

Diplomarbeit

**Vermeidung radiologischer Strahlenbelastung durch
Optimierung der ESIN (elastisch stabile intramedulläre
Nagelung) bei der Versorgung von instabilen
diaphysären Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter**

eingereicht von

Wiklicky Sebastian

Mat.Nr.: 0506240

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

Universitätsklinikum für Kinderchirurgie Graz

unter der Anleitung von

Assoc. Prof. Dr. med. univ. Annelie- Martina Weinberg

**Ao. Univ.- Prof. Dr. med. univ. Wolfgang
Grechenig**

Graz im April 2010

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, am 22.04.2010

Unterschrift

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit wird im Folgenden das generische Maskulinum verwendet, welches sich gleichermaßen auf männliche und weibliche Personen bezieht.

Vorwort

Die Idee zur vorliegenden Arbeit entstand während der AO – Trauma Kurse im September 2009. Aus Interesse an der Orthopädie und Unfallchirurgie kontaktierte ich den Organisator dieser Kurse, Prof. Dr. Wolfgang Grechenig, der es mir ermöglichte, auch als Student an diesen Kursen teilzunehmen. Die humanen Präparate der Anatomie Graz werden während dieser Kurse nicht nur von den Kursteilnehmern benutzt, sondern sie werden auch für Forschungszwecke verwendet. Auf diesem Weg traf ich auch Frau Assoc. Prof. Dr. Annelie Weinberg, die als Kindertraumatologin und Unfallchirurgin einerseits als Referentin und Demonstratorin agierte und andererseits einige Forschungsarbeiten während der Kurse betreute. Mit ihrem Engagement konnte sie mich schon bald für die Kindertraumatologie begeistern und es entstand die Idee, eines dieser Projekte im Rahmen einer Diplomarbeit aufzuarbeiten. Nach den Vermessungen am Anatomischen Institut war es noch notwendig, ein Konzept zur Vermessung der distalen Radiusepiphysen zu erstellen, was durch die großzügige Unterstützung von Doz. Dr. Peter Brader sehr erleichtert wurde.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die dazu beigetragen haben, diese Arbeit zu ermöglichen.

Ein großer Dank gilt dabei meinen zwei Betreuern, Frau Assoc. Prof. Dr. Annelie-Martina Weinberg und Herrn Doz. Dr. Peter Brader, die mich nicht nur fachlich, sondern auch durch das angenehme Arbeitsklima motivierten, mich mit dem Thema auseinanderzusetzen und diese Arbeit zu verfassen.

Darüber hinaus möchte ich mich besonders bei meinen Eltern, Peter und Regina und meinen Großeltern, Herbert und Ernestine bedanken, die mich stets unterstützen und mich auf die wichtigen Dinge des Lebens sensibilisierten. Auch meiner Freundin Elisabeth möchte ich für ihr offenes Ohr und ihre fachliche Kritik danken.

Zusammenfassung

Diaphysäre Unterarmschaftfrakturen zählen bei Kindern zu den häufigsten Verletzungen. Der Großteil der Frakturen heilt unter konservativer Therapie im Gips komplikationslos aus. Das im Wachstum befindliche Skelett besitzt zwar ein großes Potential zur Spontankorrektur, allerdings können starke Achsenabweichungen bei Frakturen im diaphysären Bereich bleibende funktionelle Einschränkungen in Pro- und Supination hinterlassen. Diese Fälle sind zu erkennen und einer operativen Versorgung zuzuführen, sodass hier ebenfalls die Funktionalität wieder hergestellt werden kann. Für diesen Zweck stehen einige Operationsmethoden zur Verfügung, die jede für sich bei richtiger Indikationsstellung sehr gute Ergebnisse liefern. Neben perkutanen Kirschnerdrähten, Plattenosteosynthesen und Fixateur externe hat sich vor allem die elastisch- stabile intramedulläre Marknagelung für Frakturen der Diaphyse von langen Röhrenknochen etabliert. Diese Operationstechnik wurde in den 70er Jahren von Prevot, Lescombes und Metaizeau entwickelt und wird besonders der Pathophysiologie kindlicher Unterarmschaftfrakturen gerecht. Bei diesem minimal-invasiven Verfahren werden 2 intramedulläre Kraftträger in Ulna und Radius eingebracht, die durch ihre Vorspannung den interosseären Raum zwischen den beiden Unterarmknochen wieder aufspannen, was die Voraussetzung für Pro- und Supination ist. Dabei wird jedoch keine starre Verbindung zwischen den Frakturfragmenten erzeugt. Die Stabilität wird durch das Aufspannen der interosseären Membran mittels intramedullärer Dreipunktstützung der Marknägel, sowie auf Grund der Schienung durch den Muskelmantel am Unterarm erreicht. Mikrobewegungen am Frakturspalt induzieren dabei die Kallusbildung für eine suffiziente Durchbauung. Die intramedullären Kraftträger werden durch kleine Hautinzisionen frakturfern, um das Periost am Frakturspalt zu schonen, an der proximalen Ulna sowie am distalen Radius, jeweils mit ausreichendem Abstand zu den Epiphysenfugen eingebracht. Durch Schonung der Epiphysenfugen kommt es so zu keinen Wachstumsstörungen. Eine Gipsimmobilisierung ist nicht notwendig. Wie bei jedem intramedullären Osteosyntheseverfahren kommt es auch bei der ESIN für den Patienten, sowie das OP- Personal zu einer Bildwandler bedingten Strahlenbelastung. Nachteile dieser Technik sind daher eine vermehrte Strahlenbelastung sowie durch den minimal- invasiven Zugang ein erhöhtes Risiko

der iatrogenen Schädigung von Strukturen im Bereich der Zugangswege. Insbesondere am distalen Radius liegt der Zugang in enger Beziehung zum *N. radialis superficialis*.

Methoden:

In der vorliegenden Arbeit wurde in einer Untersuchung an 32 anatomischen Präparaten der genaue Nervenverlauf des *N. radialis superficialis* ermittelt, da er in enger anatomischer Beziehung des Zugangsweges zum distalen Radius liegt.

Um den korrekten Zugangsweg proximal der distalen Radiusepiphyse auch ohne Bildwandler zu finden, wurde die Epiphysenhöhe (Spitze *Processus styloideus radii* – Epiphysenfuge) in 19 MRT- Aufnahmen sowie 519 Röntgen- Aufnahmen vermessen, um dadurch eine genaue Lokalisation der Epiphysenfuge zu erhalten. Dabei wurde der *Processus styloideus radii* jeweils als Anhaltspunkt verwendet, da er intraoperativ als prominente Landmarke leicht zu tasten ist.

Resultate:

Die Vermessung der Epiphysen in den jeweiligen Altersgruppen hat gezeigt, dass der Abstand vom *Processus styloideus* zur Epiphysenfuge nur geringfügige Unterschiede ausweist in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Kadaverstudie eine große Streubreite des Nervenverlaufs.

Diskussion:

Durch die geringfügigen Unterschiede kann daher die Epiphysenhöhe in der Praxis als konstant angenommen werden. Somit ist es möglich auch ohne Bildwandler die korrekte Inzisionsstelle proximal der Epiphysenfuge zu finden, indem die maximale Epiphysenhöhe (mit ausreichendem Sicherheitsabstand) proximal des gut tastbaren *Processus styloideus* aufgetragen wird. Dadurch wird die Qualität dieser Operationstechnik verbessert, indem die Strahlenbelastung für den Patienten aber auch das OP- Personal vermindert wird.

Es besteht allerdings nach wie vor das Risiko einer Komplikation in Form einer Nervenverletzung an der Inzisionsstelle, da die stark variierenden Ergebnisse keine prädiktiven Aussagen über den Nervenverlauf zulassen. Es gibt zwar ein Areal gleich proximal des *Processus styloideus*, wo es sehr unwahrscheinlich ist, einen Nervenast zu verletzen, allerdings ist es nach wie vor am besten, unter Sicht stumpf bis zum Periost zu präparieren. Der nächste Schritt wäre nun, die gewonnenen Erkenntnisse im klinischen Alltag zu erproben.

Abstract

Reducing image intensifier times in elastic- stable intramedullary nailing (ESIN) in pediatric diaphyseal forearm fractures

Objective: Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) is the method of choice for the fixation of paediatric forearm diaphyseal fractures. The aim of this study was to develop a simple method to find the correct entry point for nail insertion in the distal radius without the use of an image intensifier, thus reducing the intraoperative radiation dose. This approach should also be safe from injury of the superficial radial nerve.

Methods: To find the correct location of the epiphyseal plate 19 MRI and 519 radiographies of forearms from children (264 boys, 255 girls) between the age 2 and 14 years were evaluated at the Department of Pediatric and Adolescent Surgery of the Medical University of Graz. The height of the epiphysis was determined as the distance from the tip of the radial styloid to the epiphyseal plate. A cadaver study of 32 forearms was performed to find out the exact course of the superficial radial nerve which is most likely to be injured during this approach.

Results: The height of the distal radial epiphysis depends on age and sex of the children. The difference between the youngest group (2 – 4 years) and the oldest group (12 – 14 years) was 3mm. The boys' epiphysis was 1mm larger than the girls'. The mean height of the epiphysis was 16.7mm (13 – 21mm). No significant difference was found comparing the left and right sides.

The results of the cadaver study showed a slight significant correlation between the total radial length and the location of the nerval bifurcation. All results showed a considerably high variation.

Conclusion: The height of the epiphysis only showed very small differences throughout growth and sex. For clinical practice this difference can be disregarded. So the correct approach to the distal radius can be assumed just 2 fingers (depending on the individual finger width) proximal to the tip of the radial styloid. This easy method helps to reduce image intensifier times.

Especially minimal invasive procedures demand good anatomical orientation. Profound knowledge of the structures at risk prevents complications like superficial radial nerve injury in elastic stable intramedullary nailing.

Inhaltsverzeichnis

1	<u>EINLEITUNG</u>	13
1.1	ANATOMIE DES UNTERARMES	14
1.1.1	RADIUS UND ULNA	14
1.1.2	NERVEN- UND GEFÄßVERSORGUNG DES UNTERARMES	17
1.1.3	MUSKELN DES UNTERARMS	18
1.1.4	ENTWICKLUNG UND WACHSTUM	19
1.2	BESONDERHEITEN VON KINDLICHEN FRAKTUREN	21
1.2.1	SPONTANEKORREKTUR	21
1.2.2	KORREKTURMECHANISMEN:	22
1.2.3	WACHSTUMSSTÖRUNGEN	23
1.2.4	HEMMENDE WACHSTUMSSTÖRUNG	24
1.2.5	GRÜNHOLZFRAKTUR	25
1.3	KLASSIFIKATION	26
1.4	VERSORGUNG VON UNTERARMFRAKTUREN	27
1.4.1	DIAGNOSTIK	28
1.4.2	KONSERVATIVE THERAPIE	28
1.4.3	OPERATIVE OPTIONEN	30
1.4.3.1	ESIN	31
1.4.3.2	Fixateur Externe	31
1.4.3.3	Kirschner Drähte	32
1.4.3.4	Plattenosteosynthese	32
1.5	ESIN VERSORGUNG	33
1.5.1	ENTWICKLUNG	33
1.5.2	ANWENDUNGSBEREICHE	34
1.5.3	BIOMECHANIK	35
1.5.4	OPERATIONSTECHNIK	35
1.5.5	STRAHLENBELASTUNG DURCH BILDWANDLER	37
1.5.6	KOMPLIKATIONEN	38
1.5.7	NACHBEHANDLUNG	40
1.6	HYPOTHESE	41
2	<u>MATERIAL UND METHODEN</u>	41
2.1	VERMESSUNG DES N. RADIALIS SUPERFICIALIS	42

2.2	VERMESSUNG DER DISTALEN RADIUSEPIPHYSE	44
2.3	STATISTIK	48
3	<u>ERGEBNISSE – RESULTATE</u>	49
3.1	VERLAUF DES N. RADIALIS SUPERFICIALIS	49
3.2	EPIPHYSE	51
4	<u>DISKUSSION</u>	55
4.1	SCHLUSSBETRACHTUNG	57
5	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	58
	<u>LEBENS LAUF</u>	63

Glossar und Abkürzungen

ESIN	Elastisch- stabile intramedulläre Marknagelung
TEN	Titanium Elastic Nail (für ESIN)
N.	Nervus
M.	Musculus
z.B.	zum Beispiel
etc.	et cetera
bzw	Beziehungsweise
SRN	Superficial radial nerve, Nervus radialis superficialis
sig.	Signifikanz
St. dev.	Standard deviation, Standardabweichung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung des Durchleuchtungsbedarfs auf die einzelnen Operationsschritte (1)	37
Abbildung 2. Komplikationen nach elastisch stabiler intramedullärer Marknagelung modifiziert nach Jubel et al. (2)	38
Abbildung 3. Verteilung von Geschlecht und Handseite der anatomischen Präparate	42
Abbildung 4. Präparat eines linken Unterarmes mit Verlauf des N. radialis superficialis jeweils in Bezug zum <i>Processus styloideus radii</i> (grüner Pin): (a) Austritt aus dem <i>M. brachioradialis</i> , (b) Aufzweigung des Nervs, (c) volarer Nervenast, (d) dorsaler Nervenast.	43
Abbildung 5. Schema der distalen Radiusepiphyse. (b) definiert die Breite der Epiphysenfuge; (h1) definiert die Höhe der Epiphyse als Abstand zwischen <i>Processus styloideus radii</i> und Epiphysenfuge; (h2) repräsentiert in den Röntgenaufnahmen die Epiphysenhöhe.	44
Abbildung 6. MRT- Aufnahme (T1, coronar) der rechten Hand eines 2- jährigen Kindes. (c) <i>Os capitatum</i> (verknöchertes Anteil), (e) Epiphysenfuge des distalen Radius mit Spitze des <i>Processus styloideus radii</i> (unverknöchert)	45
Abbildung 7. Verteilung von Geschlecht und Seite	46
Abbildung 8. Handgelenksröntgen (a.p.) von 2-jährigen, 5- jährigen, 9- jährigen und 14- jährigen Kindern. (h2) Abstand <i>Os capitatum</i> zur Epiphysenfuge, repräsentiert die Epiphysenhöhe.	47
Abbildung 9. Beziehung zwischen der Radiuslänge und dem Abstand vom Styloid zur Gabelung des SRN mit dessen Regressionsgerade (Konfidenzintervalle 95%).	50
Abbildung 10. Verteilung der Epiphysenhöhen	52
Abbildung 11. Regressionsgerade. Positive Korrelation zwischen Alter und Epiphysenhöhe	53
Abbildung 12. Mittlere Epiphysenhöhe in den jeweiligen Altersgruppen. Sowohl bei den Mädchen als auch bei den Jungen ist eine positive Korrelation zwischen Alter und Epiphysenhöhe zu erkennen.	54

Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung des Durchleuchtungsbedarfs auf die einzelnen Operationsschritte (1)	37
Abbildung 2. Komplikationen nach elastisch stabiler intramedullärer Marknagelung modifiziert nach Jubel et al. (2)	38
Abbildung 3. Verteilung von Geschlecht und Handseite der anatomischen Präparate	42
Abbildung 4. Präparat eines linken Unterarmes mit Verlauf des N. radialis superficialis jeweils in Bezug zum <i>Processus styloideus radii</i> (grüner Pin): (a) Austritt aus dem <i>M. brachioradialis</i> , (b) Aufzweigung des Nervs, (c) volarer Nervenast, (d) dorsaler Nervenast.	43
Abbildung 5. Schema der distalen Radiusepiphyse. (b) definiert die Breite der Epiphysenfuge; (h1) definiert die Höhe der Epiphyse als Abstand zwischen <i>Processus styloideus radii</i> und Epiphysenfuge; (h2) repräsentiert in den Röntgenaufnahmen die Epiphysenhöhe.	44
Abbildung 6. MRT- Aufnahme (T1, coronar) der rechten Hand eines 2- jährigen Kindes. (c) <i>Os capitatum</i> (verknöchertes Anteil), (e) Epiphysenfuge des distalen Radius mit Spitze des <i>Processus styloideus radii</i> (unverknöchert)	45
Abbildung 7. Verteilung von Geschlecht und Seite	46
Abbildung 8. Handgelenksröntgen (a.p.) von 2-jährigen, 5- jährigen, 9- jährigen und 14- jährigen Kindern. (h2) Abstand <i>Os capitatum</i> zur Epiphysenfuge, repräsentiert die Epiphysenhöhe.	47
Abbildung 9. Beziehung zwischen der Radiuslänge und dem Abstand vom Styloid zur Gabelung des SRN mit dessen Regressionsgerade	50
Abbildung 10. Verteilung der Epiphysenhöhen	52
Abbildung 11. Regressionsgerade. Positive Korrelation zwischen Alter und Epiphysenhöhe	53
Abbildung 12. Mittlere Epiphysenhöhe in den jeweiligen Altersgruppen. Sowohl bei den Mädchen als auch bei den Jungen ist eine positive Korrelation zwischen Alter und Epiphysenhöhe zu erkennen.	54

1 Einleitung

Diaphysäre Unterarmfrakturen zählen bei Kindern zu den häufigsten Frakturen. Ein Viertel aller Extremitätenfrakturen betreffen den Unterarm. Davon entfallen 50-80% auf das distale, 15-20% auf das mittlere und nur 3-7% auf das proximale Drittel. Grünholzfrakturen machen dabei 30-50% aus. (4, 3) Es handelt sich zu einem Großteil um unkomplizierte Verletzungen, die in konservativer Therapie mittels Reposition und Gipsschienung versorgt werden. Durch die Potenz des kindlichen Skeletts zur Spontankorrektur, die besonders bei Kindern unter zehn Jahren ausgeprägt ist, werden oft große Achsenfehlstellungen von selbst korrigiert und es kommt zu einer folgenlosen Ausheilung. Allerdings können nicht mehr kompensierbare oder nicht korrigierte Achsenfehlstellungen, insbesondere im proximalen Anteil oder eine Einengung des interosseären Raumes zwischen Ulna und Radius irreversible Funktionseinschränkungen, insbesondere der Pro- und Supination nach sich ziehen. Es ist daher wichtig, nicht akzeptable Achsenfehlstellungen oder instabile Frakturen zu erkennen und diese mit operativen Verfahren zu stabilisieren, sodass Funktionseinschränkungen vermieden werden. So sollte es nach Möglichkeit gleich bei der Primärversorgung zu einer definitiven Versorgung kommen, da mehrfache Repositionsversuche infolge einer Redislokation nach primär konservativer Behandlung zu einem funktionell schlechteren Ergebnis führen. In den letzten Jahren hat sich für diese Indikationen speziell die Osteosynthese mittels elastisch- stabilen intramedullären Marknagels (ESIN) etabliert. Die von Prevot, Lescombes und Metaizeau entwickelte Technik ist minimal invasiv, komplikationsarm und wird den pathophysiologischen Ansprüchen dieses Frakturtyps gerecht. Die geschlossene Reposition und die intramedulläre Platzierung des Implantats erfordern jedoch eine intraoperative Durchleuchtung mittels Bildwandler. Dieser verursacht eine nicht unerhebliche Strahlenbelastung für die jungen Patienten und das Operationspersonal. Daher sollten die Durchleuchtungszeiten so niedrig wie möglich gehalten werden.

Der erste Teil dieser Arbeit setzt sich mit Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter und deren Therapiemöglichkeiten mit Fokus auf die intramedulläre Marknagelung auseinander. Der zweite Teil zeigt die Untersuchungsergebnisse über den Verlauf

des N. radialis superficialis und die Größe der distalen Radiusepiphyse. Durch die biometrischen Daten der Insertionsstelle für den ESIN des Radius soll in Zukunft die Durchleuchtungszeit zum Aufsuchen der Insertionsstelle eingespart werden können, jedoch ohne Risiko, dabei Nervenstrukturen oder die Epiphyse zu verletzen.

1.1 Anatomie des Unterarmes

Um die Pathomechanismen von Unterarmfrakturen zu verstehen, sowie eine korrekte Behandlung durchzuführen, ist es notwendig, sich zuerst mit der Anatomie (unter Berücksichtigung der einzelnen Entwicklungsphasen) auseinander zu setzen. Dabei sind die beiden Unterarmknochen nicht getrennt zu betrachten. Sie bilden vielmehr eine funktionelle Einheit, die, verbunden durch die *Membrana interossea* distal mit den Handwurzelknochen und proximal mit dem Oberarmknochen artikulieren. Für Therapie und Diagnostik ist es daher wichtig, auch die angrenzenden Gelenke, den interosseären Raum, sowie das Zusammenspiel mit der Muskulatur mit einzubeziehen.

1.1.1 Radius und Ulna

- Radius

Der Radius ist ein gebogener Knochen, der in maximaler Supination einen nach radial konvexen Bogen bildet und damit die interosseäre Membran aufspannt. Sein schmaler proximaler Anteil weist einen zylindrischen Querschnitt auf und verbreitert sich nach distal zu einem dreieckigen bis viereckigen Querschnitt. Die distale und proximale Epiphyse sind durch den Radiusschaft verbunden. Das proximale Ende, *Caput radii* bildet die Gelenkspfanne (*Fovea articularis*) für das *Capitulum humeri*. Die Seiten des kreisrunden *Caput radii* bilden die *Circumferentia articularis*, die Drehbewegungen zwischen Radius und *Incisura radialis ulnae* und *Lig. anulare radii* zulässt. Distal davon findet sich das schlanke *Collum radii* und am Übergang zum Radiusschaft die *Tuberositas radii*, die der Sehne des *M. Biceps brachii* als Ansatz dient und als eine der wenigen „Landmarks“ am Unterarm gilt (4). Das *Corpus radii* bildet weiter distal drei

Flächen aus, *Facies anterior, posterior und lateralis*. Radial stoßen die Flächen eher rund aneinander, ulnar laufen sie spitz zum *Margo interosseus* zusammen, an dem die *Membrana interossea* inseriert. Diese Membran verbindet Ulna und Radius und dient zur Kraftübertragung, als Muskelansatz und verhindert Verschiebungen in longitudinaler Richtung. Zu seinem distalen Ende hin verbreitert sich der Radius und wird unregelmäßig vierkantig. Dorsal liegen mehrere Rinnen, in der die Extensorsehnen laufen. Besonders gut tastbar ist das *Tuberculum dorsale (Tuberculum Listeri)*, das der langen Daumenstreckersehne als Widerlager dient. Das distale Ende besitzt zwei Gelenksflächen. Die *Incisura ulnaris* bildet mit der *Circumferentia articularis* des *Caput ulnae* das distale Radioulnargelenk. Die *Facies articularis carpea* hat gelenkigen Kontakt mit den Handwurzelknochen *Os scaphoideum* und *Os lunatum* (4, 5).

Der Radius bietet nur wenige tastbare Anhaltspunkte, da er größtenteils von Muskulatur überdeckt wird. Proximal ist das *Caput radii* zu tasten, distal findet man auf der radialen Seite den Griffelfortsatz (*Processus styloideus*) und dorsal das *Tuberculum listeri*.

- Ulna

Wie auch der Radius ist die Ulna ein gebogener Knochen. Sie weist in ihrem mittleren Schaftbereich durch die dreieckige Form ebenfalls drei Flächen auf. Diese laufen radial zum *Margo interosseus* zusammen, der die Ulna mit dem Radius durch die *Membrana interossea* verbindet. Am proximalen Ende findet man zwei Gelenksflächen, die zangenförmige *Incisura trochlearis* für die *Trochlea humeri*, sowie die *Incisura radialis ulnae*, die mit der *Circumferentia articularis radii* und dem *Lig. anulare radii* das proximale Radioulnargelenk bildet. Die *Incisura trochlearis* bildet sich aus dem *Olecranon* (Ansatz des *M. triceps brachii*) und dem *Processus coronoideus*. Unterhalb davon liegt die *Tuberositas ulnae*, Ansatz des *M. brachialis*. Das distale Ende bildet das *Caput ulnae*, das dorsal ebenfalls in einen *Processus styloideus* ausläuft. Die *Circumferentia articularis* bildet die korrespondierende Gelenksfläche für die *Incisura ulnaris radii* und ergeben zusammen das distale Radioulnargelenk. Ein *Discus triangularis* verhindert den direkten Kontakt der Ulna mit dem Handwurzelgelenk (5, 4).

Im Gegensatz zum Radius ist die Ulna durch den *Margo medialis* vom *Olecranon* bis zum *Processus styloideus* auf seiner ganzen Länge tastbar. Das *Caput ulnae*

und dessen *Processus styloideus* sind distal als prominente Vorwölbung unter der Haut zu tasten.

- Periost

Das Periost ist die bindegewebige Hülle des Knochens und ist fest mit ihm verwachsen. Sie umgibt den Knochen mit Ausnahme der Gelenksflächen. Die innere Schicht ist stark innerviert und gut durchblutet. Kommt es zur Fraktur des Knochens, setzt die Frakturheilung durch intensive Proliferation von Vorläuferzellen im Periost und Endost des Frakturareals ein (6). Eine Schonung des Periosts im Frakturareal wirkt sich daher positiv auf den Heilungsprozess aus. Kindliche Knochen besitzen ein sehr dickes, pluripotentes Periost, das einerseits die Fraktur mechanisch stabilisiert, und andererseits zu einer schnellen Heilung führt (4).

- Bewegungsumfang

Die normale Ellenbogenachse bei ausgestrecktem Unterarm in Supination beträgt bei Männern etwa 10° valgus, bei Frauen etwa 20° valgus. Es gibt jedoch deutliche individuelle Unterschiede, bei Mädchen im Wachstum sind selbst 30° valgus noch normal, Varusstellungen sind hingegen immer pathologisch. Achsenabweichungen können zwar kosmetisch stören, verursachen jedoch meist keine Schmerzen (7). Das normale Bewegungsausmaß des Ellbogens beträgt $160/0/0^\circ$. Bei Frauen und Mädchen findet man häufig eine Hyperextension $160/0/15^\circ$.

Pro- und Supination erreichen durch Einbeziehung des Handgelenks ein Bewegungsausmaß von $90/0/90^\circ$. Die Umwendbewegung des Unterarms ist eine fast ausschließlich dem Menschen zustehende Bewegung. Der Radius rotiert um seine Längsachse. Die Ulna führt eine Lateralisation, welche eine Abduktions-Extensions- Adduktionsbewegung darstellt, aus. Sie kann auch als annähernd halbkreisförmige Bewegung beschrieben werden, wobei keine Rotation stattfindet (4). Wichtig für die Frakturheilung ist daher, dass die relative Lage von Ulna und Radius wieder hergestellt wird, der interosseäre Raum also erhalten bleibt, um die Pro- und Supinationsfähigkeit zu erhalten. Bei der ESIN Versorgung ist dies durch die Dreipunktstützung und die elastische Spannung des Implantats gegeben (8–10, 3, 11, 12). Bereits eine Abnahme von 4° des radialen Bogens führt bei Erwachsenen zu einem Funktionsverlust von 20% (4). Obwohl der kindliche Knochen ein erhebliches Potential zur Spontankorrektur besitzt, bis zum 10.

Lebensjahr wird eine Spontankorrektur bei Achsenfehlstellungen bis 10° angegeben, scheinen sich Frakturen des diaphysären Unterarmschafts, die den interosseären Raum einengen, nicht zu korrigieren (28). Da diese Fehlstellungen zu starken Bewegungseinschränkungen führen, ist eine frühzeitige operative Korrektur nötig (13–15, 12, 16, 17).

1.1.2 Nerven- und Gefäßversorgung des Unterarmes

Die Blutversorgung des Unterarmes wird durch *A. radialis* und *A. ulnaris* sowie die dazu korrespondierenden Venen gewährleistet. Diese entstehen nach Aufteilung der *A. brachialis* in der Ellenbeuge und anastomosieren an den Händen in Form eines oberflächlichen und tiefen Hohlhandbogens. Die Gefäße laufen zusammen mit Nervenbahnen in den Gefäß- Nervenstraßen. *A.* und *V. Radialis* ziehen gemeinsam mit dem *Ramus superficialis nervi radialis* nach distal. Als Leitstruktur gilt der *M. brachioradialis*. Die ulnare Gefäß- Nervenstraße setzt sich aus *A. und V. ulnaris* sowie dem *N. ulnaris* zusammen. Der *M. flexor carpi ulnaris* gilt dabei als Leitstruktur.

Die Innervation der oberen Extremität entspringt den Spinalnervensegmenten C5-Th1 und bildet gemeinsam den *Plexus brachialis*. Dieser verläuft zuerst als *Truncus superior, medius und inferior*. Die einzelnen Trunci formieren sich um die *A. axillaris* zu Fasciculi (*lateralis, medialis und posterior*) aus denen dann nach Abgabe der kurzen infraklavikulären Äste die großen Armnerven entstehen. *N. musculocutaneus* entsteht aus dem *Fasciculus lateralis* und versorgt Teile der Oberarmmuskulatur bevor er als sensibler Hautnerv (*N. cutaneus antebrachii lateralis*) endet. *N. Medianus* setzt sich aus den medialen und lateralen Faszikeln zusammen und ist eng mit dem *M. flexor digitorum superficialis* verwachsen. Durch seinen Verlauf unter dem *Lig. carpi transversum* erhält der *N. medianus* beim Karpaltunnelsyndrom klinische Relevanz. Ebenfalls aus dem medialen Faszikel entsteht der *N. ulnaris*, der zuerst dorsal der *A. brachialis* nach distal zieht. Nach dem Durchtritt des *Septum intermusculare mediale* läuft der Nerv unmittelbar unter der Haut im *Sulcus nervi ulnaris* hinter dem medialen *Epicondylus humeri*. Am Unterarm ist er dann zwischen den zwei Köpfen des *M. flexor carpi ulnaris* anzutreffen (18).

Der *N. radialis* ist insofern von klinischer Bedeutung, da sein Ramus superficialis sowohl durch traumatische Verletzungen des Unterarms, aber auch leicht iatrogen Schaden nimmt. Der *Ramus superficialis nervi radialis* ist der am dritthäufigsten verletzte periphere Nerv. Dies kann bei Frakturen, Riss-Quetschwunden, Kompression (z.B. durch Handschellen) oder aber auch iatrogen im Rahmen von Operationen (perkutane Kirschner- Draht- Osteosynthese, ESIN, Plattenosteosynthese, Handgelenksoperationen etc.), Punktionen der *V. cephalica* oder bei der Gewinnung der *A. radialis* für Bypass Operationen der Fall sein (19). Der *N. radialis* ist die unmittelbare Fortsetzung des *Fasciculus posterior* und verläuft im *Sulcus n. radialis* schraubig auf der Dorsalseite des *Humerus*. Im „Radialistunnel“ zwischen *M. brachialis* und *M. brachioradialis* erreicht der Nerv schließlich die Ellenbeuge, wo er sich in einen Ramus profundus und in einen Ramus superficialis aufteilt. Der Ramus profundus durchdringt den *M. supinator* „Frohs’sche Arkade“ und endet als dünner *N. interosseus posterior*. Der Ramus superficialis verläuft weiter am Unterarm gemeinsam mit der *A. radialis* entlang des *M. brachioradialis*. Im distalen Drittel tritt er unter dem *M. brachioradialis* hervor und verläuft dann direkt unter der Haut auf der radialen Seite des Radius, um sich dann kurz vor dem Handgelenk aufzuteilen. Ein Ast schwenkt auf die volare Handfläche zur sensiblen Versorgung der radialen Seite des Daumens. Der restliche Anteil endet auf dem Handrücken als sensibler Hautast der dorsalen Ränder von Zeigefinger und der radialen Hälfte des Mittelfingers. Sein Versorgungsgebiet sind also die dorsalen Handflächen der radialen zweieinhalb Finger. Bei Läsionen kommt es zu Sensibilitätsausfällen im Bereich des autonomen Versorgungsgebiets zwischen Daumen und Zeigefinger. Auf Grund der ausgeprägten Anastomosen in diesem Gebiet, kommt es meist nur temporär zu einem Ausfall, da die Versorgung des Gebiets durch die angrenzenden Nerven dann übernommen wird (18, 5, 20, 21).

1.1.3 Muskeln des Unterarms

Es soll hier nur auf die wichtigsten Aspekte der Unterarmmuskulatur im Zusammenhang mit der Frakturversorgung eingegangen werden. Zum einen dient die Muskelschicht als elastische Schienung der Knochen (10), zum anderen beeinflussen sie durch Zug die Position der Fragmente. Dies ist vor allem bei den

unterschiedlichen Repositionstechniken von Bedeutung. Die dislozierenden Kräfte der Muskeln können auch bei der Gipsruhigstellung noch auftreten, was dann zu einem sekundären Abkippen der Fraktur führt. Dabei wird die größte Bedeutung der Lokalisation der Fraktur im Verhältnis zum Insertionspunkt des *M. pronator teres* beigemessen. Weitere Faktoren, die die Position der Fragmente beeinflussen sind die verschiedenen Winkelstellungen der Fragmente, auf die jeweils unterschiedliche Muskelzüge wirken, sowie die Beugung des Ellbogens (unterschiedliche Spannung der Bizepssehne) (4, 22).

1.1.4 Entwicklung und Wachstum

Knochen kann auf zwei verschiedene Arten entstehen. Einerseits durch direkte oder desmale Ossifikation, wo es zur Mineralisierung der von Osteoblasten sezernierten Matrix kommt, andererseits durch den Ersatz von Knorpelmatrix, genannt enchondrale oder indirekte Ossifikation. Nur wenige Knochen entstehen durch desmale Ossifikation. Dies sind die Knochenplatten des Schädeldachs, Mandibula und Maxilla, sowie die Clavicula. Start der Knochenbildung ist ein primäres Ossifikationszentrum. Das besteht aus einer mesenchymalen Verdichtungszone in der sich Mesenchymzellen zu Osteoblasten differenzieren. Die Matrix verkalkt schließlich und es entsteht Geflechtknochen. Nach und nach verschmelzen die Ossifikationszentren und das ursprüngliche Bindegewebe dazwischen (z.B. Fontanellen) wird ersetzt (6).

Bei der enchondralen Ossifikation wird ein Modell des entstehenden Knochens aus hyalinem Knorpel durch Knochensubstanz ersetzt. Durch dieses Prinzip entstehen die langen und kurzen Röhrenknochen. Man kann dabei zwei Phasen unterscheiden:

In der ersten Phase hypertrophieren die Chondrozyten des Modells und gehen anschließend zu Grunde. Dabei lassen sie Lakunen zurück in die Blutkapillaren einspritzen und Knochenstammzellen sich ansiedeln. So entsteht ein primäres Verknöcherungszentrum. Es bildet sich eine diaphysäre Knochenmanschette, die sich in Richtung der Epiphysen ausdehnt. Gleichzeitig wird im Knochenzentrum durch Osteoklasten Material abgebaut, sodass die Knochenmarkshöhle entsteht. Parallel dazu kommt es zu einer Umwandlung des Geflechtknochens in den stabileren Lamellenknochen.

In der späteren zweiten Phase entstehen an den Epiphysen sekundäre Ossifikationszentren. Das Auftreten dieser Ossifikationszentren geschieht nicht gleichzeitig (siehe unten). Nach radiärer Ausbreitung der Verknöcherungszone bleibt hyaliner Knorpel nur mehr an zwei Stellen über. Gelenksknorpel, der das ganze Leben lang besteht und die Epiphysenfuge (oder –platte), die die Epiphyse mit der Diaphyse verbindet und für das Längenwachstum des Knochens verantwortlich ist. Wachstum und Schluss der Epiphysenfugen unterliegen einer komplexen hormonellen Steuerung. Nach Verknöcherung der Fugen (etwa bis zum 20. Lebensjahr) findet kein Längenwachstum mehr statt. Zunahme an Dicke hingegen schon, da dies durch endostale Resorption und periostale Apposition passiert (6).

Bereits in der achten Schwangerschaftswoche ossifizieren Radius und Ulna von primären Ossifikationszentren aus. Die sekundären Ossifikationskerne der distalen radialen Physe erscheinen bei Mädchen ab dem fünften Lebensmonat, bei Jungen etwas später. Eine Ossifikation der distalen ulnaren Epiphyse ist bei beiden Geschlechtern nicht vor dem sechsten Lebensjahr zu erwarten. Der Schluss der distalen radialen Epiphysenfuge findet bei Mädchen im Alter von 15, bei Jungen im Alter von 16–19 Jahren statt. Zwischen dem 16. und 17. Lebensjahr verschließt sich bei den Mädchen die distale ulnare Fuge, bei Jungen zwischen dem 17. und 18. Lebensjahr. Der proximale Epiphysenkern des Radius erscheint im 5. bis 7. Lebensjahr, der proximale Kern der Ulna im 9. bis 10. Lebensjahr. Zwischen dem 15. und 18. Lebensjahr verbinden sich bei beiden Geschlechtern die Fugen mit dem Schaft (4).

Bislang ist noch nicht eindeutig geklärt, in wie weit es sich beim Processus styloideus um einen eigenen Knochenkern handelt (4). Eine radiologisch sichtbare Verknöcherung bis zur Spitze ist erst ab dem 14. Lebensjahr erkennbar.

Die einzelnen Epiphysenfugen tragen einen unterschiedlichen Anteil am Längenwachstum der langen Röhrenknochen bei. Am Oberarm übernimmt die proximale Epiphyse 80% des Wachstums. Am Unterarm ist es genau umgekehrt. Hier tragen die distalen Epiphysen von Radius und Ulna 80% am Knochenwachstum bei. Aus diesem Grund korrigieren sich handgelenksnahe Achsenabweichungen besser als bei Frakturen des Schafts, der nur wenig Wachstum aufweist (23, 3, 24).

Im Laufe der Kindesentwicklung gibt es unterschiedliche Häufungen für die einzelnen Frakturtypen. Für Unterarmschaftfrakturen gibt es bei Jungen und Mädchen unterschiedliche Peaks. Mädchen haben einen Gipfel bei 5-6 Jahren, Jungen einen ersten Gipfel im Alter von 9 und einen zweiten im Alter von 14 Jahren. Monteggia- Frakturen treten gehäuft zwischen 5-9 Jahren auf, Galeazzi-Frakturen erst später zwischen 9-14 Jahren (4).

1.2 Besonderheiten von kindlichen Frakturen

Bei der kindlichen Frakturheilung kann man einige Besonderheiten beobachten, so dass sich die Behandlung grundsätzlich zur Versorgung von Erwachsenen unterscheidet. So kommt es beim noch im Wachstum befindlichen Skelett garantiert zu einer Heilung, die auch um einiges schneller abläuft als bei Erwachsenen. Spontane Korrekturmechanismen von Achsknicken und Seit-zu-Seit-Verschiebungen bis zum 12. Lebensjahr machen konservative Behandlungen zur Therapie der Wahl (25).

Auf einige Phänomene, die speziell im Rahmen des Knochenwachstums auftreten, soll nun etwas näher eingegangen werden.

1.2.1 Spontanekorrektur

Die Wachstumsphase des knöchernen Skeletts lässt sich in drei Phasen einteilen. Die eigentliche Wachstumsphase ist genetisch determiniert und ist in etwa mit 12 Jahren beendet. Dieser folgt eine kurze prämatüre Ruhephase. Mit der anschließenden Verschlussphase endet das Längenwachstum. Dies bewirkt das Übergreifen der Mineralisationsvorgänge auf den epiphysären Teil der Epiphysenfuge (26).

Klinisch relevante Spontankorrekturen von Achsenabweichungen oder Seit-zu-Seit-Verschiebungen sind praktisch nur in der ersten Wachstumsphase zu erwarten. Daher vertritt die Mehrheit der Autoren die Ansicht, dass spontane Korrekturen nur bis zu einem Alter von 10-12 Jahren zuverlässig erfolgen (26, 17, 27, 16, 4, 3). Neben dem Alter des Kindes bestimmen noch funktionelle Beanspruchung (Abweichungen in Hauptbewegungsrichtung werden durch einen

effizienteren funktionellen Reiz besser korrigiert), sowie die Lokalisation der Fraktur am Knochen das Korrekturpotential. Frakturen nahe von Fugen mit hochprozentigem Wachstumsanteil besitzen eine höhere Korrekturpotenz (26, 4) (vgl. Kapitel 1.1.4).

Intraartikuläre Frakturen (Salter-Harris III, IV) müssen jedoch immer möglichst korrekt anatomisch rekonstruiert werden, da es sonst zu einer frühzeitigen Arthrose des betroffenen Gelenks kommt.

Im Gegensatz zu Frakturen im distalen Unterarm (Achsknicke von bis zu 50° bei Kindern unter 10 Jahren werden spontan korrigiert) ist die Spontankorrektur im proximalen und distalen Drittel gering. Für Frakturen des diaphysären Unterarms hat sich daher der Standard etabliert, bei Kindern unter 10 Jahren einen Achsknick von bis zu 10° zu tolerieren, da es hier noch zu einer Korrektur kommt (28, 26). Bei älteren Kindern sind Fehlstellungen von mehr als 10° zu vermeiden, da eine ausreichende Spontankorrektur nicht mehr zu erwarten ist und bereits kleine Achsenfehlstellungen in diesem Bereich zu einer Einschränkung von Pro- und Supination führen (13). Bei Frakturen, die den interosseären Raum einengen, können auch schon geringere Fehlstellungen die Funktion beeinträchtigen.

Über Rotationsfehlstellungen lässt sich keine Angabe zu einer Spontankorrektur machen. Im Laufe des Wachstums kommt es zu physiologischen Detorsionsvorgängen der Epiphyse gegenüber dem Schaft. Es können jedoch keine Angaben darüber gemacht werden, in wie weit Fehlrotationen ein Stimulus dafür sind. Ein anderes Problem bei Rotationsfehlern ergibt sich dadurch, dass isolierte Torsionen radiologisch erst ab einer Größe von 30° sichtbar sind. Es hat sich jedoch gezeigt, dass geringe Rotationsfehler klinisch keine Einschränkungen verursachen (4, 26).

1.2.2 Korrekturmechanismen:

Nachdem sich Geflechtknochen in Form eines Kallus gebildet hat, kommt es zum Remodeling, wodurch die ursprüngliche Form des Knochens wiederhergestellt wird. Auf der konkaven Seite mit der größten Druckbeanspruchung kommt es zur Knochenaposition, wobei gleichzeitig dazu der Knochen auf der konvexen Seite der größten Zugbeanspruchung resorbiert wird. Neben diesen Mechanismen führt auch ein unregelmäßiges Längenwachstum der Epiphysenfugen zu einer

Achsenkorrektur. Die Fuge richtet sich dabei senkrecht zur resultierenden Druckkraft aus. Isolierte Seit-zu-Seit-Verschiebungen korrigieren sich nur durch die periostalen und endostalen Mechanismen von Knochenapposition an der Druckseite und Abbau an der Zugseite.

Posttraumatische Verkürzungen können ebenfalls durch spontane Korrekturmechanismen ausgeglichen werden. Durch die Remodelingvorgänge kommt es zur Hyperämie der verletzten Extremität, sowie zu Freisetzung verschiedener Mediatoren. Das führt zu einer gesteigerten Proliferation der Epiphysenfugen und somit zur Verlängerung der betroffenen Extremität. Das Ausmaß der Verlängerung ist nicht exakt kalkulierbar (29, 30). Es konnte jedoch gezeigt werden, dass prolongiertes Remodeling sowie Mehrfachrepositionen und Operationen zu einer verlängerten Ausschüttung von Mediatoren und dadurch zu vermehrtem Längenwachstum führen (31). Zur Prävention von stimulativen Wachstumsstörungen wird daher eine primäre definitive Therapie (Vermeidung von Mehrfachrepositionen) sowie eine möglichst anatomisch korrekte End-zu-End-Position der Fragmente gefordert (32, 4).

Wachstumsstörungen

Stimulative Wachstumsstörungen sind prinzipiell nach jeder Fraktur zu erwarten. Dabei kommt es auch darauf, in welche Wachstumsphase die Fraktur fällt. Bis zum 10. Lebensjahr ist mit einer Verlängerung der Extremität zu rechnen, danach eher mit einer Verkürzung und das unabhängig von der Art der Therapie. Bei Frakturen in der prämaturnen Phase kommt es zu einer Wachstumsstimulation mit anschließendem frühzeitigem Fugenschluss. Fällt die Fraktur direkt in die Verschlussphase endet dies in einer geringgradigen Verkürzung der Extremität. Als Ursache für die Wachstumsstimulation postuliert man einerseits die reaktive Hyperämie an der benachbarten Fuge (33), andererseits bestimmte systemisch wirkende Faktoren (Osteokalzin, alkalische Phosphatase, verschiedene Kollagentypen, Leptin, IGF-I, TGF), die an der Epiphysenfuge eine mitogene Wirkung haben. Solche Mitogene werden posttraumatisch durch mechanische Reize in Form von mikrofragmentären Bewegungen am Bruchspalt und der lokalen dynamischen Belastung am Frakturspalt induziert (34, 4, 26).

Um überschießendes Wachstum nach traumatischen Frakturen möglichst zu reduzieren, sollte so weit möglich bereits eine definitive Primärtherapie erfolgen, da sich gezeigt hat, dass das Ausmaß des Wachstumsüberschusses mit der Häufigkeit der Repositionsmanöver korreliert. So sind Manipulationen posttraumatisch nach dem fünften Tag zu vermeiden (4). Mit einer Rolle spielt auch die Dauer der Reparationsvorgänge. Bei idealer Frakturposition kommt es selten zu einer Verlängerung von mehr als 0,5 cm (29). Deshalb ist man von der Idee einer Verkürzungsstellung der Bruchfragmente bei konservativer Therapie wieder abgewichen. Entscheidend ist auch die Art der endgültigen Versorgung. Bei der Plattenosteosynthese ist die Längenzunahme, verglichen mit konservativer Versorgung signifikant gesteigert, die intramedulläre Schienung weist gleichen bis geringeren Zuwachs im Vergleich zur konservativen Therapie auf (35). Abschließend muss gesagt werden, dass Längenalterationen der oberen Extremität eine untergeordnete Rolle spielen.

1.2.3 Hemmende Wachstumsstörung

Ein Wachstumsstop bei Frakturheilungen ist derzeit nicht vorhersehbar und schicksalhaft. Die Primärtherapie nimmt keinen Einfluss darauf. Eine regelmäßige Kontrolle ist daher posttraumatisch im Abstand von einem halben Jahr, einem Jahr und in zwei Jahren notwendig. Auch bei blandem Heilungsverlauf besteht noch die Chance, dass es in der späten Adoleszenz noch zu einem plötzlichen Wachstumsstop kommt.

Frühzeitiger Epiphysenschluss kann sekundär durch lokale Traumen, Radiation, Verbrennung, Infektion, lange Gipsruhigstellungen, Durchblutungsstörungen und lange Immobilisationsdauer im Bett verursacht werden (36). Ein vollständiger Epiphysenschluss tritt selten und hauptsächlich nach schweren Weichteil- und Quetschverletzungen auf, wurde aber auch schon nach metaphysären Frakturen beobachtet. Als Ursache wird eine vollständige Störung des epiphysären Gefäßsystems angenommen. Das Ausmaß der Längenalteration ist vom Alter des Patienten zum Unfallzeitpunkt abhängig (4). In seltenen Fällen kann es an der oberen Extremität (5%) nach dislozierten, epiphysennahen, metaphysären Frakturen aber auch nach dislozierten Epiphysenfrakturen oder Epiphysenlösungen zu einem partiellen Verschluss der Epiphysenfugen durch

Brückenbildung kommen (26). Diese kann bestehen bleiben oder durch das weitere Wachstum wieder gesprengt werden. Bleibt die Wachstumsstörung bestehen, droht je nach Lokalisation eine Deformität der Achsen oder der Gelenke (4).

1.2.4 Grünholzfraktur

Grünholzfrakturen machen 30-50% der Frakturen im Schaftbereich aus.

Bei der Grünholzfraktur kommt es nur zu einer unvollständigen Fraktur des Knochens, das Periost auf der konkaven Seite ist noch intakt, die konvexe Seite ist eingerissen. Diese Frakturform ist typisch für das Kindesalter, in dem die Knochensubstanz noch nicht vollständig ausgehärtet ist und der Belastung durch Biegung nachgibt. Dabei wird der Zug auf der konvexen Seite so groß, dass sie schließlich einreißt.

Ist bei einer Grünholzfraktur das Periost auf einer Seite intakt, so sind derartige Brüche zwar bedingt stabil und können sich nicht verkürzen, neigen aber zu Achsenabweichungen und Refrakturen. Die Refrakturrate liegt bei Grünholzfrakturen zwischen 5 und 25% und sind nicht von der Dauer der Ruhigstellung und der primären Achsenabweichung abhängig (4).

Das intakte Periost fungiert als Zuggurtung und bewirkt auf der konkaven Seite eine periostale Überbrückung des Frakturspalts. Das Resultat ist eine schnelle Heilung. Die unterbrochene Seite ist charakterisiert durch verzögerte Konsolidierung (16). Diese Form der unausgewogenen Konsolidierung erhöht das Risiko einer Refaktur (4). Davon spricht man, wenn es zur erneuten Fraktur kommt, welche innerhalb eines Jahres nach dem Unfall, meist ohne adäquates Trauma, an gleicher Stelle auftritt. Immerhin sind Konsolidierungsstörungen nach dislozierten Grünholzfrakturen die häufigste Ursache von Refrakturen im Kindesalter (3). Bei starker Achsenabweichung ist der Abheilungskallus zwar größer und die Gefahr einer Refaktur somit geringer, resultiert jedoch in funktioneller Einschränkung. Umgekehrt ist die Funktionseinschränkung bei geringer Achsenabweichung klein, durch geringere Kallusbildung kommt es jedoch zu einer nur ungenügenden Durchbauung und somit einem höheren Frakturrisiko. Erst wenn durch Kompression auch die Kortikalis der konvexen Seite in Kontakt kommt, kann die Fraktur allseitig adäquat konsolidieren (4).

Um diese Komplikationen zu vermeiden, gilt als Therapieempfehlung, bei Grünholz-Frakturen mit mehr als 20° Angulation bei der Reposition auch die federnde Gegenkortikalis zu brechen, um durch die höhere Instabilität eine bessere Kallusbildung zu induzieren (3). Dabei sollte das Periost nicht rupturiert werden, um eine Dislokation zu vermeiden. Falls die Fraktur dabei instabil werden sollte, ist für die weitere Behandlung wie bei primär instabilen Frakturen (Operation in gleicher Narkose) vorzugehen (16). Bei Frakturen mit einer Achsenabweichung von weniger als 20°, kann durch Gipskeilung versucht werden, die konvexe Seite der Kortikalis unter Kompression zu bringen (26). Insbesondere bei Grünholzfrakturen können sekundäre Fehlstellungen auftreten, die bis zum achten Tag durch Gipskeilung, erneute Reposition oder operatives Vorgehen korrigiert werden müssen (4). Die durchschnittliche Immobilisationsdauer beträgt für diaphysäre Grünholzfrakturen in Abhängigkeit vom Alter des Kindes 4-6 Wochen (3).

Grünholzfrakturen sind von sogenannten Wulstbrüchen bzw. Torusfrakturen zu unterscheiden. Durch Stauchungskräfte entsteht die typische Aufwulstung des Periosts. Die Frakturen sind meist nur wenig verschoben und bedürfen nur einer kurzzeitigen Ruhigstellung für 2-3 Wochen (16, 7).

1.3 Klassifikation

Für die Versorgung diaphysärer Unterarmschaftfrakturen ist eine vereinfachte Frakturklassifikation ausreichend. Im Hinblick auf die Therapie ist es sinnvoll, die Brüche anhand der Lokalisation, des Frakturtyps und des begleitenden Weichteilschaden einzuteilen. In Abhängigkeit von der Lokalisation kann in distal-metaphysäre Frakturen, Schafffrakturen des distalen, mittleren oder proximalen Drittels, oder in ellbogennahe Frakturen eingeteilt werden. Wie bereits darauf hingewiesen wurde, ist das für die Frakturheilung von Bedeutung, da die Chance auf Spontankorrektur abhängig vom Knochenabschnitt unterschiedlich verteilt ist. Sonderformen bilden Kombinationsverletzungen wie die Monteggia Läsion, bei der es zu einer Fraktur der Ulna mit gleichzeitiger Luxation des Radiusköpfchens kommt, und die seltenere Galeazzi- Läsion, bei der eine distale Radiusfraktur durch das Einreißen der Membrana interossea von einer (Sub-)Luxation des

distalen Radioulnargelenks begleitet wird (3). Deshalb sollten die benachbarten Gelenke stets in die Diagnostik miteinbezogen werden, um diese Luxationsverletzungen nicht zu übersehen.

An der Diaphyse können die Frakturtypen in vollständige Frakturen und Biegungsfrakturen eingeteilt werden. Vollständige Frakturen können weiter in Quer-, Schräg-, Torsions-, oder Trümmerfrakturen unterteilt werden. Die Einteilung der Biegungsfrakturen erfolgt in eine gestauchte Form (durch axiale Gewalteinwirkung), gebogene Form (Achsenabweichung meist unter 10°) und in die klassische Grünholzfraktur. Grünholzfrakturen machen im Schaftbereich 30-50% der Frakturen aus (4). Das Problem dieser Frakturform ist, dass das intakte Periost auf einer Seite die Fehlstellung elastisch fixiert. Bei inakzeptabler Fehlstellung oder falls es nicht gelingt, die gebrochene Kortikalis ausreichend unter Druck zu bringen, muss bei der Reposition die Gegenkortikalis komplett gebrochen werden.

Weichteilschäden lassen sich nach Gustilo (37) oder Oestern und Tscherne (38) einteilen. Frakturen mit schwerem Weichteilschaden stellen in der Regel eine Operationsindikation dar.

1.4 Versorgung von Unterarmfrakturen

Die adäquate Versorgung von Unterarmfrakturen im Kindesalter ist von vielen Faktoren abhängig: Alter, Lokalisation, Frakturtyp. Es handelt sich, abgesehen von Frakturen mit schwerem Weichteiltrauma, um eine gutartige Verletzung. Die Möglichkeit der spontanen Korrektur und die gute Heilungstendenz der sich im Wachstum befindenden Knochen liefern in den meisten Fällen gute Ergebnisse, egal durch welche Therapie, sodass es in der Regel zu einer vollständigen restitutio ad integrum kommen sollte (35, 3, 16, 4).

Bei Kindern sollte man bestrebt sein, bereits bei der Erstbehandlung den Bruch definitiv zu versorgen („primary definitive fracture care“) (20, 26, 39). Denn es wurde beobachtet, dass es nach mehrmaligen Repositionsmanövern auch bei korrekter anatomischer Position zu bleibenden funktionellen Defiziten bei Pro- und Supination kommen kann (3, 40, 13). Darum ist es entscheidend, diejenigen Frakturen herauszufiltern, die nicht durch eine konservativ- immobilisierende

Therapie behandelt werden können. In diesen Fällen sollte daher einer operativen Therapie der Vorzug gegeben werden gegenüber konservativen Therapieversuchen mit hohem Risiko einer Redislokation. Auch aus sozio-ökonomischen Gründen wird mittlerweile eine operative Versorgung der wiederholten Nachreposition nach Redislokation einer primär konservativ behandelten Fraktur vorgezogen. Weiters sollte die Potenz zur Spontankorrektur mit in das Behandlungskonzept einfließen. Abhängig von Lokalisation und Alter können so beispielsweise distale Frakturen in Bajonettstellung oder Achsenabweichung bis 50° nur durch Immobilisation behandelt werden, andererseits kann weiter proximal bei Einengung des interosseären Raumes um wenige Grad bereits eine Operation indiziert sein.

1.4.1 Diagnostik

Wegweisend sind meist Schmerzen und Funktionsverlust oder eine sichtbare Achsenabweichung. Bei der klinischen Untersuchung ist vor allem die Prüfung von peripherer Durchblutung, Motorik und Sensibilität wichtig, um Nerven- und Gefäßläsionen rechtzeitig zu erkennen und zu behandeln (41). Wichtig ist auch, vor allem bei stumpfen Weichteiltraumen, ein Kompartmentsyndrom auszuschließen. Meist passiert dies durch die klinische Beurteilung von Muskelkonsistenz, Schmerzen, Schwellung und Muskeldehnungsschmerz. Zur Primärdiagnostik sind Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen obligatorisch. Dabei müssen stets die benachbarten Gelenke mit abgebildet werden, da sonst Fehlstellungen der Achsen übersehen werden können. Vor allem bei isolierten Schaftfrakturen sollte besonderes Augenmerk darauf gelegt werden, um nicht eine Monteggia- oder Galeazzi-Verletzung zu übersehen. Schneidet die Verlängerung der longitudinalen Achse des Radius nicht das Capitulum humeri, gilt das immer als verdächtig für eine Monteggia- Läsion

(3, 4).

1.4.2 Konservative Therapie

Wann immer möglich, sollten Frakturen bei Kindern konservativ behandelt werden, was auch in 90% der Unterarmverletzungen erfolgreich der Fall ist. Indikationen

sind stabile Frakturen, die durch Reposition und Gipsschienung stabilisiert werden können, und die tolerierte Achsenabweichung (siehe Kapitel 1.2.1) nicht überschreiten (4).

Für eine konservative Therapie wird ein ungepolsterter Oberarmgips angelegt, der Ellbogen ist 90° gebeugt, Daumen zeigt zur Nase. Eine Polsterung erfolgt nur an den Abschlusskanten. Ist die Fraktur gut reponiert, sollte bei der Anformung des Gipsverbandes auf der Höhe der Fraktur eine dorsopalmare Kompression ausgeübt werden, sodass der Gips einen ovalen Querschnitt erhält. Das bewirkt ein Auseinanderweichen von Ulna und Radius und somit ein Aufspannen der interosseären Membran, was einerseits die Stabilität erhöht und andererseits spätere Einschränkungen der Umwendbewegung vermindert werden.

Der primär gespaltene Gips wird nach 1-2 Tagen zirkuliert und nach einer Woche unter Zug und Gegenzug gewechselt. Durch eine rasche Muskel- und Weichteilatrophie kann es nach 2-3 Wochen noch einmal nötig sein, den Gips zu wechseln. Im Röntgenbild ist das durch Luft zwischen Haut und Gips sichtbar. Wird dieser Zeitpunkt versäumt, kann es zu irreversiblen Achsenabweichungen kommen. Die durchschnittliche Immobilisationsdauer ist abhängig vom Alter und von der Art der Fraktur (Tabelle 1).

Tabelle 1. Immobilisationsdauer nach konservativer Therapie (3)

Durchschnittliche Immobilisationsdauer zur konservativen Behandlung kindlicher Unterarmfrakturen (in Wochen)			
	< 5 Jahre	5-10 Jahre	> 10 Jahre
Distale metaphysäre Frakturen			
○ Wulstbrüche	2	2	2-3
○ Grünholz- und dislozierte Frakturen	2-3	3-4	4-6
Diaphysäre Frakturen (Grünholz- und dislozierte Frakturen)	4	4-6	6
Monteggia-Läsionen (stabil)	4	4-6	6

Falls durch Dislokation die Indikation zur Reposition besteht, ist zuvor auf eine ausreichende Analgesie zu achten. Bei kleinen Kindern ist dazu fast immer eine kurze Vollnarkose notwendig, für ältere Kinder mit entsprechender Compliance kommen auch regionale Anästhesieverfahren wie Plexusanästhesie oder i.v.-Regionalanästhesie infrage. Da das funktionelle Ergebnis eng mit der Anzahl der

Redislokationen und den damit verbundenen Repositionsmanövern indirekt korreliert, sollte die Reposition so exakt wie möglich erfolgen (3). Gerade bei proximalen Frakturen wurde bereits darauf hingewiesen, dass auf Grund des geringen Korrekturpotentials schon wenige Grad Achsenabweichung zu einem eingeschränkten Bewegungsumfang führen (40). Lässt sich kein zufriedenstellendes Repositionsergebnis erzielen, sollte daher auf ein operatives Verfahren gewechselt werden, um ein sekundäres Abkippen und daraus folgende irreversible Achsenfehlstellungen zu vermeiden.

Eine konservative Versorgung von Monteggia- Frakturen ist abhängig von der Art der Ulnafraktur. Die Reposition des Radiusköpfchens in der Regel nur möglich, wenn es zu einer stabilen achsengerechten Reposition der Ulna kommt. Ansonsten droht eine Relaxation des Radiusköpfchens. Muss jedoch im Falle einer initial stabilen Grünholzfraktur die Gegenkortikalis zur Reposition ebenfalls durchbrochen werden, ist eine operative Stabilisierung mittels elastischem Marknagel nötig.

Galeazzi- Frakturen sind seltene Verletzungen des Radius. Eine konservative Therapie liefert hier gute Ergebnisse. Gelingt eine korrekte Reposition des Radius, stellt sich die Ulna spontan dazu ein. Für instabile Repositionen gilt jedoch auch hier, auf die üblichen Therapien zur Stabilisierung von Radiusfrakturen zurückzugreifen (4).

Auf die Therapie von Grünholzfrakturen wurde bereits eingegangen (Kapitel 1.2.4). Grünholzfrakturen werden zum Großteil konservativ versorgt. Es soll hier nochmals darauf hingewiesen werden, dass es hierbei jedoch unerlässlich ist, die gebrochene Kortikalis ausreichend unter Kompression zu bringen, da sonst Achsenfehlstellungen zurückbleiben. Gelingt dies nicht, muss auch die Gegenkortikalis (natürlich unter ausreichender Analgesie), möglichst unter Schonung der Knochenhaut, gebrochen werden, da die Fraktur ansonsten in die ursprüngliche Fehlstellung zurückfedert.

1.4.3 Operative Optionen

Zur operativen Versorgung von Unterarmfrakturen stehen heute eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verfügung. Eine der Prinzipien in der Kindertraumatologie ist die primär definitive Versorgung, so sollte bereits bei Reposition in Narkose die

Instabilität geprüft werden und gegebenenfalls bei Instabilität einer primär definitiven Versorgung der Vorrang gegeben werden. So werden dem Kind mögliche erneute Repositionen auf Grund sekundärer Dislokationen erspart und das Risiko einer funktionellen Einschränkung vermindert. Denn gerade bei proximalen Frakturen können schon eine geringe Achsenabweichung oder Einengung des interosseären Raumes in einer Funktionseinschränkung resultieren (4, 17, 13, 42, 40). Hahn et al. (3) sowie Weinberg (4) weisen darauf hin, dass die Notwendigkeit einer Nachreposition nach sekundärer Dislokation einer primär konservativ behandelten Fraktur mit einer erhöhten Rate an funktionellen Einschränkungen einhergehen. Daher ergeben sich für eine operative Intervention folgende Indikationen: instabile Frakturen, inakzeptable Achsenabweichungen ($> 10^\circ$ bei Kindern unter 10 Jahren, bei älteren Kindern bereits früher), offene Frakturen mit Nerven-, Gefäß-, oder Weichteilschaden, nicht reponierbare Frakturen und sekundär dislozierte Frakturen.

Stark dislozierte Frakturen oder Frakturen mit Gefäß-, und Nervenschäden stellen eine Notfallsindikation dar und erfordern eine sofortige Operation. Nur mäßig dislozierte Frakturen können auch am folgenden Tag unter Nüchternheit versorgt werden (4, 16, 43, 3, 26, 28).

1.4.3.1 ESIN

ESIN ist die Methode der Wahl in der Versorgung von instabilen Unterarmschaftfrakturen bei Kindern. (4) Die Methode ist nur minimal invasiv, was ein kosmetisch befriedigendes Ergebnis erzielt, und liefert exzellente Ergebnisse. Um von dieser Methode zu profitieren ist eine strenge Indikationsstellung und natürlich eine korrekte Operationstechnik Voraussetzung, die sich nach der Biomechanik der Fraktur richtet. Weiteres zur ESIN im folgenden Kapitel (1.5 ESIN Versorgung).

1.4.3.2 Fixateur Externe

Der Fixateur Externe hat sein Einsatzgebiet hauptsächlich in der Versorgung von offenen Frakturen (Grad II-III), Trümmerbrüchen und in der Primärversorgung von

Verletzungen mit schwerem Weichteilschaden. Zur Konsolidierung der Weichteile kann dabei eine gelenksübergreifende Montage vorteilhaft sein. Außerdem stellt er eine nützliche Ergänzung zur ESIN bei der Stabilisierung von distalen diaphysären bis metaphysären Brüchen dar. So kann auf den Fixateur Externe zurückgegriffen werden, falls das distale Frakturfragment zu kurz ist, um ausreichend durch einen intramedullären Nagel gehalten zu werden (16, 3).

Eine weitere Indikation für den Fixateur Externe ist die Korrektur von alten, nicht erkannten Monteggia- Läsionen. Die Ulna ist dabei verkürzt und in Fehlstellung konsolidiert. Durch eine Osteotomie und Kallusextraktion mittels Fixateur gelingt es, die relativ zu lange Speiche zu reponieren (4).

1.4.3.3 Kirschner Drähte

Perkutane Stabilisierung mit Kirschner Drähten eignet sich vor allem zur Versorgung distal gelegener Frakturen. Die Drähte werden in steilem Winkel transepiphysär eingebracht, sodass es zu einer Kreuzung der Drähte möglichst weit proximal des Bruchspalts kommt. Beim Einbringen der Drähte ist es wichtig, den engen Kontakt der Insertionsstelle zu Gefäßen und dem N. radialis superficialis, da diese durch das Drehmoment der Drähte leicht zu Schaden kommen können (44). Für diaphysäre Frakturen von Ulna und Radius ist das Verfahren jedoch ungeeigneter. Der Grund dafür liegt nach Battle et al. (45) im kleinen Durchmesser der Diaphyse, der die Osteosynthese mittels gekreuzter Kirschner Drähte erschwert. So kommt es in einer Untersuchung von Battle et al. (45) bei Osteosynthese mittels Kirschner Drähten leichter zu einer sekundären Dislokation der Fraktur. Weiters begünstigt die starre Drahtosteosynthese die Bildung von neuen Frakturlinien. Somit bleibt die Drahtosteosynthese Frakturen des distalen oder dia- metaphysären Anteils vorbehalten.

1.4.3.4 Plattenosteosynthese

Die Plattenosteosynthese wurde durch die intramedulläre Marknagelung mehr und mehr verdrängt. Obwohl die funktionellen Ergebnisse sehr gut sind, liegen die Nachteile auf der Hand: Das Verfahren erfordert zwei umfangreiche invasive

Eingriffe mit jeweils einer stationären Aufnahme. Komplikationsrate und Operationsdauer sind im Vergleich zur ESIN deutlich erhöht, die lange Narbe am Unterarm liefert kosmetisch weniger zufrieden stellende Resultate. Bei sehr kleinen Kindern erschwert der kleine Knochendurchmesser die Osteosynthese, dünnere Platten benötigen jedoch zusätzliche Stabilisation während der Heilung (46).

Trotz dieser Nachteile hat die Plattenosteosynthese dennoch ihren Stellenwert in der Kindertraumatologie. Sie wird noch häufig bei Korrekturosteotomien, Frakturen mit Gefäß- oder Nervenschaden, offenen Frakturen, nicht reponierbaren instabilen Frakturen, Refrakturen oder Pseudarthrosen verwendet. Auch bei älteren Kindern mit bereits geschlossenen Wachstumsfugen oder nur mehr ungenügendem Korrekturpotential, die hinsichtlich Frakturheilung eher wie Erwachsene beurteilt werden müssen, ist die Plattenosteosynthese ebenfalls indiziert (3, 16). Ebenfalls eine Möglichkeit bei Adoleszenten ist die Kombination aus Verplattung und intramedullärer Nagelung des Partnerknochens. Hier wird meist die Ulna auf Grund des risikoärmeren Zugangs verplattet, und der Radius mittels ESIN stabilisiert (4).

1.5 ESIN Versorgung

1.5.1 Entwicklung

Ende der 70er Jahre entwickelten Prevot, Lescombes und Metaizeau im *Childrens' Hospital* in Vandoeuvre-Les-Nancy, Frankreich eine neue Technik, die speziell kindlichen Schaftfrakturen gerecht wurde (47). Daher auch die Synonyme Prevot- Nailing oder Nancy- Nailing. Die Einführung von Titanimplantaten vereinfachte die Technik weiter. Diese intramedulläre Nagelung bietet keine starre Verbindung zwischen den Frakturteilen, sondern nur eine relative Stabilität auf Grund der Eigenelastizität des Materials. Durch diese Mikrobewegungen wird die Kallusbildung angeregt und die Heilung dadurch verbessert (9). Weitere Vorteile der Technik sind eine Schonung der Epiphysenfugen und somit eine Verminderung von Wachstumsstörungen. Durch eine operative Versorgung von instabilen Frakturen vermeidet man eine wiederholte Reposition von sekundär abgekippten Frakturen in Gipsschienen sowie das Risiko für Refrakturen bei

bestehenden Grünholzfrakturen (48). Ausreichende Stabilität ist somit für eine problemlose Frakturheilung gegeben.

Die Versorgung mittels ESIN kommt mit nur kleinen Inzisionen frakturfern am distalen Radiusende bzw. proximalen Ende der Ulna aus. Das führt zu einem guten ästhetischen Ergebnis und einer geringen Komplikationsrate (12, 3). Bei geschlossener Reposition wird durch die frakturferne Einbringung des Implantats der Frakturbereich nicht unmittelbar tangiert, was das Periost schont und die Heilung dadurch begünstigt (3).

Nachteile der ESIN sind neben den Risiken einer Allgemeinnarkose vor allem die zweite Operation zur Implantatentfernung.

1.5.2 Anwendungsbereiche

ESIN kann prinzipiell zur Versorgung aller langen Röhrenknochen bei Kindern in etwa bis zum 14. Lebensjahr verwendet werden (3), solange das biomechanische Prinzip der Dreipunktstützung gewährleistet ist. Dies ist nur bei Frakturen des diaphysären und proximalen Unterarms gegeben. Distale Frakturen werden auf Grund des größeren Korrekturpotentials meist konservativ oder bei Operationsindikation mittels Kirschner- Drahtosteosynthese bzw. Fixateur Externe stabilisiert. Anwendungsgebiete der ESIN finden sich bei allen instabilen diaphysären Unterarmfrakturen, inakzeptablen Achsenabweichungen oder nicht reponierbaren Brüchen, insbesondere bei Einengung des interosseären Raumes, Refrakturen infolge eines konservativen Therapieversagens, offenen Brüche II.-III. Grades, sowie bei Verletzungen mit Gefäß-, Nerven-, oder Sehnenbeteiligung (4, 16, 49, 42, 10, 3, 43, 48). Bei den instabilen Brüchen handelt es sich meistens um dislozierte Frakturen beider Knochen, die entweder einen Fragmentkontakt von weniger als einer Schaftbreite oder eine Verkürzungsstellung aufweisen.

Eine weitere Indikation ergibt sich bei nicht reponierbaren Radiushalsfrakturen. Da die Epiphyse fast ausschließlich durch das Periost erfolgt, sind das Einbringen von perkutanen Kirschner- Drähten oder lange Repositionsversuche möglichst zu vermeiden, um das blutversorgende Periost nicht noch mehr zu traumatisieren. Ein intramedullärer Marknagel bietet hier eine schonende Möglichkeit, das Radiusköpfchen wieder aufzurichten. Bleibt das Radiusköpfchen bei anschließender Prüfung der Pro- und Supination in Position, kann der Marknagel

wieder entfernt werden. Dadurch entfällt die zweite Narkose zur Implantatentfernung. Der Nagel kann jedoch auch belassen werden. Dies hat den Vorteil, dass sofort gipsfrei frühfunktionell nachbehandelt werden kann und das Risiko einer sekundären Dislokation vermieden wird (4).

Auch bei Monteggia- Läsionen findet die intramedulläre Marknagelung ihre Anwendung. Nur bei stabilen Frakturen gelingt eine konservative Versorgung. Instabile Frakturen, typischerweise vollständige Schrägfrakturen werden mittels elastischer Marknagelung versorgt, denn ohne vollständige anatomische Reposition kann der Radius nicht reponiert werden oder es kommt zu einer erneuten Dislokation (4).

1.5.3 Biomechanik

Das biomechanische Prinzip der ESIN basiert auf einer Dreipunktstützung zweier gegenläufig gekrümmter in den Markraum eingebrachter Titannägel. Auftretende Zug- und Scherkräfte längs des Frakturspalts werden in axiale Kompressionskräfte umgewandelt. Dies basiert jedoch nicht auf einer starren Verbindung. Durch die Spannung der Nägel kommt es zu einer relativen Stabilität mit einer Aufspannung des interosseären Raumes, der für Umwendbewegungen des Unterarms essentiell ist. Die Eigenelastizität erlaubt Mikrobewegungen am Frakturspalt, was die Kallusbildung und somit die Frakturheilung begünstigt (9, 10, 2, 8, 4). Voraussetzung dafür ist jedoch ein intakter Weichteilmantel, der eine elastische Schienung durch Muskelmantel gewährleistet (3).

1.5.4 Operationstechnik

Der Eingriff erfolgt in Intubationsnarkose. Der Patient liegt auf dem Rücken, der Arm frei beweglich abgedeckt. In der Regel wird mit dem schwerer zu reponierenden Knochen begonnen, meist ist das der Radius. Die etwa 2 cm lange Inzision erfolgt proximal der distalen Epiphysenfuge radially. Um die Epiphyse zu schonen, wird die richtige Inzisionsstelle mittels Bildwandler kontrolliert. Unter Schonung des Ramus superficialis nervi radialis und seinen Verästelungen wird stumpf bis zum Periost präpariert. Die Kortikalis wird mit Hilfe einer Ahle, dem so

genannten Pfriem perforiert und der Markraum somit eröffnet. Dabei sollte darauf geachtet werden, die Kortikalisöffnung für den Nagel groß genug zu dimensionieren, da es sonst beim einbringen des Nagels zu einer Schaftsprennung kommen kann. Der Nagel sollte einen Durchmesser von zwei Drittel des Markraumes besitzen und von seinem Ende etwa 10mm in einem Winkel von 15- 20° gebogen sein. Durch die schnabelförmige Krümmung kann das Frakturfragment ascendierend aufgefädelt werden und mittels Drehung und leichtem Druck so manövriert werden, dass eine korrekte Axialität wieder hergestellt wird. Die Nagelspitze wird bis auf Höhe der *Tuberositas radii* vorgeschoben und anschließend nach ulnar gedreht. Sollte die geschlossene Reposition nicht gelingen, muss nach zwei bis drei misslungenen Versuchen die Fraktur offen reponiert werden. Der Zugang gleicht dann in etwa dem der Plattenosteosynthese. Die Inzision erfolgt über der Fraktur des betroffenen Knochens und dieser wird daraufhin unter Sicht reponiert (48).

Die Schienung der Ulna erfolgt auf Grund der anatomischen Gegebenheiten deszendierend. Dazu wird unter Schonung der Olekranonapophyse die Haut an der Streckseite des Ellbogens inzidiert und der Pfriem etwa 2cm distal der Apophysenfuge platziert. Bei der Positionierung der intramedullären Nägel sollte darauf geachtet werden, dass die Nagelspitzen von Ulna und Radius aufeinander zugedreht zu liegen kommen, um durch eine gegenläufige Dreipunktstützung der Markraumnägel eine physiologische Aufspannung der Membrana interossea zu erzielen. Wichtig ist dabei auch, bei der gleichzeitigen Versorgung von Ulna und Radius, Nägel gleichen Durchmessers zu verwenden. Nur so kann es zu einer gleichen Spannkraftentfaltung ulnar und radial kommen (49). Dem folgt eine Röntgenkontrolle, sowie eine klinische Überprüfung von Pronation und Supination. Die Enden der Nägel werden in der metaphysären Spongiosa verankert und mittels Bolzenschneider in Hautniveau gekürzt, und danach noch wenige Millimeter weiter eingetrieben, um Hautirritationen durch die Nagelenden zu vermeiden. Hier muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Enden nicht ganz im Knochen verschwinden, um die spätere Metallentfernung noch zu ermöglichen. Es folgt ein schichtweiser Wundverschluss mit Einzelknopfnähten und Steristrips. Eine Immobilisation ist im Regelfall nicht erforderlich (8, 48).

1.5.5 Strahlenbelastung durch Bildwandler

Minimal- invasive Verfahren wie die ESIN ermöglichen eine elegante Frakturversorgung. Geschlossene Reposition und die intramedulläre Platzierung des Implantats gehen jedoch mit einer erhöhten intraoperativen Beleuchtungszeit einher. Kraus et al. (1) ermittelten bei einer durchschnittlichen Operationsdauer von 36,9 Minuten eine mittlere Durchleuchtungszeit von 59,5 Sekunden. Die Bildwandlerzeiten verteilen sich unterschiedlich auf die einzelnen Operationsschritte (siehe Abbildung 1): Der größte Durchleuchtungsbedarf ergibt sich bei der Passage der Fraktur, individuell abhängig vom Frakturtyp und von der Lokalisation. Für die Passage des proximalen und distalen Fragments besteht nicht unbedingt die Notwendigkeit einer Bildwandlerkontrolle. Das Aufsuchen der korrekten Insertionsstelle des Nagels verbraucht nicht unerhebliche 15,3 % der Durchleuchtungszeit. Die abschließende Kontrolle der korrekten Nagelposition erfordert den geringsten Anteil der Durchleuchtungszeit.

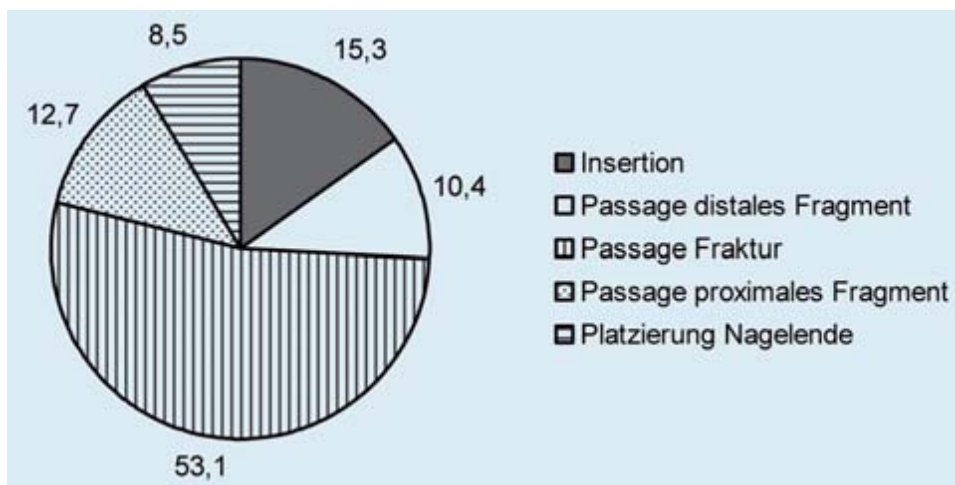


Abbildung 1: Verteilung des Durchleuchtungsbedarfs auf die einzelnen Operationsschritte (1)

Nebenbei ist die Durchleuchtungszeit natürlich auch abhängig von der Expertise des Operateurs und von der technischen Ausstattung des Operationssaals. Daher sind niedrige Bildwandlerzeiten ein Qualitätsmerkmal. Es sollte daher getrachtet werden, die Durchleuchtungsdauer so kurz wie möglich zu halten, um die jungen Patienten und letztendlich auch das Personal zu schützen. Deshalb sollte eine extrem verlängerte Durchleuchtungsdauer ein Hinweis auf die Notwendigkeit eines Verfahrenswechsels (offene Reposition) sein (50, 1, 51).

1.5.6 Komplikationen

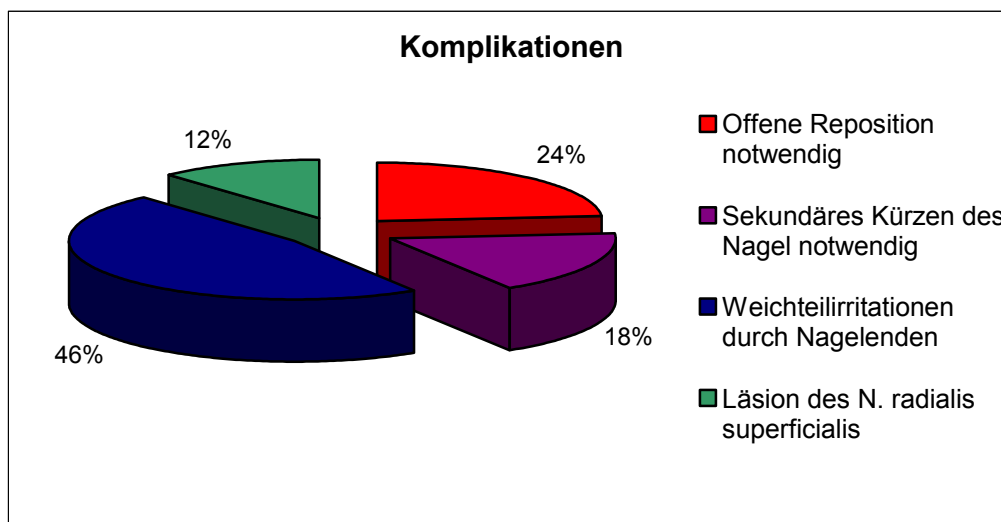


Abbildung 2. Komplikationen nach elastisch stabiler intramedullärer Marknagelung modifiziert nach Jubel et al. (2)

Obwohl die ESIN eine sehr schonende Operationstechnik darstellt, kommt es doch immer wieder zu Komplikationen und Fehlern. Die häufigsten Behandlungsfehler ereignen sich durch das Nichtbeachten der biomechanischen Eigenschaften der elastischen Marknägel. Durch eine falsche Anwendung der ESIN- Technik kann die Fraktur nicht adäquat stabilisiert werden. Konsolidierungsstörungen, verzögerte Wundheilung und Refrakturen sind die Folgen, was letztendlich auf Grund des geringen Spontankorrekturpotentials am proximalen Unterarm zu einer eingeschränkten Funktion der Umwendbewegungen führt. Ursache dafür sind zu dünne Nägel (sie sollten zwei Drittel des Markraumes ausmachen), die auch entsprechend durch Biegung in die richtige Spannung gebracht werden müssen, da es sonst nicht zum Aufspannen der Membrana interossea kommt. Nur durch eine ausreichende Spannung wird das Potential dieser Methode erfüllt. Sind die Nägel zu wenig vorgebogen, besteht nicht genügend Kontakt zwischen der inneren Oberfläche des Kortex und den Marknägeln, was sich in einer ungenügenden Stabilität manifestiert. Dabei ist auch zu beachten, dass beide Nägel für Ulna und Radius die gleiche Dicke haben und symmetrisch gebogen sind, damit auf beide Knochen, die gleiche Rückstellkraft wirkt. Laut Slongo (2005) (52) wird dieses einfache Prinzip gerne ignoriert, was eine Valgus- bzw. Varusfehlstellung als Folge hat. Eine weitere Komplikation bei

der Anwendung ist eine Verletzung der Wachstumsplatte durch einen Eintrittspunkt zu nahe an der Epiphyse. Dies kann entweder bei der Präparation der Insertionsstelle, aber auch beim Einbringen der Nägel passieren. In einigen Fällen hat dies zu einem Wachstumsstop geführt, der eine anschließende operative Korrektur mit sich zog (52). Eine andere Ursache für ungenügende Stabilität der betroffenen Extremität ist eine Fehlindikation der ESIN. Radiusfrakturen im distalen Drittel oder der distalen Metaphyse sind keine idealen Indikationen dafür. Ist das distale Fragment zu kurz, kann es durch den Nagel nicht adäquat gehalten werden und führt zu einer Achsenabweichung nach ulnar. Das kann noch verhindert werden, indem man das distale Nagelende so stark biegt, dass es Kontakt mit der gegenüberliegenden ulnaren Seite des Kortex aufnehmen kann. Geeigneter wäre in diesen Fällen jedoch sicherlich ein Fixateur Externe oder die Fixierung mittels Kirschnerdrähten (52).

Zu Refrakturen kommt es jedoch nicht nur durch inadäquate Anwendung. Weitere Gründe sind eine zu frühe Implantatentfernung oder durch erneute Gewalteinwirkung im Rahmen eines Hochrasanztraumas. Da sich kein Benefit durch eine frühe Explantation gezeigt hat, ist es daher ratsam, die Nägel erst nach 6-8 Monaten zu entfernen.

Wie bei jedem operativen Eingriff kann es auch bei der Prevot- Nagelung zu Infektionen kommen. Dies kann sich einerseits als oberflächliche Infektion der Wunde äußern, was meist einfach in den Griff zu bekommen ist, andererseits kann es wie bei jedem Implantat zur Osteomyelitis kommen, was eine Entfernung des Synthesematerials nach sich zieht. Die weitere Therapie besteht aus einer Spülung des Markraums und antibiotischer Abdeckung. Ein bestehender Sequester muss gegebenenfalls im Rahmen einer „second look“- Operation entfernt werden. Normalerweise wird anschließend mit konservativer Therapie ausbehandelt (53). Zu lange Nägel können ebenfalls Irritationen von Nerven, Haut oder Muskeln an der Inzisionsstelle verursachen. Dies kann bis zur Nagelperforation führen. In diesem Fall kann man den Nagel entweder kürzen oder bei ausgeheilter Fraktur eine frühzeitige Explantation erwägen, wobei die Eltern über eine mögliche Refraktur aufgeklärt werden müssen (48). Eine andere Komplikation durch scharfe Nagelenden ist eine Ruptur der Sehne des *M. extensor pollicis longus*. Bei ausgefransten Sehnenenden kann eine Ersatzplastik mit der Sehne des *M. extensor indicis* nötig sein (54, 48).

Zuletzt kann es auf Grund der engen anatomischen Beziehung beim Einbringen des Nagels, aber auch bei Implantatentfernung zu einer Schädigung eines Asts des N. radialis superficialis kommen (1, 48, 20). Parästhesien im Daumengrundgelenk sind die Folge, die sich jedoch gewöhnlich wieder spontan erholen. Diese Komplikation lässt sich vermeiden, indem man durch einen ausreichend großen Hautschnitt die Nervenäste darstellt und unter stumpfer Dissektion der Weichteile bis zum Periost vordringt (20).

Tabelle 2. Komplikationen nach elastisch stabiler intramedullärer Marknagelung modifiziert nach Jubel et al. (2)

Komplikationen	
Kortex Perforation	0
Offene Reposition notwendig	4
Absprengen eines dritten Fragments	0
Läsion des N. radialis superficialis	2
Weichteilirritationen durch Nagelenden	8
Sekundäres Kürzen des Nagel notwendig	3
Kompartmentsyndrom	0
Non- union oder Delayed- union	0
Korrekturingriff erforderlich	0
Material insuffizient	0
	N = 51

1.5.7 Nachbehandlung

In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben, über die Notwendigkeit einer temporären Immobilisierung mittels Gipsschiene (43). Die intramedulläre Schienung hält die Frakturfragmente in anatomisch korrekter Form und bewirkt eine Kraftübertragung über den Frakturspalt hinweg. Es wird über keine Komplikationen auf Grund der Frühmobilisation berichtet. Deshalb empfehlen die meisten Autoren nur die Anlage eines Schlauch- oder Pflasterverbands, sowie ein Armtragetuch zur Schonung des Armes, das je nach Schmerzen jederzeit abgenommen werden kann. Gleichzeitig kann schmerzadaptiert mit einer Frühmobilisation ohne physiotherapeutische Anleitung begonnen werden. Bezüglich Frakturheilung und Wiedererlangen der Beweglichkeit zeigen sich keine Unterschiede zur Immobilisation in der Gipsschiene (49, 9, 53, 42, 48, 12, 55).

Jubel et al. (10) schlagen drei Kriterien für die temporäre Anlage einer Oberarmgipsschiene vor: Weichteilschaden, Schmerzreduktion, Rotationssicherung. Bei Vorliegen eines Weichteilschadens ist das Prinzip der elastischen Schienung durch den Muskelzug nicht gegeben. Liegt ein drittes Frakturfragment an einem oder beiden Unterarmknochen vor, so kann dessen Ruhigstellung mittels Gipsschiene erfolgen.

Calder et al. (53) weisen auf den psychologischen Aspekt der Gipsschienung hin. Sie berichten über eine übertriebene Ängstlichkeit der Eltern, dessen Kinder gleich postoperativ mobilisiert wurden.

Röntgenkontrollen erfolgen nach 4 - 5 Wochen zur Beurteilung der Durchbauung (48), sowie kurz vor der geplanten Implantatentfernung (8). Diese erfolgt in der Regel nach 6 - 8 Monaten in Intubationsnarkose.

Bei Funktionsdefiziten sollte die Beweglichkeit im halbjährigen Abstand überprüft werden. Da sich blockierende Achsenfehlstellungen in der Regel nicht von selbst korrigieren, sollte bei Ausbleiben einer Verbesserung eine frühzeitige Korrektur erfolgen (48).

1.6 Hypothese

- Kann die Platzierung des Pfriems ohne Bildwandlerkontrolle durchgeführt werden und dadurch die Strahlenbelastung für das Kind und Personal vermindert werden?
- Lassen sich Verletzungen des *N. radialis superficialis* beim Einbringen des intramedullären Nagels vermeiden?

2 Material und Methoden

Die Anforderungen an einen sicheren Operationszugang zum distalen Radius sind unter anderem Schonung der Hautnerven und ein ausreichender Sicherheitsabstand zur Epiphysenfuge. Deshalb ist es essentiell, einerseits den genauen Nervenverlauf zu kennen und andererseits Kenntnisse über den Verlauf der Epiphysenfuge zu haben.

2.1 Vermessung des *N. radialis superficialis*

Um genaue Informationen über den Verlauf des *N. radialis superficialis* zu erhalten, wurden am Institut für Anatomie der Medizinischen Universität Graz die Unterarme von 32 humanen Präparaten verwendet, darunter 14 männlich und 18 weiblich (Abbildung 3)

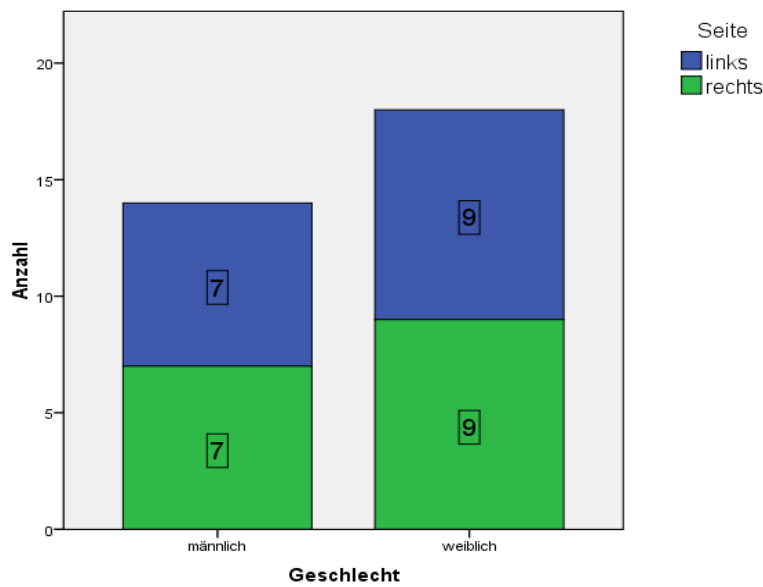


Abbildung 3. Verteilung von Geschlecht und Handseite der anatomischen Präparate

Alle Leichen wurden nach der Thielschen Methode konserviert. Diese einzigartige Konservierungsmethode wurde unter Leitung Professor Thiels in einem Zeitraum von über 30 Jahren entwickelt. Sie erhält die ursprüngliche Konsistenz und Farbe der Gewebe und erlaubt dabei beinahe den vollen Bewegungsumfang der Gelenke. Generell alle Präparate geben somit erstmals die wirkliche Form der Organe und die wahren räumlichen Verhältnisse wider.

Präparate mit sichtbaren Verletzungen oder Deformierungen wurden ausgeschlossen.

Nach einer longitudinalen Hautinzision proximal und radial des *Processus styloideus*, wurde der *N. radialis superficialis* bis zur Austrittsstelle unter dem *M. brachioradialis* zurück verfolgt. Nach Aufsuchen der Bifurkation des Nervs wurden seine Aufzweigungen bis zum *Processus styloideus* (grüner Pin) präpariert. In fünf Fällen teilte sich der Nerv bis zum Styloid in mehr als zwei Äste auf. Für die

Bestimmung des Abstandes zwischen dem volaren und dorsalen Anteil wurden dafür die innersten Äste herangezogen. Folgende Messungen wurden erhoben (siehe Abbildung 4): Die Gesamtlänge des Radius vom *Processus styloideus* bis zum Caput radii. Das proximale Radiusende wurde dabei mit einer intraartikulären Nadel markiert. Die Strecke des N. radialis superficialis vom Austritt unter dem *M. brachioradialis* zum Styloid (a), von der Aufzweigung des Nervs (b) zum Styloid, sowie, orthogonal zur longitudinalen Achse des Radius, den Abstand des volaren (c) und dorsalen (d) Nervenasts zum Styloid.

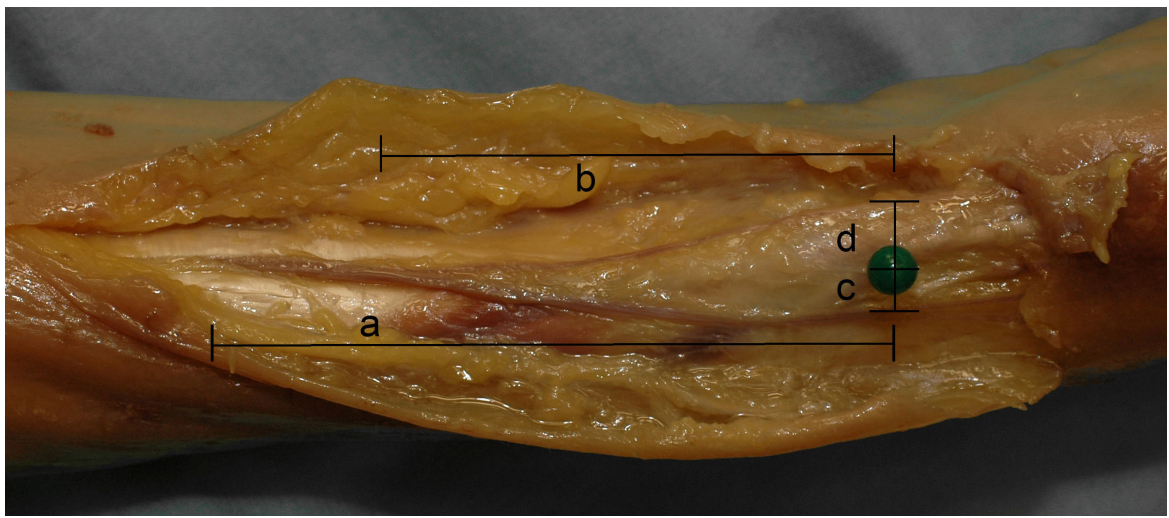


Abbildung 4. Präparat eines linken Unterarmes mit Verlauf des N. radialis superficialis jeweils in Bezug zum *Processus styloideus radii* (grüner Pin): (a) Austritt aus dem *M. brachioradialis*, (b) Aufzweigung des Nervs, (c) volarer Nervenast, (d) dorsaler Nervenast.

2.2 Vermessung der distalen Radiusepiphyse

Um Aufschluss über die Größe der distalen Radiusepiphyse sowie die genaue Lokalisation der Epiphysenfuge zu erhalten, wurden an der Abteilung für Kinderradiologie der Kinderchirurgie Graz 19 MRT- Aufnahmen, sowie 519 Röntgenaufnahmen des Handgelenks aus dem Jahr 2009 retrospektiv untersucht. Zur Vermessung wurde die distale Radiusepiphyse folgendermaßen definiert (siehe Abbildung 5): Als Epiphysenbreite (b) gilt die maximale transversale Ausdehnung. Die Epiphysenhöhe wurde in den MRT- Aufnahmen (h1) als Abstand zwischen der Epiphysenfuge und der knorpeligen Spitze des Processus styloideus angenommen. In den Röntgenaufnahmen repräsentiert der kürzeste Abstand zwischen Os capitatum und Epiphysenfuge (h2) die Epiphysenhöhe.

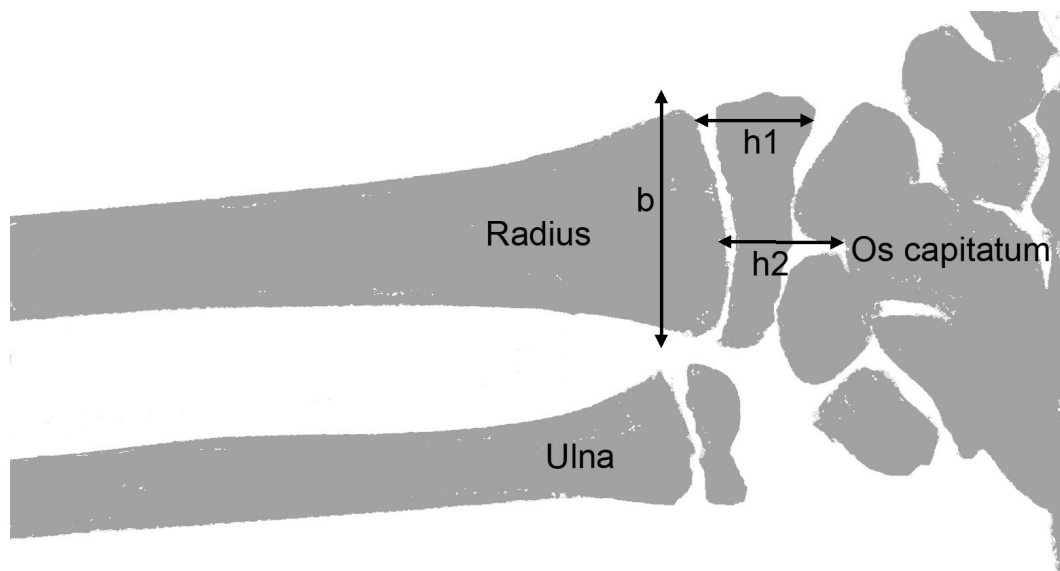


Abbildung 5. Schema der distalen Radiusepiphyse. (b) definiert die Breite der Epiphysenfuge; (h1) definiert die Höhe der Epiphyse als Abstand zwischen Processus styloideus radii und Epiphysenfuge; (h2) repräsentiert in den Röntgenaufnahmen die Epiphysenhöhe.

Die MRT- Aufnahmen stammen von Jungen (6) und Mädchen (13) im Alter von 2 – 7 Jahren (siehe Tabelle 3). Die Messungen wurden jeweils in koronarer, T1-gewichteter Sequenz durchgeführt, in der die Epiphyse seine größte Längenausbreitung aufwies (siehe Abbildung 6).

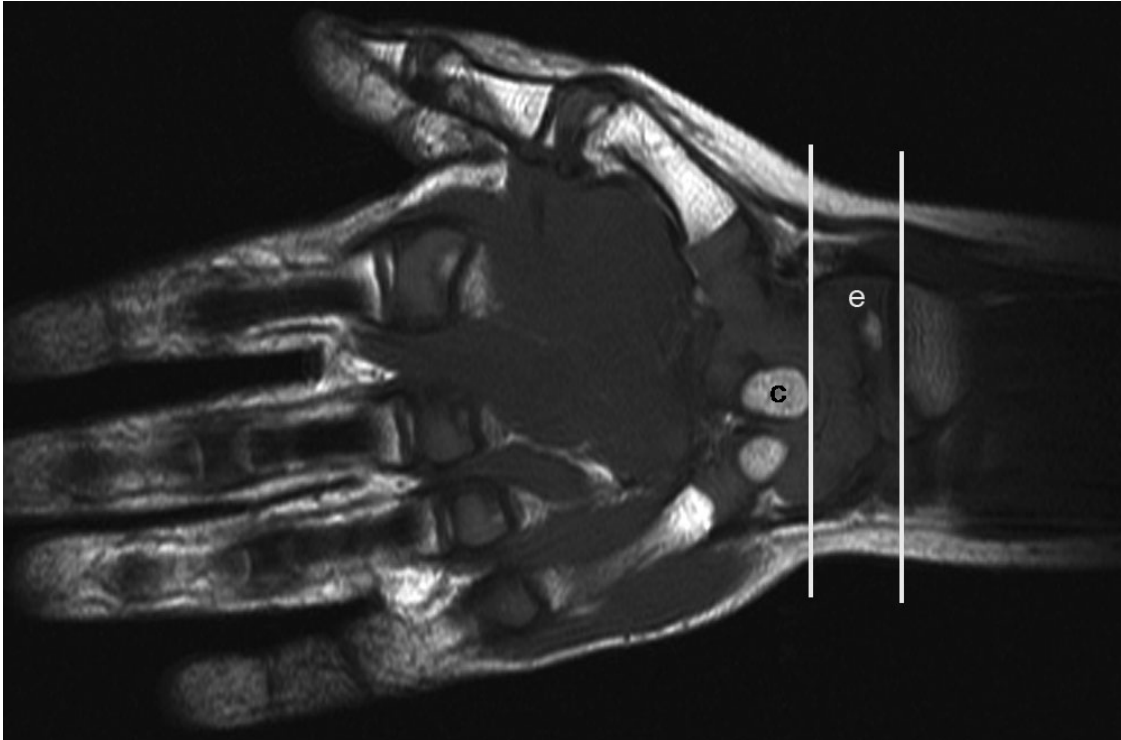


Abbildung 6. MRT- Aufnahme (T1, coronar) der rechten Hand eines 2- jährigen Kindes. (c) *Os capitatum* (verknöchertes Anteil), (e) Epiphysenfuge des distalen Radius mit Spitze des *Processus styloideus radii* (unverknöchert)

Da es nur eine geringe Anzahl an MRT- Aufnahmen des Handgelenks in dieser Altersgruppe gibt (23 wovon 4 nicht beurteilbar waren), wurden auch Röntgenaufnahmen im anterior- posterioren Strahlengang von Handgelenken (519) zur Vermessung herangezogen, um repräsentativere Fallzahlen zu erreichen. Dabei ergab sich das Problem, dass der *Processus styloideus radii* erst um das 14. Lebensjahr vollständig kalzifiziert (siehe Abbildung 8) und davor in Röntgenaufnahmen nicht oder nur unvollständig sichtbar ist.

Zur Lösung dieses Problems wurde daher ein Referenzpunkt in den MRT- Aufnahmen gesucht, der auf gleicher Höhe mit der Spitze des *Processus styloideus radii* liegt und bereits bei Kindern im Alter von 2 Jahren verknöchert ist. Als Referenzpunkt wurde das *Os capitatum* herangezogen, da es einerseits im Alter von 2 Jahren bereits verknöchert (siehe Abbildung 8) und andererseits die Differenz zwischen dem proximalen Ende des *Os capitatum* und der Spitze des *Processus styloideus* maximal 2mm beträgt. (siehe Tabelle 3). Durch diesen geringen Unterschied wurde daher der Abstand vom *Os capitatum* zur Epiphysenfuge in den Röntgenaufnahmen als Höhe der Radiusepiphyse

angenommen. Somit konnten nun auch Röntgenaufnahmen von kindlichen Handgelenken zur Ermittlung der Epiphysenhöhe herangezogen werden.

Tabelle 3. Längendifferenz zwischen dem proximalen Ende des *Os capitatum* und der Spitze des *Processus styloideus radii* (MRT, T1- Sequenz, coronar)

	Anzahl	Mittelwert	Median	St.dev.	Minimum	Maximum
Abstand Capitatum - Epiphysenfuge (in mm)	19	14	14	1	11	16
Abstand Styloid - Epiphysenfuge (in mm)	19	13	13	2	9	15
Differenz Capitatum - Styloid (in mm)	19	1	2	1	0	2

Es wurden 519 Röntgenaufnahmen des Handgelenks in anterior- posteriorem Strahlengang vermessen, davon 255 Aufnahmen des rechten Handgelenks und 264 Aufnahmen des linken Handgelenks (siehe Abbildung 7). Die Mädchen (255) und Jungen (264) waren im Alter von 2 – 14 Jahren und wurden zu Gruppen im Abstand von jeweils 2 Jahren zusammengefasst. Von den Messungen ausgeschlossen wurden Spezialaufnahmen, Aufnahmen von Deformitäten oder Missbildungen und Aufnahmen von Verletzungen der Epiphyse oder des Handgelenks.

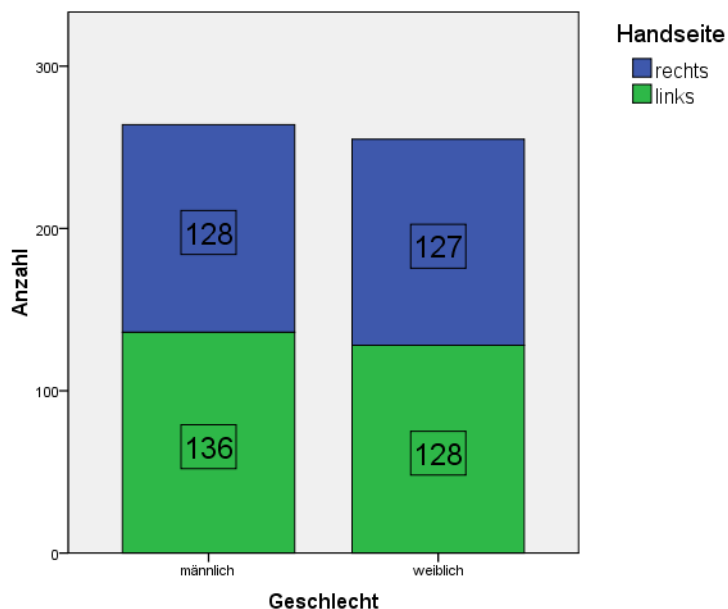


Abbildung 7. Verteilung von Geschlecht und Seite

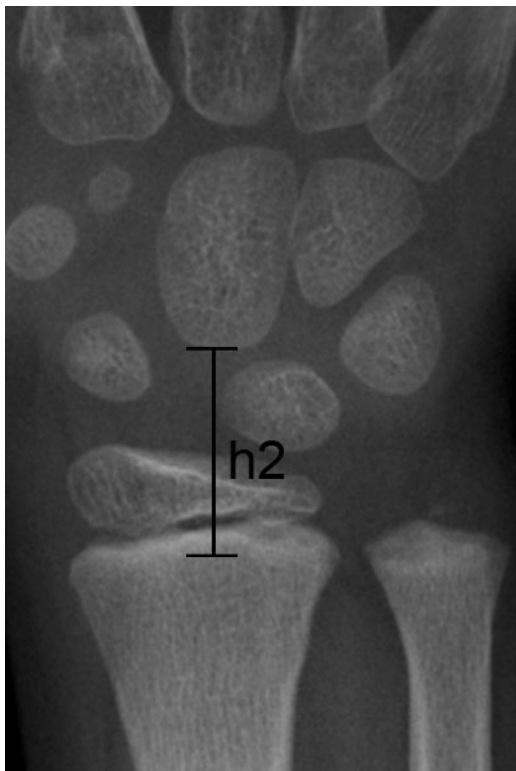
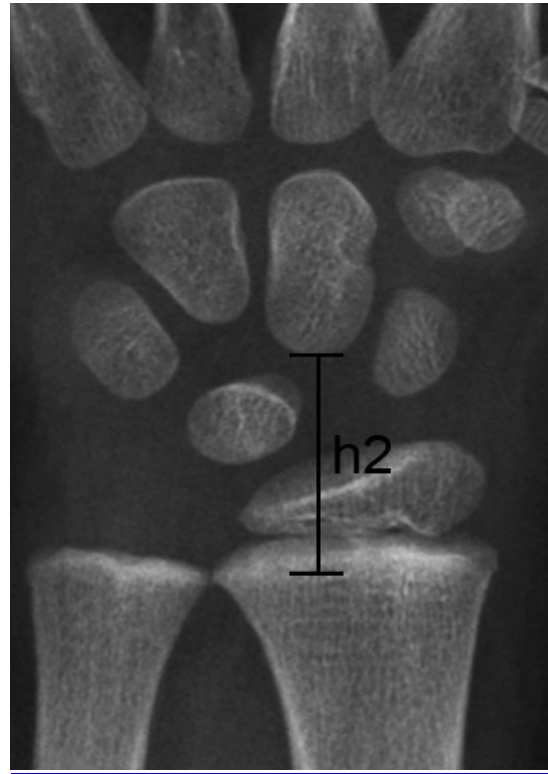
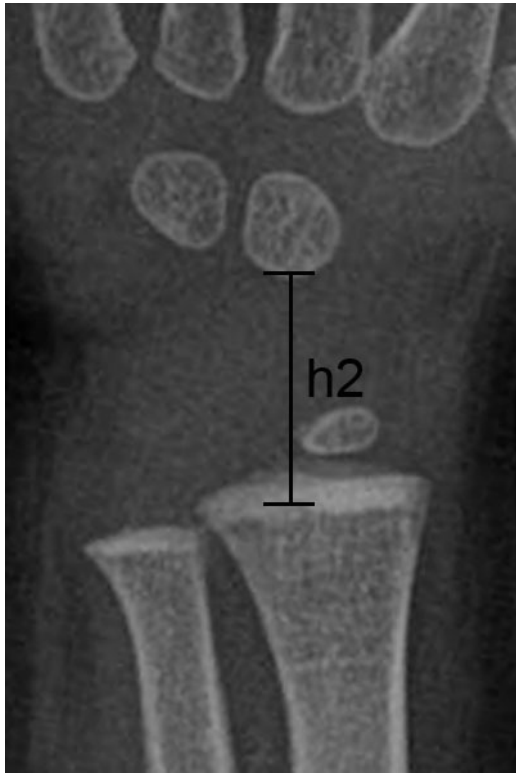


Abbildung 8. Handgelenksröntgen (a.p.) von 2-jährigen, 5- jährigen, 9- jährigen und 14- jährigen Kindern. (h2) Abstand *Os capitatum* zur Epiphysenfuge, repräsentiert die Epiphysenhöhe.

2.3 Statistik

Alle statistischen Berechnungen wurden mit SPSS® Statistics 17.0 (IBM Headquarters, Chicago, Illinois, United States) durchgeführt. P- Werte unter 0,05 wurden als statistisch signifikant angenommen.

Zur Auswertung der ermittelten Daten zum N. radialis superficialis wurden jeweils nicht parametrische Tests angewendet, da der Datensatz keiner Normalverteilung entsprach. Mittels Korrelationskoeffizient nach Spearman (Konfidenzintervall 95%) wurde getestet, ob die Nervengabelung in Korrelation zur Radiuslänge steht. Mit dem gleichen Test wurde untersucht, ob es eine signifikante Beziehung zwischen der Nervenlücke auf Höhe des *Processus styloideus* und der Radiuslänge gibt. Zuletzt wurde ebenfalls mit Test nach Spearman die Nervenlücke in Beziehung zur Höhe der Gabelung gebracht.

Im Gegensatz dazu entsprach der Datensatz der radiologisch vermessenen Epiphysen einer Normalverteilung. Darum wurden zur statistischen Analyse jeweils parametrische Testverfahren angewendet. Es wurde untersucht, ob die Epiphysenhöhe in Korrelation mit dem Alter der Kinder steht (Test nach Pearson, 95% Konfidenzintervall). Mittels T- Test zweier unverbundener Stichproben wurden die Mittelwerte der Epiphysenhöhe in Beziehung zum Geschlecht, sowie zur Seite des Handgelenks analysiert.

3 Ergebnisse – Resultate

3.1 Verlauf des *N. radialis superficialis*

Tabelle 4. Ergebnisse der Vermessung des Verlaufs des *N. radialis superficialis* in Bezug zum *Processus styloideus radii*.

	Mittelwert	Median	St. Dev.	Minimum	Maximum
Länge des Radius (in mm)	240	235	20	210	270
Abstand Styloid - Unterkante <i>M. brachioradialis</i> (in mm)	83	83	14	51	118
Abstand Styloid - Gabelung (in mm)	43	41	12	9	69
Abstand Styloid - innerster volarer Nervenast (in mm)	9	10	5	2	22
Abstand Styloid - innerster dorsaler Nervenast (in mm)	8	6	6	2	35
Lücke zwischen den Nervenästen	17	15	8	5	48

Die Vermessungen des *N. radialis superficialis* am distalen Unterarm ergab (siehe Tabelle 4), dass die Gabelung des Nervs im Mittel 43mm proximal des *Processus styloideus radii* liegt. Die Verzweigungen verlaufen dorsal und palmar des *Processus styloideus* und bilden somit eine Lücke, die im Mittel 17mm breit ist. Die Streuung der ermittelten Werte ist allerdings sehr hoch. Dies ist erkennbar einerseits an der hohen Standarddeviation und andererseits an den großen

Tabelle 5. Korrelationskoeffizient nach Spearman zwischen der Radiuslänge und dem Abstand vom Styloid zur Gabelung des SRN.

		Korrelationen	
		Radiuslänge (in mm)	Abstand Styloid - Gabelung (in mm)
Länge des Radius	Correlation Coefficient	1,000	,487**
	Sig. (2-tailed)	.	,005
	N	32	32
Abstand Styloid - Gabelung	Correlation Coefficient	,487**	1,000
	Sig. (2-tailed)	,005	.
	N	32	32

Spannweiten. So wurde die Aufzweigung des Nerves zwischen 69mm und 9mm proximal des Styloids gefunden. Der Abstand zwischen Styloid und den Nervenästen liegt zwischen 35mm und 2mm. Keiner der Nervenäste kreuzte nach der Abzweigung auf die andere Seite.

Trotz der hohen Schwankungsbreite wies die Nervengabelung eine Beziehung zur gesamten Radiuslänge auf (Test nach Spearman, $p < 0,05$). Die schwache positive Korrelation (0,487) zeigt, dass mit zunehmender Länge des Radius auch die Nervengabel weiter proximal liegt (siehe Tabelle 5, Abbildung 9).

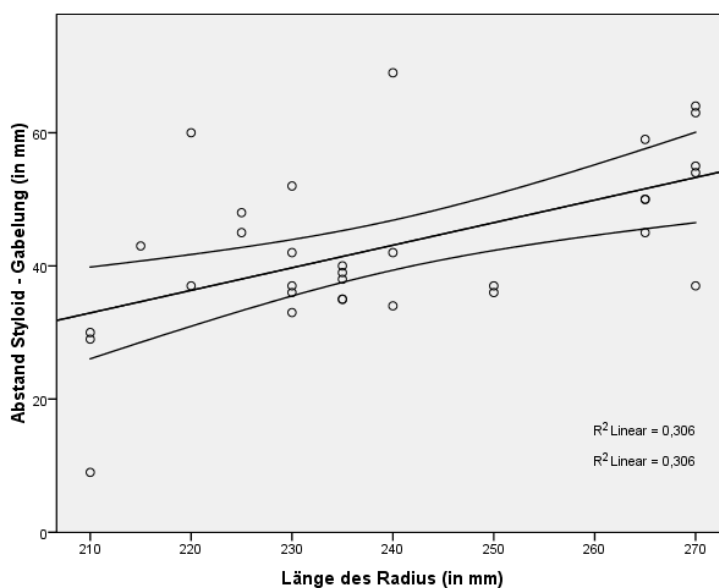


Abbildung 9. Beziehung zwischen der Radiuslänge und dem Abstand vom Styloid zur Gabelung des SRN mit dessen Regressionsgerade (Konfidenzintervalle 95%).

Für die Lücke zwischen den Nervenästen wurde jedoch keine Beziehung gefunden. Nach Analyse mit dem Test nach Spearman ($p < 0,05$) ergab sich weder ein Zusammenhang zur Radiuslänge ($p = 0,075$), noch eine Relation zur Nervengabelung (0,214) (Tabelle 6, Tabelle 7). Somit kann von der Länge des Radius nicht auf die Größe der Lücke zwischen den Nervenästen geschlossen werden.

Tabelle 6. Korrelationskoeffizient nach Spearman zwischen der Radiuslänge und der Lücke zwischen den Nervenästen auf Höhe des Processus styloideus radii.

Korrelationen nach Spearman			
		Länge des Radius	Lücke zwischen den Nervenästen
Länge des Radius	Correlation Coefficient	1,000	,319
	Sig. (2-tailed)	.	,075
	N	32	32
Lücke zwischen den Nervenästen	Correlation Coefficient	,319	1,000
	Sig. (2-tailed)	,075	.
	N	32	32

Tabelle 7. Korrelationskoeffizient nach Spearman zwischen der Nervengabel und der Lücke zwischen den Nervenästen auf Höhe des Processus styloideus radii.

Korrelationen nach Spearman			
		Abstand Styloid - Gabelung	Lücke zwischen den Nervenästen
Abstand Styloid - Gabelung	Correlation Coefficient	1,000	,226
	Sig. (2-tailed)	.	,214
	N	32	32
Lücke zwischen den Nervenästen	Correlation Coefficient	,226	1,000
	Sig. (2-tailed)	,214	.
	N	32	32

3.2 Epiphyse

Die 519 untersuchten Röntgenaufnahmen ergaben eine mittlere Epiphysenhöhe von 16,7mm, wobei der Datensatz insgesamt einer Normalverteilung entspricht (siehe Abbildung 10). Vergleicht man die mittleren Epiphysenhöhen in den einzelnen Altersgruppen, so ist von den jüngsten zu den ältesten Patienten des Kollektivs eine Größenzunahme von rund 3mm zu beobachten. Die kleinste Epiphysenhöhe ist in der Gruppe der 2-4, sowie 4-6-jährigen zu finden (13mm), die größte Epiphysenhöhe in der ältesten Gruppe (21mm).

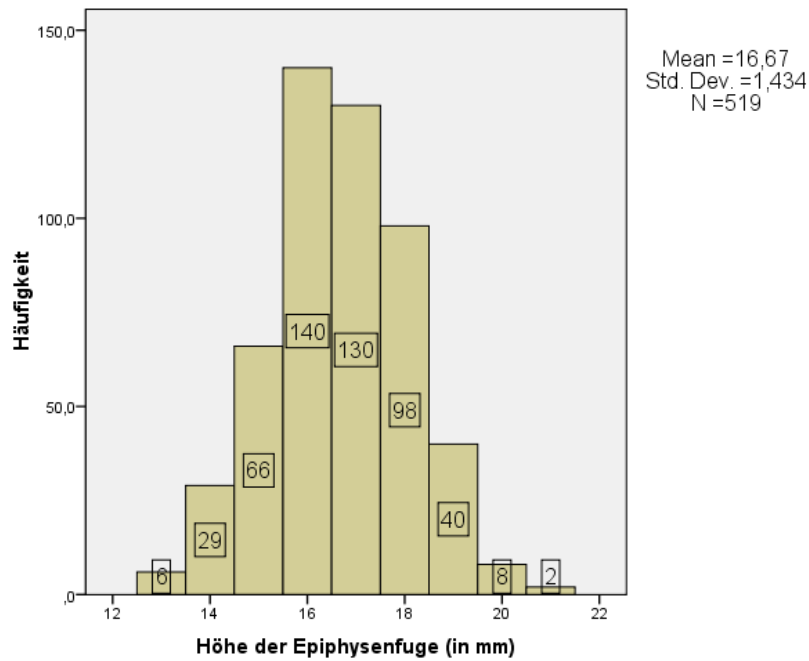


Abbildung 10. Verteilung der Epiphysenhöhen

Tabelle 8. Deskriptive Statistik der Höhe der Epiphyse in den einzelnen Altersgruppen.

		Höhe der Epiphyse (in mm)				
		Mittelwert	Median	St. Dev.	Minimum	Maximum
Altersgruppe	2 bis 4 Jahre	15	15	1	13	18
	4 bis 6 Jahre	16	16	1	13	19
	6 bis 8 Jahre	17	17	1	14	20
	8 bis 10 Jahre	17	17	1	15	20
	10 bis 12 Jahre	17	17	1	14	20
	12 bis 14 Jahre	18	18	1	14	21

Tabelle 9. Ergebnisse der Messung vom proximalen Ende des Os capitatum zur Epiphysenfuge

		Anzahl	Mittelwert	Median	St. Dev.	Minimum	Maximum
Höhe der Epiphyse (in mm)	männlich	264	17,05	17	1,425	13	21
	weiblich	255	16,27	16	1,334	13	19
Total		519	16,67	17	1,434	13	21

Aus den analysierten Daten zeigte sich mittels Test nach Pearson, dass es einen statistisch signifikanten Zusammenhang gibt, zwischen der Epiphysenhöhe und dem Alter der Kinder (Tabelle 10). Der Korrelationskoeffizient (zwischen 0 und 1) erreicht dabei einen Wert von 0,556. Auch grafisch ist zu erkennen, dass es bei beiden Geschlechtern eine positive Korrelation zwischen der Epiphysenhöhe in den jeweiligen Altersgruppen gibt (Abbildung 11, Abbildung 12). Das bedeutet, dass es im Laufe des Wachstums zu einer Größenzunahme der radialen Epiphyse kommt.

Tabelle 10. Der Pearson Korrelationskoeffizient zwischen dem Alter der Kinder und der Epiphysenhöhe erweist sich als statistisch signifikant und besitzt eine positive Korrelation.

Korrelation			
		Abstand Os capitatum - Fuge	
		(in mm)	Alter (in Jahren)
Abstand Os capitatum - Fuge (in mm)	Pearson Correlation	1	,556**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	519	519
Alter (in Jahren)	Pearson Correlation	,556**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	519	519

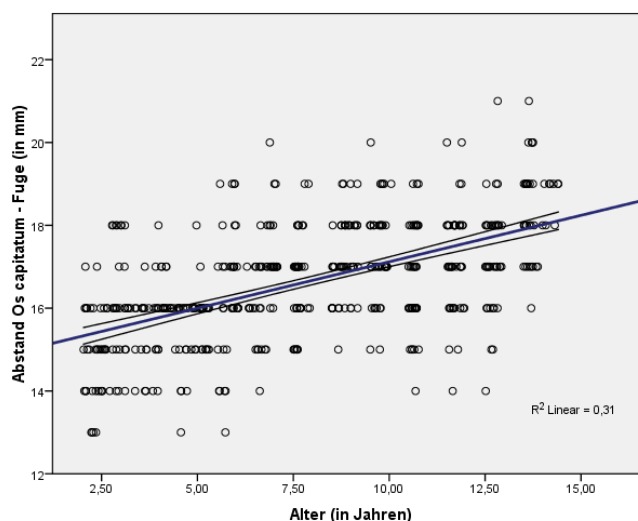


Abbildung 11. Regressionsgerade. Positive Korrelation zwischen Alter und Epiphysenhöhe

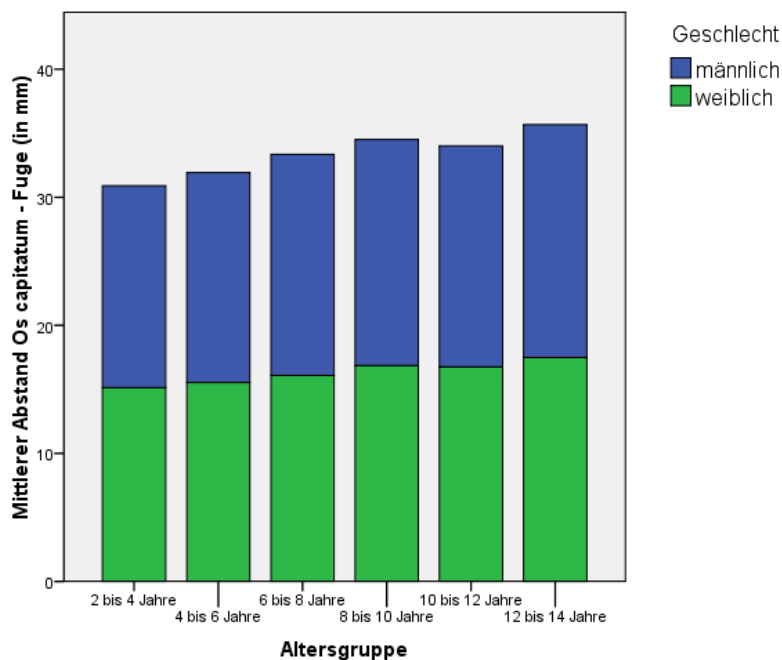


Abbildung 12. Mittlere Epiphysenhöhe in den jeweiligen Altersgruppen. Sowohl bei den Mädchen als auch bei den Jungen ist eine positive Korrelation zwischen Alter und Epiphysenhöhe zu erkennen.

Im Vergleich zwischen den beiden Geschlechtern konnte mittels T- Test für 2 unabhängige Stichproben bei Varianzgleichheit (Test nach Levene) ein statistisch signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Mittelwerten für Jungen und Mädchen errechnet werden. Der Unterschied beträgt jedoch weniger als 1mm (0,78mm). Allerdings wurde für die männliche Population eine höhere Spannweite (8mm) als für Mädchen (6mm) ermittelt (siehe Tabelle 9).

Ebenfalls untersucht wurde mittels T- Test zweier unverbundener Stichproben, in wie weit sich die Handgelenksseite auf die Epiphysenhöhe auswirkt (Tabelle 12). Allerdings zeigten sich hier keine Unterschiede ($p = 0,807$), sodass davon ausgegangen werden kann, dass es irrelevant ist, ob am linken oder rechten Unterarm operiert wird.

Tabelle 11. Mittelwerte der Epiphysenhöhe verglichen zwischen den Geschlechtern. T- Test für 2 unabhängige Stichproben

T- Test für Mittelwerte der Epiphysenhöhe					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Diference.
Varianzen gleich	6,419	517	,000	,779	,121

Tabelle 12. Vergleich der Mittelwerte der Epiphysenhöhe in Abhängigkeit der Handseite. T- Test für 2 unabhängige Stichproben.

T- Test für Epiphysenhöhe zur Seite des Handgelenks					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Varianzen gleich	-,245	517	,807	-,031	,126

4 Diskussion

Die Versorgung von Unterarmschaftfrakturen mittels elastisch- stabilen intramedullären Marknagels ist eine der am häufigsten durchgeführten Operationen in der Kindertraumatologie. Kinder im Alter zwischen 2 und 14 Jahren können damit behandelt werden. Es sollte daher das Bestreben sein, die Operationstechnik weiter zu verfeinern und zu verbessern.

Wie bei jedem anderen intramedullären Osteosyntheseverfahren geht die Operation mit einer erhöhten Strahlenbelastung durch den Bildwandler einher. Gerade bei Kindern ist es aber wichtig, die kumulative Strahlendosis so gering als möglich zu halten. Wie die Untersuchungen von Kraus et al. gezeigt haben (siehe auch 1.5.5), liegt die mittlere intraoperative Durchleuchtungszeit bei 59,5 (8 – 222) Sekunden (1, 51). Dabei machen 15,3% der Durchleuchtungsdauer das Aufsuchen der richtigen Insertionsstelle aus. Aus den biometrischen Daten der distalen Radiusepiphyse lässt sich nun ein einfaches Konzept entwickeln, wie man in Zukunft auf diesen Durchleuchtungsschritt verzichten kann, ohne aber die Epiphysenfuge dabei zu verletzen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass es zwar einen signifikanten Unterschied in der Epiphysenhöhe abhängig von Alter und Geschlecht gibt, die Unterschiede sind allerdings so gering (1 – 3mm), dass sie für die Praxis vernachlässigbar sind, da beim Einbringen des Nagels ohnehin ein

ausreichender Sicherheitsabstand zur Epiphyse eingehalten werden muss. Die geringen Unterschiede ließen sich auch durch Messungenauigkeiten und durch die nicht standardisierten Röntgenaufnahmen erklären. Die Normalverteilung der Messergebnisse sowie die lineare Zunahme der Epiphysenhöhe mit dem Alter lassen dies allerdings vernachlässigen. Weiters wurde kein signifikanter Unterschied zwischen rechter und linker Seite gefunden, sodass es keine Rolle spielt, welcher Arm operiert wird. Zusammenfassend kann daher für die Praxis die Epiphysenhöhe, also der Abstand von der Spitze des *Processus styloideus* zur Epiphysenfuge als konstant angenommen werden.

Mit diesen Kenntnissen lässt sich nun auch intraoperativ die Lage der Epiphysenfuge ohne Zuhilfenahme eines Bildwandlers ermitteln. Ausgehend vom *Processus styloideus*, einer leicht tastbaren Landmarke am distalen Radius trägt man einfach die Höhe der Epiphyse proximal davon auf. Um sicher keine Epiphysenfuge zu verletzen, ist es besser, hier nicht die durchschnittliche Höhe, sondern die maximal gemessene Höhe zu verwenden (21mm). Zusätzlich dazu sollte ohnehin ein ausreichender Sicherheitsabstand noch dazu addiert werden. Intraoperativ lässt sich nun die richtige Insertionsstelle leicht durch die Anzahl an Querfingern (abhängig von der individuellen Fingerbreite) ermitteln. Von einer verminderten Strahlenbelastung profitieren allerdings nicht nur die Patienten, sondern, im Sinne des Strahlenschutzes auch das gesamte OP- Personal. Zuletzt führt all das nicht nur zu einer Verbesserung der Operationsmethode, sondern sind niedrige Bildwandlerzeiten auch ein Qualitätsmerkmal des Operateurs.

Nervenverletzungen sind bei Eingriffen am distalen Unterarm nach wie vor eine häufige Komplikation (52, 21, 2). Nach Jubel et al. kommt es bei 12% der Operationen mittels ESIN zu einer Verletzung des SRN (2) (siehe auch 1.5.6). Auch bei anderen Operationen wie der perkutanen Kirschnerdraht Osteosynthese zur Versorgung von distalen Radiusfrakturen oder in der Erwachsenen Chirurgie bei Handgelenksarthroskopien oder bei Zugängen zum ersten Strecksehnenfach (de Quervain tendovaginitis) ist der Nerv einem erhöhten Verletzungsrisiko ausgesetzt.

Die Vermessungen des Verlaufs des N. radialis superficialis haben gezeigt, dass der Nervenverlauf sehr stark variiert. Es wurde zwar eine positive Korrelation zwischen Nervenverzweigung und Radiuslänge errechnet, auf Grund der hohen Variationsbreite ist allerdings eine prädiktive Aussage über den genauen Verlauf

nicht zulässig, sodass es nach wie vor am besten ist, nach einer longitudinalen Inzision unter Sicht stumpf bis zum Periost zu präparieren. Die Untersuchungen haben zwar gezeigt, dass es ein Fenster gibt, wo es sehr unwahrscheinlich ist, auf einen Nervenast zu stoßen. Das Fenster befindet sich an der radialen Seite des Unterarms zwischen *Processus styloideus* und der Aufzweigung des Nervs in seine dorsalen und palmaren Äste. In diesem Bereich verlaufen keine Nervenfasern, noch kreuzen sie die radiale Kante des Radius. Leider lässt sich aber auf Grund der großen Streubreite der Messergebnisse keine prädiktive Aussage über die Lücke zwischen den Nervenästen machen. Dazu kommt, dass die Vermessung ausschließlich an adulten Präparaten durchgeführt wurde. Aus diesem Grund lassen sich die ermittelten Werte nicht auf Kinder übertragen. Allerdings sollen die Erkenntnisse über den genauen Nervenverlauf auf die Gefahrenstellen bei Eingriffen am distalen Radius sensibilisieren und vermeidbare Komplikationen wie Nervenverletzungen dadurch verhindert werden.

4.1 Schlussbetrachtung

ESIN ist eine schonende Methode zur Versorgung instabiler Unterarmschaftfrakturen bei Kindern. Besonders minimal invasive Verfahren verlangen jedoch sichere anatomische Kenntnisse, um gute Ergebnisse zu erzielen und Komplikationen zu vermeiden. Die vorliegenden Ergebnisse sollen dazu beitragen, die Qualität dieser Operationstechnik weiter zu verbessern. Einerseits sollen gute Kenntnisse über den Nervenverlauf im Operationsgebiet helfen, eine iatrogene Schädigung zu verhindern. Andererseits kann die intraoperative Durchleuchtungsdauer weiter vermindert werden, da gezeigt wurde, dass es auch möglich ist, nur durch die Anzahl an Querfingern, ausgehend vom *Processus styloideus radii* den korrekten Zugangsweg ohne Bildwandler zu finden. Der nächste Schritt wäre nun, die gewonnenen Ergebnisse im klinischen Alltag zu testen.

5 Literaturverzeichnis

1. Kraus R, Pavlidis T, Szalay G, Meyer C, Schnettler R. Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) in pediatric forearm shaft fractures: intraoperative image intensifier times. *Z Orthop Unfall* 2007; 145(2):195–8.
2. Jubel A, Andermahr J, Isenberg J, Issavand A, Prokop A, Rehm KE. Outcomes and complications of elastic stable intramedullary nailing for forearm fractures in children. *J Pediatr Orthop B* 2005; 14(5):375–80.
3. Hahn MP, Richter D, Muhr G, Ostermann PA. Pediatric forearm fractures. Diagnosis, therapy and possible complications. *Unfallchirurg* 1997; 100(10):760–9.
4. Weinberg A, Tscherne H. Allgemeiner Teil, Kopf, Obere Extremität, Wirbelsäule: Mit 117 Tabellen. Berlin: Springer; 2006. (Tscherne Unfallchirurgie Unfallchirurgie im Kindesalter: / Harald Tscherne (Hrsg.);/ A.-M. Weinberg (Hrsg.) ; 1).
5. Tillmann B. Anatomie des Menschen. Band I: Bewegungsapparat. 3., überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2003. (Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas hrsg. von H. Leonhardt ; Bd 1).
6. Junqueira LCU, Carneiro J, Kelley RO, Gratzl M, Junqueira-Carneiro-Kelley. Histologie. 5., neu übers., überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: Springer; 2002. (Springer-Lehrbuch).
7. Wülker N, Kluba T. Taschenlehrbuch Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart: Thieme; 2005.
8. Mann D, Schnabel M, Baacke M, Gotzen L. Results of elastic stable intramedullary nailing (ESIN) in forearm fractures in childhood. *Unfallchirurg* 2003; 106(2):102–9.
9. Berger P, De GJS, Leemans R. The use of elastic intramedullary nailing in the stabilisation of paediatric fractures. *Injury* 2005; 36(10):1217–20.
10. Jubel A, Andermahr J, Isenberg J, Schiffer G, Prokop A, Rehm KE. Experience with elastic stable intramedullary nailing (ESIN) of shaft fractures in children. *Orthopäde* 2004; 33(8):928–35.
11. Weinberg AM, Reilmann H, Lampert C, von LL. Experience with external fixation in treatment of shaft fractures in childhood. *Unfallchirurg* 1994; 97(3):107–13.

- 12.** Fernandez FF, Egenolf M, Carsten C, Holz F, Schneider S, Wentzensen A. Unstable diaphyseal fractures of both bones of the forearm in children: plate fixation versus intramedullary nailing. *Injury* 2005; 36(10):1210–6.
- 13.** Tarr RR, Garfinkel AI, Sarmiento A. The effects of angular and rotational deformities of both bones of the forearm. An in vitro study. *J Bone Joint Surg Am* 1984; 66(1):65–70.
- 14.** Gräfe G TWGEC. Spätergebnisse reponierter Unterarmfrakturen unter besonderer Berücksichtigung des Ausgleichs der mit Stellungsfehler verheilten Frakturen. Wiesbaden: Universum; 1995.
- 15.** Linke F CAAEV. Die diaphysären Vorderarmfrakturen bei Kindern – Analyse von 317 Fällen. Wiesbaden: Universum; 1995.
- 16.** Schmittenbecher PP. State-of-the-art treatment of forearm shaft fractures. *Injury* 2005; 36 Suppl 1:A25-34.
- 17.** Younger AS, Tredwell SJ, Mackenzie WG, Orr JD, King PM, Tennant W. Accurate prediction of outcome after pediatric forearm fracture. *J Pediatr Orthop* 1994; 14(2):200–6.
- 18.** Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Rude J, Voll M, Wesker K. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: 100 Tabellen. Stuttgart: Thieme; 2005.
- 19.** Robson AJ, See MS, Ellis H. Applied anatomy of the superficial branch of the radial nerve. *Clin Anat* 2008; 21(1):38–45.
- 20.** Schmittenbecher PP. Complications and errors in use of intramedullary nailing in shaft fractures in childhood. *Kongressbd Dtsch Ges Chir Kongr* 2001; 118:435–7.
- 21.** Robson A.J., See M. S.; Ellis H. Applied anatomy of the superficial branch of the radial nerve; 13.12.2007. 2007 Dec 13 [cited 2009 Sep 28].
- 22.** Bochang C, Jie Y, Zhigang W, Weigl D, Bar-On E, Katz K. Immobilisation of forearm fractures in children: extended versus flexed elbow. *J Bone Joint Surg Br* 2005; 87(7):994–6.
- 23.** de PJ, Franzreb M, Barrios C. Longitudinal growth pattern of the radius after forearm fractures conservatively treated in children. *J Pediatr Orthop* 1994; 14(4):492–5.
- 24.** Murray DW, Wilson-MacDonald J, Morscher E, Rahn BA, Kaslin M. Bone growth and remodelling after fracture. *J Bone Joint Surg Br* 1996; 78(1):42–50.

- 25.** Weinberg AM, Heidari N. Fracture management during the growth. AO. University Graz: Trauma Department; 12.09.2009.
- 26.** Laer Lv, Kraus R, Linhart WE. Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 5., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Stuttgart: Thieme; 2007.
- 27.** Laurer H, Sander A, Wutzler S, Walcher F, Marzi I. Therapy principles of distal fractures of the forearm in childhood. Chirurg 2009.
- 28.** Fuller DJ, McCullough CJ. Malunited fractures of the forearm in children. J Bone Joint Surg Br 1982; 64(3):364–7.
- 29.** Clement DA, Colton CL. Overgrowth of the femur after fracture in childhood. An increased effect in boys. J Bone Joint Surg Br 1986; 68(4):534–6.
- 30.** Nork SE, Bellig GJ, Woll JP, Hoffinger SA. Overgrowth and outcome after femoral shaft fracture in children younger than 2 years. Clin Orthop Relat Res 1998; (357):186–91.
- 31.** Buckwalter JA, Glimcher MJ, Cooper RR, Recker R. Bone biology. I: Structure, blood supply, cells, matrix, and mineralization. J Bone Joint Surg Br 1995; 77:1276–83.
- 32.** Breitfuss H, Muhr G. Can accelerated longitudinal growth be prevented following pediatric femur shaft fractures? Unfallchirurg 1988; 91(4):189–94.
- 33.** Trueta J. The role of the vessels in osteogenesis. J Bone Joint Surg Br 1963; 45:402–5.
- 34.** Kaspar D, Neidlinger-Wilke C, Holbein O, Claes L, Ignatius A. Mitogens are increased in the systemic circulation during bone callus healing. J Orthop Res 2003; 21(2):320–5.
- 35.** Dietz HG, Schmittenebecher PP, Illing P. Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter: Mit 360 Abbildungen, 8 Tabellen und einer Farbtafel. München: Urban & Schwarzenberg; 1997.
- 36.** Navascues JA, Gonzalez-Lopez JL, Lopez-Valverde S, Soletto J, Rodriguez-Durantez JA, Garcia-Trevijano JL. Premature physeal closure after tibial diaphyseal fractures in adolescents. J Pediatr Orthop 2000; 20(2):193–6.
- 37.** Gustilo B, Anderson JP. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty five open fractures of the long bones. J Bone Joint Surg Am 1976; 58:453–8.
- 38.** Oestern HJ, Tschernke H. Pathophysiologie und Klassifikation des Weichteilschadens. Hefte Unfallheilkunde 1983; 162:1–10.

39. Hahn MP, Richter D, Ostermann PA, Muhr G. Elastic intramedullary nailing--a concept for treatment of unstable forearm fractures in childhood. *Chirurg* 1996; 67(4):409–12.
40. Chan CF, Meads BM, Nicol RO. Remanipulation of forearm fractures in children. *N Z Med J* 1997; 110(1047):249–50.
41. al-Qattan MM, Clarke HM, Zimmer P. Radiological signs of entrapment of the median nerve in forearm shaft fractures. *J Hand Surg Br* 1994; 19(6):713–9.
42. Lascombes P, Prevot J, Ligier JN, Metaizeau JP, Poncelet T. Elastic stable intramedullary nailing in forearm shaft fractures in children: 85 cases. *J Pediatr Orthop* 1990; 10(2):167–71.
43. Garg NK, Ballal MS, Malek IA, Webster RA, Bruce CE. Use of elastic stable intramedullary nailing for treating unstable forearm fractures in children. *J Trauma* 2008; 65(1):109–15.
44. Beldner S, Zlotolow DA, Melone CP, JR, Agnes AM, Jones MH. Anatomy of the lateral antebrachial cutaneous and superficial radial nerves in the forearm: a cadaveric and clinical study. *J Hand Surg Am* 2005; 30(6):1226–30.
45. Battle J, Carmichael KD, Morris RP. Biomechanical comparison of flexible intramedullary nailing versus crossed Kirschner wire fixation in a canine model of pediatric forearm fractures. *J Pediatr Orthop B* 2006; 15(5):370–5.
46. Wyrsh B, Mencio GA, Green NE. Open reduction and internal fixation of pediatric forearm fractures. *J Pediatr Orthop* 1996; 16(5):644–50.
47. Schlickewei W, Salm R. Indications for intramedullary stabilization of shaft fractures in childhood. What is reliable, what is assumption?. *Kongressbd Dtsch Ges Chir Kongr* 2001; 118:431–4.
48. Weinberg AM, Castellani C, Amerstorfer F. Elastic Stable Intramedullary Nailing (ESIN) of forearm fractures. *Oper Orthop Traumatol* 2008; 20(4-5):285–96.
49. Oberle M, Schlickewei W. Elastic-stable-intramedullary nailing for forearm fractures in children using TENS. *Unfallchirurg* 2005; 108(3):235–7.
50. Kraus R, Meyer C, Heiss C, Stahl JP, Schnettler R. Intraoperative radiation exposure in elastic stable intramedullary nailing (ESIN) during the growth period. Observations in 162 long bone shaft fractures. *Unfallchirurg* 2007; 110(1):28–32.
51. Kraus R, Schiefer U, Schafer C, Meyer C, Schnettler R. Elastic stable intramedullary nailing in pediatric femur and lower leg shaft fractures:

intraoperative radiation load. *J Pediatr Orthop* 2008; 28(1):14–6. Available from: URL:doi:10.1097/bpo.0b013e31815b309c.

52. Slongo TF. Complications and failures of the ESIN technique. *Injury* 2005; 36 Suppl 1:A78-85.

53. Calder PR, Achan P, Barry M. Diaphyseal forearm fractures in children treated with intramedullary fixation: outcome of K-wire versus elastic stable intramedullary nail. *Injury* 2003; 34(4):278–82.

54. Kravel T, Sher-Lurie N, Ganel A. Extensor pollicis longus rupture after fixation of radius and ulna fracture with titanium elastic nail (TEN) in a Child: a case report. *J Trauma* 2007; 63(5):1169–70.

55. Celebi L, Muratli HH, Dogan O, Yagmurlu MF, Aksahin E, Bicimoglu A. The results of intramedullary nailing in children who developed redisplacement during cast treatment of both-bone forearm fractures. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2007; 41(3):175–82.

Lebenslauf

Persönliches:

Name	Wiklicky Sebastian
Geburtsdatum	1. August 1985
Geburtsort	Wien
Eltern	Peter und Regina Wiklicky
Geschwister	Viktoria, Robert, Georg

Schulbildung:

1993 - 1996	Volksschule Freistadt
1996 - 2004	Gymnasium Freistadt
2004	Reifeprüfung mit ausgezeichnetem Erfolg

2004 - 2005

Zivildienst beim Roten Kreuz

Seit 2004

Rettungssanitäter beim Roten Kreuz Österreich

Universitäre Ausbildung:

2005 – 2006	Studium für Industrial Design an der Universität für Angewandte Kunst in Wien
Seit 2006	Studium der Humanmedizin an der Medizinischen Universität Graz 1. Abschnitt: Juli 2007 Studium bis voraussichtlich 2012

Famulaturen:

09/2007	Viszeralchirurgie am LKH Freistadt
07/2008	Emergency Room am Cho Ray Hospital in Saigon, Vietnam
08/2008	Tropical Diseases am Cho Ray Hospital in Saigon, Vietnam
02/2009	Innere Medizin am LKH Freistadt
02/2010	Unfallchirurgie am AKH Linz

Vertiefte Ausbildung:

12/2008	Klinisch topographische Anatomie Kopf, Hals
12/2009	Case based learning
01/2010	Chirurgische Operationslehre
01/2010	Water for Life
2009/2010	Alpin- und Höhenmedizin I/II
2009/2010	Expedition- und Wildernessmedizin I/II

Besondere Kenntnisse:

Englisch	fließend
Französisch	fließend
Spanisch	Grundkenntnisse