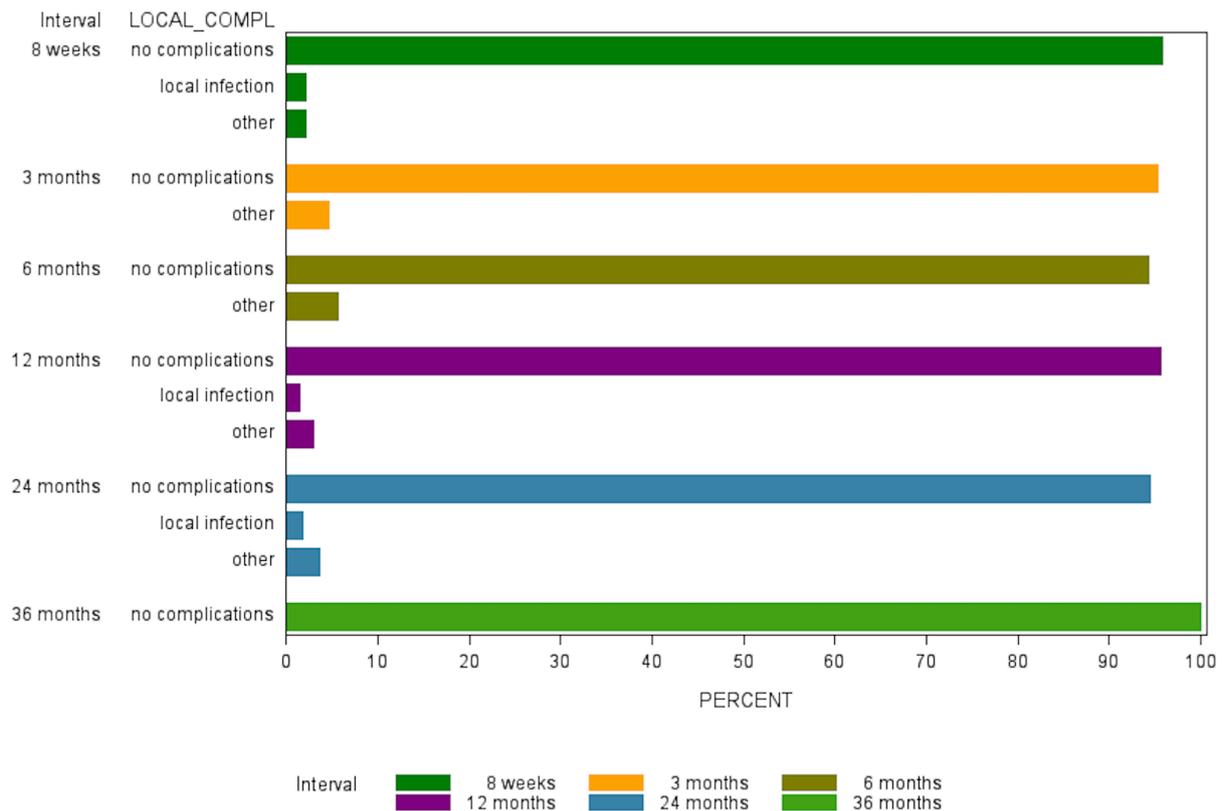


Abbildung 38: Verteilung der Komplikationen zu definierten Zeitpunkten

Zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung nach acht Wochen waren bereits 95,8% (n=91) der Patienten komplikationsfrei. Zwei Patienten hatten eine lokale Infektion (2,1%) und zwei weitere eine andere Komplikation (2,1%). Nach drei Monaten waren 81 Patienten (95,3%) ohne Komplikationen und vier beschwerten sich über andere Komplikationen (4,7%). Zur dritten Untersuchung nach sechs Monaten waren die Zahlen wieder vergleichbar. Ohne Komplikationen waren 94,4% (n=67) und 5,6% (n=4) präsentierten sich mit anderen Komplikationen. Im weiteren Verlauf nach 12 und 24 Monaten blieben die Häufigkeit der Patienten ohne Komplikationen weiterhin konstant mit 95,6% (n=65) und 94,5% (n=52). In den genannten Zeiträumen gab es jeweils einen Patienten mit einer lokalen Infektion (1,5%/1,8%) und zwei Patienten mit anderen Komplikationen (2,9%/3,6%). Zur Abschlussuntersuchung nach drei Jahren präsentierten sich alle Patienten (n=41) ohne jegliche Komplikationen.

3.2.4.2 Druckschmerz

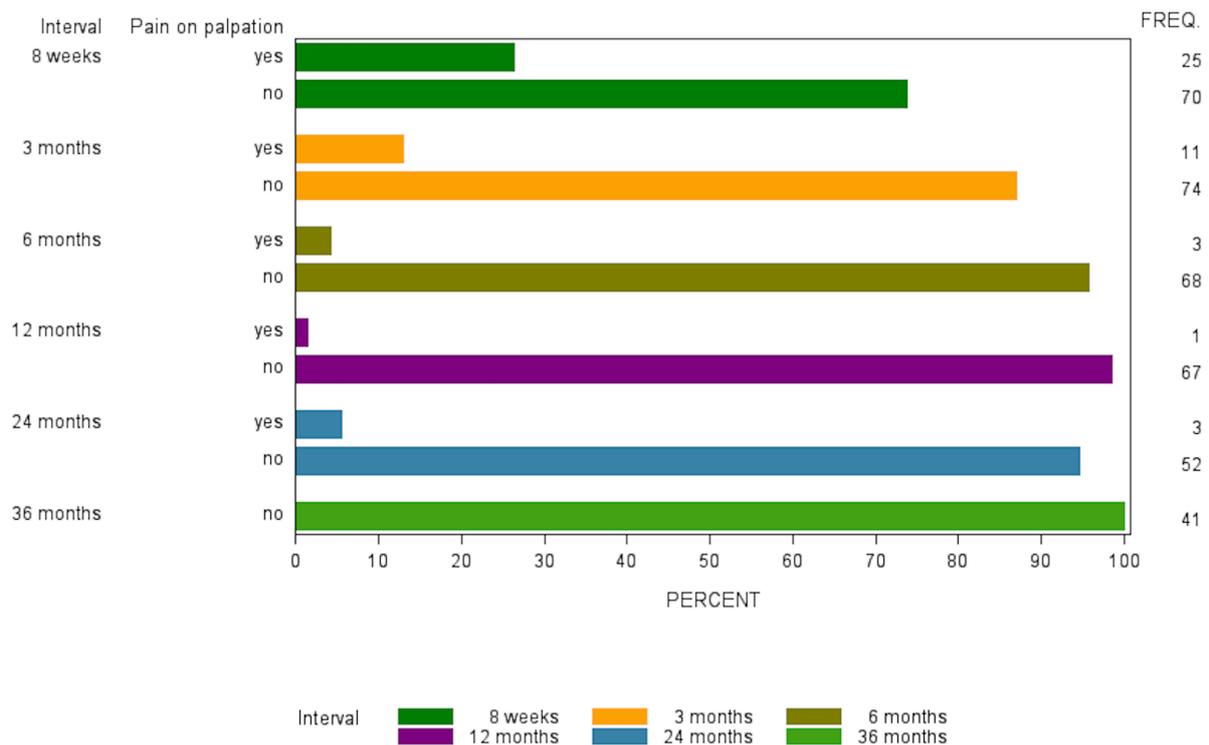


Abbildung 39: Druckschmerz zu definierten Zeitpunkten

Während der Nachuntersuchungen zeigte sich eine stetige Abnahme des Druckschmerzes. Waren es nach acht Wochen noch 26,3% der Patienten (n=25), welche einen Druckschmerz angaben, so waren es zur zweiten Nachuntersuchung nach 3 Monaten bereits nur noch 12,9% der Patienten (n= 11). Nach 6 und 24 Monaten konnte nur bei 3 Patienten (4,3% und 5,5%) und nach 12 Monaten nur bei einem Patienten (1,5%) ein Druckschmerz verzeichnet werden. Zur abschließenden Untersuchung nach 36 Monaten konnte bei keinem der Patienten ein Druckschmerz ausgelöst werden.

3.2.4.3 Konsolidierung

Die Konsolidierung stellte den Zeitpunkt fest, an dem radiologisch oder klinisch keine Fraktur mehr nachweisbar war. Diese Angabe war ein Pflichtfeld.

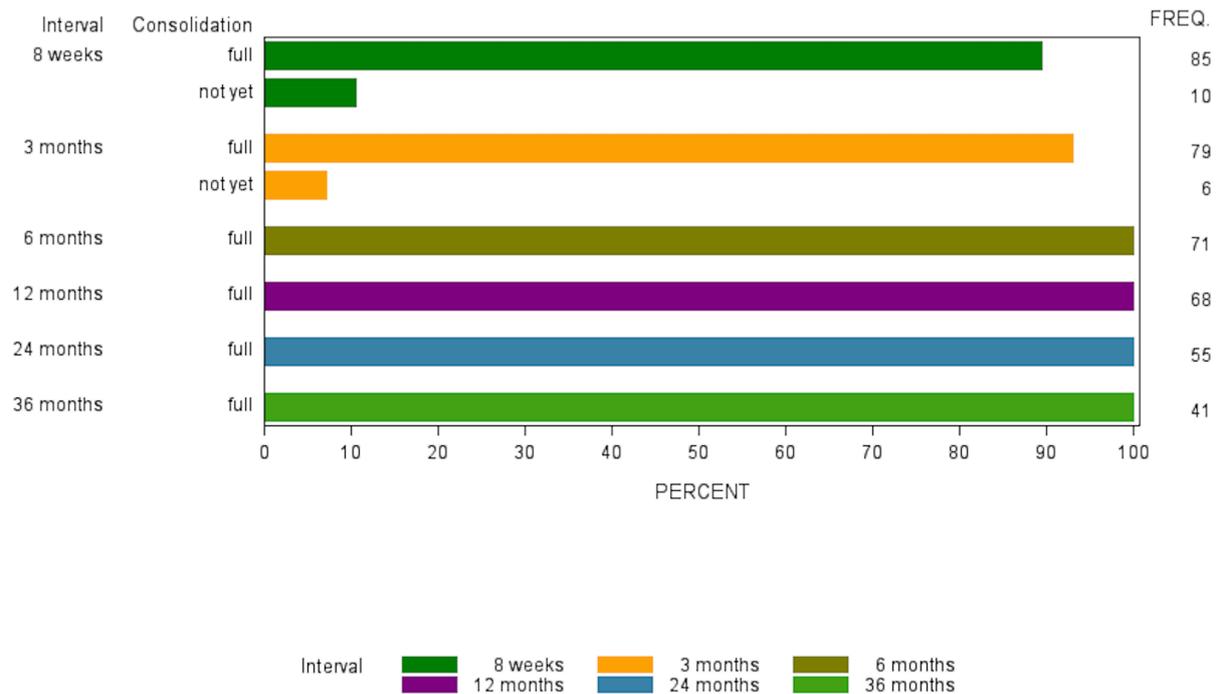


Abbildung 40: Konsolidation der Fraktur

Unter den nach 8 Wochen untersuchten 95 Patienten war die Fraktur bei 85 (89,5%) Patienten bereits konsolidiert. Nach drei Monaten waren 79 (92,9%) der 85 nachuntersuchten Frakturen konsolidiert. Sechs Monate nach Unfallereignis konnten radiologisch keine Frakturspalte unter den nachuntersuchten Patienten mehr festgestellt werden und sie galten damit als konsolidiert.

3.2.4.4 Entfernung der Implantate

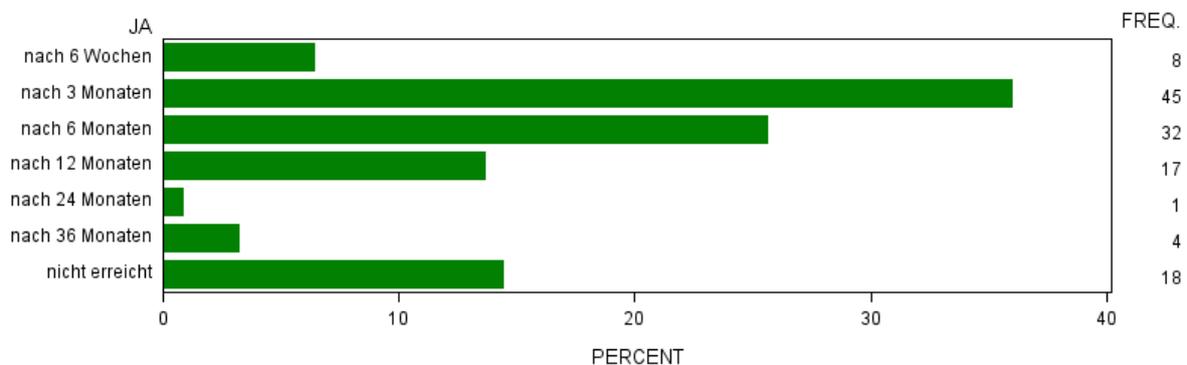


Abbildung 41: Entfernung der Implantate

Die obige Auswertung beschreibt, zu welchem Zeitpunkt nach dem Unfall Implantate, sofern vorhanden, entnommen wurden. Wieder nahmen Patienten, bei denen bereits die Implantatentfernung stattgefunden hatte, nicht mehr an der Auswertung teil.

In 8 Fällen (6,4%) konnte die Entfernung bereits nach 6 Wochen stattfinden. Nach 3 Monaten wurden 45 (36,0%) weitere Implantate entnommen. Zur Halbjahresuntersuchung waren es 32 Implantate (25,6%). Dann folgten nach 12 Monaten 17 Implantate (13,6%), nach 24 Monaten ein Implantat (0,8%) und nach 36 Monaten 4 weitere Implantate (3,2%). Nach diesem Zeitraum waren 18 Implantate (14,4%) der 125 noch immer nicht entfernt.

Der Punkt „Entfernung der Implantate“ bezieht sich auf entfernungspflichtiges Metall (Kirschner-Drähte, Schrauben, Platten und andere). Das Ausfüllen dieses Feldes im Follow-up-Bogen war hiermit Pflicht und nur eine Antwort möglich. Wurde der Patient konservativ behandelt, so hatte man „keines“ anzugeben.

3.2.4.5 Status der Epiphysenfuge

Die Epiphysenfugen wurden nach jeder Nachkontrolle, welche mit einer Röntgenuntersuchung in zwei Ebenen einherging, evaluiert und in verschiedene Kriterien eingeteilt. Dies waren im Besonderen: offen, physiologisch-teilweise geschlossen, physiologisch-komplett geschlossen, früher Epiphysenfugenverschluss-teilweise und früher Epiphysenfugenverschluss-komplett.

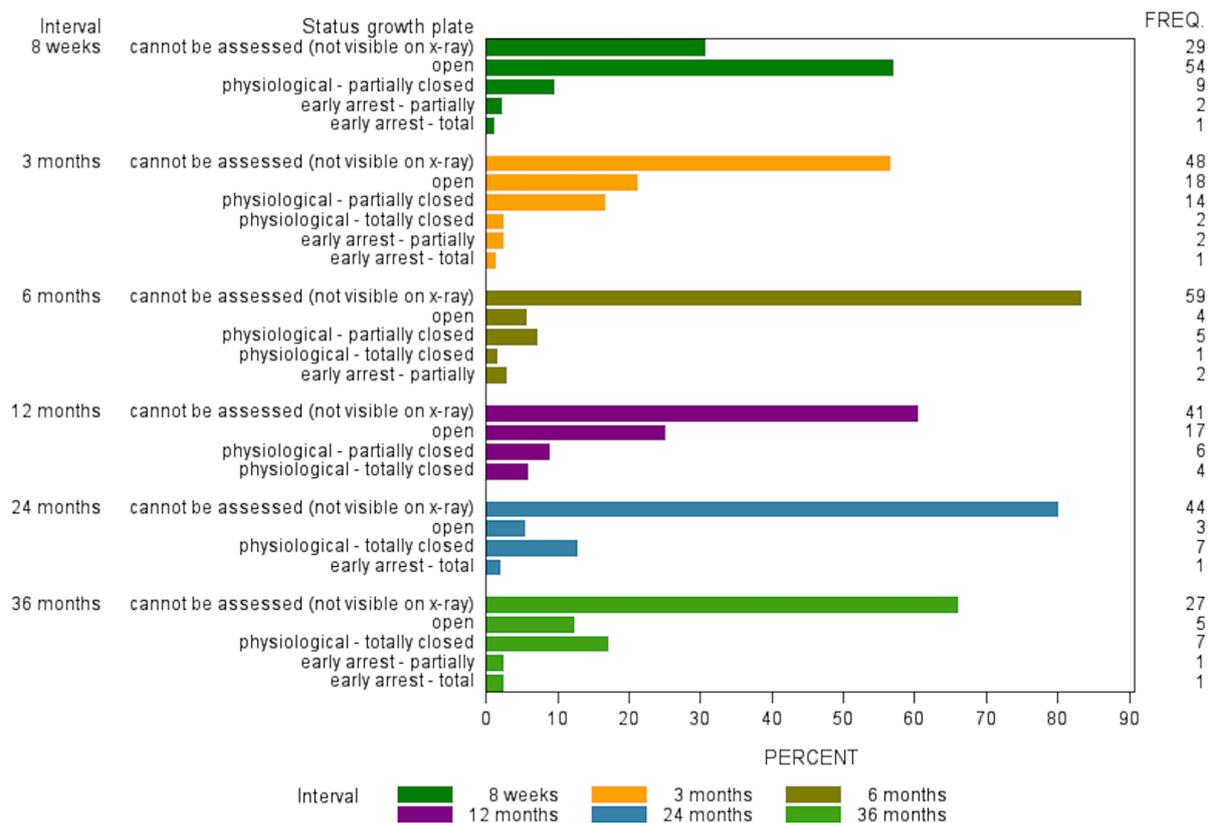


Abbildung 42: Zustand der Epiphysenfuge

Im ersten Untersuchungsintervall nach 8 Wochen waren 56,8% (n=54) der Epiphysenfugen noch offen und 9,5% (n=9) physiologisch-teilweise geschlossen. Ein verfrühter Wachstumsfugenverschluss konnte teilweise bei 2,1% (n=2) und komplett bei 1,1% (n=1) festgestellt werden. Als nicht beurteilbar wurden 30,5% (n=29) angegeben.

Nach 3 Monaten waren es hingegen 56,5% (n=48), welche als nicht beurteilbar berichtet wurden. Weiterhin waren 21,2% (n=18) der Epiphysenfugen noch offen, 16,5% (n=14) physiologisch teilweise und 2,4% (n=2) komplett verschlossen sowie 2,4% (n=2) mit teilweise verfrühtem und 1,2% (n=1) mit komplett verfrühtem Fugenverschluss.

Der dritte Nachuntersuchungstermin nach einem halben Jahr wurde hauptsächlich mit nicht beurteilbar in 83,1% (n=59) angegeben. Des Weiteren verblieben 5,6% (n=4) Epiphysenfugen offen, 7,1% (n=5) physiologisch teilweise verschlossen, 1,4% (n=1) physiologisch komplett verschlossen und 2,8% (n=2) mit verfrühtem teilweisem Verschluss. Bei der Einjahreskontrolle waren 60,3% (n=41) der Fälle als nicht beurteilbar angegeben. Hier kam es zu keinen verfrühten Epiphysenfugenverschlüssen und somit verblieben

25,0% (n=17) offen, 8,8% (n=6) physiologisch teilweise verschlossen und 5,9% (n=4) physiologisch komplett verschlossen.

Nach zwei Jahren wurden 80,0% (n=44) mit nicht beurteilbar angegeben. Zu diesem Zeitpunkt wurde ein Fall (1,8%) mit verfrühtem komplettem Verschluss registriert. Die restlichen Fälle waren in 5,5% (n=3) offene und 12,7% (n=7) physiologisch komplett verschlossene Epiphysenfugen.

Zur Abschlusskontrolle nach 3 Jahren wurde zu 65,9% (n=27) nicht beurteilbar genannt. Weiterhin kam es in 17,1% (n=7) zu physiologisch komplett verschlossen und jeweils in 2,5% (n=1) zu verfrühtem teilweisem und verfrühtem komplettem Epiphysenfugenverschluss.

Die Auswahl eines Feldes im Bogen war Pflicht. Wurden zum Untersuchungszeitpunkt keine Röntgenbilder angefertigt, so war die Antwort „nicht beurteilbar“ (cannot be assessed) zu wählen.

Die Quote radiologisch festgestellter vorzeitiger partieller oder vollständiger Fugenverschlüsse lag zu jedem Untersuchungszeitpunkt höher als die klinischer Beinlängendifferenzen. Die Differenz erklärt sich durch klinisch nicht erfasste Beinlängendifferenzen von unter 5mm. Darüber hinaus sind die Daten der klinischen und radiologischen Veränderungen nicht vollständig korrelierbar, da nicht alle Eltern den radiologischen Verlaufuntersuchungen zu jedem Untersuchungszeitpunkt zustimmten (Röntgenquote).

3.2.4.6 Konsequenzen für Nachuntersuchungen

Unter dem Punkt Konsequenzen konnten die drei Felder Korrekturbehandlung, weitere Nachuntersuchung und keine weitere Nachuntersuchung gewählt werden. Nur eine Antwort war möglich. Wurden die Felder Korrekturbehandlung oder weitere Nachuntersuchung gewählt, waren weitere Untersuchungen obligat.

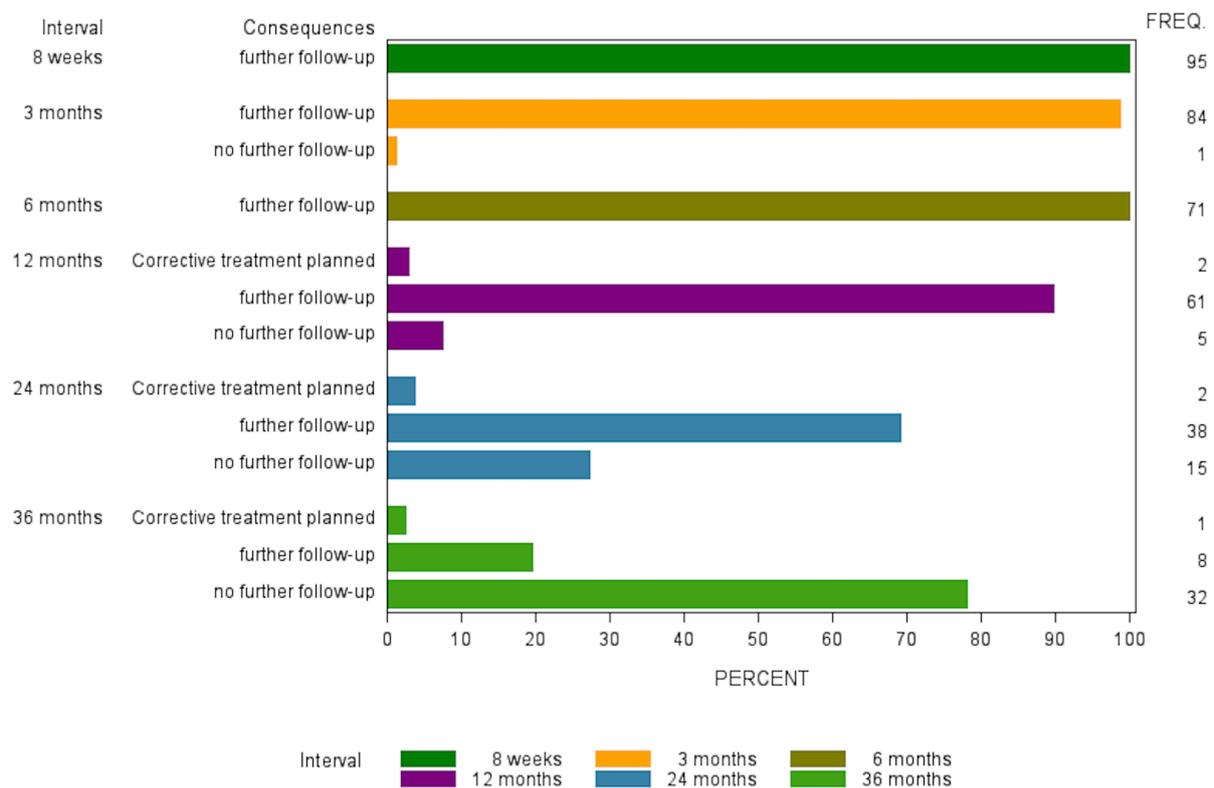


Abbildung 43: Korrekturingriffe zu definierten Zeitpunkten

In den ersten drei Untersuchungsintervallen nach 2, 3 und 6 Monaten wurden alle Patienten bis auf einen (1,2%), bei welchem nach drei Monaten keine weiteren Untersuchungen nötig waren, zu weiteren Untersuchungen aufgefordert. Nach einem Jahr wurde bei zwei Patienten (2,9%) eine Korrekturbehandlung geplant. Keine weiteren Untersuchungen waren bei 5 (7,4%) der 68 Patienten vorgesehen. Nach zwei Jahren wurde wieder bei zwei Patienten (3,6%) eine Korrekturbehandlung geplant. Hier war bei 15 Patienten (27,3%) keine weitere Untersuchung vorgesehen. Zum letzten Untersuchungstermin nach 3 Jahren wurde eine weitere Korrekturbehandlung (2,5%) geplant. Nur bei acht Patienten (19,5%) war eine Folgeuntersuchung vorgeschlagen. Die restlichen 32 der 41 Patienten (78,1%) wurden zu keiner weiteren Untersuchung einbestellt.

Insgesamt ergaben sich fünf geplante Korrekturbehandlungen. Dies entspricht 5,3% der nachuntersuchten Patienten. Während der Nachuntersuchungen wurde für fünf Patienten eine Korrekturbehandlung vorgesehen. Dies betraf 3,3% aller untersuchten Fälle (n=150).

3.2.5 Funktionelle Einschränkungen (Wachstumsstörungen)/Achse und Funktion

3.2.5.1 Achsabweichungen Sprunggelenksachse

Kam es während einer der Nachuntersuchungen zu Achsabweichungen so wurde dies entsprechend festgehalten. Dabei wurde unterschieden in Achsabweichungen in der Frontal- und Sagittalebene. Achsabweichungen in der Frontalebene beziehen sich auf Valgus- und Varusfehlstellungen, solche in der Sagittalebene auf eine Rekurvations- oder Ante-
 kurvationsfehlstellung. Insgesamt konnten n=26 Fälle mit einer posttraumatischen Achs-
 abweichung festgestellt werden (7,6%), wovon n=18 eine Achsabweichung über 5° auf-
 wiesen.

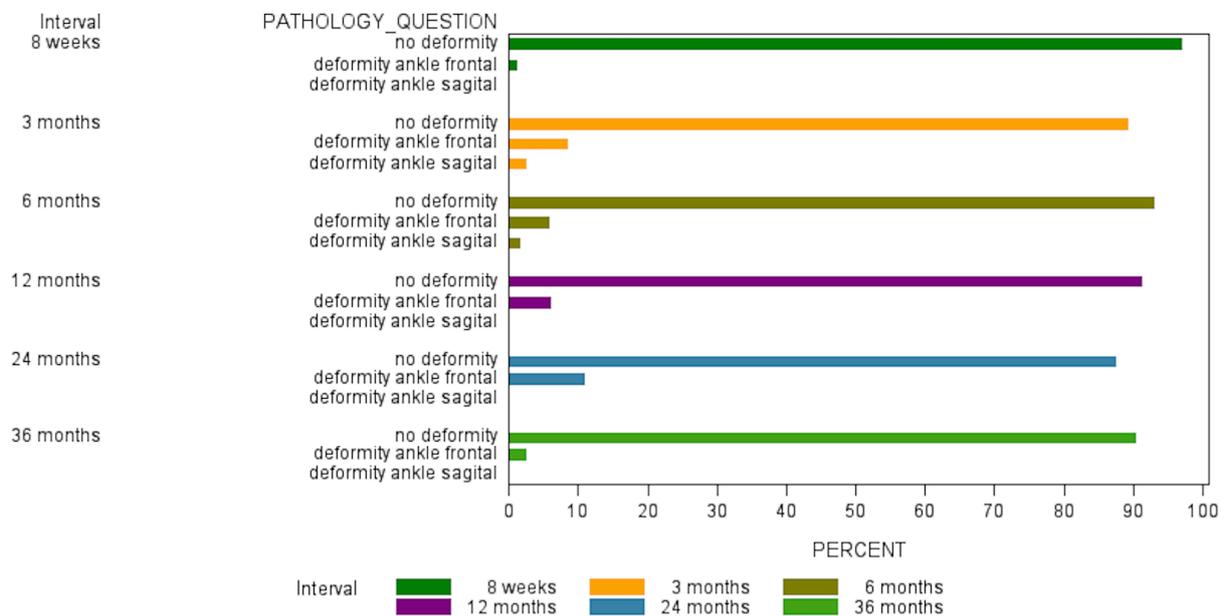


Abbildung 44: Achsabweichungen zu definierten Zeitpunkten

Zu Achsabweichungen in der Sagittalebene kam es verhältnismäßig selten. Insgesamt wurden 2 Fälle nach 3 Monaten und ein Fall nach 6 Monaten festgestellt. Eine Antekurvationsfehlstellung von 5° konnte nach 3 Monaten (1,2%) festgestellt werden. Jeweils eine Retrokurvationsfehlstellung von 5° nach 3 Monaten (1,2%) und eine nach 6 Monaten (1,4%).

Achsabweichungen in der Frontalebene waren mit einem Verhältnis von 23:3 deutlich häufiger, woran die Valgusfehlstellung mit 91,3% den Hauptanteil hatte. Bei der ersten Nachuntersuchung nach 2 Monaten konnte nur eine Valgusfehlstellung (1,1%) von 5° festgestellt werden. Sieben (8,2%) und somit die meisten Fehlstellungen in der

Frontalebene wurden zur zweiten Nachuntersuchung nach 3 Monaten festgestellt. Diese teilten sich in 5 Valgusfehlstellungen (5,9%) mit einer Abweichung von durchschnittlich 8° und 2 Varusfehlstellungen (2,4%) mit einer Abweichung von 5°. Zur Halbjahres- bzw. Jahresuntersuchung waren es jeweils 4 Valgusdeformitäten mit einer Abweichung im Mittel von 10° (5,6%) bzw. 10,75° (5,9%). Des Weiteren folgten 6 Valgusdeformitäten (10,9%) mit durchschnittlich 7,2° Abweichung nach zwei Jahren und eine Valgusdeformität (2,4%) mit einer Abweichung von 10° nach drei Jahren.

3.2.5.2 Mobilität Sprunggelenk

Zur Dokumentation der Mobilität im Sprunggelenk war das Ankreuzen einer Antwort Pflicht. Neben der Antwort „symmetrisch, uneingeschränkt“ konnte „funktionelle Einschränkung auf der frakturierten Seite“ gewählt werden und diese in der Hinsicht auf Flexion (plantar), Extension (dorsal), Eversion und Inversion spezifiziert werden.

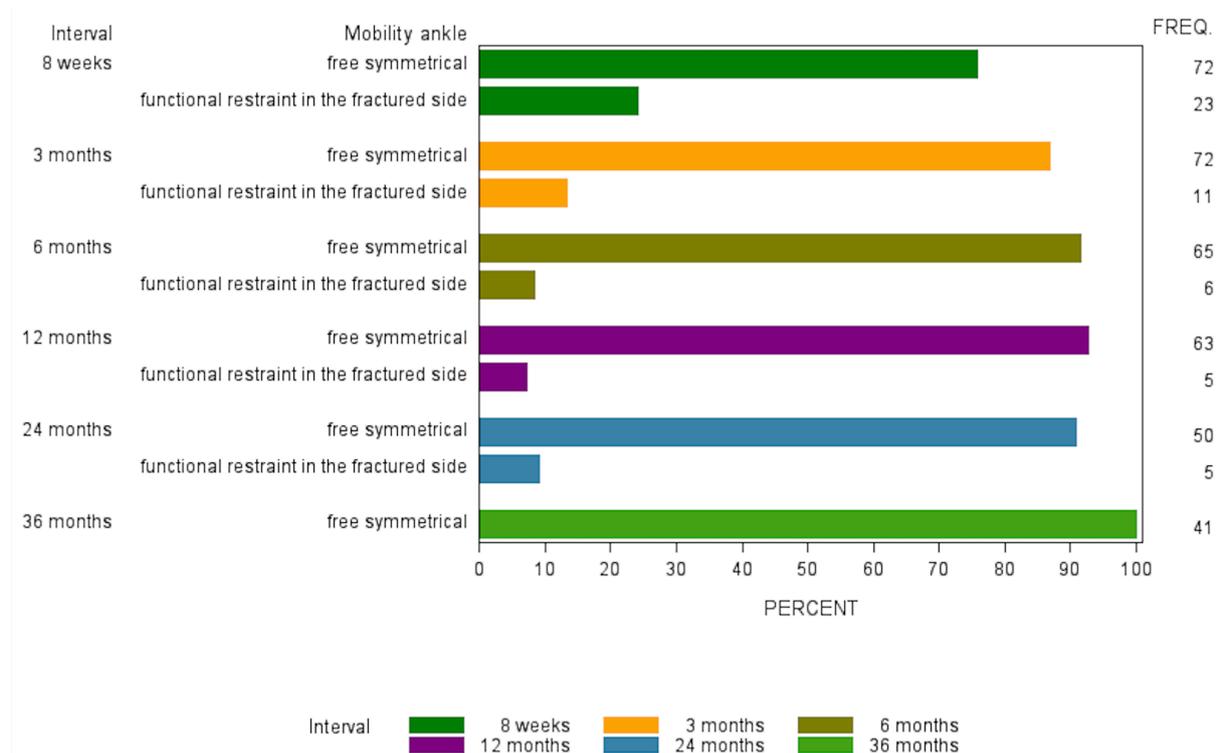


Abbildung 45: Mobilität im Sprunggelenk zu definierten Zeitpunkten

Freie symmetrische Beweglichkeit war bei 75,8% (n=72) bereits nach 2 Monaten möglich. Bei 86,7% (n=71) war diese nach 3 Monaten und bei 91,5% (n=65) nach einem halben Jahr gegeben. Bei fünf Patienten war auch nach der Einjahres- (7,9%) und Zweijahres-Kontrolle (10%) noch keine freie symmetrische Beweglichkeit klinisch feststellbar

und so waren funktionelle Einschränkungen auf der frakturierten Seite zu registrieren. Erst zur Kontrolle nach drei Jahren war die symmetrische uneingeschränkte Mobilität bei allen Patienten gegeben.

3.2.5.3 Stabilität Sprunggelenk

Die Stabilität im Sprunggelenk wurde ebenfalls klinisch getestet und das Ankreuzen mindestens eines Feldes war Pflicht. Die Antwort „normal“ schloss die Alternativen aus, ansonsten waren Mehrfachnennungen möglich.

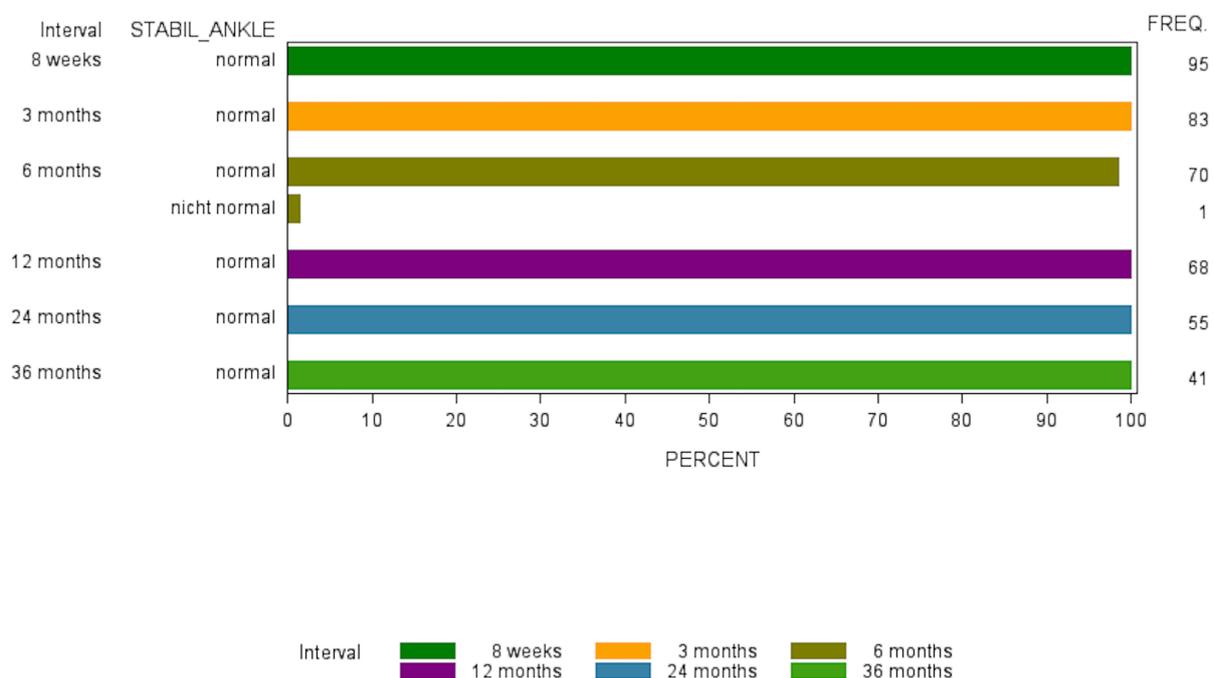


Abbildung 46: Stabilität im Sprunggelenk zu definierten Zeitpunkten

Die Stabilität im Sprunggelenk war bei allen Patienten zu den Nachuntersuchungszeitpunkten nach 2 Monaten, 3 Monaten, einem, zwei und drei Jahren gegeben. Ein Patient wurde mit einer nicht näher spezifizierten Instabilität (1,4%) zur Nachuntersuchung nach einem halben Jahr diagnostiziert.

3.2.5.4 Gangbild Sprunggelenk

Das Gangbild wurde klinisch in die Punkte „uneingeschränkt symmetrisch“ und „Hinken auf der frakturierten Seite“ unterschieden. War das Gangbild nicht normal, so konnte

dieses noch spezifiziert werden in „nicht frei auf Zehenspitzen“, „nicht frei auf dem Boden“, „nicht frei auf Fersen“ und in „andere“.

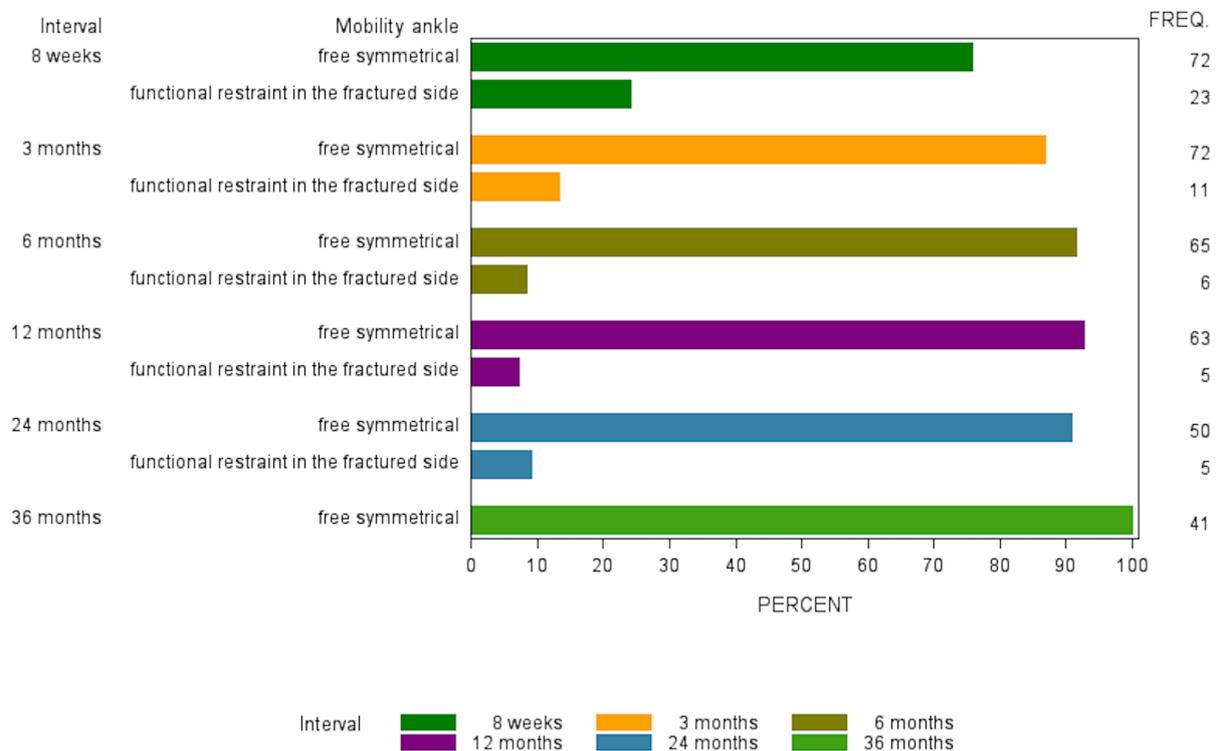


Abbildung 47: Gangbild im Sprunggelenk zu definierten Zeitpunkten

Acht Wochen nach dem Unfallereignis zeigten 75,8% der Patienten (n=72) ein normales Gangbild; nach 3 Monaten 86,8% (n=72) und nach 6 Monaten 91,6% ein freies symmetrisches Gangbild. Zur 4. und 5. Nachuntersuchung nach 12 (7,4%) und 24 Monaten (9,1%) waren jeweils noch 5 Patienten in ihrer Funktion auf der frakturierten Seite eingeschränkt. Zur Abschlussuntersuchung zeigten alle Patienten (n=41) ein freies symmetrisches Gangbild.

3.2.5.5 Beckenschiefstand

Der Beckenschiefstand wurde in die Punkte „nein“, „links tief“ und „rechts tief“ unterteilt. Nur eine Antwort konnte gewählt werden; diese war Pflicht.

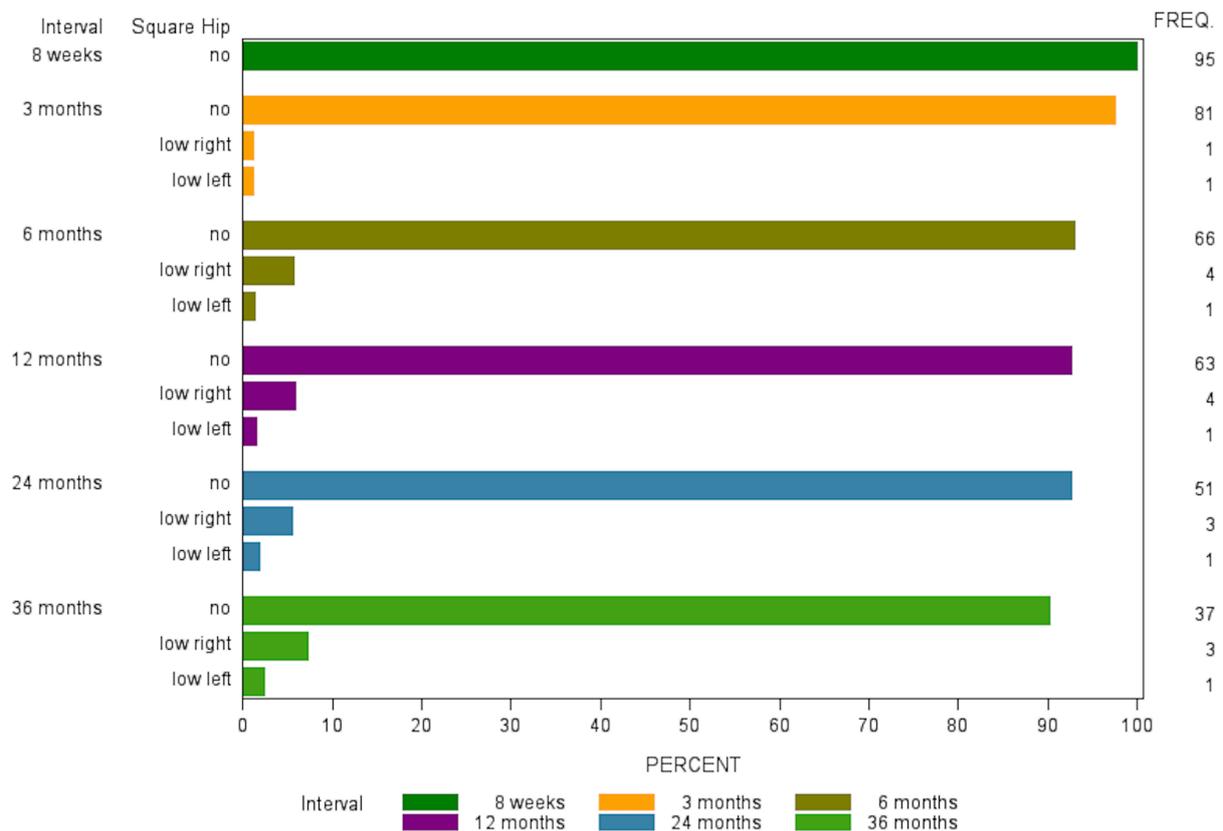


Abbildung 48: Beckenschiefstand zu definierten Zeitpunkten

Keiner der untersuchten Patienten (n=95) hatte zum Zeitpunkt der ersten Nachuntersuchung nach 8 Wochen einen klinisch nachweisbaren Beckenschiefstand. Nach drei Monaten präsentierten sich zwei Patienten mit einem Beckenschiefstand, jeweils einer auf der linken Seite (1,2%) und einer auf der rechten Seite (1,2%). Hinzu kamen drei weitere Patienten nach einem halben Jahr mit einem Beckenschiefstand mit Erniedrigung auf der rechten Seite (5,6%; n=4). Auch zur Nachuntersuchung nach 12 Monaten blieben die Zahlen mit 4 Patienten mit Erniedrigung rechts (5,9%) und einem Patienten mit Erniedrigung auf der linken Seite (1,5%) konstant. Bei der Zweijahresuntersuchung waren es drei Patienten mit Erniedrigungen auf der rechten Seite (5,5%) und weiterhin einer auf der linken Seite (1,8%). Ebenso die Patientenzahlen nach drei Jahren: rechts n=3 (7,3%) und links n=1 (2,4%).

3.2.5.6 Beinlängendifferenz funktionell

Die funktionelle Beinlängendifferenz wurde in die Punkte „keine“, „Verkürzung der frakturierten Extremität“ und „Verlängerung der frakturierten Extremität“ unterschieden. Dafür wurde die Messung im Stehen mit untergelegten Brettchen in 5mm-Schritten

vorgenommen und die entsprechende Differenz, falls vorhanden, dokumentiert. War dies nicht möglich (Kind zu klein zum Stehen), wurde eine klinische Einschätzung vorgenommen. Eine Verkürzung oder Verlängerung wurde immer an der frakturierten Seite dokumentiert.

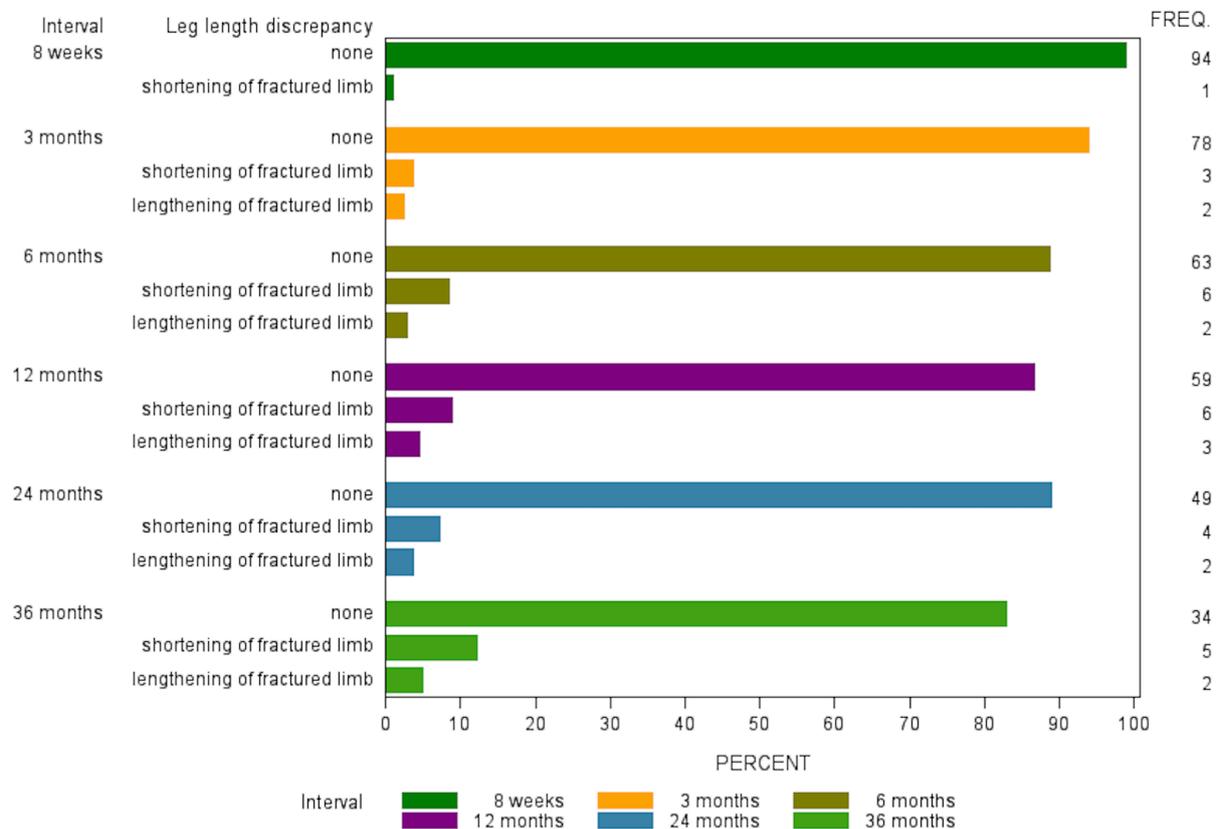


Abbildung 49: Beinlängendifferenz zu definierten Zeitpunkten

Die erste Beinlängenverkürzung wurde bei der ersten Nachuntersuchung nach 8 Wochen dokumentiert (1,1%). Nach drei Monaten waren es zwei weitere und somit 3 Verkürzungen (3,6%) und zwei Beinverlängerungen (2,4%). Bei der Halbjahresuntersuchung waren es dann 6 Verkürzungen (7,3%) und noch immer 2 Verlängerungen (2,8%). Nach einem Jahr wurde eine weitere Verlängerung verzeichnet (4,4%). So waren es zur Nachuntersuchung nach zwei Jahren nur noch 4 (7,3%) Verkürzungen und 2 Verlängerungen (3,6%) der Beinlänge. Während der Abschlussuntersuchung nach 36 Monaten wurden 5 Verkürzungen (12,2%) und 2 Verlängerungen (4,9%) dokumentiert. Durchschnittlich verblieben über 90% der Patienten ohne jegliche funktionelle Beinlängendifferenz.

Bei den gemessenen Beinlängendifferenzen handelte es sich um Verkürzungen von 5-35mm (im Mittel 8,2mm) und um Verlängerungen von 5-10mm (im Mittel 6,1mm).

3.3 Signifikanzstatistische Auswertung der deskriptiven Ergebnisse

Die signifikanzstatistische Auswertung der Ergebnisse wurde in drei Untergruppen unterteilt. Diese bezogen sich auf Patientencharakteristika (z.B.: Alter), den Unfallmechanismus (z.B.: Dislokationsgrad) und das Therapiekonzept (z.B.: Versorgungsart).

3.3.1 Einfluss der Patientencharakteristika auf die Entstehung von Wachstumsstörungen

3.3.1.1 Auswirkung des Patientenalters

3.3.1.1.1 Patienten mit geplantem Korrekturingriff

Die Absicht dieser Analyse war der Vergleich von Patienten mit einer geplanten chirurgischen Intervention aufgrund von Wachstumsstörungen mit einer Vergleichsgruppe in Hinblick auf das Patientenalter. Die Indikation zur chirurgischen Korrektur wurde bei Patienten mit einer Beinlängendifferenz von 15mm oder mehr sowie einer Achsabweichung von 15° Varus oder mehr gestellt.

Analysis Variable : AGE					
CONSEQUENCES	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
Andere Folgen	98	11.7	3.0	2.0	16.0
KorrekturOP	4	13.4	2.1	10.4	15.0

Tabelle 5: Altersunterschiede Korrekturgruppe

Das Durchschnittsalter der Patienten mit geplanter chirurgischer Intervention (n=4) betrug 13,4 Jahre mit einer Standardabweichung von 2,1. Die Vergleichsgruppe andererseits hatte ein durchschnittliches Alter von 11,7 Jahren mit einer Standardabweichung von 3,0. Der p-Wert lag bei p=0,1705 und war somit nicht signifikant.

3.3.1.1.2 Patienten mit einer Beinverlängerung oder -verkürzung

Hier wurden Patienten mit Beinlängendifferenzen mit einer Vergleichsgruppe in Hinblick auf das Alter untersucht. Die Quote radiologisch festgestellter vorzeitiger partieller oder

kompletter Fugenverschlüsse lag zu jedem Zeitpunkt höher als die klinischer Beinlängendifferenzen. Diese Differenz erklärt sich durch nicht erfasste klinische Beinlängendifferenzen von unter 5mm.

Analysis Variable : AGE					
Beinverlaengerung	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
nein	96	11.9	2.9	2.0	16.0
ja	6	10.8	3.6	5.1	14.7

Tabelle 6: Altersunterschiede Patienten mit/ohne Beinverlängerung

In Tabelle 6 ersichtlich wurden 6 Patienten mit einer Beinverlängerung von mindestens 5mm mit einer Vergleichsgruppe korreliert. Die Patienten mit einer Beinverlängerung waren im Durchschnitt 10,8 Jahre alt mit einer Standartabweichung von 3,6. Die Vergleichsgruppe hingegen hatte ein Durchschnittsalter von 11,9 Jahren mit einer Standartabweichung von 2,9. Auch hier wurde keine Signifikanz ($p=0,5176$) erreicht.

Analysis Variable : AGE					
Beinverkuerzung	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
nein	90	11.7	3.0	2.0	16.0
ja	12	12.5	2.2	7.6	15.9

Tabelle 7: Altersunterschiede von Patienten mit/ohne Beinverkürzung

Diese Analyse bezog sich auf 12 Patienten mit einer Beinverkürzung, welche im Durchschnitt 12,5 Jahre alt waren. Die Standartabweichung betrug 2,2. Die Vergleichsgruppe war durchschnittlich 11,7 Jahre alt mit einer Standartabweichung von 3,0. Hier wurde mit $p=0,4963$ ebenfalls keine Signifikanz erreicht.

Analysis Variable : AGE					
Leg length discrepancy	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
shortening of fractured limb	12	12.5	2.2	7.6	15.9
lengthening of fractured limb	6	10.8	3.6	5.1	14.7

Tabelle 8: Altersunterschiede zwischen Patienten mit Beinlängenveränderungen

Abschließend wurde noch die Gruppe der Patienten mit Beinverlängerung (n=6) mit der Gruppe der Patienten mit einer Beinverkürzung (n=12) in Hinsicht auf das Alter der Gruppe untersucht. Der Vergleich beider Gruppen war mit $p=0,3736$ auch nicht signifikant.

3.3.2 Einfluss des Unfallmechanismus auf die Entstehung von Wachstumsstörungen

3.3.2.1 Auswirkung des primären Dislokationsausmaßes auf Korrekturmaßnahmen

Nachfolgend wurden Patienten (n=4), welche eine Korrekturoperation erhalten hatten, zum einen mit allen Patienten mit oder ohne primäre Dislokation und zum anderen mit allen Patienten mit primärer Dislokation verglichen.

3.3.2.1.1 Patienten ohne primäre Dislokation

Analysis Variable : VARUS_VALGUS					
CONSEQUENCES	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
Andere Folgen	48	9.7	12.2	0.0	51.0
KorrekturOP	4	16.8	4.7	10.0	20.0

Tabelle 9: Dislokationsausmaßes bei Patienten mit/ohne Korrekturoperation

Die vier Patienten mit chirurgisch relevanten Folgen einer Wachstumsstörung hatten eine verletzungsbedingte Achsabweichung von $16,8^\circ$ im Mittel. Diese wurden mit allen Patienten der Studie mit oder ohne primäre Dislokation verglichen. Diese Gesamtgruppe (n=48) hatte eine durchschnittliche Achsabweichung von $9,7^\circ$. Der-Wert lag bei $p=0,0589$.

3.3.2.1.2 Patienten mit primärer Dislokation

Analysis Variable : VARUS_VALGUS					
CONSEQUENCES	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
Andere Folgen	30	15.5	12.2	2.0	51.0
KorrekturOP	4	16.8	4.7	10.0	20.0

Tabelle 10: Patienten mit primärem Dislokationsausmaß und Patienten mit Korrekturoperation

In Tabelle 10 wurden daraufhin die Patienten mit erhaltener Korrekturoperation mit allen Patienten, welche eine primäre Achsabweichung größer als 0° (n=30) aufwiesen, verglichen. Diese lag im Mittel bei 15,5° (Gruppe mit Korrekturoperation: 16,8). Hier ließen sich keinerlei Gruppenunterschiede aufzeigen (p=0,3383).

3.3.2.2 Auswirkung des primären Dislokationsausmaßes auf sekundäre Achsdeviationen

Unter diesem Punkt wurden Patienten mit Achsdeviationen in den Nachuntersuchungen angeschaut. Anschließend wurde die primäre Achsabweichung dieser Patienten mit allen anderen Patienten mit primärer Achsabweichung in den Primäruntersuchungsbögen untersucht. Es wurde eine Diskriminierung in der Frontal- und Sagittalebene vorgenommen. Abschließend wurden beide Gruppen noch zusammengefasst. Eine Korrelation von Patienten mit verbleibender Achsabweichung nach Reposition in der Primäruntersuchung und Patienten mit Achsdeviationen in den Nachuntersuchungen waren aufgrund der geringen Fallzahlen nicht möglich.

3.3.2.2.1 Patienten mit Achsabweichungen in der Frontalebene

Analysis Variable: VARUS_VALGUS					
PAT_GRUPPE	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
Patienten mit primärer Achsabweichung	11	10.2	7.9	0.0	20.0
alle anderen Patienten	74	8.6	11.9	0.0	51.0

Tabelle 11: Patienten mit verbleibenden Achsabweichungen in der Frontalebene

Insgesamt gab es n=11 Patienten mit Achsabweichungen in den Primär- und Nachuntersuchungsbögen in der Frontalebene. Diese wurden mit allen anderen Patienten (n=74) verglichen, welche in den Primäruntersuchungsbögen Achsabweichungen in der Frontalebene aufwiesen, nicht jedoch in den Nachuntersuchungen. Die durchschnittliche Achsabweichung der n=11 Patienten betrug 10,2° und der anderen Patienten 8,6°. Der p-Wert war mit p=0.2064 statistisch nicht signifikant.

3.3.2.2.2 Patienten mit Achsabweichungen in der Sagittalebene

Analysis Variable: ANTE_RECUR					
PAT_GRUPPE	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
Patienten mit primärer Achsabweichung	9	3.8	3.3	0.0	10.0
alle anderen Patienten	80	9.2	8.1	0.0	35.0

Tabelle 12: Patienten mit verbleibenden Achsabweichungen in der Sagittalebene

In der Sagittalebene gab es n=9 Patienten mit Achsabweichungen in den Primär- und Nachuntersuchungsbögen. Diese wurden ebenfalls mit allen anderen Patienten (n=80) verglichen, welche in den Primäruntersuchungsbögen Achsabweichungen in der Sagittalebene aufwiesen, nicht jedoch in den Nachuntersuchungen. Die durchschnittliche Achsabweichung der n=9 Patienten betrug 3,8° und der anderen Patienten 9,2°. Der p-Wert war mit p=0.0323 statistisch signifikant.

3.3.2.2.3 Patienten mit Achsabweichungen in Frontal- und/oder Sagittalebene

Analysis Variable: VAR_VAL_ ANTE_RECUR					
PAT_GRUPPE	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
Patienten mit primärer Achsabweichung	11	13.3	6.3	5.0	22.0
alle anderen Patienten	95	14.5	13.6	0.0	83.0

Tabelle 13: Patienten mit verbleibenden Achsabweichungen in der Frontal- und/oder Sagittalebene

Nach Zusammenfügen der Patienten mit Achsabweichungen in der Sagittal- und Frontalebene ergaben sich n=11 Patienten mit einer durchschnittlichen Achsabweichung von 13,3°. Alle anderen Patienten (n=95) zeigten eine durchschnittliche Achsabweichung von 14,5°. Dieser Unterschied war mit einem p-Wert von p=0.6015 statistisch nicht signifikant.

4 Diskussion

Die distale Wachstumsfugenlösung der Tibia ist die häufigste Fugenverletzung der unteren Extremität des heranwachsenden Skelettes [45, 46, 69]. Insgesamt kommt diese Verletzung in weniger als 3% aller kindlichen Frakturen vor. Kay et al. [41] berichten, dass Sprunggelenksfrakturen am wachsenden Skelett mit einer Inzidenz von nur 0,1% vorkommen, wovon reine Wachstumsfugenlösungen (=Epiphysenfugenlösungen) einen Anteil von ca. 55% hätten. Aufgrund der Seltenheit dieser Fraktur in der Gesamtheit aller Frakturen und den dennoch großen Unterschieden in der kindertraumatologischen Literatur hinsichtlich der Entstehung von Wachstumsstörungen (2,2% - 39%) ist eine systematische Untersuchung unerlässlich. Dies gilt insbesondere dann, wenn man sich mit den möglichen Folgen einer Wachstumsstörung für das heranwachsende Kind beschäftigt. In diesem Zusammenhang ist die Feststellung von Faktoren, welche Wachstumsstörungen induzieren könnten, von großem Interesse. Das Ziel dieser Arbeit war die Dokumentation des Aufkommens distaler, tibialer Epiphysenfugenlösungen und die Desmaskierung von Faktoren, welche Risikofaktoren für eine posttraumatische Wachstumsstörung darstellen. Es erfolgte des Weiteren eine Einteilung in unbeeinflussbare (Unfallmechanismus, Alter, Geschlecht, etc.) und beeinflussbare Variablen (Behandlungsregime, Art der Versorgung, Zeitpunkt der Versorgung, etc.). Damit ließe sich die Entstehung von Wachstumsstörungen nach Epiphyseolysen der distalen Tibia positiv beeinflussen und bei unbeeinflussbaren negativen Prädiktoren eine Prognose herleiten.

4.1 Diskussion der Primärergebnisse

Dieser Abschnitt bezieht sich auf den ersten Teil der Studie und setzt sich mit der prospektiven Erhebung von Epidemiologie, Inzidenz, Fraktur-Klassifikation und Art der Behandlung einer seltenen und doch wichtigen Fraktur der distalen Tibia des Kindes auseinander. Hierbei handelt es sich um die ersten drei Jahre der Erhebung.

Der Altersdurchschnitt des Patientengutes von 150 Patienten mit einer Salter-Harris I- oder II-Fraktur lag bei 11,8 Jahren. Der in der Literatur beschriebene Altersgipfel liegt zwischen dem 12. und 13. Lebensjahr [4, 15, 72, 88, 100] und entspricht so in etwa dem uns vorliegenden Patientenkollektel. „Die Anzahl maximal 10jähriger“ lag in einer Studie von Phan et al. in einer ähnlichen Größenordnung und $\frac{3}{4}$ deren Patienten waren 11 Jahre oder älter [67]. Die männlichen Verletzten waren mit 12,4 Jahren im Durchschnitt ca.

anderthalb Jahre älter als die weiblichen (10,8 Jahre). Nach Kraus et al. ist dies durch den im Mittel zwei Jahre verzögerten Wachstumsfugenschluss der Jungen im Vergleich zu den Mädchen, zu erklären [45]. Bisherige Befunde deuten darauf hin, dass das Durchschnittsalter für SH I-Frakturen ca. 1-2 Jahre niedriger als für SH II-Frakturen ist [12, 52, 67, 88]. Diese Beobachtung konnten wir in unserer Studie nicht bestätigen. Die uns vorliegende Geschlechtsverteilung (ca. 6m:4w) hingegen entspricht denen vergleichbarer Studien [6, 10] und scheint sich aus der Tatsache der erhöhten Risikobereitschaft der Jungen, insbesondere im Alter von 11-15 Jahren [84], und ihr Interesse für Extremsportarten abzuleiten [70]. Hefti, von Laer und Morschner machen darüber hinaus eine zusätzliche Auflockerung der Blasenknorpelschicht durch hormonelle Einflüsse, insbesondere bei Jungen in der Pubertät, für die Geschlechtsverteilung verantwortlich [31]. Insgesamt kommen Sprunggelenksfrakturen ungefähr doppelt so häufig bei Jungen wie bei Mädchen vor [41, 55, 63, 65, 101]. Einen geschlechtsspezifischen Unterschied zwischen SH I- und II-Frakturen konnten wir nicht feststellen (SH I ~6m:4w; ~SH II 6m:4w). Die Gesamtverteilung aller Frakturen nach der Seite zeigt sich ausgeglichen, wie auch andere Studien bestätigen [4]. Schaut man sich diese jedoch nach Fraktur-Klassifikation an, so ergibt sich für SH II-Frakturen eine gleichmäßige Verteilung und für SH I-Frakturen ein Verhältnis von 1:2 (rechts : links). Dieser Unterschied könnte durch die niedrigen Fallzahlen für SH I-Frakturen erklärbar sein. In unserem Patientenkollektiv zeigte sich der Anteil an SH I-Frakturen mit lediglich 12%. Bei Leary, Barmada, de Sanctis und Seel überwiegen ebenfalls die Epiphysenlösungen mit metaphysärem Keil (SH II-Frakturen) [4, 10, 15, 52, 84], welches sich laut de Sanctis et al. größtenteils auf den Unfallmechanismus zurückführen lässt [15].

Zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung bzw. zum Zeitpunkt des Unfalles waren die Wachstumsfugen radiologisch noch größtenteils offen. Hier deckten sich die Ergebnisse für SH I- und II-Frakturen. Während eines Zeitraumes von 18 Monaten kommt es im Alter von 12-14 Jahren zu einer Konsolidierung dieser Wachstumsfuge [69]. Die offene Wachstumsfuge ist eine Voraussetzung für die Entstehung von Epiphysenfugenlösungen. Kommt es nun zu einem Trauma nach beginnender Konsolidierung der Fuge (Beginn am Übergang vom medialen zum mittleren Drittel der Epiphyse) im Adoleszenzalter, so entstehen eher Übergangsfrakturen mit stereotypem Muster (Twoplane-, Triplane-Frakturen) [82] und bei komplett geschlossenen Fugen kommt es zu Frakturen, die mit denen im Erwachsenenalter identisch sind. Dieser Umstand deckt sich mit unserer

durchschnittlichen Altersverteilung von 11,8 Jahren. Die Lokalisation des metaphysären Keils bei Salter-Harris II-Frakturen wurde in >60% dorsal festgestellt. Dies ist im Einklang mit anderen vergleichbaren Studien [45]. Ventrale oder mediale Keillagen kamen insgesamt nur in ca. 15% der Fälle vor. Die Lage des Keiles wurde in der vorliegenden Studie nicht in Bezug auf die Richtung der Dislokation hin untersucht. Wir konnten jedoch für die Epiphyseolysen die Antekurvations- und Valgusstellung als weitaus häufigste Fehlstellung festhalten. Hinzu kam in gut $\frac{1}{4}$ der Fälle ein ad-latus-Shift. Die metaphysäre Keillage und die Richtung der Dislokation scheinen ihre Ursache im Verletzungsmechanismus zu haben. Rohmiller et al benennen hauptsächlich das Supinations-Adduktions-Trauma und daran anschließend das Pronations-Außenrotations-Trauma als Ursache [72]. Schurz et al. beschreiben hingegen für SH I- und II-Frakturen überwiegend Adduktionstraumata [83]. Andererseits postulieren Dias und Tachdjian Supination-Außenrotation und Supination-Plantarflexion als Hauptunfallmechanismen für SH II-Frakturen und beschreiben für SH I-Frakturen keinen bestimmten Mechanismus [68]. Hier lässt sich die ungenaue Darstellung des Unfallereignisses durch den Verletzten als mögliche Ursache für die differierenden Ergebnisse diskutieren [45].

Der Anteil primär dislozierter Frakturen lag in unserem Patientenkollektiv bei 74%. Eine retrospektive Studie von Schurz et. al zeigt eine Dislokationsrate von knapp 14% bei 292 Epiphyseolysen. Hier fällt insbesondere der Umstand auf, dass unter allen SH I-Frakturen keine einzige primär dislozierte Fraktur beschrieben wurde [83]. Dies konnten wir nicht bestätigen. Im Patientengut von Caterini et al. hingegen weisen alle Patienten mit Epiphyseolyse eine primäre Dislokation auf [12]. Eine Erklärung für diese divergierenden Ergebnisse könnten unterschiedlich zugrundeliegende Definitionen bezüglich der Dislokation sein. Die amerikanische Literatur beschreibt den Dislokationsgrad auch bei Achsabweichungen meist mit einem Abstand in Millimeter [40, 43, 52, 68, 72], die europäische Literatur hingegen [45, 76, 90, 93, 95] beschreibt die Dislokation mit einem Winkel in Grad. Es bestehen jedoch keine einheitlichen Angaben hinsichtlich der tolerablen Dislokation; weder in Grad noch in Millimeter. Meist werden Dislokationen mit Abständen von zwei Millimetern und weniger toleriert. Barmada et al. postulieren, dass residuelle Dislokationen von drei Millimetern und mehr ein Hinweis auf eingeschlagenes Periost seien [4]. Die tolerierbare Dislokation in Grad wird etwas differenzierter beurteilt. Hier werden die Grenzen abhängig von Alter und Bewegungsebene beurteilt und so die Fähigkeit zur Spontankorrektur im Wachstum mit einbezogen [95]. So können beispielsweise

bei Kindern unter 10 Jahren Rekurvationen bis zu 30° spontan korrigiert werden, Varus- und Valgusfehlstellungen in der gleichen Altersgruppe jedoch nur bis zu 20°. Die „tolerablen Dislokationen“ wurden in der vorliegenden Studie jedoch deutlich engmaschiger definiert (Varus bis 5° / Valgus bis 10° / Re- und Antekurvation bis 10°/ kein Rotationsfehler) [95] und durch alle teilnehmenden Kliniken entsprechend umgesetzt. Bezüglich der detaillierten Aufstellung nach Dislokationsausmaß gibt es derzeit keine vergleichbare Literatur. Um die Vergleichbarkeit von Studien zu erleichtern, wäre die Einführung einer einheitlichen Definition des Dislokationsausmaßes erstrebenswert.

Die Primärbehandlung der Epiphyseolysen sollte zeitnah erfolgen um Gefäß-, Nerven- und Weichteilverletzungen zu verhindern. Diese Vorgehensweise bestätigen auch Ram-melt et al. insbesondere für dislozierte Frakturen, welche noch möglichst am Unfallort unter Analgesie reponiert werden sollten [69]. Jeder Tag mit verbleibender dislozierter Fraktur erschwert die Repositionsfähigkeit und erhöht das Risiko für Epiphysenfugenschäden, welches zu Wachstumsstörungen führen könnte [8] [32]. In unserem Patientenkollektiv wurde dies in über 80% der Fälle unabhängig von Frakturtyp konsequent innerhalb der ersten 24h nach Unfall umgesetzt. Egol et al. konnten im Rattenmodell jedoch keinen Vorteil der frühen gegenüber der späten Reponierung bei SH I-Frakturen aufzeigen und empfehlen verbleibende primäre Dislokationen nach >72h zu belassen [22], da diese zu keiner Minimierung der entstandenen Achsabweichung führten. Über das offene Vorgehen bei fehlgeschlagener geschlossener Reposition unmittelbar nach Unfallgeschehen ist sich die Literatur einig [41, 77, 95]. In unserem Patientengut wurde die Reposition einer SH I- oder II-Fraktur in 66% aller Fälle notwendig. Das Verhältnis von geschlossener zu offener Reponierung war dabei 4:1 und war für SH-I- und II-Frakturen vergleichbar. Diese Ergebnisse spiegeln den Konsens der möglichst geschlossenen Reponierung von SH I- und II-Frakturen in den teilnehmenden Kliniken wieder und harmonisieren mit der gängigen Therapieempfehlung [10, 17, 20, 25, 62].

Buddecke et al. fassen die Art der Reposition und Repositionsstabilisierung in *Physeal Fractures of the Ankle* zusammen mit der Aussage: “Closed reduction is the treatment of choice for Salter-Harris types I and II injuries, and should be initiated as soon as possible.“ [10] Kling und Schurz andererseits sprechen sich deutlich für ein offenes Vorgehen mit anatomischer Reduktion der SH I- bzw. II-Fraktur zur Erreichung überdurchschnittlicher Ergebnisse aus [43, 83]. Der Rückschluss von Schurz ist jedoch wenig

nachvollziehbar, wenn man bedenkt, dass $\frac{2}{3}$ der Patienten der Studie konservativ behandelt wurden und hier das Auftreten von Wachstumsstörungen bei Epiphysenlösungen bei nur 2,4% lag [83]. Seel et al. konnten alle Patienten mit einer SH I-Fraktur, jedoch nur drei an der Zahl (n=3), und über die Hälfte der SH II-Frakturen (n=68) konservativ behandeln. De Sanctis hingegen betont die Vorteile von Kirschnerdrähten gegenüber der Verwendung von Schrauben bei der inadäquaten operativen Fixation in Hinsicht auf die Entstehung von Wachstumsstörungen [15]. Cottalorda argumentiert hingegen, durch Schrauben eine bessere Kompression auf den Frakturspalt zu ermöglichen als mit Kirschnerdrähten [13]. Buddecke, Kay, Podezwa und Mubarak schlagen eintönig die Fixation mit Kirschner-Drähten und Schrauben vor [10, 41, 68], wenn eine anatomische Reduktion mittels offener oder geschlossener Reposition nicht möglich sei, um Wachstumsstörungen zu minimieren. In der vorliegenden multizentrischen Studie wurde jedoch kein festgelegtes Behandlungsprocedere vorgegeben, um nicht in die langjährige Erfahrung und Expertise der teilnehmenden Kliniken in der Behandlung der kindlichen Frakturen einzugreifen. Es konnten keine Auffälligkeiten zur Entstehung von Wachstumsstörungen in Abhängigkeit von der Frakturstabilisierung im vorliegenden Patientenkollektiv festgestellt werden. Es wurden weit über $\frac{2}{3}$ aller SH I-Frakturen und über die Hälfte aller SH II-Frakturen konservativ behandelt. Allerdings wurde die Versorgung bzw. Repositions-stabilisierung der Patienten durch die teilnehmenden Kliniken in Übereinstimmung mit den gängigen Lehrbuchmeinungen möglichst konservativ vorgenommen [77, 82, 95, 97].

In Hinsicht auf die Frühkomplikationen nach erfolgter Versorgung der Frakturen gibt es in der aktuellen kindertraumatologischen Literatur nur wenige Informationen. Einige Studien verzichteten vollkommen auf deren Dokumentation [4, 15, 88], sodass sich nicht nachvollziehen lässt, ob diese überhaupt einen Einfluss auf die Entstehung von Wachstumsstörungen haben. Andere berichten über Komplikationen nur in Hinsicht auf die anstehende Versorgung (beispielsweise eingeklemmtes Periost als Grund für bleibende Dislokation >2mm) [68]. In unserem Patientengut konnten wir über Frühkomplikationen in 9,3% der Fälle berichten. Diese waren in knapp $\frac{1}{3}$ der Fälle gipsbedingt und in einem weiteren knappen $\frac{1}{3}$ machten sie eine Nachreposition notwendig. Allerdings wies keiner der Patienten mit einer Frühkomplikation eine Wachstumsstörung in der Folge auf. Seel et al stießen in ihrem Patientengut auf ähnliche Frühkomplikationen [84], welche auch keine Auswirkungen auf spätere Wachstumsstörungen hatten. Einhergehend messen Rohmiller et al. den Frühkomplikationen keine große Relevanz bei [72]. Die zusätzliche

Dokumentation der Frühkomplikationen erschien uns wichtig, um eine genaue Zuordnung der Entstehung von Wachstumsstörungen erreichen zu können.

4.2 Diskussion der Follow-up Untersuchungen

Dieser Abschnitt setzt sich mit dem Ergebnis der Frakturen der verunfallten Kinder auseinander. Hier spielen objektive Faktoren wie die klinische Beurteilung von Achse und Funktion sowie das subjektive Empfinden der Kinder eine große Rolle.

Der Erhebung der Nachuntersuchungen erstreckte sich ebenfalls über einen Zeitraum von drei Jahren und schloss sich an die Primärversorgung an. Die Ergebnisse wurden in Follow-up-Bögen dokumentiert. Diese wurden anfangs engmaschig (2, 3, 6 und 12 Monate) und nach dem ersten Jahr zwei weitere Male im Jahrestakt vorgenommen. Die Zahl der Teilnehmer an den Nachuntersuchungen sank stetig, sodass nach einem Jahr nur noch knapp die Hälfte der Patienten nachuntersucht werden konnten. Der Grund für die abnehmenden Zahlen ist spekulativ und lässt keine genauen Aussagen zu. Leary et al. berichten in Ihrem Paper „Physeal fractures of the distal tibia“ über 44 SH I- und II-Frakturen, welche unter anderem (SH III-/IV-Frakturen, Triplane- und Tillaux-Frakturen) über einen Zeitraum von 8-400 Wochen, durchschnittlich jedoch nur 57 Wochen nachuntersucht wurden [52]. Auffällig ist die besonders hohe Rate an Wachstumsstörungen unter den SH II-Frakturen (25,0%), obwohl nach der letzten Follow-up-Untersuchung (durchschnittlich 71,5 Wochen) noch ca. 20% der Patienten offene Wachstumsfugen hatten und somit Korrekturpotential aufwiesen. Das Follow-up-Verfahren von Seel et. al war vergleichbar mit der vorliegenden Studie, ebenso wie das Verhältnis an erfolgten Nachuntersuchungen (107/225, 47,6%). Allerdings mit einem durchschnittlichen Follow-up von 5,7 Jahren [84]. Dies zeigte sich in unserem prospektiven Studiendesign als nicht notwendig. Die Arbeitsgruppe von Schurz sowie Lalonde sprachen sich zwar für ein engmaschiges Follow-up aus, wiesen jedoch sehr kurze Nachuntersuchungs-Zeiträume von einem bzw. 1,2-Jahren auf [49, 83]. Hier lässt sich kritisch hinterfragen, ob diese Zeitspanne ausreichend ist, wenn man bedenkt, dass alle vier in unserer Studie festgestellten Wachstumsstörungen frühestens nach einem Jahr oder später dokumentiert wurden und auch mögliche Korrekturvorgänge sich der Dokumentation entzogen haben könnten. Wir empfehlen daher ähnlich wie Kling et al. [43] mindestens ein Follow-up von zwei Jahren, besser

noch bis zum Abschluss der kindlichen Reifung. Gemein ist jedoch allen Studien der Nachteil des retrospektiven Designs und somit der ausbleibenden Möglichkeit für ein kontrolliertes Follow-up der Patienten.

Die folgenden Punkte „Erreichen der Vollbelastung,“ „Wiedererreichen der täglichen Aktivitäten“ und „Wiederaufnahme Freizeit-/Schulsport“ sind Faktoren, die das subjektive Empfinden der Kinder dokumentieren, und beantwortet die Frage, wie gut die Kinder posttraumatisch wieder in ihren Alltag fanden. Diese Fragestellungen werden in anderen Studien kaum beachtet. Sie wurden in Aktivitäten im Alltag zusammengefasst.

Untersuchungszeitpunkt nach Trauma	Erreichen der Vollbelastung	Alltagsaktivität wieder erreicht	Sportlevel wieder erreicht
8 Wochen	64,8%	40,0%	6,4%
3 Monate	86,4%	73,6%	42,4%
6 Monate	92,0%	86,4%	68,0%
12 Monate	94,4%	91,2%	81,6%
24 Monate	94,4%	91,2%	82,4%
36 Monate	96,8%	92,8%	85,6%

Tabelle 14: Übersicht der Aktivitäten im Alltag

Das Erreichen der Vollbelastung hängt von der Art der Versorgung und dessen spezifischer Nachbehandlung, der Frakturklassifikation bzw. dem Ausmaß der Fraktur und dem Vermögen des Patienten ab. Prinzipiell sind Frakturen, welche konservativ mit einem Gips versorgt, wurden ca. 2-3 Wochen nach Unfall belastungsstabil. Operativ versorgte Frakturen hingegen können, wenn übungstabil versorgt, direkt belastet werden oder werden erst 3-4 Wochen nach erfolgter, radiologisch kontrollierter Durchbauung belastet [100]. Diese Überlegung sollte berücksichtigt werden, wenn man sich für ein konservatives oder operatives Vorgehen entscheidet. Dugan et al. [20] bestätigen bereits 1987 den positiven Effekt der frühen Aufbelastung bei konservativ versorgten SH II-Frakturen, welche darüber hinaus keine Auswirkungen auf die Entstehung von Wachstumsarresten haben. Die Sportfähigkeit ist in der Regel 3-4 Wochen nach Vollbelastung wieder gegeben. Diese kann jedoch durch anhaltende Rückfußschwellung anfangs noch eingeschränkt bleiben [95]. Die empfohlenen Behandlungsstrategien spiegeln sich auch in unseren Beobachtungen wieder. Ein Erreichen der Vollbelastung wurde bereits von knapp $\frac{2}{3}$ der Verletzten zur ersten Nachuntersuchung nach 8 Wochen erreicht und dem

Behandlungsregime entsprechend umgesetzt. Zu diesem Zeitpunkt gingen erst 40,0% der Patienten wieder ihren Alltagsaktivitäten nach und nur 6,4% erreichten ihr prätraumatisches Sportlevel. Schon 6 Monate nach Unfall belasteten 9 von 10 Patienten voll und gingen ihren Alltagsaktivitäten wieder uneingeschränkt nach. Nach drei Monaten erreichten 42,4% das prätraumatische Sportlevel und nach einem Jahr 81,6%. Es zeigt sich, dass die Alltagsaktivitäten posttraumatisch schnell wieder erreicht werden konnten. Werden die Kinder jedoch zum Schulsport aufgefordert, so scheinen Beschwerden (anhaltende Weichteilschwellungen, etc. [95]) dies erst viele Wochen und Monate nach Unfall zu ermöglichen.

Untersuchungszeitpunkt nach Trauma	Subjektive Bewertung 1/2	Subjektive Bewertung 3/4/5	Durchschnittliche subjektive Bewertung
8 Wochen	85,2%	14,8%	1,8
3 Monate	94,0%	6,0%	1,5
6 Monate	95,8%	4,2%	1,2
12 Monate	100,0%	-	1,2
24 Monate	100,0%	-	1,1
36 Monate	97,6%	2,4%	1,2

Tabelle 15: Übersicht Subjektive Beurteilung

Trotz des verzögerten Erreichens des Sportlevels über die gesamte Zeit war die Zufriedenheit der Patienten sehr hoch. Bereits zur ersten Nachuntersuchung waren 85,2% mit dem Ergebnis zufrieden oder sehr zufrieden. Nach einem Jahr waren alle Patienten, bei den kleinen Patienten, welche sich nicht äußern konnten, die Eltern mit dem Ergebnis zufrieden oder sehr zufrieden. Lediglich ein einziger Patient bewertete das Gesamtergebnis nach 3 Jahren als schlecht (Tab. 12). Grund war, dass er trotz achsgerecht konsolidierter Fraktur, vollem Bewegungsumfang und Ausbleiben von Wachstumsstörungen seinen prätraumatisch betriebenen Leistungssport (Basketball) nicht mehr erfolgreich ausüben konnte. Insgesamt fand die Mehrheit aller Patienten nach Epiphyseolysen zum zuvor angegebenen persönlichen Sportniveau zurück.

Lokale Komplikationen spielten nur eine sehr untergeordnete Rolle. Der häufigste Grund für lokale Komplikationen war eine Infektion oder andere nicht genau definierte Gründe. Die lokale Komplikationsrate blieb stets unter 6% und zur Abschlussuntersuchung gab

es keinerlei lokale Komplikationen. Bei keinem der Patienten hatte eine lokale Komplikation einen Einfluss auf die Entstehung einer Wachstumsstörung.

Untersuchungszeitpunkt nach Trauma	Druckschmerz	Konsolidierung	Entfernung der Implantate
8 Wochen	26,3%	89,5%	6,4%
3 Monate	12,9%	92,9%	36,0%
6 Monate	4,3%	100,0%	25,6%
12 Monate	5,5%	100,0%	13,6%
24 Monate	1,5%	100,0%	0,8%
36 Monate	0%	100,0%	3,2%

Tabelle 16: Druckschmerz, Konsolidierung, Implantate

Druckschmerzen nahmen im Nachuntersuchungsverlauf stetig ab, wohingegen die Konsolidierung schnell zunahm und bereits beinahe 90% der Frakturen nach 8 Wochen verheilt waren. Dies deckt sich mit den Beobachtungen von Seel et al. [84], welche die Dauer der Konsolidierung im Mittel mit 7,0 Wochen für SH I-Frakturen und 7,11 Wochen für SH II-Frakturen für ihr Patientenkollektiv mit 225 Fällen über einen Zeitraum von 15 Jahren angaben. Wir führten jedoch keine Diskriminierung zwischen SH I- und –II-Frakturen durch. Der Zeitpunkt der Entfernung der Implantate steht nicht im direkten Zusammenhang mit der Konsolidierung der Fraktur (siehe Tabelle 13) und erklärt sich eher aus dem Behandlungsregime abhängig von der Versorgung. Beispielsweise findet die Metallentfernung eingebrachter Kirschner-Drähte in aller Regel nach ca. 10-12 Wochen postoperativ statt [95] und Kompressionsschrauben werden meist für 6-12 Monate nach Versorgung belassen [80]. In unserem Patientenkollektiv wurden 32,3% (n=32) der Patienten mit Kirschner-Drähten versorgt und bei 36,0% der Patienten fand nach drei Monaten eine Metallentfernung statt. Zugschrauben- und Plattenosteosynthesen (inkl. Winkelstabile Platten) wurden in 56,6% (n=56) der Fälle durchgeführt und 57,6% der Implantate wurden nach 6 Monaten oder später entfernt. Hier zeigt sich, dass ein individuelles Behandlungsregime und kein fest gelegtes Procedere für alle Fälle die sinnvollste Lösung zu sein scheint. (Die Zahlen beziehen sich auf alle Patienten, bei denen eine Repositions-stabilisierung notwendig war.)

Barmada et al. [4] legen in ihrer Studie “Premature Physeal Closure Following Distal Tibia Physeal Fractures“ den frühzeitigen radiologischen Wachstumsfugenverschluss (PPC = premature physeal closure) als Nachweis einer Wachstumsstörung fest. Bei SH I- und II-Frakturen beschreiben sie das Auftreten von PPC, abhängig von der Versorgung,

in 25-42%. Diese Zahlen erscheinen uns nicht zu Unrecht als relativ hoch, wenn man bedenkt, dass nicht jeder radiologische Wachstumsfugenverschluss in einer klinisch manifesten Wachstumsstörung endet. Insbesondere wenn man den Hintergrund radiologisch nicht beurteilbarer Fugen, wie in unserem Kollektiv, in bis zu 83% unter allen teilnehmenden Kliniken beachtet.

Zeitpunkt	Fuge nicht beurteilbar	Frühzeitiger Verschluss	Beinlängen-differenzen	Achsabweichungen	Konsequenzen
8 Wochen	30,5%	3,2%	1,1%	1,1%	0,0%
3 Monate	56,5%	3,5%	6,0%	10,8%	0,0%
6 Monate	83,1%	2,8%	11,3%	7,4%	0,0%
12 Monate	60,3%	0,0%	13,2%	5,9%	2,9%
24 Monate	80,0%	1,8%	10,9%	10,9%	3,6%
36 Monate	65,9%	5,9%	15,1%	2,4%	2,4%

Tabelle 17: vorzeitige Wachstumsfugenlösung und nicht beurteilbare Wachstumsfugen

Darüber hinaus kam es absolut zu elf verfrühten kompletten bzw. teilweisen Epiphysenfugenverschlüssen bei einer Gesamtzahl von nur vier korrekturbedürftigen Wachstumsstörungen über den gesamten Untersuchungszeitraum. Hier zeigen sich Diskrepanzen, welche das Gleichsetzen von frühzeitigem Wachstumsfugenverschluss mit manifesten Wachstumsstörungen in Frage stellen.

Im kompletten Nachuntersuchungsintervall wurde bei vier Patienten die Indikation einer chirurgisch relevanten Folge einer Wachstumsstörung gestellt. Dies waren sekundäre Beinlängendifferenzen oder Achsabweichungen. Die vier Kinder mit korrekturbedürftigen Konsequenzen wurden bei Nachuntersuchungen nach einem, zwei oder drei Jahren auffällig. Initial wurden fünf korrekturbedürftige Konsequenzen festgestellt. Letztlich stellte sich jedoch heraus, dass eine geplante Korrektur zweimal genannt wurde. Dies zeigt die Importanz langer Nachuntersuchungszeiträume bei Epiphysenfugenlösungen und steht im Kontrast zu durchschnittlichen Nachuntersuchungsintervallen von 12 Monaten wie bei Barmada et al. [4] oder 14 Monaten bei Rohmiller et al. [72].

Funktionelle Einschränkungen bezogen sich auf sekundäre Achsabweichungen und Beinlängendifferenzen. Diese haben ihre Ursache in posttraumatischen Wachstumsstörungen. In 7,6% aller Fälle (n=26) konnten wir eine Achsabweichung dokumentieren, wovon n=18 über 5° waren. Achsabweichungen in der Sagittalebene kamen nur in seltenen

Fällen vor (2%, n=3) und wiesen eine durchschnittliche Abweichung von ca. 5° auf. Grund hierfür scheint die gute Korrekturpotenz des wachsenden Skelettes in der Bewegungsebene zu sein [77, 95]. Einhergehend kam es häufiger zu Achsabweichungen in der Frontalebene (17,3%, n=26), worunter 16 Fehlstellungen eine Achsabweichung über 5° aufwiesen (maximal: 15°).

Leary et al. berichten ebenfalls über behandlungsbedürftige Wachstumsstörungen, unter anderem mit Achsabweichungen. Dies kam in 12% (15/124) ihrer Fälle [52] vor. Sie verpassten es jedoch eine genauere Spezifizierung vorzunehmen und unterscheiden nicht zwischen der Art der Fraktur und der Art der Wachstumsstörung. Aus diesem Grund lassen sich hieraus keine größeren Rückschlüsse ziehen. Mit uns vergleichbare Ergebnisse hingegen lieferten Caterini et al. mit Valgus- (n=10) und Varusdeformitäten (n=15) in 22% der Fälle, wovon acht Patienten Achsabweichungen über 5° aufwiesen [12]. Sie führen Achsabweichungen auf inadäquate Reposition über 5° zurück. Diesbezüglich waren unsere Fallzahlen zu klein, um einen Zusammenhang zwischen Richtung der Dislokation, Lage des metaphysären Keils oder Art der Repositionsstabilisierung und posttraumatischen Achsabweichungen herzustellen. Der Empfehlung, alle Fehlstellungen über 5° anatomisch zu reponieren, schließen wir uns jedoch an.

Abschließend sei noch darauf aufmerksam gemacht, dass unter allen Achsabweichungen nur vier einen Anlass für eine Korrektur gaben (2,7%). Somit schätzen wir den Anteil behandlungsbedürftiger Achsabweichungen als deutlich geringer ein als Leary et. al.

Achsabweichungen	Antekurvatur	Retrokuvatur	Valgusfehlstellung	Varusfehlstellung
Art der Dislokation	31,9% (n=52)	10,4% (n=17)	23,9% (n=39)	4,9% (n=8)
Dislokationsgrade (> 10°)	(n=28)	(n=13)	(n=36)	(n=6)
Achsabweichungen	(n=1)	(n=2)	(n=23)	(n=3)
Achsabwgn. >5°	(n=0)	(n=0)	(n=18)	(n=0)
Korrekturbehandlg	(n=0)	(n=0)	(n=1; 20°)	(n=3; 10/20/17°)

Tabelle 18: Posttraumatische Achsabweichungen

Der Beckenschiefstand spielt in der Kinderortho- und -traumatologie eine große Rolle. Über den Krankheitswert und die Behandlungsbedürftigkeit solcher Beinlängen-

unterschiede herrscht jedoch oft Unklarheit. Angeblich weisen $\frac{2}{3}$ der Menschen einen Beckenschiefstand von bis zu 1 cm auf [27]. Man muss daher diesen Zustand als »physiologisch« betrachten [30]. Insgesamt konnte ein Beckenschiefstand in n=20 Fällen (4,8%) festgestellt werden. Weiterhin ergeben sich große Unterschiede abhängig von Untersucher und Klinik. Ein Beckenschiefstand <5mm lässt sich klinisch oft nicht bestimmen, da für die Untersuchung Brettchen á 5mm verwendet werden. Beinlängendifferenzen beziehungsweise Beckenschiefstände von unter 5mm, teilweise unter 10mm, werden von den Patienten oft gar nicht wahrgenommen.

Sekundäre Beinlängendifferenzen und Achsabweichungen haben ihre Ursache in posttraumatischen Wachstumsstörungen. Die klinische Untersuchung initial nach 8 Wochen ergab nur in einem einzigen Fall (0,7%) eine Verkürzung des betroffenen Beines um mehr als 5mm. Ob diese schon prätraumatisch bestand, lies sich nicht mehr rekonstruieren. Verlängerungen oder Achsabweichungen fanden sich klinisch zu diesem Zeitpunkt nicht. Zum letzten Untersuchungszeitpunkt lagen in 16,2% Beinlängendifferenzen ($\frac{3}{4}$ Verkürzungen, $\frac{1}{4}$ Verlängerungen im Vergleich zur unverletzten Gegenseite) und in 5,9% Achsabweichungen vor. Bei allen Achsabweichungen handelte es sich um eine Varusfehlstellung, alle gingen mit einer Beinverkürzung einher. Bei den gemessenen Beinlängendifferenzen handelte es sich um Verkürzungen von 5 – 35 mm (im Mittel 8,2 mm) und um Verlängerungen von 5 – 10 mm (im Mittel 6,1 mm).

Die Quote radiologisch festgestellter vorzeitiger partieller oder vollständiger Fugenverschlüsse lag zu jedem Untersuchungszeitpunkt höher als die klinischer Beinlängendifferenzen. Die Differenz erklärt sich durch klinisch nicht erfasste Beinlängendifferenzen von unter 5 mm. Darüber hinaus sind die Daten der klinischen und radiologischen Veränderungen nicht vollständig korrelierbar, da nicht alle Eltern den radiologischen Verlaufuntersuchungen zu jedem Untersuchungszeitpunkt zustimmten (Röntgenquote). Eine Übersicht zu den klinischen und radiologischen Korrelaten posttraumatischer Wachstumsstörungen gibt Tabelle 19.

Wachstumsstörungen insbesondere Beinlängendifferenzen und Achsabweichungen sind Ursachen von kompletten oder teilweisen frühzeitigen Wachstumsfugenverschlüssen. Jedoch nicht jeder frühzeitige Wachstumsfugenverschluss endet in klinisch signifikanten Beinlängendifferenzen und Achsabweichungen. Ein frühzeitiger Wachstumsfugen-

verschluss kurz vor dem physiologischen Fugenschluss kann durchaus klinisch nie apparent werden. Kinder kurz vor Wachstumsfugenverschluss haben also ein geringeres Risiko für die Entstehung einer klinisch apparenten Wachstumsstörung, wohingegen jüngere Kinder zwar ein größeres Risiko mit sich bringen, jedoch auch eine potentere Korrekturfähigkeit aufweisen. Aus diesem Grund sind retrospektive Studien, welche ausschließlich den frühzeitigen radiologischen Wachstumsfugenschluss bezüglich der Entstehung von Wachstumsstörungen heranziehen, nur bedingt verwertbar und zeigen sehr wahrscheinlich falsch-hohe Raten an Wachstumsstörungen bei Epiphyseolysen der distalen Tibia [4, 52, 68, 72].

Untersuchungszeitpunkt nach Trauma	Klinisch Beinverkürzung	Klinisch Beinverlängerung	Klinisch Achsabweichung	Radiologisch vorzeitiger Fugenschluss/ Röntgenquote
8 Wochen	0,7% n=1	0%	0%	3,9% n=4 / 76,3%
3 Monate	3,5% n=4	2,6% n=3	1,7% n=2	8,2% n=7 / 73,9%
6 Monate	8,8% n=9	2,9% n=3	4,9% n=5	10,1% n=7 / 67,6%
12 Monate	8,8% n=8	4,4% n=4	6,6% n=6	10,3% n= 6 / 63,7%
24 Monate	8,1% n=6	4,1% n=3	6,8% n=5	12,1% n= 5 / 55,4%
36 Monate	11,8% n=8	4,4% n=3	5,9% n=4	14,6% n=6 / 60,3%

Tabelle 19: Klinische Beinlängendifferenzen, Achsabweichungen und Röntgenbefunde

Chirurgischer Therapiebedarf ergab sich lediglich in 4 der 150 Fälle (2,7%). Die Indikation zur operativen Korrektur wurde nur in Fällen mit Beinlängendifferenzen von 15 mm und mehr, sowie bei einer Achsabweichung von mehr als 15° Varus gestellt. In drei von vier Fällen folgten Patient und Eltern der Behandlungsempfehlung. In einem weiteren Fall erfolgte die Behandlung weiter konservativ (Tab. 15). Eine orthopädische Behandlung geringerer Beinlängendifferenzen und Achsabweichungen durch Physiotherapie und Einlagenversorgung erfolgte in 8 Fällen aber auch in 21 Fällen ohne klinisch dokumentierte Wachstumsstörung.

Die Mobilität wurde in die Punkte „symmetrisch, uneingeschränkt“ und „funktionelle Einschränkung auf der frakturierten Seite“ eingeteilt und in Hinsicht auf Flexion (plantar), Extension (dorsal), Eversion und Inversion spezifiziert. Zu Beginn der Nachuntersuchungen war diese erwartungsgemäß deutlich eingeschränkt und betraf nach 8 Wochen noch ca. $\frac{3}{4}$ der Patienten. In der Folge kam es zu einem deutlichen Zunehmen des Bewegungsspieles bis letztendlich alle Versuchsteilnehmer eine uneingeschränkte

Beweglichkeit aufzeigten. Die Stabilität war bei nahezu allen nachuntersuchten Patienten bereits von Anfang an gegeben. Hier konnten bezüglich einer konservativen oder chirurgischen Behandlung keine Unterschiede festgestellt werden. Das Gangbild verhielt sich synchron zur Mobilität. Eine eingeschränkte Mobilität resultierte in einem nicht symmetrischen Gangbild. Zu den Punkten Mobilität, Stabilität und Gangbild im Sprunggelenk lässt sich in der vergleichbaren Literatur keine verwertbare Information finden.

Fall	1	2	3	4
Geschlecht	männlich	männlich	männlich	männlich
Alter zum Unfallzeitpunkt	12	9	14	14
Salter-Harris	II	II	I	II
Primär disloziert	ja	gering	ja	ja
Behandlung	Geschlossene Reposition, K -Drähte	konservativ	Geschlossene Reposition, Ruhigstellung	Geschlossene Reposition, K -Drähte
Fehlstellung nach Behandlung	beseitigt	identisch	beseitigt	beseitigt
Auftreten der Wachstumsstörung	24 Monate	12 Monate	12 Monate	36 Monate
Indikation zur Therapie	BLD 30mm	BLD 20mm Varus 15°	BLD 15mm Varus 15°	BLD 25mm
Therapie	konservativ	Brückenresektion, metaphysäre Achskorrektur	Einzeitige Umstellung und Verlängerung	Distractionsosteoneogenese
Zeitpunkt	-	18 Monate	konservativ	40 Monate

Tabelle 20: Empfehlung zur chirurgischen Therapie der posttraumatischen Wachstumsstörungen in 4 Fällen

4.3 Diskussion der signifikanzstatistischen Auswertung

Der dritte Abschnitt der Diskussion erklärt die Zusammenhänge zwischen nicht- bzw. beeinflussbaren Faktoren zur Entstehung von Wachstumsstörungen bei Verletzungen der Epiphysenfuge mit oder ohne metaphysären Keil. Besonderes Augenmerk wurde hier auf das Alter der Patienten, sich ergebende Korrekturmaßnahmen und Achsabweichungen bzw. Beinlängendifferenzen gelegt. Dies konnte durch die Zusammenführung der deskriptiven Primärergebnisse und der Follow-up Untersuchungen erreicht werden. Ziel war die Demaskierung von Faktoren, welche eine Wachstumsstörung am heranwachsenden Skelett der distalen Tibia bei Epiphysenfugenlösungen induzieren können. Unter dem Begriff „Wachstumsstörungen“ wurden Beinlängendifferenzen und Achsdeviationen

zusammengefasst. Die englischsprachige Literatur spricht in diesem Zusammenhang von „ppc = pre-physeal closure“ und meint damit den verfrühten teilweisen oder kompletten Epiphysenfugenverschluss. Einige Autoren verpassen es in diesem Zusammenhang mitzuteilen, ab wann eine Wachstumsstörung festgestellt wird, und gehen nicht auf Beinlängendifferenzen und Achsdeviationen ein [4, 68]. Ein Umstand, welcher dem meist retrospektiven Studiendesign geschuldet ist (oft nur Röntgenbilder vorhanden, inkomplette klinische Daten). Ein möglicher Erklärungsansatz für das hohe Aufkommen an posttraumatischen Wachstumsstörungen nach Epiphysenfugenlösungen.

In der vorliegenden Studie sollte im Besonderen auf beeinflussbare (Behandlungsregime, Art der Versorgung, Zeitpunkt der Versorgung, etc.) und nicht beeinflussbare Faktoren (Unfallmechanismus, Patientenalter, Geschlecht, etc.) eingegangen werden. Trotz einer stattlichen Studienteilnehmerzahl von n=150 innerhalb des Erhebungszeitraumes von 36 Monaten kam es zu einer sehr geringen Anzahl von korrekturrelevanten Wachstumsstörungen (n=4), wodurch sich ein chirurgischer Therapiebedarf in nur 2,7% der Fälle ergab. Die Indikation zur operativen Korrektur wurde nur in Fällen mit Beinlängendifferenzen von 15 mm und mehr sowie bei einer Achsabweichung von mehr als 15° Varus gestellt. Nicht korrekturrelevante Wachstumsstörungen wurden ebenfalls dokumentiert und im Studiendesign respektiert.

Analysis Variable : AGE					
Leg length discrepancy	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
shortening of fractured limb	12	12.5	2.2	7.6	15.9
lengthening of fractured limb	6	10.8	3.6	5.1	14.7

Tabelle 21: Altersunterschiede zwischen Patienten mit Beinlängenveränderungen

In der hier vorliegenden Studie konnten wir Beinlängendifferenzen in 12% der Fälle über den ganzen Nachuntersuchungszeitraum feststellen, welche sich aufteilten in $\frac{1}{3}$ Verlängerungen und $\frac{2}{3}$ Verkürzungen. Weiterhin zeigten sich Achsdeviationen in 6,7% der Fälle (n=10). Das Verhältnis der Achsabweichungen von Frontal- (Varus/Valgus) zu Sagittalebene (Ante-/Retrokuration) betrug 3:2.

Die Altersunterschiede, die sich aus der uns vorliegenden Grundgesamtheit ergeben,

Verkürzungen (n=12) mit einem durchschnittlichen Alter von 12.5 Jahren und den Verlängerungen (n=6) mit einem durchschnittlichen Alter von 10.8 Jahren, implizieren wie in Kapitel 1.2 von Hasler und von Laer beschriebene Tendenz. Dieses Ergebnis lässt sich signifikanzstatistisch jedoch nicht belegen (p=0,4963 und p=0,5176). Ebenfalls nicht statistisch signifikant war das Unfallalter der vier Patienten mit chirurgisch relevanten Folgen einer Wachstumsstörung verglichen mit der Gesamtgruppe der Patienten mit Epiphyseolysen (13,4 Jahre vs. 11,7 Jahre, p=0,1705), dies obwohl über 1/4 der Patienten 10 Jahre und jünger waren (SH I: n=9/23,7%; SH II: n=29/76,3%). De Sanctis et al. teilen ebenfalls den Verdacht des Einflusses des Patientenalters auf die Entstehung von Wachstumsstörungen [15], können dies anhand der geringen Datenlage (n=1 ppc bei n= 46 Epiphyseolysen mit/ohne metaphysärem Keil) jedoch nicht signifikant belegen. Kärholm et al. schränken das Alter mit speziellem Augenmerk auf die Entstehung von Wachstumsstörungen weiter ein und postulieren ein erhöhtes Risiko für Mädchen unter 12 Jahren und Jungen unter 13 Jahren aufgrund des erwarteten Restwachstumes von über einem Zentimeter im genannten Entwicklungsalter [40].

Ein weiterer nicht beeinflussbarer und mit dem Unfallmechanismus in Zusammenhang stehender Faktor ist der primäre Dislokationsgrad nach traumatischen Epiphyseolysen. Diese wurde wie im deutschsprachigen Raum üblich in Grad (°) im Gegensatz zur englischsprachigen Literatur in Millimetern (mm) angegeben. Einige Autoren folgen der Aussage von Aitken: „initial injury plays part in prognosis“ und machen die primäre Dislokation beziehungsweise unvollständige Reposition der Fraktur für die Entstehung von Wachstumsstörungen mitverantwortlich [1, 4, 12, 15, 52, 84]. Caterini [12], de Sanctis [15] sowie Carothers und Crenshaw [11] machen das primäre Dislokationsausmaß hauptverantwortlich für die Entstehung von Wachstumsstörungen, wohingegen Barmada et al. andererseits ein residuelles Dislokationsausmaß >3mm nach Salter-Harris I- und II-Frakturen [4] als Hauptfaktor nennen. Leary et al. postulieren hingegen in einer 2009 veröffentlichten Studie, dass je Millimeter primärer Dislokationsspalt das Risiko bei sonst gleichen Voraussetzungen um 15% für Salter-Harris I- und II-Frakturen zunehmen würde [52]. In der uns vorliegenden Gruppe fanden sich 74% dislozierte Frakturen (n=111), welches sich mit den Angaben von anderen Autoren wie beispielsweise Schurz et al. [83] deckt. Unter den 150 Frakturen, worunter sich 18 reine Epiphyseolysen (SH I) und 132 Epiphyseolysen mit metaphysärem Keil (SH II) befanden, wurde der Dislokationsgrad in 18 Fällen (16,2% =18/111) als tolerabel, d.h. nicht repositionsbedürftig angesehen. Das

Ausmaß der Achsabweichung in der Frontal- und Sagittalebene lag in 60,4% aller Fälle bei maximal 5° und in 75,1% der Fälle bei maximal 10°. Nur in 8,3% der Fälle lag eine Achsabweichung >20° vor. In 92,9% der Fälle wurde eine anatomische Reposition erreicht und bei den restlichen Patienten (n=7) wurde eine maximale Dislokation von 10° toleriert. Eine Re-Reposition war in 9/150 Fällen (7,1%) notwendig. Alle verbliebenen Dislokationen beliefen sich auf <10°. Hieraus ergab sich kein erhöhtes Risiko, eine posttraumatische Wachstumsstörung zu entwickeln, wie in eine von Leary et al. (2009) [52] oder Buddecke et al. (1999) [10] veröffentlichten Studie behauptet. Sie schlagen vor, multiple Repositionsmanöver zu vermeiden, um das Risiko posttraumatischer Wachstumsstörungen zu senken. Bei den uns vorliegenden Patienten mit chirurgisch relevanten Wachstumsstörungen (n=4) lag eine primäre, unfallbedingte Achsabweichung im Mittel von 16,8° vor. Dies scheint im Vergleich mit der Gesamtgruppe der Patienten mit Epiphyseolysen mit einer Achsabweichung im Mittel von 9,7° ausschlaggebend, erreicht mit p=0,0589 jedoch keine statistische Signifikanz. Zieht man nun diese Parallele bei allen Patienten mit Epiphyseolysen, dessen Achsabweichung nicht gleich Null war, so ergibt sich ein ähnliches primäres Dislokationsausmaß (16,8° vs. 15,5°) mit keinerlei statistischer Signifikanz (p=0,3383). Laut Marti et al. sind Fehlstellungen der distalen Tibiaepiphyse [41], von Ausnahmen abgesehen, Folge einer unsachgemäßen Behandlung. Durch Läsion des Innenknöchels verbliebe nur der Außenknöchel intakt, was zur gefürchteten Varusfehlstellung des oberen Sprunggelenkes führe [53]. Diese These wird auch durch Untersuchungen von Moon et al. gestützt [56]. Tatsächlich sind alle in dieser Studie vorliegenden, chirurgisch relevanten, Achsabweichungen Varusfehlstellungen. Wir konnten diesbezüglich jedoch keinen signifikanten behandlungsrelevanten Zusammenhang herstellen.

Den von Egol et al. aufgezeigten negativen Prädiktionsfaktor zur Entstehung posttraumatischer Wachstumsstörungen durch verzögerte zeitliche Versorgung der Epiphyseolysen im experimentellen Tiermodell konnte von uns nicht aufgezeigt werden [22]. Insgesamt wurden im vorliegenden Patientenkollektel <80% der Patienten innerhalb von <24h und 89,9% der Patienten innerhalb von <48h nach Trauma versorgt. Alle Patienten mit chirurgisch relevanten Folgen einer Wachstumsstörung wurden innerhalb von <24h versorgt. Dies spricht für eine schnelle, zeitgerechte Versorgung der teilnehmenden Kliniken.

Posttraumatische Achsabweichungen im Sinne einer Wachstumsstörung konnten in der

vorliegenden Studie in 6,7% der Fälle festgestellt werden. Davon waren n=9 Fälle in der Frontalebene mit einer durchschnittlichen Achsabweichung von 13° und n=6 Fälle in der Sagittalebene mit einer durchschnittlichen Achsabweichung von 5,5°. Insgesamt waren es 10 Patienten, welche postoperative Achsabweichungen aufwiesen. Eine Achsabweichung in mehr als einer Richtung wurde ebenfalls dokumentiert. Dies erklärt die differierende Anzahl an Patienten mit Achsabweichungen (n=10) und absolut dokumentierten Achsabweichungen (n=15). Viele Studien machen die primäre oder verbleibende Dislokation für posttraumatische Achsdeviationen verantwortlich [4, 12, 15]. In unserer Studie verglichen wir die primäre Achsabweichung der Patienten, welche eine posttraumatische Wachstumsstörung im Sinne einer Achsabweichung aufwiesen, mit allen Patienten, welche eine primäre Achsabweichung jedoch keine verbliebene Achsabweichung hatten. In unserem Patientenkollektiv konnten wir einen Zusammenhang zwischen primärer Dislokation und posttraumatischer Achsdeviation nicht aufzeigen. Eine signifikante Achsabweichung in der Sagittalebene mit $p=0.0323$ (Tab. 12) kann hier eher aufzeigen, dass eine achsgerechte Reposition meist zu einem guten Ergebnis führt. Auch Seel et al. können mit einer Grundgesamtheit von n=225 Epiphyseolysen keine Zusammenhänge zwischen primären Achsabweichungen und posttraumatischen Wachstumsstörungen im Sinne einer Achsabweichung aufzeigen [84]. Unabhängig davon schließen wir uns der Aussage einer „möglichst anatomischen Reposition bei offener und geschlossener Vorgehensweise zur Minimierung von Komplikationsraten“ an.

Epiphysenlösungen der distalen Tibia von Typ Salter-Harris I und II zeigen in unseren Untersuchungen nur ein geringes Risiko für die Entwicklung einer posttraumatischen behandlungsrelevanten Wachstumsstörung (5,6% vs. 2,3%). Diese Ergebnisse zeigen sich in ähnlichem Umfang in den Untersuchungen zu Epiphysenfugenlösungen von de Sanctis et al. [15], Schurz et al. [83] und Seel et al. [84] (SH I: 0-0,6%, SH II: 2,6-14,2%). Die konsequente Umsetzung von Therapieempfehlungen hinsichtlich des Behandlungsregimes kindlicher Frakturen aus der gängigen Literatur [80, 94, 95, 100] durch die teilnehmenden Kliniken scheint ein bedeutender Faktor zur Prävention von Wachstumsstörungen zu sein. Es wurde darauf geachtet Fehlstellungen, in der Frontal- und Sagittalebene jenseits des 10. Lebensjahres nicht mehr zu belassen. Fehlstellungen vor dem 10. Lebensjahr waren bis zu 10° in der Frontal- und Sagittalebene tolerabel [95]. Eine Fehlstellung im Valgus >10° und eine Antekurvationsfehlstellung >7° wurden altersunabhängig in keinem Fall toleriert [45]. Der Therapieempfehlung von Hasler und von Laer

Achsenfehler $<10^\circ$ durch Gipskeilung am 08. posttraumatischen Tag zu korrigieren und Achsenfehler $>10^\circ$ durch eine möglichst geschlossene Reposition zu korrigieren [29] wurde bezüglich der Gipskeilung nur im Falle einer Salter-Harris Typ I-Verletzung gefolgt.

Gegensätzlich erscheinen andere Untersuchungen wie von Barmada et al. (2003) oder Leary et al. (2009). Erstere weisen in ihrer Patientenklientel auf Wachstumsstörungen nach Epiphysenfugenlösungen in 36% der Fälle hin. Auffällig ist hier die unscharfe Definition, bei der ein früher radiologischer Epiphysenfugenverschluss mit einer Wachstumsstörung gleichgesetzt wurde. Klinisch nachweisbare Beinlängendifferenzen oder Achsdeviationen wurden nicht dokumentiert [4]. Letztere hingegen zeigen insbesondere Wachstumsstörungen nach SH II-Frakturen in 25% der Fälle (SH I: 0%) auf. Auffällig ist hier, dass nur 5 der 15 Patienten mit frühem Wachstumsfugenarrest überhaupt eine Beinlängendifferenz oder Achsdeviation aufweisen. Schaut man sich nun den Unfallhergang genau an, so fällt auf, dass sich unter den Untersuchten eine große Anzahl von Motorradopfern mit einer mittleren Dislokation von 22mm befindet. Dividiert man diese Gruppen nun in Sport/Sturz und Motorradunfall, so zeigen sich Wachstumsstörungen in 6% bzw. 8% und 86% der Fälle. Hier scheint der Unfallmechanismus mit der Schwere des Unfalls und die sich daraus ergebende Frakturklassifikation eine große Rolle zu spielen [52].

Andere Autoren relativieren diese Aussagen und ziehen bei Kindern kurz vor Wachstumsfugenschluss die offen chirurgische anatomische Reposition einer nicht komplett geschlossen anatomisch reponierten Frakturversorgung zur Minimierung von Wachstumsstörungen vor [43, 83]. Sie schätzen das Risiko in diesem Zusammenhang für eine verbleibende inkomplette Reposition geringer ein als durch einen offen chirurgischen Eingriff [43] ohne Aufzeigen einer statistischen Signifikanz. Eine fragliche Vorgehensweise, wenn man die Invasivität und möglichen Komplikationsraten eines offen chirurgischen Vorgehens bedenkt; insbesondere bei einem Auftreten von Wachstumsstörungen in nur 2,4% der Fälle bei einer Grundgesamtheit von 287 Patienten, wovon 64,1% rein konservativ behandelt werden konnten [83]. Seel et al. machen lediglich auf die Wichtigkeit der anatomischen Reposition nach Epiphyseolysen zur Senkung von Wachstumsstörungen aufmerksam, unabhängig von einem offen chirurgischen Vorgehen oder einer geschlossenen Reposition unter Narkose. Erst bei einer verbleibenden Dislokation von $>2\text{mm}$

sprechen sie sich für ein offen-chirurgisches Vorgehen aus [84]. Schneider [77], Weinberg [100], von Laer und Kraus [95] warnen vor einem generellen offen-chirurgischen Vorgehen und weisen in diesem Zusammenhang auf einen iatrogenen mikrovaskulären Schaden hin. Den Empfehlungen von Kay et al. (2001) Epiphyseolysen achsengerecht möglichst geschlossen mit höchstens ein oder zwei Versuchen zu reponieren, können wir uns aufgrund des zuvor genannten Grundes gerne anschließen. Sie beschreiben die Gefahr eines Wachstumsfugenarrestes bei Epiphyseolysen im Vergleich zu Epiphysenfrakturen als sehr gering [41].

Der abschließenden Aussage von Spiegel et al. einer multifaktoriellen Genese bei der Entstehung von Wachstumsstörungen in Abhängigkeit von Patientenalter, Unfallmechanismus bzw. Frakturtyp, primäres Dislokationsausmaß und residuelle Dislokation stimmen wir gerne zu. Ein besonderes Augenmerk möchten wir jedoch im Besonderen auf folgende Aussage legen: Je jünger das Alter des Patienten, desto höher die Wahrscheinlichkeit von Wachstumsstörungen und Spontankorrekturen bei längerem verbleibenden Restwachstum [88]. Wir schließen uns den Richtlinien von von Laer und Kraus gerne an, Fehlstellungen in der Frontal- und Sagittalebene bei >10jährigen Patienten nicht mehr zu belassen, würden hinsichtlich des bestehenden Risikos bei <10jährigen Patienten eine möglichst anatomische Reposition empfehlen, ohne dies aufgrund der kleinen Kohorte belegen zu können. Allerdings können wir das oft hohe Risiko für die Entstehung von Wachstumsstörungen nach traumatischen Epiphyseolysen der distalen Tibia anderer Autoren [4, 43, 52, 72, 88] nicht teilen. Zur Prävention stimulativer Wachstumsstörungen durch vermehrtes Remodelling sollte eine Spontankorrektur nicht in das Therapieprozedere der distalen Epiphysenlösungen integriert werden und eine achsengerechte Stellung ohne Verkürzung und Rotationsfehler angestrebt werden [29, 95]. Buddecke betont ebenfalls, besonders bei jungen Kindern mit großem Restwachstum, Achsfehlstellungen zur Prävention von Arthrose zu korrigieren [10]. Unter Einhaltung dieser Therapieempfehlungen kann das ohnehin recht niedrige Risiko einer posttraumatischen Wachstumsstörung weiter gesenkt werden. Hier würden wir jedoch auch gerne auf die kindgerechte Versorgung in dafür spezialisierten Kliniken verweisen.

4.4 Limitationen der vorliegenden Studie

Die verschiedenen Daten unterliegen gewissen Limitationen, auf welche in der Diskussion bereits teilweise eingegangen wurde und auf welche im folgenden Abschnitt noch weiter eingegangen werden soll. Dank des prospektiven multizentrischen Studiendesigns konnte eine große Datenmenge erhoben werden. Während des gesamten Erfassungszeitraumes konnten n=150 Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia mit/ohne metaphysärem Keil registriert werden. Darunter befanden sich n=18 Salter-Harris Typ I-Frakturen und n=132 Salter-Harris Typ II-Frakturen. Insgesamt ergaben sich n=4 Patienten mit chirurgisch relevanten Folgen einer Wachstumsstörung (SH I: n=1 und SH II: n=3). Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs reiner Epiphyseolysen (ohne metaphysären Keil) konnten nur bedingt Aussagen hinsichtlich der Entstehung von Wachstumsstörungen getroffen werden. Die geringe Prävalenz an korrekturrelevanten Wachstumsstörungen ist jedoch auch ein Hinweis darauf, dass posttraumatische Wachstumsstörungen im klinischen Alltag überschätzt werden. Ob die geringe Prävalenz im Zusammenhang mit der Versorgung durch spezialisierte Zentren, den Unfallmechanismus (reine Epiphyseolysen) oder Patienteneigenschaften (Alter, etc.) bedingt ist, sollte weiter beobachtet werden. Das multizentrische Studiendesign sorgte für ausreichende Fallzahlen. Die 21 teilnehmenden Kliniken, wovon 12 Kliniken regelmäßige Beiträge leisteten, entschieden autark über das zu wählende Therapieprocedere, um deren Expertise nicht einzuschränken. Dies sorgte für eine große Anzahl an Behandlungsschemata mit teilweise kombinierter Repositionsstabilisierung (z.B.: Kirschner-Drähte und Gips), wodurch die Anzahl der Repositionsstabilisierungen die Anzahl der Frakturen überstieg. So wurde nicht dezidiert aufgeführt, welche Verfahren miteinander kombiniert wurden. Für eine zukünftige Studie sind kombiniert aufgeführte Versorgungsstrategien empfehlenswert, um aus der Art der Repositionsstabilisierung valide Ergebnisse ziehen zu können.

Abschließend noch eine Bemerkung bezüglich der Methodik der Nachuntersuchungsbögen. Trotz der verbundenen Stichproben hat keine Zuordnung der Patienten im Bogen dazu geführt, dass man die einzelnen Nachuntersuchungen nicht den einzelnen Patienten zuordnen konnte (z.B. weiß man nicht, ob ein Patient zu allen sechs Nachuntersuchungen gekommen ist oder sechs Patienten zu unterschiedlichen Nachuntersuchungszeitpunkten. Hier war im Anschluss eine dezidierte Auszählung zur klaren Darstellung der Daten notwendig.

5 Klinische Bedeutung, Empfehlungen, Perspektive

Der Einfluss des Alters auf die Entstehung von posttraumatischen Wachstumsstörungen bei Kindern mit relevantem Restwachstum scheint eine entscheidende Rolle in der multifaktoriellen Entstehung von Wachstumsstörungen zu spielen. Wir konnten in unserem Patientenkollektiv, welches zu $\frac{1}{4}$ aus <10-jährigen Kindern bestand, ein erhöhtes Risiko auf Grund des potentiellen Restwachstumes und einem damit verbundenen längeren Zeitraum für die Entstehung einer posttraumatischen hemmenden Wachstumsstörung nicht aufzeigen. Dies mag an der begrenzten Anzahl an Probanden liegen, welche durch die geringe Inzidenz von 2,8% aller kindlichen Frakturen trotz des multizentrischen Designs über einen Zeitraum von 36 Monaten nur zusammengekommen waren. Andere Autoren [29, 40, 45, 95] hegen jedoch auch diesen dringenden Verdacht und daher ist eine weiterführende Untersuchung, mit einer noch größeren Gruppe an Studienteilnehmern, um Ursachen von Wachstumsstörungen festzustellen, unerlässlich. Die Hypothese einer „histologischen Sollbruchstelle“ bei unter 10-jährigen Kindern liegt nahe.

Die Anzahl an posttraumatischen Längendifferenzen (n=18) und Achsabweichungen (n=10) war vergleichbar mit denen anderer Studien [12, 52]. Daraus ergaben sich vier chirurgisch relevante Folgen einer Wachstumsstörung über den gesamten Nachuntersuchungszeitraum von drei Jahren (2,7%). Ein Zusammenhang mit der Art der Repositionsstabilisierung ließ sich nicht herstellen, weder hinsichtlich der konservativen Therapie (n=71; 47,3%) noch dem offen chirurgischen Vorgehen (n=79; 52,7%). Komplikationsbehaftete Verläufe mit nicht zufrieden stellendem Outcome wurden in 2,2–39,6% der Fälle berichtet [45]. Hier stellt sich die Frage über das Zustandekommen einer solch großen Diversität. Im vorliegenden Patientenkollektiv ergab sich nur eine moderate Anzahl an Komplikationen. Das oft hoch eingeschätzte Risiko muss unter diesen Umständen relativiert werden und eine Ursachenfindung eingeleitet werden. Dringend empfehlenswert erscheint die Versorgung in dafür vorgesehenen spezialisierten Zentren. Weiterhin empfehlen wir die konsequente Festlegung für die Grenzen einer posttraumatischen Wachstumsstörung. Einige Studien sprechen bereits bei verfrühtem vollständigem oder teilweisem Verschluss der Epiphysenfugen von der Entstehung einer Wachstumsstörung [4, 52, 72]. Abhängig vom Alter spielt der verfrühte beziehungsweise teilweise Verschluss einer Wachstumsfuge jedoch nur noch eine untergeordnete Rolle. Daher empfehlen wir die Festlegung einer genauen Definition und eines möglichst prospektiven Vorgehens bei

folgenden Studien zur Beobachtung der wichtigen klinischen Parameter neben der rein radiologischen Bildgebung unter Einbeziehung des Alters des heranwachsenden Kindes. Hasler und van Laer beschreiben das Risiko nach Epiphysenlösungen der distalen Tibia mit ca. 20% [29]. Nach Auswertung der vorliegenden Daten und der konsequenten Umsetzung der genannten Richtlinien zur postoperativen Versorgung schätzen wir das Risiko nach Epiphysenlösungen vom Typ SH I und II als deutlich geringer ein. „Die häufigsten Wachstumsstörungen, auch bei korrekter Behandlung, sind Varusdeformitäten nach asymmetrischem Wachstumsfugenschluss der medialen Epiphysenfuge. Darüber sollten die Eltern auch bei korrekter Versorgung dringlich aufgeklärt werden [53].“ Aus diesem Grund schließen wir uns der Aussage von Lalonde bezüglich eines „aggressiven Follow-up’s“ und frühen Eingreifens zur Vorbeugung der Entstehung von Wachstumsstörungen an [49]. Lange Nachuntersuchungszeiträume zum Ausschluss negativer Konsequenzen von bis zu drei Jahren nach Unfall beziehungsweise bis zum Abschluss des Wachstums der distalen Tibia werden angeraten.

6 Zusammenfassung

Traumatische Wachstumsfugenverletzungen der distalen Tibia sind seltene Frakturen mit einem Altersgipfel zwischen 11 und 12 Jahren. Die Frakturen vom Typ Salter-Harris I und II werden in Epiphyseolysen mit oder ohne metaphysären Keil eingeteilt. Die vorliegende Studie stellt die prospektive multizentrische Erhebung von Inzidenz, Behandlungsstrategien und -ergebnissen und die Entstehung von Wachstumsstörungen dieser kindlichen Frakturen dar. Aus entstandenen Wachstumsstörungen sollten sich konkrete Hinweise auf Einflussfaktoren ergeben, welche sich positiv auf das Behandlungsprocedere auswirken würden. Die Hypothese einer deutlich geringeren Inzidenz von Wachstumsstörungen nach Epiphyseolysen als in der gängigen Literatur wurde gestellt. Über einen Zeitraum von 36 Monaten wurden in dieser multizentrischen Studie von 21 teilnehmenden kindertraumatologischen Kliniken 150 Fälle mit einer Epiphyseolyse der distalen Tibia nach Einverständnis der Eltern eingeschlossen. Die Patienten wurden anschließend nach einem festgelegten Protokoll über maximal 36 Monate nachuntersucht. Zu jedem Untersuchungszeitpunkt (2, 3, 6, 12, 24, 36 Monate) wurden anamnestische Daten, ein klinisch-radiologischer Befund und die subjektive Ergebniszufriedenheit der Patienten zur Dokumentation posttraumatischer Wachstumsstörungen erhoben. Die statistische

Erhebung wurde durch das Institut für Evaluative Forschung in der Medizin der Universität Bern (MEMdoc) begleitet. Alle statistischen Analysen wurden mit SAS 9.4 durchgeführt und, um die Signifikanz der Unterschiede zwischen interessierten Gruppen zu prüfen, wurde der Wilcoxon-Rangsummen-Test für unabhängige Zweistichproben verwendet. Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission des Fachbereichs der Justus-Liebig-Universität Gießen genehmigt. Teile der Untersuchungsergebnisse, das Aufkommen und die Behandlungsstrategien von Wachstumsfugenlösungen Salter-Harris I und II der distalen Tibia wurden bereits publiziert [45]. In der vorliegenden Studie kam es zu deutlichem Überwiegen von SH II-Verletzungen mit einem Verhältnis von 1:8,33. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs reiner Epiphyseolysen (SH I) konnten hier nur bedingt Aussagen hinsichtlich der Entstehung von Wachstumsstörungen getroffen werden. Hier erscheint eine Untersuchung mit größerem Stichprobenumfang sinnvoll. Beinlängendifferenzen kamen insgesamt in 12% und Achsdeviationen in 6,7% der Fälle über den gesamten Nachuntersuchungszeitraum vor. Daraus ergaben sich n=4 Patienten (2,7%) mit chirurgisch relevanten Folgen einer Wachstumsstörung (SH I: n=1 und SH II: n=3). Die geringe Prävalenz an korrekturrelevanten Wachstumsstörungen nach Epiphyseolysen der distalen Tibia ist ein klarer Hinweis darauf, dass posttraumatische Wachstumsstörungen im klinischen Alltag überschätzt werden. Das späte Auftreten von Wachstumsstörungen bestätigt die Notwendigkeit langer Nachuntersuchungsintervalle von bis zu 36 Monaten nach Epiphyseolysen der distalen Tibia.

7 Abstract

Traumatic physeal separations of the distal tibia are rare fractures peaking at age 11 to 12. The Salter-Harris type I and II fractures are divided into physeal separations with or without a metaphyseal wedge. This prospective multicenter study provides recent data of incidence, treatment strategies and outcomes and also the development of growth disorders in these childhood fractures. The resulting growth disorders would reveal influencing factors which could be used as an advantage on a successful treatment. The hypothesis of a significantly lower incidence of growth disorders after physeal separations was stated opposing common literature. Over a period of 36 months, 150 cases involving physeal separations of the distal tibia were included in this multicentre study of 21 participating pediatric trauma centers. Patients were subsequently followed up for a maximum of 36

months using a defined protocol. At each follow-up (2, 3, 6, 12, 24, 36 months) anamnestic data, a clinical examination, radiographs and patients' subjective satisfaction were documented to discover growth disturbances. The statistical survey was accompanied by the Institute for Evaluative Research in Medicine of the University of Bern (MEMdoc). All statistical analyses were performed with SAS 9.4 and the Mann-Whitney U-test was used to find significances in independent samples. The study protocol was approved by the ethics committee of the Department of the Justus Liebig University in Giessen. The primary results of this study concerning epidemiology and treatment strategies of Salter-Harris I and II physeal separations of the distal tibia have already been published [45]. Significant prevalence of SH II injuries with a ratio of 1:8.33 occurred in the present study. Due to the small sample of physeal separations without a metaphyseal wedge only limited statements could be made regarding the development of growth disorders in Salter-Harris type I fractures. A future study with a larger sample seems recommendable. Leg length differences occurred in 12% and axis deviations in 6.7% of all cases during the entire follow-up period. As a result four patients (2.7%) with a growth disturbance (SH I: n = 1 and SH II: n = 3) were in need of surgical revision. The low prevalence of growth disorders with the need of corrective treatment after physeal separation of the distal tibia is an indication that post-traumatic growth disorders are overestimated in clinical practice. The late onset of growth disorders confirms the need for long follow-up intervals of up to 36 months after physeal separation of the distal tibia.

8 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung	.jpg	JPEG-Dateien (=Bilddateien)
AZ	Aktenzeichen		
BLD	Beinlängendifferenz	n=	Merkmalsausprägungen
bzw.	beziehungsweise	.pdf	Portable Document Format
ca.	circa	PPC	Premature Physeal Closure
ESIN	elastische stabile intramedulläre Nagelung	SH I	Salter-Harris Typ I
		SH II	Salter-Harris Typ II
et al.	et alii (=“und andere“)	Std. Dev.	Standard Devianz
etc.	et cetera (=“und so weiter“)	WTS	Wachstumsstörungen
		z.B.	zum Beispiel

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau einer Epiphysenfuge [95]	2
Abbildung 2: Schema Gefäßversorgung im Bereich der Wachstumsfuge nach Seifert [37].....	3
Abbildung 3: Einteilung der Verletzungstypen nach unterschiedlichen Autoren [37]	4
Abbildung 4: 11-jähriger Junge; schwer dislozierte Epiphyseolyse SH I.....	7
Abbildung 5: 13-jähriger Junge; schwer dislozierte Epiphyseolyse mit metaphysärem Keil SH II mit begleitender Fibulaschaftfraktur.....	8
Abbildung 6: LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter [94].....	9
Abbildung 7: Primärbogen	24
Abbildung 8: Follow-up-Bogen	26
Abbildung 9: Altersverteilung Abbildung.....	31
Abbildung 10: Altersverteilung gruppiert	32
Abbildung 11: Altersverteilung gruppiert nach Klassifikation	32
Abbildung 12: Geschlechtsverteilung nach Klassifikation SH I.....	33
Abbildung 13: Geschlechtsverteilung nach Klassifikation SH II	33
Abbildung 14: SH I-Frakturen nach Seite.....	34
Abbildung 15: SH II-Frakturen nach Seite.....	34
Abbildung 16: Verteilung nach Klassifikation.....	34
Abbildung 17: Status der Epiphysenfuge.....	35
Abbildung 18: Status der Epiphysenfuge nach Klassifikation.....	35
Abbildung 19: Hauptlagerichtung des metaphysären Keils bei SH II-Frakturen (F=Fibula, T=Tibia) [45].....	36
Abbildung 20: Lokalisation des metaphysären Keils.....	36
Abbildung 21: Richtung der Dislokation	37
Abbildung 22: Übersicht der Achsabweichungen bei Wachstums-.....	38
Abbildung 23: Antekurvationsfehlstellung in Grad gesamt.....	39
Abbildung 24: Antekurvationsfehlstellung in Grad nach Salter	39
Abbildung 25: Valgusfehlstellung in Grad gesamt	39
Abbildung 26: Valgusfehlstellung in Grad nach Salter.....	40
Abbildung 27: Rekurvationsfehlstellung in Grad bei SH II-Frakturen.....	40
Abbildung 28: Varusfehlstellung in Grad gesamt.....	40
Abbildung 29: Varusfehlstellung in Grad nach Salter	41
Abbildung 30: Zeitpunkt der Primärbehandlung nach Klassifikation.....	41

Abbildung 31: Art der Reposition nach Klassifikation	42
Abbildung 32: Art der Repositionsstabilisierung nach Klassifikation.....	43
Abbildung 33: Verteilung der Nachuntersuchungen zu definierten Zeitpunkten	44
Abbildung 34: Erreichen der Vollbelastung zu definierten Zeitpunkten	45
Abbildung 35: Wiedererreichen der täglichen Aktivitäten zu definierten Zeitpunkten.....	46
Abbildung 36: Wiederaufnahme von Freizeit-/Schulsport zu definierten Zeitpunkten.....	46
Abbildung 37: Subjektive Beurteilung der Patienten.....	48
Abbildung 38: Verteilung der Komplikationen zu definierten Zeitpunkten	49
Abbildung 39: Druckschmerz zu definierten Zeitpunkten.....	50
Abbildung 40: Konsolidation der Fraktur	51
Abbildung 41: Entfernung der Implantate.....	51
Abbildung 42: Zustand der Epiphysenfuge.....	53
Abbildung 43: Korrekturingriffe zu definierten Zeitpunkten.....	55
Abbildung 44: Achsabweichungen zu definierten Zeitpunkten	56
Abbildung 45: Mobilität im Sprunggelenk zu definierten Zeitpunkten	57
Abbildung 46: Stabilität im Sprunggelenk zu definierten Zeitpunkten	58
Abbildung 47: Gangbild im Sprunggelenk zu definierten Zeitpunkten	59
Abbildung 48: Beckenschiefstand zu definierten Zeitpunkten	60
Abbildung 49: Beinlängendifferenz zu definierten Zeitpunkten.....	61

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Studienplan.....	20
Tabelle 2: Teilnehmende Kliniken.....	29
Tabelle 3: Altersverteilung.....	31
Tabelle 4: Frakturklassifikationen nach Seite.....	33
Tabelle 5: Altersunterschiede Korrekturgruppe.....	62
Tabelle 6: Altersunterschiede Patienten mit/ohne Beinverlängerung.....	63
Tabelle 7: Altersunterschiede von Patienten mit/ohne Beinverkürzung.....	63
Tabelle 8: Altersunterschiede zwischen Patienten mit Beinlängenveränderungen.....	63
Tabelle 9: Dislokationsausmaßes bei Patienten mit/ohne Korrekturoperation.....	64
Tabelle 10: Patienten mit primärem Dislokationsausmaß und Patienten mit.....	64
Tabelle 11: Patienten mit verbleibenden Achsabweichungen in der Frontalebene.....	65
Tabelle 12: Patienten mit verbleibenden Achsabweichungen in der Sagittalebene.....	66
Tabelle 13: Patienten mit verbleibenden Achsabweichungen in der Frontal- und/oder Sagittalebene.....	66
Tabelle 14: Übersicht der Aktivitäten im Alltag.....	73
Tabelle 15: Übersicht Subjektive Beurteilung.....	74
Tabelle 16: Druckschmerz, Konsolidierung, Implantate.....	75
Tabelle 17: vorzeitige Wachstumsfugenlösung und nicht beurteilbare Wachstumsfugen.....	76
Tabelle 18: Posttraumatische Achsabweichungen.....	77
Tabelle 19: Klinische Beinlängendifferenzen, Achsabweichungen und Röntgenbefunde.....	79
Tabelle 20: Empfehlung zur chirurgischen Therapie der posttraumatischen Wachstumsstörungen in 4 Fällen.....	80
Tabelle 21: Altersunterschiede zwischen Patienten mit Beinlängenveränderungen.....	81

11 Literaturübersicht

1. Aitken, A.P., *Fractures of the epiphyses*. Clin Orthop Relat Res, 1965. **41**: p. 19-23.
2. Al-Aubaidi, Z., *Valgus deformity after distal fibular fracture*. Ugeskr Laeger, 2011. **173**(42): p. 2656-7.
3. Balthazar, D.A. and A.M. Pappas, *Acquired valgus deformity of the tibia in children*. J Pediatr Orthop, 1984. **4**(5): p. 538-41.
4. Barmada, A., T. Gaynor, and S.J. Mubarak, *Premature physal closure following distal tibia physal fractures: a new radiographic predictor*. J Pediatr Orthop, 2003. **23**(6): p. 733-9.
5. Beals, R.K., *Premature closure of the physis following diaphyseal fractures*. J Pediatr Orthop, 1990. **10**(6): p. 717-20.
6. Berson, L., et al., *Growth disturbances after distal tibial physal fractures*. Foot Ankle Int, 2000. **21**(1): p. 54-8.
7. Brashear, H.R., *Epiphyseal fractures of the lower extremity*. South Med J, 1958. **51**(7): p. 845-51.
8. Bright, R.W. and S.M. Elmore, *Physical properties of epiphyseal plate cartilage*. Surg Forum, 1968. **19**: p. 463-4.
9. Brown, J.H. and S.A. DeLuca, *Growth plate injuries: Salter-Harris classification*. Am Fam Physician, 1992. **46**(4): p. 1180-4.
10. Buddecke, D.E., Jr., et al., *Physal fractures of the ankle*. Clin Podiatr Med Surg, 1999. **16**(4): p. 793-812.
11. Carothers, C.O. and A.H. Crenshaw, *Clinical significance of a classification of epiphyseal injuries at the ankle*. Am J Surg, 1955. **89**(4): p. 879-89.
12. Caterini, R., P. Farsetti, and E. Ippolito, *Long-term followup of physal injury to the ankle*. Foot Ankle, 1991. **11**(6): p. 372-83.
13. Cottalorda, J., et al., *Salter-Harris Type III and IV medial malleolar fractures: growth arrest: is it a fate? A retrospective study of 48 cases with open reduction*. J Pediatr Orthop, 2008. **28**(6): p. 652-5.
14. Dallek, M., et al., [*Periosteal bone resorption in the area of the metaphysis of growing bone as a precursor of epiphyseal injuries. A polarization optical and scanning electron microscopy study*]. Unfallchirurgie, 1988. **14**(2): p. 57-63.
15. de Sanctis, N., S. Della Corte, and C. Pempinello, *Distal tibial and fibular epiphyseal fractures in children: prognostic criteria and long-term results in 158 patients*. J Pediatr Orthop B, 2000. **9**(1): p. 40-4.
16. Desbiolles, M. and U.G. Stauffer, *Spätresultate nach operativer Sanierung von Bandrupturen am oberen Sprunggelenk bei Kindern*. Z Kinderchir, 1983. **38**(4): p. 243-6.
17. Devalentine, S.J., *Epiphyseal injuries of the foot and ankle*. Clin Podiatr Med Surg, 1987. **4**(1): p. 279-310.
18. Dias, L.S. and M.O. Tachdjian, *Physal injuries of the ankle in children: classification*. Clin Orthop Relat Res, 1978(136): p. 230-3.
19. Domzalski, M. and W. Mackenzie, *Growth arrest of the proximal tibial physis with recurvatum and valgus deformity of the knee*. Knee, 2009. **16**(5): p. 412-6.
20. Dugan, G., W.A. Herndon, and R. McGuire, *Distal tibial physal injuries in children: a different treatment concept*. J Orthop Trauma, 1987. **1**(1): p. 63-7.
21. Eastwood, D.M. and A. de Gheldere, *Physal injuries in children*. Surgery (Oxford), 2011. **29**(4): p. 146-152.
22. Egol, K.A., et al., *Early Versus Late Reduction of a Physal Fracture in an Animal Model*. Journal of Pediatric Orthopaedics, 2002. **22**(2): p. 208-211.

23. Fernandez, F.F. and O. Eberhardt, *Klassifikationen von Frakturen im Kindesalter*. Trauma und Berufskrankheit, 2010. **12**(S3): p. 323-328.
24. Gomes, L.S., J.B. Volpon, and R.P. Goncalves, *Traumatic separation of epiphyses. An experimental study in rats*. Clin Orthop Relat Res, 1988(236): p. 286-95.
25. Gonc, U. and A. Kayaalp, *Ankle fractures in children and adolescents*. Acta Orthop Traumatol Turc, 2004. **38 Suppl 1**: p. 127-37.
26. Grace, D.L., *Irreducible fracture-separations of the distal tibial epiphysis*. J Bone Joint Surg Br, 1983. **65**(2): p. 160-2.
27. Grill, F., M. Chochole, and A. Schultz, *Beckenschiefstand und Beinlängendifferenz*. Orthopäde, 1990. **19**(5): p. 244-62.
28. Hasler, C.C. and B.K. Foster, *Secondary tethers after physeal bar resection: a common source of failure?* Clin Orthop Relat Res, 2002(405): p. 242-9.
29. Hasler, C.C. and L. von Laer, *Pathophysiologie posttraumatischer Deformitäten der unteren Extremität im Wachstumsalter*. Orthopäde, 2000. **29**(9): p. 757-65.
30. Hefti, F., et al., *Kinderorthopädie in der Praxis*. 2008: Springer.
31. Hefti, F., L. von Laer, and E. Morscher, *Prinzipien der Pathogenese posttraumatischer Achsenfehler im Wachstumsalter*. Orthopäde, 1991. **20**(6): p. 324-30.
32. Herring, J.A., M.O. Tachdjian, and T.S.R.H.f. Children, *Tachdjian's pediatric orthopaedics*. 2002: Saunders.
33. Hynes, D. and T. O'Brien, *Growth disturbance lines after injury of the distal tibial physis. Their significance in prognosis*. J Bone Joint Surg Br, 1988. **70**(2): p. 231-3.
34. Iwinska-Zelder, J., et al., *Epiphysenfugenverletzungen der distalen Tibia Sinnvolle Mehrinformation durch die MRT?* Der Radiologe, 1999. **39**(1): p. 25-29.
35. Jonasch, E. and E. Bertel, *Verletzungen von Kindern bis zum 14. Lebensjahr. Medizinisch-statistische Studie über 263166 Verletzte*. Hefte Unfallheilkd, 1981. **150**: p. 1-146.
36. Jordan, S.E., J.E. Alonso, and F.F. Cook, *The etiology of valgus angulation after metaphyseal fractures of the tibia in children*. J Pediatr Orthop, 1987. **7**(4): p. 450-7.
37. Jungbluth, K.H., M. Dallek, and N.M. Meenen, *Verletzungen der Wachstumsfugen*. Unfallchirurg, 1997. **100**(7): p. 571-86.
38. Kamphaus, A., et al., *LiLa classification for paediatric long bone fractures : Intraobserver and interobserver reliability*. Unfallchirurg, 2013.
39. Kamphaus, A., et al., *LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter*. Der Unfallchirurg, 2015. **118**(4): p. 326-335.
40. Karrholm, J., L.I. Hansson, and S. Laurin, *Supination-adduction injuries of the ankle in children--radiographical classification and treatment*. Arch Orthop Trauma Surg, 1983. **101**(3): p. 193-200.
41. Kay, R.M. and G.A. Matthys, *Pediatric ankle fractures: evaluation and treatment*. J Am Acad Orthop Surg, 2001. **9**(4): p. 268-78.
42. Kaya Alpar, E., *Growth plate stimulation by diaphyseal fracture. Autoradiography of DNA synthesis in rats*. Acta Orthop Scand, 1986. **57**(2): p. 135-7.
43. Kling, T.F., Jr., R.W. Bright, and R.N. Hensinger, *Distal tibial physeal fractures in children that may require open reduction*. J Bone Joint Surg Am, 1984. **66**(5): p. 647-57.
44. Kraus, R., *Klassifikation von Frakturen im Wachstumsalter*. OP-JOURNAL, 2010. **26**(02): p. 70-76.
45. Kraus, R., et al., *Traumatische Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia. Aufkommen, Formen, Behandlungsstrategien*. Unfallchirurg, 2011. **114**(5): p. 403-410.

46. Kraus, R. and M. Kaiser, *Growth disturbances of the distal tibia after physeal separation--what do we know, what do we believe we know? A review of current literature.* Eur J Pediatr Surg, 2008. **18**(5): p. 295-9.
47. Kraus, R., et al., *Haben Kinderchirurgen und Erwachsenenchirurgen unterschiedliche Therapieansätze bei der Behandlung von Wachstumsstörungen?* Zentralbl Chir, 2011. **136**(2): p. 164-7.
48. Kraus, R., D. Schneidmüller, and C. Röder, *Aktuelle Daten zur Häufigkeit von Frakturen langer Röhrenknochen im Wachstumsalter,* in *Deutsches Ärzteblatt.* 2005. p. 838-842.
49. Lalonde, K.A. and M. Letts, *Traumatic growth arrest of the distal tibia: a clinical and radiographic review.* Can J Surg, 2005. **48**(2): p. 143-7.
50. Landin, L.A., *Fracture patterns in children. Analysis of 8,682 fractures with special reference to incidence, etiology and secular changes in a Swedish urban population 1950-1979.* Acta Orthop Scand Suppl, 1983. **202**: p. 1-109.
51. Larson, B.J. and J.W. Davis, *Trampoline-related injuries.* J Bone Joint Surg Am, 1995. **77**(8): p. 1174-8.
52. Leary, J.T., et al., *Physeal fractures of the distal tibia: predictive factors of premature physeal closure and growth arrest.* J Pediatr Orthop, 2009. **29**(4): p. 356-61.
53. Marti, R., P.P. Besselaar, and E. Raaymakers, *Fehlstellungen nach Verletzungen der distalen Tibia und Fibulaepiphysen.* Orthopäde, 1991. **20**(6): p. 367-73.
54. Mayr, J.M. and W. Grechenig, *Verletzungen des distalen Unterschenkels und oberen Sprunggelenkes bei Kindern.* Acta Chirurgica Austriaca, 2001. **33**(2): p. 60-64.
55. Mizuta, T., et al., *Statistical analysis of the incidence of physeal injuries.* J Pediatr Orthop, 1987. **7**(5): p. 518-23.
56. Moon, M.S., et al., *Varus and internal rotational deformity of the ankle secondary to distal tibial physeal injury.* Bull Hosp Jt Dis, 1997. **56**(3): p. 145-8.
57. Moritz, J.D., et al., *Vergleich von MRT und CT bei Frakturen im Kindesalter.* Der Unfallchirurg, 2013. **116**(10): p. 916-922.
58. Mubarak, S.J., *Extensor retinaculum syndrome of the ankle after injury to the distal tibial physis.* J Bone Joint Surg Br, 2002. **84**(1): p. 11-4.
59. Naranja, R.J., Jr., et al., *Pediatric fracture without radiographic abnormality. Description and significance.* Clin Orthop Relat Res, 1997(342): p. 141-6.
60. Nenopoulos, S.P., V.A. Papavasiliou, and A.V. Papavasiliou, *Rotational injuries of the distal tibial growth plate.* J Orthop Sci, 2003. **8**(6): p. 784-8.
61. Nenopoulos, S.P., V.A. Papavasiliou, and A.V. Papavasiliou, *Outcome of physeal and epiphyseal injuries of the distal tibia with intra-articular involvement.* J Pediatr Orthop, 2005. **25**(4): p. 518-22.
62. Ogden, J.A., *Skeletal growth mechanism injury patterns.* J Pediatr Orthop, 1982. **2**(4): p. 371-7.
63. Peterson, C.A. and H.A. Peterson, *Analysis of the incidence of injuries to the epiphyseal growth plate.* J Trauma, 1972. **12**(4): p. 275-81.
64. Peterson, H.A., *Classification,* in *Epiphyseal Growth Plate Fractures.* 2007, Springer Berlin Heidelberg. p. 21-91.
65. Peterson, H.A., et al., *Physeal fractures: Part 1. Epidemiology in Olmsted County, Minnesota, 1979-1988.* J Pediatr Orthop, 1994. **14**(4): p. 423-30.
66. Petit, P., et al., *Acute fracture of the distal tibial physis: role of gradient-echo MR imaging versus plain film examination.* AJR Am J Roentgenol, 1996. **166**(5): p. 1203-6.
67. Phan, V.C., E. Wroten, and D.A. Yngve, *Foot progression angle after distal tibial physeal fractures.* J Pediatr Orthop, 2002. **22**(1): p. 31-5.

68. Podeszwa, D.A. and S.J. Mubarak, *Physeal fractures of the distal tibia and fibula (Salter-Harris Type I, II, III, and IV fractures)*. J Pediatr Orthop, 2012. **32 Suppl 1**: p. S62-8.
69. Rammelt, S., et al., *Frakturen des kindlichen Sprunggelenkes und Fußes* Orthopäde, 2013. **42(1)**: p. 45-54.
70. Randsborg, P.H., et al., *Fractures in children: epidemiology and activity-specific fracture rates*. J Bone Joint Surg Am, 2013. **95(7)**: p. e42.
71. Rogers, L.F. and A.K. Poznanski, *Imaging of epiphyseal injuries*. Radiology, 1994. **191(2)**: p. 297-308.
72. Rohmiller, M.T., et al., *Salter-Harris I and II fractures of the distal tibia: does mechanism of injury relate to premature physeal closure?* J Pediatr Orthop, 2006. **26(3)**: p. 322-8.
73. Sailhan, F., et al., *Three-dimensional MR imaging in the assessment of physeal growth arrest*. Eur Radiol, 2004. **14(9)**: p. 1600-8.
74. Salter, R.B., *Salter-Harris classification of epiphyseal injuries*, in *Behavior of the Growth Plate*, N.K. Uthoff and J.J. Wiley, Editors. 1988, Raven Press: New York. p. 97-103.
75. Salter, R.B. and W.B. Harris, *Injuries involving the epiphyseal plate*. J Bone Joint Surg Am, 1963. **45**: p. 587-598.
76. Schmittenebecher, P.P. and C. Menzel, *Frakturen im Kindesalter*, in *Praxisbuch Unfallchirurgie*, B. Weigel and M.L. Nerlich, Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg. p. 773-825.
77. Schneider, F., *Sprunggelenk*, in *Das verletzte Kind*, L. von Laer, Editor. 2007, Thieme: Stuttgart, New York. p. 97-105.
78. Schneidmueller, D. and I. Marzi, *Die operative Behandlung von Übergangsfrakturen der distalen Tibia*. Oper Orthop Traumatol, 2008. **20(4-5)**: p. 354-63.
79. Schneidmueller, D., et al., *Durchgangsärztliche Diagnostik von Sprunggelenkfrakturen*. Trauma und Berufskrankheit, 2013.
80. Schneidmüller, D. and I. Marzi, *Unterschenkel*, in *Kindertraumatologie*, I. Marzi, Editor. 2010, Springer Berlin Heidelberg. p. 303-316.
81. Schneidmüller, D. and I. Marzi, *Sprunggelenk*, in *Kindertraumatologie*, I. Marzi, Editor. 2016, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 441-475.
82. Schneidmuller, D., et al., *Development and validation of a paediatric long-bone fracture classification. A prospective multicentre study in 13 European paediatric trauma centres*. BMC Musculoskelet Disord, 2011. **12**: p. 89.
83. Schurz, M., et al., *Physeal injuries of the distal tibia: long-term results in 376 patients*. Int Orthop, 2010. **34(4)**: p. 547-52.
84. Seel, E.H., et al., *Outcome of distal tibial physeal injuries*. J Pediatr Orthop B, 2011. **20(4)**: p. 242-8.
85. Seifert, J., et al., *Die Wertigkeit der Magnetresonanztomografie (MRT) bei der Diagnostik von Übergangsfrakturen im Bereich der distalen Tibia*. Der Unfallchirurg, 2001. **104(6)**: p. 524-529.
86. Slongo, T., et al., *Development and validation of the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures by the Pediatric Expert Group of the AO Foundation in collaboration with AO Clinical Investigation and Documentation and the International Association for Pediatric Traumatology*. J Pediatr Orthop, 2006. **26(1)**: p. 43-9.
87. Slongo, T.F. and L. Audige, *Fracture and dislocation classification compendium for children: the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures (PCCF)*. J Orthop Trauma, 2007. **21(10 Suppl)**: p. S135-60.

88. Spiegel, P.G., D.R. Cooperman, and G.S. Laros, *Epiphyseal fractures of the distal ends of the tibia and fibula. A retrospective study of two hundred and thirty-seven cases in children.* J Bone Joint Surg Am, 1978. **60**(8): p. 1046-50.
89. Tabor, G.B., Ehrlich M. G., Parrin J., *Slippage of the distal tibia epiphysis.* J Pediatr Orthop, 1983. **3**: p. 211.
90. Täger, G., et al., *Epiphysäre und epiphysennahe Frakturen bei Kindern.* Der Unfallchirurg, 2009. **112**(2): p. 185-201.
91. von Laer, L., *Der posttraumatische partielle Verschluss der distalen Tibiaepiphysenfuge. Ursache, Prognose und Prophylaxe.* Unfallheilkunde, 1982. **85**(11): p. 445-52.
92. von Laer, L., *[Post-traumatic partial closure of the distal epiphyseal groove. Etiology, prognosis and prophylaxis? II: Discussion].* Unfallheilkunde, 1982. **85**(12): p. 509-16.
93. von Laer, L., *Pathophysiologie posttraumatischer Deformitäten der unteren Extremität im Wachstumsalter.* Ther Umsch, 1983. **40**(11): p. 937-42.
94. von Laer, L. and R. Kraus, *Die konservative Behandlung von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter.* Unfallchirurg, 2007. **110**(10): p. 811-23.
95. von Laer, L., R. Kraus, and W.E. Linhart, *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter.* 2012: Thieme.
96. von Laer, L., P. Pagels, and L. Schroeder, *[The treatment of fractures of the radial condyle of the humerus during the growth phase].* Unfallheilkunde, 1983. **86**(12): p. 503-9.
97. von Laer, L. and A.K. Vocke, *Treatment of shaft fractures during the growth period.* Chirurg, 1999. **70**(12): p. 1501-12.
98. Wattenbarger, J.M., H.E. Gruber, and L.S. Phieffer, *Physeal fractures, part I: histologic features of bone, cartilage, and bar formation in a small animal model.* J Pediatr Orthop, 2002. **22**(6): p. 703-9.
99. Weber, B.G., *[Fresh injuries of the epiphyseal synchondrosis--their treatment].* Z Orthop Ihre Grenzgeb, 1977. **115**(4): p. 567-9.
100. Weinberg, A.M., et al., *Unterschenkel*, in *Unfallchirurgie im Kindesalter*, A.M. Weinberg and H. Tscherne, Editors. 2006, Springer Berlin Heidelberg. p. 741-805.
101. Worlock, P. and M. Stower, *Fracture patterns in Nottingham children.* J Pediatr Orthop, 1986. **6**(6): p. 656-60.

12 Anhang

12.1 Aufklärungsbogen

27



Li-La Licht und Lachen für kranke Kinder e.V.



Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie  JUU Gießen

Wachstumsfugenlösung untere Extremität

Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung

Vollständige Bezeichnung der klinischen Studie:

**Traumatische Epiphysenlösungen der unteren Extremitäten im
Wachstumsalter – Prospektive multizentrische Studie zu Aufkommen,
Behandlungsstrategien und der Häufigkeit posttraumatischer
Wachstumsstörungen.**

Verantwortlicher Träger und Leiter der klinischen Studie:

Patient/in (Name, Vorname):

....., geb. am Teiln.-Nr.

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient, sehr geehrte Eltern,

Dein/Ihr behandelnder Arzt schlägt vor, Dich/Sie in die oben genannte klinische Studie einzubeziehen.

Eine solche Teilnahme ist freiwillig, Du wirst/Sie werden in diese Studie also nur dann einbezogen, wenn Du/Sie Deine/Ihre Einwilligung erklärst/erklären. Um Dich/Sie über das Vorhaben und über die etwaigen Vorteile und Risiken Ihrer Teilnahme zu informieren, wird der verantwortliche Arzt ein ausführliches Gespräch mit Dir/Ihnen führen. Vor diesem Gespräch möchten wir Dich/Sie bitten, die nachfolgenden Ausführungen zu lesen. Du kannst/Sie können Dir/sich dadurch bereits einen eingehenden Überblick verschaffen.

12.2 Einwilligungserklärung

31



Li-La Licht und Lachen für kranke Kinder e.V.



Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie

Einwilligungserklärung

Ich habe mir anhand des ausgehändigten Aufklärungsbogens einen Überblick über die klinische Studie/Prüfung verschafft.

Anschließend hat Dr. am um Uhr ein ausführliches Gespräch mit mir geführt. Gegenstand des Gesprächs war insbesondere

- der nähere Inhalt und der praktische Ablauf der Studie/klinischen Prüfung, vor allem

.....;

- die Frage, inwieweit Vorteile, Risiken oder Belastungen zu erwarten sind, vor allem

.....;

- Fragen des Daten- und Versicherungsschutzes sowie der Hinweis auf mein jederzeitiges Widerrufsrecht.

Ich hatte Gelegenheit, Fragen zu stellen, und habe eine Kopie der vorliegenden Unterlagen erhalten. Anschließend wurde mir ausreichend Zeit gewährt, um in Ruhe über meine Teilnahme nachzudenken. Derzeit habe ich keine weiteren Fragen.

Mit der Teilnahme an der klinischen Studie bin ich einverstanden.

Meine Einwilligung umfasst auch die beschriebene Verwendung meiner personenbezogenen Daten, insbesondere die Erhebung und Verarbeitung von Angaben über meine Gesundheit.

.....
(Ort, Datum)

.....
(Unterschrift Patient/in bzw. Eltern)

12.3 Primäruntersuchungsbogen

Li-La MC UE
Kinderfraktur-Dokumentation



li-la
Licht und Lachen für kranke Kinder.
Effizienz in der Medizin e.V.

PRIMÄRBEHANDLUNG
2006 A

Anweisungen

- Benutzen Sie einen weichen #2 Bleistift zur Markierung.
- Textantworten sind online auszufüllen.
- Felder sind komplett auszufüllen.

Seite rechts links

Fragetypen

- nur 1 Antwort erlaubt
 mehrere Antworten erlaubt

Nur zum internen Gebrauch
Nicht vom Scanner gelesen

Nachname	Vorname	Geschlecht
Strasse		Pat.-Nr.
Postleitzahl	Wohnort	
Beruf	Geburtsdatum (TT.MM.JJJJ)	Telefon

Aufnahme

Unfall-datum
Tag (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31)
Monat (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) **Jahr** (04) (05) (06) (07) (08) (09) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16)

Aufnahme-datum
Tag (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31)
Monat (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) **Jahr** (04) (05) (06) (07) (08) (09) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16)

Art und Ort des Unfalls

- kein Unfall Schule / Kindergarten Spielplatz Verkehrsunfall: Fahrrad Kindesmissbrauch
 Zu Hause Sport Verkehrsunfall: Mitfahrer Verkehrsunfall: Fussgänger andere

Haut- und Weichteilverletzungen

- keine geschloss., erstgradig geschlossen, drittgradig offen, zweitgradig
 geschloss., zweitgradig offen, erstgradig offen, drittgradig

Nerven- und Gefäßverletzungen

- ja nein

Frakturtyp

- frisch pathologisch Re-Fraktur anderer

Fraktur-Klassifikation

Fraktur-Klassifikation

- 3.3.S.1
 4.1.S.1
 4.3.S.1

Frakturtyp Salter

- Salter I
 Salter II

Lokalisation des metaphysären Keils

- medial ventral
 lateral dorsal

Dislokation

- keine Dislokation
 tolerierbar
 nicht tolerierbar

Dislokationsrichtung

- Antekurvatur Varus Seitverschiebung
 Retrokurvatur Valgus Rotation

Antekurvatur

Ad latus Verschiebung

- um Corticalisbreite und weniger als ein Drittel des Knochendurchmessers
 um weniger als die Hälfte
 um mehr als die Hälfte
 um die vollständige Knochenbreite

Status Epiphysenfuge

- offen
 partiell geschlossen, physiologisch
 vollständig geschlossen, physiologisch

Retrokurvatur

Varus Fehlstellung

Valgus Fehlstellung

Behandlung

Externe Primärbehandlung ja nein

Datum Primärbehandlung (extern oder in Studienklinik) _____

Tag (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31)
Monat (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) **Jahr** (04) (05) (06) (07) (08) (09) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16)

Zeitpunkt der Primärbehandlung (extern oder in Studienklinik) _____

- < 2 Std. nach Unfall 12-24 Std. nach Unfall 3-7 Tage nach Unfall
 2-12 Std. nach Unfall 24 Std.-3 Tage nach Unfall > 7 Tage nach Unfall

Primäre Entscheidung

- Immobilisation
 Keilung
 Reposition

Art der Reposition

- geschlossen
 offen

Post-Repositionsstabilisierung

- Gips Fixateur Externe Cerclage
 Gips, Keilung beabsichtigt ESIN (elastischer Marknagel) Platte(n)
 K-Draht Schrauben andere

Zusätzliche lokale Eingriffe

- (z.B. Fasziotomie, Debridement)
 ja nein

Anästhesie / Sedierung

- keine Lokalanästhesie Vollnarkose
 Sedierung Regionalanästhesie andere

Fehlstellung nach Therapie

- wie zuvor beseitigt
 verändert nicht kontrolliert

Verlauf / Entlassung

Tag (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31)
 Monat (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) **Jahr** (04) (05) (06) (07) (08) (09) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16)

Lokale / allgemeine Komplikationen **Status Kompl. zum Entlassungszeitpunkt**

<input type="checkbox"/> keine	<input type="checkbox"/> lokale Infektion	<input type="checkbox"/> sekundäre Fehlstellung mit Therapiewechsel	<input type="checkbox"/> geheilt	<input type="checkbox"/> unverändert
<input type="checkbox"/> Kompartmentsyndrom	<input type="checkbox"/> Nachreposition	<input type="checkbox"/> andere	<input type="checkbox"/> gebessert	<input type="checkbox"/> tot

Behandlung 2 binnen 4 Wochen

Sekundärbehandlung
 bekannt nicht bekannt

Datum Sekundärbehandlung _____

Tag (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31)
 Monat (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) **Jahr** (04) (05) (06) (07) (08) (09) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16)

Primäre Entscheidung	Art der Reposition	Post-Repositionsstabilisierung	
<input type="checkbox"/> Immobilisation	<input type="checkbox"/> geschlossen	<input type="checkbox"/> Gips	<input type="checkbox"/> Fixateur Externe
<input type="checkbox"/> Keilung	<input type="checkbox"/> offen	<input type="checkbox"/> Gips, Keilung beabsichtigt	<input type="checkbox"/> ESIN (elastischer Marknagel)
<input type="checkbox"/> Reposition		<input type="checkbox"/> K-Draht	<input type="checkbox"/> Schrauben
			<input type="checkbox"/> Cerclage
			<input type="checkbox"/> Platte(n)
			<input type="checkbox"/> andere

Zusätzliche lokale Eingriffe (z.B. Fasziotomie, Debridement)	Anästhesie / Sedierung	Fehlstellung nach Therapie (nur wenn Rx)
<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> keine	<input type="checkbox"/> wie zuvor
<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> nur Sedierung	<input type="checkbox"/> verändert
	<input type="checkbox"/> Lokalanästhesie	<input type="checkbox"/> beseitigt
		<input type="checkbox"/> nicht kontrolliert
		<input type="checkbox"/> andere

Spezifikationen Dislokation 2

Antekurvatur **Rekurvatur** **Varus Fehlstellung** **Valgus Fehlstellung**

Ad latus Verschiebung _____

keine um Corticalisbreite und weniger als ein Drittel des Knochendurchmessers um weniger als die Hälfte um die vollständige Knochenbreite
 um mehr als die Hälfte

Rotationsfehler Tibia

vorhanden
 nicht vorhanden

12.4 Follow-up-Bogen

Li-La MC UE
Kinderfraktur-Dokumentation



li-la
Licht und Lachen für kranke Kinder.
Effizienz in der Medizin e.V.

NACHUNTERSUCHUNG
2006 **C**

Anweisungen

- Benutzen Sie einen weichen #2 Bleistift zur Markierung.
- Textantworten sind online auszufüllen.
- Felder sind komplett auszufüllen.

Seite

rechts links

Fragetypen

- nur 1 Antwort erlaubt
 mehrere Antworten erlaubt

Nur zum internen Gebrauch.
Nicht vom Scanner gelesen.

Nachname	Vorname	Geschlecht
Strasse		
Postleitzahl	Wohnort	
Beruf	Geburtsdatum (TT.MM.JJJJ)	Telefon

Klinische Beurteilung

Tag (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31)
Monat (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) **Jahr** (04) (05) (06) (07) (08) (09) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16)

Nachkontrollintervall

8 Wochen 3 Monate 6 Monate 12 Monate 24 Monate 36 Monate

Korrektur Durchgeführt / Datum

ja **Tag** (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31)
 nein **Monat** (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) **Jahr** (04) (05) (06) (07) (08) (09) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16)

Lokale Komplikationen

- keine Implantatlockerung
 lokale Infektion andere

Vollbelastung

- ja nein

Druckschmerz

- ja nein

Schmerzlokalisierung

- Frakturgebiet (Knochen)
 Weichteile

Teilnahme am Schul-/Freizeitsport

wie vorher eingeschränkt

Tägliche Aktivitäten

wie vorher eingeschränkt

Ruhigstellung

keine bis zu 4 Wochen mehr als 4 Wo.

Implantat

- keines
 noch nicht entfernt
 entfernt

Konsolidierung

- vollständig
 noch nicht vollständig

Remodelling

- entfällt
 vollständig
 noch nicht vollständig

Dokumentation

- keine
 fotografisch
 Röntgenbilder

Status Epiphysenfuge

- nicht beurteilbar (Fuge im Rx nicht dargestellt) vollständig geschlossen, physiologisch
 offen vorzeitiger Verschluss, posttraumatisch, partiell
 partiell geschlossen, physiologisch vorzeitiger Verschluss posttraumatisch, vollständig

Konsequenzen

- Korrekturbehandlung weitere Nachuntersuchung keine weitere Nachuntersuchung

Art der Korrekturbehandlung

Achse und Funktion

Sichtbare Deformität

- keine Deformität Def. Knie frontal (varus/valgus) Def. Sprunggelenk frontal
 Def. Knie sagittal (Ante-/Rekurv.) Def. Sprunggelenk sagittal

Frontale Knieachse falls Deformität

Varus-Deformität
 Valgus-Deformität

Gradzahl

Sagittale Knieachse falls Deformität

Retrokurvation
 Antekurvation

Gradzahl

Frontale Sprunggelenk-achse falls Deformität

Varus-Deformität
 Valgus-Deformität

Gradzahl

Sagittale Sprunggelenk-achse falls Deformität

Retrokurvation
 Antekurvation

Gradzahl

Horizontale Ebene (nur bei Tibiafrakturen)

- keine Deformität Aussenrotationsfehlstellung Innenrotationsfehlstellung

13 Publikationsverzeichnis

Kraus, R., et al., *Traumatische Wachstumsfugenlösungen der distalen Tibia. Aufkommen, Formen, Behandlungsstrategien*. Unfallchirurg, 2011. **114**(5): p. 403-410.

Erklärung zur Dissertation

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Unterschrift

Danksagung

Meinem Doktorvater Herrn PD Dr. med. Ralf Kraus danke ich für die Überlassung des Themas, seine umfassende Betreuung und geduldige Hilfestellung bei der Erhebung der Daten und Verfassung dieser Arbeit. Insbesondere möchte ich ihm aber auch für die Inspiration und Erweckung meines Interesses für die Kindertraumatologie danken.

Bei Herrn Prof. Dr. med. Christoph Röder (†) und Frau Gosia Perler von dem Institut für Evaluative Forschung in Medizin der Universität Bern möchte ich mich für die Zeit und die unerschütterliche Ruhe bedanken, mit welcher sie mir bei der statistischen Datenanalyse unter die Arme gegriffen haben.

Gerne würde ich mich auch für die Bereitstellung der Daten und Unterstützung durch das ganze Netzwerk von Li-La Licht und Lachen für kranke Kinder; Effizienz in der Medizin e.V. herzlich bedanken.

Darüber hinaus möchte ich mich an dieser Stelle bei allen Patienten, Eltern und ärztlichen Kollegen bedanken, die durch ihre Teilnahme an dem klinischen Erhebungsprozess diese Arbeit überhaupt erst möglich gemacht haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt auch meinen Eltern für Ihre immerwährende liebevolle Unterstützung, die mich stets ermutigt haben weiterzumachen.