

Diplomarbeit

**Die Zahl der intraoperativen Röntgenbilder
bei der Versorgung kindlicher Frakturen**

eingereicht von

Philipp Buchegger

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie

unter der Anleitung von

Priv.-Doz. Dr. med. univ. Johannes Schalamon

und

Dr. med. univ. Gert Warncke, MaHM

Graz, 8.1.2019

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 8.1.2019

Philipp Buchegger eh

Vorwort

Seit Jahren fasziniert mich das Fachgebiet der Kinder- und Jugendchirurgie, nicht zuletzt wegen des unglaublich breiten medizinischen Spektrums und der spannenden und herausfordernden Arbeit mit Kindern und Jugendlichen. Umso begeisterter war ich, als Dr. Johannes Schalamon nicht nur der Betreuung meiner Diplomarbeit auf diesem Gebiet zustimmte, sondern mir auch unmittelbar dieses interessante Thema vorschlug.

Seit jeher wird in der Medizin versucht, die möglichen schädlichen Auswirkungen der Diagnostik und Behandlung so gering wie möglich zu halten. Eine solche stellt auch die Strahlenbelastung dar, ganz besonders im Kindesalter. Daher überraschte mich der Mangel an Publikationen zur intraoperativen Strahlenbelastung bei der kindlichen Frakturversorgung. Umso wichtiger war es mir jedoch, in diesem Kontext einen neuen, methodisch einwandfreien Referenzpunkt für zukünftige Untersuchungen zu begründen.

In diesem Sinne hoffe ich, dass meine Diplomarbeit und deren Ergebnisse für Personen, die im Bereich der Kindertraumatologie tätig sind, einen Wissensgewinn, Anhaltspunkt oder zumindest Denkanstoß darstellen und weitere Forschung inspirieren kann.

Danksagung

Meinen großen Dank möchte ich meinem Betreuer Dr. Johannes Schalamon aussprechen, der mich an dieses Thema herangeführt und meine Begeisterung für das Fachgebiet der Kinder- und Jugendchirurgie gefördert hat. Seine Geduld und Unterstützung ermöglichten mir nicht nur die Erstellung dieser Diplomarbeit, sondern gewährten mir auch wertvolle Einblicke in das wissenschaftliche Arbeiten in der Medizin und den spannenden Arbeitsalltag an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie.

Außerdem möchte ich mich bei Frau Birgit Oppelt und dem gesamten Team der Radiologietechnologinnen und Radiologietechnologen der Klinischen Abteilung für Kinderradiologie der Universitätsklinik für Radiologie Graz herzlichst bedanken, ohne deren Mitwirken und fortwährenden Einsatz die Datenerhebung und somit auch diese Diplomarbeit nicht möglich gewesen wären.

Darüber hinaus danke ich meiner Familie und meinen Freunden, die mich während dieser Zeit unterstützt, ertragen und vorangetrieben haben.

Inhalt

1. Zusammenfassung.....	6
2. Abstract.....	7
3. Einleitung.....	8
3.1. Hintergrund.....	8
3.2. Forschungsfrage.....	9
4. Methoden.....	11
4.1. Frakturversorgung.....	11
4.2. Unterarmfraktur.....	13
4.3. Suprakondyläre Humerusfraktur.....	14
4.4. Durchleuchtung.....	16
4.5. Literaturrecherche.....	18
4.6. Datensammlung.....	21
5. Ergebnisse.....	23
5.1. Humerus.....	24
5.2. Unterarm.....	26
5.3. Femur.....	28
5.4. Unterschenkel.....	29
6. Diskussion.....	31
7. Literaturverzeichnis.....	34
8. Abbildungsverzeichnis.....	37

1. Zusammenfassung

Einleitung

Besonders bei Kindern und Jugendlichen sollte stets danach gestrebt werden, die Röntgenstrahlung in der Medizin so gering wie möglich zu halten. Da die intraoperative Strahlenbelastung ein wenig erforschtes Gebiet darstellt und alle bisherigen Publikationen sich mit der Flächendosis beschäftigten, diese jedoch ein stark von den gegebenen Umständen beeinflusstes Maß darstellt, wurde ein Zugang über die Anzahl der angefertigten Durchleuchtungsbilder gewählt.

Methoden

Im Zeitraum von Juli 2017 bis Mai 2018 wurden bei allen an der Univ. Klinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz unter Bildwandlerkontrolle durchgeführten Operationen die Zahl der angefertigten Röntgenbilder, das Flächendosisprodukt und die Durchleuchtungszeit dokumentiert. Die jeweils häufigsten Eingriffe an der oberen und unteren Extremität wurden anschließend ausgewertet.

Ergebnisse

Es wurden im Beobachtungszeitraum 239 Eingriffe dokumentiert, wobei davon 40 Oberarm-, 62 Unterarm-, 14 Oberschenkel- und 16 Unterschenkelfrakturen zur weiteren Auswertung gelangten. Bei der Bohrdrahtspickung der suprakondylären Humerusfraktur ergab sich eine mittlere Anzahl von 50 Bildern (Spannbreite 16-132), bei der Versorgung der Unterarmfraktur mittels ESIN 44 Bilder (14-107) und bei der geschlossenen Unterarmposition unter Bildwandlerkontrolle 9 Bilder (4-12). Im Falle der Oberschenkelfraktur mit ESIN lag der Durchschnitt bei 122 intraoperativen Bildern (42-268) und bei der Marknagelung der Unterschenkelfraktur bei 80 Bildern (38-153).

Diskussion

Die ermittelten Zahlen stellen einen ersten Überblick und eine Orientierung zur intraoperativen Durchleuchtung dar, die Fallzahlen sind jedoch zu gering, um eine statistisch sinnvolle Richtlinie für Operateure ableiten zu können.

2. Abstract

Introduction

Reducing radiation exposure to a minimum remains a primary objective in medicine, especially in children and adolescents. Since intraoperative radiation is a very poorly studied matter, and past publications set their emphasis on the dose area product, which is a measure strongly influenced by the given circumstances, this thesis focused on the number of intraoperative fluoroscopic images.

Methods

The number of images, the dose area product, and the fluoroscopy time were documented for every operation that required fluoroscopic imaging at the Department of Pediatric Surgery, Medical University of Graz, Austria, from July 2017 to May 2018. The most common procedures performed on the upper and lower extremities were analysed eventually.

Results

During the study period, 239 interventions for fracture stabilisation were documented, resulting in 40 fractures of the humerus, 62 forearm fractures, 14 fractures of the femur, and 16 of the lower leg included for further analysis. Supracondylar humerus fractures were treated by crossed k-wire osteosynthesis, with a mean number of 50 radiographs (range 16-132). Intramedullary nailing of combined radius and ulna fracture resulted in an average of 44 fluoroscopy images (14-107), while for the reduction of forearm fractures 9 images (4-12) were required in average. The ESIN osyteosynthesis of femure fractures had a mean number of 122 intraoperative images (42-268), the intramedullary nailing of lower leg fractures averaged at 80 images (38-153).

Discussion

The number of intraoperative images during fluoroscopy represents an overview and a point of reference for further studies, however the sample size was too small to deduce a statistically significant guideline for surgeons.

3. Einleitung

3.1. Hintergrund

Verletzungen des Bewegungsapparats sind besonders im Kindesalter sehr häufig. Durch Gewalteinwirkungen wie Stürze oder Unfälle entstehen Wunden, Luxationen und Frakturen. Nach aktuellen Zahlen machen Verletzungen etwa 15% aller Spitalsaufenthalte bei Kindern aus und stellen somit nach Erkrankungen des Atmungssystems die zweitgrößte Ursache für Krankenhausbehandlungen in dieser Altersgruppe dar.¹ In der Diagnostik werden hierbei verschiedene apparative Methoden angewandt, wobei das Röntgen des Skeletts die bei weitem häufigste darstellt.² Doch diese Untersuchung setzt die Patientinnen und Patienten einer Strahlenbelastung aus, die zwar gering, aber dennoch vorhanden ist und vor allem kumulativ im Laufe der Kontrolluntersuchungen und möglicher zukünftiger Verletzungen ein Risiko darstellen kann. Es gibt Bestrebungen, in der Frakturdiagnostik vom Röntgen hin zur Sonografie auszuweichen, um die Strahlendosis zu verringern, wobei hierbei durchaus Erfolge erzielt wurden. Allerdings gibt die Ultraschalluntersuchung lediglich die Information, ob eine Fraktur vorhanden ist oder nicht. Gerade in Bezug auf therapeutisch wichtige Fragestellungen, wie etwa die Anzahl der Knochenfragmente, deren Stellung zu einander, Beteiligung von Gelenkflächen, eventuelle Dislokationen oder Achsabweichungen, bleibt die Sonografie hinter der Röntgenuntersuchung zurück.



Abb. 1: Sonografie und Röntgen einer Unterarmfraktur.

(1) Links ist der sonografisch sichtbare Frakturspalt (Pfeil) am proximalen Radius zu erkennen. (2) Das rechte Bild zeigt den selben verletzten Unterarm, diesmal in der Röntgenuntersuchung. Hier ist neben der bereits im Ultraschall diagnostizierten Fraktur (oberer Pfeil) ein zweiter Bruch (unterer Pfeil) zu sehen. Darüber hinaus sind Dislokation, Verlauf der Fraktur und Stabilität der Fragmente beurteilbar.

Hinsichtlich der Therapie von knöchernen Verletzungen haben sich vielerlei Optionen etabliert, beispielhaft seien Verbände, Schienen, Gipse bei den konservativen, sowie Schrauben, Platten und Marknägel bei den operativen osteosynthetischen Verfahren genannt.^{3,4} Die Auswahl der passenden Vorgehensweise obliegt dem behandelnden Arzt unter Berücksichtigung von Faktoren wie der Stabilität der Fraktur, Achsabweichungen oder Rotationsfehler, mit dem Ziel der optimalen Frakturheilung bei gleichzeitiger Minimierung der Behandlungsrisiken und der Einschränkungen für den Patienten im Alltag. Die konservativen Möglichkeiten benötigen bis auf Therapiekontrollen, zum Beispiel unmittelbar nach Anlegen eines Gipsverbandes beziehungsweise bei späteren Verlaufskontrollen, nur wenige weitere Röntgenuntersuchungen. Dagegen sind bei den osteosynthetischen Verfahren intraoperativ Durchleuchtungen notwendig, um die Fraktur korrekt versorgen zu können, wobei die Zahl der dabei angefertigten Bilder stark variiert.

3.2. Forschungsfrage

Während also die in der Diagnostik und konservativen Behandlung verwendete Strahlung nur ein eingeschränktes Einsparungspotential bietet, bleibt die intraoperative Strahlendosis eine mögliche reduzierbare Quelle, die bisher zu wenig untersucht wurde. Daten zu intraoperativen Strahlendosen sind rar, Literatur zur Zahl der angefertigten Bilder fehlt gänzlich. Diese Kenntnislücke zu explorieren und Möglichkeiten in der klinischen Anwendung aufzuzeigen wurde daher zum Thema dieser Diplomarbeit gewählt.

Die Fragestellung nach der Anzahl der bei der Versorgung von kindlichen Frakturen intraoperativ angefertigten Röntgendurchleuchtungsbilder erforderte zunächst eine Literaturrecherche, welche jedoch das fehlende Wissen in diesem Bereich nur noch deutlicher kenntlich machte. Einzelne Literaturstellen beschäftigten sich mit der Strahlendosis von Frakturversorgungen und Möglichkeiten deren Reduktion, andere versuchten, durchschnittliche Flächendosiswerte für gewisse Operationen zu etablieren.^{5,6,7} Das Flächendosisprodukt mag zwar ein Wert sein, der zur Vergleichbarkeit herangezogen werden kann, hat dabei jedoch vielerlei Limitationen. Zunächst hängt sie unmittelbar vom verwendeten Gerätemodell und dessen Betriebsmodus, Einstellungen und Spezifikationen ab. So ist es denkbar, dass dieselbe Operation trotz gleicher Zahl an intraoperativen

Röntgenbildern in verschiedenen Krankenhäusern unterschiedliche Flächendosen nach sich ziehen könnte. Darüber hinaus variiert sie aufgrund ihrer Abhängigkeit von der bestrahlten Fläche sehr stark mit der untersuchten Körperregion und insbesondere bei Kindern demnach auch mit dem Alter bzw. der Körpergröße des Patienten, sodass nur für Experten eine grundsätzliche Vergleichbarkeit gegeben sein mag. Außerdem hat die letztlich handelnde Person - der Operateur bzw. die Operateurin - üblicherweise wenig Erfahrung mit den Größen und Einheiten von Flächendosisprodukten, Äquivalentdosen und dergleichen.

Eine Größe, die jedoch von jeder Ärztin und jedem Arzt leicht verstanden und interpretiert werden kann, ist die Anzahl der angefertigten Bilder. Diese hängt nicht von den technischen Einzelheiten der Untersuchung ab, sondern vielmehr von der Operationslokalisation und -methode, der Komplexität des Knochenbruchs sowie der Erfahrung und Fertigkeit der Operateure und Operateurinnen. Sie bleibt also vergleichbar trotz verschiedener Geräte und Einstellungen und gibt den Chirurgen und Chirurginnen eine unmittelbare Rückmeldung bezüglich ihres intraoperativen Vorgehens. Da die Komplexität von Frakturen variieren kann, erscheint es sinnvoll, für typische und häufige Operationen statistische Maße wie Mittelwert, Median, Standardabweichung und Perzentilen der Bildanzahl zu ermitteln. Dieses Ziel setzt sich diese Arbeit, um der Operateurin/dem Operateur einen Anhaltspunkt zu geben, ob ihr/sein Vorgehen von dem anderer Chirurgen und Chirurginnen abweicht. Würden bei einer Operation beispielsweise signifikant mehr Röntgenbilder angefertigt werden, als bei diesem Verfahren üblich, so müsste man sich die Frage stellen, wie es zu dieser Diskrepanz kommt und ob es notwendig ist, weitere Kollegen bzw. Kolleginnen hinzuzuziehen oder das chirurgische Vorgehen entsprechend zu adaptieren bzw. einen allfälligen Schulungsbedarf für den Operateur bzw. die Operateurin zu begründen.

4. Methoden

Um die Fragestellung nach der Anzahl intraoperativ angefertigter Röntgenbilder zu beantworten, beschäftigt sich der Kern dieser Arbeit mit der Auswertung von Strahlenprotokollen. Zuvor soll jedoch ein Überblick über die häufigsten kindlichen Frakturen und deren verschiedene Versorgungsmöglichkeiten gegeben und das bisher publizierte Wissen zur intraoperativen Strahlung bei der operativen Frakturversorgung kurz beschrieben werden. Darüber hinaus werden technische Aspekte zur Durchleuchtung und Einflussfaktoren auf die dabei entstehende Strahlung, welcher Patienten ausgesetzt sind, diskutiert.

4.1. Frakturversorgung

Die konservative Knochenbruchbehandlung ist generell indiziert, wenn die Knochenfragmente nicht oder nur gering disloziert zu einander stehen und nach einer etwaigen Reposition im Gipsverband ausreichend ruhiggestellt werden können.⁸ Bei Erfolglosigkeit der Reposition kann jedoch auch erst sekundär ein Wechsel auf operatives Prozedere erforderlich sein. Eine geschlossene Reposition mit anschließender operativer Versorgung kann bei stark dislozierten Frakturen, welche durch Ruhigstellung alleine nicht stabil wären, gewählt werden. Dislozierte Gelenksfrakturen, Luxationen mit ossären oder ligamentären Begleitverletzungen, Frakturen mit Gefäß- oder Nervenschädigung sowie offene Frakturen zweiten und dritten Grades sollten grundsätzlich offen reponiert und operativ behandelt werden.⁸ Für diese operative Stabilisierung von Frakturen stehen bei Kindern und Jugendlichen wie auch bei Erwachsenen diverse osteosynthetische Materialien und Methoden zur Auswahl. Über die häufigsten Verfahren soll im Folgenden ein kurzer Überblick gegeben werden.

4.1.1. Fixateur externe

Der Fixateur externe wird bei Kindern nur selten angewandt. Hierbei werden Schrauben oder Bohrdrähte in die Knochenfragmente eingebracht und anschließend äußerlich durch Stangen fixiert. Indikationen können Schräg-, Keil- oder Mehrfragmentfrakturen sein, die eine Längsinstabilität vor allem im Bereich der langen Röhrenknochen ausweisen. Darüber

hinaus wird er bei Brüchen mit ausgeprägten Weichteilverletzungen, offenen Frakturen mit Kontamination oder als provisorische Versorgung bei Polytraumata eingesetzt.⁸

4.1.2. Elastisch stabile intramedulläre Nagelung

Eine Besonderheit stellt im Kindesalter die Versorgung mit elastisch stabilen intramedullären Nägeln (ESIN, manchmal auch elastisch stabile Mark(raum)nägel [ESMN]) dar. Bei dieser Methode werden nach einer kleinen Inzision nahe der Wachstumsfuge, jedoch ohne diese zu verletzen, ein oder mehrere biegsame, elastische Nägel aus Stahl oder Titan in den Markraum eingebracht, welche sich in der Markhöhle verklemmen und die Fraktur so stabilisieren. Eine zusätzliche Ruhigstellung ist üblicherweise nicht notwendig und nach Verheilung des Bruchs können die Marknägel in einer weiteren Operation wieder entfernt werden. Typische Indikationen sind beispielsweise instabile Unterarm-, Humerus- oder Tibiafrakturen, vor allem bei Quer- oder Schrägfraktur.^{8,10}

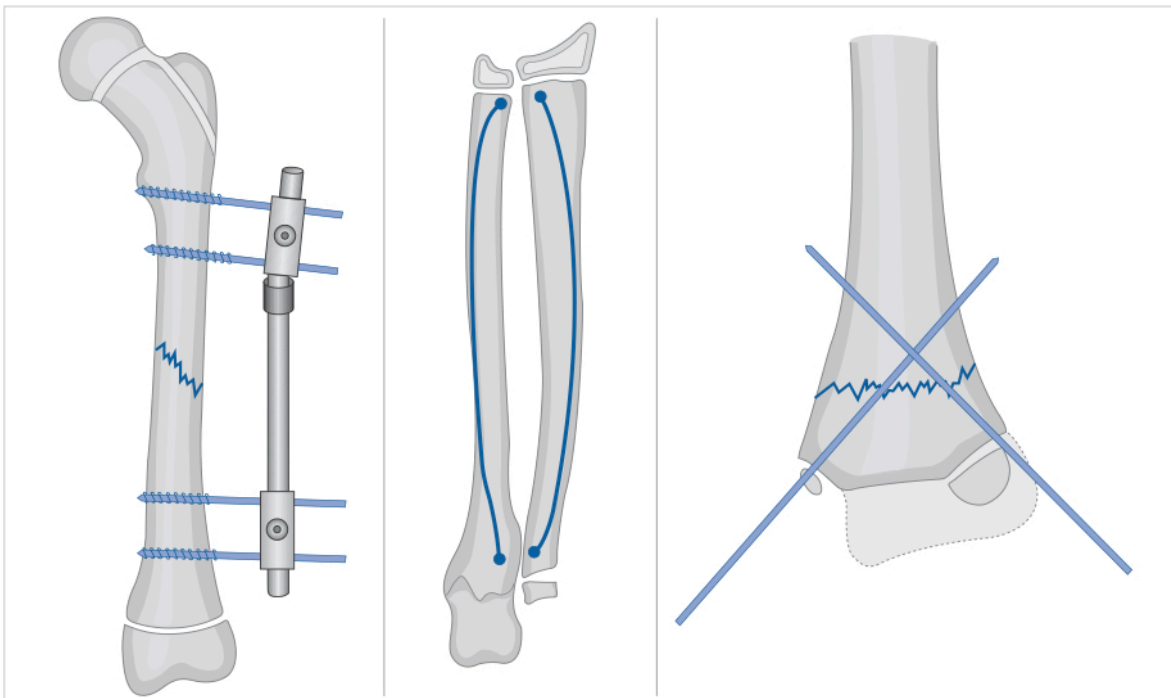


Abb. 2: Osteosynthetische Verfahren im Kindes- und Jugendalter, Schema.

(1) Das linke Bild zeigt eine Humerusschaftfraktur, welche mittels Fixateur externe versorgt wurde. Die Schrauben wurden frakturfern eingebracht und äußerlich durch eine Stange fixiert. (2) Die mittlere Abbildung zeigt eine durch elastisch stabile intramedulläre Nägel behandelte Unterarmfraktur. Sowohl in die Elle als auch in die Speiche wurde ein biegsamer Nagel frakturfern in die Markhöhle eingebracht, über die Bruchlinie in das zweite Fragment geschoben und die Fraktur durch die Verkeilung stabilisiert (Frakturlinie hier nicht dargestellt). (3) Rechts ist eine suprakondyläre Humerusfraktur dargestellt, welche mit Kirschnerdrähten therapiert wurde. Durch den überkreuzten Verlauf wird eine Dislokation der Bruchstücke verhindert.

4.1.3.Bohrdrahtspickung

Die perkutane Spickung mit Kirschner- bzw. Bohrdrähten wird nach einer kleinen Inzision durchgeführt, vor allem um kleine Fragmente zu fixieren, die gut zu reponieren, aber schwer nur retinierbar sind.⁸ Da jedoch keine Bewegungsstabilität gegeben ist, muss eine anschließende Ruhigstellung im Gipsverband erfolgen. Nach Heilung des Bruches müssen die Drähte weder entfernt werden, wobei dies im Rahmen einer weiteren Operation stattfinden kann oder bei über die Haut herausstehenden Drähten auch zunehmend im Rahmen der ambulanten Gipskontrolle erfolgt. Als Anwendungsbeispiele seien die suprakondyläre Humerusfraktur oder Frakturen der Mittelhandknochen genannt.⁹

4.2. Unterarmfraktur

Zu den zahlreichsten kindertraumatologischen Knochenbrüchen zählt zweifelsohne die Unterarmfraktur.¹ Sie entsteht meist durch direktes Anpralltrauma im Zuge von Stürzen, bei welchen das Kind sich reflektorisch abstützen will und dabei unwillkürlich den Arm ausstreckt, den Unterarm proniert und die Hand dorsalflektiert.¹¹ Neben der gemeinsamen, kompletten Fraktur von Radius und Ulna besteht gerade im Kindesalter die Möglichkeit, dass einer der Unterarmknochen komplett gebrochen ist, während der jeweils andere eine Grünholzfraktur erleidet. Auch eine Grünholzfraktur beider Knochen ist möglich. Eine Sonderform stellt die Monteggia-Fraktur dar: Diese besteht aus einer Ulnafraktur mit begleitender Luxation des Radiusköpfchens und verlangt eine Reposition sowohl der Elle als auch des Speichenköpfchens.² Das Gegenstück hierzu, die Galeazzi-Fraktur, welche bei einer Radiusfraktur mit gleichzeitiger Luxation des Ulnaköpfchens gegeben ist, zeigt sich bei Kindern nur äußerst selten.¹¹ Ein weiterer typischer Bruch ist die distale Radiuswulstfraktur, welche leicht mit einer Kontusion oder Distorsion zu verwechseln ist.⁸

Unterarmfrakturen können üblicherweise geschlossen reponiert und versorgt werden, was nach wie vor die häufigste Form der Versorgung darstellt. Sollte dies nicht gelingen oder keine ausreichende Stabilität gewährleisten, ist die operative Reposition und intramedulläre Schienung indiziert.³ Hierbei wird im Falle der vollständigen Unterarmfraktur beider Knochen je ein Nagel für Radius und Ulna verwendet. Der radiale Nagel wird distal metaphysär eingebracht und nach proximal über die Fraktur geschoben, wobei bei radialem

Zugang der Ramus superficialis nervi radialis verletzungsgefährdet ist, bei dorsalem Eingehen die Sehnen der Extensorengruppe. Der ulnare Marknagel wird nun von proximal in ähnlicher Weise eingebracht.⁸



Abb. 3: ESIN bei Unterarmschaftfraktur.

Die Röntgenbildserie zeigt den Verlauf einer Unterarmfraktur und deren Behandlung bei einem 10 Jahre alten Mädchen, jeweils eine Aufnahme in anterior-posteriorem und eine in seitlichem Strahlengang zu drei verschiedenen Zeitpunkten.

(1) Die beiden linken Bilder sind die ersten Aufnahmen nach dem Unfall. Elle und Speiche sind im mittleren Schaftdrittel vollständig durchbrochen und um etwa halbe Schaftbreite disloziert. Außerdem ist die zur Stabilisierung angebrachte Unterarmschiene sichtbar. (2) In der Mitte die Röntgenaufnahmen 2 Tage später, als Kontrolle nach der Operation. Man sieht die in Radius und Ulna eingebrachten Marknägel, die Fraktur ist reponiert. (3) Auf der rechten Seite sind die Kontrollröntgen vor der Metallentfernung 8 Monate nach dem Trauma dargestellt. Die Marknägel befinden sich in unveränderter Position, die Frakturen sind verheilt, die Lokalisationen der beiden ehemaligen Bruchspalte lassen sich noch erkennen.

4.3. Suprakondyläre Humerusfraktur

Die häufigste knöcherne Verletzung der Ellbogenregion bei Kindern und Jugendlichen stellt die suprakondyläre Humerusfraktur dar.¹² Zu allermeist liegt sie in Form einer Extensionsfraktur mit Antekurvationsfehlstellung vor und entsteht durch einen Sturz auf den gestreckten Unterarm; eine Flexionsfraktur mit Rekurvationsfehlstellung ist nach Sturz auf den flektierten Arm zu beobachten und äußerst selten. Wichtig für die Therapieentscheidung ist die gegebene Stabilität oder Instabilität der Fraktur, die sich am ehesten aus der Dislokation in den verschiedenen Ebenen einschätzen lässt. Bei undislozierten Brüchen ist eine Ruhigstellung im Gips ausreichend, bei geringer

Antekurvationsfehlstellung kommt der Verband nach Blount zum Einsatz, der eine Spitzwinkelstellung zum Ziel hat.⁸

Bei instabilen Verhältnissen ist die Reposition notwendig, die üblicherweise in Allgemeinanästhesie durchgeführt wird. Zur operativen Fixierung nach meist geschlossener Reposition wird häufig die Versorgung mit Kirschnerdrähten gewählt.¹² Hierbei wird zuerst der radiale Draht unter Schonung der Wachstumszone von schräg dorsal nach ventral direkt in den Epicondylus radialis eingebracht. Anschließend wird der zweite Draht ebenfalls von dorsal nach ventral in den Epicondylus ulnaris eingebracht, wobei die Kreuzung der beiden Drähte proximal der Fraktur liegen muss.⁸ Gefahr bei dieser Therapie ist die Verletzung des Nervus ulnaris beim Einbringen des zweiten, ulnaren Drahtes. Alternative Methoden durch Fixierung der Fraktur mittels zwei oder drei von lateral eingebrachten Drähten bestehen, wobei alle Methoden annähernd gleich häufig angewandt werden.¹³



Abb. 4: Suprakondyläre Humerusfraktur mit Versorgung durch Kirschnerdrähte.

(1) Die beiden linken Aufnahmen zeigen das Ellbogengelenk einer 6-jährigen Patientin in zwei Ebenen. Der Humerus ist proximal der Condylen gebrochen und die Fragmente sind stark disloziert. (2) Die selbe Patientin bei der postoperativen Kontrolle zwei Tage später. Der distale Humerus wurde reponiert und mit Bohrdrähten fixiert, wobei einer in den Epicondylus radialis, der andere in den Epicondylus ulnaris eingebracht wurde. Die Drähte kreuzen sich proximal der Fraktur.



Abb. 5: Kirschnerdrähte bei abgeheilter suprakondylärer Humerusfraktur.

(1) Auf den linken Bildern ist wiederum das Gelenk der selben 6-jährigen Patientin (s. Abb. 4) in anterior-posteriorem und seitlichem Strahlengang zu sehen. 4 Wochen nach dem Unfall ist bereits eine gute knöcherne Heilung zu erkennen. (2) Rechts das Röntgen in beiden Ebenen des gleichen Mädchens nach der Metallentfernung, 5 Wochen nach der Fraktur. Die Kanäle, welche die entfernten Drähte hinterlassen haben, sind ebenso wie die ehemalige Fraktur erkenntlich.

Eine Alternative zur Bohrdrahtspickung stellt die Versorgung mittels eines Fixateurs externe dar. Nach Reposition wird in oben beschriebener Weise der radiale Draht bzw. ein Pin des Fixateurs in den Epicondylus eingebracht, welcher allerdings beide Frakturfragmente erfassen sollte. Danach wird ein zweiter parallel verlaufender Draht eingebracht und zuletzt ein dritter etwas weiter proximal. Um die Kompression zu gewährleisten, werden die Drähte dann mit einer Querstange fixiert. Bei dieser Methode ist die Gefahr einer Verletzung des Nervus ulnaris nicht gegeben.⁸

4.4. Durchleuchtung

Für die Durchleuchtung werden mobile Geräte verwendet, die ihrem Aussehen nach C-Bögen genannt werden. Die Bauform dieser Geräte erlaubt es, Röntgenbilder auch in Umgebungen wie einem Operationssaal anzufertigen, da Strahlenquelle und Detektor einander direkt gegenüberliegen, in allen drei Raumebenen gekoppelt beweglich sind, und ein Patient bzw. eine Patientin auf einer beliebigen Unterlage (z.B. Operationstisch) und in beliebiger Position gelagert werden kann. Die Einstellungen erlauben es, sowohl einzelne Bilder anzufertigen, als auch bewegte, dynamische Vorgänge in Echtzeit darzustellen. Um die Strahlenbelastung hierbei möglichst gering zu halten, kommen Bildverstärker und

gepulste Strahlung zum Einsatz. Die Strahlung, welcher eine Patientin oder ein Patient ausgesetzt wird, wird bei Durchleuchtungen üblicherweise als Flächendosisprodukt angegeben, die verwendeten Einheiten variieren jedoch.

Neben unbeeinflussbaren Faktoren wie Dicke und Dichte des zu durchleuchtenden Objekts gibt es am Gerät verschiedene Einstellungen, die es den bedienenden Radiologietechnologinnen und -technologern (RT) ermöglichen, Einfluss auf das Flächendosisprodukt zu nehmen: Durch die Einblendung kann die bestrahlte Fläche verändert werden, durch die Anzahl der Röntgenpulse pro Sekunde wird die Dosis direkt beeinflusst. Außerdem verhält sich die Dosis indirekt proportional zur Vergrößerung, und ist somit umso größer, je kleiner die Vergrößerung gewählt wird. Oft gibt es auch spezielle Kinderprogramme, um die Gegebenheiten an pädiatrische Patientinnen und Patienten anzupassen. Bei Einzelbildern wird die Dosis mittels Spannung und Stromstärke manuell vom RT bestimmt und ist um etwa ein Drittel höher als bei der Durchleuchtung.

An der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie des LKH Universitätsklinikum Graz kommen für die intraoperative Durchleuchtung drei baugleiche C-Bögen mit Bildverstärker der Firma Ziehm zur Anwendung. Diese bieten ein spezielles Programm für die Ansprüche einer pädiatrischen Abteilung, um die Strahlenbelastung zu reduzieren. Üblicherweise wird mit 1 Puls pro Sekunde gearbeitet, jedoch kann die Pulsrate wenn nötig auf bis zu 8 Pulse pro Sekunde gesteigert werden. Es wird versucht, die Auslösung durch den Operateur/die Operateurin mittels Fußtaster möglichst zu vermeiden, um eine optimale Bildqualität und in weiterer Folge möglichst geringe Bildquantität zu gewährleisten.



Abb. 6: Ziehm Vision.

An der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz sind zur Röntgendarstellung während Operationen C-Bögen der Marke Ziehm in Verwendung.

4.5. Literaturrecherche

Zu Beginn der Arbeit fand eine Literaturrecherche statt, die ähnliche Studien und deren Ergebnisse ermitteln sollte, um den derzeitigen Forschungsstand und das bereits gewonnene Wissen zu erheben. Leider wurde dadurch nur umso mehr die bestehende Lücke auf diesem Forschungsgebiet deutlich, da nur sehr wenige Studien sich mit derartigen Fragestellungen beschäftigten, und keine davon mit der Anzahl der Röntgendurchleuchtungsbilder.

Alle diese Arbeiten empfehlen, bei der Anwendung von radiologischen Verfahren nach dem etablierten ALARA-Prinzip vorzugehen. ALARA ist ein Akronym mit der Bedeutung „as low as reasonably achievable“ - „so gering wie sinnvoll erreichbar“. In der Praxis bedeutet dies, die ionisierende Strahlung auf ein möglichst geringes Maß zu reduzieren und wann immer möglich auf ihren Einsatz zu verzichten, ohne dabei jedoch zwingend notwendige Untersuchungen zu unterlassen, wenn strahlenfreie Alternativen nicht

vorhanden oder zielführend sind.¹⁴ Gleichzeitig sollte bei der Durchführung eine größtmögliche Reduzierung der Dosis angestrebt werden, indem beispielsweise geeignete Schutzmaßnahmen, wie etwa die Abschirmung sensibler Organe, insbesondere der Keimdrüsen, durch Bleischürzen getroffen werden. Wenn außerdem durch korrekte Lagerung eine bessere Bildqualität erzielt und somit die Zahl der Bilder reduziert werden kann oder der Abstand der Strahlenquelle zum Patienten erhöht wird, trägt dies ebenso zur Dosisminimierung bei.¹⁴ Die Einstellung des Geräts auf gepulste Röntgenstrahlung mit niedriger Pulsrate sei an dieser Stelle ebenfalls genannt.

Eine in Brighton, Sussex, England, durchgeführte Studie widmete sich der Fragestellung, ob der Ausbildungsstand des/der Operateurs/Operateurin bei der Versorgung von pädiatrischen Frakturen die Strahlendosis beeinflusst.⁵ Hierzu wurden in einem retrospektiven Setting 782 Eingriffe analysiert und nach anatomischer Region und ausführendem/r Chirurgen/Chirurgin (Oberarzt/-ärztin, Assistenzarzt/-ärztin mit mehr bzw. weniger als drei Jahren Erfahrung) gruppiert. Die gemessenen Werte für das durchschnittliche Flächendosisprodukt verschiedener Operationen sind in Abb. 7 dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass unerfahrene Assistenzärztinnen und Assistenzärzte bei der Versorgung von distalen Unterarmfrakturen im Mittel ein doppelt so hohes Flächendosisprodukt erreichten, als Oberärztinnen bzw. Oberärzte.⁵ Ebenso war die mittlere Durchleuchtungszeit über alle Versorgungen bei Oberärzten und Oberärztinnen (0,23min) nur halb so lange wie jene der jungen Assistenzärzten und Assistenzärztinnen (0,47min). Auch für die anderen Regionen ließen sich deutliche Unterschiede zwischen den Dosen von Assistenz- und Oberärztinnen bzw. -ärzten zeigen, jedoch waren diese nicht statistisch signifikant. Die Unterschiede zwischen erfahrenen Assistenzärzten/-ärztinnen und Oberärzten/-ärztinnen waren weniger ausgeprägt, wobei erstere teilweise die niedrigeren Werte erzielten, doch waren hier die Fallzahlen erheblich geringer. Ähnliche Ergebnisse wurden zuvor auch bei der chirurgischen Versorgung von Femurhalsfrakturen bei Erwachsenen publiziert.¹⁵

Anatomy	Mean dose area product in Gy cm^2			Difference
	Consultant	Senior registrar	Junior registrar	
Ankle	108.66 (SD: 71.10) n=30	–	160.53 (SD: 167.54) n=24	p=0.131
Elbow	87.41 (SD: 55.47) n=73	47.59 (SD: 35.30) n=20	108.41 (SD: 151.01) n=60	p=0.273
Radius/ulna	54.29 (SD: 44.76) n=65	24.25 (SD: 7.46) n=10	61.65 (SD: 56.97) n=65	p=0.414
Wrist	41.75 (SD: 34.90) n=101	55.62 (SD: 78.14) n=28	90.16 (SD: 58.96) n=196	p=0.0001

SD = standard deviation

Abb. 7: Strahlenbelastung während der häufigsten operativen Frakturversorgungen. Die mittleren gemessenen Flächendosiswerte der Studie von Patel et al. in Brighton sind gezeigt. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Operateurgruppen (consultant: Oberärztin/-arzt, senior registrar: erfahrene/-r Assistenzarzt/-ärztin, junior registrar: unerfahrene/-r Assistenzärztin/-arzt) sind erkennbar, jedoch nur bei der Versorgung des Handgelenks statistisch signifikant.

Eine andere Arbeit aus Edinburgh, Schottland, befand den derzeitigen Wissensstand zur intraoperativen Strahlendosis bei der Versorgung kindlicher Frakturen ebenfalls für nicht zufriedenstellend, und setzte sich die Erhebung ebendieser Daten zum Ziel.⁷ Während des Verlaufs eines Jahres wurden sämtliche radiologisch kontrollierten Interventionen an Ellbogen, Unterarm und Handgelenk dokumentiert und neben allgemeinen Daten vor allem das Flächendosisprodukt und der Ausbildungsstand der Operateurinnen und Operateure erfasst. Insgesamt wurden 237 Prozeduren analysiert. Während erwartungsgemäß die Dosen bei alleiniger Reposition geringer waren als bei Reposition mit anschließender Fixierung durch Einbringung von Metall, konnte in dieser Studie kein Unterschied in der Strahlenbelastung durch die Erfahrung der Chirurgin bzw. des Chirurgen festgestellt werden.⁷ Die jeweils berichteten medianen Flächendosisprodukte betragen für die Reposition des Unterarms 0,5cGy cm^2 , für die elastisch stabile Marknagelung des Unterarms 2,67cGy cm^2 und bei der Bohrdrahtfixierung der suprakondylären Humerusfraktur 2,23cGy cm^2 (siehe Abb. 8). Die Autoren vergleichen die höchste gemessene Flächendosis von 17,23cGy cm^2 mit jener eines Thoraxröntgens (je nach Alter etwa 13-25cGy cm^2). Außerdem wird diskutiert, dass regelmäßige Überprüfungen der Strahlendosen sinnvoll seien, und Operateurinnen oder Operateure, welche dauerhaft signifikant höhere Werte erzielen als andere, ihr Vorgehen evaluieren sollten.⁷

Table 2 Dose area product exposure (in cGycm ²) for procedures to manage upper-limb trauma in children					
	N	Median exposure (50 th percentile)	25 th Percentile	75 th Percentile	Range
MUA distal radius	40	0.39	0.19	0.64	0.08–1.98
Wrist k-wiring	50	1.01	0.56	1.93	0.25–7.41
Forearm MUA	56	0.50	0.26	0.68	0.04–7.65
Forearm flexible nailing	13	2.67	1.38	5.27	0.36–11.29
Open reduction and k-wires elbow	2	6.58*			
MUA + k-wires Supracondylar	54	2.23	1.50	3.92	0.47–17.23
ORIF lateral humeral condyle	13	0.96	0.62	2.32	0.30–3.11

MUA = manipulation under anaesthesia; ORIF = open reduction and internal fixation
 *This value is based on two procedures and should be interpreted with caution.

Abb. 8: Flächendosisprodukte bei der Versorgung von Frakturen der oberen Extremitäten bei Kindern. Die angegebenen Werte wurden von Maempel et al. in Edinburgh gemessen (s.o.). Für den Vergleich mit der vorliegenden Arbeit und deren Ergebnissen sind vor allem die Werte für die Reposition des Unterarms (Forearm MUA [manipulation und anaesthesia]), die ESIN des Unterarms (forearm flexible nailing) sowie die Verspickung der suprakondylären Humerusfraktur (MUA + k-wires Supracondylar) interessant.

4.6. Datensammlung

Der Zweck dieser Arbeit war es, für die oben beschriebenen häufigen Frakturen im Kindesalter durchschnittliche Zahlen der intraoperativ angefertigten Röntgendurchleuchtungsbilder zu ermitteln. Hierfür wurde zunächst ein Ethikantrag für die Durchführung der Studie an die Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz gestellt und mit einem positiven Votum versehen (EK 30-010 ex 17/18). Sodann wurden die Durchleuchtungsprotokolle aller Operationen und Eingriffe an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz von Juli 2017 bis Mai 2018 gesammelt und analysiert. Die Daten wurden dabei vom Diplomarbeitbetreuer erhoben und dem Diplomanden in anonymisierter Form und in einer passwortgeschützten Datei zur Verfügung gestellt. Für die Auswertung wurden neben Basisdaten wie Geschlecht und Alter auch Diagnose, Art der Versorgung, Zahl der Röntgenbilder, Flächendosisprodukt und Durchleuchtungszeit ermittelt. Zusätzlich wurden der Ausbildungsstand des Operators bzw. der Operateurin sowie die Dauer und Uhrzeit der Operation erfasst, um etwaige bestehende Unterschiede im Zusammenhang mit der Erfahrung der Operateurin bzw. des Operators oder zwischen Regelarbeitszeit und Nachtdienst aufzeigen zu können. Primär wurden alle Eingriffe mit intraprozeduraler Röntgendiagnostik während des Beobachtungszeitraums in die Studie einbezogen, um vollständige Datensätze zu gewährleisten und jene Operationen zu ermitteln, welche eine für die statistische Auswertung sinnvolle Häufigkeit aufweisen.

Ausgeschlossen wurden jene Operationen, bei denen im Zuge von Mehrfachverletzungen mehr als eine Fraktur versorgt wurde, da hier die Zuordnung der Bilder zur jeweiligen Region im Nachhinein nicht möglich ist. Des Weiteren wurden sämtliche Frakturen, die aufgrund einer zugrunde liegenden Erkrankung entstanden, wie beispielsweise pathologische Brüche bei Tumoren oder Osteomyelitis, in der Auswertung nicht berücksichtigt. Schließlich stellten auch Rezidivoperationen oder Korrekturen nach bereits stattgefundener operativer Behandlung ein Ausschlusskriterium dar.

5. Ergebnisse

Im Beobachtungszeitraum von Juli 2017 bis Mai 2018 wurden an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz 239 Eingriffe mit intraoperativer Röntgendurchleuchtung durchgeführt. Die am häufigsten betroffenen Körperregionen waren in absteigender Reihenfolge Unterarm, Oberarm, Unterschenkel und Oberschenkel, die mit Abstand häufigste Diagnose war die Fraktur der jeweiligen Knochen.

In Summe wurden bei all diesen Eingriffen 12.042 Röntgenbilder während 181 Minuten Durchleuchtungszeit angefertigt, mit einem Mittelwert von 51,24 Bildern und medianem Flächendosisprodukt von 6,1 cGycm² pro Operation. Das Patientenkollektiv bestand aus 140 männlichen und 99 weiblichen Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 10,5 Jahren. 197 Eingriffe wurden von Oberärztinnen und Oberärzten vorgenommen, 33 von einem Assistenzarzt bzw. einer Assistenzärztin mit assistierendem/-r Oberarzt/-ärztin und 9 wurden von einer/-m Assistenzarzt/-ärztin alleine durchgeführt.

Von den 239 dokumentierten Eingriffen wurden 85 wegen zu geringer Fallzahlen der jeweiligen Diagnose von der Analyse ausgeschlossen. Von den verbleibenden 154 Datensätzen wiederum mussten einige wegen Mehrfachverletzungen und -versorgungen, Rezidiveingriffen, Knochenerkrankungen und anderen Umständen ausgeschlossen werden, die übrigen 132 verteilten sich wie folgt auf die unterschiedlichen Körperregionen: 40 Oberarm, 62 Unterarm, 14 Oberschenkel, 16 Unterschenkel (siehe Abb. 9). In weiterer Folge wurden die genauen Diagnosen und dazugehörigen Therapieformen im Detail analysiert.

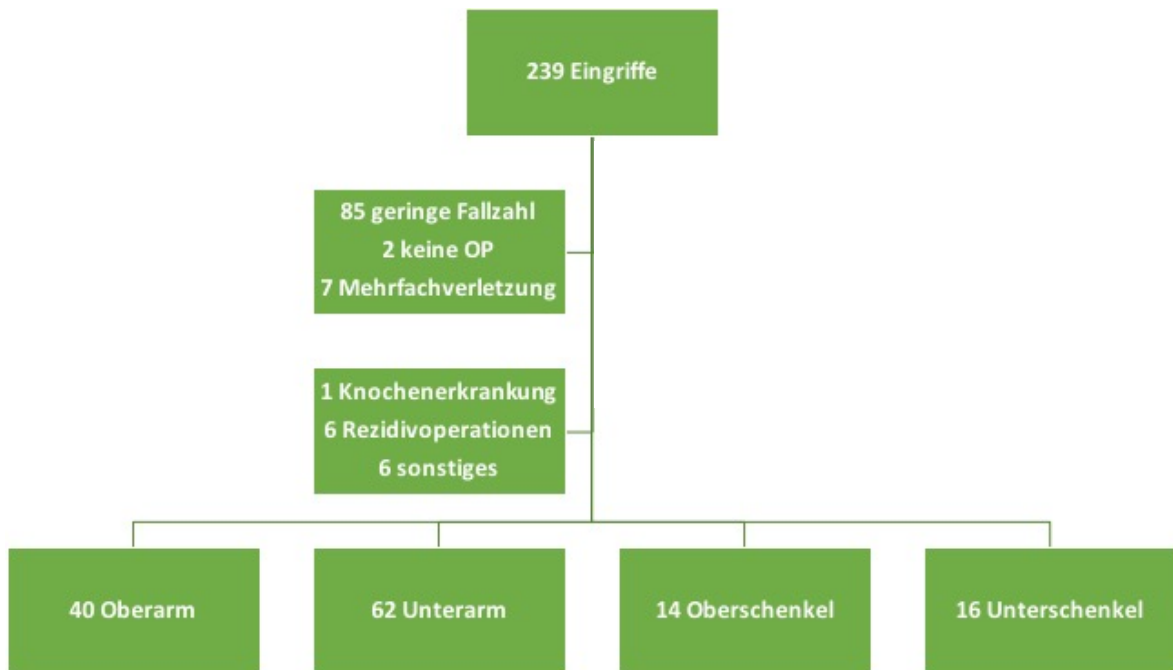


Abb. 9: Flussdiagramm der ein- und ausgeschlossenen Eingriffe sowie deren Verteilung auf die betroffenen Körperregionen.

Oberarm	40	Oberschenkel	14
Bohrdraht suprakondylär	25	ESIN	8
ESIN	9	Expert-Nagel	5
Bohrdraht Epicondylus	6	Platte	1
Unterarm	62	Unterschenkel	16
ESIN Radius & Ulna	26	Marknagel	8
Reposition	13	Platte	5
ESIN Radius	8	Reposition	2
Bohrdraht	8	Schrauben & Cerclage	1
ESIN Ulna	4		
Platte	3		

Abb. 10: Auflistung der einzelnen Therapiemethoden an der oberen (links) und unteren (rechts) Extremität.

5.1. Humerus

Im Falle der Humerusverletzungen wurden 25 suprakondyläre Humerusfrakturen mittels Bohrdrähten in beiden Epikondylen, 9 Humerusschaftbrüche mit ESIN und 6 Epicondylusfrakturen mit einseitigem Kirschnerdraht und kanülierter Schraube versorgt (siehe Abb. 10). Da hierbei nur die suprakondyläre Fraktur eine adäquate Fallzahl aufwies, wurde nur für diese eine statistische Auswertung der Daten durchgeführt.

Es zeigte sich bei der suprakondylären Fraktur ein Mittelwert von 50 Röntgenbildern pro Versorgung mit einer Standardabweichung von 32 Bildern und einem Median von 40 Bildern. Die wenigsten während dieser Versorgungen angefertigten Röntgenbilder waren 16, die höchste Zahl betrug 132. Die 25%- bzw. 75%-Quartilen schließlich konnten mit 30 bzw. 61 Bildern beziffert werden (vgl. Abb. 11).

In Bezug auf das Flächendosisprodukt betrug der Mittelwert 7,6cGycm², die Standardabweichung 7,5cGycm² und der Median 5,3cGycm². Der Minimalwert betrug 1,8cGycm², der maximale 35,8cGycm² und die 1. und 3. Quartile 3,2cGycm² bzw. 6,6cGycm².

Die Durchleuchtungszeit erstreckte sich über eine Dauer von 0,1 bis 1,9 Minuten und dauerte im Mittel 0,8 Minuten. Die mittlere Operationsdauer betrug 28 Minuten.

	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	25%	Median	75%	Maximum
Bildanzahl	50	32	16	30	40	61	132
Flächendosis	7,6	7,5	1,8	3,2	5,3	6,6	35,8
DL-Zeit	0,8	0,5	0,1	0,4	0,6	0,9	1,9
OP-Dauer	28		8	14	23	27	168

Abb. 11: Auswertung der 25 suprakondylären Humerusfrakturen, welche mit sich kreuzenden Kirschnerdrähten therapiert wurden.

Mittelw.: Mittelwert. Stdabw.: Standardabweichung. 25%: erste Quartile. 75%: dritte Quartile. Bildanzahl: Anzahl der bei den Eingriffen angefertigten Röntgendurchleuchtungsbilder. Flächendosis: Flächendosisprodukt in cGycm². DL-Zeit: Durchleuchtungszeit in Minuten. OP-Dauer: Operationsdauer in Minuten.

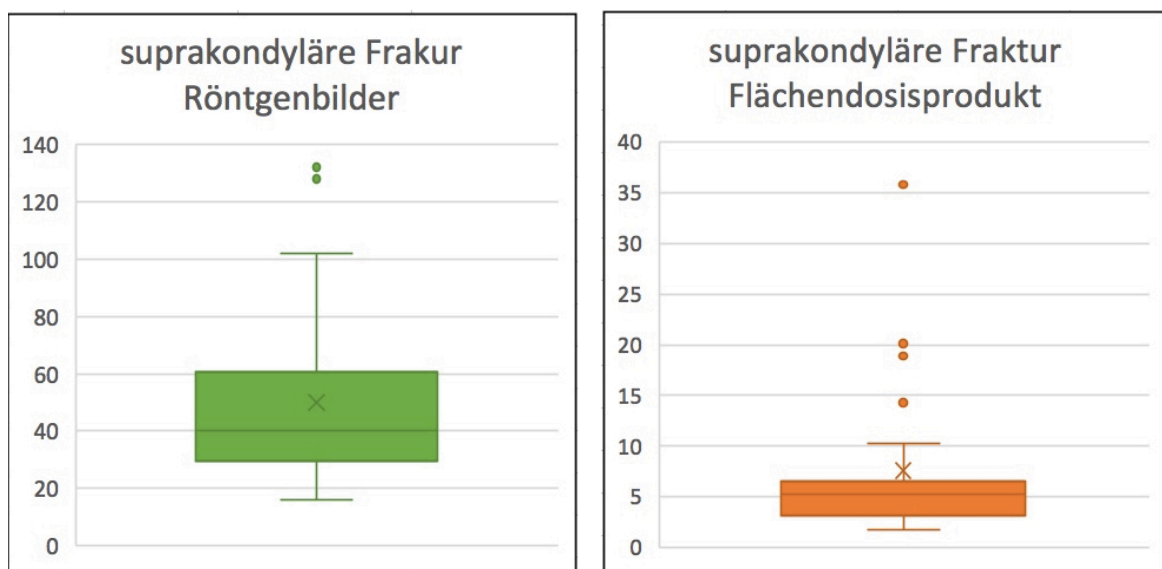


Abb. 12: Kastengrafiken der Röntgenbildzahl und der Flächendosisprodukte bei der Versorgung suprakondylärer Frakturen.

5.2. Unterarm

Die Frakturen des Unterarms teilten sich in 39 kombinierte Radius- und Ulnafrakturen, 19 isolierte Radiusfrakturen und 4 Monteggiafrakturen auf. 26 Patienten wurden mit elastisch stabilen Marknägeln sowohl in Radius als auch in Ulna versorgt, in 13 Fällen erfolgte lediglich eine geschlossene Reposition unter Bildwandlerkontrolle mit anschließender Gipsanlage ohne operativen Eingriff, die alleinige Marknagelung des Radius fand bei 8, die der Ulna bei 4 Patienten statt. Weitere 8 Patienten wurden mit Bohrdrähten versorgt und 3 mittels einer Plattenosteosynthese (s. Abb. 10). Die Daten der kombinierten ESIN Radius und Ulna sowie der Reposition und Gipsanlage wurden weiter analysiert.

Bei der Einbringung von intramedullären Nägeln in Ulna und Radius wurden im Mittel 44 Röntgenbilder, mit einer Standardabweichung von 27 Bildern, im Median 37 Bilder angefertigt. Die geringste Anzahl betrug 14 Bilder, die höchste 107 Bilder, die 1. und 3. Quartile 20 bzw. 57 Röntgenbilder (siehe auch Abb. 13).

Das Dosisflächenprodukt belief sich auf einen Mittelwert von 5,3cGycm² bei einer Standardabweichung von 4,8cGycm² und einem Median von 4,3cGycm². Das geringste bzw. höchste Flächendosisprodukt betrug 0,5cGycm² bzw. 24,7cGycm², die 25%- und 75%-Perzentile 2,4cGycm² respektive 6,9cGycm².

Für die Durchleuchtungszeit ergab sich die durchschnittliche Zeit von 0,6 Minuten bei minimal 0,2 und maximal 1,7 Minuten. Die Operation dauerte im Mittel 27 Minuten.

	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	25%	Median	75%	Maximum
Bildanzahl	44	27	14	20	37	57	107
Flächendosis	5,3	4,8	0,5	2,4	4,3	6,9	24,7
DL-Zeit	0,6	0,4	0,2	0,3	0,6	0,8	1,7
OP-Dauer	27		9	15	22	36	69

Abb. 13: Auswertung der 26 Unterarmfrakturen, welche mit ESIN in sowohl Radius als auch Ulna versorgt wurden.

Mittelw.: Mittelwert. Stdabw.: Standardabweichung. 25%: erste Quartile. 75%: dritte Quartile. Bildanzahl: Anzahl der bei den Eingriffen angefertigten Röntgendurchleuchtungsbilder. Flächendosis: Flächendosisprodukt in cGycm². DL-Zeit: Durchleuchtungszeit in Minuten. OP-Dauer: Operationsdauer in Minuten.

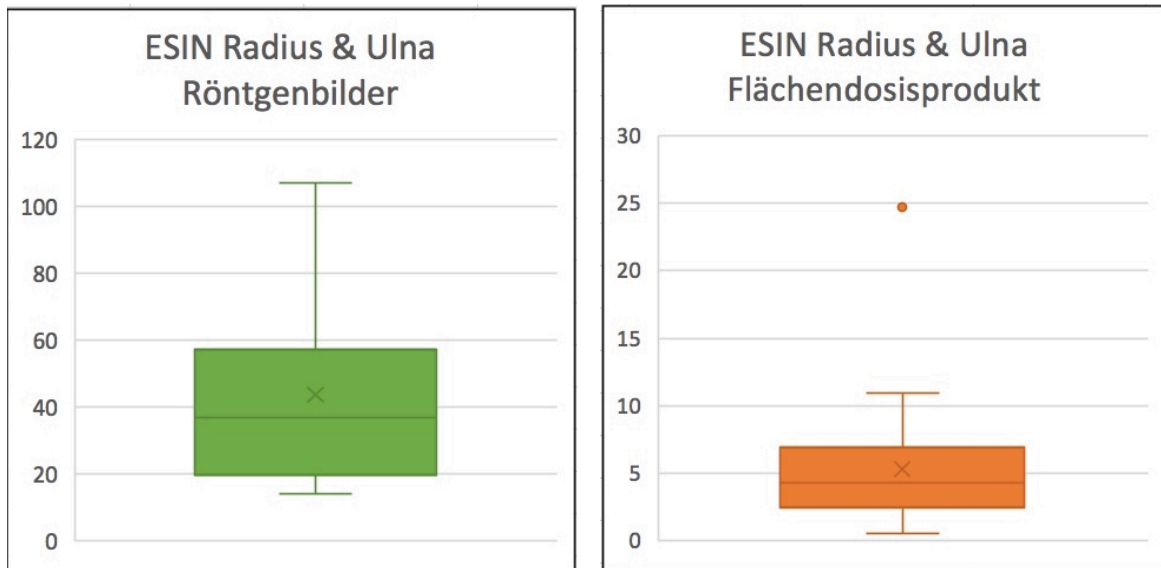


Abb. 14: Kastengrafiken der Röntgenbildanzahl und der Flächendosisprodukte der ESIN in Radius und Ulna zur Behandlung von Unterarmfrakturen.

Für die Reposition unter Bildwandlerkontrolle wurden zwischen 4 und 12 Durchleuchtungsbilder angefertigt, im Durchschnitt 9 Bilder. Die Standardabweichung betrug 2 Bilder, der Median 9 Röntgenbilder. Die 1. und 3. Quartile beliefen sich auf 6 bzw. 10 Bilder (s. Abb. 15).

Bezüglich der Flächendosis konnte der Mittelwert mit 1,5cGycm², die Standardabweichung mit 0,9cGycm², der Median mit 1,3cGycm² beziffert werden. Das Minimum waren 0,3cGycm², das Maximum 3,3cGycm², die 25%- und 75%-Quantilen ergaben 0,6cGycm² beziehungsweise 2,2cGycm².

Die Durchleuchtungszeit dauerte im kürzesten Fall 0,08 Minuten, im Mittel 0,12 Minuten und im längsten Fall 0,18 Minuten.

	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	25%	Median	75%	Maximum
Bildanzahl	9	2	4	6	9	10	12
Flächendosis	1,5	0,9	0,3	0,6	1,3	2,2	3,3
DL-Zeit	0,12	0,03	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18

Abb. 15: Analyse der 13 Unterarmfrakturen, die unter Bildwandlerkontrolle geschlossen reponiert und ohne Operation mit Gipsverband behandelt wurden.

Mittelw.: Mittelwert. Stdabw.: Standardabweichung. 25%: erste Quartile. 75%: dritte Quartile. Bildanzahl: Anzahl der bei den Eingriffen angefertigten Röntgendurchleuchtungsbilder. Flächendosis: Flächendosisprodukt in cGycm². DL-Zeit: Durchleuchtungszeit in Minuten.



Abb. 16: Kastengrafiken der Röntgenbildzahl sowie der Flächendosisprodukte bei der Therapie von Unterarmfrakturen mittels geschlossener Reposition und Gipsanlage.

5.3. Femur

Von den 14 versorgten Femurfrakturen wurden 8 mit ESIN, 5 mit einem Expert-Nagel und eine mit einer Plattenosteosynthese therapiert. Trotz der geringen Fallzahl sollen die Versorgungen mittels ESIN kurz beschrieben werden, da sie zwar aus statistischer Sicht nicht signifikant, aber für einen groben Überblick dennoch interessant sind.

Die Bildanzahl betrug hierbei im Mittel 122 Bilder, wobei die geringste Zahl 42 Bilder und die höchste 268 Bilder ausmachte. Die Standardabweichung lag bei 71 Bildern, die erste bzw. dritte Quartile bei 60 bzw. 157 Bildern, der Median ergab 107 Bilder (Abb. 17).

In Bezug auf das Flächendosisprodukt lag die Spanne zwischen $12,9\text{cGycm}^2$ und $161,3\text{cGycm}^2$, mit einem Mittelwert von $77,8\text{cGycm}^2$, einer Standardabweichung von $54,0\text{cGycm}^2$ und einem Median von $70,9\text{cGycm}^2$. Für die 25%- und 75%-Perzentile konnten Werte von $31,2\text{cGycm}^2$ respektive $119,5\text{cGycm}^2$ ermittelt werden.

Schließlich wurde auch die Durchleuchtungszeit analysiert und ergab durchschnittlich 2,4 Minuten, wobei sich das Spektrum von 1,1 Minuten bis 5,5 Minuten erstreckte. Die Standardabweichung betrug 1,6 Minuten, die 1. und 3. Quartile 1,3 und 2,8 Minuten, der Median 1,6 Minuten.

	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	25%	Median	75%	Maximum
Bildanzahl	122	71	42	60	107	157	268
Flächendosis	77,8	54,0	12,9	31,2	70,9	119,5	161,3
DL-Zeit	2,4	1,6	1,1	1,3	1,6	2,8	5,5
OP-Dauer	70		28	47	57	87	152

Abb. 17: Übersicht über die 8 Femurfrakturen, welche mit elastisch stabiler intramedullärer Nagelung behandelt wurden.

Mittelw.: Mittelwert. Stdabw.: Standardabweichung. 25%: erste Quartile. 75%: dritte Quartile. Bildanzahl: Anzahl der bei den Eingriffen angefertigten Röntgendurchleuchtungsbilder. Flächendosis: Flächendosisprodukt in cGycm². DL-Zeit: Durchleuchtungszeit in Minuten.

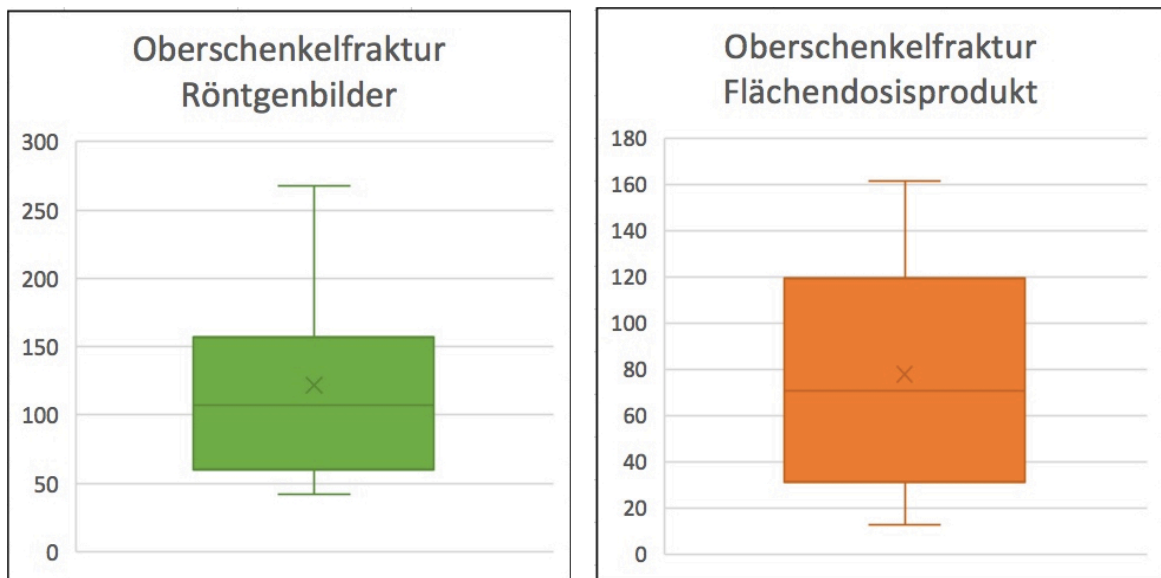


Abb. 18: Kastengrafiken der Röntgenbildanzahl sowie der Flächendosisprodukte der mit ESIN versorgten Oberschenkelfrakturen.

5.4. Unterschenkel

Bei den Frakturen am Unterschenkel wurden 10 kombinierte Frakturen von Tibia und Fibula, 4 isolierte Tibiafrakturen, 1 alleinige Fibulafraktur und 1 knöcherner Ausriss der Tuberositas tibiae verzeichnet. 8 Patienten wurden mit Marknägeln versorgt, 5 mit einer Plattenosteosynthese, bei 2 Patienten genügte die geschlossene Reposition und Gipsanlage und 1 Patient wurde mit Schrauben und einer Cerclage versorgt. Es wird analog zum Oberschenkel die Datenauswertung der Marknägeln angegeben, auch wenn diese aufgrund der geringen Fallzahl nicht von bedeutender statistischer Relevanz sind.

Die mittlere Bildanzahl ergab hierbei 80 Bilder, die Standardabweichung 34 Bilder. Es wurden im geringsten Fall 38 Bilder angefertigt, der Median lag bei 67 Bildern, das Maximum bei 153 Bildern. Für die erste Quartile errechneten sich 64 Bilder, für die dritte 85 Bilder (vgl. Abb. 19).

Beim Dosisflächenprodukt ergaben sich Werte von minimal 10,0cGycm² und maximal 91,5cGycm². Im Mittel wurden 32,3cGycm² erreicht, mit einer Standardabweichung von 24,3cGycm² und einem Median von 23,8cGycm². Hier lag die 1. Quartile bei 19,9cGycm² und die dritte bei 30,0cGycm².

Für die Durchleuchtungszeit konnten 1,5 Minuten für den Mittelwert und 1,3 Minuten für den Median ermittelt werden. Die Standardabweichung betrug 0,8 Minuten, das Minimum 0,6 Minuten und das Maximum 1,6 Minuten. Die 25%-Perzentile konnte mit 1,1 Minuten beziffert werden, die 75%-Perzentile 1,6 Minuten.

	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	25%	Median	75%	Maximum
Bildanzahl	80	34	38	64	67	85	153
Flächendosis	32,3	24,3	10,0	19,9	23,8	30,0	91,5
DL-Zeit	1,5	0,8	0,6	1,1	1,3	1,6	3,5
OP-Dauer	84		46	52	63	128	140

Abb. 19: Auswertung der 8 Marknagelungen bei Unterschenkelfraktur.
Mittelw.: Mittelwert. Stdabw.: Standardabweichung. 25%: erste Quartile. 75%: dritte Quartile. Bildanzahl: Anzahl der bei den Eingriffen angefertigten Röntgendurchleuchtungsbilder. Flächendosis: Flächendosisprodukt in cGycm². DL-Zeit: Durchleuchtungszeit in Minuten.

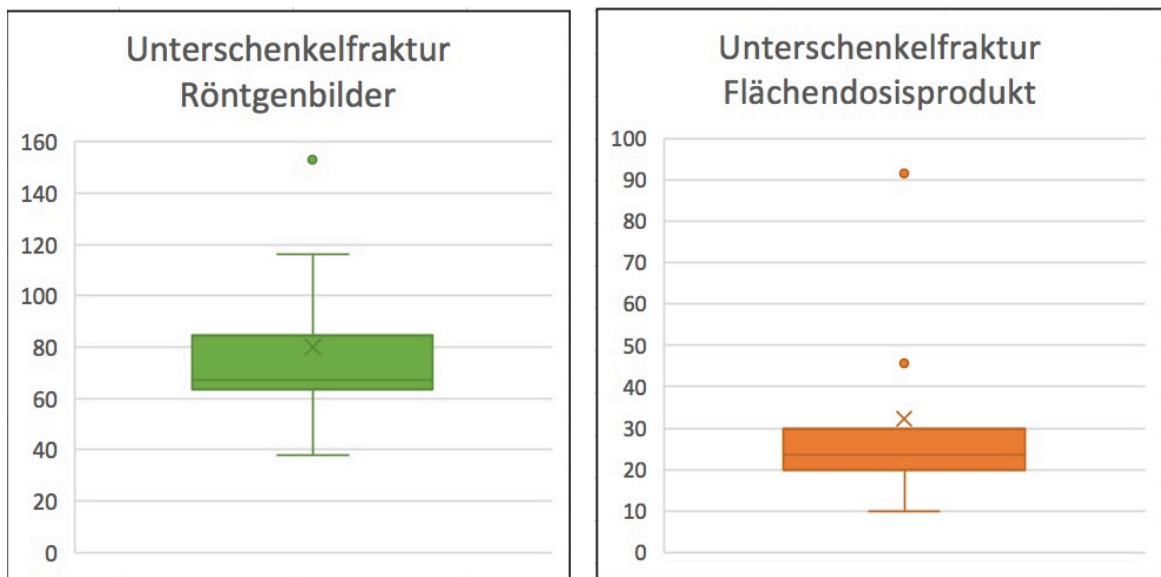


Abb. 20: Kastengrafik der Röntgenbildzahl und der Flächendosisprodukte bei der Marknagelung der Unterschenkelfraktur.

6. Diskussion

Der Zweck dieser Arbeit war es, für häufige kindertraumatologische Eingriffe eine durchschnittliche Anzahl an intraoperativen Röntgenbildern zu eruieren. Dazu wurden 11 Monate lang Strahlendaten gesammelt und die dazugehörigen Operationsberichte gesichtet, um die Eingriffe auf ihre Relevanz und etwaige Ausschlusskriterien zu prüfen. Am Ende wiesen nur wenige Eingriffe eine ausreichende Anzahl auf, um eine aussagekräftige Auswertung zu erlauben: die suprakondyläre Humerusfraktur, welche mit gekreuzten Kirschnerdrähten versorgt wurde, die Unterarmfraktur mit elastisch stabilen intramedullären Nägeln in Radius und Ulna und die Unterarmfraktur, die eine Reposition unter Durchleuchtung erforderte. Zusätzlich wurden für eine grobe Orientierung auch die mit ESIN versorgte Oberschenkelfraktur und die Unterschenkelfraktur mit Marknagelung ausgewertet.

Publizierte Richtlinien und Vorgaben zur Strahlendosis diagnostischer Verfahren nennen die 75. Perzentile als Referenzwert für den Vergleich unterschiedlicher Zentren^{16,17,18}. Man bezieht sich hier üblicherweise auf diverse Strahlendosisangaben, es scheint jedoch sinnvoll, diese Grenze auch für die Anzahl der angefertigten Röntgenbilder zu übernehmen. An anderer Stelle wird gefordert, bei Operateurinnen und Operateuren, welche regelmäßig Dosiswerte über der 95. Perzentile des Vergleichskollektivs erreichen, verpflichtend Nachschulungen im Bereich des Strahlenschutzes einzufordern¹⁹. Auch diese Höchstgrenze könnte für die Zahl der Durchleuchtungsbilder übernommen werden.

Dennoch sind die Zahlen der in dieser Arbeit analysierten Operationen bzw. Repositionen zu gering, um mehr als eine Übersicht und einen Anhaltspunkt darzustellen, insbesondere jene der unteren Extremität. Das Ziel, dem Operateur bzw. der Operateurin eine Rückmeldung zu seinem bzw. ihrem chirurgischen Vorgehen zu liefern, beziehungsweise auf unsachgemäße Verwendung von Röntgenstrahlen hinzuweisen, konnte dadurch nur zum Teil erfüllt werden. Für eine konkrete Richtlinie bezüglich einer akzeptablen Anzahl von Röntgenbildern, die in der gängigen Praxis eingeführt werden könnte, sind die Fallzahlen zu gering und die Daten somit zu wenig aussagekräftig. Ein längerer

Beobachtungszeitraum zur Akquirierung größerer Fallzahlen und Datenmengen wäre hier notwendig und wünschenswert.

Um die Arbeit in Relation zu anderen Untersuchungen zu stellen, können die bereits in Kapitel 4.5. erwähnten Studien herangezogen werden. Auch wenn diese Studien statt der Bilderzahl das Flächendosisprodukt als primäres Untersuchungsziel verfolgten und zudem teilweise weit größere Eingriffszahlen aufwiesen, sollen die dort publizierten Flächendosen dennoch mit jenen in dieser Arbeit verglichen werden. Maempel, Stone und Murray beschrieben im Falle der elastisch stabilen Marknagelung des Unterarms deutlich geringere Flächendosen.⁷ Auch für die geschlossene Unterarmreposition unter Durchleuchtung waren die berichteten Werte deutlich unter jenen der Grazer Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie, ebenso bei der Bohrdrahtspickung der suprakondylären Humerusfraktur. Bei letzterer benötigten die britischen Operateure und Operateurinnen in allen angeführten statistischen Größen nur etwa die Hälfte des Flächendosisprodukts im Vergleich zu Graz. Die Ursache für diese Differenz zwischen England und Österreich lässt sich jedoch aus dem Inhalt der Publikation nicht erheben.

Die Ergebnisse von Patel et al. sind hingegen bei weitem verwirrender.⁵ In dieser Studie wurden die zahlreichen dokumentierten Operationen lediglich nach Körperregion, nicht jedoch nach durchgeführtem Eingriff gruppiert. Die angegebenen Flächendosisprodukte übersteigen jedoch jene aus der vorliegenden Arbeit trotz signifikant geringerer Durchleuchtungszeit um ein Vielfaches. Am Beispiel der Region Ellbogen erreichten die schottischen Oberärztinnen und Oberärzte Dosisflächenprodukte von durchschnittlich $87,41 \text{ Gy cm}^2$, in Graz belaufen sich diese Werte im Mittel auf $7,6 \text{ cGy cm}^2$. Für die Umrechnung der unterschiedlichen Einheiten müsste man die $87,31 \text{ Gy cm}^2$ mit dem Faktor 100 multiplizieren, was eine mehr als tausendfach höhere Flächendosis bedeuten würde! In selbigem Rahmen bewegen sich auch die angeführten Werte für die anderen anatomischen Regionen. Da diese Ergebnisse unglaublich erscheinen, kann hier kein Vergleich angestrebt werden, da die Untersuchungsmethoden unterschiedlich sein müssen. Denkbar wäre, dass die gesamte kumulative Dosis während des Beobachtungszeitraums angegeben

wurde, anstatt der Dosis für die einzelnen Eingriffe, darauf wird in der Publikation jedoch nicht eingegangen.

Diese beiden Arbeiten bezogen sich jedoch stets vordergründig auf die Flächen-dosisprodukte und zum Teil auf die Durchleuchtungszeit. Diese Herangehensweise mag aus radiologischer Sicht sinnvoll sein, weist jedoch auch einige Probleme auf. Wie bereits beschrieben hängt die Strahlendosis unmittelbar vom verwendeten Gerät und dessen Einstellungen, von der Körpergröße und Statur des Kindes, der untersuchten Körperregion und anderem ab. Es kann also aus diesen Werten nicht die Arbeit des Operateurs oder der Operateurin analysiert werden, da bei exakt gleichem intraoperativem Vorgehen unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden könnten. Hierbei erweist sich die Anzahl der angefertigten Bilder als spezifischere Angabe, da sie unabhängig von oben genannten Faktoren und somit besser für den Vergleich unterschiedlicher Operateurinnen bzw. Operateure oder Krankenhäuser geeignet ist. Aus chirurgischer Sicht würde die Bildzahl also einen umgänglicheren Wert darstellen, der jedoch sehr oft nicht ausreichend beachtet oder dokumentiert wird.

Die vorliegende Arbeit konnte erfolgreich erste Referenzwerte für die Anzahl der intraoperativ angefertigten Röntgenbilder bei Knochenbrüchen im Kindes- und Jugendalter sammeln – ein Wert, welcher bisher in keiner mir bekannten Publikation untersucht wurde, jedoch für die Praxis eine weitaus verständlichere Größe darstellt, insbesondere für Ärzte und Ärztinnen, welche nicht regelmäßig mit den verschiedenen Größen und Einheiten der Strahlendosis bzw. des Flächendosisprodukts arbeiten. Zusätzlich stellt sich die Bildanzahl als spezifischerer Wert für die Arbeit der Operateurin bzw. des Operateurs dar, da sie nicht von dem verwendeten Gerät oder dessen Einstellungen abhängt. Für die Erstellung einer konkreten Richtlinie, die in die klinische Praxis Einzug halten und eventuell Operateurinnen und Operateure mit Bedarf an Nachschulungen im Strahlenschutz herauskristallisieren könnte, sind die Fallzahlen der analysierten Eingriffe jedoch zu gering. Hier bedarf es weiterer Untersuchungen über längere Zeiträume bzw. an verschiedenen größeren Zentren, um eine statistisch sinnvolle Aussage treffen zu können.

7. Literaturverzeichnis

- 1 Statistik Austria. Jahrbuch der Gesundheitsstatistik 2016 [Internet]. Wien: Statistik Austria; 2016. Verfügbar unter: http://www.statistik.at/web_de/services/publikationen/4/index.html?includePage=detailedView§ionName=Gesundheit&pubId=495
- 2 Das Who Is Who der Extremitätenfrakturen. *Orthopäde*. 2010 Jul;39(7):719-36. doi: 10.1007/s00132-010-1652-y.
- 3 Laurer H, Sander A, Wutzler S, Walcher F, Marzi I. Therapieprinzipien distaler Unterarmfrakturen im Kindesalter. *Chirurg*. 2009 Nov;80(11):1042-52. doi: 10.1007/s00104-009-1750-8.
- 4 Kraus R, Wessel L. The treatment of upper limb fractures in children and adolescents. *Dtsch Arztebl Int*. 2010 Dec;107(51-52):903-10. doi: 10.3238/arztebl.2010.0903. Epub 2010 Dec 27.
- 5 Patel NG, Mohamed AM, Cooper G, McFadyen I. Ionising radiation exposure in paediatric trauma. *Ann R Coll Surg Engl*. 2014 Apr;96(3):190-3. doi: 10.1308/003588414X13814021677313.
- 6 Madan S, Blakeway C. Radiation exposure to surgeon and patient in intramedullary nailing of the lower limb. *Injury*. 2002 Oct;33(8):723-7.
- 7 Maempel JF, Stone OD, Murray AW. Quantification of radiation exposure in the operating theatre during management of common fractures of the upper extremity in children. *Ann R Coll Surg Engl*. 2016 Sep;98(7):483-7. doi: 10.1308/rcsann.2016.0215.
- 8 Von Laer L, Kraus R, Linhart WE. Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 6. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2012.

9 Ladenhauf HN, Schaffert M, Bauer J. The displaced supracondylar humerus fracture: indications for surgery and surgical options: a 2014 update. *Curr Opin Pediatr*. 2014 Feb; 26(1):64-9. doi: 10.1097/MOP.0000000000000044.

10 Vasilescu DE, Cosma D. Elastic Stable Intramedullary Nailing for Fractures in Children - Principles, Indications, Surgical Technique. *Clujul Med*. 2014;87(2):91-4. doi: 10.15386/cjmed-274. Epub 2014 May 30.

11 Rodríguez-Merchán EC. Pediatric fractures of the forearm. *Clin Orthop Relat Res*. 2005 Mar;(432):65-72.

12 Zorrilla S de Neira J, Prada-Cañizares A, Marti-Ciruelos R, Pretell-Mazzini J. Supracondylar humeral fractures in children: current concepts for management and prognosis. *Int Orthop*. 2015 Nov;39(11):2287-96. doi: 10.1007/s00264-015-2975-4. Epub 2015 Aug 28.

13 Carter CT, Bertrand SL, Cearley DM. Management of pediatric type III supracondylar humerus fractures in the United States: results of a national survey of pediatric orthopaedic surgeons. *J Pediatr Orthop*. 2013 Oct-Nov;33(7):750-4. doi: 10.1097/BPO.0b013e31829f92f3.

14 Connolly B, Racadio J, Towbin R. Practice of ALARA in the pediatric interventional suite. *Pediatr Radiol*. 2006 Sep;36 Suppl 2:163-7. doi: 10.1007/s00247-006-0192-4.

15 Botchu R, Ravikumar K. Radiation exposure from fluoroscopy during fixation of hip fracture and fracture of ankle: Effect of surgical experience. *Indian J Orthop*. 2008 Oct; 42(4):471-3. doi: 10.4103/0019-5413.43398.

16 Hart D, Hillier MC, Wall BF. National reference doses for common radiographic, fluoroscopic and dental X-ray examinations in the UK. *Br J Radiol* 2009; 82: 1–12.

17 Bogaert E, Bacher K, Lemmens K et al. A large-scale multicentre study of patient skin doses in interventional cardiology: dose-area product action levels and dose reference levels. *Br J Radiol* 2009; 82: 303–312.

18 Miller DL, Balter S, Cole PE et al. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study: part I: overall measures of dose. *J Vasc Interv Radiol* 2003; 14: 711–727.

19 Stecker MS, Balter S, Towbin RB et al. Guidelines for patient radiation dose management. *J Vasc Interv Radiol* 2009; 20(7 Suppl): S263–S273.

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Sonografie und Röntgen einer Unterarmfraktur.

Tsung JW, Blaivas M. Rapid screening for the posterior fat pad sign in suspected pediatric elbow fractures using point-of-care ultrasound: a “FAST exam” for the traumatized elbow. Crit Ultrasound J. 2010 May;1(3):111-6. doi: 10.1007/s13089-010-0021-8.

Abb. 2: Osteosynthetische Verfahren im Kindes- und Jugendalter, Schema.

Von Laer L, Kraus R, Linhart WE. Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 6. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2012.

Abb. 3: ESIN bei Unterarmschaftfraktur.

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz, Klinische Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie; Universitätsklinik für Radiologie Graz, Klinische Abteilung für Kinderradiologie

Abb. 4: Suprakondyläre Humerusfraktur mit Versorgung durch Kirschnerdrähte.

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz, Klinische Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie; Universitätsklinik für Radiologie Graz, Klinische Abteilung für Kinderradiologie

Abb. 5: Kirschnerdrähte bei abgeheilter suprakondylärer Humerusfraktur.

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz, Klinische Abteilung für Allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie; Universitätsklinik für Radiologie Graz, Klinische Abteilung für Kinderradiologie

Abb. 6: Ziehm Vision.

<https://www.ziehm.com/de/produkte/c-boegen-mit-bildverstaerker/ziehm-vision.html>

Abb. 7: Strahlenbelastung während der häufigsten operativen Frakturversorgungen.

Patel NG, Mohamed AM, Cooper G, McFadyen I. Ionising radiation exposure in paediatric trauma. *Ann R Coll Surg Engl.* 2014 Apr;96(3):190-3. doi: 10.1308/003588414X13814021677313.

Abb. 8: Flächendosisprodukte bei der Versorgung von Frakturen der oberen Extremitäten bei Kindern.

Maempel JF, Stone OD, Murray AW. Quantification of radiation exposure in the operating theatre during management of common fractures of the upper extremity in children. *Ann R Coll Surg Engl.* 2016 Sep;98(7):483-7. doi: 10.1308/rcsann.2016.0215.

Abb. 9: Flussdiagramm der ein- und ausgeschlossenen Eingriffe sowie deren Verteilung auf die betroffenen Körperregionen.

Abb. 10: Auflistung der einzelnen Therapiemethoden an der oberen (links) und unteren (rechts) Extremität.

Abb. 11: Auswertung der 25 suprakondylären Humerusfrakturen, welche mit Kirschnerdrähten therapiert wurden.

Abb. 12: Kastengrafiken der Röntgenbildzahl und der Flächendosisprodukte bei der Versorgung suprakondylärer Frakturen.

Abb. 13: Auswertung der 26 Unterarmfrakturen, welche mit ESIN in sowohl Radius als auch Ulna versorgt wurden.

Abb. 14: Kastengrafiken der Röntgenbildanzahl und der Flächendosisprodukte der ESIN in Radius und Ulna zur Behandlung von Unterarmfrakturen.

Abb. 15: Analyse der 13 Unterarmfrakturen, die unter Bildwandlerkontrolle geschlossen reponiert und ohne Operation mit Gipsverband behandelt wurden.

Abb. 16: Kastengrafiken der Röntgenbildzahl sowie der Flächendosisprodukte bei der Therapie von Unterarmfrakturen mittels geschlossener Reposition und Gipsanlage.

Abb. 17: Übersicht über die 8 Femurfrakturen, welche mit elastisch stabiler intramedullärer Nagelung behandelt wurden.

Abb. 18: Kastengrafiken der Röntgenbildanzahl sowie der Flächendosisprodukte der mit ESIN versorgten Oberschenkelfrakturen.

Abb. 19: Auswertung der 8 Marknagelungen bei Unterschenkelfraktur.

Abb. 20: Kastengrafik der Röntgenbildzahl und der Flächendosisprodukte bei der Marknagelung der Unterschenkelfraktur.