

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
der Universität zu Köln
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. P. Eysel

Verteilungsmuster von Frakturen und anderen Verletzungen der Extremitäten im Kindesalter

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Jana Katharina Scholz
aus Aachen

promoviert am 09. Mai 2023

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink
1. Gutachter: Universitätsprofessor Dr. med. L. P. Müller
2. Gutachterin: Professorin Dr. med. S. Banaschak

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

Universitätsprofessor Dr. med. L. P. Müller
Priv.-Doz. Dr. med. M. Hackl
Dr. K. Möllenhoff

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Daten wurden im Rahmen einer Studie an der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Köln erhoben. Bei der Erhebung der Daten war ich beteiligt. Die Probandendaten wurden pseudonymisiert und vollständig von mir unter Anleitung von Priv.-Doz. Dr. med. M. Hackl, Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universität zu Köln, sowie anhand der Empfehlungen von Frau Dr. K. Möllenhoff, Institut für medizinische Statistik und Bioinformatik der Universität zu Köln, mithilfe der Analysesoftware SPSS ausgewertet.

Die vorliegende Dissertationsschrift wurde vollständig von mir selbst unter der Anleitung von Herrn Universitätsprofessor Dr. med. L. P. Müller angefertigt.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 08.04.2022

Unterschrift:



Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Universitätsprofessor Dr. med. L. P. Müller für die Möglichkeit der Durchführung der vorliegenden Dissertation an der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universität zu Köln. Ganz besonders danke ich zudem Herrn Priv.-Doz. Dr. med. M. Hackl, der mir bei der Ausarbeitung stets mit Rat und Tat zur Seite stand. Darüber hinaus danke ich meinen Eltern und meinem Bruder, die mich während des gesamten Studiums sowie bei der Durchführung dieser Arbeit unterstützt und stets aufs Neue motiviert haben.

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1 ZUSAMMENFASSUNG	8
2 EINLEITUNG	10
2.1 Stand der Wissenschaft	10
2.2 Wissenschaftliche Grundlagen	12
2.2.1 Definition Fraktur	12
2.2.2 Frakturmechanismen	12
2.2.3 Frakturzeichen	13
2.2.4 Frakturformen	14
2.2.5 Frakturheilung	14
2.2.6 Besonderheiten kindlicher Frakturen	15
2.2.7 Klassifikationen	17
2.2.8 Weitere Verletzungsmuster	22
2.2.9 Bildgebende Verfahren in der Medizin	23
2.2.10 Therapieverfahren	29
2.2.11 Unfallhergänge	32
2.3 Ziele der Studie	33
3 MATERIAL UND METHODEN	35
3.1 Studiendesign	36
3.2 Patientenpopulation	36
3.3 Ein- und Ausschlusskriterien	38
4 ERGEBNISSE	39
4.1 Geschlechterverteilung	39
4.2 Altersverteilung	41
4.3 Seitenverteilung	43
4.4 Unfallhergang	44
4.5 Lokalisationen	46
	5

4.6	Diagnosen	51
4.7	Bildgebende Verfahren	54
4.8	Therapie	57
4.9	Therapieverfahren	60
5	DISKUSSION	62
5.1	Diskussion der Ergebnisse	62
5.2	Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext	66
5.3	Schlussfolgerung und Ausblick	71
6	LITERATURVERZEICHNIS	72
7	ANHANG	75
7.1	Abbildungsverzeichnis	75
7.2	Tabellenverzeichnis	77
7.3	Weitere Ergebnisse	78

Abkürzungsverzeichnis

AC- Gelenk

AO

CT

Lig. /Ligg.

MRT

OSG

P

χ^2

Acromioclaviculargelenk

Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen

Computertomographie

Ligamentum/Ligamenta

Magnetresonanztomographie

Oberes Sprunggelenk

Signifikanzwert

Chi- Quadrat

1 ZUSAMMENFASSUNG

Frakturen und Verletzungen im Kindesalter stellen eine gängige und stetig zunehmende Diagnose in den Notaufnahmen deutscher Krankenhäuser dar ¹. Dennoch gibt es bisher wenige Studien über kindliche Frakturen und Verletzungen. In dieser Arbeit wurde untersucht, ob verschiedene kindliche Frakturtypen und Verletzungsmuster mit unterschiedlichen Einflussgrößen sowie diese Einflussgrößen untereinander korrelieren. Weiterhin wurden Übersichten des Fraktur- und Verletzungsgeschehens bei Kindern und Jugendlichen erstellt. Grundlage der Arbeit war die Examination von Bildgebungen von Kindern und Jugendlichen, welche sich nach einem stattgehabtem Trauma an den Extremitäten in der Notaufnahme der Uniklinik Köln vorstellten. Weiterhin erfolgte die Evaluation der zugehörigen Krankengeschichte. Begutachtete Einflussgrößen waren das Geschlecht, die Verletzungsseite, das Patientenalter, der Unfallhergang, das angewandte bildgebende Verfahren, die finale Diagnose, Lokalisationen und Bereiche der Verletzungen und die finale Therapie mit dem entsprechenden Therapieverfahren. Insgesamt wurden 1574 Fälle dokumentiert.

Es konnten Korrelationen zwischen mehreren Größen festgestellt werden, jedoch bestätigte sich nicht jeder vermutete Zusammenhang. Das weitere Ziel der Studie, Übersichten über das Fraktur- und Verletzungsgeschehen bei Kindern und Jugendlichen zu schaffen, wurde außerdem erreicht.

Beim Betrachten der Korrelationen zeigte sich für Frakturen und Verletzungen unter anderem, dass bestimmte Körperbereiche deutlich häufiger von Frakturen betroffen waren und dass die unterschiedlichen Unfallhergänge mit bestimmten Verletzungen korrelierten. Es zeigte sich auch, dass Bildgebungen in bestimmten Körperbereichen besonders häufig keine Fraktur nachweisen konnten. Geschlechtsspezifische Korrelationen zeigten sich für Unfallhergänge, Diagnosen und Verletzungslokalisationen. Für die Wahl der Therapie ließ sich indes kein Geschlechtsunterschied feststellen.

Die individuelle Betrachtung von Verteilungsmustern zeigte unter anderem ein besonders häufiges Auftreten von Frakturen am Handgelenk, an der Hand und am Ellenbogen. Alle anderen Verletzungen ereigneten sich am häufigsten im Bereich des Sprunggelenks, des Knies und des Handgelenks. Es dominierten Frakturen des distalen Radius und supracondyläre Humerusfrakturen. Offen operative Therapieverfahren wurden insgesamt am häufigsten bei der supracondylären Humerusfraktur und bei Frakturen des distalen Unterarms (Radius und Ulna betroffen) durchgeführt. Prozentual gesehen fiel jedoch im Falle einer Unterarmschaftfraktur am häufigsten die Wahl auf ein operatives Therapieverfahren. Die häufigsten angewandten Osteosyntheseverfahren waren in der vorliegenden Stichprobe die K-Draht-Osteosynthese und die TEN-Osteosynthese.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Verteilungsmuster der Verletzungen und Frakturen des kindlichen Patientenkollektivs Schwerpunkte und Korrelationen aufweisen und somit Fortschritte im Verständnis dieser Frakturtypen ermöglichen. Diese Erkenntnisse können einen Beitrag bei der vereinfachten Einordnung und anamnestischen Einschätzung der Verletzungen in der Akutsituation der Notaufnahme bieten. Der im Verhältnis zu alternativen Diagnosemethoden häufige Einsatz von Röntgendiagnostik als bildgebendes Verfahren sollte insbesondere in Anbetracht der möglichen Komplikationen bei Heranwachsenden unter strenger Indikationsstellung hinterfragt werden.

2 EINLEITUNG

In den Notaufnahmen deutscher Krankenhäuser sind Frakturen und Verletzungen im Kindesalter eine häufige Diagnose. Über die letzten Jahre hinweg konnte ein stetiger und signifikanter Zuwachs von Knochenbrüchen bei Kindern und Jugendlichen festgestellt werden ¹. Die physiologischen Besonderheiten des kindlichen Skelettsystems bedingen Verletzungsmuster, die sich von denen Erwachsener unterscheiden. Durch die höhere Elastizität von Band- und Sehnenstrukturen ist das Aufkommen von knöchernen Verletzungen bei Kindern gegenüber ligamentären oder muskulären Verletzungen deutlich erhöht ². Auch das altersentsprechende Verhalten von Kindern und Jugendlichen spielt bei der Entstehung von Frakturen eine wichtige Rolle. Laut dem statistischem Bundesamt gehörten im Jahre 2016 sowohl die geschlossene Reposition einer Fraktur als auch die Epiphysenlösung mit Osteosynthese zu den häufigsten durchgeführten Operationen bei Kindern in Deutschland ³. Dementsprechend ist die Relevanz von kindlichen Frakturmustern als besonders hoch einzustufen.

Kinder und Jugendliche in der Notaufnahme nach einem Trauma und Verdacht auf eine Fraktur stellen für das behandelnde medizinische Personal ein besonders diverses Patientenkontingent dar. Eine adäquate Anamnese und Behandlung werden durch diese Diversität erschwert. Neben altersspezifischen körperlichen Unterschieden je nach bisherigem Wachstum des Körpers stellt häufig die reduzierte Kommunikationsfähigkeit besonders junger Patienten eine Herausforderung dar. Die dem Trauma vorausgegangenen Unfallhergänge sind sehr unterschiedlich und hierdurch häufig erschwert zu eruieren. Die weiterführende Diagnostik und die anschließende Therapieplanung sollte sich zu der von erwachsenen Knochenbrüchen unterscheiden und individuell an die Einflussfaktoren und Gegebenheiten der Kinder und Jugendlichen angepasst werden ⁴.

Auf Grund der hohen Prävalenz von Kindern und Jugendlichen mit Verdacht auf eine Fraktur in den Notaufnahmen erscheint es sinnvoll, eine umfangreiche und aussagekräftige Arbeit über Korrelationen und Häufigkeiten zu erstellen. Die erleichterte Einordnung und Einschätzung für behandelnde Ärzte für das Frakturgeschehen bei Kindern und Jugendlichen, die präventiven Möglichkeiten durch Kenntniserwerb über Ursachen des Traumas und die Reevaluation des Strahlenschutzes in Bezug auf die Ergebnisse dieser Arbeit sind dabei von zentralem Interesse.

2.1 Stand der Wissenschaft

Die vorliegende Dissertationsschrift beschäftigt sich mit Frakturen und Verletzungen im Kindesalter. Im Folgenden soll der aktuelle Stand der Forschung hinsichtlich dieser Thematik vorgestellt werden. Es wird eine Auswahl an Studien mit deren unterschiedlichen Zielen und

Studiendesigns vorgestellt, welche repräsentativ für die bisher vorhandenen Veröffentlichungen steht.

Naranje et al. (2016) evaluierten die häufigsten kindlichen Frakturen in den USA im Jahr 2010 durch die Nutzung der National Electronic Injury Surveillance System (NEISS) database. Die Autoren führten die Studie auf Grund der vielen Fälle von kindlichen Verletzungen in den Notaufnahmen durch. Im Rahmen der Untersuchungen von Naranje et al. wurde eine besonders große Fallzahl an Patienten betrachtet, da sie jeden Patienten zwischen 0-19 Jahren, der im Jahr 2010 in einer Notaufnahme der USA mit einer Fraktur behandelt wurde, einschließt. Die häufigste Fraktur war die des Unterarms. Auf die gesamte amerikanische Population hochgerechnet erlitt eines von fünf Kindern im Jahr 2010 eine Fraktur. Die meisten Frakturen konnten bei Kindern zwischen 10 und 14 Jahren diagnostiziert werden. Durch die angewandte Methodik konnten jedoch keine ergänzenden Informationen zu den Patienten erhoben werden ⁵.

Eine weitere Studie über kindliche Verletzungen führten Labronici et al. (2016) durch. Die Autoren beschäftigen sich mit der distalen Claviculafraktur bei Kindern zwischen 5 und 11 Jahren in den Jahren 2000 bis 2010. Es wurden zehn Patienten in die Studie eingeschlossen. Hinsichtlich möglicher Einflussfaktoren wurde der Unfallhergang, das Alter, das Geschlecht und das Therapieverfahren dokumentiert. In der Studie wurden die möglichen Therapien (konservativ oder operativ) und die anschließenden Therapieverfahren diskutiert. Es wurden erheblich mehr Patienten konservativ als operativ behandelt und alle Behandlungen ergaben gute funktionelle Resultate ⁶. Das gewählte Studiendesign schloss lediglich eine geringe Anzahl an Patienten in die Studie ein. Die Autoren inkludierten lediglich Patienten mit einem bestimmten Frakturtyp an einer bestimmten Verletzungslokalisierung.

Arking et al. (2017) stellten eine Fallstudie über das Trampolinspringen als Unfallhergang für eine anschließende Fraktur vor. Hierbei handelt es sich um seltene nicht-traumatische impact-Frakturen der Tibia auf beiden Seiten. Das Ziel der Studie war es, auf einen in der Akutsituation potenziell unterschätzten Unfallhergang aufmerksam zu machen ⁷.

Im Bereich der kindlichen Bildgebungsverfahren wurden die Sonografie und das konventionelle Röntgen durch Moritz et al. (2010) untersucht. Es wurden die beiden bildgebenden Verfahren in ihrer Aussagekraft bei der Suche nach Frakturen verglichen. Anhand von 248 Schweineknochen als Modelle für kindliche Knochen führten die Autoren die Studie durch. Letztendlich wurden die unterschiedlichen Bildgebungsverfahren als gleichwertig eingestuft ⁸.

Die ausgewählten Studien stehen beispielhaft für die Art der bisher vorhandenen Studien, die sich mit kindlichen Verletzungen und Frakturen beschäftigt haben. Ein Großteil der aktuell veröffentlichten Forschungsarbeiten sind sich darin ähnlich, dass die verwendeten

Stichproben sehr klein gehalten sind, wie in Labronici et al. (2016). Hierfür gibt es verschiedene Gründe. Unter anderem liegt es daran, dass zumeist spezifische Verletzungen oder Lokalisationen untersucht werden. Entsprechend können häufig nur wenige Patienten eingeschlossen werden. Es gibt zudem viele Fallstudien, wie bei Arking et al. (2017). Bei dieser Art der Veröffentlichung sind Vergleiche oder das Erheben von Häufigkeiten nicht möglich. Die wenigen Studien mit großen Fallzahlen wie die von Naranje et al. verzichteten bisher auf die Erhebung weiterer möglicher Einflussfaktoren, wodurch keine weiteren Korrelationen erhoben wurden. Im Bereich der kindlichen Bildgebungsverfahren gibt es nicht viele Veröffentlichungen. Moritz et al. (2010) beschäftigen sich primär mit dem Vergleich der Aussagekraft verschiedener Verfahren. In welcher Häufigkeit die unterschiedlichen bildgebenden Verfahren im klinischen Alltag angewendet werden wurde bisher nicht untersucht.

Diese Übersicht über die bisher vorhandene Studienlage über kindliche Verletzung und Frakturen begründet die Notwendigkeit zur Durchführung einer weiteren Studie in diesem Bereich. Es wird insbesondere deutlich, dass ein Mangel an Studien besteht, welche große, sich über das gesamte Altersspektrum der Kinder und Jugendlichen erstreckende Stichproben untersuchen, sich mit den durchgeführten bildgebenden Verfahren auseinandersetzen und die anhand der Anamnesen und Behandlungsverläufe verschiedene Einflussfaktoren und Informationen zu den Verletzungen und Frakturen erheben.

2.2 Wissenschaftliche Grundlagen

2.2.1 Definition Fraktur

Eine Fraktur ist definiert als eine Kontinuitätsunterbrechung des Knochens, welche durch entsprechende Belastung über die Elastizitätsgrenzen hinaus entsteht. Weiterhin kann davon eine Fissur oder Knochenriss unterschieden werden, wobei in Abgrenzung zu der Fraktur keine vollständige Kontinuitätsunterbrechung vorliegt⁹.

2.2.2 Frakturmechanismen

Die ätiologische Einteilung von Frakturen definiert die unterschiedlichen Entstehungsweisen. Zunächst werden traumatische und pathologische Entstehungsursachen sowie Stressfrakturen unterschieden⁹.

Die traumatische Fraktur wird in die direkte und die indirekte Form unterteilt. Bei einer direkten Fraktur kommt es zu einem Bruch unmittelbar an der Stelle einer Krafteinwirkung. Führt hingegen die Krafteinwirkung durch interne Weiterleitung mittels Drehung, Biegung,

Stauchung oder Abriss des Knochens an anderer Stelle zu einer Kontinuitätsunterbrechung, entsteht eine indirekte Fraktur⁹.

Eine pathologische Fraktur entsteht entweder spontan oder bei inadäquatem Trauma. Ursächlich hierfür sind diverse Vorerkrankungen wie Knochenmetastasen- und Tumore sowie andere Knochenkrankheiten, welche zuvor zu einer verminderten Knochendichte führen⁹.

Stressfrakturen sind zurückzuführen auf eine konstante mechanische Überbelastung. Eine Art der Stressfraktur ist die Ermüdungsfraktur. Diese entsteht trotz des Vorhandenseins einer physiologischen Knochenstruktur durch Überlastung, zum Beispiel bei Läufern. Bei Insuffizienzfrakturen hingegen liegt eine Pathologie des Knochens zu Grunde. Die geschwächte Knochenstruktur wird bereits durch physiologische Belastungsmuster strapaziert und es kommt zur Fraktur. Ein typisches ursächliches Krankheitsbild stellt die Osteoporose dar⁹.

2.2.3 Frakturzeichen

Frakturzeichen sind wichtige diagnostische Kriterien, welche die weitere therapeutische Vorgehensweise maßgeblich beeinflussen. Es können radiologische und klinische Frakturzeichen unterschieden werden⁹.

Bei der initialen Erfassung der klinischen Symptomatik werden sichere und unsichere Frakturzeichen unterschieden. Zu den unsicheren Zeichen gehören Schmerzen, Schwellungen, Hämatome und Funktionsstörungen. Hierbei handelt es sich jedoch lediglich um mögliche Symptome einer Fraktur, welche nicht beweisend für eine solche sind. Bei Fehlstellungen, abnormer Beweglichkeit, Krepitation und sichtbaren Knochenfragmenten handelt es sich um sichere Frakturzeichen⁹.

Werden sichere klinische Frakturzeichen in der Untersuchung festgestellt, ist eine radiologische Röntgenkontrolle als nächster diagnostischer Schritt angebracht. Bei kleineren Knochen, Stauchungsfrakturen oder Abrissfrakturen können sichere klinische Frakturzeichen allerdings fehlen. In Abhängigkeit von der weiteren klinischen Symptomatik, der Lokalisation und des Unfallhergangs kann dieses Vorgehen deshalb auch bei unsicheren klinischen Frakturzeichen indiziert sein. Direkte radiologische Frakturzeichen sind ein Frakturspalt, eine Unterbrechung der Kortikalis, eine Stauchung der Spongiosa und sichtbare Knochenfragmente. Analog zu den unsicheren klinischen Frakturzeichen zählen zu den indirekten radiologischen Frakturzeichen eine Weichteilschwellung, ein Hämatom oder eine Periostreaktion⁹.

2.2.4 Frakturformen

Frakturen werden nach verschiedenen Kriterien Frakturformen zugeordnet. Eine Fraktur kann disloziert oder nicht- disloziert sein. Die Dislokationsformen sind Längsverschiebungen (dislocatio ad longitudem), seitliche Verschiebung (dislocatio ad latus), Rotation (dislocatio ad periphariam) und Achsenabknickung (dislocatio ad axim). Anhand der Frakturlinie lässt sich eine Fraktur in Zweifragment- und Mehrfragmentfrakturen unterteilen. Bei Mehrfachfrakturen wird zusätzlich zwischen Etagenfrakturen (mehrere Frakturen an einem Knochen), Serienfrakturen (mehrere Frakturen an einer Extremität) und Polyfrakturen (Frakturen an mehreren Extremitäten) differenziert. Abhängig von dem Entstehungsmechanismus werden Biegungsfrakturen, Drehfrakturen, Abriss- oder Avulsionsfrakturen, Abscherfrakturen, Stauchungsfrakturen und Trümmerfrakturen unterschieden. Unvollständige Frakturen sind Fissuren, Infraktionen oder Ausrisse, die die Kontinuität des Knochens nicht vollständig unterbrochen haben. Als Luxationsfraktur wird eine Fraktur knorpeltragender Gelenkteile mit parallel stattgehabter Luxation des entsprechenden Knochens bezeichnet ¹⁰.

2.2.5 Frakturheilung

Bei der primären und der sekundären Frakturheilung wird die ursprüngliche Stabilität des Knochens durch Regeneration des Gewebes wiederhergestellt. Wesentliche Voraussetzungen für eine Frakturheilung sind eine intakte Durchblutung der Fragmente, eine Ruhigstellung der Fraktur und ein ausreichender Knochenkontakt der Frakturfragmente ¹⁰.

Die direkte Knochenheilung ist durch das Fehlen von Kallus charakterisiert (Kontaktheilung). Voraussetzung ist der Kontakt beider Frakturfragmente sowie eine gute Durchblutung. Durch eine stabile Fixation der Fragmente können Osteone den Bruchspalt direkt durchwandern und die Frakturheilung auslösen. Geringe Knochenspalten werden durch Kallus aufgefüllt (Spaltheilung). Der definitive Umbauprozess dauert 1,5- 2 Jahre ¹⁰.

Bei unzureichender Fixation oder bestehendem Frakturspalt kommt es zur indirekten Knochenheilung. Diese entspricht der physiologischen Regeneration der Fraktur. Verschiedene Wachstumsfaktoren induzieren die Knochenheilung, woraufhin es in aufeinanderfolgenden Phasen zu einer Kallusbildung zwischen den Knochenfragmenten kommt. In der initialen Verletzungsphase bildet sich ein Frakturhämatom, das in der Entzündungsphase durch die Einwanderung von Fibroblasten neu organisiert wird. Es entsteht bindegewebiger Kallus. In der Phase der Kallushärtung wird das Gewebe zu Geflechtknochen (knöcherner Kallus) differenziert, der in der finalen Remodelling-Phase nach 1-2 Jahren zu lamellären Knochen umgebaut wird ¹⁰.

2.2.6 Besonderheiten kindlicher Frakturen

Bei einem kindlichen Skelett wird stets ein wachsendes Skelett betrachtet. Das bedeutet, dass sich die Behandlungsprinzipien an den besonderen Eigenschaften der Frakturheilung am wachsenden Skelett orientieren. Diese Eigenschaften sind vorrangig abhängig von dem Alter der Patienten und von der Lokalisation am Skelett. Weiterhin spielen auch das Geschlecht und das Entwicklungsstadium eine Rolle. Eine Modifikation der Versorgung durch unterschiedliche diagnostische und therapeutische Ansätze sollte durch den behandelnden Arzt daher sorgfältig abgewogen werden ⁴.

Zunächst leiden Kinder deutlich häufiger unter Frakturen als Erwachsene. Es ergeben sich unterschiedliche Häufigkeitspeaks in Abhängigkeit der verschiedenen Lebensphasen der Patienten im Kindesalter. So kommt es bei Kleinkindern insbesondere zu Verletzungen bei der Entdeckung der sich individuell neu entwickelnden Bewegungsfreiheiten, da sie noch keine ausreichende koordinative Kontrolle ihrer Fähigkeiten besitzen. Kleinkinder können beispielsweise bereits durch bloßes Hinfallen im Sinne eines Bagateltraumas eine Toddlers-Faktur der Tibia erleiden ⁴. Hierbei handelt es sich um eine meist undislozierte und radiologisch schwer erkennbare Fissur oder unvollständige Fraktur der Tibia ². Bei älteren Kindern und Jugendlichen häufen sich hingegen die Unfälle bei sportlichen Aktivitäten, da eine adäquate Einschätzung des Gefährdungspotentials auf Grund mangelnder Erfahrung noch nicht gegeben ist ¹¹. Zusätzlich kommt es zu einem Peak mit Beginn der Pubertät, da zu dieser Zeit die Geschwindigkeit des Knochenwachstums zunimmt. Infolgedessen kommt es zu einem Missverhältnis zu der langsamer ablaufenden Knochenmineralisierung. Durch diese Strukturveränderung ergibt sich ein vorübergehendes erhöhtes Frakturrisiko ¹².

Auch die klinische Diagnostik kann bei Patienten im Kindesalter sehr schwierig sein. Hierbei ist bereits der erste diagnostische Arbeitsschritt, die Anamnese, durch die spezifischen Besonderheiten des Altersspektrum und der Kommunikationsmöglichkeiten gekennzeichnet. Durch Fehlkommunikation und Missverständnisse insbesondere bei Kleinkindern und Fehleinschätzung der Situation durch fehlende Erfahrung der jugendlichen Patienten, ergeben sich große Schwierigkeiten in einer zielführenden klinischen Diagnostik. Dem Einsatz von bildgebenden Verfahren kommt dementsprechend eine bedeutende Rolle zu ¹¹.

Weiterhin unterscheidet sich der Knochenaufbau von Kindern und Jugendlichen signifikant von dem eines erwachsenen Patienten. Kindlicher Knochen weist eine deutlich höhere Flexibilität auf und ist dennoch instabiler als der erwachsener Patienten. Er ist biegsamer als der eines Erwachsenen, da er insgesamt weicher ist, das Periost ist aber bedeutend dicker und robuster. Dadurch entstehen kindliche Frakturformen, die bei erwachsenen Patienten nicht zu finden sind. Beispiele kindlicher inkompletter Frakturen sind in Abbildung 1 dargestellt. Die inkompletten Frakturen lassen sich unterteilen in die Grünholzfraktur, die Wulstfraktur

(Torusfraktur) und die Bowing-Fraktur². Bei der Grünholzfraktur handelt es sich um einen Bieungsbruch mit Erhalt des Periosts und einseitigem Bruch der konvexen Kortikalis. Er betrifft hauptsächlich lange Röhrenknochen. Die Wulstfraktur ist eine metaphysäre Stauchungsfraktur mit meist einseitigem Bruch der Kortikalis bei intaktem Periost. Bei der Bowing-Fraktur kommt es zu einer fixierten Biegung des Knochens bei intaktem Periost und intakter Kortikalis.

Auch das Vorhandensein von Epiphysenfugen stellt eine Besonderheit kindlicher Knochen dar. Es kann zu posttraumatischen epiphysären Wachstumsstörungen durch Schaden an der Proliferationszone der Wachstumsfuge kommen. Hierbei kommt es zu einer vorzeitigen Verknöcherung im Bereich der Wachstumsfuge. Der Schaden kann bei völliger vorzeitiger Verknöcherung der Wachstumsfuge zu einem Wachstumsstillstand mit einer relativen Verkürzung der betroffenen Skelettregion oder bei teilweiser Verknöcherung (= Brückenkallusbildung) zu Achsenabweichungen mit Fehlstellungen führen¹³.

Besondere Gefahren der Frakturheilung bei Kindern und Jugendlichen sind potenzielle Wachstumsstörungen bei Verletzung der Epiphysenfuge und posttraumatische Längendifferenzen bei Frakturen im Schaftbereich. Demgegenüber steht die körpereigene Spontankorrektur, welche Achsenfehlstellungen und Seit-zu-Seit-Verschiebungen während der Wachstumsphase ausgleichen kann. Rotationsfehler können durch diesen Prozess im begrenzten Umfang korrigiert werden¹⁴.

Bei der darauffolgenden Therapieplanung der verschiedenen oben genannten Frakturformen sind wiederum charakteristische Besonderheiten zu beachten. Einerseits ist das Skelett der Heranwachsenden schneller in der Lage knöcherne Verletzungen zu heilen und das Risiko für Immobilitätsschäden und posttraumatischen Fehlstellungen ist geringer. Andererseits können auch Wachstumsstörungen auftreten und das Risiko inadäquater Therapie ist durch Unkenntnis der behandelnden Ärzte der zuvor beschriebenen Besonderheiten des kindlichen Skeletts erhöht.

Dementsprechend ergibt sich durch die gehäufte Frakturteilung, die erschwerte Diagnostik, die Besonderheiten des Knochenaufbaus und die verschiedenen speziellen kindlichen Frakturformen eine besondere Behandlungssituation, die nicht mit der eines Erwachsenen gleichzusetzen ist⁴.

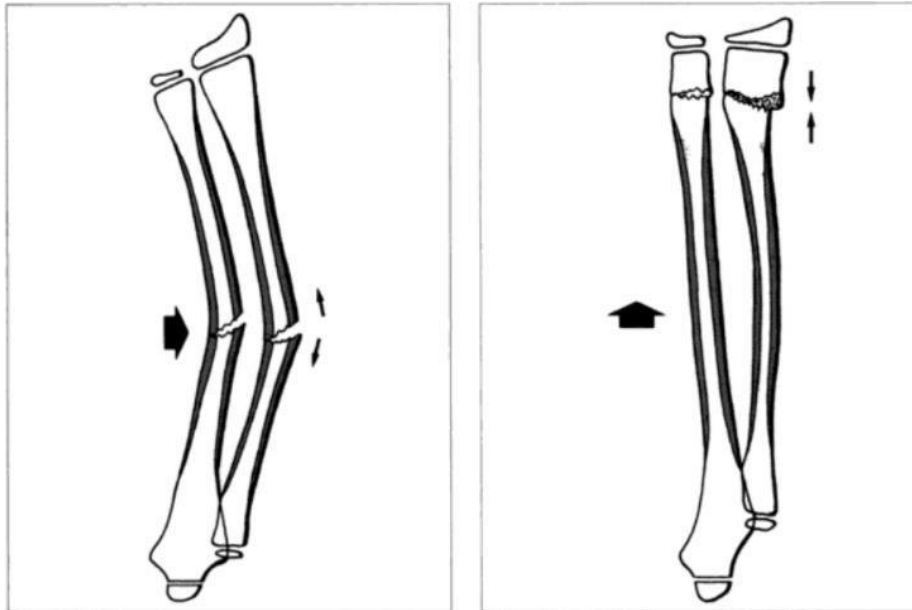


Abbildung 1 - Darstellung inkompletter kindlicher Frakturen: Grünholzfraktur (a), Wulstfraktur (b) ¹⁵

2.2.7 Klassifikationen

Klassifikationssysteme in der Unfallchirurgie haben einen besonders hohen Stellenwert. Insbesondere die systematische Erfassung spielt dabei eine zentrale Rolle, welche eine zielgerichtete Auswahl der Therapieoptionen und eine wissenschaftliche Aufarbeitung sowie Kontrolle im Nachhinein ermöglicht. Als vorteilhaft erwiesen sich detaillierte und gleichzeitig unkomplizierte Klassifikationssysteme, die eine hohe Vergleichbarkeit und die systematische Analyse zulassen ¹⁶.

Auch für kindliche Frakturen wird unter den oben genannten Aspekten eine Aufnahme in Klassifikationssysteme als sinnvoll erachtet. Eine Besonderheit ergibt sich jedoch durch die multifaktorielle Entscheidungsgrundlage, welche bereits oben erläutert wurde, und deshalb zusätzlich zur strikten Klassifikation in die Therapiewahl einfließt ¹⁶.

Für diese Arbeit wurden Frakturen im Bereich der oberen und unteren Extremitäten betrachtet. Die verwendeten Klassifikationssysteme sind entsprechend das AO-System, die Klassifikation nach Weber für Sprunggelenksfrakturen und die Klassifikation nach Tossy/Rockwood für Verletzungen des Schulterreckgelenks.

AO- Klassifikation

Die AO- Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese ist eine systematische, standardisierte und weltweit anerkannte Einteilung von Frakturen. Zielsetzung bei Einführung dieses Systems 1996, durch eine Publikation im Journal of Orthopaedic Trauma, war die

Einführung eines „konsistenten Systems für die klinische Interaktion und die Forschung“, das einer weltweit standardisierten Sprache unterliegt ¹⁷.

Die AO-Klassifikation nutzt einem alphanumerischen Code, welcher die Lokalisation und Schwere der Frakturen angibt.

Für diese Arbeit wurde die „AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures (PCCF)“ verwendet. Die AO Pediatric Expert Group und die AO Pediatric Classification Group hat diese in Kooperation mit der AO Investigation and Documentation Group erstmals 2007 vorgestellt. Ziel dieser Arbeitsgemeinschaft war die Erstellung eines Klassifikationssystems, welches neben der Orientierung am Skelett des Kindes die Möglichkeit bietet, die Morphologie des kindlichen Bruchs spezifisch zu beschreiben ¹⁸.

Die Positionen eins bis drei des numerischen Codes geben die Möglichkeit einer groben Orientierung am Skelett. Die erste Position gibt an, welcher Knochen des Skeletts betroffen ist (1- Humerus, 2- Radius/Ulna, 3- Femur, 4- Tibia/Fibula). Eine Übersicht der ersten Codierungsposition am gesamten kindlichen Skelett bietet die Abbildung 2. Die zweite Position ist der Segmentcode. Dieser erlaubt eine präzise Definition des frakturierten Segments am betroffenen Knochen (1- Proximales Segment, 2- Diaphysales Segment, 3- Distales Segment). Falls paarige Knochen betroffen sind, bedarf es einer Zusatzbezeichnung. Diese werden so verwendet, dass für den Betrachter nachvollziehbar ist, welcher Knochen frakturiert ist beziehungsweise, ob beide Knochen betroffen sind (r- Radius, u-Ulna, t- Tibia, f- Fibula). Die dritte Position beschreibt die Subsegmente der Röhrenknochen (E- Epiphyse, M- Metaphyse, D- Diaphyse) ¹⁸.

Der zweite Teil des numerischen Codierungscode ordnet die Morphologie der Fraktur ein und differenziert zwischen unterschiedlichen kindlichen Frakturmustern. Die vierte Position bezieht sich auf die oben beschriebenen Subsegmente. Sowohl für die Epiphyse (E1-E9), die Metaphyse (M1-M9) und die Diaphyse (D1-D9) werden entsprechend verschiedene Frakturtypen unterschieden. Die Abbildungen 3-5 bieten eine systematische Übersicht dieser Frakturtypen. An der fünften Position wird die Schwere der Fraktur definiert. Es werden die Abstufungen 1- simpel und 2- mehrfragmentär verwendet. Um die Seite der Fraktur zu objektivieren können die Buchstaben M- medial und L- lateral eingefügt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit eine Verschiebung der Fraktur genauer zu klassifizieren ¹⁸.

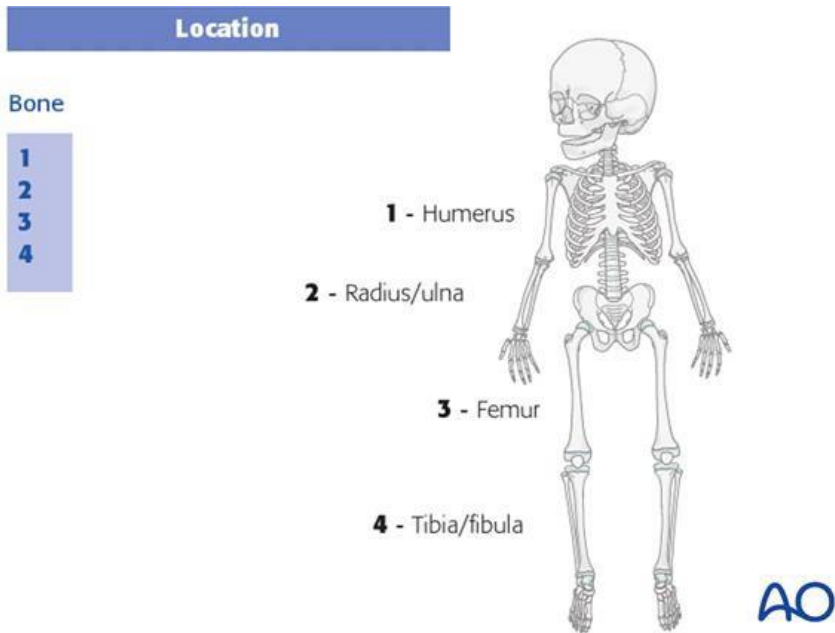


Abbildung 2 - Darstellung der ersten Stelle des numerischen Codes am kindlichen Skelett des Menschen anhand der AO- Klassifikation: 1- Humerus, 2- Radius/Ulna, 3- Femur, 4- Tibia/Fibula ¹⁸

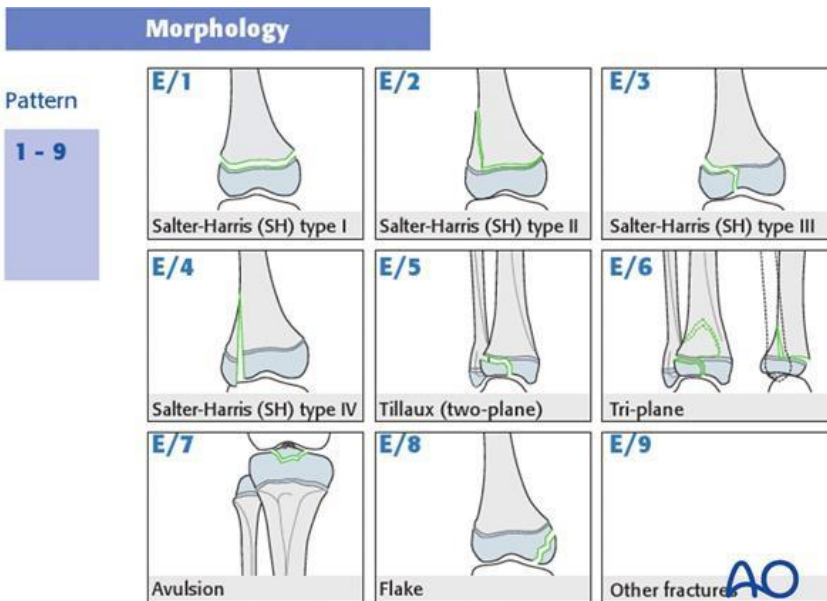
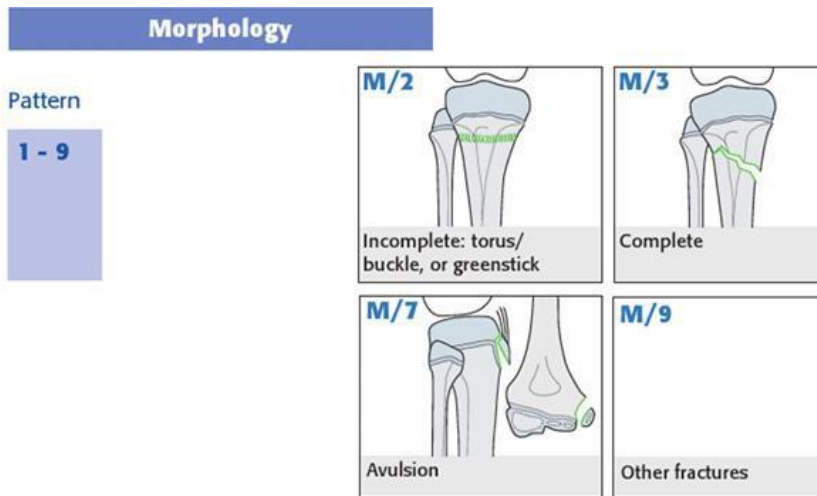
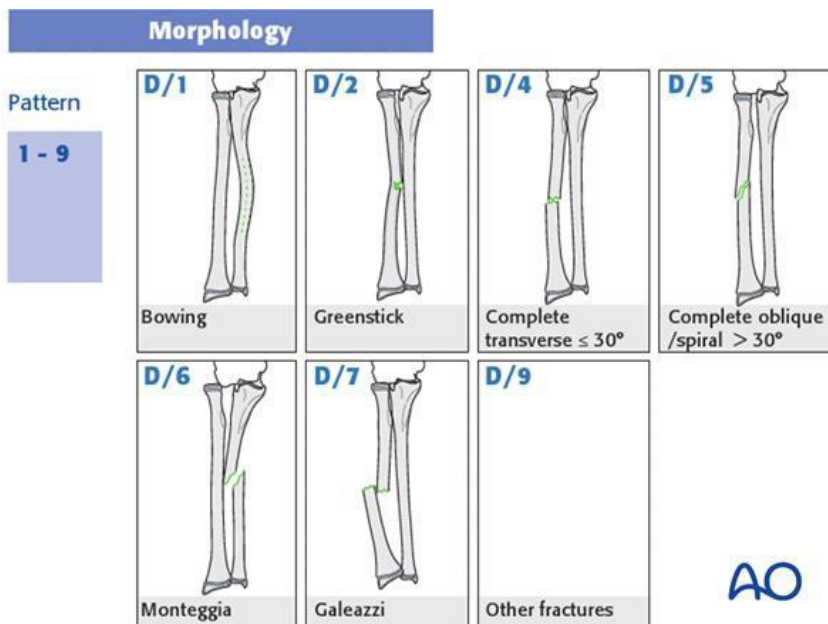


Abbildung 3 - Darstellung der Morphologie von Frakturen der Epiphyse anhand AO- Klassifikation ¹⁸



AO

Abbildung 4 - Darstellung der Morphologie von Frakturen der Metaphyse anhand AO- Klassifikation ¹⁸



AO

Abbildung 5 - Darstellung der Morphologie von Frakturen der Diaphyse anhand AO- Klassifikation ¹⁸

Einteilung Außenknöchelfrakturen nach Weber

Bei Frakturen des Außenknöchels hat sich die Klassifikation nach Weber im klinischen Alltag durchgesetzt. Die Klassifikation erlaubt eine Einteilung der Frakturen nach Weber A, B, C.

Bei einer Weber A Fraktur kommt es zu einer Fraktur unterhalb der Syndesmose, bei einer Weber B Fraktur liegt die Fraktur auf Höhe der Syndesmose und eine Weber C Fraktur

beschreibt eine Fraktur oberhalb der Syndesmose. Eine Sonderform der Weber C Fraktur stellt die Maisonneuve-Fraktur dar, bei der eine Fraktur in Höhe des Fibulaköpfchens festgestellt wird. Die zusätzlich betroffenen Bandstrukturen und möglichen Besonderheiten der Frakturen sind in Tabelle 1 dargestellt ¹⁹.

Tabelle 1 - Einteilung Außenknöchelfrakturen nach Weber ¹⁹

Klassifikation	Definition
Weber A	Fraktur des Außenknöchels unterhalb der Syndesmose
Weber B	Fraktur des Außenknöchels in Höhe der Syndesmose. In ca. 50% der Fälle kommt es zusätzlich zu einer Zerreißung der Syndesmose. Des Weiteren kann es zu einer queren Abrissfraktur des Innenknöchels oder einer Ruptur des Lig. deltoideum kommen.
Weber C	Fraktur des Außenknöchels oberhalb der Syndesmose. Zusätzlich ist eine Zerreißung der Syndesmose und Membrana interossea bis zur Höhe der Fraktur möglich. Ebenfalls kann eine Abrissfraktur des Innenknöchels oder Ruptur des Lig. deltoideum bestehen. Sonderform: Maisonneuve-Fraktur. Hohe Weber C Fraktur, die Fraktur befindet sich möglicherweise noch in Höhe des Fibulaköpfchens.

Einteilung Schulterergelenksverletzungen nach Tossy/ Rockwood

Für die Einteilung von Schulterergelenksverletzungen wird die Klassifikation nach Tossy oder die neuere, detaillierte nach Rockwood verwendet.

Nach Jeremy D. Tossy wird die Verletzung in drei Grade eingeteilt. Es werden die Ligg. Acromioclaviculare und Coracoclaviculare und das Akromioklavikulargelenk betrachtet und nach Verletzungsart unterteilt. Nach Rockwood wird die Verletzung weiterführend in sechs Grade eingeteilt. Dabei entsprechen die ersten drei Grade denen Tossys. Zusätzlich wird in drei weiteren Graden die Position des Klavikulaendes in Bezug zu dem Akromion und dem Korakoid bewertet. Beide Einteilungen sind in Tabelle 2 detailliert dargestellt ²⁰.

Tabelle 2 - Schulterergelenksverletzungen Klassifikation nach Rockwood/Tossy ²⁰

Klassifikation	Definition
----------------	------------

Tossy/Rockwood I	Überdehnung der Ligg. Acromioclaviculare und Coracoclaviculare
Tossy/Rockwood II	Ruptur des Lig. Acromioclaviculare, Überdehnung des Lig. Coracoclaviculare mit Subluxation im Akromioklavikulargelenk
Tossy/Rockwood III	Ruptur der Ligg. Acromioclaviculare und Coracoclaviculare mit Luxation im Akromioklavikulargelenk
Rockwood IV	Luxation des lateralen Klavikulaendes nach dorsal
Rockwood V	ausgeprägte Dislokation des lateralen Klavikulaendes nach proximal
Rockwood VI	Luxation des lateralen Klavikulaendes unter das Akromion oder unter das Korakoid

2.2.8 Weitere Verletzungsmuster

Ein Unfall kann verschiedene Verletzungsarten je nach Unfallhergang und je nach individuellen Voraussetzungen des Verunfallten verursachen. Nur jeder vierte bis fünfte Unfall resultiert in einer Fraktur der betroffenen Extremität. Es kommt zu Weichteilverletzung, Muskel- und Sehnenverletzungen, Wunden, Verbrennungen und Luxationen ²¹.

Häufige Verletzungsmuster sind Weichteilverletzungen wie Kontusion oder Distorsion. Die Kontusion entsteht durch direkte, meist stumpfe Gewalteinwirkung auf den Körper und führt zur Ausbildung eines Hämatoms an dem Ort des Traumas. Bei einer Distorsion hingegen führt eine indirekte Gewalteinwirkung zu einer Überschreitung des physiologischen Bewegungsspielraums eines Gelenks. Der Ort der ursprünglichen Gewalteinwirkung kann auch entfernt von dem Ort der eigentlichen Schädigung liegen. Es kommt zu Teileinrissen der befindlichen Bandstrukturen und zur Ausbildung eines Hämatoms im Bereich des betroffenen Gelenks ²¹.

Muskel-, Sehnen- und Bandverletzungen entstehen durch Überschreitung der Elastizitätsgrenzen der betroffenen Strukturen. Es werden partielle Rupturen und komplette Zerreißen unterschieden ²¹.

Wunden sind Verletzungen der äußeren Schutzbarriere (Haut und Schleimhaut) und Gewebeerstörung durch ein äußeres Trauma. Unterschiedliche Unfallhergänge führen zu Schnittwunden, Verbrennungen, Schürf- und Riss-Quetsch-Wunden ²¹.

Bei Luxationen handelt es sich um komplette oder inkomplette (Subluxation) Verschiebungen zwischen zwei ansonsten miteinander in Kontakt stehenden Gelenkflächen. Der Entstehungsmechanismus kann direkte oder indirekte Gewalteinwirkung oder habitueller

Genese sein. Klinisch manifestiert sich eine Luxation durch eine tastbare leere Gelenkpfanne und eine abnorme Stellung des Gelenks ²¹.

2.2.9 Bildgebende Verfahren in der Medizin

Die Anwendung bildgebender Verfahren in der Medizin hat sich als fester Bestandteil des medizinischen Prozesses etabliert. Die Anwendung erfolgt bei diagnostischen Fragestellungen, bei denen durch den Einsatz einer Bildgebung relevante und aufschlussreiche Erkenntnisse zu erwarten sind. Besteht eine entsprechende Indikation bei dem vorstellig gewordenen Patienten, kann ein bildgebendes Verfahren durchgeführt werden. Das Ergebnis stellt in Zusammenschau mit der erhobenen Anamnese und dem Untersuchungsbefund eine Entscheidungsgrundlage für weitere Diagnostik und entsprechende Therapieverfahren dar ²².

Die Anwendung solcher Verfahren nimmt in Deutschland stetig zu. Trotz modernerer dosissparender Verfahren und strenger Qualitätssicherung resultiert diese Zunahme in einer wachsenden Strahlenexposition der Patienten in den vergangenen Jahrzehnten ²³.

Die vier relevantesten bildgebenden diagnostischen Verfahren bei Kindern mit Verdacht auf eine Fraktur der Extremitäten werden im Folgenden detailliert erläutert.

Konventionelles Röntgen

Die Röntgendiagnostik ist das weltweit am weitesten verbreitete bildgebende Verfahren. Es geht zurück auf die Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen im Jahr 1895 ²⁴.

Für die Diagnostik wird ein Röntgenapparat verwendet. Dieser ermöglicht das Durchdringen des menschlichen Körpers mit Röntgenstrahlen zur Erstellung eines Röntgenbildes. Das Verfahren beruht auf der unterschiedlichen Absorption der Röntgenstrahlen durch die verschiedenen Gewebearten des Körpers. Final entsteht daraus eine Abbildung der zu betrachtenden Strukturen des Inneren des Menschen ²⁵.

Eine Indikation für eine Röntgenstandarduntersuchung ergibt sich insbesondere bei dem Verdacht auf mögliche Veränderungen des Knochenaufbaus und der Knochenstruktur. Die gute Darstellbarkeit von Knochen in einem Röntgenbild ist dabei ausschlaggebend ²⁶.

Um ein möglichst aufschlussreiches Bild entsprechend der medizinischen Fragestellung zu ermöglichen, werden unterschiedliche Techniken angewendet. Zunächst wird die zweidimensionale Projektion der dreidimensionalen Körperstrukturen auf ein Röntgenbild durch eine Aufnahme aus mindestens zwei Perspektiven verbessert. Überlagerungen können die Beurteilbarkeit jedoch dennoch deutlich einschränken. Weiterhin werden unterschiedliche

Strahlenqualitäten verwendet, um präzise die für die Fragestellung relevanten Bereiche darzustellen. So werden in der Traumatologie zur Fraktursuche weiche Röntgenstrahlen (<100 keV) verwendet. Knochen sind in der Lage besonders viel weiche Strahlung zu absorbieren. Die Absorptionsfähigkeit führt zu einer guten Darstellung dieser Strukturen, aber auch zu einer höheren Strahlenbelastung durch die energieärmeren weichen Röntgenstrahlen. Im Vergleich dazu wird bei konventionellen Röntgenthoraxaufnahmen die Hartstrahltechnik eingesetzt (>100 keV). Diese weist eine hohe Knochentransparenz auf und ist eher geeignet Weichteile in den Fokus der Aufnahme zu stellen ²⁵.

Aufgrund der ionisierenden Wirkung der Röntgenstrahlen sollte die mögliche gesundheitsschädliche Wirkung stets beachtet werden. Röntgenstrahlen werden als kanzerogen und teratogen eingestuft. Für jeden Einsatz von Röntgenstrahlung muss eine rechtfertigende Indikation vorliegen ²⁵.

Computertomographie

Die Computertomographie (von griech. tomé - „Schnitt“) ist ein bildgebendes Verfahren, welches auf der Nutzung von Röntgenstrahlung basiert. Die Erfindung geht auf den englischen Ingenieur G.H. Hounsfield zurück. Dieser ist auch Namensgeber der Hounsfield-Skala, welche die unterschiedlichen Graustufen der CT-Aufnahme klassifiziert ²⁷. Die erste klinische Anwendung fand 1972 statt ²⁴.

Der signifikante Unterschied zum konventionellen Röntgen liegt in der veränderten Aufnahmetechnik und der Errechnung eines endgültigen Bildes. Durch den Einsatz einer rotierenden Röhre ist es möglich, den Menschen aus verschiedenen Richtungen zu durchleuchten. Dabei ist eine Drehung des Apparats um mindestens 180° um den abzubildenden Körper notwendig. Ein kontinuierlicher Vorschub des Geräts ermöglicht die Darstellung verschiedener Körperregionen. Die eingesetzte Röntgenstrahlung trifft dabei auf gegenüberliegende aufzeichnende Detektoren. Der dadurch registrierte Datensatz aus zweidimensionalen Bildern wird im Anschluss von einem Computer verarbeitet und erzeugt einen dreidimensionalen Datensatz in Form von digitalen Schnittbildern. Das Ergebnis ist eine dreidimensionale Betrachtung des Körpers, samt seiner inneren Strukturen, ohne die Einschränkungen in der Auswertung durch die störenden Überlagerungen eines zweidimensionalen konventionellen Röntgenbildes. Analog zum konventionellen Röntgen erzeugen Gewebe mit einer hohen Absorption (zum Beispiel Knochen) ein helles Bild und Gewebe mit einer niedrigen Absorption (zum Beispiel Lungenparenchym) ein dunkles Bild. Die verschiedenen Grauabstufungen werden durch die Hounsfield- Skala (Tabelle 3) eingeteilt.

Tabelle 3 - Hounsfield- Skala ²⁵

Gewebe	Befund
Lunge	-500 HE
Fett	-100 HE
Wasser	0 HE
Frische Blutung	70-90 HE
Spongiosa	300 HE
Compacta	>1000 HE

Der Einsatz von Kontrastmittel für spezielle Darstellungen ist möglich ²⁵.

Da die Strahlenbelastung beispielsweise einer CT-Thorax-Aufnahme ca. 100x höher als die einer klassischen Röntgen-Thorax-Aufnahme ist, bedarf es einer rechtfertigenden Indikation. Beispiele hierfür sind die Darstellung von Knochen- und Gewebsschäden bei Polytraumata, Darstellung der Bauchorgane bei der Diagnose eines akuten Abdomens unklarer Ursache und die Darstellung des Hirnparenchyms bei dem Verdacht auf eine Blutung ²⁵.

Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie, abgekürzt MRT, ist ein bildgebendes Verfahren zur Erzeugung von Schnittbildern, welches ohne ionisierende Strahlung auskommt. Stattdessen basiert dieses Verfahren auf der Verwendung eines starken Magnetfeldes ²⁵. 1972 wurde das erste bildgebende Verfahren, welches sich die Magnetresonanztomographie zunutze machte, von Paul C. Lauterbur erfunden ²⁸.

Das Verfahren beruht auf dem Verhalten von Wasserstoffprotonen, den häufigsten Molekülen im menschlichen Körper. Ein Proton besitzt durch seine positive Ladung einen Eigendrehimpuls (Kernspin), das heißt die positive Ladung des Moleküls gerät in Bewegung. Dadurch wird ein magnetisches Dipolmoment induziert. Der Einsatz eines starken äußeren Magnetfeldes (in Form des Magnetresonanztomographen) richtet die magnetischen Dipolmomente parallel oder antiparallel entlang von Feldlinien aus. Da die Parallelposition energetisch günstiger ist und mehr Protonen diese einnehmen, entsteht ein paralleler Längsvektor. Die Protonen rotieren nun nicht nur um sich selbst, sondern ebenso um die Achse des angelegten parallelen Längsvektors (= Präzession). Zusätzlich wird den Protonen

die Frequenz aufgezwungen, mit der sie um die Längsachse rotieren (= Larmofrequenz). Je größer die Magnetstärke ist, desto höher ist die Frequenz. Durch den Einsatz von Hochfrequenzimpulsen werden die Protonen angeregt und bedingen so eine Quermagnetisierung und eine Synchronisierung der Präzessionsbewegung. Nach der Anwendung streben die Protonen wieder in ihren Grundzustand zurück. Diese sogenannten Relaxationsvorgänge werden durch die Berechnung verschiedener gewebspezifischer Zeitkonstanten definiert. Die Zeitkonstante T1 beschreibt dabei die Rückkehr in die Längsmagnetisierung (Längsrelaxation) und beträgt 300-2000 ms. Die Zeitkonstante der Desynchronisierung der Präzessionsbewegung (Querrelaxation) heißt T2 und beträgt 30-150 ms. Die Folge mehrerer Hochfrequenzimpulsen zur Mittelung der Ergebnisse nennt sich (Puls-) Sequenz, die Zeit zwischen den Impulsen Repititionszeit (TR) und die Zeit zwischen Anregung und Aufnahme des Signals Echozeit (TE). Der letztendliche Bildkontrast, durch den die verschiedenen Gewebetypen unterschieden werden können, ist abhängig von den Gewebeparametern (T1, T2, Protonendichte), Sequenzparametern (TR, TE) und unterschiedlichen Sequenztypen. Der für den Kontrast ausschlaggebende Gewebeparameter bestimmt die Gewichtung. Eine Übersicht über die Bildkontraste bietet Tabelle 4 ²⁵.

Die Indikation für die Durchführung einer Magnetresonanztomographie liegt bei der Beurteilung von Weichteilstrukturen und Nervengewebe ²⁵.

Eine Gefährdung des Patienten bleibt durch die Vermeidung ionisierender Strahlen aus. Risiken bestehen durch Wechselwirkungen mit ferromagnetischen Materialien im Patientenkörper. Dislokationen von Metallteilen (z.B. Gefäßclips) oder Funktionsstörungen elektrischer Implantate (z.B. Herzschrittmacher) sind möglich ²⁵.

Tabelle 4 - Bildkontraste der Magnetresonanztomographie bei unterschiedlicher Gewichtung ²⁵

	Hyperintens= hell	Hypointens= dunkel
T1-Gewichtung	Fett	Wasser
T2- Gewichtung	Wasser	Gewebe

Sonographie

Die Sonographie (von lat. Sonare= „erschallen“) ist ein nicht-invasives, bildgebendes Verfahren in der Medizin, welches mithilfe der Aussendung von Ultraschallwellen und dem Empfang der reflektierten Schallwellen (Echo) Dichteunterschiede von Geweben sichtbar macht und so Schnittbilder erzeugt. Ultraschallwellen sind definiert als Schallwellen, deren

Frequenz über der menschlichen Hörschwelle (>20 kHz) liegt. In der medizinischen Anwendung kommen Ultraschallwellen mit einer Frequenz von 1-15 MHz zum Einsatz ²⁵.

In den 1940er Jahren wurde die Sonographie erstmalig in der medizinischen Diagnostik simultan in verschiedenen Fachbereichen eingesetzt ²⁵.

Ultraschallwellen werden mit Hilfe des sogenannten piezoelektrischen Effekts im Schallkopf erzeugt und auch wieder empfangen. Dabei handelt es sich um rhythmische, hochfrequente Verformungen von Piezokristallen, die im Ultraschallkopf befindlich sind. Für die Anwendung können verschiedene Darstellungsmöglichkeiten gewählt werden. Das B-Bild ist die klassischerweise verwendete Darstellungsform und zeigt ein zweidimensionales Bild in verschiedenen Graustufen. Ein M-Bild gibt einen Bildausschnitt in zeitlicher Auflösung wieder und mit der Doppler- oder Duplex-Einstellung können sowohl Strömungsrichtung als auch -geschwindigkeit dargestellt werden ²⁵.

Der Einsatz von Kontrastmitteln ist bei definierten Fragestellungen möglich ²⁵.

Besondere Relevanz hat dieses Verfahren bei ausgewählten akuten Fragestellungen durch die Möglichkeit der schnellen Befunderhebung und der breiten Verfügbarkeit. Ebenfalls sind keine schädigenden Einflüsse der Ultraschallwellen bekannt, sodass ein großzügiger Einsatz auch für Vorsorgeuntersuchungen möglich ist. Nachteile der Sonographie liegen insbesondere in der Untersucherabhängigkeit und den häufig auftretenden Artefakten ²⁵.

Besonderheiten in der Pädiatrie

Der Ursprung der Kinderradiologie liegt in der Einführung der Röntgentechnik, welche erstmals 1897 in einer pädiatrischen Klinik verwendet wurde. Einen höheren Stellenwert erhielt jedoch die Sonographie, die zu der am häufigsten durchgeführten bildgebenden Diagnostik im Kindesalter wurde. Mit den ersten Anwendungen eines Computertomographen wurde die Etablierung einer spezialisierten Kinderradiologie erforderlich. In den 1990er Jahren bestand erstmals eine breite Verfügbarkeit von Magnetresonanztomographen für die Kinderradiologie ²⁹.

Eine Beurteilung der Röntgenbilder von Kindern und Jugendlichen im Wachstumsalter ist deutlich erschwert. Morphologische Veränderungen oder Frakturen in Gelenknähe sind durch Überprojektion der Epi- und Apophyse oft nicht klar zu erkennen. Deshalb ist bei fraglichen Veränderungen eine vergleichende Aufnahme der Gegenseite empfohlen ¹⁰.

Bezüglich der Anwendung von konventionellem Röntgen und Computertomographie sind besondere Schutzmaßnahmen zu beachten. Aktuell ist die Anwendung von ionisierender Strahlung durch die Röntgenverordnung und die Strahlenschutzverordnung für Kinder einheitlich geregelt. Diese beinhaltet jedoch keine expliziten gesetzlichen Bestimmungen für

Röntgenuntersuchungen bei Kindern. Da Kinder ein strahlenempfindlicheres Gewebe besitzen, wird ein besonders restriktiver Umgang empfohlen, wenn möglich mit dem alternativen Einsatz von Verfahren wie dem MRT oder der Sonographie. Ebenso wird auf den Einsatz spezieller altersspezifisch angepasster Untersuchungstechniken und Untersuchungsprotokolle verwiesen ³⁰.

Das besondere Risikoprofil von Kindern und Jugendlichen beruht auf verschiedenen Ursachen. Die erhöhte Strahlenempfindlichkeit des Gewebes ist insbesondere auf die hohen Mitoseraten bei Kindern zurückzuführen. Somit ist das Strahlenrisiko bei Säuglingen und Kleinkindern entsprechend des Wachstumsverhalten am größten und nähert sich bei Jugendlichen dem eines Erwachsenen an. Weiterhin treten bestimmte strahleninduzierte Krebsarten mit einer gewissen Latenz auf. Diese betreffen dann Kinder und Jugendliche, welche der Strahlenbelastung bereits im frühen Lebensalter ausgesetzt waren. Auch die Größenproportionen bei Kindern und Jugendlichen sind bei der Anwendung bildgebender Verfahren relevant. So sind aufgrund des kürzeren und gedrungeneren Körperbaus benachbarte Körperteile häufig von Streustrahlung betroffen oder liegen innerhalb des Strahlenfeldes. Zudem ist besonders risikorelevantes Gewebe unterschiedlich in den Körpern Heranwachsender und Erwachsener lokalisiert. Entsprechend ist dieses Gewebe bei manchen Untersuchungen stärker betroffen (zum Beispiel bei Untersuchungen der Extremitäten). Am Beispiel des besonders risikogefährdeten blutbildenden Knochenmarks in Tabelle 5 lässt sich dies gut aufzeigen ³⁰.

Tabelle 5 - Verteilung blutbildendes Knochenmark Erwachsene und Säuglinge ³⁰

	Erwachsene	Säuglinge
Extremitäten	9%	35%
Stammskelett	74%	29%
Schädelknochen	8%	27%

Der Strahlenschutz im Kindes- und Jugendalter wird in der Praxis insbesondere durch den Einsatz einer möglichst schonenden und dennoch aussagekräftigen Diagnostik gewährleistet. Unter Verwendung von altersspezifischen Untersuchungsprotokollen werden technische Einstellparameter, Indikation, Einstellkriterien der Geräte, die Verwendung von Dosisreduktionstechniken und Strahlenschutzmitteln reguliert und optimiert. Eine strenge Indikationsstellung und die Anwendung alternativer bildgebender Verfahren tragen zusätzlich

zum Strahlenschutz bei. Dabei kann zum Beispiel die Sonographie zur orientierenden Suche nach Kortikalisunterbrechungen zum Frakturausschluss im Kleinkindesalter im klinischen Alltag eingesetzt werden ³⁰. Bei der Anwendung der MRT wird durch Beschleunigung der Aufnahmezeit und Verbesserung der Bewegungsstabilität kontinuierlich an einer optimierten Anwendungsmöglichkeit für Kinder gearbeitet.

Der Einsatz von Kontrastmittel ist möglich, sollte aber aufgrund von möglichen Nebenwirkungen nur unter strenger Indikationsstellung verwendet werden ²⁹.

2.2.10 Therapieverfahren

Das Therapieziel einer Frakturbehandlung liegt primär in der Wiederherstellung der Funktion der betroffenen Extremität durch Instandsetzung der Kontinuität des Knochens. Die zentralen Grundprinzipien der Behandlung sind Reposition, Retention und Rehabilitation, welche sowohl für die konservative als auch die operative Behandlung gelten ¹⁰.

Unter Reposition versteht man die „Wiederherstellung der anatomischen Knochenstruktur nach dem Zug- bzw. Gegenzugprinzip“ ³¹. Die Reposition erfolgt atraumatisch unter Verwendung von Analgesie. Das periphere Fragment wird, unter Beachtung von Achse, Länge und Rotation des betreffenden Knochens, auf das zentrale Hauptfragment eingestellt. Bei konservativ nicht reponierbaren Frakturen wird die Indikation zur operativen Reposition gestellt ¹⁰.

Bei der Retention wird die Schienung und Ruhigstellung des Knochens durchgeführt, um Schmerzen zu reduzieren und Frakturheilung zu ermöglichen. Wenn die Gefahr der Einsteifung angrenzender Gelenke durch lang andauernde Ruhigstellung besteht, sind operative stabilisierende Verfahren möglich. Die Schienung kann sowohl von außen als auch von innen erfolgen ¹⁰.

In der Rehabilitationszeit wird in Abhängigkeit von Frakturtyp, Behandlungsschema und Funktionalität ein Nachbehandlungsschema definiert. Dieses kann entweder bewegungsstabil oder belastungsstabil sein und enthält eine radiologische Nachkontrolle. Ziel der Rehabilitation ist die finale Wiederherstellung der Funktion des Bewegungsapparats ¹⁰.

Konservative Therapieverfahren

Indikationen für eine konservative Behandlungsmethode können sowohl Frakturen als auch nicht frakturierte Verletzungen nach einem Trauma sein.

Weichteilverletzungen bedürfen einer initialen Ruhigstellung mit möglicher Anlage einer Schiene oder eines Kunststoffcast-Verbandes. Distorsionen können mittels Unterarmgehstützen zusätzlich bei Bedarf entlastet werden. Verletzungen von Muskeln,

Bändern und Sehnen werden zunächst durch Entlastung der betroffenen Regionen behandelt. Eine Wundversorgung findet in Abhängigkeit von dem Alter der Wunde, der Wundart und der Wundrandbeschaffenheit statt. Sie werden gereinigt, desinfiziert und verbunden oder genäht. Eine Luxation muss unter röntgenologischem Ausschluss einer Fraktur schnell reponiert werden, da es sich um einen unfallchirurgischen Notfall handelt ²¹.

Indikationen für eine konservative Behandlung bei einer vorangegangenen Fraktur sind nicht dislozierte Frakturen, kindliche Frakturen innerhalb der Korrekturgrenze und allgemeine Kontraindikationen gegen eine Operation. Bei einer primären funktionellen Entlastung einer nicht dislozierten, eingestauchten und übungsstabilen Fraktur erfolgt eine Mobilisation unter Entlastung ohne primäre Ruhigstellung (z.B. eingestauchte Schenkelhalsfraktur). Eine Immobilisation durch stützende Verbände ist bei geringgradig dislozierten Frakturen mit stabiler Situation der Knochenenden indiziert. Die Immobilisation kann ebenfalls durch Gips- oder Kunststoffverbände erreicht werden. Die Anlage erfolgt in Funktionsstellung und schließt die Ruhigstellung angrenzender Gelenke ein (z.B. einfache Unterschenkelschaftfraktur). Nachteile der konservativen Therapie sind Bewegungseinschränkungen, Inaktivitätsatrophien und Gelenkeinstellungen ¹⁰.

Operative Therapieverfahren

Die Osteosynthese bezeichnet die Verwendung verschiedener Implantate zur operativen Versorgung von Knochenbrüchen und anderen Knochenverletzungen ¹⁰. Das Ziel der Osteosynthese besteht darin, die durch Reposition und Retention geschaffene Situation zu erhalten. Bei einer hochgradigen Dislokation kann eine exakte Reposition auch erst durch Osteosyntheseverfahren erreicht werden ¹⁰.

Indikation für eine operative Behandlungsmethode sind unter anderem offene Frakturen, Gelenkfrakturen, instabile Frakturen, erhebliche Dislokation, Epiphysenfrakturen, Trümmerfrakturen und spezifische Frakturen, wie z.B. Avulsions- und Olecranonfrakturen ¹⁰.

Die grundlegenden Prinzipien der Osteosynthese sind die interfragmentäre Kompression und die Schienung der Fraktur. Teilweise wird eine Kombination beider Prinzipien durchgeführt. Bei der interfragmentären Kompression erfolgt entweder statisch, durch interfragmentäre Zugschrauben, oder dynamisch, durch eine Zuggurtung, eine Kompression der Frakturenenden. Die Schienung der Fraktur kann extramedullär oder intramedullär erfolgen. Ziel der Schienung ist die Reduktion der Gewichtsbelastung durch deren Übertragung auf den operativ eingebrachten Kraftträger ¹⁰.

Nachteile der operativen Therapie sind Komplikationen wie die mögliche Verletzung von Nerven und Gefäßen und perioperative Infektionen. Die Tabelle 6 und die Abbildung 6 bieten eine Übersicht über operative Therapieverfahren ¹⁰.

Tabelle 6 - Übersicht osteosynthetischer Verfahren ¹⁰

<u>Verfahren</u>	<u>Prinzip</u>
Extramedulläre Schienung	
Plattenosteosynthese	Schienung durch eine Platte, die von Schrauben auf den Knochen gepresst wird
Fixateur externe	Außerhalb des Körpers befestigte winkelstabile Halterung, die in den Knochen eingebrachte Nägel oder Schrauben verbindet
Fixateur interne	Prinzip wie bei Fixateur externe, Implantate liegen jedoch intern
Spickdrahtosteosynthese	Fixierung von Knochenfragmenten
Intramedulläre Schienung	
Marknagelung	Eintreiben eines langen Metallstifts in den Markraum
Interfragmentäre Kompression	
Schraubenosteosynthese (Kortikalisschraube, Spongiosaschraube)	Statische Kompression
Zuggurtung	Dynamische Kompression

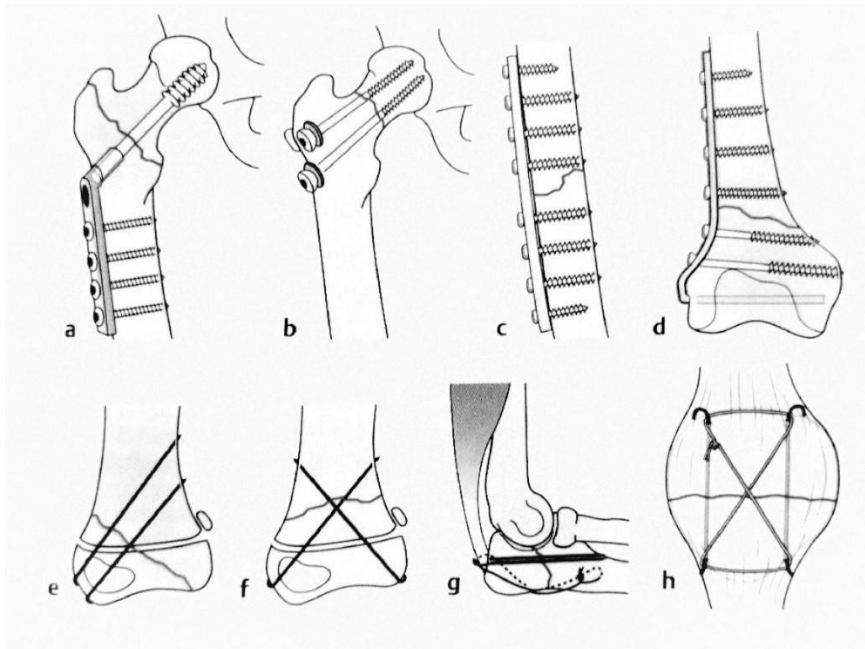


Abbildung 6 - Beispiele osteosynthetischer Verfahren: Pohl- Laschenschraube (a), Spongiosaschraubenosteosynthese (b), Plattenosteosynthese (c), Winkelplattenosteosynthese (d,) Kirschnerdrahtosteosynthese (e), gekreuzte Kirschnerdrahtosteosynthese (f), Zuggurtungsosteosynthese mit zwei Kirschnerdrähten (g), Zuggurtungsosteosynthese (h) ³²

Besonderheiten in der Pädiatrie

Bei der Entscheidung zwischen operativen und konservativen Frakturverfahren bei Kindern müssen unterschiedliche Faktoren in Betracht gezogen werden. Hierzu zählen Patientenalter, Gewicht und Größe, Art der Fraktur, Frakturlokalisierung und die Rahmenbedingungen. Insbesondere das biologische Patientenalter und somit die Fugenreife stellt einen wichtigen Faktor dar, da sich die Therapieverfahren in den verschiedenen Altersstufen erheblich voneinander unterscheiden können ³³.

Bezüglich des osteosynthetischen Verfahrens stehen verschiedene Optionen zur Wahl und es werden erneut die oben genannten Faktoren in Betracht gezogen. Hierbei sind Kirschner-Drähte, die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN), der Fixateur externe, die Schraubenosteosynthese und der laterale Femurnagel für Jugendliche zu nennen ³³.

2.2.11 Unfallhergänge

Bei einem Unfall handelt es sich nach Definition des Sozialrechts um „zeitlich begrenzte, von außen auf den Körper einwirkende Ereignisse, die zu einem Gesundheitsschaden oder zum Tod führen“ ³⁴. Dabei werden diese Ereignisse als Kräfte angesehen, die außerhalb des Einflussbereiches des Körpers liegen ³⁵. Der Unfallhergang beschreibt den Ablauf eines solchen Ereignisses. Im Durchschnitt der gesamten Bevölkerung Deutschlands ist ca. jeder zehnte Bundesbürger jährlich in einen Unfall verwickelt, 20 % dieser Unfälle führen zu einem

Frakturgeschehen. Ursachen sind in 40 % Freizeitunfälle, 20 % sind Verkehrsunfälle und bei 30 % handelt es sich um Arbeitsunfälle. Bei Eintreffen in der Notaufnahme steht zu Beginn der Anamnese eine ausführliche Erhebung des Unfallhergangs ³⁶.

2.3 Ziele der Studie

Das Ziel dieser Studie besteht in der genauen Betrachtung des Fraktur- und Verletzungsgeschehens bei Kindern und Jugendlichen, in der Herstellung von Korrelationen zwischen den erhobenen Kategorien und in der Schaffung entsprechender Übersichten. Zentrale Zielsetzung ist hierbei vor allem zu prüfen, ob Zusammenhänge zwischen der Zielgröße der kindlichen Fraktur und den möglichen Einflussfaktoren (Geschlecht, Seite, Patientenalter, Unfallhergang, angewandte Bildgebung, Diagnose, Lokalisationen und Bereiche, Therapie und Therapieverfahren) vorliegen. Sowohl die hohe Fallzahl als auch der große Zeitraum, für den die Daten erhoben wurden, sollen eine besonders umfangreiche und aussagekräftige Betrachtung kindlicher Fraktur- und Verletzungsmuster ermöglichen. Als Arbeitshypothese soll davon ausgegangen werden, dass sowohl die verschiedenen Frakturtypen und Verletzungsmuster mit den unterschiedlichen Einflussfaktoren als auch die Einflussfaktoren untereinander korrelieren. Nachfolgend sind die zu analysierenden Hypothesen aufgelistet.

1. H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem Unfallhergang.
2. H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Diagnose einer Fraktur und dem Geschlecht.
3. H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Diagnose einer Fraktur und der Verletzungsseite.
4. H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Diagnose einer Fraktur und dem Unfallhergang.
5. H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Diagnose einer Fraktur und der Lokalisation des Traumas.
6. H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Lokalisation des Traumas.
7. H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Diagnose.
8. H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Diagnose einer Fraktur und der durchgeführten Diagnostik.
9. H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Wahl der Therapie (konservativ/ operativ).
10. H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und den angewandten operativen Therapieverfahren.

Nachfolgend sind die zu erstellenden Verteilungsmuster aufgelistet.

1. Altersverteilung (alle Verletzungen und Frakturen)
2. Seitenverteilung (alle Verletzungen und Frakturen)
3. Häufigkeitsverteilung Unfallhergänge (alle Verletzungen und Frakturen)
4. Lokalisationsverteilung der Traumata (alle Verletzungen und Frakturen)
5. Häufigkeitsverteilung von pädiatrischen Diagnosen (alle Verletzungen und Frakturen)
6. Häufigkeitsverteilung von bildgebenden Verfahren
7. Häufigkeitsverteilung der Therapien (operativ oder konservativ)
8. Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Therapieverfahren

3 MATERIAL UND METHODEN

Für die Datenerhebung dieser Studie wurden die beiden Arbeitsprogramme genutzt, welche in der Uniklinik Köln für die Dokumentation von Patientendaten verwendet werden: Impax und Orbis.

Impax EE ist ein PACS-System, welches von AGFA healthcare herausgegeben wird. Picture archiving and Communication Systems (PACS) sind Bildarchivierungs- und Kommunikationssysteme, die digitale Bilddaten von sämtlichen Modalitäten speichern³⁷. In Bezug auf dieses Projekt bedeutet dies, dass sich nach Datum geordnet nachvollziehen ließ, welche Patienten sich in der Notaufnahme einfanden, um dort eine Bildgebung zu erhalten, die daraufhin durch die Bildarchivierung gespeichert wurde. Es war möglich die Bildgebungen erneut aufzurufen, eine Diagnose zu stellen und diese mit der für die Patienten-ID hinterlegten Dokumentation auf Orbis zu vergleichen. Ein Beispiel für eine derartige Bilddokumentation findet sich in Abbildung 7. Sie zeigt die Röntgenbilder einer präoperativen Fraktur aus der Notaufnahme und die entsprechenden postoperativen Bilder.

Bei Orbis handelt es sich um ein ganzheitliches Krankenhausinformationssystem, welches eine Rundumsicht auf die Patientenbehandlung bietet. Herausgegeben wird es ebenfalls von AGFA healthcare. Das System hat die Aufgabe, die Arbeitsabläufe in Medizin sowohl in der Administration als auch im Management von Einrichtungen im Gesundheitswesen miteinander zu koordinieren³⁸. Demzufolge enthält es alle relevanten Informationen, welche für den entsprechenden Patienten in der Uniklinik Köln gespeichert wurden. Diese Informationen sind unter anderem durch die dem Patienten individuell zugeordnete Patienten ID auffindbar. Für das Projekt war dies besonders wichtig, um die bereits erlangten Informationen des Patienten mit den aufgenommenen Daten des Patienten zu vergleichen und weitere Informationen bezüglich der Unfallhergänge und angewandten Therapieverfahren zu erhalten. Um die gewonnenen Informationen zuzuordnen und zu sortieren, wurde eine Excel-Tabelle zum endgültigen Vergleich der Daten angelegt. Die Patientendaten wurden anonymisiert angelegt und lediglich bezüglich der genannten Größen miteinander verglichen.

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte über das Statistikprogramm SPSS. Die Excel-Tabelle wurde in eine SPSS-Datei überführt und ausgewertet.



Abbildung 7 - röntgenologische Darstellung einer distalen metaphysären Unterarmfraktur: präoperativ ap (a), postoperativ ap (b), nach Materialentfernung ap (c), präoperativ lateral (d), postoperativ lateral (e), nach Materialentfernung lateral (f)
 Quelle: Impax EE Uniklinik Köln

3.1 Studiendesign

Zur Beantwortung der oben erörterten Fragestellungen wurde eine retrospektive nicht interventionelle Studie im Fachbereich der Orthopädie und Unfallchirurgie der Uniklinik Köln durchgeführt.

3.2 Patientenpopulation

Für die Studie wurden 1574 Kinder und Jugendliche zwischen 0-18 Jahren gescreent, die zwischen Januar 2015 und Dezember 2016 in der Notaufnahme des Universitätsklinikums Köln eine bildgebende Diagnostik bei Verletzung der Extremitäten erhalten haben. Bei einem Teil der betrachteten Patienten wurden multiple Verletzungen festgestellt, sodass es bei

solchen Patienten zur Stellung mehrerer Diagnosen kam (Anzahl der Diagnosen insgesamt). Außerdem war bei einigen Kindern und Jugendlichen eine einfache Bildgebung aufgrund der Komplexität der Situation nicht ausreichend und es wurde eine weiterführende bildgebende Diagnostik durchgeführt (Bildgebung insgesamt). Ebenfalls wurde bei manchen Patienten eine Kombination mehrerer Therapieverfahren angewandt (Therapieverfahren insgesamt).

Alle demografischen und klinischen Merkmale der Kohorte sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7 - Stichprobenbeschreibung der gesamten Kohorte, Quelle: Eigene Darstellung

Merkmale	
Anzahl der Patienten	n = 1574
Anteil Mädchen	n = 679 (43,14 %)
Anteil Jungen	n = 895 (56,86 %)
Alter (in Jahren)	0-18
Durchschnittsalter (in Jahren)	8,49
Patienten mit bildgebenden Verfahren	n = 1574
<i>Bildgebungen insgesamt</i>	<i>n = 1873</i>
Anzahl der Patienten mit Diagnosestellung	n = 1574
<i>Anzahl der Diagnosen insgesamt</i>	<i>n = 1655</i>
Patienten mit Fraktur	n = 650 (41,30 %)
<i>Diagnose Fraktur insgesamt</i>	<i>n = 673 (40,66 %)</i>
Patienten mit anderen Verletzungsmustern	n = 924 (58,70 %)
<i>Diagnose andere Verletzungsmuster insgesamt</i>	<i>n = 982 (59,34 %)</i>
Patienten mit Therapie	n = 1574
<i>angewandte Therapieverfahren insgesamt</i>	<i>n = 1702</i>
Patienten mit Therapieverfahren operativ	n = 125 (8,94 %)
<i>Therapieverfahren operativ insgesamt</i>	<i>n = 130 (7,60 %)</i>
Patienten mit Therapieverfahren konservativ	n = 1449 (92,06 %)
<i>Therapieverfahren konservativ insgesamt</i>	<i>n = 1572 (92,36 %)</i>

3.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Voraussetzung für den Einschluss eines Patienten in die Studie war die Behandlung in der Notaufnahme der Universität zu Köln sowie der bestehende Verdacht auf eine Fraktur nach stattgehabtem Trauma. Die Auflistung in dem Programm Impax EE, welches zur Dokumentation bildgebender Verfahren in der Kölner Notaufnahme verwendet wird, war ebenfalls ein Einschlusskriterium. Das Patientenalter wurde auf 0-18 Jahre begrenzt, da sich die Studie mit kindlichen Frakturmustern beschäftigt. Ein Ziel war es, einen Überblick zu erhalten, wie oft bei diagnostischer Bildgebung mit Verdachtsdiagnose einer Fraktur diese tatsächlich bestätigt wurde. Deshalb wurden in diese Studie auch Patienten mit finalen Diagnosen, welche keiner Fraktur entsprachen, eingeschlossen.

4 ERGEBNISSE

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse basieren auf der Datenanalyse von Krankenakten und Röntgenbildern. Es wurden die Daten von Kindern und Jugendlichen (n = 1574) erhoben.

Es wurde der Chi- Quadrat-Test als Methode zur Analyse von möglichen Korrelationen zwischen den Variablen durchgeführt.

Es wurden insgesamt zehn Analysen zu einer statistischen Relevanz durchgeführt und der relevante p-Wert für die Auswertung daher mittels Bonferroni- Korrektur von $p < 0.05$ auf $p < 0.005$ korrigiert.

4.1 Geschlechterverteilung

In der ausgewerteten Kohorte kamen 679 (43,10 %) Mädchen und 895 (56,90 %) Jungen über einen Zeitraum von 2 Jahren in die Notaufnahme des Kölner Universitätsklinikums mit Verdacht auf eine Fraktur nach stattgehabten Trauma. Die Verteilung der Geschlechter ist in Abbildung 8 dargestellt.

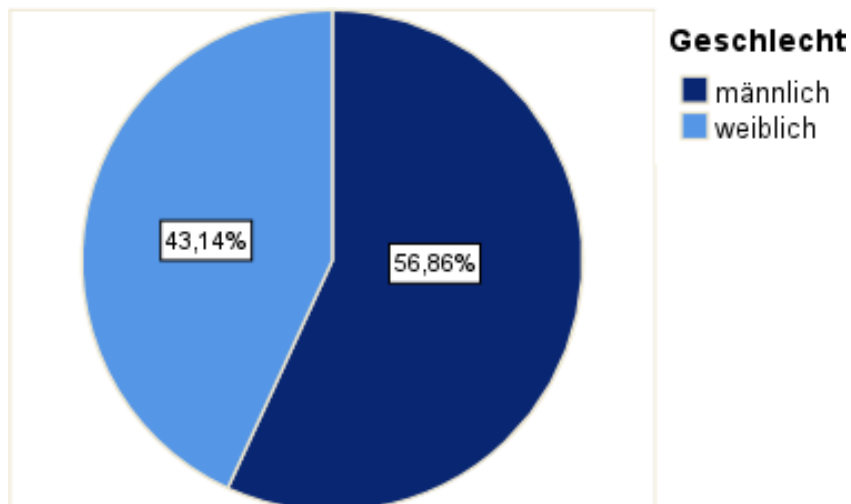


Abbildung 8 - Geschlechterverteilung der Kohorte

Anmerkung: n = 1574

Quelle: Eigene Darstellung

Die Betrachtung der verschiedenen Unfallhergänge in Bezug auf das Geschlecht ist in Abbildung 9 dargestellt. Sie ergab, dass 42,79 % der Jungen und 45,95 % der Mädchen einen Alltagsunfall und 30,17 % der Jungen und 21,94 % der Mädchen einen Sportunfall hatten. Weiterhin hatten 22,01 % bzw. 2,23 % der Jungen und 29,90 % bzw. 0,74 % der Mädchen einen Spielunfall aus niedriger Höhe (unter 150 cm) bzw. relevanter Höhe (über 150 cm),

1,56 % der Jungen und 0,59 % der Mädchen hatten eine körperliche Auseinandersetzung im Sinne einer Handgreiflichkeit unter Gleichaltrigen und bei 0,78 % der Jungen und 0,15 % der Mädchen war der Unfallhergang ein Hochrasanztrauma. Bei 0,45 % der Jungen und 0,74 % der Mädchen war der Unfallhergang aufgrund unzureichender Informationen in der vorliegenden Anamnese nicht mehr zu eruieren.

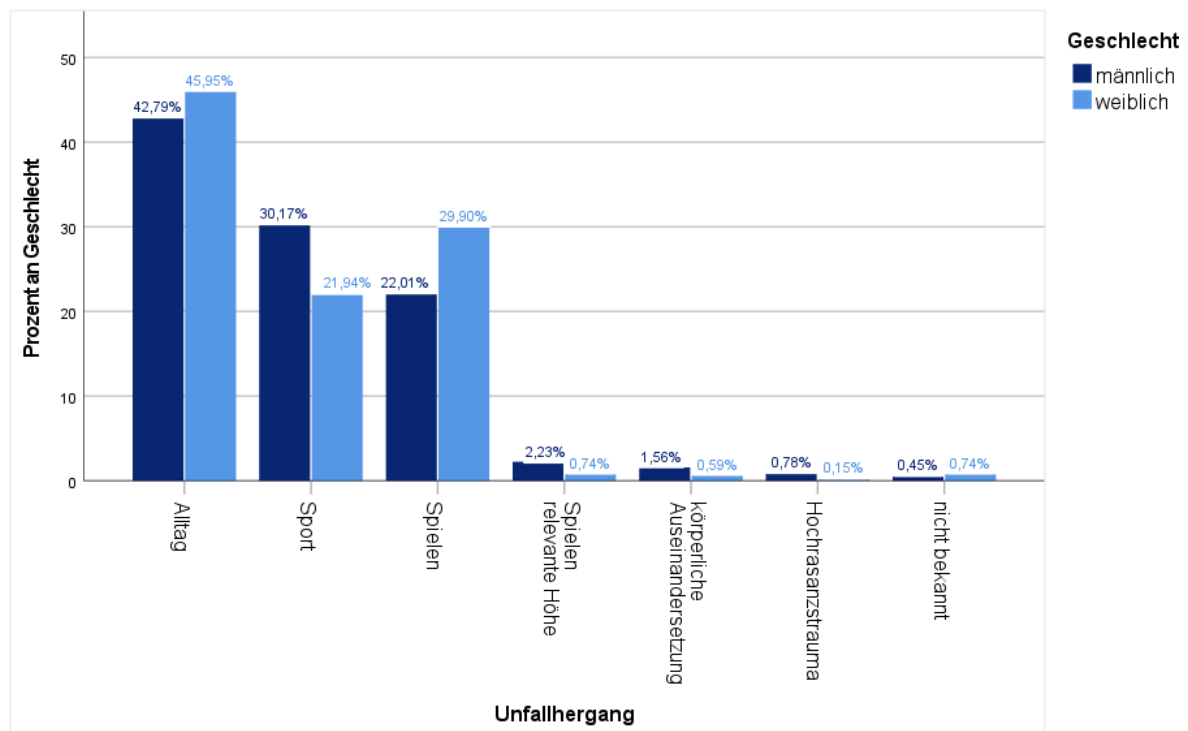


Abbildung 9 - Geschlechterverteilung in Abhängigkeit des Unfallhergangs

Anmerkung: n = 1574

Quelle: Eigene Darstellung

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen dem Geschlecht und den verschiedenen Unfallhergängen durchgeführt. Drei der erwarteten Zelhäufigkeiten waren kleiner als 5. Die Interpretation der Ergebnisse kann dadurch verfälscht sein. Es konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und den verschiedenen Unfallhergängen mit einer kleinen Effektstärke nach Cramer's V nachgewiesen werden ($\chi^2(6) = 32.42, p < .001, V = 0.14$). Diese Ergebnisse bedeuten, dass manche Unfallhergänge bei dem männlichen Geschlecht signifikant häufiger vorkamen (Sportunfälle, Spielunfälle aus relevanter Höhe, körperliche Auseinandersetzungen, Hochrasanztrauma) und andere Unfallhergänge signifikant häufiger bei Patienten mit dem weiblichen Geschlecht auftraten (Alltagsunfälle, reguläre Spielunfälle).

Die Geschlechterverteilung wurde weiterhin in Bezug auf die Diagnose einer Fraktur oder eines anderen Verletzungsmusters untersucht. Abbildung 10 stellt diese Abhängigkeit dar. Die Gegenüberstellung ergab, dass bei 38,00 % der Mädchen und bei 43,80 % der Jungen eine Fraktur diagnostiziert wurde. Bei 62,00 % der Mädchen und bei 56,20 % der Jungen wurde eine andere Verletzung festgestellt (n = 1574).

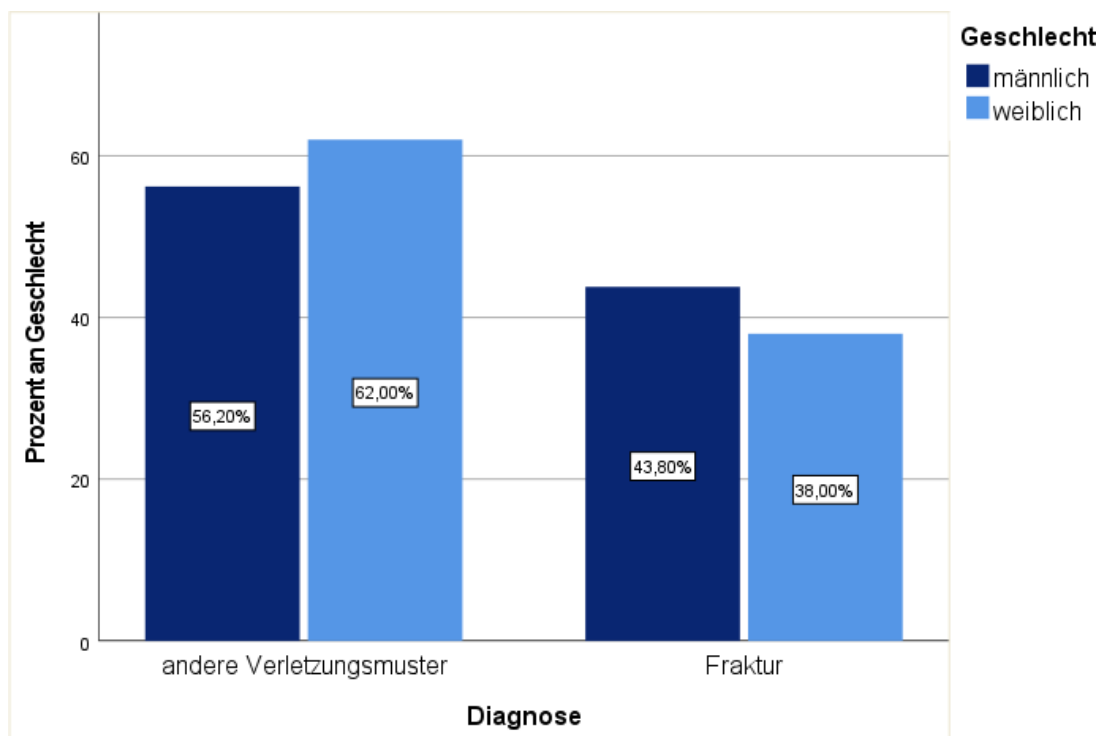


Abbildung 10 - Geschlechterverteilung in Abhängigkeit der Diagnose
 Anmerkung: n gesamt = 1574, n weiblich = 679, n männlich = 895
 Quelle: Eigene Darstellung

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen dem Geschlecht und der Diagnose einer Fraktur oder eines anderen Verletzungsmusters durchgeführt. Keine der erwarteten Zellhäufigkeiten waren kleiner als 5. Die Betrachtung der Ergebnisse dieser Analyse ergab keinen signifikanten Zusammenhang der beiden Größen ($\chi^2(1) = 5.36, p = 0.021$). Das bedeutet, dass es bei dem Auftreten einer Fraktur oder einer anderen Verletzung keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Geschlecht der Patienten gab.

4.2 Altersverteilung

Die Altersverteilung aller Kinder und Jugendlicher, die in die Notaufnahme kamen und bei denen entweder eine Fraktur oder ein anderes Verletzungsmuster diagnostiziert wurde, stellte sich wie in Abbildung 11 zu sehen dar. Ein Peak war im Alter der 10- 11-Jährigen ersichtlich.

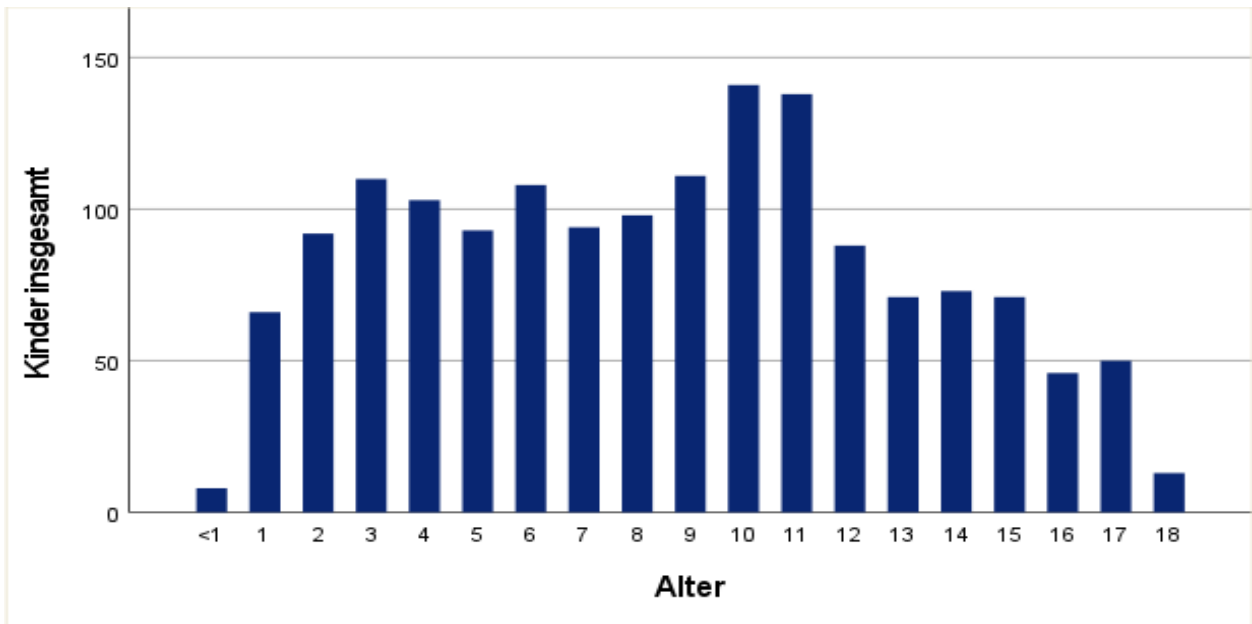


Abbildung 11 - Altersverteilung Kinder und Jugendlicher zwischen 0-18 Jahren in der Notaufnahme aufgrund einer traumatischen körperlichen Verletzung
 Anmerkung: n = 1574
 Quelle: Eigene Darstellung

Die Altersverteilung der Kinder und Jugendlichen mit diagnostizierter Fraktur stellte sich wie in Abbildung 12 dar. Peaks waren in den Altersgruppen der Altersgruppe der 4-6- Jährigen und der 10-11- Jährigen zu erkennen.

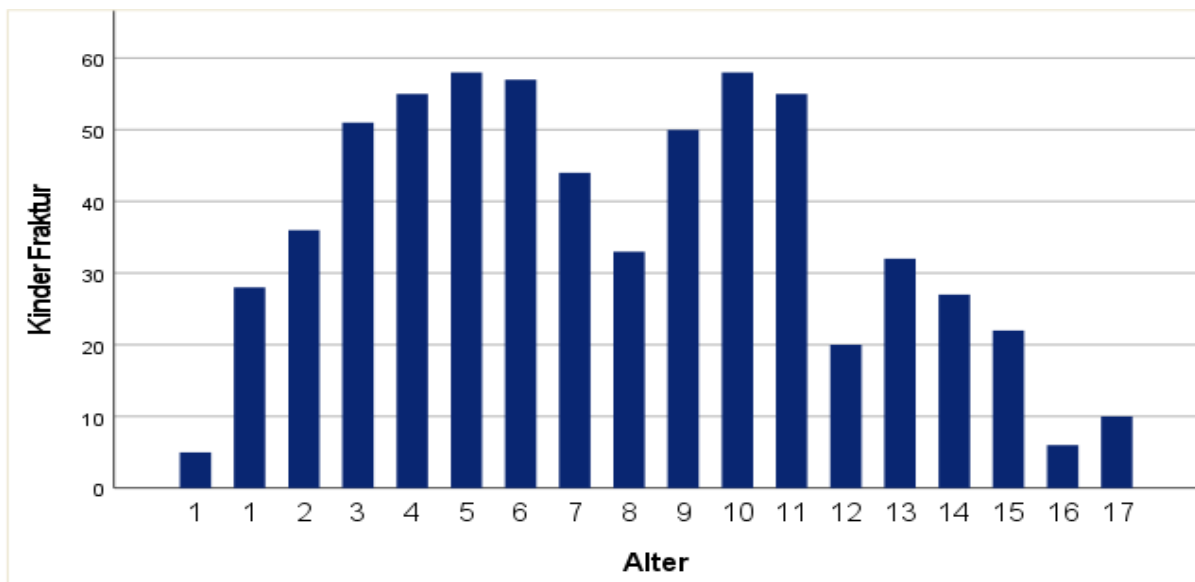


Abbildung 12 - Altersverteilung Kinder und Jugendlicher zwischen 0-18 Jahren in der Notaufnahme aufgrund einer traumatischen körperlichen Verletzung mit anschließend diagnostizierter Fraktur
 Anmerkung: n = 650
 Quelle: Eigene Darstellung

4.3 Seitenverteilung

Die Seitenverteilung aller Verletzung der Kinder und Jugendlichen ist in Abbildung 13 dargestellt. In 51,65 % der Fälle war die linke Seite betroffen und in 47,46 % die rechte Seite. Bei 0,89 % der Kinder und Jugendlichen kam es zu einer Verletzung beider Seiten.

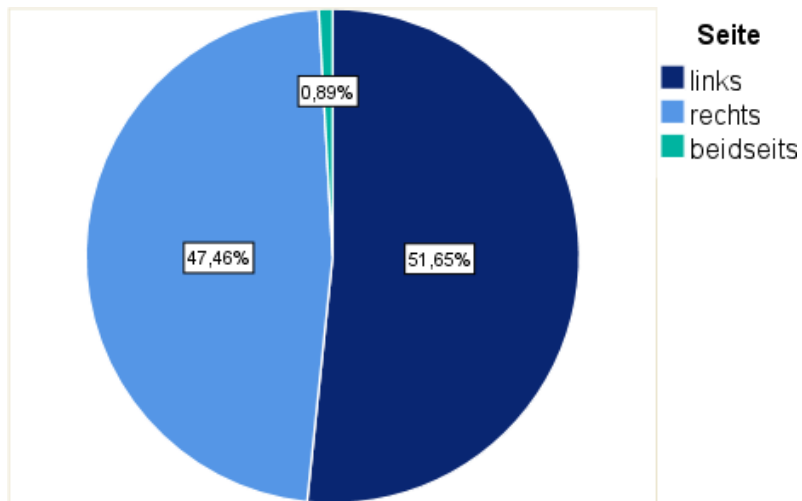


Abbildung 13 - Seitenverteilung aller Verletzungen
Anmerkung: n = 1574
Quelle: Eigene Darstellung

Die Seitenverteilung der kindlichen Frakturen ist in Abbildung 14 dargestellt. In 54,08 % der Fälle war die linke Seite betroffen und in 45,61 % die rechte Seite. Bei 0,31 % der Kinder und Jugendlichen kam es zu einer Verletzung beider Seiten.

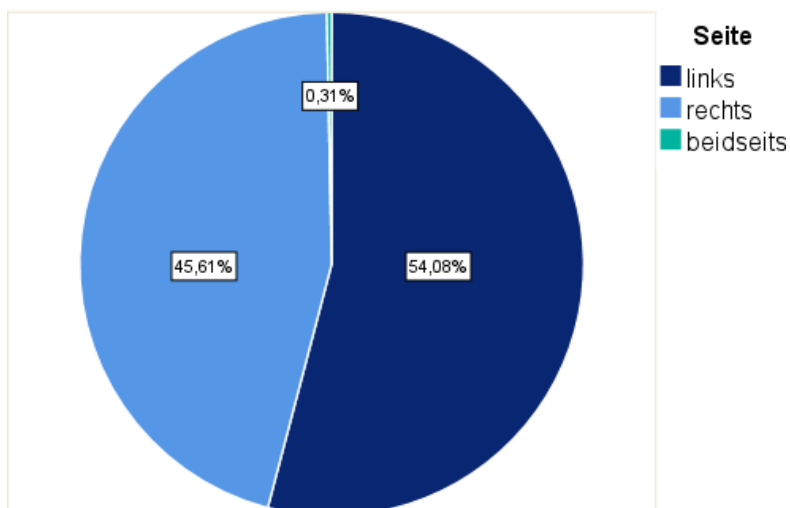


Abbildung 14 - Seitenverteilung der Frakturen
Anmerkung: n = 650
Quelle: Eigene Darstellung

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen der Verletzungsseite und den Diagnosen einer Fraktur oder eines anderen Verletzungsmusters durchgeführt. Keine der erwarteten Zelhäufigkeiten waren kleiner als 5. Es ergab sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang ($\chi^2(2) = 4.32, p = 0.115$). Das bedeutet, dass es keine statistische Häufung einer Fraktur bzw. einer anderen Verletzung auf einer der beiden Körperseiten gab.

4.4 Unfallhergang

Der Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Unfallhergängen bei allen Kindern und Jugendlichen ist in Abbildung 15 dargestellt. Abbildung 16 zeigt den Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Unfallhergängen, welche in einer Fraktur resultierten.

Ein Trauma bei Kindern und Jugendlichen resultierte in 44,16 % aus einem Alltagsunfall, in 26,62 % aus einem Sportunfall, in 25,41 % aus einem Spielunfall (unter 150 cm) und in weiteren 1,59 % aus einem Spielunfall aus relevanter Höhe (über 150 cm). Es waren 1,14 % Kinder und Jugendliche in eine körperliche Auseinandersetzung im Sinne einer Handgreiflichkeit unter Gleichaltrigen verwickelt und 0,50 % in ein Hochrasanztrauma. Bei 0,57 % konnte der Unfallhergang nicht mehr nachvollzogen werden, da in der Anamnese keine ausreichenden Angaben dokumentiert wurden.

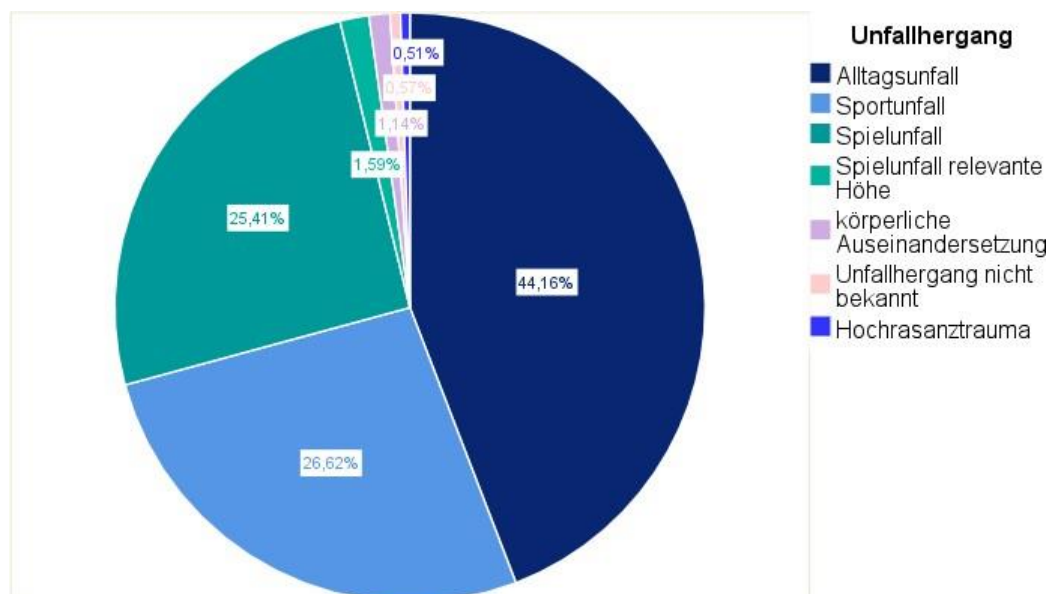


Abbildung 15 - Häufigkeitsverteilung der Unfallhergänge, die in einer Verletzung mit Vorstellung in der Notaufnahme resultierten

Anmerkung: n = 650

Quelle: Eigene Darstellung

Eine Fraktur resultierte in 41,67 % der Fälle aus einem Alltagsunfall, in 29,32 % aus einem Sportunfall und in 24,54 % aus einem Spielunfall (unter 150 cm). 2,62 % der Patienten erlitten einen Spielunfall aus einer relevanten Höhe (über 150 cm). Es waren 0,62 % in eine körperliche Auseinandersetzung im Sinne einer Handgreiflichkeit unter Gleichaltrigen verwickelt und 0,62 % in ein Hochrasanztrauma. Bei 0,62 % konnte der Unfallhergang nicht mehr nachvollzogen werden, da in der Anamnese keine ausreichenden Informationen erhoben wurden.

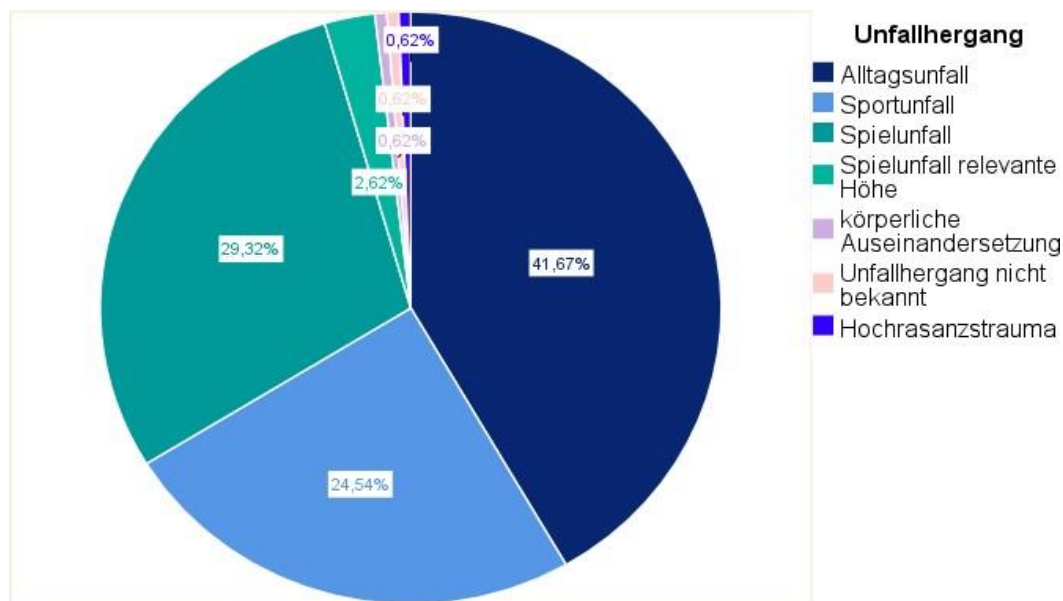


Abbildung 16 - Häufigkeitsverteilung der Unfallhergänge, die in einer Fraktur resultierten

Anmerkung: n = 650

Quelle: Eigene Darstellung

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen den unterschiedlichen Unfallhergängen und der finalen Diagnose einer Fraktur oder einer anderen Verletzung durchgeführt. Drei der erwarteten Zelhäufigkeiten waren kleiner als 5. Die Interpretation der Ergebnisse kann dadurch verfälscht sein. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Unfallhergang der Verletzung und der finalen Diagnose (Fraktur oder keine Fraktur) mit einer niedrigen Effektstärke nach Cramer's V ($\chi^2(6) = 19.89, p = 0.003, V = 0.11$). Die Ergebnisse bedeuten, dass bei manchen Unfallhergängen in Relation zur insgesamten Anzahl an Frakturen und anderen Verletzungen signifikant häufiger Frakturen diagnostiziert werden konnten (Spielunfälle aus niedriger und relevanter Höhe, Hochrasanztrauma) und bei manchen Unfallhergängen signifikant häufiger keine Frakturen, sondern andere Verletzung festgestellt wurden (Alltagsunfall, Sportunfall, körperliche Auseinandersetzung). Die vollständigen Ergebnisse werden im Anhang 7.3 in Tabelle 17 aufgeführt.

4.5 Lokalisationen

Tabelle 8 zeigt die Verteilung der Lokalisationen nach einem Trauma an den Extremitäten (n = 1655) und stellt die Abhängigkeit der Diagnose einer Fraktur (n = 673) und der Diagnose eines anderen Verletzungsmusters (n = 982) von der Lokalisation dar. Die häufigsten Lokalisationen insgesamt befanden sich am Sprunggelenk (13,41 %), am distalen Unterarm (12,08 %), und am Handgelenk (11,66 %). Bei der Diagnose einer Fraktur waren der distale Unterarm (12,08 %), die Hand (6,71 %) und der distale Oberarm (5,98 %) am häufigsten betroffen. Andere Verletzungsmuster zeigten sich am häufigsten am Sprunggelenk (13,4 %), am Handgelenk (11,66 %) und am Knie (8,6 %).

Tabelle 8 - Lokalisationsverteilung, weitere Unterteilung in Frakturen und andere Verletzungen, Anmerkung: n = 1655, Quelle: Eigene Darstellung

Lokalisation	Trauma gesamt	%	Fraktur	%	Andere	%
Schlüsselbein	52	3,14	52	3,14	0	0,00
Schulter	43	2,60	0	0,00	43	2,60
Proximaler Oberarm	11	0,66	11	0,66	0	0,00
Oberarmschaft	15	0,91	1	0,06	14	0,85
Distaler Oberarm	99	5,98	99	5,98	0	0,00
Ellenbogen	116	7,01	0	0,00	116	7,01
Proximaler Unterarm	50	3,02	19	1,15	31	1,87
Unterarmschaft	96	5,80	51	3,08	45	2,72
Distaler Unterarm	200	12,08	200	12,08	0	0,00
Handgelenk	193	11,66	0	0,00	193	11,66
Hand	111	6,71	111	6,71	0	0,00
Oberschenkelschaft	15	0,91	9	0,54	6	0,36
Distaler Oberschenkel	3	0,18	3	0,18	0	0,00
Knie	143	8,64	0	0,00	143	8,64

Patella	18	1,09	1	0,06	17	1,03
Proximaler Unterschenkel	11	0,66	11	0,66	0	0,00
Unterschenkelschaft	47	2,84	21	1,27	26	1,57
Distaler Unterschenkel	23	1,39	23	1,39	0	0,00
Sprunggelenk	222	13,41	0	0,00	222	13,41
Fuß	187	11,30	61	3,69	126	7,61
Summe	1655	100	673	40,7	982	59,3

Die Tabelle 9 fasst die oben gezeigten Lokalisationen (n = 1655) erneut zusammen, um die Verteilung von Frakturen und anderen Verletzungsmustern anhand von Körperbereichen aufzuzeigen. Die Abbildung 17 stellt die Häufigkeit von Frakturen oder anderen Verletzungen in den zuvor definierten Körperbereichen dar. Die am häufigsten betroffenen Körperbereiche insgesamt befanden sich im Handgelenkbereich (23,75 %), im Ellenbogenbereich (16,01 %) und im Sprunggelenkbereich (14,80 %). Bei der Diagnose einer Fraktur waren der Handgelenkbereich (12,08 %), die Hand (6,71 %) und der Ellenbogenbereich (7,13 %) am häufigsten betroffen. Andere Verletzungen zeigten sich am häufigsten im Bereich des Sprunggelenks (13,41 %), des Handgelenks (11,66 %) und des Knies (9,67 %).

Tabelle 9 - Verteilung der zusammengefassten Lokalisationen nach einem Trauma, weitere Unterteilung in Fraktur und andere Verletzungen, Anmerkung: n = 1655, Quelle: Eigene Darstellung

Bereich	Trauma gesamt	%	Fraktur	%	Andere	%
Schlüsselbein	52	3,14	52	3,14	0	0,00
Schulterbereich	54	3,26	11	0,66	43	2,60
Oberarmschaft	15	0,91	1	0,06	14	0,85
Ellenbogenbereich	265	16,01	118	7,13	147	8,89
Unterarmschaft	96	5,80	51	3,08	45	2,72
Handgelenkbereich	393	23,75	200	12,08	193	11,66

Hand	111	6,71	111	6,71	0	0,00
Oberschenkelschaft	15	0,91	9	0,54	6	0,36
Kniebereich	175	10,57	15	0,91	160	9,67
Unterschenkelschaft	47	2,84	21	1,27	26	1,57
Sprunggelenkbereich	245	14,80	23	1,39	222	13,41
Fuß	187	11,30	61	3,69	126	7,61
Summe	1655	100	673	40,66	982	59,34

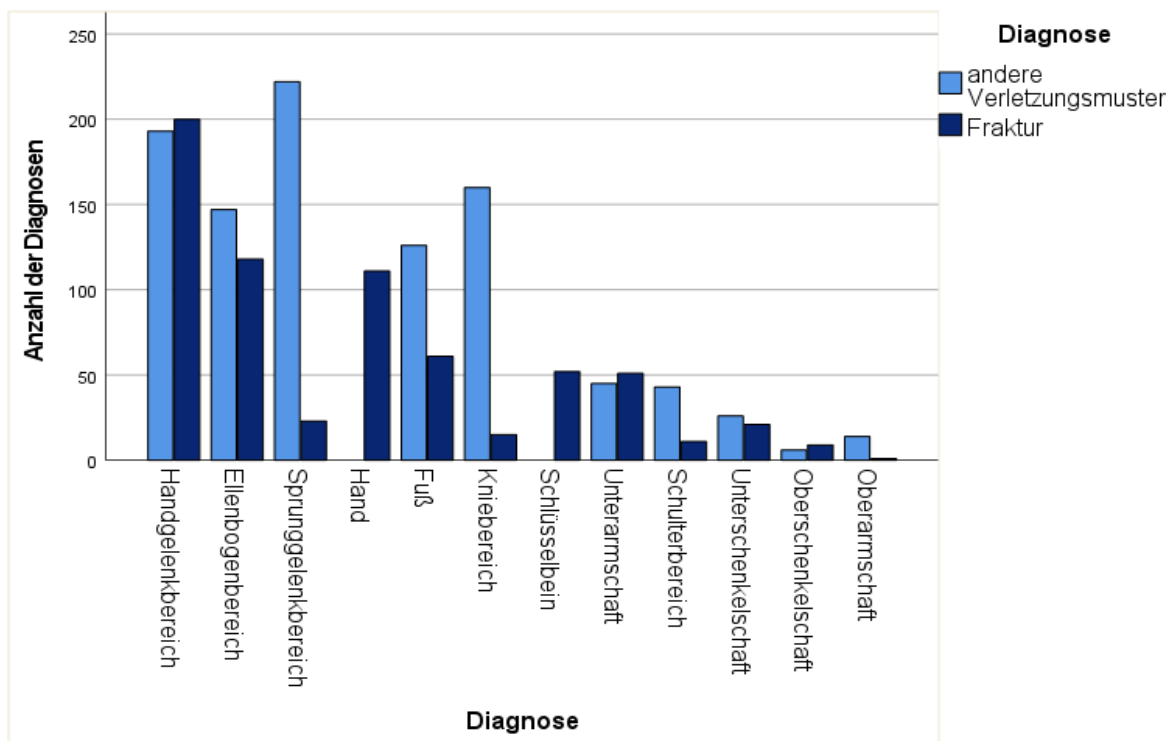


Abbildung 17 - Darstellung der Lokalisationen der Traumata unterteilt nach der Diagnose Fraktur und andere Verletzungsmuster

Anmerkung: n = 1655

Quelle: Eigene Darstellung

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen und der finalen Diagnose einer Fraktur oder einer anderen Verletzung durchgeführt. Keine der erwarteten Zellhäufigkeiten war kleiner als 5. Es gab einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen betroffenen Körperbereichen und der finalen Diagnose (Fraktur oder andere Verletzung) mit

einer hohen Effektstärke nach Cramer's V ($\chi^2(11) = 460.78$, $p < .001$, $V = 0.53$). Das bedeutet, dass manche Körperbereiche (Handgelenksbereich, Hand, Unterarmschaft, Schlüsselbein, Oberschenkschaft) bei einem stattgehabten Trauma in diesem Bereich signifikant häufiger von einer Fraktur betroffen waren. An anderen Körperbereichen resultierte ein Trauma signifikant häufiger in einer anderen Verletzung als einer Fraktur (Ellenbogenbereich, Sprunggelenkbereich, Fuß, Kniebereich, Schulterbereich, Unterschenkschaft, Oberarmschaft).

In Tabelle 10 ist die Verteilung der Lokalisationen nach einem Trauma in Abhängigkeit von dem Geschlecht zu sehen. Die Abbildung 18 stellt ebenfalls diese Abhängigkeit dar. Die häufigsten Lokalisationen eines Traumas bei Mädchen waren das Sprunggelenk (16,03 %), das Handgelenk (14,21 %) und der distale Unterarm (9,70 %). Bei Jungen waren der distale Unterarm (13,88 %), der Fuß (12,39 %) und das Sprunggelenk (11,44 %) die häufigsten Lokalisationen.

Tabelle 10 - Verteilung der Lokalisationen nach einem Trauma, weitere Unterteilung nach Geschlecht, Anmerkung: n gesamt = 1655, n weiblich = 711, n männlich = 944, w = weiblich, m = männlich
Quelle: Eigene Darstellung

Lokalisation	Trauma gesamt	%	w	% aller w	m	% aller m
Schlüsselbein	52	3,14	28	3,94	24	2,54
Schulter	43	2,60	12	1,69	31	3,28
Proximaler Oberarm	11	0,66	6	0,84	5	0,53
Oberarmschaft	15	0,91	6	0,84	9	0,95
Distaler Oberarm	99	5,98	45	6,33	54	5,72
Ellenbogen	116	7,01	57	8,02	59	6,25
Proximaler Unterarm	50	3,02	29	4,08	21	2,22
Unterarmschaft	96	5,80	35	4,92	61	6,46
Distaler Unterarm	200	12,08	69	9,70	131	13,88
Handgelenk	193	11,66	101	14,21	92	9,75

Hand	111	6,71	42	5,91	69	7,31
Oberschenkelschaft	15	0,91	2	0,28	13	1,38
Distaler Oberschenkel	3	0,18	2	0,28	1	0,11
Knie	143	8,64	52	7,31	91	9,64
Patella	18	1,09	5	0,70	13	1,38
Proximaler Unterschenkel	11	0,66	7	0,98	4	0,42
Unterschenkelschaft	47	2,84	24	3,38	23	2,44
Distaler Unterschenkel	23	1,39	9	1,27	14	1,48
Sprunggelenk	222	13,41	114	16,03	108	11,44
Fuß	187	11,30	70	9,85	117	12,39
Summe	1655	100,00	711	100,00	944	100,00

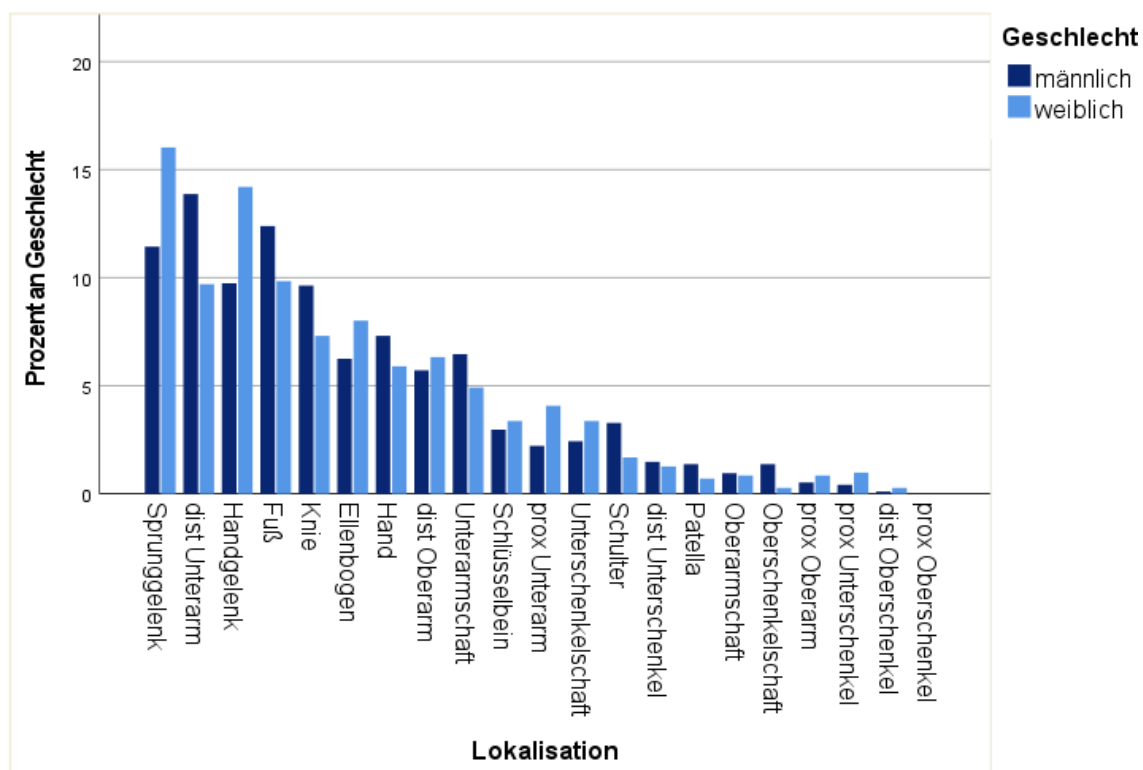


Abbildung 18 - Darstellung der Lokalisationen der Traumata unterteilt nach Geschlecht
 Anmerkung: n = 1655
 Quelle: Eigene Darstellung

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen den unterschiedlichen Lokalisationen der Traumata und dem Geschlecht durchgeführt. Vier der erwarteten Zelhäufigkeiten waren kleiner als 5. Die Interpretation der Ergebnisse kann dadurch verfälscht sein. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Lokalisation des Traumas und dem Geschlecht mit einer kleinen Effektstärke nach Cramer's V ($\chi^2 (19) = 49.45, p < 0.001, V = 0.17$). Das Ergebnis bedeutet, dass in Abhängigkeit von dem Geschlecht manche Lokalisationen signifikant häufiger auftraten als andere. Bei weiblichen Patienten konnten Traumata vermehrt am Sprunggelenk, Handgelenk, Ellenbogen, distalem Oberarm, Schlüsselbein, proximalem Unterarm, Unterschenkelschaft, proximalem Oberarm, proximalem Unterschenkel und dem distalem Unterschenkel festgestellt werden. Bei männlichen Patienten wurden hingegen signifikant häufiger Traumata am distalen Unterarm, Fuß, Knie, Hand, Unterarmschaft, Schulter, distaler Unterschenkel, Patella, Oberarmschaft und dem Oberschenkelschaft vorgefunden.

4.6 Diagnosen

Die häufigsten Diagnosen einer Fraktur und eines anderen Verletzungsmusters bei $n = 1655$ sind in Tabelle 11 dargestellt und zusätzlich nach Geschlecht untergliedert. Die Rangfolge bezieht sich jeweils auf die Unterteilung „Fraktur“ und „andere Verletzungsmuster“. Unter der Kategorie andere Verletzungsmuster sind außerdem die häufigsten Luxationen mit entsprechender Rangfolge aufgelistet. Die häufigsten Frakturen insgesamt waren die distale Radiusfraktur (einschließlich aller Variationen; 8,82 %), die supracondyläre Humerusfraktur (4,83 %) und die Fingerfraktur (4,59 %). Betrachtet man die Jungen einzeln, so war die Rangfolge der Verletzungen identisch. Die Mädchen hingegen wiesen häufiger Fingerfrakturen als die supracondyläre Humerusfraktur auf. Die häufigsten anderen Verletzungen waren die Sprunggelenksdistorsion (12,39 %), die Handgelenkskontusion (10,51 %) und die Fußkontusion (6,40 %). Die Rangfolge war für die beiden Geschlechter identisch. Eine ausführliche Tabelle über alle Diagnosen findet sich im Anhang 7.3 (Tabelle 18). In Abbildung 19 sind die häufigsten Diagnosen in Abhängigkeit von dem Geschlecht zu sehen.

Tabelle 11 – Darstellung der häufigsten Diagnosen, erneute Unterteilung nach Geschlecht,
Anmerkung: n gesamt = 1655, n weiblich = 711, n männlich = 944, w = weiblich, m = männlich
Quelle: Eigene Darstellung

Diagnosen	n	%	w	% aller w	m	% aller m
Frakturen						

1. Distale Radiusfraktur	146	8,82	57	8,01	89	9,43
- Wulstfraktur	77	4,65	29	4,08	48	5,08
- Grünholzfraktur	12	0,73	5	0,70	7	0,74
- Fraktur	57	3,44	16	2,25	41	4,34
- Epiphysiolyse	20	1,21	4	0,56	16	1,69
- Komplett Metaphysär	37	2,24	14	1,96	23	2,44
2. Supracondyläre Humerusfraktur	80	4,83	34	4,78	46	4,87
3. Fingerfraktur	76	4,59	37	5,20	39	4,13
4. Claviculafraktur	52	3,14	28	3,94	24	2,54
...
<i>Andere Verletzungsmuster</i>						
1. Sprunggelenksdistorsion	205	12,39	97	13,64	108	11,44
2. Handgelenkskontusion	174	10,51	84	11,81	90	9,53
3. Fußkontusion	106	6,40	40	5,63	66	6,99
4. Ellenbogenkontusion	105	6,34	51	7,17	54	5,72
...
8. Radiuskopfluxation	31	1,87	19	2,67	12	1,27
...
14. Patellaluxation	14	0,85	4	0,56	10	1,06
...
17. Schulterluxation	9	0,54	0	0,00	8	0,85
...
Summe	1655	100,00	711	100,00	944	100,00

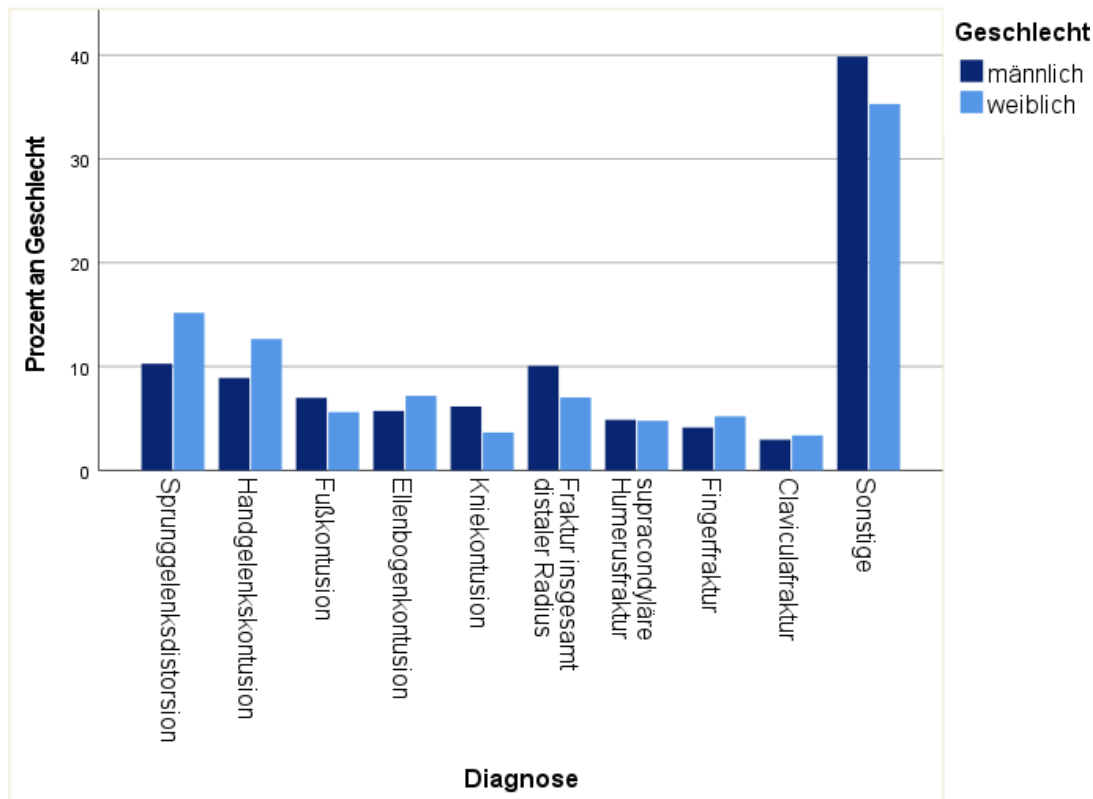


Abbildung 19 – Darstellung der häufigsten Diagnosen unterteilt nach Geschlecht
 Anmerkung: n = 1655
 Quelle: Eigene Darstellung

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen den unterschiedlichen Diagnosen und dem Geschlecht durchgeführt. Eine Vielzahl der Zellen hatte eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die Interpretation der Ergebnisse kann dadurch verfälscht sein. Die Betrachtung der Ergebnisse zeigt einen signifikanten Zusammenhang der betrachteten Größen mit einer kleinen Effektstärke nach Cramer's V ($\chi^2(77) = 133.90, p < 0.001, V = 0.28$). Das bedeutet, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Geschlecht des Patienten und den verschiedenen Diagnosen gibt.

Für die häufigsten Diagnosen von kindlichen Frakturen wird in Tabelle 12 die Wahl eines offenen operativen oder konservativen Therapieverfahrens gegenübergestellt. Für die distale Unterarmfraktur und die Unterarmschaftfrakturen (jeweils Radius und Ulna betroffen) fiel die Wahl der Therapie mit 71,43 % und 91,30 % besonders häufig auf ein offenes operatives Therapieverfahren. Die Claviculafraktur hingegen wurde ausschließlich konservativ behandelt. Insgesamt wurden am häufigsten die supracondyläre Humerusfraktur und die distalen Unterarmfraktur (Radius und Ulna betroffen) operiert.

Tabelle 12 - Darstellung der Therapieverfahren an den häufigsten Frakturen, Quelle: Eigene Darstellung

Diagnosen	n	Therapie			
		Operativ	%	Konservativ	%
Distale Radiusfraktur	146	16	10,96	130	89,04
- Wulstfraktur	77	0		77	
- Grünholzfraktur	12	1		11	
- Fraktur	57	15		42	
Supracondyläre Humerusfraktur	80	21	26,25	59	73,75
Fingerfraktur	76	8	10,53	68	89,47
Claviculafraktur	52	0	0,00	52	100,00
Distale Unterarmfraktur	35	25	71,43	10	28,57
Unterarmschaftfraktur	23	21	91,93	2	8,70

4.7 Bildgebende Verfahren

Die angewandten bildgebenden Verfahren sind nach ihrer Häufigkeit in Tabelle 13 zusammengefasst. Es wurden insgesamt 1873 Bildgebungen durchgeführt (n = 1873). Bei 1323 Patienten (84,05 %) wurde eine einfache Bildgebung angewandt, bei 251 Patienten (15,95 %) war eine mehrfache Bildgebung notwendig. Die häufigste Bildgebung war das Röntgen mit 1808 Fällen (96,53 %). Am häufigsten wurde ein Röntgen am Handgelenk mit 263 Fällen (14,04 %) durchgeführt. Ein Röntgenbild des oberen Sprunggelenks wurde in 243 Fällen erstellt (12,97 %) und ein Röntgenbild des Ellenbogens in 233 Fällen (12,44 %). In 44 Fällen wurde eine Magnetresonanztomographie durchgeführt (2,35 %), in 6 Fällen eine Sonographie (0,32 %) und in 15 Fällen eine Computertomographie (0,80 %).

Tabelle 13 – Darstellung der Häufigkeiten der angewandten bildgebenden Verfahren,
Anmerkungen: n = 1873, Quelle: Eigene Darstellung

Diagnostik	Anzahl	%	Diagnostik	Anzahl	%
Röntgen Handgelenk	263	14,04	MRT Knie	15	0,80
Röntgen oberes Sprunggelenk	243	12,97	MRT Ellenbogen	9	0,48
Röntgen Ellenbogen	233	12,44	MRT oberes Sprunggelenk	7	0,37
Röntgen Unterarm	205	10,95	MRT Handgelenk	6	0,32
Röntgen ganzer Fuß	182	9,72	MRT Schulter	3	0,16
Röntgen Knie	160	8,54	MRT ganzer Fuß	3	0,16
Röntgen ganze Hand	119	6,35	MRT Unterschenkel	1	0,05
Röntgen Schultergürtel	105	5,61	MRT insgesamt	44	2,35
Röntgen Patella	79	4,22	Sonographie Ellenbogen	5	0,27
Röntgen Unterschenkel	69	3,68	Sonographie Knie	1	0,05
Röntgen Finger	57	3,04	Sonographie insgesamt	6	0,32
Röntgen Oberarm	34	1,82	CT Traumaspirale	9	0,48
Röntgen Zehen	21	1,12	CT Knie	2	0,11
Röntgen Oberschenkel	20	1,07	CT OSG	1	0,05
.....	CT Schulter	1	0,05
Röntgen insgesamt	1808	96,53	CT Ellenbogen	1	0,05
			CT Hand	1	0,05

		CT insgesamt	15	0,80
Bildgebung gesamt	1873	100,0		100,0

Patienten mit Bildgebung	1574	100,00		
Bildgebung einfach	1323	84,05		
Bildgebung mehrfach	251	15,95		

Wie in Abbildung 20 (n = 1574) gezeigt, konnte nach der Durchführung einer bildgebenden Diagnostik bei 41,30 % der Patienten eine Fraktur diagnostiziert werden. Bei 58,70 % konnte eine Fraktur ausgeschlossen werden.

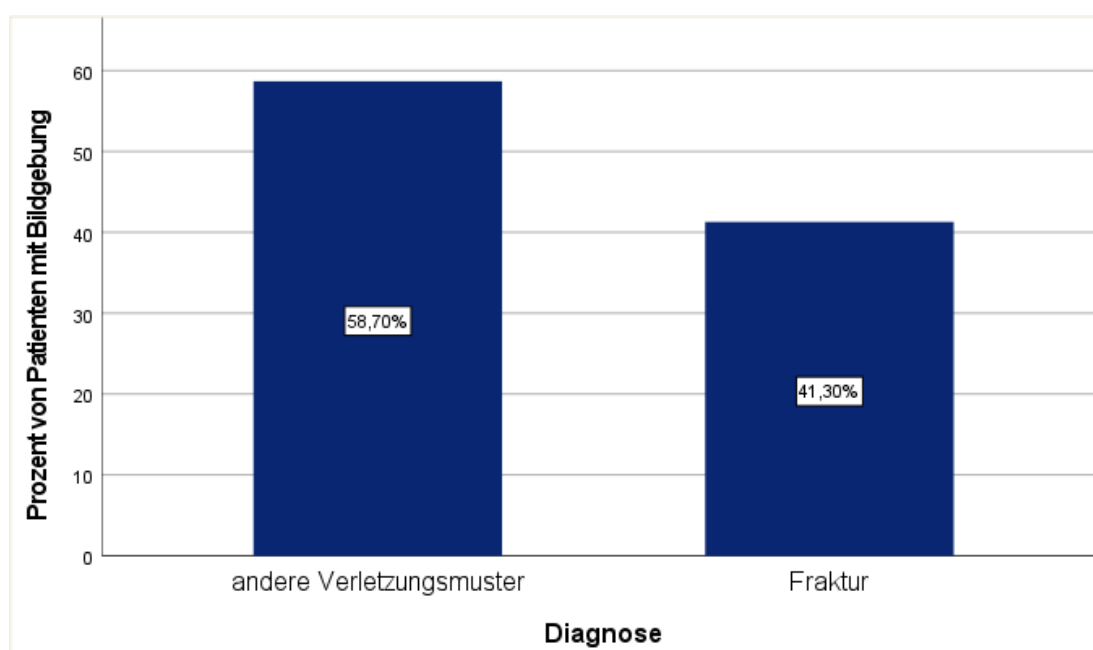


Abbildung 20 - Anteil der Patienten mit Fraktur und anderer Verletzung nach einer Bildgebung
Anmerkung: n = 1574
Quelle: Eigene Darstellung

Die Abbildung 21 stellt den Zusammenhang zwischen den verschiedenen am häufigsten durchgeführten bildgebenden Verfahren und der Diagnose einer Fraktur oder eines anderen Verletzungsmusters dar.

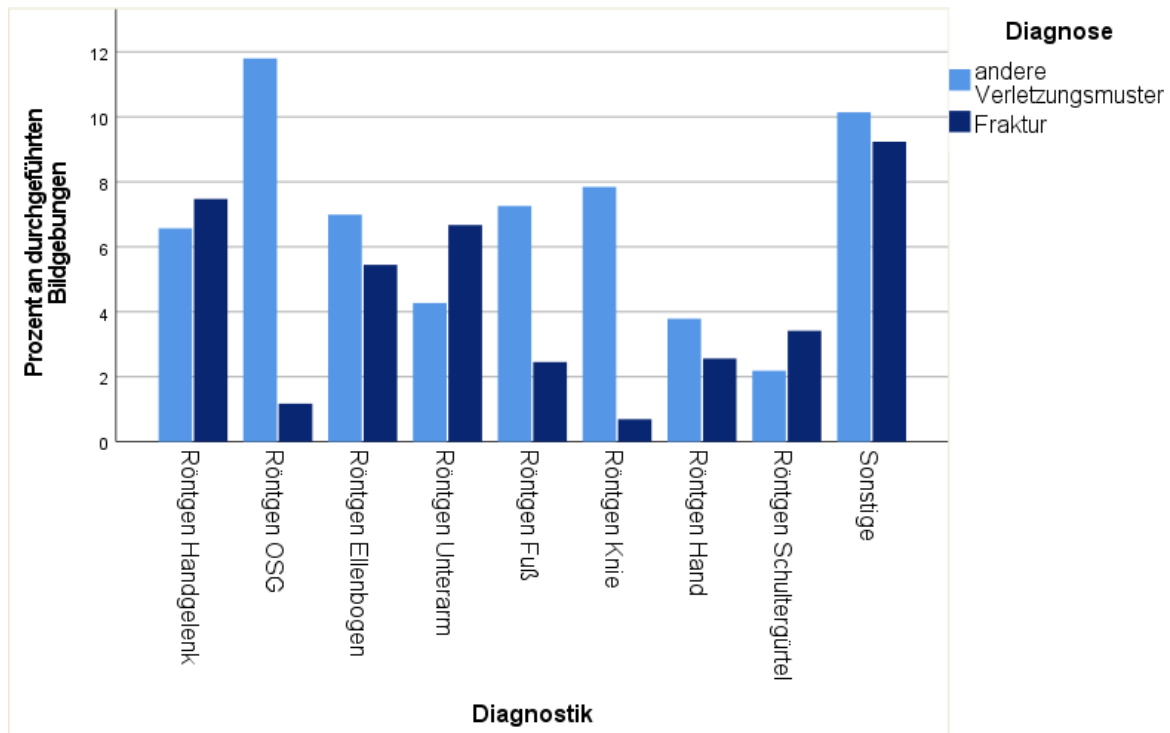


Abbildung 21 - Darstellung der Diagnose Fraktur oder andere Verletzung nach den häufigsten durchgeführten Bildgebung
 Anmerkung: n = 1574
 Quelle: eigene Darstellung

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen der durchgeführten Diagnostik und der Diagnose einer Fraktur durchgeführt. Mehrere der erwarteten Zellhäufigkeiten waren kleiner als 5. Die Interpretation der Ergebnisse kann dadurch verfälscht sein. Es gab einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der durchgeführten Diagnostik und der Diagnose einer Fraktur mit einer hohen Effektstärke ($\chi^2(34) = 488.75, p < 0.001, V = 0.56$). Somit führten manche Untersuchungen (beispielsweise Röntgen des oberen Sprunggelenks, Röntgen des Ellenbogens, Röntgen des Fuß, Röntgen der Hand, Röntgen des Knies) signifikant häufig zum Ausschluss einer Fraktur. Andere Untersuchungen (beispielsweise Röntgen des Handgelenks, Röntgen des Unterarms, Röntgen des Schultergürtels) führten signifikant häufig zur Diagnose einer Fraktur. Die vollständigen Ergebnisse werden im Anhang 7.3 in Tabelle 16 aufgeführt.

4.8 Therapie

Bei der Auswahl der Therapie gibt es verschiedene Therapieverfahren, die angewandt werden können. Diese werden unterteilt in konservative und offen operative Verfahren. Die Abbildung 22 stellt die prozentuale Anzahl der beiden Optionen nach einem Trauma dar. Es wurden 92,06 % der Patienten bei n = 1574 konservativ behandelt und 7,94 % operativ behandelt.

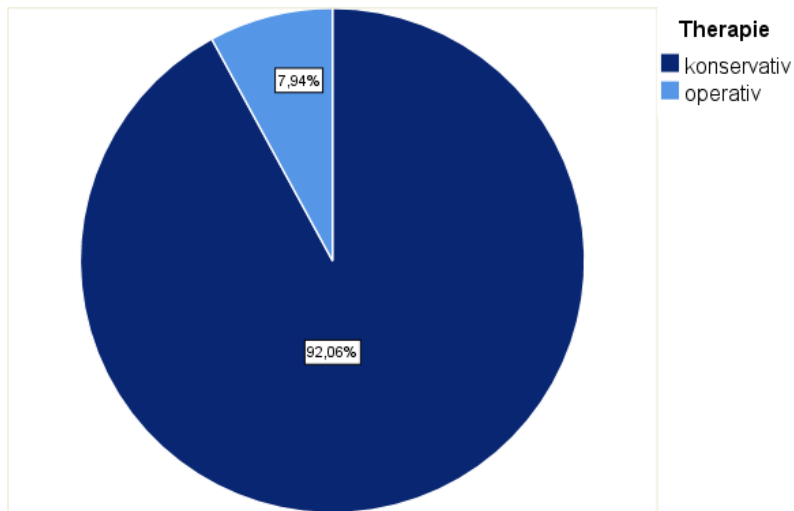


Abbildung 22 - Darstellung der gewählten Therapieverfahren nach einem Trauma

Anmerkung: n = 1574

Quelle: Eigene Darstellung

Die Abbildung 23 stellt die prozentuale Anzahl der beiden Therapieoptionen bei der Diagnose einer Fraktur dar. Im Anschluss an die Diagnosestellung einer Fraktur (n = 650), wurden 80,77 % der Patienten konservativ (n = 525) behandelt und 19,23 % (n = 125) der Patienten operativ.

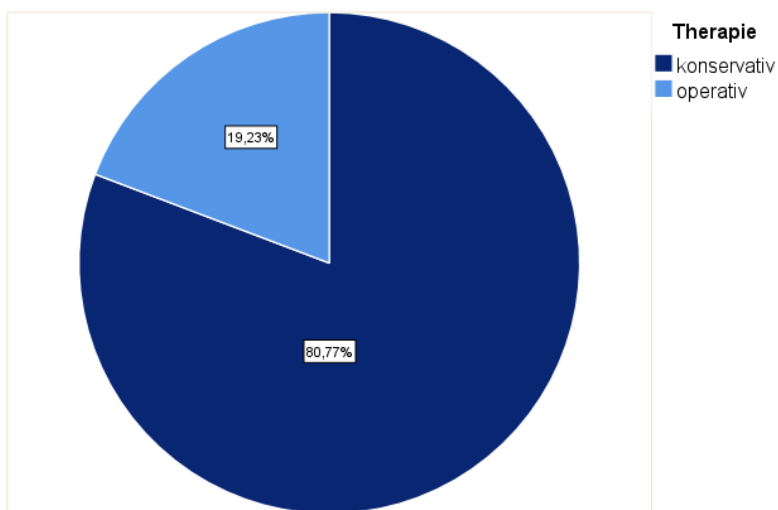


Abbildung 23 - Häufigkeitsverteilung der gewählten Therapieverfahren nach Diagnose Fraktur

Anmerkung: n = 650

Quelle: Eigene Darstellung

Weiterhin wurde der Zusammenhang zwischen der ausgewählten Therapie (konservativ oder operativ) und dem Geschlecht untersucht (siehe Tabelle 14). Es wurden 92,93 % aller weiblichen Patienten konservativ und 7,97 % operativ behandelt. 91,40 % der männlichen Patienten wurden konservativ und 8,60 % wurden operativ versorgt. Die Abbildung 24 stellt diesen Zusammenhang dar.

Tabelle 14 - Durchgeführte Therapie (konservativ oder operativ) nach einem Trauma insgesamt und aufgeteilt nach Geschlecht

Anmerkung: n = 1574, n weiblich= 679, n männlich= 895, w= weiblich, m= männlich

Quelle: Eigene Darstellung

Therapie	gesamt	%	w	% aller w	% aller Therapien	m	% aller m	% aller Therapien
konservativ	1449	92,06	631	92,93	40,09	818	91,40	51,97
operativ	125	7,94	48	7,07	3,05	77	8,60	4,89
Summe	1574	100,00	679	100,00	43,14	895	100,00	56,86

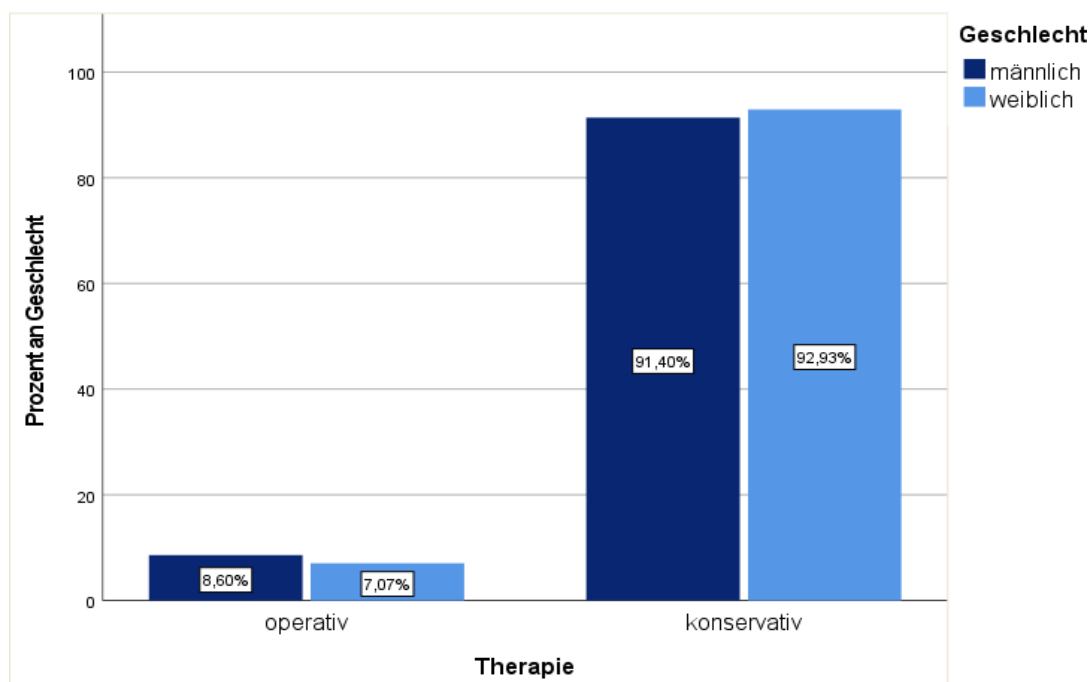


Abbildung 24 - Darstellung der Therapien (operativ oder konservativ) unterteilt nach Geschlecht

Anmerkung: n = 1574

Quelle: Eigene Darstellung

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen der durchgeführten Therapie (operativ oder konservativ) und dem Geschlecht durchgeführt. Keine erwarteten Zellhäufigkeiten waren kleiner als 5. Die Analyse gab keinen Hinweis darauf, dass ein Zusammenhang zwischen den betrachteten Größen besteht ($\chi^2(1) = 1.24$, $p = 0.265$). Das bedeutet, dass die Wahl der Therapie (operativ oder konservativ) bei keinem der beiden Geschlechter signifikant häufiger auf eine operative oder konservative Therapie fiel.

4.9 Therapieverfahren

Die Häufigkeitsverteilung der angewandten Therapieverfahren ist in Tabelle 15 zusammengefasst und zusätzlich nach Geschlecht untergliedert. Es wurden insgesamt 1702 Therapieverfahren durchgeführt ($n = 1702$). Das häufigste operative Therapieverfahren war die K-Draht- Osteosynthese mit 61 Fällen (3,58 %). Darauf folgten die TEN-Osteosynthese mit 46 Fällen (2,70 %) und die Schraubenosteosynthese mit 11 Fällen (0,65 %). Sowohl bei den weiblichen als auch bei den männlichen Patienten war diese Reihenfolge identisch. Bei den konservativen Verfahren wurden das Schonen / Kühlen mit 684 Fällen (40,19 %), die Ruhigstellung mit 670 Fällen (39,37 %) und die Reposition mit 126 Fällen (7,40 %) am häufigsten angewendet. Bei den weiblichen Patienten war diese Reihenfolge erneut identisch, bei den männlichen war die Ruhigstellung die häufigste konservative Therapie, gefolgt vom Schonen / Kühlen und der Reposition.

Tabelle 15 – Darstellung der konservativen und operativen Therapieverfahren unterteilt nach Geschlecht

Anmerkung: $n = 1702$, n weiblich = 726, n männlich = 976, w = weiblich, m = männlich

Quelle: Eigene Darstellung

Therapieverfahren	n	%	w	% aller w	m	% aller m
<i>operativ</i>	130	7,60	50	6,89	80	8,20
K-Draht- Osteosynthese	61	3,58	24	3,31	37	3,79
TEN- Osteosynthese	46	2,70	17	2,34	29	2,97
Schraubenosteosynthese	11	0,65	4	0,55	7	0,72
Plattenosteosynthese	7	0,41	1	0,14	6	0,61
Fixateur extern	3	0,18	3	0,41	0	0,00
Marknagelosteosynthese	2	0,12	1	0,14	1	0,10
<i>Konservativ</i>	1572	91,40	676	93,11	896	91,80

Schonen/Kühlen	684	40,19	315	43,39	369	37,81
Ruhigstellung	670	39,37	275	37,88	395	40,47
Reposition	126	7,40	51	7,02	75	7,68
Sprunggelenksorthese	43	2,53	19	2,62	24	2,46
Wundversorgung	15	0,88	6	0,83	9	0,92
Twin Tape Verband	17	1,00	4	0,55	13	1,33
Dachziegelverband	10	0,59	4	0,55	6	0,61
...
Summe	1702	100,00	726	100,00	976	100,00

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen den angewandten operativen Therapieverfahren und dem Geschlecht durchgeführt. Sieben Zellen zeigten eine Häufigkeit kleiner 5. Die Interpretation der Ergebnisse kann dadurch verfälscht sein. Die Betrachtung der Ergebnisse dieser Analyse zeigten keinen Hinweis auf einen Zusammenhang der betrachteten Größen ($\chi^2(5) = 6.73$, $p = 0.242$). Das bedeutet, dass kein Therapieverfahren bei einem der beiden Geschlechter signifikant häufiger durchgeführt wurde.

5 DISKUSSION

Im Folgenden werden die in Kapitel 4 vorgestellten Ergebnisse kritisch reflektiert und interpretiert. Diese werden anschließend in den wissenschaftlichen Kontext eingeordnet und auf Grundlage dessen diskutiert. Dafür werden die Ergebnisse der Forschungsarbeiten von Guifo et al.³⁹, LiBrizzi et al.⁴⁰, Naranje et al.⁵ und Moritz et al.⁸ vorgestellt und denen dieser Arbeit gegenübergestellt. Eigene Limitationen und Vorteile der Studie werden in diesem Zusammenhang evaluiert und verglichen.

5.1 Diskussion der Ergebnisse

Es erfolgt zunächst die Einordnung der geschlechterbezogenen Analysen. Die isolierte Betrachtung der Geschlechterverteilung der Patienten in der Notaufnahme der Uniklinik Köln zeigte, dass deutlich mehr männliche Kinder und Jugendliche mit dem Verdacht auf eine Fraktur behandelt wurden. Bei 43,80 % der männlichen Patienten wurde im weiteren Verlauf eine Fraktur diagnostiziert. Vergleichsweise wurden bei weiblichen Patienten nur in 38,00 % der Fälle eine Fraktur nachgewiesen. Diese Beobachtungen ließen das männliche Geschlecht zunächst als Risikofaktor vermuten. Eine statistisch signifikante Korrelation konnte jedoch mit dem korrigierten p- Wert nicht festgestellt werden. Weibliche Kinder hatten häufiger Alltags- und Spielunfälle. Männliche Kinder und Jugendliche hatten hingegen vergleichsweise häufiger Sportunfälle und Spielunfälle aus einer relevanten Höhe. Die Analyse der entsprechenden Daten ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den verschiedenen Unfallhergängen und dem Geschlecht. Auch die verschiedenen Diagnosen variierten deutlich zwischen den beiden Geschlechtern. Es wurden für männliche Patienten mehr Frakturen des distalen Radius, Kniekontusionen und Patellaluxationen erfasst. Weibliche Kinder und Jugendliche erlitten hingegen vergleichsweise mehr Frakturen der Clavicula, Sprunggelenksdistorsionen und Radiuskopfluxationen. Die anschließende Analyse der Werte ergab eine signifikante Korrelation zwischen den unterschiedlichen Diagnosen und dem Geschlecht. Die weitere Einordnung der verschiedenen Diagnosen zu Lokalisationen entlang der Extremitäten wurde ebenfalls hinsichtlich geschlechtsbedingter Einflüsse untersucht. So waren beispielsweise die Bereiche des Sprunggelenks und des Ellenbogens bei weiblichen Patienten vermehrt betroffen. Männliche Patienten hingegen verzeichneten häufiger Verletzungen in den Bereichen des Knies und des Fußes. Es konnte zwischen den Lokalisationen der Verletzungen und dem Geschlecht ein statistisch signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Die Wahl der Therapie (konservativ oder operativ) und des anschließenden Therapieverfahrens erfolgte unabhängig von dem Geschlecht der Patienten.

Die geschlechtsbezogenen Analysen dieser Studie zeigen, dass es für männliche wie weibliche Patienten ein vermehrtes Auftreten bestimmter Unfallhergängen, Diagnosen und

Lokalisationen gibt. Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns war es jedoch nicht möglich weitere Details der Unfallhergänge in Erfahrung zu bringen und hier möglicherweise noch weitere Differenzierungen vorzunehmen. Die Ergebnisse sprechen dennoch dafür, dass eine geschlechtersensible Behandlung von kindlichen Verletzungen an den Extremitäten sinnvoll ist. Signifikante geschlechtsspezifische Korrelationen ergaben sich jedoch nicht für alle Bereiche (Frakturen und Therapien). Das Geschlecht sollte also nicht ausschlaggebend für eine bestimmte Behandlung sein, sondern es sollte ein sensibler Umgang mit möglichen geschlechtsbezogenen Unterschieden gelehrt und in der klinischen Tätigkeit von Ärzten in den Krankenhäusern unterstützt werden.

Weiterhin wurde das Alter der Kinder und Jugendlichen in dieser Studie analysiert. Insgesamt zeigte sich ein Peak bei den 10-11- Jährigen. Die isolierte Betrachtung der Altersverteilung bei einer Fraktur ergab zwei Peaks. Bei den Altersgruppe der 4-6- Jährigen und der 10-11- Jährigen wurde besonders häufig eine Fraktur diagnostiziert.

In der Analyse der Unfallhergänge zeigte sich, dass der Alltagsunfall, als häufigster Unfallhergang insgesamt, seltener ursächlich für die Entstehung einer Fraktur war. Auch bei Sportunfällen zeigte sich dieses Ergebnis. Spielunfälle waren der zweithäufigste Unfallhergang und endeten vergleichsweise häufiger in einer Fraktur. Insbesondere Spielunfälle aus einer relevanten Höhe resultierten oft in Frakturen.

Diese Ergebnisse können die Einordnung einer Verletzung in der Notaufnahme anhand des Unfallgeschehens bereits vor Durchführung eines bildgebenden Verfahrens erleichtern. Limitiert wird dieser Ansatz dadurch, dass in der Akutsituation nicht immer eine eindeutige Rekonstruktion des Unfallhergangs möglich ist.

Weiterhin erfolgte die Analyse der bildgebenden Verfahren. Es wurden insgesamt 1873 Bildgebungen durchgeführt. Es wurden 1808 Röntgenuntersuchungen dokumentiert, die häufigsten im Bereich des Handgelenks, des oberen Sprunggelenks und des Ellenbogens. Eine Magnetresonanztomographie wurde in 44 Fällen durchgeführt, insbesondere in den Bereichen des Knies, des Ellenbogens und des oberen Sprunggelenks. Eine Bildgebung durch eine Computertomographie wurde in 15 Fällen erstellt, die Traumaspirale war die häufigste Anwendungstechnik. Eine Sonographie in Zusammenhang mit einer Verletzung der Extremitäten wurde lediglich in 6 Fällen durchgeführt. Der Anwendungsbereich lag insbesondere im Bereich des Ellenbogens. Nach der Durchführung einer Bildgebung (obligat für den Einschluss in diese Studie) wurde bei 41,30 % der Kinder und Jugendlichen eine Fraktur diagnostiziert. Bei 58,70 % der Patienten wurde hingegen keine Fraktur festgestellt. Insbesondere Röntgenbilder des oberen Sprunggelenks und des Knies führten in wenigen Fällen zu der Diagnose einer Fraktur. Hingegen konnte durch das Röntgen des Unterarms und des Schultergürtels besonders häufig die Diagnose einer Fraktur gestellt werden.

Die Interpretation der Ergebnisse zeigt, dass es einen statistisch signifikanten Unterschied hinsichtlich der Diagnose einer Fraktur und bestimmten bildgebenden Verfahren gibt. Aus diesen Ergebnissen kann möglicherweise eine restriktivere Indikationsstellung in der Notaufnahme für eine Bildgebung in den Bereichen der seltenen Frakturdiagnosen mit Blick auf den Strahlenschutz folgen. Es bestand jedoch keine Möglichkeit, in der vorliegenden Studie festzustellen, ob auf Grund eines nicht durchgeführten bildgebenden Verfahrens eine Fraktur übersehen wurde. Daher sollte zusätzlich die Anwendung alternativer bildgebender Verfahren ohne Strahlenexposition evaluiert werden, da diese in der vorliegenden Studie hinsichtlich ihrer Häufigkeit eine deutlich untergeordnete Rolle einnahmen. Hierzu benötigt es zum einen weiterführende Forschung, um strahlungsarme Bildgebungsverfahren, wie beispielsweise das MRT, auch vermehrt in der Notfalldiagnostik einsetzen zu können. Weiterhin ist eine intensivere Schulung von Ärzten in der Durchführung von bildgebenden Verfahren wie der Sonographie notwendig.

Es folgt die Analyse der Diagnosen und der Verletzungslokalisationen. Die am meisten diagnostizierte Fraktur im Kinder- und Jugendalter war in der vorliegenden Studie die distale Radiusfraktur, welche in Form der Wulstfraktur, Grünholzfraktur, Epiphysiolyse und des komplett metaphysären Bruchs auftrat. Es folgte darauf die supracondyläre Humerusfraktur, die Fingerfraktur und die Claviculafraktur. In der Häufigkeitsrangfolge der anderen Verletzungen standen die Sprunggelenksdistorsion, die Handgelenkskontusion, die Fußkontusion und die Ellenbogenkontusion an den ersten Stellen. Luxationen traten insgesamt vergleichsweise selten auf und zeigten sich insbesondere als Radiuskopfluxationen und Patellaluxationen. Die Zuordnung der verschiedenen Diagnosen zu Verletzungslokalisationen und wiederum deren Zuordnung zu definierten Bereichen entlang der Extremitäten ermöglichte eine übersichtlichere Analyse. Es zeigte sich, dass der Handgelenksbereich, der Ellenbogenbereich und der Sprunggelenksbereich besonders oft von einem Trauma betroffen waren. Der Oberschenkelschaft und der Oberarmschaft waren hingegen die am seltensten verletzten Regionen. Frakturen ließen sich am häufigsten im Bereich des Ellenbogens und des Handgelenks nachweisen. Hinsichtlich der Häufigkeiten von Frakturen oder anderen Verletzungen in bestimmten Regionen konnten auch Unterschiede festgestellt werden. Beispielsweise konnte in den Bereichen des Sprunggelenks und des Knies lediglich in 9,39 % und 8,57 % der Fälle eine Fraktur diagnostiziert werden. Die Bereiche des Schlüsselbeins und der Hand waren hingegen in 100,00 % der Fälle und der Bereich des Unterarmschafts mit 53,10 % der Fälle sehr häufig frakturiert.

Die Ergebnisse ermöglichen eine aufschlussreiche Übersicht über die Häufigkeiten von Diagnosen und Verletzungslokalisationen kindlicher und jugendlicher Patienten. Es konnte auch eine statistisch signifikante Korrelation zwischen bestimmten Lokalisationen und Frakturhäufigkeiten festgestellt werden. Die erlangten Erkenntnisse können dabei helfen, eine

verbesserte Situationseinschätzung in der Notaufnahme zu ermöglichen. Dies kann insbesondere dann hilfreich sein, wenn eine adäquate Anamnese aus verschiedenen Gründen nicht möglich ist. Da die Patienten dieser Studie alle in der Unfallchirurgie und Orthopädie der Uniklinik Köln behandelt wurden, besteht die Möglichkeit der Überrepräsentation schwerwiegender Diagnosen im Vergleich zu kleineren Krankenhäusern. Dementsprechend sollten in zukünftigen Studien möglichst verschiedene Krankenhäuser mit unterschiedlichen Schwerpunkten eingeschlossen werden.

Es wurden weiterhin die auf die Diagnose folgenden Therapien analysiert. Die Therapieplanung unterschied zunächst zwischen konservativen und offen operativen Verfahren. Kinder und Jugendliche, bei denen eine Fraktur diagnostiziert wurde, wurden in 19,23 % der Fälle mittels eines offenen operativen Therapieverfahrens behandelt. 80,77 % der Patienten mit einer Fraktur konnten hingegen konservativ behandelt werden. Offen operative Therapieverfahren wurden insgesamt am häufigsten bei der supracondylären Humerusfraktur und bei Frakturen des distalen Unterarms (Radius und Ulna betroffen) durchgeführt. Prozentual gesehen fiel jedoch im Falle einer Unterarmschaftfraktur und der distalen Unterarmfraktur (jeweils Radius und Ulna betroffen) am häufigsten die Wahl auf ein operatives Therapieverfahren. Die distale Radiusfraktur und die Fingerfraktur wurden hingegen deutlich seltener operiert. Die Claviculafraktur wurde ausschließlich konservativ versorgt. Die speziellen angewandten Therapieverfahren wurden sowohl hinsichtlich operativer als auch konservativer Verfahren nach Häufigkeiten untersucht. Im Bereich der operativen Verfahren war die K-Draht-Osteosynthese das dominierende Verfahren. Es folgten die TEN-Osteosynthese und die Schraubenosteosynthese. Konservative Verfahren waren insbesondere die Schonung und Kühlung, unterschiedliche Arten der Ruhigstellung, die Reposition sowie Sprunggelenksorthesen.

Die Einordnung dieser Ergebnisse ermöglicht eine orientierende Einschätzung dahingehend, welche Bereiche am häufigsten operiert werden müssen und welche Verfahren hierfür am meisten angewandt werden. Entsprechend können diese Ergebnisse richtungsweisend in Hinblick auf Schwerpunkte in der weiteren Forschung und Weiterentwicklung der operativen Möglichkeiten in diesen Bereichen sein. Auf Grund des retrospektiven Studiendesigns konnten in dieser Studie die Erfolge der durchgeführten Therapien jedoch nicht kontrolliert werden. Um weitere Aussagen zu erlangen, welche der durchgeführten Therapien besonders komplikationsreich sind und möglicherweise optimiert werden sollten, sollten zukünftige Studien möglichst eine Kontrolle der Ergebnisse in das Studiendesign involvieren.

5.2 Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext

Um die zuvor erörterten Ergebnisse dieser Arbeit in den wissenschaftlichen Kontext einzuordnen, erfolgt die Gegenüberstellung mit vorherigen Studien, die sich ebenfalls mit kindlichen Frakturmustern beschäftigt haben. Zunächst soll die Forschungsarbeit von Guifo et al. (2017) vorgestellt werden ³⁹. Darauf folgen die Arbeiten von LiBrizzi et al. (2020) ³⁴, Naranje et al. (2016) ⁶ und Moritz et al. (2010) ⁸.

Die prospektive Kohortenstudie von Guifo et al. (2017) befasste sich mit kindlichen Patienten, bei welchen eine Fraktur im Yaoundé University teaching hospital (Kamerun) zwischen dem 01. Januar 2011 bis zum 15. Juni 2015 diagnostiziert wurde. Erhobene Größen waren demographische und klinische Merkmale und angewandte Therapieverfahren. Weiterhin wurden Komplikationen in der Behandlung und die Resultate der angewandten Therapien in einer Follow-Up-Untersuchung nach zwölf Monaten dokumentiert. Zielsetzung der Studie war eine übersichtliche Datenerfassung, um die spezialisierte kindliche Frakturversorgung in der Region zu verbessern ³⁹.

Es wurden 145 Kinder und Jugendliche im Alter von 0-16 Jahren untersucht. Bei den Patienten wurden insgesamt 147 Frakturen diagnostiziert. Das durchschnittliche Alter lag bei 7 Jahren mit besonderem Peak bei den 6-11- Jährigen. Die Geschlechterverteilung lag bei 71,7 % männlichen zu 28,3 % weiblichen Patienten. In 39 % der Fälle war die rechte Seite betroffen, in 61 % die linke Seite. Vergleichsweise liegt unsere Studie mit 1574 betrachteten Fällen und davon 650 Patienten mit Fraktur deutlich über der Fallzahl von Guifo et al. Die Altersspanne ist mit Kindern und Jugendlichen zwischen 0-18 Jahren weiter gefasst und das durchschnittliche Alter ist mit 8,49 Jahren in dieser Studie höher. In unserer Studie sind 43,14 % der Frakturen weiblichen Patienten und 56,86 % der Frakturen männlichen Patienten zuzuordnen. Damit ist die Häufigkeit von Frakturen bezogen auf das Geschlecht in unserer Studie ausgeglichener als bei Guifo et al. Bei der Seitenverteilung ist in beiden Studien die linke Körperseite häufiger von Frakturen betroffen als die rechte Seite. Mit 54,08 % ist die Ausprägung in unserer Studie jedoch geringer ³⁹.

Als Unfallhergänge definierten Guifo et al. Spielunfälle (53,1 %), versehentliche Unfälle (20,7 %), Verkehrsunfälle (18,0 %), Geburtsunfälle (4,1 %), Sportunfälle (0,7 %), körperliche Auseinandersetzungen (0,7 %) und unbekannte Unfallhergänge (2,7 %). Diese Definitionen sind mit denen unserer Studie vergleichbar. Verkehrsunfälle wurden jedoch nicht in einer gesonderten Rubrik erhoben und Geburtsunfälle wurden in der vorliegenden Stichprobe nicht erfasst. Die prozentuale Aufteilung der erfassten Unfälle der beiden Studien unterscheidet sich deutlich. Insbesondere Sportunfälle sind in unserer Studie erkennbar häufiger registriert worden ³⁹. Die fehlende Dokumentation von Geburtsunfällen ergibt sich dadurch, dass diese

Art der kindlichen Unfälle in der Uniklinik Köln durch die Gynäkologie und die Pädiatrie versorgt werden. Daher konnte dieser Unfallhergang nicht in diese Studie mit einfließen.

Guifo et al. dokumentierten Frakturen in Bereichen des Unterarms (37,0 %), des Oberarms (25,5 %), der Clavicula (4,13 %), des Oberschenkels (23,0 %), des Unterschenkels (23,0 %) und des Sprunggelenks (2,0 %). Diese Körperregionen umfassen deutlich großflächigere Bereiche als die in unserer Studie definierten. Vorteilhaft ist dadurch in unserer Studie die Möglichkeit einer differenzierteren Betrachtung der verschiedenen Lokalisationen. Dies hatte aber auch zur Folge, dass teilweise nur sehr wenige Fälle für manche der Bereiche erfasst wurden. Weiterhin unterscheidet sich die Frakturverteilung in unserer Studie im Vergleich zu der Studie von Guifo et al. Bei den Patienten in Kamerun konnten 46 % der Frakturen im Bereich der unteren Extremität nachgewiesen werden. In unserer Arbeit wurden lediglich 19 % der Frakturen an der unteren Extremität festgestellt ³⁹.

Guifo et al. beobachteten in ihrer Kohorte 17 operative Therapieverfahren (11,5 %) und 130 konservative (88,5 %). In dieser Studie wurden 125 operative Interventionen (19,23 %) und 525 konservative Verfahren (80,77 %) erhoben. Die Rate der operativ behandelten kindlichen Frakturen war damit in der Uniklinik Köln deutlich höher. Die konkreten Therapieverfahren wurden durch Guifo et al. nicht weiter erörtert. Bei der Auswertung der Therapien zeigt sich ein Vorteil unserer Studie durch deutlich mehr durchgeführte Operationen (n = 125) und durch die differenziertere Betrachtung der angewandten operativen Verfahren ³⁹. Diese hohe Anzahl an durchgeführten Operationen in der Uniklinik Köln ergibt sich mit dadurch, dass es eine hohe Anzahl an Sekundärzuweisungen bei klaren OP- Indikationen aus anderen Kliniken gibt.

Verschiedene Faktoren beeinflussten den Ausgang der Studie von Guifo et al. im Vergleich zu unserer Arbeit. In der Stichprobe von Guifo et al. wurden deutlich mehr männliche Patienten registriert. Es verletzten sich also mehr Jungen als Mädchen in dem untersuchten Zeitraum. In der vorliegenden Studie konnte dieser Unterschied nicht gezeigt werden. Möglicherweise ist dies auf andere soziokulturelle Besonderheiten in Kamerun im Vergleich zu Deutschland zurückzuführen. Auch unterschiedliche demografische Begebenheiten waren von großer Relevanz. So kam es in Kamerun häufig zu einer verzögerten Patientenvorstellungen nach dem stattgehabten Trauma von bis zu 120 Tagen. Weiterhin standen operationsnotwendige Materialien teilweise nicht adäquat zur Verfügung oder begrenzte finanzielle Mittel der Familien beeinflussten die angewandte Therapie. Hierdurch wurden möglicherweise weniger Operationen durchgeführt als eigentlich indiziert waren. Durch die genannten Faktoren zeigt sich eine gewisse Limitation in der Vergleichbarkeit der beiden Studien ³⁹.

Im Vergleich liefert die vorliegende Studie einen Erkenntnisgewinn durch die insgesamt deutlich höhere Fallzahl und die einhergehende größere Fallzahl an Frakturen und operativen Verfahren. Ein weiterer Vorteil liegt in der Erhebung zahlreicherer Kategorien. Aufgrund des

prospektiven Versuchsaufbaus von Guifo et al. war jedoch ein Follow- Up mit Bewertung der angewandten Therapien möglich. Dies war durch das retrospektive Studiendesign in unserer Studie nicht möglich. In zukünftigen Studien wäre die Integration eines Follow- Ups daher empfehlenswert.

Die retrospektive Studie von LiBrizzi et al. (2020) beschäftigte sich mit geschlechtsspezifischen Unterschieden der supracondylären Humerusfraktur. Die Level III Studie wurde 2020 in Baltimore erhoben und evaluierte 1231 pädiatrische supracondyläre Humerusfrakturen über einen Zeitraum von 9 Jahren (2008- 2017). Es wurden Korrelationen zwischen dem Geschlecht, dem Alter, der Behandlung, neurologischen Komplikationen und den Unfallhergängen hergestellt ⁴⁰.

LiBrizzi et al. erhoben supracondyläre Humerusfrakturen bei 52 % weiblichen und 48 % männlichen Patienten. Bei 68 % der Frakturen war ein operatives Vorgehen und bei 32 % der Frakturen war ein konservatives Vorgehen indiziert. Unsere Studie weist mit einer Fallzahl von 80 Kindern und Jugendlichen mit einer supracondylären Humerusfraktur eine niedrigere Fallzahl auf diese Diagnose bezogen auf. Weiterhin zeigte sich in unserer Studie ein größerer Anteil an männlichen Patienten mit supracondylärer Humerusfraktur (57,50 %). Diese Geschlechterverteilung stimmt mit den Ergebnissen bisheriger Studien überein und wurde von LiBrizzi et al. in Frage gestellt. Die Fraktur wurde in der vorliegenden Studie bei 26,25 % der Patienten offen operativ und bei 73,75 % konservativ versorgt. Es gab in beiden Studien keine relevanten geschlechterspezifischen Unterschiede bei der Wahl des Therapieverfahrens ⁴⁰.

Die verschiedenen Unfallhergänge wurden durch LiBrizzi et al. unterteilt in hochenergetische (46 %) und niedrigenergetische (50 %) Ursachen. Es konnte kein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und den Unfallhergängen festgestellt werden. Zwischen hochenergetischen Unfallhergängen, älteren Patienten und schwereren Verletzungen wurde jedoch eine signifikante Korrelation erkannt. Im Gegensatz zu der Studie von LiBrizzi et al. wurde in der vorliegenden Studie ein Zusammenhang zwischen den Unfallhergängen und dem Geschlecht hergestellt. Allerdings bezog sich diese Analyse nicht isoliert auf die supracondyläre Humerusfraktur. Auch die Definition der Unfallhergänge unterscheidet sich zwischen den beiden Studien, sodass die Vergleichbarkeit in dieser Kategorie relevant eingeschränkt ist ⁴⁰.

Neurologische Komplikationen wurden als weitere Kategorie erhoben, konnten laut LiBrizzi et al. aber keinem Geschlecht vermehrt zugeordnet werden. In unserer Arbeit wurden keine neurologischen Komplikationen erhoben ⁴⁰. Dies lag vor allem daran, dass in den zuvor erhobenen Anamnesen keine neurologischen Komplikationen beschrieben wurden. Eine Kontrolle dieser Angaben war durch das retrospektive Studiendesign nicht möglich.

In beiden Studien wurden Patienten aus jeweils einem Krankenhaus in einer Metropole (Baltimore, Köln) untersucht. Hierdurch sind beide Studien möglicherweise nicht repräsentativ für kleinere Krankenhäuser in ländlicheren Region ⁴⁰.

Die Level III retrospektive Studie von Naranje et al. (2016) evaluierte die häufigsten kindlichen Frakturen in den USA im Jahr 2010 durch die Nutzung der National Electronic Injury Surveillance System (NEISS) database und der 2010 US Census information ⁵.

Das Altersspektrum schloss Kinder und Jugendliche zwischen 0-19 Jahren ein. In der Studie von Naranje et al. ergab sich ein Peak bei den 10-14- Jährigen. In unserer Arbeit zeigten sich bei den erfassten Kindern und Jugendlichen zwischen 0-18 Jahren ähnliche Peaks für kindliche Frakturen bei den 4-6- Jährigen und 10-11- Jährigen. Naranje et al. beschrieben Unterarmfrakturen mit 17,8 % als häufigste Fraktur bei Kindern und Jugendlichen der USA, gefolgt von Finger- und Handgelenksfrakturen. Die jährliche Rate an kindlichen Frakturen ergab ein Auftreten von 9,47 pro 1000 Kindern in den USA. Das absolute Risiko, eine Fraktur in der Kindheit und Jugend zu erleiden betrifft laut Naranje et al. 180 pro 1000 Kinder in den USA. Weiterhin wurde konstatiert, dass eine von 18 Frakturen eine Überwachung oder den Aufenthalt im Krankenhaus nach sich zogen. Im Vergleich zu Naranje et al. erhob diese Studie die distale Radiusfraktur (21,69 %) als häufigste Fraktur bei Kindern und Jugendlichen. Nachfolgend wurde die supracondyläre Humerusfraktur (11,89 %) und Fingerfrakturen (11,29 %) gelistet. Die weiteren Resultate von Naranje et al. sind wegen des unterschiedlichen Studienaufbaus nicht mit den Ergebnissen unserer Studie vergleichbar ⁵.

Die Vergleichbarkeit der Studien ist weiterhin wegen der demografischen Unterschiede zwischen den USA und der Stadt Köln vermindert. Die Studie von Naranje et al. konnte durch die Nutzung eines nationalen Datensystem alle Frakturen des Jahres 2010 in den USA dokumentieren und auswerten. Ein Vorteil zeigt sich so in repräsentativen Ergebnissen für die gesamte USA durch die Reduktion von standortinduzierten Limitationen. Naranje et al. evaluierten jedoch ausschließlich Häufigkeiten, ohne weitere frakturbezogene Größen und Korrelationen zu dokumentieren und zu analysieren. Der Erkenntnisgewinn durch die vorliegende Studie besteht daher darin, dass durch den Studienaufbau die Möglichkeit bestand auf die Patientenakte mit weiteren Information zuzugreifen und so weitere diagnosenbezogene Kategorien zu dokumentieren ⁵.

Die Studie von Moritz et al. (2010) hatte das Ziel „über den reinen Frakturachweis hinaus Sonografie und Röntgenaufnahmen in der Diagnostik von Frakturtyp und Frakturstellung bei kindlichen Frakturen zu vergleichen“ ⁸.

In der Studie wurden als Modell für kindliche Knochen 248 frakturierte und nicht- frakturierte Extremitätenknochen von toten Ferkeln verwendet und in der Sonografie, der

Röntgendiagnostik sowie der Computertomografie untersucht. Die Studie kam zu dem Schluss, dass die Sonografie als vollwertiges alternatives Verfahren zu Röntgenaufnahmen in der kindlichen Frakturdiagnostik eingesetzt werden kann. Der Versuchsaufbau von Moritz et al. ist zwar nicht mit der vorliegenden Studie vergleichbar, jedoch können Schlüsse aus der Gegenüberstellung unserer Ergebnisse mit denen von Moritz et al. gewonnen werden. Die Studie von 2010 hatte bereits die Sonographie als vollwertiges alternatives Verfahren zur Bildgebung mit Strahlenexposition eruiert. In der vorliegenden Studie waren jedoch nur in 6 von 1873 durchgeführten bildgebenden Verfahren die Sonographie verwendet worden. In diesem Bereich besteht entsprechend die Möglichkeit fortführende Forschung mit den inzwischen verbesserten technischen Geräten durchzuführen und die Anwendung dieses Verfahrens in der Praxis zu testen und zu fördern.

Letztendlich ergeben sich im Studienvergleich relevante Limitationen der vorliegenden Arbeit insbesondere durch Standortfaktoren und das retrospektive Studiendesign.

Als Uniklinik Köln verzeichnet die unfallchirurgische Notaufnahme eine Überrepräsentation schwerer Verletzungen. Dagegen findet die kindliche Primärversorgung dort nur in geringerem Maße statt. Auch ist die Varietät der Patienten dadurch begrenzt, dass lediglich eine Notaufnahme mit dem entsprechenden Einzugsgebiet in einer Stadt untersucht wurde. Kleinere Krankenhäuser in ländlicheren Regionen und Krankenhäuser mit anderen Schwerpunkten werden so nicht in die Auswertung einbezogen.

Durch das retrospektive Studiendesign war es nicht möglich, ergänzende Informationen nachträglich zu erheben. Es bestand daher keine Möglichkeit eines postklinischen Follow-ups um die Resultate der verschiedenen Therapien zu evaluieren. Weiterhin wurde die Rekonstruktion des Unfallhergangs so erschwert. Die durch den behandelnden Arzt zuvor erhobene und in Orbis dokumentierte Anamnese war die einzige Möglichkeit der Informationsbeschaffung. Hierdurch konnte in einigen Fällen kein eindeutiger Unfallhergang festgelegt werden, insbesondere in den Fällen einer eher oberflächlichen Anamnese. Zusätzlich dienten in den Anamnesen häufig die Auskünfte der Eltern als Grundlage. Es sei an dieser Stelle auf die Verantwortung der behandelnden Ärzte hingewiesen, solche Schilderungen kritisch zu hinterfragen. Bei einem unklaren kindlichen Trauma sollte durch die behandelnden Ärzte beispielsweise grundsätzlich eine mögliche Kindesmisshandlung in Betracht gezogen werden. In keiner der dokumentierten Anamnesen, die die Grundlage für diese Studie bildeten, wurde ein solcher Verdacht geäußert. Hier zeigte sich die Studie deutlich limitiert, da eine nachträgliche ergänzende Anamnese oder ein Hinterfragen der dokumentierten Geschehnisse nicht möglich war.

5.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Die in Kapitel 2.3 formulierte Forschungsfrage, ob die verschiedenen Frakturtypen und Verletzungsmuster mit den unterschiedlichen Einflussgrößen sowie die Einflussgrößen untereinander korrelieren, wurde in der Diskussion separat aufgegriffen. Die definierten Hypothesen wurden mit statistischen Mitteln überprüft. Es konnten Korrelation zwischen mehreren Größen festgestellt werden, jedoch bestätigte sich nicht jeder vermutete Zusammenhang. Das weitere Ziel der Studie, Übersichten über das Fraktur- und Verletzungsgeschehen bei Kindern und Jugendlichen zu schaffen, wurde erreicht.

Aus den Ergebnissen können Erkenntnisse zum Verständnis der kindlichen Frakturtypen und Verletzungen abgeleitet werden. Außerdem können die Erkenntnisse dieser Arbeit einen Beitrag bei der vereinfachten Einordnung und anamnestischen Einschätzung von kindlichen Verletzungen in der Notaufnahme bieten. Der im Verhältnis zu alternativen Diagnosemethoden dargelegte häufige Einsatz von bildgebenden Verfahren, die eine Strahlenexposition implizieren, sollte insbesondere in Anbetracht der möglichen strahlungsbedingten Komplikationen bei Heranwachsenden erneut hinterfragt werden. In der Folge könnten beispielsweise strengere Maßstäbe bei der Indikationsstellung angesetzt und bildgebende Verfahren ohne Strahlenexposition in der praktischen Anwendung vermehrt getestet werden.

Für die weitere Exploration der gewonnenen und vor dem Hintergrund der bisherigen Studienlage sowie der beschriebenen Limitierungen diskutierten Erkenntnisse wird die Durchführung weiterer Studien als notwendig erachtet. Diese Arbeit kann durch die erstellten Übersichten und die angeführten Anknüpfungspunkte einen Ausgangspunkt für solche Forschungsprojekte darstellen.

6 LITERATURVERZEICHNIS

1. Knochenbrüche bei Kindern. *Pädiatrie & Pädologie* 2016; **51**(5): 218.
2. Steinborn M. Extremitätenfrakturen beim Kind. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* 2015; **187**(01): 187.
3. Pressemitteilung Nr. 375 vom 23. Oktober 2017. 2017. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2017/10/PD17_375_231.html (zuletzt abgerufen am 23.12.2021).
4. Fernandez FF. Prinzipien der Frakturbehandlung beim Kind. *OP-Journal: wissenschaftliche, klinische und technische Informationen* 2018; **34**(2): 201-206.
5. Naranje SM, Erali RA, Warner WC, et al. Epidemiology of Pediatric Fractures Presenting to Emergency Departments in the United States. *J Pediatr Orthop* 2016; **36**(4): e45-8.
6. Labronici PJ, da Silva RR, Franco MVV, et al. Distal clavicle fractures in children. *Revista brasileira de ortopedia* 2015; **51**(1): 24-28.
7. Arkink EB, van der Plas A, Sneep RW, et al. Bilateral trampoline fracture of the proximal tibia in a child. *Radiology case reports* 2017; **12**(4): 798-800.
8. Moritz JD, Hoffmann B, Meuser SH, et al. Ist die Sonografie der Röntgendiagnostik in der pädiatrischen Frakturdiagnostik gleichwertig? *RoFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2010; **182**(8): 706-714.
9. Fischer C. Allgemeine Frakturlehre und bildgebende Korrelate. *Der Radiologe* 2020; **60**(6): 477-486.
10. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart: Thieme; 2014: 303-327.
11. Moritz JD. Frakturen beim Kind. *Radiologie up2date* 2014; **14**(03): 211-235.
12. Hofmann C, Girschick H, Lapa C, et al. Frakturen und Knochendichte im Kindesalter. *Zeitschrift für Rheumatologie* 2019; **78**(7): 636-644.
13. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart: Thieme; 2014: 133.
14. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart: Thieme; 2014: 355-356.
15. von Laer L. Pediatric fractures and dislocations. Stuttgart Thieme; 2004: 41.
16. Müller-Mai CM, Frank M. Klassifikationen in der Unfallchirurgie. In: Müller-Mai CM, Ekkerkamp A. Frakturen: Klassifikation und Behandlungsoptionen. Berlin, Heidelberg: Springer 2010: 1-11.
17. Meinberg EG, Agel J, Roberts CS, et al. Fracture and Dislocation Classification Compendium. *Journal of orthopaedic trauma* 2017; **32**(1): 1-170.
18. Slongo T, Audigé L. AO Pediatric Classification Group (2007) AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures (PCCF). Switzerland: AO Foundation; 2010.
19. Schumpelick V, Bleese N, Mommsen U. Kurzlehrbuch Chirurgie. Stuttgart: Thieme; 2010: 683-685.
20. Schumpelick V, Bleese N, Mommsen U. Kurzlehrbuch Chirurgie. Stuttgart: Thieme; 2010: 626-628.

21. Nowotny T, Matthes G, Hinz P, et al. Notfallbehandlung von Unfällen bei Sport und Freizeit - Hauptsymptome und Erstmaßnahmen. *Notfall Medizin* 2003; **29**(07/08): 290-294.
22. Dössel O. Bildgebende Verfahren in der Medizin von der Technik zur medizinischen Anwendung. Berlin: Springer Vieweg; 2016: 1-3.
23. Krieger H. Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes. Berlin: Springer Spektrum; 2019: 550.
24. Bücheler E. Einführung in die Radiologie Diagnostik und Interventionen. Stuttgart, New York: Thieme; 2006: 1-3.
25. Reiser M, Kuhn FP, Debus J. Radiologie. Stuttgart: Thieme; 2011: 63-92.
26. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart: Thieme; 2014: 39.
27. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography): Part I. Description of system. 1973. *The British journal of radiology* 1995; **68**(815): 166-172.
28. Dawson MJ. Paul Lauterbur and the invention of MRI. Unites States: MIT Press; 2013.
29. Staatz G, Daldrup-Link HE, Herrmann J, et al. Vom Röntgen zum PET/MRT, und dann? _ Zukunftsweisende Bildgebung in der Kinderradiologie. *RoFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2019; **191**(4): 357-366.
30. Alzen G, Benz-Bohm G. Kinderradiologie – Besonderheiten des Strahlenschutzes. *Deutsches Arzteblatt International* 2011; **108**(24): 407-414.
31. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart: Thieme; 2014: 311.
32. Schumpelick V, Bleese N, Mommsen U. Kurzlehrbuch Chirurgie. Stuttgart: Thieme; 2010: 617.
33. Illian C, Veigel BCC. Osteosyntheseverfahren in der Kinder- und Jugendtraumatologie. *OUP* 2013; **49**(12): 578-583.
34. Siebtes Buch Sozialgesetzbuch - Gesetzliche Unfallversicherung - (Artikel 1 des Gesetzes vom 7. August 1996, BGBl. I S. 1254) § 8 Arbeitsunfall. 1996. https://www.gesetze-im-internet.de/sgb_7/___8.html (zuletzt abgerufen am 28.12.2021).
35. Klemm HT, Forchert M, Piontek S. Was ist überhaupt Unfall und was Verletzung? *Der Unfallchirurg* 2020; **123**(7): 580-586.
36. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart: Thieme; 2014: 293.
37. Agfa HealthCare: diagnostische Bilder immer und überall. 2017. <https://healthcare-in-europe.com/de/news/agfa-healthcare-diagnostische-bilder-immer-ueberall.html> (zuletzt abgerufen am 07.04.2022).
38. ORBIS Ganzheitliche Steuerung von Klinikprozessen. <https://pdf.medicaexpo.de/pdf/agfa/orbis-broschuere/70894-92455.html> (zuletzt abgerufen am 15.10.2021).
39. Guifo ML, Tochie JN, Oumarou BN, et al. Paediatric fractures in a sub-saharan tertiary care center: a cohort analysis of demographic characteristics, clinical presentation, therapeutic patterns and outcomes. *The Pan African Medical Journal* 2017; **27**: 46.
40. LiBrizzi CL, Klyce W, Ibaseta A, et al. Sex-based differences in pediatric supracondylar humerus fractures. *Medicine (Baltimore)* 2020; **99**(20): e20267.

7 ANHANG

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Darstellung inkompletter kindlicher Frakturen: Grünholzfraktur (a), Wulstfraktur (b).....	17
Abbildung 2 - Darstellung der ersten Stelle des numerischen Codes am kindlichen Skelett des Menschen anhand der AO- Klassifikation: 1- Humerus, 2- Radius/Ulna, 3- Femur, 4- Tibia/Fibula.....	19
Abbildung 3 - Darstellung der Morphologie von Frakturen der Epiphyse anhand AO- Klassifikation.....	19
Abbildung 4 - Darstellung der Morphologie von Frakturen der Metaphyse anhand AO- Klassifikation.....	20
Abbildung 5 - Darstellung der Morphologie von Frakturen der Diaphyse anhand AO- Klassifikation.....	20
Abbildung 6 - Beispiele osteosynthetischer Verfahren: Pohl- Laschenschraube (a), Spongiosaschraubenosteosynthese (b), Plattenosteosynthese (c), Winkelplattenosteosynthese (d,) Kirschnerdrahtosteosynthese (e), gekreuzte Kirschnerdrahtosteosynthese (f), Zuggurtungsosteosynthese mit zwei Kirschnerdrähten (g), Zuggurtungsosteosynthese (h).....	32
Abbildung 7 - röntgenologische Darstellung einer distalen metaphysären Unterarmfraktur: präoperativ ap (a), postoperativ ap (b), nach Materialentfernung ap (c), präoperativ lateral (d), postoperativ lateral (e), nach Materialentfernung lateral (f).....	36
Abbildung 8 - Geschlechterverteilung der Kohorte	39
Abbildung 9 - Geschlechterverteilung in Abhängigkeit des Unfallhergangs.....	40
Abbildung 10 - Geschlechterverteilung in Abhängigkeit der Diagnose	41
Abbildung 11 - Altersverteilung Kinder und Jugendlicher zwischen 0-18 Jahren in der Notaufnahme aufgrund einer traumatischen körperlichen Verletzung.....	42
Abbildung 12 - Altersverteilung Kinder und Jugendlicher zwischen 0-18 Jahren in der Notaufnahme aufgrund einer traumatischen körperlichen Verletzung mit anschließend diagnostizierter Fraktur	42
Abbildung 13 - Seitenverteilung aller Verletzungen	43
Abbildung 14 - Seitenverteilung der Frakturen	43
Abbildung 15 - Häufigkeitsverteilung der Unfallhergänge, die in einer Verletzung mit Vorstellung in der Notaufnahme resultierten.....	44
Abbildung 16 - Häufigkeitsverteilung der Unfallhergänge, die in einer Fraktur resultierten	45
Abbildung 17 - Darstellung der Lokalisationen der Traumata unterteilt nach der Diagnose Fraktur und andere Verletzungsmuster	48
Abbildung 18 - Darstellung der Lokalisationen der Traumata unterteilt nach Geschlecht	50
Abbildung 19 – Darstellung der häufigsten Diagnosen unterteilt nach Geschlecht.....	53
Abbildung 20 - Anteil der Patienten mit Fraktur und anderer Verletzung nach einer Bildgebung.....	56
Abbildung 21 - Darstellung der Diagnose Fraktur oder andere Verletzung nach den häufigsten durchgeführten Bildgebung.....	57
Abbildung 22 - Darstellung der gewählten Therapieverfahren nach einem Trauma	58

Abbildung 23 - Häufigkeitsverteilung der gewählten Therapieverfahren nach Diagnose Fraktur.....	58
Abbildung 24 - Darstellung der Therapien (operativ oder konservativ) unterteilt nach Geschlecht.....	59

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Einteilung Außenknöchelfrakturen nach Weber	21
Tabelle 2 - Schulterergelenksverletzungen Klassifikation nach Rockwood/Tossy.....	21
Tabelle 3 - Hounsfield- Skala	25
Tabelle 4 - Bildkontraste der Magnetresonanztomographie bei unterschiedlicher Gewichtung	26
Tabelle 5 - Verteilung blutbildendes Knochenmark Erwachsene und Säuglinge	28
Tabelle 6 - Übersicht osteosynthetischer Verfahren	31
Tabelle 7 - Stichprobenbeschreibung der gesamten Kohorte	37
Tabelle 8 - Lokalisationsverteilung, weitere Unterteilung in Frakturen und andere Verletzungen	46
Tabelle 9 - Verteilung der zusammengefassten Lokalisationen nach einem Trauma, weitere Unterteilung in Fraktur und andere Verletzungen	47
Tabelle 10 - Verteilung der Lokalisationen nach einem Trauma, weitere Unterteilung nach Geschlecht.....	49
Tabelle 11 – Darstellung der häufigsten Diagnosen, erneute Unterteilung nach Geschlecht	51
Tabelle 12 - Darstellung der Therapieverfahren an den häufigsten Frakturen.....	54
Tabelle 13 – Darstellung der Häufigkeiten der angewandten bildgebenden Verfahren	55
Tabelle 14 - Durchgeführte Therapie (konservativ oder operativ) nach einem Trauma insgesamt und aufgeteilt nach Geschlecht	59
Tabelle 15 – Darstellung der konservativen und operativen Therapieverfahren unterteilt nach Geschlecht.....	60
Tabelle 16 - Auflistung der Bildgebenden Verfahren mit der Häufigkeit der Resultate (Fraktur oder andere Verletzung)	78
Tabelle 17 - Auflistung der Unfallhergänge mit der daraus resultierenden Diagnose (Fraktur oder andere Verletzung)	79
Tabelle 18 - Diagnosen sortiert nach Häufigkeit und Geschlecht	80

7.3 Weitere Ergebnisse

Tabelle 16 - Auflistung der Bildgebenden Verfahren mit der Häufigkeit der Resultate (Fraktur oder andere Verletzung), Anmerkung: n = 1873, OSG = oberes Sprunggelenk, Quelle: Eigene Darstellung

Diagnostik	n	Andere Verletzungen	Fraktur
Röntgen Schultergürtel	105	41	64
Röntgen Oberarm	34	14	20
Röntgen Ellenbogen	233	131	102
Röntgen Unterarm	205	80	125
Röntgen Handgelenk	263	123	140
Röntgen ganze Hand	119	71	48
Röntgen ganzer Arm	1	1	0
Röntgen Oberschenkel	20	8	12
Röntgen Knie	160	147	13
Röntgen Patella	79	78	1
Röntgen Unterschenkel	69	34	35
Röntgen OSG	243	221	22
Röntgen ganzer Fuß	182	136	46
Röntgen alle Zehen	21	3	18
Röntgen Vorfuß	4	1	3
Röntgen Mittelfuß	3	3	0
Röntgen Finger	57	2	55
Röntgen Daumen	4	0	4
Röntgen Fersenbein	6	5	1
MRT Schulter	3	2	1
MRT Ellenbogen	9	7	2

MRT Handgelenk	6	3	3
MRT Knie	15	14	1
MRT OSG	7	3	4
MRT ganzer Fuß	3	1	2
MRT Unterschenkel	1	0	1
CT Traumaspirale	9	4	5
CT Knie	2	1	1
CT OSG	1	0	1
CT Schulter	1	0	1
CT Ellenbogen	1	0	1
CT Hand	1	1	0
Sonographie Ellenbogen	5	4	1
Sonographie Knie	1	1	0
Summe	1873	1140	733

Tabelle 17 - Auflistung der Unfallhergänge mit der daraus resultierenden Diagnose (Fraktur oder andere Verletzung), Anmerkung: n = 1574, Quelle: Eigene Darstellung

Unfallhergang	n	Andere Verletzungen	Fraktur
Alltagsunfall	695	424	271
Sportunfall	419	259	160
Hochrasanztrauma	8	4	4
Spielunfall	400	210	190
Spielunfall relevante Höhe	25	8	17
Körperliche Auseinandersetzung	18	14	4

Unfallhergang nicht bekannt	9	5	4
Summe	1574	924	650

Tabelle 18 - Diagnosen sortiert nach Häufigkeit und Geschlecht, Anmerkung: n gesamt = 1655, n weiblich = 711, n männlich = 944, w = weiblich, m = männlich, prox. = proximal, dist. = distal, AC-Gelenk= Acromioclaviculargelenk, Quelle: Eigene Darstellung

Diagnose	n	w	m
Sprunggelenksdistorsion	205	108	97
Handgelenkskontusion	174	90	84
Fußkontusion	106	40	66
Ellenbogenkontusion	105	51	54
Kniekontusion	84	26	58
Supracondyläre Humerusfraktur	80	34	46
Wulstfraktur distaler Radius	77	29	48
Fraktur Finger	76	37	39
Distale Radiusfraktur	57	16	41
Claviculafraktur	52	24	28
Unterarmkontusion	45	19	26
Kniegelenksdistorsion	43	16	27
Distale Unterarmfraktur	35	13	22
Fraktur Mittelhandknochen	32	5	27
Radiuskopfluxation	31	19	12
Schulterkontusion	31	11	20
Fraktur Mittelfußknochen	30	9	21
Unterschenkelkontusion	26	9	17

Fraktur Unterarmschaft	23	10	13
Fraktur Zehe	23	4	19
Fußdistorsion	20	13	7
Handgelenksdistorsion	19	11	8
Kniebinnenschaden	16	10	6
Patella Luxation	14	4	10
Oberarmkontusion	14	6	8
Sprunggelenkskontusion	14	5	9
Fraktur Tibiaschaft	13	9	4
proximale Radiusfraktur	12	5	7
Grünholzfraktur distaler Radius	12	5	7
Schulterluxation	9	0	9
proximale Humerusfraktur	9	4	5
Fraktur Femurschaft	9	0	9
Fraktur Radiuschaft	7	1	6
Fraktur proximale Tibia	7	6	1
Fraktur distale Tibia	7	2	5
Fraktur Sprunggelenk	7	3	4
Ellenbogenluxation	6	3	3
Oberschenkelkontusion	6	2	4
Olecranonfraktur	6	4	2
Fraktur Ulnaschaft	6	0	6
Wulstfraktur distaler Unterarm	6	4	2
Distale Ulnafraktur	6	0	6

Jones Fraktur	6	4	2
Ellenbogendistorsion	5	3	2
Fraktur Epicondylus radii	5	2	3
Grünholzfraktur Unterarmschaft	5	2	3
Fraktur Tibiaschaft Toddlers Fraktur	5	4	1
Fraktur distale Fibula	5	2	3
Transcondyläre Humerusfraktur	4	3	1
Fraktur Condylus Humeri radialis	4	2	2
Fraktur Epicondylus ulnaris	4	2	2
Bowling Fraktur Unterarmschaft	4	1	3
AC-Gelenk-Sprengung	3	1	2
Patellakontusion	3	0	3
Grünholzfraktur Radiuschaft	3	1	2
Monteggia-Fraktur	3	1	2
Wulstfraktur distale Ulna	3	1	2
Fraktur distaler Femur	3	2	1
Wulstfraktur distale Tibia	3	2	1
Scaphoidfraktur	3	0	3
Ruptur Außenband oberes Sprunggelenk	2	1	1
distale Humerusfraktur	2	2	0
Grünholzfraktur distaler Unterarm	2	1	1
Fraktur Unterschenkelschaft	2	2	0
Grünholzfraktur distale Ulna	2	0	2
Abriss Tuberositas Tibiae	2	0	2

Sprunggelenksluxation	1	0	11
Grünholzfraktur prox. Humerus	1	1	0
Wulstbruch prox. Humerus	1	1	0
Wulstfraktur prox. Ulna	1	1	0
Wulstfraktur prox. Tibia	1	1	0
Fraktur prox. Unterschenkel	1	0	1
Bowing Fraktur Tibiaschaft	1	0	1
Fraktur distaler Unterschenkel	1	0	1
Avulsion Patellaspitze	1	1	0
Fissur Fersenbein	1	0	1
Fraktur Calcaneus	1	0	1
Fraktur Humerusschaft	1	0	1
Summe	1655	711	944

Anmerkung: n gesamt = 1655, n weiblich = 711, n männlich = 944, w = weiblich, m = männlich,
 prox. = proximal, dist. = distal, AC- Gelenk= Acromioclaviculargelenk
 Quelle: Eigene Darstellung