

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR CHIRURGIE
PROF. DR. MED. HANS J. SCHLITT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

Posttraumatische Nervenläsionen am kindlichen Ellenbogen

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Christine Susanne Althaus

JAHR 2022

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR CHIRURGIE
PROF. DR. MED. HANS J. SCHLITT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

Posttraumatische Nervenläsionen am kindlichen Ellenbogen

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Christine Susanne Althaus

JAHR 2022

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Hans J. Schlitt

2. Berichterstatter: PD Dr. Elisabeth Bründl

Tag der mündlichen Prüfung: 09.11.2022

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	6
2	Einleitung.....	11
2.1	Posttraumatische Nervenläsionen in der Kinderchirurgie	11
2.1.1	Allgemeines.....	11
2.1.2	Anatomie der langen Armnerven.....	11
2.1.3	Anatomie, Läsion und Regeneration des peripheren Nervs.....	16
2.1.4	Seddon und Sunderland Klassifikation.....	17
2.1.5	Diagnostik der Nervenläsion	19
2.1.6	Therapie und Prognose.....	24
2.2	Suprakondyläre Humerusfrakturen im Kindesalter.....	26
2.2.1	Epidemiologie.....	26
2.2.2	Klassifikation nach v. Laer	26
2.2.3	Therapie.....	27
2.2.4	Komplikationen.....	30
3	Zielsetzung und Fragestellung.....	32
4	Patienten und Methoden.....	33
4.1	Studiendesign.....	33
4.2	Patientenauswahl	33
4.3	Methodik	36
4.4	Definition von Zielgrößen	36
4.5	Auswertung und Statistik	41
5	Ergebnisse.....	43
5.1	Posttraumatische Nervenläsionen.....	43
5.1.1	Patienten der Klinik St. Hedwig Regensburg	43
5.1.2	Patienten mit auswärtig behandelte Fraktur.....	48
5.1.3	Gesamtes Patientenkollektiv	50
5.1.4	Therapie und Regeneration der Nervenläsionen.....	52
5.2	Suprakondyläre Humerusfrakturen	58

5.2.1	Inzidenz und Therapie.....	58
5.2.2	Posttraumatische Nervenläsionen.....	58
6	Diskussion	63
6.1	Posttraumatische Nervenläsionen.....	63
6.1.1	Häufigkeitsverteilung der Nervenläsion.....	63
6.1.2	Häufigkeitsverteilung der Frakturen	64
6.1.3	Frakturbehandlung	64
6.1.4	Iatrogene Nervenläsion	65
6.1.5	Therapie und Behandlungserfolg der Nervenläsion	67
6.2	Suprakondyläre Humerusfraktur	70
6.2.1	Rate an Nervenläsionen.....	70
6.2.2	Patientenangaben	71
6.2.3	Klassifikation nach v. Laer	71
6.2.4	Häufigkeitsverteilung der Nervenläsionen.....	72
6.2.5	Frakturversorgung.....	73
6.3	Schwächen der Studie	76
7	Literatur.....	77
8	Abbildungsverzeichnis	83
9	Tabellenverzeichnis	85
10	Danksagung	86
11	Erklärung.....	87

Abkürzungsverzeichnis

ESIN	elastisch stabile intramedulläre Nagelung
et al.	et alia
K-Draht	Kirschner-Draht
klin.	klinische
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MSAP	Muskelsummenaktionspotential
N.	Nervus
Nn.	Nervi
OP	Operation
R.	Ramus
SD	Standardabweichung s
SKHF	suprakondyläre Humerusfraktur
SNAP	sensibles Nervenaktionspotential

1 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie evaluiert posttraumatische Nervenläsionen im Rahmen von Frakturen der oberen Extremität bei Kindern. Hierbei spielen Ellenbogenfrakturen eine bedeutende Rolle. Die retrospektive Datenerfassung und Auswertung erfolgte in mehreren Teilen: Zuerst wurden die Ergebnisse der Kinder, deren Fraktur und Nervenläsion ausschließlich in der Kinderklinik St. Hedwig in Regensburg behandelt wurden, dargestellt. Anschließend wurden in der Evaluation auch Kinder mit auswärtig versorgter Fraktur berücksichtigt. Zuletzt wurde die suprakondyläre Humerusfraktur im Zusammenhang mit Nervenläsionen untersucht.

Im Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2019 wurden 27 Kinder aufgrund einer traumatisch bedingten Nervenläsion in der Kinderklinik St. Hedwig in Regensburg behandelt. 41% (11) der Patienten waren Mädchen und 59% (16) waren Jungen. Der Altersdurchschnitt lag bei 7,52 (SD \pm 2,74, range 3-13) Jahren. Es konnten insgesamt 34 Nervenläsionen beobachtet werden. Der N. ulnaris nahm einen Anteil von 68% (23) ein, der N. medianus war in 21% (7) der Fälle betroffen und der N. radialis in 12% (4). Bei 5 Patienten waren zwei Nerven gleichzeitig verletzt, bei einem Patienten alle drei langen Armnerven. Von 29 beobachteten Knochenbrüchen war in 72% (21) der Oberarm betroffen und in 28% (8) der Unterarm.

Die Nervenläsionen von 70% (19) der Kinder konnten in Zusammenhang mit einer suprakondylären Humerusfraktur gebracht werden. Bei 96% (26) der Patienten wurde die Fraktur operativ therapiert. Die Nervenläsionen von 21 Kindern (78%, 27 Nervenläsionen) wurden erst postoperativ bemerkt und gelten somit als iatrogen.

Es konnten 9 Patienten mit auswärtig therapierter Fraktur und posttraumatischer Nervenläsion im Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2019 in die Studie aufgenommen werden. Der Altersdurchschnitt lag bei 8,22 Jahren (SD \pm 4,38, range 3-15). 33% (3) der Kinder waren weiblich und 67% (6) waren männlich. 11 Nervenläsionen konnten erfasst werden. Der N. ulnaris war in 55% (6), der N. radialis in 27% (3) und der N. medianus in 18% (2) der Fälle betroffen. Bei zwei Patienten waren zwei Nerven gleichzeitig verletzt. Bei 67% (6) der Patienten lag eine Oberarmfraktur vor und bei 33% (3) eine Unterarmfraktur. Suprakondyläre Humerusfrakturen nahmen einen Anteil von 44% (4) der vorliegenden Frakturen ein.

Operativ wurden 89% (8) der Knochenbrüche behandelt. Bei einem Patienten wurde während der primären Frakturversorgung eine Neurolyse der beschädigten Nerven (N. ulnaris und N. medianus) durchgeführt.

Das gesamte Patientenkollektiv (36 Patienten) schließt die Kinder, deren Fraktur in der Klinik St. Hedwig versorgt wurde zusammen mit den auswärtig behandelten Kindern ein. Die Nervenläsionen aller erfassten Patienten wurden in der Klinik St. Hedwig bzw. im Krankenhaus Barmherzige Brüder Regensburg therapiert.

Der weibliche Anteil lag bei 39% (14) und der männliche bei 61% (22). Der Mittelwert des Alters der Patienten zum Zeitpunkt des Traumas war 7,69 Jahre (SD \pm 3,17, range 3-15). Den N. ulnaris betrafen 64% (29) der 45 beobachteten Nervenläsionen, in 20% (9) der Fälle war der N. medianus geschädigt und in 16% (7) der N. radialis. Bei 7 Kindern waren zwei Nerven gleichzeitig verletzt und bei einem Kind alle drei langen Armnerven.

In 61% (23) der vorliegenden Fälle führte eine suprakondyläre Humerusfraktur zu der Nervenverletzung. Die Frakturen von 94% (34) der Kinder wurden operativ therapiert, 6% (2) wurden konservativ behandelt. Eine Neurolyse während der primären Frakturversorgung wurde bei einem Kind (3%) durchgeführt.

Die Nervenverletzungen von 31 Patienten (86%) wurden konservativ therapiert. Bei einem Anteil von 97% (30) entsprach die konservative Therapie einer regelmäßigen Physiotherapie. 11% (4) der Patienten erhielten eine operative Therapie der Nervenläsion in Form einer Neurolyse. Bei einem Kind (3%) wurde eine Therapie für nicht nötig empfunden. Die Behandlungsdauer lag zwischen 3 Monaten und 45 Monaten mit einem Mittelwert von 12 Monaten.

Insgesamt trat bei 92% (33) der Kinder eine Besserung der Nervenläsion durch die jeweilige Therapie ein. 44% (16) der Patienten beendeten die Behandlung mit einem sehr guten Outcome. 17% (6) der Patienten wiesen ein gutes Outcome auf, bei 31% (11) war das Therapieergebnis befriedigend und bei 8% (3) unbefriedigend.

Im Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2018 wurden 886 kinderchirurgische Patienten (Alter 0-18 Jahre) mit der Diagnose einer suprakondylären Humerusfraktur in der Kinderklinik St. Hedwig in Regensburg versorgt. Dabei wurde bei 2% (19) der

Kinder eine traumatisch bedingte Nervenläsion diagnostiziert. 37% (7) der Patienten waren weiblich und 63% (12) männlich. Der Altersdurchschnitt lag bei 6,89 Jahren (SD \pm 2,60, range 3-12). Von den 19 suprakondylären Humerusfrakturen wurden 89% (17) als Typ IV und 11% (2) als Typ III nach v. Laer klassifiziert.

71% (17) der 24 beobachteten Nervenverletzungen waren Ulnarisläsionen, 17% (4) Medianusläsionen und 13% (3) Radialisläsionen. In 79% (15 Patienten, 19 Nervenverletzungen) der Fälle war die Nervenverletzung präoperativ nicht bekannt und wurde erst postoperativ festgestellt.

Die suprakondylären Humerusfrakturen aller 19 Patienten wurden operativ therapiert. Das Zeitintervall zwischen dem Eintreffen in der Notaufnahme und dem OP-Schnitt betrug im Mittel 03:47h (range 01:07h – 16:44h). Die Operation (Schnitt-Naht-Zeit) dauerte im Durchschnitt 00:42h (range 00:11h – 01:41h). Bei 95% (18) der Patienten wurde die Kirschner-Draht-Osteosynthese zur Frakturversorgung verwendet. Ein Kind (5%) wurde mit einer ESIN-Osteosynthese behandelt. Die Frakturposition erfolgte bei allen Patienten geschlossen.

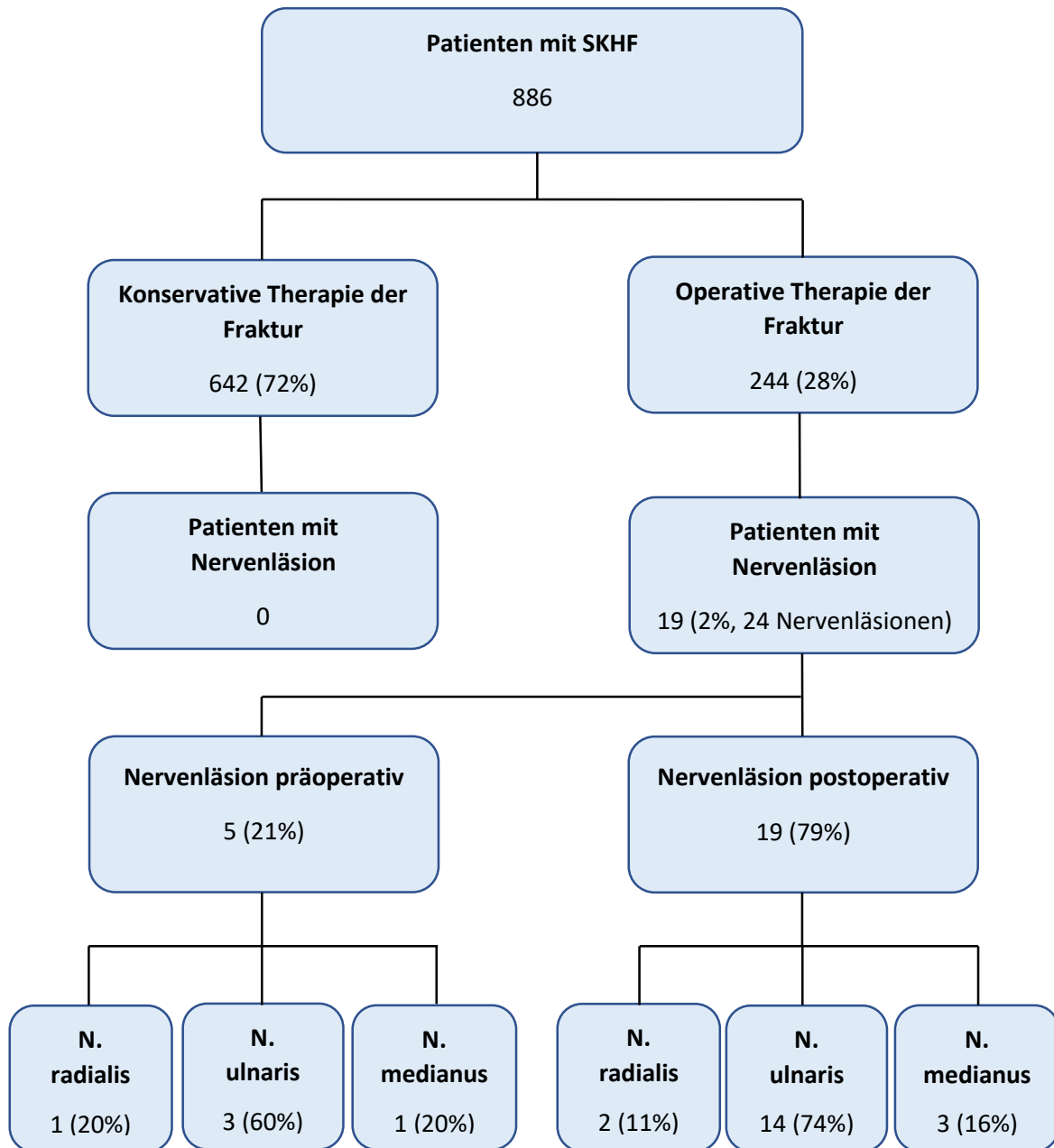


Abbildung 1: Flussdiagramm zu den Patienten mit supracondylärer Humerusfraktur

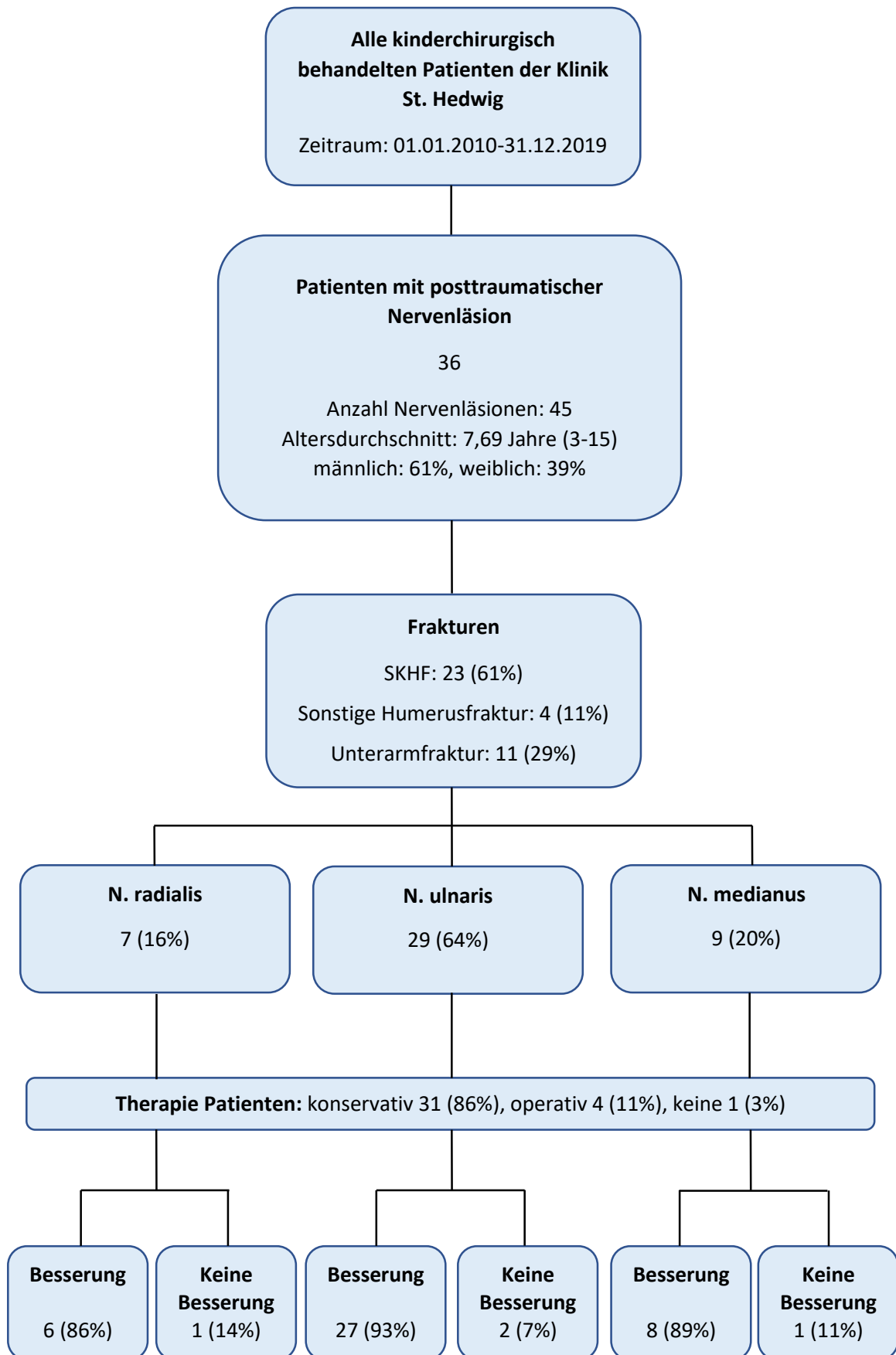


Abbildung 2: Flussdiagramm zu den Patienten mit posttraumatischer Nervenläsion

2 Einleitung

2.1 Posttraumatische Nervenläsionen in der Kinderchirurgie

2.1.1 Allgemeines

Periphere Nervenverletzungen sind keine Seltenheit in der Kindertraumatologie [1]. Am häufigsten werden die Nervenläsionen im Kindesalter durch Schnittwunden an der oberen Extremität verursacht, meist durch Glas oder scharfe Gegenstände [2]. An zweiter Stelle stehen traumatisch bedingte Frakturen als Ursache für den Nervenschaden [1]. In diesem Zusammenhang muss die suprakondyläre Humerusfraktur erwähnt werden, da 10-20% jener Ellenbogenfrakturen eine periphere Nervenläsion nach sich ziehen [3–9]. Auf diesen Frakturtyp wird in einem eigenen Punkt der Einleitung näher eingegangen. Die meisten Nervenverletzungen sind mit einer guten Prognose assoziiert, die Nerven regenerieren spontan innerhalb von 2-4 Monaten [1, 10].

2.1.2 Anatomie der langen Armnerven

Um die Komplikation einer Nervenverletzung bei bestimmten Frakturen verstehen zu können, ist die Kenntnis der Anatomie eine wichtige Voraussetzung. Zudem sind den meisten Nerven typische Ausfallerscheinungen zuzuordnen, die im klinischen Alltag helfen können, den betroffenen Nerv und die Läsionshöhe festzustellen. Da in dieser Arbeit hauptsächlich Oberarmfrakturen evaluiert wurden, wird nun im Folgenden auf die drei langen Armnerven, den Nervus radialis, den Nervus ulnaris und den Nervus medianus, eingegangen.

2.1.2.1 Nervus radialis

Der N. radialis bildet die Fortsetzung des Fasciculus posterior, welcher als einer der drei Sekundärstränge dem Plexus brachialis entspringt. Nach seinem Verlauf im Sulcus n. radialis auf der Rückseite des Humerus gelangt er proximal des Epicondylus humeri radialis zwischen den Musculus brachioradialis und den M. brachialis und zieht nach distal in die Ellenbogenbeuge. Dort teilt er sich in zwei Äste auf, den R. profundus und den R. superficialis. Ersterer läuft als R. interosseus posterior durch den Supinatorkanal im M. supinator bis zum Handgelenk. Der R. superficialis zieht

unterhalb des M. brachioradialis zur Hand und endet am radialen Handrücken als sensibler Hautast [11].

Zunächst als N. radialis und proximal der Ellenbeuge als R. interosseus posterior innerviert er motorisch insgesamt 13 verschiedene Muskeln des Armes. Unter anderem den M. triceps brachii, den M. brachioradialis, die Mm. extensores carpi radiales longus u. brevis, den M. supinator, den M. abductor pollicis longus und sämtliche Fingerextensoren [11].

Das autonome Versorgungsgebiet des sensiblen R. superficialis entspricht dem Spatium interosseum zwischen Daumen und Zeigefinger im Bereich des radialen Handrückens. Weiterhin versorgt der N. radialis einen Großteil des dorsalen Ober- und Unterarmes sensibel [11].

2.1.2.2 Nervus ulnaris

Der N. ulnaris entstammt dem Fasciculus medialis des Plexus brachialis. Anfänglich verläuft er im Sulcus bicipitalis medialis, bis er in der Mitte des Oberarms auf die Streckseite gelangt. Der Nerv passiert den Epicondylus medialis des Ellenbogengelenkes im Sulcus n. ulnaris, welcher direkt inferior des Knochenvorsprungs liegt. Danach zieht er unterhalb des M. flexor carpi ulnaris bis zum Handgelenk. Dort verläuft der N. ulnaris durch die Guyon-Loge zur Palmarfläche der Hand, wo die Aufteilung in einen rein motorischen R. profundus und einen R. superficialis erfolgt [11].

Insgesamt werden 17 verschiedene Muskeln motorisch durch den N. ulnaris innerviert. Dazu zählen der M. flexor carpi ulnaris, der ulnare Teil des M. flexor digitorum profundus, der M. abductor, M. opponens und M. flexor digiti minimi brevis, die Mm. interossei palmares und dorsales, Mm. lumbricales III und IV, der M. abductor pollicis und der M. flexor pollicis brevis.

Das Autonombgebiet des N. ulnaris entspricht dem gesamten kleinen Finger. Außerdem versorgt der Nerv palmar bis zur Hälfte des Ringfingers und dorsal bis zur Hälfte des Mittelfingers die ulnare Seite der Hand sensibel [11].

Abbildung 4: anatomischer Verlauf des N. ulnaris [11]

2.1.2.3 Nervus medianus

Der Plexus brachialis bildet ebenfalls den Ursprung des N. medianus, wobei sich der Nerv aus einer Radix lateralis, die dem Fasciculus lateralis entspringt und einer Radix medialis, die aus dem Fasciculus medialis des Plexus kommt, zusammensetzt. Der Nerv verläuft im Sulcus bicipitalis medialis bis zur Ellenbeuge und tritt dort zwischen den beiden Köpfen des M. pronator teres durch. Am Unterarm zieht der N. medianus zwischen den oberflächlichen und tiefen Fingerbeugern zum Handgelenk, wo er unter dem Retinaculum musculorum flexorum im Karpalkanal zur Innenfläche der Hand läuft. Hier zweigt er sich in einen motorischen und mehrere sensible Endäste auf [11].

In seinem Verlauf versorgt der N. medianus zwölf Muskeln motorisch. Unter anderem den M. pronator teres, sämtliche Finger- und Handgelenksflexoren, den M. opponens pollicis, den M. abductor pollicis brevis und die Mm. lumbricales I und II [11].

Das autonome Versorgungsgebiet des N. medianus entspricht den Fingerkuppen der radialen dreieinhalb Finger. Zusätzlich innerviert er sensibel die Haut der radialen Hohlhand bis hin zur Mitte des Ringfingers [11].

Abbildung 5: anatomischer Verlauf des N. medianus [11]

2.1.3 Anatomie, Läsion und Regeneration des peripheren Nervs

Der periphere Nerv besteht aus Nervenfasern, den sog. Axonen, und deren Hüllschichten. Die Zellkörper der Axone befinden sich in den Spinalganglien und im Rückenmark, wobei sich 90% des plasmatischen Volumens des Neurons im Axon befindet. Die einzelnen Nervenfasern sind von einer Myelinschicht umgeben, die im peripheren Nervensystem von Schwanzellen gebildet wird. Zwischen zwei aneinandergrenzenden Schwanzellen befindet sich ein Ranvierscher Schnürring. Dort liegt ein kurzer Abschnitt der Axonmembran frei, sodass das Aktionspotential entlang der Nervenfasern von einem Ranvierschen Schnürring zum nächsten springen kann. Dieser Vorgang wird saltatorische Erregungsleitung genannt und beschleunigt die Erregungsleitung entlang des Nervs. Die Myelinschicht ist wiederum von einem Endoneurium ummantelt. Mehrere Nervenfasern werden in Faszikeln zusammengefasst und vom Perineurium umgeben. Die äußerste Hülle des peripheren Nervs bildet eine bindegewebige Schicht, das Epineurium. Es umgibt nicht nur die Nervenfaszikel, sondern auch Blutgefäße, die im peripheren Nerv verlaufen und diesen versorgen [11–15].

Die Durchtrennung des Axons teilt das Neuron in zwei Teile. Die einzige Möglichkeit die untergegangene Zellkomponente wiederherzustellen, ist die Produktion eines neuen Axons, welches nach distal bis zum Erfolgsorgan aussprossen muss [14]. Das Axon degeneriert einige Tage nach der Durchtrennung distal der Läsion, da der Kontakt zum Zellkörper und somit die Versorgung nicht mehr besteht. Die Myelinscheide zerfällt und wird mit den Überresten des Axons von Schwanzzellen und eingewanderten Makrophagen phagozytiert. Dieser Prozess wird Waller-Degeneration genannt. Gleichzeitig finden strukturelle Veränderungen im dazugehörigen Zellkörper statt, da durch die Läsion ein großer Anteil des plasmatischen Volumens verloren gegangen ist. Der Zellkörper schwillt an, verlagert den Zellkern an den Rand und produziert vermehrt Komponenten, die für das axonale Wachstum nötig sind [11, 14]. Proximal der Läsion degeneriert das Axon bis zu einer Distanz von mehreren internodalen Segmenten und hinterlässt einen leeren endoneuralen Zylinder. Außerdem beginnen die Schwanzzellen sich vermehrt zu teilen. Nach einiger Zeit entsendet der proximale Axonstumpf mehrere neue Axon-Sprossen, die nach distal mit einer Geschwindigkeit von 1mm pro Tag in ihr ursprüngliches Innervationsgebiet vordringen. Dabei dienen intakte Hüllstrukturen sowie Bänder aus

proliferierenden Schwanzellen als Leitstrukturen. Außerdem können benachbarte, unversehrte Axone Kollateralen in das betroffene Gebiet aussenden. Zum Schluss wird das regenerierte Axon von den umliegenden Schwanzellen myelinisiert. Eine Nervenfasern wird nun von einer größeren Anzahl an Schwanzellen ummantelt als zuvor, da sich die Schwanzellen distal der Nervenverletzung vermehrt haben. Dadurch entstehen auch mehr Ranvier-Schnürringe. Die saltatorische Erregungsleitung und somit die messbare Nervenleitgeschwindigkeit ist langsamer als vor der Läsion [11, 14, 16, 17].

2.1.4 Seddon und Sunderland Klassifikation

Es gibt zwei gängige Klassifikationen für Nervenverletzungen, die im klinischen Alltag verwendet werden: die etwas Einfachere von Seddon und die Ausführlichere von Sunderland [12].

Die Seddon-Klassifikation unterteilt Nervenläsionen in drei Typen: Neurapraxie, Axonotmesis und Neurotmesis. Neurapraxie beschreibt den Zustand eines kontinuierlicherhaltenden Nervs mit intakten Nervenfasern und Hüllstrukturen, jedoch lokaler Demyelinisierung. Ursächlich sind meist ein stumpfes Trauma oder eine Kompressionsverletzung. Der daraus resultierende Leitungsblock besteht bis zur lokalen Remyelinisierung, welche normalerweise Wochen bis Monate benötigt [12, 14, 16].

Bei der Axonotmesis ist die Kontinuität der Axone unterbrochen, die Hüllschichten sind jedoch intakt und somit ist die Kontinuität des gesamten Nervs erhalten [12, 16, 18]. Es kommt zur sog. Waller-Degeneration. Nach mehreren Wochen beginnt das Wachstum der Nervenfasern von proximal aus mit einer Geschwindigkeit von 1mm pro Tag [11, 14, 16]. Da bei der Axonotmesis die Hüllstrukturen intakt sind, ist die Prognose für die korrekte Reinnervation gut [14].

Neurotmesis ist die schwerste Nervenverletzung. Der Nerv ist komplett durchtrennt, die Axone, die Schwanzellen, das Endo-, Peri- und Epineurium sind in ihrer Kontinuität unterbrochen [19]. Durch das Fehlen der Leitstrukturen kommt es zur ungeordneten Aussprossung von Axonen, die zur Knäuelbildung führt, wobei Stumpfneurome entstehen [17].

Sunderland definiert fünf Typen an Nervenläsionen. Grad eins entspricht Seddons Neurapraxie. Bei der Grad-Zwei-Verletzung ist die Kontinuität des Axons unterbrochen, Endoneurium, Perineurium und Epineurium sind aber intakt. Grad drei beschreibt ebenfalls den Kontinuitätsverlust der Nervenfasern und zudem die Schädigung des Endoneuriums. Bei Grad vier ist zusätzlich das Perineurium verletzt, das Epineurium ist aber intakt. Grad fünf entspricht Seddons Neurotmesis und somit der Durchtrennung des gesamten Nervs mit allen zugehörigen Hüllstrukturen [20, 21]. Sunderland schildert außerdem die Waller-Degeneration ab Grad zwei bis Grad fünf [21].

Tabelle 1 fasst die Klassifikation nach Seddon und Sunderland zur besseren Übersicht zusammen.

Die Nervenläsionen gehen mit einem kompletten Ausfall der motorischen, sensiblen und sympathischen Funktion des Versorgungsgebietes einher. Lediglich bei der Neurapraxie kann die Sensibilität und die sympathische Aktivität teilweise erhalten sein [21].

Seddon Klassifikation	Sunderland Klassifikation	Pathologie
Neurapraxie	I	Lokale Demyelinisierung
Axonotmesis	II	Kontinuitätsverlust Axon Endoneurium intakt Perineurium intakt Epineurium intakt
	III	Kontinuitätsverlust Axon Endoneurium durchtrennt Perineurium intakt Epineurium intakt
	IV	Kontinuitätsverlust Axon Endoneurium durchtrennt Perineurium durchtrennt Epineurium intakt
Neurotmesis	V	Kontinuitätsverlust Axon Endoneurium durchtrennt Perineurium durchtrennt Epineurium durchtrennt

Tabelle 1: Seddon und Sunderland Klassifikation [20]

2.1.5 Diagnostik der Nervenläsion

Die Diagnostik zur Feststellung einer peripheren Nervenläsion erfolgt im Zusammenspiel von klinisch neurologischer Untersuchung, Elektrophysiologie und bildgebenden Verfahren [17].

2.1.5.1 Klinische Untersuchung

Das Ziel des Klinikers sollte sein, die Nervenverletzung schnellst möglich zu erkennen und später in weiteren Untersuchungen den betroffenen Nerv bzw. die betroffenen Nerven, den Verletzungsgrad sowie die Tiefe und Ausprägung der Läsion zu bestimmen. Die Erhebung einer präzisen Unfallsanamnese spielt eine große Rolle, da schwere Verletzungen häufig ernsthafte Nervenläsionen nach sich ziehen [22].

Zu den Symptomen einer akuten peripheren Nervenläsion zählen Dysästhesien, Anästhesien, Schwächen, Lähmungen und Funktionsausfälle. Schmerzen aufgrund

einer Nervenverletzung sind beim pädiatrischen Patienten selten und Anzeichen einer inkompletten Durchtrennung des Nervs [10, 22]. Vereinzelt stellen Patienten eine Überwärmung und Trockenheit der relevanten Haut fest [22].

Zu Beginn der klinischen Untersuchung ist bei Kindern die Observation der spontanen Benutzung der betroffenen Extremität besonders bedeutend. Es sollte beobachtet werden, inwiefern das Kind die Gliedmaße in Aktivitäten miteinbezieht und ob eine Schonhaltung besteht [2]. Danach ist auf die oben aufgeführten Symptome zu prüfen, was beim Kind eine größere Herausforderung an den Untersucher darstellt als beim Erwachsenen [10]. Bei Kindern ist es wichtig zu priorisieren, welche Muskeln für die Evaluation essenziell sind. Eine Untersuchung aller Muskelgruppen kann ggf. der erfolgreichen Durchführung einer vollständigen Untersuchung im Wege stehen. Außerdem ist es sinnvoll, nur die Muskeln, die isoliert von dem betroffenen Nerv innerviert werden, zu untersuchen [2]. Es kann hilfreich sein, zudem die unverletzte Extremität zu testen, um sicherzustellen, dass das Kind die Instruktionen des Untersuchers versteht [2].

Eine Empfehlung der zu testenden Muskeln enthält Tabelle 2.

Typisch für eine Läsion des Nervus radialis ist das klinische Bild der Fallhand mit Ausfall aller Handextensoren, den Strecker der Fingergrundgelenke und des Daumens, sowie des langen Daumenabduktors. Zusätzlich kommt es zu einem Funktionsausfall der Mm. brachioradialis und supinator. Der M. triceps brachii fällt nur bei hohen Radialisläsionen aus [11, 23]. Die Sensibilitätsstörungen beschränken sich meist auf das autonome Versorgungsgebiet des Nervs, also das Areal zwischen Daumen und Zeigefinger. Sensibilitätsausfälle können jedoch auch am radialen Handrücken, im Bereich des dorsalen Daumens, Zeige- und radialen Mittelfingers auftreten [11].

Bei leichten Ulnarislähmungen können initial Parästhesien der ulnaren Handpartie beobachtet werden. Später werden zunehmend Ausfälle der Ulnaris innervierten Handmuskulatur auffällig. Schon bei leichten Läsionen des N. ulnaris kann ein positives Froment-Zeichen getestet werden: Der Patient soll ein Blatt Papier zwischen Daumen und Zeigefinger festhalten. Dabei beugt er unwillkürlich das Daumenendglied, um den Ausfall des M. adductor pollicis zu kompensieren [23]. Die fortgeschrittene Ulnarisläsion führt häufig zur sog. „Krallenhand“. Dabei sind die Finger im Grundgelenk

überstreckt und im Mittel- und Endgelenk leicht gebeugt, was durch die Parese der Mm. interossei bedingt ist. Die Krallenstellung ist am Kleinfinger und Ringfinger am stärksten ausgeprägt, da die Mm. lumbricales der anderen Finger zusätzlich durch den N. medianus innerviert werden [11, 23]. Typisch für die Ulnarisläsion ist außerdem eine Atrophie der Mm. interossei, die durch die eingesunkenen Zwischenknochenbereiche der Mittelhand auffällt. Sensibilitätsstörungen können vor allem am kleinen Finger beobachtet werden, sich aber auch bis zur Mitte des Ringfingers erstrecken [11, 23]. Bei proximaler Schädigung des N. medianus kann bei der klinischen Untersuchung eine sog. „Schwurhand“ auffällig werden. Während des Versuchs die Faust zu schließen, lassen sich nur der kleine Finger und der Ringfinger vollständig beugen, da dessen Flexoren durch den N. ulnaris innerviert werden. Die ersten drei Finger bleiben weiterhin gestreckt. Distale Läsionen beschränken sich auf einen Sensibilitätsausfall. Von einer Muskelatrophie ist vor allem der Daumenballen betroffen [11, 23]. Sensibilitätsstörungen treten insbesondere im Autonomgebiet des N. medianus auf, sowie an der radialen Seite der Innenhand und volarseitig an den ersten dreieinhalb radialen Fingern [11, 23].

Das Hoffmann-Tinel Zeichen ist ein Provokationstest zur Beurteilung einer Nervenkompression und der Regeneration des beschädigten Nervs. Der Untersucher klopfet die Stelle der Nervenläsion mit 1-2 Fingern, wobei der Patient elektrisch einschießende Schmerzen empfindet. Dieser Schmerz beruht auf der abnormen Irritierbarkeit von Axonen durch mechanische Reize und tritt an Stellen der unzureichenden Ummantelung der Nervenfasern auf. Das trifft auf Verletzungsstellen, sowie auf die Spitze der aussprossenden Axone zu. Bei erfolgreicher Regeneration wird das Hoffmann-Tinel Zeichen distal der Läsion zunehmend stärker [2, 24]. Die Testung des Hoffmann-Tinel-Zeichens bei Kindern sollte am Ende der Untersuchung erfolgen, da eine frühzeitige Durchführung die Compliance des Kindes beeinflussen kann [2].

	N. radialis	N. ulnaris	N. medianus
Haltung	Fallhand	Krallenhand	Schwurhand
Greifmuster	Spontane Benutzung der Hand, aber passive Bewegung, um das Handgelenk in die Extension zu bringen	Benutzung des FPL zum Zwicken	Daumenadduktion, interdigitales Greifen von Objekten mit ulnaren Fingern
Muskelatrophie	Unterarmmuskulatur	Hypothenarmuskulatur	Thenarmuskulatur, Zeigefingerspitze
Provokationstest	/	H-T-Zeichen: Kubitaltunnel, Guyon-Loge	H-T-Zeichen: proximaler Unterarm (PT), Karpaltunnel
Manuelle Muskeltestung	Oberarm: TB Unterarm: Handgelenksexensoren (ECRB, ECRL, ECU), EDC	Unterarm: FDP (Kleinfinger) Hand: ID 1, ADM	Unterarm: FPL, FDS (Mittel- oder Ringfinger) Hand: OP

Tabelle 2: Klinische Untersuchung der Armnerven [2].

ABD – Abductor digiti minimi, ECRB – Extensor carpi radialis brevis, ECRL – Extensor carpi radialis longus, ECU – Extensor carpi ulnaris, EDC – Extensor digitorum communis, ID 1 – Interossei dorsalis 1, FDS – Flexor digitorum superficialis, FDP – Flexor digitorum profundus, FPL – Flexor pollicis longus, OP – Opponens pollicis, PT – Pronator teres, TB – Triceps brachii, H-T-Zeichen – Hoffmann-Tinel-Zeichen.

2.1.5.2 Neurographie

In vielen Fällen ist zusätzlich zu der klinischen Untersuchung eine elektrophysiologische Diagnostik im Sinne der Neurographie sinnvoll. Dabei werden die motorischen und sensiblen Leitgeschwindigkeiten der schnellleitenden Nervenfasern (A-Fasern) bestimmt. Die Neurographie kann eine detaillierte und objektive Auskunft über Ort, Ausmaß und Verlauf einer Nervenverletzung geben und ist somit entscheidend für ein differenziertes therapeutisches Vorgehen [25–27]. Auf die vorausgehende klinische Untersuchung sollte aber keinesfalls verzichtet werden. Falls der Befund der klinischen und elektrophysiologischen Untersuchung nicht übereinstimmt, muss zuerst ein Messfehler ausgeschlossen werden, denn untersuchungs- bzw. messtechnische Fehler verfälschen die neurographisch ermittelten Werte leicht. Der klinische Befund hat Vorrang [27].

Die Stimulation erfolgt mit einem bipolaren Oberflächenstimulator, der für 0,1-0,2 ms einen Reiz setzt. Ist die Reizdauer länger, besteht die Gefahr der gleichzeitigen

Erregung benachbarter Nerven. Vorausgesetzt wird eine supramaximale Stimulation, d.h. eine Erregung aller Fasern des Nervs [27].

Bei der motorischen Neurographie wird der elektrophysiologische Zustand eines Nervs indirekt über sein Erfolgsorgan bestimmt. Der motorische Nerv wird an mehreren Stellen supramaximal gereizt und seine Antwort wird als Muskelsummenaktionspotential (MSAP) an der Endplattenregion des Zielmuskels mit einer Elektrode abgeleitet. Die Amplitude des MSAPs korreliert mit der Masse der erregbaren Nervenfasern und kann auf einen Verlust von Axonen hinweisen. Eine Verlängerung der distal motorischen Latenz sowie eine herabgesetzte motorische Nervenleitgeschwindigkeit weisen auf eine Demyelinisierung der Nervenfasern hin. Ein Fehlen dieser Befunde kann eine Neurapraxie belegen [15, 25–27].

Bei der sensiblen Neurographie erfolgt eine direkte Stimulation des sensiblen Nervs, welcher proximal gereizt wird. Sein Antwortpotential wird mithilfe von Oberflächen Elektroden aus dem sensiblen Versorgungsgebiet des Nervs abgeleitet. Es werden sensible Nervenaktionspotentiale (SNAP) gemessen, welche das Summenpotential aller aktiven sensiblen Nervenfasern repräsentieren. Eine verminderte Amplitude lässt auf zerstörte Axone schließen oder kann durch eine ungleichförmige Demyelinisierung hervorgerufen werden. Eine herabgesetzte sensible Nervenleitgeschwindigkeit weist auf einen axonalen Schaden bzw. eine Demyelinisierung hin. Die Messung muss sehr sorgfältig durchgeführt werden, da SNAPs um den Faktor 1000 kleiner sind als MSAPs [15, 26, 27].

Auch nach erfolgreicher Therapie der Nervenläsion kann die Nervenleitgeschwindigkeit aufgrund von pathologischer Remyelinisierung verlangsamt sein [27].

2.1.5.3 Nervensonographie

Ergänzend zur Elektrophysiologie gibt die Nervensonografie Auskunft über morphologische Veränderungen des peripheren Nervs und das ihn umgebende Gewebe. Sie ermöglicht eine millimetergenaue Lokalisation des pathologischen Prozesses und kann oftmals dessen Ätiologie bestimmen. Bei schweren Nervenschädigungen kann überprüft werden, ob die Kontinuität des Nervs erhalten ist, welches ein wichtiges Kriterium bei der Therapieentscheidung ist. Bei kompletter Durchtrennung des Nervs kann der Untersucher am proximalen Ende des

Nervenstumpfes eine glatt begrenzte, runde bis ovale, homogene, echoarme Raumforderung erkennen, welche für ein Neurom steht. Bei erhaltener Kontinuität des Epineuriums kann ein Kontinuitätsneurom identifiziert werden, welches durch eine spindelförmige Auftreibung des Nerven auffällig wird. Zudem können durch dynamische Untersuchungen die Lagebeziehungen des Nerven zu angrenzenden Strukturen, wie Muskeln, Faszien, Sehnen und vaskularisierte Gewebe überprüft werden [28–30]. Auch die Bestimmung des Nervendurchmessers und des Nervenquerschnitts erfolgt per Sonografie [28].

2.1.6 Therapie und Prognose

Die Behandlung traumatischer Nervenläsionen kann konservativ oder operativ erfolgen, wobei die meisten spontan verheilen [1, 31].

Durch eine gründliche klinische Untersuchung, die Neurographie und die Nervensonographie lässt sich frühzeitig die Lokalisation und Schwere der Nervenverletzung einschätzen [17].

Bei niedriggradigen Läsionen nach Sunderland (Sunderland I-III) wird eine konservative Therapie empfohlen. Dabei können Physiotherapie, physikalische Therapie sowie elektrische Muskelstimulation den Heilprozess unterstützen. Regelmäßige klinische Verlaufskontrollen sollten alle vier Wochen bis zur vollständigen Rückbildung der Läsion erfolgen, um Patienten ohne erwartete klinische Besserung zu identifizieren. Bestehen nach 8 Wochen weiterhin keine Anzeichen einer spontanen Heilung, ist eine elektromyografische und neurographische Untersuchung durchzuführen. Wird dabei die Diagnose Neurapraxie gestellt, kann die Regression des Leitungsblocks ohne weitere therapeutische Maßnahmen abgewartet werden. Bleibt die Besserung jedoch nach weiteren zwei Monaten nach wie vor aus, stellt sich der Verdacht einer anhaltenden Druckschädigung und der Nerv sollte revidiert werden [32, 33].

Liegt eine axonale Schädigung vor, wird ebenfalls zunächst ein abwartendes Vorgehen empfohlen. Die Geschwindigkeit des Nervenwachstums beträgt etwa 1mm/Tag. Dadurch kann der Zeitpunkt errechnet werden, zu dem die Reinnervation des Erfolgorgans erfolgt sein sollte. Wird dieser Zeitraum ohne vorhandene Reinnervationszeichen überschritten, ist eine mikrochirurgische Rekonstruktion des Nerven notwendig [12, 32, 33].

Ist die Kontinuität des Nervs im Sinne einer Neurotmesis komplett unterbrochen, muss operativ vorgegangen werden, da der Nerv ohne Intervention nicht abheilen kann [17]. Mit einer Nervennaht werden die durchtrennten Nervenstümpfe End zu End aneinandergenäht, um die Kontinuität der Hüllstrukturen wiederherzustellen, da diese die Leitstruktur für die aussprossenden Nervenfasern bilden. Ein Nerventransplant muss verwendet werden, wenn ein größeres Stück des Nervs läsioniert ist. Es soll die Lücke überbrücken. Das Transplant dient aber wiederum nur also Leitschiene für die nachwachsenden Axone [11].

Stellt sich die Diagnose einer iatrogenen Nervenschädigung, bei der präoperativ keine neurologischen Defizite auffällig wurden, wird eine zeitnahe Freilegung des Nervs und bei Einengung eine Neurolyse empfohlen. Perforieren die frakturversorgenden Drähte den Nerv, sollten diese entfernt und neu gesetzt werden [32].

Kinder weisen eine sehr gute Prognose bezüglich traumatischer Nervenverletzungen auf. Der Großteil erlangt eine vollständige Wiederherstellung der motorischen und sensiblen Funktion. Im Vergleich zu Erwachsenen haben Kinder ein besseres funktionales Outcome und einen schneller verlaufenden Heilungsprozess. Verantwortlich dafür soll das überlegene Anpassungsvermögen des zentralen Nervensystems von Kindern sein, die sogenannte neuronale Plastizität [34–36]. Außerdem müssen die aussprossenden Axone bei Kindern eine kürzere Distanz zum Erfolgsorgan zurücklegen als bei Erwachsenen [12].

2.2 Suprakondyläre Humerusfrakturen im Kindesalter

2.2.1 Epidemiologie

Die suprakondyläre Humerusfraktur wird bei 17% aller kindlichen Extremitätenfrakturen diagnostiziert und ist somit unmittelbar nach der distalen Radiusfraktur der zweithäufigste Knochenbruch im Kindesalter [37, 38]. Wird nur die Altersgruppe der Vier- bis Siebenjährigen betrachtet, steigt die Rate sogar auf 31% [37]. Ursächlich für jenen Altersgipfel ist die mögliche Hyperextension des Ellenbogengelenks und die durch das Wachstum bedingte geminderte Stabilität des Knochens in diesem Alter [39].

Der typische Verletzungsmechanismus ist der Sturz auf den reflektorisch ausgestreckten Arm. Der Ellenbogen wird forciert hyperextendiert, wobei das Olekranon in die Fossa olekrani gehebelt wird und der Knochen frakturiert. Dieser Extensions-Typ ist mit 95% aller suprakondylären Humerusfrakturen bei weitem der meist vorkommende. Der viel weniger verbreitete Flexions-Typ resultiert aus einem Sturz auf den gebeugten Ellenbogen mit direkter Krafteinwirkung auf den Knochen [10, 39–41].

Ein Großteil der Unfälle passiert durch banale Stürze beim Schul- oder Freizeitsport, aber auch Fahrradstürze werden häufig als Frakturursache angegeben [3]. Vor allem jüngere Kinder verletzen sich auch, indem sie zuhause von Möbelstücken fallen [41].

2.2.2 Klassifikation nach v. Laer

Für die suprakondyläre Humerusfraktur bestehen viele verschiedene Klassifikationen. Im europäischen Raum hat sich aber vor allem die Klassifikation nach v. Laer et al. bewährt. Sie teilt die suprakondyläre Humerusfraktur basierend auf dem Grad der Dislokation in vier verschiedene Typen ein [10, 39].

Bei Typ I handelt es sich um die nicht dislozierte suprakondyläre Humerusfraktur. Typ II beschreibt eine Dislokation in sagittaler Ebene. Hierbei tritt die Antekurvatur (Typ IIa) in 98% der Fälle auf, die Rekurvation (Typ IIb) ist sehr selten. Bei Typ III besteht eine Dislokation in zwei Ebenen. Typ IV steht für eine komplett dislozierte Fraktur [10].

Abbildung 6: Klassifikation Suprakondylärer Humerusfrakturen nach v. Laer [10]

2.2.3 Therapie

Unverschobene Frakturen (Typ I), sowie dislozierte Extensionsfrakturen, die reponier- und retenierbar sind (Typ II), werden konservativ behandelt. Die Leitlinie empfiehlt die Anlage einer Blount-Schlinge oder eines Oberarmgipses für 2-3 Wochen. Bei der Typ II Fraktur sollte eine Röntgenkontrolle nach zwei bis fünf Tagen zum Ausschluss einer Rotationsfehlstellung erfolgen [10, 42].

Zur operativen Therapie wird bei dislozierten Extensionsfrakturen, die nicht sicher retenierbar sind (Typ II), Extensionsfrakturen mit Achsenabweichung und Rotationsabweichung (Typ III und IV) und dislozierten Flexionsfrakturen geraten. Außerdem sollten offene Frakturen und Frakturen mit Komplikationen, wie dem drohenden Kompartmentsyndrom oder Gefäß- und Nervenschäden, operativ versorgt werden [42].

Es wird eine geschlossene Reposition angestrebt. Wenn diese erfolglos ist oder bedeutsame Komplikationen vorliegen, muss offen reponiert werden [42–44].

Die gängigste Osteosynthese ist die gekreuzte Kirschner-Draht-Osteosynthese. Dabei dienen zwei Drähte, die sich proximal der Fraktur kreuzen, der Stabilisierung des Knochenbruchs. Die Drähte können von radial-distal und radial-proximal oder von radial und ulnar gekreuzt eingebracht werden. Vorteil der Einbringung eines Drahtes von ulnar ist die einfachere Fassung des distalen Frakturfragments. Dabei besteht aber das Risiko der iatrogenen Schädigung des N. ulnaris, da der Eintrittspunkt des Drahtes in unmittelbarer Nähe dieses Nervs liegt. Deswegen bevorzugen einige Operateure die Einbringung beider Drähte von radial. Hierbei muss auf den Verlauf

des N. radialis geachtet werden. Das parallele, nicht gekreuzte Einbringen beider Drähte von radial ist eine weitere Möglichkeit, weist aber biomechanisch die größte Instabilität auf. Nach erfolgter OP muss zur Ruhigstellung ein Oberarmgips angebracht werden. Dieser, sowie die Drähte können nach 3-4 Wochen entfernt werden [10, 42–46].

Eine Alternative zur Kirschner-Draht-Osteosynthese stellt die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN-Osteosynthese) dar. Es werden zwei elastische Federnägel divergent in den Markraum eingebracht. Die typische Drei-Punkt-Abstützung auf Höhe der Frakturregion zur Stabilisierung kommt bei distalen Knochenbrüchen nicht zum Tragen. Vielmehr dienen die Nägel dort zur Abstützung bei ausreichender Stabilität hinsichtlich einer Bewegungsstabilität. Eine dritte Möglichkeit der operativen Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur ist die Versorgung anhand eines radialen Fixateur externe. Letztere zwei gelten als sehr gute Techniken zur gipsfreien Ausbehandlung unter Mobilisation. Bei der ESIN-Osteosynthese erfolgt die Metallentfernung nach 3-4 Monaten, der Fixateur externe kann nach 3-4 Wochen entfernt werden. Eine Röntgenkontrolle sollte bei allen drei Methoden intra- und postoperativ, sowie nach 3-4 Wochen erfolgen [10, 42–46].

Abbildung 7: Möglichkeiten der Platzierung der Kirschner-Draht-Osteosynthese [43]

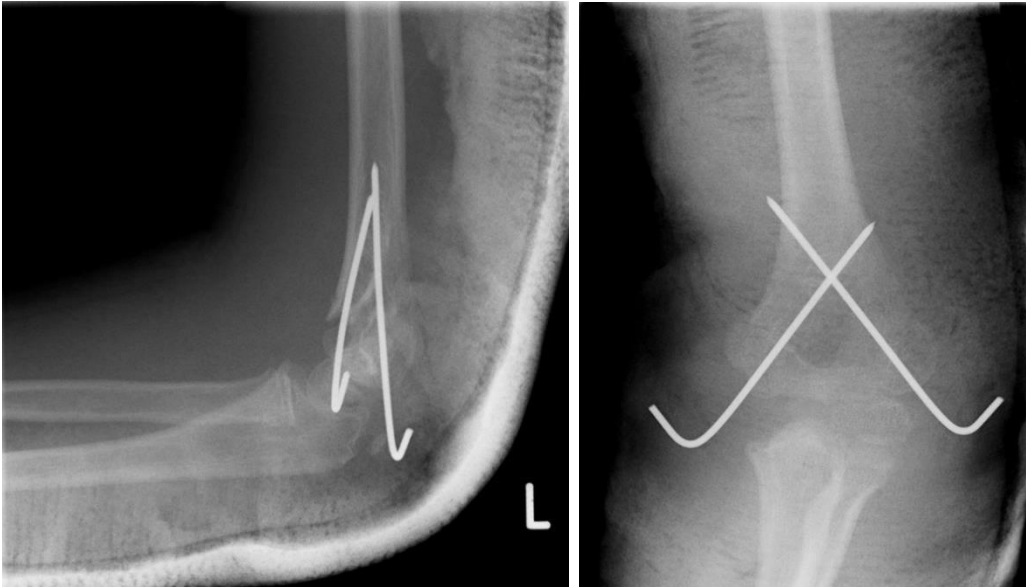


Abbildung 8: Röntgenaufnahme einer Kirschner-Draht-Osteosynthese bei supracondylärer Humerusfraktur (Quelle: Klinik St. Hedwig Regensburg)

Abbildung 9: Frakturversorgung mit einer ESIN-Osteosynthese [43]

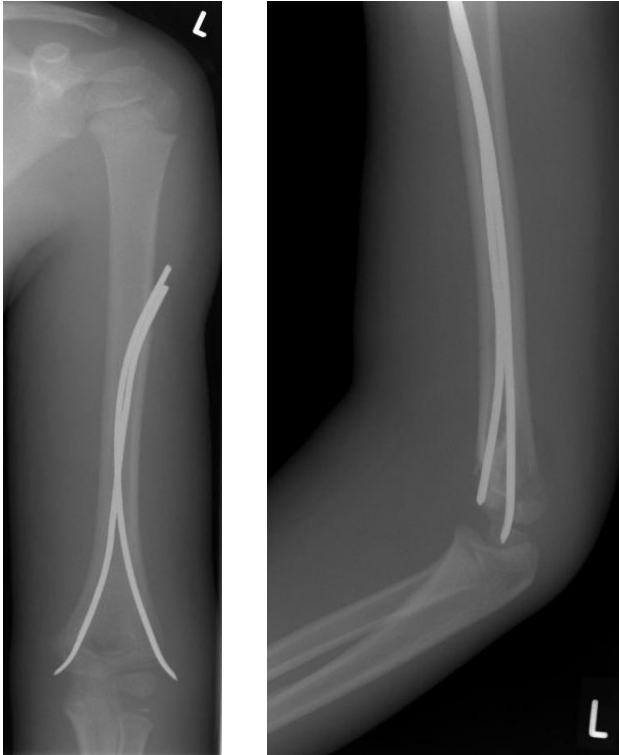


Abbildung 10: Röntgenaufnahme einer ESIN-Osteosynthese bei supracondylärer Humerusfraktur (Quelle: Klinik St. Hedwig Regensburg)

2.2.4 Komplikationen

Laut v. Laer ist der Ellenbogen die komplikationsträchtigste Region des wachsenden Skelettes. Der Anteil ellenbogenbezogener Komplikationen beträgt 80% aller Komplikationen im Bereich der oberen Extremität. Außerdem seien 90% davon iatrogen ausgelöst [47]. V. Laer bezieht sich dabei vor allem auf Achsenabweichungen, Pseudarthrosen und Radiusköpfchendeformitäten aufgrund nicht spontan korrigierter oder übersehener Achsenabweichungen bzw. Verletzungen [47].

Neurovaskuläre Komplikationen im Rahmen der supracondylären Humerusfraktur sind ebenfalls keine Seltenheit. Nervenschäden treten in 3-31% der Fälle auf [3–9, 41, 48–55]. Dabei unterscheiden sich in den einzelnen Studien die Angaben der Häufigkeit, mit der ein bestimmter Nerv betroffen ist [3–6, 8, 9, 49–51, 53, 54, 56, 57]. Der neurologische Schaden wird durch die Dislokationsrichtung des proximalen Frakturfragments bestimmt. Ist diese posteromedial, wird der N. radialis beschädigt. Bei der posterolateralen Dislokation ist der N. medianus betroffen. Zur Läsion des N. ulnaris kommt es meistens durch eine Flexionsfraktur, gehäufte Repositionsmanöver

oder das operative Einbringen der gekreuzten Kirschner-Drähte bei der Frakturversorgung [3, 5, 58].

In der Literatur wird eine Häufigkeit iatrogenen Nervenläsionen von 2-14% angegeben [5, 7, 9, 22, 48, 50, 51, 53, 59–61]. Ursachen dafür können ein bereits präoperativ bestehender, in der klinischen Untersuchung übersehener traumatischer Nervenschaden, wiederholte Manipulation oder die Drahtplatzierung im Sulcus ulnaris sein [6].

Zudem können vaskuläre Komplikationen bei der suprakondylären Humerusfraktur auftreten. Ein posttraumatisch fehlender Radiuspuls tritt in 1-12% der Fälle auf, bei grober Dislokation sogar mit einer Häufigkeit von 10-20% [3, 5, 6, 62]. Der fehlende Puls kann durch eine Ruptur, Knickung, Kompression, Intimaverletzung oder einen Spasmus zustande kommen [62]. Nach erfolgreicher Reposition ist bei 80% der Patienten der Blutfluss wiederhergestellt [5, 6].

3 Zielsetzung und Fragestellung

Das Ziel dieser Studie ist die deskriptive Beschreibung und Häufigkeitsauswertung aller kinderchirurgischen Fälle mit traumatischer, frakturbedingter Nervenläsion der Klinik St. Hedwig. Dabei soll auf die Beteiligungshäufigkeit der Nn. radialis, ulnaris und medianus eingegangen werden, sowie auf die Häufigkeitsverteilung der auslösenden Frakturen. Für die evaluierten suprakondylären Humerusfrakturen soll eine Rate an Nervenläsionen berechnet werden, sowie der Anteil an iatrogenen Nervenverletzungen. Durch die Evaluation der verschiedenen Therapiemethoden der Nervenschäden und des Behandlungserfolgs, soll die Therapieentscheidung erleichtert werden.

Die Ergebnisse sollen mit Auswertungen aus anderen Studien verglichen werden.

4 Patienten und Methoden

4.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Studie. Evaluieren wurden alle Patienten, die mit der Diagnose einer posttraumatischen Nervenläsion im Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2019 in der Kinderklinik St. Hedwig in Regensburg oder im Krankenhaus Barmherzige Brüder Regensburg behandelt wurden.

4.2 Patientenauswahl

In die Studie eingeschlossen wurden alle kinderchirurgischen Patienten, die im Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2019 aufgrund einer traumatisch bedingten Nervenläsion des N. radialis, N. ulnaris oder N. medianus in der Klinik St. Hedwig oder im Krankenhaus Barmherzige Brüder Regensburg behandelt wurden. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Nervenläsion durch ein Trauma im Sinne einer oberen Extremitätenfraktur verursacht wurde.

Ein Ausschlusskriterium war die Schädigung des Nervs durch eine traumabedingte Schnittverletzung oder sonstige idiopathische Nervenläsionen ohne Fraktur. Außerdem wurden Patienten mit Ausfallerscheinungen, aber ohne den Verdacht einer Nervenläsion, ausgeschlossen. Patienten, die nicht weiter im Klinikinformationssystem dokumentiert wurden, konnten nicht evaluiert werden. Des Weiteren wurden Kinder, deren Behandlung bis einschließlich 31.12.2019 nicht abgeschlossen wurde bzw. welche nicht zur vereinbarten Abschlussuntersuchung erschienen sind, nicht berücksichtigt.

Insgesamt konnten von 82 erfassten Patienten 36 in die Studie eingeschlossen und ausgewertet werden. Eine Übersicht sowie detailliertere Informationen zum Ein- und Ausschluss der Patienten geben die Tabelle 3 und die Abbildung 11.

Einschlusskriterien
Kinderchirurgische Patienten (Alter 0-18)
Zeitraum: 01.01.2010 - 31.12.2019
Traumatisch bedingte Nervenläsion der Nn. radialis, ulnaris und/oder medianus im Rahmen einer oberen Extremitätenfraktur
Behandlung in der Klinik St. Hedwig Regensburg oder im Krankenhaus Barmherzige Brüder Regensburg
Ausschlusskriterien
Abwesenheit einer oberen Extremitätenfraktur (Schnittverletzung, idiopathische Nervenläsion etc.)
Unzureichende Dokumentation im Klinikinformationssystem
Nicht abgeschlossene Behandlung bis einschließlich 31.12.2019
Fehlende Abschlussuntersuchung

Tabelle 3: Auflistung der Ein- und Ausschlusskriterien der Studie

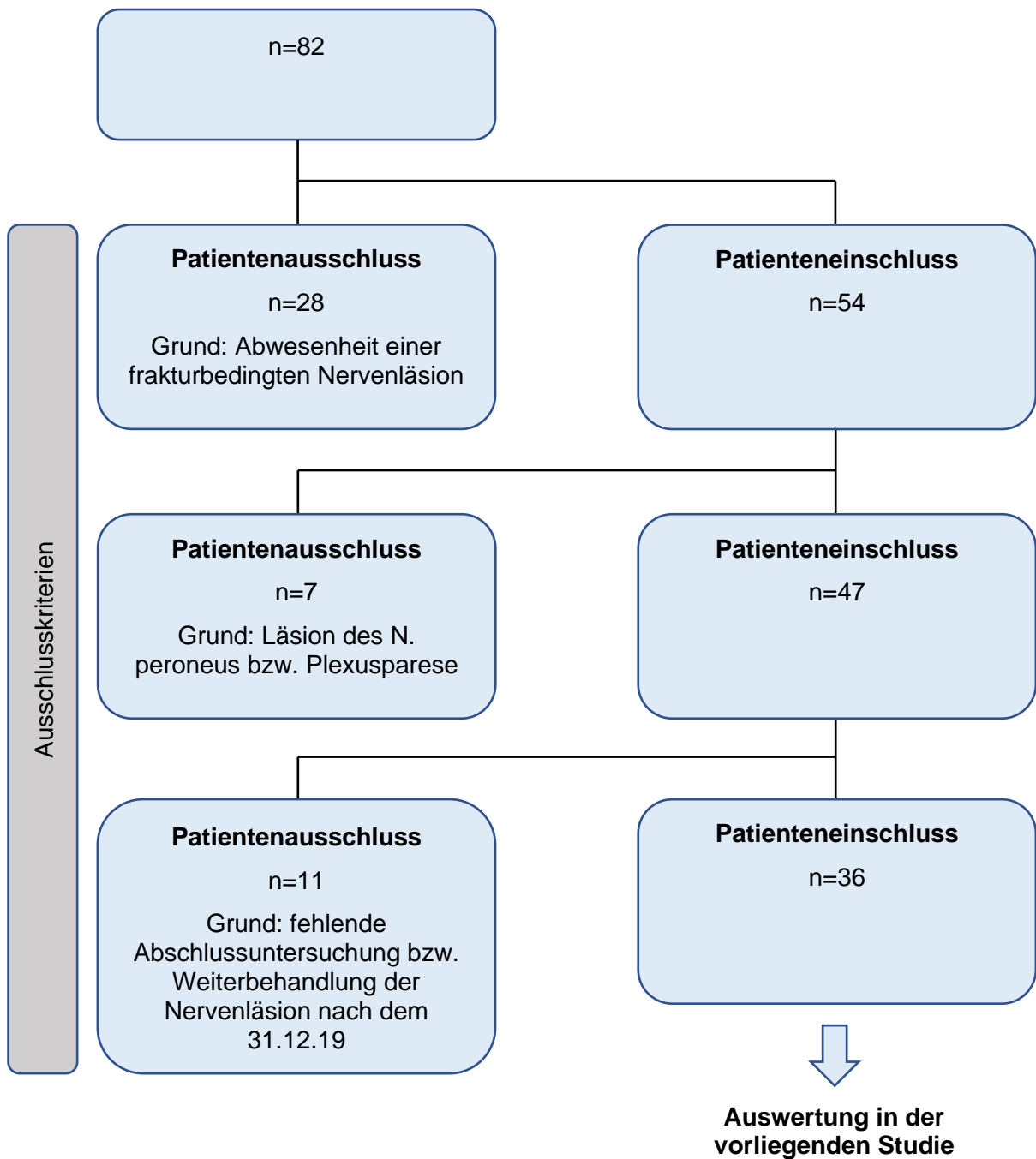


Abbildung 11: Flussdiagramm zum Patientenausschluss

4.3 Methodik

Die in die Studie eingeschlossenen Patienten stammen von zwei Listen. Die erste wird von der pädiatrischen Neurologie der Kinderklinik St. Hedwig in Regensburg seit 2010 geführt und hält alle Patienten, die dort mit der Diagnose einer posttraumatischen Nervenläsion behandelt wurden, fest. Die Neurologie des Krankenhauses Barmherzige Brüder in Regensburg konnte eine zweite Liste mit deren pädiatrischen Patienten zusammenstellen.

Zu Beginn wurden Zielgrößen festgelegt, auf welche die Patienten der Listen untersucht werden sollten. Diese Kriterien werden in einem weiteren Punkt ausführlich beschrieben.

Daraufhin konnten mithilfe des SAPs (Klinikinformationssystem, beinhaltet elektronische Patientenakten) sämtliche Dokumente der aufgelisteten Patienten eingesehen werden. Hierbei wurde geprüft, ob der jeweilige Patient die Einschlusskriterien der Studie erfüllt. Die Informationen für das Erfassen der Zielgrößen stammten meist aus dem Entlassungsbrief, dem OP-Bericht und einem neurologischen Konsil.

Die gesammelten Informationen wurden in einer Excel-Tabelle (Microsoft Excel für Office 365 MSO, Microsoft Corporation) festgehalten. Dabei wurde auf die Anonymisierung der Patienten geachtet. Hierfür wurde jedem Patienten eine Nummer zugeteilt, sodass eine getrennte Datenerfassung möglich war. Der Datenschutz wurde zu jeder Zeit eingehalten.

4.4 Definition von Zielgrößen

Anhand bereits bestehender Studien [31, 49, 54] und eigener Überlegungen wurden Kriterien festgelegt, auf diese die Patienten untersucht wurden. Diese Zielgrößen werden im Folgenden erläutert:

Patientenbezogene Daten

- Alter zum Zeitpunkt des Traumas
- Geschlecht

Frakturtyp

Hier wurde die Diagnose der Fraktur aus dem Arztbrief bzw. OP-Bericht übernommen.

Insgesamt konnten 9 verschiedene Frakturen erfasst werden:

- Humerusschaftfraktur
- Suprakondyläre Humerusfraktur
- Epikondylus Ulnaris Fraktur
- Transkondyläre Humerusfraktur
- Dislozierte Radiusschaftfraktur
- Ulnaschaftfraktur
- Unterarmschaftfraktur
- Diamethaphysäre Unterarmfraktur
- Monteggia-Fraktur

Dominante obere Extremität

Soweit die dominante obere Extremität der Patienten dokumentiert wurde, konnte diese Information in die Tabelle mit aufgenommen werden.

Operation

- Art der Osteosynthese
- Zeitintervall zwischen Eintreffen in der Notaufnahme und OP-Schnitt
- OP-Dauer (Schnitt-Naht-Zeit)
- OP-Team

Bei den operativ behandelten Patienten wurde jeweils eine der folgenden drei Osteosynthesen zur Frakturbehandlung verwendet:

- Kirschner-Draht-Osteosynthese
- Elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN)
- Schraubenosteosynthese

Außerdem wurde erfasst, ob die Reposition geschlossen oder offen erfolgte.

Weiterhin gab es Patienten, die keine Operation benötigten und deren Fraktur konservativ behandelt werden konnte.

Falls bei der primären Frakturversorgung eine Revision eines Nervs durchgeführt wurde, ist das ebenfalls festgehalten worden.

In einigen Quellen wird eine zeitnahe operative Versorgung der Fraktur als dringlich dargestellt [42, 44–46]. Deswegen wurde die Zeitspanne zwischen dem Eintreffen in

der Notaufnahme und der OP festgehalten. Diese wurde durch die Ankunftszeit in der Notaufnahme und dem Zeitpunkt des „Schnitts“ im OP berechnet.

Außerdem wurde die OP-Dauer (Schnitt-Naht-Zeit) notiert.

Zur Vollständigkeit wurden zusätzlich die Operateure namentlich festgehalten.

Nervenläsion

- Zeitpunkt der Diagnosestellung der Nervenläsion (prä- oder postoperativ)
- Betroffener Nerv
- Läsionsart
- Läsionszeichen, motorische/sensible Defizite

Mithilfe der Arztbriefe oder einer Ambulanznotiz wurde überprüft, ob die Nervenläsion bereits präoperativ festgestellt wurde.

Innerhalb des Patientenkollektivs konnten Läsionen drei verschiedener Nerven erfasst werden:

- N. radialis
- N. ulnaris
- N. medianus

Die Diagnose der Nervenläsion des jeweiligen Nervs konnte einem allgemeinen Arztbrief bzw. einem neurologischem Konsil entnommen werden. Dabei stellten die behandelnden Ärzte die Diagnose anhand der Ausfallerscheinungen, der motorischen und sensiblen Defizite und der meist durchgeführten Neurographie.

Die genaue Läsionsart und Klassifikation nach Sunderland wurde nur selten beschrieben und in den Arztbriefen festgehalten. Eine nachträgliche Klassifizierung anhand des neurologischen Befunds wurde mit den zuständigen Neurologen diskutiert, aber als fehlerhaft und nicht durchführbar erachtet. Somit konnte die Klassifikation nach Sunderland nicht ausgewertet werden.

Die detaillierte Beschreibung der durch die Nervenläsion aufgetretenen motorischen und sensiblen Defizite wurden der Vollständigkeit halber in die Tabelle aufgenommen. Zudem wurden Läsionszeichen, wie die Atrophie der Muskulatur oder die Krallenstellung der Hand, erfasst. Diese Dokumentation diente gleichzeitig der Überprüfung der Diagnose.

Neurographie initial

Bei den meisten Patienten wurde eine neurophysiologische Untersuchung des geschädigten Nervs durchgeführt, um die Diagnose der Nervenläsion zu sichern bzw. das Ausmaß der Läsion einschätzen zu können. Hierbei wurde das sensible und motorische Antwortpotential beschrieben und auf die Amplitude und Latenz der Reizantwort eingegangen. Die Nervenleitgeschwindigkeit war in vielen Fällen nicht zu berechnen.

Sonographie initial

Eine Sonographie wurde nur bei wenigen Patienten initial durchgeführt. Dabei wurden meist die Kontinuität, Echogenität, Faszikelstruktur und eventuelle Kaliberschwankungen beschrieben.

Therapie der Nervenläsion

Sehr wichtig war in dieser Studie die Auswertung der Therapiemaßnahme zur Behandlung der Nervenläsion, um am Ende den Erfolg der jeweiligen Therapie vergleichen und eine Empfehlung formulieren zu können.

Nachsorgeuntersuchung

Die Erfassung der Nachsorgeuntersuchung, die einige Monate nach dem Trauma durchgeführt wurde, war für die Beschreibung des Therapieerfolgs und der Regeneration des Nervs unabdingbar. Sofern der Patient bis zum Therapieende zu mehreren Nachsorgeuntersuchungen erschien, wurde nur die Abschlussuntersuchung ausgewertet. Der Befund wurde dem angefertigten Arztbrief entnommen, welcher die Anamnese, die klinische Untersuchung und ggf. eine Neurographie dokumentierte. Beschrieben wurden u.a. eventuelle Besserungen der Motorik und Sensibilität sowie weiterhin bestehende Defizite und Atrophien der Muskulatur. Außerdem beinhaltete die Anamnese meist die Frage nach dem Zurechtkommen und der Benutzung der verletzten Extremität im Alltag.

Mit der letzten Nachsorgeuntersuchung galt die Therapie der Nervenläsion als beendet. So konnte die Therapielänge in Monaten und Tagen berechnet werden.

Neurographie am Therapieende

Die Neurographie zum Ende der Behandlung wurde im Rahmen der Nachsorgeuntersuchung durchgeführt. Es wurden erneut die motorischen und sensiblen Antwortpotentiale beschrieben, um eine Aussage über die Regeneration des verletzten Nervs machen zu können.

Sonographie am Therapieende

Im Zuge der Abschlussuntersuchung wurde teilweise eine Nervensonographie durchgeführt. Dabei wurde vor allem der Durchmesser des Nervs geprüft und die Binnentextur beschrieben.

Kontinuitätsneurom

Es wurde ausgezählt, wie viele Patienten insgesamt im Rahmen der Diagnostik eine Sonografie erhielten. Diese wurden auf das Vorhandensein eines Kontinuitätsneuroms überprüft.

Vollständige Erholung des Nervs

Schließlich wurde evaluiert, inwiefern sich der beschädigte Nerv erholt hat. Dabei wurde zuerst zwischen „vollständige Erholung – Ja“ und „vollständige Erholung – Nein“ unterschieden. In einem zweiten Schritt wurde „vollständige Erholung – Ja“ in „komplette Erholung“ und „klinisch ja, neurologisch nein“ unterteilt, da einige Patienten in der klinischen Untersuchung keinerlei Auffälligkeiten mehr hatten, in der neurographischen Untersuchung aber trotzdem noch geringe Defizite zum Vorschein kamen. Bei „vollständige Erholung – Nein“ wurde zwischen „beschwerdefrei“, „deutliche Besserung, aber Defizite“ und „keine Besserung“ differenziert. Ersteres beschreibt Patienten mit auffälligen motorischen oder sensiblen Befunden in der klinischen Untersuchung, welche aber im Alltag beschwerdefrei sind. „Deutliche Besserung, aber Defizite“ soll zum Ausdruck bringen, dass sich die Nervenläsion seit Therapiebeginn zwar um einiges gebessert hat, der Patient aber trotzdem erkennbar eingeschränkt ist. „Keine Besserung“ gibt an, dass trotz Therapie keine nennenswerte Besserung der Symptomatik eingetreten ist und der Patient deutliche motorische und/oder sensible Defizite aufweist. Diese Differenzierung wurde durchgeführt, um den Therapieerfolg möglichst präzise auswerten zu können.

Inzidenz suprakondylärer Humerusfrakturen

Um eine Aussage über die Häufigkeit einer Nervenläsion bei suprakondylärer Humerusfraktur machen zu können, wurde über die Diagnose „S42.41“ eine Excel-Tabelle mit allen kinderchirurgischen Patienten, die im Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2018 mit einer suprakondylären Humerusfraktur in der Kinderklinik St. Hedwig in Regensburg behandelt wurden, erstellt. So konnte die Rate an traumatischen Nervenläsionen bei suprakondylärer Humerusfraktur für die Klinik St. Hedwig berechnet werden. Zudem wurde festgehalten, ob die Fraktur konservativ oder operativ behandelt wurde.

4.5 Auswertung und Statistik

Die Auswertung wurde mit dem Programm Excel (Microsoft Excel für Office 365 MSO, Microsoft Corporation) durchgeführt. Es wurden vier kleinere Excel-Tabellen mit den für die jeweilige Auswertung relevanten Informationen erstellt. Die erste enthält nur Daten der Patienten, deren Fraktur und Nervenläsion in der Klinik St. Hedwig behandelt wurden. In der zweiten Tabelle werden Patienten mit auswärtig versorgter Fraktur, deren Nervenläsion aber in der Klinik St. Hedwig bzw. in der Neurologie des Krankenhauses Barmherzige Brüder Regensburg therapiert wurde, festgehalten. In einer dritten Tabelle findet sich das gesamte Patientenkollektiv. Dieses schließt die Kinder, deren Fraktur in der Klinik St. Hedwig versorgt wurde zusammen mit den auswärtig behandelten Kindern ein, also alle Patienten aus der ersten und der zweiten Tabelle. Die letzte Tabelle enthält alle Patienten mit einer in der Klinik St. Hedwig behandelten suprakondylären Humerusfraktur, welche im Zusammenhang mit einer Nervenläsion stand.

Die Inhalte der Tabellen wurden in einem nächsten Schritt umkodiert. Die in Worte notierten Angaben wurden durch Zahlen- und Buchstaben-Codes ersetzt. Diese Umkodierung war für die Berechnung der Häufigkeiten und den anschließenden Vergleich notwendig.

Anschließend konnten mithilfe von Excel die benötigten Werte berechnet werden.

An der Aufteilung dieser vier Tabellen orientiert sich die Darstellung der Ergebnisse im nächsten Punkt. Zuerst werden nur die Patienten der ersten Tabelle ausgewertet, um isoliert die Daten und Ergebnisse der Klinik St. Hedwig darstellen zu können. Als

nächstes werden die Patienten mit auswärtig therapierter Fraktur behandelt. Danach folgen die Ergebnisse des gesamten Patientenkollektivs mit der Darstellung der Therapieergebnisse. Da die suprakondyläre Humerusfraktur die häufigste Ursache der traumatischen Nervenläsion war, geht es zum Schluss in einem eigenen Punkt um alle suprakondylären Humerusfrakturen der Klinik St. Hedwig in den Jahren 2010-2018.

5 Ergebnisse

5.1 Posttraumatische Nervenläsionen

Die Auswertung der posttraumatischen Nervenläsionen dieser Studie wird wie im Punkt 2.5 beschrieben, in vier Teile geteilt: Zuerst werden nur die ausschließlich in der Kinderklinik St. Hedwig behandelten Patienten beschrieben und im darauf folgenden Abschnitt die Patienten mit auswärtig versorgter Fraktur. Danach wird das gesamte eingeschlossene Patientenkollektiv evaluiert. Zum Schluss werden die Therapiemethoden der Nervenverletzungen und deren Erfolg ausgewertet.

5.1.1 Patienten der Klinik St. Hedwig Regensburg

Die folgenden Patienten wurden sowohl für die Frakturversorgung als auch für die Therapie der frakturbedingten Nervenläsion in der Kinderklinik St. Hedwig in Regensburg stationär oder ambulant behandelt.

5.1.1.1 Patientenangaben

Im Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2019 wurden 27 Patienten im Alter von 3-13 Jahren aufgrund einer traumabedingten Nervenläsion in der Kinderklinik St. Hedwig in Regensburg behandelt. Davon waren 11 (41%) Mädchen und 16 (59%) Jungen. Der Altersdurchschnitt lag bei 7,52 (SD \pm 2,74, range 3-13) Jahren. Die weiblichen Patienten waren im Mittel 8,73 Jahre alt und die männlichen 6,69 Jahre.

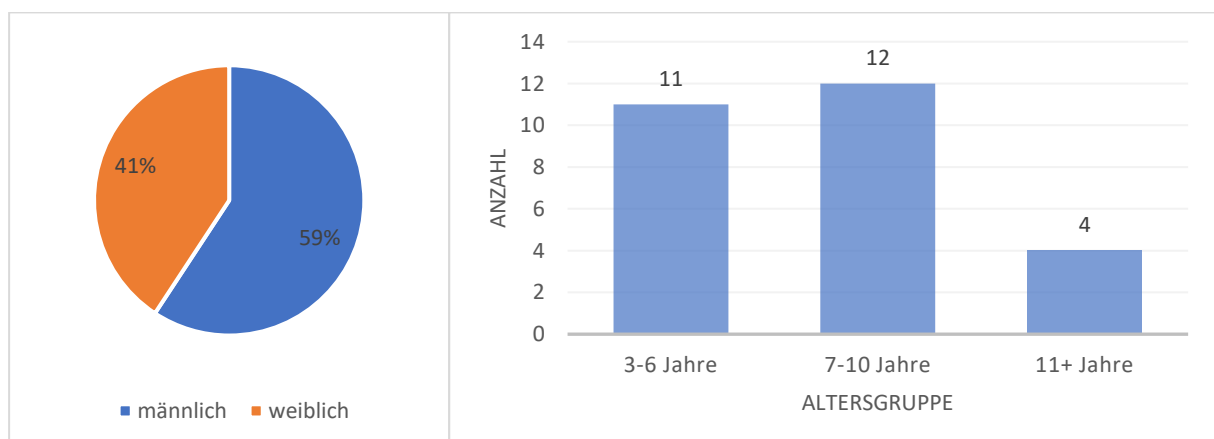


Abbildung 12: Geschlechterverteilung und Übersicht über die Altersgruppen

5.1.1.2 Nervenläsionen

Es konnten insgesamt 34 Nervenläsionen beobachtet werden. Dabei war der N. ulnaris am häufigsten betroffen mit einem Anteil von 68% aller Nervenläsionen. An zweiter und dritter Stelle standen der N. medianus (21%) und der N. radialis (12%).

Eine traumatisch bedingte Läsion des N. ulnaris hatten 85% der 27 untersuchten Kinder, bei 26% konnte eine Läsion des N. medianus festgestellt werden und bei 15% eine Läsion des N. radialis.

Bei 5 Patienten waren zwei Nerven gleichzeitig betroffen, bei einem Patienten alle drei langen Armnerven.

Nervenverletzung	Anzahl
N. ulnaris	23
N. medianus	7
N. radialis	4

Tabelle 4: Anzahl der beobachteten Läsionen

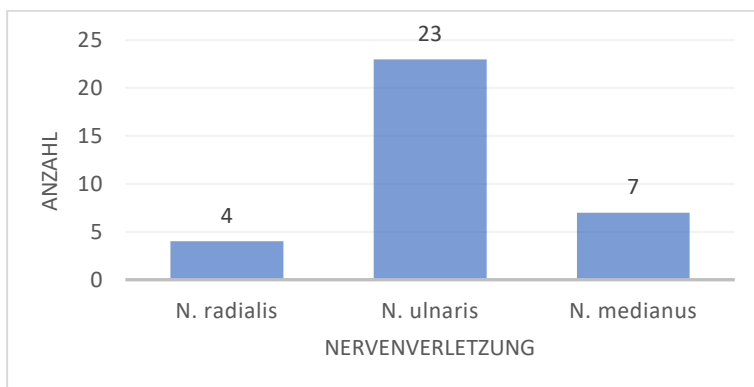


Abbildung 13: Anzahl der beobachteten Läsionen

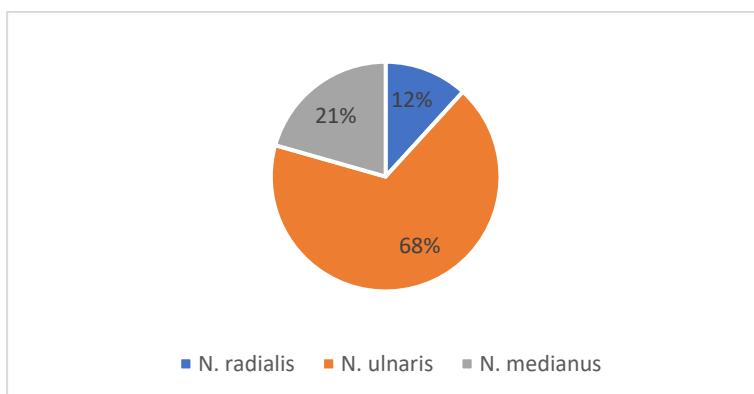


Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung der einzelnen Nervenläsionen

5.1.1.3 Frakturen und deren Therapie

Die Nervenläsion war im eingeschlossenen Patientenkollektiv immer durch eine Fraktur der oberen Extremität bedingt. Von 29 beobachteten Knochenbrüchen war 21-mal (72%) der Oberarm betroffen und 8-mal (28%) der Unterarm.

Mit Abstand die häufigste Fraktur war die suprakondyläre Humerusfraktur mit einem Anteil von 66% aller beobachteter Frakturen. Sonstige Humerusfrakturen machten 7% aus. In 28% der Fälle lag eine Unterarmfraktur vor. Bei zwei Kindern konnten zwei Frakturen gleichzeitig beobachtet werden, die restlichen Patienten hatten nur eine. Die nachfolgende Tabelle 5 listet alle beobachteten Frakturen auf.

Frakturtyp	Anzahl
Suprakondyläre Humerusfraktur	19
Epikondylus Ulnaris Fraktur	1
Transkondyläre Humerusfraktur	1
Isolierte Ulnaschaftfraktur	1
Komplette Unterarmfraktur	5
Diametaphysäre Unterarmfraktur	1
Monteggia-Fraktur	1

Tabelle 5: Anzahl der beobachteten Frakturen

Lediglich bei 16 Patienten wurde dokumentiert, ob die dominante oder nicht-dominante obere Extremität frakturiert wurde. Bei der Hälfte dieser Patienten (50%) war die dominante Extremität betroffen.

Die Knochenbrüche von 26 Kindern (96%) wurden operativ therapiert. Konservativ wurde ein Kind (4%) behandelt.

Die folgenden Angaben beziehen sich auf die Gruppe der operativ behandelten Patienten. Das Zeitintervall zwischen dem Eintreffen in der Notaufnahme und dem OP-Schnitt betrug im Mittel 4:16h. Das Maximum dieses Zeitintervalls lag bei 16:44h und das Minimum bei 1:07h. 15% (4) der Kinder wurden innerhalb 2h operiert, 56% (15) innerhalb 3h, 78% (21) innerhalb 6h und nur 7% (2) wurden erst nach über 12h operiert.

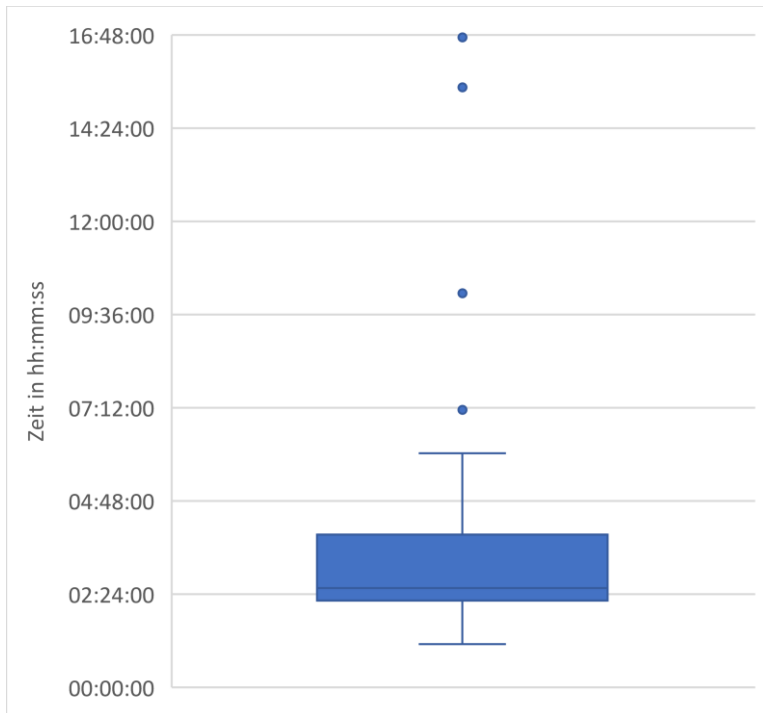


Abbildung 15: Zeitintervall zwischen dem Eintreffen in der Notaufnahme und der frakturversorgenden Operation

Die OP-Dauer (Schnitt-Naht-Zeit) betrug im Mittel 00:42h (SD \pm 0,02). Das Maximum lag bei 01:41h und das Minimum bei 00:11h. Bei keinem Patienten wurde primär während der frakturversorgenden OP eine Neurolyse des betroffenen Nervs durchgeführt.

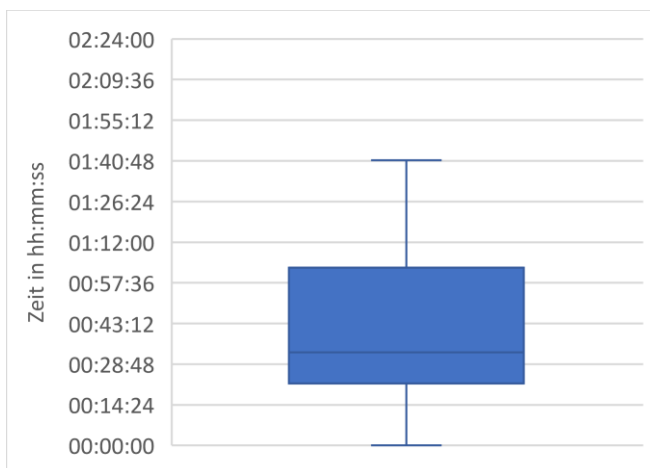


Abbildung 16: Dauer der frakturversorgenden Operation

5.1.1.4 Iatrogene Nervenläsionen

Nur bei 6 Patienten (22%, 7 Nervenläsionen) wurde die Nervenverletzung bei der klinischen Untersuchung bereits präoperativ festgestellt und dokumentiert. Dabei wurden eine Radialisläsion, 4 Ulnarisläsionen und 2 Medianusläsionen festgehalten. Bei den restlichen 21 Kindern (78%, 27 Nervenläsionen) wurden die Nervenverletzungen erst postoperativ bemerkt und gelten somit als iatrogen. Darunter fielen 19 Ulnarisläsionen (70%), 5 Medianusläsionen (19%) und 3 Radialisläsionen (11%).

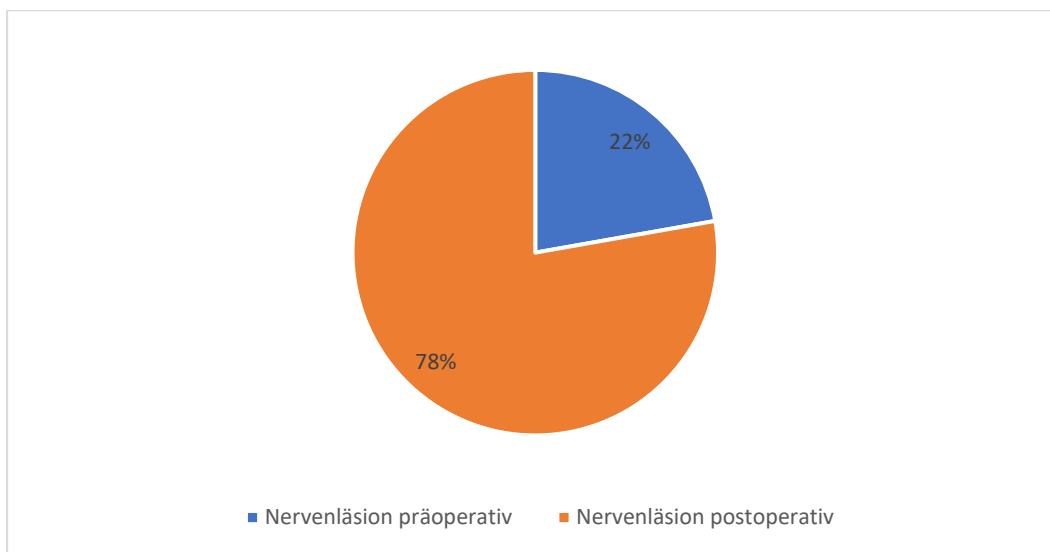


Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der prä- und postoperativ festgestellten Nervenläsionen

5.1.2 Patienten mit auswärtig behandelter Fraktur

Nun werden die Ergebnisse der Patienten, deren Frakturen auswärtig und deren Nervenläsionen in der Klinik St. Hedwig therapiert wurden, dargelegt.

5.1.2.1 Patientenangaben

Es konnten 9 Patienten im Alter von 3-15 Jahren mit posttraumatischer Nervenläsion im Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2019 in die Studie aufgenommen werden. Der Altersdurchschnitt lag bei 8,22 Jahren (SD \pm 4,38, range 3-15). 33% (3) der Kinder waren weiblich mit einem Mittelwert von 9,67 Jahren und 67% (6) waren männlich mit einem Altersdurchschnitt von 7,50 Jahren.

5.1.2.2 Nervenläsionen

Es konnten 11 Nervenläsionen erfasst werden. Der N. radialis war in 27%, der N. ulnaris in 55% und der N. medianus in 18% der Fälle betroffen. Bei zwei Patienten waren zwei Nerven gleichzeitig verletzt.

Nervenverletzung	Anzahl
N. ulnaris	6
N. radialis	3
N. medianus	2

Tabelle 6: Anzahl der beobachteten Läsionen

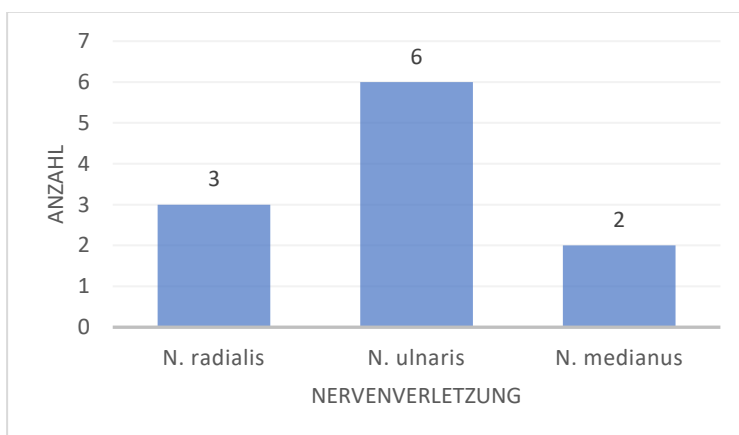


Abbildung 18: Anzahl der beobachteten Läsionen

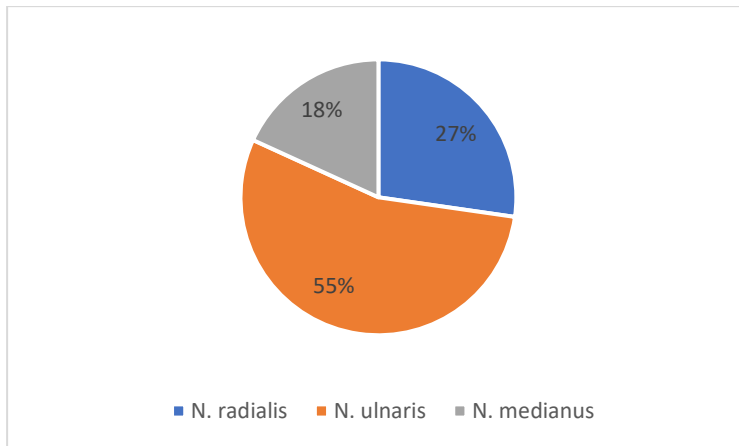


Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der einzelnen Nervenläsionen

5.1.2.3 Frakturen und deren Therapie

Es konnten 9 Frakturen beobachtet werden, kein Kind hatte mehrere Frakturen gleichzeitig. In 67% der Fälle war der Oberarm betroffen und in 33% der Fälle der Unterarm. Bei 44% aller Frakturen konnte eine suprakondyläre Humerusfraktur diagnostiziert werden.

Frakturtyp	Anzahl
Suprakondyläre Humerusfraktur	4
Epikondylus Ulnaris Fraktur	1
Humerusschaftfraktur	1
Dislozierte Radiuschaftfraktur	1
Komplette Unterarmfraktur	1
Monteggia-Fraktur	1

Tabelle 7: Anzahl der beobachteten Frakturen

Bei 5 Patienten wurden Angaben zur Verletzung der dominanten oder nicht-dominanten oberen Extremität gemacht. Bei 40% (2) jener Kinder war die dominante Extremität frakturiert.

89% (8) der Knochenbrüche wurden operativ behandelt und 11% (1) konservativ. Bei einem Patienten wurde während der primären Frakturversorgung eine Neurolyse der beschädigten Nerven (N. ulnaris und N. medianus) durchgeführt.

5.1.3 Gesamtes Patientenkollektiv

In der nun folgenden Auswertung wurde das gesamte Patientenkollektiv berücksichtigt.

5.1.3.1 Patientenangaben

Es wurden 36 Patienten mit frakturbedingter Nervenverletzung im Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2019 in der Kinderklinik St. Hedwig in Regensburg oder in der Neurologie des Krankenhauses Barmherzige Brüder Regensburg behandelt. Der weibliche Anteil lag bei 39% (14) und der männliche bei 61% (22). Der Mittelwert des Alters der Patienten zum Zeitpunkt des Traumas war 7,69 Jahre (SD \pm 3,17, range 3-15). Das jüngste Kind war 3 Jahre, das älteste 15 Jahre alt. Das mittlere Alter der Mädchen betrug 8,93 Jahre, das der Jungen 6,91 Jahre.

5.1.3.2 Nervenläsionen

Es konnten 45 Nervenläsionen erfasst werden. 64% der Läsionen betrafen den N. ulnaris, 20% den N. medianus und 16% den N. radialis.

81% der 29 Kinder konnten eine Schädigung des N. ulnaris aufweisen, 25% verletzten sich den N. medianus und 19% den N. radialis.

Bei 7 Kindern waren zwei Nerven gleichzeitig betroffen und bei einem Kind alle drei langen Armnerven.

Nervenverletzung	Anzahl
N. ulnaris	29
N. medianus	9
N. radialis	7

Tabelle 8: Anzahl der beobachteten Nervenläsionen im gesamten Patientenkollektiv

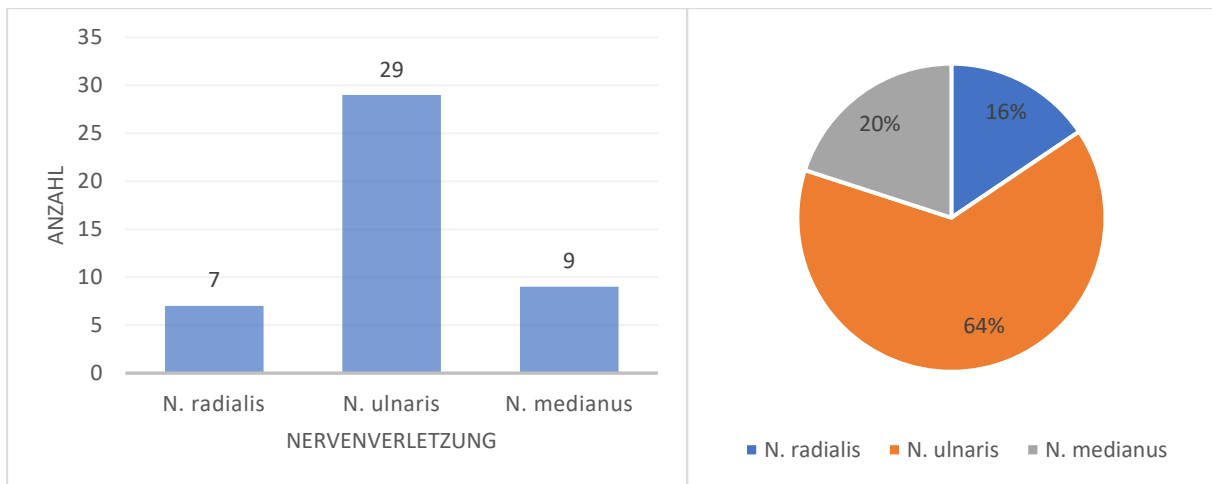


Abbildung 20: Übersicht über die Anzahl und Häufigkeitsverteilung der beobachteten Nervenläsionen im gesamten Patientenkollektiv

Bei 17 Kindern wurde im Rahmen der Diagnostik eine Sonografie-Untersuchung des verletzten Nervs durchgeführt. Von den 24 sonografierten Nerven wiesen 38% (9) ein Kontinuitätsneurom auf. Eine Einteilung der Läsionen nach Sunderland wurde nur in wenigen Fällen vorgenommen und konnte deshalb nicht ausgewertet werden.

5.1.3.3 Frakturen und deren Therapie

Es konnten insgesamt 38 Frakturen festgehalten werden. Davon waren 61% suprakondyläre Humerusfrakturen. Der Anteil sonstiger Humerusfrakturen lag bei 11%, der der Unterarmfrakturen bei 29%. Zwei Patienten hatten zwei Frakturen gleichzeitig.

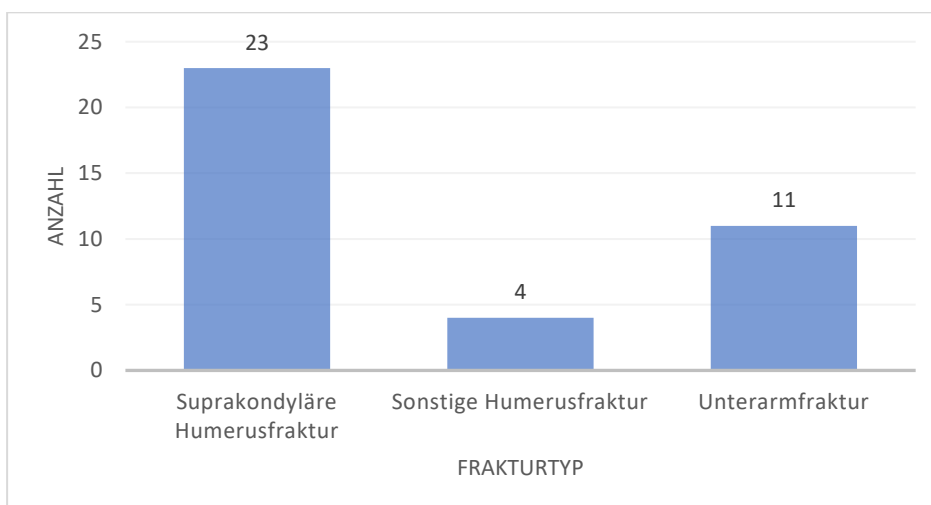


Abbildung 21: Anzahl der beobachteten Frakturen im gesamten Patientenkollektiv

In 58% der Fälle wurden Angaben zur Betroffenheit der dominanten Extremität festgehalten. Von diesen 21 Patienten verletzten sich 10 (48%) die dominante Extremität.

Bei 34 Kinder (94%) wurde die Fraktur operativ therapiert, 2 Kinder (6%) wurden konservativ behandelt.

Eine Neurolyse während der primären Frakturversorgung wurde bei einem Kind (3%) durchgeführt.

5.1.4 Therapie und Regeneration der Nervenläsionen

Die Nervenverletzungen von 31 Patienten (86%) wurden konservativ therapiert. In 97% entsprach die konservative Therapie einer regelmäßigen Physiotherapie. Einem Patienten wurden lediglich eigenständig durchzuführende häusliche Übungen empfohlen. 3 Kinder (10%) wurden zusätzlich mit einer Lagerungsschiene behandelt. 4 Patienten (11%) erhielten eine operative Therapie der Nervenläsion in Form einer Neurolyse. Davon wurden 2 Patienten jeweils vor und nach der Neurolyse physiotherapeutisch behandelt. Eine frühzeitige Metallentfernung wurde bei keinem Kind durchgeführt.

Bei einem Patienten (3%) wurde eine Therapie für nicht nötig empfunden, da dieser bereits ohne Therapie eine vollständige Erholung seiner zunächst geringen Symptome aufweisen konnte.

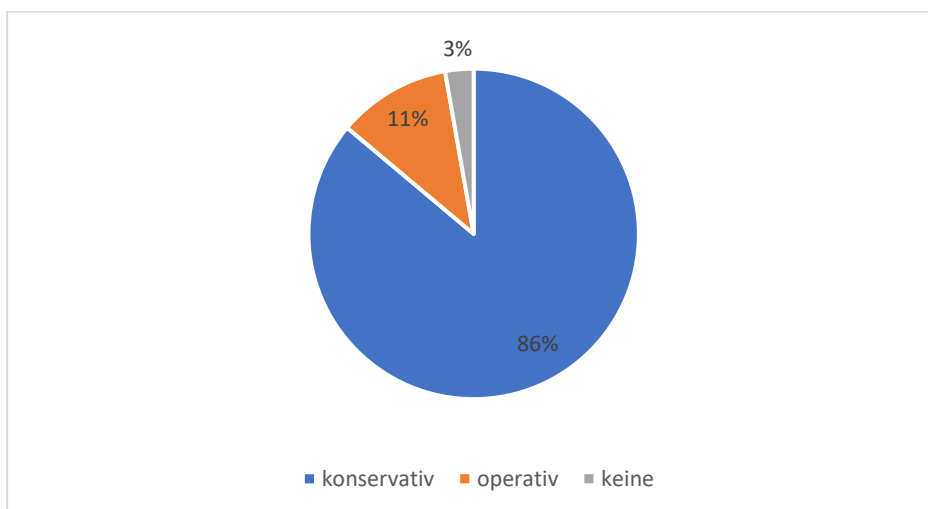


Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der jeweiligen Therapien der Nervenläsionen

Therapie der Nervenläsion	Anzahl
Konservativ	
Physiotherapie	30
Häusliche Übungen	1
Zusätzlich Lagerungsschiene	3
Operativ	
Neurolyse	4
Frühzeitige Metallentfernung	0

Tabelle 9: Anzahl der durchgeführten Therapien der Nervenläsionen

Die jeweilige Therapie wurde im Mittel nach 12 Monaten (SD \pm 8,22) (392 Tage; SD \pm 252,36) abgeschlossen. Das Minimum lag bei 3 Monaten (108 Tage) und das Maximum bei 45 Monaten (1386 Tage).

Insgesamt ist bei 33 Patienten (92%) eine Besserung durch die jeweilige Therapie eingetreten. In 8% der Fälle (3 Patienten) hat sich der Nerv vollständig und ohne Restdefizite erholt. Bei 13 Kindern (36%) zeigte die klinische Untersuchung zum Therapieende eine völlig normale sensible und motorische Funktion der betroffenen Extremität, jedoch war das Ergebnis der neurophysiologischen Untersuchung weiterhin pathologisch. In 6 Fällen (17%) wurde dokumentiert, dass das Kind mittlerweile im Alltag beschwerdefrei sei, in der klinischen Untersuchung konnten aber noch Auffälligkeiten ausgemacht werden. Bei 11 Patienten (31%) konnte eine deutliche Besserung der Nervenläsion infolge der Therapie beobachtet werden, es bestanden aber nach wie vor deutliche Defizite der Motorik und Sensibilität der betroffenen Extremität.

In 8% der Fälle (3 Patienten) ist keine Besserung durch die Therapie eingetreten. Dabei lag bei einem Kind eine Epikondylus Ulnaris Fraktur vor, die auswärtig mit einer Kirschner-Draht-Osteosynthese und einer Schraubenosteosynthese versorgt wurde. Der Patient erlitt eine Ulnarisläsion, wobei nicht festgehalten wurde, ob diese bereits präoperativ bestand. Das zweite Kind mit ausbleibender Besserung der Nervenläsion wies eine Monteggia-Fraktur auf, welche konservativ therapiert wurde. Bei dem Kind war der N. radialis läsioniert. Der dritte Patient verletzte sich den N. medianus im Rahmen einer suprakondylären Humerusfraktur, welche mit einer

Kirschner-Draht-Osteosynthese versorgt wurde. Der Nervenschaden wurde erst postoperativ dokumentiert.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass 44% die Behandlung mit einem sehr guten Outcome beendeten, da die klinische Untersuchung eine rein physiologische Nervenfunktion zeigte. 17% der Kinder galten als beschwerdefrei und wiesen somit ein gutes Outcome auf. Bei 31% der Patienten war das Ergebnis befriedigend und bei 8% unbefriedigend.

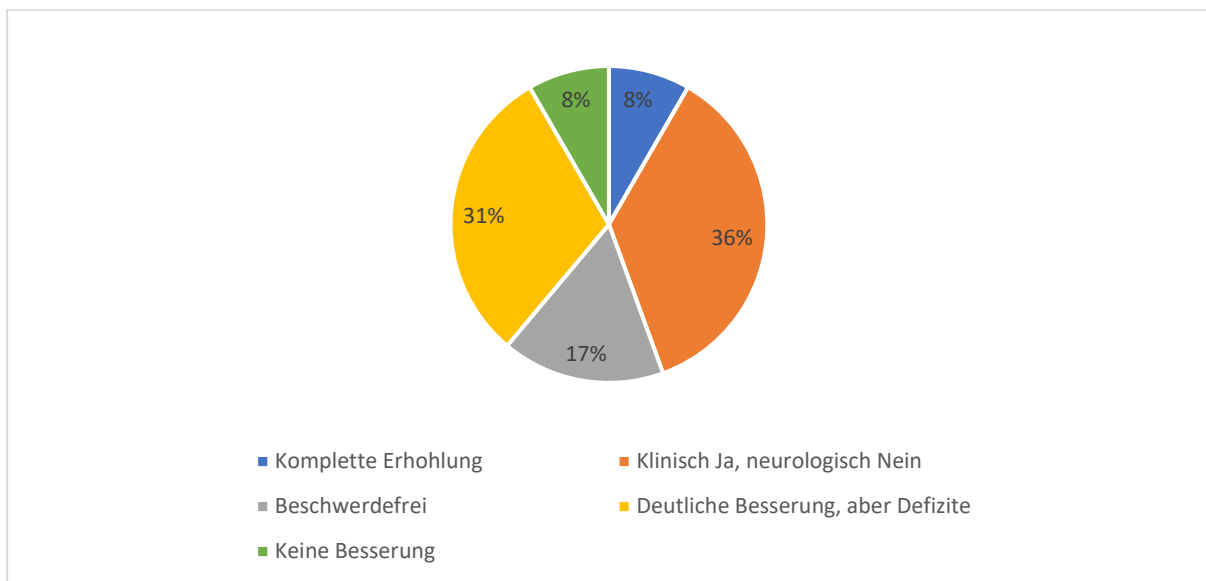


Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der Therapieergebnisse aller Behandlungsmethoden

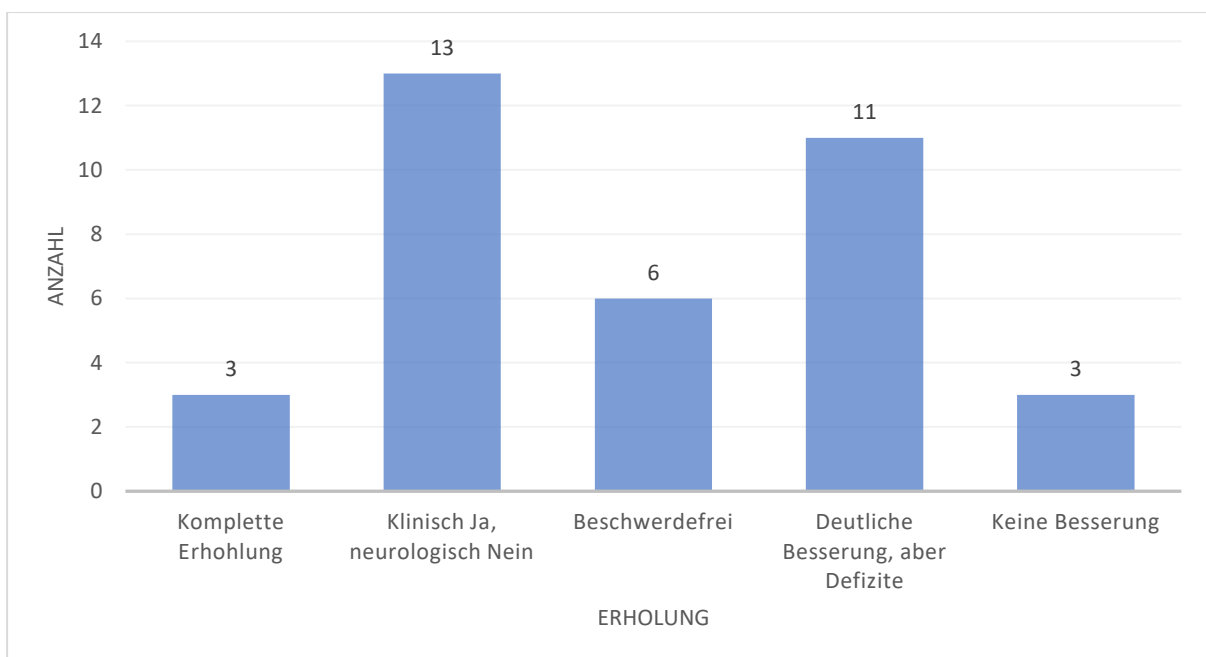


Abbildung 24: Übersicht über die Therapieergebnisse aller Behandlungsmethoden

In der folgenden Tabelle wird das Therapieergebnis der einzelnen Nerven aufgezeigt.

Therapieergebnis der Nervenläsion	Anzahl	Häufigkeit in %
N. radialis	n=	
Komplette Erholung	1	14
Klinisch ja, neurologisch nein	1	14
Beschwerdefrei, aber pathologische klin. Untersuchung	1	14
Deutliche Besserung, aber Defizite	3	43
Keine Besserung	1	14
Besserung eingetreten	6	86
N. ulnaris	n=	
Komplette Erholung	3	10
Klinisch ja, neurologisch nein	12	41
Beschwerdefrei, aber pathologische klin. Untersuchung	6	21
Deutliche Besserung, aber Defizite	6	21
Keine Besserung	2	7
Besserung eingetreten	27	93
N. medianus	n=	
Komplette Erholung	0	0
Klinisch ja, neurologisch nein	1	11
Beschwerdefrei, aber pathologische klin. Untersuchung	0	0
Deutliche Besserung, aber Defizite	7	78
Keine Besserung	1	11
Besserung eingetreten	8	89

Tabelle 10: Therapieergebnisse der einzelnen Nerven

Bei den Kindern, die regelmäßige Physiotherapie als Behandlungsmethode erhalten haben, ist bei 97% (29) eine Besserung der Nervenläsion eingetreten. In 7% (2) der Fälle hat sich der Nerv komplett und ohne Restdefizite erholt. Bei 37% (11) der Patienten konnte lediglich in der Neurographie ein pathologischer Befund erfasst werden, die klinische Untersuchung war unauffällig. 20% (6) der Kinder, die physiotherapeutisch behandelt wurden, sind nun im Alltag beschwerdefrei, aber weisen eine pathologische klinische Untersuchung auf. Bei 33% (10) konnte eine deutliche Besserung, allerdings mit bestehenden Restdefiziten beobachtet werden. Nur bei einem Patienten (3%) ist keine Besserung eingetreten.

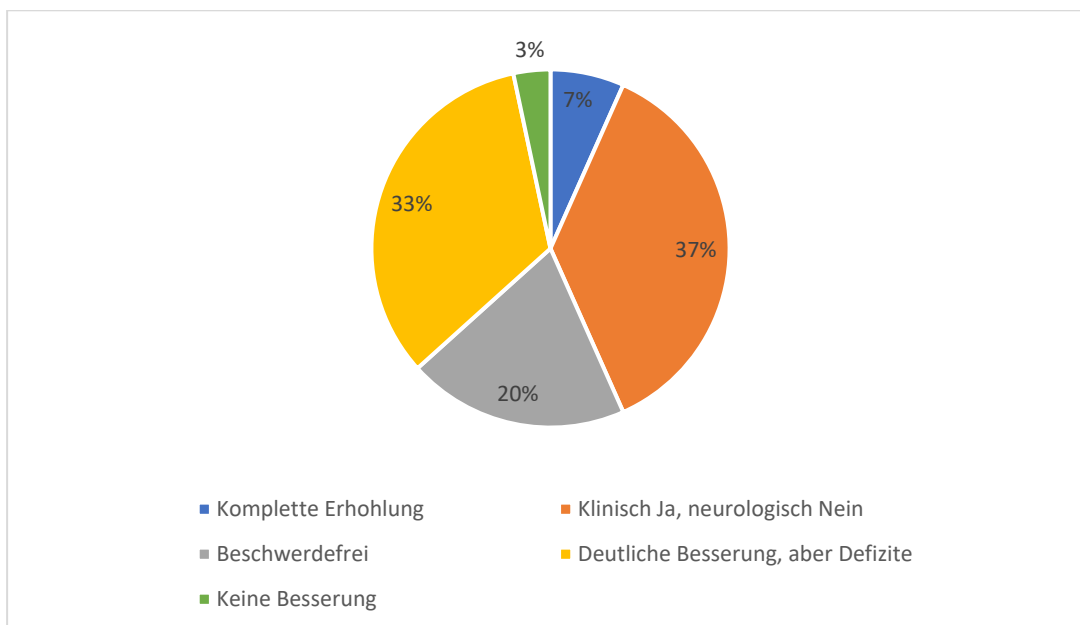


Abbildung 25: Häufigkeit der Therapieergebnisse der mit Physiotherapie behandelten Patienten

Bei zwei Patienten wurde eine Neurolyse durchgeführt mit zusätzlicher physiotherapeutischer Behandlung. Davon besserte sich die Nervenläsion nur bei einem Patienten, bei dem trotz Therapie Restdefizite festgestellt wurden.

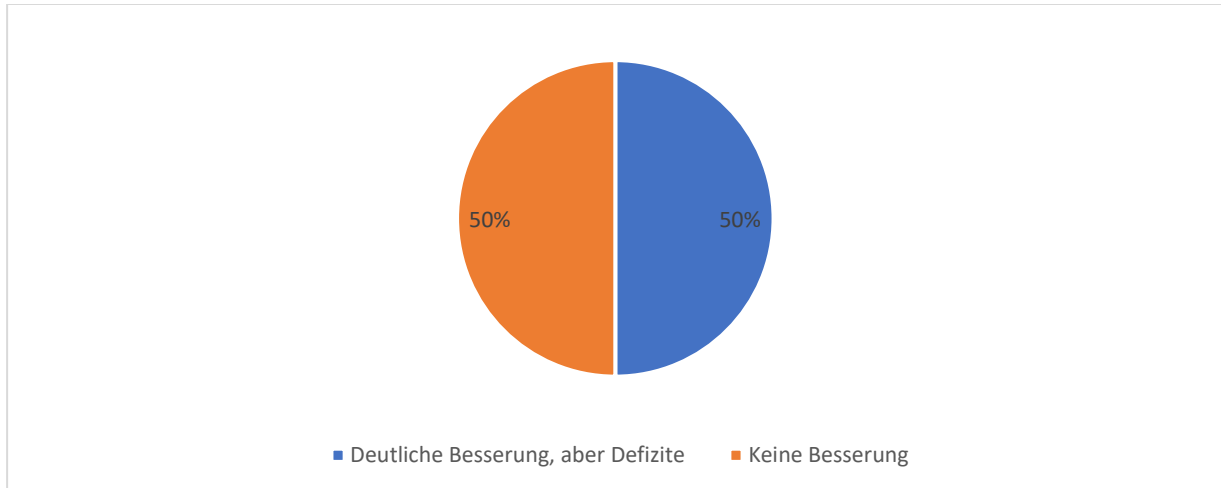


Abbildung 26: Häufigkeit der Therapieergebnisse der mit Neurolyse und Physiotherapie behandelten Patienten

Von den zwei Patienten, deren Nervenläsion nur mit einer Neurolyse behandelt wurde, konnte bei einem Kind eine komplette Erholung und beim anderen keine Besserung beobachtet werden.

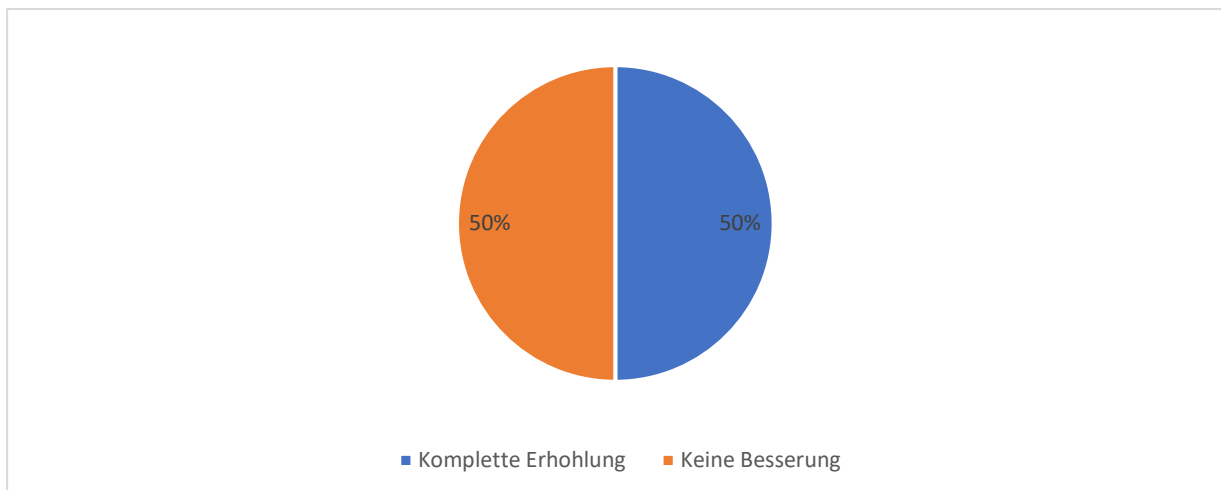


Abbildung 27: Häufigkeit der Therapieergebnisse der mit Neurolyse behandelten Patienten

Ein Patient erhielt keine Therapie. In der klinischen Untersuchung zum Behandlungsende war der Befund unauffällig, jedoch fiel eine pathologische Neurographie auf.

5.2 Suprakondyläre Humerusfrakturen

5.2.1 Inzidenz und Therapie

Im Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2018 wurden 886 kinderchirurgische Patienten mit der Diagnose einer suprakondylären Humerusfraktur in der Kinderklinik St. Hedwig in Regensburg versorgt. 69% der Kinder (614) wurden ambulant behandelt und 31% (272) stationär aufgenommen. Bei 72% der Patienten (642) konnte die Fraktur konservativ therapiert werden, 28% der Kinder (244) mussten operiert werden.

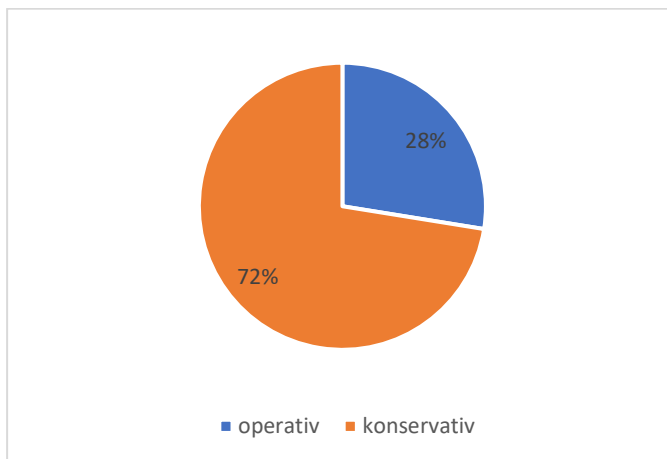


Abbildung 28: Häufigkeitsverteilung der operativen und konservativen Therapie der SKHF

5.2.2 Posttraumatische Nervenläsionen

Von den 886 Patienten mit suprakondylärer Humerusfraktur wurde bei 19 Kindern eine traumabedingte Nervenläsion diagnostiziert. Die Rate an Nervenverletzungen bei suprakondylärer Humerusfraktur der Klinik St. Hedwig liegt somit bei 2%.

7 Patienten (37%) waren weiblich, 12 Patienten (63%) männlich. Der Altersdurchschnitt lag bei 6,89 Jahren ($SD \pm 2,60$, range 3-12). Das jüngste Kind war zum Unfallszeitpunkt 3 Jahre alt, das älteste 12 Jahre.

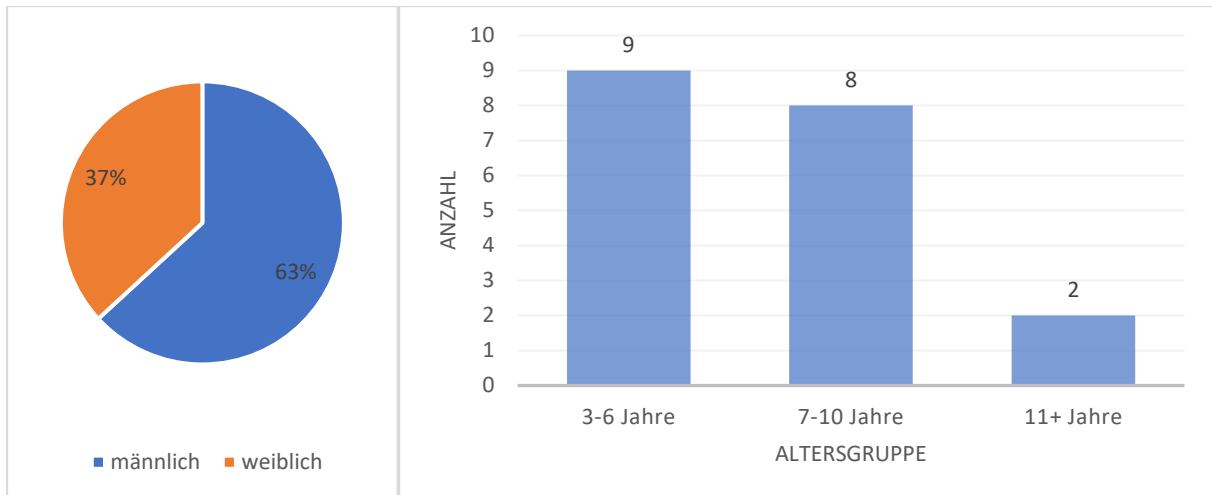


Abbildung 29: Geschlechterverteilung und Übersicht über die Altersgruppen

Von den 19 suprakondylären Humerusfrakturen wurden 17 (89%) als Typ IV nach v. Laer und 2 (11%) als Typ III nach v. Laer klassifiziert.

Kein Patient mit einer suprakondylären Humerusfraktur Typ I oder II nach v. Laer erlitt eine posttraumatische Nervenverletzung.

Insgesamt konnten 24 Nervenläsionen beobachtet werden. Davon waren 17 (71%) Ulnarisläsionen, 4 (17%) Medianusläsionen und 3 (13%) Radialisläsionen.

Der N. ulnaris war bei 89% der 19 Kinder betroffen, der N. medianus bei 21% und der N. radialis bei 16%. 3 Patienten hatten eine Verletzung zweier Nerven gleichzeitig. Bei einem Patienten waren alle drei langen Armnerven betroffen.

Werden nur die Patienten mit einer Typ IV-Fraktur nach v. Laer betrachtet, tritt in 71% (15) der Fälle eine Läsion des N. ulnaris auf und in jeweils 14% (3) eine Läsion des N. radialis und des N. medianus.

Von den zwei Kindern mit einer Typ III-Fraktur nach v. Laer erlitt das erste eine Läsion des N. ulnaris, welche erst postoperativ festgestellt wurde. Das zweite Kind verletzte sich den N. ulnaris und den N. medianus gleichzeitig, wobei die Nervenschäden bereits präoperativ dokumentiert wurden.

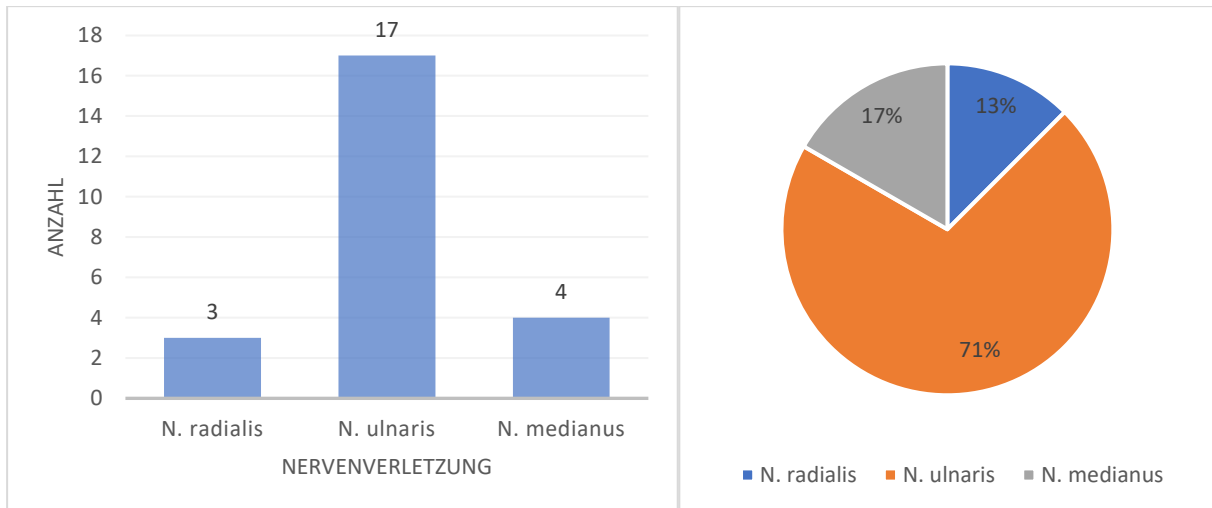


Abbildung 30: Übersicht über die Anzahl und Häufigkeitsverteilung der Nervenläsionen bei suprakondylärer Humerusfraktur

In 79% der Fälle (15 Patienten, 19 Nervenverletzungen) war die Nervenläsion präoperativ nicht bekannt und wurde erst postoperativ festgestellt. Von den erst postoperativ bemerkten Nervenläsionen war in 74% (14) der Fälle der N. ulnaris, in 16% (3) der N. medianus und in 11% (2) der N. radialis betroffen. 5 Nervenverletzungen wurden bereits präoperativ dokumentiert. Darunter fielen 3 Ulnarisläsionen, eine Radialisläsion und eine Medianusläsion. Während der frakturversorgenden OP wurden diese 5 funktionseingeschränkten Nerven aber nicht revidiert.

Die Frakturen aller 19 Patienten (100%) wurden operativ therapiert. Das Zeitintervall zwischen Eintreffen in der Notaufnahme und dem OP-Schnitt betrug im Mittel 03:47h. Das Maximum lag bei 16:44h und das Minimum bei 01:07h. Innerhalb 2h wurden 21% (4) der Kinder operiert, innerhalb 3h 63% (12) und innerhalb 6h 84% (16) der Kinder. Über 12h mussten nur 5% (1) auf ihre OP warten.

Die frakturversorgende Operation (Schnitt-Naht-Zeit) dauerte im Mittel 00:42h mit einem Maximum bei 01:41h und einem Minimum bei 00:11h.

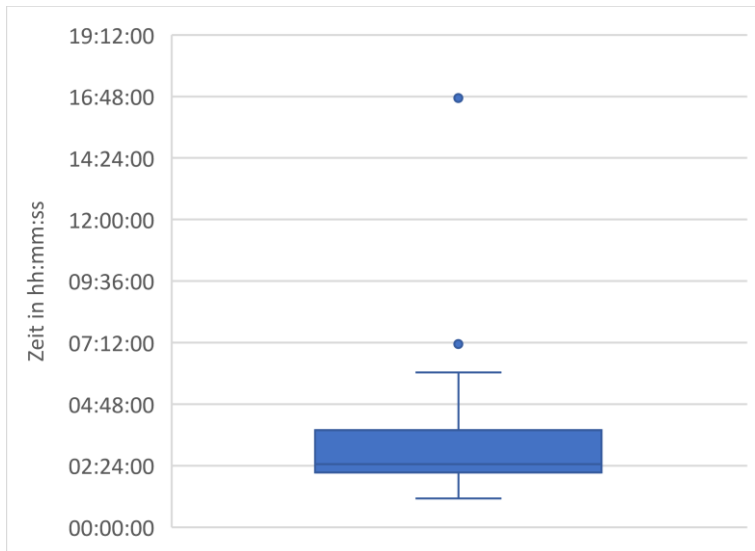


Abbildung 31: Zeitintervall zwischen Eintreffen in der Notaufnahme und der frakturversorgenden OP

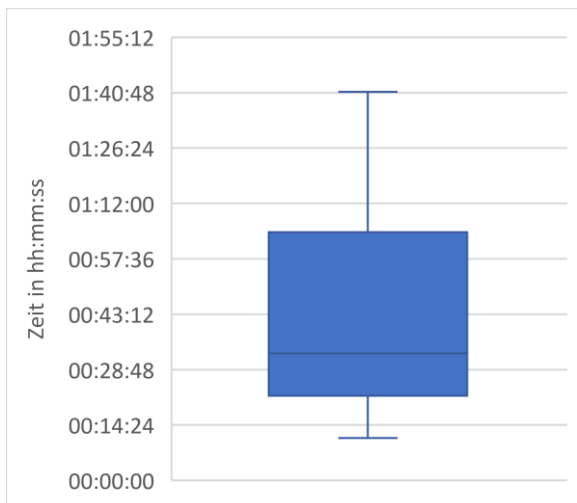


Abbildung 32: Dauer der frakturversorgenden OP

Bei 18 Patienten (95%) wurde die Kirschner-Draht-Osteosynthese zur Frakturversorgung verwendet. Ein Kind (5%) wurde mit einer ESIN-Osteosynthese behandelt. Bei diesem wurde bereits präoperativ ein geschädigter N. radialis festgestellt.

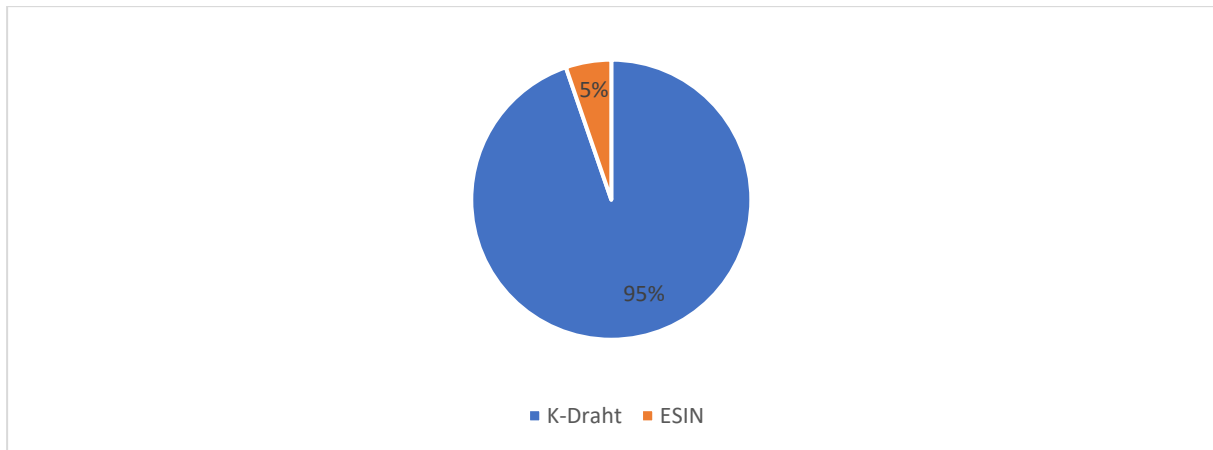


Abbildung 33: Häufigkeitsverteilung der verwendeten Osteosynthese bei der Versorgung der supracondylären Humerusfrakturen

Die Frakturposition erfolgte bei allen Patienten geschlossen.

6 Diskussion

Das Ziel dieser Studie bestand in der Deskription der kinderchirurgischen Patienten mit einer frakturassoziierten Nervenläsion der Kinderklinik St. Hedwig. Die Ergebnisse sollen nun bewertet und mit Angaben anderer Studien verglichen werden.

6.1 Posttraumatische Nervenläsionen

Die Patienten dieser Studie waren im Mittel 7,69 Jahre alt. Betrachtet man nur die Patienten der Klinik St. Hedwig, verringert sich das Durchschnittsalter auf 7,52. Dieser Mittelwert ist vergleichbar mit Angaben in der Literatur, die sich auf traumatische Nervenläsionen aufgrund einer oberen Extremitätenfraktur beziehen. Senes et al. berichteten von einem Altersmittelwert von 7,6 Jahren und Houshian et al. gaben 7,9 Jahre an [1, 63]. Lindsay et al. berechneten ein Durchschnittsalter von 5,6 Jahren [64], wobei die Nervenläsionen der meisten Kinder durch Schnittwunden bedingt waren. Im gesamten Patientenkollektiv dieser Studie waren 61% der Patienten Jungen und 39% Mädchen. In einigen anderen Studien fällt ebenfalls eine Mehrheit der männlichen Patienten auf. Lindsay et al. beobachteten 68% männliche und 32% weibliche Patienten [64]. Hanlon et al. beschrieben 82% Jungen und 18% Mädchen [65]. Bei Houshian et al. war die Geschlechterverteilung weitgehend ausgeglichen mit 46% männlichen und 54% weiblichen Patienten [63].

6.1.1 Häufigkeitsverteilung der Nervenläsion

Im gesamten Patientenkollektiv betraf die Läsion in 16% der Fälle den N. radialis, in 64% den N. ulnaris und in 20% den N. medianus. Betrachtet man nur die Patienten der Klinik St. Hedwig verändert sich die Verteilung nur um wenige Prozentpunkte (N. radialis 12%, N. ulnaris 68%, N. medianus 21%). In der Studie von Hanlon et al. waren bei 36% der 14 Kinder mit frakturbedingter Nervenläsion der N. radialis betroffen, bei 43% der N. ulnaris und bei 21% der N. medianus [65]. Senes et al. berichteten über 51% Radialisläsionen, 17% Ulnarisläsionen und 32% Medianusläsionen unter ihren 105 untersuchten kinderchirurgischen Patienten mit frakturbedingter Nervenläsion [1]. Birch et al. evaluierten 118 Kinder mit einer Nervenverletzung aufgrund von Frakturen und Dislokationen am Ellenbogen und beobachteten in 16% der Fälle eine Läsion des N. radialis, in 39% eine Ulnarisläsion und in 45% eine Medianusläsion [22].

	Hanlon et al. (1954)[65]	Senes et al. (2009)[1]	Birch et al. (2000)[22]	Gesamtes Patientenkollektiv (2019)	St. Hedwig (2019)
N. radialis (in %)	36	51	16	16	12
N. ulnaris (in %)	43	17	39	64	68
N. medianus (in%)	21	32	45	20	21

Tabelle 11: Häufigkeitsverteilung der Nervenläsionen der jeweiligen Autoren und der vorliegenden Studie

6.1.2 Häufigkeitsverteilung der Frakturen

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass traumatische Nervenläsionen häufiger durch Oberarmfrakturen (72%) als durch Unterarmfrakturen (28%) verursacht wurden. Dabei entstanden die meisten Nervenläsionen im Rahmen von suprakondylären Humerusfrakturen (70%). Diese Feststellung stimmt mit den Angaben in der Literatur überein. Hanlon et al. beschrieben in 71% der Fälle Humerusfrakturen und in 12% Unterarmfrakturen, die zu der Nervenläsion führten [65]. Senes et al. evaluierten die verschiedenen Frakturtypen, die zu einer Verletzung des N. radialis führten. Dabei waren 90% suprakondyläre Humerusfrakturen, 5% sonstige Humerusfrakturen und 5% Unterarmfrakturen [1]. Birch et al. beschrieben, dass 77% aller Nervenläsionen durch eine suprakondyläre Humerusfraktur verursacht waren. Die restlichen wurden mit anderweitigen Ellenbogenfrakturen und -dislokationen assoziiert [22]. In der Studie von Houshian et al. lösten Ellenbogenfrakturen die beschriebenen Nervenläsionen aus. 59% davon waren suprakondyläre Humerusfrakturen [63].

6.1.3 Frakturbehandlung

In der vorliegenden Studie wurde die Mehrheit der Frakturen, die den Nervenverletzungen zugrunde lagen, operativ behandelt. Nur 6% der Frakturen wurden konservativ therapiert. Senes et al. veröffentlichten einen höheren Anteil an operativ versorgten Frakturen. Die von ihnen beobachteten Frakturen, die in Zusammenhang mit einer Nervenläsion standen, wurden zu 100% operativ therapiert [1]. Eine differenzierte Beobachtung machten Houshian et al, die in 77% der evaluierten Frakturen eine konservative Behandlung beschrieben [63]. In beiden Studien ist der

Grund für die hohe Rate an operativer bzw. konservativer Therapie der Fraktur nicht ersichtlich [1, 63]. Eine mögliche Erklärung könnte in der unterschiedlichen Komplexität der Knochenbrüche bzw. in der unterschiedlichen präferierten Vorgehensweise der einzelnen Kliniken bei kinderchirurgischen Frakturen liegen. Andere veröffentlichte Studien machten keine Aussage über die Therapiemethode der zugrundeliegenden Fraktur der Patienten [22, 64, 65].

	Senes et al. (2009)[1]	Houshain et al. (2001)[63]	Gesamtes Patientenkollektiv (2019)	St. Hedwig (2019)
Operativ (in %)	100	23	94	96
Konservativ (in%)	0	77	6	4

Tabelle 12: Häufigkeitsverteilung der operativen und konservativen Frakturversorgung der jeweiligen Autoren und der vorliegenden Studie

6.1.4 Iatrogene Nervenläsion

Von den ausschließlich in der Klinik St. Hedwig behandelten Patienten, wurde bei 78% die Nervenverletzung erst nach der frakturversorgenden Operation bemerkt. Definitionsgemäß gelten diese als iatrogene Nervenläsionen. Ähnlich hohe Prozentzahlen können in den Studien von Khademolhosseini et al., Ramachandran et al. und Farnsworth et al. eingesehen werden. Darin wurde ein Anteil von 56-81% aller evaluierten kindlichen Nervenläsionen erst postoperativ festgestellt [51, 53, 57]. Andere Autoren beschreiben nur eine Rate von 14-18% [9, 50, 56]. In der vorliegenden Studie gibt die relativ hohe Prozentzahl mutmaßlich nicht ausschließlich iatrogene Nervenläsionen wieder, sondern lässt vielmehr eine große Anzahl an bereits präoperativ bestehenden, in der klinischen Untersuchung nicht erfassten, traumatisch bedingten Nervenschäden vermuten. Robertson et al. zeigten in ihrer Arbeit, dass einige neurologische Defizite in der initialen Untersuchung von Ärzten übersehen werden. Die Autoren beobachteten bei 8% der kinderchirurgischen Patienten präoperativ bestehende Nervenverletzungen, welche aber allesamt durch das Personal der Notaufnahme nicht erkannt wurden und somit als iatrogen galten. Da die zuständigen Operateure die Kinder vor der frakturversorgenden OP nochmals untersuchten, konnten die Nervenschäden als frakturbedingt identifiziert werden [55].

Auch Farnsworth et al. beschrieben, dass bei 12% aller kindlichen Frakturen präoperativ kein neurologischer Status erhoben wurde. Grund dafür war eine Noncompliance oder Bewusstlosigkeit des Kindes oder eine unzureichende klinische Untersuchung des ärztlichen Personals [51].

Eine vollständig und gewissenhaft durchgeführte klinische Untersuchung vor der frakturversorgenden Operation ist unabdingbar, um die Rate an fälschlicherweise als iatrogen geltenden Nervenläsionen zu minimieren. Davidson beschrieb eine effektive Untersuchungsmethode, um auch bei Kindern zuverlässig gültige neurologische Befunde erheben zu können. Dabei nannte er das Spiel „Schere-Stein-Papier“. Anhand der „Stein-Position“ (pronierte Faust) kann die Funktion des N. medianus überprüft werden. Mit der „Papier-Position“ (extendierte Hand und extendiertes Handgelenk) sowie durch anschließende Öffnung und Supination der Hand kann der N. radialis untersucht werden. Zuletzt soll die Ulnarisfunktion mithilfe der „Scheren-Position“ (Faustschluss bis auf Zeige- und Mittelfinger, Daumen adduziert und flektiert) beurteilt werden [66]. Es muss aber berücksichtigt werden, dass diese Methode grundsätzlich nur bei schmerzfreien Kindern korrekt durchführbar ist.

Die in der Literatur ebenfalls angegebenen Häufigkeiten von 2-7% an iatrogenen Nervenläsionen erscheinen im Vergleich zu den obig genannten Prozentzahlen niedrig. Sie beschreiben jedoch den Anteil iatrogenen Nervenläsionen an allen mit Kirschner-Draht versorgten suprakondylären Humerusfrakturen [5, 7, 9, 48, 50, 59–61]. Die obig angegebenen Werte beziehen sich auf alle aufgetretenen Nervenverletzungen.

Autoren	Anteil iatrogenen Nervenläsionen (in %)
Brown et al. (1995) [9]	17
Campbell et al. (1995) [50]	14
Farnsworth et al. (1998) [51]	56
Gosens et al. (2003) [5]	43
Khademolhosseini et al. (2013) [53]	81
Kwok et al. (2016) [56]	18
Ramachandran et al. (2006) [57]	62
Vorliegende Studie (2019)	78

Tabelle 13: Anteil iatrogenen Nervenläsionen an allen aufgetretenen Nervenläsionen

6.1.5 Therapie und Behandlungserfolg der Nervenläsion

86% der evaluierten Nervenläsionen wurden in dieser Studie konservativ therapiert. Die häufigste Therapiemethode stellte die Physiotherapie dar. Auf diese Weise wurden 30 Kinder (83%) behandelt. Die Minderheit der Patienten (3%) wurde hinsichtlich ihrer Nervenläsion operativ therapiert und davon erhielt die Hälfte zusätzlich eine physiotherapeutische Betreuung. Nach einer mittleren Therapielänge von 12 Monaten konnte bei dem Großteil der Nerven (92%) eine Besserung erkannt werden. 44% der Kinder beendeten die Nachsorge mit einem sehr guten Outcome, 17% mit einem guten und 31% mit einem befriedigenden. Nur bei 8% der Patienten war das Outcome unbefriedigend. Das Behandlungsergebnis der einzelnen Nerven ist vergleichbar, da bei allen drei Nerven in 86-93% eine Besserung eingetreten ist. In der vorliegenden Studie kann festgehalten werden, dass die konservative Therapie bessere Ergebnisse zeigte als die operative Behandlungsmethode. Durch regelmäßige Physiotherapie trat bei 97% der Patienten eine Besserung ein, 43% davon hatten ein sehr gutes Outcome. Patienten, welche eine Neurolyse erhielten, konnten in nur 50% eine Besserung der Nervenläsion aufweisen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass lediglich vier Patienten neurolysiert wurden und das Therapieergebnis somit nicht allgemeingültig ist.

Auch in der Literatur kann man eine Tendenz zum konservativen Therapieverfahren erkennen. In der Studie von Senes et al. wurde die Mehrheit der Nervenläsionen konservativ therapiert, was zu einem guten Ergebnis führte. Nur 19% der Radialisläsionen, denen eine Fraktur der oberen Extremität zugrunde lag, wurden operativ behandelt, die restlichen konservativ. Dabei konnte in 96% eine gute Nervenfunktion zurückerlangt werden. Medianusläsionen wurden in 92% konservativ therapiert und es konnte ein günstiges Outcome innerhalb von 4 Monaten festgehalten werden. Im Gegensatz dazu wurden 29% der Ulnarisläsionen operiert und nur weniger als die Hälfte erholten sich vollständig [1]. Senes et al. empfahlen im Falle einer offenen Verletzung die sofortige operative Therapie der Nervenläsion und bei geschlossenen Verletzungen zuerst ein abwartendes Verhalten. Sollten nach 6 Monaten keine Zeichen der Reinnervation festgestellt werden, sollte laut Senes et al. eine operative Therapie der Nervenläsion folgen [1]. Auch Birk et al. formulierten in ihrer Studie Kriterien für die operative Vorgehensweise bei Nervenläsionen. Hierbei genannte OP-Indikationen waren eine vollständige, tiefe und degenerative Läsion, Schmerzen, ein Hinweis auf vaskuläre Komplikationen und eine postoperativ auftretende Nervenverletzung [22]. McGraw et al. beschrieben 17 pädiatrische, durch dislozierte suprakondyläre Humerusfrakturen ausgelöste Nervenläsionen. Bis auf zwei Nerven erlangten alle, nach einer mittleren Beobachtungszeit von 9 Wochen, spontan ihre Funktion zurück. McGraw et al. rieten daher bei kindlichen frakturbedingten Nervenläsionen zu einem abwartenden Verhalten für mindestens 5 Monate. Bestand jedoch die Notwendigkeit zur offenen Reposition der Fraktur, wurde eine primäre Nervenexploration während der frakturversorgenden Operation empfohlen [54].

Hanlon et al. beobachteten bei 17 Nervenläsionen in 12% eine spontane Heilung innerhalb von einer Woche. 94% der Patienten konnten nach einer mittleren Behandlungszeit von 4 Jahren eine physiologische Nervenfunktion aufweisen. 6% zeigten eine Besserung der Nervenläsion. Die Nervenverletzungen aller evaluierten Patienten wurden konservativ behandelt [65]. Sämtliche von Houshian et al. ausgewerteten Nervenläsionen erholten sich spontan, im Mittel innerhalb von 10 Wochen [63]. Ramachandran et al. beobachteten eine spontane Heilung bei 59% der Kinder mit suprakondylärer Humerusfraktur und Nervenläsion. Dabei beschrieb die Studie in 84% ein sehr gutes Outcome und in 16% ein gutes. Die mittlere

Renervierungszeit betrug 7,7 Monate. 31% der Patienten mit Nervenläsion wurden operativ therapiert und zeigten alle ein sehr gutes Outcome [57].

95% der von Dormans et al. untersuchten Kinder mit suprakondylärer Humerusfraktur und daraus resultierender Nervenläsion wurden mit abwartendem Verhalten therapiert und alle Nerven erholten sich. Die mittlere Nachsorgezeit betrug 2,3 Jahre [4]. Brown et al. beschrieben 23 Nervenläsionen nach suprakondylärer Humerusfraktur, die alle spontan innerhalb von 6 Monaten (Mittel: 2,3 Monate) heilten [9]. Bis auf eine Läsion erholten sich unter konservativer Therapie auch die Nervenverletzungen der von Gosens et al. evaluierten Kindern mit suprakondylärer Humerusfraktur innerhalb von 6 Monaten [5].

Eine Übereinstimmung der Studien kann in der bevorzugten konservativen Therapiemethode aufgezeigt werden [1, 4, 5, 9, 57, 63, 65]. Dabei variierte jedoch die Erfolgsrate der Verfahrensweise. Diese Abweichung kann in der unterschiedlichen Bewertung des Outcomes begründet werden. Einige Autoren beschrieben lediglich, ob sich der Nerv erholt hat oder nicht. Dabei wurde nicht festgehalten, ob eine vollständige Wiederherstellung der Nervenfunktion eintrat oder ob nur eine Besserung beobachtet werden konnte [4, 5, 9, 63]. In der vorliegenden Studie wurde das Outcome differenzierter dargestellt.

In Anbetracht der dargestellten Ergebnisse erscheint im Falle einer frakturbedingten Nervenläsion bei Kindern die Empfehlung der konservativen Therapiemethode gegenüber einem operativen Verfahren naheliegend.

6.2 Suprakondyläre Humerusfraktur

6.2.1 Rate an Nervenläsionen

Für den Zeitraum vom 01.01.2010 bis zum 31.12.2018 trat in der Klinik St. Hedwig in Regensburg bei 2% der Kinder mit suprakondylärer Humerusfraktur eine traumatische Nervenläsion auf. Dieser Wert ist mit den Angaben in der Literatur vergleichbar. Barr gab eine Rate an Nervenläsionen bei kindlicher suprakondylärer Humerusfraktur von 3% an [41]. Cheng et al., ebenso wie Gosens et al. berechneten jeweils einen Wert von 5% [5, 49].

Autoren	Rate an Nervenläsionen (in %)
Barr (2014) [41]	3
Cheng et al. (2001) [49]	5
Gosens et al. (2003) [5]	5
Vorliegende Studie (2019)	2

Tabelle 14: Raten an kinderchirurgischen Nervenläsionen bei suprakondylärer Humerusfraktur im Vergleich

Gosens et al. stellten außerdem die Rate an Nervenläsionen bei Kindern mit dislozierter suprakondylärer Humerusfraktur dar. Dabei stieg der Wert auf 16,5% [5]. Andere Autoren berichteten von einer Rate zwischen 3% und 31% an kindlichen Nervenläsionen bei dislozierter suprakondylärer Humerusfraktur. In der nachfolgenden Tabelle 15 werden die genauen Werte der einzelnen Autoren zum besseren Vergleich aufgelistet. Der Anstieg der Rate an Nervenläsionen um ca. 10 Prozentpunkte bei isolierter Betrachtung von dislozierten Frakturen ist mit der höheren Komplexität und Schwere dieser dislozierten Frakturen im Vergleich zu nicht dislozierten Frakturen zu erklären. Folglich führen diese häufiger zu einer Verletzung angrenzender Nerven.

Autoren	Rate an Nervenläsionen (in %)
Babal et al. (2010) [48]	11
Brown et al. (1995) [9]	12
Campbell et al. (1995) [50]	31
Dormans et al. (1995) [4]	10
Farnsworth et al. (1998) [51]	25
Gosens et al. (2003) [5]	17
Khademolhosseini et al. (2013) [53]	18
las Heras et al. (2005) [52]	3
Lyons et al. (2000) [8]	13
McGraw et al. (1986) [54]	12
Robertson et al. (2012) [55]	21

Tabelle 15: Raten anderer Autoren an pädiatrischen Nervenläsionen bei dislozierter suprakondylärer Humerusfraktur

6.2.2 Patientenangaben

Die Kinder mit einer Nervenläsion bei suprakondylärer Humerusfraktur waren in der vorliegenden Studie im Mittel 6,89 Jahre alt, mit überwiegend verletzten Jungen (63%). Andere Autoren erzielten vergleichbare Ergebnisse. Kwok et al. beschrieben im Mittel 7,0 Jahre alte Kinder mit Nervenläsion und suprakondylärer Humerusfraktur. Dabei waren 67% Jungen [56]. Das Durchschnittsalter der Patienten war in der Studie von McGraw et al. 7,12 Jahre mit einer Mehrzahl an Mädchen (53%) und in der Arbeit von Ramachandran et al. 7,9 Jahre mit 59% männlichen Patienten [54, 57].

6.2.3 Klassifikation nach v. Laer

In der vorliegenden Studie handelte es sich bei allen suprakondylären Frakturen, die im Zusammenhang mit einer Nervenläsion standen, um Typ III oder Typ IV Frakturen nach v. Laer. Somit waren alle Frakturen disloziert. Auch Gosens et al. beobachteten ausschließlich bei dislozierten suprakondylären Humerusfrakturen (32%) eine

Nervenläsion. In der Gruppe der nicht dislozierten suprakondylären Humerusfrakturen (68%) traten keine neurovaskulären Komplikationen auf [5]. Die meisten anderen Autoren beschränkten sich auf die Evaluation dislozierter Frakturen [4, 8, 9, 48, 50–54, 57].

6.2.4 Häufigkeitsverteilung der Nervenläsionen

In dieser Studie konnte am häufigsten eine Ulnarisläsion (71%) in Zusammenhang mit einer suprakondylären Humerusfraktur beobachtet werden, gefolgt von der Medianusläsion (17%) und der Radialisläsion (13%). Gosens et al., Khademolhosseini et al., Kwok et al. und Ramachandran et al. stellen ebenfalls, mit einem Anteil von 38-75%, die Ulnarisläsion als häufigste Nervenverletzung bei Kindern mit suprakondylärer Humerusfraktur dar [5, 53, 56, 57]. Brown et al., Cheng et al. und Dormans et al. beschrieben eine Mehrheit an Radialisläsionen (42-61%) [4, 9, 49]. In den Studien von Campbell et al., Farnsworth et al., Lyons et al. und McGraw et al. war am häufigsten der N. medianus betroffen (53-60%) [8, 50, 51, 54]. Somit kann keine allgemein gültige Aussage über eine überwiegende Verletzung eines bestimmten Nervs nach einer suprakondylären Humerusfraktur bei Kindern gemacht werden.

Autoren	N. radialis (in %)	N. ulnaris (in %)	N. medianus (in %)
Brown et al. (1995) [9]	61	11	28
Campbell et al. (1995) [50]	32	8	60
Cheng et al. (2001) [49]	47	11	42
Dormans et al. (1995) [4]	42	25	33
Farnsworth et al. (1998) [51]	21	25	55
Gosens et al. (2003) [5]	29	38	32
Khademolhosseini et al. (2013) [53]	8	75	17
Kwok et al. (2016) [56]	20	43	37
Lyons et al. (2000) [8]	26	15	59
McGraw et al. (1986) [54]	24	24	53
Ramachandran et al. (2006) [57]	22	51	27
Vorliegende Studie (2019)	13	71	17

Tabelle 16: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Nervenläsionen bei suprakondylärer Humerusfraktur

6.2.5 Frakturversorgung

Keine der suprakondylären Humerusfrakturen dieser Studie wurde konservativ therapiert. Grund dafür ist die Dislokation aller beobachteten Frakturen, die eine Operation erforderte. McGraw et al. und Ramachandran et al. beobachteten jeweils bei 6% der Kinder mit dislozierter suprakondylärer Humerusfraktur, die einen Nerv verletzte, eine konservative Therapie der Fraktur [54, 57]. 95% der suprakondylären Humerusfrakturen dieser Studie wurden mit einer Kirschner-Draht-Osteosynthese versorgt. Die Tendenz zum Kirschner-Draht kann auch bei anderen Autoren beobachtet werden. Ramachandran et al. gaben bei 94% der Kinder mit dislozierter suprakondylärer Humerusfraktur und Nervenläsion eine Kirschner-Draht-Osteosynthese als Therapiemethode an [57]. Bei Campbell et al. waren es 69% [50]. Khademolhosseini et al. evaluierten 272 Kinder mit dislozierter suprakondylärer

Humerusfraktur und beschrieben in 81% der Fälle eine operative Therapie der Fraktur mit einer Kirschner-Draht-Osteosynthese.

In der Literatur finden sich Häufigkeiten von 3-31% an offenen Repositionen der dislozierten suprakondylären Humerusfraktur bei Kindern [5, 8, 9, 50, 53, 54, 57]. Auch in der vorliegenden Studie wurde die Minderheit der dislozierten suprakondylären Humerusfrakturen offen reponiert (5%), die restlichen 95% der Frakturen konnten geschlossen reponiert werden.

Die S1-Leitlinie „suprakondyläre Humerusfraktur beim Kind“ sieht beim Vorliegen eines primären Nervenschadens eine primär offene Reposition der dislozierten Fraktur vor [42]. Unter den Kindern mit suprakondylärer Humerusfraktur dieser Studie fielen vier Patienten mit bereits präoperativ beobachteter Nervenläsion auf. Bei zwei Kindern war der N. ulnaris verletzt, bei einem der N. radialis und beim letzten der N. ulnaris und der N. medianus gleichzeitig. Trotz primärem Nervenschaden wurden die Frakturen aller vier Patienten geschlossen reponiert. Das Outcome dieser Nervenläsionen war dennoch zufriedenstellend und stand den postoperativ festgestellten Nervenläsionen nicht nach.

Eine notfallmäßige operative Behandlung bei offener Fraktur, Nervenläsion oder vollständiger Dislokation wird zudem in der S1-Leitlinie „suprakondyläre Humerusfrakturen beim Kind“ empfohlen. Weitere Indikationen für eine notfallmäßige Versorgung sind ein erheblicher Weichteilschaden, eine Gefäßverletzung oder ein Kompartment-Syndrom. Frakturen, welche diese Kriterien nicht erfüllen, sollten dringlich behandelt werden [42]. Laut Dietz et al. besteht eine dringende Operationsindikation (innerhalb 6-12h) bei Typ III und Typ IV Frakturen, da bei einem OP-Aufschub die Schwellung zunehmen, sowie das Risiko für Gefäß- und Nervenverletzungen steigen kann [46]. In dieser Studie, die nur suprakondyläre Humerusfrakturen Typ III und IV enthielt, wurden 21% innerhalb 2h nach Eintreffen in der Notaufnahme operiert. 63% der Kinder wurden innerhalb 3h operiert und 84% innerhalb 6h. Nur 1 Patient (5%) musste über 12h auf seine Operation warten. Der Grund hierfür war retrospektiv nicht ersichtlich. In der Studie von las Heras et al. wurde bei 39% der Kinder mit dislozierter suprakondylärer Humerusfraktur eine Notfall-OP durchgeführt, 58% wurden in weniger als 24h operiert und 2% wurden zwischen 24h und 48h nach Registrierung in der Notaufnahme operativ behandelt [52]. Bei Campbell

et al. betrug die Zeit zwischen dem Trauma und der frakturversorgenden OP in der Gruppe mit Nervenläsionen im Mittel 5h [50]. Somit kann die mittlere Zeit von 3:47h der Klinik St. Hedwig zwischen Eintreffen in der Notaufnahme und operativer Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur als sehr positiv bewertet werden.

6.3 Schwächen der Studie

Als Defizit der Studie muss die geringe Zahl an eingeschlossenen Patienten (36) genannt werden. Das lag zum einen an den Ein- und Ausschlusskriterien, wie z.B. dem alleinigen Einschluss von kinderchirurgischen Patienten mit oberer Extremitätenfraktur und dem Ausschluss von Patienten mit anderweitig bedingter Nervenläsion. Zum anderen limitierte die retrospektive Datenanalyse die Patientenzahl. Diese führte zum Ausschluss einiger Kinder, da wichtige Patienteninformationen, die Voraussetzung für die Aufnahme in die Studie waren, nicht erfasst werden konnten. Zum anderen erschienen etliche Kinder nicht zur Abschlussuntersuchung ihrer Nervenverletzung und mussten daher ausgeschlossen werden. Vergleichbare Studien konnten Patientenzahlen von 105-617 aufweisen [1, 4, 5, 8, 9, 22, 41, 49, 51, 53–56, 63].

7 Literatur

- [1] Senes FM, Campus R, Becchetti F, et al. Upper limb nerve injuries in developmental age. *Microsurgery* 2009; 29: 529–535. doi:10.1002/micr.20660
- [2] Ho ES. Evaluation of pediatric upper extremity peripheral nerve injuries. *J Hand Ther* 2015; 28: 135-42; quiz 143. doi:10.1016/j.jht.2014.09.003
- [3] Fernandez FF, Eberhardt O. Suprakondyläre Humerusfraktur bei Kindern. *Trauma Berufskrankh* 2012; 14: 379–384. doi:10.1007/s10039-012-1848-y
- [4] Dormans JP, Squillante R, Sharf H. Acute neurovascular complications with supracondylar humerus fractures in children. *J Hand Surg Am* 1995; 20: 1–4. doi:10.1016/S0363-5023(05)80046-2
- [5] Gosens T, Bongers KJ. Neurovascular complications and functional outcome in displaced supracondylar fractures of the humerus in children. *Injury* 2003; 34: 267–273
- [6] Hasler CC. Supracondylar Fractures of the Humerus in Children. *Eur J Trauma* 2001; 27: 1–15. doi:10.1007/s00068-001-1088-5
- [7] Joiner ERA, Skaggs DL, Arkader A, et al. Iatrogenic nerve injuries in the treatment of supracondylar humerus fractures: are we really just missing nerve injuries on preoperative examination? *J Pediatr Orthop* 2014; 34: 388–392. doi:10.1097/BPO.0000000000000171
- [8] Lyons ST, Quinn M, Stanitski CL. Neurovascular injuries in type III humeral supracondylar fractures in children. *Clin Orthop Relat Res* 2000: 62–67. doi:10.1097/00003086-200007000-00010
- [9] Brown IC, Zinar DM. Traumatic and iatrogenic neurological complications after supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop* 1995; 15: 440–443
- [10] Marzi I. *Kindertraumatologie*. 2. Aufl.; 2010
- [11] Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. LernAtlas der Anatomie / Michael Schünke, Erik Schulte, Udo Schumacher ; Illustrationen von Markus Voll, Karl Wesker. Prometheus.* 4. Aufl. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2014

- [12] Chhabra A, Ahlawat S, Belzberg A, et al. Peripheral nerve injury grading simplified on MR neurography: As referenced to Seddon and Sunderland classifications. *Indian J Radiol Imaging* 2014; 24: 217–224.
doi:10.4103/0971-3026.137025
- [13] Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus. LernAtlas der Anatomie. Band 2, Kopf, Hals und Neuroanatomie. 4. Aufl.; 2015
- [14] Gelberman RH. Operative nerve repair and reconstruction. Philadelphia [u.a.]: Lippincott
- [15] Lieba-Samal D. Neurografie ist mehr als die Nervenleitgeschwindigkeit. *Klin Neurophysiol* 2017; 48: 151–156. doi:10.1055/s-0043-116209
- [16] SEDDON HJ. THREE TYPES OF NERVE INJURY. *Brain* 1943; 66: 237–288.
doi:10.1093/brain/66.4.237
- [17] Seddigh S. Traumatische Nervenläsionen. *Trauma Berufskrankh* 2017; 19: 340–346. doi:10.1007/s10039-017-0319-x
- [18] Stang F, Liodaki E, Mailänder P. Die mikrochirurgische Nervennaht an der Hand. *OP-JOURNAL* 2015; 31: 78–81. doi:10.1055/s-0035-1557767
- [19] Papazian O, Alfonso I, Yaylali I, et al. Neurophysiological evaluation of children with traumatic radiculopathy, plexopathy, and peripheral neuropathy. *Semin Pediatr Neurol* 2000; 7: 26–35
- [20] Robinson LR. Traumatic injury to peripheral nerves. *Muscle Nerve* 2000; 23: 863–873
- [21] SUNDERLAND S. A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function. *Brain* 1951; 74: 491–516. doi:10.1093/brain/74.4.491
- [22] Birch R, Achan P. Peripheral nerve repairs and their results in children. *Hand Clin* 2000; 16: 579–595
- [23] Wallesch C-W, Ackermann H, Hrsg. Neurologie. Diagnostik und Therapie in Klinik und Praxis] ; mit 327 Tabellen. München: Elsevier Urban & Fischer; 2005
- [24] Ulrike. 005/010 S3-Leitlinie: Versorgung peripherer Nervenverletzungen
- [25] Elektrophysiologische Diagnostik bei peripheren Nervenläsionen. In: Müller-Vahl H, Antoniadis G, Schliack H, Hrsg. Läsionen peripherer Nerven und radikuläre Syndrome. 10. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2014. doi:10.1055/b-0034-97220

- [26] Görig E, Struppler A. Elektrophysiologische Diagnostik bei peripheren Nervenläsionen. *Neurochirurgia (Stuttg)* 1991; 34: 18–31.
doi:10.1055/s-2008-1052050
- [27] Bischoff C. Elektrophysiologische Untersuchung. In: Assmus H, Antoniadis G, Hrsg. *Nervenkompressionssyndrome*. Darmstadt: Steinkopff Verlag; 2008: 9–14.
doi:10.1007/978-3-7985-1819-3_3
- [28] Schelle T. Methodik und was kann die Nervensonografie. *Klin Neurophysiol* 2015; 46: 79–89. doi:10.1055/s-0035-1549945
- [29] Schminke U. Sonografie peripherer Nerven: Relevante Indikationen für die klinische Praxis. *Klin Neurophysiol* 2016; 47: 173–179.
doi:10.1055/s-0042-118965
- [30] Shi M, Qi H, Ding H, et al. Electrophysiological examination and high frequency ultrasonography for diagnosis of radial nerve torsion and compression. *Medicine (Baltimore)* 2018; 97: e9587. doi:10.1097/MD.00000000000009587
- [31] Amillo S, Mora G. Surgical management of neural injuries associated with elbow fractures in children. *J Pediatr Orthop* 1999; 19: 573–577
- [32] Hülsemann W, Habenicht R, Mann M. Management von Nervenschädigungen und Durchblutungsstörungen bei suprakondylären Humerusfrakturen im Kindesalter. *Obere Extremität* 2010; 5: 151–157.
doi:10.1007/s11678-010-0084-y
- [33] SEDDON HJ, Medawar PB, Smith H. Rate of regeneration of peripheral nerves in man. *J Physiol (Lond)* 1943; 102: 191–215.
doi:10.1113/jphysiol.1943.sp004027
- [34] Costales JR, Socolovsky M, Sánchez Lázaro JA, et al. Peripheral nerve injuries in the pediatric population: a review of the literature. Part I: traumatic nerve injuries. *Childs Nerv Syst* 2019; 35: 29–35. doi:10.1007/s00381-018-3974-8
- [35] Barrios C, Pablos J de. Surgical management of nerve injuries of the upper extremity in children: a 15-year survey. *J Pediatr Orthop* 1991; 11: 641–645
- [36] Lundborg G, Rosén B. Sensory relearning after nerve repair. *Lancet* 2001; 358: 809–810. doi:10.1016/S0140-6736(01)06001-9
- [37] Cheng JC, Shen WY. Limb fracture pattern in different pediatric age groups: a study of 3,350 children. *J Orthop Trauma* 1993; 7: 15–22

- [38] Cheng JC, Ng BK, Ying SY, et al. A 10-year study of the changes in the pattern and treatment of 6,493 fractures. *J Pediatr Orthop* 1999; 19: 344–350
- [39] Weinberg A-M, Tscherne H. Allgemeiner Teil, Kopf, Obere Extremität, Wirbelsäule. Mit 117 Tabellen. / A.-M. Weinberg ... (Hrsg.) ; 1. Tscherne Unfallchirurgie Unfallchirurgie im Kindesalter. Berlin: Springer; 2006
- [40] Skaggs D, Pershad J. Pediatric elbow trauma. *Pediatr Emerg Care* 1997; 13: 425–434
- [41] Barr LV. Paediatric supracondylar humeral fractures: epidemiology, mechanisms and incidence during school holidays. *J Child Orthop* 2014; 8: 167–170. doi:10.1007/s11832-014-0577-0
- [42] PD Dr. Dorien Schneidmüller. S1-Leitlinie 012/014: Suprakondyläre Humerusfraktur beim Kind
- [43] Weinberg A-M, Hrsg. Tscherne Unfallchirurgie. Heidelberg, Dordrecht, London, New York, NY, Berlin: Springer; 2006
- [44] Bohn B, Beck O, Werbeck R. Konservative und operative Therapie der suprakondylären Humerusfraktur im Kindesalter. *Obere Extremität* 2010; 5: 143–150. doi:10.1007/s11678-010-0083-z
- [45] Wirth C-J, Hrsg. Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie. 3. Aufl. Stuttgart, New York, NY: Thieme; 2014
- [46] Dietz HG, Illing P, Schmittbecher PP. Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie; 2011
- [47] Laer L von, Böhm R, Hrsg. Das verletzte Kind. Komplikationen vermeiden, erkennen, behandeln ; [mit] 32 Tabellen. Stuttgart: Thieme; 2007
- [48] Babal JC, Mehlman CT, Klein G. Nerve injuries associated with pediatric supracondylar humeral fractures: a meta-analysis. *J Pediatr Orthop* 2010; 30: 253–263. doi:10.1097/BPO.0b013e3181d213a6
- [49] Cheng JC, Lam TP, Maffulli N. Epidemiological features of supracondylar fractures of the humerus in Chinese children. *J Pediatr Orthop B* 2001; 10: 63–67
- [50] Campbell CC, Waters PM, Emans JB, et al. Neurovascular injury and displacement in type III supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop* 1995; 15: 47–52. doi:10.1097/01241398-199501000-00011

- [51] Farnsworth CL, Silva PD, Mubarak SJ. Etiology of supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop* 1998; 18: 38–42
- [52] las Heras J de, Durán D, La Cerda J de, et al. Supracondylar fractures of the humerus in children. *Clin Orthop Relat Res* 2005: 57–64
- [53] Khademolhosseini M, Abd Rashid AH, Ibrahim S. Nerve injuries in supracondylar fractures of the humerus in children: is nerve exploration indicated? *J Pediatr Orthop B* 2013; 22: 123–126.
doi:10.1097/BPB.0b013e32835b2e14
- [54] McGraw JJ, Akbarnia BA, Hanel DP, et al. Neurological complications resulting from supracondylar fractures of the humerus in children. *J Pediatr Orthop* 1986; 6: 647–650
- [55] Robertson JS, Marsh AG, Huntley JS. Neurological status in paediatric upper limb injuries in the emergency department--current practice. *BMC Res Notes* 2012; 5: 324. doi:10.1186/1756-0500-5-324
- [56] Kwok IHY, Silk ZM, Quick TJ, et al. Nerve injuries associated with supracondylar fractures of the humerus in children: our experience in a specialist peripheral nerve injury unit. *Bone Joint J* 2016; 98-B: 851–856.
doi:10.1302/0301-620X.98B6.35686
- [57] Ramachandran M, Birch R, Eastwood DM. Clinical outcome of nerve injuries associated with supracondylar fractures of the humerus in children: the experience of a specialist referral centre. *J Bone Joint Surg Br* 2006; 88: 90–94.
doi:10.1302/0301-620X.88B1.16869
- [58] Laer L von. *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 1986
- [59] Ikram MA. Ulnar nerve palsy: a complication following percutaneous fixation of supracondylar fractures of the humerus in children. *Injury* 1996; 27: 303–305.
doi:10.1016/0020-1383(96)00013-7
- [60] Lyons JP, Ashley E, Hoffer MM. Ulnar nerve palsies after percutaneous cross-pinning of supracondylar fractures in children's elbows. *J Pediatr Orthop* 1998; 18: 43–45
- [61] Royce RO, Dutkowsky JP, Kasser JR, et al. Neurologic complications after K-wire fixation of supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop* 1991; 11: 191–194

- [62] Leiblein M, Lustenberger T, Schulz A-K, et al. Neurovascular complications after supracondylar humerus fractures in children. *Trauma Case Rep* 2017; 8: 16–19. doi:10.1016/j.tcr.2017.01.013
- [63] Houshian S, Mehdi B, Larsen MS. The epidemiology of elbow fracture in children: analysis of 355 fractures, with special reference to supracondylar humerus fractures. *Journal of Orthopaedic Science* 2001; 6: 312–315. doi:10.1007/s007760100024
- [64] LINDSAY WK, WALKER FG, FARMER AW. Traumatic peripheral nerve injuries in children. Results of repair. *Plast Reconstr Surg Transplant Bull* 1962; 30: 462–468
- [65] HANLON CR, ESTES WL. Fractures in childhood, a statistical analysis. *Am J Surg* 1954; 87: 312–323
- [66] Davidson AW. Rock-paper-scissors. *Injury* 2003; 34: 61–63. doi:10.1016/s0020-1383(02)00102-x

8 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Flussdiagramm zu den Patienten mit suprakondylärer Humerusfraktur.....	9
Abbildung 2: Flussdiagramm zu den Patienten mit posttraumatischer Nervenläsion	10
Abbildung 3: anatomischer Verlauf des N. radialis (11).....	12
Abbildung 4: anatomischer Verlauf des N. ulnaris (11).....	14
Abbildung 5: anatomischer Verlauf des N. medianus (11).....	15
Abbildung 6: Klassifikation Suprakondylärer Humerusfrakturen nach von Laer (10)	27
Abbildung 7: Möglichkeiten der Platzierung der Kirschner-Draht-Osteosynthese (43).....	28
Abbildung 8: Röntgenaufnahme einer Kirschner-Draht-Osteosynthese bei suprakondylärer Humerusfraktur (Quelle: Klinik St. Hedwig Regensburg) ..	29
Abbildung 9: Frakturversorgung mit einer ESIN-Osteosynthese (43).....	29
Abbildung 10: Röntgenaufnahme einer ESIN-Osteosynthese bei suprakondylärer Humerusfraktur (Quelle: Klinik St. Hedwig Regensburg)	30
Abbildung 11: Flussdiagramm zum Patientenausschluss.....	35
Abbildung 12: Geschlechterverteilung und Übersicht über die Altersgruppen	43
Abbildung 13: Anzahl der beobachteten Läsionen	44
Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung der einzelnen Nervenläsionen	44
Abbildung 15: Zeitintervall zwischen dem Eintreffen in der Notaufnahme und der frakturversorgenden Operation.....	46
Abbildung 16: Dauer der frakturversorgenden Operation	46
Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der prä- und postoperativ festgestellten Nervenläsionen	47
Abbildung 18: Anzahl der beobachteten Läsionen	48
Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der einzelnen Nervenläsionen	49
Abbildung 20: Übersicht über die Anzahl und Häufigkeitsverteilung der beobachteten Nervenläsionen im gesamten Patientenkollektiv.....	51
Abbildung 21: Anzahl der beobachteten Frakturen im gesamten Patientenkollektiv	51
Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der jeweiligen Therapien der Nervenläsionen..	52

Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der Therapieergebnisse aller Behandlungsmethoden.....	54
Abbildung 24: Übersicht über die Therapieergebnisse aller Behandlungsmethoden	54
Abbildung 25: Häufigkeit der Therapieergebnisse der mit Physiotherapie behandelten Patienten.....	56
Abbildung 26: Häufigkeit der Therapieergebnisse der mit Neurolyse und Physiotherapie behandelten Patienten	57
Abbildung 27: Häufigkeit der Therapieergebnisse der mit Neurolyse behandelten Patienten	57
Abbildung 28: Häufigkeitsverteilung der operativen und konservativen Therapie der SKHF.....	58
Abbildung 29: Geschlechterverteilung und Übersicht über die Altersgruppen	59
Abbildung 30: Übersicht über die Anzahl und Häufigkeitsverteilung der Nervenläsionen bei suprakondylärer Humerusfraktur	60
Abbildung 31: Zeitintervall zwischen Eintreffen in der Notaufnahme und der frakturversorgenden OP	61
Abbildung 32: Dauer der frakturversorgenden OP.....	61
Abbildung 33: Häufigkeitsverteilung der verwendeten Osteosynthese bei der Versorgung der suprakondylären Humerusfrakturen.....	62

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Seddon und Sunderland Klassifikation (20)	19
Tabelle 2: Klinische Untersuchung der Armnerven.....	22
Tabelle 3: Auflistung der Ein- und Ausschlusskriterien der Studie.....	34
Tabelle 4: Anzahl der beobachteten Läsionen.....	44
Tabelle 5: Anzahl der beobachteten Frakturen.....	45
Tabelle 6: Anzahl der beobachteten Läsionen.....	48
Tabelle 7: Anzahl der beobachteten Frakturen.....	49
Tabelle 8: Anzahl der beobachteten Nervenläsionen im gesamten Patientenkollektiv	50
Tabelle 9: Anzahl der durchgeführten Therapien der Nervenläsionen.....	53
Tabelle 10: Therapieergebnisse der einzelnen Nerven	55
Tabelle 11: Häufigkeitsverteilung der Nervenläsionen der jeweiligen Autoren und der vorliegenden Studie.....	64
Tabelle 12: Häufigkeitsverteilung der operativen und konservativen Frakturversorgung der jeweiligen Autoren und der vorliegenden Studie	65
Tabelle 13: Anteil iatrogenen Nervenläsionen an allen aufgetretenen Nervenläsionen	67
Tabelle 14: Raten an kinderchirurgischen Nervenläsionen bei suprakondylärer Humerusfraktur im Vergleich	70
Tabelle 15: Raten anderer Autoren an pädiatrischen Nervenläsionen bei dislozierter suprakondylärer Humerusfraktur.....	71
Tabelle 16: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Nervenläsionen bei suprakondylärer Humerusfraktur	73

10 Danksagung

Zuerst möchte ich gerne meinem Betreuer Herrn Dr. Michael Kertai für seine Unterstützung danken. Ich konnte mich mit jedem Anliegen und allen Fragen jederzeit an ihn wenden und habe binnen kürzester Zeit eine hilfreiche Antwort erhalten.

Weiterhin danke ich Herrn PD. Dr. Christian Knorr für die Überlassung des Themas dieser Dissertation und die Möglichkeit, diese in der Kinderchirurgie der Klinik St. Hedwig durchführen zu dürfen. Besonders bedanke ich mich auch für die ausführlichen Korrekturen.

Ich bedanke mich außerdem bei Herrn Dr. Tobias Geis und Herrn Dr. Peter Pöschl für die Beratung und die Hilfe bei der neurologischen Datenerfassung und Auswertung.

Zuletzt möchte ich ein großes Dankeschön an meine Eltern aussprechen. Ihr habt mir das Medizinstudium ermöglicht und auf eure Unterstützung konnte ich stets vertrauen. Ohne euch wäre vieles nicht realisierbar gewesen. Danke!

11 Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum, Unterschrift