
Aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie

(Univ.-Prof. Dr. med. W. Lehmann)

der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Die distale Radiusfraktur – ein Überblick der Versorgungssituation

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

der Medizinischen Fakultät der

Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Felix Benjamin Kubi

aus

Bad Hersfeld

Göttingen 2021

Dekan:

Prof. Dr. med. W. Brück

Referent/in:

Prof. Dr. med. S. Sehmisch

Ko-Referent/in:

Prof. Dr. med. Dr. med. dent. K. G. Wiese

Datum der mündlichen Prüfung: 24.03.2022

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel
"Die distale Radiusfraktur – ein Überblick der Versorgungssituation"
eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen
Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den

(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung.....	1
1.1 Ziel der Arbeit.....	2
1.2 Anatomie	4
1.2.1 Knochen	4
1.2.2 Bandverbindungen.....	6
1.2.3 Böhler-Winkel	6
1.3 Unfallmechanismus und Risikofaktoren.....	8
1.4 Diagnostik.....	8
1.4.1 Radiologische Diagnostik.....	9
1.4.2 Arthroskopie.....	10
1.5 Begleitverletzungen.....	10
1.5.1 Fraktur des Griffelfortsatzes.....	11
1.5.2 Fraktur der Ulna.....	11
1.5.3 Fraktur des Os scaphoideum	11
1.5.4 Nervenverletzungen.....	11
1.5.5 Radiokarpale und karpale Verletzungen	12
1.5.6 Sehnenverletzungen	12
1.5.7 Bandverletzungen	12
1.6 Klassifikation	12
1.6.1 Colles-Fraktur.....	13
1.6.2 Smith-Fraktur	13
1.6.3 Barton- und reversed Barton-Fraktur	13
1.6.4 Chauffeurfraktur	13
1.6.5 Die-Punch-Fraktur.....	13
1.6.6 AO-Klassifikation	14
1.7 Instabilitätskriterien	16
1.8 Therapie	17
1.8.1 Konservativ	17
1.8.2 Operativ	20
1.8.3 Nachbehandlung.....	27
1.9 Komplikationen/Funktionsverlust	28
2 Material und Methoden	29
2.1 Studiendesign.....	29
2.2 Patientenkollektiv.....	29
2.3 Datenerhebung.....	30

2.4	Aktenauswertung	30
2.5	Statistische Auswertung.....	30
3	Ergebnisse	32
3.1	Deskriptive Statistik.....	32
3.1.1	Geschlechtszugehörigkeit des Patientenkollektivs.....	32
3.1.2	Altersstruktur des Patientenkollektivs.....	32
3.1.3	Verteilung nach AO-Klassifikation	34
3.1.4	Unfallursache.....	37
3.1.5	Komplikationen	40
3.2	Böhler-Winkel und Repositionsverlust – inklusive statistischer Betrachtung.....	41
3.2.1	Dorsopalmare Inklination im Verlauf T1 – T5.....	41
3.2.2	Dorsopalmare Inklination im Verlauf T1 – T5 nach AO	42
3.2.3	Dorsopalmare Inklination im Verlauf T1 – T5 nach Altersgruppe	44
3.2.4	Dorsopalmare Inklination im Verlauf T1 – T5 nach Versorgungsart – operativ vs. konservativ.....	46
3.2.5	T-Test: Repositionsverlust nach OP und Altersgruppe	48
3.3	Plattenbesetzung	48
3.3.1	Initiales Repositionsergebnis T1 – T2 nach Versorgungsart	49
3.3.2	Dorsopalmare Inklination im Verlauf T1 – T5 nach Plattenbesetzung	50
3.3.3	Repositionsverlust nach Plattenbesetzung und T-Test	50
3.3.4	T-Test: Repositionsverlust nach Versorgungsart und Plattenbesetzung.....	51
3.3.5	Plattenbesetzung nach AO-Gruppe.....	51
4	Diskussion	53
5	Zusammenfassung.....	59
6	Literaturverzeichnis	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomischer Aufbau; Drei-Säulenmodell nach Rikli und Regazzoni (Schubert und Dávid 2013).....	5
Abbildung 2: Schematische Darstellung der anatomischen Verhältnisse der Hand (Szermutzky et al. 2013).....	6
Abbildung 3: Böhler-Winkel (Schubert und Dávid 2013).....	7
Abbildung 4: Radiale Gelenkwinkel in der Röntgenaufnahme (Zeichen 2014).....	7
Abbildung 5: Müller-AO-Frakturklassifikation für Frakturen des distalen Radius.....	15
Abbildung 6: "Mädchenfänger" (Fernandez 2005).....	19
Abbildung 7: Röntgenaufnahme in zwei Ebenen nach Frakturversorgung mittels Fixateur externe (Zeichen 2014).....	21
Abbildung 8: Palmare Plattenosteosynthese intraoperativ.....	25
Abbildung 9: Palmare Plattenosteosynthese prä- und postoperative Röntgenaufnahmen.....	26
Abbildung 10: Geschlechtsverteilung.....	32
Abbildung 11: Altersstruktur des Kollektivs.....	32
Abbildung 12: Altersverteilung ≤ 55 Jahre und > 55 Jahre.....	33
Abbildung 13: Geschlechtsverteilung ≤ 55 Jahre.....	33
Abbildung 14: Geschlechtsverteilung > 55 Jahre.....	34
Abbildung 15: Häufigkeiten nach AO-Klassifikation.....	34
Abbildung 16: Geschlechtsverteilung innerhalb der AO-Gruppen.....	35
Abbildung 17: Verteilung nach AO-Klassifikation bei Patienten ≤ 55 Jahre.....	35
Abbildung 18: Verteilung nach AO-Klassifikation bei Patienten > 55 Jahre.....	36
Abbildung 19: Verteilung der Frakturtypen nach Geschlecht und Altersgruppe.....	36
Abbildung 20: Unfallursache nach Häufigkeit.....	37
Abbildung 21: Unfallursache bei Männern.....	38
Abbildung 22: Unfallursache bei Frauen.....	38
Abbildung 23: Einteilung Hochenergietrauma bei Männern.....	39
Abbildung 24: Einteilung Hochenergietrauma bei Frauen.....	39
Abbildung 25: Hoch-/Niedrigenergietrauma nach Geschlecht und Altersgruppe.....	40
Abbildung 26: Komplikationen.....	40
Abbildung 27: Dorsopalmare Gelenkwinkel (Mittelwerte) im Verlauf T1 – T5.....	42
Abbildung 28: Dorsopalmare Gelenkwinkel T1 – T5 nach AO-Gruppe.....	42
Abbildung 29: Prozentualer Anteil eines Repositionsverlustes bei A- und C-Frakturen nach AO... 43	43
Abbildung 30: Dorsopalmare Gelenkwinkel im Verlauf T1 – T5 nach Altersgruppe.....	44
Abbildung 31: Prozentualer Anteil des Repositionsverlustes nach Altersgruppe.....	45
Abbildung 32: Dorsopalmare Gelenkwinkel im Verlauf T1 – T5 nach Versorgungsart.....	46
Abbildung 33: Prozentuale Häufigkeit eines Repositionsverlustes nach Versorgungsart.....	47
Abbildung 34: Initiales Repositionsergebnis nach Versorgungsart.....	49
Abbildung 35: Dorsopalmare Gelenkwinkel im Verlauf T1 – T5 nach Plattenbesetzung.....	50
Abbildung 36: Repositionsverlust nach Plattenbesetzung.....	51
Abbildung 37: Plattenbesetzung für A- und C-Frakturen.....	52
Abbildung 38: Verteilung der Frakturtypen auf die verschiedenen Plattenbesetzungen.....	52

Abkürzungsverzeichnis

a. p.	anterior-posterior
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
CRPS	<i>Chronic Regional Pain Syndrome</i> ; obsolete: Morbus Sudeck
CT	Computertomographie
CTS	<i>Carpal Tunnel Syndrome</i> (Karpaltunnelsyndrom)
DRUG	distales Radioulnargelenk
EPL-Sehne	Sehne des Musculus extensor pollicis longus
FPL	M. flexor pollicis long.
FCR	M. flexor carpi radialis
K-Draht	Kirschner-Draht
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
N. medianus	Nervus medianus
Proc. styloideus radii	Processus styloideus radii
Proc. styloideus ulnae	Processus styloideus ulnae
PSU	Processus styloideus ulnae
SL-Band	Ligamentum scapholunare
TFCC	triangulofibrocartilaginäre Komplex
wstab = 4	vier winkelstabile Schrauben
wstab > 4	vier bis sieben winkelstabile Schrauben

1 Einleitung

Der distalen Radiusfraktur kommt unter den verschiedenen Entitäten der Knochenbrüche eine besondere Bedeutung zu, denn sie ist die Fraktur mit der häufigsten Inzidenz und daher von großer Relevanz für den klinischen Alltag, die Patienten und Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Arbeiten. Mit einem Anteil von ca. 15-25 % ist es die am häufigsten vorkommende Fraktur des Menschen (Jupiter 1997; Wolfe 2011; Schubert und Dávid 2013; Zeichen 2014). In Deutschland entspricht dies ca. 200.000 distalen Radiusfrakturen pro Jahr (Siebert und Klonz 2005; Wichelhaus et al. 2012). Vor dem 65. Lebensjahr liegt das Risiko für diese Verletzung bei ca. 1:1.000 und steigt nach dem 85. Lebensjahr auf ca. 12:1.000, wobei Frauen bis zu viermal häufiger betroffen sind als Männer (Wichelhaus et al. 2012).

Aufgrund des demographischen Wandels der Gesellschaft mit steigender Lebenserwartung darf postuliert werden, dass in den kommenden Jahren die Inzidenz altersbedingter distaler Radiusfrakturen steigen wird (Chen und Jupiter 2007). Gerade die Behandlung älterer Patienten stellt in vielerlei Hinsicht eine Herausforderung dar. Häufig ist die Fraktur bei Patienten nach dem 55. Lebensjahr mitbedingt durch eine verminderte Knochendichte im Rahmen einer Osteoporose, sodass bei der Therapieplanung und Versorgung nicht nur Grunderkrankungen, Frakturtyp, Aktivitätslevel und die Erwartungen des Patienten berücksichtigt werden müssen, sondern ebenfalls das therapeutische Vorgehen an die vorhandenen Knochenverhältnisse angepasst werden muss (Zeichen 2014). In diesem Rahmen ist sicherlich als wichtiges Momentum die Einführung der winkelstabilen, internen Plattenosteosynthese zu nennen, die eine stabile Frakturversorgung auch am osteoporotischen Knochen ermöglicht (Knight et al. 2010; Voigt et al. 2012). Auch die Wahrnehmung und Beurteilung dieser alltäglichen Fraktur hat sich verändert. Postulierte Colles im Jahre 1824 noch, dass grobe Fehlstellungen langfristig nur wenig Beschwerden verursachten und mit einer befriedigenden Funktion einhergingen, ist man sich heute darüber einig, dass eine möglichst exakte Wiederherstellung der anatomischen Gelenkflächen von großer Bedeutung für den langfristigen Funktionserhalt des Handgelenks ist (Colles 1970; McQueen et al. 1996; Siebert und Klonz 2005; Kwan et al. 2011a). Eine gute Funktion des Handgelenks und dessen Erhaltung werden maßgeblich durch eine physiologische Gelenkanatomie mit Gelenkwinkeln in der Norm und ohne Gelenkstufen mitbestimmt, dies schließt jedoch nicht aus, dass auch gute funktionelle Ergebnisse bei in Dislokation ausgeheilten Frakturen erzielt werden können (McQueen et al. 1996; Siebert und Klonz 2005). Der Stellenwert eines vollfunktionierenden Handgelenkes mit den wichtigen Bewegungen in Flexion, Extension, Pronation und Supination werden meist erst bei Einschränkung in ihrer alltäglichen Bedeutung erkannt. Auch hier lässt sich bereits die Relevanz für den Erhalt der persönlichen Selbstständigkeit und der Lebensqualität erkennen. Dies stellt vor dem Hintergrund einer sich wandelnden gesellschaftlichen Altersstruktur ebenfalls einen bedeutenden sozioökonomischen Faktor dar.

Durch eine operative Behandlung können eine schnellere Arbeitsfähigkeit hergestellt bzw. eine Heimunterbringung verkürzt oder vermieden werden (Drobetz et al. 2016).

Seit der Jahrtausendwende zeichnet sich ein Trend hin zur operativen Versorgung ab, der vor allem seit Einführung der palmaren, winkelstabilen Plattenosteosynthese zugenommen hat. Dieser Wandel sei aber kritisch zu hinterfragen, da Therapieempfehlungen oft als Expertenmeinung einzustufen und Evidenzen oft nicht signifikant nachweisbar sind (Stahel et al. 2005; Chen und Jupiter 2007; Krimmer 2008; Windolf et al. 2008; Zeichen 2014).

1.1 Ziel der Arbeit

Es gibt bereits zahlreiche Studien und Dissertationen, die sich mit der distalen Radiusfraktur beschäftigt haben. Dies liegt nicht nur daran, dass es sich hierbei um die häufigste Fraktur des Menschen handelt, sondern auch daran, dass es trotz etablierter Therapiemöglichkeiten bisher nur wenige, evidenzbasierte Therapieempfehlungen gibt (Stahel et al. 2005; Chen und Jupiter 2007; Krimmer 2008; Windolf et al. 2008; Zeichen 2014). Die Patienten sind sehr heterogen, sodass universell gültige Empfehlungen nicht ausgesprochen werden können (Obert et al. 2013). Diese Arbeit versucht, einen Beitrag zur Optimierung der klinischen Versorgungssituation der distalen Radiusfraktur zu leisten, indem der Zusammenhang zwischen Art der Therapie mit objektivierbaren, radiologischen Parametern überprüft werden soll. Bei entsprechend signifikanter Überlegenheit der operativen Frakturversorgung für die einzelnen Frakturen gilt es im nächsten Schritt, die vorteilhafteste Besetzung der Radiusplatten mit winkelstabilen Schrauben zu evaluieren. Die Osteosyntheseplatten weisen eine Schraubenreihe im Schaftbereich (metaphysär) auf, welche mit konventionellen Schrauben besetzt wird und ein bis zwei Reihen distal, welche mit winkelstabilen Schrauben besetzt werden. Am häufigsten werden vier oder mehr als vier winkelstabile Schrauben distal verwendet. Zum Zeitpunkt der Anfertigung der Dissertation gab es noch keine wissenschaftliche Studie mit großem Patientenkollektiv, die sich damit beschäftigt hat, ob bei A- und C- Frakturen nach AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) vier Schrauben die reponierte Fraktur genauso gut stabilisieren – und eine Redislokation verhindern können – wie eine Plattenkonfiguration mit mehr als vier Schrauben.

Bislang liegen teils widersprüchliche Studien bzgl. der operativen Versorgung vor und es kann aufgrund mangelnder Evidenz keine klare Therapieempfehlung ausgesprochen werden (Obert et al. 2013). Drobetz postulierte auf die Frage der Schraubenbesetzung bei zweireihigen Implantaten „*more is not necessarily better*“ und zeigte in einer experimentellen Studie bei C2-Frakturen, dass zweireihige, multidirektionale gegenüber einreihigen, unidirektionalen Implantaten in Bezug auf Rigidität und Repositionsverlust keinen Vorteil erzielen können (Drobetz et al. 2013). Dem widersprechend publizierten Mair et al. im selben Jahr eine Studie, in der sich Vorteile zweireihiger Implantate bzgl. Stabilität und Risiko eines Repositionsverlustes darstellten (Mair et al. 2013). Gleichzeitig wurden hier die Nachteile

eines zu rigiden Implantats aufgezeigt, welches ein erhöhtes Risiko für eine Schraubenlockerung und eine Schädigung der Gelenkfläche, u. a. durch durchschneidende Schrauben, aufweist (Knight et al. 2010; Mair et al. 2013). Auch wird generell die Notwendigkeit bzw. die Überlegenheit der operativen Versorgung der distalen Radiusfraktur angezweifelt. Es scheint, dass sich Langzeitergebnisse wohl nicht signifikant unterscheiden und insbesondere ältere Menschen auch bei eingeschränkter Funktion des Handgelenks noch einen zufriedenstellenden Funktionsumfang für Aufgaben des täglichen Lebens bei erhaltener Lebensqualität haben (Jakob et al. 1999; Bartl et al. 2014; Kawasaki et al. 2014). Im Hinblick auf die Indikationsstellung zum operativen Vorgehen werden u. a. Instabilitätskriterien herangezogen, die das Risiko einer sekundären Dislokation erhöhen. Bzgl. der Instabilitätskriterien sind – genauso wie bei den radiologisch zu tolerierenden Fehlstellungen – die Grenzwerte dynamisch und einzelne Parameter zur Indikationsstellung meist ungeeignet (Siebert und Klonz 2005; Schneiders et al. 2006; Wichelhaus et al. 2012), ebenso kann die AO-Klassifikation bei der Therapieentscheidung mit berücksichtigt werden (Müller-Mai und Frank 2010).

Da wir nicht nur in einer stets alternden Bevölkerung leben, sondern auch höhere Ansprüche bezüglich Aktivitätsniveau im Alter und an ein selbstständig geführtes Leben haben, ist eine optimale Therapie von besonderer Bedeutung, um diesen hohen Ansprüchen auch langfristig gerecht werden zu können (Siebert und Klonz 2005; Drobetz et al. 2016).

Diese Arbeit soll überprüfen, ob die operative Behandlung einer konservativen Therapie überlegen ist und ob sich die Anzahl der Verriegelungsschrauben im Rahmen einer Plattenosteosynthese auf den Repositionsverlust auswirkt. Diese Überprüfung soll auf der Basis einer Gegenüberstellung der Böhler-Winkel (dorsopalmare Inklination) und der Dislokationsrate im Verlauf innerhalb vergleichbarer Frakturen zwischen operativ und konservativ versorgten Frakturen erfolgen. Aufgrund des aktuellen Trends hin zur operativen Versorgung mittels palmarer, winkelstabiler Plattenosteosynthese sollten jene Frakturen identifiziert werden, die vergleichbare Therapieergebnisse auch bei konservativer Therapie erreichen können, um eine operative „Übertherapie“ zu verhindern (Fernandez 2005). Die distale Radiusfraktur war schon Gegenstand vieler wissenschaftlicher Arbeiten, doch aufgrund des facettenreichen und heterogenen Frakturbildes und neuen bzw. verbesserten Osteosynthesemöglichkeiten findet man zu dieser Entität keine klare Studienlage bezüglich des therapeutischen Vorgehens und auch die sich stetig weiterentwickelnden Leitlinien sind nicht nur das konsequente Resultat von Studien, sondern beruhen oft auf empirischen Daten und Erfahrungswerten der Verfasser (Diaz-Garcia et al. 2011; Obert et al. 2013; Zeichen 2014). Obwohl in den letzten Jahren ein Trend in der Therapie hin zur internen Osteosynthese zu beobachten ist, finden sich in der Literatur nur wenige überzeugende Studien, die als Grundlage diese Entwicklung erklären könnten; Level I Studien in der Versorgung der distalen Radiusfraktur seien eher die Ausnahme (Chen und Jupiter 2007). Diese Arbeit soll einen weiteren Beitrag leisten, die wissenschaftliche Grundlage für Entscheidungen in Bezug auf die klinische Versorgung der distalen

Radiusfraktur zu ergänzen. Für eine bestmögliche Patientenversorgung gilt es, nicht nur die optimale Therapieform zu wählen, sondern auch Risikofaktoren für das Frakturereignis selbst als auch für einen sekundären Repositionsverlust zu identifizieren.

1.2 Anatomie

1.2.1 Knochen

Das Handgelenk setzt sich aus mehreren funktionellen Einheiten zusammen. Diese werden von den Handwurzelknochen (Carpalia), den Mittelhandknochen (Metacarpalia), der Speiche (Radius), der Elle (Ulna) und den dazwischen befindlichen Gelenken gebildet.

Der distale Radius weist drei Gelenkflächen auf: Zum einen die konkave Fovea scaphoidea, hier artikuliert der Radius mit dem Os scaphoideum (Kahnbein) und die ebenfalls konkave Fovea lunata, wo die Artikulation mit dem Os lunatum (Mondbein) erfolgt. Des Weiteren weist der Radius noch eine sogenannte *sigmoid notch* auf, die radiale Gelenkfläche des distales Radioulnargelenks (DRUG). Das DRUG dient nicht der Kraftübertragung, sondern ermöglicht eine Drehung des Unterarmes, also die Pro- und Supinationsbewegung. Relative Längenveränderung der Ulna in Plus- oder Minusvariante führen zu Veränderungen der Druck- und Lastverteilung des DRUG mit dem Risiko einer vorzeitigen Arthrose, einer Einschränkung des Bewegungsumfanges und somit auch der Funktionalität (Siebert und Klonz 2005, S. 137; Kwan et al. 2011a; Zeichen 2014, S. 112). Der Caput ulnae liegt in Bezug auf die Fovea lunata in Neutralstellung physiologisch etwa auf gleicher Höhe, Abweichungen hiervon werden als Ulnaplus- (hier überragt das Ulnaköpfchen den Radius) oder Ulnaminusvariante (hier ist die Ulna relativ zu kurz) bezeichnet. Die Ulnaplusvariante tritt häufig posttraumatisch infolge einer eingesinterten Fraktur mit konsekutiver Verkürzung des Radius auf, kann aber auch als angeborene Normvariante vorliegen (Siebert und Klonz 2005). Zwischen Ulna und Carpalia liegt als weiterer Teil des Handgelenks der triangulofibrokarartilaginäre Komplex (TFCC) – eine Struktur aus Faserknorpel, die als eine Art Fortsetzung des Radiocarpalgelenkes fungiert und dem Handgelenk, insbesondere dem Radioulnargelenk, Stabilität verleiht (Siebert und Klonz 2005).

Schaut man auf den anatomischen Aufbau und die physiologische Kraftübertragung von Unterarm auf Handgelenk, wird oft das Drei-Säulenmodell nach Rikli und Regazzoni (Abbildung 1) zur Veranschaulichung genutzt (Rikli und Regazzoni 1996).

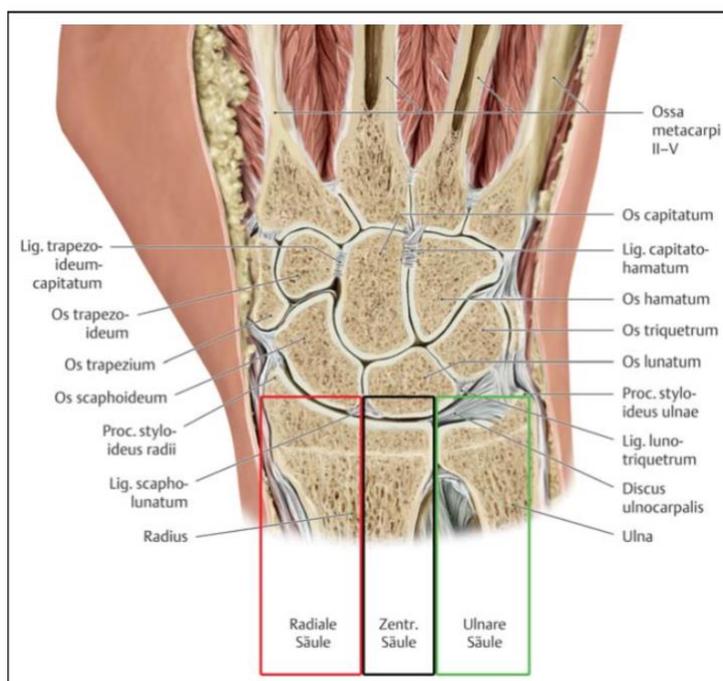


Abbildung 1: Anatomischer Aufbau; Drei-Säulenmodell nach Rikli und Regazzoni (Schubert und Dávid 2013).

Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags.

Rikli und Regazzoni teilen das Handgelenk in drei Säulen ein. Eine ulnare Säule bestehend aus Ulna und TFCC, welche der Kraftübertragung und Stabilisation dient, eine intermediäre (zentrale) Säule bestehend aus ulnarem Teil des Radius und eine radiale Säule bestehend aus radialem Anteil des Radius und der Fovea scaphoidea. Für die Stabilität des Handgelenks ist die radiale Säule von entscheidender Bedeutung, da sie eine knöcherne Abstützfunktion hat und der Insertion für die radiocarpalen Bänder dient. Zusätzlich bedingt diese auch die Rotationsstabilität bei Pro- und Supinationsbewegungen. Die intermediäre (zentrale) Säule ist in Neutralstellung des Handgelenks hauptverantwortlich für die Kraftübertragung zwischen Hand und Unterarm, im Rahmen eines Traumas werden etwa 80 % der einwirkenden Energie von dieser Säule aufgenommen (Siebert und Klönz 2005; Schubert und Dávid 2013; Szermutzky et al. 2013). So erklärt sich auch, weshalb bei intraartikulären Frakturen durch die Krafteinwirkung vor allem die zentrale Säule von Impressionen betroffen und der Proc. styloideus radii häufig nicht frakturiert ist (Wichelhaus et al. 2012). Daher kommt der zentralen Säule im Rahmen der anatomischen Rekonstruktion der Gelenkfläche eine besondere Bedeutung zu. Die ulnare Säule dient ebenfalls der Kraftübertragung und stabilisiert den ulnaren Anteil des Radiocarpalgelenkes.

1.2.2 Bandverbindungen

Der Bandapparat des Handgelenks lässt sich in einen extrinsischen und intrinsischen Teil gliedern und gibt dem Handgelenk die benötigte Stabilität. Abbildung 2 gibt hierzu einen Überblick. Zu dem extrinsischen Teil werden jene Bandverbindung gezählt, die vom Radius und der Ulna über das Handgelenk zu den Handwurzelknochen ziehen. Die wichtigsten extrinsischen Bandverbindungen sind das Ligamentum radioscapholunare, das Ligamentum radioscaphocapitale und das Ligamentum radiotriquetrale, wobei alle an der Radiuskante entspringen und zu den namensvorgebenden karpalen Knochen ziehen. Ulnarseitig liegen die Ligamenta ulnocapitale, ulnotriquetrale und ulnolunare, welche den TFCC stabilisieren.

Zu den intrinsischen Bändern zählen alle Ligamente, die interössär zwischen den Handwurzelknochen verlaufen (Szermutzky et al. 2013). Am häufigsten sind das skapholunäre (SL-) Band oder das lunotriquetrale (LT-) Band verletzt (Meier et al. 2003). Eine Aufweitung des Gelenkspaltes zwischen Os scaphoideum und Os lunatum kann Hinweis auf eine Schädigung des Bandapparates mit Instabilität geben und bedarf weiterer Abklärung (bspw. mittels Arthroskopie) und ggf. einer differenzierten Therapie (Siebert und Klonz 2005, S. 140).

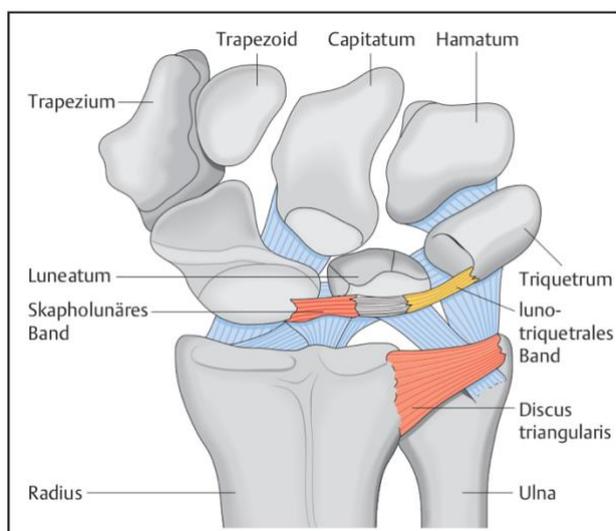


Abbildung 2: Schematische Darstellung der anatomischen Verhältnisse der Hand (Szermutzky et al. 2013).

Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags.

1.2.3 Böhler-Winkel

Als „Böhler-Winkel“ – benannt nach Lorenz Böhler (1885-1973) – werden „Gelenk-Schaft-Winkel bezeichnet“ (Böhler 1957). Bezogen auf den distalen Radius ergeben sich zwei Böhler-Winkel, einmal in anterior-posteriorer und in lateraler Projektion (Abbildung 3, Abbildung 4). Hierzu wird eine gedachte longitudinale Achse durch die Radiusdiaphyse (Knochenschaft der Speiche) gelegt und orthogonal dazu eine weitere Achse auf Höhe der

radialen bzw. respektive der palmaren Begrenzung der Radiuskante konstruiert. Die Neigung der Gelenkflächen gemessen an dieser Senkrechten ergibt in a.p.-Projektion eine ulnare Inklination (auch als Radiusbasiswinkel bezeichnet) von ca. 20° und in lateraler Projektion eine palmare Inklination von ca. 10° . In der Literatur finden sich diesbezüglich unterschiedliche Angaben, die sich um wenige Grad voneinander unterscheiden. Als normal wird eine radioulnare Inklination von $20\text{-}25^\circ$ und eine dorsopalmare Inklination von $10\text{-}15^\circ$ beschrieben (Schneiders et al. 2006; Grifka und Kuster 2011; Schubert und Dávid 2013; Zeichen 2014). Die palmare Inklination und deren Wiederherstellung hat einen entscheidenden Einfluss auf das funktionelle Ergebnis (McQueen et al. 1996; Siebert und Klönz 2005; Kwan et al. 2011b). So forderten Gartland und Werley schon 1951 die Wiederherstellung der physiologischen Böhler-Winkel im Rahmen der therapeutischen Bemühungen (Gartland und Werley 1951).

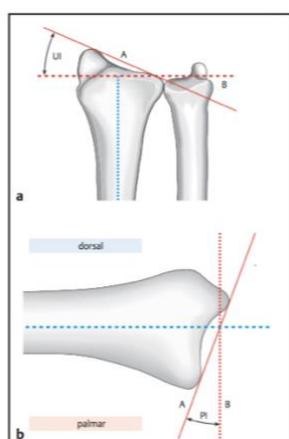


Abbildung 3: Böhler-Winkel (Schubert und Dávid 2013).

Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlags.

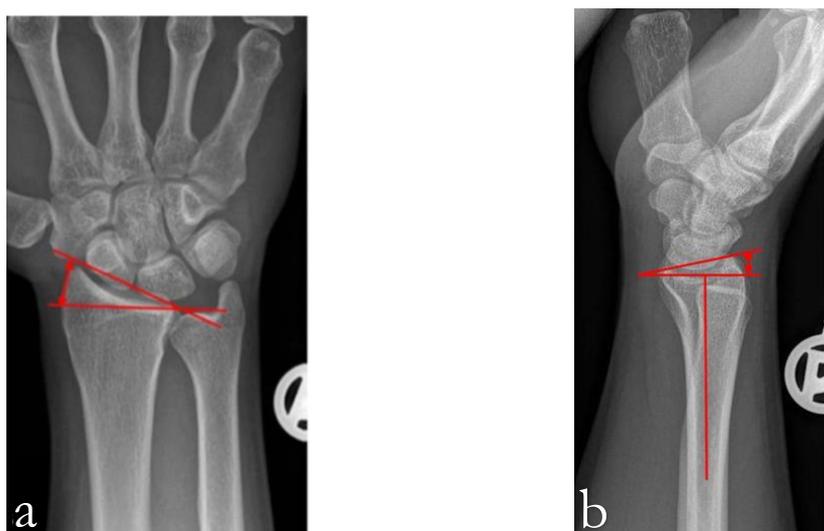


Abbildung 4: Radiale Gelenkwinkel in der Röntgenaufnahme (Zeichen 2014).

a Radiusbasiswinkel **b** (dorso-)palmare Inklination

Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags.

1.3 Unfallmechanismus und Risikofaktoren

Beim Unfallmechanismus gilt es in diesem Rahmen zwei Altersgruppen getrennt voneinander zu betrachten. Bei Patienten jünger als 55 Jahre tritt die distale Radiusfraktur häufig im Rahmen von Hochenergietraumata bspw. durch einen Verkehrsunfall oder durch andere hochenergetische Unfälle (bspw. bei Ausübung von Freizeitaktivitäten) auf (Siebert und Klonz 2005; Xavier et al. 2011). Aufgrund der Hochenergietraumata kommt es in dieser Gruppe in > 50 % der Frakturen zu Dislokationen.

In der Altersgruppe über 55 Jahre sind vor allem Niedrigenergietraumata wie bspw. ein Bagatelltrauma mit Sturz aus dem Stand im häuslichen Umfeld ursächlich für die Frakturentstehung. In dieser Patientengruppe herrscht eine deutliche Häufigkeitsdominanz des weiblichen Geschlechts (Xavier et al. 2011).

Da die distale Radiusfraktur alleine schon durch ihre Häufigkeit auffällt, ist naheliegend, dass es auch zahlreiche bislang identifizierte Risikofaktoren gibt. Wichtig erscheint, positiv zu beeinflussende Risikofaktoren zu erkennen und diesen entgegenzuwirken, sodass sich das individuelle Risiko, eine Fraktur zu erleiden, reduzieren lässt.

Neben der häufig bereits herabgesetzten Knochendichte mit zunehmendem Lebensalter spielen weitere Begleiterkrankungen eine wichtige Rolle, da diese nicht nur das Sturzrisiko z. B. durch kardiale und neurologische Erkrankungen erhöhen, sondern auch das Vermögen, Stürze abzufangen, limitieren können.

Überdies gelten das weibliche Geschlecht, die kaukasische Abstammung und eine Osteoporose als Risikofaktoren für diesen Frakturtyp (Harness et al. 2012).

1.4 Diagnostik

Wie bei jeder medizinischen Vorstellung sind neben der bildgebenden Technik vor allem die Anamnese und die klinische Untersuchung von besonderer Wichtigkeit. In der Anamnese gilt es, neben Risikofaktoren, Vorerkrankungen, früheren Frakturereignissen insbesondere auch den Unfallhergang zu erfragen.

In der klinisch-körperlichen Untersuchung wird zuerst mit der Inspektion begonnen und auf Hämatome, Weichteilverletzung, Fehlstellungen und Hinweise für eine offene Fraktur geachtet. Von pathognomonischem Wert sind u. a. die typische Bajonett- oder Fourchette-Fehlstellung. Diese Fehlstellungen resultieren aus einem nach dorsal bzw. radial verschobenem distalen Radiusfragment (Wichelhaus et al. 2012). Anschließend wird palpirt, wobei einzelne Punkte auf provozierbare Druckschmerzhaftigkeit hin untersucht werden und die Durchblutung überprüft werden muss. Bei der Palpation können für Frakturen typische Krepitationen ("Knochenknirschen") zu hören sein.

Nach der Palpation müssen notwendigerweise die Motorik und Sensibilität geprüft werden. Hierbei werden aktiv und passiv sowohl Unterarm als auch Hand-, Finger- und

Daumengelenk durchbewegt und deren Funktion geprüft. Im Rahmen der Diagnostik gilt es, eine Sensibilitätskontrolle durchzuführen und klinisch ein Kompartmentsyndrom auszuschließen (Rueger et al. 2014).

1.4.1 Radiologische Diagnostik

1.4.1.1 Röntgenaufnahme

Die Standardröntgenaufnahme in zwei Ebenen, anterior-posteriorer und seitlicher (lateraler) Strahlengang, stellt das mit Abstand zahlenmäßig bedeutsamste bildgebende Verfahren in der Frakturdiagnostik dar und ist in den meisten Fällen auch die effizienteste Methode. Sowohl kostengünstig als auch schnell verfügbar liefert die Standardröntgenaufnahme bei korrekter Durchführung meist ausreichend Informationen zu Beurteilung und Einteilung der distalen Radiusfraktur (Wichelhaus et al. 2012).

Für die Aufnahme Handgelenk a. p. und der Frage nach einer Fraktur wird die in Neutralstellung befindliche Hand bei 90° im Ellenbogen gebeugten Arm auf die Röntgenkassette gelegt und zwar so, dass der Mittelfinger (D3) als Verlängerung des Radius gestreckt ist. Der Zentralstrahl ist hierbei mittig auf Objekt und Film auszurichten. Als Qualitätskriterien für eine gute Beurteilbarkeit der abgebildeten Strukturen können die vollständige Abbildung der Metacarpalia, der Carpalia und des distalen Unterarms angesehen werden.

In der a. p.-Aufnahme zu erkennen sind die distale Radiusgelenkfläche in der Frontalebene, das Längenverhältnis Radius zu Ulna (Ulnaplu- oder Ulnaminusvariante) und die Kontinuität der drei Karpalbögen (Bezeichnung für die Verbindung der Konturen der beiden Handwurzelreihen, auch als Gilulabögen bezeichnet). Der Processus styloideus ulnae (PSU) sollte sich hierbei ganz ulnar/lateral projizieren und der Radiuschaft sollte auf ausreichender Länge dargestellt sein, um die Böhler-Winkel korrekt bestimmen zu können. Das so erstellte Röntgenbild dient der Bestimmung der radioulnaren Neigung der Gelenkfläche (Mann et al. 1992; Meier et al. 2003).

Für die seitliche Aufnahme des Handgelenks müssen Handgelenk, Unterarm und gebeugter Ellenbogen streng seitlich mit der Kleinfingerseite der Röntgenkassette zugewandt flach aufliegen. Die Hand selbst sollte in leichter Neigung nach dorsal, also in leichter Dorsalextension befindlich, sein und der Daumen gestreckt über der Handfläche, sodass dieser aus dem Zentralstrahl weicht. Der Zentralstrahl ist orthogonal auf Handgelenk- und Filmmitte zu richten. Als Qualitätskriterium wird die übereinanderliegende distale Projektion von Radius und Ulna angesehen, zudem sollten Mittelhand, Handwurzelknochen und distaler Unterarm miterfasst sein. Seitlich rotierte Aufnahme können eine Beurteilbarkeit unmöglich machen (Meier et al. 2003). Eine Pronation unter Bildgebung führt zu einer Zunahme der palmaren Inklinations, eine Supinationsbewegung zu einer Abnahme (Mann et

al. 1992; Robertson et al. 2002). Das so erstellte Röntgenbild dient der Bestimmung der dorsopalmaren Neigung der Gelenkfläche (Mann et al. 1992; Meier et al. 2003).

1.4.1.1 Stecheraufnahme

Diese Aufnahmetechnik in posterior-antierem Strahlengang bei Ulnardeviation wird bei spezieller Fragestellung genutzt, v. a. um das Os scaphoideum besser beurteilen zu können. Zudem kann eine dargestellte Erweiterung des Gelenkspalts zwischen Os scaphoideum und Os lunatum als Hinweise auf eine Schädigung des SL-Bandes gewertet werden. Diese Aufnahmemodalität ist ähnlich einer a. p.-Aufnahme mit ulnar abduziertem Handgelenk (Meier et al. 2003).

1.4.1.2 Computertomographie/Magnetresonanztomographie

Die Computertomographie (CT) stellt vor allem bei sehr komplexen Frakturen, die oft bei Hochenergetraumata auftreten, ein geeignetes und wichtiges Verfahren zur präoperativen Diagnostik und OP-Planung dar. Dies gilt insbesondere für die Gruppe der C3-Frakturen, die durch das mehrfragmentäre, intraartikuläre Frakturmuster eine besondere Herausforderung an die Wiederherstellung der Gelenkfläche mit möglichst optimalen Artikulationsverhältnissen darstellt.

Bei Verdacht auf Band- und andere Weichteilverletzungen, insbesondere des TFCC, kann gegebenenfalls auch eine Magnetresonanztomographie (MRT)-Aufnahme durchgeführt werden (Krimmer et al. 2004; Müller-Mai und Frank 2010; Wichelhaus et al. 2012; Schubert und Dávid 2013; Zeichen 2014).

1.4.2 Arthroskopie

Die Arthroskopie stellt ein invasives Verfahren dar und wird daher nicht zur primären Diagnostik eingesetzt, sie erlaubt jedoch nicht nur eine gute Beurteilbarkeit von Begleitverletzungen, hier insbesondere Verletzungen des TFCC oder Bandrupturen, sondern ermöglicht auch die unmittelbare Behandlung (Siebert und Klonz 2005; Wichelhaus et al. 2012). Ggf. wird die Arthroskopie daher gemeinsam mit der Frakturversorgung durchgeführt und erscheint v. a. bei komplizierten Frakturen mit Gelenkbeteiligung sinnvoll. Im klinischen Alltag kommt der Arthroskopie im Rahmen der Frakturversorgung der distalen Radiusfraktur allerdings eher eine untergeordnete Rolle zu, da andere bildgebende Verfahren i. d. R. schneller und einfacher zur Verfügung stehen (Meier et al. 2003).

1.5 Begleitverletzungen

Die distale Radiusfraktur kann mit zahlreichen Begleitverletzungen einhergehen. Am häufigsten kommt es zu karpalen Bandverletzungen und Verletzung des DRUG mit Schädigung des TFCC inkl. Fraktur der Processus styloideus ulnae (Reichl et al. 2011).

Verletzung des DRUG: Destabilisierende Läsionen des DRUG stellen die häufigsten Begleitverletzungen dar. Nicht nur durch direkte Verletzung, sondern auch durch axiale Stauchung des Radius mit konsekutiver Verkürzung kann eine sogenannte Ulnaplustvariante zu funktionellen Einschränkungen führen. Bei Verkürzung des Radius um $> 3\text{mm}$ kommt es besonders häufig zu diesem Szenario, in dem die Ulna nun relativ gesehen zum Radius länger ist und dadurch direkten Kontakt zu den karpalen Knochen aufweist. Diese veränderte Gelenkanatomie wird auch als Ulna-Impaction-Syndrom bezeichnet und bedingt Schmerzen und Funktionseinschränkungen im Handgelenk als auch eine Beeinträchtigung der Pro- und Supinationsbewegung im Unterarm (Schneiders et al. 2006; Xavier et al. 2011; Rueger et al. 2014).

1.5.1 Fraktur des Griffelfortsatzes

Bei Abriss des Proc. styloideus radii (PSR; Griffelfortsatz) kommt es zu einer ossären Avulsion (Abriss) der radiocarpalen Bänder mit Instabilität und Abscherung des radialen Gelenkanteils.

1.5.2 Fraktur der Ulna

Oft handelt es sich um einen Abriss des Proc. styloideus ulnae (PSU; Ellengriffelfortsatz) mit ca. 60 % (Rueger et al. 2014). Ist lediglich der PSU betroffen, kann auch ein unbehandelter Abriss zu guten Behandlungsergebnissen führen (Woltmann et al. 2007; Reichl et al. 2011). Liegt die distale Radiusfraktur hingegen kombiniert mit einer im Schaftbereich frakturierten Ulna vor, spricht man von einer distalen Unterarmfraktur (Woltmann et al. 2007).

Als Sonderform gilt die Galeazzi-Fraktur, welche eine kombinierte Fraktur des Radius mit luxiertem oder subluxiertem Ulnaköpfchen bei rupturierter Membrana interossea darstellt (Wichelhaus et al. 2012).

1.5.3 Fraktur des Os scaphoideum

Die Kahnbeinfraktur ist eine häufige Begleitverletzung. Ob die Fraktur instabil ist und operativ versorgt werden muss, lässt sich mit einer CT-Untersuchung feststellen (Wichelhaus et al. 2012).

1.5.4 Nervenverletzungen

Der N. medianus weist in 15-20 % eine klinisch relevante Kompressionssymptomatik auf, die jedoch meist keiner operativen Intervention bedarf. Nach Reposition stellt sich meist auch eine Dekompression des Nervs ein. Persistiert jedoch die Beeinträchtigung des N. medianus im Sinne eines Karpaltunnelsyndroms, so kann das Retinaculum flexorum gespalten werden (Grifka und Kuster 2011).

1.5.5 Radiokarpale und karpale Verletzungen

Bei der routinemäßigen Röntgenaufnahme in zwei Ebenen sollte auf karpale Verletzungen geachtet werden. Die karpalen Gelenkbögen (Gilulabögen) sollten parallel und die Gelenkspalten überall etwa gleich groß sein. Eine Veränderung der Gelenkbögen oder eine Projektion zweier Gelenkspalten übereinander können Hinweise sowohl auf ossäre, ligamentäre oder karpale Verletzungen geben (Jupiter 1997; Romano et al. 2018).

1.5.6 Sehnenverletzungen

Besonders häufig kommt es zu Läsionen der Sehne des M. extensor pollicis longus (EPL-Sehne), welche in ca. 1-2 % aller distalen Radiusfrakturen rupturiert (Scharf und Rüter 2011). Oft rupturiert die Sehne nach dorsaler Plattenosteosynthese. Zum einen stellt die eingebrachte dorsale Platte durch direkte Irritation – insbesondere bei langer Liegedauer in situ – selbst einen ursächlichen Faktor dar, zum anderen kann der intraoperativ erfolgende Zug auf die Sehne ebenfalls als mitursächlich betrachtet werden. Nicht zu vernachlässigen ist jedoch, dass es zu spontanen Rupturen der EPL-Sehne auch Wochen nach palmarer Plattenosteosynthese kommen kann. Kausal wird hierfür ein posttraumatisch entstandenes Hämatom mit konsekutiver Kompression, vaskulärer Minderversorgung und Irritation der Sehne angesehen. Die Irritation wird durch kleine dorsale Knochenkanten und zu lange Schrauben hervorgerufen. Es werden auch spontane Rupturen bei konservativem Therapieregime ca. fünf bis sechs Wochen nach Trauma beobachtet, hierfür werden eine Minderversorgung und Abnutzung auf Höhe des Tuberculum listeri verantwortlich gemacht (Romano et al. 2018). Im Rahmen einer palmaren Plattenosteosynthese sind Läsionen des Sehnenapparates seltener, da die palmar eingebrachte Platte durch Positionierung unterhalb des M. pronator quadratus keinen direkten Kontakt zu den Beugesehnen aufweist (Fernandez 2005; Berglund und Messer 2009; Wichelhaus et al. 2012).

1.5.7 Bandverletzungen

Am bedeutendsten ist die Verletzung des SL-Bandes, also die ligamentäre Verbindung zwischen Os scaphoideum und Os lunatum. Diese rupturiert mit einer Häufigkeit von etwa 30 % und ist im Röntgenbild an einer Diastase (Auseinanderweichen) der beiden Knochen zu erkennen (Meier et al. 2003; Krimmer 2008).

1.6 Klassifikation

Für die Frakturklassifikation haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Klassifikationssysteme etabliert. Neben der im deutschsprachigen Raum gängigen Verwendung der AO-Klassifikation halten sich weitere Klassifikationen und Eponyme wie Colles- und Smith-Fraktur im klinischen Alltag. Insgesamt sind über 20 Klassifikationssysteme in der Literatur beschrieben (Machado et al. 2016). Große Nachteile

aller Klassifikationssysteme liegen darin, dass sie oft nicht standardisiert und komplex sind und kaum prognostische Informationen besitzen (Andersen et al. 1996; Zeichen 2014).

1.6.1 Colles-Fraktur

Die Colles-Fraktur ist typischerweise eine Extensionsfraktur bei Sturz auf die ausgestreckte Hand in Pronations- und Dorsalextensionsstellung und wurde bereits 1814 von Abraham Colles beschrieben. Sie entspricht der sogenannten *Fractura loco typico* mit einer Einstauchung und Dislokation der Fragmente nach dorsal (Colles 1970; Schubert und Dávid 2013).

Extensionsfrakturen kommen im Vergleich zu Flexionsfrakturen ca. sechsmal häufiger vor und machen ca. 90 % aller distalen Radiusfrakturen aus (Woltmann et al. 2007; Zeichen 2014).

1.6.2 Smith-Fraktur

Die von Sir Robert Smith 1847 beschriebene und nach ihm benannte Fraktur stellt das Pendant zur Colles Fraktur dar. Die Smith-Fraktur ist eine Flexionsfraktur und entsteht durch Sturz auf die palmarflektierte Hand. Bei diesem Frakturtyp erfolgt eine Dislokation nach palmar (Schubert und Dávid 2013).

1.6.3 Barton- und reversed Barton-Fraktur

Auch diese Klassifikation findet sich häufig im klinischen Alltag und umfasst den von Pattee und Thompson beschriebenen Frakturtyp – angelehnt an J. R. Barton aus dem Jahre 1840 – bei welchem als Radiusextensionsfraktur entweder ein dorsaler (Barton) oder palmarer (reversed Barton) Kantenabbruch des ulnaren Teils der zentralen Säule vorliegt (Barton 1838; Pattee und Thompson 1988).

1.6.4 Chauffeurfraktur

Die Chauffeurfraktur, welche auch als Hutchinson- oder backfire-Fraktur bekannt ist, beschreibt eine isolierte Fraktur des Processus styloideus radii (Wichelhaus et al. 2012). Die Namensgebung ist hierbei historisch bedingt durch die Anfang des 20. Jahrhunderts häufig aufgetretene Fraktur im Rahmen des Anlassens von Automobilen mittels Kurbel. Beim Zurückschlagen der Anlasserkurbel kam es zum direkten Trauma am radialeseitigen Handgelenk mit Hyperextension und häufig sagittalverlaufender Frakturlinie, die das Bild einer Chauffeurfraktur beschreibt (Wolfe 2011).

1.6.5 Die-Punch-Fraktur

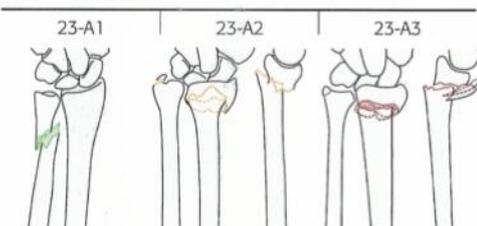
Hierbei handelt es sich um eine eher seltene Fraktur, bei der es durch axiale Krafteinwirkung zu einer Impressionsfraktur der Fovea lunata durch das Os lunatum kommt (Wolfe 2011).

1.6.6 AO-Klassifikation

In dieser Arbeit wird die Müller-AO-Frakturklassifikation für lange Röhrenknochen verwendet, da sie eine im Vergleich zu anderen Klassifikationen hohe Interraterreliabilität bezüglich Reproduzierbarkeit der Frakturklassifikation aufweist und sich neben rein deskriptiven Aspekten auch teils therapeutische Konsequenzen ableiten lassen (Siebert 2005). Diese Klassifikation findet häufig Anwendung in aktueller, internationaler Literatur und wird auch von Fachgesellschaften verwendet, u. a. auch in den Leitlinien zur distalen Radiusfraktur der AWMF (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e. V.). Ein zu erwähnender Nachteil dieser Klassifikation ist allerdings, dass eine Dislokation der Gelenkfläche nicht berücksichtigt wird (Kreder et al. 1996; Flinkkila et al. 1998). Eine solche Berücksichtigung wäre sinnvoll, da anzunehmen ist, dass das funktionelle Ergebnis bei dislozierten intraartikulären Frakturen schlechter ist als bei extraartikulären Frakturen oder jenen intraartikulären Frakturen ohne Dislokation (Kreder et al. 1996). Des Weiteren verlangt die AO-Klassifikation nicht zwingend eine Klassifizierung an der unreponierten Fraktur, naheliegend ist allerdings, dass nach Reposition möglicherweise nicht mehr die ursprüngliche Fragmentkonfiguration vollständig zu erfassen ist (Jayakumar et al. 2016).

Seit Januar 2018 findet sich eine aktualisierte Version der AO-Klassifikation, die im Wesentlichen eine veränderte Nomenklatur beinhaltet. Der distalen Radiusfraktur sind nun 2R3A bis 2R3C statt 23-A bis 23-C vorbehalten, die Subgruppen und die Fraktуреinteilung wurden nicht verändert, eine Fraktur des PSU wurde berücksichtigt. Da für die Erstellung dieser Arbeit auf Daten und Literatur mit der ursprünglichen Klassifikation zurückgegriffen wurde, kommt diese auch hier zur Anwendung.

23 distal

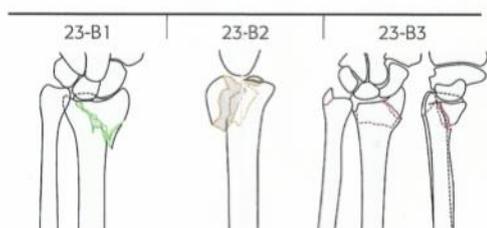


23-A extraartikuläre Fraktur

23-A1 Ulna frakturiert, Radius intakt

23-A2 Radius frakturiert, einfach und impaktiert

23-A3 Radius frakturiert, mehrfragmentär

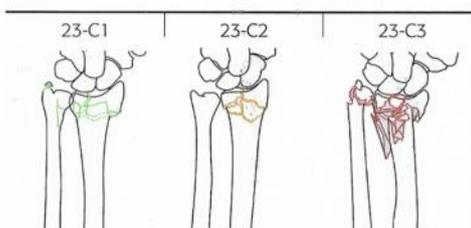


23-B partielle Gelenkfraktur des Radius

23-B1 Sagittalebene

23-B2 Koronal, dorsale Kante

23-B3 Koronal, palmare Kante



23-C vollständige Gelenkfraktur des Radius

23-C1 artikulär einfach, metaphysär einfach

23-C2 artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär

23-C3 artikulär mehrfragmentär

Abbildung 5: Müller-AO-Frakturklassifikation für Frakturen des distalen Radius

Copyright by AO Foundation, Switzerland

Modifiziert nach:

<https://cms.aot-start.org/index.php/upper-extremity/radius-distal/>

Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der AO Foundation.

Der distalen Radiusfraktur sind AO 23-A bis AO 23-C zugeordnet (Abbildung 5).

Ein optimales Klassifikationssystem sollte nicht nur die Grundlage für die klinische Einordnung der Fraktur und daraus folgend auch eine Entscheidungshilfe bezüglich der Therapiemethode darstellen, sondern auch der Vergleichbarkeit zwischen Zentren dienlich sein, um so Studienergebnisse reproduzierbar und auswertbar zu machen (Fernandez 2001). Die Wahl der therapeutischen Vorgehensweise sollte anhand der Klassifikation nachvollziehbar sein, gleichzeitig muss man sich jedoch der Limitierung einer auf radiologischer Bildgebung basierenden Klassifikation bewusst sein und diese nicht als kritiklose Grundlage für Therapieentscheidungen heranziehen.

Die Inter- und Intraraterreliabilität ist bei allen Klassifikationssystemen eingeschränkt und somit kein absoluter Maßstab. Bei Reduktion der AO-Klassifikation auf die drei Hauptgruppen wird die Reliabilität immerhin auf ein gewichtiges Niveau angehoben (Andersen et al. 1996). Die Konkordanz, angegeben in Kappa-Werten (95 %), lag in einer Studie von Kreder et al. abhängig von der klinischen Erfahrung zwischen 0,67 bis 0,86. Die Interraterreliabilität lag bei 0,68 für die AO-Typen und 0,48 für alle neun Subgruppen. Bzgl. der Intraraterkonkordanz wurde sogar ein sehr überzeugender Wert von 0,86 erreicht (Kreder et al. 1996). Dem widersprechend fanden Jayakumar et al. keinen vom Trainingslevel abhängigen, signifikanten Unterschied für Intra- und Interraterreliabilität (Jayakumar et al. 2016). Um die Reliabilität der Klassifikation möglichst zu maximieren, ist eine gute Bildgebung als Klassifikationsgrundlage von entscheidender Bedeutung. CT-Bilder besitzen sicherlich die höchste Aussagekraft, sind allerdings auch mit hohen Kosten und einer höheren Strahlenbelastung im Vergleich zum konventionellen Röntgenverfahren behaftet. Machado et al. zeigten, dass bei unter Traktion durchgeführter Röntgendiagnostik eine hohe Intra- und Interraterreliabilität bei Anwendung der AO-Klassifikation mit p -Werten $< 0,05$ nachzuweisen ist (Machado et al. 2016).

1.7 Instabilitätskriterien

Als weiteres Kriterium zur Festlegung eines individuell auf den Patienten abgestimmten Behandlungskonzeptes mit der Frage nach konservativer oder operativer Frakturversorgung können Instabilitätskriterien herangezogen werden. Liegen zwei oder mehr Instabilitätskriterien vor, ist die Wahrscheinlichkeit einer sekundären Dislokation bei konservativem Vorgehen erhöht (Siebert und Klönz 2005).

In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben bzgl. der Instabilitätskriterien, allgemein werden nachfolgend genannte Frakturen als instabil angesehen: dislozierte intraartikuläre Frakturen, dislozierte Flexionsfrakturen, Dislokation des distalen Fragments

> 20° nach dorsal oder palmar, Trümmerzonen (insbesondere dorsal), assoziierte Frakturen der Ulna (inklusive Fraktur des PSU) sowie eine sekundäre Dislokation nach erfolgter Reposition (Poigenfürst und Tuchmann 1978; Jupiter 1997; Müller-Mai und Frank 2010; Grifka und Kuster 2011; Schubert und Dávid 2013; Zeichen 2014).

1.8 Therapie

Die Therapie der distalen Radiusfraktur ist facettenreich und beinhaltet viele Therapieoptionen, da sich das Frakturbild selbst sehr heterogen präsentiert (Wolfe 2011). Alle Therapiemöglichkeiten streben das gemeinsame Ziel an, möglichst physiologische anatomische Verhältnisse wiederherzustellen und diese zu stabilisieren (Fernandez 2001). Das Postulat hierbei ist, dass die Rekonstruktion anatomischer Verhältnisse am ehesten zu den gewünschten Therapieergebnissen führt, bzw. eine ideale Grundvoraussetzung hierfür bietet (Rueger et al. 2014). Als Behandlungsziele gelten eine Frakturheilung mit schmerzfreiem, uneingeschränktem Bewegungsumfang des Handgelenks inkl. Pro- und Supinationsbewegung im Unterarm, ein kräftiger Faustschluss und die ungehinderte Streckfähigkeit der Finger (Wolfe 2011; Rueger et al. 2014). Neben konservativen Therapieregimen gibt es zahlreiche operative Methoden, um die Fraktur adäquat zu versorgen. Hierbei spielt nicht nur der Frakturtyp eine Rolle, sondern es gilt, eine patientenorientierte, individuelle Therapie zu finden, die das Alter, den Gesundheitszustand des Patienten, sein Aktivitätslevel und seinen Anspruch an die Funktionalität des betroffenen Handgelenks berücksichtigt (Schneiders et al. 2006). Nicht zuletzt spielt die Expertise des Chirurgen und der in dem jeweiligen Therapiezentrum präferierte und etablierte Modus der Frakturversorgung ebenso eine Rolle. Die grundlegenden Prinzipien gehen unter anderem in die 1930er Jahre zurück, in denen bereits Lorenz Böhler „Einrenken, Festhalten, Üben“ als die für die Frakturbehandlung essentiell wichtigen Bedingungen beschrieb (Böhler 1957).

Aufgrund der hohen Inzidenz der distalen Radiusfraktur wird deren Frakturversorgung entsprechend früh durch Innovationen und weiterentwickelte Techniken im Bereich der Osteosynthese beeinflusst (Downing und Karantana 2008). Aktuell und bereits seit Anfang des 21. Jahrhunderts ist ein Trend hin zur operativen Frakturversorgung zu beobachten, beschleunigt unter anderem durch die Entwicklung moderner, winkelstabiler Implantate, die auch bei osteoporotischen Knochenverhältnissen eine postoperative Übungsstabilität und damit eine frühfunktionelle Nachbehandlung ermöglichen sollen (Chen und Jupiter 2007; Knight et al. 2010; Voigt et al. 2012).

1.8.1 Konservativ

Heutzutage beschränkt sich die konservative Therapie hauptsächlich auf stabile, extraartikuläre Frakturen, v. a. aus der Gruppe der A2 Frakturen und auf jene Verletzungen, bei denen Kontraindikationen für eine operative Versorgung vorliegen (Schwarz 2003; Müller-Mai und Frank 2010). Ein hohes Patientenalter und das Vorliegen eines

osteoporotischen Knochenstoffwechsels stellen keine Kontraindikationen für eine operative Versorgung dar (Woltmann et al. 2007). Fernandez et al. postulierten 1996, dass „extraartikuläre Frakturen mit wenig radiologischen Hinweisen auf Fragmentierung, mit weniger als 5° bis 10° dorsaler oder volarer Abkippung des distalen Fragmentes und mit weniger als wenig Millimetern messender radialer Verkürzung stabile Frakturtypen sind. Nach erfolgter Reposition haben diese eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Reposition durch Gipsfixation zu halten ist.“ (Fernandez und Jupiter 2002).

Da es bei konservativer Therapie unter Verwendung korrekt durchgeführter Repositions- und Gipstechniken auch bei guter Stellung der Gelenkfläche im Verlauf regelmäßig zu Dislokationen kommt, ist es wichtig, initial zu evaluieren, welche Frakturen geeignet bzw. nicht geeignet sind für einen konservativen Therapieversuch (Siebert und Klonz 2005). Denn in Fehlstellung ausgeheilte Verletzungen, insbesondere bei nach dorsal dislozierter Gelenkfläche und Verkürzung des Radius, können Funktionseinschränkungen der Hand bedingen (Kwan et al. 2011a). Akzeptabel seien eine Dorsalneigung der Radiusgelenkfläche $< 10^\circ$ und eine Gelenkstufe < 3 mm (Schwarz 2003, S. 16; Schneiders et al. 2006). Wobei hier auch unterschiedliche Grenzwerte in der Literatur zu finden sind, teilweise wird auch eine Abkippung $< 20^\circ$ (Siebert und Klonz 2005; Scharf und Rüter 2011), eine Gelenkstufe von max. 1 mm und eine Verkürzung von max. 3 mm gefordert. Ist dies konservativ nicht zu erreichen, muss eine operative Versorgung und bei bereits verheilter Fraktur ggf. eine Korrekturosteotomie vorgenommen werden. Makhni und weitere beschrieben den Einfluss des Alters auf den Repositionsverlust bei konservativer Frakturversorgung. So nimmt bei Reposition und anschließender Versorgung im Unterarmgips der Repositionsverlust mit steigendem Alter auf bis zu 89 % zu (Makhni et al. 2008; Scharf und Rüter 2011).

Für eine Entscheidung zum konservativen Vorgehen sollten unter Berücksichtigung oben genannter Kriterien vor dem Hintergrund des Patientenalters ebenso Begleitverletzungen weitgehend ausgeschlossen sein, da diese konservativ nicht optimal therapiert werden können (Wolfe 2011).

1.8.1.1 Reposition

Eine Reposition ist zu erwägen, wenn Fehlstellungen der Gelenkflächen vorliegen, die auf den Frakturhergang zurückzuführen sind. Ohne durchgeführte Reposition würden diese Frakturen in Fehlstellung ausheilen, was Schmerzen und eine eingeschränkte Funktionalität bedingen kann (Schwarz 2003). Es gibt verschiedene Methoden, um eine distale Radiusfraktur zu reponieren. Bislang fehlt es an Kriterien, ab wann eine Fraktur erfolgreich bzw. ausreichend reponiert ist (Berglund und Messer 2009). Eine Methode sieht die Verwendung eines „Mädchenfängers“ (Bezeichnung für die Fingerextensionshülsen, Abbildung 6) vor, hierbei wird der in 90° im Ellenbogen gebeugte und 90° im Schultergelenk abduzierte Arm bis zu zehn Minuten ausgehangen. Idealerweise wird die Extension ggf. unter Verwendung eines Gewichtes (ca. 3-5 kg Zugkraft) unterstützt. Das Repositionsmanöver sollte unter lokaler Analgesie (Bruchspaltanästhesie) oder unter Plexusanästhesie

durchgeführt werden (Schwarz 2003; Fernandez 2005). Ein großer Teil der Frakturen lässt sich so geschlossen unter Längszug und ggf. zusätzlicher direkter Manipulation reponieren. Der Vorgang, dass sich unter Distraction (Längszug, der ggf. durch Gewichte unterstützt wird) anhand der umgebenden Weichteile die Fragmente annähern und eine Reposition erleichtern, wird durch den Begriff *Ligamentotaxis* beschrieben (Müller-Mai und Frank 2010). Problematisch ist allerdings, dass das anfangs gute Repositionsergebnis oft binnen Stunden durch muskulären Zug auf die Fragmente verschlechtert wird und daher nicht dauerhaft bis zur Frakturausheilung gehalten werden kann (Schwarz 2003). Eine wiederholte Reposition ist vor dem Hintergrund eines gesteigerten Risikos für die Entwicklung eines *Chronic Regional Pain Syndromes* (CRPS) und einer Redislokation nicht sinnvoll (Blauth et al. 2001; Schwarz 2003; Müller-Mai und Frank 2010). Ein zu lang anliegender Längszug ist ebenso zu vermeiden, da es anschließend zu einer erhöhten Redislokationsrate und zu einer Einschränkung der Anwendungsmöglichkeiten konservativer Maßnahmen kommt (Schwarz 2003; Fernandez 2005; Wolfe 2011).

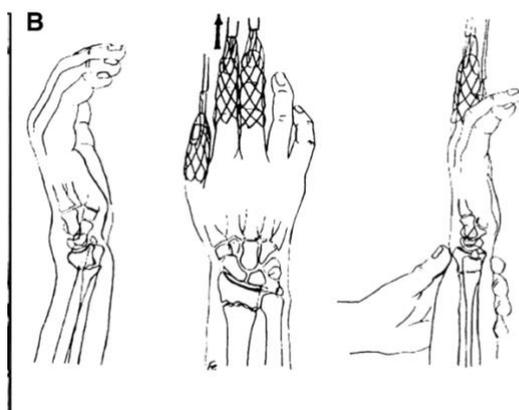


Abbildung 6: "Mädchenfänger" (Fernandez 2005).

Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Elsevier-Verlags.

1.8.1.2 Unterarmgips

Der Unterarmgips wird in Funktionsstellung des Handgelenks angelegt, also in 10° Ulnarabduktion, $5-10^\circ$ Dorsalextension. Das Anmodellieren des Gipsverbandes ist in der Praxis gut am hängenden – über den Mädchenfänger fixierten – Arm am liegenden Patienten durchzuführen. Der Gipsverband muss hierbei korrekt anmodelliert sein, was einer gewissen Erfahrung bedarf, da sowohl die Fraktur inkl. Radiusgelenk adäquat abgestützt als auch ein zu enger Sitz mit Entwicklung einer Nervenläsion oder eines Kompartmentsyndroms unbedingt vermieden werden müssen. Initial wird ein gespaltener Unterarmgips verwendet, nach 2 Wochen erfolgt der Wechsel auf einen geschlossenen (zirkulären) Stützverband. Für die angestrebte Dauer von vier bis sechs Wochen sind regelmäßige, radiologische und klinische Kontrolluntersuchungen unabdingbar, um so frühzeitig Komplikationen und eine sekundäre Dislokation der Gelenkfläche erkennen und behandeln zu können (Schwarz 2003; Siebert und Klonz 2005; Müller-Mai und Frank 2010; Scharf und Rüter 2011; Zeichen 2014).

1.8.2 Operativ

Fällt die Entscheidung zum operativen Vorgehen, so sollte die OP zeitnah erfolgen, u. a. um Weichteilschädigungen durch Frakturfragmente gering zu halten (Siebert und Klonz 2005). An der Universitätsmedizin Göttingen wird unter Berücksichtigung der Schwellung eine Versorgung möglichst innerhalb einer Woche nach Fraktur angestrebt. Für eine operative Versorgung sprechen u. a. die bereits erwähnten Instabilitätskriterien mit teils unterschiedlichen Angaben in der Literatur bzgl. Dorsalabkipfung, Gelenkstufenbildung und radialer Verkürzung. Exemplarisch werden an dieser Stelle bspw. eine Dorsalinklination über 20°, eine intraartikuläre Stufe über 2 mm und eine axiale Verkürzung über 2 mm genannt (Grifka und Kuster 2011; Obert et al. 2013). Bei Extensionsfrakturen und Vorliegen von mindestens zwei Instabilitätskriterien ist eine operative Therapie indiziert, ebenso generell bei Flexionsfrakturen, da diese als instabil angesehen werden (Woltmann et al. 2007; Wichelhaus et al. 2012; Zeichen 2014). Bei Kompressionssymptomatik des N. medianus oder bei Verdacht auf ein Kompartmentsyndrom muss eine sofortige, operative Therapie erfolgen. Bei polytraumatisierten Patienten und/oder starker Weichteilschwellung ist ggf. ein zweizeitiges Vorgehen sinnvoll, sodass zuerst eine Ruhigstellung erfolgt (dies z. B. mittels Fixateur externe) und nach ca. vier bis acht Tagen ein Verfahrenswechsel vorgenommen werden kann, wobei auch eine definitive Versorgung nach Reposition mittels Unterarmgips möglich ist (Siebert und Klonz 2005; Müller-Mai und Frank 2010; Scharf und Rüter 2011).

1.8.2.1 Geschlossen operativ

Auch ohne Freilegung der Fraktur lässt sich mittels perkutaner Fixierung mit Kirschner-Drähten (K-Drähten) eine zusätzliche Stabilisierung des Repositionsergebnisses erzielen, sodass einer Verkippung der Radiusgelenkfläche und einer späteren Sinterung (Verkürzung) des Radius effektiv entgegengewirkt werden kann (Jupiter 1997; Müller-Mai und Frank 2010). Hierbei kommt supportiv zusätzlich eine Unterarmgipsschiene oder eine andere Art der externen Stabilisierung (z. B. Fixateur externe) zur Anwendung (Woltmann et al. 2007; Wolfe 2011).

1.8.2.2 Fixateur externe

Der Fixateur externe stellt genauso wie die Gipsbehandlung eine Form der externen Stabilisierung dar. Hierbei werden sogenannte Schanz-Schrauben je nach Bedarf meist sowohl in den Radius als auch im Bereich des Os metacarpale II oder III (Mittelhandknochen des zweiten/dritten Fingerstrahls) eingebracht. Diese Schrauben werden dann mittels Gestänge starr miteinander verbunden und unter Zugkraft gebracht (Abbildung 7), sodass sich anhand der Ligamentotaxis (muskulärer Zug über die Sehnen auf die Knochenfragmente) die Fragmente reponieren können und durch die gegebene Stabilität und Ruhigstellung eine Frakturheilung eintreten kann (Siebert und Klonz 2005). Der Fixateur externe kann sowohl in Kombination mit K-Drähten oder anderen Osteosyntheseverfahren zum Einsatz kommen oder auch eigenständig zur definitiven Versorgung bis zur

Frakturausheilung angewandt werden (Woltmann et al. 2007; Müller-Mai und Frank 2010; Wolfe 2011; Wichelhaus et al. 2012). Bei starker Weichteilschwellung, offenen oder unsauberen Wundverhältnissen genauso wie bei fehlender Weichteildeckung, die zuallererst z. B. mittels Lappenplastik versorgt werden muss, kann der Fixateur externe zur primären Stabilisierung eingesetzt werden (Müller-Mai und Frank 2010). Nachdem z. B. die Weichteilschwellung zurückgegangen ist, kann nach ca. vier bis acht Tagen ein Verfahrenswechsel erfolgen und die Fraktur definitiv versorgt werden. Wird der Fixateur externe zur definitiven Frakturversorgung für die Dauer von vier bis acht Wochen genutzt, muss neben regelmäßiger Inspektion und Säuberung der Pins, die eine potentielle Infektionsgefahr darstellen, auch auf die korrekte Zugkraft geachtet werden, da durch übermäßige Distraction der Bandapparat langfristig geschädigt werden kann und auch die Gefahr der Entwicklung eines CRPS zunimmt (Siebert und Klonz 2005; Woltmann et al. 2007; Scharf und Rüter 2011; Zeichen 2014).



Abbildung 7: Röntgenaufnahme in zwei Ebenen nach Frakturversorgung mittels Fixateur externe (Zeichen 2014).

Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags.

1.8.2.3 K-Draht

Kirschner-Drähte, kurz K-Drähte (oder auch als Spickdrähte bezeichnet), kommen als alleinige Osteosynthese u. a. bei extraartikulären Frakturen ohne signifikante Verkürzung vor, werden aber auch häufig komplementär bspw. im Rahmen einer Plattenosteosynthese eingesetzt. Dies kommt u. a. zur Fixierung eines frakturierten Processus styloideus radii infrage oder um einzelne Fragmente in ihrer Position zu fixieren (Siebert und Klonz 2005; Müller-Mai und Frank 2010). Ggf. können mittels K-Draht auch partielle oder einfach vollständige intraartikuläre Frakturen versorgt werden (Krimmer 2008; Müller-Mai und

Frank 2010). Intraoperativ werden K-Drähte regelmäßig eingesetzt, um die Reposition der Fraktur zu erleichtern und gezielt Fragmente reponieren zu können (Jupiter 1997). Nach K-Drahtosteosynthese schließt sich die Nachbehandlung im Unterarmgips an (Woltmann et al. 2007; Wolfe 2011; Wichelhaus et al. 2012).

1.8.2.4 (Zug-) Schrauben

Singuläre Schrauben, die im Sinne einer Zugschraube eingebracht werden, kommen bei der distalen Radiusfraktur v. a. bei Frakturen des Processus styloideus radii zum Einsatz, gelegentlich auch bei Mehrfragmentfrakturen im Diaphysenbereich. Dieses Verfahren kann genauso wie die K-Draht-Osteosynthese sowohl als eigenständiges Verfahren, jedoch häufiger als Komplementärosteosynthese, verwendet werden. Im Anschluss an die Osteosynthese erfolgt die Ruhigstellung im Unterarmgips (Woltmann et al. 2007; Müller-Mai und Frank 2010; Wichelhaus et al. 2012).

1.8.2.5 Plattenosteosynthese

Bei der Plattenosteosynthese können konventionelle und winkelstabile Implantate unterschieden werden. Bei der konventionellen Plattenosteosynthese werden mehrere Kortikalisschrauben in eine einfache Platte ohne eigenes Gewinde eingebracht; im besten Fall werden alle Schrauben bikortikal (vollständig durch den Knochen im Querschnitt, also in beide äußeren Knochenschichten) eingebracht. Durch Einbringen auch in die Gegenkortikalis kann eine höhere Stabilität erreicht werden. Die Richtung der Schrauben wird hierbei gänzlich durch den Operateur bestimmt. Ebenso kann die Platte intraoperativ an die anatomischen Gegebenheiten des frakturierten Radius angepasst werden, der Operateur kann diese mittels Schränkeisen so modellieren, dass eine maximal große, direkte Auflagefläche resultiert. Hierdurch wird eine größtmögliche Abstützung der Fragmente nach Reposition ermöglicht. Die Platte hat hierbei direkten Kontakt mit den Fragmenten. Insbesondere bei osteopenen/osteoporotischen Knochenverhältnissen und dorsaler Trümmerzone ist eine stabile Verschraubung erschwert und es kommt im postoperativen Verlauf gehäuft zu Materiallockerungen. Da bei dorsaler Trümmerzone zudem eine bikortikale Verschraubung nicht sicherzustellen ist, muss oft zusätzlich ein dorsaler Zugang gewählt werden, um ergänzend eine dorsale Plattenosteosynthese durchzuführen (Krimmer 2008). Überdies muss bei konventionellen Schrauben und distaler Trümmerzone die Durchführung einer Spongiosaplastik erwogen werden, also das „Auffüllen“ mit autologem oder synthetischem Knochenmaterial, da andernfalls eine Instabilität der Schrauben zu erwarten ist. In der Regel werden hierzu autologe Knochenspähne, die dem Beckenkamm entnommen werden, eingesetzt (Krimmer et al. 2004; Woltmann et al. 2007; Krimmer 2008; Berglund und Messer 2009).

Die nächste Generation an Platten sind winkelstabile Osteosyntheseimplantate, die den großen Vorteil besitzen, auch bei Knochen mit reduzierter Dichte eine gute Stabilität zu

ermöglichen, was sich ebenfalls an einer niedrigen Quote an Materiallockerungen oder -brüchen widerspiegelt (Krimmer et al. 2004). Bei winkelstabilen Systemen werden spezielle Platten verwendet, die in den Schraubenlöchern zusätzlich Gewinde haben. Diese Verriegelungstechnologie erlaubt das Einbringen der Schrauben in variablem Winkel bei zugleich hoher Stabilität, sodass auch kleine Fragmente gezielt fixiert werden können (Woltmann et al. 2007; Krimmer 2008). Bei winkelstabilen Systemen kann zudem auf den direkten Kontakt zwischen Knochen und Implantat verzichtet werden, da die Stabilität anders als bei konventionellen Systemen nicht durch direkte Abstützung erzielt wird, sondern durch Fixierung der einzelnen Fragmente über winkelstabile, multidirektionale Verschraubung über einen Interferenzeffekt – so, wie es auch dem Prinzip eines Fixateur externe entspricht (Krimmer et al. 2004; Woltmann et al. 2007; Berglund und Messer 2009). Bei winkelstabilen Systemen können sowohl konventionelle Schrauben (Kortikalisschrauben) als auch winkelstabile Schrauben (Verriegelungsschrauben) eingesetzt werden. Durch zunehmende Verwendung winkelstabiler Systeme kommen intraoperativ auch seltener autologes Knochenmaterial oder Knochenersatzmaterialien zum Einsatz (Krimmer et al. 2004).

Eine Weiterentwicklung der winkelstabilen Implantate stellen die zweireihigen, winkelstabilen Radiusplatten dar, in die mehrere Verriegelungsschrauben multidirektional eingesetzt werden können. Für die höchste Stabilität fordern Mehling et al. die Verwendung zweireihiger Implantate mit vollständiger Besetzung der distalen Reihe und zusätzlich mindestens 2 multidirektionale Schrauben in der proximalen Reihe (Mehling et al. 2010).

1.8.2.5.1 Palmarer Zugang

Dies ist der häufigste Zugangsweg, nicht zuletzt da er eine gute Reposition sowohl palmarer als auch dorsaler Frakturzonen ermöglicht und zudem eine gute Weichteildeckung erlaubt. Bei nichtwinkelstabilen Schrauben wurde der palmare Zugang v. a. bei Flexionsfrakturen benutzt. Heutzutage kann dank winkelstabiler Plattensysteme der überwiegende Teil der Frakturen des distalen Radius von palmar aus versorgt werden (Abbildung 8a-c) (Woltmann et al. 2007; Wichelhaus et al. 2012). Hierbei erfolgt ein Hautschnitt entlang der Sehne des M. flexor carpi radialis, dabei gilt es sowohl die A. radialis als auch den N. medianus inkl. sensiblen Ästen zu schonen (Woltmann et al. 2007; Krimmer 2008; Müller-Mai und Frank 2010; Wichelhaus et al. 2012). Ein Zugang radialseitig der Sehne hat sich als günstig erwiesen, da weniger traumatisch, wird jedoch eine bessere Übersicht der distalen Fragmente gefordert oder muss eine Darstellung des N. medianus erfolgen, ist ein Zugang ulnar der Sehne des M. flexor carpi radialis vorteilhaft (Woltmann et al. 2007; Krimmer 2008). Als nächstes muss der M. pronator quadratus abgelöst und nach ulnar abpräpariert werden, um eine gute Reposition zu ermöglichen und um nachfolgend schonend das Osteosynthesematerial einsetzen zu können. Abschließend kann die Refixierung des M. pronator quadratus erfolgen. Gegebenenfalls wird zusätzlich das Retinaculum flexorum gespalten, um einer Nervenkompression des N. medianus vorzubeugen – dies ist bei distaler Plattenlage

und/oder starker Dislokation sinnvoll (Woltmann et al. 2007). Der palmare Zugang wird generell als weniger traumatisch gewertet, da er im Vergleich zum dorsalen Zugang mit einer geringeren Weichteilpräparation auskommt und zudem weniger die umgebenden Sehnen irritiert (Jupiter und Marent-Huber 2009). Trotzdem sind Läsionen bis hin zur Ruptur der Sehne des M. flexor pollicis longus und der Strecksehnen typische Komplikationen, die durch die Platte selbst oder durch dorsal durchschneidende Schrauben im Rahmen einer palmaren, winkelstabilen Plattenosteosynthese auftreten können (Chen und Jupiter 2007; Berglund und Messer 2009; Wichelhaus et al. 2012).

Ggf. kann intraoperativ die Entscheidung zu einer Erweiterung des Schnittes nach distal oder eines zusätzlichen dorsalen Zugangs erfolgen, um ein adäquates Repositionsergebnis zu erzielen und die Fraktur stabilisieren zu können. Bei der palmaren Plattenosteosynthese muss auf die sogenannte „watershed-line“ geachtet werden. Dies ist die distale Umschlagfalte von der Metaphyse zur Gelenkfläche und sollte nicht vom Implantat überragt werden, da es bei zu weit distal liegender Platte zur mechanischen Irritation der Beugesehnen und einem eingeschränkten Bewegungsumfang im Handgelenk kommen kann (Krimmer 2008; Berglund und Messer 2009; Knight et al. 2010; Wichelhaus et al. 2012). Ebenfalls muss darauf geachtet werden, dass die Schrauben nicht intraartikulär gesetzt werden. Die Gefahr einer intraartikulären Schraubenlage besteht insbesondere bei weit distalen Frakturen, weshalb in diesem Fall ggf. auf die Besetzung der distalen Schraubenreihe verzichtet werden muss. Intraoperativ müssen hierzu dynamische Aufnahmen mit dem Bildverstärker durchgeführt werden, um eine inkorrekte Schraubenlage erkennen und korrigieren zu können. Mittels „dorsal-horizon-view“ lässt sich mit dem Bildverstärker ein dorsaler Schraubenüberstand intraoperativ ausschließen (Abbildung 9 a-d) (Jupiter und Marent-Huber 2009; Wichelhaus et al. 2012). Gelegentlich kommt es auch bei plattenosteosynthetisch versorgten Frakturen zur Verwendung einer Gipsschiene, beispielsweise wenn vom Patienten keine adäquate Schonung zu erwarten ist (Müller-Mai und Frank 2010).

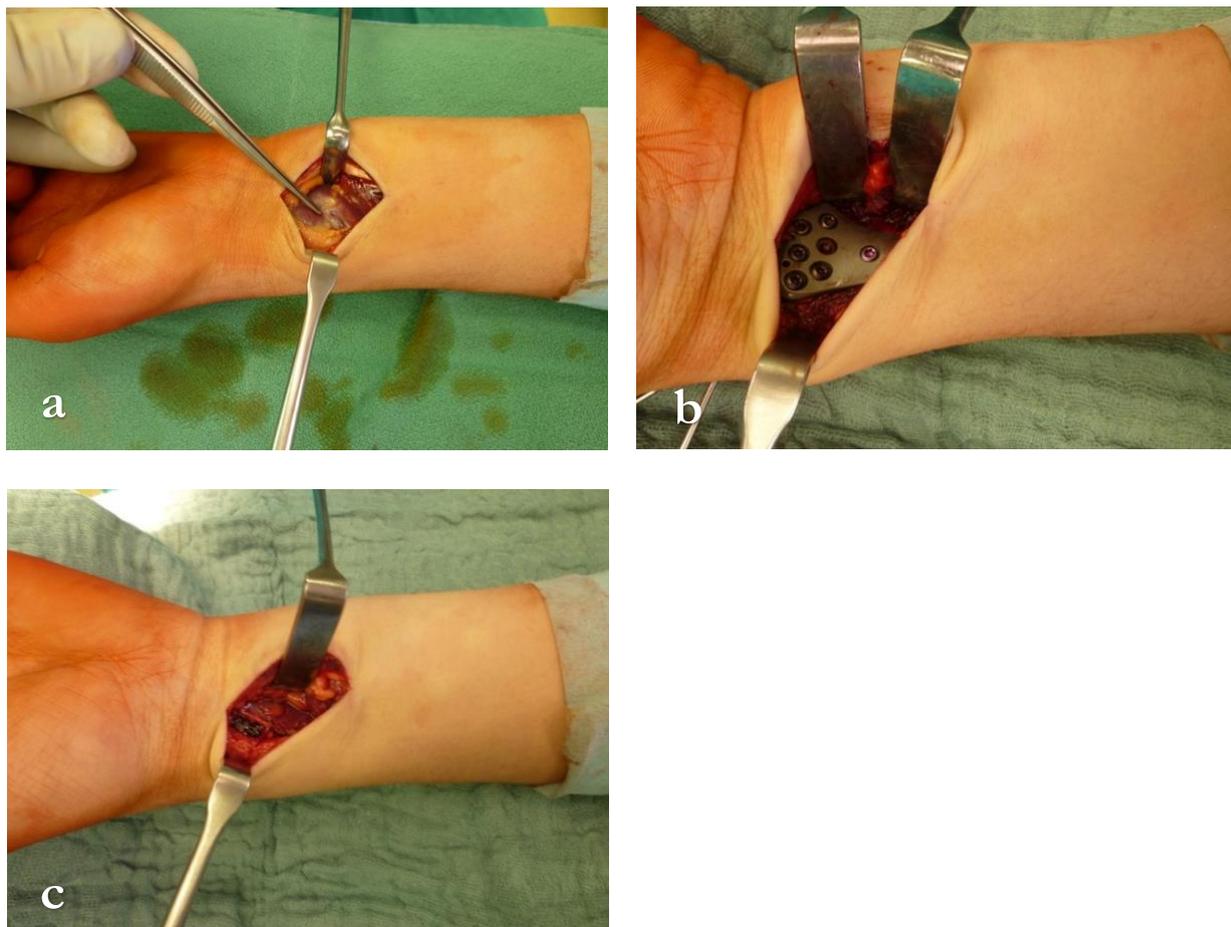


Abbildung 8: Palmare Plattenosteosynthese intraoperativ

a Palmarer Zugang radialeseitig der Sehne des M. flexor carpi radialis

b Versorgung mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese mit Implantat in situ

c Kontrolle vor Wundnaht

Die Bilder wurden freundlicherweise durch Herrn Dr. med. J. C. Ammon aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universitätsmedizin Göttingen zur Verfügung gestellt.

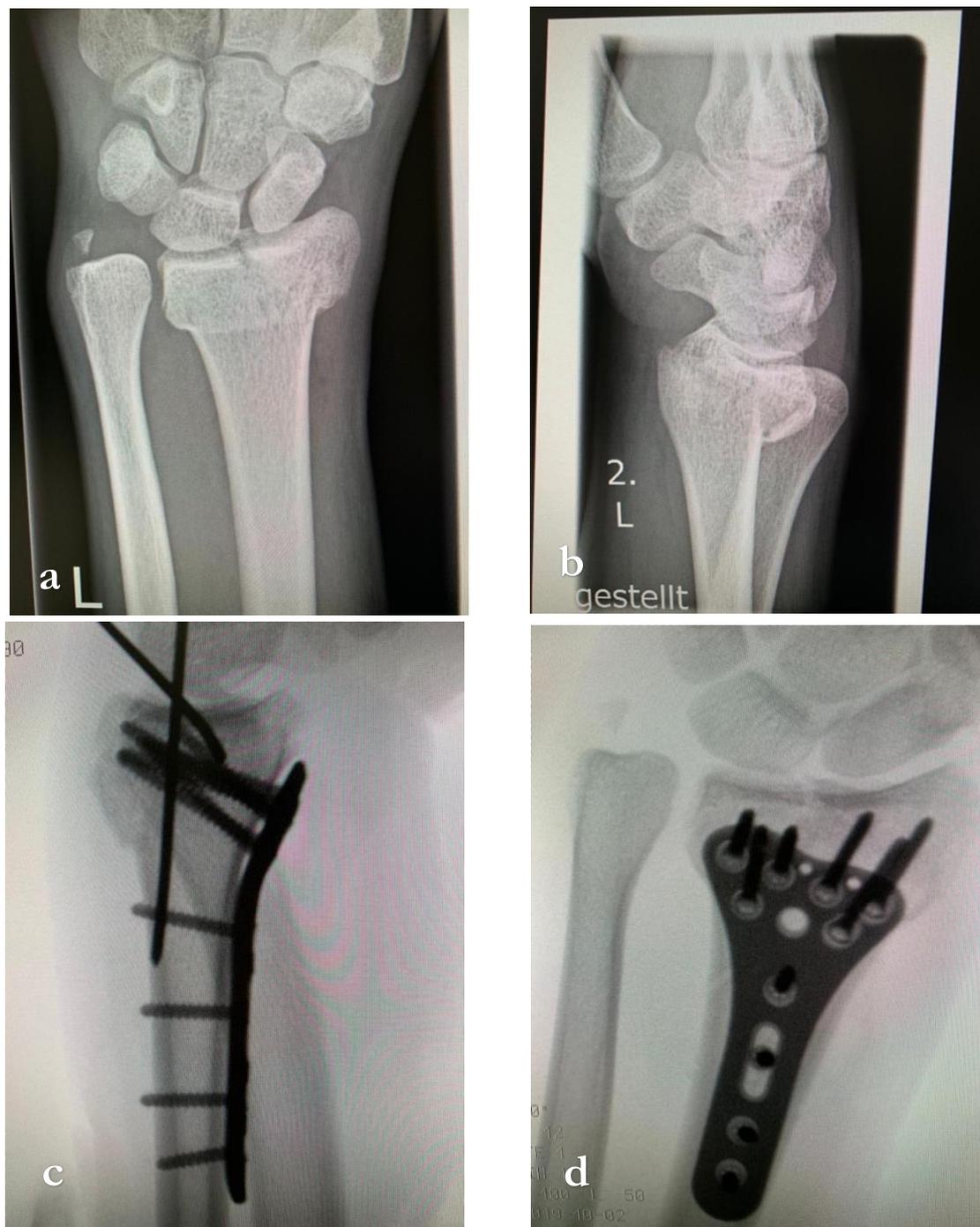


Abbildung 9:

Palmarer Plattenosteosynthese prä- und postoperative Röntgenaufnahmen

a-d C1-Fraktur der linken Hand

a-b vollständige Gelenkfraktur mit Dislokation nach dorsal

c-d Versorgung mittels palmarer Plattenosteosynthese

Die Bilder wurden freundlicherweise durch Herrn Dr. med. J. C. Ammon aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie Orthopädie und Unfallchirurgie der Universitätsmedizin Göttingen zur Verfügung gestellt.

1.8.2.5.2 Dorsaler Zugang

Insbesondere bei von palmar nicht adäquat zu versorgender dorsaler Trümmerzone kann zusätzlich ein limitierter Zugang von dorsal gewählt werden (Krimmer 2008). Vor Einführung winkelstabiler Plattensysteme wurden Extensionsfrakturen meist von dorsal operativ versorgt, da von palmar kein ausreichender Halt der Schrauben im dorsalen Knochenanteil erreicht werden konnte (Krimmer et al. 2004). Viele Extensionsfrakturen können mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese nun gut von palmar therapiert werden (Wichelhaus et al. 2012).

Beim dorsalen Zugang erfolgt ein Hautschnitt dorsal des Tuberculum listeri mit dessen Freilegung. Anschließend wird das Retinaculum extensorum abpräpariert und ulnarseitig umgelegt. Besonders auf die Sehne des M. extensor pollicis longus ist hierbei zu achten, welche meist aus ihrem Verlauf luxiert werden muss (Müller-Mai und Frank 2010; Wichelhaus et al. 2012). Um nun die Osteosynthesematerialien (Platte, Drähte oder Schrauben) einbringen zu können, müssen die Sehnen weggehalten und die Gelenkkapsel inzidiert werden.

Der dorsale Zugang ermöglicht zudem eine direkte Beurteilung des Handgelenks, da dieses direkt eingesehen werden kann. Die Materialentfernung ist bei allen dorsalen Platten angeraten, um Läsionen der Strecksehnen, insbesondere der EPL-Sehne, zu vermeiden (Woltmann et al. 2007; Wichelhaus et al. 2012).

Auch nach dorsaler Plattenosteosynthese kann die Anwendung einer Unterarmgipsschiene sinnvoll sein, z. B. wenn die Fraktur weiterhin instabil ist oder die Knochenqualität deutlich reduziert ist oder wenn von dem Patienten z. B. aufgrund von Alter oder geistiger Beeinträchtigung keine adäquate postoperative Schonung zu erwarten ist (Müller-Mai und Frank 2010).

1.8.3 Nachbehandlung

Sowohl bei der konservativen als auch bei der operativen Therapie ist der Nachbehandlung eine große Wichtigkeit beizumessen, um die volle Funktionalität, den Bewegungsumfang und die Griffstärke wiederherzustellen. Bei konservativer Versorgung mittels Unterarmgips können für die Dauer der Gipsanwendung Fingerübungen durchgeführt werden, das Handgelenk hingegen kann erst nach vier bis sechs Wochen – im Anschluss an die Gipsentfernung – beübt werden (Wichelhaus et al. 2012). Ein großer Vorteil der operativen Versorgung ist die meist unmittelbar hergestellte Übungsstabilität, sodass eine frühfunktionelle Behandlung des Handgelenks erfolgen kann (Krimmer 2008; Drobetz et al. 2016). Im Verlauf kann die Intensität nach Abschluss der Wundheilung nach ca. 10-14 Tagen gesteigert werden. Eine Vollbelastung ist bei unkomplizierten Frakturen des distalen Radius meist nach ca. vier bis acht Wochen möglich, dies ist jedoch abhängig von Knochenqualität, Fraktur, knöcherner Konsolidierung und von möglichen weiteren Begleitverletzungen (Siebert und Klönz 2005; Scharf und Rüter 2011).

1.9 Komplikationen/Funktionsverlust

Wie bei vielen Krankheitsbildern sollte eine Genesung mit *Restitutio ad integrum* angestrebt werden. Natürlicherweise kann dieser Zustand nicht immer erreicht werden und so muss im postoperativen Verlauf und auch langfristig mit Komplikationen und Funktionseinschränkungen gerechnet werden. Neben den typischen OP-Risiken gibt es bei der distalen Radiusfraktur auch entitätsspezifische Besonderheiten. Die häufigsten Komplikationen nach distaler Radiusfraktur sind eine sekundäre Dislokation und eine in Fehlstellung ausgeheilte Fraktur mit Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose (Wichelhaus et al. 2012). Mit einem Verlust der Griffstärke und des Bewegungsumfanges inkl. Pro- und Supinationsfähigkeit kann und sollte gerechnet werden (Windolf et al. 2008; Xavier et al. 2011). Xavier et al. fanden bei einem Kollektiv von operierten Radiusfrakturen zum Zeitpunkt sechs Monate postoperativ eine Einschränkung des Bewegungsumfanges in allen Graden bei 100 % der Patienten. Die Angaben bzgl. der Inzidenz für die Entwicklung eines CRPS nach Fraktur des Handgelenkes werden zwischen < 1-58 % angegeben. Eine Fraktur des Handgelenkes stellt den häufigsten Auslöser eines CRPS dar (Moseley et al. 2014). In dem in dieser Studie untersuchten Kollektiv lag die Inzidenz anhand der Aktenlage bei 2,1 %.

Prädisponiert für ein Auftreten dieses Krankheitsbildes scheinen v. a. ältere Frauen zu sein (Müller-Mai und Frank 2010; Harness et al. 2012). Zudem sind Manipulationen an der traumatisierten Extremität als Risikofaktor für die Genese bekannt, weshalb sowohl wiederholt durchgeführte Repositionsmanöver zu vermeiden als auch die chirurgische Versorgung unter bestmöglicher Schonung der umgebenden Weichteilgewebe anzustreben sind. Ebenso kann eine zu lange Ruhigstellung der Extremität zur Entwicklung eines CRPS beitragen (Rueger et al. 2014).

Bei in Fehlstellung konsolidierten, ausgeheilten Radiusfrakturen kann eine Korrekturosteotomie im Verlauf sinnvoll sein. Dies ist bspw. bei einer Dorsalneigung der Gelenkfläche > 20° indiziert, da durch diese Fehlstellung ebenso wie bei signifikanten Gelenkstufen intraartikulär von > 1mm ein hohes Risiko für eine posttraumatische Arthrose besteht (Siebert und Klonz 2005; Wichelhaus et al. 2012; Schubert und Dávid 2013; Zeichen 2014). Diese wird hervorgerufen durch unphysiologische Belastungen im radiocarpalen und distalen Radioulnargelenk als Folge der Fehlstellung. Bei relativ zu langer Ulna infolge einer eingestauchten Radiusfraktur mit Verkürzung > 3mm, der sogenannten Ulnaplusvariante oder auch *Ulna-impaction-syndrom*, kann eine Verkürzungsosteotomie der Ulna durchgeführt werden, um die physiologische Gelenkanatomie wiederherzustellen. Ggf. kommt bei bestehender Instabilität auch eine Bandplastik in Frage. Untherapiert können diese Fehlstellungen mit unphysiologischer Krafteinwirkung zu Arthrose, Schmerzen und Funktionsverlust führen, sodass als ultima ratio auch eine (Teil-)Arthrodese des Handgelenks in Frage kommen kann (Siebert und Klonz 2005; Müller-Mai und Frank 2010; Kwan et al. 2011a; Scharf und Rüter 2011).

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Es handelt sich bei der vorliegenden Arbeit um eine retrospektive Studie, welche durch die Ethikkommission geprüft und unter dem Aktenzeichen DOK_17_2016 genehmigt wurde. Die Studie basiert auf einer Datensammlung von Patienten mit der Diagnose S52 aus dem Zeitraum 01.01.2009 bis 31.12.2011 der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universitätsmedizin Göttingen. Analysiert wurden die zum Frakturzeitpunkt und im Verlauf erstellten konventionellen, digitalen Röntgenbilder.

Die radiologische Untersuchung umfasste die Frakturklassifikation und die Bestimmung der (dorso-) palmaren Inklination an fünf Zeitpunkten: T1 nach Trauma, T2 nach Reposition/postoperativ, T3 zwei Wochen nach Reposition/postoperativ, T4 vier bis sechs Wochen nach Reposition/postoperativ, T5 > sechs Monate nach Trauma.

2.2 Patientenkollektiv

Insgesamt gab es im Zeitraum vom 01.01.2009 bis 31.12.2011 680 registrierte Fälle mit der Diagnose S52 „distale Radiusfraktur“ in der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universitätsmedizin Göttingen, von diesen verblieben unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien 240 Patienten in dieser Studie.

Eingeschlossen wurden alle primär an der Universitätsmedizin Göttingen behandelten Patienten mit gesicherter Fraktur des distalen Radius, die zum Zeitpunkt des Traumas bereits das 18. Lebensjahr vollendet hatten. Unterarmfrakturen (Radius plus Ulna frakturiert) wurden nicht berücksichtigt, hiervon ausgenommen waren PSU-Abrisse.

Erfolgte die Vorstellung außerhalb der Universitätsmedizin Göttingen, sind nur jene Patienten in der Studie verblieben, die eine verwertbare Bildgebung zum Frakturzeitpunkt vorweisen konnten und lediglich die Reposition und Ruhigstellung im Unterarmgips extern erfolgten. Röntgenaufnahmen galten als verwertbar, wenn der Radiuschaft auf ausreichender Länge (i. d. R. > 4 cm) abgebildet wurde, seitliche Aufnahmen nicht rotiert und keine Überlagerung durch Metall die Auswertung beeinträchtigte. Des Weiteren musste ein Follow-up von mindestens vier Wochen nach Reposition/OP vorhanden sein. Bei nicht vollständigem vierwöchigen Follow-up verblieben Patienten nur in der Studie, wenn auswertbare Röntgenaufnahmen zu einem späteren Kontrollzeitpunkt (> sechs Monate nach Trauma) verfügbar waren.

Ausgeschlossen wurden jene Patienten mit osteosynthetischer Versorgung nur mittels Fixateur externe, Kirschner-Draht oder alleiniger Zugschraube ohne Plattenosteosynthese. Zudem wurden Patienten exkludiert, wenn die primäre operative Frakturversorgung extern und nicht an der Universitätsmedizin durchgeführt wurde.

Insgesamt wurden nach Anwendung oben genannter Ein- und Ausschlusskriterien 240 von 680 Patienten mit der Diagnose S52 in dieser Studie berücksichtigt.

2.3 Datenerhebung

Die Erhebung der Daten erfolgte durch eine Auswertung radiologischer Untersuchungen und eine im Anschluss stattgefundene Aktenauswertung. Für die radiologische Beurteilung wurden die bereits vorhandenen digitalen Röntgenaufnahmen zu den Zeitpunkten nach Trauma, nach Reposition/postoperativ, zwei Wochen nach Reposition/postoperativ, vier bis sechs Wochen nach Reposition/postoperativ sowie mindestens sechs Monate nach Trauma herangezogen und hinsichtlich Gelenkwinkel (dorsopalmare Inklination) und Frakturklassifikation nach AO untersucht.

Die Röntgenaufnahmen wurden je in zwei Ebenen angefertigt, eine anterior-posteriore Aufnahme und eine laterale Aufnahme. Zur Darstellung und anschließenden Befundung der Röntgenaufnahmen wurde das Programm Centricity PACS (GE Healthcare, Boston, MA, USA) verwendet und ebenso zur radiologischen Befundung geeignete Bildschirme. Mithilfe der in diesem Programm vorhandenen Messinstrumente und in Rücksprache mit der radiologischen Abteilung in domo erfolgte die Messung der palmaren Gelenkwinkel (der dorsopalmaren Inklination) zu den oben genannten Zeitpunkten. Die unter 1.2.3 Böhler-Winkel illustrierte Messmethode ist die am häufigsten und auch international verwendete Methode zur Bestimmung der Gelenkwinkel bei konventionellen Röntgenaufnahmen und findet so auch in weiteren Studien zur distalen Radiusfraktur Anwendung (Mann et al. 1992). Aufgrund der limitierten Messmöglichkeiten in Centricity PACS und um eine bessere Vergleichbarkeit zu erhalten, wurden lediglich digitalisierte Standardröntgenaufnahmen ausgewertet, andere bildgebende Verfahren wie CT und MRT wurden nicht berücksichtigt.

2.4 Aktenauswertung

Im zweiten Schritt wurden die Patientenakten jener Patienten, die in der Studie verblieben sind hinsichtlich eines vorher definierten Kriterienkataloges untersucht. Von Interesse waren Alter, Geschlecht, Unfallmechanismus und aufgetretene Komplikationen.

Die Aktenauswertung konnte bei allen 240 berücksichtigten Patienten aus der Studie durchgeführt werden.

2.5 Statistische Auswertung

Bei der hier zugrundeliegenden Statistik handelt es sich um eine Sekundärstatistik, da auf bereits vorhandene Daten – hier im Sinne der Röntgenbilder und Patientenakten – zurückgegriffen und daraus ein Datensatz erstellt und aufbereitet wurde.

Es wurde in dieser Arbeit auf die Daten aus dem Zeitraum 01.01.2009 bis 31.12.2011 der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universitätsmedizin Göttingen zurückgegriffen. Die gewonnenen Daten wurden zunächst in einer Microsoft-Excel-Datenbank (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) erfasst und anschließend zur statistischen Analyse in das Programm Statistica (StatSoft, Dell, Round Rock, TX, USA) eingepflegt. Zunächst wurde eine deskriptive Analyse des Datensatzes durchgeführt, hierbei wurden Häufigkeitsverteilungen ebenso wie Angaben zu den Lagemaßen (insbesondere Mittelwerte) aufgestellt und Berechnungen zur Streuung mittels Standardabweichung durchgeführt. Im nächsten Schritt wurden je nach Fragestellung Zusammenhänge untersucht und auf Signifikanzen geprüft, hierbei wurde insbesondere auf den T-Test zurückgegriffen. Bei $p < 0,05$ wurde das Ergebnis als signifikant gewertet.

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik

3.1.1 Geschlechtszugehörigkeit des Patientenkollektivs

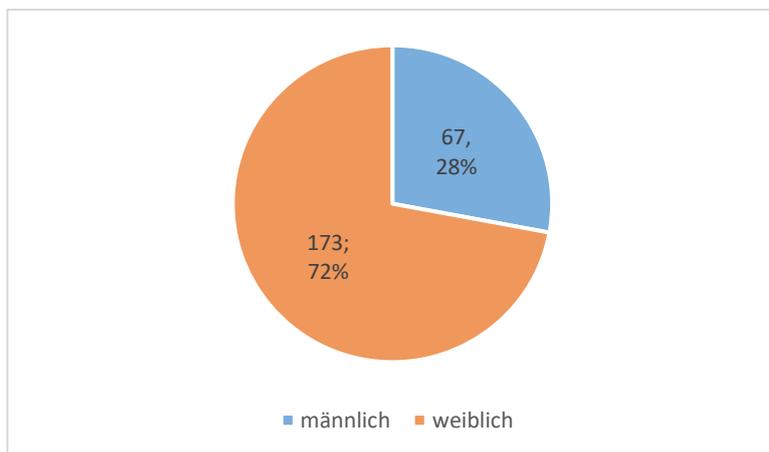


Abbildung 10: Geschlechtsverteilung

Von allen untersuchten Patienten in der vorliegenden Studie waren 72 % weiblich und 28 % männlich, respektive besaßen 173 Patientin das Merkmal weiblich, 67 das Merkmal männlich (Abbildung 10).

3.1.2 Altersstruktur des Patientenkollektivs

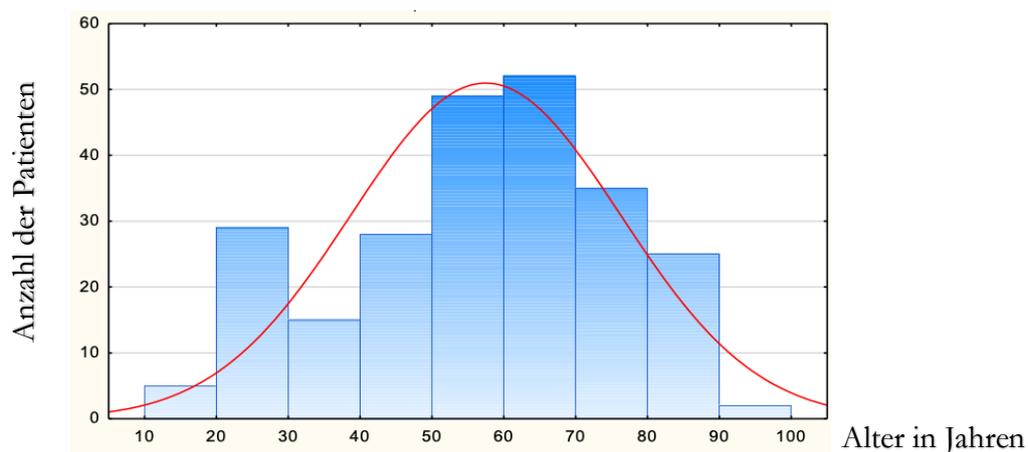


Abbildung 11: Altersstruktur des Kollektivs

Das Diagramm veranschaulicht die Altersstruktur des in dieser Studie zugrundeliegenden Patientenkollektivs. Die Verteilung ist annähernd normalverteilt. Das Durchschnittsalter lag im Mittel bei 57 Jahren (Abbildung 11).

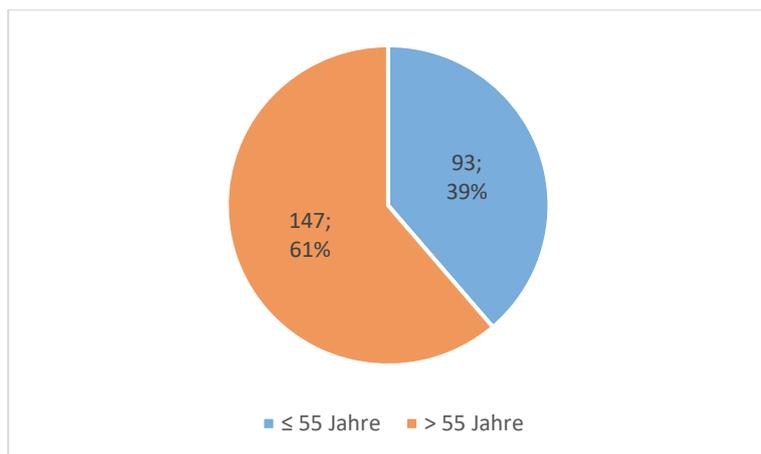


Abbildung 12: Altersverteilung ≤ 55 Jahre und > 55 Jahre

Von allen untersuchten Patienten in der vorliegenden Studie waren 39 % zwischen 18-55 Jahre alt und 61 % älter als 55 Jahre (Abbildung 12).

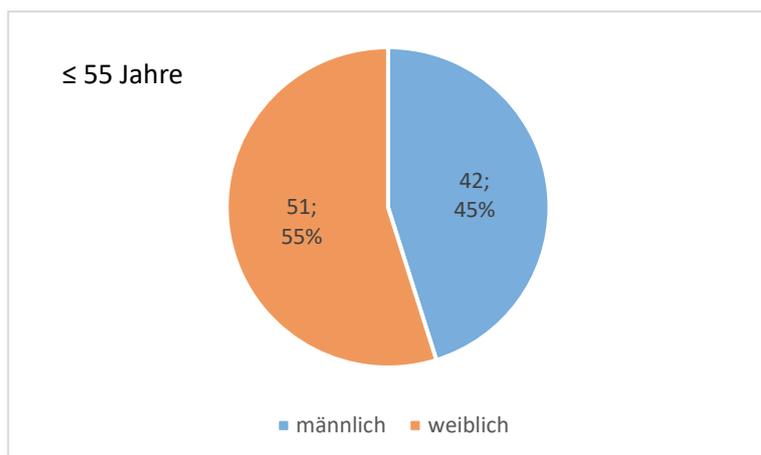


Abbildung 13: Geschlechtsverteilung ≤ 55 Jahre

Von allen Patienten in der Altersgruppe ≤ 55 Jahre waren 55 % weiblich und 45 % männlich (Abbildung 13). In der Gruppe ≤ 55 Jahre waren Frauen 1,22mal häufiger vertreten als Männer.

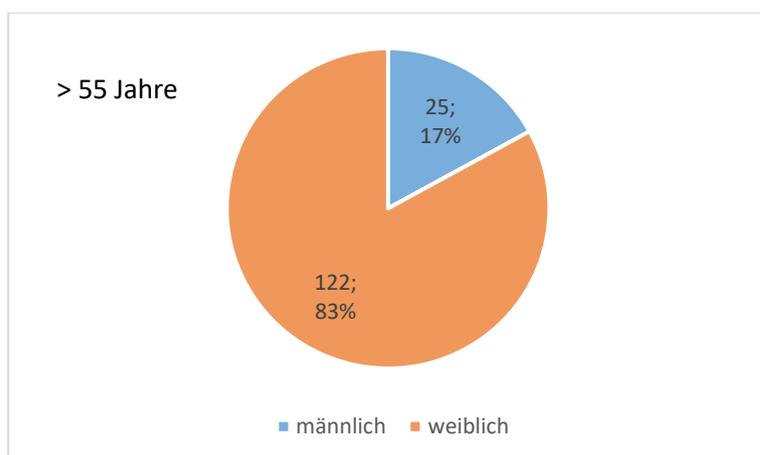


Abbildung 14: Geschlechtsverteilung > 55 Jahre

Von allen Patienten in der Altersgruppe > 55 Jahre waren 83 % weiblich und 17 % männlich (Abbildung 14). Patienten mit dem Merkmal weiblich waren absolut 4,88mal häufiger vertreten. In der Literatur wird das Risiko für Frauen nach dem 50. Lebensjahr sogar mit ca. 7-fach im Vergleich zu Männern angegeben (Schubert und Dávid 2013).

Im Vergleich zur Altersgruppe bis 55 Jahre war der Anteil der Frauen um 28 Prozentpunkte höher.

3.1.3 Verteilung nach AO-Klassifikation

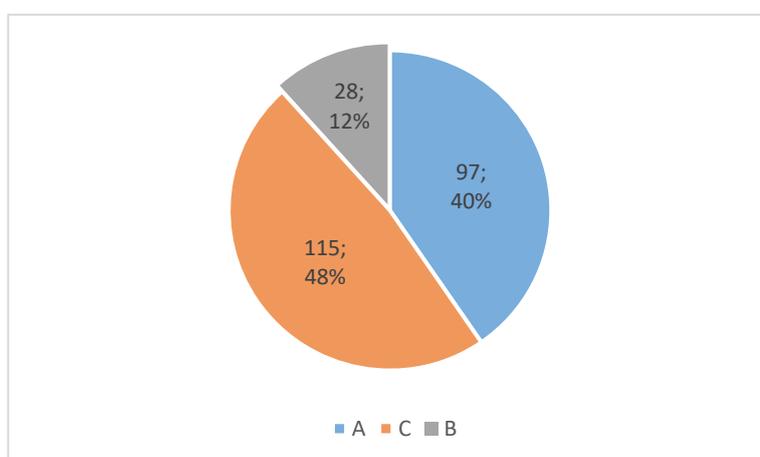


Abbildung 15: Häufigkeiten nach AO-Klassifikation

In unserem Kollektiv von 240 Patienten fanden sich 97 Frakturen der Gruppe A, entsprechend 40 %, 115 Frakturen der Gruppe C, entsprechend 48 % und 28 Frakturen der Gruppe B, entsprechend 12 % (Abbildung 15). Unser Patientenkollektiv ist daher von der Verteilung der Frakturen in Bezug auf deren Einteilung in das AO-Klassifikationssystem vergleichbar mit einer großen Studie mit 2141 Patienten, in der 48 % aller Frakturen der Gruppe A, 42 % der Gruppe C und 10 % der Gruppe B zuzuordnen waren (McQueen und Jupiter 1999).

Insgesamt waren Frakturen des Typs B nur mit 12 % ($n = 28$) vertreten und werden in dieser Arbeit nur deskriptiv erwähnt und bei der anschließenden statistischen Auswertung nicht berücksichtigt.

3.1.3.1 Verteilung nach AO-Klassifikation Geschlecht

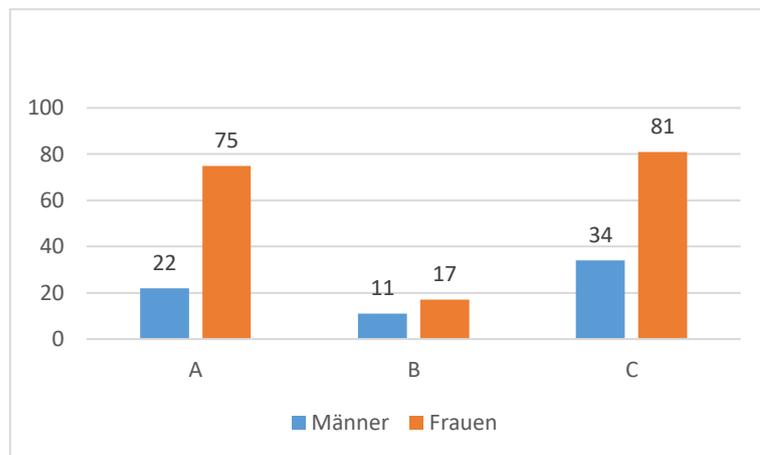


Abbildung 16: Geschlechtsverteilung innerhalb der AO-Gruppen

Die geschlechtsspezifische Verteilung auf die einzelnen AO-Gruppen zeigt ein zahlenmäßiges Überwiegen der Frauen sowohl bei A-, B- als auch C-Frakturen (Abbildung 16).

3.1.3.2 Verteilung nach AO-Klassifikation und Alter

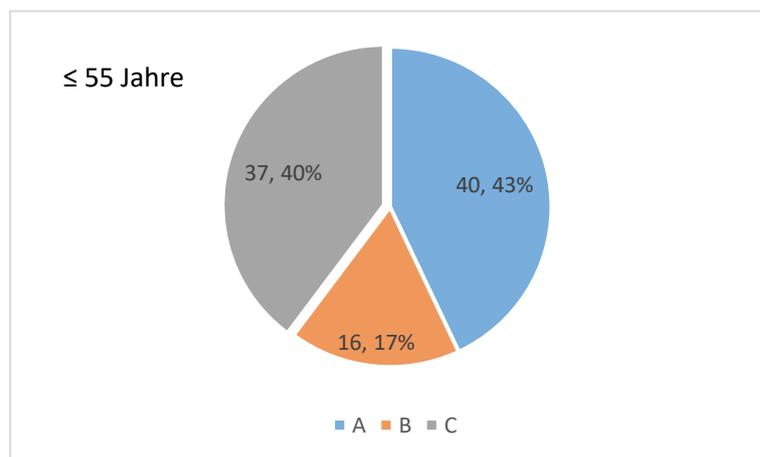


Abbildung 17: Verteilung nach AO-Klassifikation bei Patienten ≤ 55 Jahre

Bezogen auf das hier vorliegende Kollektiv ergab sich in der Gruppe ≤ 55 Jahre ein Anteil der A-Frakturen von 43 %, C-Frakturen kamen in dieser Gruppe mit einer Häufigkeit von 40 % vor (Abbildung 17).

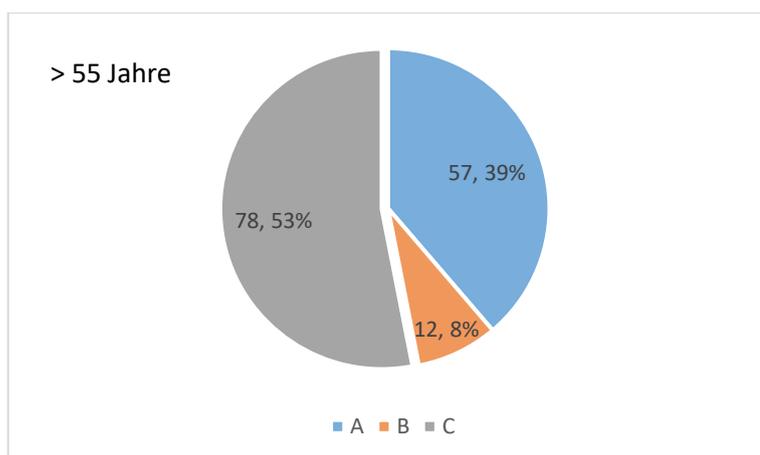


Abbildung 18: Verteilung nach AO-Klassifikation bei Patienten > 55 Jahre

In der Gruppe > 55 Jahre lag der Anteil der A-Frakturen bei 39 %, die C-Frakturen hatten in dieser Gruppe einen Anteil von 53 % (Abbildung 18).

Der Anteil an C-Frakturen ist in der Gruppe > 55 Jahren also 32,5 % höher im Vergleich zur jüngeren Patientengruppe.

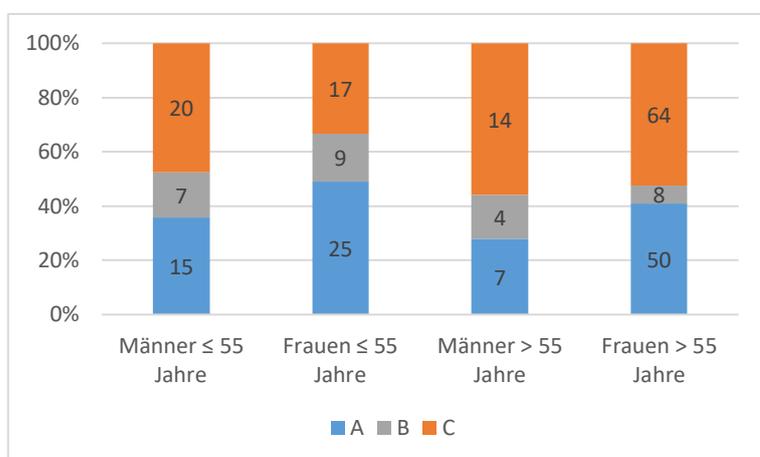


Abbildung 19: Verteilung der Frakturtypen nach Geschlecht und Altersgruppe

Es fällt auf, dass der Anteil an C-Frakturen in der männlichen Kohorte ≤ 55 Jahre mit 47,62 % deskriptiv über dem Anteil der weiblichen Vergleichsgruppe mit 33,33 % lag.

In der Gruppe > 55 Jahre nahm bei beiden Geschlechtern der relative Anteil der C-Frakturen zu, A-Frakturen hingegen nahmen bzgl. der relativen Häufigkeit ab. Hat die relative Häufigkeit der C-Frakturen sich bei Männern von 47,62 % auf 56 % erhöht, hat die relative Häufigkeit bei Frauen > 55 Jahre von 33,33 % auf 52,46 % um ca. 57 % zugenommen (Abbildung 19).

3.1.4 Unfallursache

Die häufigste Unfallursache der distalen Radiusfraktur ist der (Stolper-) Sturz. In unserer Kohorte war dies der Sturz $\leq 5m$ mit $n = 183$ bzw. 72,33 %. Als zweithäufigste Ursache konnten Sportunfälle identifiziert werden, hierunter wurden u. a. Sportarten wie Fußball, Handball, Hockey, Reitsport und Wintersport subsummiert (Abbildung 20). Die Unfallursachen sind im Einklang mit Referenzdaten aus der Literatur (McQueen et al. 1996; Knight et al. 2010; Kwan et al. 2011a; Xavier et al. 2011).

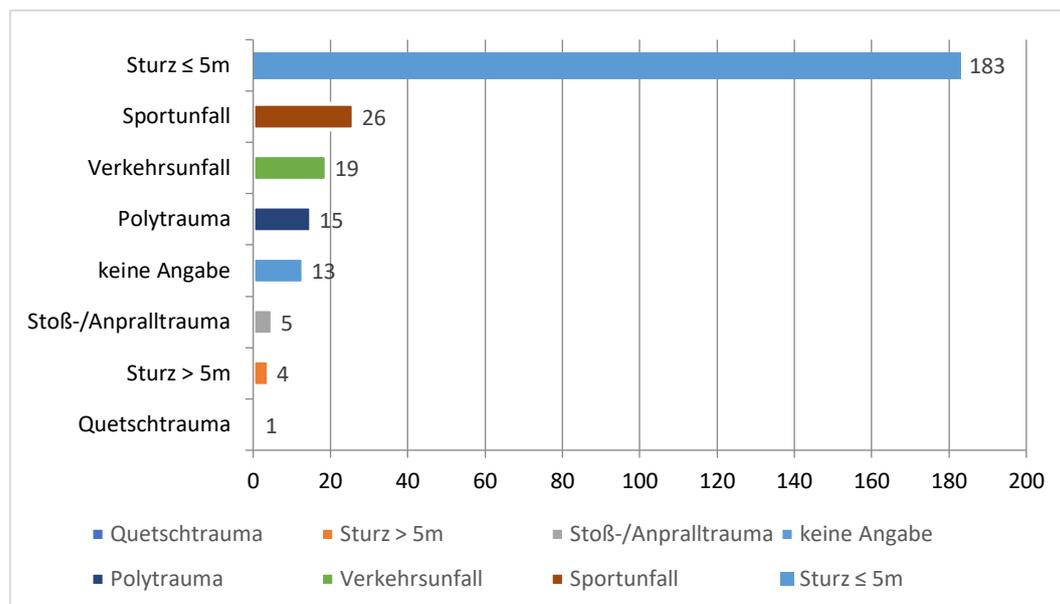


Abbildung 20: Unfallursache nach Häufigkeit

3.1.4.1 Unfallursache nach Geschlecht

Die häufigste Ursache stellte bei Männern ebenfalls der Sturz $\leq 5m$ mit 61,84 % dar, zusätzlich gewannen aber weitere Ursachen, die zu den Hochenergetraumata gehören, an Bedeutung. Die zweithäufigste Ursache bei männlichen Patienten war mit 15,79 % eine Frakturierung im Rahmen eines Verkehrsunfalles. Der Anteil der Sportunfälle war mit 7,89 % angegeben. In 5,26 % trat die distale Radiusfraktur im Zusammenhang mit einem Polytrauma auf (Abbildung 21).

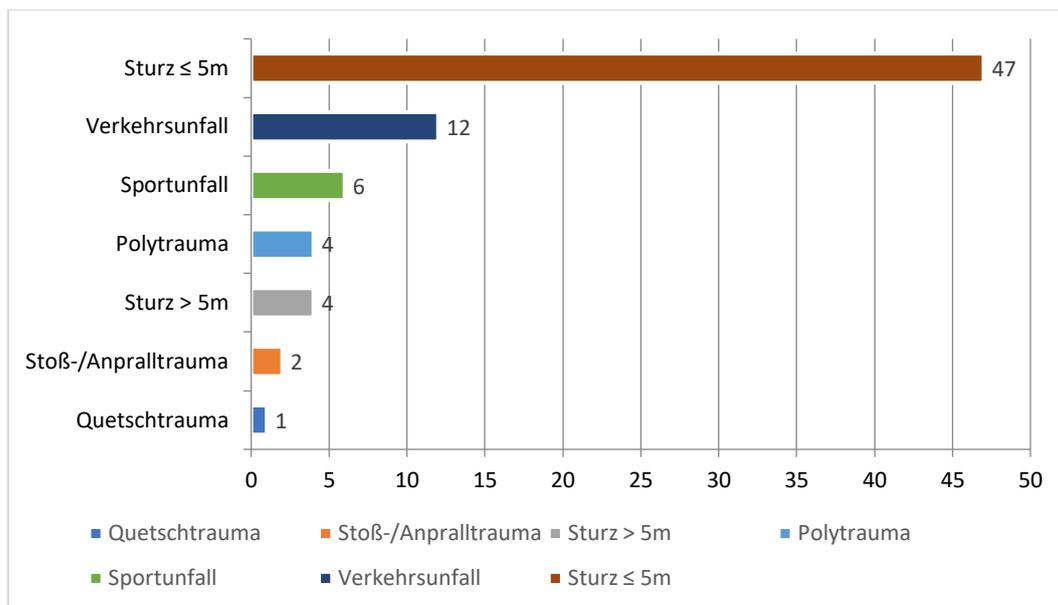


Abbildung 21: Unfallursache bei Männern

Bei Frauen stellte der Sturz ≤ 5m weiterhin mit einer Häufigkeit von 76,83 % die mit Abstand häufigste Unfallursache der distalen Radiusfraktur dar. 11,30 % der Frakturen traten in Zusammenhang mit einer sportlichen Aktivität auf. Verkehrsunfälle machten insgesamt einen Anteil von 3,95 % aus. Eine Radiusfraktur trat in 6,21 % im Rahmen eines Polytraumas auf (Abbildung 22).

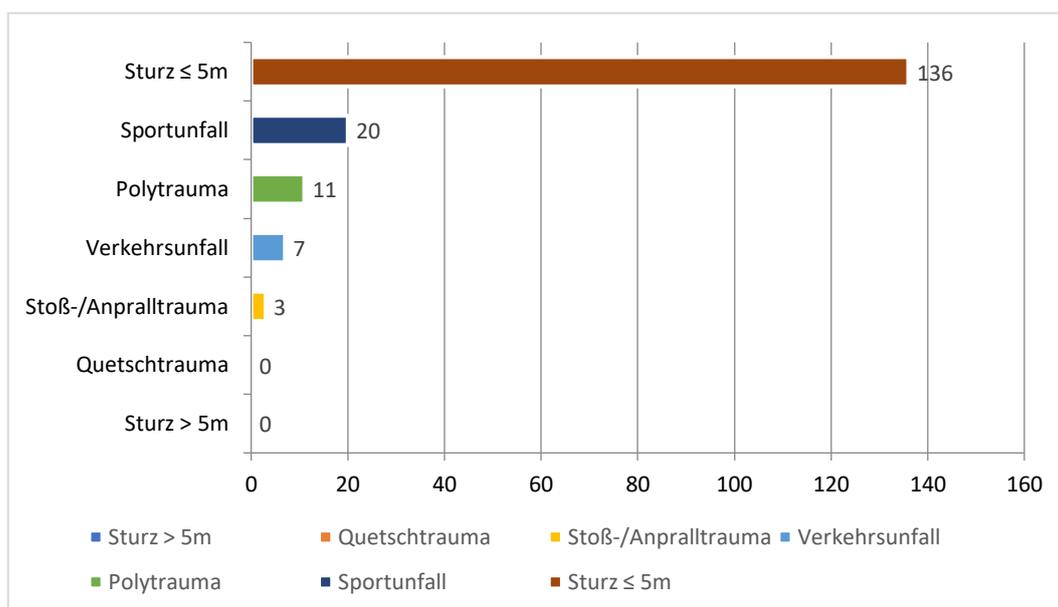


Abbildung 22: Unfallursache bei Frauen

3.1.4.2 Unfallursache nach Hoch-/Niedrigenergietrauma

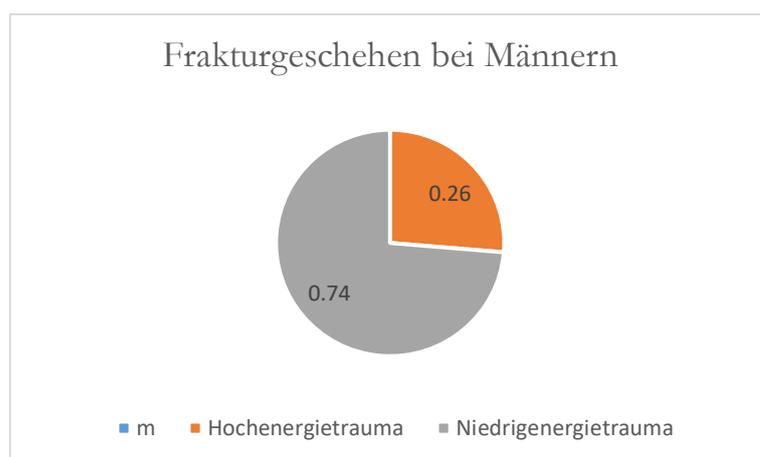


Abbildung 23: Einteilung Hochenergietrauma bei Männern

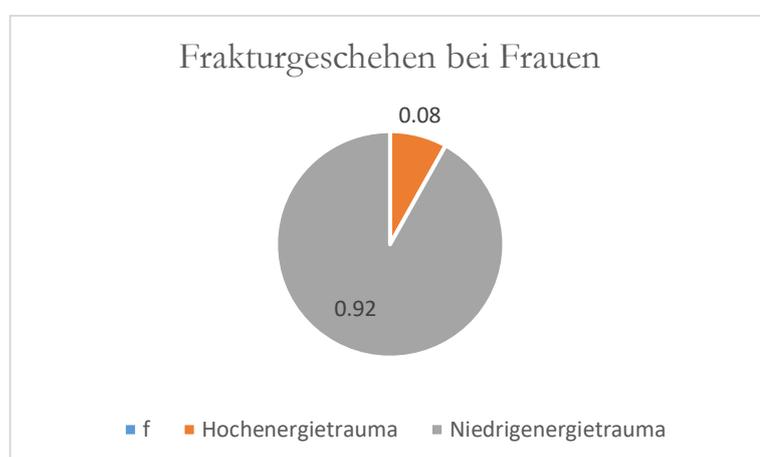


Abbildung 24: Einteilung Hochenergietrauma bei Frauen

Zu den Hochenergietraumata wurden alle Stürze > 5m, alle Verkehrsunfälle und alle Frakturen im Rahmen eines Polytraumas gezählt. Hier zeichnen sich deutliche Unterschiede je nach Geschlecht ab. Auf alle Altersgruppen gerechnet machten Hochenergietraumata bei Frauen ca. 8 % aus, bei Männern hingegen lag dieser Wert bei 26 %. Somit traten Hochenergietraumata im Rahmen der Frakturierung bei Männern 325 % häufiger auf als bei Frauen (Abbildung 23, Abbildung 24). Eine mögliche Erklärung könnte in der höheren Risikobereitschaft von Männern liegen, wodurch häufiger Frakturen insbesondere i. R. von Verkehrsunfällen und Sportaktivitäten auftreten (Schubert und Dávid 2013).

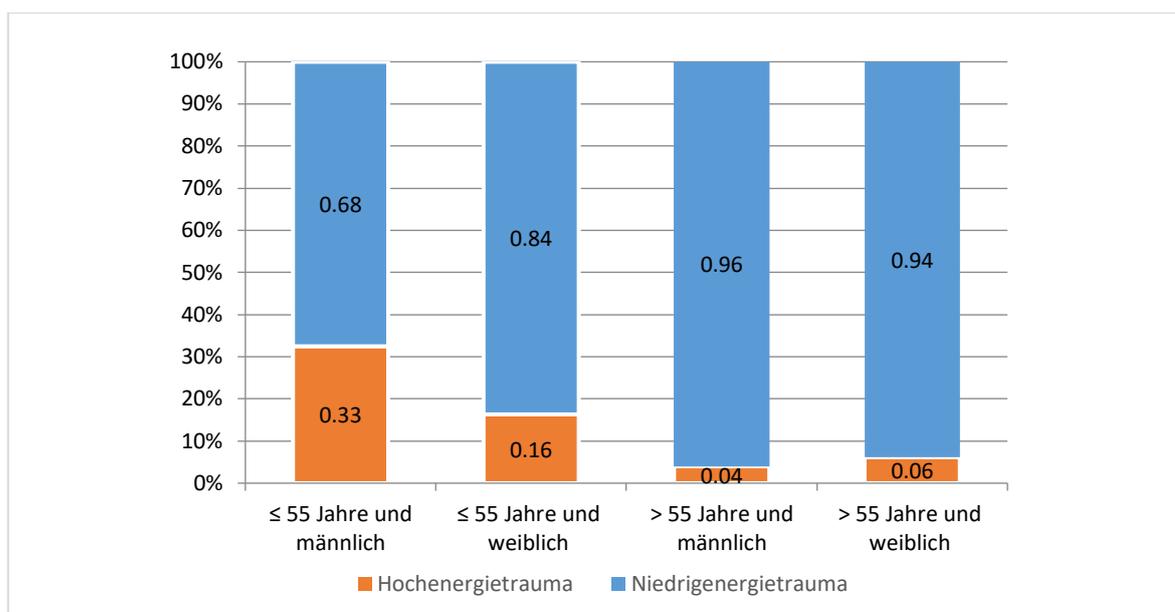


Abbildung 25: Hoch-/Niedrigenergetrauma nach Geschlecht und Altersgruppe

Das Diagramm veranschaulicht die Verteilung der Niedrig- und Hochenergetraumata auf die zwei Altersgruppen ≤ 55 Jahre und > 55 Jahre unter Berücksichtigung der Geschlechtszugehörigkeit. Mache das Hochenergetrauma bei Männern ≤ 55 Jahre ca. 33 % aus, waren es bei Frauen mit 16 % gerade einmal halb so viele. In der Altersgruppe > 55 Jahre hingegen machten Hochenergetraumata nur noch 4 % bzw. 6 % aus, die Häufigkeit näherte sich somit in beiden Gruppen an (Abbildung 25).

3.1.5 Komplikationen

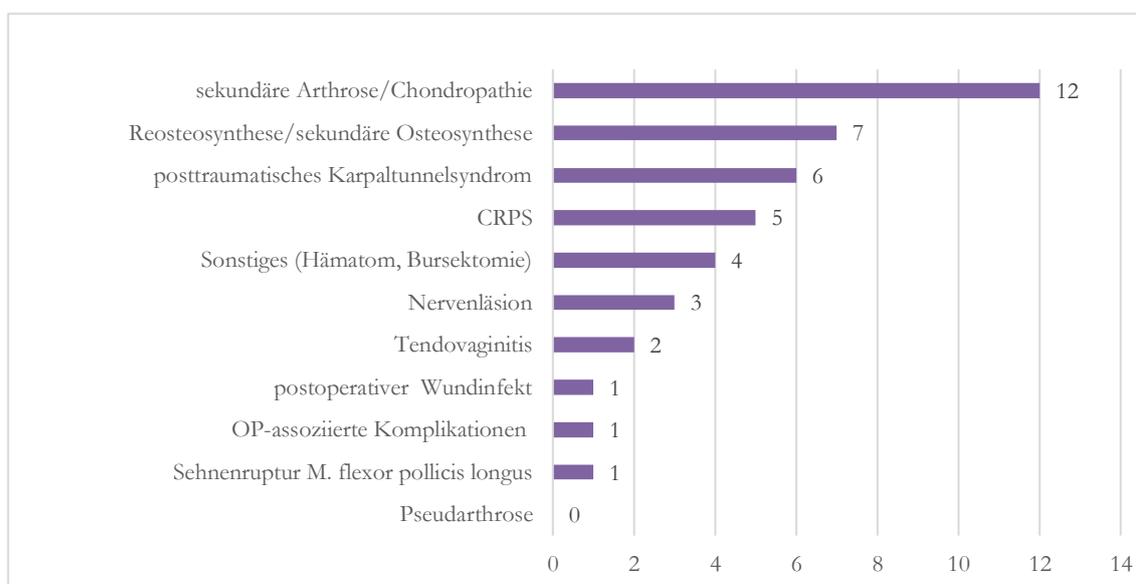


Abbildung 26: Komplikationen

Von 240 versorgten Patienten entwickelten im Verlauf insgesamt 33 Patienten mindestens eine der oben genannten Komplikationen. Es traten 42 dokumentierte Komplikationen auf, insgesamt entwickelten also 13,8 % der Patienten eine mit diesem Frakturereignis zusammenhängende Komplikation. Bei palmarer Plattenosteosynthese wird die Komplikationsrate unterschiedlich zwischen 9-34 % angegeben (Windolf et al. 2008; Voigt et al. 2012). Die Komplikationsrate unseres Studienkollektivs ist somit im unteren Bereich einzuordnen. Posttraumatische Veränderungen am Gelenk stellten mit 28,57 % unter den Komplikationen die zahlenmäßig größte Gruppe dar. Ein posttraumatisches Karpaltunnelsyndrom entwickelten 2,5 % der Patienten. Ein CRPS wurde bei 2,1 % beobachtet. Eine Ruptur der Sehne des M. flexor pollicis longus trat nur in einem dokumentierten Fall auf und wird somit mit 0,4 % angegeben. In drei Fällen kam es zu einer Nervenläsion des N. medianus.

Allgemeine Komplikationen, die mit einer Operation oder Hospitalisierung einhergehen, traten bei insgesamt zwei Patienten auf. Diese waren eine krankenhausessoziierte Pneumonie und ein postoperativer Wundinfekt, dies entspricht einer Häufigkeit von 0,83 % (Abbildung 26).

Die Komplikationsraten lagen im Rahmen dessen, was auch in vergleichbaren Studien zu finden ist (Ho et al. 2011; Voigt et al. 2012; Moseley et al. 2014).

3.2 Böhler-Winkel und Repositionsverlust – inklusive statistischer Betrachtung

3.2.1 Dorsopalmare Inklinationswinkel im Verlauf T1 – T5

In durchgeführter Studie wurde die dorsopalmare Inklinationswinkel der Radiusgelenkfläche über fünf Messzeitpunkte bestimmt.

90° entspricht einer Palmarinklination von ± 0 , da 90° einen im lateralen Strahlengang gebildeten Winkel zwischen orthogonal verlaufender Hilfslinie zum durch den Radiuschaft verlaufenden Lot darstellt (siehe 1.2.3 Böhler-Winkel, Abb. 4b).

Zum Unfallzeitpunkt T1, also nach Trauma und vor Frakturversorgung, war der dorsopalmare Gelenkwinkel im Mittel um 8,92° nach dorsal geneigt. Nach Reposition T2 lag der Mittelwert bei 7,49° palmarer Neigung, was annähernd der physiologischen Neigung der Gelenkfläche entspricht. Im Verlauf T3-T5 verringerte sich die palmare Inklinationswinkel im Mittel um wenige Grad, sodass zum Zeitpunkt T5 eine durchschnittliche palmare Inklinationswinkel von 6,08° vorlag (Abbildung 27).

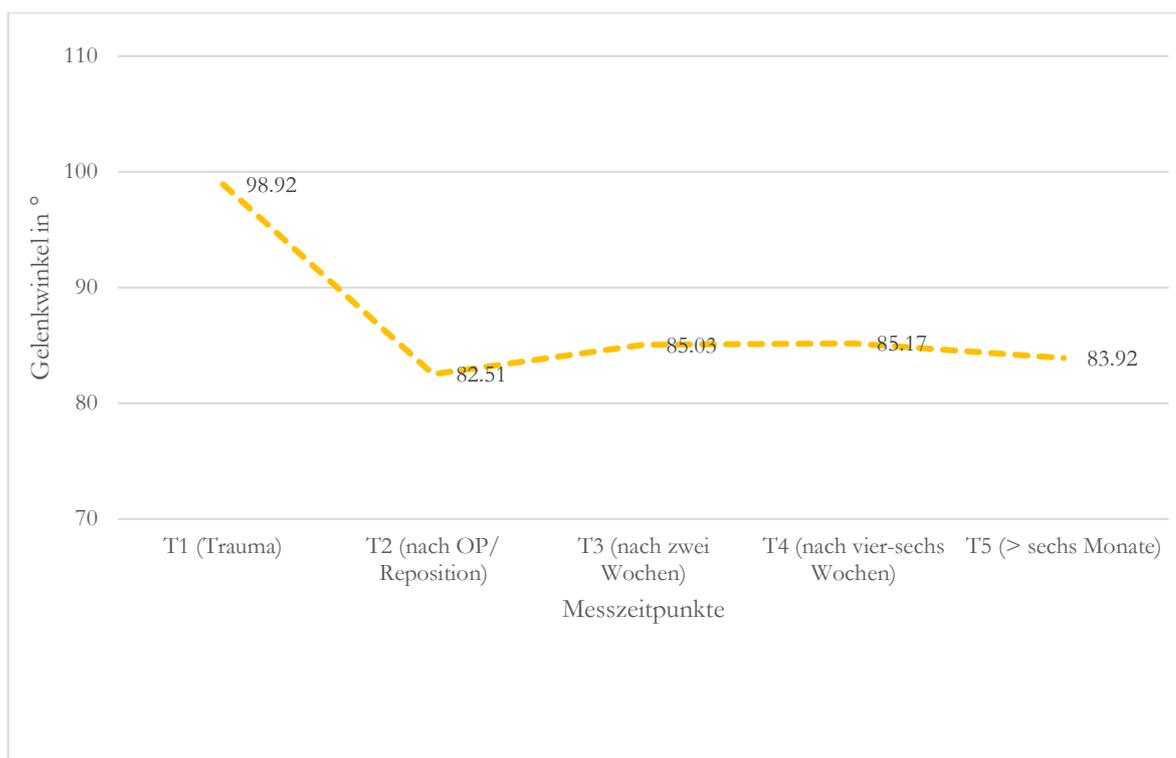


Abbildung 27: Dorsopalmare Gelenkwinkel (Mittelwerte) im Verlauf T1 – T5

3.2.2 Dorsopalmare Inklination im Verlauf T1 – T5 nach AO

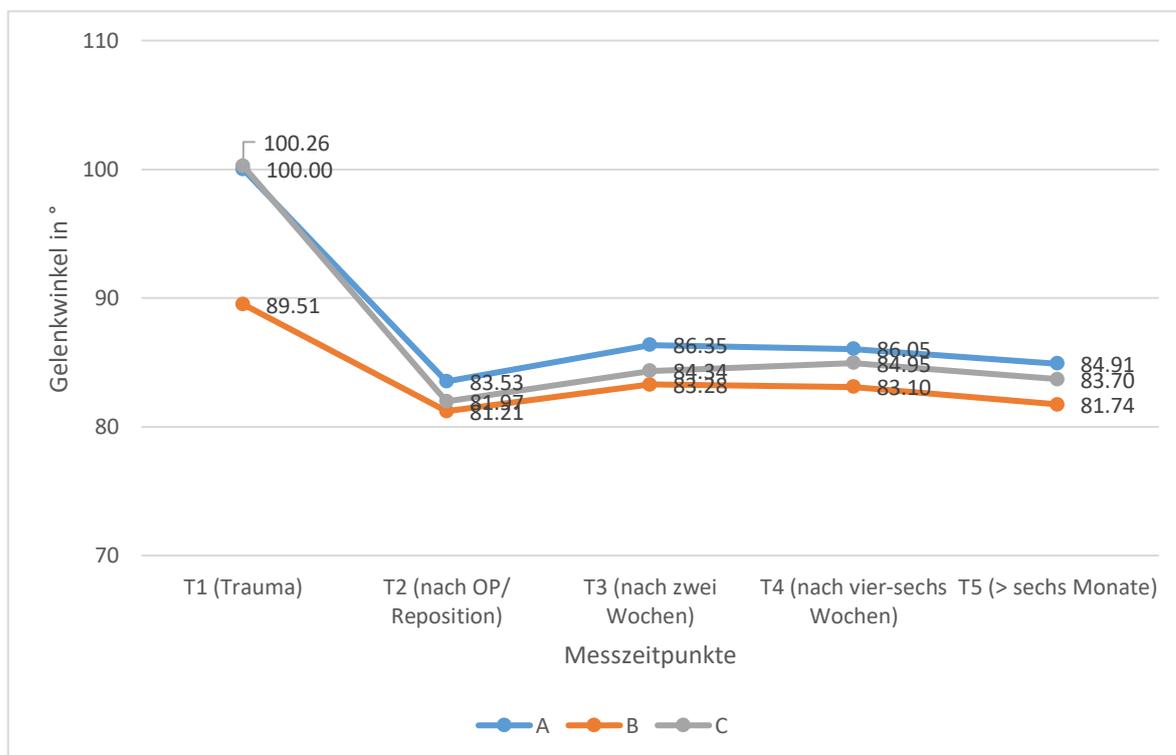


Abbildung 28: Dorsopalmare Gelenkwinkel T1 – T5 nach AO-Gruppe

Zum Unfallzeitpunkt T1 wiesen A- und C-Frakturen im Mittel eine Inklination von ca. 10° nach dorsal auf (Abbildung 28). B-Frakturen zeigten eine palmare Inklination zum Zeitpunkt T1 von ca. $\pm 0^\circ$. Die Daten zu allen B-Frakturen müssen mit Vorsicht interpretiert werden, da aufgrund der niedrigen Fallzahl ($n = 28$) nur eingeschränkte Aussagefähigkeit besteht. Vergleicht man den Verlauf der drei Graphen miteinander, so weisen diese einen sehr ähnlichen Verlauf auf. Zum Zeitpunkt T2 (nach OP/Reposition) hatten alle Frakturtypen die höchste palmare Inklination (durchschnittlich zwischen $8,79-6,47^\circ$), was einem guten Repositionsergebnis entspricht, da die physiologische Neigung von ca. 9° annähernd wiederhergestellt ist. Im Verlauf dislozierten die Frakturen im Durchschnitt nach zwei Wochen (T3) um $2,07-2,82^\circ$. In den nächsten ca. vier Wochen veränderte sich die palmare Inklination in allen Gruppen nur geringfügig um durchschnittlich weniger als 1° . Zum Zeitpunkt T4 (nach vier bis sechs Wochen) würde man regulär von einer abgeschlossenen Frakturheilung mit guter knöcherner Konsolidierung ausgehen (Siebert und Klönz 2005), interessanterweise trat im Mittel eine palmare Verkippung um $1,14-1,37^\circ$ bis zum Zeitpunkt T5 ($>$ sechs Monate nach Trauma) auf.

3.2.2.1 Repositionsverlust nach AO

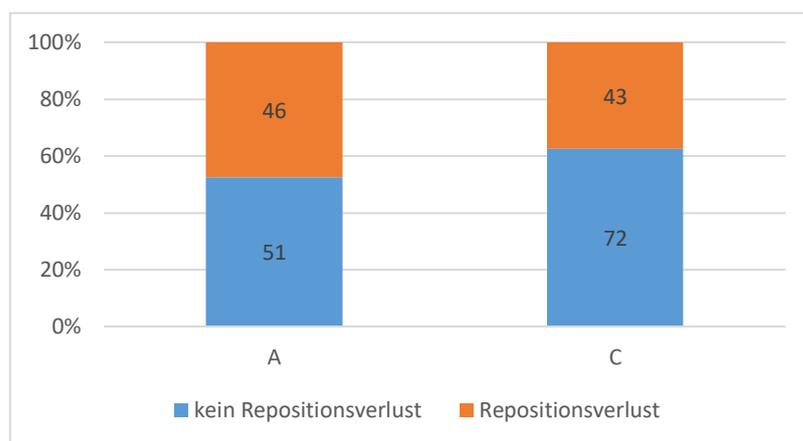


Abbildung 29: Prozentualer Anteil eines Repositionsverlustes bei A- und C-Frakturen nach AO

Insgesamt trat bei 41,25 % der Patienten ein relevanter Repositionsverlust auf, das ursprüngliche Repositionsergebnis dislozierte hierbei um mindestens 4° . Bei A-Frakturen trat in 45,54 % (46/97) ein Repositionsverlust auf, bei C-Frakturen kam es in 37,39 % (43/115) der Fälle zu einem Repositionsverlust (Abbildung 29).

3.2.2.2 Repositionsverlust nach AO und T-Test

Frakturen der Gruppe A zeigten nach vier bis sechs Wochen (T4) einen mittleren Repositionsverlust von $4,9^\circ$ ($SD \pm 5,26^\circ$) bzw. im Verlauf (T5) von $3,7^\circ$ ($SD \pm 3,92^\circ$).

Frakturen der Gruppe C hatten nach vier bis sechs Wochen einen mittleren Repositionsverlust von $4,56^\circ$ ($SD \pm 6,28^\circ$) bzw. im Verlauf von $3,76^\circ$ ($SD \pm 4,78^\circ$).

Der durchgeführte T-Test hat gezeigt, dass sich der Repositionsverlust zwischen A- und C-Frakturen nicht signifikant voneinander unterscheidet ($\Delta T2/T4$ $t(195) = 0,41$ $p = 0,68$ bzw. $\Delta T2/T5$ $t(114) = -0,06$ $p = 0,95$).

3.2.2.3 T-Test

Der T-Test zählt zu den parametrischen Testverfahren. Diese Testverfahren haben im Vergleich zu verteilungsfreien Tests eine bessere Teststärke, allerdings müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, damit dieser Test angewendet werden kann. Die abhängige Variable, die zu untersuchen ist, muss hierbei sowohl in beiden Gruppen normalverteilt als auch zumindest intervallskaliert sein. Zudem muss eine Varianzhomogenität vorliegen, das bedeutet, dass die Varianz in beiden Gruppen annähernd identisch sein sollte. Der T-Test ist ein sehr gängiges und gutes Testverfahren, da er selbst bei Verletzung der Testvoraussetzungen, z. B. keine Normalverteilung oder zu niedriges Skalenniveau, sehr robust ist und daher Verwendung findet.

Mit dem T-Test können bspw. (intervallskalierte) Daten bzgl. eines Unterschiedes (z. B. Vergleich der Mittelwerte zweier unabhängiger Gruppen) untersucht werden.

3.2.3 Dorsopalmare Inklinations im Verlauf T1 – T5 nach Altersgruppe

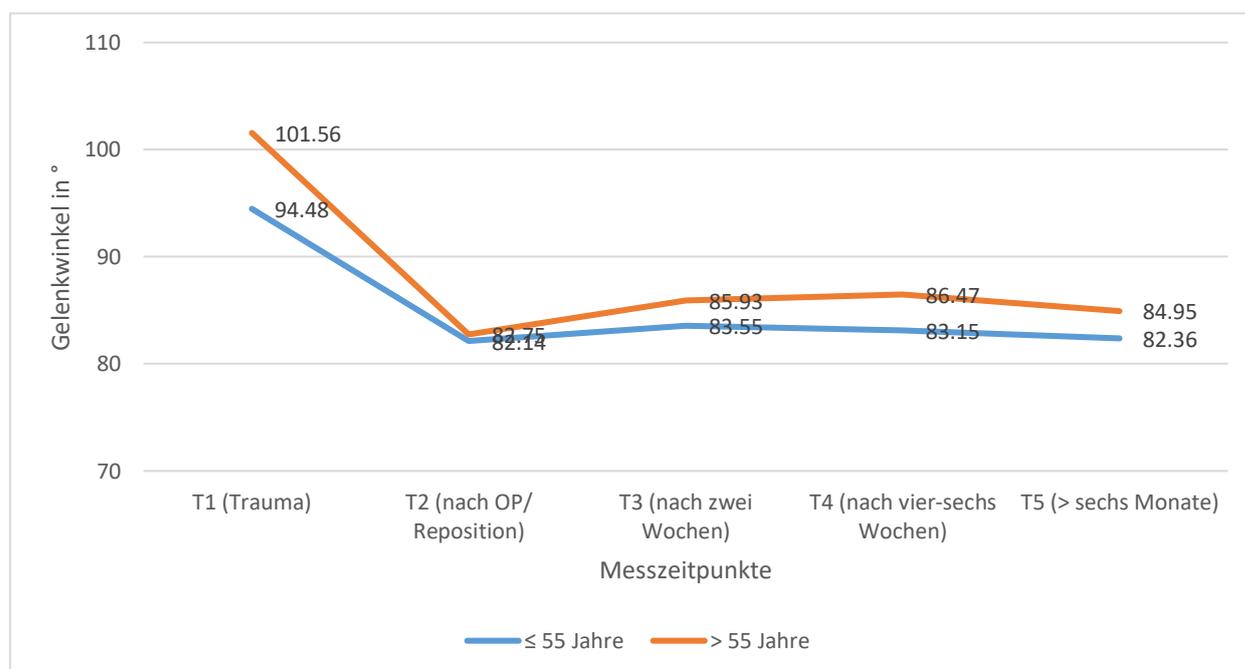


Abbildung 30: Dorsopalmare Gelenkwinkel im Verlauf T1 – T5 nach Altersgruppe

Schaut man sich die Entwicklung der palmaren Inklinations im zeitlichen Verlauf separat für die Altersgruppe ≤ 55 Jahre und > 55 Jahre an, so fällt auf, dass in der jüngeren Altersgruppe

der Dislokationsgrad geringer ausfiel. In der Altersgruppe > 55 Jahre kam es in den ersten vier bis sechs Wochen zu einer dorsalen Dislokation um durchschnittlich $3,18^\circ$, in der Altersgruppe ≤ 55 Jahre waren es durchschnittlich $0,42^\circ$ (Abbildung 30).

3.2.3.1 Repositionsverlust nach Altersgruppe

In der Gruppe bis 55 Jahre trat bei 33 von 93 Patienten ein relevanter Repositionsverlust auf, dies entspricht 35,48 % (Abbildung 31). In der Gruppe älter als 55 Jahre trat ein Repositionsverlust bei 66 von 147 Patienten auf, entsprechend 44,89 %. In der älteren Kohorte war die Häufigkeit für das Auftreten eines Repositionsverlustes um 26,6 % erhöht.

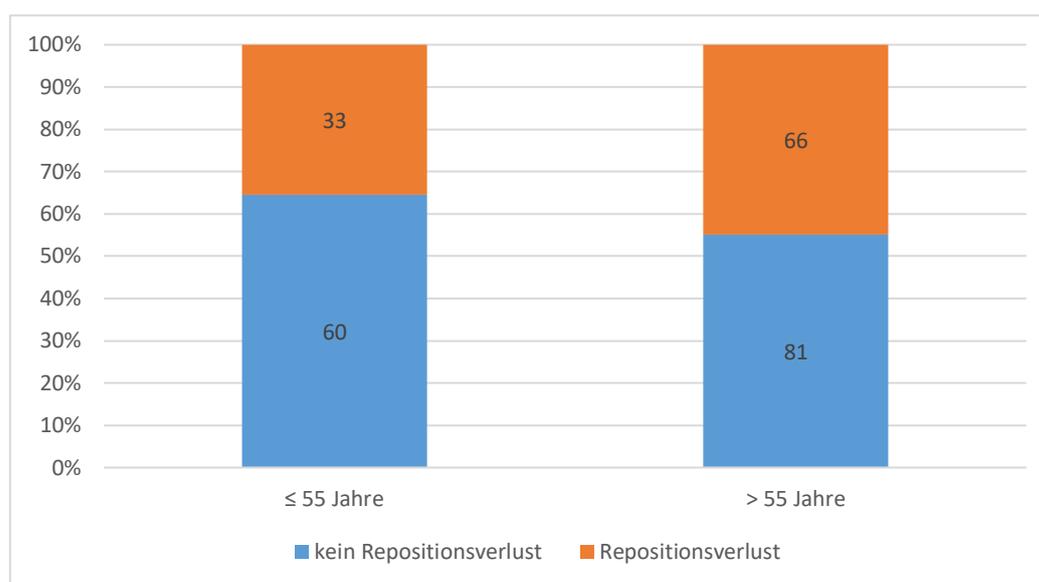


Abbildung 31: Prozentualer Anteil des Repositionsverlustes nach Altersgruppe

3.2.3.2 Repositionsverlust nach Altersgruppe und T-Test

In der Gruppe ≤ 55 Jahre lag der mittlere Repositionsverlust zwischen den beiden Messzeitpunkten T2 und T4 bzw. T2 und T5 bei $3,4^\circ$ ($SD \pm 5,0^\circ$) bzw. $3,6^\circ$ ($SD \pm 2,97^\circ$), in der Gruppe > 55 Jahre lag der mittlere Repositionsverlust bei $5,22^\circ$ ($SD \pm 5,87^\circ$) bzw. $3,77^\circ$ ($SD \pm 5,03^\circ$). Der durchgeführte T-Test hat gezeigt, dass sich der gemittelte Repositionsverlust zwischen den beiden Gruppen vier bis sechs Wochen postoperativ signifikant unterscheidet ($\Delta T2/T4$ $t(223) = -2,34$ $p = 0,02$). Bei letzter Kontrollaufnahme T5 (mindestens sechs Monate nach Trauma) unterscheiden sich die Gruppen hinsichtlich des Repositionsverlustes nicht (mehr) signifikant voneinander ($\Delta T2/T5$ $t(127) = -0,165$ $p = 0,87$).

3.2.4 Dorsopalmare Inklination im Verlauf T1 – T5 nach Versorgungsart – operativ vs. konservativ

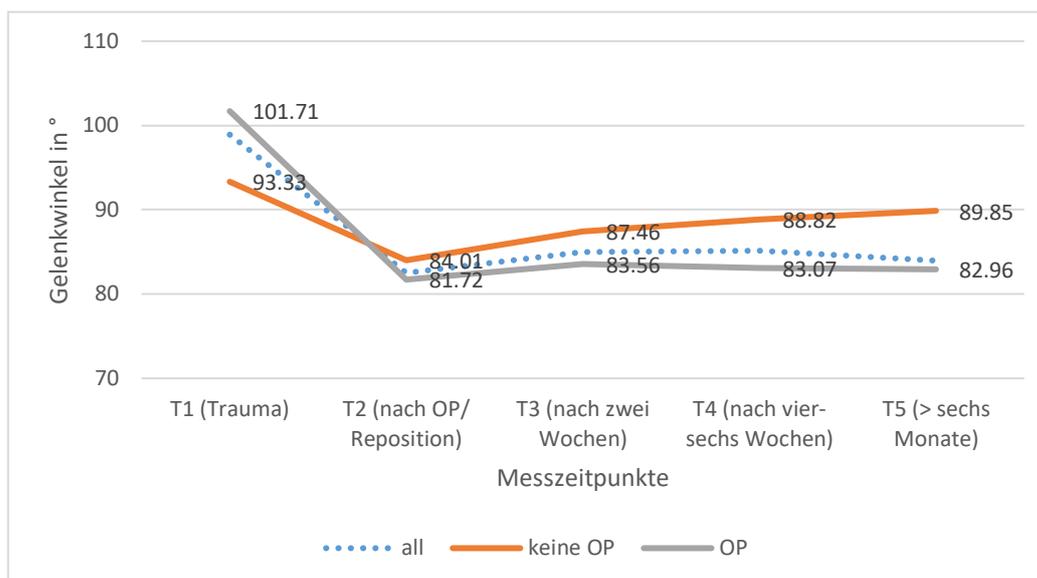


Abbildung 32: Dorsopalmare Gelenkwinkel im Verlauf T1 – T5 nach Versorgungsart

Das Diagramm beinhaltet drei Graphen, die den Verlauf der dorsopalmaren Inklination zu den Zeitpunkten T1 (Trauma) bis T5 (mindestens sechs Monate nach Trauma) darstellen (Abbildung 32).

Die später operativ behandelten Frakturen waren zum Traumazeitpunkt stärker nach dorsal disloziert als die im Verlauf konservativ versorgten Frakturen, 11,71° dorsale Neigung im Vergleich zu 3,33°.

Nach Reposition hatten beide Gruppen ein ähnliches Ergebnis. Im zeitlichen Verlauf änderte sich in der Gruppe der operativ versorgten Frakturen die dorsopalmare Inklination von initial 8,28° palmar nach Reposition auf 7,04°. In der Gruppe der Nichtoperierten ändert sich die palmare Inklination von initial 5,99° palmar nach Reposition auf 0,15°.

In der Gruppe der Operierten betrug der Repositionsverlust nach vier bis sechs Wochen im Mittel 3,15° ($SD \pm 4,19^\circ$) bzw. im Verlauf 3,06° ($SD \pm 2,83^\circ$). In der Gruppe der Nichtoperierten betrug der Repositionsverlust nach vier bis sechs Wochen im Mittel 6,92° ($SD \pm 6,87^\circ$) bzw. im Verlauf 7,8° ($SD \pm 8,3^\circ$).

In der Gruppe der Operierten trat bei 53 von 157 Patienten entsprechend 33,36 % ein relevanter Repositionsverlust auf. In der Gruppe der Nichtoperierten kam es bei 46 von 83 Patienten zu einem relevanten Repositionsverlust, dies entspricht 55,42 %.

In der Gruppe der Nichtoperierten war die Rate an Repositionsverlusten somit um 66 % höher als in der Gruppe der Operierten (Abbildung 33).

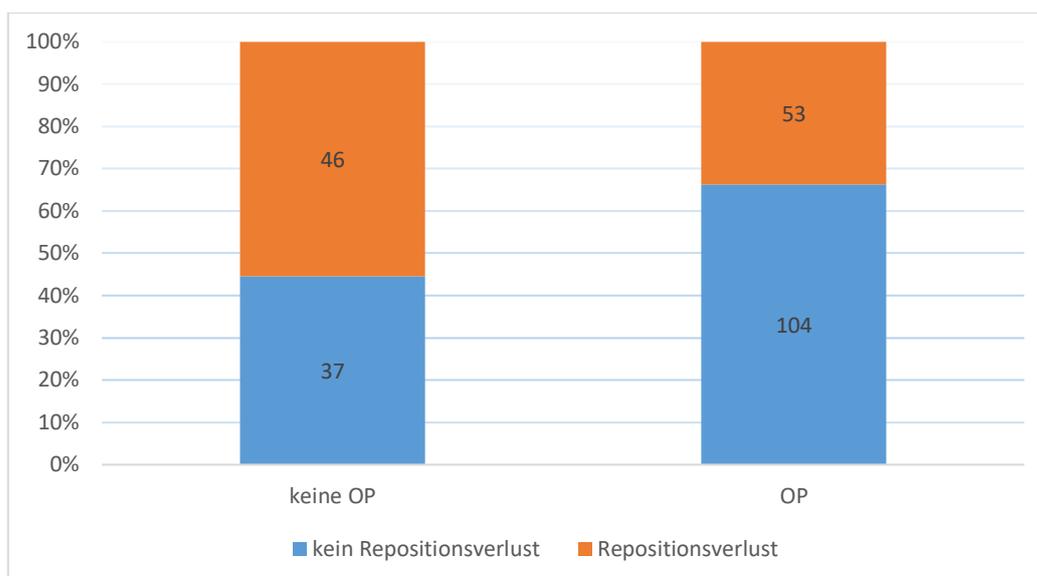


Abbildung 33: Prozentuale Häufigkeit eines Repositionsverlustes nach Versorgungsart

3.2.4.1 T-Test Repositionsverlust nach Versorgungsart -

Nimmt der Faktor „OP“ Einfluss auf den Grad der Redislokation?

Um Prädiktoren für eine Dislokation zu identifizieren, wurde zuerst getestet, ob das Merkmal „OP“ signifikante Auswirkungen auf den Grad der Dislokation vier bis sechs Wochen postoperativ bzw. im Verlauf hatte.

Der durchgeführte T-Test hat gezeigt, dass sich der gemittelte dorsopalmare Repositionsverlust zwischen Operierten und Nichtoperierten signifikant voneinander unterscheidet ($\Delta T2/T4$ $t(223) = 5,11$ $p < 0,0001$ und $\Delta T2/T5$ $t(127) = 4,64$ $p < 0,0001$).

3.2.4.2 T-Test Repositionsverlust nach OP und AO-Gruppe

Für Frakturen des Typs A in der Gruppe der Nichtoperierten lag der mittlere dorsopalmare Repositionsverlust nach vier bis sechs Wochen bei $5,51^\circ$ ($SD \pm 5,53^\circ$) bzw. im Verlauf bei $6,30^\circ$ ($SD \pm 6,16^\circ$), in der Gruppe der Operierten lag der mittlere dorsopalmare Repositionsverlust nach vier bis sechs Wochen bei $2,88^\circ$ ($SD \pm 2,65^\circ$) bzw. im Verlauf bei $3,00^\circ$ ($SD \pm 2,71^\circ$).

Der gemittelte dorsopalmare Repositionsverlust für A-Frakturen unterscheidet sich zwischen Nicht-Operierten und Operierten signifikant voneinander ($\Delta T2/T4$ $t(90) = 3,11$ $p = 0,002$ bzw. $\Delta T2/T5$ $t(43) = 2,16$ $p = 0,036$).

Für Frakturen des Typs C in der Gruppe der Nichtoperierten lag der mittlere dorsopalmare Repositionsverlust nach vier bis sechs Wochen bei $12,54^\circ$ ($SD \pm 8,68^\circ$) bzw. im Verlauf bei $23,9^\circ$ ($SD \pm 13,15^\circ$), in der Gruppe der Operierten lag der mittlere dorsopalmare

Repositionsverlust nach vier bis sechs Wochen bei $3,17^\circ (SD \pm 2,95^\circ)$ bzw. im Verlauf bei $3,33^\circ (SD \pm 5,83^\circ)$.

Der gemittelte dorsopalmare Repositionsverlust für C-Frakturen unterscheidet sich zwischen Nicht-Operierten und Operierten signifikant voneinander ($\Delta T2/T4 \ t(103) = 5,87 \ p < 0,0001$ bzw. $\Delta T2/T5 \ t(69) = 8,68 \ p < 0,0001$).

3.2.5 T-Test: Repositionsverlust nach OP und Altersgruppe

An dieser Stelle wurde geprüft, ob die signifikanten Unterschiede des Repositionsverlustes zwischen Operierten und Nichtoperierten sich innerhalb der zwei Altersgruppen unterschiedlich verhalten.

In der Altersgruppe > 55 Jahre und keine OP lag der mittlere dorsopalmare Repositionsverlust nach vier bis sechs Wochen bei $9,75^\circ (SD \pm 7,87^\circ)$ bzw. im Verlauf bei $10,98^\circ (SD \pm 10,72^\circ)$. In der Gruppe der Operierten lag der mittlere dorsopalmare Repositionsverlust nach vier bis sechs Wochen bei $3,29^\circ (SD \pm 3,25^\circ)$ bzw. im Verlauf bei $2,83^\circ (SD \pm 2,73^\circ)$.

Der durchgeführte T-Test hat gezeigt, dass sich der mittlere dorsopalmare Repositionsverlust in der Altersgruppe > 55 Jahre zwischen Operierten und Nichtoperierten signifikant voneinander unterscheidet ($\Delta T2/T4 \ t(135) = 6,82 \ p < 0,0001$ bzw. $\Delta T2/T5 \ t(76) = 5,30 \ p < 0,0001$).

In der Altersgruppe ≤ 55 Jahre und keine OP lag der mittlere dorsopalmare Repositionsverlust nach vier bis sechs Wochen bei $4,09^\circ (SD \pm 4,15^\circ)$ bzw. im Verlauf bei $4,62^\circ (SD \pm 2,85^\circ)$ in der Gruppe der Operierten lag der mittlere dorsopalmare Repositionsverlust nach vier bis sechs Wochen bei $2,89^\circ (SD \pm 5,67^\circ)$ bzw. im Verlauf bei $3,44^\circ (SD \pm 2,98^\circ)$.

Der durchgeführte T-Test hat gezeigt, dass sich der mittlere dorsopalmare Repositionsverlust in der Altersgruppe ≤ 55 Jahre zwischen Operierten und Nichtoperierten nicht signifikant voneinander unterscheidet ($\Delta T2/T4 \ t(86) = 1,13 \ p = 0,26$ bzw. $\Delta T2/T5 \ t(49) = 1,09 \ p = 0,28$).

3.3 Plattenbesetzung

Insgesamt wurden von allen 153 Operierten 75 Frakturen mit vier winkelstabilen Schrauben (wstab = 4) behandelt, 66 Frakturen mit mehr als vier Verriegelungsschrauben (wstab $>$ 4), bei zwölf Patienten wurden weniger als vier Schrauben verwendet. Die proximale und distale Schraubenreihe des Implantats wurden bei zweireihigen Implantaten zusammengefasst, die proximale Reihe kann mit drei und die distale Reihe mit maximal vier winkelstabilen

Schrauben besetzt werden. Da bei Durchführung einer Plattenosteosynthese am distalen Radius am häufigsten vier oder mehr als vier Schrauben verwendet werden, ist es sinnvoll, die Gruppen „wstab = 4“ mit „wstab > 4“ zu vergleichen.

3.3.1 Initiales Repositionsergebnis T1 – T2 nach Versorgungsart

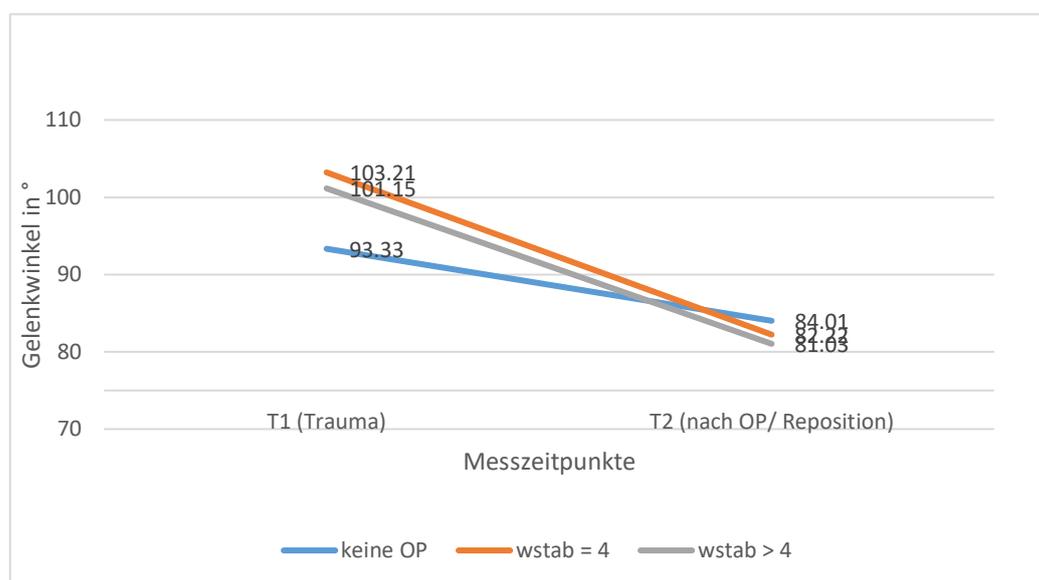


Abbildung 34: Initiales Repositionsergebnis nach Versorgungsart

Das Diagramm veranschaulicht den Mittelwert der dorsopalmaren Inklination zum Traumazeitpunkt (T1) und nach Reposition (T2) (Abbildung 34).

Bei konservativ behandelten Frakturen lag die mittlere dorsopalmarer Inklination zum Zeitpunkt des Traumas bei $3,33^\circ$ ($SD \pm 12,68^\circ$) nach dorsal. Die Frakturen, die operativ mittels Plattenosteosynthese behandelt wurden, wiesen zum Zeitpunkt des Traumas im Mittel eine dorsopalmarer Inklination von $13,2^\circ$ ($SD \pm 17,93^\circ$) bzw. $11,15^\circ$ ($SD \pm 20,10^\circ$) nach dorsal auf. Zum Zeitpunkt T2, also nach Reposition, ähneln sich die Mittelwerte bzgl. dorsopalmarer Inklination. Konservativ behandelte Frakturen hatten nach Reposition eine Palmarinklination von $5,88^\circ$ ($SD \pm 6,97^\circ$), in der operativ versorgten Gruppe wstab = 4 waren es $7,78^\circ$ ($SD \pm 7,82^\circ$) und in der Gruppe wstab > 4 waren es $8,96^\circ$ ($SD \pm 7,44^\circ$). Das Repositionsergebnis ist hinsichtlich der Rekonstruktion der physiologischen Gelenkstellung in der Gruppe der operativ behandelten Frakturen besser realisiert wurden, sodass postoperativ eine nahezu physiologische Palmarinklination wiederhergestellt werden konnte.

3.3.2 Dorsopalmare Inklination im Verlauf T1 – T5 nach Plattenbesetzung

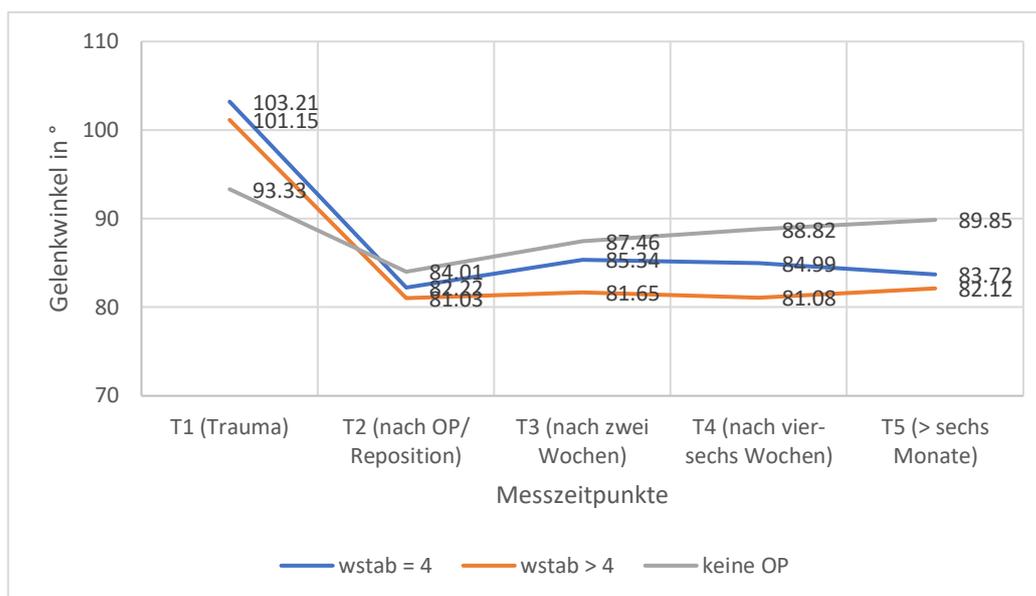


Abbildung 35: Dorsopalmare Gelenkwinkel im Verlauf T1 – T5 nach Plattenbesetzung

Der Graph zeigt die Mittelwerte der palmaren Inklination jeweils für $wstab = 4$ und $wstab > 4$ zu den Messzeitpunkten T1-T5 (Abbildung 35). Es lässt sich an der Kurve der Nichtoperierten eine zunehmende Redislokation im Sinne eines „dorsalen Abrutschens“ der Gelenkfläche erkennen, das initiale Repositionsergebnis kann im Vergleich zur Gruppe der Operierten mit vier oder mehr als vier Verriegelungsschrauben schlechter aufrechterhalten werden.

3.3.3 Repositionsverlust nach Plattenbesetzung und T-Test

Im vorliegenden Studienkollektiv lag der Grad der Dislokation nach vier bis sechs Wochen im Mittel bei $4,53^\circ$ ($SD \pm 5,61^\circ$) im Verlauf bei $3,72^\circ$ ($SD \pm 4,33^\circ$). Hierbei handelt es sich um den absoluten Betrag ohne auf die Richtung der Dislokation (palmar vs. dorsal) einzugehen.

In der Gruppe der Nichtoperierten lag der Grad der Dislokation nach vier bis sechs Wochen im Mittel bei $6,92^\circ$ ($SD \pm 6,88^\circ$) und im Verlauf bei $7,8^\circ$ ($SD \pm 8,28^\circ$).

In der Gruppe der Operierten mit vier Verriegelungsschrauben ($wstab = 4$) lag der Grad der Dislokation nach vier bis sechs Wochen im Mittel bei $4,05^\circ$ ($SD \pm 5,31^\circ$) und im Verlauf bei $3,19^\circ$ ($SD \pm 3,06^\circ$).

In der Gruppe der Operierten mit mehr als vier Verriegelungsschrauben ($wstab > 4$) lag der Grad der Dislokation nach vier bis sechs Wochen im Mittel bei $2,53^\circ$ ($SD \pm 2,89^\circ$) und im Verlauf bei $2,98^\circ$ ($SD \pm 2,73^\circ$).

In der Gruppe $wstab = 4$ trat ein relevanter Repositionsverlust bei 39 % auf, in der Vergleichsgruppe $wstab > 4$ lediglich bei 29 % (Abbildung 36). Dies entspricht einem im Vergleich um 34 % niedrigeren Repositionsverlust. In der Gruppe der Nichtoperierten betrug die Redislokationsrate 55 % und war somit am höchsten.

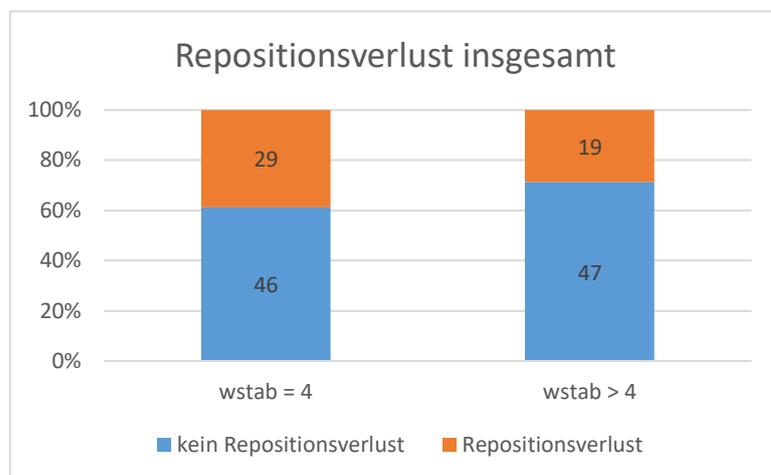


Abbildung 36: Repositionsverlust nach Plattenbesetzung

3.3.4 T-Test: Repositionsverlust nach Versorgungsart und Plattenbesetzung

Hier wurde geprüft, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen $wstab = 4$ und $wstab > 4$ gibt.

Statistisch zeigte sich kein signifikanter Unterschied bzgl. des Repositionsverlustes zwischen einer Besetzung der Radiusplatte mit vier oder mehr als vier Verriegelungsschrauben ($\Delta T2/T4$ $t(125) = 1,97$ $p = 0,05$ bzw. $\Delta T2/T5$ $t(98) = 0,35$ $p = 0,72$). Die Nullhypothese, dass es keinen Unterschied zwischen beiden Plattenbesetzungen gibt, muss also beibehalten werden.

Zum Zeitpunkt vier bis sechs Wochen postoperativ lässt sich ein Trend erkennen, dass es einen Unterschied zwischen $wstab = 4$ und $wstab > 4$ geben könnte. Bei einem p -Wert von 0.05 wurde die Nullhypothese nur knapp nicht verworfen. Zum Zeitpunkt mindestens sechs Monate nach Trauma zeigt sich jedoch weder ein signifikanter Unterschied noch lässt sich der vorher erkannte Trend wiederfinden.

3.3.5 Plattenbesetzung nach AO-Gruppe

Frakturen vom Typ A wurden zu 76 % mit vier winkelstabilen Schrauben behandelt und nur zu 24 % mit mehr als vier winkelstabilen Schrauben. Frakturen vom Typ C wurden hingegen nur zu 44 % mit vier winkelstabilen Schrauben versorgt und zu 56 % mit mehr als vier winkelstabilen Schrauben (Abbildung 37).



Abbildung 37: Plattenbesetzung für A- und C-Frakturen

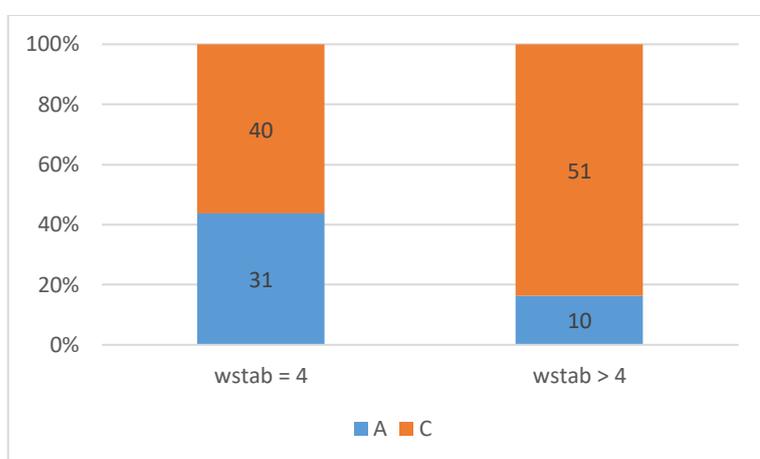


Abbildung 38: Verteilung der Frakturtypen auf die verschiedenen Plattenbesetzungen

In 56,34 % lag bei einer Plattenbesetzung mit vier Verriegelungsschrauben eine C-Fraktur vor, hingegen lag bei einer Plattenbesetzung mit mehr als vier Verriegelungsschrauben in 83,66 % eine C-Fraktur vor (Abbildung 38). In der Gruppe wstab > 4 war der Anteil der C-Frakturen deutlich überrepräsentiert und kam mehr als 5-fach so oft vor wie A-Frakturen.

4 Diskussion

Diese retrospektive Studie kann durch die gewonnenen Ergebnisse einen weiteren Beitrag zur Evaluation der Versorgungssituation bei distalen Radiusfrakturen leisten. Das zugrundeliegende Patientenkollektiv war bzgl. Frakturklassifikation, Geschlechtsverteilung als auch bzgl. der Repositionsverluste und aufgetretener Komplikationen mit denen anderer Studien vergleichbar (Diaz-Garcia et al. 2011; Kwan et al. 2011a; Voigt et al. 2012; Obert et al. 2013). Das mittlere Durchschnittsalter der Patienten betrug 57 Jahre, 72 % der Patienten waren weiblich. In der Altersgruppe > 55 Jahre waren Frauen 4,88-fach häufiger vertreten als Männer, in der Altersgruppe ≤ 55 Jahre nur 1,22-fach. Die häufigste Ursache der distalen Radiusfraktur war mit 76,25 % ein Sturz aus < 5m Höhe, gefolgt von Sportunfällen. Bei Männern handelte es sich in 26 % um ein Hochenergietrauma, bei Frauen nur in 8 %.

Es konnte gezeigt werden, dass eine operative Versorgung der distalen Radiusfraktur signifikant bessere radiologische Ergebnisse hinsichtlich des dorsopalmaren Repositionsverlustes aufweist als bei konservativem Vorgehen. Bei konservativer Behandlung trat in 55,42 % ein Repositionsverlust (Redislokation $\geq 4^\circ$) ein, in der Gruppe der operativ behandelten Frakturen betrug die Redislokationsrate insgesamt nur 33,36 %. In der Gruppe der Operierten lag der mittlere Redislokationsgrad zu den Zeitpunkten T4 (vier bis sechs Wochen) und T5 (mindestens sechs Monate nach Trauma) bei $3,15^\circ$ ($SD \pm 4,19^\circ$) bzw. $3,06^\circ$ ($SD \pm 2,83^\circ$), in der Gruppe der Nichtoperierten hingegen bei $6,92^\circ$ ($SD \pm 6,87^\circ$) bzw. $7,8^\circ$ ($SD \pm 8,3^\circ$).

Signifikant niedrigere Repositionsverluste zeigten sich auch bei den Subgruppen (Frakturen des Typs A und C). In der Altersgruppe > 55 Jahre war der mittlere Redislokationsgrad bei Operierten signifikant niedriger als bei Nichtoperierten, in der Altersgruppe bis 55 Jahre bestand hingegen statistisch kein signifikanter Unterschied. Ebenso zeigte sich statistisch kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Zugehörigkeit zu einer der beiden Altersgruppen und einem Repositionsverlust, rein deskriptiv kam es in der Gruppe ≤ 55 Jahre in 35,48 % zu einem Repositionsverlust, in der Gruppe > 55 Jahre waren es 44,89 %.

Diese Ergebnisse sind insbesondere interessant, da es bei zunehmender operativer Versorgung gilt, jene Frakturen zu identifizieren, die konservativ therapiert ebenfalls gute Ergebnisse erzielen können. So beschreibt Fernandez, dass vor allem einfache, nicht dislozierte Frakturen des Typs A auch heute noch der konservativen Therapie vorbehalten sind. Auch wird beschrieben, dass einfache Frakturen mit geringem Risiko für eine Redislokation konservativ versorgt werden können, es heutzutage aber bereits aufgrund der Sorge vor einer möglichen Redislokation zunehmend zur operativen Versorgung komme – intraartikuläre und instabile Frakturen seien aber nicht geeignet für eine Therapie im Cast (Fernandez 2005; Wolfe 2011). In unserem Patientenkollektiv zeigten aber selbst diese „simplen“ Frakturen des Typs A eine signifikant höhere Rate an Repositionsverlusten bei konservativer Therapie. Ferner zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen AO-

Klassifikation und Repositionsverlust, rein deskriptiv kam es bei A-Frakturen in 45,54 % zu einem Repositionsverlust, bei C-Frakturen in 37,39 %.

Interessant ist auch, dass der Anteil an C-Frakturen mit 53 % in der Altersgruppe > 55 Jahre höher ist als in der Vergleichsgruppe \leq 55 Jahre mit 40 %, obwohl der Anteil an Hochenergietraumata abnimmt. In der Altersgruppe > 55 Jahre machten Hochenergietraumata nur noch 4,0 % in der Gruppe der Männer bzw. 6,14 % in der Gruppe der Frauen aus. Insbesondere bei weiblichen Patienten > 55 Jahre war eine Zunahme der C-Frakturen um ca. 57 % im Vergleich zur jüngeren Vergleichskohorte auffällig. So kommt die Vermutung auf, dass komplexere Frakturen durch geringere Energieeinwirkung entstanden sind und möglicherweise durch eine Osteoporose begünstigt werden.

Die Frage nach der optimalen Schraubenbesetzung, bzw. in unserer Studie der Vergleich der operativen Frakturversorgung mittels palmarer, winkelstabiler Plattenosteosynthese zeigte keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich des Repositionsverlustes zwischen einer Plattenbesetzung mit vier im Vergleich zu mehr als vier winkelstabilen Schrauben zum Zeitpunkt T4 (nach vier bis sechs Wochen) mit $p = 0,05$ bzw. zum Zeitpunkt T5 (mindestens sechs Monate nach Trauma) mit $p = 0,72$. Rein deskriptiv kam es in der Gruppe mit vier Verriegelungsschrauben in 39 % zu einem Repositionsverlust, in der Gruppe mit mehr als vier Verriegelungsschrauben waren es 29 %.

Bislang an humanen (Leichen-) Knochen artifiziell erzeugte und versorgte Frakturen deuten unter experimentellen Bedingungen auf eine höhere Stabilität bei zunehmender Schraubenzahl hin (Mehling et al. 2010; Mair et al. 2013), allerdings finden sich auch gegenteilige Erkenntnisse, die keinen signifikanten Unterschied feststellen konnten (Drobetz et al. 2013).

Abbildungen 35 und 36 können den Eindruck erwecken, dass eine Versorgung mit mehr als vier Schrauben einen Vorteil gegenüber einer Versorgung mit nur vier Schrauben habe, da der mittlere Grad der Dislokation in der Gruppe mit mehr als vier Verriegelungsschrauben in absoluten Werten niedriger ist. In der Gruppe mit vier Schrauben dislozierten 39 %, in der Vergleichsgruppe mit mehr als vier Verriegelungsschrauben waren es 29 %. In dieser Studie bei gegebenem Studienumfang ($n = 157$ operativ behandelte Frakturen) zeigte sich statistisch allerdings kein signifikanter Unterschied, was u. a. durch die hohen Standardabweichungen von $SD \pm 5,3^\circ$ und $SD \pm 3,1^\circ$ in der Gruppe $wstab = 4$ bzw. $SD \pm 2,89^\circ$ und $SD \pm 2,73^\circ$ in der Gruppe $wstab > 4$ mitbedingt ist. Dies mag nicht nur der tatsächlichen Varianz der dorsopalmaren Inklination postoperativ entsprechen, sondern auch durch unvermeidbare Fehler in der Evaluierung der Gelenkwinkel bedingt sein. Die Messmethode selbst bietet hierfür bereits Fehlerpotenzial, sodass als Grundlage für möglichst valide Messergebnisse zuvorderst eine gute Bildgebung benötigt wird. An dieser Stelle sollte noch einmal auf die Notwendigkeit eines konsequenten und standardisierten Vorgehens bei der Röntgendiagnostik im klinischen Alltag hingewiesen werden, denn wie bereits im Abschnitt Diagnostik erwähnt, kann ein seitlich rotierter Unterarm oder eine zu

kurzstreckige Abbildung des Radiuschaftes die Auswertung der Gelenkwinkel sowohl verfälschen als auch gänzlich unmöglich machen (Mann et al. 1992).

Des Weiteren ist bekanntermaßen die Klassifikation der distalen Radiusfraktur umstritten, nicht nur weil deren prognostischer Wert kontrovers diskutiert wird, sondern auch weil die Intra- und Interobserverreliabilität mit schwach angegeben wird (Flinkkila et al. 1998). Überdies gibt es keine konkret benannten Rahmenbedingungen bzw. Voraussetzungen, die für die Klassifizierung erfüllt sein müssen – eine bereits reponierte Fraktur im Cast lässt so möglicherweise nicht mehr die originäre Entität vollumfänglich erkennen (Jayakumar et al. 2016).

Ferner muss man sich der limitierten Aussagekraft bei Evaluation rein radiologischer Kriterien bewusst sein, da diese nicht zwingend mit dem funktionellen Ergebnis und der Patientenzufriedenheit korrelieren. Patienten mit ungünstigen radiologischen Parametern können gute funktionelle Ergebnisse aufweisen, umgekehrt können auch gute radiologische Ergebnisse mit einer schlechten Funktionalität einhergehen. Sowohl subjektive als auch objektive Ergebnisse korrelieren nur schwach mit den radiologischen Parametern (Changulani et al. 2008; Diaz-Garcia et al. 2011; Xavier et al. 2011; Zeichen 2014). Ein älterer Mensch mit reduziertem Aktivitätslevel hat nachvollziehbarerweise einen anderen Anspruch an die Funktionalität als eine adoleszente Freizeittennisspielerin. So wurde in einer Studie aus 2011 durch Arora et al. gezeigt, dass Patienten mit konservativer Versorgung zwar nach einem Jahr im Vergleich zur operativen Vergleichskohorte schlechtere radiologische Parameter vorwiesen, hinsichtlich der Funktionalität jedoch keine signifikanten Unterschiede vorlagen (Arora et al. 2011). In der hier vorliegenden Studie war der dorsopalmare Repositionsverlust in der Altersgruppe > 55 Jahre bei operativer Versorgung ebenfalls signifikant niedriger als bei konservativem Vorgehen, wie sich dies allerdings auf die Funktionalität auswirkte, bleibt offen. Die 2014 veröffentlichte ORCHID-Studie kam zu dem Ergebnis, dass C-Frakturen bei über 65-Jährigen nach einem Jahr hinsichtlich der funktionellen Ergebnisse und der Patientenzufriedenheit keine signifikanten Unterschiede zwischen Operierten und mittels Gipsbehandlung therapierten Patienten vorweisen, jedoch waren die radiologischen Ergebnisse und der Funktionsumfang nach drei Monaten in der operierten Gruppe signifikant besser (Bartl et al. 2014). In der Literatur wird postuliert, dass die therapeutischen Ergebnisse sich zwar in den ersten Monaten unterscheiden, sich nach ein bis zwei Jahren jedoch relativieren und es keinen signifikanten Unterschied (mehr) gibt (Arora et al. 2011; Bartl et al. 2014; Drobetz et al. 2016).

Das Ziel sollte dennoch eine möglichst gute, anatomische Reposition und Retention sein, da dies als Grundlage einer physiologischen Gelenkfunktionalität und -beanspruchung anzusehen ist. Es ist davon auszugehen, dass Fehlstellungen – u. a. der dorsopalmaren Inklination – sich negativ auf die Funktionalität des Handgelenks auswirken (McQueen et al. 1996; Chen und Jupiter 2007; Müller-Mai und Frank 2010; Rueger et al. 2014). Diese Studie hat aufgrund des rein retrospektiven Charakters bewusst auf eine Evaluation der

Patientenzufriedenheit und eine Nachuntersuchung des Funktionsumfangs verzichtet, hierzu gibt es bereits zahlreiche Studien. Auch die hierfür häufig verwendeten Scores wie DASH (*Disability of shoulder, arm and hand questionnaire*) und PRWE (*patient-rated wrist evaluation questionnaire*), welche eine subjektive Einschätzung durch den Patienten wiedergeben als auch der *Gartland and Werley Score*, der objektive Parameter umfasst, versuchen zwar, sowohl subjektive als auch objektive Parameter (Bewegungsumfang, Griffstärke et cetera) zu berücksichtigen, sind jedoch nur bedingt geeignet, um Rückschlüsse auf den Therapieerfolg geben zu können (Gartland und Werley 1951; Changulani et al. 2008; Diaz-Garcia et al. 2011; Zeichen 2014). Untereinander korrelieren die Scores entweder nur gering oder haben bislang keine bestätigte Validität, sodass keiner der genannten Scores umfassend das Therapieergebnis evaluieren könnte (Changulani et al. 2008).

Es bleibt Ziel nachfolgender Studien, ein geeignetes Protokoll zu etablieren, an dem ein Therapieerfolg gemessen werden kann, um so eine Entscheidungshilfe für ein patientenangepasstes Vorgehen aussprechen zu können. Bislang mangelt es an validen Ergebnissen und die Methodik vieler Studien ist teils defizitär (Chen und Jupiter 2007).

Diese Studie hat gezeigt, dass die operative Versorgung der konservativen Therapie generell überlegen ist. Dennoch bleibt insbesondere bei älteren Patienten zu bedenken, dass auch in Fehlstellung verheilte Frakturen teils zufriedenstellende Ergebnisse bedingen und so nicht nur Kosten reduziert, sondern auch OP-assoziierte Risiken vermieden werden können (Jakob et al. 1999). Eine umfassende Metaanalyse von Diaz-Garcia et al. kam ebenfalls zu der Schlussfolgerung, dass es beim „älteren Patienten“ keine Unterschiede in der Funktionalität des Handgelenks in Abhängigkeit von der Therapieform gebe (Diaz-Garcia et al. 2011). Zudem sollte nicht aus Angst vor sekundärer Dislokation die primäre Entscheidung zur externen oder internen Osteosynthese getroffen werden (Fernandez 2005). Kommt es unter konservativer Therapie zu einer Redislokation, sollte ein Verfahrenswechsel mit operativer Versorgung erfolgen (Zeichen 2014). Die ORCHID-Studie zeigte, dass Patienten über 65 Jahre mit C-Fraktur bei frühzeitig erkannter Redislokation unter konservativer Therapie, welche rechtzeitig einer operativen Versorgung zugeführt wird, nach einem Jahr vergleichbar gute Therapieergebnisse erzielen können als wäre die Fraktur primär osteosynthetisch behandelt worden (Bartl et al. 2014). Auch wenn die Therapieentscheidung individuell und zusammen mit dem Patienten getroffen werden sollte, spricht für die operative Versorgung, dass eine frühfunktionelle Weiterbehandlung und ein schnelles Wiedererlangen der Funktionalität ermöglicht werden. Hierdurch können die höheren Kosten der operativen Versorgung im Vergleich zur rein konservativen Therapie gemindert werden, da eine frühere Arbeitsfähigkeit wiederhergestellt sein bzw. beim älteren Patienten eine Unterbringung in einem Heim vermieden oder zumindest verkürzt werden kann (Fernandez 2005; Drobotz et al. 2016). Generelle Empfehlungen insbesondere zur Schraubenkonfiguration im Rahmen der palmaren Plattenosteosynthese können anhand dieser Studie nicht ausgesprochen werden. Neben den individuellen Eigenschaften der Fraktur und den gesundheitlichen Gegebenheiten des Patienten sind insbesondere die

postoperative, ambulante Nachbehandlung und der chirurgische Eingriff bei möglicher Abhängigkeit vom Operateur und dessen Erfahrung wichtige Faktoren, die das Therapieergebnis mitbestimmen können und so bleibt es Ziel weiterer Studien herauszufinden, ob die OP selbst oder auch die Anzahl der Verriegelungsschrauben im Rahmen einer winkelstabilen Plattenosteosynthese Einfluss auf den Therapieerfolg nehmen. Kawasaki et al. publizierten 2014, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen ein- und zweireihigen Implantaten hinsichtlich des dorsopalmaren Repositionsverlustes gebe, allerdings beschränkte sich die Studie nur auf C3-Frakturen bei Level IV Studienlage (Kawasaki et al. 2014). Drobotz et al. konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen ein- und zweireihigen Implantaten feststellen, verweisen aber darauf, dass gute Studien mit reproduzierbaren Ergebnissen abzuwarten sind (Drobotz et al. 2013).

Diese Studie weist einige Stärken und auch Schwächen auf, die im Folgenden diskutiert werden sollen. Durch den retrospektiven Charakter entfielen kostenintensive Studienreihen und durch die Abwesenheit von Interessenkonflikten kann von einer fehlenden bzw. minimalen Bias der involvierten Studienbetreuer ausgegangen werden. Des Weiteren kann diese Studie als ethisch unbedenklich gewertet werden, da durch den beschriebenen Studiencharakter bereits alle Patienten so therapiert wurden, wie es in der Situation nach Frakturierung als am geeignetsten eingestuft wurde und nicht einem Studienprotokoll folgend. Eine weitere Stärke dieser Studie ist, dass alle Patienten einem Zentrum entstammen und alle Röntgenbilder nach angeleiteter Einarbeitung von nur einer Person ausgewertet wurden, sodass die Interobserverreliabilität eine untergeordnete Rolle spielt.

Die Schwächen der Studie sind u. a. deren retrospektiven Charakter geschuldet. Eine Randomisierung bzgl. der verschiedenen Therapiearme hat ebenso wenig erfolgt wie konsequente und standardisierte Kontrolluntersuchungen.

Regelmäßig wurde lediglich die operative Versorgung an der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universitätsmedizin Göttingen durchgeführt, die Nachbehandlung dann ambulant in anderen Zentren fortgesetzt, sodass die Patienten ebenfalls bzgl. dieser Studie exkludiert werden mussten. Überdies wurden die Operationen von unterschiedlichen Chirurgen durchgeführt und die Schraubenbesetzung folgte keinem vordefinierten Studienprotokoll, sondern war eine willkürliche, von Erfahrung geprägte und in der Situation höchst individuell festgelegte Entscheidung des jeweiligen Operateurs. So ist vorstellbar, dass sich die Ergebnisse hinsichtlich einer postoperativen Redislokation bei randomisierter Zuweisung der operativ behandelten Patienten auf die Gruppen „vier winkelstabile Schrauben“ und „mehr als vier winkelstabile Schrauben“ signifikant voneinander unterscheiden. Es ist naheliegend, dass bei hier vorliegendem Patientenkollektiv intraoperativ jene Frakturen mit einer höheren Schraubenanzahl versorgt wurden, bei denen dem Operateur eine zu erwartende Redislokation als wahrscheinlich erschien.

Somit wären insbesondere komplexe Frakturen und Patienten mit verminderter Knochendichte mit mehr winkelstabilen Schrauben behandelt wurden. Bei den in dieser

Studie untersuchten A-Frakturen wurden lediglich 24 % mit mehr als vier winkelstabilen Schrauben versorgt, bei C- Frakturen waren es 56 %. Dadurch bedingt sind die Ergebnisse unweigerlich verzerrt und um einen tatsächlichen Benefit einer höheren Besetzung der Osteosyntheseplatten überprüfen zu können, müsste dies beispielsweise im Rahmen einer randomisierten, klinischen Studie erfolgen.

5 Zusammenfassung

Bei der hier vorliegenden retrospektiven Studie zur distalen Radiusfraktur wurden digitale Standardröntgenaufnahmen zu fünf Zeitpunkten (nach Trauma, nach OP/Reposition, zwei Wochen postoperativ, vier bis sechs Wochen postoperativ und mindestens sechs Monate nach Trauma) von insgesamt 240 Patienten ausgewertet, die im Zeitraum vom 01.01.2009 bis 31.12.2011 mit einer distalen Radiusfraktur an der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universitätsmedizin Göttingen vorstellig wurden. Die distale Radiusfraktur ist die häufigste Fraktur des Menschen, ein Klassifikationssystem, das sowohl reliabel ist als auch valide, reproduzierbare Ergebnisse mit prognostischer Aussagekraft vorweisen könnte, gibt es bislang nicht. Die Therapie der Fraktur ist ebenso heterogen wie die Fraktur und die Patienten selbst. Diese Studie versucht, einen Beitrag zur Evaluation und Verbesserung der Versorgungssituation bei distalen Radiusfrakturen zu leisten. Hierzu sollte u. a. der Therapierfolg in Hinblick auf den postoperativen (dorsopalmaren) Repositionsverlust bei Frakturversorgung durch konservative Therapie und operativ mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese untersucht werden. Da es zur Schraubenbesetzung der Implantate keine klaren Richtlinien gibt, sollte ebenfalls untersucht werden, ob eine Versorgung mit mehr als vier Verriegelungsschrauben zu weniger Repositionsverlusten führt als eine Versorgung mit vier Verriegelungsschrauben. Ergänzend sollten mögliche Risikofaktoren und der Unfallmechanismus evaluiert werden.

Es zeigte sich, dass Frauen insbesondere nach dem 55. Lebensjahr deutlich häufiger eine distale Radiusfraktur erlitten als Männer. Ein Sturz aus einer Höhe $< 5\text{m}$ – meist im Sinne eines Stolpersturzes – konnte als die mit Abstand häufigste Ursache hierfür identifiziert werden. Dafür waren Hochenergietraumata bei Männern etwa dreimal häufiger an der Frakturgenese beteiligt als bei Frauen.

In dieser Studie zeigte sich kein signifikanter Unterschied bzgl. eines Repositionsverlustes zwischen A- und C-Frakturen. Eine C-Fraktur dislozierte statistisch nicht signifikant häufiger als eine A-Fraktur. Ebenso zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen ≤ 55 Jahre und > 55 Jahre hinsichtlich einer postoperativen dorsopalmaren Redislokation. In der Altersgruppe > 55 Jahre traten Repositionsverluste nicht signifikant häufiger auf.

Diese retrospektive Studie unterstützt durch die gewonnenen Ergebnisse den bestehenden Trend hin zur operativen Frakturversorgung. Es wurde gezeigt, dass operierte Frakturen ein anhand radiologischer Parameter gemessen signifikant besseres Ergebnis im postoperativen Verlauf vorweisen. In der Gruppe der Operierten trat ein dorsopalmarer Repositionsverlust signifikant seltener auf als in der Gruppe der konservativ versorgten Frakturen. Die Frage, ob die operative Therapie gegenüber einem konservativen Vorgehen besser die Fraktur stabilisieren und einen Repositionsverlust verhindern kann, kann hier bejaht werden. Aufgrund des Studiendesigns ist aber eher von einer Hypothese auszugehen, die in randomisierten klinischen Studien reproduziert und validiert werden sollte.

Die Ergebnisse sind weiterhin mit der Hypothese vereinbar, dass eine Schraubenkonfiguration mit mehr als vier Verriegelungsschrauben überlegen sein könnte. Aufgrund fehlender Randomisierung und des retrospektiven Studiendesigns konnte jedoch nicht abschließend beantwortet werden, mit welcher Schraubenkonfiguration oder welcher Art der Osteosynthese bestmögliche therapeutische Ergebnisse zu erzielen sind. Die einzelnen Therapieformen selbst sind nur schwer untereinander vergleichbar und eine Analyse durch viele Confounder wie beispielsweise die Erfahrung des Operateurs ebenso wie die Heterogenität der Fraktur selbst erschwert. Eine einzelne Therapieform wird aufgrund dieser Komplexität nicht auf alle Subgruppen der distalen Radiusfraktur übertragbar sein (Wolfe 2011; Obert et al. 2013). Für die Etablierung eines wissenschaftlich fundierten Versorgungsstandards der distalen Radiusfraktur bedarf es folglich weiterer, groß angelegter Studien, um die aktuell gute Versorgungsqualität evaluieren und fortwährend nachvollziehbar verbessern zu können.

6 Literaturverzeichnis

Andersen DJ, Blair WF, Steyers CM Jr, Adams BD, El-Khoury GY, Brandser EA (1996): Classification of distal radius fractures: an analysis of interobserver reliability and intraobserver reproducibility. *Journal of Hand Surgery (Am)* 21, 574–582

Arora R, Lutz M, Deml C, Krappinger D, Haug L, Gabl M (2011): A prospective randomized trial comparing nonoperative treatment with volar locking plate fixation for displaced and unstable distal radial fractures in patients sixty-five years of age and older: *J Bone Joint Surg Am* 93, 2146–2153

Bartl C, Stengel D, Bruckner T, Gebhard F (2014): Therapie der dislozierten intraartikulären distalen Radiusfraktur des älteren Patienten. *Deutsches Ärzteblatt* 111, 787

Barton JR: Views and treatment of an important injury to the wrist. Band 1; Med Exam, Philadelphia 1838

Berglund LM, Messer TM (2009): Complications of volar plate fixation for managing distal Radius Fractures. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 17, 369–377

Blauth M, Bonnaire F, Braun W, Meenen NM (2001): Leitlinien für die unfallchirurgische Diagnostik und Therapie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e. V. *Akt Traumatol* 31, 44–54

Böhler L: Die Technik der Knochenbruchbehandlung. Band 1; 12.-13. Auflage; Maudrich, Wien 1957, 568–592

Changulani M, Okonkwo U, Keswani T, Kalairajah Y (2008): Outcome evaluation measures for wrist and hand – which one to choose? *International Orthopaedics* 32, 1–6

Chen NC, Jupiter JB (2007): Management of distal radial fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery (American)* 89, 2051–2062

Colles A (1970): On the fracture of the carpal extremity of the radius [1814]. *Injury* 2, 48–50

Diaz-Garcia RJ, Oda T, Shauver MJ, Chung KC (2011): A systematic review of outcomes and complications of treating unstable distal radius fractures in the elderly. *The Journal of Hand Surgery* 36, 824–835

Downing ND, Karantana A (2008): A revolution in the management of fractures of the distal radius? *Bone & Joint Journal* 90, 1271–1275

Drobtz H, Weninger P, Grant C, Heal C, Muller R, Schuetz M, Pham M, Steck R (2013): More is not necessarily better. A biomechanical study on distal screw numbers in volar locking distal radius plates. *Injury* 44, 535–539

- Drobetz H, Koval L, Weninger P, Luscombe R, Jeffries P, Ehrendorfer S, Heal C (2016): Volar locking distal radius plates show better short-term results than other treatment options: A prospective randomised controlled trial. *World Journal of Orthopedics* 7, 687–694
- Fernandez DL (2001): Distal radius fracture: the rationale of a classification. *Chirurgie de la Main* 20, 411–425
- Fernandez DL (2005): Closed manipulation and casting of distal radius fractures. *Hand Clinics* 21, 307–316
- Fernandez DL, Jupiter JB: *Fractures of the distal radius*. 2. Auflage; Springer, Berlin 2002
- Flinkkila T, Raatikainen T, Hämäläinen M (1998): AO and Frykman's classifications of Colles' fracture: No prognostic value in 652 patients evaluated after 5 years. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 69, 77–81
- Gartland JJr, Werley CW (1951): Evaluation of healed Colles' fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery (American)* 33-A, 895–907
- Grifka J, Kuster M: *Orthopädie und Unfallchirurgie*. 1. Auflage; Springer, Berlin, Heidelberg 2011
- Harness NG, Funahashi T, Dell R, Adams AL, Burchette R, Chen X, Greene D (2012): Distal radius fracture risk reduction with a comprehensive osteoporosis management program. *The Journal of Hand Surgery* 37, 1543–1549
- Ho AWH, Ho ST, Koo SC, Wong KH (2011): Hand numbness and carpal tunnel syndrome after volar plating of distal radius fracture. *Hand* 6, 34–38
- Jakob M, Mielke S, Keller H, Metzger U (1999): Therapieergebnisse nach primär konservativer Versorgung distaler Radiusfrakturen bei Patienten im Alter von über 65 Jahren. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 31, 241–247
- Jayakumar P, Teunis T, Giménez BB, Verstreken F, Di Mascio L, Jupiter JB (2016): AO distal radius fracture classification: global perspective on observer agreement. *Journal of Wrist Surgery* 06, 46–53
- Jupiter JB (1997): Complex articular fractures of the distal radius: classification and management: *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 5, 119–129
- Jupiter JB, Marent-Huber M (2009): Operative management of distal radial fractures with 2.4-millimeter locking plates. *J Bone Joint Surg Am* 91, 55–65
- Kawasaki K, Nemoto T, Inagaki K, Tomita K, Ueno Y (2014): Variable-angle locking plate with or without double-tiered subchondral support procedure in the treatment of intra-articular distal radius fracture. *Journal of Orthopaedics and Traumatology* 15, 271–274

- Knight D, Hajducka C, Will E, McQueen M (2010): Locked volar plating for unstable distal radial fractures: Clinical and radiological outcomes. *Injury* 41, 184–189
- Kreder HJ, Hanel DP, Mckee M, Jupiter J, McGillivary G, Swiontkowski MF (1996): Consistency of AO fracture classification for the distal radius. *J Bone Joint Surg Br* 78, 726–731
- Krimmer H (2008): Neues und Zukünftiges in der Versorgung von Radiusfrakturen. *Trauma und Berufskrankheit* 10, 259–262
- Krimmer H, Pessenlehner C, Haßelbacher K, Meier M, Roth F, Meier R (2004): Palmare winkelstabile Plattenosteosynthese der instabilen distalen Radiusfraktur. *Der Unfallchirurg* 107, 460–467
- Kwan K, Lau TW, Leung F (2011a): Operative treatment of distal radial fractures with locking plate system—a prospective study. *International Orthopaedics* 35, 389–394
- Kwan K, Lau TW, Leung F (2011b): Operative treatment of distal radial fractures with locking plate system—a prospective study. *International Orthopaedics* 35, 389–394
- Machado DG, da Cruz Cerqueira SA, de Lima AF, de Mathias MB, Aramburu JPG, Rodarte RRP (2016): Statistical analysis on the concordance of the radiological evaluation of fractures of the distal radius subjected to traction. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)* 51, 11–15
- Mair S, Weninger P, Högel F, Panzer S, Augat P (2013): Die Stabilität von distalen Radiusfrakturen mit volaren winkelstabilen Plattenosteosynthesen: Versagensmechanismen im osteoporotischen Knochen. *Der Unfallchirurg* 116, 338–344
- Makhni EC, Ewald TJ, Kelly S, Day CS (2008): Effect of patient age on the radiographic outcomes of distal radius fractures subject to nonoperative treatment. *The Journal of Hand Surgery* 33, 1301–1308
- Mann FA, Kang SW, Gilula LA (1992): Normal palmar tilt: is dorsal tilting really normal? *Journal of Hand Surgery* 17, 315–317
- McQueen M, Jupiter JB: Radius and ulna; Epidemiology of fractures of the radius and ulna. Butterworth-Heinemann, Oxford 1999
- McQueen MM, Hajducka C, Court-Brown CM (1996): Redisplaced unstable fractures of the distal radius. *The Journal of Bone and Joint Surgery (Br)* 78-B, 404–409
- Mehling I, Müller LP, Delinsky K, Mehler D, Burkhart KJ, Rommens PM (2010): Number and locations of screw fixation for volar fixed-angle plating of distal radius fractures: biomechanical study. *The Journal of Hand Surgery* 35, 885–891
- Meier R, Krettek C, Krimmer H (2003): Bildgebende Verfahren am Handgelenk. *Der Unfallchirurg* 106, 999–1009

- Moseley GL, Herbert RD, Parsons T, Lucas S, Van Hilten JJ, Marinus J (2014): Intense pain soon after wrist fracture strongly predicts who will develop complex regional pain syndrome: prospective cohort study. *The Journal of Pain* 15, 16–23
- Müller-Mai CM, Frank M: Distaler Unterarm. In: *Frakturen*. 1. Auflage; Springer, Berlin, Heidelberg 2010, 21–35
- Obert L, Rey P-B, Uhring J, Gasse N, Rochet S, Lepage D, Serre A, Garbuio P (2013): Fixation of distal radius fractures in adults: A review. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 99, 216–234
- Pattee GA, Thompson GH (1988): Anterior and posterior marginal fracture- dislocations of the distal radius. *Clin Orthop Relat Res* 231, 183–195
- Poigenfürst J, Tuchmann A (1978): Significance of ulnar ligament injuries in typical radius fractures. *Handchirurgie* 10, 121–125
- Reichl M, Piatek S, Adolf D, Winckler S, Westphal T (2011): Unbehandelter Abriss des Processus styloideus ulnae: Kein schlechteres Behandlungsergebnis bei distaler Radiusfraktur. *Der Unfallchirurg* 114, 1099–1104
- Rikli DA, Regazzoni P (1996): Fractures of the distal end of the radius treated by internal fixation and early function: a preliminary report of 20 cases. *The Journal of Bone and Joint Surgery British volume* 78-B, 588–592
- Robertson C, Ellis RE, Goetz T, Gofton W, Fenton PV, Small CF, Pichora DR (2002): The sensitivity of carpal bone indices to rotational malpositioning. *J Hand Surg Am* 27, 435–442
- Romano N, Fischetti A, Mussetto I, Marino M, Muda A (2018): Extensor pollicis longus (EPL) tendon rupture as a complication of distal radius fracture: the role of ultrasound examination. *Medical Ultrasonography* 1, 114–118
- Rueger JM, Hartel MJ, Ruecker AH, Hoffmann M (2014): Frakturen des distalen Radius. *Der Unfallchirurg* 117, 1025–1036
- Scharf H-P, Rüter A: *Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2.; Elsevier, Urban & Fischer, München 2011
- Schneiders W, Biewener A, Rammelt S, Rein S, Zwipp H, Amlang M (2006): Die distale Radiusfraktur: Korrelation zwischen radiologischem und funktionellem Ergebnis. *Der Unfallchirurg* 109, 837–844
- Schubert M, Dávid A (2013): Diagnostik und Klassifikation der distalen Radiusfraktur - Die Grundlage der Behandlungsstrategie. *OP-JOURNAL* 28, 228–233
- Schwarz N (2003): Die distale Radiusfraktur - Konservative Behandlung. *OP-Journal* 19, 16–20

- Siebert HR, Klonz A (2005): Distale Radiusfraktur. *Der Unfallchirurg* 108, 135–154
- Stahel PF, Infanger M, Bleif IM, Heyde CE, Ertel W (2005): Die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese: Ein neues Konzept zur Versorgung instabiler distaler Radiusfrakturen. *Trauma und Berufskrankheit* 7, 27–32
- Szermutzky M, Frank J, Marzi I (2013): Anatomie des distalen Radius. *OP-JOURNAL* 28, 224–227
- Voigt C, Plesz A, Jensen G, Katthagen C, Lill H (2012): Winkelstabile Plattenosteosynthese am distalen Radius: Assoziiert eine Osteoporose schlechtere funktionelle Ergebnisse und höhere Komplikationsraten? *Der Chirurg* 83, 463–471
- Wichelhaus A, Gradl G, Mittlmeier T (2012): Die distale Radiusfraktur. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 7, 251–271
- Windolf J, Hakimi M, Schädel-Höpfner M (2008): Ergebnisse der palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese am distalen Radius. *Trauma und Berufskrankheit* 10, 236–240
- Wolfe SW: *Green's operative hand surgery*. 6. Auflage; Elsevier, Churchill Livingstone, Philadelphia 2011
- Woltmann A, Hierholzer C, Bühren V (2007): Gibt es noch eine Differenzialindikation für die Behandlung der distalen Radiusfraktur? *Trauma und Berufskrankheit* 9, 6–13
- Xavier CRM, Dal Molin DC, dos Santos RMM, dos Santos RDT, Neto JCF (2011): Surgical treatment of distal radius fractures with a volar locked plate: correlation of clinical and radiographic results. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)* 46, 505–513
- Zeichen J (2014): Distale Radiusfraktur: Aktueller Stand der Versorgungsmöglichkeiten. *Trauma und Berufskrankheit* 16, 112–120

Internetquelle:

<https://cms.aot-start.org/index.php/upper-extremity/radius-distal/>; Zugriff am 16.05.2021

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich auf unterschiedliche Weise auf meinem Weg zur Promotion unterstützt haben und diese somit erst ermöglichten.

Hiermit möchte ich mich zuallererst bei Herrn Prof. Dr. med. S. Sehmisch als Doktorvater für die Bereitstellung des Promotionsthemas, die Geduld, Unterstützung und Ratschläge bedanken. Herrn Dr. med. J. C. Ammon danke ich für die Betreuung, der fachlichen und zwischenmenschlichen Unterstützung bei der Auswertung, beim Erstellen und der Überarbeitung der Dissertationsschrift.

Ebenso möchte ich mich insbesondere bei Frau Dr. rer. nat. Marina Proft und Frau Maria Stark für die Beratung und Unterstützung hinsichtlich der Statistik bedanken. Durch deren geduldige und empathische Beratung konnte ich einen Lichtblick am grauen Statistikhorizont erkennen und so auch zuletzt den aufbereiteten Datensatz auswerten.

Trotz des retrospektiven Studienkonzepts zeigten sich einige unvorhersehbare Hindernisse, die sowohl das Auswerten der Röntgenbilder und Patientenakten als auch die spätere Datenanalyse verzögerten, dennoch zeigten sich alle Unterstützer – sowohl die hier genannten als auch weitere aus Familie, Freundeskreis und meine Partnerin – stets geduldig und leisteten durch deren motivierende Unterstützung einen wichtigen Beitrag zur Fertigstellung der Dissertation.