

Aus der
Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik
Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
an der Universität Tübingen

**Vergleich des klinischen Ergebnisses von
Radiuskopfrekonstruktion oder Implantation einer
Radiuskopfprothese nach schwerer Radiuskopffraktur**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Porsche, Johannes Paul

2026

Dekanin: Professorin Dr. S. Y. Brucker

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. P. Ziegler

2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. C. Illg

Tag der Disputation: 06.07.2026

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung.....	1
1.1 Anatomie	2
1.2 Frakturklassifikation	4
1.3 Therapie	6
1.4 Erhebung des klinischen Ergebnisses.....	10
1.5 Begleitverletzungen	11
1.6 Ziel der Arbeit	13
2 Patienten und Methoden	14
2.1 Patientenkollektiv.....	14
2.2 Frakturklassifikation	15
2.3 Begleitverletzungen	15
2.4 Therapie	15
2.5 Nachuntersuchungszeitraum.....	16
2.6 Klinisches Ergebnis	16
2.6.1 Untersuchung	16
2.6.2 Range of Motion (ROM)	17
2.6.3 Mayo Elbow Performance Score (MEPS)	18
2.6.4 Broberg Morrey Scoring System (BMS)	18
2.6.5 American Shoulder and Elbow Surgeons - Elbow (ASES).....	19
2.6.6 Disability of Arm Shoulder and Hand Fragebogen (DASH).....	20
2.6.7 Short Form 36 Fragebogen zur Lebensqualität (SF36).....	20
2.7 Statistik	21
3 Ergebnisse	22
3.1 Deskriptive Statistik	22

3.1.1	Patientenkollektiv	22
3.1.2	Frakturklassifikation.....	23
3.1.3	Nachuntersuchungszeitraum.....	23
3.2	Begleitverletzungen	24
3.3	Unfallmechanismus	24
3.4	Zeit zwischen Trauma und Operation.....	25
3.5	Klinisches Ergebnis	25
3.5.1	ROM	25
3.5.2	Klinische Bewertungssysteme.....	32
4	Diskussion	38
4.1	Diskussion der Methoden	38
4.2	Diskussion der Ergebnisse	40
4.3	Schlussfolgerung und Ausblick.....	50
5	Zusammenfassung	52
6	Literaturverzeichnis	54
7	Erklärung zum Eigenanteil	61
8	Anhang	62
9	Danksagung	66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Knöcherne Anatomie des Ellenbogens.....	2
Abbildung 2: Bandapparat des Ellenbogens.....	3
Abbildung 3: Frakturklassifikation nach Mason-Johnston.....	5
Abbildung 4: Ellenbogen nach Radiuskopfresektion.....	7
Abbildung 5: Ellenbogen nach ORIF.....	9
Abbildung 6: Ellenbogen nach RKP.....	10
Abbildung 7: Monteggia-like Lesion als Begleitverletzung.....	12
Abbildung 8: Fließschema der Studienpopulation.	14
Abbildung 9: Altersverteilung der Studienpopulation.	22
Abbildung 10: Begleitverletzungen im Vergleich.....	24
Abbildung 11: ROM Flexion Gruppenvergleich.....	26
Abbildung 12: ROM Flexion Untergruppenvergleich.....	27
Abbildung 13: ROM Extension Gruppenvergleich.	28
Abbildung 14: ROM Extension Untergruppenvergleich.	28
Abbildung 15: ROM Pronation Gruppenvergleich.....	29
Abbildung 16: ROM Pronation Untergruppenvergleich.....	30
Abbildung 17: ROM Supination Gruppenvergleich.	31
Abbildung 18: ROM Supination Untergruppenvergleich.	31
Abbildung 19: klinische Bewertungssysteme.....	32
Abbildung 20: MEPS Untergruppenvergleich.	33
Abbildung 21: BMS Untergruppenvergleich.....	34
Abbildung 22: ASES Untergruppenvergleich.	35
Abbildung 23: DASH Untergruppenvergleich.....	36
Abbildung 24: SF36 Gruppenvergleich.	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Alter, Größe, Gewicht der Studienpopulation.....	23
Tabelle 2: Frakturklassifikation in ORIF und RKP.....	23
Tabelle 3: Übereinstimmung der ROM von Untersucher und Selbstbewertung	25
Tabelle 4: BMS Gruppenvergleich in Kategorien.....	34
Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse.	53
Tabelle 6: MEPS Inhalt und Bewertung.	62
Tabelle 7: BMS Inhalt und Bewertung.	62
Tabelle 8: ASES Inhalt und Bewertung.....	63
Tabelle 9: DASH Inhalt und Bewertung.	64

Abkürzungsverzeichnis

Art. – Articulatio

ASES – American Shoulder and Elbow Surgeons -Elbow

BMS – Broberg Morrey Scoring System

DASH – Disability of Arm, Shoulder and Hand Fragebogen

KSK – körperliche Summenskala

Lig. – Ligamentum

Max – Maximum

MEPS – Mayo Elbow Performance Score

Min – Minimum

MLL – Monteggia-like Lesion

MW – Mittelwert

N – Anzahl

ORIF – Radiuskopfrekonstruktion (offene Reposition und interne Fixierung)

PSK – psychische Summenskala

RK – Radiuskopf

RKP – Radiuskopfprothese

ROM – Range of Motion

SD – Standardabweichung

SF36 – Short Form 36 Fragebogen zur Lebensqualität

TT – Terrible Triad Verletzung

VAS – visuelle Analogskala

Das im Text verwendete generische Maskulinum dient der sprachlichen Vereinfachung. Alle Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich einbezogen, ohne dass hieraus eine Wertung abgeleitet werden kann.

1 Einleitung

Frakturen des Radiuskopfes (RK, Caput radii) umfassen ca. 5% aller Frakturen bei Erwachsenen. Mit einem Anteil von 37% stellt dabei die Radiuskopffraktur die häufigste Fraktur bei traumatischen Verletzungen des Ellenbogens dar (Calfee et al., 2006). Mason teilte 1954 Frakturen des RK in drei Schweregrade ein. Später wurde diese Klassifikation von Johnston um einen weiteren Schweregrad, die Fraktur mit Luxation, erweitert (Johnston, 1962; Mason, 1954). Schwere Radiuskopffrakturen machen dabei ca. 30% (Mason-Johnston Klassifikation Grad III und IV) aus. Der Verletzungsgipfel zeigt sich bei 43 Jahren. Das Verhältnis zwischen Männern und Frauen, die diese Fraktur erleiden, wird unterschiedlich beschrieben. Einige Studien stellen eine Gleichverteilung in beiden Geschlechtern fest, während andere Studien eine doppelt so hohe Prävalenz bei Frauen im Vergleich zu Männern aufzeigen (Duckworth et al., 2012; Kaas et al., 2010). Der RK ist ein wichtiger Teil des Ellenbogengelenks, der vor allem für Stabilität in mehreren Ebenen sorgt (Harbrecht et al., 2021). Gering dislozierte Frakturen (Mason-Johnston Grad I und II) können meist konservativ behandelt werden, wohingegen schwere Radiuskopffrakturen (Mason-Johnston Grad III und IV) hauptsächlich mittels operativer Therapie behandelt werden (Burkhart et al., 2015; Harbrecht et al., 2021; Pike et al., 2009; Ring, 2011). Trotz Operation besteht das Risiko, dass die Beweglichkeit und die Stabilität des Ellenbogens im weiteren Verlauf beeinträchtigt ist. Infolgedessen kann es zu Funktionseinschränkungen des Gelenks kommen, welche die Bewegungen oder Aktivitäten des alltäglichen Lebens einschränken (Khawar et al., 2020; Kodde et al., 2015). Um nach einer Fraktur eine optimale, möglichst physiologische Rekonstruktion des Gelenks zu erreichen, ist die genaue Kenntnis der Anatomie des Ellenbogengelenks unerlässlich.

1.1 Anatomie

Das Ellenbogengelenk (Articulatio [Art.] cubiti) ist ein Drehscharniergelenk, welches aus drei Teilgelenken besteht und die Verbindung zwischen Ober- und Unterarm darstellt. Die drei Teilgelenke werden durch den Oberarmknochen (Humerus) und die beiden Unterarmknochen Elle (Ulna) und Speiche (Radius) gebildet. Das Humeroelnargelenk (Art. humeroelnaris) stellt die Verbindung zwischen Humerus und Ulna dar, das Humeroelradialgelenk (Art. humeroelradialis) die Verbindung zwischen Humerus und Radius und das proximale Radiouelnargelenk (Art. radiouelnaris proximalis) die Verbindung zwischen Radius und Ulna (Schünke et al., 2022). Die knöcherne Struktur des Ellenbogengelenks ist in Abbildung 1 dargestellt.

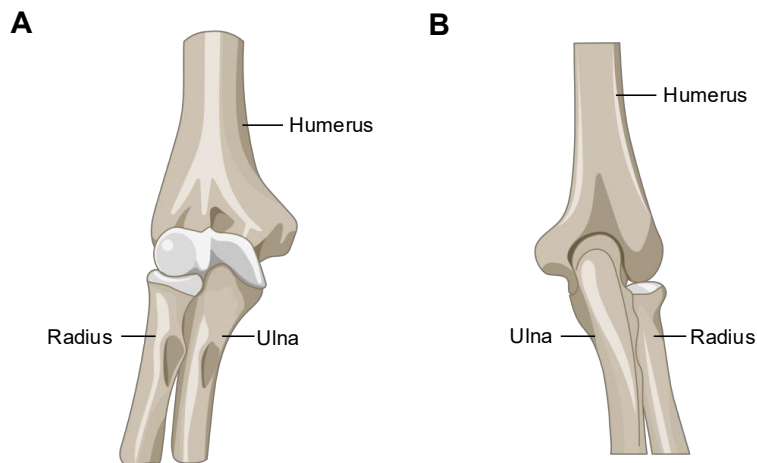


Abbildung 1: Knöcherne Anatomie des Ellenbogens.

(A) Ansicht von ventral (erico & Ono, 2021a). (B) Ansicht von dorsal (erico & Ono, 2021b).

Abbildung 2 zeigt, dass alle drei Teilgelenke von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umhüllt werden. Die anterior und posterior sehr dünne Gelenkkapsel wird seitlich durch Kollateralbänder (Ligamentum [Lig.] collaterale) verstärkt. Die fächerförmig verlaufenden Kollateralbänder sind kräftig, umfassen die Teilgelenke und geben diesen somit seitlichen Halt. Das Lig. collaterale ulnare ist hierbei kräftiger als das Lig. collaterale radiale. Durch die im Verlauf fächerförmige Verbreiterung des Lig. collaterale ulnare sind in jeder Stellung des Gelenks einige Fasern gespannt, wodurch Stabilität erzeugt wird. Das Ringband (Lig. anulare radii) umfasst den Radius und ist für die Sicherung des

Radioulnargelenks zuständig. Durch die feste Umschließung wird der RK an die Gelenkfläche der Ulna gepresst (Schünke et al., 2022). Bei Verletzungen des Ellenbogens mit gleichzeitiger Luxation besteht ein besonders hohes Risiko, ebenfalls die Kollateralbänder zu verletzen. Bei der posterioren bzw. posterolateralen Luxation, welche die häufigste Luxation des Ellenbogens darstellt, reißt zunächst die anteriore Gelenkkapsel, bevor es zur Ruptur des lateralen und/oder medialen Kollateralbandes kommt (Siebenlist & Biberthaler, 2015).

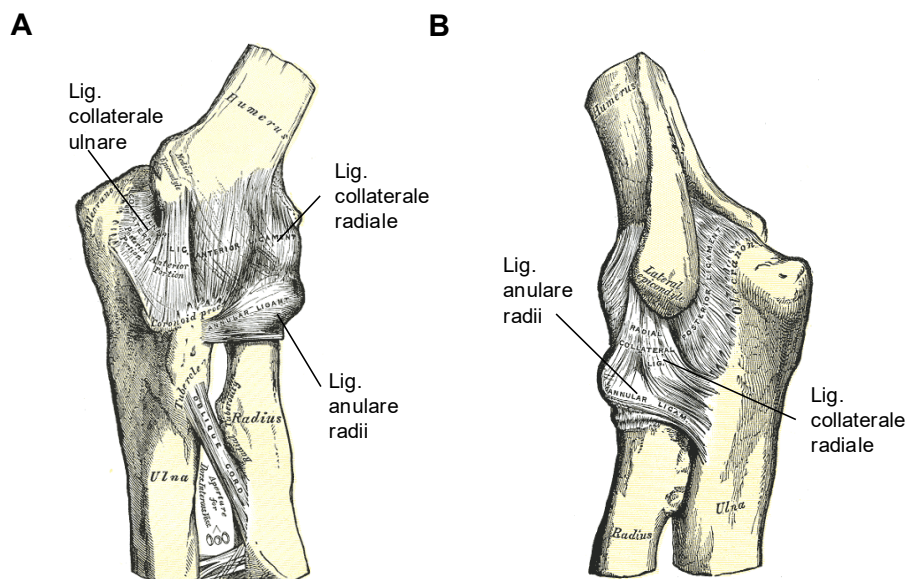


Abbildung 2: Bandapparat des Ellenbogens.

(A) Linkes Ellenbogengelenk mit anterioren und ulnaren Seitenbändern (Gray, 1918a). **(B)** Linkes Ellenbogengelenk mit posterioren und radialen Seitenbändern (Gray, 1918b).

Die Bewegung im Ellenbogengelenk ist durch das Zusammenspiel der drei Knochen in zwei Freiheitsgraden möglich. Diese umfassen einerseits Extension (Streckung) und Flexion (Beugung), die sowohl im Humeroulnargelenk als auch im Humeroradialgelenk stattfinden. Außerdem sind sowohl die Pronation (Umwendbewegung der Hand mit der Handfläche nach unten) als auch die Supination (Umwendbewegung der Hand mit der Handfläche nach oben) möglich, die unter Beteiligung des Humeroradialgelenks und des proximalen Radioulnargelenks stattfinden. Physiologisch kann in Extension-Flexion ein Bewegungsbogen von 160° vollzogen werden. Das Bewegungsausmaß wird hierbei in Flexionsrichtung durch Weichteile und in Extensionsrichtung durch

Knochen begrenzt. Die Umwendbewegung kann in Pronations- und Supinationsrichtung jeweils bis zu einem Ausmaß von 90° erfolgen. Die Ausgangsstellung ist hierbei die sogenannte Semipronationsstellung. Die Pronation und Supination erfolgt durch die Drehung des Radius um die Ulna um eine Bewegungsachse, die durch eine gedachte Linie durch den RK und den Griffelfortsatz der Ulna (Processus styloideus ulnae) an der distalen Ulna beschrieben wird (Schünke et al., 2022).

1.2 Frakturklassifikation

Den Grundstein für die Einteilung von Frakturen des RK legte Mason im Jahr 1954 (Mason, 1954). Die von Johnston 1962 um eine Fraktur mit Luxation ergänzte Klassifikation findet bis heute im klinischen Alltag Anwendung (Johnston, 1962). Frakturen nach Mason-Johnston Typ I werden durch Fissuren oder marginale Frakturen ohne Dislokation beschrieben. Mason-Johnston Typ II stellt marginale Frakturen mit Dislokation oder Abkippung des Frakturfragments dar. Grad III wird durch eine Mehrfragment- oder Trümmerfraktur des RK beschrieben. Ist das Ellenbogengelenk zusätzlich zur Fraktur des Radiuskopfes luxiert, liegt eine Verletzung nach Mason-Johnston Grad IV vor (Johnston, 1962; Mason, 1954). Die schweren Radiuskopffrakturen (Mason-Johnston III und IV) sind anhand von Röntgenbildern der untersuchten Patienten in Abbildung 3 veranschaulicht.

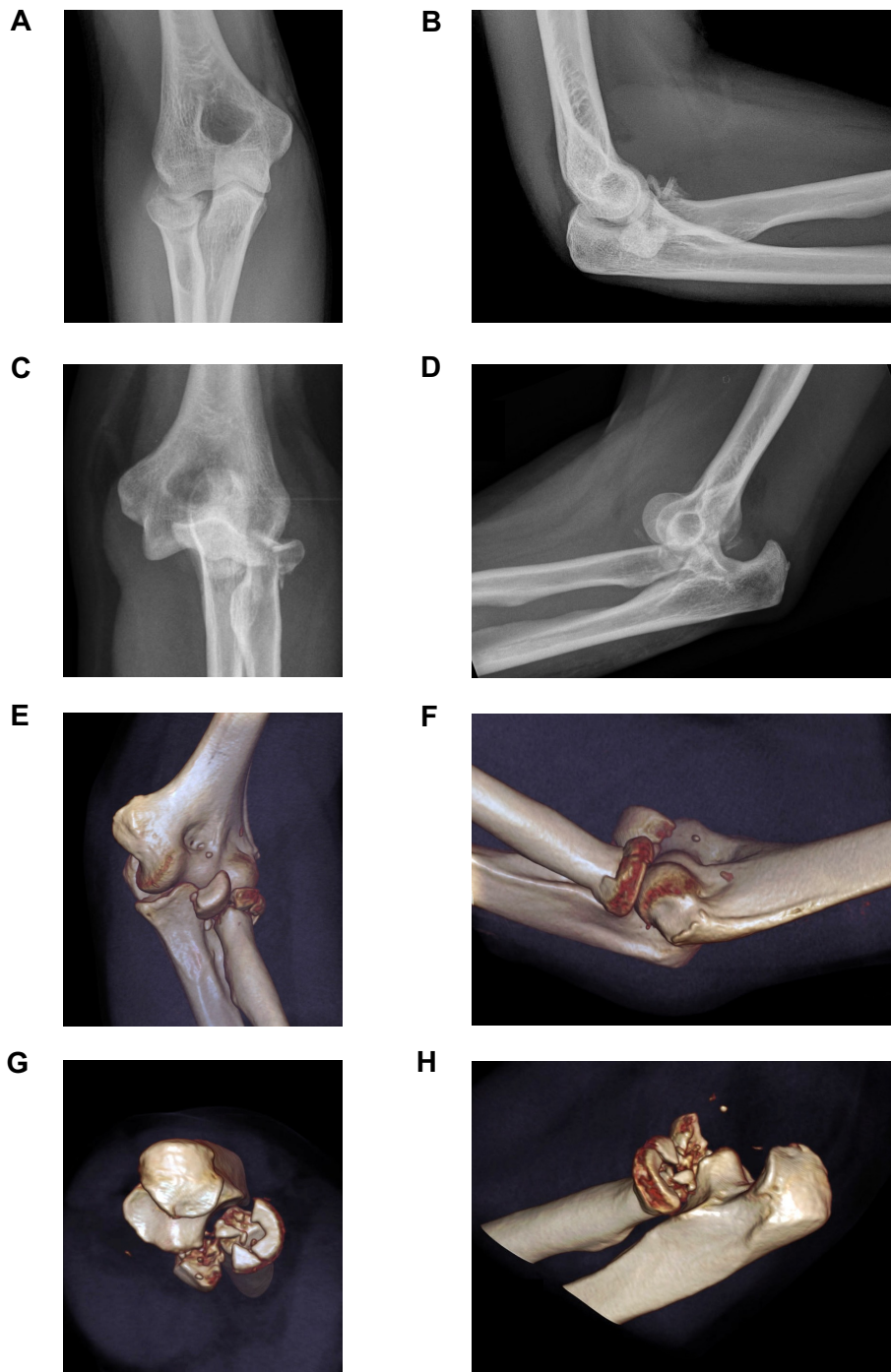


Abbildung 3: Frakturklassifikation nach Mason-Johnston.

(A,B) Fraktur nach Mason-Johnston III, Röntgenbilder in anterior-posteriorem und lateralem Strahlengang. (C,D) Fraktur nach Mason-Johnston IV, Röntgenbilder in anterior-posteriorem und lateralem Strahlengang. Fraktur nach Mason-Johnston III, dreidimensionale Bilder nach Computertomographie, Sicht von (E) anteromedial, (F) lateral, (G) kranial und (H) anterolateral.

Die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen, deren internationales Kompendium über Einteilungen von Frakturen am ganzen Körper für eine einheitliche Verständigung zwischen Chirurgen sorgt, entwickelte ebenfalls eine Einteilung für Frakturen am Ellenbogen. Die Einteilung für Frakturen des RK konnte sich jedoch im klinischen Alltag bisher nicht etablieren und wird daher selten verwendet (Meinberg et al., 2018).

Grundsätzlich sind die richtige Klassifikation und die korrekte Einschätzung des Schweregrades der Fraktur für eine optimale Behandlung der Verletzung von entscheidender Bedeutung.

1.3 Therapie

In der aktuellen Literatur herrscht weitgehend Einigkeit über die Behandlung von Radiuskopffrakturen vom Grad Mason-Johnston I und II. So können Mason-Johnston I Frakturen zumeist konservativ durch Immobilisation des Ellenbogens behandelt werden. Frakturen vom Typ Mason-Johnston II werden je nach Dislokation des frakturierten Knochenfragments konservativ durch Immobilisation oder durch operative Fixierung des Fragments behandelt (Al-Tawil & Arya, 2021; Burkhart et al., 2015; Harbrecht et al., 2021; Pike et al., 2009).

Für schwere Radiuskopffrakturen vom Typ Mason-Johnston III und IV gibt es verschiedene Behandlungsmöglichkeiten, die in der aktuellen Literatur aufgrund fehlender ausreichend randomisierter Daten kontrovers diskutiert werden. Die vorherrschenden Operationstechniken, die in der aktuellen Behandlung angewendet werden, sind die Resektion des RK, die Radiuskopfrekonstruktion (offene Reposition und interne Fixierung, ORIF) und die Implantation einer Radiuskopfprothese (RKP). Das Ziel jeder Behandlung sollte darin bestehen, die bestmöglichen anatomischen und funktionellen Voraussetzungen für ein stabiles und bewegliches Ellenbogengelenk zu schaffen.

Als eine mögliche Behandlung von schweren Radiuskopffrakturen wird die Radiuskopfresektion beschrieben (Abbildung 4). Die einfache Resektion des RK ohne Ersatz ermöglicht eine signifikant kürzere Operationsdauer als bei ORIF und RKP. Dies bedeutet zudem weniger zusätzliches Trauma und Manipulation des umliegenden Gewebes (Scoscina et al., 2023). Die fehlende Artikulation von

Radius und Humerus kann jedoch eine schlechtere Funktion des betroffenen Ellenbogens zur Folge haben. Einerseits wird durch den fehlenden Stabilisator der Halt des Gelenks reduziert. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass durch die Resektion des RK schlechtere funktionelle Ergebnisse und eine geringere Kraft der betroffenen Extremität erzielt werden als durch ORIF und RKP (Catellani et al., 2018). Gleichwohl kann die Radiuskopfresektion eine Therapieoption für ältere Patienten darstellen, die einen niedrigen funktionellen Anspruch an den verletzten Ellenbogen haben. Außerdem ist die Radiuskopfresektion als ultima ratio nach einer misslungenen ORIF und RKP von Bedeutung (Avisar et al., 2021; Scoscina et al., 2023).

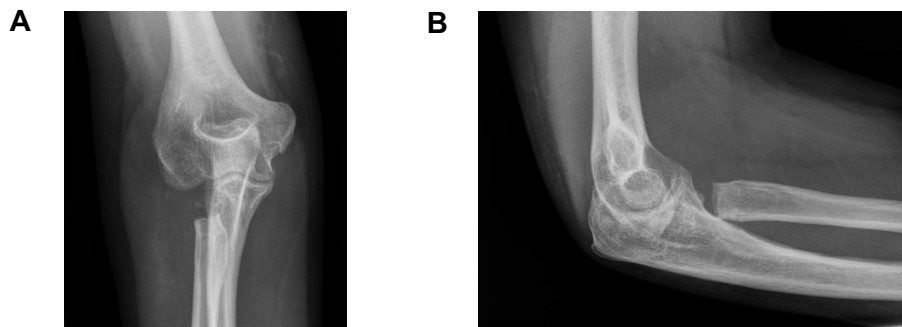


Abbildung 4: Ellenbogen nach Radiuskopfresektion.

Ellenbogen nach Radiuskopfresektion. Röntgenbilder eines Patienten in **(A)** anterior-posteriorem und **(B)** lateralem Strahlengang.

Bei einer ORIF ist das Ziel des Operateurs, den RK durch die vorhandenen Bruchstücke so physiologisch wie möglich zu rekonstruieren. Zu diesem Zweck wird die Gelenkkapsel eröffnet und die Frakturteile anatomisch reponiert. Mithilfe von Kirschnerdrähten und Schrauben können, nach Kontrolle einer reibungsfreien und komplikationslosen Bewegung des Ellenbogens, die Frakturstücke fixiert werden. Abbildung 5 A,B zeigt beispielhaft eine Rekonstruktion durch Schrauben. Zusätzlich kann eine vorgeformte Platte implantiert werden, um besondere Frakturformen zu adressieren und dort eine bessere Stabilität der Fraktur zu erreichen (Abbildung 5 C,D). Bei schweren Trümmerfrakturen oder losgelösten Knochenfragmenten, bei denen eine in situ-Rekonstruktion nicht möglich erscheint, kann eine „on table“-Rekonstruktion vorgenommen werden. Hierbei werden die losen Teile der Fraktur auf dem

Operationstisch anatomisch korrekt miteinander fixiert und anschließend mit einer Platte wieder am Radius befestigt. Die ex situ-Rekonstruktion birgt ein erhöhtes Risiko für notwendige Reoperationen oder eine avaskuläre Radiuskopfnekrose durch die geschädigte Blutversorgung. Trotz der Reoperations- und Komplikationsrate stellt die „on table“-Rekonstruktion eine zuverlässige Operationsalternative bei schweren Trümmerfrakturen dar (Everding et al., 2019; Kastenberger et al., 2022; Kiran Kumar et al., 2015). Es sollte in jedem Fall darauf geachtet werden, dass weder die Platte noch die Schrauben in den Bereich der Gelenkfläche ragen, um Komplikationen zu vermeiden. Ziel des Operateurs bei allen Techniken ist immer eine physiologische Rekonstruktion des RK (Al-Tawil & Arya, 2021; Burkhart et al., 2015; Harbrecht et al., 2021). Es gibt außerdem Hinweise darauf, dass in der stetigen Weiterentwicklung von Operationstechniken und Implantaten eine genauere Unterteilung von Vorteil sein kann. Die Tendenz eines besseren klinisch funktionellen Ergebnisses nach der alleinigen Verwendung von Schrauben im Vergleich zu der Verwendung einer Platte wurde von Wu et al. beschrieben. Zumeist gibt jedoch die Frakturmorphologie die Wahl der Operationstechnik vor (Wu et al., 2016).

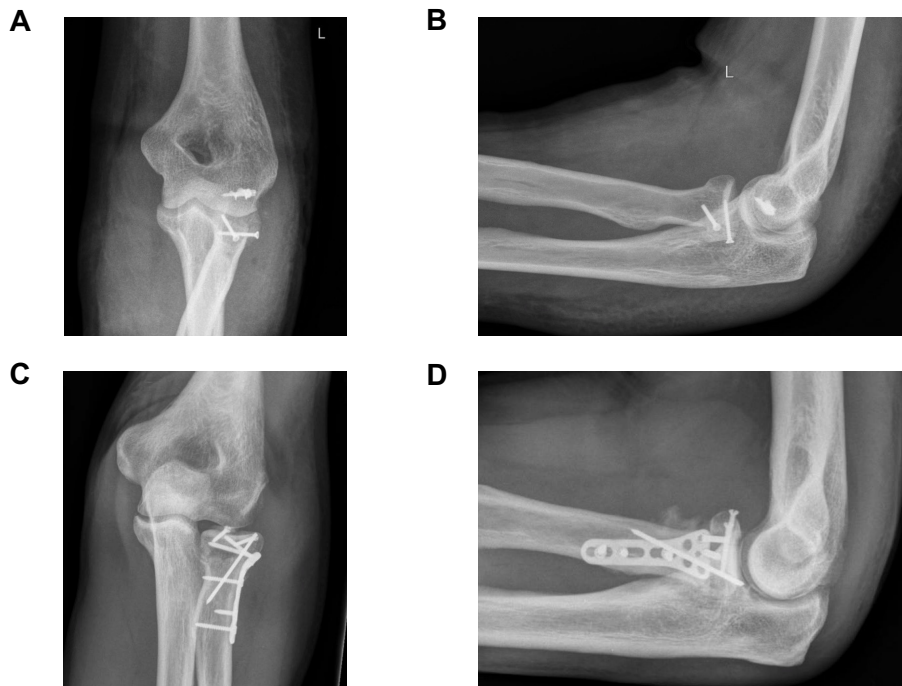


Abbildung 5: Ellenbogen nach ORIF.

Ellenbogen nach Versorgung der Fraktur durch ORIF. **(A,B)** Röntgenbilder eines Patienten nach ORIF durch zwei Schrauben und Refixation eines Bandes durch Fadenanker in anterior-posteriorem und lateralem Strahlengang. **(C,D)** Röntgenbilder eines Patienten nach ORIF durch Schrauben und vorgeformter Platte in anterior-posteriorem und lateralem Strahlengang.

Zusätzlich zur Radiuskopfresektion und ORIF ist die Implantation einer RKP eine effektive Behandlungsmöglichkeit für eine schwere Radiuskopffraktur. Wenn eine ORIF unmöglich erscheint oder nach einem fehlgeschlagenen Versuch einer ORIF, wird vorrangig die RKP als Operationsmethode gewählt (Abbildung 6). Bei der Implantation wird der frakturierte RK entfernt und ein stabiler Anschluss der Prothese an den Radius geschaffen, um eine optimale Kraftübertragung zu gewährleisten. Im Falle einer erheblichen Weichteilschädigung des umliegenden Gewebes durch die Verletzung kann eine einfache Radiuskopfresektion zu einer schweren Instabilität des Ellenbogens und somit zu einem ungünstigen Ergebnis führen. Im Gegensatz dazu kann die Implantation einer RKP die Stabilität des Ellenbogengelenks wiederherstellen (Harrington & Tountas, 1981). Auch die RKP als Oberbegriff kann in mehrere Untereinheiten unterteilt werden. Als Implantat stehen dem Operateur verschiedene Arten von Prothesen zur Verfügung. Dazu gehören Prothesen mit modularem System und

unterschiedlichen Größen von Schaft, Hals und Kopf sowie monopolare oder bipolare Prothesen. Darüber hinaus gibt es Prothesen mit verschiedenen metallischen oder synthetischen Stoffen als Gelenkfläche. Monopolare Prothesen sind durch ein starres Design gekennzeichnet. Alle Module (Schaft, Hals und Kopf) sind unbeweglich miteinander verbunden. Bipolare Prothesen sind dadurch charakterisiert, dass der Prothesenkopf beweglich auf dem Prothesenhals sitzt. In verschiedenen Studien wird dadurch ein Vorteil in Hinblick auf die Beweglichkeit postuliert, gleichzeitig wird teilweise ein Nachteil, bezogen auf die Gelenkstabilität, beschrieben. Bislang zeigte sich zwischen monopolaren und bipolaren Prothesen jedoch kein signifikanter Unterschied im postoperativen klinischen Ergebnis (Antoni et al., 2020; Chen et al., 2018; Hartzler et al., 2014). Auch Prothesen gleicher Bauart, jedoch von unterschiedlichen Herstellern, zeigten keinen Unterschied im klinischen Ergebnis (Vannabouathong et al., 2020).

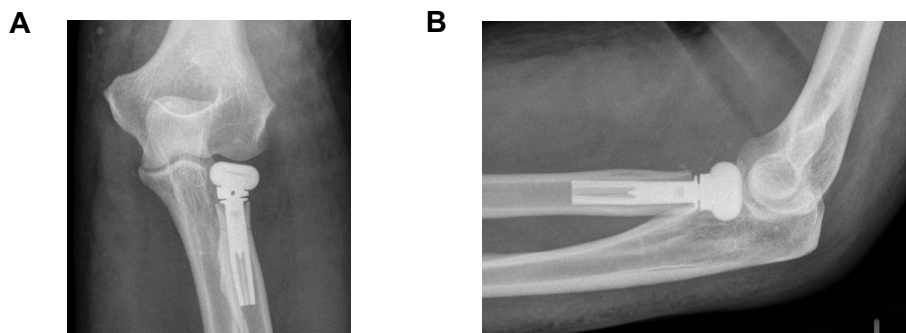


Abbildung 6: Ellenbogen nach RKP.

Ellenbogen nach Versorgung der Fraktur durch RKP. Röntgenbilder eines Patienten in **(A)** anterior-posteriorem und **(B)** lateralem Strahlengang.

1.4 Erhebung des klinischen Ergebnisses

Das klinische Ergebnis nach operativer Versorgung einer Radiuskopffraktur kann in unterschiedlicher Weise erhoben und dokumentiert werden. Im klinischen Alltag und während der routinemäßigen Nachuntersuchung der betroffenen Extremität werden meist die Ellenbogenbeweglichkeit (Range of Motion, ROM) sowie die Varus- und Valgusstabilität des Ellenbogengelenks festgehalten. Darüber hinaus wird die Schmerzsituation erfasst und auf Komplikationen wie beispielsweise Wundheilungsstörungen geachtet. Um diese Ergebnisse auch

innerhalb einer Patientengruppe und nicht nur im individuellen Verlauf vergleichbar zu machen, bedarf es standardisierter und validierter Messsysteme (Longo et al., 2008). In der Literatur werden für den Ellenbogen eine Vielzahl verschiedener Fragebögen zur Erhebung der klinischen Funktion beschrieben. Hierbei kann zwischen arztbeurteilenden und patientenbeurteilenden Ergebnismessungen unterschieden werden. In einigen Systemen werden beide Möglichkeiten auch kombiniert. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Erhebungssysteme Schmerzen, Funktionalität des Ellenbogengelenks im Alltag sowie Bewegungsausmaß und Stabilität in speziellen Situationen auf unterschiedliche Weise erfassen. Allerdings sind nur wenige dieser Messsysteme validiert. Es kommt hinzu, dass viele Bewertungssysteme nur Teilaspekte der Ellenbogenfunktion darstellen (Longo et al., 2008). In aktuellen Studien werden vorrangig der Mayo Elbow Performance Score (MEPS), das Broberg und Morrey Scoring System (BMS), der Fragebogen der American Shoulder and Elbow Surgeons zum Ellenbogen (ASES) und der Disability of Arm, Shoulder and Hand Fragebogen (DASH) verwendet (Broberg & Morrey, 1986; Germann et al., 2003; King et al., 1999; Schneider et al., 2020).

1.5 Begleitverletzungen

Frakturen des RK können je nach Traumamechanismus und Verletzungsschwere mit Begleitverletzungen einhergehen, welche die umliegenden Strukturen des Ellenbogens betreffen. Wird auch die Luxation des Ellenbogens bereits in die Definition der Begleitverletzung eingeschlossen, so ist bei einem von drei Patienten mit Radiuskopffraktur eine Begleitverletzung zu erwarten. Hierzu zählen beispielsweise Frakturen der Ulna, einschließlich des Processus Coronoideus, sowie seltener Frakturen des Capitulum humeri (Gebauer et al., 2005). In Abbildung 7 sind Röntgenbilder eines Patienten mit einer zusätzlichen Fraktur der Ulna dargestellt.

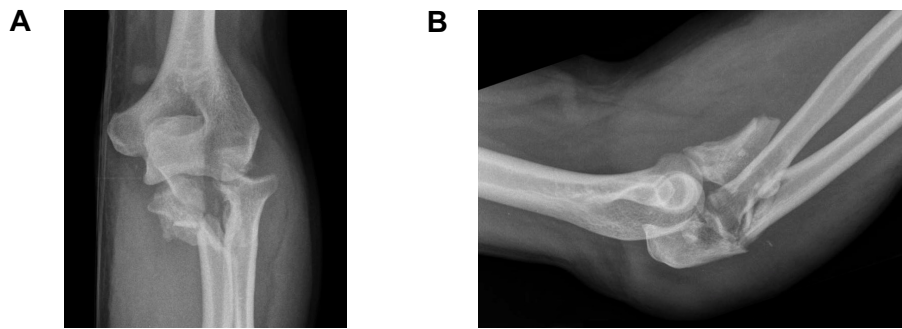


Abbildung 7: Monteggia-like Lesion als Begleitverletzung.

Radiuskopffraktur und zusätzliche Fraktur der proximalen Ulna. Röntgenbilder eines Patienten in **(A)** anterior-posteriorem und **(B)** lateralem Strahlengang.

Als schwere Kombinationsverletzungen des Ellenbogens werden unter anderem sogenannte Monteggia-like Lesions (MLL) oder Terrible Triad-Verletzungen (TT) beschrieben. MLL sind durch eine gleichzeitig vorliegende proximale Ulnafraktur und eine Radiuskopffraktur gekennzeichnet, wobei über eine genaue Definition der Monteggia-Verletzung in der aktuellen Literatur noch Uneinigkeit besteht. MLL sind mit 2-5% aller Unterarmverletzungen eher seltene Verletzungen (Mutze et al., 2021). Die TT ist durch gleichzeitiges Vorliegen einer Ellenbogenluxation, Radiuskopffraktur und Fraktur des Processus Coronoideus definiert. Die Verletzung wird vorrangig durch einen Sturz auf den ausgestreckten Arm verursacht. Durch die axiale Krafteinwirkung kommt es meist zu einer Impressionsfraktur des RK und einer Abscherfraktur des Processus Coronoideus (Kani & Chew, 2019).

Bei schweren Kombinationsverletzungen und zusätzlichen Frakturen der Ulna werden häufig Weichteile und Bandstrukturen des Ellenbogens verletzt. Sowohl bei MLL als auch TT besteht ein hohes Risiko für Verletzungen des Bandapparats (Kani & Chew, 2019; Mutze et al., 2021). Hierbei können Verletzungen des Bandapparats und Begleitfrakturen des Ellenbogens die klinische Prognose beeinflussen und erfordern meist eine chirurgische Mitbehandlung (Pike et al., 2009). Um ein zufriedenstellendes klinisches Ergebnis zu erreichen, sollte bei fehlender Stabilität des Ellenbogengelenks ein besonderes Augenmerk auf die Wiederherstellung der knöchernen und der ligamentären Stabilisatoren des Ellenbogens gelegt werden (Burkhart et al., 2015; Siebenlist & Biberthaler, 2015).

1.6 Ziel der Arbeit

Für schwere Radiuskopffrakturen vom Schweregrad Mason-Johnston III und Mason-Johnston IV ist eine standardisierte Therapieempfehlung aufgrund der unterschiedlichen Komplexität und eventuellen Begleitverletzungen nicht möglich. Auch in der Literatur wird bis heute kontrovers über die Überlegenheit einer Behandlungsmethode diskutiert. Zur Diskussion steht, ob ein Rekonstruktionsversuch des RK erfolgen sollte oder ob die Indikation zur Implantation einer RKP häufiger gestellt werden kann. Im Laufe der letzten Jahre haben klinische Studien sowohl die ORIF und als auch die RKP als bevorzugte chirurgische Frakturbehandlung für Mason-Johnston III und Mason-Johnston IV Frakturen identifiziert. Sowohl nach Versorgung durch ORIF als auch nach Versorgung durch RKP konnten zufriedenstellende klinische Ergebnisse erzielt werden (Al-Burdeni et al., 2015; Catellani et al., 2018; Chaijenkij et al., 2021; Gokaraju et al., 2020; Harbrecht et al., 2021; Kodde et al., 2015; Meacher et al., 2020; Ring, 2011; Swensen et al., 2019). Die Entscheidung über die Frakturversorgung hängt jedoch in erster Linie von der Einschätzung und Expertise des behandelnden Chirurgen ab. Die BG Unfallklinik Tübingen versorgt als überregionales Traumazentrum und im Rahmen des Schwerstverletztenartenverfahrens eine Vielzahl von schweren Ellenbogenfrakturen. Dies schafft die Möglichkeit, eine retrospektive klinische Studie in diesem Bereich durchzuführen.

Ziel der vorliegenden Studie war die vergleichende Analyse des klinischen Ergebnisses nach Frakturversorgung von schweren Radiuskopffrakturen (Mason-Johnston III und Mason-Johnston IV) durch die Rekonstruktion des RK oder die Implantation einer RKP. Die Ergebnisse der Arbeit sollen als Entscheidungshilfe zwischen ORIF und RKP dienen.

2 Patienten und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum vom 02.09.2014 bis zum 01.03.2021 wurden 205 Patienten mit einer Radiuskopffraktur operativ in der BG Unfallklinik Tübingen versorgt. Davon wiesen 165 Patienten eine Fraktur mit einem Frakturtyp Mason-Johnston III oder Mason-Johnston IV auf. Aufgrund fehlender aktueller Kontaktdaten oder eines Wohnortwechsels waren 77 Patienten nicht erreichbar. Weitere 13 Patienten wurden nach Ablehnung der Studienteilnahme ausgeschlossen. Insgesamt konnten 75 volljährige Patienten in die Studie eingeschlossen werden (Abbildung 8). Eine weitere Einschränkung nach Geschlecht, Alter oder sozialem Status wurde nicht vorgenommen. Die Datenerhebung erfolgte nach positivem Votum der Ethik-Kommission an der Medizinischen Fakultät der Eberhard Karls Universität Tübingen (Projekt Nummer 974/2020BO2).

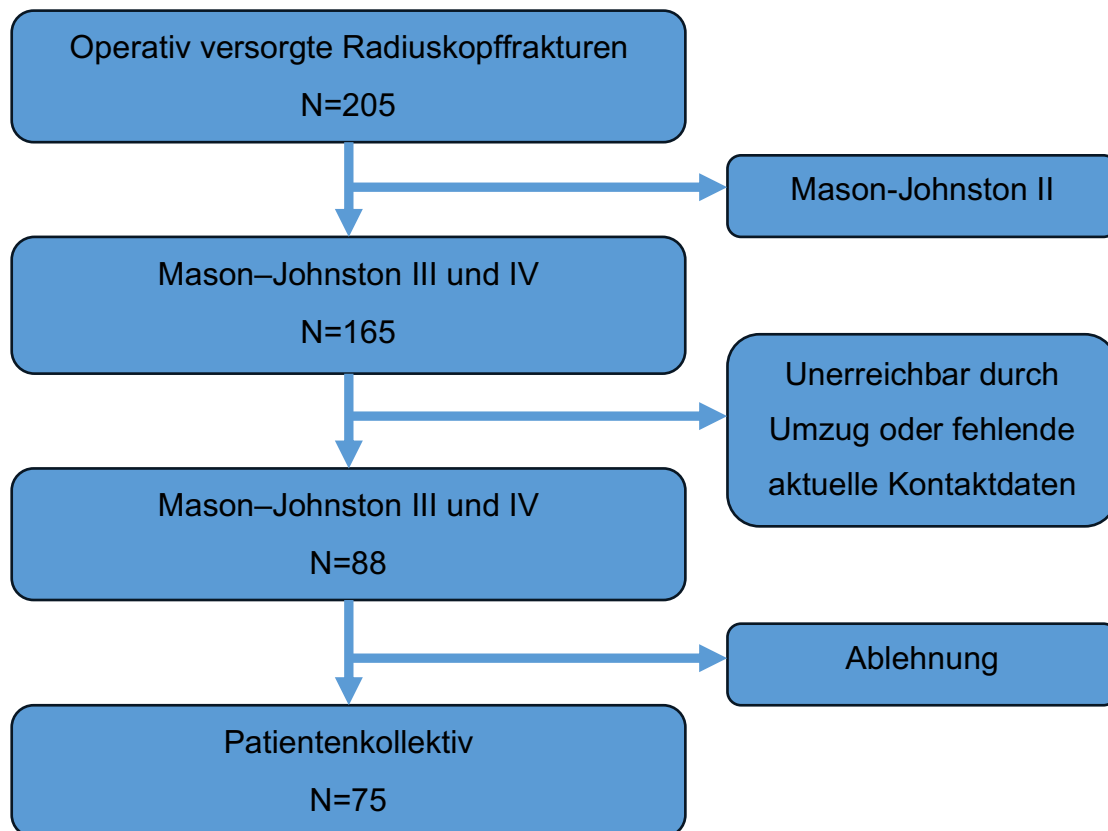


Abbildung 8: Fließschema der Studienpopulation.

2.2 Frakturklassifikation

Zur Beurteilung und Einteilung in Mason-Johnston III und IV wurden die vorhandenen präoperativen konventionellen Röntgenaufnahmen sowie Computertomographiebilder verwendet. Ergänzend wurden die Befunde in der Patientenakte gesichtet und in die Beurteilung einbezogen. Zusätzlich wurde Grad IV in Kombinationsverletzungen (TT und MLL) unterteilt. Hierbei war eine TT durch eine gleichzeitige Ellenbogenluxation, Coronoidfraktur und Radiuskopffraktur gekennzeichnet (Kani & Chew, 2019). Eine MLL lag vor, wenn proximale Ulna und RK gleichzeitig frakturiert waren (Mutze et al., 2021).

2.3 Begleitverletzungen

In dieser Studie wurden drei Arten von Begleitverletzungen definiert. Als „allgemeine Begleitverletzung“ wurde eine durch den Unfall oder Sturz verursachte Fraktur eines anderen Körperteils als des Ellenbogens und der artikulierenden Knochen im Ellenbogengelenk angesehen. Hierzu wurden auch Frakturen des distalen Radius gewertet. In der Kategorie „Fraktur der Ulna“ wurden alle Patienten ausgewertet, die zusätzlich zur Fraktur des RK eine Fraktur der Ulna erlitten hatten. In der Kategorie „Instabilität“ sind Patienten dargestellt, bei denen aufgrund der Instabilität des Ellenbogengelenks mindestens ein Band des RK rekonstruiert wurde oder wieder am Knochen verankert werden musste.

2.4 Therapie

Die Patienten wurden anhand der operativen Therapie in die zwei Gruppen ORIF und RKP eingeteilt. Anschließend wurde das klinische Outcome untersucht. Die Entscheidung über die Therapieart wurde entweder präoperativ auf Basis der vorliegenden radiologischen Bildgebung oder intraoperativ durch den behandelnden Chirurgen getroffen. Die Gruppen wurden weiterhin nach dem Schweregrad der Fraktur unterschieden.

In der ORIF-Gruppe wurden alle Patienten erfasst, deren Therapie der Fraktur eine Rekonstruktion des Radiuskopfes war. Die Osteosynthese erfolgte hier je nach Frakturmorphologie durch Kirschnerdrähte oder Schrauben. Wurde der Radiuskopf „on table“ rekonstruiert oder lag zusätzlich eine instabile Halsfraktur vor, wurde zusätzlich eine winkelstabile Platte implantiert. Im Falle der

Implantation einer RKP wurde der frakturierte Radiuskopf entfernt, um so eine bündige Anschlussfläche der Prothese an den Radius zu etablieren. Als Prothesen wurden ausschließlich Implantate der Firma Tornier, Frankreich verwendet. Die monopolare MoPyC-Radiuskopfprothese ist modular aufgebaut. Zur Verfügung standen drei verschiedene Kopfgrößen (S, M, L), vier Halsgrößen (S, M, L, XL) und vier Schaftgrößen (S, M, L, XL), die anhand der anatomischen Gegebenheiten ausgewählt wurden. Während Hals und Schaft aus Titan bestehen, ist der Kopf aus Pyrocarbon gefertigt. Um die Anatomie des proximalen Radius möglichst physiologisch darzustellen, ist der Kopf gegenüber dem Hals um 15 Grad abgewinkelt (Hackl et al., 2015).

Im Falle einer Instabilität des Kapsel-Band-Apparates des Ellenbogens erfolgte eine Refixation der avulsierten Bänder am Insertionspunkt mittels Corkscrew®-Fadenanker, SwiveLock®-Fadenanker oder FiberTak®-Softanker (Firma Arthrex, Vereinigte Staaten von Amerika).

2.5 Nachuntersuchungszeitraum

Als Nachuntersuchungszeitraum wurde die Zeit zwischen Operation und Untersuchung im Rahmen der Studie in Monaten angesehen. Für die Patienten, die nur mittels Fragebogen an der Studie teilnehmen konnten, wurde als Stichtag für den Nachuntersuchungszeitraum der 30.11.2021 angenommen.

2.6 Klinisches Ergebnis

In der aktuellen Literatur werden unterschiedliche Bewertungssysteme der klinischen Funktion zur Beurteilung des klinischen Ergebnisses der Therapie von Radiuskopffrakturen verwendet. Um eine gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden in der vorliegenden Studie die folgenden Bewertungssysteme erhoben.

2.6.1 Untersuchung

Es erfolgte eine persönliche Untersuchung des Patienten. Hierbei wurden Alter, Geschlecht, Körpergröße, Gewicht und Händigkeit erfasst. Ferner wurde erfragt, ob die Fraktur auf eine indirekte oder direkte Krafteinwirkung zurückzuführen ist. Indirekt bedeutet hierbei durch einen Sturz auf den ausgestreckten Arm, direkt durch einen Sturz direkt auf den Ellenbogen. Außerdem wurde das aktuelle

subjektive Schmerzempfinden mittels visueller Analogskala erfasst. Zusätzlich wurde zur Berechnung einiger Bewertungssysteme zwischen keine Schmerzen, milde Schmerzen (bei oder nach Aktivität, ohne Schmerzmitteleinnahme), moderate Schmerzen (bei oder nach Aktivität, mit Schmerzmitteleinnahme) oder starke Schmerzen (Schmerzen in Ruhe, mit Schmerzmitteleinnahme) unterschieden. Die ROM wurde sowohl am Frakturarm als auch am gesunden Arm bei aktiver und passiver Bewegung nach Neutral-Null-Methode gemessen. Zusätzlich wurden die Kraftgrade nach Janda und die Stabilität im Ellenbogengelenk mittels Varus-/Valgusstress in beiden Armen ermittelt. Die Untersuchung umfasste weiterhin die periphere Durchblutung, Motorik, Sensibilität sowie Funktionstests (Drawer Test für posterolaterale Instabilität, Chair Sign und Pinzettengriff) an beiden Armen. Außerdem wurden die Ergebnisse der klinischen Funktionstests, die im Nachfolgenden beschrieben werden, erhoben.

2.6.2 Range of Motion (ROM)

Die Erfassung der ROM wurde mittels Standardgoniometer durchgeführt und auf 5° gerundet. Dabei wurde die Ellenbogenbeweglichkeit bei Flexion und Extension am nach vorne ausgestreckten Arm untersucht. Die Beweglichkeit bei Pronation und Supination wurde am 90° gebeugten Ellenbogen und am Körper anliegenden Oberarm erfasst. Zusätzlich wurde die aktive und passive Bewegung an beiden Armen ermittelt. Nach der Neutral-Null-Methode konnte eine maximale ROM von 10°-0°-150° für Extension-Flexion und 90°-0°-90° für Pronation-Supination erreicht werden.

Ein Fragebogen zur Selbsterhebung der ROM wurde zusätzlich allen Patienten zur Bearbeitung vorgelegt. Dieser Fragebogen wurde von Schnetzke et al. (Schnetzke et al., 2016) entwickelt. Somit konnte anhand des Patientenkollektivs eine Validierung auch für hochgradige RK-Verletzungen erfolgen (Porsche et al., 2025). Den Patienten, die nicht persönlich an der Untersuchung teilnehmen konnten, wurde der Fragebogen zur Selbsteinschätzung der ROM vorgelegt.

2.6.3 Mayo Elbow Performance Score (MEPS)

Anhand des MEPS wurde der Schmerz des Patienten in vier Abstufungen abgefragt (keine, schwache, moderate oder starke Schmerzen). Außerdem wurde die Funktionalität des Gelenks mit Hilfe von fünf Fragen zu alltäglichen Tätigkeiten (Haare kämmen, eigenständig essen, Körperhygiene, Hemd/Oberteil anziehen, Schuhe anziehen) erfasst. Die Beweglichkeit des Ellenbogengelenks wurde in drei Umfänge ($>100^\circ$, 50° - 100° , $<50^\circ$) unterteilt, für die jeweils Punkte vergeben wurden. Die genannten Eigenschaften wurden vom Patienten selbst bestimmt und beantwortet. Außerdem wurde die Stabilität des Ellenbogengelenks durch einen Untersucher evaluiert, woraufhin in drei Abstufungen (stabil, moderate Instabilität $<10^\circ$ Varus-Valgus-Laxität, schwerwiegende Instabilität $\geq 10^\circ$ Varus-Valgus-Laxität) Punkte vergeben wurden. Maximal konnte ein Punktwert von 100 vergeben werden sowie ein Minimum von null Punkten (Anhang, Tabelle 6). Eine höhere Punktzahl steht dabei für eine bessere Leistungsfähigkeit des Gelenks (Cusick et al., 2014; Schneider et al., 2020). Der MEPS konnte somit nur von den Patienten erhoben werden, die persönlich zum Untersuchungstermin erschienen.

2.6.4 Broberg Morrey Scoring System (BMS)

In den BMS wurden Ergebnisse vom Untersucher und Antworten einer persönlichen Befragung des Patienten eingeschlossen. Die Analyse erfolgte anhand der Beurteilung der vier Gruppen Schmerz, ROM, Stabilität des Gelenks und Griffstärke der Hand. Der Schmerz konnte von den Patienten in vier Abstufungen angegeben werden: keine Schmerzen, milde Schmerzen (während einer Aktivität, jedoch ohne Schmerzmedikation), moderate Schmerzen (während oder nach einer Aktivität, mit Schmerzmedikation) und starke Schmerzen (in Ruhe, konstante Schmerzmedikation). Die Stabilität des verletzten Ellenbogens wurde hierbei subjektiv erfasst und in vier Stufen eingeteilt: normale Stabilität, milder Stabilitätsverlust (vom Patienten wahrgenommen, jedoch keine Einschränkung im Alltag), moderater Stabilitätsverlust (limitiert den Patienten in einigen Aktivitäten) und schwerer Stabilitätsverlust (limitiert den Patienten in alltäglichen Aufgaben). Als einziger Score betrachtet der BMS die Griffstärke der Hand, die mit einem Dynamometer

an beiden Händen gemessen wurde. Die Einteilung erfolgte auch hier in vier Stufen: normale Griffkraft, milder Verlust der Griffkraft (wahrnehmbar, aber nicht einschränkend; 80% der Griffkraft der kontralateralen Seite), moderater Verlust der Griffkraft (limitiert den Patienten in einigen Aktivitäten; 50% der Griffkraft der kontralateralen Seite) und schwerer Verlust der Griffkraft (limitiert den Patienten in alltäglichen Aufgaben). Insgesamt konnten bei diesem Score maximal 100 Punkte erreicht werden. Zusätzlich erfolgte die Einteilung in vier Unterkategorien (100-95 Punkte=exzellentes Ergebnis, 94-80 Punkte=gutes Ergebnis, 79-60 Punkte=mäßiges Ergebnis, <60 Punkte=schlechtes Ergebnis) (Anhang, Tabelle 7) (Broberg & Morrey, 1986; Longo et al., 2008).

2.6.5 American Shoulder and Elbow Surgeons - Elbow (ASES)

Der ASES wurde für die Erhebung der Ellenbogenfunktion von der Forschungskommission der amerikanischen Schulter- und Ellenbogenchirurgen (American Shoulder and Elbow Surgeons) entwickelt und von John et al. für die deutsche Sprache validiert (John et al., 2010; King et al., 1999). Es handelt sich um eine zweiteilige Erhebung der Ellenbogenfunktion. Im ersten Teil wurden vom Patienten selbst Fragen zu Schmerzen auf der visuellen Analogskala (VAS, 0=keinerlei Schmerzen bis 10=schlimmste Schmerzen), Ellenbogenfunktion (nicht möglich, große Schwierigkeiten, einige Schwierigkeiten, keine Schwierigkeiten) und Zufriedenheit mit der Operation (0=gar nicht zufrieden bis 10=sehr zufrieden) beantwortet. Ein zweiter Teil, welcher von einem Untersucher erhoben wurde, erfasst die ROM, Stabilität des Ellenbogengelenks, Stärke und besondere Zeichen (z.B. Empfindlichkeit und Schmerzen bei Bewegung). Für die Berechnung des Gesamtergebnisses des Fragebogens wird der zweite Teil nicht benötigt, sodass nur die Selbsteinschätzung des Patienten in die Berechnung einfließt. Das Gesamtergebnis des ASES wurde aus der Zusammenfassung der Teilelemente Schmerz und Ellenbogenfunktion errechnet (Anhang, Tabelle 8). Hierbei konnte ein Punktwert von null bis 100 erreicht werden, wobei ein jeweils höherer Punktwert ein besseres Ergebnis darstellt (John et al., 2010). Da der ASES vom Patienten selbst erhoben werden kann, konnten alle Patienten in die Analyse einbezogen werden.

2.6.6 Disability of Arm Shoulder and Hand Fragebogen (DASH)

Der DASH wurde 1996 von Hudak et al. und der Arbeitsgruppe Obere Extremität entwickelt, um eine Verbindung zwischen allgemeinen und spezifischen Fragebögen herzustellen (Hudak et al., 1996). Er wurde von Germann et al. in die deutsche Sprache übersetzt und validiert (Germann et al., 2003). Mit dem DASH kann die Funktion der oberen Extremität beurteilt werden, wobei das Ergebnis nicht gelenk- oder krankheitsspezifisch ist. Es wurden insgesamt 30 Fragen zu Symptomen oder Funktion gestellt, die jeweils fünf Antwortmöglichkeiten zuließen: 1=keine/keine Schwierigkeiten, 2=leichte/geringe Schwierigkeiten, 3=mäßige/mäßige Schwierigkeiten, 4=starke/erhebliche Schwierigkeiten und 5=sehr starke/nicht möglich (Anhang, Tabelle 9). Daraufhin wurde das Gesamtergebnis berechnet und auf einer Skala von null bis 100 dargestellt, wobei null Punkte eine gute Funktion und 100 Punkte eine schlechte Funktion bedeutet (Germann et al., 2003; Hudak et al., 1996). Falls vom Patienten mehr als drei Fragen nicht beantwortet wurden, konnte der Gesamtwert nicht berechnet werden.

2.6.7 Short Form 36 Fragebogen zur Lebensqualität (SF36)

Der Short Form 36 Fragebogen zur Lebensqualität (SF36) wurde 1987 erarbeitet und anschließend weiterentwickelt (Stewart et al., 1988; Ware, 1987, 2000; Ware & Gandek, 1998). Der Fragebogen ist ein weltweit etabliertes, in über 20 Sprachen übersetztes und validiertes Instrument zur Erfassung der Lebensqualität und des allgemeinen Gesundheitszustandes. Dieser allgemeine Gesundheitsfragebogen beinhaltet 36 Fragen, mit denen sowohl die körperliche als auch die psychische Gesundheit untersucht werden kann. Der jeweilige Gesundheitszustand wurde dabei in acht Einheiten abgefragt: Vitalität (vier Fragen), körperliche Funktionsfähigkeit (zehn Fragen), körperliche Schmerzen (zwei Fragen), allgemeine Gesundheitswahrnehmung (fünf Fragen), Rolleneinschränkungen aufgrund der körperlichen Gesundheit (vier Fragen), Rolleneinschränkungen aufgrund der emotionalen Gesundheit (drei Fragen), soziales Rollenverhalten (zwei Fragen), und psychische Gesundheit (fünf Fragen). Für die Auswertung wurde die körperliche Gesundheit in der körperlichen Summenskala (KSK) und die psychische Gesundheit in der

psychischen Summenskala (PSK) angegeben. Durch Kombination und unterschiedlicher Wichtung der 36 Fragen wurde das Endergebnis der Skalen in Punkte von null bis 100 übertragen (null Punkte=größtmögliche Einschränkung der Gesundheit bis 100 Punkte=keine gesundheitlichen Einschränkungen).

2.7 Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch Dr. rer. nat. Imma Fischer (Institut für Biometrie der Universität Tübingen).

Die statistische Analyse der Studie wurde mittels des Statistikprogramms IBM SPSS Statistics (Version 28.0.1.1. für macOS) durchgeführt. Für die deskriptive Beschreibung des Studienkollektivs wurden Mittelwert (MW)/Median $\pm$ Standardabweichung (SD), Minimum – Maximum (Min - Max) und die Anzahl der Patienten berechnet und dargestellt. Zur Testung von Signifikanzen der numerischen Variablen wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Für ordinale Variablen wurde der Chi²-Test (Pearson-Chi²) zur Signifikanzberechnung verwendet. Für den Fall, dass eine betreffende Gruppengröße einen Wert von weniger als fünf aufwies, wurde die Signifikanz nach Fischer-Freeman-Halton berechnet. Ein p-Wert <0,05 wurde als statistisch signifikant angesehen. Angegebene Korrelationen wurden mittels Spearmans Korrelationskoeffizient berechnet. In den dargestellten Boxplot-Diagrammen beschreibt der Mittelstrich den Median. Das obere Ende der Box beschreibt das dritte Quartil, das untere Ende das erste Quartil. Die Antennen stellen den eineinhalbfachen Interquartilbereich dar. Milde Ausreißer sind als Kreise dargestellt, extreme Ausreißer (mehr als der dreifache Interquartilabstand) als Sterne.

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik

3.1.1 Patientenkollektiv

Der Altersdurchschnitt der Patienten betrug $51,2 \pm 15$ Jahre mit einem Umfang von 20 - 82 Jahren. Von 75 Patienten waren 34 (45,3%) weiblich. Die Altersverteilung der Studiengruppe ist in Abbildung 9 dargestellt. In 43 Fällen (57,3%) war die Verletzung auf der linken Seite. 68 Patienten (90,7%) waren rechtshändig, fünf Patienten (6,7%) linkshändig und bei zwei Patienten (2,7%) fehlte die Angabe.

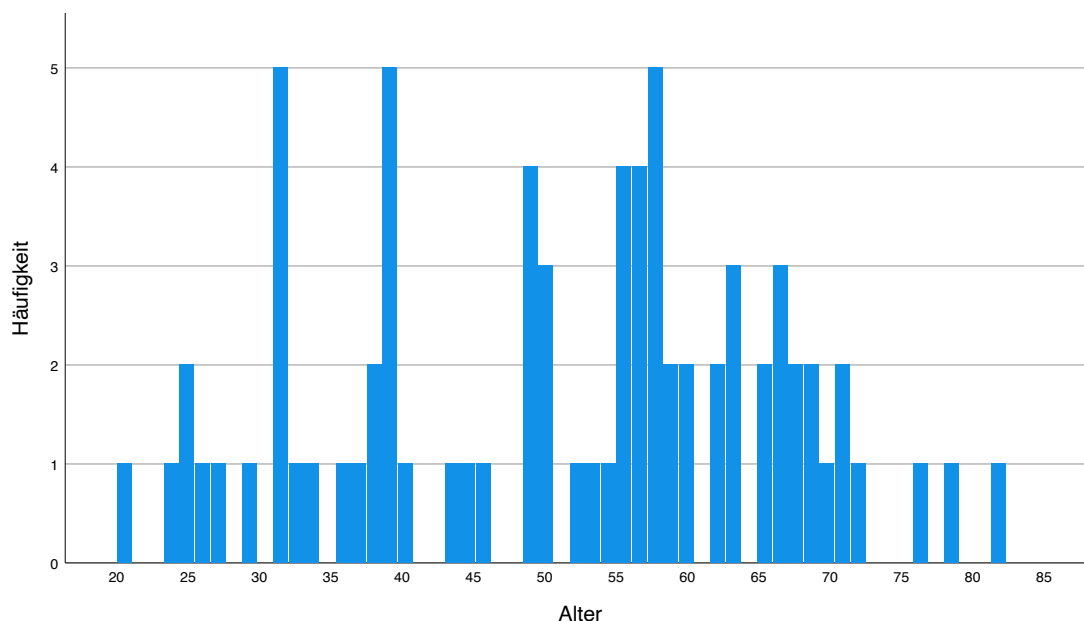


Abbildung 9: Altersverteilung der Studienpopulation.

N=75, Alter in Jahren.

Insgesamt 51 Patienten (68,0%) waren zur Untersuchung anwesend, während 24 Patienten (32,0%) per Brief an der Studie teilnahmen. Es konnte festgestellt werden, dass die Patienten in der RKP-Gruppe im Durchschnitt sechs Jahre älter als die Patienten in der ORIF-Gruppe waren ($p=0,134$). Der Medianwert der Körpergröße lag in der ORIF-Gruppe bei 175 cm, in der RKP-Gruppe bei 169 cm. Dieser Größenunterschied war mit $p=0,007$ signifikant. Die Mittelwerte für Alter,

Größe und Gewicht der Studiengruppen sowie der gesamten Studienpopulation sind im Detail in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Alter, Größe, Gewicht der Studienpopulation.

MW±SD (Min-Max), Alter in Jahren, Größe in cm, Gewicht in kg.

	ORIF	RKP	Gesamt
N (Anzahl)	52	23	75
Alter	49,4±16,1 (20-82)	55,3±11,7 (29-71)	51,2±15,0 (20-82)
Größe	174,8±9 (155-193)	168,2±9,5 (156-188)	172,8±9,6 (155-193)
Gewicht	83,7±16,3 (59-120)	84,3±16 (60-106)	83,9±16,1 (59-120)

3.1.2 Frakturklassifikation

41 Patienten wiesen eine Mason-Johnston III Fraktur und 34 Patienten eine Mason-Johnston IV Fraktur auf. Zusätzlich wurde bei 19 Patienten eine TT und bei sieben Patienten eine MLL festgestellt. Tabelle 2 enthält eine detaillierte Aufschlüsselung der Frakturklassifikationen in den einzelnen Behandlungsgruppen.

Tabelle 2: Frakturklassifikation in ORIF und RKP.

Gezeigt ist die Anzahl der Patienten mit Angabe in %.

	ORIF	RKP
Mason-Johnston III	33 (44%)	8 (10,7%)
Mason-Johnston IV	19 (25,3%)	15 (20%)
TT	10 (13,3%)	9 (12%)
MLL	4 (5,3%)	3 (4%)

3.1.3 Nachuntersuchungszeitraum

Die Nachuntersuchung erfolgte nach durchschnittlich 39,6±23,3 Monaten nach operativer Versorgung. Bei Patienten mit einer ORIF betrug der Nachuntersuchungszeitraum durchschnittlich 41,8±22,6 (7-78) Monate und bei Patienten mit einer RKP lag dieser im Mittel bei 34,7±24,6 (7-80) Monaten.

3.2 Begleitverletzungen

Bei 36 Patienten konnte eine zusätzliche knöcherne Verletzung festgestellt werden. 31 Patienten erlitten neben der Fraktur des RK auch eine Fraktur der Ulna an der gleichen Extremität. Im Zuge der Radiuskopffraktur zeigten 35 Patienten eine versorgungspflichtige Instabilität des Bandapparats des Ellenbogens. Die genaue Aufteilung der Begleitverletzungen ist in Abbildung 10 veranschaulicht.

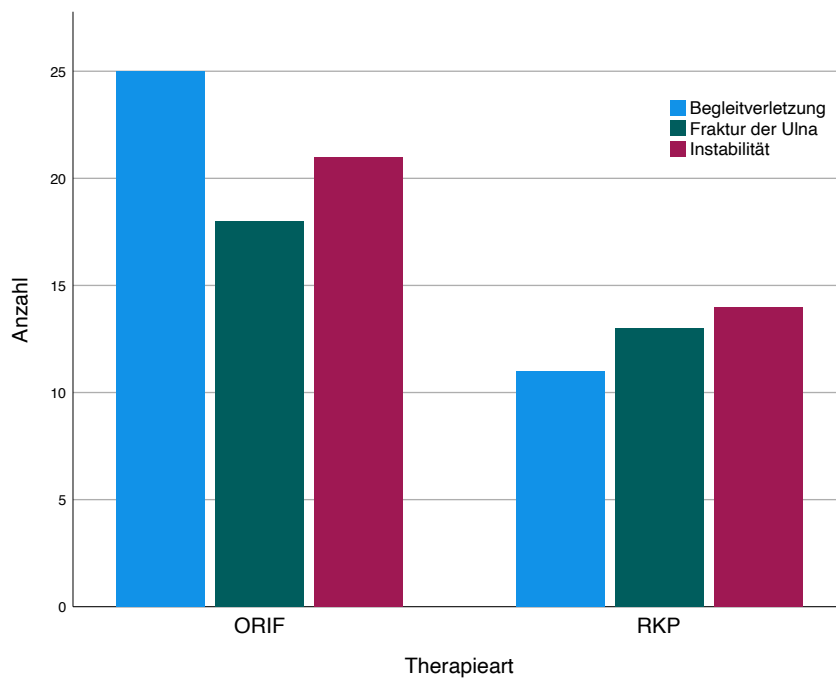


Abbildung 10: Begleitverletzungen im Vergleich.

Begleitverletzung: Fraktur unabhängig vom betroffenen Ellenbogen, Fraktur der Ulna: Fraktur der am betroffenen Ellenbogengelenk beteiligten Ulna, Bandverletzung: ein am Ellenbogengelenk beteiligtes Band musste chirurgisch rekonstruiert werden.

3.3 Unfallmechanismus

Eine Fraktur des RK bedingt durch direkte Krafteinwirkung bei einem Sturz unmittelbar auf den Ellenbogen konnte bei 47 Patienten (62,7%) festgestellt werden. Davon wurden 31 Patienten (41,3%) durch eine ORIF therapiert und 16 Patienten (21,3%) mit einer RKP versorgt. Bei Frakturen durch indirekte Krafteinwirkung wurden 18 Patienten (24%) mit ORIF und fünf Patienten (6,7%) mit einer RKP behandelt. Von fünf Patienten (6,7%) fehlten die Angaben zum Unfallmechanismus.

3.4 Zeit zwischen Trauma und Operation

Im Median wurden die Patienten $6 \pm 11,7$ (0-72) Tage nach Fraktur operiert. Bei Behandlung durch ORIF wurde im Median nach $5 \pm 4,5$ (0-17) Tagen operiert. Für RKP zeigte sich eine längere Zeit bis zur Operation mit einem Median von $7 \pm 21,6$ (1-72) Tagen, jedoch ohne statistische Signifikanz ($p=0,068$). Von neun Patienten fehlte die Angabe zu der Zeit zwischen Sturz und Operation.

3.5 Klinisches Ergebnis

3.5.1 ROM

Die Ergebnisse diesen Abschnitts wurden in der Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie veröffentlicht (Porsche et al., 2025).

Für die Analyse des Bewegungsumfangs wurden die selbsterhobenen Werte der ROM der Patienten durch Erfassung mittels Fragebogen genutzt. Somit konnten auch die Werte der Patienten in die Analyse einbezogen werden, die nicht persönlich an der Untersuchung teilnehmen konnten. In der Untersuchung des heterogenen Patientenkollektivs mit schweren Radiuskopffrakturen konnte eine Übereinstimmung der Werte zwischen Untersucher und Selbsterhebung von bis zu 86% ermittelt werden. Bei einer größeren Abweichungstoleranz wurden Übereinstimmungswerte von mindestens 90% erfasst (Tabelle 3). Im Folgenden sind die ROM-Ergebnisse von Patienten mit Radiuskopffraktur, die mit ORIF oder RKP behandelt wurden, in Bezug auf die verschiedenen Bewegungsrichtungen des Ellenbogengelenks vergleichend dargestellt (Porsche et al., 2025).

Tabelle 3: Übereinstimmung der ROM von Untersucher und Selbstbewertung

Für die Patienten, deren Ergebnis nicht mit dem des Untersuchers übereinstimmte, ist der Median der Unterschiede dargestellt.

Bewegung	EÜ	SR	MdR	IQR	UÜ
Flexion	54%	0,550	10°	10-15	96%
Extension	40%	0,841	10°	10-10	96%
Pronation	86%	0,808	20°	5-30	94%
Supination	54%	0,754	20°	10-20	90%

EÜ: exakte Übereinstimmung, SR: Spearman-Rho, MdR: Median der Unterschiede, IQR: Interquartil-Range, UÜ: ungefähre Übereinstimmung. Modifiziert nach (Porsche et al., 2025).

3.5.1.1 Flexion

In der Bewegungsrichtung der Flexion sind physiologisch maximal 150° Beugung im Ellenbogengelenk erreichbar. Im Median erreichte die Gruppe mit ORIF behandelten Patienten 10° mehr Beugung als die RKP-Gruppe. Dieser Unterschied stellte sich mit $p=0,113$ jedoch als nicht signifikant dar (Abbildung 11). Bei detaillierterer Betrachtung der Verletzungsschwere, zeigte sich ein medianer Flexionsunterschied von 20° zugunsten von ORIF bei Frakturen Mason-Johnston Grad III, jedoch ohne statistische Signifikanz ($p=0,142$). Auch bei Mason-Johnston Grad IV Frakturen konnte im Median eine um 10° größere Flexion der Patienten nach ORIF erreicht werden ($p=0,126$) (Abbildung 12).

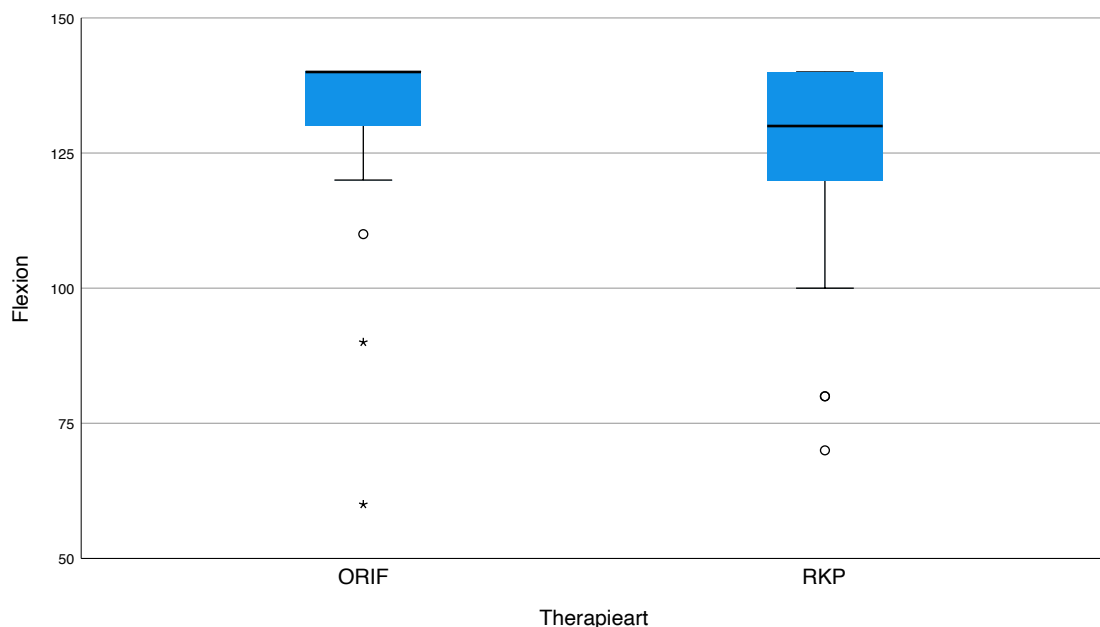


Abbildung 11: ROM Flexion Gruppenvergleich.

ORIF: Median $140 \pm 14,08$ (60-140), RKP: Median $130 \pm 21,50$ (70-140), $p=0,113$, $N=73$.

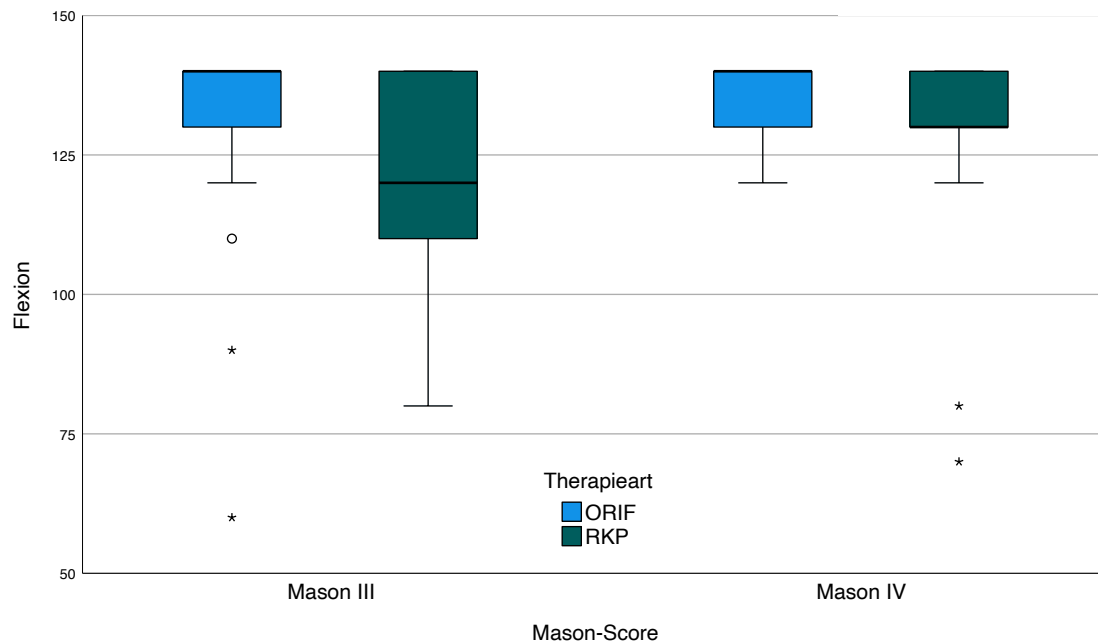


Abbildung 12: ROM Flexion Untergruppenvergleich.

Mason-Johnston Grad III: ORIF: Median $140 \pm 17,20$ (60-140), RKP: Median $120 \pm 21,38$ (80-140), $p=0,142$, $N=39$. **Mason-Johnston Grad IV:** ORIF: Median $140 \pm 6,12$ (120-140), RKP: Median $130 \pm 21,93$ (70-140), $p=0,515$, $N=34$.

3.5.1.2 Extension

Ein gesunder menschlicher Arm kann im Ellenbogen physiologisch maximal 10° gestreckt werden. Das Ergebnis der ROM für die Extension wird im Folgenden durch negative Zahlenwerte beschrieben. Die Negativität drückt hierbei das bestehende Extensionsdefizit aus. Im untersuchten Patientenkollektiv war das Streckdefizit nach Versorgung durch eine RKP um 20° signifikant höher ($p=0,002$) als das Streckdefizit nach Versorgung durch ORIF (Abbildung 13). Bei Betrachtung der Untergruppen zeigte sich bei Frakturen Mason-Johnston Grad III ein um 10° höheres Streckdefizit nach RKP im Vergleich zu ORIF ohne statistische Signifikanz ($p=0,126$). Statistisch signifikant war das um 10° höhere Streckdefizit nach RKP bei Frakturen Mason-Johnston Grad IV ($p=0,027$) (Abbildung 14).

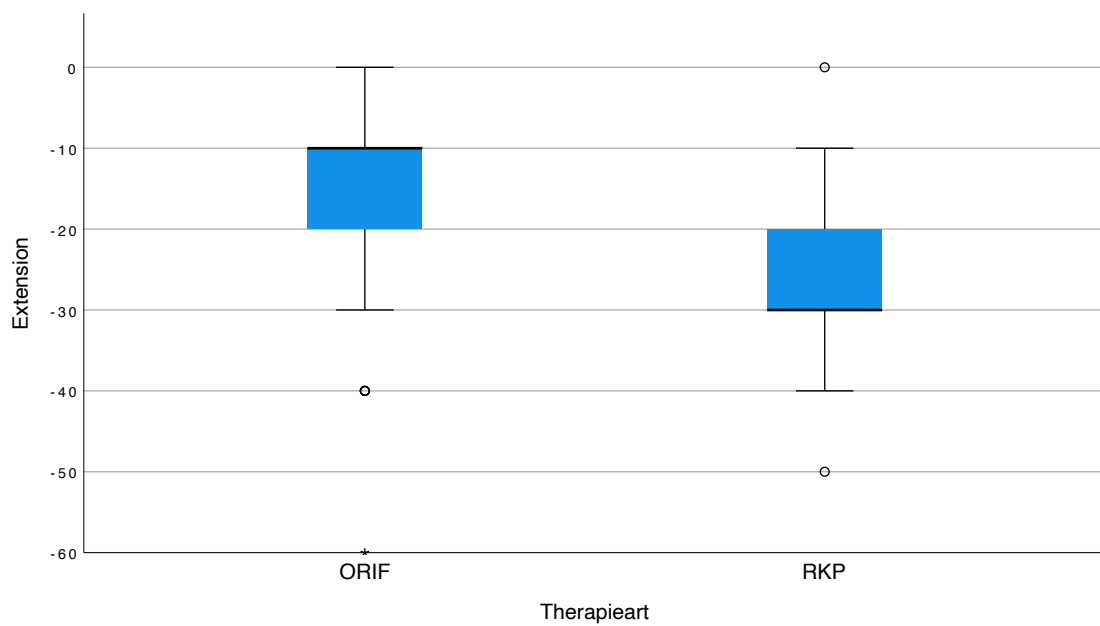


Abbildung 13: ROM Extension Gruppenvergleich.

ORIF: Median $-10 \pm 13,17$ (-60-0), RKP: Median $-30 \pm 12,01$ (-50-0), $p=0,002$, $N=74$.

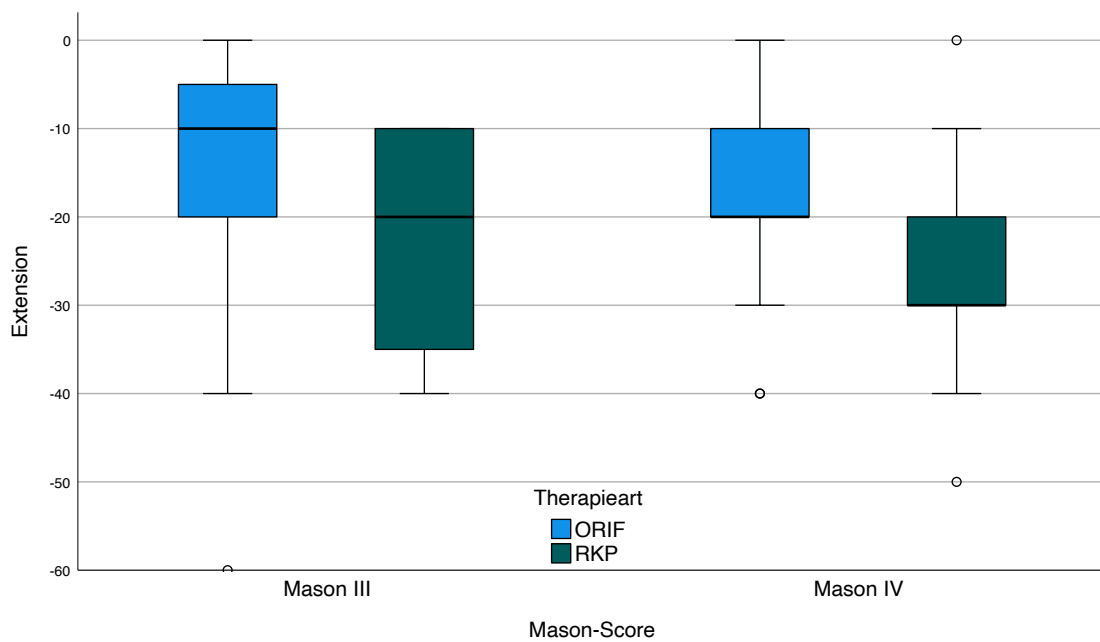


Abbildung 14: ROM Extension Untergruppenvergleich.

Mason-Johnston Grad III: ORIF: Median $-10 \pm 13,67$ (-60-0), RKP: Median $-20 \pm 12,82$ (-40-(-10)), $p=0,126$, $N=40$. **Mason-Johnston Grad IV:** ORIF: Median $-20 \pm 12,57$ (-40-0), RKP: Median $-30 \pm 11,83$ (-50-0), $p=0,027$, $N=34$.

3.5.1.3 Pronation

Die Umwendbewegung der Hand mit der Handfläche nach unten kann physiologisch bis zu maximal 90° erfolgen. Der maximale Wert für die Pronation wurde allerdings nur bis 70° angegeben, da der verwendete validierte deutsche Fragebogen dies als Maximum auswies. Bei der Untersuchung der Pronation ergaben sich nahezu gleiche Werte in den beiden Therapiegruppen und es konnte kein Unterschied festgestellt werden (Abbildung 15). Auch bei den Untergruppen zeigten sich weder bei Mason-Johnston III noch bei Mason-Johnston IV signifikante Unterschiede (Abbildung 16).

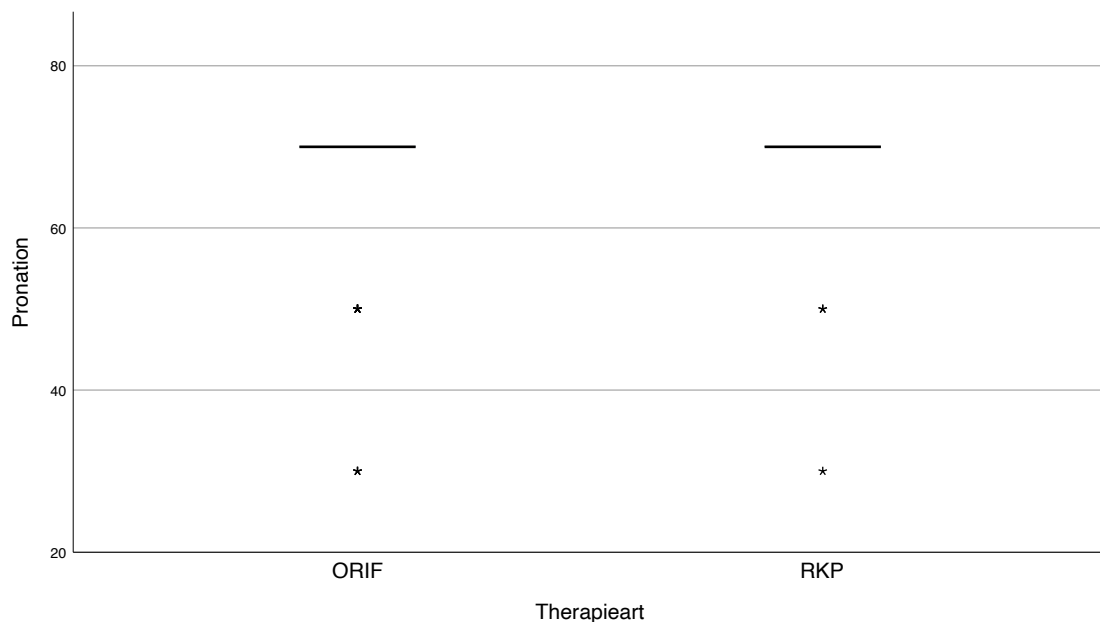


Abbildung 15: ROM Pronation Gruppenvergleich.

ORIF: Median $70 \pm 11,20$ (30-70), RKP: Median $70 \pm 9,82$ (30-70) N=74. Maximal erreichbare Pronation im verwendeten Fragebogen bis 70°.

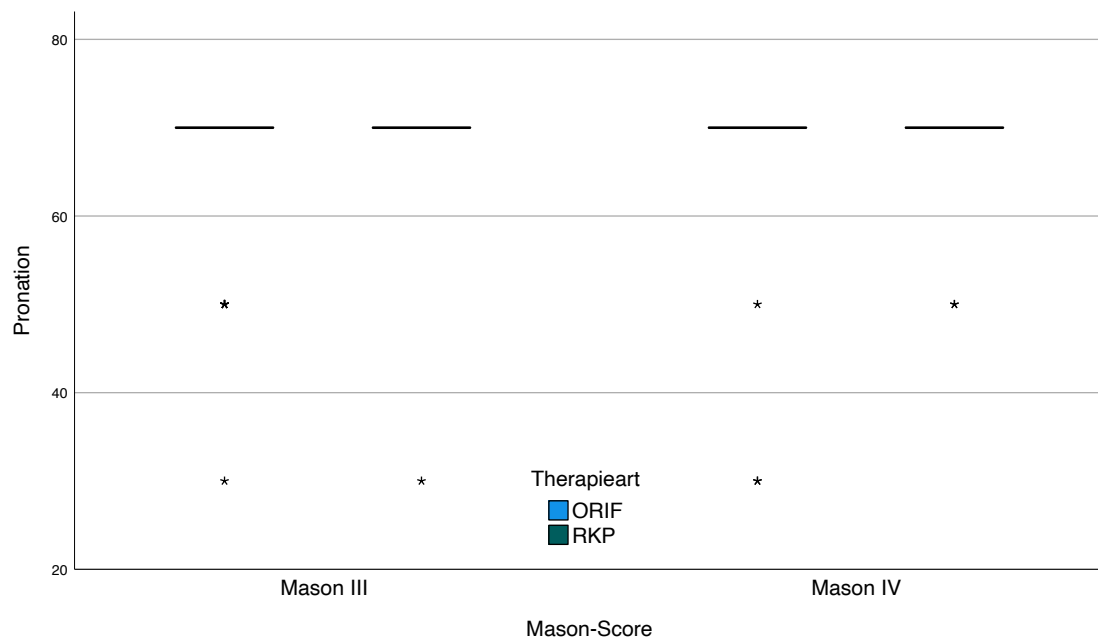


Abbildung 16: ROM Pronation Untergruppenvergleich.

Mason-Johnston Grad III: ORIF: Median $70 \pm 10,16$ (30-70), RKP: Median $70 \pm 14,14$ (30-70), $p=0,778$, $N=40$. **Mason-Johnston Grad IV:** ORIF: Median $70 \pm 13,07$ (30-70), RKP: Median $70 \pm 7,04$ (50-70), $p=0,864$, $N=34$. Maximal erreichbare Pronation im verwendeten Fragebogen bis 70° .

3.5.1.4 Supination

Die Umwendbewegung der Hand mit der Handfläche nach oben erfolgt bis maximal 90° aus der Nullstellung heraus. Im Median konnten beide Therapiegruppen dieselbe Supination erreichen (Abbildung 17). Im Vergleich der Untergruppen ergab sich in der Supination sowohl bei Mason-Johnston III Frakturen als auch bei Mason-Johnston IV Frakturen keine signifikanten Unterschiede zwischen ORIF und RKP. Patienten mit Mason-Johnston IV Frakturen wiesen im Median eine um 20° reduzierte ROM auf (Abbildung 18).

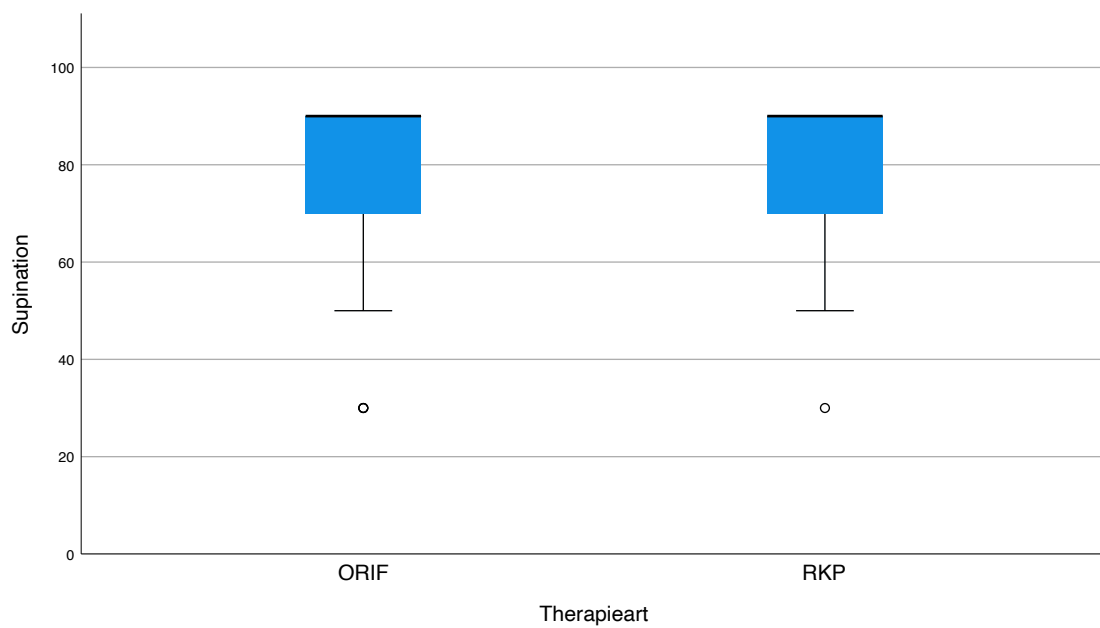


Abbildung 17: ROM Supination Gruppenvergleich.

ORIF: Median $90 \pm 17,81$ (30-90) RKP: Median $90 \pm 17,96$ (30-90), N=74.

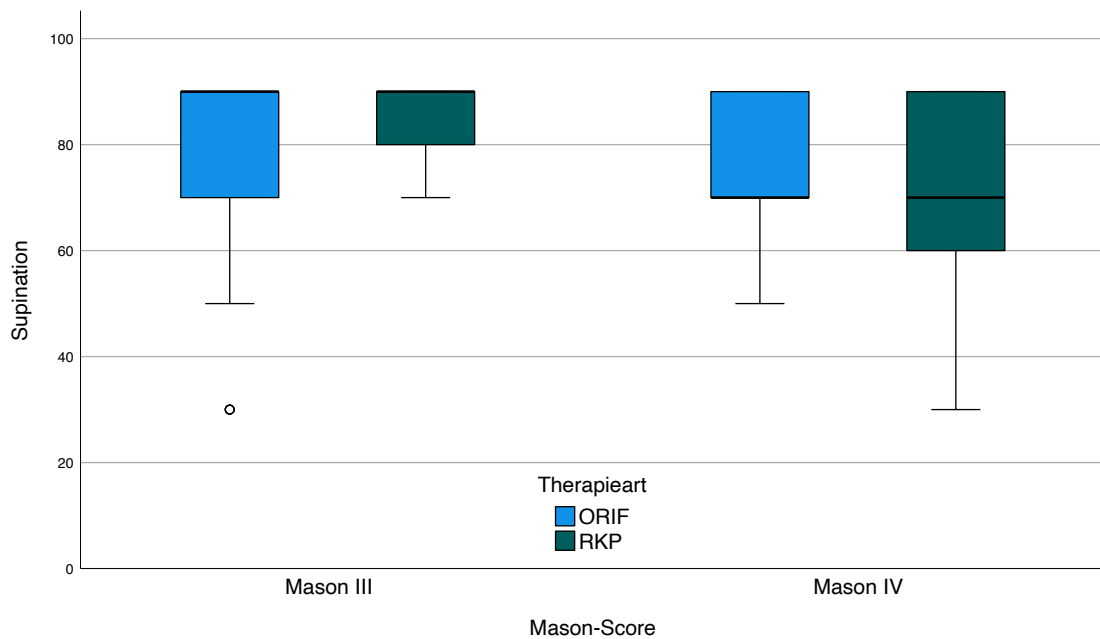


Abbildung 18: ROM Supination Untergruppenvergleich.

Mason-Johnston Grad III: ORIF: Median $90 \pm 19,50$ (30-90), RKP: Median $90 \pm 9,26$ (70-90), $p=0,517$, N=40. **Mason-Johnston Grad IV:** ORIF: Median $70 \pm 14,99$ (50-90), RKP: Median $70 \pm 19,81$ (30-90), $p=0,732$, N=34.

3.5.2 Klinische Bewertungssysteme

In den **MEPS** fließen neben einer Selbsterhebung der Patienten auch Untersuchungsergebnisse ein. Entsprechend wurden die folgenden Daten anhand der 51 zur Untersuchung anwesenden Patienten erhoben. Nach einer Therapie durch ORIF konnte im Median ein signifikanter, um 25 Punkte höherer Wert des MEPS als nach einer Therapie durch RKP erfasst werden ($p < 0,001$) (Abbildung 19).

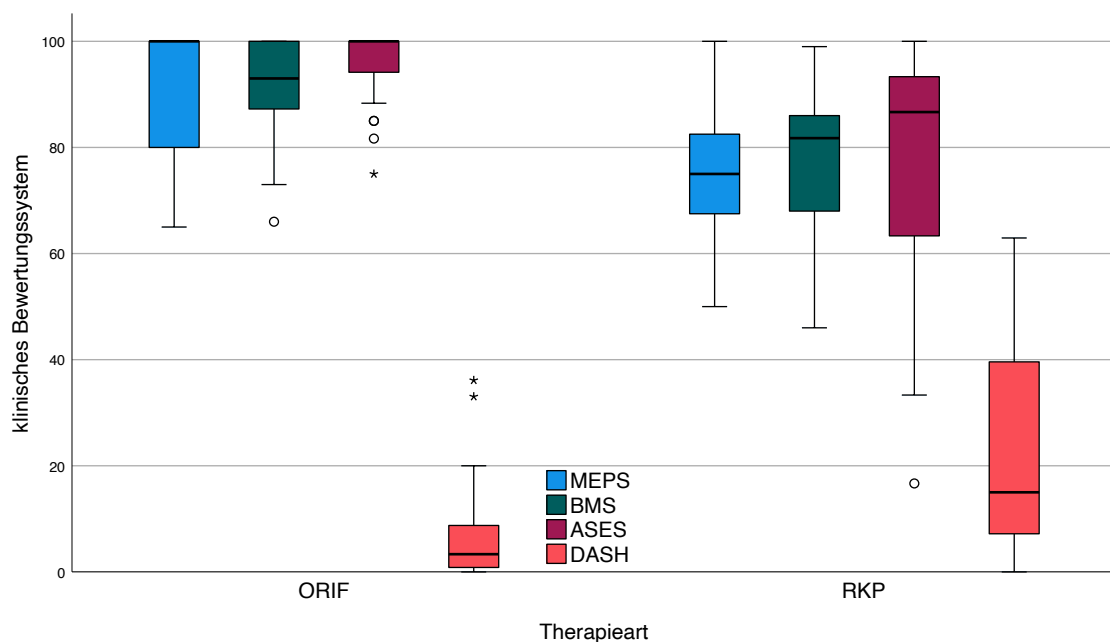


Abbildung 19: klinische Bewertungssysteme.

MEPS: ORIF (N=31): Median $100 \pm 12,74$ (65-100), RKP (N=20): Median $75 \pm 14,13$ (50-100), $p < 0,001$, N=51. **BMS:** ORIF (N=31): Median $93 \pm 10,18$ (66-100), RKP (N=20): Median $82 \pm 15,72$ (46-99), $p < 0,001$, N=51. **ASES:** ORIF (N=52): Median $97 \pm 11,23$ (43-100), RKP (N=23): Median $87 \pm 23,08$ (17-100), $p = 0,002$, N=75. **DASH:** ORIF (N=52): Median $4 \pm 14,09$ (0-64), RKP (N=23): Median $11 \pm 19,34$ (0-63), $p = 0,015$, N=75.

Dieser Unterschied stellte sich auch in der Betrachtung der Untergruppen dar. Bei Mason-Johnston Grad III zeigte sich im Median ein um 10 Punkte höherer Wert nach ORIF als nach RKP ($p = 0,036$). In der Gruppe der Mason-Johnston Frakturen Grad IV konnte ein um 25 Punkte höherer Median nach ORIF als nach RKP erhoben werden ($p = 0,002$) (Abbildung 20).

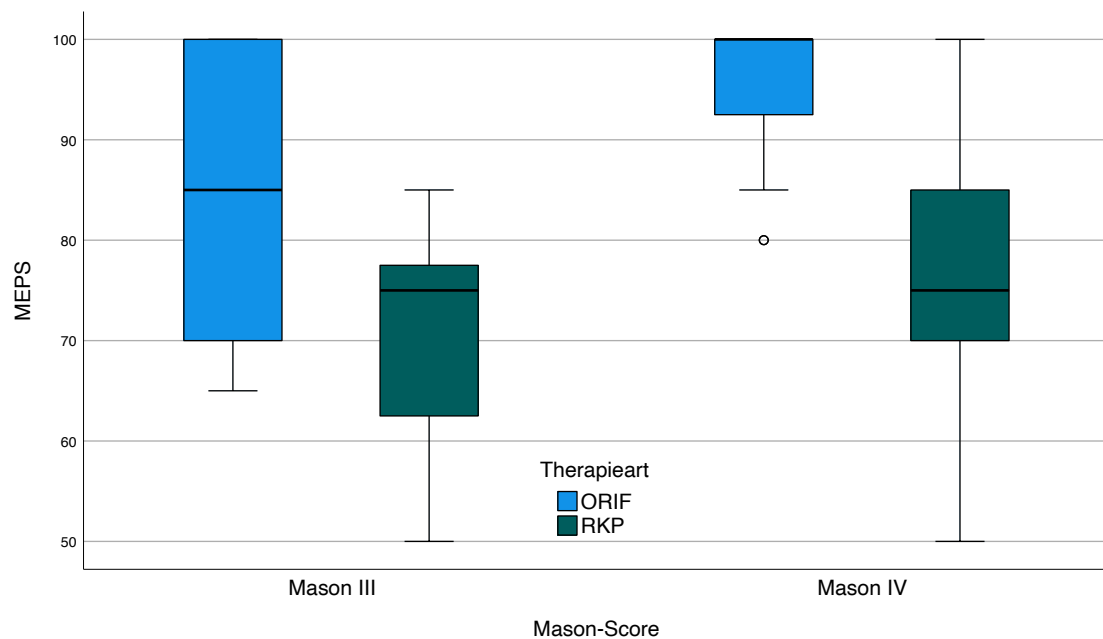


Abbildung 20: MEPS Untergruppenvergleich.

Mason-Johnston Grad III: ORIF: Median $85 \pm 13,60$ (65-100), RKP: Median $75 \pm 12,91$ (50-85), $p=0,036$, $N=27$. **Mason-Johnston Grad IV:** ORIF: Median $100 \pm 8,66$ (80-100), RKP: Median $75 \pm 14,84$ (50-100), $p=0,002$, $N=24$.

Da das **BMS** die Messung der Handkraft an beiden oberen Extremitäten einbezieht, wurden die angegebenen Daten ebenfalls anhand der 51 zur Untersuchung anwesenden Patienten erhoben. In Abbildung 19 ist dargestellt, dass in der ORIF-Gruppe ein im Median elf Punkte höherer Wert des BMS als in der RKP-Gruppe erreicht wurde. Dementsprechend wurde mit ORIF ein signifikant besseres funktionelles Ergebnis erzielt ($p<0,001$). Nach Therapie durch ORIF konnte somit bei 80,6% der Patienten ein gutes oder exzellentes Ergebnis beschrieben werden. Nach Therapie durch RKP wurde bei 55% der Patienten ein gutes oder exzellentes Ergebnis festgestellt (Tabelle 4). Der Unterschied konnte auch im Vergleich der einzelnen Schweregrade der Fraktur festgestellt werden. Bei Mason-Johnston Grad III Frakturen zeigte sich im Median ein um 12 Punkte höherer Wert im BMS nach ORIF als nach RKP ($p=0,016$). In der Gruppe der Mason-Johnston Frakturen Grad IV konnte ein um 15 Punkte höherer Median nach ORIF im Vergleich zu RKP festgestellt werden ($p<0,001$) (Abbildung 21).

Tabelle 4: BMS Gruppenvergleich in Kategorien.

BMS Gruppe	ORIF	RKP	Gesamt
exzellent	15 (29,4%)	1 (2%)	16 (31,4%)
gut	10 (19,6%)	10 (19,6%)	20 (39,2%)
mäßig	6 (11,8%)	5 (9,8%)	11 (21,6%)
schlecht	0 (0%)	4 (7,8%)	4 (7,8%)

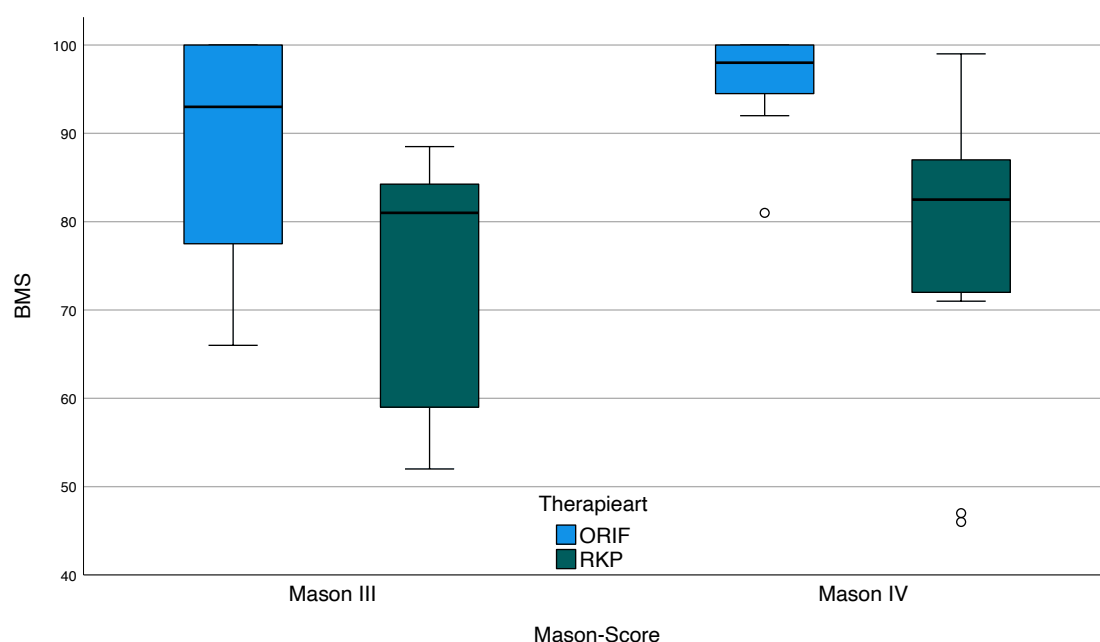


Abbildung 21: BMS Untergruppenvergleich.

Mason-Johnston Grad III: ORIF: Median $93 \pm 11,27$ (66-100), RKP: Median $81 \pm 15,61$ (52-89), $p=0,016$, $N=27$. **Mason-Johnston Grad IV:** ORIF: Median $98 \pm 5,78$ (81-100), RKP: Median $83 \pm 16,10$ (46-99), $p<0,001$, $N=24$.

Der **ASES** ist ein Fragebogen, der eigenständig vom Patienten bearbeitet wird. Somit konnte das Ergebnis vom gesamten Studienkollektiv ausgewertet werden. In der Auswertung des ASES zeigte sich, dass ein statistisch signifikant höherer Punktwert ($p=0,002$) in der ORIF-Gruppe im Vergleich zu Patienten mit einer RKP erreicht wurde. Der im Median zehn Punkte höhere Wert beschreibt ein funktionell besseres Ergebnis nach der Frakturversorgung durch ORIF (Abbildung 19). Auch hier zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede bei der Betrachtung der Untergruppen. Nach ORIF zeigte sich bei Mason-Johnston Frakturen Grad III im Median ein um 23 Punkte höherer ASES als nach RKP

($p=0,027$). Auch bei Mason-Johnston Frakturen Grad IV konnte nach ORIF ein um 7 Punkte höherer Median als nach RKP festgestellt werden ($p=0,008$) (Abbildung 22).

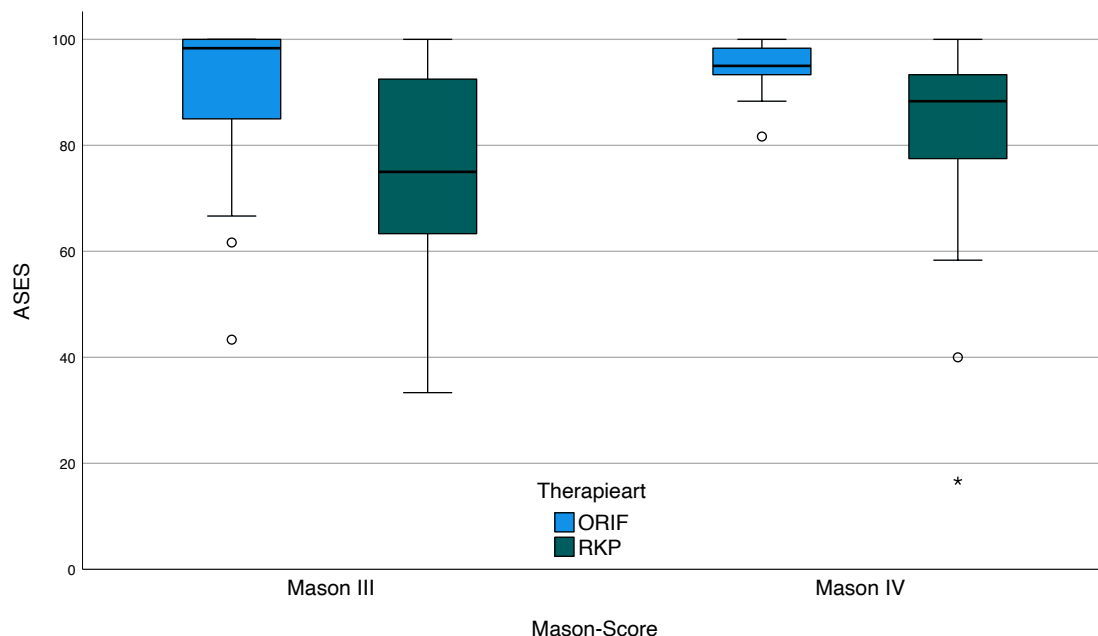


Abbildung 22: ASES Untergruppenvergleich.

Mason-Johnston Grad III: ORIF: Median $98 \pm 13,46$ (43-100), RKP: Median $75 \pm 22,20$ (33-100), $p=0,027$, $N=41$. **Mason-Johnston Grad IV:** ORIF: Median $95 \pm 4,76$ (82-100), RKP: Median $88 \pm 24,07$ (17-100), $p=0,008$, $N=34$.

Im **DASH** wird die Funktionalität der oberen Extremität durch den Patienten selbst erhoben und konnte von der gesamten Studiengruppe ermittelt werden. Auf der Skala von null bis 100 bedeutet ein niedriger Wert ein zufriedenstellendes klinisches Ergebnis. Im Median konnte nach der Therapie durch RKP ein um sieben Punkte schlechteres Ergebnis als nach der Therapie durch ORIF ermittelt werden. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ($p=0,015$) und in Abbildung 19 dargestellt. Bei Betrachtung der Untergruppen zeigte sich bei Mason-Johnston Frakturen Grad III ein im Median um 17 Punkte niedrigerer Wert nach ORIF als nach RKP, der jedoch keine statistische Signifikanz aufwies ($p=0,155$). Statistisch signifikant stellte sich der im Median um 7 Punkte geringere Wert nach ORIF als nach RKP bei Mason-Johnston Frakturen Grad IV dar ($p=0,025$) (Abbildung 23).

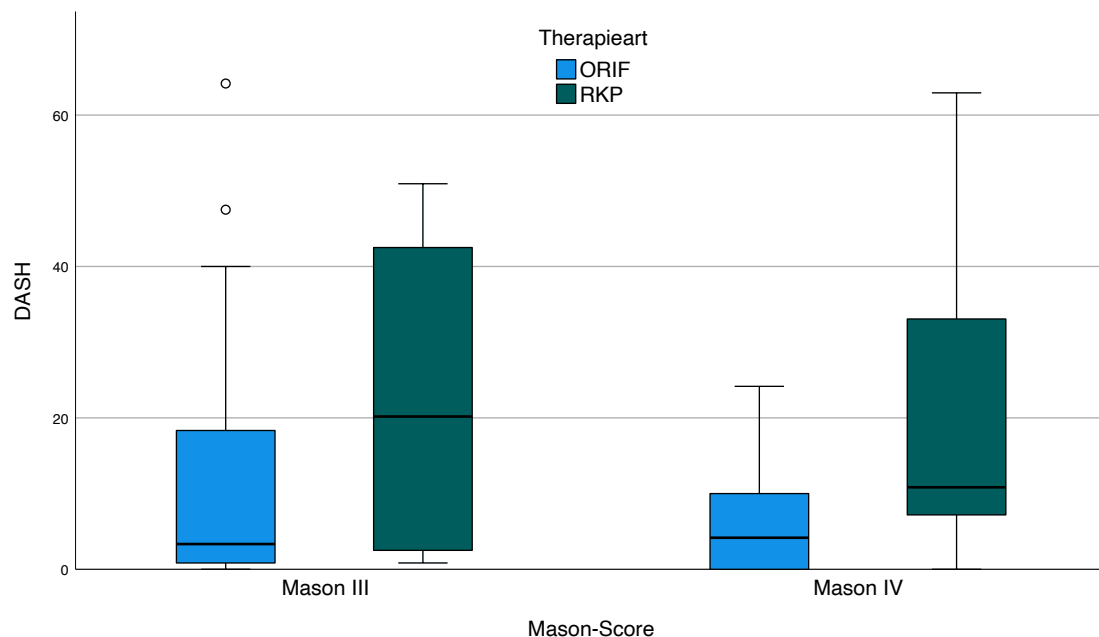


Abbildung 23: DASH Untergruppenvergleich.

Mason-Johnston Grad III: ORIF: Median $3 \pm 16,64$ (0-64), RKP: Median $20 \pm 21,20$ (1-51), $p=0,155$, $N=41$. **Mason-Johnston Grad IV:** ORIF: Median $4 \pm 6,85$ (0-24), RKP: Median $11 \pm 18,96$ (0-63), $p=0,025$, $N=34$.

Der **SF36** ist ein international verwendetes Werkzeug zur Beurteilung der Lebensqualität und wurde in viele verschiedene Sprachen übersetzt. Durch die Unterteilung in zwei Skalen kann einerseits die Lebensqualität in Hinsicht auf die mentale Verfassung (PSK) beurteilt werden. Andererseits wird die körperliche Verfassung (KSK) durch den Fragebogen erfasst. In der Bewertung der Lebensqualität in psychischer Hinsicht wurde im Median nach Frakturversorgung durch ORIF ein um zwölf Punkte besserer Punktwert als bei der Frakturversorgung durch RKP erfasst (Abbildung 24). Es konnte demnach festgestellt werden, dass der psychische Gesundheitszustand der Patienten nach der Behandlung durch ORIF signifikant ($p=0,005$) besser war als nach der Behandlung durch RKP. Auch die Bewertung des körperlichen Gesundheitsstatus zeigte einen signifikanten Unterschied ($p=0,023$) im Vergleich der beiden Behandlungsmöglichkeiten. So wurde bei Behandlung durch ORIF im Median ein Punktwert von 53 im Median erfasst, im Gegensatz zu 40 Punkten im Median nach Behandlung durch RKP (Abbildung 24).

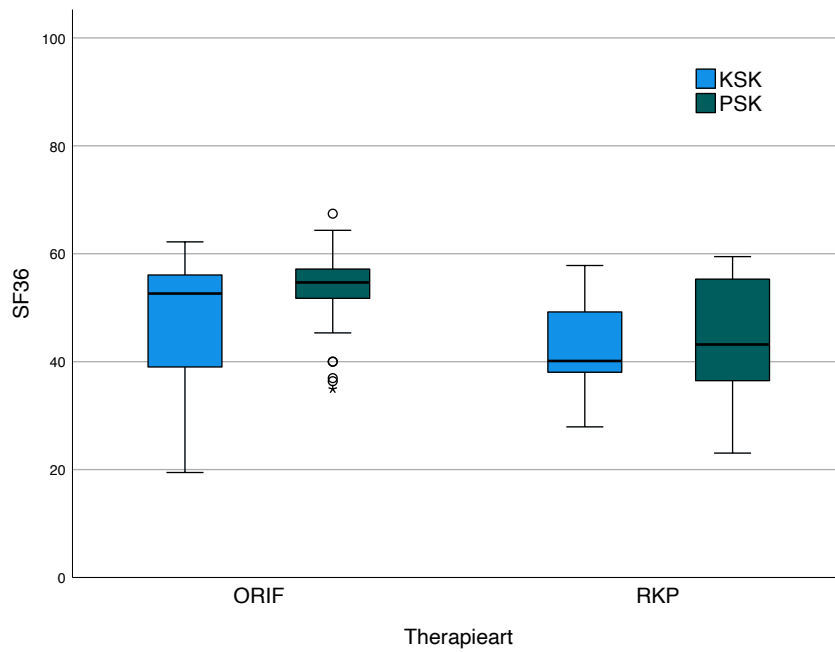


Abbildung 24: SF36 Gruppenvergleich.

KSK: ORIF (N=50): Median $53 \pm 11,37$ (19-62), RKP (N=21): Median $40 \pm 7,47$ (28-58). $p=0,023$, N=71. **PSK:** ORIF (N=50): Median $55 \pm 6,86$ (35-67), RKP (N=21): Median $43 \pm 11,39$ (23-59), $p=0,005$, N=71.

4 Diskussion

Angesichts der Tatsache, dass Radiuskopffrakturen mehr als ein Drittel aller traumatischen Ellenbogenverletzungen ausmachen und deren Inzidenz in Deutschland gestiegen ist, ist die optimale Therapiestrategie der schweren Radiuskopffrakturen (Mason-Johnston III und IV) weiterhin Gegenstand kontroverser Diskussionen in der Fachliteratur (Al-Tawil & Arya, 2021; Calfee et al., 2006; Chaijenkij et al., 2021; Johnston, 1962; Khawar et al., 2020; Mason, 1954; Rupp et al., 2021; Swensen et al., 2019). Entsprechend ist das Ziel der vorliegenden Studie, das klinische Ergebnis nach Behandlung schwerer Radiuskopffrakturen durch eine ORIF oder eine RKP zu evaluieren und zu vergleichen.

Hierfür konnten 75 Patienten (45,3% Frauen) mit einem durchschnittlichen Alter von 51,2 (20-82) Jahren in die Studie eingeschlossen werden. Es wurde die klinische Funktion mit ROM und Funktionsbewertungen erhoben. Aufgrund der heterogenen Verwendung von Bewertungssystemen in der aktuellen Literatur und zur besseren Vergleichbarkeit wurden verschiedene Bewertungssysteme gleichzeitig erhoben.

Für Patienten, die mit einer ORIF therapiert wurden, zeigte sich ein besseres klinisches Ergebnis als für Patienten, welche eine RKP erhielten. So zeigte sich bei der ORIF-Gruppe eine bessere Beweglichkeit (Flexion 140° vs. 130°, Extensionsdefizit 10° vs. 30°, Pronation und Supination ohne Unterschied). Dass die Bewegungseinschränkung auch Auswirkungen auf die funktionellen Eigenschaften des Ellenbogens hat, zeigen die signifikanten Unterschiede in den Funktionsscores von ORIF und RKP (MEPS 100 vs. 75, BMS 93 vs. 82, ASES 97 vs. 87, DASH 4 vs. 11).

4.1 Diskussion der Methoden

Insgesamt konnten 75 Patienten in unsere Studie eingeschlossen und untersucht werden. Bei Betrachtung der Größe der **Patientenpopulation** in der aktuellen Literatur zeigt sich, dass die vorliegende Arbeit im oberen Bereich liegt, verglichen mit Arbeiten ähnlicher Fragestellung. Einige Studien berichten über kleinere Fallzahlen von 22 bis 45 Patienten (Al-Burdeni et al., 2015; Chen et al.,

2011; Ruan et al., 2009; Schnetzke et al., 2014; Wu et al., 2016), andere weisen mit 63, 72 und 76 Patienten ähnliche Patientenzahlen auf (Burke et al., 2024; Liu et al., 2015; Pogliacomi et al., 2015).

Die durchschnittliche **Nachbeobachtungszeit** dieser Studie betrug 39 (7-80) Monate und liegt damit im oberen Bereich der aktuellen Literatur. Nur wenige Studien konnten eine ähnliche oder höhere Nachbeobachtungszeit nachweisen (Gokaraju et al., 2020; Pogliacomi et al., 2015; Schnetzke et al., 2014). Viele Untersuchungen endeten nach einer wesentlich kürzeren Nachbeobachtungszeit von mitunter nur zwölf Monaten. In diesem Zusammenhang wurde von vielen Autoren darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse unter Berücksichtigung dieser kürzeren Nachbeobachtungszeit zu betrachten und zu beurteilen sind. Dies zeigt den Bedarf an längerfristigen Studien (Al-Burdeni et al., 2015; Liu et al., 2015; Ruan et al., 2009; Ryu et al., 2018; Watters et al., 2014). Mit einer aktuellen Studie aus dem Jahr 2024 wollten Burke et al. die Unterrepräsentation von Langzeituntersuchungen ausgleichen und lagen mit 7,5 Jahren durchschnittlicher Zeit zwischen Operation und Ergebnisfeststellung weit über dem Durchschnitt (Burke et al., 2024).

Der **Altersdurchschnitt** der untersuchten Patienten in der vorliegenden Studie betrug 51,2 (20-82) Jahre. Damit fügt sich diese Forschungsarbeit in die bereits vorhandene Literatur ein und bildet eine heterogene Altersstruktur ab. Die Mehrzahl der vergleichenden Studien untersuchte ein Studienkollektiv mit einem Durchschnittsalter am Ende der fünften oder zu Beginn der sechsten Lebensdekade (Burke et al., 2024; Gokaraju et al., 2020; Pogliacomi et al., 2015; Ryu et al., 2018; Schnetzke et al., 2014; Watters et al., 2014; Wu et al., 2016). Eine deutlich ältere Studiengruppe (Durchschnittsalter 67,1 Jahre) wurde von Liu et al. untersucht, wobei das hohe Patientenalter nicht durch etwaige Einschlusskriterien forciert wurde, sondern zufällig zustande kam (Liu et al., 2015). Ebenso unbeabsichtigt wurden deutlich jüngere Patientenpopulationen (Durchschnittsalter 34,1 bis 40,1 Jahre) untersucht (Al-Burdeni et al., 2015; Chen et al., 2011; Ruan et al., 2009).

Das **Studiendesign** zur Ermittlung einer optimalen Behandlungsmöglichkeit für die Versorgung von schweren Radiuskopffrakturen, wie es in der aktuellen Literatur zu finden ist, zeigt sich sehr homogen. Fast alle Daten wurden in retrospektiven Studien erhoben oder durch Metaanalysen mehrerer Studien ausgewertet (Al-Burdeni et al., 2015; Burke et al., 2024; Chaijenkij et al., 2021; Gokaraju et al., 2020; Khawar et al., 2020; Liu et al., 2015; Pogliacomi et al., 2015; Ryu et al., 2018; Schnetzke et al., 2014; Swensen et al., 2019; Watters et al., 2014; Wu et al., 2016). Das klinische Ergebnis nach der Behandlung von schweren Radiuskopffrakturen wurde bisher nur selten anhand von randomisierten prospektiven Studien untersucht (Chen et al., 2011; Ruan et al., 2009). Schlussendlich lässt diese geringe Anzahl an randomisierten Studien mit kleinen Probandenzahlen keine endgültige Aussage über die Überlegenheit einer Behandlungsoption zu (Meacher et al., 2020). Nichtsdestotrotz bilden die retrospektiven Studien eine Grundlage für die Durchführung von randomisierten, prospektiven Studien, die auf den Ergebnissen aufbauen.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

In der aktuellen Literatur wird noch immer kontrovers diskutiert, welche Behandlungsoption bei schweren Radiuskopffrakturen das beste klinische Ergebnis erzielt.

Zum Einen gibt es Studien, die bessere Ergebnisse bei der Versorgung von Radiuskopffrakturen durch eine RKP feststellten. Diesbezüglich wurde 2009 von Ruan et al. gezeigt, dass die Behandlung mit einer RKP ein um 70% klinisch funktionell besseres Ergebnis hervorbrachte als die Behandlung durch eine ORIF. Im Gegensatz zu unserer Studie, in der sowohl Mason-Johnston III als auch Mason-Johnston IV Frakturen eingeschlossen wurden, berücksichtigte Ruan et al. lediglich Patienten mit einer Mason-Johnston III Fraktur. Bei der sehr kleinen Patientenpopulation mit insgesamt nur 22 Patienten, davon 14 mit einer Versorgung durch RKP und acht mit einer Versorgung durch ORIF, wurde die klinische Funktion mittels BMS erhoben. Als zufriedenstellend wurde das Ergebnis gewertet, wenn die Punktzahl des BMS im Bereich „exzellent“ oder „gut“ lag. Dieses zufriedenstellende Ergebnis konnte bei 92,9% der Patienten in der

RKP-Gruppe ermittelt werden. Durch die Behandlung mit ORIF konnte bei nur 12,5% der Patienten ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden. Der Unterschied dieser Werte wurde von Ruan et al. als statistisch signifikant beschrieben (Ruan et al., 2009). In unserer Studie zeigte sich ein gegensätzliches Ergebnis mit einem zufriedenstellenden Ergebnis von 55% in der RKP-Gruppe und 80,6% in der ORIF-Gruppe ($p < 0,001$). Es ist zu erwähnen, dass durch den Aufbau und Inhalt des BMS in unserer Studie lediglich die Ergebnisse von 51 anwesenden Patienten untersucht werden konnten. Gleichwohl wurde der Unterschied zwischen den Gruppen jedoch auch in den anderen klinischen Funktionsscores mit einer Patientenzahl von 75 widerspiegelt. Auch bei isolierter Betrachtung von Mason-Johnston Grad III Frakturen erwies sich die Therapie durch ORIF der Versorgung durch RKP überlegen. Der BMS wies einen um zwölf Punkte höheren Wert nach ORIF als nach RKP auf ($p = 0,016$). Dies konnte auch durch andere klinische Bewertungssysteme bestätigt werden (MEPS nach ORIF im Median zehn Punkte höher, $p = 0,036$; ASES nach ORIF im Median 23 Punkte höher, $p = 0,027$). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stehen somit im Widerspruch zu den Ergebnissen von Ruan et al., die eine Überlegenheit der RKP konstatieren. Es ist davon auszugehen, dass diese unterschiedlichen Ergebnisse vor allem auf die kleinere Patientenpopulation und die wesentlich kürzere Nachbeobachtungszeit (durchschnittlich 14 bis 15,9 Monate) bei Ruan et al. und im Vergleich zu 39 Monaten in der vorliegenden Studie zurückzuführen sind. Außerdem vermuteten Ruan et al., dass die schlechteren Ergebnisse in der ORIF-Gruppe in vier Fällen auf eine gestörte Knochenheilung und in zwei Fällen auf eine Kirschnerdraht-Migration zurückzuführen sein könnten (Ruan et al., 2009). Die Tatsache, dass Ruan et al. die Studie randomisiert und nicht retrospektiv durchführen konnten, stellt letztendlich einen methodischen Vorteil gegenüber anderen Studien dar. So kann eine mögliche Fehleinschätzung des behandelnden Chirurgen zur Frakturschwere und Operabilität eliminiert werden. In unserer Studie wurden zusätzlich Patienten mit einer Ellenbogenluxation (Mason-Johnston IV) eingeschlossen. Dahingehend zeigten die Ergebnisse einen höheren Anteil der Verwendung einer RKP bei Verletzungen vom Grad

Mason-Johnston IV im Vergleich zu Mason-Johnston III. Letztendlich könnte in unserer Studie auch das schlechtere klinische Ergebnis von Patienten mit einer RKP im Vergleich zur ORIF dadurch bedingt sein, dass der Mechanismus der Luxation bei Mason-Johnston IV ein schwereres Trauma am Ellenbogen und somit eine schlechtere Ausgangslage für die Heilung hervorruft.

Auch Chen et al. führten 2011 eine randomisierte Vergleichsstudie mit 45 Patienten durch, davon waren 22 in der RKP- und 23 in der ORIF-Gruppe. Zwei Jahre postoperativ erreichten 91% der RKP-Patienten und 65,2% der ORIF-Patienten ein signifikant zufriedenstellendes Ergebnis („exzellente“ oder „gute“ BMS-Punktzahl, $p < 0,01$). Der Unterschied der durchschnittlichen BMS-Punktzahl (RKP: 92,1 Punkte und ORIF: 72,4 Punkte) zeigte sich hingegen als nicht signifikant (Chen et al., 2011). Bei Betrachtung des BMS ist die Studie von Chen et al. in Bezug auf die Probandenanzahl mit unserer Studie vergleichbar, obwohl die Nachbeobachtungszeit um einiges kürzer war. Der mediane Unterschied des BMS der zwei Gruppen unserer Studie (RKP: 93 Punkte und ORIF: 82 Punkte) zeigte eine statistische Signifikanz ($p < 0,001$), obwohl beide Werte als ein „gutes Ergebnis“ eingestuft werden konnten. Chen et al. schlossen ebenso wie wir Patienten mit ulnaren Begleitverletzungen und Verletzungen am Bänderapparat des RK in die Studie ein. Ausgeschlossen wurden jedoch Patienten mit einer schweren Trümmerfraktur des RK, die hingegen in unserer Studie betrachtet wurden. Da Trümmerfrakturen ein hohes Risiko für ein schlechteres klinisches Ergebnis mit sich bringen, könnte dies einen Unterschied erklären (Duckworth et al., 2011). Ebenso wurden bei Chen et al. nur Patienten mit einer als Mason-Johnston III klassifizierten Radiuskopffraktur eingeschlossen. Im Gegensatz dazu umfasste unsere Studie sowohl Mason-Johnston III als auch Mason-Johnston IV Frakturen (Chen et al., 2011). Betrachtet man in der vorliegenden Studie nur die Untergruppe der Mason-Johnston III Frakturen, verringert sich die Zahl der zu vergleichenden Patienten ($N=27$). Die Aussage bleibt jedoch unverändert, da auch in der Untergruppe Patienten nach ORIF im Median mit 93 Punkten einen höheren Wert im BMS als nach RKP im Median mit 81 Punkten aufwiesen ($p=0,016$). Die genannten Faktoren stellen mögliche Gründe für die Unterschiede in den Ergebnissen der beiden Studien dar.

Liu et al. schlussfolgerten 2015 in ihrer Studie, dass bei älteren Patienten die Behandlung mittels RKP bei schweren Radiuskopffrakturen die überlegene Behandlungsmethode sei. In die Studie wurden 71 ältere Patienten mit einer Radiuskopffraktur Typ Mason-Johnston III im Alter von 62-81 Jahren eingeschlossen. Der Altersdurchschnitt lag bei 67,1 Jahren und im Vergleich zu unserer Studie konnten Liu et al. ein größeres und von der Altersstruktur homogeneres sowie älteres Patientenkollektiv untersuchen. Der Unterschied im durchschnittlichen BMS von 93,2 Punkten (RKP) und 81,3 Punkten (ORIF) war mit $p=0,0079$ statistisch signifikant (Liu et al., 2015). Auch hier wurden im Gegensatz zu unserer Studie nur Patienten mit einer Mason-Johnston III klassifizierten Fraktur untersucht. In der vorliegenden Analyse zeigte sich in der Untergruppenanalyse jedoch trotz der dadurch reduzierten Gruppengröße ein signifikanter Unterschied des BMS zugunsten der ORIF ($p=0,016$). Ein Ausschlusskriterium der untersuchten Patienten bei Liu et al. war unter anderem ein stark zertrümmerter RK, während diese Patienten in unsere Studie eingeschlossen wurden. Die Autoren selbst beschreiben die kurze Nachbeobachtungszeit von durchschnittlich 12,7 Monaten als starke Limitation ihrer eigenen Studie. Die Empfehlung für die Verwendung der RKP trifft dementsprechend nur für das kurzzeitige klinische Ergebnis zu (Liu et al., 2015).

Von Al-Burdeni et al. konnte gezeigt werden, dass eine Operation und Therapie mit RKP signifikant weniger zeitaufwendig war als eine Operation und Therapie mit ORIF. Im Mittel dauerte eine ORIF-Operation 32,4 Minuten länger als eine RKP-Operation (Al-Burdeni et al., 2015). In der Studie von Reinhardt et al. war eine Behandlung durch RKP außerdem weniger kostenintensiv als eine Behandlung durch ORIF (Reinhardt et al., 2021). Zusätzlich ist es wichtig, die durchschnittliche Haltbarkeit eines künstlichen Gelenkersatzes zu betrachten. Leider gibt es in der aktuellen Literatur kaum eine Aussage zur langfristigen Haltbarkeit einer RKP. Selbst bei schon lang in der Chirurgie benutzten Hüftprothesen wird eine Aussage zur Haltbarkeit nur zurückhaltend vorgenommen. Eine durchschnittliche Haltbarkeit von Hüftprothesen wird in 75% der Fälle mit 15 bis 20 Jahren angegeben (Evans et al., 2019; Schmitt-Sody et al., 2011). Die durchschnittliche Lebenserwartung im Alter von 65 Jahren betrug

in Deutschland laut statistischem Bundesamt im Jahr 2023 für Männer 17,6 Jahre und für Frauen 20,9 Jahre (Statistisches Bundesamt, 2023). Zu beachten ist in diesem Zuge auch das hohe Alter der von Liu et al. untersuchten Patienten und sollte bei der Auswahl einer Therapie stets in die Entscheidung des behandelnden Chirurgen einbezogen werden. Bei Patienten höheren Alters scheint die Implantation einer RKP vertretbar, da die verbleibende Lebenserwartung oftmals unter der zu erwartenden Prothesenhaltbarkeit liegt. Dies relativiert die fehlenden Langzeitergebnisse zur RKP in dieser Patientengruppe. Unter Berücksichtigung des Patientenalters, der Prothesenhaltbarkeit und ökonomischer Aspekte ist die Aussage berechtigt, dass bei älteren Patienten mit schweren Radiuskopffrakturen die RKP als Therapie der Wahl gilt (Liu et al., 2015).

In der Literatur finden sich im Hinblick auf die Behandlung schwerer Radiuskopffrakturen nicht nur Studien, die nach einer Versorgung mittels RKP von besseren klinischen Ergebnissen berichten. Ryu et al. untersuchten 42 Patienten mit Mason-Johnston III und IV klassifizierten Radiuskopffrakturen. In dem Vergleich von RKP und ORIF konnte bei annähernd gleicher Gruppengröße kein Vorteil einer Behandlungsmethode gegenüber der anderen festgestellt werden. Das klinische Ergebnis wurde unter anderem mittels DASH erfasst. Für die RKP-Gruppe wurde ein durchschnittlicher Wert von 9,5 und für die ORIF-Gruppe ein Wert von 10,7 ermittelt. Der geringe Unterschied dieser Werte war nicht signifikant (Ryu et al., 2018). Es kann darauf verwiesen werden, dass der Wert in der RKP-Gruppe nahezu dem DASH-Wert unserer Studie entspricht. Dahingegen war der Wert in der ORIF-Gruppe wesentlich geringer und stellt damit ein klinisch besseres Ergebnis dar. Die Autoren konnten keine signifikanten Unterschiede im klinischen Ergebnis feststellen. In der ORIF-Gruppe ließ sich jedoch beobachten, dass ein geringes Alter der Patienten mit einem besseren klinischen Ergebnis assoziiert war (Ryu et al., 2018).

Auch Kusnezov et al. beschrieben ein gleichwertiges klinisches Ergebnis durch die Behandlung mit ORIF und RKP. In die Studie wurden retrospektiv 79 aktive Mitglieder des amerikanischen Militärs mit Mason-Johnston II, III und IV Radiuskopffrakturen eingeschlossen. Die Zahl der Probanden und die

durchschnittliche Nachbeobachtungszeit von 3,4 Jahren war mit unserer Studie annähernd vergleichbar. Das Durchschnittsalter des Studienkollektivs betrug 31 Jahre und war somit deutlich geringer als in unserer Studie. Dahingegen war der Männeranteil (87%) und der Anteil der ORIF-Gruppe (87%) höher als in unserer Studie. 90% der Probanden konnten nach der Behandlung wieder in den aktiven Dienst eintreten. Die Ellenbogenbeweglichkeit, die mit einer Messung der ROM erfasst wurde, wies keine signifikanten Unterschiede der untersuchten Gruppen auf. Das funktionelle Ergebnis, ermittelt mit DASH, stellte mit 13,2 Punkten in der RKP-Gruppe und mit 18,6 Punkten in der ORIF-Gruppe ebenfalls keinen signifikanten Unterschied dar (Kusnezov et al., 2018). In unserer Studie zeigten sich hingegen entgegengesetzte Resultate. Zudem erwies sich der Unterschied zwischen den beiden Gruppen als signifikant. Die Diskrepanz der Ergebnisse von Kusnezov et al. zu unserer Studie liegt am ehesten darin begründet, dass das Studienkollektiv wesentlich jünger war und auch Mason-Johnston II Frakturen in die Untersuchung eingeschlossen wurden. Obwohl Kusnezov et al. in ihrer Studie keiner Behandlungsmöglichkeit einen Vorteil zuschreiben, konnten sie zeigen, dass die RKP-Gruppe ein signifikant höheres Risiko für Implantatlockerungen aufwies. Außerdem traten in der RKP-Gruppe nahezu doppelt so viele Komplikationen auf wie in der ORIF-Gruppe (70% RKP und 48% ORIF). Dieser Unterschied verfehlte mit $p=0,073$ nur knapp das Signifikanzniveau. Die Ergebnisse der Studie von Kusnezov et al. lassen darauf schließen, dass zwar kein signifikanter Unterschied im klinisch funktionellen Ergebnis besteht, jedoch das Risiko einer Komplikation bei Behandlung mit einer RKP bei jungen Patienten höher ist als bei Behandlung mit einer ORIF. Kritisch ist bei dieser Aussage jedoch zu betrachten, dass neben schweren Radiuskopffrakturen auch Mason-Johnston II Frakturen in die Studie eingeschlossen wurden (Kusnezov et al., 2018).

Kurz- und mittelfristige Studien zum Vergleich des klinischen Ergebnisses nach Behandlung von schweren Radiuskopffrakturen sind in der aktuellen Literatur in geringer Zahl verfügbar, wobei sich die Ergebnisse sehr unterschiedlich darstellen. Alle Studien verweisen jedoch einheitlich auf die Notwendigkeit weiterführender Studien zum langfristigen klinischen Ergebnis. Dieser Aufgabe

haben sich Burke et al. angenommen und eine Langzeitstudie zum funktionellen Ergebnis nach Radiuskopffraktur durchgeführt. Mit einem durchschnittlichen Nachbeobachtungszeitraum von 7,5 Jahren stellt die Studie die längste Nachbeobachtungszeit in der aktuellen Literatur dar. Ähnlich wie in unserer Studie konnten 76 Patienten in die Untersuchung eingeschlossen werden. Auch die Gruppengröße (ORIF: 51 Patienten und RKP: 25 Patienten) und das Durchschnittsalter (50,2 Jahre) sind vergleichbar (Burke et al., 2024). Obwohl Burke et al. zur Erhebung des klinischen Ergebnisses den QuickDASH-Fragebogen verwendeten, der eine verkürzte Form des DASH darstellt, sind die Ergebnisse mit unserer Studie vergleichbar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass QuickDASH und DASH eine hohe Korrelation aufweisen (Niekel et al., 2009). Die Analyse der QuickDASH-Werte ergab keinen signifikanten Unterschied im funktionellen Ergebnis zwischen RKP und ORIF. Es zeigte sich jedoch eine ähnliche Tendenz mit besseren Ergebnissen zugunsten der ORIF, wie sie auch in unserer Studie zu beobachten war. Bei Patienten mit Mehrfragmentfraktur des RKs wurde in der ORIF-Gruppe ein QuickDASH-Wert von 18,7 und in der RKP-Gruppe ein Wert von 26,1 erreicht (Burke et al., 2024). Die DASH-Werte unserer Studie zeigten mit 14,09 in der ORIF-Gruppe und 19,34 in der RKP-Gruppe einen statistisch signifikanten Unterschied ($p=0,015$). Eine weitere Subgruppenanalyse von Burke et al. ergab, dass bei Patienten ab 55 Jahren ein signifikant besseres Ergebnis durch eine ORIF- als durch eine RKP-Behandlung erzielt werden konnte. Im Vergleich zu unserer Studie wurden in dieser Untersuchung Radiuskopffrakturen aller Schweregrade berücksichtigt. Diese Divergenz wird jedoch durch die Subgruppenanalyse des Patientenkollektivs von drei und mehr Frakturfragmenten und den Einschluss von TT und MLL relativiert, wodurch eine gewisse Vergleichbarkeit wiederhergestellt wird. Letztlich kommen auch hier die Autoren zu dem Schluss, dass bei ausgewählten Patienten auch bei schweren multifragmentierten Radiuskopffrakturen die Versorgung durch ORIF eine sinnvolle Behandlungsalternative darstellt (Burke et al., 2024).

Die präsentierte Studie weist gewisse **Limitationen** auf. Zunächst ist das Studiendesign als nicht-randomisiert und retrospektiv zu benennen. Dieses Design birgt gewisse Risiken für Auswahlverzerrungen, da die Entscheidung für

eine bestimmte Operationstechnik (ORIF oder RKP) von dem behandelnden Chirurgen getroffen wurde und nicht zufällig erfolgte. Hierbei spielt eine gewisse subjektive Einschätzung des behandelnden Chirurgen eine Rolle, insbesondere hinsichtlich der Frage, welche Frakturen noch rekonstruktionsfähig sind und welche eine prothetische Versorgung erfordern. Während randomisierte, prospektive Studien den höchsten Evidenzgrad liefern, sind diese im Bereich der chirurgischen Behandlung nur selten zu finden. Die praktische Umsetzung einer doppelblinden Operation, bei der weder der Patient noch der Chirurg die zugewiesene Therapie kennen, ist in der Chirurgie, insbesondere bei der Versorgung von Frakturen, kaum realisierbar. Die geringe Anzahl an randomisierten Studien mit kleinen Probandenzahlen in der Literatur spiegelt diese Schwierigkeit wider und erlaubt bislang keine endgültige Aussage über die Überlegenheit einer Behandlungsoption. Die vorliegende retrospektive Studie zeigt jedoch Hinweise, dass auch bei schweren Frakturen ein Rekonstruktionsversuch ein probates Mittel mit guten Ergebnissen ist. Randomisierte, longitudinale Studien würden die Evidenz jedoch deutlich steigern. Der Altersunterschied zwischen der ORIF- und der RKP-Gruppe könnte als potenzieller Confounder gewertet werden, der die besseren Ergebnisse nach einer Versorgung durch ORIF verzerrt. Die Patienten der RKP-Gruppe waren im Durchschnitt sechs Jahre älter als jene der ORIF-Gruppe. Ein höheres Lebensalter ist häufig mit geringerer körperlicher Leistungsfähigkeit, höherer Komorbiditätslast und eingeschränktem Rehabilitationserfolg assoziiert (den Ouden et al., 2011). Eine weitere Limitation betrifft die Größe der Patientenpopulation. Unsere Studie liegt mit 75 Patienten im Vergleich zu anderen Arbeiten in der Literatur, die Fallzahlen von 22 bis 45 Patienten aufweisen, im oberen Bereich. Dennoch ist diese Kohorte für seltene Komplikationen oder sehr spezifische Subgruppenanalysen möglicherweise nicht ausreichend, um statistisch robuste Aussagen zu treffen (Al-Burdeni et al., 2015; Chen et al., 2011; Ruan et al., 2009; Schnetzke et al., 2016; Wu et al., 2016). Die Komplexität der behandelten Mason-Johnston III und IV Frakturen erfordert größere Kohorten, um feinere Unterschiede signifikant erfassen zu können. Dieses Problem könnte in Zukunft mit multizentrischen Studien

adressiert werden. Die Länge des Nachuntersuchungszeitraums betrug in der vorliegenden Studie durchschnittlich 39,6 Monate, was knapp über drei Jahren entspricht. Dies positioniert die Studie im mittelfristigen Segment der Nachbeobachtung. Obwohl dieser Zeitraum im Vergleich zu anderen Studien, die oft nach nur 12 Monaten enden (Al-Burdeni et al., 2015; Liu et al., 2015; Ruan et al., 2009; Ryu et al., 2018; Watters et al., 2014), im oberen Bereich liegt und den Bedarf an längerfristigen Studien adressiert, ist er für die Beurteilung der langfristigen Ergebnisse und des Verlaufs von Gelenkersatz wie RKP noch unzureichend. Langfristige Daten, wie sie beispielsweise von Burke et al. mit durchschnittlich 7,5 Jahren erfasst wurden, sind entscheidend, um die Haltbarkeit von Implantaten und die Entwicklung von Spätkomplikationen umfassend bewerten zu können (Burke et al., 2024). Die vorliegende Studie ermöglicht dahingehend eine Interpretation der Ergebnisse zum frühen bis mittelfristigen klinischen Ergebnis, jedoch lässt sich keine definitive Aussage über ein langfristiges Outcome treffen. Das zeigt die Wichtigkeit von Untersuchungen zum langfristigen klinischen Ergebnis.

Eine weitere Limitation der vorliegenden Studie ist das Fehlen einer systematischen Erfassung von Komplikationen wie Infektionen, Implantatversagen, notwendigen Re-Operationen oder avaskulären Nekrosen. Außerhalb der regulären Studienuntersuchungen wurden bei den eingeschlossenen Patienten zusätzlich eine subluxierte Prothese sowie zwei Fälle von migrierenden Kirschnerdrähten festgestellt (Daten nicht gezeigt). Die Patienten stellten sich aufgrund von Schmerzen im betroffenen Ellenbogengelenk in der BG Klinik Tübingen vor. Obwohl die Literatur indirekt auf eine tendenziell höhere Komplikationsrate nach Versorgung durch RKP hinweist, wie in anderen Studien berichtet (Kusnezov et al., 2018), konnte dies in unserer Arbeit nicht quantifiziert werden. Dies ist dahingehend von Nachteil, da die Patientenzufriedenheit und das funktionelle Ergebnis maßgeblich von der Abwesenheit solcher Probleme abhängen. Mögliche Gründe für die fehlenden Ergebnisse könnten in der Unterscheidung der Therapien liegen. Während eine Lockerung der Prothese nach einer Implantation anhand objektiver Kriterien festgestellt werden könnte, ist ein objektiver Vergleich zum Zustand nach einer

Rekonstruktion nur schwer möglich. Ein weiterer Punkt könnte die nachfolgende Behandlung nach initialer Operation sein. Eventuelle Reoperationen oder Implantatentfernungen können nach der Erstoperation im überregionalen Traumazentrum der BG Unfallklinik Tübingen auch heimatnah in anderen Krankenhäusern behandelt werden. Ohne ein zentrales Register oder eine aktive Nachverfolgung aller Komplikationen kann eine Informationslücke entstehen. Eng damit verbunden ist die fehlende Möglichkeit einer Beurteilung des Nachbehandlungsschemas nach der Operation. Die postoperative Rehabilitation, insbesondere die Physiotherapie, spielt eine entscheidende Rolle für das klinische Endergebnis. In der Literatur finden sich Hinweise darauf, dass eine frühzeitige individualisierte physiotherapeutische Beübung einen positiven Einfluss auf das klinische Ergebnis nach einer Ellenbogenfraktur hat (Donati et al., 2025). Die physiotherapeutische Nachsorge ist in Deutschland größtenteils dezentral organisiert. Dadurch wird eine zielführende Datenerfassung und Analyse erschwert. Desweiteren könnten unterschiedliche Rehabilitationsregime zwischen den ORIF- und RKP-Gruppen die beobachteten klinischen Ergebnisse beeinflusst haben. Beispielsweise könnten unterschiedliche Immobilisationszeiten oder Belastungsprotokolle zu Abweichungen in der Beweglichkeit und Funktion geführt haben. Die systematische Erhebung und Analyse von Daten zur Rehabilitation sollten dementsprechend in weiterführenden Studien Beachtung finden. Es sollte außerdem angemerkt werden, dass alle Patienten in der BG Unfallklinik Tübingen operiert wurden, welche als überregionales Traumazentrum (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie) am Schwerstverletzungsartenverfahren (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung) teilnimmt. Dadurch wurden möglicherweise schwere Ellenbogenfrakturen, die von vornherein nicht rekonstruierbar und mit einem enormen Weichteilschaden assoziiert sind, mit in die Auswertung einbezogen. Die hier erzielten Ergebnisse sind daher möglicherweise nicht direkt auf Kliniken mit geringerer Fallzahl oder weniger spezialisierter Expertise übertragbar.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in der vorliegenden Studie sowohl die Patientenzahl als auch der Nachuntersuchungszeitraum im Vergleich zu aktuell existierenden Vergleichsstudien hoch angesetzt wurde, um eine fundierte

Aussage treffen zu können. Zusätzlich wurden die Anzahl und Vielfaltigkeit der benutzten Bewertungssysteme adäquat ausgewählt, um Vergleiche mit anderen Untersuchungen zu ermöglichen. Aufgrund des retrospektiven Charakters, der fehlenden Komplikationserfassung und der nicht zu erfassenden Nachbehandlung ist die Studie jedoch in ihren Aussagen begrenzt. Zukünftige randomisierte Studien mit längeren Nachbeobachtungszeiten und umfassender Erfassung aller relevanten postoperativen Parameter sind notwendig, um die hier gewonnenen Erkenntnisse zu bestätigen und zu vertiefen.

4.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Die vorliegende Studie hatte das Ziel, das klinische Ergebnis von Patienten mit schweren Radiuskopffrakturen (Mason-Johnston III und IV) nach Versorgung durch ORIF oder RKP zu evaluieren. Darüber hinaus sollte durch die Interpretation der Ergebnisse die Möglichkeit zur Einschätzung einer potenziell überlegenen Therapiemöglichkeit gegeben werden.

Nach Analyse der Ergebnisse und Einordnung in die Literatur lässt sich schlussfolgern, dass die Frakturversorgung sowohl durch ORIF als auch durch RKP zu einem zufriedenstellenden, klinisch funktionellen Ergebnis führt. Im Gegensatz zur Verwendung einer RKP konnte nach der Versorgung mittels ORIF ein signifikant besseres Ergebnis der Patienten festgestellt werden. Dies wurde sowohl in der Ellenbogenbeweglichkeit als auch in den klinischen Bewertungssystemen gezeigt. Sofern eine Rekonstruktion möglich erscheint, sollte eine ORIF in jedem Fall in Betracht gezogen werden. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass alle Operationen dieser Studie in einem überregionalen Traumazentrum durchgeführt wurden. Durch die konstant hohe Versorgungsanzahl schwerer Verletzungen des Ellenbogens, die dort versorgt werden, kann eine entsprechende fachliche Expertise vorgehalten werden. Die Relevanz der fachlichen Kompetenz eines Krankenhauses für die Patientenversorgung konnte grundsätzlich in einer Studie der Bertelsmann Stiftung nachgewiesen werden (Böcken & Kostera, 2016). Hier wurde konstatiert, dass durch zusätzliche Spezialisierung eines Krankenhauses die Behandlungsqualität erhöht wird. In Zukunft sind multizentrisch angelegte,

prospektive und vor allem randomisierte Studien notwendig, um die Aussagekraft und die Ergebnisse dieser Studie zu bestätigen. Zudem ist die Auswahl des verwendeten Implantatmaterials von Bedeutung. In einer detaillierten Aufteilung der Gruppen konnte von Wu et al. nachgewiesen werden, dass Patienten innerhalb der ORIF-Gruppe, die lediglich mit Schrauben versorgt wurden, klinisch funktionell bessere Ergebnisse erzielten als jene, die mit einer Platte versorgt wurden (Wu et al., 2016). Diese Ergebnisse sollten in zukünftigen Studien genauer untersucht werden. Zudem sollte ein besonderes Augenmerk auf die dezentrale physiotherapeutische Nachbehandlung der Patienten gelegt werden. In diesem Kontext ist auch die Erfassung von Dauer, Art und Qualität der Beübung unabdingbar.

5 Zusammenfassung

Frakturen des Radiuskopfes (RK) umfassen ca. 5% aller Frakturen bei Erwachsenen und stellen mit 37% die häufigste Fraktur bei traumatischen Verletzungen des Ellenbogens dar. Der RK sorgt als wichtiger Teil des Ellenbogens vor allem für die Stabilität im Gelenk und für die axiale Kraftübertragung in der oberen Extremität. Schwere Radiuskopffrakturen vom Typ Mason-Johnston III und IV werden hauptsächlich operativ behandelt, allerdings wird die optimale Behandlungsmethode der Patienten in der aktuellen Literatur noch kontrovers diskutiert. Hinzu kommt, dass ein schlechtes klinisches Ergebnis mit Funktionseinschränkungen nach der Operation zu einer Beeinträchtigung des alltäglichen Lebens des Patienten führen kann. Ziel dieser Arbeit war es daher, das klinische Ergebnis nach Frakturversorgung durch die Rekonstruktion des RK (ORIF) oder die Implantation einer Radiuskopfprothese (RKP) vergleichend zu analysieren.

In die Studie wurden 75 Patienten, die im Zeitraum vom 02.09.2014 bis zum 01.03.2021 in der BG Klinik Tübingen aufgrund einer Radiuskopffraktur Mason-Johnston Grad III (41 Patienten) oder IV (34 Patienten) operiert wurden, eingeschlossen. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug $51,2 \pm 15$ (20-82) Jahre. 52 Patienten wurden durch ORIF versorgt und 23 Patienten erhielten eine RKP. Nach durchschnittlich $39,6 \pm 23,3$ (7-80) Monaten fand die Nachuntersuchung statt. Es zeigten sich zusätzliche Frakturen der Ulna bei 18 Patienten (ORIF) vs. 13 Patienten (RKP) und versorgungsbedürftige Verletzungen des Bandapparats bei 21 Patienten (ORIF) vs. 14 Patienten (RKP). Hinsichtlich der Ellenbogenbeweglichkeit (ROM) wiesen Patienten in der ORIF-Gruppe ein signifikant geringeres Streckdefizit auf als Patienten in der RKP-Gruppe ($p=0,002$). Die Flexion zeigte einen Unterschied von 10° ($p=0,113$). Bei den Bewegungen Pronation und Supination konnten keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Unter Einbezug verschiedener Parameter wie Schmerz, Stabilität, Griffstärke und Funktionalität erreichten Patienten nach Versorgung durch ORIF signifikant höhere Punktwerte und somit ein klinisch besseres Ergebnis in den Bewertungssystemen MEPS ($p<0,001$), BMS ($p<0,001$) und ASES ($p=0,002$) im Vergleich zu Patienten nach

Versorgung durch RKP. Im DASH erzielten Patienten der ORIF-Gruppe signifikant niedrigere Punktwerte ($p=0,015$), was einer geringeren Einschränkung entspricht. Die Auswertung des SF36 ergab, dass die durch ORIF versorgten Patienten sowohl auf der körperlichen (KSK, $p=0,023$) als auch auf der psychischen (PSK, $p=0,005$) Summenskala höhere Punktwerte aufwiesen als die Patienten nach einer Behandlung durch RKP. Dies deutet auf eine bessere gesundheitsbezogene Lebensqualität hin. In Tabelle 5 sind die Ergebniswerte der unterschiedlichen Behandlungen mit der jeweiligen Signifikanz der Unterschiede zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse.

Angabe der Medianwerte. Zeit zwischen Trauma und OP in Tagen. Flexion, Extension, Pronation und Supination in °. p-Wert mit Signifikanzniveau $<0,05$.

	ORIF	RKP	p-Wert
Zeit zwischen Trauma und OP	5	7	0,068
Flexion	140	130	0,113
Extension	-10	-30	0,002
Pronation	70	70	
Supination	90	90	
MEPS	100	75	$<0,001$
BMS	93	82	$<0,001$
ASES	97	87	0,002
DASH	4	11	0,015
SF36 PSK	55	43	0,005
SF36 KSK	53	40	0,023

Die vorliegende Studie zeigte ähnlich gute bis sehr gute klinische Ergebnisse nach der Operation wie in bisheriger Literatur beschrieben. Sie bildet eine solide Grundlage für die Entscheidung über eine geeignete Behandlungsmethode nach schweren Radiuskopffrakturen. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass eine Rekonstruktion des RK mit Osteosynthese eine gute Therapieoption darstellt, sofern dies möglich erscheint und eine hohe fachliche Expertise vorliegt. In Zukunft sollten Langzeitergebnisse erhoben und longitudinale Studien zur Verifizierung dieser Ergebnisse durchgeführt werden.

6 Literaturverzeichnis

- Al-Burdeni, S., Abuodeh, Y., Ibrahim, T., & Ahmed, G. (2015). Open reduction and internal fixation versus radial head arthroplasty in the treatment of adult closed comminuted radial head fractures (modified Mason type III and IV). *Int Orthop*, 39(8), 1659-1664. <https://doi.org/10.1007/s00264-015-2755-1>
- Al-Tawil, K., & Arya, A. (2021). Radial head fractures. *J Clin Orthop Trauma*, 20, 101497. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.101497>
- Antoni, M., Kempf, J. F., & Clavert, P. (2020). Comparison of bipolar and monopolar radial head prostheses in elbow fracture-dislocation. *Orthop Traumatol Surg Res*, 106(2), 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2019.10.027>
- Avisar, E., Persitz, J., Shohat, N., Tamir, E., Assaraf, E., & Keren, T. (2021). Does Radial Head Resection Impair Hand and Wrist Function? A Long-Term Follow-Up. *J Orthop Trauma*, 35(12), e486-e490. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000002126>
- Böcken, J., & Kostera, T. (2016). *SPOTLIGHT Gesundheit: Krankenhausstruktur* (1. Auflage ed.). Bertelsmann Stiftung. <https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/spotlight-gesundheit-032016>
- Broberg, M. A., & Morrey, B. F. (1986). Results of delayed excision of the radial head after fracture. *J Bone Joint Surg Am*, 68(5), 669-674. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3722222>
- Burke, C. E., McKegg, P. C., Wong, A. L., DeLeon, G. A., Gupta, J., Healey, K., Enobun, B., O'Hara, N. N., O'Toole, R. V., Pensy, R. A., Langhammer, C. G., & Eglseder, W. A. (2024). Association of Radial Head Fracture Treatment With Long-Term Function. *Hand (N Y)*, 19(1), 30-37. <https://doi.org/10.1177/15589447221109631>
- Burkhart, K. J., Wegmann, K., Muller, L. P., & Gohlke, F. E. (2015). Fractures of the Radial Head. *Hand Clin*, 31(4), 533-546. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2015.06.003>
- Calfee, R., Madom, I., & Weiss, A. P. (2006). Radial head arthroplasty. *J Hand Surg Am*, 31(2), 314-321. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2005.12.005>
- Catellani, F., De Caro, F., De Biase, C. F., Perrino, V. R., Usai, L., Triolo, V., Ziveri, G., & Fiorentino, G. (2018). Radial Head Resection versus Arthroplasty in Unrepairable Comminuted Fractures Mason Type III and Type IV: A Systematic Review. *Biomed Res Int*, 2018, 4020625. <https://doi.org/10.1155/2018/4020625>
- Chaijenkij, K., Arirachakaran, A., & Kongtharvonskul, J. (2021). Clinical outcomes after internal fixation, arthroplasty and resection for treatment of comminuted radial head fractures: a systematic review and network meta-analysis. *Musculoskelet Surg*, 105(1), 17-29. <https://doi.org/10.1007/s12306-020-00679-3>
- Chen, H., Wang, Z., & Shang, Y. (2018). Clinical and Radiographic Outcomes of Unipolar and Bipolar Radial Head Prosthesis in Patients with Radial Head Fracture: A Systemic Review and Meta-Analysis. *J Invest Surg*, 31(3), 178-184. <https://doi.org/10.1080/08941939.2017.1299262>

- Chen, X., Wang, S. C., Cao, L. H., Yang, G. Q., Li, M., & Su, J. C. (2011). Comparison between radial head replacement and open reduction and internal fixation in clinical treatment of unstable, multi-fragmented radial head fractures. *Int Orthop*, 35(7), 1071-1076.
<https://doi.org/10.1007/s00264-010-1107-4>
- Cusick, M. C., Bonnaig, N. S., Azar, F. M., Mauck, B. M., Smith, R. A., & Throckmorton, T. W. (2014). Accuracy and reliability of the Mayo Elbow Performance Score. *J Hand Surg Am*, 39(6), 1146-1150.
<https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2014.01.041>
- den Ouden, M. E., Schuurmans, M. J., Arts, I. E., & van der Schouw, Y. T. (2011). Physical performance characteristics related to disability in older persons: a systematic review. *Maturitas*, 69(3), 208-219.
<https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2011.04.008>
- Donati, D., Aroni, S., Tedeschi, R., Sartini, S., Fari, G., Ricci, V., Vita, F., & Tarallo, L. (2025). Exploring the impact of rehabilitation on post-surgical recovery in elbow fracture patients: a cohort study. *Musculoskelet Surg*, 109(1), 33-39. <https://doi.org/10.1007/s12306-024-00848-8>
- Duckworth, A. D., Clement, N. D., Jenkins, P. J., Aitken, S. A., Court-Brown, C. M., & McQueen, M. M. (2012). The epidemiology of radial head and neck fractures. *J Hand Surg Am*, 37(1), 112-119.
<https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2011.09.034>
- Duckworth, A. D., Watson, B. S., Will, E. M., Petrisor, B. A., Walmsley, P. J., Court-Brown, C. M., & McQueen, M. M. (2011). Radial head and neck fractures: functional results and predictors of outcome. *J Trauma*, 71(3), 643-648. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181f8fa5f>
- erico, & Ono, H. (2021a). Anterior view of the elbow joint (Abbildung, modifiziert). *togoTV, DataBase Center for Life Science (DBCLS)*.
<https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2011.09.034> . Abgerufen am 29.11.2025 um 16:05 Uhr von
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:202107_Anterior_view_of_the_elbow_joint.svg . Lizenz: CC BY 4.0
- erico, & Ono, H. (2021b). Posterior view of the elbow joint (Abbildung, modifiziert). *togoTV, DataBase Center for Life Science (DBCLS)*.
<https://doi.org/10.7875/togopic.2021.096> . Abgerufen am 29.11.2025 um 16:10 Uhr von
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:202107_Posterior_view_of_the_elbow_joint.svg . Lizenz: CC BY 4.0
- Evans, J. T., Evans, J. P., Walker, R. W., Blom, A. W., Whitehouse, M. R., & Sayers, A. (2019). How long does a hip replacement last? A systematic review and meta-analysis of case series and national registry reports with more than 15 years of follow-up. *Lancet*, 393(10172), 647-654.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31665-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31665-9)
- Everding, J., Raschke, M. J., Polgart, P., Gruneweller, N., Wahnert, D., & Schliemann, B. (2019). Ex situ reconstruction of comminuted radial head fractures: is it truly worth a try? *Arch Orthop Trauma Surg*, 139(12), 1723-1729. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03250-3>
- Gebauer, M., Rucker, A. H., Barvencik, F., & Rueger, J. M. (2005). [Therapy for radial head fractures]. *Unfallchirurg*, 108(8), 657-667; quiz 668.

- <https://doi.org/10.1007/s00113-005-0979-z> (Therapie der Radiuskopfenfraktur.)
- Germann, G., Harth, A., Wind, G., & Demir, E. (2003). [Standardisation and validation of the German version 2.0 of the Disability of Arm, Shoulder, Hand (DASH) questionnaire]. *Unfallchirurg*, 106(1), 13-19. <https://doi.org/10.1007/s00113-002-0456-x> (Standardisierung und Validierung der deutschen Version 2.0 des "Disability of Arm, Shoulder, Hand" (DASH)-Fragebogens zur Outcome-Messung an der oberen Extremität.)
- Gokaraju, K., Domos, P., Aweid, O., Fisher, R., White, A., Van Rensburg, L., & Kang, S. N. (2020). Mid-term outcomes of surgical management of complex, isolated radial head fractures: a multicentre collaboration. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 30(8), 1369-1376. <https://doi.org/10.1007/s00590-020-02709-z>
- Gray, H. (1918a). Anatomy of the human body (20th ed., W.H. Lewis, Ed.), Figure 329. *Philadelphia: Lea & Febiger*. (Abbildung, modifiziert). Public Domain. Abgerufen am 29.11.2025 um 16:20 Uhr von <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray329.png>
- Gray, H. (1918b). Anatomy of the human body (20th ed., W.H. Lewis, Ed.), Figure 330. *Philadelphia: Lea & Febiger*. (Abbildung, modifiziert). Public Domain. Abgerufen am 29.11.2025 um 16:25 Uhr von <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray330.png>
- Hackl, M., Wegmann, K., Ries, C., Leschinger, T., Burkhart, K. J., & Muller, L. (2015). [Radial Head Replacement - Surgical Technique and Own Clinical Results]. *Z Orthop Unfall*, 153(6), 652-656. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1557810> (Radiuskopfendoprothetik - Operationstechnik und eigene Ergebnisse.)
- Harbrecht, A., Ott, N., Hackl, M., Leschinger, T., Wegmann, K., & Muller, L. P. (2021). [Radial head fractures : Epidemiology, diagnosis, treatment and outcome]. *Unfallchirurg*, 124(2), 153-162. <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00947-8> (Radiuskopffrakturen : Epidemiologie, Diagnose, Behandlung und Outcome.)
- Harrington, I. J., & Tountas, A. A. (1981). Replacement of the radial head in the treatment of unstable elbow fractures. *Injury*, 12(5), 405-412. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(81\)90012-7](https://doi.org/10.1016/0020-1383(81)90012-7)
- Hartzler, R. U., Morrey, B. F., Steinmann, S. P., Llusa-Perez, M., & Sanchez-Sotelo, J. (2014). Radial head reconstruction in elbow fracture-dislocation: monopolar or bipolar prosthesis? *Clin Orthop Relat Res*, 472(7), 2144-2150. <https://doi.org/10.1007/s11999-014-3672-0>
- Hudak, P. L., Amadio, P. C., & Bombardier, C. (1996). Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med*, 29(6), 602-608. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(199606\)29:6<602::AID-AJIM4>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(199606)29:6<602::AID-AJIM4>3.0.CO;2-L)
- John, M., Angst, F., Awiszus, F., King, G. J., MacDermid, J. C., & Simmen, B. R. (2010). The American Shoulder and Elbow Surgeons Elbow Questionnaire: cross-cultural adaptation into German and evaluation of

- its psychometric properties. *J Hand Ther*, 23(3), 301-313; quiz 314.
<https://doi.org/10.1016/j.jht.2010.03.001>
- Johnston, G. W. (1962). A follow-up of one hundred cases of fracture of the head of the radius with a review of the literature. *Ulster Med J*, 31(1), 51-56. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14452145>
- Kaas, L., van Riet, R. P., Vroemen, J. P., & Eygendaal, D. (2010). The epidemiology of radial head fractures. *J Shoulder Elbow Surg*, 19(4), 520-523. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2009.10.015>
- Kani, K. K., & Chew, F. S. (2019). Terrible triad injuries of the elbow. *Emerg Radiol*, 26(3), 341-347. <https://doi.org/10.1007/s10140-019-01676-1>
- Kastenberger, T., Kaiser, P., Spicher, A., Stock, K., Benedikt, S., Schmidle, G., & Arora, R. (2022). Clinical and radiological outcome of Mason-Johnston types III and IV radial head fractures treated by an on-table reconstruction. *J Orthop Surg Res*, 17(1), 503.
<https://doi.org/10.1186/s13018-022-03394-w>
- Khawar, H., Craxford, S., & Ollivere, B. (2020). Radial head fractures. *Br J Hosp Med (Lond)*, 81(4), 1-6. <https://doi.org/10.12968/hmed.2019.0404>
- King, G. J., Richards, R. R., Zuckerman, J. D., Blasier, R., Dillman, C., Friedman, R. J., Gartsman, G. M., Iannotti, J. P., Murnahan, J. P., Mow, V. C., & Woo, S. L. (1999). A standardized method for assessment of elbow function. Research Committee, American Shoulder and Elbow Surgeons. *J Shoulder Elbow Surg*, 8(4), 351-354.
[https://doi.org/10.1016/s1058-2746\(99\)90159-3](https://doi.org/10.1016/s1058-2746(99)90159-3)
- Kiran Kumar, G. N., Sharma, G., Farooque, K., Sharma, V., Jain, V., Singh, R., & Morey, V. (2015). On-table reconstruction and fixation of Mason type III radial head fractures. *Chin J Traumatol*, 18(5), 288-292.
<https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2015.11.005>
- Kodde, I. F., Kaas, L., Flipsen, M., van den Bekerom, M. P., & Eygendaal, D. (2015). Current concepts in the management of radial head fractures. *World J Orthop*, 6(11), 954-960. <https://doi.org/10.5312/wjo.v6.i11.954>
- Kusnezov, N., Eisenstein, E., Dunn, J. C., Fares, A., Mitchell, J., Kilcoyne, K., & Waterman, B. R. (2018). Operative Management of Unstable Radial Head Fractures in a Young Active Population. *Hand (N Y)*, 13(4), 473-480. <https://doi.org/10.1177/1558944717715136>
- Liu, R., Liu, P., Shu, H., Gong, J., Sun, Q., Wu, J., Nie, X., Yang, Y., & Cai, M. (2015). Comparison of primary radial head replacement and ORIF (open reduction and internal fixation) in Mason type III fractures: a retrospective evaluation in 72 elderly patients. *Med Sci Monit*, 21, 90-93.
<https://doi.org/10.12659/MSM.893048>
- Longo, U. G., Franceschi, F., Loppini, M., Maffulli, N., & Denaro, V. (2008). Rating systems for evaluation of the elbow. *Br Med Bull*, 87, 131-161.
<https://doi.org/10.1093/bmb/ldn023>
- Mason, M. L. (1954). Some observations on fractures of the head of the radius with a review of one hundred cases. *Br J Surg*, 42(172), 123-132.
<https://doi.org/10.1002/bjs.18004217203>
- Meacher, H., Hermena, S., & Isaac, S. (2020). Open Reduction and Internal Fixation Versus Radial Head Arthroplasty for Mason III Radial Head

- Fractures: Appraising the Current Literature Evidence. *Cureus*, 12(4), e7501. <https://doi.org/10.7759/cureus.7501>
- Meinberg, E. G., Agel, J., Roberts, C. S., Karam, M. D., & Kellam, J. F. (2018). Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. *J Orthop Trauma*, 32 Suppl 1, S1-S170. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001063>
- Mutze, M., Hepp, P., & Josten, C. (2021). [Monteggia-fractures and Monteggia-like Lesions]. *Z Orthop Unfall*, 159(1), 102-119. <https://doi.org/10.1055/a-0968-9383> (Monteggia-Frakturen und Monteggia-like Lesions.)
- Niekel, M. C., Lindenhovius, A. L., Watson, J. B., Vranceanu, A. M., & Ring, D. (2009). Correlation of DASH and QuickDASH with measures of psychological distress. *J Hand Surg Am*, 34(8), 1499-1505. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2009.05.016>
- Pike, J. M., Athwal, G. S., Faber, K. J., & King, G. J. (2009). Radial head fractures--an update. *J Hand Surg Am*, 34(3), 557-565. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2008.12.024>
- Pogliacomi, F., Schiavi, P., Pedrazzini, A., Nosenzo, A., Tocco, S., & Ceccarelli, F. (2015). Modified Mason type III and IV radial head fractures: results of different surgical treatments. *Acta Biomed*, 86(3), 242-250. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26694151>
- Porsche, J., Ziegler, P., Histing, T., Ahrend, M. D., Maier, S., & Fischer, C. S. (2025). Self-assessment of Elbow Mobility as a Reliable Method in the Postoperative Follow-up Examination of Radial Head Fractures. *Z Orthop Unfall*. <https://doi.org/10.1055/a-2593-9161> (Die Selbsterhebung der Ellenbogenbeweglichkeit durch den Patienten als reliable Methode in der postoperativen Nachuntersuchung von Radiuskopffrakturen.)
- Reinhardt, D., Toby, E. B., & Brubacher, J. (2021). Reoperation Rates and Costs of Radial Head Arthroplasty Versus Open Reduction and Internal Fixation of Radial Head and Neck Fractures: A Retrospective Database Study. *Hand (N Y)*, 16(1), 115-122. <https://doi.org/10.1177/1558944719837691>
- Ring, D. (2011). Radial head fracture: open reduction-internal fixation or prosthetic replacement. *J Shoulder Elbow Surg*, 20(2 Suppl), S107-112. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2010.11.011>
- Ruan, H. J., Fan, C. Y., Liu, J. J., & Zeng, B. F. (2009). A comparative study of internal fixation and prosthesis replacement for radial head fractures of Mason type III. *Int Orthop*, 33(1), 249-253. <https://doi.org/10.1007/s00264-007-0453-3>
- Rupp, M., Walter, N., Pfeifer, C., Lang, S., Kerschbaum, M., Krutsch, W., Baumann, F., & Alt, V. (2021). The Incidence of Fractures Among the Adult Population of Germany-an Analysis From 2009 through 2019. *Dtsch Arztebl Int*, 118(40), 665-669. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2021.0238>
- Ryu, S. M., Park, S. G., Kim, J. H., Yang, H. S., Na, H. D., & Seo, J. S. (2018). Treatment of Modified Mason Type III or IV Radial Head Fracture: Open Reduction and Internal Fixation versus Arthroplasty. *Indian J Orthop*, 52(6), 590-595. https://doi.org/10.4103/ortho.IJOrtho_537_16

- Schmitt-Sody, M., Pilger, V., & Gerdesmeyer, L. (2011). [Rehabilitation and sport following total hip replacement]. *Orthopade*, 40(6), 513-519. <https://doi.org/10.1007/s00132-011-1761-2> (Rehabilitation und Sport nach Hufttotalendoprothese.)
- Schneider, M. M., Nietschke, R., Burkhart, K. J., Hollinger, B., Marquardt, J., Schottker-Koniger, T., Morrison, F., Zimmerer, A., & Papen, A. (2020). Translation of the Mayo Elbow Performance Score (MEPS) into German (MEPS-G). *Z Orthop Unfall*, 158(5), 455-461. <https://doi.org/10.1055/a-0974-3836> (Die Übertragung des Mayo Elbow Performance Score (MEPS) ins Deutsche (MEPS-G).)
- Schnetzke, M., Aytac, S., Deuss, M., Studier-Fischer, S., Swartman, B., Muenzberg, M., Gruetzner, P. A., & Guehring, T. (2014). Radial head prosthesis in complex elbow dislocations: effect of oversizing and comparison with ORIF. *Int Orthop*, 38(11), 2295-2301. <https://doi.org/10.1007/s00264-014-2478-8>
- Schnetzke, M., Schuler, S., Keil, H., Aytac, S., Studier-Fischer, S., Grutzner, P. A., & Guehring, T. (2016). Development and validation of a novel questionnaire for self-determination of the range of motion of wrist and elbow. *BMC Musculoskelet Disord*, 17, 312. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1171-z>
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., Wesker, K., & Georg Thieme Verlag KG. (2022). *Prometheus LernAtlas der Anatomie - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem* (6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage ed.). Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b000000613>
- Scoscina, D., Facco, G., Luciani, P., Setaro, N., Senesi, L., Martiniani, M., & Gigante, A. P. (2023). Mason type III fractures of the radial head: ORIF, resection or prosthetic replacement? *Musculoskelet Surg*, 107(2), 223-230. <https://doi.org/10.1007/s12306-022-00745-y>
- Siebenlist, S., & Biberthaler, P. (2015). Akute Kapsel-Band-Verletzungen des Ellenbogens. *Trauma und Berufskrankheit*, 17(1), 132-139. <https://doi.org/10.1007/s10039-013-1987-9>
- Statistisches Bundesamt. (2023). Entwicklung der Lebenserwartung in Deutschland. *Statistisches Bundesamt (Destatis)*. abgerufen am 09.03.2024 um 14:30 Uhr von <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Sterbefaelle-Lebenserwartung/sterbetafel.html>
- Stewart, A. L., Hays, R. D., & Ware, J. E., Jr. (1988). The MOS short-form general health survey. Reliability and validity in a patient population. *Med Care*, 26(7), 724-735. <https://doi.org/10.1097/00005650-198807000-00007>
- Swensen, S. J., Tyagi, V., Uquillas, C., Shakked, R. J., Yoon, R. S., & Liporace, F. A. (2019). Maximizing outcomes in the treatment of radial head fractures. *J Orthop Traumatol*, 20(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s10195-019-0523-5>
- Vannabouathong, C., Venugopal, N., Athwal, G. S., Moro, J., & Bhandari, M. (2020). Radial head arthroplasty: fixed-stem implants are not all equal-a

- systematic review and meta-analysis. *JSES Int*, 4(1), 30-38.
<https://doi.org/10.1016/j.jseint.2019.11.003>
- Ware, J. E., Jr. (1987). Standards for validating health measures: definition and content. *J Chronic Dis*, 40(6), 473-480. [https://doi.org/10.1016/0021-9681\(87\)90003-8](https://doi.org/10.1016/0021-9681(87)90003-8)
- Ware, J. E., Jr. (2000). SF-36 health survey update. *Spine (Phila Pa 1976)*, 25(24), 3130-3139. <https://doi.org/10.1097/00007632-200012150-00008>
- Ware, J. E., Jr., & Gandek, B. (1998). Overview of the SF-36 Health Survey and the International Quality of Life Assessment (IQOLA) Project. *J Clin Epidemiol*, 51(11), 903-912. [https://doi.org/10.1016/s0895-4356\(98\)00081-x](https://doi.org/10.1016/s0895-4356(98)00081-x)
- Watters, T. S., Garrigues, G. E., Ring, D., & Ruch, D. S. (2014). Fixation versus replacement of radial head in terrible triad: is there a difference in elbow stability and prognosis? *Clin Orthop Relat Res*, 472(7), 2128-2135.
<https://doi.org/10.1007/s11999-013-3331-x>
- Wu, P. H., Shen, L., & Chee, Y. H. (2016). Screw fixation versus arthroplasty versus plate fixation for 3-part radial head fractures. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 24(1), 57-61. <https://doi.org/10.1177/230949901602400114>

7 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der BG Unfallklinik Tübingen als Teil der medizinischen Fakultät der Universität Tübingen unter Betreuung von PD Dr. med. Patrick Ziegler durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. med. Cornelius Fischer und PD Dr. med. Patrick Ziegler als Mentoren.

Die Untersuchungen und Auswertungen wurden von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig durch mich nach Beratung durch das Institut für Biometrie nach Anleitung von Dr. rer. nat. Imma Fischer.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Aus der Dissertation ist die Veröffentlichung “Self-assessment of Elbow Mobility as a Reliable Method in the Postoperative Follow-up Examination of Radial Head Fractures” (DOI: 10.1055/a-2593-9161) hervorgegangen. Ich habe alle Untersuchungen und die Auswertung der Fragebögen durchgeführt. Ich, Cornelius Fischer und Patrick Ziegler waren für das Studiendesign und die wissenschaftliche Einbettung verantwortlich. Marc-Daniel Ahrend, Sven Maier und Tina Histing unterstützten beim Studiendesign. Die statistische Auswertung wurde von mir durchgeführt. Ich und Cornelius Fischer waren für die Erstellung des Manuskripts verantwortlich.

Leipzig, den

Johannes Paul Porsche

8 Anhang

Tabelle 6: MEPS Inhalt und Bewertung.

Element	Punktwert
Schmerzen (45 Punkte)	
keine	45
schwache	30
moderate	15
starke	0
Bewegungsumfang (20 Punkte)	
> 100°	20
50° - 100°	15
< 50°	5
Stabilität (10 Punkte)	
stabil	10
moderate Instabilität	5
schwerwiegende Instabilität	0
alltägliche Funktionen (25 Punkte)	
Haare kämmen	5
eigenständig essen	5
Körperhygiene	5
Hemd anziehen	5
Schuhe anziehen	5
Gesamt	100

Tabelle 7: BMS Inhalt und Bewertung.

Element	Punktwert
Schmerzen	
keine	35
schwache	28
moderate	15
starke	0
Bewegungsumfang	

Flexion (0,2 x °ROM)	max. 27
Pronation (0,1 x °ROM)	max. 6
Supination (0,1 x °ROM)	max. 7
Stabilität	
normal	5
milder Verlust	4
moderater Verlust	2
schwerer Verlust	0
Stärke	
normal	20
milder Verlust	13
moderater Verlust	5
schwerer Verlust	0
Gesamt	100

Tabelle 8: ASES Inhalt und Bewertung.

MW – Mittelwert.

Element	Punktwert
Schmerzen	
wenn sie am stärksten sind	0-10
in Ruhe	0-10
beim Heben eines schweren Gegenstands	0-10
bei Tätigkeiten mit wiederholter Bewegung	0-10
nachts	0-10
Teilscore gesamt	50/3*MW
Ellenbogenfunktion	
den obersten Knopf des Hemdes schließen	0-3
Toilettenpapier benutzen	0-3
Haare kämmen	0-3
Schuh zubinden	0-3
mit Besteck essen	0-3

einen schweren Gegenstand tragen	0-3
sich beim Aufstehen von einem Stuhl mit dem Arm abstützen	0-3
schwere Hausarbeit verrichten	0-3
einen Schlüssel drehen	0-3
einen Ball werfen	0-3
gewohnte Arbeit tun	0-3
gewohnte Sportart treiben	0-3
Teilscore gesamt	36
Gesamt	100

Tabelle 9: DASH Inhalt und Bewertung.

Berechnung: DASH = [(Summe der Antwortpunkte/Anzahl der Antworten)-1]*25.

Element	Punktwert
ein fest verschlossenes Glas öffnen	0-5
schreiben	0-5
einen Schlüssel umdrehen	0-5
eine Mahlzeit zubereiten	0-5
eine schwere Tür aufstoßen	0-5
einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	0-5
schwere Hausarbeit	0-5
Garten- oder Hofarbeit	0-5
Betten machen	0-5
eine Einkaufstasche tragen	0-5
einen schweren Gegenstand tragen (über 5kg)	0-5
eine Glühbirne über dem Kopf auswechseln	0-5
Haare waschen oder föhnen	0-5
Rücken waschen	0-5
Pullover anziehen	0-5
ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	0-5

Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen	0-5
Freizeitaktivitäten, bei denen auf Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird	0-5
Freizeitaktivitäten, bei denen der Arm frei bewegt wird mit Fortbewegungsmitteln zurecht kommen	0-5
sexuelle Aktivität	0-5
In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm-, oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit anderen Menschen während der vergangenen Woche beeinträchtigt?	0-5
Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm-, oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen Aktivitäten eingeschränkt?	0-5
Schmerzen in Schuler, Arm oder Hand	0-5
Schmerzen bei der Ausführung einer Tätigkeit	0-5
Kribbeln in Schulter, Arm oder Hand	0-5
Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	0-5
Steifheit in Schulter, Arm oder Hand	0-5
Schlafstörungen in der letzten Woche	0-5
weniger Selbstvertrauen aufgrund der Probleme in Schulter, Arm oder Hand	0-5
Gesamt	100

9 Danksagung

Einleitend möchte ich mich bei PD Dr. med. Patrick Ziegler bedanken. Danke für deine Bereitschaft als mein Doktorvater zu wirken, die Schaffung der Rahmenbedingungen und dass du mir die Möglichkeit gegeben hast, an diesem spannenden Projekt arbeiten zu können.

Mein besonderer Dank gilt Dr. med. Cornelius Fischer für die außerordentlich gute Betreuung dieser Arbeit. Danke dir, Corni, für die stetigen Anregungen, die inspirierenden Diskussionen, die Möglichkeit, mich in der klinischen Forschung auszuprobieren und für die motivierenden Gespräche. Danke für deine Beharrlichkeit und deine wiederkehrenden Anrufe und Nachrichten, wenn ich schon länger nichts von mir habe hören lassen.

Außerdem möchte ich Frau Dr. rer. nat. Imma Fischer für die fachkundige Beratung der statistischen Auswertung und die geduldigen Erklärungen danken.

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, um allen Patienten und Patientinnen meinen Dank auszusprechen, die an der Entstehung dieser Arbeit mitgewirkt haben.

Ein weiteres Dankeschön gilt meinen Kommilitonen, mit denen enge Freundschaften gewachsen sind. Ihr habt das Studium zu einer Mischung aus geistiger Herausforderung und herrlich heiterem Alltagsabenteuer gemacht.

Zu guter Letzt danke ich aus tiefstem Herzen meiner wundervollen Familie und meiner unschlagbaren Frau. Danke euch für jedes aufmunternde Wort, für jede richtungsweisende Motivation und für die Ermöglichung meines bisherigen und zukünftigen Weges. Danke für eure immerwährende Unterstützung. Außerdem danke ich meinem Sohn, der mir den letzten Schubs zur Vollendung dieser Arbeit gegeben hat.

