

Aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie
(Prof. Dr. med. W. Lehmann)
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Komplikationen und Komplikationsrisiken bei der
Versorgung kindlicher Femurschaftfrakturen**

Statistische Analyse an den Traumazentren der
Universitätsmedizin Göttingen und Magdeburg

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Maria Rita Klauser

aus
Berlin

Göttingen 2017

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

Referent: Prof. Dr. med. S. Sehmisch

Ko-Referent: Prof. Dr. med. E. Wilichowski

Datum der mündlichen Prüfung: 27.06.2019

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "Komplikationen und Komplikationsrisiken bei der Versorgung kindlicher Femurschaftfrakturen – Statistische Analyse an den Traumazentren der Universitätsmedizin Göttingen und Magdeburg" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den 01.09.2017

.....

(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung.....	1
1.1 Untersuchungsgegenstand, Fragestellung und Zielsetzung.....	1
1.2 Epidemiologie	3
1.2.1 Häufigkeit von kindlichen Frakturen und Femurschaftfrakturen im Wachstumsalter	3
1.2.2 Ursachen von kindlichen Verletzungen sowie Femurschaftfrakturen im Wachstumsalter	3
1.3 Diagnostik	4
1.4 Frakturtypen	5
1.4.1 Bruchmuster von Schaftfrakturen: Biegungs-, Quer-, Schräg-, Spiral-, Mehrfragment-, und Trümmerfraktur	7
1.4.2 Klassifikationen für Frakturen im Wachstumsalter.....	8
1.5 Behandlungsmaßnahmen	12
1.5.1 Konservative Therapie der Femurschaftfraktur.....	14
1.5.2 Operative Therapie der kindlichen Femurschaftfraktur	18
1.6 Ziele der Behandlung der kindlichen Femurschaftfraktur und Prognose	26
1.6.1 Spontankorrektur	27
1.6.2 Tolerable Fehlstellung nach Böhm.....	30
2 Material und Methoden	32
2.1 Patient(inn)enkollektiv	32
2.2 Datenerfassung	32
2.3 Datenverarbeitung	36
3 Ergebnisse.....	37
3.1 Patient(inn)enkollektiv: Geschlecht, Alter, Body-Mass-Index, Perzentile, Frakturtyp, frakturierte Seite	37
3.2 Kontext des Frakturereignisses: Unfallgeschehen, Begleiterkrankungen, pathologische Frakturen	41
3.3 Therapie.....	44

3.4	Komplikationen: intra- und postoperative Komplikationen, Komplikationsformen, mögliche Einflussfaktoren, Verfahrenswechsel, Fehlstellung nach Böhm.....	49
3.4.1	Einflussfaktor: Alter.....	51
3.4.2	Einflussfaktoren: Body-Mass-Index, Perzentilkurven	53
3.4.3	Einflussfaktor auf Komplikationen: Frakturtyp	54
3.4.4	Einflussfaktoren: Art der Versorgung, Repositionsform.....	55
3.4.5	Einflussfaktoren: Reposition und Frakturform, Material und Frakturform	56
3.4.6	Einflussfaktor: Verhältnis Markraumdurchmesser zu ESIN-Drahtdicke	58
3.4.7	Einflussfaktor: Unfallgeschehen	58
3.4.8	Einflussfaktor: Zeitraum zwischen Operation und Metallentfernung	59
3.4.9	Einflussfaktor: Liegedauer.....	60
3.4.10	Einflussfaktor: pathologische Frakturen, Begleiterkrankungen	60
4	Diskussion	62
4.1	Quantität und Qualität der Komplikationen im Patient(inn)enkollektiv.....	62
4.2	Alter als Risikofaktor für Komplikationen	69
4.3	Verhältnis von Markraumdurchmesser zu Drahtdicke als Risikofaktor für Komplikationen bei der ESIN-Therapie	73
4.4	Grenzen der vorliegenden Dissertation	75
5	Zusammenfassung.....	76
6	Anhang.....	79
6.1	Fehlstellung nach Gresing	79
6.2	Pädiatrische Frakturklassifikation für lange Röhrenknochen nach Slongo	79
6.3	Weiterführende Übersichten und Tabellen zu Kapitel 3	82
7	Quellen	108
7.1	Literaturverzeichnis	108
7.2	Bild-, Internet-, Tabellen- und sonstige Quellen	115

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Frakturformen und Einteilung von Knochenabschnitten	7
Abbildung 2: Übersicht Li-La Klassifikation Version 2	11
Abbildung 3: Vorgedruckte Quadrate zur korrekten Identifikation der Metaphyse	11
Abbildung 4: Einteilung der Schaftfrakturen gemäß Li-La Klassifikation	12
Abbildung 5: Pavlik-Bandage.....	15
Abbildung 6: Becken-Bein-Gips.....	15
Abbildung 7: Proximale Femurschaftfraktur bei einem siebenjährigen Mädchen.....	15
Abbildung 8 und 9 : Kinder in Behandlung mit Overhead-Extension	16
Abbildung 10: Querfraktur eines vier Monate alten Säuglings.....	17
Abbildung 11: Retro- und anterograde Nagelung einer Querfraktur mit ESINs	19
Abbildung 12: Distale Querfraktur	22
Abbildung 13: Distale Femurschaftfraktur versorgt mit drei ESINs	22
Abbildung 14: Spalt (b'')- und Kontaktheilung (b').....	23
Abbildung 15: Femurschaftfraktur eines neunjährigen Jungen.....	24
Abbildung 16: Femurschaftfraktur eines dreijährigen Jungen	25
Abbildung 17: Korrektur einer Seit-zu-Seit Fehlstellung.....	28
Abbildung 18: Kombination Mechanismen Spontankorrektur	28
Abbildung 19: Wachstumsanteil der einzelnen Fugen	28
Abbildung 20: Spontankorrektur von Rotationsfehlern	30
Abbildung 21: Mögliche Folgen von stimulativen Wachstumsstörungen	31
Abbildung 22: Altersverteilung im Patient(inn)enkollektiv in 2-Jahres-Abständen.....	37
Abbildung 23: Body-Mass-Index des Patient(inn)enkollektivs	38
Abbildung 24: Anzahl Patient(inn)en pro Perzentilkurve für den Body-Maß-Index.....	38
Abbildung 25: Verteilung Gewicht im Patient(inn)enkollektiv	39
Abbildung 26: Häufigkeiten der verschiedenen Frakturformen	40
Abbildung 27: Unfallgeschehen	41
Abbildung 28: Häufigkeit von pathologischen Frakturen im Patient(inn)enkollektiv.....	44
Abbildung 29: Häufigkeit von Begleiterkrankungen im Patient(inn)enkollektiv	44
Abbildung 30: Arten der Reposition.....	45
Abbildung 31: Verwendetes Material bei der Reposition im Falle einer Operation.....	45
Abbildung 32: Verweildauer der Patient(inn)en im Krankenhaus	46
Abbildung 33: Durchmesser der Markhöhle proximal des Frakturspalts	47
Abbildung 34: Durchmesser der Markhöhle distal des Frakturspalts.....	47
Abbildung 35: Verhältnis Markraumdurchmesser zur Dicke der ESINs.....	47
Abbildung 36: Zeitlicher Abstand zwischen Operation und Metallentfernung	48
Abbildung 37: Häufigkeit von intraoperativen Komplikationen	49
Abbildung 38: Häufigkeit der posttherapeutischen Komplikationen	49
Abbildung 39: Behandlung der Patient(inn)en mit Komplikationen.....	49
Abbildung 40: Arten der postoperativen Komplikationen.....	50

Abbildung 41: Komplikationswahrscheinlichkeit im jeweiligen Lebensjahr	52
Abbildung 42: Einfluss des Body-Mass-Index auf die postoperative Komplikationsrate	53
Abbildung 43: Lokale polynomiale Kernel-Regression: Zusammenhang zwischen Komplikationen und dem Verhältnis Markraumdurchmesser zu Drahtdicke	58
Abbildung 44: Kernel-Regression von postoperativen Komplikationen und des Zeitraumes zwischen Metallimplantation und -entfernung.	60
Abbildung 45: Einteilung und Nummerierung der Knochen nach der AO-PCCF	81
Abbildung 46: Einteilung von diaphysären Frakturen der AO-PCCF	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gruppen der Schaft- und Gelenkfrakturen	9
Tabelle 2: Grenzwerte für "tolerabel" dislozierte Achsabweichungen nach von Laer	31
Tabelle 3: Unfallgeschehen	32
Tabelle 4: Kategorien der Frakturtypen	33
Tabelle 5: Mögliche postoperative Komplikationen	34
Tabelle 6: Analysedaten und Dokumente der Patient(inn)enakten	35
Tabelle 7: Häufigkeiten Frakturtypen und Komplikationswahrscheinlichkeit	54
Tabelle 8: Wahrscheinlichkeit für Komplikationen bei konservativer Behandlung	55
Tabelle 9: Wahrscheinlichkeit für Komplikationen bei offener operativer Behandlung	55
Tabelle 10: Komplikationswahrscheinlichkeit offene und geschlossene Operation	56
Tabelle 11: Reposition bei den jeweiligen Frakturtypen	57
Tabelle 12: Komplikationswahrscheinlichkeit bei pathologischen Frakturen.	61
Tabelle 13: Komplikationsrisiko mit und ohne Begleiterkrankungen	61
Tabelle 14: Akzeptable Fehlstellungen am Femurschaft	79
Tabelle 15: Häufigkeiten des Unfallgeschehens je nach BMI der Patient(inn)en.....	82
Tabelle 16: Unfallgeschehen bei den unter Dreijährigen	84
Tabelle 17: Unfallgeschehen bei den Drei- bis Achteinhalbjährigen	85
Tabelle 18: Unfallgeschehen bei den über Achteinhalbjährigen	86
Tabelle 19: Frakturtypen und die jeweiligen Unfallgeschehen.....	87
Tabelle 20: Häufigkeiten der Frakturtypen bei den jeweiligen Unfallgeschehen.....	89
Tabelle 21: Art der Versorgung der jeweiligen Frakturtypen	91
Tabelle 22: Multivariablen-Regression von Komplikationen und Frakturtyp	93
Tabelle 23: Häufigkeiten der Frakturtypen und jeweilige Versorgungsart.....	94
Tabelle 24: Komplikationswahrscheinlichkeit im jeweiligen Alter	95
Tabelle 25: Multi-Variablen-Modell: Alter, Drahtverhältnisse und Komplikationen.....	96
Tabelle 26: Altersgruppen im Vergleich und ihr jeweiliges Komplikationsrisiko	96
Tabelle 27: Frakturtypen bei Kindern unter drei Jahren.....	97
Tabelle 28: Frakturtypen der drei- bis achteinhalbjährigen Patient(inn)en	97
Tabelle 29: Frakturtypen der über achteinhalbjährigen Patient(inn)en.....	98
Tabelle 30: Multi-Variablen-Modell: BMI, Alter und postoperative Komplikationen	99

Tabelle 31: logistische Regression: Komplikationen und Perzentilkurven	100
Tabelle 32: t-Test: Wahrscheinlichkeit von Komplikationen bei konservativer Therapie.	100
Tabelle 33: t-Test: Wahrscheinlichkeit von Komplikationen bei offener Operation gegen- über allen anderen Behandlungsmethoden	101
Tabelle 34: t-Test: Wahrscheinlichkeit von Komplikationen bei offener Operation gegen- über geschlossener Operation	101
Tabelle 35: Regression von Komplikationswahrscheinlichkeit, Frakturtyp und Art der Operation	102
Tabelle 36: Regression von Komplikationen, Frakturtyp und Implantationsmaterial	103
Tabelle 37: Logistische Regression: Verhältnis Markraumdurchmesser zu ESIN-Drahtdicke und das Risiko für Komplikationen.....	104
Tabelle 38: Häufigkeiten von Komplikationen bei den jeweiligen Unfallgeschehen.....	1044
Tabelle 39: Multivariablen-Regression von Alter, Unfallmechanismus und Komplikationen ...	106
Tabelle 40: Quadratische Regression von Komplikationsrate und Dauer zwischen Metallimplantation und -entfernung.....	106
Tabelle 41: Quadratische Regression des Komplikationsrisikos und der Liegedauer.....	107
Tabelle 42: t-Test: Wahrscheinlichkeit von Komplikationen bei pathologischen Frakturen	107

Abkürzungsverzeichnis

AAOS	American Association of Orthopaedic Surgeons
ALFN	Adolescent Lateral Femoral Nail (Adoleszentennagel)
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
BMI	Body-Mass-Index
bspw.	beispielsweise
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
ESIN	elastisch stabiler intramedullärer Nagel (Federnagel) bzw. Nagelung
inkl.	Inklusiv(e)
Li-La	Licht und Lachen für kranke Kinder. Effizienz in der Medizin e.V.
PCCF	Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures
S1-Leitlinie	Stufenklassifikation 1 der AWMF
TEN-Set	Titanium Elastic Nail System

1 Einleitung

1.1 Untersuchungsgegenstand, Fragestellung und Zielsetzung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind Oberschenkelchaftfrakturen im Wachstumsalter. Sie machen bis zu 1,5% der kindlichen Frakturen aus und stellen die zweithäufigsten diaphysären Knochenbrüche an der unteren Extremität dar (Dietz und Schlickewei 2011). Femurschaftfrakturen sind bei Kindern von besonderer Bedeutung, da sie einen gravierenden Einschnitt in der Krankheitserfahrung eines Kindes darstellen. Dies geht mit einer zum Teil mehrwöchigen Therapie, eventuell mehreren Operationen, Krankenhausaufenthalt und einer Immobilisation einher, die das Kind aus dem gewohnten Umfeld und sozialen Aktivitäten reißen. Die Fraktur im Wachstumsalter hat eine meist hervorragende Prognose auf Ausheilung und besonders junge Kinder brauchen nicht mit Spätkomplikationen wie Achsen-, Rotationsfehlern oder Beinlängendiskrepanzen zu rechnen. Kommt es jedoch zu solchen Komplikationen, hat dies Auswirkungen auf die Haltung des Beckens und die Wirbelsäulenstatik des heranwachsenden Kindes. Durch einen Beckenschiefstand kann es zu einer kompensatorischen Skoliose kommen oder einem prä-arthrotischen Hüftgelenkschaden. Die Behandelnden stehen vor der Herausforderung, Patient(inn)en *die* Therapie zukommen zu lassen, die das für sie geringste Komplikationsrisiko birgt und gleichzeitig unnötige Belastungen (z.B. Krankenhausaufenthalt, Schmerzen, aufwendige Pflege) für Kind und Eltern vermeidet.

In den vergangenen 30 Jahren gab es einen Wandel von der konservativen hin zur operativen Therapie. Bevorzugt wird heute die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) - bei 90% der Patient(inn)en wird diese Technik im Falle einer Operation angewendet (Dietz und Schlickewei 2011).

Die Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie (S1-AWMF-Leitlinie 006/016 von 09/2014¹) empfehlen bei Femurschaftfrakturen eine konservative Behandlung mit einem Beckenbeingips oder der Overhead-Extension für Kinder unter drei Jahren. Ab dem dritten Lebensjahr sollte die operative ESIN-Versorgung vorgenommen werden oder im Falle einer drittgradig offenen Fraktur, eines Polytraumas oder einer Trümmerfraktur ein Fixateur externe für die primäre Stabilisierung genutzt werden. Außer dem Alter und der Schwere der Verletzung(en)

¹ <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/006-016.html>, aufgerufen am 15.08.2016

ist das Gewicht des Kindes limitierender Faktor für eine Nagelung mit elastisch stabilen Federnägeln. So wird für Kinder, die mehr als 50 kg wiegen, auf den Adoleszentennagel verwiesen.

Im Zentrum dieser Arbeit stehen die Analyse und Erörterung von möglichen Einflussfaktoren auf das Komplikationsrisiko bei der Behandlung von kindlichen Femurschaftfrakturen. Im Rahmen einer Datenerhebung an zwei deutschen Traumazentren (Universitätsklinikum Göttingen und Magdeburg) soll die Versorgungsrealität abgebildet und die Rolle von möglichen Kriterien diskutiert werden: z.B. Alter, Gewicht, Geschlecht, Frakturtyp, Art der Versorgung, Unfallhergänge, Verhältnis Markraum- zu Nageldurchmesser bei der ESIN-Therapie. Ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit besteht darin, die Anzahl und die Natur der Komplikationen aufzuzeichnen sowie die zu Grunde liegenden Zusammenhänge zu untersuchen und zu erörtern. Nicht zuletzt ist es Ziel der Analysen, dazu beizutragen, dass bei künftigen Behandlungen Komplikationen vermieden werden können.

Konkret stellt sich die Frage, ob die Hauptkriterien Alter und Gewicht bei der Entscheidung für eine bestimmte Therapie weiterhin den maßgeblichen Einfluss haben sollten. Zudem stellen sich folgende Fragen: Könnte man den unter Dreijährigen eine mehrwöchige Immobilisation ersparen, indem man auch ihnen eine operative Therapie zukommen lässt? Und welche der beiden konservativen Therapien ist komplikationsärmer? Sind womöglich andere Einflussfaktoren als Alter und Gewicht auszumachen, die das Komplikationsrisiko beeinflussen? Hat ein Kind das dritte Lebensjahr erreicht, muss abgewogen werden, welche der operativen Techniken zu empfehlen ist und welche Faktoren das Risiko für Komplikationen erhöhen.

Lascombes et al. (2013) stellen fest, dass die Nageldicke die Komplikationsrate im Falle einer Behandlung mit ESIN signifikant beeinflusst. So muss der Durchmesser des Femurmarkraums ausgemessen und für jeden Patienten/jede Patientin die passende Nagelstärke ausgewählt werden: Die Nageldicke sollte mehr als 40% des Markraumdurchmessers betragen. Im Falle eines Markraumdurchmessers breiter als 10 mm ist es ratsam, eine andere Methode zur Frakturversorgung für einen komplikationslosen Behandlungsverlauf zu wählen. Um diesen Aspekt bei den erwartbar häufigen ESIN-Therapien zu überprüfen und einen möglichen Risikofaktor auszumachen, wurden Röntgenbilder der mit ESIN behandelten Patient(inn)en ausgewertet. Es stellt sich die Frage, welches Verhältnis von Markraumdurchmesser zu Nageldicke im Patient(inn)enkollektiv vorliegt und ob dieses einen signifikanten Einfluss auf die Komplikationsrate hat.

1.2 Epidemiologie

Die Prävalenz für eine Fraktur im Wachstumsalter für ein mitteleuropäisches Kind liegt bei 21-25/1000 Kinder pro Jahr. In 62,7% der Fälle werden lange Röhrenknochen frakturiert. Insgesamt tritt die Femurschaftfraktur mit 0,6 bis 1,5% an der Gesamtheit der Knochenbrüche von Kindern eher selten auf (Kraus 2006; von Laer et al. 2007; Hedström et al. 2010; Schalamon et al. 2011; Dietz und Schlickewei 2011): Die Inzidenz beträgt jährlich 11-26/100'000 Kinder (jünger als 16-18 Jahre) (Hedström et al. 2010; Rewers et al. 2005; Poolman et al. 2006).

1.2.1 Häufigkeit von kindlichen Frakturen und Femurschaftfrakturen im Wachstumsalter

Jones et al. (2002) ermittelten, dass sich die Hälfte aller Kinder bis zum 18. Lebensjahr eine Fraktur zuzieht. Im Rahmen ihrer Untersuchung wurden Daten von 291 Patient(inn)en mit Frakturen von ihrem dritten bis zum 18. Lebensjahr analysiert. Die Kinder erlitten insgesamt 498 Frakturen in 15 Jahren. Das heißt, dass Patient(inn)en, die einmal einen Bruch erleiden, sich wahrscheinlicher im Laufe ihres Wachstums eine oder mehrere weitere Frakturen zuziehen im Vergleich zu Kindern, die noch keine Fraktur erlitten haben. Im Gegensatz dazu beobachteten Hedström et al. (2010) ein niedrigeres mittleres Risiko für eine Fraktur bis zum 17. Lebensjahr: es beträgt 34%. Speziell zu Femurschaftfrakturen sei auf von Heideken et al. (2011) verwiesen: In ihrer retrospektiven Studie fanden sie eine sich um 42% verringende Inzidenz über einen Zeitraum von 18 Jahren (1987-2005).

1.2.2 Ursachen von kindlichen Verletzungen sowie Femurschaftfrakturen im Wachstumsalter

In einer vierjährigen Monitoring-Studie registrierten Böhmann und Ellsäßer (2004) die Unfallhergänge aller Kinder, die in Notfalleinrichtungen in Delmenhorst vorgestellt und behandelt wurden. In 50% der Fälle war der Mechanismus (unabhängig vom Alter) ein Sturz. Bis zum Schulalter stürzten die Patient(inn)en vom Wickeltisch, aus dem Kinderbett oder von Spielplatzgeräten, später vom Fahrrad und von Spielplatzgerüsten.

Ellsäßer (2006) ermittelte in einer epidemiologischen Studie die Mortalität, Unfallursachen und -orte von Kindern unter 15 Jahren in Deutschland. Sie stellt fest, dass unter Fünfjährige sich meistens im häuslichen Umfeld verletzten und Vier- bis Fünfzehnjährige am häufigsten in der Schule, Freizeit oder im Straßenverkehr verunglückten.

Kahl et al. (2007) werteten die Daten des Kinder- und Jugendgesundheitssurveys (KiGGS) von 2003 bis 2006 aus. Zugrunde liegen Fragebögen von 16 706 Eltern, die Auskünfte gaben zu Verletzungen der vergangenen zwölf Monate ihrer ein- bis siebzehnjährigen Kinder. Stürze sind in allen Altersgruppen der häufigste Unfallmechanismus: „Stürze in der Ebene (35,2%), aus der Höhe (25,2%), und Zusammenstöße (20,6%)“ (Kahl et al. 2007). Ein weiterer Aspekt ist der Zusammenhang zwischen Alter und Konsequenz des Unfalls. So war es wahrscheinlicher, dass Kinder einen Knochenbruch erlitten, je älter sie waren. Der Frakturanteil bei Kleinkindern lag bei 10,7% und erhöhte sich bei den 15- bis 17-Jährigen auf 20,8%.

Auch die Ursachen und Unfallhergänge, die zu Femurschaftfrakturen führen, unterscheiden sich je nach Alter der Kinder. Im Kleinkindalter bis zu vier Jahren verunfallen die meisten Patient(inn)en durch einen Sturz aus einer Höhe von unter einem oder bis zu drei Metern. Im Alter von vier bis zwölf Jahren erleiden sie Oberschenkelbrüche aktivitätsbedingt bei Sport- oder Freizeitaktivitäten. Ab der Pubertät spielen Hochrasanztraumata und Unfälle mit großer Krafteinwirkung auf den Knochen die größte Rolle – so erleiden Heranwachsende im Alter von 13 bis 18 Jahren Femurschaftfrakturen am häufigsten im Rahmen von Sport- und Verkehrsunfällen (von Heideken et al. 2011; Rewers et al. 2005). Misshandlungen stellen besonders eine Gefahr für die Jüngsten dar: Die Frakturrate liegt hier im ersten Lebensjahr bei 4,2 bis 30,5% (von Heideken et al. 2011; Leventhal et al. 2008).

1.3 Diagnostik

Wegweisend ist die Klinik der Patient(inn)en: In den meisten Fällen sind sie gehunfähig, zudem treten schmerzhafte Bewegungseinschränkungen, lokale Schwellung, Deformierung, Verkürzung des frakturierten Beines und bzw. oder eine Rotationsfehlstellung auf.

Bei der Anamnese sollte unbedingt eruiert werden, ob das Trauma adäquat war. Je nach Unfallhergang ist das Kind auf mögliche Begleitverletzungen hin zu untersuchen (Gresing 2011; Maier et al. 2010; Weinberg und Schneidmüller 2010a). Besonders bei Säuglingen und Kleinkindern muss der Untersuchende bei einer widersprüchlichen Anamnese an Kindesmisshandlung denken. Nach Leventhal et al. (2008) liegt bei Kindern, die im ersten Lebensjahr eine Femurschaftfraktur erleiden, bei nahezu einem Drittel der Fälle eine nicht akzidentelle Ursache zugrunde. Mit dem Alter des Kindes sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass es eine Fraktur im Rahmen einer Misshandlung erfährt. So geht man davon aus, dass nur noch 5% der Patient(inn)en jünger als drei

Jahre eine Femurschaftfraktur durch Misshandlung zugefügt wird (Gresing 2011; Leventhal et al. 2008; Maier et al. 2010; von Heideken et al. 2011; Weinberg und Schneidmüller 2010b).

Die Standarddiagnostik ist eine Röntgenaufnahme in zwei Ebenen und den angrenzenden Gelenken unter Analgesie. Ist die Fraktur eindeutig disloziert, kann auf die zweite Aufnahme verzichtet oder sie z.B. im Falle einer Operation später unter Narkose nachgeholt werden.

1.4 Frakturtypen

Der Darstellung von Frakturtypen und deren Klassifikationen werden folgende drei Definitionen einer *Fraktur* zu Grunde gelegt:

1. „Eine Fraktur ist die Unterbrechung des Knochens in 2 oder mehrere durch einen Frakturspalt getrennte Bruchstücke.“ (Biberthaler und Oestern 2012).
2. „Wenn die Festigkeit des Knochengewebes einer einwirkenden Belastung nicht standhält, kommt es zum Knochenbruch.“ (Lüllmann-Rauch 2006)
3. „Eine Fraktur ist eine Kontinuitätsunterbrechung des Knochens, die mit Schmerzen und einem Funktionsverlust einhergeht.“ (Raschke und Haas 2012)

Frakturen werden unter verschiedenen Gesichtspunkten, wie z.B. Lokalisation, Ätiologie, Frakturform, Bruchmuster, Dislokationsgrad oder komplettes Verletzungsausmaß beschrieben und klassifiziert (siehe unten). Diese Einteilungen helfen in der kollegialen Kommunikation im klinischen Alltag, erleichtern die Indikationsstellung, tragen zur sicheren und korrekten Behandlung der Patient(inn)en bei und sind wichtig in der medizinischen Forschung sowie beim Erstellen bzw. Befolgen von Leitlinien.

Von besonderer Bedeutung für Frakturen im Wachstumsalter ist die Einteilung der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO) gemäß Slongo und die Klassifikation für lange Röhrenknochen vom Verein „Licht und Lachen für kranke Kinder. Effizienz in der Medizin e.V.“ (Li-La Klassifikation). Siehe Unterkapitel 1.4.2.

Die oben genannten Gesichtspunkte werden im Folgenden erläutert:

Bei der Angabe der Bruchstelle (*Lokalisation*), unterscheidet man zwischen Gelenkfraktur (eine Gelenkfläche ist mit betroffen), Schaftfraktur (die Fraktur liegt im Bereich der Diaphyse) oder Etagenfraktur (ein Knochen weist mehrere Frakturstellen auf) (Müller 2011). Die nur im Kindesalter auftretenden Epiphysenfugenverletzungen werden nach Salter-Harris oder Aitken eingeteilt, sind jedoch nicht Gegenstand der Arbeit (von Laer 2010; Biberthaler und Oestern 2012).

Um das zur Fraktur führende Ereignis zu beschreiben (*Ätiologie*), nimmt man die Unterteilung in direkte, indirekte und pathologische Fraktur sowie die Ermüdungsfraktur vor. Bei einer direkten Fraktur ist dem gesunden Knochen eine „adäquate äußere Gewalteinwirkung“ vorausgegangen (Biberthaler und Oestern 2012; Raschke und Haas 2012), zum Beispiel Schlag mit Werkzeug auf einen Finger. Bei indirekter Krafteinwirkung hingegen entstehen durch Hebel- und Drehkraft Torsions- oder Biegungsbrüche (Beispiel: Unterschenkel-Spiralfraktur beim Skifahrer (Biberthaler und Oestern 2012; Raschke und Haas 2012)). Erleidet der Patient/die Patientin einen Knochenbruch ohne ein adäquates Trauma, so spricht man von einer pathologischen Fraktur. Der Knochen war also schon vor dem Ereignis krankhaft verändert (Müller 2011; Biberthaler und Oestern 2012; Raschke und Haas 2012).

Die Angabe, ob eine Fraktur „offen“ oder „geschlossen“ ist (*Frakturform*), gibt Informationen zur Weichteilsituation der unmittelbaren Frakturumgebung und somit auch einen Hinweis zur Dringlichkeit der Versorgung (Biberthaler und Oestern 2012; Raschke und Haas 2012; Müller 2011).

Frakturen kann man außerdem in komplette und inkomplette Brüche einteilen. Zu den kompletten Brüchen zählen alle Frakturen, bei denen eine vollständige Knochendurchtrennung vorliegt (Biberthaler und Oestern 2012; Müller 2011). Beispiele für inkomplette Frakturen sind Fissuren, Knochenanrisse und die kindlichen Frakturen Grünholzfraktur, Bowing Fracture und Torusfraktur. Die Grünholzfraktur ist ein Biegungsbruch, bei dem die konvexe Seite der Kortikalis bricht und das Periost einreißt, die konkav-seitige Kortikalis aber nur anbricht (Biberthaler und Oestern 2012; Müller 2011; Bühren et al. 2016; von Laer et al. 2007).

Der Knochen ist Ursprungs- und Ansatzort für Muskeln. Diese kontrahieren sich auch im Falle einer Fraktur und tragen so, neben dem Trauma selbst, zur Verschiebung der Fragmentstücke bei. Es sind je nach Knochen und je nach genauer Frakturlokalisierung, typische Dislokationsmuster zu beobachten. Bei der Femurschaftfraktur kommt es stets zur Verkürzung des betroffenen Beines (Bühren 2004). Röntgenbilder in zwei Ebenen erlauben die Beschreibung der *Dislokation(en)*, es wird dabei immer das distale Fragment beschrieben (Müller 2011; Biberthaler und Oestern 2012; Raschke und Haas 2012).

1.4.1 Bruchmuster von Schaftfrakturen: Biegungs-, Quer-, Schräg-, Spiral-, Mehrfragment-, und Trümmerfraktur

Je nach Größe und Richtung der traumatisch einwirkenden Gewalt auf den Knochen und dem Ausmaß der absorbierten Energie treten unterschiedliche Bruchmuster auf. Im Röntgenbild sind folgende Formen von Schaftfrakturen zu unterscheiden:

Biegungs-, Quer- und Schrägbruch: Bei der *Biegungsfraktur* kommt es auf der krafteinwirkenden Kortikalisseite zu starker Druckspannung, sodass ein Biegungskeil herausgesprengt wird. Auf der Gegenseite entstehen starke Zugkräfte, sodass der Knochen dort quer einreißt. Ist die Gewalteinwirkung heftig, kurz und schnell, entsteht eine *Querfraktur* (rechtwinklig zur Längsachse). Verschieben sich die Fragmentstücke nicht, ist dieser Knochenbruch stabil. Eine Sonderform des Querbruchs ist die *Schrägfraktur* mit einem Bruchwinkel mit mehr als 120°. Da ihre Frakturfläche größer ist als die der Querfraktur, heilt sie schneller aus (Müller 2011; Raschke und Haas 2012, Biberthaler und Oestern 2012; Krischak 2005).

Eine *Spiralfraktur* wird stets durch indirekt einwirkende Gewalt verursacht – nämlich durch gegenläufige Zugspannungen. So entsteht ein spiralförmiges Bruchmuster, zum Teil mit einem Drehkeil (Müller 2011; Biberthaler und Oestern 2012; Raschke und Haas 2012).

Ist die Gewalteinwirkung sehr stark, treten mehrere Bruchmuster in Kombination auf, und der Knochen zersplittert in multiple Fragmentstücke. Liegen vier bis sechs Fragmente vor, spricht man von einer *Mehrfragmentfraktur*. Bei mehr als sechs Einzelstücken bezeichnet man den Knochenbruch als *Trümmerfraktur*. Bei beiden sind die umliegenden Weichteile oft stark verletzt. (Raschke und Haas 2012; Biberthaler und Oestern 2012; Müller 2011). Für die verschiedenen Bruchmuster siehe Abbildung 1.

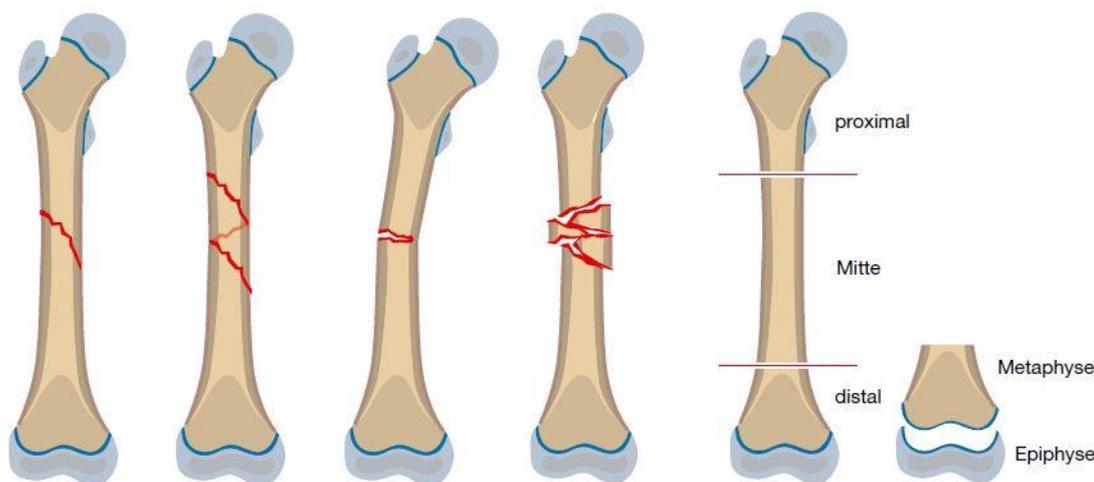


Abbildung 1: Frakturformen (Schrägfraktur, Spiralfraktur, Grünholzfraktur, Trümmerfraktur) sowie Einteilung von Knochenabschnitten

1.4.2 Klassifikationen für Frakturen im Wachstumsalter

Um Kinder trotz der anatomischen Besonderheiten des kindlichen Skeletts (Wachstumsfugen, Korrekturpotenz, rasche Bruchheilung) und trotz der altersspezifischen Verletzungsmuster sicher und adäquat zu behandeln, bedarf es separater Klassifikationen neben den Frakturklassifikationen für Erwachsene.

Die beiden wichtigsten kinderspezifischen Klassifikationen für Frakturen der langen Röhrenknochen sind die Einteilung der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO) gemäß Slongo und des Vereins „Licht und Lachen für kranke Kinder. Effizienz in der Medizin e.V.“ (Li-La Klassifikation). Beide Einteilungen zeigen eine gute Reliabilität und sind gleichwertig hinsichtlich ihrer Anwenderfreundlichkeit (Vogel 2012; Weinberg und Schneidmüller 2010a; Kamphaus et al. 2015).

Im Folgenden wird exemplarisch auf die Li-La Klassifikation² eingegangen:

Die Klassifikation sollte „folgende Merkmale aufweisen: kinderspezifisch, exakt vergleichbar, hinreichend differenzierbar, einfach anzuwenden („Narrensicherheit“), sich selbst erklären“ (von Laer et al. 2005).

Ähnlich der AO-Klassifikation für Frakturen im Erwachsenenalter wird ein Zahlen-Buchstaben-Code genutzt, um die Fraktur zu beschreiben. Der erste Teil gibt Informationen über den Frakturort an Skelett und Knochen. Im Weiteren wird auf die Morphologie eingegangen und abschließend das Dislokationsausmaß bezeichnet. An sechster Stelle des Codes kann ein Zusatz stehen.

Für die erste Stelle werden die Zahlen eins bis vier für den oder die frakturierten Knochen vergeben:

- 1- Humerus
- 2- Radius/Ulna
- 3- Femur
- 4- Tibia/Fibula

An zweiter Stelle folgt die Angabe zur Lokalisation des Bruchs im Knochen:

- 1- Proximales Segment (proximale Epi-/Metaphyse)

² Der im Jahr 2000 gegründete gemeinnützige Verein „Licht und Lachen für kranke Kinder. Effizienz in der Medizin e.V.“ (Li-La e.V.) hat sich den Auftrag gegeben, Ärzte in ihrer fachlichen Kompetenz, ihrem pädiatrischen Wissen und Umgang mit kranken Kindern zu schulen, damit diese eine bessere kindbezogene Behandlung erfahren. Um dieses Vorhaben zu realisieren, führt der Verein multizentrische Studien durch, unterhält ein Online-Dokumentationssystem, veranstaltet Fortbildungen für Ärzte, versteht sich als Anlaufstelle für Eltern und engagiert sich als Herausgeber einer Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen (<http://www.li-la.org/content/index.php?id=2>, Zugriff am 13.07.16).

Die Klassifikation wurde von Li-La e.V. in Zusammenarbeit mit dem Institut für Evaluative Forschung in der Orthopädischen Chirurgie der Universität Bern (IEFO) entwickelt und ist bereits evaluiert und weiterentwickelt worden.

- 2- Mitte (Diaphyse)
- 3- Distales Segment (distale Epi-/Metaphyse)

Die peripheren Segmente 1 und 3 werden mit dem „Quadrat über der dazugehörigen Fuge“ definiert („Zirkelschlag von den Ecken der Epiphysenfuge aus“, Li-La e.V.). Ein Unterschied zur pädiatrischen AO-Klassifikation nach Slongo besteht darin, dass hier bei den paarigen Knochen lediglich die Metaphyse von Radius bzw. Tibia ausgemessen wird (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3).

An Position drei wird zwischen Gelenk- (Code: a) und Schaftfraktur (Code: s) unterschieden. Diese Angabe ist relevant für Indikationsstellung und Therapie. Im Gegensatz zur pädiatrischen AO-Klassifikation werden Epiphysenlösungen zu den (periphersten) Schaftfrakturen gezählt. Als Gelenkfrakturen gelten nur Frakturen, bei denen die Gelenkfläche verletzt ist. Intraartikuläre Epiphysenfrakturen würden demnach zu den Gelenkfrakturen zählen (Vogel 2012; Weinberg und Schneidmüller 2010a; Kamphaus et al. 2015).

An vierter Stelle wird die Morphologie der Gelenk- und Schaftfrakturen detailliert für jeden Knochen beschrieben. Ihr wird eine Zahl von eins bis fünf zugeordnet. Bei den Schaftfrakturen liegt folgendes Muster von Frakturgruppen zu Grunde: Gruppe 1 umfasst Epiphysenlösungen, Gruppe 2 fasst die „stabilen“ Frakturen zusammen, Gruppe 3 entspricht den Quer-, Schräg- und Spiralfrakturen, Gruppe 4 vereint die Mehrfragmentfrakturen und unter die fünfte Gruppe „andere“ fallen alle übrigen Frakturen (Weinberg und Schneidmüller 2010a; Vogel 2012; von Laer et al. 2007). Für die Gelenkfrakturgruppen siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Gruppen der Schaft- und Gelenkfrakturen nach Weinberg und Schneidmüller (2010a)

Gruppen der Schaftfrakturen	Gruppen der Gelenkfrakturen
1: Epiphysenlösungen (Salter I und II)	1: epiphysäre Frakturen bei offenen Fugen (Salter-Harris-III-Frakturen)
2: Meta- bzw. diaphysäre Grünholz- und Wulstfrakturen („stabile“ Frakturen)	2: epimetaphysäre Frakturen bei offenen Fugen (Salter-Harris-IV-Frakturen)
3: Quer-, Schräg- und Spiralfrakturen	3: Two-plane-Übergangsfrakturen
4: Mehrfragmentfrakturen	4: Tri-plane-Übergangsfrakturen
5: andere	5: andere
	Ausnahme: distaler Humerus (seperate Einteilung)

Die fünfte Stelle wird mit der (subjektiven) Beschreibung des Dislokationsausmaßes belegt:

- 0- undisloziert
- 1- tolerabel disloziert,
- 2- nicht tolerabel disloziert

Von Laer et al. (2005) befanden Abweichungen von 10-25° als tolerabel disloziert und 25-30° als nicht mehr tolerable Achsabweichungen.

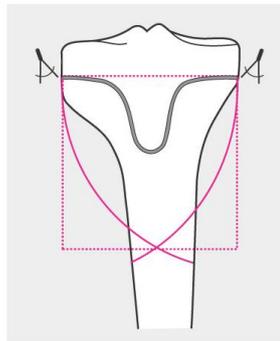
Falls isoliert nur Elle oder Wadenbein frakturiert sind, wird an sechster Stelle ein U (=Ulna) oder F (=Fibula) eingefügt, andernfalls entfällt sie. (Vogel 2012; Weinberg und Schneidmüller 2010a; Kamphaus et al. 2015). Für eine Übersicht der Schaftfrakturen siehe Abbildung 4.

Kamphaus et al. (2015) erforschten die Intra- und Interobserverreliabilität der Li-La Klassifikation. Sie fanden heraus, dass diese zuverlässiger (reliabler) ist im Vergleich zu vielen anderen etablierten frakturspezifischen Klassifikationen (bspw. Klassifikation für proximale Humerusfrakturen nach Neer). Des Weiteren stehe sie der PCCF in der Anwendbarkeit in nichts nach: „Somit weist die Li-La Klassifikation eine vergleichbare Reliabilität zur AO-Klassifikation für Frakturen im Wachstumsalter auf.“ (Kamphaus et al. 2015)

LiLa Klassifikation Version 2

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)

Abbildung 2: Übersicht Li-La Klassifikation Version 2 und Ermittlung der Epiphysenfuge

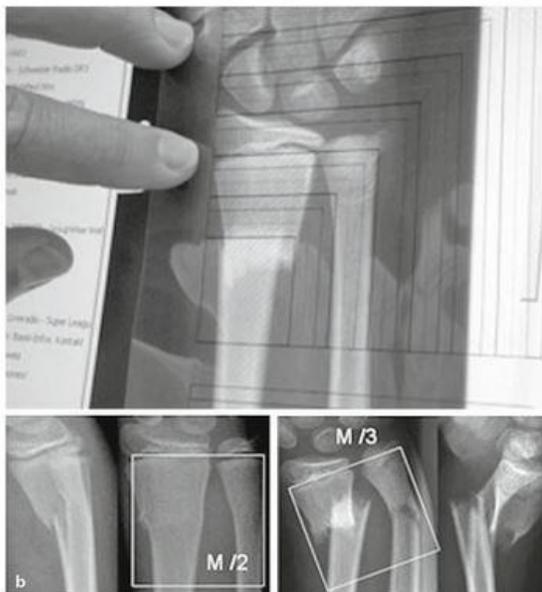


Abbildung 3: Vordruckte Quadrate auf einer transparenten Folie, die über die Röntgenaufnahme gelegt werden können, unterstützen die korrekte Identifikation der Metaphyse (Slongo et al. 2010).

Schaft #	
<p>1.1-3.s.1-5.0-2.</p> <p>1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II)</p> <p>2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen</p> <p>3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx</p> <p>4. Mehrfragment Fx</p> <p>5. andere</p>	
<p>2.1-3.s.1-5.0-2.</p> <p>1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II)</p> <p>2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen</p> <p>3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx</p> <p>4. Mehrfragment Fx</p> <p>5. andere</p>	
<p>3.1-3.s.1-5.0-2.</p> <p>1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II)</p> <p>2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen</p> <p>3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx</p> <p>4. Mehrfragment Fx</p> <p>5. andere</p>	
<p>4.1-3.s.1-5.0-2.</p> <p>1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II)</p> <p>2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen</p> <p>3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx</p> <p>4. Mehrfragment Fx</p> <p>5. andere</p>	

Abbildung 4: Einteilung der Schaftfrakturen der Li-La Klassifikation

1.5 Behandlungsmaßnahmen

„Oberschenkelfrakturen im Wachstumsalter heilen immer – unabhängig von der Behandlungsmethode! Die Qualität der Behandlung kann also nicht an der Heilung per se überprüft werden, sondern an der Umsetzung der Komfortwünsche des Patienten: an der frühzeitigen Mobilität und Belastungsmöglichkeit – noch weit vor Konsolidation der Fraktur!“ (von Laer et al. 2007)

Bei der Indikationsstellung für eine Behandlung muss nicht nur auf das Alter des Kindes, die Bruchform, weitere Verletzungen und Grunderkrankungen geachtet werden, sondern es müssen auch Aufwand und Nutzen für die Erkrankten und ihre Eltern abgewogen werden. Es sind die Risiken und mögliche Folge(erkrankung)e(n) einer Therapie zu bedenken und nicht zuletzt die Kosten und Nutzen abzugleichen. Auch die familiäre Situation des Kindes sollte bei der Indikationsstellung mit einfließen (Worel und Slongo 2010).

Eine optimale Behandlung verbindet beste Heilungschance mit möglichst geringen Komplikationsrisiko (Zimmermann 2008). Gerade bei Kindern sind eine primäre definitive Reposition und Versorgung der Fraktur von großer Bedeutung, da es bei Nachrepositionen und Verfahrenswechsel (und somit möglicher Manipulation der Wachstumsfuge) häufig zu Komplikationen kommt, wie z.B. Beinlängendifferenzen, verzögerter Frakturheilung und Wachstumsstörungen (Zimmermann 2008; von Laer et al. 2007; Worel und Slongo 2010). Von Laer et al. (2007) betonen, dass das Ausheilen der kindlichen Fraktur fast garantiert ist und das „ärztliche Eingreifen“ diesen Prozess nicht gefährden darf. Unabhängig davon, ob eine konservative oder operative Therapie erfolgt, sollten folgende Behandlungsziele erreicht werden:

- schnelle Schmerzlinderung und ein schmerzfreier Verlauf
- schnelle Wiedererlangung der Mobilität (kurze Liegedauer, kurzer Krankenhausaufenthalt)
- frühe Wiederherstellung der Stabilität und Funktionalität (exakte anatomische Reposition und rasche Belastungs- und Bewegungsfähigkeit möglichst vor Frakturkonsolidierung)
- Effizienz (geringer Aufwand sollte bestmögliches Ergebnis bringen)
- komplikationsloser Heilungsverlauf, besonders iatrogen hervorgerufene Wachstumsstörungen müssen verhindert werden (einmalig definitive Versorgung)
- gute Spätergebnisse (minimale Narbenbildung, geringe psychische Belastung für das Kind, vollständige und anatomisch korrekte Ausheilung).

(von Laer et al. 2007; Zimmermann 2008; Worel und Slongo 2010)

Es stehen verschiedene Behandlungsmaßnahmen zur Wahl. Dazu zählen die konservativen mit Gipslonguette, Becken-Bein-Gips und Extension sowie die operativen mit extra- und intramedullären Kraftträgern (ESIN, Fixateur externe, Platte, Schraube, Marknagel). Von (Laer 2007) weist darauf hin, dass die operativen und konservativen Behandlungen auch zu kombinieren sind und nicht unbedingt in Konkurrenz zueinander stehen. Ein weiteres „Heilmittel“ ist die spezifische Fähigkeit des kindlichen Knochens, Achsabweichungen spontan, ohne Eingriff von außen, im Laufe seines Wachstums korrigieren zu können. In der Remodellingphase können durch das periendostale System sowie das asymmetrische Wachsen von

Epiphysenfugen Achsabweichungen in allen drei Ebenen des Raumes ausgeglichen werden (von Laer 2010; von Laer et al. 2013; von Laer et al. 2007)(vgl. 1.6.1).

1.5.1 Konservative Therapie der Femurschaftfraktur

Die nicht invasive Behandlung war bis vor circa 30 Jahren die Therapie der Wahl für kindliche Femurschaftfrakturen. Hier wird durch Ruhigstellung des frakturierten Knochens rasch der Schmerz reduziert und intolerabler Achsfehlstellung vorgebeugt bzw. diese wird behoben (Redression). Nach von Laer et al. (2007) gilt dies weiterhin als präferierte Therapie altersunabhängig für die proximalen undislozierten Femurschaftfrakturen sowie für die raren völlig undislozierten diaphysären Schafffrakturen. Auch für Kinder unter vier Jahren ist die konservative die Therapie erster Wahl, da eine Allgemeinnarkose nicht indiziert sei.

Bei der konservativen Therapie entfallen die Risiken eines invasiven Eingriffs, jedoch leidet der Patient unter mehrwöchiger Immobilisation, womöglich langer Hospitalisierung, ist wiederholt der Röntgenstrahlung ausgesetzt. Eine inexakte und nicht fachkundig angelegte konservative Therapie führt zu sonst vermeidbaren Komplikationen (sekundäre Dislokationen, Druckulzera, Kontrakturen, Schmerzen, bleibende Fehlstellung) (Kraus 2007; Worel und Slongo 2010). Wenn nachreponiert werden muss, bleibt eine ausreichende Fixation meist aus und die Gefahr für Komplikationen, z.B. *Overgrowth*, erhöht sich (Zimmermann 2008).

1.5.1.1 Pavlik-Bandage, Becken-Bein-Gips, Gips(longuette)

Im Neugeborenenalter kann eine Pavlik-Bandage angelegt werden (siehe Abbildung 5). Kleinkinder werden mit dem Becken-Bein-Gips versorgt und für größere Kinder eignet sich die Retention mit einer Gipslonguette (siehe Abbildung 6). Abbildung 7 zeigt Röntgenbilder einer siebenjährigen Patientin, die mit einem Becken-Bein-Gips behandelt wurde.

Falls unmittelbar vor der Anlage die Fraktur reponiert worden war, ist mit einer Schwellung zu rechnen und der Gips muss, falls er im Rahmen einer primär geschlossenen Reposition zirkulär angelegt worden ist, bis auf die Haut längs gespalten werden. Sobald die Schwellung zurückgegangen ist (nach circa vier Tagen), kann ein geschlossener Gipsverband angelegt werden. Zur Anlage eines Gips- oder Kunststoffverbandes ist keine Narkose notwendig, möglicherweise aber eine Sedation (von Laer et al. 2007; Dietz 2011; Biberthaler und Oestern 2012).

Der Gips sollte bis zur Konsolidierung der Fraktur getragen werden, die Zeitspanne kann je nach Alter zum Unfallzeitpunkt und je Frakturlokalisation variieren. Laut Marzi

(2010) sollten diaphysäre Frakturen bei Kindern unter fünf Jahren für ein bis drei Wochen geschont werden, Patient(inn)en im Alter zwischen fünf und zehn Jahren benötigen vier bis fünf Wochen bis zur Bewegungsstabilität und über zehn Jahre alte Kinder sollten das Femur für vier bis sechs Wochen ruhig gestellt bekommen (Worel und Slongo 2010; Weinberg und Schneidmüller 2010b).

Nachteile der Therapie mit einem Gipsverband sind die eingeschränkte Bewegungsfreiheit, die daraus resultierende Muskelatrophie und, besonders bei einem Becken-Bein-Gips, der pflegerische Aufwand für die Eltern. Wird der Gips fehlerhaft angelegt, kann es zu Druckulzera, Nervenschäden, Kompartmentsyndrom und als Spätfolge zu einer Achsfehlstellung und/oder Beinlängendifferenz kommen (Kraus 2007).



Abbildung 5: Pavlik-Bandage



Abbildung 6: Becken-Bein-Gips



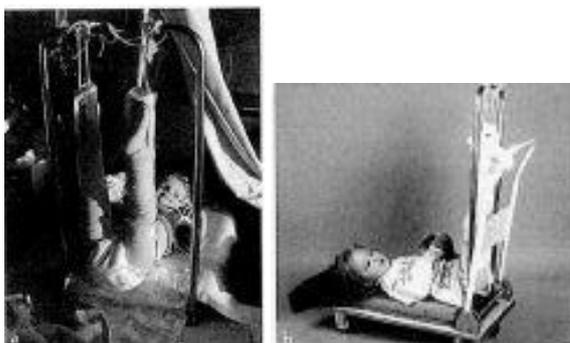
Abbildung 7: Proximale Femurschaftfraktur bei einem siebenjährigen Mädchen, a) Unfallbild, b) nach Anlage eines Becken-Bein-Gips', c) Ausheilung nach zwei Monaten

1.5.1.2 Extensionsbehandlung

Diese Behandlung nutzt das Körpergewicht des Patienten als Gegenzug, um die Muskelkräfte, die auf die Fraktur wirken, zu neutralisieren und so dem Knochen die Retention in korrekter anatomischer Achsenstellung zu ermöglichen.

Die Overhead-Extension ist bei Kindern bis zu zwei Jahren indiziert. Das Kleinkind liegt auf dem Rücken, die Hüfte ist rechtwinklig gebeugt und die Kniegelenke gestreckt. Über Heftpflasterverbände vom Fuß bis zum proximalen Oberschenkel wird Dauerzug mit Gewichten angelegt, sodass das Gesäß leicht von der Unterlage abhebt (siehe Abbildung 8 und 9). Abbildung 10 zeigt Röntgenaufnahmen eines vier Monate alten Säugling, der für zehn Tage mit einer Overhead-Extension behandelt wurde.

Für Kinder im Alter von drei bis zehn Jahren, bei denen eine Extensionsbehandlung indiziert ist (z.B. in ressourcenarmen Ländern), werden bei rechtwinkliger Position von Hüfte und Kniegelenk Drähte in den suprakondylären Oberschenkelknochen eingebracht. Über einen Extensionsbügel werden Gewichte angehängt (Zimmermann 2008; Biberthaler und Oestern 2012; Worel und Slongo 2010; von Laer et al. 2007).



Abbildungen 8 und 9 : Kinder in Behandlung mit Overhead-Extension

Diese Behandlung weist eine Vielzahl von Nachteilen auf. Es kommt zur Immobilisation der Patient(inn)en mit all den bekannten negativen Konsequenzen. Falls es keine Möglichkeit zur Heimextension gibt, müssen die Kinder über mehrere Wochen hospitalisiert werden. Neben einem erheblichen Aufwand für das Pflegepersonal stellt dies eine große psychische Belastung für Kind und Eltern dar. Bei der Heftpflasterextension kann es zu Hautarrosionen kommen, bei der Extensionsbehandlung mit suprakondylären Nägeln zu Pin-Tract-Infektionen, bei beiden zu Lagerungsschäden und Kompartmentsyndrom des Unterschenkels (Böhm 2007; Zimmermann 2008; von Laer et al. 2007; Biberthaler und Oestern 2012). In der Literatur werden weitere Probleme bezüglich der Frakturheilung beschrieben: Es kommt zu Achsenfehlern, verzögerter Konsolidierung, Nachrepositionen und somit vermehrter Belastung durch Röntgenstrahlung.

Insgesamt weist die Komplikationsrate je nach Quelle erhebliche Unterschiede auf. Von Laer et al. (2007) beispielsweise beschreiben Beinlängendifferenzen in 70% der Fälle nach einer Extensionstherapie und somit doppelt so häufig wie bei anderen Therapien.

Die Diskussion zur Extensionstherapie als zeitgemäßes Mittel wird sehr kontrovers geführt: Von Laer et al. (2007) bezeichnen diese Therapie als „unwürdige Behandlungsmethode, die heute weder einem Erwachsenen noch einem Kind zugemutet werden darf“.

Weinberg und Schneidmüller (2010b) empfehlen eine konservative Therapie für unter Dreijährige bei Patient(inn)en, die weniger als 15 kg wiegen und bei einfachen Schräg- und Torsionsfrakturen. Eine Overheadextension sollte nur im Falle einer „stärkeren Verkürzung oder Achsfehlstellung“ (Weinberg und Schneidmüller 2010b) erfolgen und diese nach maximal zwei Wochen von der Therapie mit Becken-Bein-Gips abgelöst werden. Ist die Fraktur tolerabel disloziert, so wird sie von Beginn an vier Wochen lang mit dem Becken-Bein-Gips therapiert.

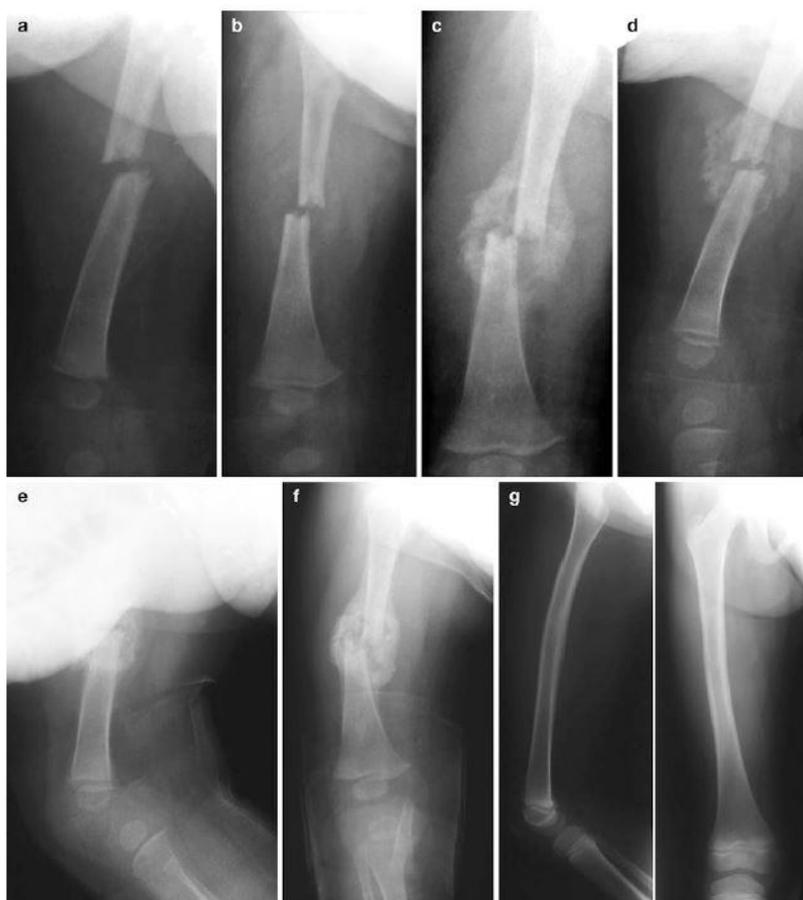


Abbildung 10: Querfraktur eines vier Monate alten Säuglings

a-b) Unfallbild, c-d) nach zehntägiger Extentionstherapie, e-f) Therapieverlauf nach einem Monat, g) Kontrolluntersuchung nach vier Jahren

1.5.2 Operative Therapie der kindlichen Femurschaftfraktur

Für die operative Therapie bei Kindern stehen folgende Implantate zur Verfügung: intramedulläre (Marknagel, ESIN, Kirschner-Drähte, Schrauben) und extramedulläre Kraftträger (Platte, Fixateur externe).

Die Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie empfiehlt in der S1-Leitlinie für Femurschaftfrakturen im Kindesalter (publiziert bei AWMF online, Stand 09/2014) die operative Versorgung ab dem dritten Lebensjahr. Es wird die Verwendung eines Fixateurs externe bei offenen, sehr instabilen Trümmerfrakturen oder im Falle eines Polytraumas empfohlen. Alle anderen Frakturen sind mit der elastisch stabilen intramedullären Nagelung zu richten, bei größeren/schwereren (>50 kg) Kindern kann ein Adolescentennagel verwendet werden (<http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/006-016.html>).

Buechsenschuetz et al. (2002) stellten die konservative Behandlung mit Dauerzug (Traktion) oder Gips der operativen ESIN-Behandlung gegenüber und untersuchten Therapieergebnisse, Zufriedenheit der Eltern und Kosten bei einem Kollektiv mit 68 Patient(inn)en. Bei den beiden Behandlungsmethoden unterschieden sich lediglich die Kosten (die konservative Therapie ist kostengünstiger) und die Akzeptanz der Eltern (mit der ESIN-Therapie waren die Eltern zufriedener). Jedoch wurden mit beiden gleichwertig gute Ergebnisse erzielt. Aus Gründen wie diesen ist die operative Therapie - vor allem mit elastischen Federnägeln - die inzwischen am häufigsten angewandte Therapie bei kindlichen Femurschaftfrakturen, auch bei den unter Dreijährigen (Strohm und Schmittenbecher 2015).

Ramseier et al. (2010) verglichen operative Therapien (Platte, ESIN, Fixateur externe und Marknagel) untereinander im Hinblick auf die Komplikationsrate und die Behandlungsergebnisse. Signifikant mehr Komplikationen erlitten Kinder, die mit dem Fixateur externe behandelt worden waren. Insgesamt hatten alle Therapiemethoden unterschiedlich spezifische Komplikationen, sodass die Autoren keine Therapie generell empfehlen. Sie weisen darauf hin, dass die beste Therapie für den jeweiligen Patienten von der Frakturcharakteristik, Begleitverletzungen, Alter und Körperbau des Patienten oder der Patientin, den familiären Gegebenheiten und auch der Expertise des Operateurs abhängt.

Im Folgenden werden oben erwähnte operative Behandlungsmethoden vorgestellt mit ihren Besonderheiten, der Indikation, möglichen Komplikationen sowie ihrer Rezeption in der Literatur.

1.5.2.1 ESIN

Bei der *elastisch stabilen intramedullären Nagelung* wird die Fraktur durch die Aufspannung von zwei gebogenen (Titan-)Drähten im Markraum stabilisiert. Sie ist mittlerweile die häufigste Behandlungsmaßnahme bei Kindern im Alter von drei bis 15 Jahren, da sie eine „minimal invasive, minimal traumatisierende, bewegungs- und teilbelastungsstabile, biologische und kinderfreundliche Osteosynthese“ darstellt (AO Teaching Video 2002). Abbildung 11 zeigt die wesentlichen Schritte der ESIN-Implantation:

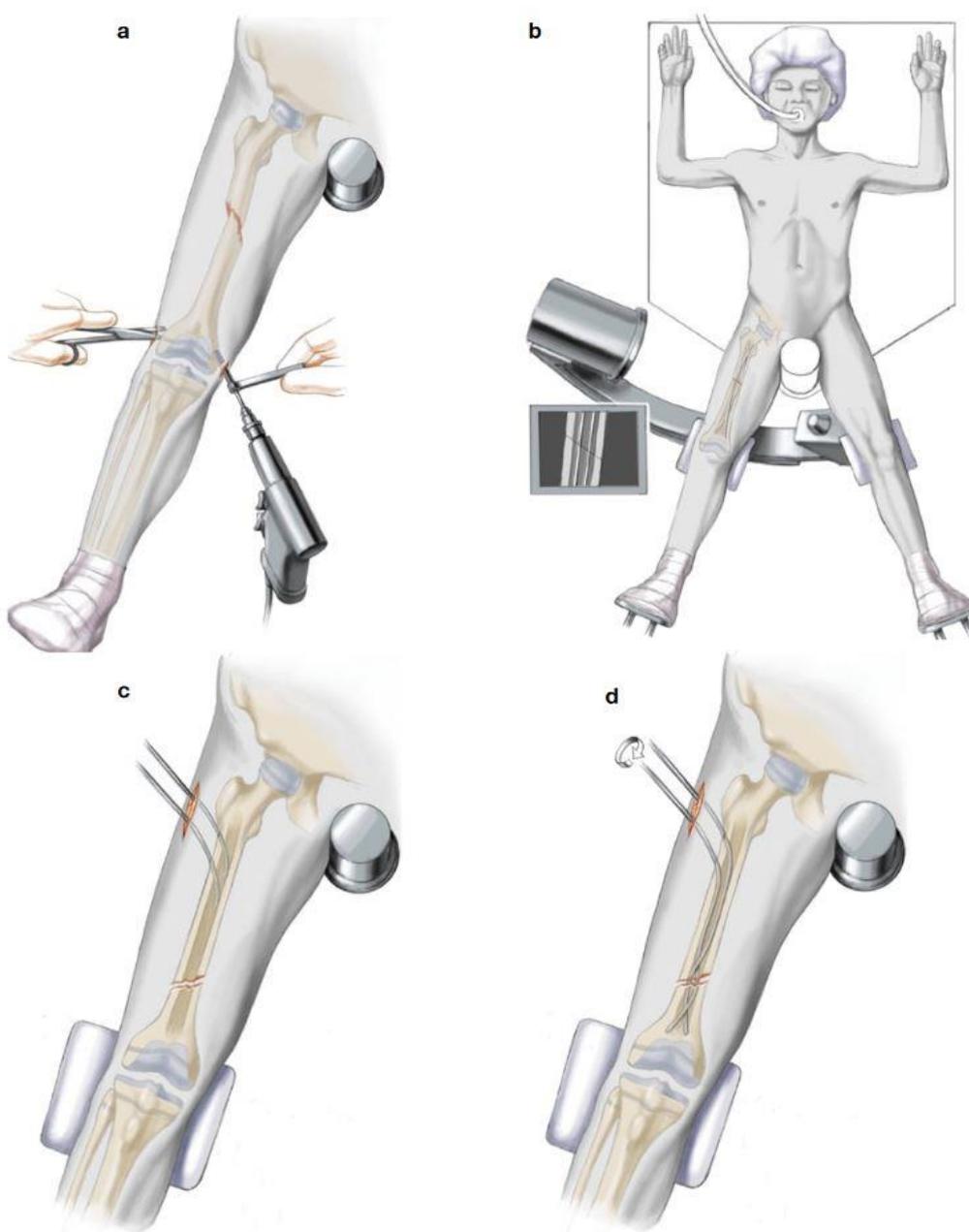


Abbildung 11: Retro- und anterograde Nagelung einer Querfraktur mit elastisch stabilen Federnägeln und Endcaps.

Je nach Lokalisation der Fraktur werden die Drähte ascendierend retrograd (Femurschaft und proximales Schaftdrittel, siehe a) oder deszendierend anterograd (distales Schaftdrittel und distale Metaphyse, siehe c-d) eingebracht. Die korrekte Nageldicke entspricht 30-40% des Markraums. Vor dem

Einführen in den Knochen werden die Nägel auf den dreifachen Durchmesser vorgebogen. Je stärker vorgebogen wird, desto höher ist der innere Anpressdruck (Worel und Slongo 2010). Die Länge sollte der des Oberschenkelknochens entsprechen. Dicke und Länge der Nägel müssen identisch sein.

Die Nägel werden circa 2 cm über dem Kortikalisniveau gekürzt. Wird der Draht unzureichend gekürzt, kann er die Haut durchstechen und diese sich infizieren. Wird eine komplexe Fraktur, z.B. eine längere Spiralfraktur, mit der ESIN-Methode behandelt und die Stabilität bleibt aus, so können Endkappen hilfreich sein. Diese werden über die Drahtenden gestülpt und in die Kortikalis eingedreht. Einige Autoren empfehlen das Aufsetzen von Plastikkappen auf die überstehenden Drahtenden, um die Weichteile zu schützen.

Post-operativ ist keine weitere Ruhigstellung notwendig. Es kann sofort teilbelastet werden. Nach vier bis sechs Wochen sollten röntgenologische Stellungs- und Konsolidierungskontrollen durchgeführt werden und zumeist kann vollbelastet werden. Acht Wochen nach der Frakturkonsolidierung können die Kinder wieder Sport betreiben. Einige Autoren berichten darüber, dass einfache Querfrakturen schon vor den vier bis sechs Wochen vollbelastet werden können (Marzi 2011). Abbildung 13 zeigt Röntgenaufnahmen eines Patienten bzw. einer Patientin mit distaler Querfraktur, bei dem bzw. der die ESIN-Technik angewandt wurde.

In der Literatur wird über folgende Komplikationen berichtet:

- Wundheilungsstörungen oder Knocheninfektionen
- Intolerable Achsabweichungen des Femurs
- Beinlängendifferenzen, Wachstumsstörungen
- Instabilität, Teleskopieren, sekundäre Dislokation
- Intraoperativ: Korkenzieher-Phänomen, Kortikalisperforation und Aussprengung eines dritten Fragments,
- Pseudobursa, Serom, Hämatom, Hautperforation durch überstehende Nagelenden
- Passagere Bewegungseinschränkung der Flexion im Knie
- Kompartmentsyndrom
- Implantatlockerung, -dislokation, -bruch
- Schmerzen durch Weichteilirritation
- Refraktur

Die Komplikationsrate der ESIN-Therapie wird in der Literatur mit 6% bis zu 50% sehr unterschiedlich angegeben. Auch wenn Komplikationen eintreten, sind die Langzeitergebnisse hingegen exzellent bis zufriedenstellend und die Methode ist das am häufigsten eingesetzte operative Verfahren zur Frakturstabilisierung. Leitlinien von AWMF, DGU und AAOS empfehlen die Therapie erst ab einem Patient(inn)enalter von drei bzw. vier Jahren, sie wird jedoch im Alltag in Deutschland auch bei unter Dreijährigen in über 50% der Fällen angewendet (Strohm und Schmittbecher 2015).

Um Komplikationen bei der ESIN-Therapie vorzubeugen, wird wiederholt auf die notwendige Genauigkeit in der Operationstechnik hingewiesen. Im Hinblick auf die Verfeinerung der Technik wurden Studien durchgeführt. So überprüften z.B. Kaiser et al. (2012) in einer In-vitro-Studie den Einfluss des Vorbiegens der Federnägel auf die Sta-

bilität bei Spiralfrakturen. Es zeigte sich, dass beim Vorbiegen um 60° die Steifheit der Frakturzone signifikant erhöht werden konnte im Vergleich zu ungebogenen Nägeln. Bei 30° hingegen konnte keine signifikante Stabilitätssteigerung festgestellt werden. Kaiser et al. (2012) empfehlen deshalb das Vorbiegen um mehr als 30°, um die Stabilität bei der Nagelung zu erhöhen und Komplikationen zu vermeiden.

Eine weitere Modifikationsmöglichkeit, um die Stabilität bei der Nagelung mit Federnägeln zu erhöhen, scheint das Einbringen eines dritten Nagels zu sein (siehe Abbildung 14). Kaiser et al. (2014) veröffentlichten Ergebnisse eines In-vitro-Modells (Spiralfaktur) und einer klinischen Studie mit 18 Kindern. Bei der biomechanischen Testung des Modells zeigte sich eine signifikant höhere Versteifung des Knochens und eine bessere Ausrichtung der Fragmente, wenn ein dritter, zusätzlicher Nagel von antero-lateral eingeführt worden war. Die Autoren sahen bei allen 16 Patient(inn)en, die mit drei Nägeln behandelt wurden (dritter Nagel eingeführt von antero-lateral oder antero-medial, je nach Frakturtyp) sehr gute Ergebnisse in den Follow-Up Untersuchungen. Es musste keiner der Patienten und keine der Patientinnen re-operiert oder ihre Frakturen zusätzlich stabilisiert werden.

Die Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie teilt die Empfehlungen für eine Therapie anhand des Patient(inn)enalters ein. Jedoch sollte auch das Gewicht berücksichtigt werden. Moroz et al. (2006) zeigten in einer Studie mit 229 Kindern, dass das Komplikationsrisiko um ein Fünffaches höher war für Kinder, die mehr als 49 kg wogen. Bei schweren oder größeren Kindern sollte deshalb auch an eine alternative Marknagelung mit dem Adoleszendentennagel (ALFN) gedacht werden.



Abbildung 12: Distale Querfraktur, a-b) Röntgenbilder nach dem Unfall, c-d) Versorgung mit ESIN, e) Konsolidierung vor der Metallentfernung, f-g) Ausheilung – Röntgenaufnahme ein Jahr nach dem Frakturereignis

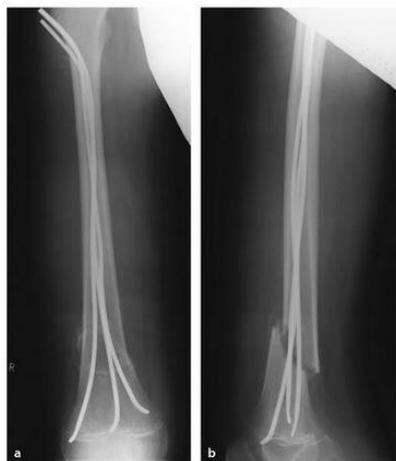


Abbildung 13: Eine distale Femurschaftfraktur, die bei unzureichender Stabilität mit drei elastisch stabilen Federnägeln versorgt wurde.

1.5.2.2 Platte

Die Plattenosteosynthese wird heute seltener angewandt, meist als Alternative bei adoleszenten und/oder adipösen Patient(inn)en sowie vorzugsweise bei langer Spiralschaft- oder Trümmerfraktur (Worel und Slongo 2010).

Die Platte wird als extramedullärer Kraftträger auf dem Periost angebracht und mit Schrauben befestigt, sodass beide Frakturenden möglichst spaltlos miteinander in Kontakt stehen und komprimiert werden. Stehen die Bruchstücke direkt aufeinander, kann die primäre Frakturheilung ablaufen (Kontaktheilung). An den übrigen Stellen, an denen ein Spalt bleibt, wird der Knochen neu gebildet (sekundäre Frakturheilung mit Kallusbildung/Spaltheilung) (Raschke und Haas 2012). Siehe Abbildung 15.

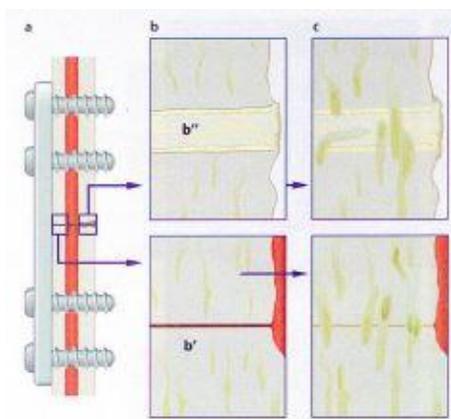


Abbildung 14: Spalt (b'')- und Kontaktheilung (b')

Ziel dieser Behandlung ist es, die Frakturzone zu überbrücken und dem Knochen in korrekter Rotations-, Achs- und Längenstellung die Chance zu geben, die Frakturzone zu organisieren und auszuheilen (Marzi 2011).

Zur Periostschonung wird die „Limited Contact Dynamic Compression Plate“ (LCDCP) empfohlen, bei der die (Titan-)Platte durch Aussparungen an der Unterseite nur zu circa 50% auf dem Periost aufliegt. So wird das Periost besser durchblutet und die Heilung gefördert. Manche Platten verfügen über ein zusätzliches Gewinde für den Schraubkopf und bieten somit Winkelstabilität. Eine weitere Verbesserung der Methode wird erreicht über die anatomische Ver- bzw. Vorformung der Platte und durch die Technik der Tunnelung (MIPPO = minimiert invasive perkutane Plattenosteosynthese). Dabei wird die Platte über eine Stichinzision submuskulär entlang des Knochens eingeschoben und über der Fraktur positioniert. Proximal und distal werden perkutan Schrauben zur Fixierung eingedreht. Sind die Schrauben eher frakturfern positioniert und nur in einer Kortikalisseite eingebracht, kann die Platte schwingen und die Funktion eines „Fixateurs interne“ übernehmen (Ausführungen

beziehen sich auf (Müller 2011; Biberthaler und Oestern 2012; Marzi 2011; Bühren et al. 2016).

Postoperativ ist die Fraktur bewegungsstabil versorgt, jedoch nicht belastungsstabil (von Laer et al. 2007). Außerdem ist nach circa einem Jahr ein Zweiteingriff zwecks Metallentfernung notwendig.

Falls die Operation nicht minimalinvasiv durchgeführt werden kann, muss offen operiert werden, wobei das einer „biologischen Osteosynthese“ nicht gerecht würde. Danach soll die Blutversorgung des Periosts geschont werden und der „kleinstmögliche Eingriff“ stattfinden (Müller 2011). Bei Missachtung dieses Prinzips kann es zu verzögerter Frakturheilung oder gar zu Pseudarthrose kommen.

Abbildung 16 zeigt Röntgenaufnahmen eines Patienten, dessen Fraktur mit einer Plattenosteosynthese versorgt wurde.



Abbildung 15: Femurschaftfraktur eines neunjährigen Jungen, a-b) Unfallbild, c-d) Versorgung mit einer Plattenosteosynthese

1.5.2.3 Fixateur externe

Die Indikation für diese minimalinvasive Therapie kann laut von Laer et al. (2007) bei instabilen Frakturen des Femurschaftes gestellt werden. Die Autoren beziehen sich speziell auf die Spiral- und Mehrfragmentfraktur, während Marzi (2010) noch die Trümmerfraktur hinzuzählt. Wenn die Fraktur besonders schnell versorgt werden muss (Polytrauma) oder ein hochgradiger Weichteilschaden vorliegt, wird der Fixateur externe favorisiert.

Die postoperativen Vorteile dieser Behandlungsmethode sind die sofortige Belastungsstabilität und das Entfallen eines Zweiteingriffes (der Fixateur kann ohne Narkose entfernt werden) (von Laer et al. 2007).

Beim Erwachsenen wird der Fixateur externe als temporäre Maßnahme genutzt, beim Kind hingegen verläuft die Frakturheilung so rasch, dass die Ausbehandlung im Fixateur externe möglich ist (Bühren et al. 2016; Biberthaler und Oestern 2012).

Abbildung 11 zeigt Röntgenbilder eines dreijährigen Patienten, dessen Fraktur mit einem Fixateur externe stabilisiert wurde.



Abbildung 16: Femurschaftfraktur eines dreijährigen Jungen, a) Unfallbild, b) Versorgung mit dem Fixateur externe

1.5.2.4 Marknagel

Die Behandlung von Kindern mit dem Marknagel ist Ausnahmefällen vorbehalten, da die Gefahr einer Fugenschädigung besteht und in der Folge Wachstumsstörungen hervorgerufen werden können. Bei adipösen (>60 kg) und/oder großen (>1,60 m) Kindern würde die intramedulläre Schienung mit elastischen Nägeln (ESINs) jedoch keine ausreichende Stabilität ergeben und so muss auf den Fixateur externe oder Marknagel zurückgegriffen werden. In einem solchen Fall ist ein Marknagel speziell für Heranwachsende erhältlich: Adoleszentennagel (ALFN). Der Nagel sollte den Markraum nicht vollständig ausfüllen (Dietz et al. 2011). Der Vorteil dieser operativen Therapie ist die Belastungsstabilität nach nur wenigen Tagen, trotzdem muss eine gewichtsadaptierte Thromboseprophylaxe angedacht werden. Die Patient(inn)en und Eltern müssen über das Risiko einer Lungenembolie (durch Einschwemmungen aus dem Markraum in die Lunge) und einer verzögerten Frakturheilung aufgeklärt werden (Marzi 2011).

Die Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie (2014) empfiehlt die Anwendung eines ALFN in Einzelfällen bereits ab einem Gewicht von 50 kg, weist jedoch auch auf die schwerste Komplikation hin - die avaskuläre Femurkopfnekrose (<http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/006-016.html>).

Trotz der Gefahr dieser katastrophalen Komplikation mit der Konsequenz eines künstlichen Hüftgelenks im Kindesalter sprechen jüngere Studien hingegen von sehr guten Behandlungsergebnissen. Keeler et al. (2009) berichten in ihrer Studie mit 78 Patient(inn)en (Alter acht bis 18 Jahre, Durchschnittsgewicht 70 kg) über gute Ergebnisse. Abgesehen von zwei Patient(inn)en, die eine Infektion erlitten, blieben Komplikationen aus.

Reynolds et al. (2012) verglichen in einer Kohorte von 22 Patient(inn)en die ESIN- mit der ALFN-Therapie hinsichtlich des Zeitraums bis zur Mobilität sowie die Komplikationsrate (Altersspanne zehn bis 17 Jahre, Gewicht ESIN-Gruppe 46 kg, Gewicht ALFN-Gruppe 60 kg). Patient(inn)en mit ALFN konnten signifikant schneller ihr Bein voll belasten (ALFN Patient(inn)en nach vier Wochen, ESIN-Patient(inn)en nach neun Wochen). Unterschiede in der Komplikationsrate waren nicht signifikant. Der ALFN sei demnach für schwerere und/oder ältere Kinder vorteilhafter als die elastisch stabile intramedulläre Nagelung.

Wird der ALFN über einen lateralen Eintrittspunkt in den Femurschaft eingeführt (und nicht über die Fossa piriformis oder die Apex des Trochanter majors), ist laut Martus (2016) mit hervorragenden funktionalen Langzeitergebnissen zu rechnen. In seiner Studie mit 426 Patient(inn)en erlitt keine bzw. keiner eine Osteonekrose. Martus (2016) empfiehlt die Verwendung einer rigiden intramedullären Marknagelung für Patient(inn)en ab elf Jahren, die schwerer als 49 kg oder für ihr Alter hoch gewachsen sind.

1.6 Ziele der Behandlung der kindlichen Femurschaftfraktur und Prognose

Das Therapieziel kindlicher Femurschaftfrakturen ist eine primär definitive, achsengerechte, möglichst übungsstabile Versorgung. Eine primär definitive Versorgung ist anzustreben, um erneute Manipulationen und somit die Stimulation der Wachstumsfugen zu vermeiden und um ggf. dem Kind unnötige Narkosen zu ersparen. Auch wenn das kindliche Skelett über das Potenzial einer Spontankorrektur verfügt, sollten nach dem zehnten Lebensjahr keine Fehlstellungen mehr belassen werden. Die Korrekturmechanismen können als „Ergänzung“ in den Therapieplan einfließen, jedoch ist ihr Ausmaß nicht exakt vorhersehbar.

Die Ausheilungsprognose für Kinder mit einer Femurschaftfraktur ist exzellent. Die häufigste langfristige Komplikation ist eine Beinverlängerung von über 2 cm durch die frakturbedingte Mehrdurchblutung und das Mehrwachstum in den zwei Jahren nach Fraktur. In der Literatur schwanken die Angaben über diskrepante Beinlängen - im

Mittel liegt die Rate bei 6,5% (Angaben zwischen 0 - 47%). Rotationsfehler sind eine weitere Komplikation, sie treten in der Literatur in 18% der Fälle auf (Gresing 2011).

1.6.1 Spontankorrektur

Das kindliche Skelett besitzt die einzigartige Fähigkeit, im Laufe des Wachstums über vermehrten An- und Abbau von Knochengewebe Achsabweichungen ausgleichen zu können – dieser Vorgang wird unter dem Begriff „Spontankorrektur“ zusammengefasst. Dabei spielen zwei Mechanismen in der Heilungsphase eine Rolle: das Remodelling der Meta- und Diaphyse, das vom periost-endostalen System geleistet wird, und das asymmetrische epiphysäre Wachstum der Fuge senkrecht zur Belastungsebene. Die Vorgänge finden parallel statt und „scheinen voneinander abhängig zu sein“ (von Laer 2010).

Beim Remodelling im Schaftbereich wird auf der druckbelasteten, konkaven Knochen- seite Periost angebaut, während auf der zugbelasteten, konvexen Seite endostales Knochengewebe resorbiert wird. Dies geschieht nach dem Roux-Gesetz („Minimum an Material für ein Maximum an Belastbarkeit“, von Laer et al. 2007) und dem Wolff- Transformationsgesetz („optimale Balance zwischen Form und Funktion“, Schmittenecher 2011).

Bei Seit-zu-Seit-Verschiebungen reicht allein dieser Mechanismus aus, um die Knochengestalt wie vor dem Frakturereignis wiederherzustellen. Tritt jedoch ein Achsenknick in der Frontal- oder Sagittalebene auf, kommt ein zusätzlicher Korrektur- mechanismus zum Tragen. Die schräg gestellte Epiphyse richtet sich durch asymmetrisches Längenwachstum orthograd zur Belastungsebene aus: Über vermehrten Druck wird die Konkavseite der Fuge zu appositionellem Mehrwachstum angeregt und somit die Ausrichtung der Wachstumsfuge korrigiert (vgl. Abbildung 17 und Abbildung 18).

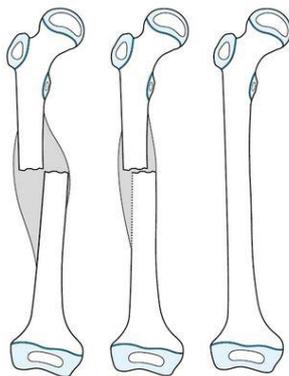


Abbildung 17: Korrektur einer Seit-zu-Seit Fehlstellung

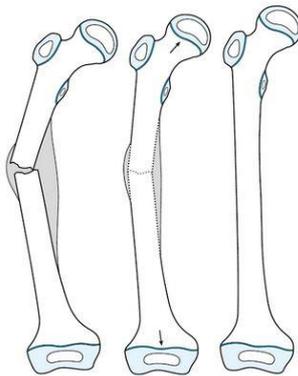


Abbildung 18: Kombination aller Mechanismen der Spontankorrektur, die den Ausgleich eines Achsenknicks ermöglicht

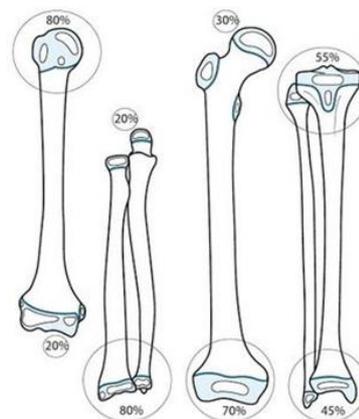


Abbildung 19: Wachstumsanteil der einzelnen Fugen

Das Korrekturpotenzial der jeweiligen Frakturstelle ist somit unter anderem bestimmt durch die Entfernung und den Wachstumsanteil der nächstgelegenen Wachstumsfuge. Die distale Wachstumsfuge des Femurs übernimmt 70% des Wachstums dieses Knochens (Abbildung 20) und somit haben Frakturen in ihrer Nähe ein hervorragendes Korrekturpotenzial. Am proximalen Femurpol hingegen besteht ein nur mäßiges Korrekturpotenzial, der Wachstumsanteil dieser Fuge liegt bei 30%. Generell werden Achsfehler der unteren Extremität besser korrigiert als die der oberen.

Es gibt noch weitere Faktoren, die die Spontankorrektur beeinflussen:

- das Patient(inn)enalter bei Frakturereignis (Je jünger der Patient bzw. die Patientin ist, desto eher erfolgt Korrektur.)
- umliegende Muskulatur (Je mehr die Frakturzone funktionell belastet wird, desto besser die Korrektur.)
- angrenzende Gelenke (Je multiplanar das angrenzende Gelenk, desto größer ist das Korrekturpotenzial.)
- Ausmaß der Achsabweichung (Je größer der Achsfehler, desto zuverlässiger ist eine Korrektur.)
- Fugenschluss-Zeitpunkt der nächstgelegenen Wachstumsfuge (Je langlebiger, desto sicherer ist eine Korrektur. Die Fuge des proximalen Femurs verschließt sich bis zum 17., die distale Fuge bis zum 18. Lebensjahr (Schmittenebecher 2011).
- Ebene des Achsfehlers (Sagittale Abweichungen werden besser korrigiert als Achsfehler in der Frontalebene.)
- Varusfehler (Achsabweichung nach innen, Knochen nach außen gebogen) werden besser korrigiert als Valgusdeformitäten (Achsabweichung nach außen, Knochen nach innen gebogen). Am Oberschenkel ist dies durch die Anordnung der Muskelgruppen zu erklären. Böhm (2007) stellt fest, dass Varusfehlstellungen des Femurs, die sich grundsätzlich gut zurückbilden, umso langsamer korrigiert würden, je proximaler sie liegen.

Bei besonders ausgeprägten korrigierenden Umbauvorgängen im Epiphysenbereich kann es durch eine langandauernde Mehrdurchblutung auch zu einem gleichmäßigen Längenwachstum kommen (auf der frakturierten Seite). So können Beinlängenunterschiede entstehen oder sich im besten Falle vorher bestandene Alterationen der Beinlänge ausgleichen. Die Auswirkung von solchen Wachstumsstörungen hängt vom Patient(inn)enalter zum Unfallzeitpunkt ab: Bis zum zehnten Lebensjahr erfolgt ein überschießendes Wachstum und das Bein verlängert sich. Jenseits des zehnten Lebensjahres reagiert die Fuge auf Stimulation mit vorzeitigem Verschluss und es resultiert eine Beinverkürzung.

Die Gefahr einer Beinverlängerung oder -verkürzung der verletzten Seite durch Hyperperfusion und somit einer Stimulation der Wachstumsfuge sollte bei der Wahl der Therapie bedacht werden. So sind große Achsabweichungen, auch wenn sie im Laufe des Wachstums spontan korrigiert würden, von außen auszugleichen um unterschiedlichem Beinlängenwachstum vorzubeugen. „Je mehr und länger Remodellierung, desto mehr Beinlängendifferenz“ (von Laer et al. 2007).

Um diese Komplikation zu vermeiden, sollte eine zügige und definitive Frakturversorgung vorgenommen werden. Definitiv auch, um einem Therapiewechsel nach dem fünften bis siebten Tag vorzubeugen. Dieser würde mit einer erneuten starken Stimulation des Kallus einhergehen und die Gefahr einer Wachstumsstörung erhöhen. Falls im Rahmen der Behandlung eine Beinlängendifferenz auftritt, so beträgt sie meist nicht mehr als 2 cm und ist konservativ gut mit z.B. Absatzerhöhungen auszugleichen. Ab einer Differenz von über 3 cm, wäre eine operative Korrektur (eine Verlängerungsosteotomie) anzustreben (Böhm 2007).

Spontankorrekturen von Rotationsfehlern finden nicht über einen eigenen Mechanismus, sondern lediglich im Rahmen der physiologischen Detorsion und damit ungezielt und über einen langen Zeitraum statt. Achsfehler in der Rotationsebene äußern sich als Innen- oder Außenrotationsfehler des Beines. Am Oberschenkelknochen kann die Achsabweichung sehr gut vom Hüftgelenk kompensiert werden, sodass die Patient(inn)en während der Jahre des Wachstums und der Spontankorrektur keine Einschränkung spüren (siehe Abbildung 20).

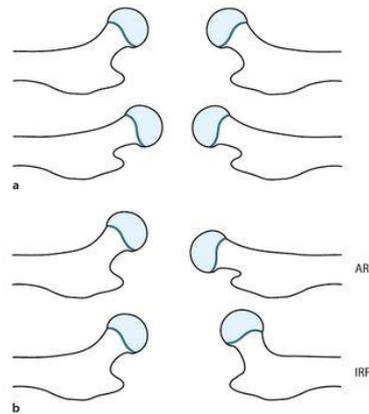


Abbildung 20: Spontankorrektur von Rotationsfehlern

a) zeigt die physiologische Detorsion der Oberschenkelhalsrotation, die sich ab der Geburt bis zur Vervollständigung des Wachstums vollzieht - von 35° auf 15°.

b) Kommt es bei einer Fraktur zu einem Außenrotationsfehler (ARF) durch das distale Fragment, so wird die physiologische Derotation „vorweggenommen“ und werden die Derotationsvorgänge der Schenkelhals dieses Beines weniger ausgeprägt ausfallen als auf der Gegenseite. ARF machen 70% der Rotationsfehler aus. Liegt ein Innenrotationsfehler (IRF) vor, so ist der Schenkelhals der betroffenen Seite stärker rotiert, eventuell sogar um mehr als 35°. Im Laufe des Wachstums, würde es auf der Frakturseite zu vermehrten Detorsionsvorgängen kommen um einen Ausgleich anzustreben.

Die Ausführungen beziehen sich auf (von Laer et al. 2013; Schmittenebecher 2011; Gresing 2011; von Laer 2010; Böhm 2007).

1.6.2 Tolerable Fehlstellung nach Böhm

Böhm (2007) definiert Dislokations-Werte nach Patient(inn)enalter und Fehlstellungsart für Femurfrakturen, die als tolerabel gelten. Liegt eine Achsabweichung außerhalb dieser Grenzwerte vor, sollte eingegriffen und die Fehlstellung korrigiert werden (geschlossene/offene Reposition). Ist die Fraktur bereits konsolidiert, und es liegt noch eine tolerable dislozierte Achsfehlstellung vor, wird das Kind keine funktionellen Einschränkungen erfahren. Sind die Dislokationen jedoch intolerabel, so muss mit Wachstumsstörungen, Gangstörungen durch Abweichungen der Knieachse, Coxa valga, Hüftgelenksarthrose im jungen Erwachsenenalter, Beckenschiefstand und eventuell mit Skoliose gerechnet werden (Böhm 2007) (vgl. Abbildung 21).

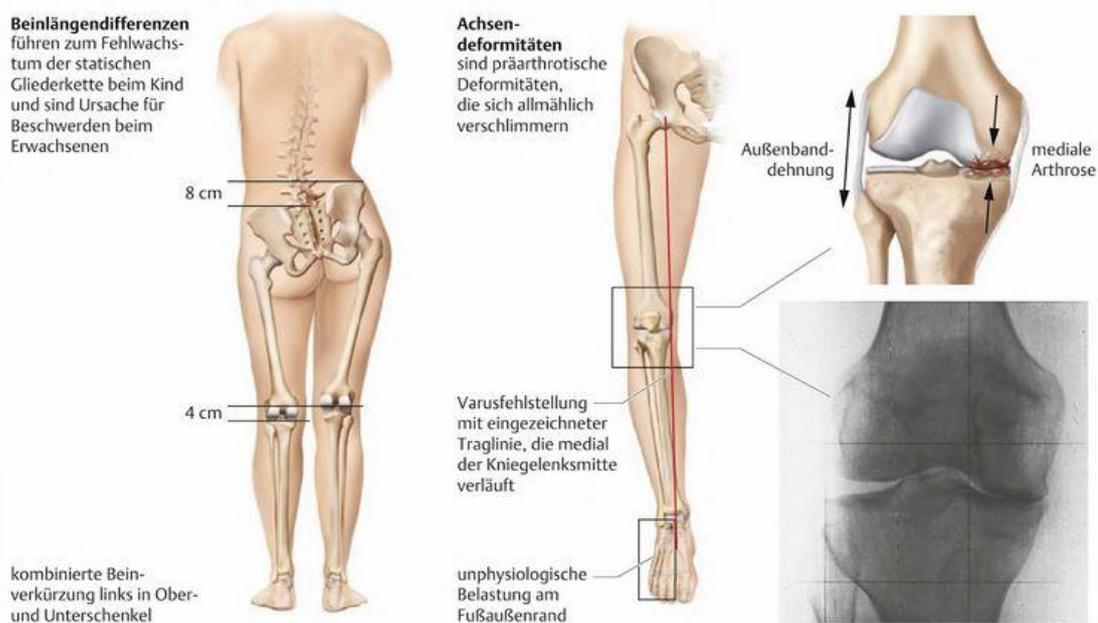


Abbildung 21: Mögliche Folgen von stimulativen Wachstumsstörungen: Beckenschiefstand, kompensatorische Skoliose und prä-arthrotische Hüftgelenksschäden.

Von Laer et al. (2007) unterscheiden zwischen proximalen und diaphysären Femurschaftfrakturen. Bei proximalen Schaftfrakturen sieht er keine Toleranz für Achsabweichungen da keine Spontankorrektur stattfindet. Bei diaphysären Oberschenkelfrakturen definiert er die Grenzen, wie in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Grenzwerte für „tolerabel dislozierte“ Achsabweichungen nach von Laer et al. (2007)

Art der Fehlstellung	Grenzwerte, in denen Fehlstellungen „tolerabel disloziert“ sind	
	bis zum dritten Lebensjahr	jenseits des dritten Lebensjahres
Seit-zu-Seit-Verschiebung	bis ganze Schaftbreite	bis maximal halbe Schaftbreite
Verkürzung	1-2cm	keine Toleranz
Varus	bis 20°	10°
Valgus	bis 10°	bis 10°
Antekurvatur	bis 10°	bis 10°
Rekurvatur	keine Toleranz	keine Toleranz
Rotationsfehler	bis 20°	bis 10°

2 Material und Methoden

2.1 Patient(inn)enkollektiv

Die vorliegende Arbeit stützt sich auf Daten von 101 Kindern und Heranwachsenden, die aufgrund von Femurschaftfrakturen (insgesamt 103) in der Universitätsmedizin Göttingen sowie im Universitätsklinikum Magdeburg behandelt wurden. Zur retrospektiven Datenanalyse konnten Patient(inn)enakten folgender Zeiträume ausgewertet werden:

Universitätsmedizin Göttingen - 01.01.2006 bis 01.11.2013

Universitätsklinikum Magdeburg - 01.05.2003 bis 31.12.2010.

Um in das Patient(inn)enkollektiv aufgenommen zu werden, durften die Erkrankten zum Zeitpunkt der Frakturversorgung nicht älter als 16 Jahre sein. Weitere Ausschlusskriterien bestanden nicht.

Es wurden alle Datensätze aus den Krankenakten einbezogen, auch unvollständige, damit die Versorgungsrealität so exakt wie möglich abgebildet wird.

2.2 Datenerfassung

Die Bescheinigung der Ethikkommission der Universitätsmedizin Göttingen für die ethische und rechtliche Unbedenklichkeit der Datenerhebung zur Erstellung dieser Arbeit wurde eingeholt. Am 07.11.2013 bewilligte der Datenschutzbeauftragte des Archivs der Universitätsmedizin Göttingen einen Datenzugriffsantrag, sodass ab Dezember 2013 die Patient(inn)enakten für die Datenanalyse ausgewertet werden konnten. Beim Sichten der Akten und Kodieren der Parameter wurden die Daten anonymisiert und standardisiert erfasst. Dabei sind alle Datenschutzmaßnahmen eingehalten worden.

Für die präzise Beschreibung des Patient(inn)enkollektivs wurden folgende Parameter erfasst: Alter und Geschlecht der Erkrankten, Body-Mass-Index, Vor- und Begleiterkrankungen, Unfallgeschehen, Seite des frakturierten Beines, Frakturtyp und Angabe, ob eine pathologische Fraktur vorlag. Unfallgeschehen und Frakturtyp wurden jeweils kategorisiert und sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Unfallgeschehen

Kategorie	Unfallgeschehen
1	Sturz ≤ 1 m
2	Sturz > 1 m
3	Sturz ≥ 3 m
4	Fahrrad
5	Fußball
6	Pferdesport
7	sonstiger Sport
8	Toben/Spielen
9	Pkw-/Businsasse
10	Verkehrsunfall Fußgänger(in) gegen Pkw/Motorrad
11	Verkehrsunfall Fahrradfahrer(in) gegen Pkw/Motorrad
12	tätliche Auseinandersetzung /Gewalt
13	„umgeknickt“/Distorsion
14	Anpralltrauma inkl. „gegen etwas getreten/geschlagen“
15	Quetschtrauma inkl. Gegenstände /Personen, die auf Patient(inn)en gefallen sind
16	kein Trauma erinnert/beobachtet
17	Sonstiges

Zur Einordnung des Frakturtyps wurde in den Patient(inn)enakten die Befundung der radiologischen Abteilungen herangezogen und, falls operiert wurde, mit dem Operationsbericht abgeglichen. In den wenigen Fällen, bei denen die Angaben zum Frakturtyp nicht übereinstimmten, wurde für die Datenanalyse die Angabe des Operateurs übernommen. Jede Fraktur wurde jeweils nur einer Kategorie zugeordnet (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Kategorien der Frakturtypen

Kategorie	Frakturtyp
1	Querfraktur
2	Schrägfraktur
3	Spiralfraktur
4	Trümmerfraktur
5	Mehrfragmentfraktur
6	nur „Femurschaftfraktur“
7	nur „Femurfraktur“

Um eine breite Datenbasis zu erstellen und damit mögliche Zusammenhänge feststellen zu können, wurden zudem das Entlassungsdatum der Erkrankten, der Zeitpunkt der Operation zur Implantatentfernung, intra- und postoperative Komplikationen sowie die Dicke, Länge und Anzahl von operativ eingeführten bzw. angebrachten Kraftträgern ermittelt. Dazu zählen Kirschner-Drähte, Hohlschrauben,

Fixateur externe, Platten, Marknägel und elastisch stabile intramedulläre Nägel (ESINs).

Das Hauptaugenmerk der Arbeit ist auf die Erörterung der postoperativen Komplikationen nach Einsetzen von ESINs gerichtet. Aus diesem Grund wurde eine intensive Recherche zu möglichen postoperativen Komplikationen bei dieser Technik betrieben und eine Liste erstellt (siehe Tabelle 5). Litten die Patient(inn)en unter mehr als einer Komplikation, so wurde nicht priorisiert, sondern alle Komplikationen wurden gleichermaßen gewichtet. Für außergewöhnliche oder nicht zuzuordnende Komplikationen wurde ein Extrafeld „Bemerkungen“ erstellt.

Tabelle 5: Mögliche postoperative Komplikationen

Aseptische Knochennekrose
Refraktur
Mal(re)union/Malalignment/Mechanical Axis
Malreduction
Pseudobursa
Hautperforation
Kompartmentsyndrom
Kortikalisperforation
Sekundäre Dislokation
Wachstumsstörungen (inklusive Beinlängendifferenz und <i>Overgrowth</i>)
Osteomyelitis
Symptomatic Implant
Serome
Pin-Trakt-Infektion
Passagere Einschränkung der Kniegelenksbeweglichkeit

Tabelle 6 zeigt, aus welchen Dokumenten der Patient(inn)enakten die oben genannten Parameter und Daten für die Analyse entnommen wurden.

Tabelle 6: Analysedaten und Dokumente der Patient(inn)enakten

Daten für die Analyse	Dokument in der Patient(inn)enakte
Geburtsdatum	Patient(inn)enstammdatenbogen
Geschlecht	Patient(inn)enstammdatenbogen
Gewicht	Formularset Anästhesie
Größe	Formularset Anästhesie
Art und Höhe der Fraktur, frakturierte Seite	schriftlicher radiologischer Befund Operationseingriffsprotokoll Operationsbericht
pathologische Fraktur	Brief des Arztes/der Ärztin bei Entlassung
Datum Beginn Liegedauer	Brief des Arztes/der Ärztin bei Entlassung Aufnahmebogen
Datum Ende Liegedauer	Brief des Arztes/der Ärztin bei Entlassung
Unfallhergang und Begleitverletzungen	Kurzbrief des Arztes/der Ärztin und Aufnahmebogen Arztbrief bei Entlassung
Reposition offen oder geschlossen	Operationseingriffsprotokoll Operationsbericht
eingeführte Kraftträger (Länge, Dicke, Anzahl, Material)	Operationseingriffsprotokoll Operationsbericht
intraoperative Komplikationen	Operationseingriffsprotokoll Operationsbericht
Stellung der Fraktur postoperativ	postoperativer radiologischer Befund
Zeitpunkt der Metallentfernung	Operationseingriffsprotokoll Operationsbericht
postoperative Komplikationen und Zeitpunkt des Auftretens	Verlaufsbogen Brief des Arztes/der Ärztin bei Entlassung
Nachbehandlung	Verlaufsbogen Brief des Arztes/der Ärztin bei Entlassung
Begleiterkrankungen	Brief des Arztes/der Ärztin bei Entlassung
Ergebnis nach Abschluss der Behandlung	schriftlicher radiologischer Befund

Um festzustellen, wie sich die postoperativen Komplikationen und die vorgenannten Aspekte bedingen, wurden von den Patient(inn)en, denen ESINs implantiert worden waren, Röntgenbilder ausgewertet. Es wurde der Durchmesser des Markraums proximal und distal von der Fraktur in Millimetern gemessen. So wurden Informationen über das Verhältnis von Markraumdurchmesser zur Dicke des ESINs gewonnen. Die Ausmessungen der Röntgenbilder wurden mit dem „Picture Archiving and Communication System“- Programm „Centricity“ (der Firma GE Healthcare, Milwaukee, USA) in Göttingen und am Universitätsklinikum Magdeburg mit dem Programm CHILI - Digital Radiology (der Firma Chili GmbH, Sitz in Dossenheim) durchgeführt.

2.3 Datenverarbeitung

Die gewonnenen Daten wurden mit dem Programm Excel 2013 notiert und ausgewertet. Um die Textform dieser Arbeit zu erstellen, wurde das Programm Word 2013 (beide Bestandteil von Microsoft Office Professional Plus von Microsoft, Redmond, USA) genutzt.

Die statistische Auswertung und grafische Darstellung der Ergebnisse wurde mit dem Statistik-Programm Stata/SE 13.1 for Windows (StataCorp LP, College Station, USA) durchgeführt. Es erfolgten Signifikanztests, bei denen das Signifikanzniveau bei $p < 0,05$ lag. Die Tests umfassten t-Tests, logistische, multivariable sowie Kernel-Regressionen.

Die erhobenen Daten von Gewicht und Körpergröße wurden genutzt, um den Body-Mass-Index (Einheit kg/m^2) zu erstellen. Dafür wurde das Körpergewicht dividiert durch die Körpergröße im Quadrat. Um die Body-Mass-Indexe der Kinder trotz ihres unterschiedlichen Alters miteinander vergleichen zu können, wurden Perzentilkurven zu Hilfe genommen. Die „Perzentilkurven für den Body Mass Index (Jungen 0 – 18 Jahre)“ sowie die „Perzentilkurven für den Body Mass Index (Mädchen 0 – 18 Jahre)“ stellte die Kinderklinik Göttingen zur Verfügung. Es mussten jeweils der Body-Mass-Index sowie das Alter aufgetragen werden um eine Perzentile ablesen zu können.

3 Ergebnisse

3.1 Patient(inn)enkollektiv: Geschlecht, Alter, Body-Mass-Index, Perzentile, Frakturtyp, frakturierte Seite

Das der Arbeit zugrunde liegende Patient(inn)enkollektiv bestand aus 101 Patient(inn)en mit Femurschaftfraktur und setzte sich aus 67,33% (68/101) männlichen und 32,67% (33/101) weiblichen Kindern zusammen. Sie wurden in den Universitätsklinika Göttingen und Magdeburg behandelt.

Das Durchschnittsalter aller Patient(inn)en lag bei 7,05 Jahren. Patientinnen hatten ein durchschnittliches Alter von 7,09 Jahren und lagen damit über dem Durchschnitt. Patienten mit 7,04 Jahren lagen knapp darunter. Der bzw. die jüngste Erkrankte war drei Monate alt und der bzw. die älteste war 15 Jahre und sieben Monate. **Ein Drittel (26/84) aller Frakturen ereignete sich bei Kindern im Alter von zwei bis vier Jahren** (Abbildung 22).

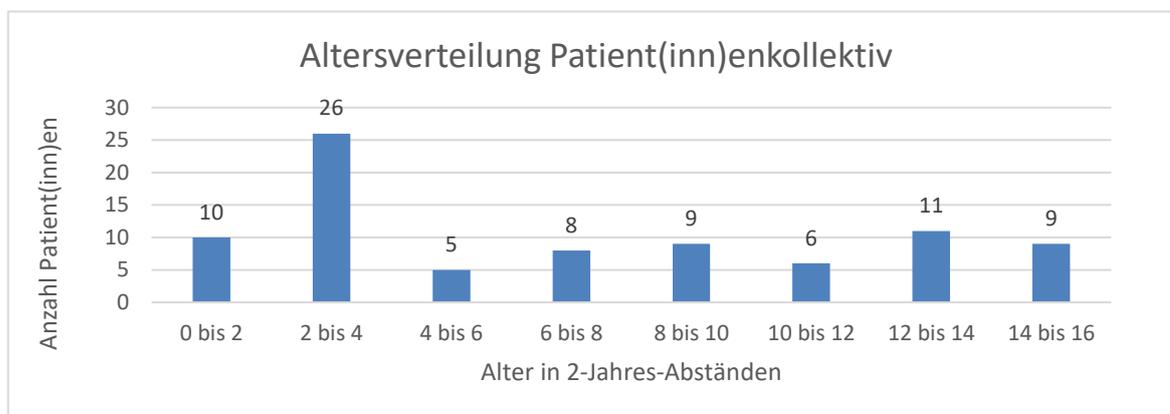


Abbildung 22: Altersverteilung im Patient(inn)enkollektiv in 2-Jahres-Abständen

Das Verhältnis Gewicht zu Körpergröße, ausgedrückt mit dem Body-Mass-Index, rangierte zwischen 8,0 kg/m² und 38,7 kg/m². Ein Viertel der Kinder (17/66) hatte den Body-Maß-Index 14-16 kg/m², was dem Normalgewicht (Perzentile 50) eines siebenjährigen Kindes (siehe Durchschnittsalter) entspricht. Der durchschnittliche Body-Maß-Index im Patient(inn)enkollektiv lag jedoch mit 17,9 kg/m² um fast zwei Punkte höher. Die Häufigkeitsverteilung des Body-Mass-Indexes im Patient(inn)enkollektiv ist in Abbildung 23 dargestellt.

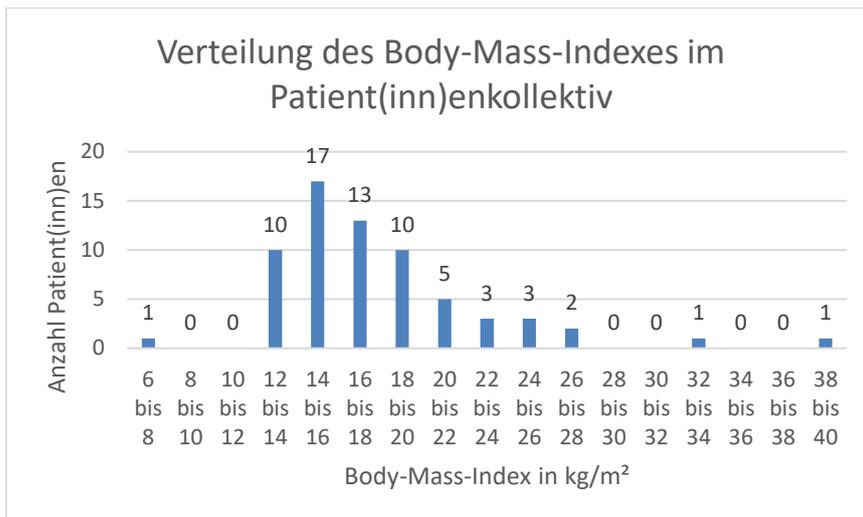


Abbildung 23: Body-Mass-Index des Patient(inn)enkollektivs

Um den Body-Mass-Index bei Kindern richtig zu bewerten, ist es wichtig, ihn im Kontext mit Kindern gleichen Alters, gleichen Geschlechts und gleicher Abstammung zu betrachten. Dafür wird der Body-Mass-Index auf Perzentilkurven aufgetragen. Abbildung 24 zeigt, wie viele Patient(inn)en auf jeder Perzentilkurve lagen.

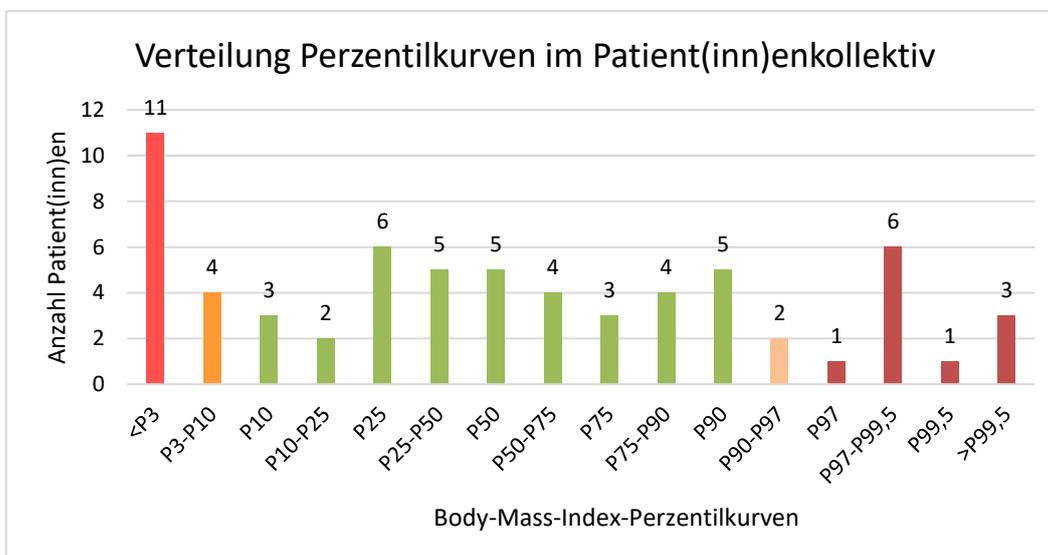


Abbildung 24: Anzahl Patient(inn)en pro Perzentilkurve für den Body-Mass-Index. Grün steht für Normalgewicht, Orange/Aprikot für Unter- bzw. Übergewicht, Rot für starkes Unter- bzw. Untergewicht.

Die Kategorisierung der Perzentilkurven ergab Folgendes: Mehr als die Hälfte der Kinder (56,92% bzw. 37/65) war normalgewichtig. Vier von 65 Kindern (6,15%) hatten Untergewicht und zwei von 65 (3,08%) Übergewicht. Jeweils 16,92% (11/65) machten die stark unter- bzw. stark übergewichtigen Patient(inn)en aus (siehe Abbildung 25).

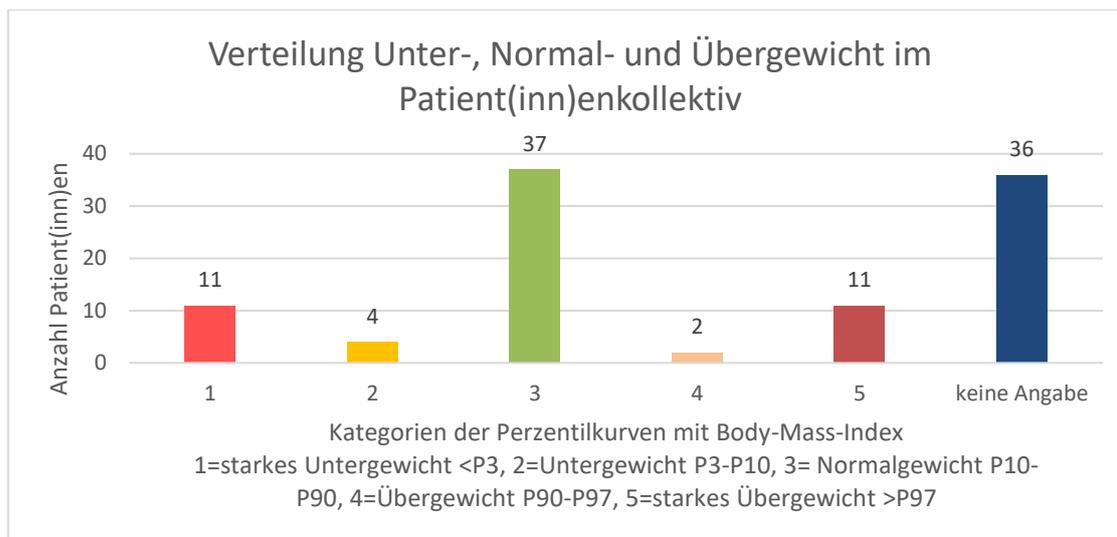


Abbildung 25: Verteilung von Unter-, Normal- und Übergewicht im Patient(inn)enkollektiv. Kategorisierung der Perzentilkurven: 1=starkes Untergewicht <P3, 2=Untergewicht P3-P10, 3= Normalgewicht P10-P90, 4=Übergewicht P90-P97, 5=starkes Übergewicht >P97.

Tabelle 15 im Anhang gibt eine detaillierte Übersicht über Häufigkeiten der Unfallgeschehnisse je nach Body-Mass-Index der Patient(inn)en.

Der häufigste Frakturtyp war die Spiralfaktur. Knapp ein Drittel der Patient(inn)en (31,68% bzw. 32/101) zog sich diese zu. An zweiter Stelle stehen mit gleicher jeweiliger Häufigkeit Quer- und Schrägfraktur; sie machen je 14,85% (15/101) aus. In 7/101 Fällen und damit weitaus seltener traten Mehrfragmentfrakturen (drei bis sechs Fragmentstücke) auf. Dies entspricht 6,93%. Eine Rarität stellte die Trümmerfraktur mit mehr als sechs Fragmentstücken dar (1/101).

Bei einem Drittel der Fälle waren die Angaben zur Frakturform ungenau: In 15,84% der Fälle (16/101) war lediglich die Diagnose „Femurschaftfraktur“ gestellt worden und in 14,85% der Fälle (15/101) lag ein Bruch vor, der keiner der sechs vorangegangenen Kategorien zugeordnet werden konnte. Beispiele dafür sind Angaben wie „Grünholzfraktur am distalen Femur“, „offen dislozierte Oberschenkelfraktur [...]Konsolidierung im mittleren Drittel des Schafts“, „geschlossene Fraktur im Bereich fibröser Dysplasie (mittig) proximaler li Oberschenkel“ oder „Oberschenkel-Stückbruch im mittleren Schaftdrittel“. Eine Darstellung der Werte ist in Abbildung 26 und die Häufigkeiten der Therapien je nach Frakturtypen sind im Anhang 6.4 (Tabelle 21) zu finden.

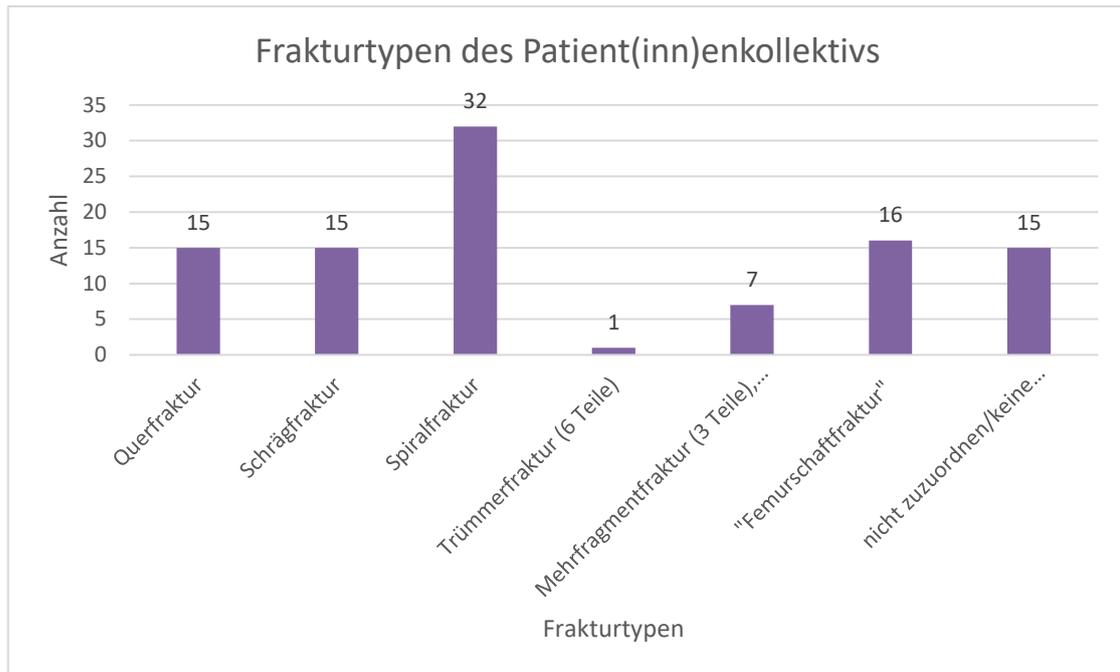


Abbildung 26: Häufigkeiten der verschiedenen Frakturformen

Bei 48 Patient(inn)en konnte ermittelt werden, ob sie sich das rechte oder linke Bein frakturiert hatten. Bei mehr als der Hälfte der Fälle (56,25% bzw. 27/48) war das linke Bein gebrochen, das rechte Bein zu 39,58% (19/48). Zwei Patient(inn)en hatten sich bei einem Verkehrsunfall beide Beine gebrochen (4,17%).

3.2 Kontext des Frakturereignisses: Unfallgeschehen, Begleiterkrankungen, pathologische Frakturen

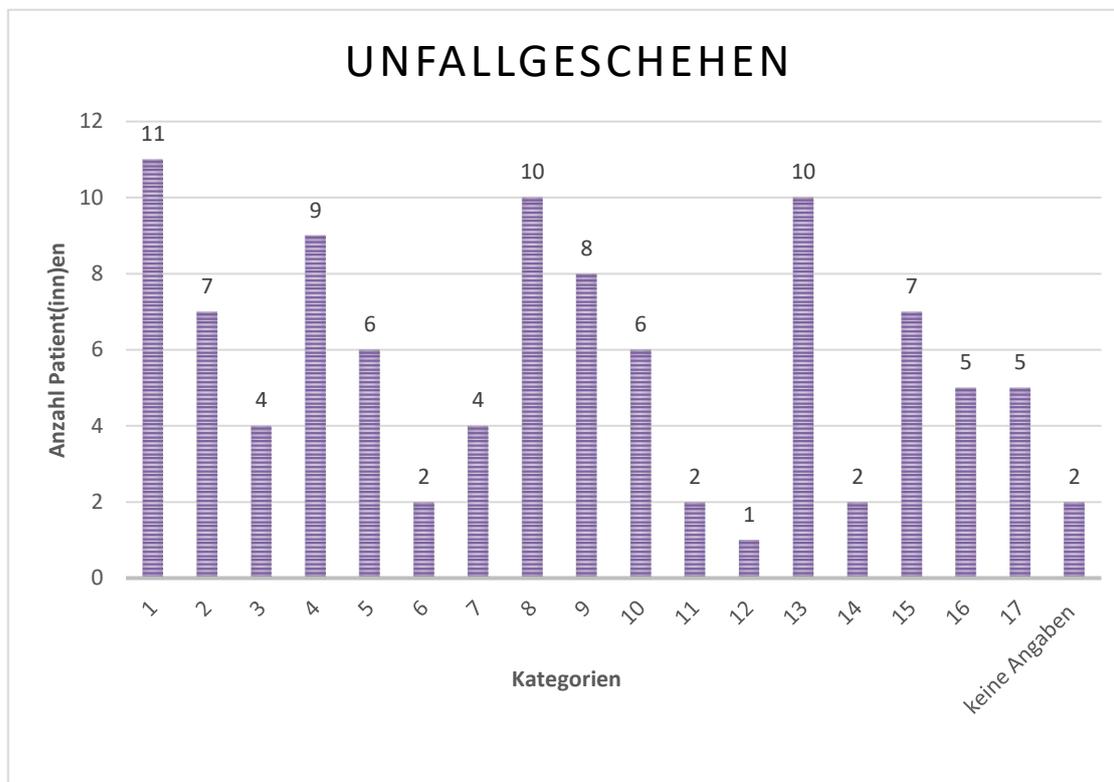


Abbildung 27: Unfallgeschehen. Es wird dargestellt, auf welche Art und Weise die Patient(inn)en sich ihre Fraktur zuzogen. Die verschiedenen Unfallmechanismen wurden kategorisiert: 1 = Sturz ≤ 1 m, 2 = Sturz > 1 m, 3 = Sturz > 3 m, 4 = Fahrrad, 5 = Fußball, 6 = Pferdesport, 7 = sonstiger Sport, 8 = Toben/Spielen, 9 = Pkw-/Businsasse, 10 = Verkehrsunfall Fußgänger(in) gegen Pkw/Motorrad, 11 = Verkehrsunfall Fahrradfahrer(in) gegen Pkw/Motorrad, 12 = tätliche Auseinandersetzung/Gewalt, 13 = „umgeknickt“/Distorsion, 14 = Anpralltrauma, 15 = Quetschtrauma inkl. Gegenstände/Personen, die auf Patient(inn)en gefallen sind, 16 = kein Trauma beobachtet/erinnert, 17 = Sonstiges

Bei 99 Patient(inn)en konnte erfasst werden, wie sie verunfallt waren (siehe Abbildung 27, für die Erläuterung der Kategorien siehe Tabelle 3, Kapitel 2.2). Die meisten Patient(inn)en waren aus einer Höhe von ≤ 1 m gestürzt, sie machten 11,11% des Patient(inn)enkollektivs (11/99) aus. Elf weitere Patient(inn)en waren ebenfalls gestürzt: sieben (7,07%) von ihnen aus einer Höhe von einem Meter bis drei Metern und vier (4,04%) aus einer Höhe von mehr als drei Metern. Insgesamt war mehr als ein Fünftel (22,22% bzw. 22/99) der Frakturen durch Stürze verursacht.

Zweithäufigste Unfallursache waren „Toben/Spielen“ und „umgeknickt“/Distorsion“ mit jeweils 10,01% (10/99). Fast ebenso häufig, in 9,09% (9/99) der Fälle, zogen sich Patient(inn)en eine Fraktur beim Fahrradfahren zu. Insgesamt macht Sport (Kategorien 4 bis 7) mehr als ein Fünftel (21,21% bzw. 21/99) der Unfallursachen aus. Weitere

Sportarten waren Fußball (6,06% bzw. 6/99), Pferdesport (2,02% bzw. 2/99) und sonstiger Sport (4,04% bzw. 4/99).

16 Patient(inn)en waren im Straßenverkehr verunfallt (16,16%). Die meisten von ihnen waren als Pkw- oder Businsasse in einen Unfall verwickelt: 8,08% (8/99). Sechs Patient(inn)en (6,06%) waren als Fußgänger(innen) von einem Pkw erfasst worden und zwei (2,02%) als Fahrradfahrer(innen) mit Pkws zusammengestoßen.

Erfreulicherweise kam es selten zu „tätliche[r] Auseinandersetzung/Gewalt“, nur ein(e) Patient(in) war davon betroffen (1,01%).

Lediglich zwei Patient(inn)en erlitten durch ein Anpralltrauma eine Femurfraktur (2,02%). Deutlich häufiger waren Patient(inn)en von einem Quetschtrauma betroffen: Sieben Patient(inn)en (7,07%) frakturierten sich dabei den Oberschenkel. Dazu zählten Unfallhergänge, bei denen eine Person oder Gegenstände auf den Patienten/die Patientin gefallen waren.

In fünf Fällen war kein Trauma erinnerlich oder beobachtet worden. In fünf weiteren Fällen hatten sich Unfallhergänge ereignet, die keiner der vorgenannten Kategorien zugeordnet werden konnten, wie beispielsweise: „Rotationsbewegung bei Krankengymnastik bei Patient[in] mit West-Syndrom“ oder „beim Umlagern plötzlich Schmerzen bei Patient[in] mit Rett-Syndrom“ (Originalwortlaut Patient(inn)enakte). Diese Fälle wurden in Kategorie 17 zusammengefasst und machen insgesamt 5,05% der Unfallhergänge aus.

Die Datenanalyse ergab einen Zusammenhang zwischen Alter und Komplikationsrisiko. Es wurden drei Altersgruppen unterschieden (unter drei Jahre, drei bis achteinhalb Jahre und über acht Jahre). Diese Unterscheidung wurde der Beschreibung der Unfallhergänge zugrunde gelegt. Dabei konnte Folgendes beobachtet werden: Ein Viertel der unter Dreijährigen verunfallte beim „Toben/Spielen“ und 17% bei einem Sturz aus einer Höhe von unter einem Meter. Von den Drei- bis Achteinhalbjährigen erlitten jeweils 17% ein Quetschtrauma oder verletzten sich beim Fahrradfahren. Bei den über achteinhalbjährigen Patient(inn)en verunfallten viele als Verkehrsteilnehmer. So waren die meisten (15%) als Fußgänger(in) von einem Auto erfasst worden. Jeweils weitere 12% waren als Pkw- oder Businsasse an einem Verkehrsunfall beteiligt und verletzt worden oder bei einem Sturz aus unter einem Meter Höhe. (Siehe auch Tabelle 16, Tabelle 17 und Tabelle 18 im Anhang).

Den 99 Patient(inn)en konnte ihre jeweilige Frakturart zugeordnet werden. So hatte die Hälfte derer, die sich im Rahmen eine Distorsion eine Fraktur zugezogen hatten, eine Spiralfraktur erlitten (n=5). Ebenfalls an einer Spiralfraktur erkrankten 57% der

Patient(inn)en mit einem Quetschtrauma (n=4). Die beiden Patient(inn)en, die beim Pferdesport verunfallten, frakturierten sich ihr Bein quer (n=2). Zwei Drittel der Patient(inn)en, die sich beim Fußballspielen verletzten, erlitten eine Spiralfaktur (n=4). Die Mehrzahl der Patient(inn)en, die aus einer Höhe von unter einem Meter gestürzt waren, zogen sich entweder eine Schräg- (27%) oder eine Spiralfaktur (36%) zu. Im Anhang (Tabelle 19 und Tabelle 20) ist eine ausführliche Auflistung der Unfallhergänge und jeweiligen Frakturtypen zusammengestellt.

In 13,4% der Fälle (13/97) waren Frakturen pathologisch, ihnen war kein adäquates Trauma vorausgegangen. Außerdem gab es fünf Fälle, bei denen es sich eventuell um pathologische Frakturen handelte, die jedoch nicht als solche diagnostiziert worden waren (oder als „Verdacht auf pathologische Fraktur“). Die große Mehrheit, 81,46% der Patient(inn)en (79/97), war von nicht pathologischen Frakturen betroffen (siehe Abbildung 28).

Es wurde festgestellt werden, dass 23,76% der Untersuchten (24/101) neben Femurfrakturen unter weiteren Krankheiten litten. Die Begleiterkrankungen waren sehr heterogen, bspw. „Osteogenesis imperfecta“, „Infekt oberer Atemwege“, „Nierenarterienstenose“ oder „fibröse Dysplasie“. Abbildung 29 stellt die Ergebnisse grafisch dar.

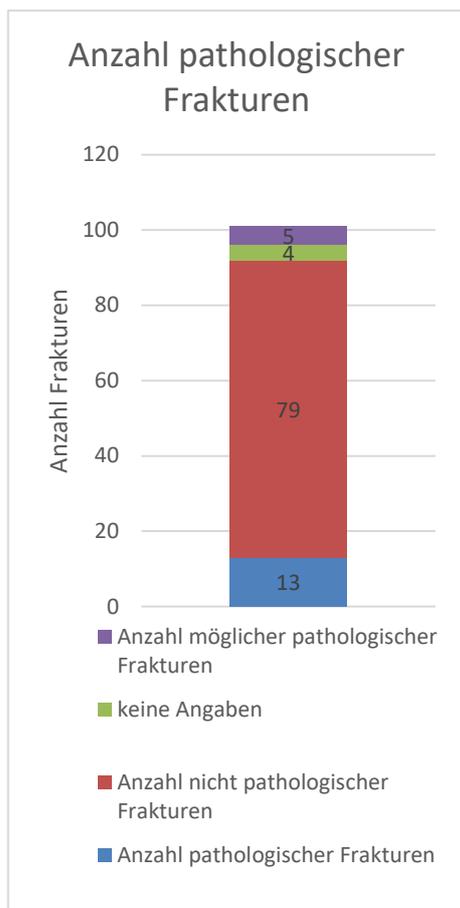


Abbildung 28: Häufigkeit von pathologischen Frakturen im Patient(inn)enkollektiv

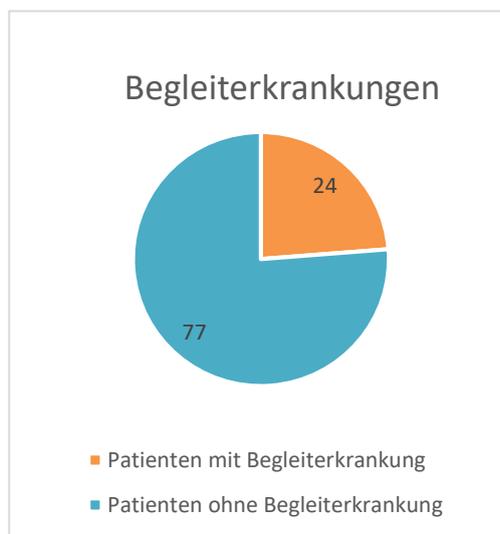


Abbildung 29: Häufigkeit von Begleiterkrankungen im Patient(inn)enkollektiv

3.3 Therapie

Die Reposition der Brüche wurde operativ geschlossen, operativ offen oder im Rahmen einer konservativen Behandlung erreicht (in vier der Fälle gab es keine Angabe zur Art der Reposition). Bei 63,92% (62/97) waren Frakturen operativ geschlossen reponiert worden. In 15 von 97 Fällen (15,46%) war operiert, jedoch offen reponiert worden. Die konservative Behandlungsmethode mit Gipsplonguette oder Overhead-Extension wurde in 19,58% der Fälle (19/97) angewandt. Ein Patient war mit einer „Knochenkürettage, Knochentransplantation“ behandelt worden. Er stellte jedoch mit 1,01% eine Ausnahme dar (Abbildung 30). Eine Übersicht zur jeweiligen Versorgung der Frakturtypen findet sich im Anhang (Tabelle 23).

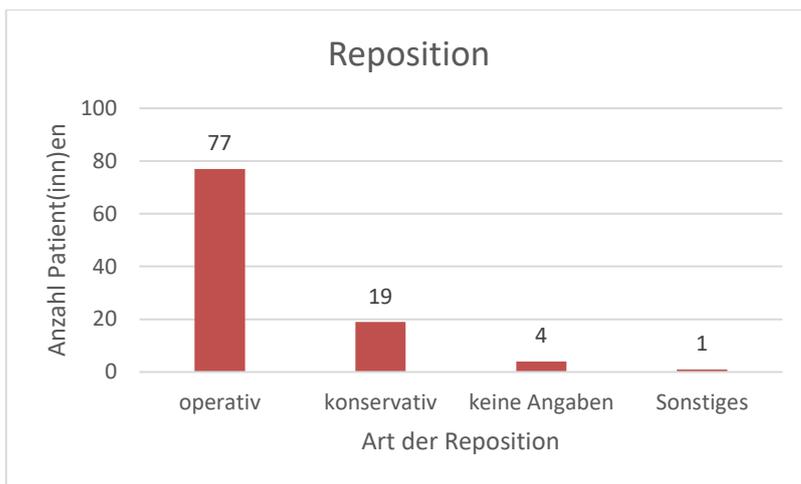


Abbildung 30: Arten der Reposition

Die verschiedenen konservativen Behandlungsmethoden waren jeweils gleich häufig angewandt worden: 42,10% der Patient(inn)en (8/19) erhielten eine Gipslonguette, 36,84% von ihnen (7/19) die Overhead-Extensions-Therapie. Bei 21,05 % (4/19) fehlen die Informationen zur Behandlungsmethode.

Bei der operativen Reposition wurden in 75,61% der Fälle (62/82) elastisch stabile intramedulläre Nägel (ESINs) benutzt. Sie waren das am häufigsten verwendete Repositionsmaterial. Elfmal war eine Platte auf dem Knochen angebracht worden, dies entspricht 13,42%. In jeweils 3,66% der Fälle (3/82) waren Kirschner-Drähte oder Fixateur externe verwendet worden. In jeweils nur einem Fall nutzte man einen Marknagel oder eine Hohl-Schraube zur Reposition. Eine grafische Darstellung der Daten zeigt Abbildung 31. Darüber hinaus zeigt Tabelle 21 im Anhang, bei welchem Frakturtyp welches Material verwendet wurde.

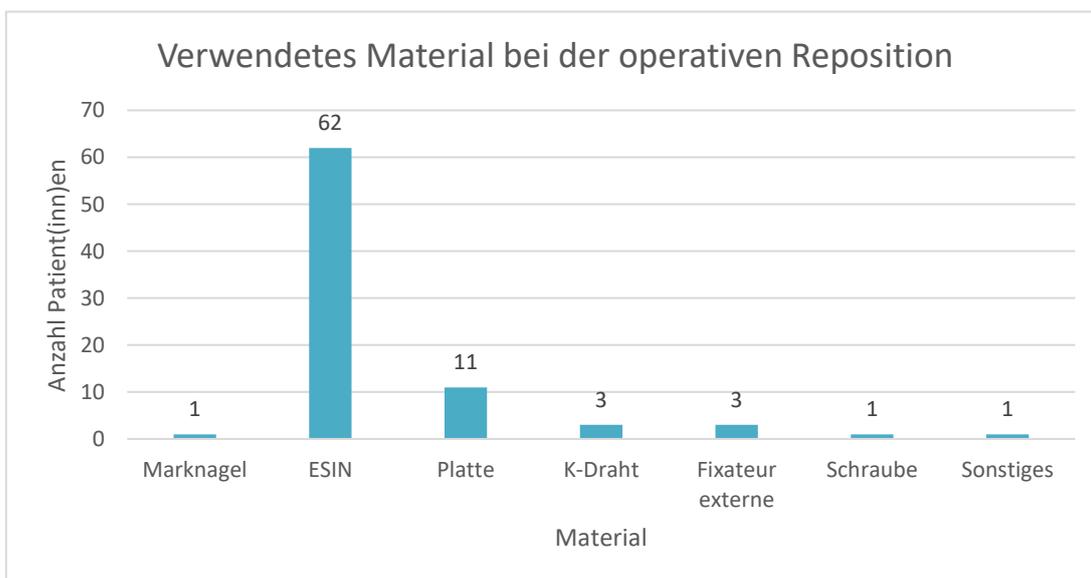


Abbildung 31: Verwendetes Material bei der Reposition im Falle einer Operation

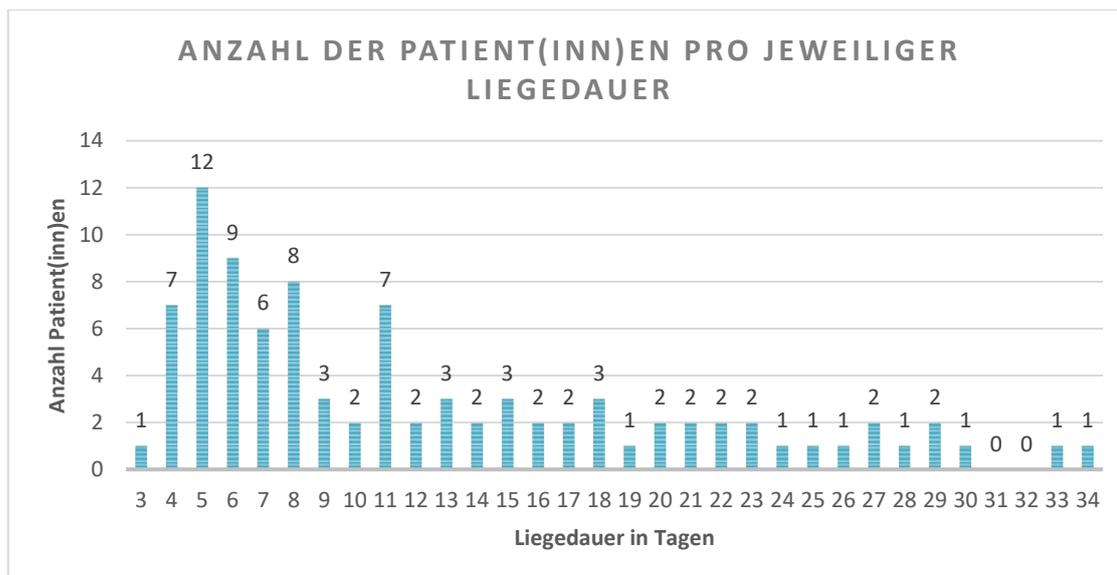


Abbildung 32: Verweildauer der Patient(inn)en im Krankenhaus

Bei 92 Patient(inn)en konnte die Dauer des Krankenhausaufenthaltes ermittelt werden: Sie waren im Durchschnitt 12,32 Tage im Krankenhaus. Die längste Liegedauer betrug 34 Tage, die kürzeste drei Tage. Die längsten Beobachtungen wurden nicht verwendet, da es sich höchst wahrscheinlich um „Ausreißer“ handelt (da sie die mittlere Liegedauer um das Fünffache überschritten).

Von 54 Patient(inn)en, denen ESINs eingesetzt worden waren, konnten Röntgenbilder ausgewertet und so der Durchmesser des Markraums ermittelt werden. Um Messfehler so gering wie möglich zu halten, war die Markhöhle sowohl auf der anterior-posterior sowie auf der lateralen Röntgenaufnahme ausgemessen und ein Mittelwert errechnet worden. Die Messungen wurden jeweils proximal und distal vom Frakturspalt durchgeführt.

Der Mittelwert für den Durchmesser des Markraums proximal der Fraktur betrug 9 mm bei einer Mess-Bandbreite von 4,3 mm bis 21 mm. Ein Drittel der Patient(inn)en (18/54) lag knapp unter dem Durchschnittswert bei einem Durchmesser von 6 bis 8 mm. Sie waren anteilig die größte Gruppe im Kollektiv. Abbildung 33 stellt die Mess-Ergebnisse dar. Lediglich ein Messwert lag außerhalb dieses Bereiches bei 51,55 mm und wurde als „Ausreißer“ gewertet.

Distal der Fraktur war die Markhöhle durchschnittlich 9,15 mm breit. Der kleinste gemessene Durchmesser betrug 3,85 mm und der weiteste 30,6 mm. Am häufigsten war auch hier die Kategorie „6 bis 8 mm“, in 17 von 54 Fällen (31,48%). Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse zeigt Abbildung 34.

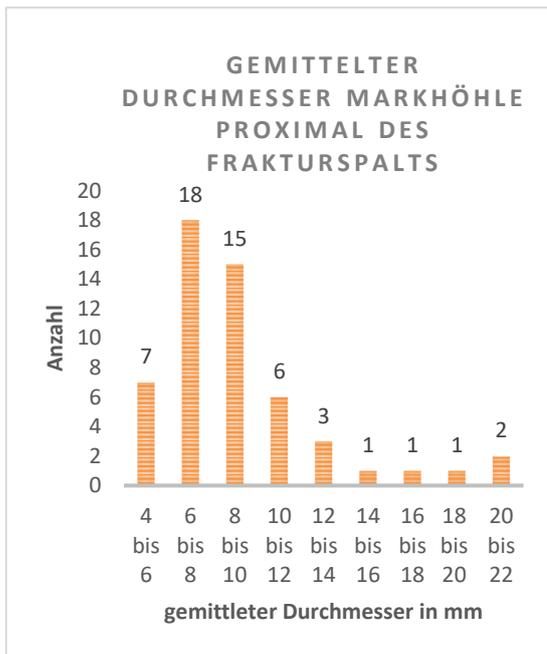


Abbildung 33: Durchmesser der Markhöhle proximal des Frakturspalts

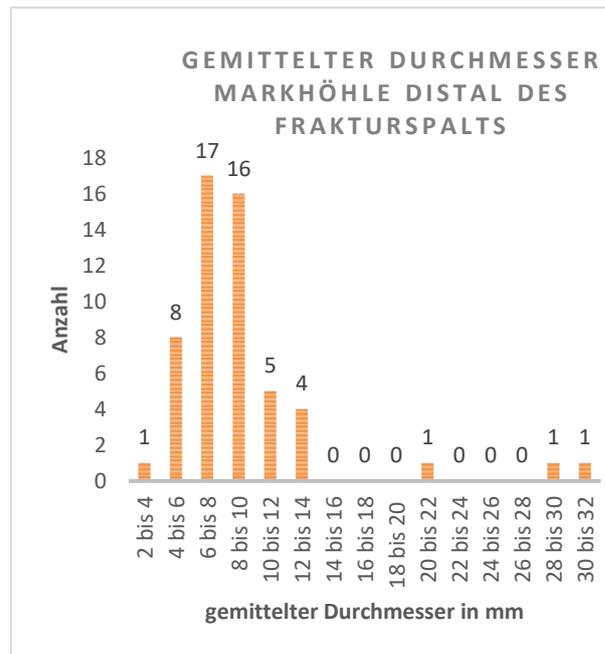


Abbildung 34: Durchmesser der Markhöhle distal des Frakturspalts

Ein weiterer Mittelwert wurde jeweils aus den proximalen und distalen Werten erstellt. Dieser erstellte Mittelwert wurde zur Dicke der eingesetzten ESINs ins Verhältnis gesetzt (Mittelwert proximal und distaler Durchmesser dividiert durch Dicke der ESINs). Abbildung 35 verdeutlicht die Ergebnisse von 48 Patient(inn)en.

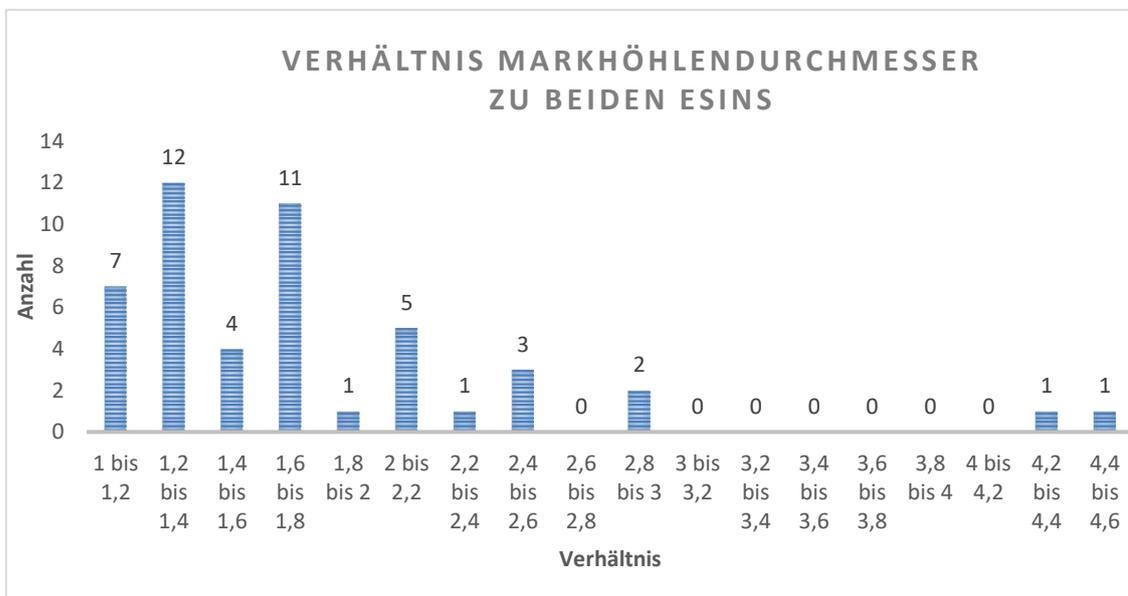


Abbildung 35: Verhältnis Markhöhlendurchmesser zur Dicke der elastisch stabilen Nägel

Am häufigsten traten die Verhältnisse der Gruppe „1,2 bis 1,4“ auf (25%). Hierfür ein Beispiel eines Patienten/einer Patientin mit dem Verhältnis 1,2: Um den Markraum

vollständig auszufüllen, würden die gewählten ESINs plus ein Fünftel ihrer Dicke benötigt. Das bedeutet auch, dass nach der Implantation der ESINs noch ungefüllter Markraum vorhanden war, genau „0,2 ESINs“.

Fast ebenso häufig waren, bezogen auf den Markraumdurchmesser, dünnere ESINs in den Knochen eingesetzt worden, sodass bei elf von 48 Patient(inn)en (22,91%) ein Verhältnis von Markraumdurchmesser zu ESINs von „1,6 bis 1,8“ ermittelt wurde.

Der kleinste Quotient (damit dickste ESINs im Verhältnis zur Markhöhle) betrug 1 und kam bei zwei Patient(inn)en vor. Der größte Quotient belief sich auf 4,52 und lag bei nur einem Patienten bzw. einer Patientin vor. Der Durchschnittswert ergab ein Verhältnis von 1,77. Bei diesen Patient(inn)en füllten die ESINs mehr als die Hälfte des Markraums aus.

Abbildung 36 zeigt die Häufigkeit der jeweiligen Wochenabstände zwischen erster Operation zum Einsetzen von Kraftträgern und der zweiten Operation zur Entfernung des Metalls. In 47 Fällen konnten Daten erhoben werden. Im Durchschnitt blieben die Implantate 44 Wochen lang im Körper. Sechs Patient(inn)en (12,77%) ließen sich das Metall nach acht Wochen entfernen, es war der am häufigsten gewählte Zeitpunkt. Der zweithäufigste Zeitpunkt war nach elf Wochen (in 8,51% der Fälle). Einem Patienten bzw. einer Patientin musste bereits nach wenigen Tagen der Kraftträger wieder entfernt werden. Der längste Zeitraum bis zur Implantatentfernung betrug mehr als vier Jahre (229 Wochen).

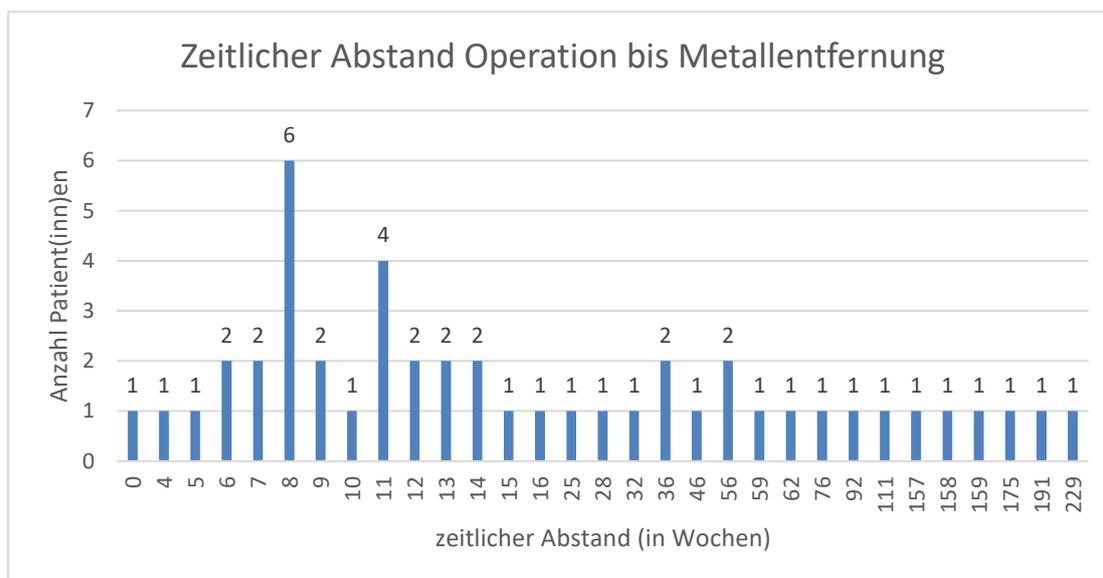


Abbildung 36: Zeitlicher Abstand zwischen Operation und Metallentfernung (in Wochen)

3.4 Komplikationen: intra- und postoperative Komplikationen, Komplikationsformen, mögliche Einflussfaktoren, Verfahrenswechsel, Fehlstellung nach Böhm

Bei 46,54% der Patient(inn)en (47/101) traten keine Komplikationen während der Operation auf, bei 33,66% (34/101) lagen keine Angaben vor, bei 18,81% (19/101) hatte keine Operation stattgefunden. In einem Fall war das Implantat-Material fehlerhaft, sodass bei einem Repositionsmanöver die endständige Kugel eines elastisch intramedullären Nagels abbrach und eine frühe Metallentfernung nach sechs Wochen angesetzt wurde. Mit 0,99% (1/101) war die intraoperative Komplikation also eine Ausnahme (siehe Abbildung 37).

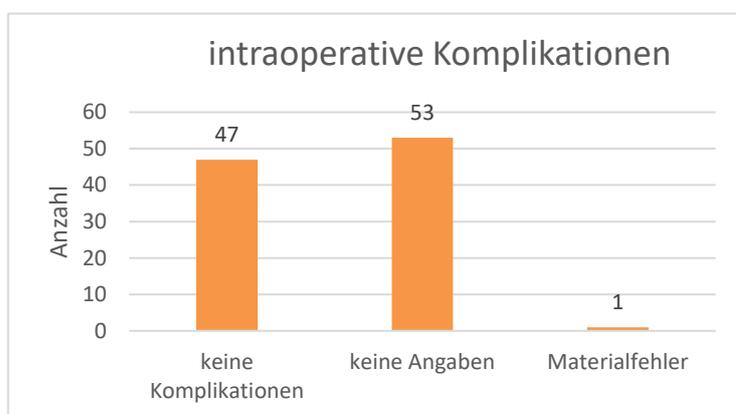


Abbildung 37: Häufigkeit von intraoperativen Komplikationen

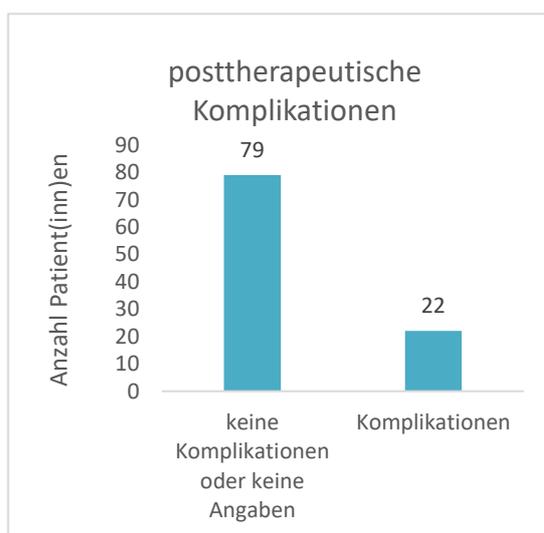


Abbildung 38: Häufigkeit der posttherapeutischen Komplikationen

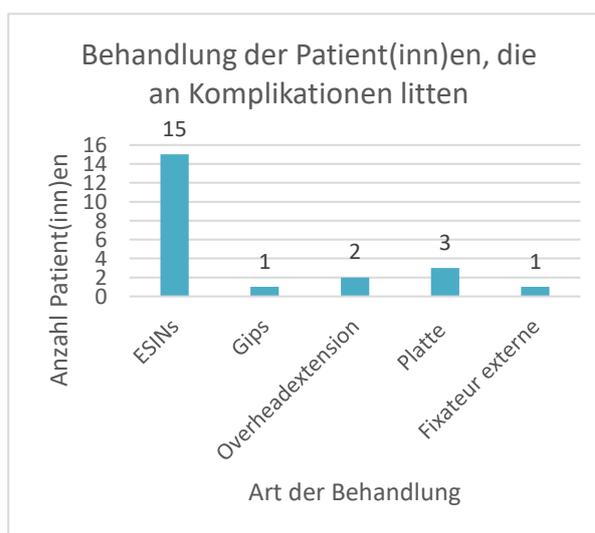


Abbildung 39: Behandlung der Patient(inn)en, die Komplikationen angaben

Über Beschwerden nach der Therapie berichteten 22 der Behandelten (21,78%). Mehr als der Hälfte von ihnen (68,12%) waren ESINs eingesetzt worden. Die übrigen sieben

Patient(inn)en waren konservativ behandelt oder operiert worden (siehe Abbildung 39). Abbildung 38 verdeutlicht, dass die Femurschaftfraktur dennoch zu den komplikationsarmen Erkrankungen zählt: 78,22% der Patient(inn)en (79/101) hatten einen komplikationslosen Therapieverlauf.

Die verschiedenen Komplikationstypen und ihre jeweilige Häufigkeit sind Abbildung 40 zu entnehmen. Am häufigsten, in acht von 19 Fällen (42,11%), waren die Patient(inn)en von Wachstumsstörungen betroffen. In vier Fällen war es zu einem überschießenden Wachstum, einem „Overgrowth“, gekommen. In weiteren vier Fällen oder eventuell auch auf Grund von überschießendem Wachstum waren vier Patient(inn)en von unterschiedlicher Beinlänge betroffen. Unter der zweithäufigsten postoperativen Komplikation, der „passagere Einschränkung der Kniegelenksbeweglichkeit“ litten sieben Patient(inn)en (7/19 bzw. 36,84%). Jeweils ein- oder zweimalig traten die Komplikationen „Hautperforation“, „hypertrophe Narbe“, „Malunion“, „sekundäre Dislokation“, „Malreduktion“, „Kompartmentsyndrom“, „Pin Tract Infection“ und „Wundheilungsstörung“ auf.

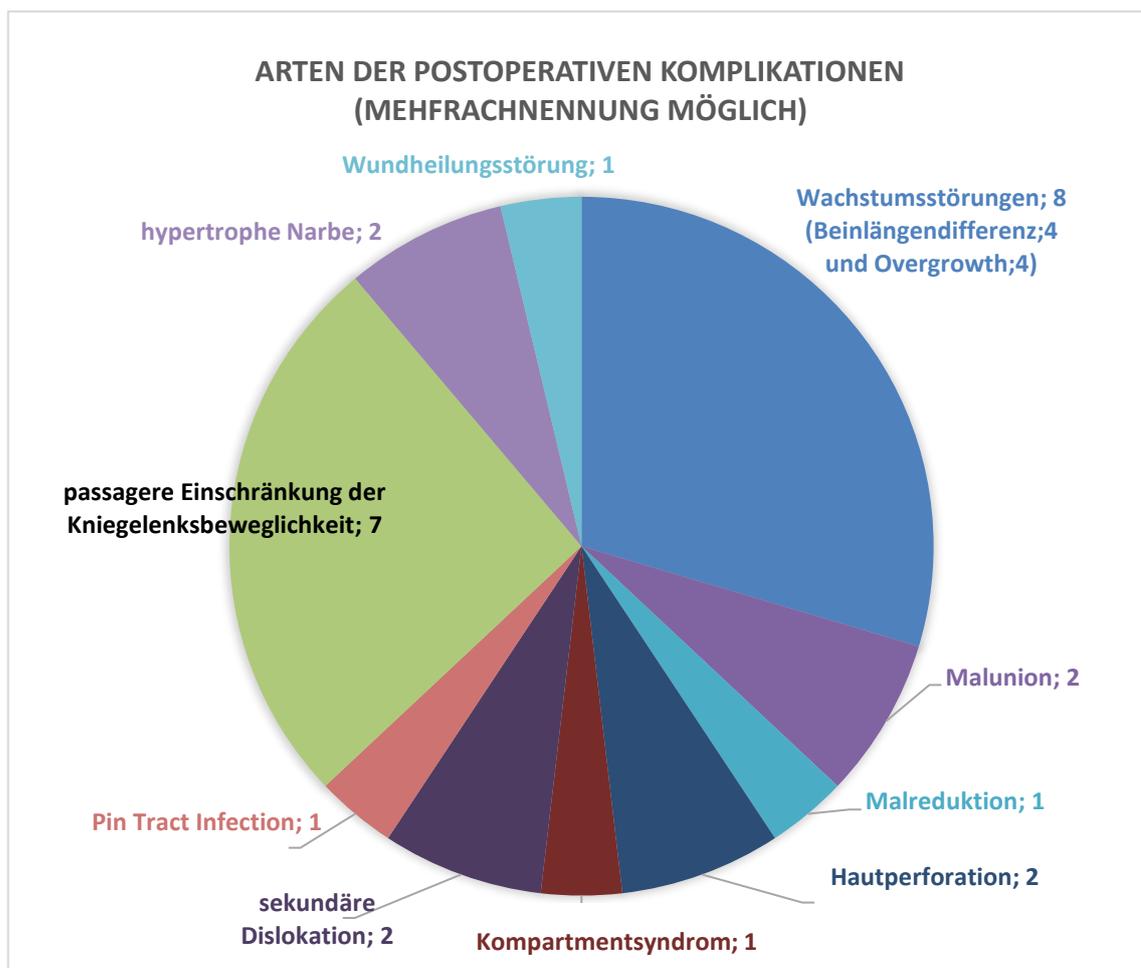


Abbildung 40: Arten der postoperativen Komplikationen (Mehrfachnennungen möglich)

In fünf Fällen kam es infolge von Komplikationen zum Verfahrenswechsel. Darunter waren zwei Patient(inn)en mit Fixateur externe, bei denen jeweils zum Platten- bzw. ESIN-Verfahren gewechselt wurde. Bei zwei Patient(inn)en, die konservativ behandelt worden waren, wurden ebenfalls ESINs eingesetzt. Aber auch diese ESINs wurden in einem Fall ausgetauscht, dem Patienten/der Patientin wurde in der Folge eine Platte implantiert. Somit war die Revisionsrate der konservativen Therapieansätze (2/19 bzw. 10,53%) doppelt so hoch verglichen mit der bei operativer Therapie (4/77 bzw. 5,2%). Dabei ist auffällig, dass zwei Drittel der mit Fixateur externe behandelten Kinder (66,67%) re-operiert werden mussten. Die revisionspflichtigen Patient(inn)en, die mit ESINs behandelt wurden, machten lediglich 3,23% (2/62) aus. Es bestehen also große Unterschiede bei der Re-Operationsrate innerhalb der operativen Verfahren.

Böhm (2007) beschreibt die bei Kindern tolerable Fehlstellung auch für diaphysäre Frakturen des Oberschenkels (vgl. 1.6.2). Im Patient(inn)enkollektiv war diese zweimal nicht erfüllt. Bei einem elfjährigen Patienten war nach der ersten operativen Stabilisierung der Fraktur mit ESINs eine Varusfehlstellung von 15° festgestellt worden und nach der Re-Operation lag eine Verkürzung des Beines von 2,5 cm vor. Bei dem zweiten Patienten handelt es sich um einen Siebenjährigen, der nach der Plattenentfernung unter einer ad axim Fehlstellung nach dorsal litt.

3.4.1 Einflussfaktor: Alter

Das Alter der Patient(inn)en scheint für das Risiko postoperativer Komplikationen eine wesentliche Rolle zu spielen. Abbildung 41 zeigt, dass das Risiko von der Geburt bis zum fünften Lebensjahr kontinuierlich sinkt, danach wieder ansteigt, bis es um das zwölfte/dreizehnte Lebensjahr sein Maximum erreicht und danach wieder abnimmt. Diesen Zusammenhang kann man durch eine kubische Regression auch statistisch nachweisen (Siehe Tabelle 24, Spalte 2, Zeilen 5-7).

Des Weiteren verdeutlicht die Regression in Tabelle 24 (Spalte 1, Zeilen 1-4), dass das geringste Risiko für Patient(inn)en in der Altersgruppe drei- bis achteinhalb Jahre vorliegt. Sie haben ein um 28% signifikant ($P=0.015$) niedrigeres Komplikationsrisiko als die unter Dreijährigen. Auf der anderen Seite haben Patient(inn)en zwischen zwölf bis dreizehn Jahren ein 26,5% signifikant ($P=0.066$) höheres Risiko als die unter Dreijährigen³. Zusammenfassend zeigt sich, dass bis zu 20% der Variationen der

³ In den weiteren Beobachtungen wird die Gruppe der 12- bis 13-Jährigen nicht als separate Gruppe aufgeführt, da die Anzahl der Patient(inn)en gering ist und die Aussagekraft der Ergebnisse nicht erhöht würde.

Komplikationen allein durch die Variable Alter zu erklären sind (siehe Tabelle 24, Spalte 1, Zeile 10).

Diese Effekte sind robust für das Multi-Variablen-Modell mit der zusätzlichen Variable „Verhältnis Markraumdurchmesser zur ESIN-Drahtdicke = 1,5 - 2“. Somit ist die Signifikanz der Ergebnisse des vorherigen Tests bestätigt. Das bedeutet, dass das Alter signifikant ist, auch wenn man gleichzeitig im Modell für das Verhältnis Markraumdurchmesser zu Drahtdicke testet. Das heißt, für die Wahrscheinlichkeit, eine Komplikation zu erleiden, spielt nicht nur das Alter drei- bis achteinhalb Jahre und zwölf bis dreizehn Jahre, sondern auch das Verhältnis von Markraumdurchmesser zu Drahtdicke (1,5-2) eine signifikante Rolle. Diese Variablen zusammen erklären 30% der Komplikationen (siehe Tabelle 25).

Vergleicht man die Altersgruppen miteinander, stehen die Chancen für Komplikationslosigkeit am besten für die Vier- bis Achtjährigen, wenn auch nicht signifikant (siehe Tabelle 26).

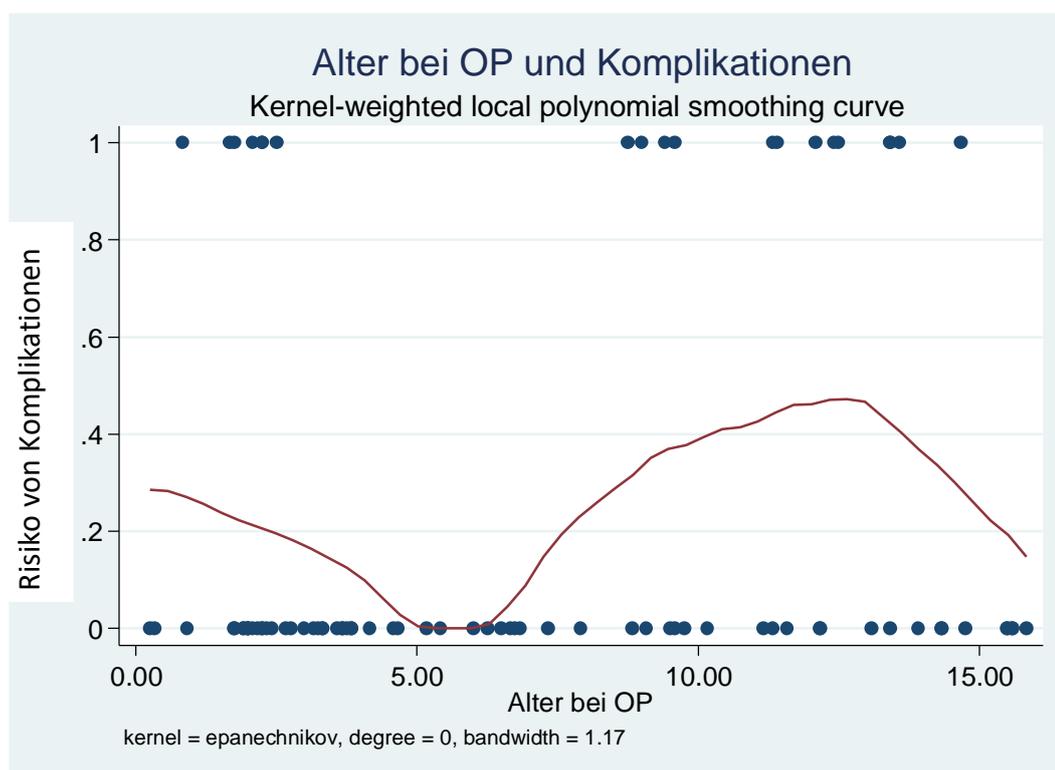


Abbildung 41: Komplikationswahrscheinlichkeit im jeweiligen Lebensjahr

Im Anschluss an dieses Ergebnis wurde analysiert, welche Frakturtypen sich die Patient(inn)en in den drei unterschiedenen Altersgruppen (unter drei, zwischen drei bis achteinhalb sowie über achteinhalb) zugezogen hatten. (Einteilung siehe 3.1)

Besonders häufig litten unter Dreijährige unter Spiralfrakturen, und zwar 44%. Sie stellten fast ein Drittel der Patient(inn)en dar, die sich eine Spiralfaktur zugezogen hatten

(11/32). Die zweithäufigste Fraktur in dieser Altersgruppe war die Schrägfraktur: fünf der Betroffenen zogen sich eine solche zu und machten damit ein Drittel aller Patient(inn)en aus, die unter einer Schrägfraktur litten (5/15).

Patient(inn)en zwischen drei und achteinhalb Jahren, also die Altersgruppe mit dem geringsten Komplikationsrisiko, erlitten ebenfalls hauptsächlich Spiralfrakturen (38%). Jeweils viermal traten Quer-, Schräg- und „Femurschaftfrakturen“ auf. Auch die über achteinhalbjährigen Patient(inn)en erlitten am häufigsten Spiralfrakturen (23%). Die dazugehörigen Übersichten finden sich im Anhang (Tabelle 27, Tabelle und Tabelle 29).

3.4.2 Einflussfaktoren: Body-Mass-Index, Perzentilkurven

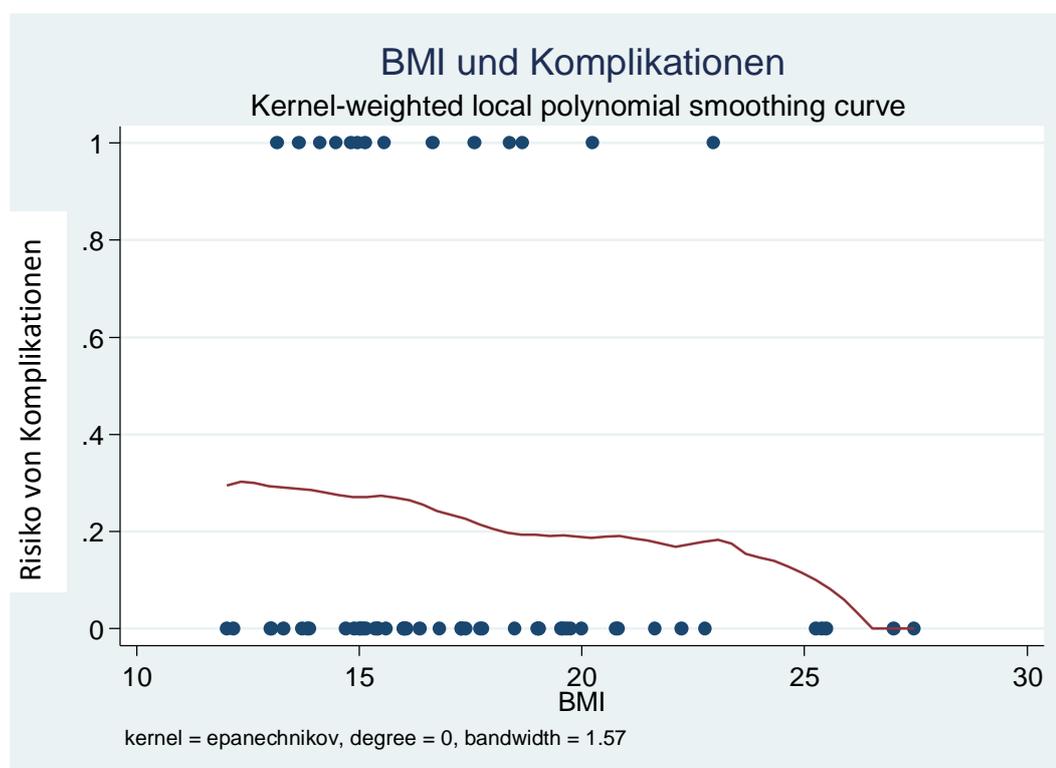


Abbildung 42: Einfluss des Body-Mass-Indexes auf die postoperative Komplikationsrate

Abbildung 42 stellt den Zusammenhang zwischen dem Body-Mass-Index und Komplikationen graphisch dar. Nach diesem Kernel Regressions Graphen scheint eine negative Korrelation von Body-Mass-Index und Komplikationen zu bestehen. Tabelle 30 (Spalte 1) zeigt aber, dass dieser Zusammenhang nicht statistisch signifikant ist. Hierbei muss beachtet werden, dass es nur wenige hohe Body-Mass-Index-Werte gab, die analysiert werden konnten. Des Weiteren ergab eine Regression von Alter und Body-Mass-Index Folgendes (Tabelle 30, Spalte 2): Mit jedem weiteren Lebensjahr der Patient(inn)en stieg der Body-Mass-Index signifikant um 3,5 (Koeffizient 0.351, P=0.004). Je höher das

Lebensalter, desto höher war der Body-Mass-Index. Um den Zusammenhang zu kontrollieren, wurde ein Multi-Variablen-Modell erstellt mit der zusätzlichen Variable Alter (siehe Tabelle 30, Spalte 3). Die Kontrolle zeigte, dass ein hoher Body-Mass-Index nicht vor Komplikationen schützt, sondern nur mit höherem Alter korreliert ist, welches wohl das Komplikationsrisiko senkt.

Es gab keine signifikanten Testergebnisse für den Zusammenhang von Komplikationen und Perzentilkurven. Eine Ursache dafür könnte die relativ geringe Anzahl der Beobachtungen (n=63) sein (siehe Tabelle 31 im Anhang).

3.4.3 Einflussfaktor auf Komplikationen: Frakturtyp

Die Spiralfraktur war die häufigste Fraktur (n=32) im Patient(inn)enkollektiv. Ein Viertel dieser Patient(inn)en litt unter Komplikationen (Mean = 0,25). Die Spiralfraktur war damit die Frakturform mit den dritthäufigsten Komplikationen.

Die als „Femurschaftfraktur“ kategorisierte Frakturform war als zweithäufigste Form zugleich die komplikationsreichste (n=16, Mean = 0,31).

Fast genauso häufig traten Quer- und Schrägfrakturen auf (jeweils n= 15). Komplikationsreicher war die Querfraktur (Mean = 0,26), außerdem stellte sie insgesamt die Frakturform mit den zweithäufigsten Komplikationen dar. Patient(inn)en mit Schrägfrakturen hingegen litten nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 20% unter Komplikationen (Mean = 0,2).

Die Spiralfraktur als zahlenmäßig häufigste Frakturform weist ein geringeres Komplikationsrisiko auf als die deutlich selteneren Formen „Femurschaftfraktur“, Quer- und Schrägfraktur (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Häufigkeiten der verschiedenen Frakturtypen und die jeweilige Wahrscheinlichkeit, Komplikationen zu erleiden. Die Quer- und Femurschaftfraktur waren die komplikationsreichsten Brüche.

Frakturtypen: Querfraktur, Schrägfraktur, Spiralfraktur, Trümmerfraktur (sechs oder mehr Fragmentteile), Mehrfragmentfraktur (drei bis sechs Fragmentteile), Femurschaftfraktur, nicht zuzuordnen/ Sonstige

Frakturtyp	Summary of Komplikation post OP		
	Mean	Std. Dev.	Freq.
Querfrakt	.26666667	.45773771	15
Schrägfra	.2	.41403934	15
Spiralfra	.25	.43994135	32
Trümmerfr	0	0	1
nur Mehrf	.14285714	.37796447	7
nur Femur	.3125	.47871355	16
nicht zuz	.06666667	.25819889	15
Total	.21782178	.41482431	101

3.4.4 Einflussfaktoren: Art der Versorgung, Repositionsform

Bezüglich der Art der Reposition konnte mittels eines t-Tests gezeigt werden, dass eine konservative Therapie gegenüber einer operativen Versorgung mit signifikant ($P=0.04$) weniger Komplikationen einhergeht. So litten konservativ behandelte Kinder mit einer mittleren Wahrscheinlichkeit von 15% unter Komplikationen, hingegen 23% der Kinder, die mit einer der anderen Behandlungsmethoden (Operation und Reposition offen, Operation und Reposition geschlossen, Operation sonstige) versorgt worden waren. Weitere Details finden sich in Tabelle 8 und im Anhang in Tabelle 32.

Tabelle 8: Wahrscheinlichkeit für Komplikationen bei konservativer Behandlung (1) gegenüber den anderen Behandlungsarten (0)

Operation_k onservativ	Summary of Komplikation post OP		
	Mean	Std. Dev.	Freq.
0	.23170732	.4245195	82
1	.15789474	.37463432	19
Total	.21782178	.41482431	101

Das durchschnittliche Komplikationsrisiko nach offener Operation lag bei 33% und ist signifikant. Im Vergleich dazu lag die Komplikationswahrscheinlichkeit der anderen Therapien bei 20% (siehe Tabelle 9 und im Anhang Tabelle 33).

Tabelle 9: Wahrscheinlichkeit für Komplikationen bei offener operativer Behandlung (1) im Vergleich zu allen anderen Therapiemethoden (0)

Operation_o ffen	Summary of Komplikation post OP		
	Mean	Std. Dev.	Freq.
0	.19767442	.40058097	86
1	.33333333	.48795004	15
Total	.21782178	.41482431	101

Auch im direkten Vergleich mit geschlossenen Operationen scheint die offene Operation die ungünstigere zu sein. So hatten Patient(inn)en, die offen operiert wurden, ein mit 12% signifikant höheres Risiko ($P\text{-Wert} = 0,01$) unter Komplikationen zu leiden, als Patient(inn)en, die geschlossen operativ versorgt wurden (Mean = 0,21). Siehe Tabelle 10 und t-Test im Anhang Tabelle 34.

Tabelle 10: Mittlere Wahrscheinlichkeit Komplikationen zu erleiden nach einer offenen Operation (1) im Vergleich zur geschlossenen Operation (0)

Operation_o ffen	Summary of Komplikation post OP		
	Mean	Std. Dev.	Freq.
0	.20967742	.41040151	62
1	.33333333	.48795004	15
Total	.23376623	.42600049	77

3.4.5 Einflussfaktoren: Reposition und Frakturform, Material und Frakturform

Ausgehend von der Fragestellung, ob sich bei bestimmten Frakturtypen eine bestimmte Repositionsart empfiehlt um das Komplikationsrisiko gering zu halten, ist der Zusammenhang dieser möglichen Einflussfaktoren untersucht worden. In Tabelle 11 sind die Repositionsformen der jeweiligen Frakturtypen aufgelistet.

Bezogen auf das Kollektiv der geschlossen Versorgten (n=62), stellen die Patient(inn)en mit Spiralfaktur die zahlenmäßig größte Gruppe dar (22/62). Betrachtet man ausschließlich die Patient(inn)en mit Spiralfrakturen, so waren 71% geschlossen versorgt worden. Höher lag der prozentuale Anteil der geschlossen operativ versorgten Patient(inn)en in der Kategorie „Femurschaftfraktur“ mit 85% (11/13).

Die konservative Therapie wurde zumeist bei Spiralfrakturen angewandt oder bei Frakturen, die keiner der Frakturkategorien eindeutig zuzuordnen waren (jeweils siebenmal, entspricht 23% aller Spiralfrakturen und 47% aller Frakturen der Kategorie 7). Offen operiert wurde bei 71% der Mehrfragmentfrakturen und einem Drittel der Querfrakturen (jeweils fünfmal).

Tabelle 11: Reposition bei den jeweiligen Frakturtypen (Daten von 97 Patient(inn)en), Frakturtypen: 1 = Querfraktur, 2 = Schrägfraktur, 3 = Spiralfraktur, 4 = Trümmerfraktur, 5 = Mehrfragmentfraktur, 6 = Femurschaftfraktur, 7 = nicht zuzuordnen

Frakturtyp (1=Querfraktur, 2=Schrägfraktur, 3=Spiralfraktur, 4=Trümmerfraktur, 5	Art der Versorgung: initial offen oder geschlossen				Total
	Sonstiges	geschloss	konservat	offen	
1	0 0.00	9 60.00	1 6.67	5 33.33	15 100.00
2	0 0.00	10 66.67	2 13.33	3 20.00	15 100.00
3	0 0.00	22 70.97	7 22.58	2 6.45	31 100.00
4	0 0.00	1 100.00	0 0.00	0 0.00	1 100.00
5	0 0.00	2 28.57	0 0.00	5 71.43	7 100.00
6	0 0.00	11 84.62	2 15.38	0 0.00	13 100.00
7	1 6.67	7 46.67	7 46.67	0 0.00	15 100.00
Total	1 1.03	62 63.92	19 19.59	15 15.46	97 100.00

Eine detaillierte Angabe, bei welchem Frakturtyp das jeweilige Material verwendet wurde, findet sich im Anhang in Tabelle 21. Am häufigsten waren ESINs bei Spiralfrakturen (22mal), Querfrakturen (zehnmal) und Schrägfrakturen (zehnmal) eingesetzt worden. Die Implantation einer Platte erfolgte bei Quer- (viermal), Spiral- (dreimal), Mehrfragment- (zweimal) und Schrägfrakturen (zweimal). Die konservative Overhead-Extensions-Therapie war insgesamt achtmal angewandt worden, allein fünfmal bei einem Patienten bzw. einer Patientin mit einer Spiralfaktur. Dies sind die Ergebnisse einer Analyse von insgesamt 98 Patient(inn)en.

Es wurde überprüft, ob Kombinationen von Frakturtypen und intraoperativem Material vorlagen, die das Komplikationsrisiko erhöhten. Die Ergebnisse waren jedoch nicht signifikant: Es gab weder eine Frakturform, die die Komplikationswahrscheinlichkeit mit den jeweils gewählten Therapien erhöhte, noch Implantationsmaterial, das den Behandlungserfolg signifikant beeinflusste (siehe Anhang Tabelle 35 und Tabelle 36).

3.4.6 Einflussfaktor: Verhältnis Markraumdurchmesser zu ESIN-Drahtdicke

Der Graph in Abbildung 43 veranschaulicht das Verhältnis von Markraumdurchmesser zu Drahtdicke und das resultierende Komplikationsrisiko. Es scheint, dass das Komplikationsrisiko bei einem Verhältnis = 1 unter 20% liegt, danach zunimmt bis es seinen Höhepunkt bei etwa 1,6 erreicht. Daraufhin fällt das Komplikationsrisiko sogar unter den Anfangswert. In der logistischen Regression (siehe Tabelle 37, Zeile 2) zeigt sich, dass dieser Zusammenhang auch statistisch signifikant ist. Konkret bedeutet dies:

Liegt das Verhältnis zwischen 1,5 und 2, besteht ein 30%ig signifikant höheres Risiko von Komplikationen betroffen zu sein, als wenn das Verhältnis <1,5 beträgt (P=0.095). Ist das Verhältnis >2, bestand kein signifikanter Zusammenhang (siehe Tabelle 37, Zeile 1).

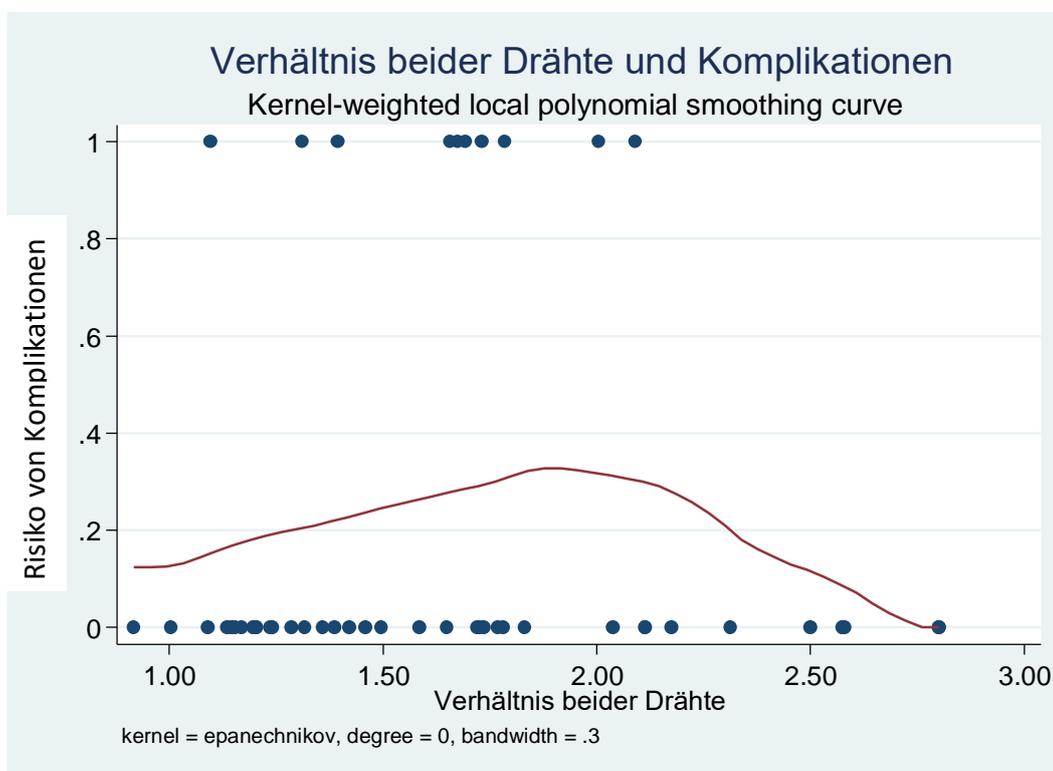


Abbildung 43: Lokale polynomiale Kernel-Regression. Der Zusammenhang zwischen Komplikationen und dem Verhältnis Markraumdurchmesser zu Drahtdicke wird dargestellt.

3.4.7 Einflussfaktor: Unfallgeschehen

Von den Patient(inn)en, bei denen die Unfallursache bekannt war, erlitten ein Fünftel (21/99) Komplikationen. Die meisten verunfallten bei einem Sturz aus einer Höhe von unter einem Meter (19%). Die zweithäufigsten Unfallgeschehen mit Komplikationen waren mit jeweils 14% der Sturz aus einer Höhe von ein bis drei Metern oder ein Fahrradunfall. Siehe Tabelle 38 für die Häufigkeit von Komplikationen nach den jeweiligen Unfallmechanismen.

Da sich besonders die unter drei Jahre alten Patient(inn)en eine Fraktur bei einem Sturz aus einer Höhe von unter einem Meter zugezogen hatten, wurden die Ergebnisse mit einem Multi-Variablen-Modell kontrolliert. Demnach hatten Patient(inn)en im Alter von drei bis achteinhalb Jahren ein 31% geringeres Komplikationsrisiko als jüngere Patient(inn)en unter drei Jahren (Koeffizient -0.31, T-Wert -2.39, siehe Tabelle 39).

Aus Tabelle 39 lässt sich ebenfalls entnehmen, dass Frakturen, entstanden im Rahmen eines Anpralltraumas, mit einer 53% höheren Wahrscheinlichkeit komplikationsreich verliefen als Frakturen durch einen Sturz aus einer Höhe von bis zu einem Meter (Koeffizient 0.53, T-Wert 1.29). Verunfallt als Fahrradfahrer(in), war das Komplikationsrisiko um 20% höher (Koeffizient 0.19, T-Wert 0.63). Die beiden letzten Ergebnisse waren jedoch nicht signifikant.

3.4.8 Einflussfaktor: Zeitraum zwischen Operation und Metallentfernung

In 47 Fällen konnte neben dem Operationsdatum auch der Zeitpunkt der Metallentfernung erhoben werden. 72% dieser Patient(inn)en (34/47) hatten sich das Implantat nach weniger als 55 Wochen entfernen lassen. In diesem Zeitraum traten auch die meisten Komplikationen auf, jedoch konnten keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden. Verblieb ein Kraftträger für länger als 100 Wochen im Körper, traten keine Komplikationen auf. Die Beobachtungen sind Abbildung 44 zu entnehmen, die Ergebnisse der quadratischen Regression finden sich im Anhang (Tabelle 40).

Die Hypothese, dass Komplikationen zu einer zügigeren Metallentfernung führen, konnte demnach nicht bestätigt werden, da die Ergebnisse dem Signifikanztest nicht standhielten.

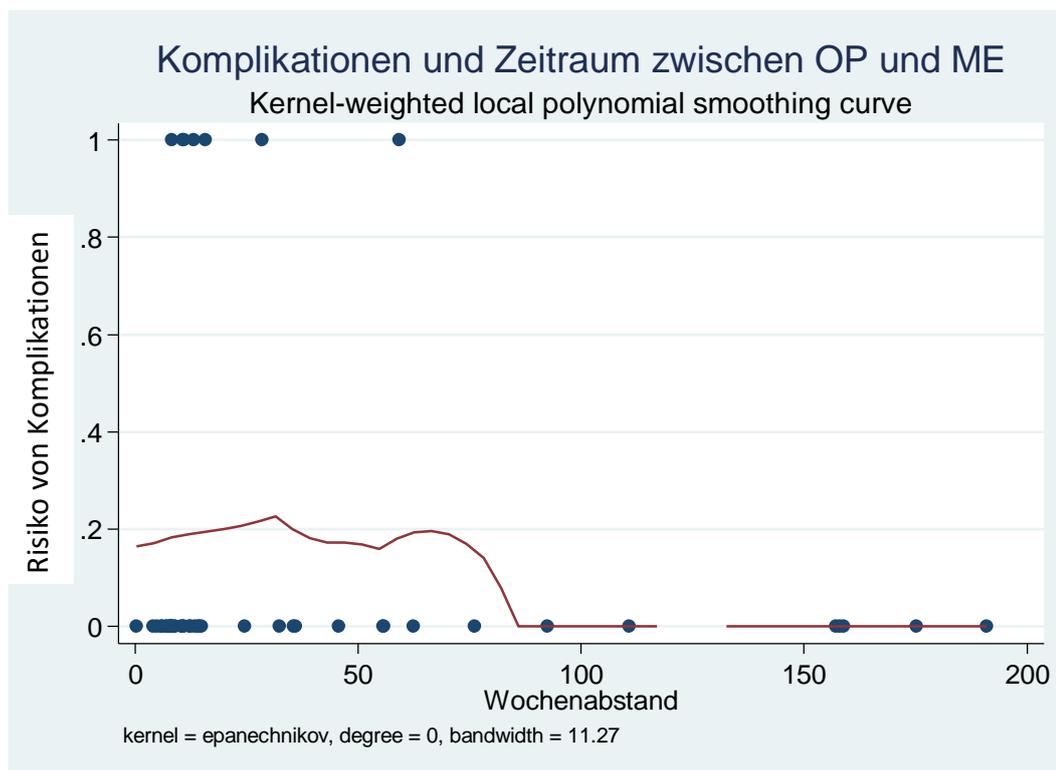


Abbildung 44: Kernel-Regression von postoperativen Komplikationen und des Zeitraumes zwischen Metallimplantation und -entfernung.

3.4.9 Einflussfaktor: Liegedauer

Statistisch scheint die Liegedauer das Komplikationsrisiko zu beeinflussen (siehe Tabelle 41). Es ist jedoch davon auszugehen, dass hier ein Kausalitätsproblem vorliegt und die Liegedauer durch die Komplikationen erhöht wird.

So beträgt die Liegedauer bei Patient(inn)en mit Komplikationen durchschnittlich 13 Tage, bei Patient(inn)en ohne Komplikationen zwölf Tage.

3.4.10 Einflussfaktor: pathologische Frakturen, Begleiterkrankungen

Dreizehn Erkrankte des Patient(inn)enkollektivs hatten eine pathologische Fraktur erlitten. Ihren Brüchen war ein nicht adäquates Trauma vorausgegangen. In diesen Fällen bestand ein um 10% signifikant höheres Komplikationsrisiko ($P=0.01$). Signifikanztest siehe Tabelle 42 im Anhang.

Tabelle 12: Komplikationswahrscheinlichkeiten für Patient(inn)en mit pathologischen Frakturen (1) und Patient(inn)en mit Frakturen, denen ein adäquates Trauma vorausgegangen war (2). Pathologische Frakturen erhöhten das Komplikationsrisiko um 10%. Patient(inn)en mit nicht pathologischen Frakturen erlitten in 20% (18/88) der Fälle Komplikationen, Patient(inn)en mit pathologischen Brüchen hingegen zu 31% (4/13).

pathologische # absolut 0=nein, 1=ja	Komplikation post OP		Total
	0	1	
0	70 79.55	18 20.45	88 100.00
1	9 69.23	4 30.77	13 100.00
Total	79 78.22	22 21.78	101 100.00

Fast ein Viertel der Patient(inn)en (24/101) litten an weiteren Erkrankungen neben der Femurschaftfraktur. Anders als erwartet, war für sie die Wahrscheinlichkeit, Komplikationen zu erleiden, niedriger (17%) als für Patient(inn)en ohne Begleiterkrankungen (23%). Siehe auch Tabelle 13.

Tabelle 13: Patient(inn)en mit und ohne Begleiterkrankungen und der jeweilige Anteil der Patient(inn)en, der Komplikationen erlitt (mit Begleiterkrankung 4/24, ohne Begleiterkrankungen 18/77 Patient(inn)en).

BegleitD	Komplikation post OP		Total
	0	1	
0	59 76.62	18 23.38	77 100.00
1	20 83.33	4 16.67	24 100.00
Total	79 78.22	22 21.78	101 100.00

4 Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist es, die Versorgungsrealität von kindlichen Oberschenkelchaftfrakturen an den Traumazentren der Universitätsmedizin Göttingen und Magdeburg (insgesamt 101 Kinder) abzubilden sowie die Risikofaktoren für Komplikationen zu analysieren. Als wichtige Ergebnisse der statistischen Auswertung sind zu nennen:

- Bei 78,22% der Patient(inn)en verlief die Behandlung komplikationsfrei und mit guten Endergebnissen. 21,78% der Erkrankten klagten über Komplikationen – den meisten von ihnen waren ESINs implantiert worden (in 68,12% der Fälle). Zwei Kinder waren von Fehlstellungen betroffen, die nach von Laer (2007) als intolerabel gelten (Varusfehlstellung 15° und Beinverkürzung um 2,5 cm nach Therapie mit ESINs; Rekurvation nach Plattenosteosynthese).
- Die besten Chancen für einen komplikationslosen Verlauf bestehen, unabhängig von der Therapie, für Patient(inn)en im Alter von vier bis acht Jahren (nicht signifikant).
- Die konservative Therapie weist ein signifikant ($P=0.04$) geringeres Komplikationsrisiko auf als die operative. Die mittlere Wahrscheinlichkeit, dass Patient(inn)en unter Komplikationen leiden, beträgt für konservativ behandelte Kinder 15%; sie liegt höher mit 23% für operierte Kinder.
- Im Falle einer operativen Behandlung erweist sich das Alter als ein Risikofaktor, der bereits bis zu 20% für die Variationen von Komplikationen verantwortlich ist. Das geringste Komplikationsrisiko besteht für die Drei- bis Achteinhalbjährigen: Ihr Risiko ist signifikant um 28% ($P=0.015$) geringer als das der unter Dreijährigen. Die Zwölf- bis Dreizehnjährigen weisen wiederum ein um 26,5% ($P=0.066$) signifikant höheres Risiko auf als die unter Dreijährigen.
- Werden den Patient(inn)en elastisch stabile intramedulläre Nägel eingesetzt, spielt neben dem Alter auch das Verhältnis von Markraumdurchmesser zu Drahtdicke eine signifikante Rolle. Liegt das Verhältnis zwischen 1,5 und 2, steigt das Komplikationsrisiko um 30% ($P=0.095$), verglichen mit einem Verhältnis von $<1,5$.

4.1 Quantität und Qualität der Komplikationen im Patient(inn)enkollektiv

Ein Großteil der Patient(inn)en (78,22%) erlebte einen komplikationsfreien Therapieverlauf mit guten Endergebnissen. Circa ein Fünftel der Erkrankten klagte über Komplikationen, den meisten von ihnen (68,12%) waren ESINs implantiert worden. Bei zwei Kindern wurden intolerable Fehlstellungen festgestellt. Insgesamt

beträgt die mittlere Wahrscheinlichkeit unter Komplikationen zu leiden, für konservativ behandelte Kinder 15% und ist somit signifikant ($P=0,04$) geringer als für operierte Kinder (23%). In der Literatur sind vergleichbare Studien mit ähnlichen, aber auch abweichenden Ergebnissen zu finden:

Poolman et al. (2006) analysierten 33 Studien mit insgesamt 2422 Patient(inn)en, die sich eine Femurschaftfraktur zugezogen hatten. Nach ihren Berechnungen sei ein operatives Verfahren komplikationsärmer im Vergleich zu einer konservativen Behandlung (Odds Ratio 0,74). Dies geht einher mit der Feststellung, dass die ESIN-Behandlung insgesamt ein niedrigeres Komplikationsrisiko berge als eine konservative Gips- oder Extensionsbehandlung (Odds Ratio 0,47).

Buechsenschuetz et al. (2002) verglichen den Heilungsverlauf von 68 Kindern mit Femurschaftfrakturen (drei- bis 14jährig). Bei ihnen ist die Komplikationsrate für die konservativ Behandelten mit Gips- und Extensionstherapie (26 Kinder) doppelt so hoch im Vergleich zu denen, die eine Federnagelung erhielten (44% vs. 22%, jedoch nicht signifikant).

Bei beiden Studien ist die **konservative Therapie** mit **mehr Komplikationen** verknüpft als die operative. Die vorliegende Arbeit kommt zu einem gegenteiligen Ergebnis.

Vergleicht man die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit denen von Maier et al. (2003) auf der Ebene der konservativen und operativen Therapie, so scheint es auf den ersten Blick, als ob sich die Aussagen entsprechen⁴. Auf der Ebene der verschiedenen operativen Verfahren zeigen sich jedoch sehr deutliche Unterschiede, die im Folgenden erläutert werden. Die differenzierte Betrachtung ist notwendig, da nahezu 70% der postoperativen Komplikationen in dieser Arbeit auf ESINs entfallen. Innerhalb der operativen Verfahren kommen Maier et al. und die vorliegende Arbeit zu gegensätzlichen Ergebnissen. Dieses Phänomen trifft auch für die Studie von Sela et al. (2013) zu.

Von besonderem Interesse im Kontext dieser Arbeit sind die Studien von Jauquier et al. (2010) und Prata do Nascimento et al. (2013) zum einen wegen ihres Aufbaus und zum anderen auf Grund ihrer Ergebnisse: Die Komplikationsrate für beide Behandlungsansätze, operativ wie konservativ, liegt jeweils ähnlich hoch.

⁴ Maier et al. (2003) untersuchten 101 Patient(inn)en und stellten folgende Komplikationsraten fest: 14% bei konservativer Therapie, 6% bei Behandlung mit ESIN, 44% bei Behandlung mit Fixateur externe. (Beinlängendiskrepanzen >1 cm wurden separat aufgeführt und betrug 4% bei konservativ, 8% bei den mit ESIN und 24% bei den mit Fixateur externe behandelten Kindern.) Insgesamt würde die **konservative Therapie bessere** Ergebnisse zeigen als die operative Therapie. Differenziert man jedoch bei den Behandlungsoptionen, so wäre die ESIN-Technik die komplikationsärmste Therapie.

Jauquier et al. (2010) legten in ihrer Studie den Fokus auf Patient(inn)en mit Femurschaftfrakturen im Alter von null bis vier Jahren. 19 Kinder wurden mit Gips und 27 Kinder mit ESINs behandelt. Die Komplikationsrate (Gips-10,5% vs. ESIN-14,8%) sowie die Ausheilungsrate sind für beide Gruppen ähnlich hoch. Hinsichtlich unterschiedlicher Beinlängen um mehr als 2 cm zeigte die ESIN-Technik bessere Ergebnisse (Gips 26,3% vs. ESIN 18,2%).

Prata do Nascimento et al. (2013) verglichen die konservative mit der ESIN-Therapie bei zwei jeweils gleich großen Patient(inn)engruppen (je 30 Kinder zwischen fünf und 13 Jahren). Die Komplikationsrate betrug in beiden Gruppen 10%⁵, jedoch unterschied sich die Häufigkeit der Beinlängendiskrepanzen erheblich: Bei 13,3% der konservativ behandelten Kinder konnte eine Beinverlängerung (*Overgrowth*) festgestellt werden, hingegen waren es 60% bei den mit ESIN behandelten Kindern.

Die Autoren beider Studien kommen zu dem Schluss, dass die konservative Therapie sich nicht nachteilig, bei Jauquier et al. (2010) sogar vorteilhaft, auswirkt. Sie stützen somit die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. Beide Studien weisen eine insgesamt niedrigere Komplikationsrate aus, jedoch ist auch die wesentlich kleinere Proband(inn)enzahl zu beachten. Hinsichtlich der separat aufgeführten Beinlängendiskrepanzen kommen nur Prata do Nascimento et al. (2013) zu ähnlichen Ergebnissen wie diese Arbeit. In der Studie von Jauquier et al. (2010) hingegen erweist sich die Therapie mit Gips als nachteilig.

Von welchen Komplikationen waren die Patient(inn)en betroffen?

Wachstumsstörungen sind mit 42,11% die häufigste Komplikation in der vorliegenden Untersuchung. Bei der Hälfte der Betroffenen ist bekannt, dass es sich um ein überschießendes Wachstum handelt, also eine Beinverlängerung stattgefunden hat. Bei den übrigen war lediglich festzustellen, dass unterschiedliche Beinlängen vorlagen. Dieses Phänomen ist bekanntermaßen mit Hyperperfusion der Epiphysenfuge und intensiven Remodelling-Vorgängen zu erklären, die zu Längenwachstum führen. Auch langwieriges Reponieren oder Manipulieren der Frakturzone stimuliert das Wachstum. Nach von Laer (2007) ist bei Patient(inn)en unter zehn Jahren mit einer Beinverlängerung (*Overgrowth*) und bei den über Zehnjährigen mit einer Beinverkürzung zu rechnen. Ob bei den Patient(inn)en im untersuchten Kollektiv besonders lange oder wiederholt reponiert werden musste, ist nicht bekannt. Bei allen operativen Eingriffen am kindlichen Knochen sind sich die Chirurgen bewusst, dass besonders die Wachstumsplatte geschont werden muss. Bei

⁵ alle Komplikationen außer Beinlängendiskrepanzen

der elastisch stabilen intramedullären Nagelung wird als Eintrittsstelle ein Punkt circa 2 cm oberhalb der Epiphysenfuge ausgewählt. Wird diese Stelle zu weit distal bzw. proximal vom Schaft ermittelt, kann es zur Epiphysenfugenverletzung kommen. Bei der Betrachtung der Ergebnisse ist ebenfalls zu beachten, dass nicht bekannt ist, ob diese Kinder schon vor der Fraktur an Beinlängendifferenzen litten - nach Heimkes und Günther (2014) und Niethard (2010) sind 30% der Kinder von einer idiopathischen Beinlängendifferenz betroffen. So kann es schon bei geringem Mehr- oder Minderwachstum zu *Overgrowth* bzw. einer Beinverkürzung von pathologischem Ausmaß kommen. Um diese Komplikation differenzierter bewerten zu können, wären die absoluten Maße postoperativ sowie nach dem Abschluss des Wachstums notwendig.

Die Häufigkeit von Wachstumsstörungen wird in der Literatur mit 0% bis 60% angegeben (Maier et al. 2003; Sela et al. 2013; Jubel et al. 2004; Moroz et al. 2006; Prata do Nascimento et al. 2013). Die Komplikationsrate im untersuchten Kollektiv beträgt 42,11% und liegt damit im oberen Drittel der vorgenannten Angaben.

Die zweithäufigste Komplikation, über die Patient(inn)en im untersuchten Kollektiv klagten, hat vermutlich ihren Ursprung in zu lang überstehenden Nagelenden bei der ESIN-Technik: 36,84% litten unter „passagerer Einschränkung der Kniebeweglichkeit“, also unter einer Beugehemmung und/oder einem Streckdefizit. Dieses Problem entsteht laut Metaizeau (2004) durch die Irritation des Musculus vastus medialis oder lateralis und kann bis einige Monate nach der Metallentfernung anhalten. Dietz (1997) sowie Dietz und Schlickewei (2011) weisen darauf hin, dass diese Komplikation zu vermeiden sei durch eine ausreichend lange Hautinzision und Spaltung der Faszie. In der Literatur wird über diese Komplikation kaum berichtet. Lediglich in zwei Studien wird dieses Phänomen beschrieben: In einer Untersuchung von Moroz et al. (2006) litten 0,9% der Patient(inn)en unter eingeschränkter Kniebeweglichkeit⁶, bei Tomaszewski and Gap (2014) 1,63%⁷. Im Kollektiv der vorliegenden Arbeit liegt der Wert bei 36,84% und damit mehr als 22mal so hoch. Dieser Wert liegt vermutlich zu hoch, da keine genauen Angaben zu ermitteln waren über das Ausmaß der Bewegungseinschränkung im Knie. Es ist möglich, dass diese Komplikation angegeben wurde auch bei minimaler Einschränkung. Für eine qualifizierende Aussage wäre eine weiterführende Untersuchung notwendig.

⁶ zwischen 10° und 110°

⁷ mit einer Beweglichkeit von 10° bis 90° bzw. 15° bis 75°

Während die postoperativen Komplikationen in den Studien differieren, werden in fast allen Studien Hautirritationen an Eintrittsstellen der ESINs genannt (Lascombes et al. 2006; Sela et al. 2013; Buechsenschuetz et al. 2002; Jauquier et al. 2010; Narayanan et al. 2004; Moroz et al. 2006; Prata do Nascimento et al. 2013; Jubel et al. 2004). Meist sind die Drahtenden ungenügend gekürzt und irritieren darüber liegendes Weichteilgewebe oder die Drähte migrieren aus dem Knochen und perforieren die Haut. Als Folge könnten sich Haut, Weichteile und der Knochen infizieren oder es könnte zu einer Stabilitätsminderung der Frakturzone kommen (Bandyopadhyay und Mekherjee 2013; Reynolds et al. 2012; von Laer et al. 2013).

Im untersuchten Kollektiv waren nur 1,98% (2/101) der Erkrankten von Hautperforationen betroffen. Dies entspricht 10,53% aller Patient(inn)en mit postoperativen Komplikationen.

Jubel et al. (2004) empfehlen neben der ausreichend breiten Faszienspaltung (2cm) die Verwendung eines speziellen Stößels aus dem TEN-Set der Firma Synthes (Bochum) um diese Komplikation zu vermeiden. Sie befürworten, die Drähte nach der korrekten Platzierung im Knochen noch einmal zurückzuziehen und um circa 3 cm zu kürzen und sodann die Drahtenden mit dem genannten Stößel ausreichend tief in den Weichteilen zu versenken.

Um diese Art von Komplikationen zu vermindern, entwickelte die Arbeitsgruppe für Osteosynthese (mit Sitz in der Schweiz) so genannte End Caps. Sie werden auf das circa 1cm überstehende Drahtende aufgesetzt. Über ihr Gewinde wird anschließend der Nagel in der Kortikalis verankert. Die Anwendung wird in der Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie (publiziert von AWMF im Jahr 2014)⁸ empfohlen. Nectoux et al. (2008) veröffentlichten eine Untersuchung an zehn Kindern, die mit ESINs und End Caps versorgt wurden und exzellente Behandlungsergebnisse aufwiesen. Insbesondere traten keine Hautirritationen, Schmerzen oder Infektionen auf. Außerdem wurde die Metallentfernung erleichtert und dadurch große Narben vermieden. Die Autoren merken an, dass durch die größere Stabilität womöglich weniger Mikrobewegung stattfindet und es zu einer verzögerten Kallusbildung kommen könnte. Bei den untersuchten Patient(inn)en beobachteten sie eine weniger stark ausgeprägte Kallusbildung als bei vorherigen Nagelungen ohne End Caps. Es entstanden daraus jedoch keine Komplikationen für die Kinder.⁹ Kaiser et al. (2011) prüften die Stabilität durch Endkappen mit einem Spiralfraktur-Modell in vitro und

⁸ <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/006-016.html>, Zugriff am 15.08.2016

⁹ Nur ein(e) Patient(in) benötigte einen Monat länger bis zur vollständig belastungsfähigen Frakturkonsolidierung (Nectoux et al. (2008)).

konnten keine zusätzliche Stabilität im Vergleich zur Nagelung ohne Endkappen feststellen.

Malunion, sekundäre Dislokation und Malreduktion traten jeweils ein- oder zweimal (0,99% oder 1,98%) im Krankengut auf. Dies ist wenig im Vergleich zu anderen Studien: (Narayanan et al. 2004) litten unter einer Malunion und 8% in der Studie von Lascombes et al. (2006). Die Wahl einer falschen Implantatgröße (z.B. zu dünne ESINs) oder das falsche Repositionsverfahren können zu solchen Komplikationen führen.

Die Ursachen von hypertrophischen Narben/Keloiden (zweimal im Patient(inn)enkollektiv), Wundheilungsstörungen und Pin-Trakt-Infektionen (je einmal) sind nicht eindeutig auszumachen. Beides kann auf Grund einer genetischen Prädisposition oder anderer Grunderkrankungen hervorgerufen werden und/oder durch nicht ausreichend hygienische Bedingungen.

Ein zweieinhalbjähriger Junge mit offener Spiralfaktur erlitt ein Kompartmentsyndrom, nachdem er mit ESINs versorgt worden war. Diese Komplikation ist jedoch nicht typisch für die intramedulläre Nagelung, sondern muss im Kontext mit der offenen Fraktur gesehen werden. Der Bruch führte vermutlich zu starkem Einbluten ins Gewebe, wo sich der Druck auf pathologische Werte erhöhte. In nur *einer* weiteren Studie (Sink et al. 2005) wurde ein Kompartmentsyndrom nach einer ESIN-Behandlung verzeichnet.

Über folgende weitere Komplikationen der ESIN-Behandlung wird in der Literatur berichtet: tiefe Wundinfektionen, Hautnekrose, Implantatbruch, Synovitis, neurologische Ausfälle, Refraktur, Osteomyelitis, Lungenembolie (Tomaszewski and Gap 2014; Bandyopadhyay und Mekherjee 2013; Lascombes et al. 2006; Narayanan et al. 2004; Moroz et al. 2006; Buechsenschuetz et al. 2002). Keine dieser Komplikationen trat im Krankengut dieser Arbeit auf.

Im vorliegenden Patient(inn)enkollektiv sind sechs Revisionen zu verzeichnen (5,94%). Insgesamt fünf Patient(inn)en waren betroffen. Bei einem Patienten bzw. einer Patientin wurde der Therapieansatz mit ESINs trotz Re-Operation beibehalten, in den übrigen Revisionsfällen wurde das Therapieverfahren gewechselt. Dabei war auffällig, dass bei zwei Patient(inn)en auch nach Revision weiterhin Komplikationen bestanden.

Die Re-Operationsrate bei einer operativen Therapie war mit 5,2% (4/77) halb so hoch wie bei der konservativen Therapie mit 10,53% (2/19). In diesen zwei Fällen wurde von der konservativen Therapie auf ESINs gewechselt. Die Re-Operationsraten verschiedener operativer Verfahren unterscheiden sich jedoch deutlich voneinander:

Je zweimal wurden Fixateur externe (2/3 bzw. 66,67%) oder ESINs (2/62 bzw. 3,23%) ersetzt. Diese Beobachtung zeigt, dass mehr als die Hälfte der Kinder, die mit einem Fixateur externe behandelt worden waren, erneut operiert werden mussten.

Um diese Aspekte differenzierter zu betrachten, sind die dieser Studie zu Grunde liegenden Daten kaum geeignet (z.B. Stichprobengröße und Mehrfachnennungen). Vergleicht man die oben genannten Zahlen mit der Literatur, werden die eigenen Beobachtungen bestätigt und es ergibt sich folgendes Bild:

Ramseier et al. (2010) berichten über die Häufigkeiten von Re-Operationen bei 104 operativ versorgten Kindern mit Oberschenkelfrakturen. Auch in ihrem Patient(inn)enkollektiv war die Notwendigkeit einer Re-Operation bei den mit Fixateur externe behandelten Kindern am häufigsten – in 52% der Fälle (16/33). Kinder, denen ESINs implantiert worden waren, benötigten in 8% der Fälle eine zweite operative Behandlung.

Ähnliche Ergebnisse sind 2004 von Jubel et al. veröffentlicht worden. Sie notieren drei Korrekturoperationen bei 47 Kindern, die mit ESINs behandelt worden waren. Der Anteil ist mit 6,38% gering, er ist jedoch doppelt so hoch verglichen mit dem den Patient(inn)en der vorliegenden Arbeit.

Bei Sink et al. (2005) fällt die Revisionsrate vergleichsweise hoch aus. Sie untersuchten die Re-Operationsrate von 39 Kindern mit Femurfrakturen, die mit elastisch stabilen Titannägeln (ESINs) behandelt worden waren: 21% mussten sich ein zweites Mal einer operativen Therapie unterziehen. (Das ist eine der höchsten Raten, die in der Literatur für die ESIN-Therapie beschrieben werden.)

Einzelne Veröffentlichungen beschreiben revisionspflichtige Komplikationen sowohl beim konservativen als auch beim operativen Therapieansatz: Sela et al. (2013) berichten über die Revisionsnotwendigkeit lediglich bei Behandlung mit Gips oder Fixateur externe. In zehn Fällen musste erneut repositioniert und ein Gips angelegt werden (10/151 bzw. 6,62%). In einem weiteren Fall wurde auf ein operatives Verfahren gewechselt (Konversionsrate = 0,66%). Die Revisionsrate der konservativ behandelten Kinder (6,62%) fällt niedriger aus als im hier untersuchten Kollektiv (10,53%).

Ein noch deutlicherer Unterschied besteht bei den mit Fixateur externe Behandelten. Lediglich bei einem von 14 Patient(inn)en, die Sela et al. (2013) untersuchten, war eine Reoperation notwendig (7,14% bei n=14) - dies ist deutlich weniger als im Patient(inn)enkollektiv dieser Arbeit (66,67% bei n=3).

4.2 Alter als Risikofaktor für Komplikationen

Das untersuchte Patient(inn)enkollektiv umfasst eine Altersspanne von drei Monaten bis 15 Jahren und sieben Monaten (Durchschnittsalter 7,05 Jahre). Um möglichst differenzierte Erkenntnisse bezüglich der Versorgung und der Komplikationen im Wachstumsalter zu gewinnen, wurden Patient(inn)en im Alter von null bis 16 Jahren berücksichtigt. Die Jüngsten (null bis drei Jahre) wurden aus folgenden Gründen einbezogen: Obwohl in der Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie¹⁰ die operative Therapie erst ab dem dritten Lebensjahr empfohlen wird, stellen Strohm und Schmittbecher (2014) fest, dass bereits 51% der unter Dreijährigen bei einer Femurschaftfraktur operativ behandelt werden (50% mit ESIN, 1% mit Fixateur externe).

Die Altershöchstgrenze wurde bei 16 Jahren festgelegt, da sich die Wachstumsfugen des proximalen und distalen Femurpols individuell zwischen dem 15. und 18. Lebensjahr schließen. (Mit dem Fugenschluss wäre eine Spontankorrektur ausgeschlossen.) Mit der gewählten Altershöchstgrenze sollte vermieden werden, dass Daten von Patient(inn)en mit einem ausgereiften Skelett in die Analyse eingehen.

Die gewählte Altersspanne dieser Studie konnte nur in *einer* weiteren Veröffentlichung gefunden werden (Sela et al. 2013).

Im Folgenden wird auf das Alter als Risikofaktor für Komplikationen detailliert eingegangen: 21,78% der Kinder litten unter Komplikationen. Die meisten von ihnen wurden operativ mit der elastisch stabilen intramedullären Nagelung (68,12%) behandelt. Die besten Chancen für einen komplikationslosen Verlauf bestehen therapieunabhängig für die Vier- bis Achtjährigen (statistisch jedoch nicht signifikant).

Die Leitlinie¹¹ mit ihrer Empfehlung, bis zum dritten Lebensjahr konservativ zu behandeln, wird durch diese Arbeit gestützt, auch wenn die unter Vierjährigen nicht zur komplikationsärmsten Gruppe zählen. Die konservative Behandlungsmethode stellte sich als signifikant komplikationsärmer im Vergleich zur operativen (15% vs. 23%) heraus. Differenziertere Angaben dazu können nicht gemacht werden, da bei 16 der 19 konservativ behandelten Kinder das Alter nicht zu ermitteln war. Es ist jedoch davon auszugehen, dass Kinder unter drei Jahren eher operiert, als über Dreijährige konservativ behandelt worden sind (vgl. Strohm und Schmittbecher 2015) sowie Ergebnisse Kapitel 3.2 und 3.3: Anzahl der konservativ Behandelten=19, Anzahl der

¹⁰ (S1-AWMF-Leitlinie, Stand 09/2014)

¹¹ Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie, siehe Fußnote 9

unter Vierjährigen=36). Diese Schlussfolgerung bildet eine Tendenz ab und benötigt zu ihrer Validierung weitere Untersuchungen.

Im Unterschied dazu liegen für die operative Therapie signifikante Ergebnisse vor. Hier macht allein das Alter bis zu 20% der Variationen der Komplikationen aus. Das höchste postoperative Komplikationsrisiko im Kollektiv besteht für die Zwölf-/Dreizehn-Jährigen. Sie haben ein um 26,5% höheres Risiko als die unter Dreijährigen. Das geringste Risiko besteht für die Drei- bis Achteinhalbjährigen, denn sie haben ein 28% niedrigeres Risiko als die unter Dreijährigen. Alle Ergebnisse sind signifikant.

Die unter Dreijährigen gehören also nicht zur risikoärmsten Gruppe, wenn sie operiert werden. Somit liegt die Schlussfolgerung auch hier nahe, dass die Jüngsten (null bis drei Jahre) konservativ therapiert werden sollten (siehe oben und Leitlinie). Biomechanisch und physiologisch gibt es eine Erklärung für häufige Frakturen im Kleinkindalter: Das Skelett ist noch nicht hinreichend verknöchert und robust, sodass die kindlichen Knochen bei einem Sturz leicht brechen können (Rewers et al. 2005). Eventuell ist dies auch der Grund für häufigere Komplikationen bei der Frakturheilung in diesem Alter.

Es kann weder ein einzelner Faktor (wie z.B. Unfallursache, Body-Maß-Indices, Fraktur-, Repositionsformen, Implantationsmaterial) noch eine Kombination von Faktoren ausgemacht werden, die das Komplikationsrisiko in diesen spezifischen Altersgruppen erhöhen - außer das Verhältnis Markraumdurchmesser zur Drahtdicke im Falle einer ESIN-Implantation. Es ist bemerkenswert, dass das Alter, in dem das höchste Komplikationsrisiko besteht, mit dem Alter hoher Wachstumsgeschwindigkeit zusammenfällt (dritte Wachstumsphase). Laut Niethard et al. (2009) liegt das Maximum des Wachstumsschubs bei Mädchen um das zwölfte und bei Jungen um das 14. Jahr des Skeletalters. Möglicherweise können die physiologischen Eigenschaften der pubertären Knochen das hohe Komplikationsrisiko der Zwölf-/Dreizehn-Jährigen erklären.

In nur *einer* weiteren Studie wurde das Alter als Risikofaktor für Komplikationen nachgewiesen: Moroz et al. (2006) untersuchten 234 kindliche Femurfrakturen, die mit ESINs behandelt wurden. Das Alter war ein signifikant unabhängiger Prädiktor für die Qualität des Endergebnisses und stützt die Resultate der vorliegenden Arbeit. Bei Moroz et al. (2006) beträgt die Odds Ratio für ein schlechtes Endergebnis 3,86, wenn die Wahrscheinlichkeit für ein schlechtes Endergebnis für die über Elfjährigen zu der der Jüngeren ins Verhältnis gesetzt wird. Somit unterliegen die unter Elfjährigen einem geringeren Risiko für ein schlechtes Therapieergebnis. Die Autoren erklären dieses Ergebnis teilweise mit den strengeren Kriterien, die bei Wachstumsstörungen über

Zehnjähriger angelegt werden. So werden gleichartige Fehlstellungen im Alter unter zehn Jahren nicht als Komplikation gewertet, die bei den über Zehnjährigen als intolerable Achsfehlstellung oder Beinlängendifferenz gelten. Diese Erklärung greift allerdings nicht für das im eigenen Patientengut aufgetretene erhöhte Komplikationsrisiko (im Alter von zwölf/dreizehn).

Die Inzidenz von Femurschaftfrakturen ist generell niedrig und es sind keine Studien bekannt, die den Zusammenhang zwischen dem zwölften/dreizehnten Lebensjahr und dem Risiko für Komplikationen bei der operativen Behandlung von Femurschaftfrakturen erklären. Um Hypothesen abzuleiten, muss auf Untersuchungen mit anderen Schwerpunkten verwiesen werden.

Seit den 1990er Jahren wird in Studien wiederholt festgestellt, dass das Frakturrisiko im Alter von zwölf bis 13 Jahren extrem ansteigt (besonders für eine distale Radiusfraktur) und dies nachweislich in Zusammenhang steht mit den Umbauvorgängen des Knochens während des finalen Wachstumsschubs (Parfitt 1994; McKay et al. 1998; Bonjour et al. 1994; Rauch 2012; Fournier et al. 1997; Chevalley et al. 2011; Chevalley et al. 2012; Kalkwarf et al. 2011; Bonjour und Chevalley 2014).

Fournier et al. (1997) sowie Bonjour und Chevalley (2014) beschreiben eine zeitliche Ungleichheit bei der Zunahme der Knochenlänge und Knochenmasse. Die größte Diskrepanz der beiden Maße tritt mit dem pubertären Wachstumsschub auf – bei Mädchen im Alter von elf bis zwölf, bei Jungen zwischen 13 und 14 Jahren (entspricht den Entwicklungsstufen P2-P3). Das Längenwachstum nimmt hier so schnell zu wie nie zuvor im Wachstumsalter. Um ein Jahr versetzt wird der Knochenmineralgehalt/die Knochendichte rasant angereichert, ebenfalls einzigartig schnell, und „holt“ das relative Knochenmassendefizit „auf“ (*peak bone mineral content velocity*, Bonjour und Chevalley 2014). Es wird daraus geschlossen, dass während des relativen Defizits des Knochenmineralgehalts, eine erhöhte Fragilität für kindliche/jugendliche Knochen besteht. Es ist nicht auszuschließen, dass die gleichen Faktoren zu einem erhöhten Komplikationsrisiko im Patientengut beitragen. Unter Umständen bieten ESIN-Implantate nicht ausreichend Stabilität in genau dieser pubertären Umbau- und Remodelling-Phase (Vergleiche auch 4.3).

Parfitt (1994) konstatiert, dass infolge des Wachstums bzw. für das Wachstum im metaphysären Bereich, kortikales Kalzium verwendet würde und somit die Kortikalis vorübergehend vermehrt porös sei. Es ist vorstellbar, dass eine poröse Kortikalis dem Anpressdruck durch ESINs nicht adäquat standhält und Komplikationen auftreten.

Denkbar ist auch, dass gerade dort, wo das Wachstum stattfindet (Metaphyse), die Drahtenden der Federnägel einen minimalen Wachstumsreiz setzen. In Kombination

mit fraktur- und altersbedingten intraosseären Umbauten könnte dies zu unterschiedlichen Beinlängen führen. Dies könnte eine Erklärung sein für die häufigste Komplikation im Patient(inn)enkollektiv.

Die zweithäufigste Komplikation im untersuchten Patient(inn)enkollektiv sind Bewegungseinschränkungen im Knie. Dies kann zum einen durch ungenügend gekürzte Federnägel nach der Implantation verursacht sein¹². Jedoch gibt es keine Berichte über besondere Schwierigkeiten dafür bei zwölf-/dreizehnjährigen Kindern. Eine andere Möglichkeit der Erklärung ist die von Niethard et al. (2009) erwähnte „Pubertätssteife“. Bei außergewöhnlich schnellem Längenwachstum der Röhrenknochen wächst der Skelettmantel nicht rasch genug mit. Dann sind Sehnen und Muskeln relativ verkürzt und Bewegungen eingeschränkt. Es ist zu vermuten, dass eine Kombination der genannten Faktoren (überstehende Nagelenden, irritierter Muskel und relativ verkürzte Sehnen) zu dem hohen Komplikationsrisiko der Zwölf-/Dreizehnjährigen führt.

In der Literatur werden Kalzium, Vitamin D, die Menge von Proteinen in der Nahrung, das Alter bei Einsetzen der Pubertät, Thanner Stadien und Bewegung als Einflussfaktoren auf die Knochenstabilität im Jugend- und Erwachsenenalter diskutiert (Wang et al. 2009; Xu et al. 2009; Chevalley et al. 2012; Ferrari et al. 2006; Rauch 2012; Bonjour und Chevalley 2014; McKay et al. 1998; Parfitt 1994). Vom untersuchten Patientengut liegen keine Informationen bezüglich der Ernährung, Knochendichte, Pubertätsstadien oder sportlicher Aktivitäten vor. Mögliche Zusammenhänge sind deshalb nicht zu überprüfen. Es bedarf weiterer Untersuchungen, um festzustellen, ob diese Faktoren die Komplikationsrate beeinflussen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die in den Leitlinien angeratene konservative Therapie für die unter Dreijährigen ihre Berechtigung hat. Bei wenigen der konservativ Behandelten konnte das Alter festgestellt werden – daher sind hier keine differenzierteren Aussagen möglich.

Die vorliegende Arbeit bestätigt, dass die operative Therapie mit ESINs ab dem dritten Lebensjahr grundsätzlich zu empfehlen ist – hier besteht das geringste Komplikationsrisiko. Dies gilt uneingeschränkt für die Kinder im Alter von drei bis achteinhalb Jahren.

Für die Zwölf-/Dreizehnjährigen besteht das höchste Komplikationsrisiko bei einer operativen Therapie. Die altersspezifischen Knochenveränderungen und Besonderheiten während des Wachstums müssen bei der Therapie stärker beachtet werden.

¹² Die Benutzung von End Caps könnte dieser Komplikation vorbeugen, siehe auch 4.1.

4.3 Verhältnis von Markraumdurchmesser zu Drahtdicke als Risikofaktor für Komplikationen bei der ESIN-Therapie

Werden Patient(inn)en mit ESINs behandelt, spielt neben dem Alter auch das Verhältnis von Markraumdurchmesser zu Drahtdicke eine signifikante Rolle für das Komplikationsrisiko. Der Federnagel-Hersteller empfiehlt eine Drahtdicke zu wählen die jeweils mindestens 40% des Markraumdurchmessers entspricht: Es werden in der Regel zwei ESINs eingesetzt, sodass dann 80% der Markraumbreite ausgefüllt wären.

Die vorliegende Arbeit stützt diese Empfehlung. Bei einem Verhältnis von Markraumdurchmesser zu Drahtdicke zwischen 1,5 und 2, nimmt das Komplikationsrisiko – verglichen mit dem Verhältnis $<1,5$ - um 30% ($P=0.095$) zu.

Ist das Verhältnis zwischen 1 und 1,5 gewählt worden, also im komplikationsärmeren Bereich, füllen die Nägel die Markraumbreite zu 100% bis 75% aus. Je größer das Verhältnis von Markraumdurchmesser zur Drahtdicke, desto mehr unausgefüllter Markraum bleibt zurück. Für ausreichend Stabilität und Komplikationslosigkeit bei der Frakturheilung sollte der Markraum ausgefüllt sein. Wählen Operateure zu dünne ESINs, erhöht sich signifikant das Komplikationsrisiko für die Erkrankten.

Die Ergebnisse einer Studie von Flinck et al. (2015) bilden eine ähnliche Tendenz ab. Sie testeten am Modell die Stabilität von zwei und vier ESINs mit End Caps sowie vom Adoleszentenagel bei einer längsinstabilen Femurschaftfraktur (Markraumbreite 10 mm). Am stabilsten erwies sich der Marknagel und fast ebenso stabil vier ESINs ($\approx 3,00$ mm). War der Markraum durch Implantate stärker ausgefüllt, so erwies sich das Frakturmodell als stabiler. Dies ist eine wichtige Beobachtung, besonders für die Behandlung von Patient(inn)en, die durch höheres Gewicht ihre (Femur-)Knochen belasten.

Aufschlussreich ist auch die Betrachtung der beiden Risikofaktoren *Alter* (siehe oben) und *Verhältnis* (Verhältnis von Markraumbreite zu ESINs) in Kombination. Während mit dem Alter bereits 20% der Komplikationen zu erklären sind, steigt der Anteil auf 30%, sobald man das komplikationsreichere Verhältnis 1,5 bis 2 hinzunimmt. Ein Drittel der Komplikationen sind also durch diese beiden Risikofaktoren zu erklären. Da alle Ergebnisse signifikant sind, sollte eine Senkung des Komplikationsrisikos an diesen beiden Faktoren ansetzen.

Weitere Studien bestärken die Vermutung, dass eine Behandlung respektive ein Implantat mit höherer Stabilität als die ESIN-Therapie sich günstig auf die Komplikationsrate bei den Zwölf-/Dreizehnjährigen auswirkt.

Cooper et al. (2008) stellen fest, dass sich die Knochendichte eines jugendlichen Tibischafte segmental intraindividuell unterscheidet: So weisen die lateral-posterioren

und medial-posterioren Segmente die höchste Knochendichte auf, die anterioren die niedrigste. Die Autoren schließen daraus, dass Remodelling-Vorgänge im Knochen nicht gleichmäßig ablaufen, sondern die Mikroarchitektur an Belastung bzw. Gewicht (*loading*) angepasst wird. Informationen solcher Art liegen über die Kortikalis des Femurschaftes nicht vor, könnten jedoch hilfreich sein für die Erklärung der Komplikationsrate bei den operativen Therapien. Zu Beginn der Pubertät weist der kindliche Knochen durch vermehrten Umbau eine höhere Porosität auf (vergleiche 4.2). Es ist nicht auszuschließen, dass bei der Implantation mit zwei ESINs (wie bisher üblich) besondere Belastungsmuster innerhalb des Knochens auftreten und somit auch Remodellingprozesse in einer Weise beeinflusst werden, die in Komplikationen münden. Um diese Überlegungen zu überprüfen, bedarf es weiterer Untersuchungen. Sollte sich diese Annahme bestätigen, wäre abermals für Kinder in diesem Alter eine Therapie zu fordern, die für größerer Stabilität im Knochen sorgt.

Ein alternatives Implantat ist der Adoleszentennagel. Die Leitlinie weist speziell für Kinder, die mehr als 49 kg wiegen oder hoch gewachsen sind, auf diesen Marknagel hin. Er kann lateral am Trochanter major eingeführt werden um die schwere Komplikation einer avaskulären Kopfnekrose zu vermeiden. Studien zeigen sehr gute Behandlungsergebnisse bei dieser Methode – teilweise sogar bessere als bei der ESIN-Technik (Reynolds et al. 2012; Keeler et al. 2009; Martus 2016)

Reynolds et al. (2012) verglichen die Komplikationsrate und Behandlungsergebnisse von Kindern, die mit ESINs oder einem Adoleszentennagel (ALFN) behandelt wurden. Die Rate der Komplikationen unterschied sich nicht signifikant und in der ALFN Gruppe traten keine schweren Komplikationen (*major complications*) auf. Die mit ALFN behandelten Kinder belasteten ihr operiertes Bein doppelt so schnell wie die mit ESIN behandelten. Kinder in der ALFN Kohorte waren älter und durchschnittlich schwerer. Dies schränkt die Bewertung der Ergebnisse jedoch nicht ein, da der Adoleszentennagel speziell entwickelt wurde für schwere und hoch gewachsene Patient(inn)en.

Martus (2016) erstellte eine Synopsis der aussagekräftigsten Patient(inn)enstudien mit ALFN: Diese Therapie zeigte gute Ergebnisse. Osteonekrose und Wachstumsstörungen würden nicht auftreten. So scheint der Adoleszentennagel eine gleichwertige Alternative zur ESIN-Technik zu sein. Als Mindestalter hält Martus (2016) das zehnte Lebensjahr als Richtwert fest, auch wenn die Jüngsten in den von ihm herangezogenen Studien erst sieben Jahre alt sind.¹³

¹³ Keeler et al. (2009) sind der Auffassung, die Behandlung mit dem Adoleszentennagel sei eine sichere Therapie für Kinder ab *neun* Jahren.

Es lässt sich festhalten, dass das Komplikationsrisiko bei einer ESIN-Implantation ansteigt, wenn der unausgefüllte Markraum mehr als 25% beträgt. In Zusammenschau mit dem Alter als zusätzlichem Risikofaktor sollte eine alternative Therapie zur ESIN-Technik für die Zwölf-/Dreizehnjährigen in Betracht gezogen und geprüft werden. Eine Alternative, die in bisherigen Studien gute Ergebnisse gezeigt hat, ist der Adolescentennagel. Er wurde ursprünglich für übergewichtige Kinder und hoch gewachsene Jugendliche entwickelt. Möglicherweise bietet er auch normalgewichtigen, jüngeren Patient(inn)en eine komplikationsärmere Therapieoption.

4.4 Grenzen der vorliegenden Dissertation

Die Aussagen dieser Arbeit beziehen sich auf die Stichprobe $n = 101$ und beanspruchen keine Allgemeingültigkeit. Die Stichprobe ist im Vergleich zu anderen Studien relativ klein, sie umfasst dennoch alle in den beiden Universitätsklinika Göttingen und Magdeburg dokumentierten Fälle (Klinikum Göttingen: 2006 bis 2013, Klinikum Magdeburg 2003 bis 2010, vgl. 2.1).

Die der Arbeit zugrunde liegenden Daten wurden an Hand der Krankenakten der Universitätsklinika Göttingen und Magdeburg erhoben und retrospektiv analysiert. Die Akten waren teilweise unvollständig und somit die Analysemöglichkeiten eingeschränkt. Zudem lagen eine Reihe von Bedingungsfaktoren nicht vor, die eine weitergehende Analyse ermöglicht hätten. Wünschenswert wären zum Beispiel folgende Angaben gewesen: Vor dem Trauma bestehende Beinlängendifferenz, Ernährung (Proteinmenge, Vitamin D, Kalzium), Knochendichte, Häufigkeit von sportlichen Aktivitäten oder jeweilige Entwicklungsstadien.

Es war zudem nicht nachzuvollziehen, ob Patient(inn)en Komplikationen erlitten und möglicherweise zur Behandlung ein anderes als das Ursprungs Krankenhaus (Universitätsklinika Göttingen und Magdeburg) aufgesucht haben. Dadurch sind möglicherweise weniger Komplikationsfälle erfasst, als tatsächlich vorlagen.

5 Zusammenfassung

Für die vorliegende Arbeit wurden retrospektiv Daten eines Patient(inn)enkollektivs ausgewertet, das 101 Kinder mit Femurschaftfrakturen umfasst. Die Erkrankten waren in der Universitätsmedizin Göttingen (1.1.2006 bis 1.11.2013) oder Magdeburg (1.5.2003 bis 31.12.2010) behandelt worden. Ziel dieser Studie war es, die Versorgungsrealität abzubilden, die Quantität und Qualität der Komplikationen zu erfassen und Risikofaktoren für die Komplikationen auszumachen.

Das Durchschnittsalter im Patientengut beträgt 7,05 Jahre (Altersspanne drei Monate bis 15 Jahre und drei Monate). 67,33% der Erkrankten waren männlich. Die Unfallmechanismen unterschieden sich je nach Alter: Unter Dreijährige verunfallten zumeist beim „Toben/Spielen“ (25%) oder durch einen Sturz ≤ 1 m (17%), Drei- bis Achteinhalbjährige zogen sich ein Quetschtrauma (17%) zu oder stürzten beim Fahrradfahren (17%) und über Achteinhalbjährige verletzten sich am häufigsten im Rahmen eines Verkehrsunfalls (15% als Fußgänger, 12% als Pkw- oder Businsass(inn)en).

Knapp ein Drittel (31,68%) der Erkrankten zog sich eine Spiralfaktur zu, in jeweils 14,85% der Fälle traten Quer- und Schrägfrakturen auf sowie zu 6,93% Mehrfragmentfrakturen. Bei 13/97 Kindern lag eine pathologische Fraktur vor und knapp ein Viertel der Patient(inn)en (23,76%) wies Begleiterkrankungen auf. Die Liegedauer betrug im Durchschnitt 12,32 Tage.

Am häufigsten (77/101) wurde operativ behandelt, zumeist mit ESINs (75,61%), Plattenosteosynthesen (13,42%), Kirschner-Drähten oder Fixateur externe (jeweils 3,66%) sowie jeweils einmal mit einem Marknagel und einer Schraube. Metallentfernung fand nach durchschnittlich 44 Wochen statt. Bei der elastisch stabilen intramedullären Nagelung wurde das Verhältnis von Markraumdurchmesser zur ESIN-Drahtdicke ermittelt: Durchschnittlich betrug das Verhältnis 1,77 (kleinster Quotient 1, größter 4,52).

Mehr als ein Fünftel aller Patient(inn)en klagten über Komplikationen: 42,11% von ihnen über Wachstumsstörungen und 36,84% über Einschränkungen der Kniegelenkbeweglichkeit. Weitere Probleme waren: Hautperforation, Kompartmentsyndrom, Malunion, sekundäre Dislokation, Pin Tract Infection, Wundheilungstörung, Malreduktion und hypertrophe Narbe (jeweils ein- oder zweimal). Zwei Kinder litten unter einer intolerablen Achsfehlstellung. Infolge von Komplikationen kam es fünfmal

zum Verfahrenswechsel. Hervorzuheben ist, dass **bei 78,22% der Erkrankten die Behandlung ohne Komplikationen** und mit gutem Endergebnis verlief.

Im Folgenden wurde der Einfluss verschiedener Parameter auf die Komplikationsrate überprüft. Kinder zwischen vier bis acht Jahren hatten therapieunabhängig die besten Chancen für einen komplikationsfreien Verlauf (nicht signifikant).

Da die konservative Therapie mit einem signifikant geringeren Risiko für Komplikationen einherging als die operative (15% vs. 23%), ist bei den unter Dreijährigen leitliniengerecht weiterhin die konservative Therapie zu empfehlen. Differenziertere Angaben können nicht gemacht werden, da nur von einigen konservativ behandelten Kindern das Alter zu ermitteln war oder die Analyse keine signifikanten Ergebnisse erbrachte.

Bei der operativen Therapie war ein Risikofaktor das *Alter*. Damit konnten bereits 20% der Komplikationen erklärt werden. Das geringste Komplikationsrisiko bestand für die Drei- bis Achteinhalbjährigen, das höchste für die Zwölf-/Dreizehnjährigen. Den meisten der operativ Versorgten waren ESINs eingesetzt worden (68,12%). Bei dieser Methode konnte ein weiterer Risikofaktor ermittelt werden: Das *Verhältnis* von Markraumdurchmesser zur Nageldicke. Betrug das Verhältnis zwischen 1,5 bis 2 und lagen somit neben den Kraftträgern im Knochen noch 25% bis 50% unausgefüllter Markraum vor, war das Komplikationsrisiko signifikant erhöht (verglichen mit dem Verhältnis <1,5).

Die Kombination beider Risikofaktoren erklärt 30% der Komplikationsrate. Bei der Bewertung müssen die biomechanischen Eigenschaften des pubertären Knochens beachtet werden: In der Literatur wird über eine stärkere Fragilität durch vermehrten Umbau während des Wachstumsschubs berichtet. Möglicherweise tragen die gleichen Eigenschaften zum Komplikationsrisiko der Zwölf-/Dreizehnjährigen bei. Wachstumsstörungen treten häufig nach Frakturen oder wiederholten Repositionsversuchen durch eine gesteigerte Perfusion auf. Es ist nicht auszuschließen, dass durch die alters-typischen Remodellingvorgänge und durch zu dünne ESIN-Drähte Mikrobewegungen in erhöhtem Maße stattfinden, die ein *Overgrowth* stimulieren.

Auch die zweithäufigste Komplikation könnte durch eine pubertätstypische Besonderheit ausgelöst sein: Eingeschränkte Bewegungsfreiheit im Knie kann durch unzureichend gekürzte Nagelenden und/oder „Pubertätssteife“ (relativ verkürzte Sehnen und Muskeln im Vergleich zum rasant wachsenden Knochen) entstehen.

Um das Komplikationsrisiko zu senken, sollte auch an eine alternative Therapie, wie zum Beispiel den Adoleszenten Nagel, gedacht werden. Er bietet eine größere Stabilität

und füllt eine größere Durchschnittsfläche aus als ESINs. Studien hierzu zeigen gute Endergebnisse, insbesondere weil Wachstumsstörungen oder avaskuläre Femurkopfnekrosen nicht auftraten. Obwohl der Adoleszennagel für adipöse und hoch gewachsene Kinder entwickelt wurde, muss überprüft werden, ob er sich auch für normalgewichtige (prä-)pubertäre Kinder als komplikationsärmere Behandlungsmethode herausstellt.

Für die Drei- bis Achteinhalbjährigen, die Gruppe mit dem geringsten Komplikationsrisiko, scheint die ESIN-Behandlung die zu empfehlende Therapie zu sein. Diese Arbeit stützt somit in Teilen die Leitlinien der Gesellschaft für Kinderchirurgie.

6 Anhang

6.1 Fehlstellung nach Gresing

Auch Gresing (2011) definiert Fehlstellungsgrenzen und differenziert stärker beim Alter der Kinder zum Unfallzeitpunkt. Die Grad- und Längenangaben für akzeptable Fehlstellungen sind Tabelle 14 zu entnehmen.

Tabelle 14: Akzeptable Fehlstellungen am Femurschaft nach Gresing (2011)

Art der Fehlstellung	akzeptable Fehlstellungen je nach Altersgruppe			
	bis zum 1. Geburtstag	bis zum 3. Geburtstag	bis zum 10. Geburtstag	älter als 10 Jahre
Verkürzung	2 cm	2 cm	1 cm	1 cm
Varus	30°	25°	10°	5°
Valgus	20°	15°	10°	5°
Antekurvatur	20°	20°	15°	5°
Rekurvatur	15°	10°	10°	5°
Rotation	< 10°	< 10°	0	0

6.2 Pädiatrische Frakturklassifikation für lange Röhrenknochen nach Slongo

Angelehnt an die AO-Klassifikation nach Müller entwickelten die Arbeitsgruppen „AO Pediatric Classification Group“, „AO Pediatric Expert Group“ und „AO Clinical Investigation and Documentation Group“ unter der Leitung von Theddy Slongo und Laurent Audigé im Jahr 2007 eine Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. Sie trägt den Titel „AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures (PCCF)“.

Jede Fraktur erhält einen Zahlen-Buchstaben-Code, wobei die ersten vier Ziffern die Lokalisation, die weiteren zwei (eventuell drei) Ziffern die Morphologie der Fraktur beschreiben.

Die erste Ziffer gibt den oder die betroffenen Röhrenknochen an:

1 -Humerus

- 2 -Radius/Ulna
- 3- Femur
- 4- Tibia/Fibula

An zweiter Stelle folgt die Angabe zur Höhe des betroffenen Knochensegments: 1=proximal, 2=diaphysär, 3=distal.

Für den Fall, dass von den paarigen Knochen Radius/Ulna und Tibia/Fibula nur einer frakturiert ist, gibt es die Möglichkeit an dritter Stelle ein „r“, „u“, „t“, „f“ für den betroffenen Knochen hinzuzufügen. Sind Humerus, Femur oder beide der paarigen Knochen betroffen, entfällt die dritte Stelle des Codes.

An vierter Stelle wird das Subsegment ausgewiesen, in dem das Frakturzentrum liegt:

- E –Epiphyse
- M-Metaphyse,
- D- Diaphyse.

Im Gegensatz zum Knochensegment 2 enthalten die Knochensegmente 1 und 3 je zwei Subsegmente: Epi- und Metaphyse. Die Länge der Metaphyse wird am besten mit Hilfe von auf Folien vorgedruckten Quadraten ermittelt. Dabei muss ein Quadrat gewählt werden, dessen Quadratseite der weitesten Stelle der Wachstumsplatte entspricht. Sind Unterarm oder Unterschenkel gebrochen, so müssen die Epiphysenfugen beider Knochen zusammen abgemessen werden.

Im zweiten Teil und an fünfter Stelle des Codes wird eine Zahl von 1-9 verschiedenen kinderspezifischen Frakturmustern zugeordnet.

Die sechste Stelle im Code gibt Informationen über den Schweregrad, wobei lediglich zwischen „einfacher (=1)“ und „komplexer (=2)“ (mehr als zwei Fragmentstücke) Fraktur unterschieden wird.

Für Frakturen, die nicht nach den bisher genannten Ziffern eingeordnet werden können, sind Zusatz- und Ausnahme-Codes definiert worden, bspw. für Bandausrisse, suprakondyläre Humerusfrakturen, proximale Femurfrakturen etc.

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Femurschaftfrakturen würden nach obiger Klassifikation z.B. den Code 32-D/4.1 zur Kennzeichnung einer einfachen Querfraktur erhalten (Slongo et al. 2010; Vogel 2012; Weinberg et al. 2010).

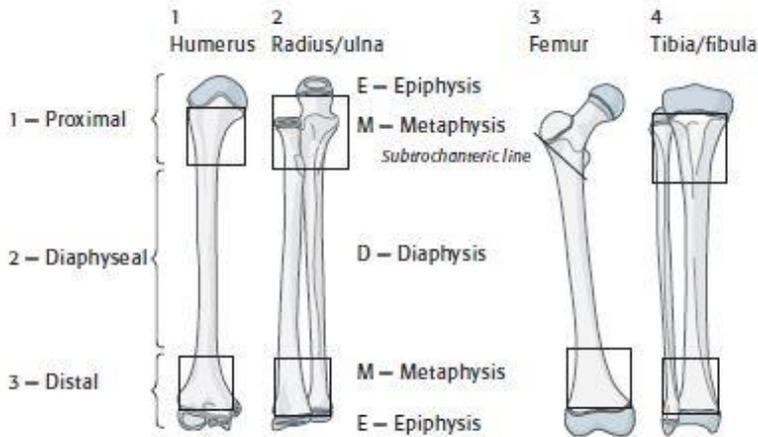


Abbildung 45: Einteilung und Nummerierung der Knochen nach der AO-PCCF

32-D Diaphyseal fractures

Simple	Multifragmentary	Simple	Multifragmentary
32-D/4.1	32-D/4.2	32-D/5.1	32-D/5.2
Complete transverse ($\leq 30^\circ$)		Complete oblique or spiral ($> 30^\circ$)	

33-M Distal metaphyseal fractures

Simple	Multifragmentary	Simple	Multifragmentary
33-M/2.1		33-M/7	
Torus/buckle		Bilateral avulsion	
33-M/3.1	33-M/3.2	33-M/7m	
Complete		Medial avulsion	
		33-M/7l	
		Lateral avulsion	

Abbildung 46: Einteilung von diaphysären Frakturen der AO-PCCF

6.3 Weiterführende Übersichten und Tabellen zu Kapitel 3

Tabelle 15: Häufigkeiten des Unfallgeschehens je nach BMI der Patient(inn)en. (1 = starkes Untergewicht < P3, 2 = Untergewicht P3 - P9.9, 3 = Normalgewicht P10 - P89.9, 4 = Übergewicht P90- P97, 5 = starkes Übergewicht > P97)

Klassifizierung Unfallhergang (1= Sturz <1m, 2= Sturz > 1m, 3= Sturz >3m, 4=Fah	BMI für Alter (1= starkes Untergewicht <P3, 2=Untergewicht P3-9.9, 3= Normalgewi				Total
	1	2	3	4	
Sturz <=1m	0 0.00	0 0.00	7 19.44	0 0.00	8 12.50
Sturz >1m	1 9.09	0 0.00	0 0.00	0 0.00	1 1.56
Sturz >3m	1 9.09	0 0.00	2 5.56	0 0.00	3 4.69
Fahrrad	2 18.18	0 0.00	4 11.11	1 50.00	7 10.94
Fußball	0 0.00	0 0.00	1 2.78	0 0.00	3 4.69
Pferdesport	0 0.00	1 25.00	1 2.78	0 0.00	2 3.13
sonstiger Sport	0 0.00	0 0.00	1 2.78	0 0.00	2 3.13
Toben/Spielen	1 9.09	1 25.00	4 11.11	0 0.00	6 9.38
Pkw-/Businsasse	1 9.09	0 0.00	3 8.33	0 0.00	5 7.81
Fußgänger(in)_Pkw	2 18.18	0 0.00	1 2.78	0 0.00	3 4.69
Fahrradfahrer(in)_Pkw	0 0.00	0 0.00	1 2.78	0 0.00	2 3.13
Gewalt	0 0.00	0 0.00	1 2.78	0 0.00	1 1.56
'umgeknickt'	0 0.00	1 25.00	3 8.33	0 0.00	6 9.38
Anpralltrauma	0 0.00	0 0.00	1 2.78	0 0.00	1 1.56
Quetschtrauma	0 0.00	1 25.00	3 8.33	1 50.00	6 9.38
kein Trauma	1 9.09	0 0.00	0 0.00	0 0.00	3 4.69
Sonstiges	2 18.18	0 0.00	3 8.33	0 0.00	5 7.81
Total	11 100.00	4 100.00	36 100.00	2 100.00	64 100.00

Klassifizierung Unfallhergang (1= Sturz <1m, 2= Sturz > 1m, 3= Sturz >3m, 4=Fah	BMI für Alter (1= starkes Untergewic ht <P3, 2=Untergew icht P3-9.9, 3= Normalgewi 5	Total
Sturz <=1m	1 9.09	8 12.50
Sturz >1m	0 0.00	1 1.56
Sturz >3m	0 0.00	3 4.69
Fahrrad	0 0.00	7 10.94
Fußball	2 18.18	3 4.69
Pferdesport	0 0.00	2 3.13
sonstiger Sport	1 9.09	2 3.13
Toben/Spielen	0 0.00	6 9.38
Pkw-/Businsasse	1 9.09	5 7.81
Fußgänger(in)_Pkw	0 0.00	3 4.69
Fahrradfahrer(in)_Pkw	1 9.09	2 3.13
Gewalt	0 0.00	1 1.56
'umgeknickt'	2 18.18	6 9.38
Anpralltrauma	0 0.00	1 1.56
Quetschtrauma	1 9.09	6 9.38
kein Trauma	2 18.18	3 4.69
Sonstiges	0 0.00	5 7.81
Total	11 100.00	64 100.00

Tabelle 16: Unfallgeschehen bei den unter Dreijährigen (1) im Vergleich zu den Drei- bis Sechzehnjährigen (0).

Klassifizierung Unfallhergang (1= Sturz <1m, 2= Sturz > 1m, 3= Sturz >3m, 4=Fah	jung		Total
	0	1	
Sturz <=1m	7 9.33	4 16.67	11 11.11
Sturz >1m	4 5.33	3 12.50	7 7.07
Sturz >3m	4 5.33	0 0.00	4 4.04
Fahrrad	9 12.00	0 0.00	9 9.09
Fußball	5 6.67	1 4.17	6 6.06
Pferdesport	2 2.67	0 0.00	2 2.02
sonstiger Sport	3 4.00	1 4.17	4 4.04
Toben/Spielen	4 5.33	6 25.00	10 10.10
Pkw-/Businsasse	7 9.33	1 4.17	8 8.08
Fußgänger(in)_Pkw	6 8.00	0 0.00	6 6.06
Fahrradfahrer(in)_Pkw	2 2.67	0 0.00	2 2.02
Gewalt	0 0.00	1 4.17	1 1.01
'umgeknickt'	7 9.33	3 12.50	10 10.10
Anpralltrauma	2 2.67	0 0.00	2 2.02
Quetschtrauma	6 8.00	1 4.17	7 7.07
kein Trauma	4 5.33	1 4.17	5 5.05
Sonstiges	3 4.00	2 8.33	5 5.05
Total	75 100.00	24 100.00	99 100.00

Tabelle 17: Unfallgeschehen bei den Drei- bis Achteinhalbjährigen (1) im Vergleich zu den unter Dreijährigen und über Achteinhalbjährigen (0)

Klassifizierung Unfallhergang (1= Sturz <1m, 2= Sturz > 1m, 3= Sturz >3m, 4=Fah	Alter bei OP >=3 & <8.5		Total
	0	1	
Sturz <=1m	8 13.79	2 8.33	10 12.20
Sturz >1m	3 5.17	1 4.17	4 4.88
Sturz >3m	3 5.17	1 4.17	4 4.88
Fahrrad	4 6.90	4 16.67	8 9.76
Fußball	2 3.45	3 12.50	5 6.10
Pferdesport	2 3.45	0 0.00	2 2.44
sonstiger Sport	3 5.17	0 0.00	3 3.66
Toben/Spielen	8 13.79	1 4.17	9 10.98
Pkw-/Businsasse	5 8.62	2 8.33	7 8.54
Fußgänger(in)_Pkw	5 8.62	0 0.00	5 6.10
Fahrradfahrer(in)_Pkw	1 1.72	1 4.17	2 2.44
Gewalt	1 1.72	0 0.00	1 1.22
'umgeknickt'	3 5.17	3 12.50	6 7.32
Anpralltrauma	1 1.72	0 0.00	1 1.22
Quetschtrauma	3 5.17	4 16.67	7 8.54
kein Trauma	1 1.72	2 8.33	3 3.66
Sonstiges	5 8.62	0 0.00	5 6.10
Total	58 100.00	24 100.00	82 100.00

Tabelle 18: Unfallgeschehen bei den über Achteinhalbjährigen (1) im Vergleich zu den unter Achteinhalbjährigen (0)

Klassifizierung Unfallhergang (1= Sturz <1m, 2= Sturz > 1m, 3= Sturz >3m, 4=Fah	Alter bei OP >=8.5		Total
	0	1	
Sturz <1m	6 12.50	4 11.76	10 12.20
Sturz > 1m	4 8.33	0 0.00	4 4.88
Sturz >3m	1 2.08	3 8.82	4 4.88
Fahrrad	4 8.33	4 11.76	8 9.76
Fußball	4 8.33	1 2.94	5 6.10
Pferdesport	0 0.00	2 5.88	2 2.44
Sonstiger Sport	1 2.08	2 5.88	3 3.66
Toben/Spielen	7 14.58	2 5.88	9 10.98
PKW-/Bus-Insasse	3 6.25	4 11.76	7 8.54
Fußgänger*in_PKW	0 0.00	5 14.71	5 6.10
Fahrradfahrer*in_PKW	1 2.08	1 2.94	2 2.44
Gewalt	1 2.08	0 0.00	1 1.22
umgeknickt	6 12.50	0 0.00	6 7.32
Anpralltrauma	0 0.00	1 2.94	1 1.22
Quetschtrauma	5 10.42	2 5.88	7 8.54
Kein Trauma	3 6.25	0 0.00	3 3.66
Sonstiges	2 4.17	3 8.82	5 6.10
Total	48 100.00	34 100.00	82 100.00

Tabelle 19: Frakturtypen und jeweilige Unfallgeschehen: Beispielsweise ereigneten sich 20% der Schrägfrakturen bei einem Sturz aus einer Höhe von unter einem Meter. Frakturtyp 1 = Querfraktur, 2 = Schrägfraktur, 3 = Spiralfraktur, 4 = Trümmerfraktur, 5 = Mehrfragmentfraktur, 6 = „Femurschaftfraktur“, 7 = nicht zuzuordnen

Klassifizierung Unfallhergang (1= Sturz <1m, 2= Sturz > 1m, 3= Sturz >3m, 4=Fah	Frakturtyp (1=Querfraktur, 2=Schrägfraktur, 3=Spiralfraktur, 4=Trümmerfraktur, 5				Total
	1	2	3	4	
Sturz <=1m	1 6.67	3 20.00	4 12.50	0 0.00	11 11.11
Sturz > 1m	2 13.33	0 0.00	2 6.25	0 0.00	7 7.07
Sturz >3m	1 6.67	0 0.00	1 3.13	0 0.00	4 4.04
Fahrrad	2 13.33	0 0.00	2 6.25	0 0.00	9 9.09
Fußball	0 0.00	1 6.67	4 12.50	0 0.00	6 6.06
Pferdesport	2 13.33	0 0.00	0 0.00	0 0.00	2 2.02
sonstiger Sport	0 0.00	1 6.67	2 6.25	0 0.00	4 4.04
Toben/Spielen	3 20.00	2 13.33	2 6.25	0 0.00	10 10.10
PKW-/Bus-Insasse	2 13.33	0 0.00	0 0.00	1 100.00	8 8.08
Fußgänger(in)_PKW	0 0.00	1 6.67	2 6.25	0 0.00	6 6.06
Fahrradfahrer(in)_PKW	0 0.00	1 6.67	0 0.00	0 0.00	2 2.02
Gewalt	0 0.00	1 6.67	0 0.00	0 0.00	1 1.01
umgeknickt	0 0.00	3 20.00	5 15.63	0 0.00	10 10.10
Anpralltrauma	0 0.00	0 0.00	1 3.13	0 0.00	2 2.02
Quetschtrauma	2 13.33	0 0.00	4 12.50	0 0.00	7 7.07
kein Trauma	0 0.00	1 6.67	2 6.25	0 0.00	5 5.05
Sonstiges	0 0.00	1 6.67	1 3.13	0 0.00	5 5.05
Total	15 100.00	15 100.00	32 100.00	1 100.00	99 100.00

Klassifizierung Unfallhergang (1= Sturz <1m, 2= Sturz > 1m, 3= Sturz >3m, 4=Fah	Frakturtyp (1=Querfraktur, 2=Schrägfraktur, 3=Spiralfraktur, 4=Trümmerfraktur, 5			Total
	5	6	7	
Sturz <=1m	0 0.00	3 20.00	0 0.00	11 11.11
Sturz > 1m	0 0.00	1 6.67	2 13.33	7 7.07
Sturz >3m	0 0.00	2 13.33	0 0.00	4 4.04
Fahrrad	1 16.67	2 13.33	2 13.33	9 9.09
Fußball	0 0.00	0 0.00	1 6.67	6 6.06
Pferdesport	0 0.00	0 0.00	0 0.00	2 2.02
sonstiger Sport	0 0.00	0 0.00	1 6.67	4 4.04
Toben/Spielen	1 16.67	1 6.67	1 6.67	10 10.10
PKW-/Bus-Insasse	3 50.00	0 0.00	2 13.33	8 8.08
Fußgänger(in)_PKW	1 16.67	1 6.67	1 6.67	6 6.06
Fahrradfahrer(in)_PKW	0 0.00	1 6.67	0 0.00	2 2.02
Gewalt	0 0.00	0 0.00	0 0.00	1 1.01
umgeknickt	0 0.00	1 6.67	1 6.67	10 10.10
Anpralltrauma	0 0.00	0 0.00	1 6.67	2 2.02
Quetschtrauma	0 0.00	0 0.00	1 6.67	7 7.07
kein Trauma	0 0.00	2 13.33	0 0.00	5 5.05
Sonstiges	0 0.00	1 6.67	2 13.33	5 5.05
Total	6 100.00	15 100.00	15 100.00	99 100.00

Tabelle 20: Häufigkeiten der Frakturtypen bei den jeweiligen Unfallgeschehen: Beispielsweise erlitten 36% der Patient(inn)en, die aus einer Höhe von unter einem Meter stürzten, eine Spiralfaktur. Frakturtyp 1 = Querfraktur, 2 = Schrägfraktur, 3 = Spiralfaktur, 4 = Trümmerfraktur, 5 = Mehrfragmentfraktur, 6 = „Femurschaftfraktur“, 7 = nicht zuzuordnen.

Klassifizierung Unfallhergang (1= Sturz <1m, 2= Sturz > 1m, 3= Sturz >3m, 4=Fah	Frakturtyp (1=Querfraktur, 2=Schrägfraktur, 3=Spiralfaktur, 4=Trümmerfraktur, 5				Total
	1	2	3	4	
Sturz <=1m	1 9.09	3 27.27	4 36.36	0 0.00	11 100.00
Sturz > 1m	2 28.57	0 0.00	2 28.57	0 0.00	7 100.00
Sturz >3m	1 25.00	0 0.00	1 25.00	0 0.00	4 100.00
Fahrrad	2 22.22	0 0.00	2 22.22	0 0.00	9 100.00
Fußball	0 0.00	1 16.67	4 66.67	0 0.00	6 100.00
Pferdesport	2 100.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	2 100.00
sonstiger Sport	0 0.00	1 25.00	2 50.00	0 0.00	4 100.00
Toben/Spielen	3 30.00	2 20.00	2 20.00	0 0.00	10 100.00
PKW-/Bus-Insasse	2 25.00	0 0.00	0 0.00	1 12.50	8 100.00
Fußgänger(in)_PKW	0 0.00	1 16.67	2 33.33	0 0.00	6 100.00
Fahrradfahrer(in)_PKW	0 0.00	1 50.00	0 0.00	0 0.00	2 100.00
Gewalt	0 0.00	1 100.00	0 0.00	0 0.00	1 100.00
umgeknickt	0 0.00	3 30.00	5 50.00	0 0.00	10 100.00
Anpralltrauma	0 0.00	0 0.00	1 50.00	0 0.00	2 100.00
Quetschtrauma	2 28.57	0 0.00	4 57.14	0 0.00	7 100.00
kein Trauma	0 0.00	1 20.00	2 40.00	0 0.00	5 100.00
Sonstiges	0 0.00	1 20.00	1 20.00	0 0.00	5 100.00
Total	15 15.15	15 15.15	32 32.32	1 1.01	99 100.00

Klassifizierung Unfallhergang (1= Sturz <1m, 2= Sturz > 1m, 3= Sturz >3m, 4=Fah	Frakturtyp (1=Querfraktur, 2=Schrägfraktur, 3=Spiralfraktur, 4=Trümmerfraktur, 5			Total
	5	6	7	
Sturz <=1m	0 0.00	3 27.27	0 0.00	11 100.00
Sturz > 1m	0 0.00	1 14.29	2 28.57	7 100.00
Sturz >3m	0 0.00	2 50.00	0 0.00	4 100.00
Fahrrad	1 11.11	2 22.22	2 22.22	9 100.00
Fußball	0 0.00	0 0.00	1 16.67	6 100.00
Pferdesport	0 0.00	0 0.00	0 0.00	2 100.00
sonstiger Sport	0 0.00	0 0.00	1 25.00	4 100.00
Toben/Spielen	1 10.00	1 10.00	1 10.00	10 100.00
PKW-/Bus-Insasse	3 37.50	0 0.00	2 25.00	8 100.00
Fußgänger(in)_PKW	1 16.67	1 16.67	1 16.67	6 100.00
Fahrradfahrer(in)_PKW	0 0.00	1 50.00	0 0.00	2 100.00
Gewalt	0 0.00	0 0.00	0 0.00	1 100.00
umgeknickt	0 0.00	1 10.00	1 10.00	10 100.00
Anpralltrauma	0 0.00	0 0.00	1 50.00	2 100.00
Quetschtrauma	0 0.00	0 0.00	1 14.29	7 100.00
kein Trauma	0 0.00	2 40.00	0 0.00	5 100.00
Sonstiges	0 0.00	1 20.00	2 40.00	5 100.00
Total	6 6.06	15 15.15	15 15.15	99 100.00

Tabelle 21: Art der Versorgung der jeweiligen Frakturtypen von 98 Patient(inn)en. Beispiel 1: 15 Patient(inn)en erlitten eine Querfraktur. In zehn Fällen wurden diese mit ESINs versorgt, einmal mit einer Overhead-Extension therapiert und viermal wurde eine Platte eingesetzt. Beispiel 2: Von 62 Patient(inn)en, denen ESINs implantiert worden waren, hatten die meisten, nämlich 22 Patient(inn)en, eine Spiralfaktur erlitten. Weitere, jeweils zehn, Patient(inn)en hatten eine Schräg- oder Querfraktur.

Frakturtyp	Art der Versorgung: initiales Material				Total
	ESIN	Fixateur	Gips	K-Draht	
Querfraktur	10 66.67	0 0.00	0 0.00	0 0.00	15 100.00
Schrägfraktur	10 66.67	0 0.00	0 0.00	1 6.67	15 100.00
Spiralfaktur	22 70.97	0 0.00	1 3.23	0 0.00	31 100.00
Trümmerfraktur	0 0.00	1 100.00	0 0.00	0 0.00	1 100.00
nur Mehrfragmentfrakt	2 28.57	1 14.29	0 0.00	0 0.00	7 100.00
nur Femurschaftfraktu	14 93.33	0 0.00	1 6.67	0 0.00	15 100.00
nur Femurfraktur	4 28.57	1 7.14	5 35.71	2 14.29	14 100.00
Total	62 63.27	3 3.06	7 7.14	3 3.06	98 100.00

Frakturtyp	Art der Versorgung: initiales Material				Total
	Marknagel	Overheade	Platte	Schraube	
Querfraktur	0 0.00	1 6.67	4 26.67	0 0.00	15 100.00
Schrägfraktur	0 0.00	2 13.33	2 13.33	0 0.00	15 100.00
Spiralfraktur	0 0.00	5 16.13	3 9.68	0 0.00	31 100.00
Trümmerfraktur	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	1 100.00
nur Mehrfragmentfrakt	1 14.29	0 0.00	2 28.57	1 14.29	7 100.00
nur Femurschaftfraktu	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	15 100.00
nur Femurfraktur	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	14 100.00
Total	1 1.02	8 8.16	11 11.22	1 1.02	98 100.00

Frakturtyp	Art der Versorgung : initiales Material		Total
	Sonstiges		
Querfraktur	0 0.00		15 100.00
Schrägfraktur	0 0.00		15 100.00
Spiralfraktur	0 0.00		31 100.00
Trümmerfraktur	0 0.00		1 100.00
nur Mehrfragmentfrakt	0 0.00		7 100.00
nur Femurschaftfraktu	0 0.00		15 100.00
nur Femurfraktur	2 14.29		14 100.00
Total	2 2.04		98 100.00

Tabelle 22: Multivariablen-Regression von Komplikationen und Frakturtyp (Querfraktur als Vergleichsgruppe) sowie von Komplikationen und Art der Versorgung (ESIN als Vergleichsgruppe). Keine signifikanten Zusammenhänge feststellbar.

Source	SS	df	MS	Number of obs = 98		
Model	1.04963258	14	.074973756	F(14, 83) =	0.39	
Residual	16.0115919	83	.192910746	Prob > F =	0.9747	
				R-squared =	0.0615	
				Adj R-squared =	-0.0968	
Total	17.0612245	97	.175888912	Root MSE =	.43922	

Komplikation~e	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Frakturtyp						
Schrägfraktur	-.0378697	.1628967	-0.23	0.817	-.3618647	.2861252
Spiralfraktur	.0159906	.1411984	0.11	0.910	-.2648474	.2968286
Trümmerfrak~r	-.07076	.5676609	-0.12	0.901	-1.199815	1.058295
nur Mehrfra..	-.0544266	.2385811	-0.23	0.820	-.5289549	.4201017
nur Femursc..	.111219	.1665988	0.67	0.506	-.2201394	.4425773
nur Femurfr..	-.0870934	.2093205	-0.42	0.678	-.5034236	.3292367
ArtderVersor~g						
Fixateur ex..	-.1538701	.343434	-0.45	0.655	-.8369465	.5292064
Gips	-.0377362	.2092627	-0.18	0.857	-.4539512	.3784789
K-Draht	-.1539446	.2828322	-0.54	0.588	-.7164864	.4085973
Marknagel	-.1702035	.4908041	-0.35	0.730	-1.146393	.8059861
Overheadext~n	.0248432	.1694775	0.15	0.884	-.3122406	.3619271
Platte	.1514264	.152455	0.99	0.323	-.1518005	.4546533
Schraube	-.1702035	.4908041	-0.35	0.730	-1.146393	.8059861
Sonstiges	-.1375367	.3555997	-0.39	0.700	-.8448102	.5697368
_cons	.2246301	.1215175	1.85	0.068	-.0170633	.4663235

Tabelle 23: Häufigkeiten der Frakturtypen und jeweilige Versorgungsart

Frakturtyp	Art der Versorgung: initial offen oder geschlossen				Total
	Sonstiges	geschloss	konservat	offen	
Querfraktur	0 0.00	9 60.00	1 6.67	5 33.33	15 100.00
Schrägfraktur	0 0.00	10 66.67	2 13.33	3 20.00	15 100.00
Spiralfraktur	0 0.00	22 70.97	7 22.58	2 6.45	31 100.00
Trümmerfraktur	0 0.00	1 100.00	0 0.00	0 0.00	1 100.00
nur Mehrfragmentfrakt	0 0.00	2 28.57	0 0.00	5 71.43	7 100.00
nur Femurschaftfraktu	0 0.00	11 84.62	2 15.38	0 0.00	13 100.00
nur Femurfraktur	1 6.67	7 46.67	7 46.67	0 0.00	15 100.00
Total	1 1.03	62 63.92	19 19.59	15 15.46	97 100.00

Tabelle 24: Komplikationswahrscheinlichkeit im jeweiligen Alter

Zeilen 1 - 4: Die logistische Regression zeigt einen signifikanten Unterschied des Komplikationsrisikos bei den unter Dreijährigen im Vergleich zu den drei- bis achteinhalbjährigen Patient(inn)en (Koeffizient -0,28, P = 0,015) und den zwölf- bis dreizehnjährigen Patient(inn)en (Koeffizient 0,27, P = 0,066). Jeweils unterschiedene Altersgruppen: Drei- bis Achteinhalbjährige, Achteinhalb- bis Zwölfjährige, Zwölf- bis Dreizehnjährige, über Vierzehnjährige. Zeilen 5 - 7: Kubische Regression Alter und Komplikationen. Das Risiko nimmt zunächst ab bis zu einem Alter von circa 4,5 Jahren. Danach steigt es bis zum einem Alter von circa zwölf Jahren wieder an und fällt im Anschluss erneut signifikant ab. Zeile 10: R-square zeigt, dass 20% der Variation bei Komplikationen allein durch die fünf Altersgruppen erklärt werden können (1).

VARIABLES	(1)	(2)
	Alter bei OP Komplikation postOP (Dummies)	Alter bei OP Komplikation postOP (kubisch)
Alter bei OP ≥ 3 & < 8.5	-0.280** (0.0150)	
Alter bei OP ≥ 8.5 & < 12	0.120 (0.354)	
Alter bei OP ≥ 12 & < 14	0.265* (0.0662)	
Alter bei OP ≥ 14	-0.169 (0.273)	
Alter bei OP		-0.316*** (0.00563)
(Alter bei OP) ²		0.0491*** (0.00227)
(Alter bei OP) ³		-0.00200*** (0.00195)
Constant	0.280*** (0.000643)	0.647*** (0.00182)
Observations	84	84
R-squared	0.196	0.130

pval in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 25: Multi-Variablen-Modell Alter, Drahtverhältnisse und Komplikationen

VARIABLES	Alter und Verhältnis Drähte Komplikation post OP
Alter bei OP ≥ 3 & < 8.5	-0.274* (0.0507)
Alter bei OP ≥ 8.5 & < 12	0.0767 (0.627)
Alter bei OP ≥ 12 & < 14	0.424* (0.0560)
Alter bei OP ≥ 14	-0.235 (0.412)
Verhältnis ≥ 1.50 & < 2	0.209 (0.136)
Verhältnis ≥ 2	0.0268 (0.845)
Constant	0.221* (0.0750)
Observations	49
R-squared	0.304

pval in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 26: Altersgruppen in 2-Jahres-Abständen im Vergleich und ihr jeweiliges Komplikationsrisiko

Source	SS	df	MS	Number of obs =	84
Model	2.58176268	7	.36882324	F(7, 76) =	2.21
Residual	12.6563326	76	.166530692	Prob > F =	0.0421
Total	15.2380952	83	.183591509	R-squared =	0.1694
				Adj R-squared =	0.0929
				Root MSE =	.40808

Komplikati~e	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
A2_4	-.1461538	.1518489	-0.96	0.339	-.4485872 .1562795
A4_6	-.3	.2235156	-1.34	0.184	-.7451698 .1451698
A6_8	-.3	.1935702	-1.55	0.125	-.6855284 .0855284
A8_10	.1444444	.1875006	0.77	0.443	-.2289954 .5178843
A10_12	.0333333	.2107325	0.16	0.875	-.3863768 .4530435
A12_14	.2454545	.1783037	1.38	0.173	-.1096681 .6005772
A14_plus	-.1888889	.1875006	-1.01	0.317	-.5623287 .1845509
_cons	.3	.1290468	2.32	0.023	.0429811 .5570189

Tabelle 27: Frakturtypen bei Kindern unter drei Jahren (Spalte 1). Besonders viele, 44% der unter Dreijährigen, litten unter einer Spiralfaktur. Sie stellten fast ein Drittel aller Patient(inn)en dar, die eine Spiralfaktur erlitten hatten (n = 32). Die zweithäufigste Fraktur der unter Dreijährigen war die Schrägfraktur: Fünf von ihnen zogen sich eine solche zu. Damit machten sie ein Drittel aller Patient(inn)en aus, die unter einer Schrägfraktur litten (n = 15). Frakturtyp 1 = Querfraktur, 2 = Schrägfraktur, 3 = Spiralfaktur, 4 = Trümmerfraktur, 5 = Mehrfragmentfraktur, 6 = „Femurschaftfraktur“, 7 = nicht zuzuordnen.

Frakturtyp (1=Querfraktur, 2=Schrägfraktur, 3=Spiralfaktur, 4=Trümmerfraktur, 5	jung		Total
	0	1	
1	12 15.79	3 12.00	15 14.85
2	10 13.16	5 20.00	15 14.85
3	21 27.63	11 44.00	32 31.68
4	0 0.00	1 4.00	1 0.99
5	7 9.21	0 0.00	7 6.93
6	12 15.79	4 16.00	16 15.84
7	14 18.42	1 4.00	15 14.85
Total	76 100.00	25 100.00	101 100.00

Tabelle 28: Frakturtypen der drei- bis achteinhalbjährigen Patient(inn)en. Diese Altersgruppe erlitt hauptsächlich Spiralfrakturen (38%). Frakturtyp 1 = Querfraktur, 2 = Schrägfraktur, 3 = Spiralfraktur, 4 = Trümmerfraktur, 5 = Mehrfragmentfraktur, 6 = „Femurschaftfraktur“, 7 = nicht zuzuordnen.

Frakturtyp (1=Querfraktur, 2=Schrägfraktur, 3=Spiralfraktur, 4=Trümmerfraktur, 5	Alter bei OP ≥ 3 & < 8.5		Total
	0	1	
1	10 16.67	4 16.67	14 16.67
2	9 15.00	4 16.67	13 15.48
3	19 31.67	9 37.50	28 33.33
4	1 1.67	0 0.00	1 1.19
5	5 8.33	2 8.33	7 8.33
6	10 16.67	4 16.67	14 16.67
7	6 10.00	1 4.17	7 8.33
Total	60 100.00	24 100.00	84 100.00

Tabelle 29: Frakturtypen der über achteinhalbjährigen Patient(inn)en (1). Es traten am häufigsten Spiralfrakturen auf (23%). Frakturtyp 1 = Querfraktur, 2 = Schrägfraktur, 3 = Spiralfraktur, 4 = Trümmerfraktur, 5 = Mehrfragmentfraktur, 6 = „Femurschaftfraktur“, 7 = nicht zuzuordnen

Frakturtyp (1=Querfraktur, 2=Schrägfraktur, 3=Spiralfraktur, 4=Trümmerfraktur, 5	Alter bei OP >=8.5		Total
	0	1	
1	7 14.29	7 20.00	14 16.67
2	9 18.37	4 11.43	13 15.48
3	20 40.82	8 22.86	28 33.33
4	1 2.04	0 0.00	1 1.19
5	2 4.08	5 14.29	7 8.33
6	8 16.33	6 17.14	14 16.67
7	2 4.08	5 14.29	7 8.33
Total	49 100.00	35 100.00	84 100.00

Tabelle 30: Multi-Variablen-Modell Body-Mass-Index (BMI), Alter und postoperative Komplikationen

VARIABLES	(1) BMI Komplikation postOP	(2) Alter on BMI BMI	(3) Alter und BMI Komplikation postOP
Alter bei OP			-0.225* (0.0773)
(Alter bei OP) ²			0.0368** (0.0386)
(Alter bei OP) ³			-0.00153** (0.0327)
BMI	0.000231 (0.983)		-0.00293 (0.796)
Alter bei OP absolut		0.351*** (0.00404)	
Constant	0.223 (0.260)	15.26*** (0)	0.532* (0.0709)
Observations	66	65	65
R-squared	0.000	0.124	0.101

pval in parentheses
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 31: logistische Regression Komplikationen und Perzentilkurven (kein signifikantes Ergebnis). Einteilung der Perzentilkurven BMI für Alter (1 = starkes Untergewicht < P3, 2 = Untergewicht P3 - P9,9, 3 = Normalgewicht P10 - P89,9, 4 = Übergewicht P90 - P97, 5 = starkes Übergewicht > P97).

```

Logistic regression                               Number of obs   =         63
                                                    LR chi2(3)      =         0.28
                                                    Prob > chi2     =         0.9632
Log likelihood = -34.437567                       Pseudo R2      =         0.0041

```

Komplikationen	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
PercBMI2	-.117783	1.338532	-0.09	0.930	-2.741257	2.505691
PercBMI3	-.1541507	.7779195	-0.20	0.843	-1.678845	1.370543
PercBMI4	0	(omitted)				
PercBMI5	-.5232481	1.034139	-0.51	0.613	-2.550124	1.503628
_cons	-.9808293	.6770032	-1.45	0.147	-2.307731	.3460726

```
. tab BMIfrAlter1starkesUnterg,gen(PercBMI)
```

BMI für Alter (1= starkes Untergewich t <P3, 2=Untergewi cht P3-9.9, 3= Normalgewi	Freq.	Percent	Cum.
1	11	16.92	16.92
2	4	6.15	23.08
3	37	56.92	80.00
4	2	3.08	83.08
5	11	16.92	100.00
Total	65	100.00	

Tabelle 32: t-Test Wahrscheinlichkeit von Komplikationen bei konservativer Therapie. P = 0.04 zeigt, dass konservative Therapien signifikant weniger Komplikationen aufweisen (um 7%) gegenüber den anderen Behandlungsmöglichkeiten (konservative Therapie mittleres Komplikationsrisiko 16%, andere Behandlungsmethoden 23%).

```
One-sample t test
```

	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
x	101	.2317	.0412741	.4148	.1498133	.3135867

```

mean = mean(x)                                t = 1.7883
Ho: mean = 0.15789                            degrees of freedom = 100

```

```

Ha: mean < 0.15789                            Ha: mean != 0.15789        Ha: mean > 0.15789
Pr(T < t) = 0.9616                            Pr(|T| > |t|) = 0.0768    Pr(T > t) = 0.0384

```

Tabelle 33: t-Test Wahrscheinlichkeit von Komplikationen bei offener Operation (33%) gegenüber allen anderen Behandlungsmethoden (20%)

One-sample t test

	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
x	101	.197	.0412741	.4148	.1151133	.2788867

mean = mean(x) t = -3.3023
 Ho: mean = 0.3333 degrees of freedom = 100

Ha: mean < 0.3333 Ha: mean != 0.3333 Ha: mean > 0.3333
 Pr(T < t) = 0.0007 Pr(|T| > |t|) = 0.0013 Pr(T > t) = 0.9993

Tabelle 34: t-Test Wahrscheinlichkeit von Komplikationen bei offener Operation (33%) gegenüber geschlossener Operation (21%)

One-sample t test

	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
x	77	.2096	.0485472	.426	.1129099	.3062901

mean = mean(x) t = -2.5480
 Ho: mean = 0.3333 degrees of freedom = 76

Ha: mean < 0.3333 Ha: mean != 0.3333 Ha: mean > 0.3333
 Pr(T < t) = 0.0064 Pr(|T| > |t|) = 0.0129 Pr(T > t) = 0.9936

Tabelle 35: Regression von Komplikationswahrscheinlichkeit, Frakturtyp und Art der Operation. In Klammern ist der dazugehörige P-Wert angegeben. Die Komplikationswahrscheinlichkeit ergibt sich aus a) dem Frakturtyp (Zeile 1-7) plus b) der Art der Operation (Zeile 8 oder 24) plus c) dem Interaktionsterm von Operationsart und Frakturtyp (Zeile 9-23). Dies alles gilt im Vergleich zum Frakturtyp 1 (= Querfraktur) und der konservativen Therapie.

VARIABLES	Frakturtyp und Art der Operation Komplikation post OP
Frakturtyp = 2, Schrägfraktur	0.0694 (0.700)
Frakturtyp = 3, Spiralfaktur	0.173 (0.263)
Frakturtyp = 4, Trümmerfraktur	-0.104 (0.813)
Frakturtyp = 5, nur Mehrfragmentfraktur	-0.104 (0.749)
Frakturtyp = 6, nur Femurschaftfraktur	0.221 (0.198)
Frakturtyp = 7, nicht zuzuordnen	-0.0122 (0.946)
Operation_offen = 1	0.537** (0.0336)
1b.Frakturtyp#0b.Operation_offen	0
1b.Frakturtyp#1o.Operation_offen	0
2o.Frakturtyp#0b.Operation_offen	0
2.Frakturtyp#1.Operation_offen	-0.336 (0.346)
3o.Frakturtyp#0b.Operation_offen	0
3.Frakturtyp#1.Operation_offen	-0.773** (0.0464)
4o.Frakturtyp#0b.Operation_offen	0
4o.Frakturtyp#1o.Operation_offen	0
5o.Frakturtyp#0b.Operation_offen	0
5.Frakturtyp#1.Operation_offen	-0.296 (0.482)
6o.Frakturtyp#0b.Operation_offen	0
6o.Frakturtyp#1o.Operation_offen	0
7o.Frakturtyp#0b.Operation_offen	0
7o.Frakturtyp#1o.Operation_offen	0
Operation_geschlossen	0.0409 (0.703)
Operation_sonst	-0.0510 (0.907)
Constant	0.0632 (0.701)
Observations	101
R-squared	0.103

pval in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 36: Regression von Komplikationen, Frakturtyp und Implantationsmaterial. Es konnten keine Kombinationen von Frakturtyp und Implantationsmaterial festgestellt werden, die das Komplikationsrisiko signifikant beeinflusst hätten. Querfraktur und ESINs wurden jeweils als Vergleichsgruppe eingesetzt. Beispielsweise war das Einsetzen einer Platte mit einem 15% höheren Komplikationsrisiko gegenüber ESINs behaftet, jedoch ist das Ergebnis nicht signifikant (Koeffizient 0,15, $t = 0,99$). Auch bei den Frakturtypen gab es keine signifikanten Ergebnisse. Allein die „Femurschaftfraktur“ (Frakturtyp 6) war vergleichbar ähnlich risikobehaftet wie die Querfraktur (Koeffizient 0,1, $t = 0,67$, also nicht signifikant).

Source	SS	df	MS	Number of obs = 98		
Model	1.04963258	14	.074973756	F(14, 83) =	0.39	
Residual	16.0115919	83	.192910746	Prob > F	= 0.9747	
Total	17.0612245	97	.175888912	R-squared	= 0.0615	
				Adj R-squared	= -0.0968	
				Root MSE	= .43922	

Komplikation-e	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Frakturtyp1Q~h						
2	-.0378697	.1628967	-0.23	0.817	-.3618647	.2861252
3	.0159906	.1411984	0.11	0.910	-.2648474	.2968286
4	-.07076	.5676609	-0.12	0.901	-1.199815	1.058295
5	-.0544266	.2385811	-0.23	0.820	-.5289549	.4201017
6	.111219	.1665988	0.67	0.506	-.2201394	.4425773
7	-.0870934	.2093205	-0.42	0.678	-.5034236	.3292367
ArtderVersor~g						
Fixateur ex..	-.1538701	.343434	-0.45	0.655	-.8369465	.5292064
Gips	-.0377362	.2092627	-0.18	0.857	-.4539512	.3784789
K-Draht	-.1539446	.2828322	-0.54	0.588	-.7164864	.4085973
Marknagel	-.1702035	.4908041	-0.35	0.730	-1.146393	.8059861
Overheadext~n	.0248432	.1694775	0.15	0.884	-.3122406	.3619271
Platte	.1514264	.152455	0.99	0.323	-.1518005	.4546533
Schraube	-.1702035	.4908041	-0.35	0.730	-1.146393	.8059861
Sonstiges	-.1375367	.3555997	-0.39	0.700	-.8448102	.5697368
_cons	.2246301	.1215175	1.85	0.068	-.0170633	.4663235

Tabelle 37: Logistische Regression von Verhältnis Markraumdurchmesser zu ESIN-Drahtdicke und das Risiko für Komplikationen. Für das Verhältnis ≥ 1.5 bis 2, besteht eine 20%ig höheres Komplikationsrisiko, als für den Fall Verhältnis < 1.5 . Für Verhältnis ≥ 2 besteht kein signifikanter Zusammenhang. In Klammern sind die P-Werte angegeben.

	(1) Verhältnis beider Drähte Komplikation post OP	(2) Verhältnis beider Drähte Komplikation post OP
VARIABLES		
Verhältnis ≥ 1.5 & < 2	0.300* (0.0949)	
Verhältnis ≥ 2	0.0974 (0.562)	
Verhältnis beider Drähte		2.573*** (0.00567)
(Verhältnis beider Drähte) ²		-0.741*** (0.00651)
Observations	48	46
Pseudo-R squared	0,063	0,13

pval in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 38: Häufigkeiten von Komplikationen bei den jeweiligen Unfallgeschehen (1) im Vergleich zur Gruppe ohne Komplikationen (0).

Klassifizierung Unfallhergang (1= Sturz <1m, 2= Sturz > 1m, 3= Sturz >3m, 4=Fah	Komplikation post OP		Total
	0	1	
Sturz <=1m	7 8.97	4 19.05	11 11.11
Sturz >1m	4 5.13	3 14.29	7 7.07
Sturz >3m	4 5.13	0 0.00	4 4.04
Fahrrad	6 7.69	3 14.29	9 9.09
Fußball	6 7.69	0 0.00	6 6.06
Pferdesport	1 1.28	1 4.76	2 2.02
sonstiger Sport	3 3.85	1 4.76	4 4.04
Toben/Spielen	8 10.26	2 9.52	10 10.10
Pkw-/Businsasse	8 10.26	0 0.00	8 8.08
Fußgänger(in)_Pkw	4 5.13	2 9.52	6 6.06
Fahrradfahrer(in)_Pkw	1 1.28	1 4.76	2 2.02
Gewalt	1 1.28	0 0.00	1 1.01
'umgeknickt'	10 12.82	0 0.00	10 10.10
Anpralltrauma	1 1.28	1 4.76	2 2.02
Quetschtrauma	7 8.97	0 0.00	7 7.07
kein Trauma	4 5.13	1 4.76	5 5.05
Sonstiges	3 3.85	2 9.52	5 5.05
Total	78 100.00	21 100.00	99 100.00

Tabelle 39: Multivariablen-Regression von Alter, Unfallmechanismus und Komplikationen. Demnach erleiden Kinder im Alter zwischen drei und achteinhalb Jahren mit einer Wahrscheinlichkeit von 31% weniger Komplikationen als die unter Dreijährigen (Koeffizient -0.31). Alle Unfallursachen beziehen sich auf die Vergleichsgröße Kategorie „Sturz ≤ 1 m“. Im Rahmen eines Anpralltraumas zugezogene Frakturen (Koeffizient 0.5) oder als Fahrradfahrer(in) erlittene Brüche (Koeffizient 0.2), hatten zum Beispiel ein höheres Risiko Komplikationen zu erleiden (jedoch sind diese Ergebnisse nicht signifikant).

Source	SS	df	MS	Number of obs =	82
Model	5.28306036	20	.264153018	F(20, 61) =	1.73
Residual	9.31450062	61	.152696731	Prob > F =	0.0527
				R-squared =	0.3619
				Adj R-squared =	0.1527
Total	14.597561	81	.180216802	Root MSE =	.39076

Komplikationen	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Unfallhergang						
Sturz >1m	.1317847	.2369028	0.56	0.580	-.3419317	.605501
Sturz >3m	-.3600234	.2398315	-1.50	0.138	-.8395961	.1195493
Fahrrad	.0904366	.1929503	0.47	0.641	-.2953914	.4762646
Fußball	-.2571206	.218787	-1.18	0.244	-.6946123	.1803711
Pferdesport	.0728668	.3243203	0.22	0.823	-.5756516	.7213853
sonstiger S..	-.1602591	.2601744	-0.62	0.540	-.6805099	.3599917
Toben/Spielen	-.3046109	.1823748	-1.67	0.100	-.6692918	.0600701
Pkw-/Busins~e	-.2618037	.2189728	-1.20	0.236	-.6996669	.1760595
Fußgänger(i~w	-.0471737	.2247288	-0.21	0.834	-.4965466	.4021992
Fahrradfahr~w	.1518265	.3131673	0.48	0.630	-.4743902	.7780432
Gewalt	-.4491894	.4159441	-1.08	0.284	-1.280921	.3825423
'umgeknickt'	-.2872413	.2077753	-1.38	0.172	-.7027137	.1282311
Anpralltrauma	.5394659	.4200444	1.28	0.204	-.3004648	1.379397
Quetschtrauma	-.2578041	.2022381	-1.27	0.207	-.6622042	.146596
kein Trauma	.1000747	.2639227	0.38	0.706	-.4276713	.6278208
Sonstiges	-.1002041	.2189907	-0.46	0.649	-.538103	.3376948
Alter_OP_3_8~J	-.3238962	.1307344	-2.48	0.016	-.5853158	-.0624766
Alter_OP_8k5~J	.0113447	.1497962	0.08	0.940	-.2881913	.3108806
Alter_OP_1~3_J	.1218645	.1730737	0.70	0.484	-.2242177	.4679467
Alter_OP_ü13_J	-.1659769	.1947601	-0.85	0.397	-.5554238	.22347
_cons	.4491894	.142523	3.15	0.003	.164197	.7341817

Tabelle 40: Quadratische Regression von Komplikationsrate und Dauer zwischen Metallimplantation und -entfernung

Logistic regression	Number of obs =	46
	LR chi2(1) =	1.44
	Prob > chi2 =	0.2297
Log likelihood = -18.895726	Pseudo R2 =	0.0368

Komplikationen	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
Wochenabstand	-.0134954	.013952	-0.97	0.333	-.0408408	.01385
_cons	-1.317832	.5180942	-2.54	0.011	-2.333278	-.3023857

Tabelle 41: Quadratische Regression des Komplikationsrisikos und der Liegedauer mit signifikanten Ergebnissen. Es liegt jedoch ein Kausalitätsproblem vor.

Frakturtyp und Art der Operation Komplikation post OP	
VARIABLES	
Liegedauer Anzahl Tage	-0.0383* (0.0947)
Liegedauer ²	0.00122* (0.0701)
Observations	92

pval in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 42: Signifikanztest (t-Test) bestätigt, dass pathologische Frakturen das Komplikationsrisiko um 9% erhöhen (P-Wert = 0,015). Die Komplikationswahrscheinlichkeit für Patienten mit pathologischen Frakturen (Ho mean) beträgt 30%, das Risiko für Komplikationen aller Patienten (x mean) liegt bei 21%.

One-sample t test

	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
x	101	.2096	.0411945	.414	.1278712	.2913288

mean = mean(x) t = -2.1945
 Ho: mean = 0.30 degrees of freedom = 100

Ha: mean < 0.30 Ha: mean != 0.30 Ha: mean > 0.30
 Pr(T < t) = 0.0153 Pr(|T| > |t|) = 0.0305 Pr(T > t) = 0.9847

7 Quellen

7.1 Literaturverzeichnis

Bandyopadhyay R, Mekherjee A (2013): Short Term Complications of Titanium Elastic Nail in the Treatment of Diaphyseal Fracture of the Femur in Children. *Open Orthop J*, 7, 12–17

Biberthaler P, Oestern H-J: Traumatologie. In: Henne-Bruns D (Hrsg.): *Chirurgie (Duale Reihe)*. 4. Auflage; Thieme, Stuttgart 2012, 651-811

Böhm R: Oberschenkel. In: von Laer L (Hrsg.): *Das verletzte Kind*. Thieme, Stuttgart 2007, 75-81

Böhm J, Ellsäßer G (2004): Bevölkerungsbezogenes Unfallmonitoring von Kinderunfällen in einer deutschen Stadt. *Monatss Kinderheilkd* 152, 299–306

Bonjour J-P, Chevalley T (2014): Pubertal timing, bone acquisition, and risk of fracture throughout life. *Endocr Rev* 35, 820–847

Bonjour J-P, Theintz G, Law F, Slosman D, Rizzoli R (1994): Peak bone mass. *Osteoporosis Int* 4, 7-13

Buechsenschuetz KE, Mehlman CT, Shaw KJ, Crawford AH, Immerman EB (2002): Femoral shaft fractures in children: traction and casting versus elastic stable intramedullary nailing. *J Trauma* 53, 914–921

Bühren V: Femurschaft. In: Rüter A, Trentz O, Wagner M (Hrsg.): *Unfallchirurgie*. 2. Auflage; Urban und Fischer/Elsevier, München 2004, 997-1013

Bühren V, Keel MJ, Marzi I: Verletzungen bei Kindern. In: Bühren V, Keel MJ, Marzi I (Hrsg.): *Checkliste Traumatologie (Checklisten der aktuellen Medizin)*. 8. Auflage; Thieme, Stuttgart 2016, 266-284

Chevalley T, Bonjour J-P, van Rietbergen B, Ferrari S, Rizzoli R (2011): Fractures during childhood and adolescence in healthy boys: relation with bone mass, microstructure, and strength. *J Clin Endocrinol Metab* 96, 3134–3142

Chevalley T, Bonjour J-P, van Rietbergen B, Rizzoli R, Ferrari S (2012): Fractures in healthy females followed from childhood to early adulthood are associated with later menarcheal age and with impaired bone microstructure at peak bone mass. *J Clinical Endocrinology Metab* 97, 4174–4181

- Cooper DML, Ahamed Y, Macdonald HM, McKay HA (2008): Characterising cortical density in the mid-tibia: intra-individual variation in adolescent girls and boys. *Br J Sports Med* 42, 690–695
- Dietz HG: Grundlagen der konservativen Frakturbehandlung. In: Dietz HG, Illing P, Schmittenebecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW: *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*. Springer, Heidelberg 2011, 55-65
- Dietz HG, Schlickewei W (2011): Femurschaftfrakturen im Kindesalter. *Unfallchirurg* 114, 382–387
- Dietz HG, Schmittenebecher PP, Illing P: *Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter*. Urban und Schwarzenberg/Elsevier, München 1997
- Ellsäßer G (2006): Epidemiologische Analyse von Unfällen bei Kindern unter 15 Jahren in Deutschland - Ausgangspunkt für die Unfallprävention. *Gesundheitswesen* 68, 421–428
- Ferrari SL, Chevalley T, Bonjour J-P, Rizzoli R (2006): Childhood fractures are associated with decreased bone mass gain during puberty: an early marker of persistent bone fragility? *J Bone Miner Res* 21, 501–507
- Flinck M, von Heideken Johan, Janarv P-M, Watz V, Riad J (2015): Biomechanical comparison of semi-rigid pediatric locking nail versus titanium elastic nails in a femur fracture model. *J Child Orthop* 9, 77–84
- Fournier P-E, Rizzoli R, Slosman D-O, Theintz G, Bonjour J-P (1997): Asynchrony between the rates of standing height gain and bone mass accumulation during puberty. *Osteoporosis Int* 7, 525–532
- Gresing T: Hüftgelenk und Oberschenkel. In: Dietz HG, Illing P, Schmittenebecher PP, Slongo T, Sommerfeld DW (Hrsg.): *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*. Springer, Heidelberg 2011
- Hedström EM, Svensson O, Bergström U, Michno P (2010): Epidemiology of fractures in children and adolescents. *Acta Orthop* 81, 148–153
- Heimkes B, Günther C: Erworbene Wachstumsstörungen. In: Reinhardt P, Nicolai T, Zimmer K-P (Hrsg.): *Therapie der Krankheiten im Kindes- und Jugendalter*. 9. Auflage; Springer, Berlin 2014, 371-371
- Jauquier N, Doerfler M, Haecker F-M, Hasler C, Zambelli P-Y, Lutz N (2010): Immediate hip spica is as effective as, but more efficient than, flexible intramedullary nailing for femoral shaft fractures in pre-school children. *J Child Orthop* 4, 461–465

Jones IE, Williams SM, Dow N, Goulding A (2002): How many children remain fracture-free during growth? A longitudinal study of children and adolescents participating in the Dunedin Multidisciplinary Health and Development Study. *Osteoporosis Int*, 990–995

Jubel A, Andermahr J, Prokop A, Bergmann H, Isenberg J, Rehm KE (2004): Pitfalls and complications of elastic stable intramedullary nailing (ESIN) of femoral fractures in infancy. *Unfallchirurg* 107, 744–749

Kahl H, Dortschy R, Ellsäßer G (2007): Verletzungen bei Kindern und Jugendlichen (1-17 Jahren) und Umsetzungen von persönlichen Schutzmaßnahmen: Ergebnisse des bundesweiten Kinder- und Jugendgesundheits surveys (KiGGS). *Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz* 50, 718–727

Kaiser MM, Zachert G, Wendlandt R, Rapp M, Eggert R, Stratmann C, Wessel LM, Schulz AP, Kienast BJ (2011): Biomechanical analysis of a synthetic femoral spiral fracture model: Do end caps improve retrograde flexible intramedullary nail fixation? *J Orthop Surg Res* 6, 46

Kaiser MM, Zachert G, Wendlandt R, Eggert R, Stratmann C, Gros N, Schulze-Hessing M, Rapp M (2012): Increasing stability by pre-bending the nails in elastic stable intramedullary nailing: A biomechanical Analysis of a synthetic femoral spiral fracture model. *J Bone Joint Surg* 94, 713-718

Kaiser MM, Stratmann C, Zachert G, Schulze-Hessing M, Gros N, Eggert R, Rapp M (2014): Modification of elastic stable intramedullary nailing with a 3rd nail in a femoral spiral fracture model - results of biomechanical testing and a prospective clinical study. *BMC Musculoskelet Disord* 15, 1-10

Kalkwarf HJ, Laor T, Bean JA (2011): Fracture risk in children with a forearm injury is associated with volumetric bone density and cortical area (by peripheral QCT) and areal bone density (by DXA). *Osteoporosis Int* 22, 607–616

Kamphaus A, Rapp M, Wessel LM, Buchholz M, massalme E, Schneidmüller D, Roeder C, Kaiser MM (2015): LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter: Intra- und Interobserverreliabilität. *Unfallchirurg* 118, 326–335

Keeler K, Dart B, Luhmann SJ, Schoenecker PL, Ortman MR, Dobbs MB, Gordon JE (2009): Antegrade Intramedullary Nailing of Pediatric Femoral Fractures Using an Interlocking Pediatric Femoral Nail and a Lateral Trochanteric Entry Point. *J Pediatr Orthop* 29, 345–351

- Kraus R: Technische Komplikationen bei der Versorgung von Frakturen. In: von Laer L (Hrsg.): Das verletzte Kind. Thieme, Stuttgart 2007, 26-32
- Kraus R: Epidemiologie. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. Springer, Heidelberg 2010, 32-35
- Krischak G: Traumatologie für Physiotherapeuten: 13 Tabellen (Physiolehrbuch Krankheitslehre). Thieme, Stuttgart 2005
- Lascombes P, Haumont T, Journeau P (2006): Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 26, 827–834
- Lascombes P, Huber H, Fay R, Popkov D, Haumont T, Journeau P (2013): Flexible intramedullary nailing in children: nail to medullary canal diameters optimal ratio. *J Pediatr Orthop* 33, 403–408
- Leventhal JM, Martin KD, Asnes AG (2008): Incidence of fractures attributable to abuse in young hospitalized children: results from analysis of a United States database. *Pediatrics* 122, 599–604
- Lüllmann-Rauch R: Taschenlehrbuch Histologie. 2. Auflage; Thieme, Stuttgart 2006
- Maier M, Maier-Heidkamp M, Lehnert M, Wirbel R, Marzi I (2003): Ausheilungsergebnisse konservativ und operativ versorgter kindlicher Femurfrakturen. *Unfallchirurg* 106, 48–54
- Maier M, Schneidmüller D, Marzi I: Oberschenkel. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. 2. Auflage; Springer, Heidelberg 2010
- Martus JE (2016): Rigid Intramedullary Nailing of Femoral Shaft Fractures for Patients Age 12 and Younger: Indications and Technique. *J Child Orthop* 36, 35–40
- Marzi I: Grundlagen der operativen Frakturbehandlung. In: Dietz HG, Illing P, Schmitzbecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW (Hrsg.): Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie. Springer, Heidelberg 2011, 99-114
- McKay HA, Bailey DA, Mirwald RL, Davison KS, Faulkner RA (1998): Peak bone mineral accrual and age at menarche in adolescent girls: A 6-year longitudinal study. *J Pediatr* 133, 682–687
- Metaizeau J-P (2004): Stable elastic intramedullary nailing for fractures of the femur in children. *J Bone Joint Surg (Br)* 86, 954–957
- Moroz LA, Launay F, Kocher MS, Newton PO, Frock SL, Sponseller PD, Flynn JM (2006): Titanium elastic nailing of fractures of the femur in children: Predictors of complications and poor outcome. *J Bone Joint Surg (Br)* 88

- Müller M: Chirurgie für Studium und Praxis: Unter Berücksichtigung des Gegenstandskataloges und der mündlichen Examina in den Ärztlichen Prüfungen 2012/13. 11. Auflage; Med. Verl.- und Informationsdienste, Breisach am Rhein 2011
- Narayanan UG, Hyman JE, Wainwright AM, Rang M, Alman BA (2004): Complications of Elastic Stable Intramedullary Nail Fixation of Pediatric Femoral Fractures, and How to Avoid Them. *J Pediatr Orthop*, 363–369
- Nectoux E, Giacomelli MC, Karger C, Gicquel P, Clavert JM (2008): Use of end caps in elastic stable intramedullary nailing of femoral and tibial unstable fractures in children: preliminary results in 11 fractures. *J Child Orthop* 2, 309–314
- Niethard FU: Kinderorthopädie. 2. Auflage; Thieme, Stuttgart 2010
- Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P: Erworbene Wachstumsstörungen. In: Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P (Hrsg.): Orthopädie und Unfallchirurgie (Duale Reihe). 6. Auflage; Thieme, Stuttgart 2009, 118-144
- Parfitt AM (1994): The two faces of growth: Benefits and risks to bone integrity. *Osteoporosis Int* 4, 382–398
- Poolman RW, Kocher MS, Bhandari M (2006): Pediatric Femoral Fractures: A Systematic Review of 2422 Cases. *J Orthop Trauma* 20, 648–654
- Prata do Nascimento F, Santililli C, Akkarilli M, Waisberg G, dos Reis Braga S, Maria P (2013): Flexible intramedullary nails with traction versus plaster cast for treating femoral shaft fractures in children: comparative retrospective study. *Sao Paulo Med J* 131, 5–12
- Ramseier LE, Janicki JA, Weir S, Narayanan UG (2010): Femoral Fractures in Adolescents: A Comparison of Four Methods of Fixation. *J Bone Joint Surg* 92, 1122-1129
- Raschke MJ, Haas NP: Traumatologie. In: Siewert JR, Stein HJ, Hubert J (Hrsg.): Chirurgie. 9. Auflage; Springer, Heidelberg 2012, 865-999
- Rauch F (2012): The dynamics of bone structure development during pubertal growth. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 12, 1–6
- Rewers A, Hedegaard H, Lezotte D, Meng K, Battan FK, Emery K, Hamman RF (2005): Childhood femur fractures, associated injuries, and sociodemographic risk factors: a population-based study. *Pediatrics* 115, 543-52

- Reynolds RA, Lagakis JE, Thomas R, Slongo TF, Hunter JB, Clavert J-M (2012): Intramedullary nails for pediatric diaphyseal femur fractures in older, heavier children: early results. *J Child Orthop* 6, 181–188
- Schalamon J, Dampf S, Singer G, Ainoedhofer H, Petnehazy T, Hoellwarth ME, Saxena AK (2011): Evaluation of fractures in children and adolescents in a Level I Trauma Center in Austria. *J Trauma* 71, 19-25
- Schmittenebecher P: Wachstumsphänomene und Korrekturmechanismen des wachsenden Skeletts. In: Dietz HG, Illing P, Schmittenebecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW (Hrsg.) : *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*. Springer, Heidelberg 2011, 27-53
- Sela Y, Hershkovich O, Sher-Lurie N, Schindler A, Givon U (2013): Pediatric femoral shaft fractures: treatment strategies according to age -13 years of experience in one medical center. *J Orthop Surg Res* 8, 23
- Sink EL, Gralla J, Repine M (2005): Complications of Pediatric Femur Fractures Treated With Titanium Elastic Nails. *J Pediatr Orthop* 25, 577–580
- Slongo T, Audigé L, AO Pediatric Classification Group (2007) (Hrsg.): *AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures (PCFF)*, AO Foundation, Davos, 2010
- Slongo T, Audigé L, Schneidmüller D, von Laer L: Frakturklassifikation im Kindesalter. In: Marzi I (Hrsg.): *Kindertraumatologie*. 2. Auflage; Springer, Heidelberg 2010, 19-30
- Strohm PC, Schmittenebecher PP (2015): Femoral shaft fractures in children under 3 years old. Current treatment standard. *Unfallchirurg* 118, 48–52
- Tomaszewski R, Gap A (2014): Results of the treatment of the open femoral shaft fractures in children. *J Orthop* 11, 78–81
- Vogel L: *Frakturen im Wachstumsalter - Vergleich der LiLa-Klassifikation nach von Laer mit der AO-Klassifikation nach Slongo*. Med.Diss. Erlangen-Nürnberg 2012
- von Heideken J, Svensson T, Blomqvist P, Haglund-Akerlind Y, Janarv P-M (2011): Incidence and trends in femur shaft fractures in Swedish children between 1987 and 2005. *J Pediatr Orthop* 31, 512–519
- von Laer L: Verletzungsformen. In: Marzi I (Hrsg.): *Kindertraumatologie*. 2. Auflage: Springer, Heidelberg 2010

- von Laer L, Worel AM, Röder C, Staub LP, Busato A (2005): Qualitätssicherung in der Traumatologie des Wachstumsalters - eine Pilotstudie. 1–15. <http://www.li-la.org/content/index.php?id=21>, siehe Internetquellen
- von Laer L, Kraus R, Linhart W: Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 5. Auflage; Thieme, Stuttgart 2007
- von Laer L, Kraus R, Linhart WE: Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 6. Auflage; Thieme, Stuttgart 2013
- Wang Q, Cheng S, Alen M, Seeman E (2009): Bone's structural diversity in adult females is established before puberty. *J Clin Endocrinol Metab* 94, 1555–1561
- Weinberg AM, Schneidmüller D: Frakturklassifikation. In: Weinberg AM, Schneidmüller D (Hrsg.) : Unfallchirurgie bei Kindern: Kompendium der Kindertraumatologie. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2010a, 1-6
- Weinberg AM, Schneidmüller D: Oberschenkel. In: Weinberg AM, Schneidmüller D (Hrsg.) : Unfallchirurgie bei Kindern: Kompendium der Kindertraumatologie. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2010b, 175-190
- Worel AM, Slongo T: Behandlungsprinzipien. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. 2. Auflage; Springer, Heidelberg 2010, 49-75
- Xu L, Nicholson P, Wang Q, Alen M, Cheng S (2009): Bone and muscle development during puberty in girls: a seven-year longitudinal study. *J Bone Mineral Res* 24, 1693–1698
- Zimmermann B: Behandlung der kindlichen Femurfraktur mit dem Elastisch Stablen Intramedullären Nagel (ESIN): Klinisch funktionelle Langzeituntersuchung. Med. Diss. Köln 2008

7.2 Bild-, Internet-, Tabellen- und sonstige Quellen

Abbildung	Quelle
1	<p>Dietz HG: Verletzungen des Femurschafts im Kindesalter. In: Haas NP, Krettek H (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie, Hüfte und Oberschenkel. Springer, Heidelberg 2012, 319, Abb. 10.1</p> <p>Beschriftung modifiziert.</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
2	<p>http://www.li-la.org/content/index.php?id=21, Zugriff am 30.01.2017</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Li-La e.V.s.</p>
3	<p>Slongo T, Audigé L, Schneidmüller D, von Laer L: Frakturklassifikation im Kindesalter. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. 2. Auflage; Springer, Heidelberg 2010, 21, Abb. 3.2</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
4	<p>http://www.li-la.org/content/index.php?id=21, Zugriff am 01.10.2016</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Li-La e.V.s.</p>
5	<p>Dietz HG: Verletzungen des Femurschafts im Kindesalter. In: Haas NP, Krettek H (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie, Hüfte und Oberschenkel. Springer, Heidelberg 2012, 322, Abb. 10.2</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
6	<p>Maier M, Schneidmüller D, Marzi I: Oberschenkel. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. 2. Auflage; Springer, Heidelberg 2010, 271, Abb. 19.5</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
7	<p>Dietz HG: Verletzungen des Femurschafts im Kindesalter. In: Haas NP, Krettek H (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie, Hüfte und Oberschenkel. Springer, Heidelberg 2012, 323, Abb. 10.4</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
8	<p>Maier M, Schneidmüller D, Marzi I: Oberschenkel. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. 2. Auflage; Springer, Heidelberg 2010, 271, Abb. 19.4</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
9	<p>Maier M, Schneidmüller D, Marzi I: Oberschenkel. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. 2. Auflage; Springer, Heidelberg 2010, 271, Abb. 19.4</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
10	<p>Dietz HG: Verletzungen des Femurschafts im Kindesalter. In: Haas NP, Krettek H (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie, Hüfte und Oberschenkel. Springer, Heidelberg 2012, 324, Abb. 10.5</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>

11	<p>Dietz HG: Verletzungen des Femurschafts im Kindesalter. In: Haas NP, Krettek H (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie, Hüfte und Oberschenkel. Springer, Heidelberg 2012, 324, Abb. 10.7</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
12	<p>Dietz HG: Verletzungen des Femurschafts im Kindesalter. In: Haas NP, Krettek H (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie, Hüfte und Oberschenkel. Springer, Heidelberg 2012, 330, Abb. 10.11</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
13	<p>Dietz HG: Verletzungen des Femurschafts im Kindesalter. In: Haas NP, Krettek H (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie, Hüfte und Oberschenkel. Springer, Heidelberg 2012, 327, Abb. 10.8</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
14	<p>Gresing T: Hüftgelenk und Oberschenkel. In: Dietz HG, Illing P, Schmittbecher PP, Slongo T, Sommerfeld DW (Hrsg.): Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie. Springer, Heidelberg 2011, 369, Abb. 19.16</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
15	<p>Raschke MJ, Haas NP: Unfallchirurgie. In: Siewert JR, Stein HJ, Hubert J (Hrsg.): Chirurgie mit integriertem Fallquiz. 9. Auflage, Springer, Heidelberg 2012, 878, Abb. 8.14</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
16	<p>Dietz HG: Verletzungen des Femurschafts im Kindesalter. In: Haas NP, Krettek H (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie, Hüfte und Oberschenkel. Springer, Heidelberg 2012, 325, Abb. 10.6</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
17	<p>von Laer L: Knochenwachstum und Knochenheilung. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. 2. Auflage, Springer, Heidelberg 2010, 8, Abb. 1.12</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
18	<p>von Laer L: Knochenwachstum und Knochenheilung. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. 2. Auflage, Springer, Heidelberg 2010, 8, Abb. 1.13</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
19	<p>von Laer L: Knochenwachstum und Knochenheilung. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. 2. Auflage, Springer, Heidelberg 2010, 2, Abb. 1.2</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>
20	<p>von Laer L: Knochenwachstum und Knochenheilung. In: Marzi I (Hrsg.): Kindertraumatologie. 2. Auflage, Springer, Heidelberg 2010, 9, Abb. 1.14</p> <p>Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Springer-Verlags.</p>

21	Biberthaler P, Niethard FU, Pfeil J: Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie. 7. Auflage, Thieme, Stuttgart 2014, 138, Abb. B-2.16 Die Verwendung erfolgt mit Genehmigung des Thieme-Verlages.
45	Slongo T, Audigé L, AO Pediatric Classification Group (2007): AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures (PCCF). AO Foundation, Davos 2010, 6
46	Slongo T, Audigé L, AO Pediatric Classification Group (2007): AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures (PCCF). AO Foundation, Davos 2010, 25

Internetquelle	Zugriff am
http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/006-016.html	15.08.2016
http://www.li-la.org/content/index.php?id=2	13.07.2016
http://www.li-la.org/content/index.php?id=21	20.07.2016

Tabellennummer	Quelle
1	Modifiziert nach: Schneidmüller D, Weinberg A: Frakturklassifikationen. In: Weinberg AM, Schneidmüller D (Hrsg.): Unfallchirurgie bei Kindern: Kompendium der Kindertraumatologie; Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2010, 2-4
2	Modifiziert nach: Von Laer L, Kraus R, Linhart WE: Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, 5. Auflage; Thieme, Stuttgart 2007, 280-281
14	Modifiziert nach: Gresing T: Hüftgelenk und Oberschenkel. In: Dietz HG, Illing P, Schmittenbecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW (Hrsg.): Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie; Springer-Verlag Berlin 2011, 363

Art der Quelle	Titel
Video	AO Teaching Video on DVD. In: Slongo T, Wilkins KE: AO Manual of Fracture Management. Elastic Stable Intramedullary Nailing (ESIN) in Children; Thieme, Stuttgart 2006

Danksagung

Bei der Konzeption und Realisierung der vorliegenden Arbeit habe ich umfangreiche Unterstützung erfahren, für die ich mich an dieser Stelle herzlich bedanken möchte.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Stephan Sehmisch für die fachliche Betreuung meines Promotionsvorhabens. Seine Anregungen, ermutigenden Kommentare und wertvollen Rückmeldungen erleichterten mir das Anfertigen der Promotionsschrift sehr.

Ganz herzlich danken möchte ich Herrn Privatdozent Stefan Piatek von der unfallchirurgischen Klinik sowie Herrn Dr. med. Hardy Krause von der Abteilung für Kinderchirurgie und Kindertraumatologie am Universitätsklinikum Magdeburg für die freundliche Zusammenarbeit und die Bereitstellung der Patient(inn)endaten.

Dr. Asmus Zoch danke ich für seine Geduld, die Diskussionen zu statistischen Tests und die Überprüfung der statistischen Auswertung meiner Daten.

Außerdem möchte ich Simon Schallenberg und Sophia Westpfahl meinen Dank aussprechen für das Zusenden benötigter Literatur aus den Universitätsbibliotheken Köln und Rostock.

Lebenslauf

Am 3. Oktober 1988 wurde ich in Berlin als Tochter von Rita und Fritz Klauser geboren. Im Alter von vier Jahren zog ich mit meinen Eltern nach Göttingen und wurde im Sommer 1995 eingeschult. Ab der siebten Klasse besuchte ich den mathematisch-naturwissenschaftliche Zweig des Felix-Klein-Gymnasiums. Sechs Monate der elften Klasse absolvierte ich in Südafrika an der Rhenish Girls' High School in Stellenbosch. Im Anschluss besuchte ich die Oberstufe des Theodor-Heuss-Gymnasiums, wo ich 2008 mein Abitur erwarb.

Es folgte ein Praktikumsaufenthalt als *Volunteer* in der Notaufnahme des *Hottentots Holland Hospitals*, eines staatlichen Krankenhauses in Somerset West, Südafrika. Die Erfahrungen dort prägten und motivierten mich für meine Berufswahl, sodass ich mich anschließend auf einen Studienplatz der Humanmedizin bewarb. Die Universität Göttingen bat mich nach einem Auswahlgespräch einen Platz für das Sommersemester 2009 an. Zwei Jahre später legte ich dort erfolgreich das Physikum ab. Ab 2012 arbeitete ich als Rufdienststudentin der unfallchirurgischen Notaufnahme am Universitätsklinikum Göttingen, wodurch mein Interesse für dieses Fachgebiet maßgeblich geweckt wurde. Im Rahmen eines Erasmus-Stipendiums studierte ich 2013 acht Monate an der Universität La Sapienza in Rom. Im November des gleichen Jahres wurde ich Promovendin in der Abteilung für Unfallchirurgie, Plastische und Wiederherstellungschirurgie der Universitätsklinik Göttingen, betreut durch Herrn Professor Stephan Sehmisch, und begann mit der Datenerhebung für die vorliegende Arbeit. 2014 bestand ich das zweite Staatsexamen. Anschließend sammelte ich Erfahrungen in zwei Krankenhäusern Göttingens (Pathologie, Unfallchirurgie und Geriatrie) sowie in Liverpool (Infektions- und Tropenkrankheiten) und Kigali, Ruanda, (Allgemeinchirurgie und Geburtshilfe). Im November 2015 bestand ich die Dritte Ärztliche Prüfung und erhielt die Approbation. Meine erste Arbeitsstelle trat ich im November 2016 in der geriatrischen Abteilung des Evangelischen Krankenhauses Göttingen-Weende an.