

AUS DER ABTEILUNG
FÜR UNFALLCHIRURGIE
PROF. DR. MED. MICHAEL NERLICH

DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

MITTELFRISTIGE ERGEBNISSE NACH VERSORGUNG DISTALER
RADIUSFRAKTUREN MIT DER WINKELSTABILEN PALMAREN
PLATTENOSTEOSYNTHESЕ
IM HINBLICK AUF DAS FRAKTURAUSMASS UND DIE BETEILIGUNG DES DISTALEN
RADIOULNARGELENKS

Inaugural- Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Sebastian Altenberger

2011

AUS DER ABTEILUNG
FÜR UNFALLCHIRURGIE
PROF. DR. MED. MICHAEL NERLICH

DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

MITTELFRISTIGE ERGEBNISSE NACH VERSORGUNG DISTALER
RADIUSFRAKTUREN MIT DER WINKELSTABILEN PALMAREN
PLATTENOSTEOSYNTHESЕ
IM HINBLICK AUF DAS FRAKTURAUSMASS UND DIE BETEILIGUNG DES DISTALEN
RADIOULNARGELENKS

Inaugural- Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Sebastian Altenberger

2011

Dekan: Prof. Dr. Bernhard Weber

1. Berichterstatter: PD Dr. Reiner Hente

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Andreas Schreyer

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Februar 2012

meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	1
Einleitung.....	1
1.1 Grundlagen der distalen Radiusfraktur	3
1.1.1 Häufigkeit	3
1.1.2 Verteilung nach Alter und Geschlecht.....	3
1.1.3 Risikofaktoren	4
1.2 Funktionelle Anatomie	5
1.2.1 Erste Komponente des Handgelenkes	5
1.2.2 Zweite Komponente des Handgelenkes	7
1.2.3 Belastung des Handgelenkes im Alltag	8
1.3 Unfallmechanismus	8
1.4 Begleitverletzungen	9
1.4.1 Knöcherner Abriss des Prozessus styloideus ulnae	9
1.4.2 Karpale Bandläsionen und karpale Instabilitäten.....	10
1.4.3 Begleitende Verletzung des triangulären fibrokartilaginären Komplexes.....	11
1.4.4 Instabilität des distalen Radioulnargelenkes	11
1.4.5 Nervenverletzungen.....	12
1.4.6 Sehnenläsionen	12
1.4.7 Complex Regional Pain Syndrome (CRPS).....	12
1.5 Grundlagen der Frakturheilung	14
1.5.1 Indirekte Frakturheilung	14
1.5.2 Direkte Frakturheilung.....	14
1.5.3 Biomechanische Aspekte der Frakturheilung	14
1.5.4 Vaskularisierung bei der Frakturheilung	15
1.6 Klassifikation.....	15
1.6.1 AO- Klassifikation.....	16
1.6.2 Frykmann- Klassifikation	17
1.7 Diagnostik.....	18
1.8 Der ältere Patient.....	19
1.9 Therapieoptionen.....	20
1.9.1 Konservative Therapie	22
1.9.2 Operative Therapie	24

1.10	Standard der Radiusfrakturbehandlung im Klinikum Bad Reichenhall.....	37
2	Patienten/ Material und Methoden	39
2.1	Studiendesign.....	39
2.2	Osteosynthese.....	39
2.3	Nachuntersuchung	39
2.3.1	Untersuchungsablauf.....	39
2.3.2	Krankheitsverlauf	40
2.3.3	Anamnese	40
2.3.4	Inspektion und Palpation.....	40
2.3.5	Funktionelle Untersuchung	41
2.3.6	Radiologische Auswertung	41
2.3.7	Nachuntersuchungsbögen	44
2.3.8	Komplikationen.....	46
2.4	Auswertung.....	46
3	Ergebnisse	47
3.1	Patientenkollektiv.....	47
3.2	Alter	47
3.3	Geschlecht.....	47
3.4	Follow up	47
3.5	Nachuntersuchungszeitraum	48
3.6	Frakturverteilung.....	48
3.7	Alter und Fraktur	49
3.8	Zusammenhang zwischen dominanter- und frakturierter Seite	50
3.9	Zeitraum zwischen Fraktur und Operation	51
3.10	Komplikationen.....	51
3.11	Radiologische Auswertung.....	52
3.11.1	Radiokarpale Gelenkstufen	53
3.11.2	Gelenkstufen distales Radioulnargelenk	54
3.11.3	Dehiszenz	55
3.11.4	Ulnavorschub	55
3.12	Bewegungsausmaße.....	57
3.12.1	Umwendbewegung in Supination und Pronation.....	57
3.12.2	Dorsal- und Palmarflexion im Handgelenk	58
3.12.3	Ulnaduktion und Radialduktion	59

3.13 DASH- Score	60
3.13.1 Outcome im Hinblick auf die AO- Klassifikation.....	60
3.13.2 Outcome im Hinblick auf das distale Radioulnargelenk.....	63
3.13.3 Outcome im Hinblick auf das radioulnare Repositionsergebnis	63
3.13.4 Outcome im Hinblick auf das radiokarpale Repositionsergebnis.....	65
3.13.5 Outcome in Hinblick auf den seitlichen Radiusgelenkwinkel	66
3.13.6 Outcome im Hinblick auf den radioulnaren Gelenkwinkel	67
3.14 Gartland- and Werley- Score.....	68
3.14.1 Outcome im Hinblick auf die AO- Klassifikation.....	68
3.14.2 Outcome im Hinblick auf das distale Radioulnargelenk.....	70
3.14.3 Outcome im Hinblick auf das radioulnare Repositionsergebnis	71
3.14.4 Outcome im Hinblick auf das radiokarpale Repositionsergebnis.....	73
3.14.5 Outcome im Hinblick auf den seitlichen Radiusgelenkwinkel	74
3.14.6 Outcome im Hinblick auf den radioulnaren Gelenkwinkel	75
3.15 Mayo- Score	75
3.15.1 Outcome im Hinblick auf die AO- Klassifikation.....	75
3.15.2 Outcome im Hinblick auf das distale Radioulnargelenk.....	84
3.15.3 Outcome im Hinblick auf das radioulnare Repositionsergebnis	84
3.15.4 Outcome im Hinblick auf das radiokarpale Repositionsergebnis.....	86
3.15.5 Outcome hinsichtlich des seitlichen Radiusgelenkwinkels	87
3.15.6 Outcome hinsichtlich des radioulnaren Gelenkwinkels.....	87
4 Diskussion.....	88
4.1 Studiendesign	88
4.1.1 Einleitung	88
4.1.2 Patienten	90
4.1.3 Datenerfassung	90
4.2 Diskussion der Ergebnisse	93
4.2.1 Epidemiologische Parameter	93
4.2.2 Auswertung Bildgebung	95
4.2.3 Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die AO- Klassifikation	97
4.2.4 Diskussion der Ergebnisse hinsichtlich dem Radioulnargelenk	104
5 Zusammenfassung	108
6 Fragebögen	110
6.1 Gartland- and Werley- Score	110

6.2	DASH- Score	112
6.3	Mayo- Wrist- Score	116
7	Literaturverzeichnis.....	117
8	Danksagung	130
9	Anhang	1
9.1	Lebenslauf	1
9.2	Erklärung zum Promotionsverfahren	3

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Der knöcherne Aufbau des Handgelenkes	5
Abbildung 2 AO-Klassifikation an radiologischen Beispielen.....	17
Abbildung 3 Beteiligung des distalen Radioulnargelenks (DRUG)	18
Abbildung 4 Bewegungsausmaß des Handgelenkes	41
Abbildung 5 Bestimmung des radioulnaren Gelenkwinkels	42
Abbildung 6 Bestimmung des seitlicher Radiusgelenkwinkels	43
Abbildung 7 Bestimmung des Ulnavorschubs	43
Abbildung 8 Nachuntersuchungszeitraum in Monaten	48
Abbildung 9 Geschlechtsspezifisches Alter zum Frakturzeitpunkt in Jahren.....	49
Abbildung 10 Geschlechtsspezifische Frakturinzidenz in Jahren.....	50
Abbildung 11 Altersverteilung der AO-Frakturtypen	50
Abbildung 12 Radiokarpale Gelenkstufen hinsichtlich dem AO-Frakturtyp	54
Abbildung 13 Radioulnare Gelenkstufen hinsichtlich dem AO-Frakturtyp	55
Abbildung 14 Ulnavorschub in Millimetern hinsichtlich dem AO-Frakturtyp	56
Abbildung 15 Repositionsergebnis des seitlichen Radiusgelenkwinkels in Grad	57
Abbildung 16 Supination und Pronation im Vergleich zur Gegenseite in Grad	58
Abbildung 17 Palmar- und Dorsalflexion des frakturierten Handgelenkes in Grad.....	59
Abbildung 18 DASH-Score Gesamtergebnis	60
Abbildung 19 Ergebnis des DASH-Score hinsichtlich dem AO-Frakturtyp	61
Abbildung 20 Ergebnis der Kategorie "Schreiben" hinsichtlich dem AO-Frakturtyp	62
Abbildung 21 Ergebnis der Kategorie "Kribbeln" hinsichtlich dem AO-Frakturtyp	62
Abbildung 22 Ergebnis des DASH-Score im hinsichtlich der Beteiligung des DRUGs.....	63
Abbildung 23 DASH-Score hinsichtlich der radioulnaren Reposition	64
Abbildung 24 Ergebnis des DASH-Score hinsichtlich der radiokarpalen Reposition.....	66
Abbildung 25 Korrelation zwischen seitlichem Radiusgelenkwinkel und DASH-Score	66
Abbildung 26 Korrelation zwischen dem radioulnaren Gelenkwinkel und DASH-Score....	68
Abbildung 27 Ergebnis des Garland-and Werley-Scores hinsichtlich dem AO-Frakturtyp	68
Abbildung 28 Einschränkung der Bewegungsausmaße und des Schmerzniveaus hinsichtlich der radiokarpale Gelenkbeteiligung	70
Abbildung 29 Ergebnis des Gartland- and Werley- Score hinsichtlich der Beteiligung des DRUG	71
Abbildung 30 Gartland- and Werley- Score hinsichtlich der radioulnaren Reposition	71

Abbildung 31 Einschränkung der Bewegungsausmaße und des Schmerzniveaus hinsichtlich der radioulnaren Reposition	72
Abbildung 32 Bewegungsausmaß, Fingerfunktion und Nervenirritation hinsichtlich der radiokarpalen Reposition	73
Abbildung 33 Korrelation zwischen seitlichem Radiusgelenkwinkel und Gartland-and Werley-Score	74
Abbildung 34 Korrelation zwischen radioulnarem Radiusgelenkwinkel und Gartland-and Werley-Score	75
Abbildung 35 Ergebnis des Mayo-Scores.....	76
Abbildung 36 Punkte des Mayo-Scores hinsichtlich dem AO-Frakturtyp	77
Abbildung 37 Ergebnis der Kategorie "Schmerz" hinsichtlich dem Mayo-Score	77
Abbildung 38 Ergebnis der Kategorie "Schmerz" hinsichtlich dem AO- Frakturtyp	78
Abbildung 39 Ergebnis der Kategorie "Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis"	79
Abbildung 40 Ergebnis der Kategorie "Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis" hinsichtlich dem AO-Frakturtyp.....	80
Abbildung 41 Ergebnis der Kategorie "subjektive Minderung des Bewegungsumfangs" ..	81
Abbildung 42 Ergebnis der Kategorie "subjektive Minderung des Bewegungsumfangs" im Hinblick auf den AO- Frakturtyp.....	82
Abbildung 43 Ergebnis der Kategorie "Minderung der Griffstärke".....	83
Abbildung 44 Ergebnis des Mayo-Score hinsichtlich der DRUG-Beteiligung	84
Abbildung 45 Mayo-Score Punkte hinsichtlich der radioulnaren Reposition	85
Abbildung 46 Ergebnisse des Mayo-Scores hinsichtlich dem radioulnaren Repositionsergebnis	85
Abbildung 47 Ergebnis des Mayo-Score hinsichtlich dem radiokarpalen Repositionsergebnis	86
Abbildung 48 Korrelation zwischen seitlichem Radiusgelenkwinkel und Mayo-Score	87
Abbildung 49 Korrelation zwischen radioulnarem Gelenkwinkel und Ergebnis	88

Einleitung

In den letzten Jahren kam es seit Einführung der winkelstabilen Plattenosteosynthesen zu einer Veränderung der Therapie der distalen Radiusfraktur. Ein besseres anatomisches und funktionelles Verständnis, sowie die gestiegenen Ansprüchen der Patienten an die Funktion des Handgelenkes und die unbefriedigenden Ergebnisse bisheriger Osteosyntheseverfahren haben zur Entwicklung neuer Implantate und Therapiekonzepte geführt.

In der Zukunft ist mit einem deutlichen Anstieg der Radiusfrakturen zu rechnen: Grund ist einerseits die Zunahme von Hochrasanztraumen bei verändertem Freizeitverhalten jüngerer Patienten und andererseits eine deutliche Steigerung osteoporotischer Frakturen durch die zu erwartende demographische Altersentwicklung.

Die Eruierung geeigneter Therapiestrategien sowohl für den jungen-, als auch für den geriatrischen Patienten stellen dabei die Medizin vor große Herausforderungen. Letztere befinden sich in einem empfindlichen körperlichen und psychosozialen Gleichgewicht. Gerade sie sind deshalb auf den Gebrauch der Hände und eine rasche Genesung nach der Fraktur angewiesen, während bei jungen Patienten die rasche soziale und berufliche Wiedereingliederung von größter Wichtigkeit ist.

Nach Schätzungen werden aktuell etwa 90% der operierten distalen Radiusfrakturen mittels volarer winkelstabiler Plattenosteosynthese behandelt. Diese Osteosynthesen ähneln vom Design einer Platte, aber funktionieren nach dem Prinzip eines Fixateur- Interne.

Aufgrund der stabilen Retention einer erzielten Reposition, ist mit diesen Implantaten eine frühfunktionelle Beübung der frakturierten Extremität möglich. Dadurch werden bewegungslimitierende Kapsel- und Weichteilschrumpfungen, sowie Verklebungen von Sehnen reduziert bzw. vermieden. Auf eine postoperative Gipsruhigstellung kann teilweise oder weitgehend verzichtet werden. Im Vergleich zu bisherigen Therapieverfahren scheint es nach den bisherigen Erfahrungen zu weniger Komplikationen bei gleichzeitig besseren Therapieergebnissen zu kommen.

Hinsichtlich der Grenzen in der Anwendung der volaren winkelstabilen Plattenosteosynthese bei der instabilen distalen Radiusfraktur gibt es keine eindeutigen Therapieempfehlungen. Über die Behandlungsergebnisse in Bezug auf den Frakturtypus ist nur wenig bekannt. In einer retrospektiven Nachuntersuchung an 94 Patienten und einem Follow-up von drei Jahren wurden die Behandlungsergebnisse im Hinblick auf den Frakturtyp sowie die erzielten Repositionsergebnisse untersucht. Zur Evaluierung der Behandlungsergeb-

nisse und zum Vergleich mit der aktuellen Literatur verwendeten wir gängige Nachuntersuchungsbögen, sowie klinische- und radiologische Parameter. Dabei sollte das erzielte Ergebnis mittels subjektiver und objektiver Parameter aus dem Blickwinkel des Untersuchers und dem Blickwinkel des Patienten beschrieben und beurteilt werden. Des Weiteren wurde neben der isolierten Betrachtung des Handgelenkes, auch die Funktion der obere Extremität in ihrer Gesamtheit mit beurteilt.

1.1 Grundlagen der distalen Radiusfraktur

1.1.1 Häufigkeit

Bei der distalen Radiusfraktur handelt es sich mit 15-20% um die häufigste Fraktur des Menschen. Sie macht 14% aller Extremitätenverletzungen aus¹. 75% aller Unterarmfrakturen beziehen sich auf das distale Radiusdrittel²⁻⁴.

Alleine in den USA finden sich 640.000 Fälle pro Jahr mit einer Inzidenz von 280- 540 pro 100.000 Einwohner im Jahr^{5,6}.

Laut dem „Bureau of Labor Statistics“ macht die distale Radiusfraktur 10% der Frakturen im Rahmen von Arbeitsunfällen aus. Im Durchschnitt fallen die betroffenen Arbeiter, welche operativ versorgt wurden, für einen Zeitraum von mindestens 13 Wochen aus⁷.

Bei Frauen im Alter von 65 Jahren und älter zeigt sich eine Inzidenz von 7,3 auf 1000 Personen pro Jahr⁸. Aufgrund der zu erwartenden demographischen Entwicklung ist mit einer Zunahme dieser Fraktur um 50% bis zum Jahr 2030 zu rechnen⁹.

1.1.2 Verteilung nach Alter und Geschlecht

Laut der KORA Frakturstudie Augsburg¹⁰ zeigen sich zwei geschlechtsspezifische Häufigkeitsgipfel für das Auftreten von distalen Radiusfrakturen:

Bei Männern findet sich ein Häufigkeitsgipfel im Alter zwischen 15 - 24 Jahren. Als Hauptursachen werden Arbeits-, Hochrasanz- und Sportverletzungen beschrieben^{11,12}.

Bei Frauen liegt die höchste frakturnspezifische Inzidenzrate im Alter von 65 - 74 Jahren. Hauptursache sind dabei Stürze im privaten Umfeld. 59% aller Brüche werden bei Frauen durch einen Sturz verursacht, bei Männern nur 33%¹⁰. Als wichtigste Sturzursachen finden sich in der Literatur muskuläre Schwäche im Rahmen des körperlichen Abbaus im Alter, Sturzneigung bei Gleichgewichtsstörungen und Störungen des Gangbildes. Bei einem Sturz dieser Patienten kommt es in 5-10% der Fälle zu einer Fraktur (Radius, Schenkelhals, Becken, Wirbelkörper).

Ferner ist die Inzidenz auch von der Jahreszeit und dem Lebensalter abhängig. So nimmt die Zahl der Stürze bei schlechtem Wetter und zunehmenden Lebensalter zu⁴. Dementsprechend findet sich der jahreszeitliche Gipfel der distalen Radiusfraktur im Winter bei Schnee und Glatteis.

1.1.3 Risikofaktoren

Ab dem 70. Lebensjahr dominiert das weibliche Geschlecht mit dem Faktor 3,2:1. Kausal steht hier die Osteoporose im Vordergrund. So führen bei Menschen dieser Altersgruppe bereits Bagatelltraumen aufgrund der osteoporotischen Knochenstruktur zu einer Fraktur¹³.

In Deutschland leiden 6 Mio. Menschen an Osteoporose. Betroffen sind 10% der Männer und 30% der Frauen ab dem 50. Lebensjahr. Ab dem 60.-64. Lebensjahr steigt das Frakturrisiko bei Frauen um das 6-fache an. Das männliche Risiko ist in allen Altersstufen geringer², denn während der endostale Knochenabbau in beiden Geschlechtern ähnlich ist, scheinen Männer diesen durch einen höheren periostalen Knochenaufbau zu kompensieren¹⁴.

Nichtvertebrale Frakturen nach dem 50. Lebensjahr sind bei Frauen und Männern ein mäßiger, von Knochendichte und Alter unabhängiger Risikofaktor für osteoporotische Frakturen. Der relative kausale Anteil einer übermäßig hohen Krafteinwirkung und einer zu geringen Knochenfestigkeit an der Frakturentstehung lässt sich in der Praxis anamnestisch meistens nicht ausreichend abschätzen. Das trägt dazu bei, dass einzelne periphere Frakturen als Risikofaktor für zukünftige Frakturen nicht die gleiche Stärke besitzen wie schwere oder multiple Sinterungsfrakturen der Wirbelsäule, die eindeutiger mit einer verminderter Knochenfestigkeit assoziiert sind. Die Leitlinie für Osteoporose aus dem Jahr 2010¹⁵ sieht für nicht vertebrale peripheren Frakturen des Bewegungsapparates welche nach dem 50. Lebensjahr auftreten bei Frauen ab dem 60. Lebensjahr und bei Männern ab dem 70. Lebensjahr eine Indikation zu Basisdiagnostik.

Die WHO¹⁶ empfahl schon im Jahr 2000 eine Messung der Knochendichte im Falle einer postmenopausalen Radiusfraktur. Bei der Auswertung der nationalen Versicherungsdatenbank zeigt sich jedoch, dass nur 3% dieser Patientinnen eine Knochendichthemessung empfohlen wird.

Bei 27% der distalen Radiusfrakturen besteht eine intraartikuläre Beteiligung (Typ B und C nach AO), 73% sind rein extraartikulär. Die lokale Knochendichte steht dabei in direktem Zusammenhang mit der Frakturart und der vorliegenden Instabilität¹⁷.

Bei Patientinnen mit der Begleiterkrankung Diabetes mellitus besteht eine doppelt so hohe Risiko einer intraartikulären Beteiligung⁸. Als weitere direkt prädisponierende Faktoren für eine distale Radiusfraktur werden Quadrizepskraft und körperliche Aktivität, Alter, postmenopausale Latenz, Körpergröße und Körpergewicht beschrieben¹⁸.

1.2 Funktionelle Anatomie

Das Handgelenk kann durch ein „Drei- Komponentensystem“ beschrieben werden:

Dabei besteht die erste Komponente aus dem Radius und der Ulna, die zweite Komponente aus der proximalen Handwurzelreihe und die dritte Komponente aus der distalen Handwurzelreihe¹⁹.



Abbildung 1 Der knöcherne Aufbau des Handgelenkes

1.2.1 Erste Komponente des Handgelenkes

Die erste Komponente setzt sich aus dem Radius und der Ulna zusammen. Diese sind über das distale Radioulnargelenk (DRUG) und das proximale Radioulnargelenk (PRUG), sowie die Membrana interossea miteinander verbunden. Dadurch werden Umwendbewegungen des Unterarmes in Supination und Pronation ermöglicht. Die Ulna ist im Vergleich zum Radius in der Aufsicht im Durchschnitt um 4 mm kürzer. Diesbezüglich besteht jedoch eine hohe physiologische Varianz. Etwa 60% der Durchschnittsbevölkerung weisen keinen Längenunterschied oder sogar eine Ulna- Plus Variante mit Ulnavorschub bis 4 mm auf^{20,21}.

Der Ulnakopf ist durch den Diskus ulnokarpalis, der Teil des triangulärer fibrokartilaginären Komplexes (TFCC) darstellt, bedeckt. Dadurch wird der radioulnare Längenunterschied ausgeglichen und eine homogene, stufenfreie Gelenkfläche entsteht. Des Weiteren wird

dadurch im DRUG ein reibungsarmes Gleiten zwischen Radius, Ulna und proximaler Handwurzelreihe bei Umwendbewegungen des Unterarmes möglich. Die Unversehrtheit des DRUG ist Voraussetzung für eine freie Unterarmdrehbewegung. Bei Gelenkstufen kann es zu einem schmerhaften radioulnaren Impingement kommen¹⁹.

Die Radiusgelenkfläche fällt in der Aufsicht (anterior-posteriorer Strahlengang) um durchschnittlich 20–30 Grad zur Senkrechten der Radiusachse Richtung Ulna ab. Dies wird als „radioulnarer Gelenkwinkel“ „radiale Inklination“ oder „Radiusbasalwinkel“ beschrieben. In der Seitenansicht ist die radiale Gelenkfläche um durchschnittlich 8-10 Grad palmarwärts geneigt. Dieser Winkel wird als „palmarer Neigungswinkel“ oder „distaler Radiusgelenkwinkel“ bezeichnet²².

Auf der Radiusgelenkfläche zeigen sich mit der Fossa scaphoidea und der Fossa lunata zwei konkav gewölbte Gelenkfacetten.

Das „Drei- Säulenmodell“ von Rikili²³ ist ein biomechanisches Konzept, wonach die funktionelle Einheit Radius und Ulna aus drei Säulen besteht:

Die radiale Säule setzt sich aus dem Prozessus styloideus radii und der Fossa scaphoidea zusammen, die intermediäre Säule aus der Fossa lunata und der Incisura ulnaris radii, dem radialen Anteil der DRUG. Die ulnare Säule besteht aus der Ulna und dem TFCC. Jeder Säule wird dabei eine charakteristische Eigenschaft zugesprochen:

Die radiale Säule besitzt durch den radioulnaren Winkel bezüglich des Handgelenks eine stabilisierende Funktion. Daneben setzen dorsal und palmar am Proz. styl radii wichtige stabilisierende extrinsische Bandstrukturen an²¹.

Die ulnare Säule stellt eine fixe Achse dar, um welche sich der Radius bei der Supination und Pronation dreht. Durch den TFCC werden das ulnokarpale und das radioulnare Gelenk voneinander in einzelne Kompartimente unterteilt, wodurch unabhängige Bewegungen in beiden Gelenken möglich werden. Bei einer Verkleinerung des ulnokarpalen Raumes folgt eine schmerhaftes „Ulna- Impaction- Syndrom“ zwischen Ulna und Os lunatum¹⁹.

Durchschnittlich 15-30% der Handwurzelbelastung wird beim gesunden Handgelenk über die ulnare Säule auf den Unterarm übertragen. Die intermediäre Säule wird über die Fossa lunata mit etwa 70% belastet²⁴. In der Incisura ulnaris radii findet die Roll- Gleitbewegung des DRUG statt. Bei intraartikulären Frakturen kommt es häufig zu einer Spaltung der intermediären Säule in einer dorsoulnares und palmoulnares Fragment²³.

1.2.2 Zweite Komponente des Handgelenkes

Die zweite Komponente des Handgelenkes ist der ersten Komponente sowie der starren dritten Komponente zwischengeschaltet. Sie besteht aus der proximalen Handwurzelreihe. Diese setzt sich aus dem Os scaphoideum, dem Os lunatum und dem Os triquetrum zusammen.

Bei der Handgelenksbewegung agiert die zweite Komponente als sogenannter „variabler geometrischer Kondyl“: Durch mögliche Veränderung der Form, passt sich dieser den beiden benachbarten starren Komponenten bei der Handgelenksbewegung an.

An der proximalen Handwurzelreihe setzen keine Sehnen an, so dass deren Ansteuerung nicht über Muskeln erfolgt. Die einzelnen Handwurzelknochen sind durch straffe intrinsische Bänder miteinander rotatorisch verbunden. Die Koordination der einzelnen Knochen erfolgt durch den extrinsischen Bandapparat. Dieser setzt sich aus zwei palmaren V-Bändern und einem dorsalseitigen V-Band zusammen. Das zentrale Os lunatum weist die straffste Bindung gegen den Radius und den ulnaren Komplex auf.

Gesteuert durch die in- und extrinsischen Bänder, sowie durch die Gelenkflächen der einzelnen Handwurzelknochen zueinander, kommt es während der Bewegung des Handgelenks bei Radial- und Ulnaduktion, sowie bei Palmar- und Dorsalflexion zu einem schraubenartigen ineinander-, bzw. Auseinandergleiten von Triquetrum und Hamatum und komplexer Flexions- Rotations- Translationsbewegung des Scaphoids. Das Os lunatum führt bei der Palmar- bzw. Dorsalflexion in der Fossa lunata radii eine dorsale-, bzw. palmarale Translation durch. Auf die dritte Komponente des Handgelenkes, sowie die Bewegung zwischen zweiter und dritter Komponente wird hier nicht weiter eingegangen¹⁹.

Kommt es in Folge einer Radiusfraktur zu einer nicht therapierten Verletzung der in- bzw. extrinsischen Bänder des Handgelenkes, folgen Bewegungseinschränkungen und schwere degenerative Veränderungen²⁵.

In einer kinematischen Untersuchung des Handgelenks bei Flexion, bzw. Extension untersuchte Patterson²⁶ die Bewegungsausmaße zwischen Radius, Os lunatum, Os capitatum und Os metakarpale III. Es zeigte sich, dass bei der Palmarflexion die meiste Bewegung radiolunär und bei der Dorsalflexion capitolunär erfolgt. Pogue²⁷ untersuchte den Einfluss einer in Dislokation verheilten Radiusfraktur auf die Handgelenksmechanik. Dabei verglich er das physiologische Handgelenk mit simulierten radialen Fehlstellungen unterschiedlicher Ausmaße: Bei der Radiusverkürzung > 2mm zeigte sich ein signifikanter Anstieg der radiocarpalen Kontaktfläche in der Fossa lunata.

Bei einer palmaren oder dorsalen Abkipfung der radialen Gelenksfläche um mehr als 20 Grad, kam es in der Fossa lunata und scaphoidea zu einem Dorsal- bzw. Palmashift der Hochdruckzone. Bei einer Abflachung des radioulnaren Winkels, folgte eine Druckzunahme in der Fossa lunata und Abnahme des Anpressdrucks in der Fossa scaphoidea.

1.2.3 Belastung des Handgelenkes im Alltag

Die axiale Belastung des Handgelenkes durch Sehnenzug beträgt bei Flexion und Extension 100N²⁸⁻³⁰. Bei Faustschluss kommt es durch die Fingerbeuger zu einer durchschnittlichen Sehnenzugbelastung von 250N. Der Muskelzug der langen Handgelenksbeuger und – Strecker ist dabei nicht mit einbezogen.

Die 250N bei Faustschluss setzen sich aus 39–196N Sehnenzug des M. flexor digitorum superficialis und 12-147N Sehnenzug des M. flexor digitorum profundus zusammen. Die Varianz der oben genannten Werte bezieht sich auf den Unterschied zwischen lockerem- und forciertem Faustschluss.

Pro Finger zeigt sich in einer in vivo Messung ein Sehnenzug von durchschnittlich 51N³¹. Um das Handgelenk zu balancieren, müssen die Muskeln der Flexoren- und Extensorengruppe bei Pronationsstellung 14N und in Supinationsstellung 65N aufwenden³².

1.3 Unfallmechanismus

Die klassischen Unfallmechanismen für die Entstehung einer distalen Radiusfraktur ist der Sturz auf die dorsalextendierte oder palmarflektierte Hand, sowie das Einwirken einer axialen Belastung bei Neutralstellung des Handgelenkes.

Darunter finden sich 90% der Stürze auf das dorsal extendierte Handgelenk³³. Meist kommt es zu einem dorsalen Abkippen des distalen Radius- Gelenkblockes mit spongiöser Einstauchung und einer metaphysären Trümmerzone im Bereich der dorsalen Kortikalis.

In 6,9% der Fälle findet sich eine palmar abgekippter Gelenkblock mit dorsaler Trümmerzone. Ursächlich ist meist ein Sturz auf das palmarflektierte Handgelenk, wie z. B. bei einem Radsturz über den Lenker³⁴.

Axiale Stauchungstraumata sind mit 3% eher selten. Sie führen meist zu einer Fraktur durch den Prozessus styloideus radii oder zu einer Impressionsfraktur der Fossa lunaris

durch das Os lunatum. Häufig findet sich dabei eine Aufspaltung der Fossa lunata radii in ein dorsales und palmares Fragment und damit Beteiligung des DRUGs³⁵.

In einer biomechanischen Untersuchung am Kadavermodell konnte Pechlaner³⁶ jedoch zeigen, dass alle Frakturtypen durch die Krafteinwirkung auf ein dorsal hyperflektiertes Handgelenk erzeugt werden können. In seinem Versuch kam es bei 63 Leichenunterarmen zu 42 dorsalen-, 14 zentralen- und 7 palmaren Stauchungszonen. Entscheidend für die Art der Fraktur scheint folglich der Anpressdruck der proximalen Handwurzelreihe gegen die dorsale-, zentrale- und volare Gelenkfläche zu sein.

Bei einer Dorsalflexion des Handgelenkes von 40-90 Grad kommt es bei einem Mann dabei einer durchschnittlichen Krafteinwirkung von 300kp (2943N) zu einer distalen Radiusfraktur, bei einer erwachsenen Frau bereits bei 200kp (1962N). Bei einem osteoporotisch veränderten Radius genügen beim Mann im Durchschnitt 150kp (1471,5N) und bei der Frau 100kp (981N)^{37,38}.

1.4 Begleitverletzungen

1.4.1 Knöcherner Abriss des Prozessus styloideus ulnae

Die mit 40% häufigste Begleitverletzung ist der knöcherne Abriss des Prozessus styloideus ulnae. Es handelt sich dabei um einen Knochenvorsprung am distalen Ende des Caput ulnae von 2-6 mm Länge. An dessen Basis setzen wichtige Strukturen wie das Lig. radioulnare dorsale und palmar, sowie der Diskus ulnokarpalis an. Diese sind biomechanisch für die Stabilität des distalen Radioulnargelenkes entscheidend. Da der Prozessus styloideus ulnae meist nicht basisnah frakturiert, ist die Läsion in den meisten Fällen asymptomatisch, obwohl sie in 77,5% der Fälle in einer Pseudoarthrose ausheilt. Bei einer basisnah dislozierten Fraktur oder bei Vorliegen einer klinischen Instabilität des distalen Radioulnargelenkes sollte dieser operativ reponiert und stabilisiert werden^{39,40}.

Lichtmann und Joshi⁴¹ teilen die Fraktur entsprechend als stabil, partiell stabil und instabil ein. Die dislozierte Basisfraktur wird dabei als instabil eingeordnet und sollte offen reponiert und stabilisiert werden.

Wird dies nicht erkannt, folgt eine dauerhafte Subluxationsstellung des distalen Radioulnargelenkes mit resultierender Inkongruenz bei Supination und Pronation des Unterarmes und es kommt häufig zu einer Arthrose des distalen Radioulnargelenkes.

1.4.2 Karpale Bandläsionen und karpale Instabilitäten

Bei einem Sturz auf das Handgelenk kann es zu einer Hyperextension kommen. Dabei wird das Scaphoid gegen die dorsale Lippe der Fossa scaphoidea gedrückt. Durch die straffe intrinsische Bandverbindung zwischen Os scaphoideum und Os lunatum rotiert Letzteres soweit mit, bis es durch das angespannte kräftige palmare radiolunare V- Band eingebremst wird. Wird die Hyperextension fortgesetzt, kommt es entweder zu einem Zerreißen der intrinsischen scapholunären Bandstrukturen (SL-Band), oder einer Fraktur des Scaphoids. In der Literatur werden SL-Bandläsionen bei 25%- 49% der intraartikulären Radiusfrakturen beschrieben²⁵.

Bleibt eine Fraktur des Scaphoids aus, rupturiert beim Fortsetzen der Hyperextension neben dem SL-Band schließlich auch der radiolunäre Schenkel des palmaren V-Bandes und letztlich auch der radiotriquetrale Schenkel sowie die Bandstrukturen zwischen dem Os lunatum und Os triquetrum.

Da das Os lunatum weiterhin gut mit dem Radius verankert ist, folgt bei weiter fortsetzender Hyperextension eine Luxation der intrinsisch weiter miteinander verbundenen Handwurzelknochen Scaphoid, Capitatum und Hamatum nach dorsal. Dies wird als perilunäre Luxation bezeichnet.

Aus therapeutischer Sicht ist die Schwere der Bandverletzung und der daraus resultierenden Instabilität ein wichtiges Kriterium. Je früher die Diagnose gestellt wird, desto besser sind die Ergebnisse⁴².

Karpale Instabilitäten werden in statische und dynamische unterteilt. Frische SL-Bandläsionen führen häufig zu einer dynamischen Instabilität. Auf dem Nativ Röntgenbild sind sie nicht zu erkennen. Bei einer dynamischen Bewegungsuntersuchung des Handgelenkes kommt radiologisch ein scapholunäres Aufklaffen zur Darstellung. Ursächlich ist eine Ruptur des intrinsischen SL-Bandes. Die straffe Folgebewegung der Handwurzelknochen ist unterbrochen.

Bei einer statischen Instabilität ist in der ap-Projektion ein mit >2mm erweiterter SL-Abstand („Terry-Thomas-Zeichen“) oder dreiecksförmiger SL-Spalt zu erkennen²⁵.

Geissler⁴³ teilte die SL- Bandruptur aus arthroskopischer Sicht in vier Schweregrade ein: Grad 1 beschreibt eine Kontusion mit Einblutungen, Grad 2 eine Teilruptur, Grad 3 bezieht sich auf weit geöffneten SL- Abstand, so dass man mit den Arthroskop in den Zwischenraum fahren kann. Bei Grad 4 kann das Arthroskop durch den SL- Raum in das Interkarpalgelenk geführt werden.

Durch das flektierte Scaphoid und das extendierte Lunatum (Dorsiflexed intercalated segment instability, DISI-Stellung), lässt sich in der Seitaufnahme ein vergrößerter SL- Winkel ausmessen ⁴⁴.

Das scapholunäre Auseinanderklaffen ist das Resultat des axial ausgeübten Drucks der distalen Handwurzelknochen. Reaktiv werden so das Scaphoid und das Lunatum auseinandergedrängt.

Bei ausbleibender Therapie folgt eine Erweichung der intrinsischen Bandverbindung der distalen Handwurzelreihe. Es kommt zu einem karpalen Kollaps ^{19,45–47}.

1.4.3 Begleitende Verletzung des triangulären fibrokartilaginären Komplexes

In 23-78% der Radiusfrakturen kommt es zu einer begleitenden Läsion des triangulären fibrokartilaginären Komplexes (TFCC). Dabei besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Dislokation und Verkürzung des Radius. Palmer ⁴⁸ klassifizierte das Verletzungsausmaß des TFCC. Eine Verletzung des TFCC ist eine der häufigsten Ursachen des ulnaren Schmerzsyndroms ⁴⁹. Klinisch kann sich zudem Weiteren eine radioulnare Instabilität, ein ulnares Impingement oder eine prall elastisch federnde Struktur im Bereich des distalen Ulna dorsal zeigen. Die Diagnose wird letztlich mittels MRT oder Handgelenkserthroskopie gesichert ⁵⁰. Je nach Verletzungsausmaß und Beschwerden reichen die Therapieoptionen von einer Ruhigstellung bis zu sechs Wochen, über eine operative Refixation, bzw. Debridement bis zu der Möglichkeit einer Verkürzungsosteotomie der Ulna ⁵¹. Rekonstruierende Eingriffe können dabei offen oder arthroskopisch durchgeführt werden. Beide Methoden zeigten gute Ergebnisse ⁴⁹.

1.4.4 Instabilität des distalen Radioulnargelenkes

Einer Instabilität des distalen Radioulnargelenkes folgt eine Luxation des Ulnaköpfchens nach dorsal und palmar. Bei der Umwendbewegung des Unterarmes kommt es physiologisch zu einer Rollgleitbewegung im DRUG. Der Radius dreht sich dabei um die Ulna. Rupturieren die stabilisierenden Bänder Lig. radioulnare dorsale und/ oder radioulnare palmarum, folgt eine Subluxations- oder Luxationsstellung des DRUG mit inkongruenter Artikulation, Schmerzen und Einschränkungen bei der Unterarmdrehbewegung ³⁹.

1.4.5 Nervenverletzungen

Bei reinen Radiusfrakturen sind Nervenverletzungen mit einer Inzidenz von 0,2- 2,7% eher selten⁵². Meist betreffen sie den N. medianus. Dislokationsbedingt kann es zur dessen Einengung kommen. Klinisch zeigen sich sensible und auch motorische Ausfälle. Nach erfolgreicher Reposition sistiert meist die Funktionseinschränkung⁵³.

Der N. medianus ist der am häufigsten betroffene Nerv bei einer frakturbedingten Druckerhöhung des Kompartments. Schon bei nur leichtem Anschwellen des Gewebes resultiert eine Druckerhöhung im Karpaltunnel. Diese korreliert mit dem posttraumatischen Hämatom, dem zugefügten Trauma bei der Frakturreposition und dem Zeitintervall zwischen Trauma und OP.

In Neutralstellung des Handgelenkes herrscht im Karpalkanal ein durchschnittlicher Druck von 5 mmHg. Peterson⁵⁴ zeigte an 59 Patienten, dass dieser bei einer distalen Radiusextensionsfraktur auf durchschnittlich 24mmHg ansteigt. Während einer geschlossenen Reposition kommt es zu einem Druckanstieg auf 44 mmHg mit einer folgenden temporären Druckreduktion und erneutem Anstieg auf 34 mmHg nach 4 Stunden. Noch 12 Stunden nach Reposition lässt sich ein Druck von 26 mmHg nachweisen.

1.4.6 Sehnenläsionen

2,9% der distalen Radiusfrakturen führen zu Verletzungen der Sehne des M. extensor pollicis longus. Dabei handelt es sich in den seltensten Fällen um direkte Verletzungen, als vielmehr um Störungen der Mikrozirkulation. Ursächlich ist meist eine posttraumatische Druckerhöhung des Kompartments. Noch nach Wochen bis Jahren kann es so zu nekrosebedingten Rupturen kommen⁵⁵⁻⁵⁷.

1.4.7 Complex Regional Pain Syndrome (CRPS)

Das CRPS ist eine typische Komplikation aller Radiusfrakturen. Das Risiko eines CRPS bei distaler Radiusfraktur wird mit 8- 25% angegeben^{58,59}.

Bei dem CRPS wird zwischen einem Typ I (sympathische Reflexdystrophie, M. Sudek) und einem Typ II (Kausalgie) unterschieden. Typ I ist die Folge einer Verletzung im weiteren Sinne, während Typ II einen Nervenschaden voraussetzt. Es werden dabei häufig drei Stadien unterschieden:

In der akuten Phase, dem Stadium I, dominiert der Schmerz. Klinisch zeigen sich eine Rötung, Schwellung, lokale Hyperthermie und schmerzhafte Bewegungseinschränkungen. Pathophysiologisch scheint eine reduzierte Sauerstoffaufnahme des Gewebes vorzuliegen. So zeigt sich im Vergleich zur gesunden Gegenseite ein signifikant höherer venöser Sauerstoffpartialdruck. In diesem Stadium besteht die Therapie in einer Ruhigstellung in Neutralstellung, Analgesie, Lymphdrainage und Ergotherapie.

Durchblutungsverbessernde Maßnahmen und eine Verbesserung der Gewebeoxygenierung scheinen erfolgversprechend zu sein.

Eine Behebung der Ursache, wie zum Beispiel die Reduktion einer forcierten ligamentären Distraktion bei Behandlung mit einem Fixateur externe oder die Revision einer nicht achsengerechten Reposition, ist entscheidend.

Das zweite Stadium wird als dystrophe Phase bezeichnet. Hier zeigen sich motorische Störungen und autonome Erscheinungen. Therapeutisch stehen die Remobilisierung der Versteifungen im Bereich des Handgelenkes und der Hand sowie das Unterbrechen der vegetativen Dystrophien im Vordergrund.

Das dritte Stadium wird als atrophe Phase bezeichnet. Es dominieren trophische Störungen, hochgradige Bewegungseinschränkungen, Einstiefungen und Kontrakturen.

Eine frühzeitige Diagnosestellung ist für die weitere Therapie und Prognose entscheidend, denn während die Stadien I und II reversibel sind, ist das Stadium III irreversibel. Meist sind der Lokalbefund und die Beschwerden richtungsweisend.

Die rechtzeitige Erkennung des CRPS ist oft erschwert, da es in der Phase der Frakturheilung zur Überlagerung der posttraumatischen Klinik wie Schmerz, Ödembildung oder Funktionseinschränkungen kommen kann. Zudem ist der Erkrankung kein eindeutiger Symptomkomplex zuzuordnen. Anzeichen wie Störungen der Sensorik, motorische Defizite oder autonome Störungen, zum Beispiel eine veränderte Durchblutung mit Temperaturunterschied der Haut, können Hinweise sein. Dies erschwert das rechtzeitige Erkennen^{60,61}.

Die Behandlung besteht vornehmlich in der aktiven Beübung der Hand und des Handgelenkes^{62,63}.

Studien zeigen^{58,64}, dass 2/3 der betroffenen Patienten nach sechs Monaten und 1/3 der Patienten nach einem Jahr noch immer nicht beschwerdefrei sind.

Ob beim CRPS eine Psychopathologie vorliegt wird kontrovers diskutiert. Entspannungsübungen haben sich trotz allem bewährt⁶⁵.

1.5 Grundlagen der Frakturheilung

Im Rahmen der Frakturheilung kommt es zu einer Überwindung der Beweglichkeit im Frakturspalt durch Knochenneubildung. Dabei wird eine indirekte- von einer direkten Frakturheilung unterschieden.

1.5.1 Indirekte Frakturheilung

Mittels Einsprossen von Granulations- und osteogenetischem Gewebe aus der Frakturmgebung wird Knorpelkallus gebildet. Dieser wird schrittweise mineralisiert. Es sprossen Gefäße ein und nachfolgende Osteoblasten bilden ein Faserknochengerüst⁶⁶⁻⁶⁸. Dieses wird schrittweise durch Lamellenknochen ersetzt. Voraussetzung von indirekter Knochenheilung ist damit die Bildung von Kallus.

1.5.2 Direkte Frakturheilung

Bei absolut stabiler Fixation der Fraktur kann es zu einer Heilung unter Ausbleiben von Kallus kommen. Dabei überbrücken vorwachsende Osteone direkt den Frakturspalt. Verbleiben dabei Zwischenräume, so werden diese durch Geflecht- und Lamellenknochen ausgefüllt. Durch parallel zur Schaftachse ausgerichtete Osteone werden die ehemaligen Zwischenräume im Rahmen eines gesteigerten Knochenumbaus ersetzt. Dabei bauen Osteoklasten an der Spitze von Resorptionskanälen den Knochen ab, während Osteoblasten in den Kanalwänden für den appositionellen Aufbau der neuen Knochensubstanz verantwortlich sind. Dieser Prozess wird als „Haversscher Knochenumbau“ bezeichnet. Die direkte Knochenheilung wird nur bei absolut stabiler Osteosynthese beobachtet⁶⁹.

1.5.3 Biomechanische Aspekte der Frakturheilung

Kallusgewebe überbrückt im Rahmen der Heilung die Frakturfragmente. Er entsteht als dreidimensionales Gebilde sowohl endostal als auch periostal. Primär frakturfern, wächst er in Richtung der Fraktur vor. Dadurch kommt es zu einer Verringerung der interfragmentären Beweglichkeit. Die dynamisch verformbare Kallusmanschette bewirkt über eine Vergrößerung des Querschnitts eine Stabilisierung der Frakturregion. Durch die Kallusbildung wird dem Biegemoment ein zunehmend großes Gegenmoment entgegengesetzt. Es kommt zu einer Zunahme des Mineralsalzgehaltes im Kallus mit einer Differenzierung von

weichem Granulations- und Bindegewebe über Knorpel zu Knochengewebe. Die Steifigkeit korreliert dabei direkt mit der Struktursteifigkeit⁷⁰.

Der periostale Kallus stellt durch seine Distanz zur Biegeneutralachse ein wichtiges Stabilisierungsgewebe dar. Die Vergrößerung des Querschnitts führt zur Zunahme der Steifigkeit. Der endostale Kallus füllt den Markraum und hat keinen wesentlichen Abstand zur Neutralachse, so dass dieser nur eine geringe stabilisierende Wirkung besitzt. Durch die geringere Deformierung bei Bewegung ist die Toleranz gegenüber Instabilität erhöht.

Erst sehr spät entwickelt sich der interfragmentäre Kallus. Durch die kurze Distanz ist er sehr anfällig für bewegungsabhängige Deformierung. Durch Resorption der Fragmentenden im weiteren Verlauf vermindert sich die Anfälligkeit⁷⁰.

Wolf⁷¹ konnte zeigen, dass bei der direkten Knochenheilung in der frühen Phase bis 4 Wochen eine biomechanisch festere Frakturüberbrückung besteht als bei der indirekten Frakturheilung, in der späten Phase ist die indirekte Frakturheilung stabiler.

Maßgebend für die Stabilität ist der Mineralsalzgehalt. Bei sinkender Kallusmenge, steigt dieser an.

1.5.4 Vaskularisierung bei der Frakturheilung

Im Bereich der Fraktur kommt es beim initialen Trauma zum Zerreißen der Haversschen Gefäße und Markraumgefäße. Kortiklisbereiche sind damit von der Perfusion abgeschnitten. Zur Aufrechterhaltung der Perfusion folgt in den ersten sieben Tagen eine kompensatorische Vasodilatation. Dies betrifft besonders das medulläre Gefäßsystem.

Der sich entwickelnde Kallus wird durch das umgebende Gewebe und dem Periost versorgt. Das Periost wird durch ein separates Gefäßsystem versorgt.

In den folgenden Wochen sprossen Markraumgefäße ein. Diese versorgen den subkortikalen Bereich bis in die Kortikalis. Anastomosen zwischen Periost- und Markraumgefäßen findet man nur im Frakturbereich, welcher durch den Haversschen Umbau aufgelockert ist. Sie werden im weiteren Heilungsverlauf umorientiert und in die neu entstehenden Osteone integriert. Der lammelär umgebaute Kallus wird letztlich hauptsächlich von medullären Gefäßen versorgt⁷².

1.6 Klassifikation

Frakturklassifikationen sollten unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden.

Eine verständliche Beschreibung erleichtert die Kommunikation. Aus der Einteilung sollte sich auch ein Therapiekonzept ableiten lassen und es sollten Aussagen über Langzeitfolgen getroffen werden können. Ein Vergleich einzelner Behandlungsformen wird dadurch möglich.

In den vergangenen Jahrzehnten wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Klassifikationen vorgeschlagen.

Bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde die distale Radiusfraktur von Colles 1841, Barton 1838 und Smith 1847 genau beschrieben. Die Frakturen wurden zur damaligen Zeit lediglich mit einem Eigennamen versehen.

So wurde die die extraartikuläre metaphysäre Radiusfraktur mit dorsaler Verschiebung entsprechend nach dem Erstbeschreiber Abraham Colles benannt ⁷³. Im französischen Sprachraum wird diese Frakturform nach dem Beschreiber von 1783 als Poutau- Fraktur ⁷⁴ bezeichnet.

Die gegenteilige Fraktur mit palmarer Verschiebung wurde Smith-Fraktur ³⁴ genannt.

Eine Fraktur mit Verschiebung des Karpus erhielt den Namen Barton-Fraktur ⁷⁵. Dabei kommt es zu einem Abriss der dorsalen Radiuslippe. Die reversed-Barton-Fraktur entspricht einem Ausriss der palmaren Radiuslippe.

Die Chauffeur- Fraktur beschreibt die Pathogenese eines axialen Stauchungstraumas. Die Frakturlinie geht dabei durch den Prozessus styloideus radii.

Die „Die-Punch-Fraktur“ kommt auch durch ein axiales Trauma zustande. Dabei zeigt sich eine Impressionfraktur der Fossa lunata durch das Os lunatum. Häufig findet sich dabei eine Aufspaltung der Fossa lunata radii in ein dorsales- und palmares Fragment und damit einer Beteiligung des DRUG ³⁵.

Unter den vielen Klassifikationen ist jene nach Jupiter ⁷⁶, nach Frykman ⁷⁷ und nach der AO ⁷⁸ weit verbreitet:

1.6.1 AO- Klassifikation

In der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen wurde die AO- Klassifikation ⁷⁸ erarbeitet. Sie wurde 1989 publiziert und ist weit verbreitet. Es handelt sich dabei um eine numerische Einteilung aller Frakturen der langen Röhrenknochen. Die Einteilung beschreibt die Fraktur nach der radioulnaren Beteiligung. Das distale Radioulnargelenk wird dabei im Gegensatz zur Frykman-Klassifikation nicht berücksichtigt.

Anhand der Klassifikation kann eine Aussage über den Schweregrad der Verletzung, Therapieoptionen und mögliche Folgeschäden gestellt werden. Dem Radius wird dabei die Ziffer 2 und dem distalen Drittel die Ziffer 3 zugeordnet. Die Buchstaben A, B und C beziehen sich auf die Gelenkbeteiligung. Typ A beschreibt dabei extraartikuläre Frakturen, Typ B partiell intraartikuläre und Typ C intraartikuläre Frakturen. Die Kombination 23 A bezieht sich auf eine extraartikuläre distale Radiusfraktur, die Kombinationen 23 B, oder 23 C auf Frakturen mit artikulärer Beteiligung. Die Zusatzziffern 1, 2, 3 beschreiben die jeweilige Komplexität der Fraktur.



Abbildung 2 AO-Klassifikation an radiologischen Beispielen

1.6.2 Frykmann- Klassifikation

Die Einteilung nach Frykman wurde 1967 beschrieben. Es werden dabei extra- und intraartikuläre Frakturen mit und ohne Beteiligung des Proz. styloideus radii beschrieben. Die Gruppen I- II beschreiben extraartikuläre Frakturen, die Gruppen III- IV intraartikuläre Frakturen mit Beteiligung des Radiokarpalgelenkes und die Gruppen V und IV intraartikuläre Frakturen mit Beteiligung des Radioulnargelenkes. Unter den Gruppen VII und VIII werden Kombinationsverletzungen mit Beteiligung des Radiokarpal- als auch Radioulnargelenkes zusammengefasst.

Betrachtet man die Beiden Gruppen V und VI, so kommt es hierbei zu einer querverlaufenden Fraktur im distalen Anteil des Radius. Das Radioulnargelenk ist mit einem Einriss der radioulnaren Bandverbindungen und der radioulnaren Gelenkfläche mit verletzt. Dies

ist auf Röntgenbildern des Handgelenkes in zwei Ebenen oft nur schwer zu diagnostizieren. Eine weiterführende MRT oder CT Diagnostik kann genaueren Aufschluss geben^{33,79}.

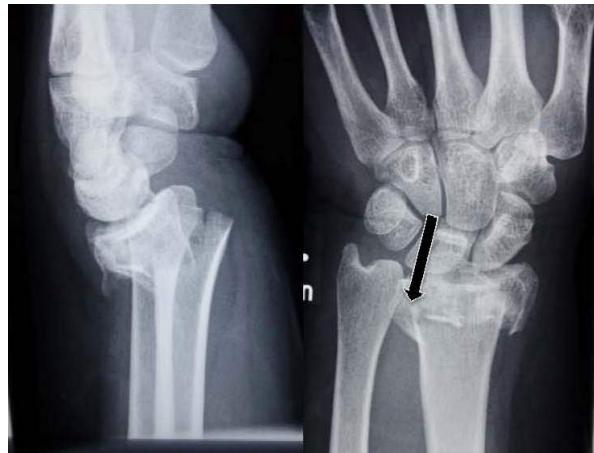


Abbildung 3 Beteiligung des distalen Radioulnargelenks (DRUG)

1.7 Diagnostik

Cole⁸⁰ untersuchte die radiologische Beurteilbarkeit von distalen Radiusfrakturen. Dabei wurden 16 Untersuchern unterschiedlicher Ausbildungsgrade Standardröntgenbilder des Handgelenkes in zwei Ebenen vorgelegt. Bei extraartikulären Frakturen war bezüglich der Gelenkwinkel und der Radius-, sowie Ulnalänge eine hohe Treffsicherheit nachweisbar. Anders stellte sich die Beurteilung von Gelenkbeteiligung und Gelenkstufen auch bei erfahrenen Untersuchern dar. Bei Messungen von Gelenkstufen ergaben sich sogar beim selben Untersucher Unterschiede bis 2 mm. Im Vergleich zum CT über- oder unterschätzten erfahrene Radiologen den Schweregrad der vorgelegten Frakturen bis zu 30%.

Ergibt sich bei der Standardröntgendiagnostik des Handgelenkes in zwei Ebenen der Verdacht einer intraartikulären Beteiligung mit Hinweis von Gelenkstufen sollte deshalb eine weitere Abklärung mittels CT erfolgen. Nur so können die Frakturen entsprechend klassifiziert und optimal therapiert werden. Gelenkstufen >2mm stellen nach den aktuellen Ergebnissen bereits eine Präarthrose dar⁸¹. Bei Verdacht intrinsischer Bandverletzungen sollte zum Nachweis dynamischer und statischer Verletzungen eine kinematische Röntgenuntersuchung des Handgelenks in Ulna- und Radialduktion durchgeführt werden.

In den letzten Jahren hat sich auch in der Akutversorgung die Handgelenksarthroskopie bewährt. Dabei können die Gelenkflächen, sowie die Weichteilstrukturen unter Sicht gut beurteilt und auch therapiert werden⁸². Viele SL- Bandläsionen können nur so diagnosti-

ziert werden. Dies spielt besonders im Rahmen der frühfunktionellen Beübung eine Rolle, da SL- Bandläsionen bis Grad II nach Geissler⁴³ konservativ mittels 5- wöchiger Ruhigstellung therapiert werden müssen. Werden diese Verletzungen übersehen, kann sich mangels Ruhigstellung eine Handwurzelknocheninstabilität entwickeln⁸³.

MRT sowie Arthrographien spielen in der Erstversorgung von Radiusfrakturen aktuell nur eine untergeordnete Rolle.

1.8 Der ältere Patient

Die Alterstraumatologie nimmt aufgrund der speziellen demographischen Entwicklungen in den Industrienationen überdurchschnittlich zu. Physiologische Altersphänomene lassen eine pauschale Übernahme von Therapiekonzepten für den geriatrischen Patienten nicht zu.

Durch das physiologische Altern kommt es zu einer Alterierung des zellulären Gleichgewichtes zwischen Aufbau und Abbau. Die Skelettbilanz wird Richtung Abbau verschoben. Es erfolgt durch das Überwiegen der Osteoklasie eine Rarefizierung der Trabekel mit ausreichender Mineralisierung. Diese primäre Altersosteoporose mit reduzierter trabekulärer Dichte pro Volumeneinheit muss von der präsenilen, postmenopausalen Osteoporose und der altersunabhängigen lokalen oder generalisierten Osteoporose abgegrenzt werden⁸⁴.

Die Altersosteoporose ist radiologisch durch eine Aufsplitterung der Kompakta, die als sekundäre Spongoisierung bezeichnet wird und Auflockerung der spongiösen Strukturzeichnung zu erkennen. Diese Auflockerung kann bis zu Höhlenbildung gehen⁸⁵.

Auf Bindegewebsebene kommt es zu einer Verminderung der Kollagen-, Faserprotein- und Mukopolysaccharidsyntheserate. Die Elastizität und Tonizität wird dadurch reduziert. Die nachlassende Haltekraft des Bandapparates trifft die einwirkenden Zugkräfte. Es folgen ein gehäuftes Auftreten von Distorsionen und Rupturen⁸⁶.

Die generalisierte Muskelatrophie im Alter führt zu einer Verminderung der Muskelmasse um ca. 40% zwischen dem 20. und 70. Lebensjahr. Die Belastbarkeit und Leistungsfähigkeit des Skelettsystems ist dadurch deutlich reduziert

Eine verlangsamte Frakturheilung im Alter kann klinisch nicht beobachtet werden. Bier⁸⁶ schrieb schon 1913, dass der atrophische Knochen besonders schnell heilt. Die sekundäre Spongoisierung der Kompakta erspart eine aufwändige Resorptionsphase des kompakten, lamellären jugendlichen Knochens bei der Frakturheilung⁸⁷.

Die Ursache der oft häuslichen Stürze liegt in einer nicht altersgerechten Bauweise der Wohnungen in Kombination mit physiologischen Einschränkungen bezüglich der Sinnesleistungen. Wird dadurch ein Krankenhausaufenthalt nötig, sind nur noch 50% dieses Patientenkollektivs ein Jahr später am Leben⁸⁸.

Ziel der Behandlung des älteren Menschen ist die rasche Versorgung um ihn möglichst schnell in seine gewohnte Umgebung zu reintegrieren. Das labile körperliche und soziale Gleichgewicht des Patienten sollte möglichst wenig beeinträchtigt werden. Die Kürze der präoperativen Phase lassen den Patienten Unfall und Operation als ein Trauma erleben, an welche sich die Rehabilitation anschließt.

Studien an Femurfrakturen zeigen, dass im Falle einer operativen Frakturversorgung innerhalb der ersten acht Stunden eine Halbierung der Letalität und Verbesserung der Funktion um bis zu 20% erreicht werden kann⁸⁹. Die Operation sollte dabei einzeitig und definitiv erfolgen. Diese Studie bezieht sich jedoch rein auf den Femur. Aussagen zum Radius werden dabei nicht getroffen.

Trotz des häufigen Vorkommens der distalen Radiusfraktur sind die Heilungsergebnisse in der Literatur nicht befriedigend⁹⁰. Ursächlich sind die Zertrümmerung des osteoporotischen Knochens, das Erhöhte Auftreten von CRPS und die dünne Weichteildeckung. Ein weiterer Grund liegt in der häufig notfallmäßigen Versorgung mit Hinnahme einer suboptimalen Reposition unter fälschlicher Annahme verringelter Ansprüche.

1.9 Therapieoptionen

Das Therapieziel der distalen Radiusfraktur ist eine möglichst anatomische und stufenfreie Retention bis zur Ausheilung. So führt eine schlechte Reposition zu einem schlechten funktionellem Ergebnis⁹¹.

Die Wahl eines geeigneten Therapieverfahrens richtet sich nach der Frakturklassifikation, der Knochenqualität, der Weichteile und dem Allgemeinzustand des Patienten.

Die Patientencompliance und die Erfahrung des Behandlers, sowie die logistischen Voraussetzungen spielen ebenso eine wichtige Rolle.

Entscheidend für das Behandlungsergebnis ist die möglichst anatomische Rekonstruktion der Gelenkfläche, sowie das Vorhandensein von Begleitverletzungen. So führt zum Beispiel die Verletzung des intrinsischen Bandapparates der Handwurzelknochen zu schweren degenerativen Schäden, wenn diese übersehen werden²⁵.

Park ⁹² zeigte an biomechanischen Untersuchungen bei in Fehlstellung unterschiedlicher Ausmaße verheilten Extensionsfrakturen, dass sich die Handwurzelknochen individuell unterschiedlich verhalten. Es zeigten sich dorsale Subluxationen, DISI- Instabilitäten bis zu einer Luxation des gesamten Karpus.

Des Weiteren folgt bei zunehmender dorsaler Abkipfung des distalen Fragmentes eine Spannungszunahme der Membrana interossea mit zunehmender Inkongruenz im distalen Radioulnargelenk. Dies führt zu Einschränkungen der Supination und Pronation, was von den betroffenen Patienten als sehr einschränkend empfunden wird ⁹³.

Kommt es im Rahmen einer „Die-Punch- Fraktur“ zu Gelenkstufen im distalen Radioulnargelenk, folgt bei ausbleibender Reposition oder bei verbliebenen Gelenkstufen schon früh eine sekundäre Arthrose mit schmerzhafter Bewegungseinschränkung bei der Umwendbewegung des Unterarmes.

Jenkins ⁹⁴ bestätigte einen direkten Zusammenhang zwischen Kraftminderung, Bewegungseinschränkungen und sagittalem Winkelverlust.

Eine Radiusverkürzung um 2 mm führt bereits zu einer Verdopplung der Ulnabelastung auf 30- 60%. Bei einer Dorsalkippung des Gelenkblocks um 20 Grad resultiert eine Belastungssteigerung der Ulna um 50%, wodurch ein „Ulnaimpactionsyndrome“ folgen kann ²⁴.

Bereits ab einer Radiusverkürzung von einem Millimeter reduziert sich die Kontaktfläche im DRUG auf 77%, ab zwei Millimeter auf 58% und ab 4 mm auf 52%. Eine Dorsalkippung des Gelenkblocks um 5 Grad verursacht eine Kontaktflächenreduktion des DRUGs auf 55%, um 5 Grad nach palmar auf 29%. Ab einer Verkürzung von 14 mm ist die Umwendbewegung vollständig Aufgehoben ⁹⁵.

Bei einer Malrotation um 10 Grad in Pronation wurde eine Kontaktreduktion um 33% beobachtet. Dem Problem der Rotationsfehlstellung wird in der Literatur bisher nur wenig Beachtung geschenkt ⁹⁶.

Doch auch anatomisch ausgeheilte Radiusfrakturen können zu Einschränkungen in der Bewegung, besonders in der Umwendbewegung führen. Hier spielt eventuell eine Schrumpfung und Fibrosierung der Gelenkkapsel eine Rolle. So findet man zum Beispiel physiologischerweise eine Aussackung der palmaren Kapsel des DRUG, in welche der Ulnakopf bei Supination hineintranslatiert. In Abhängigkeit der Ruhigstellung schrumpft diese und schränkt so die Supination durch Behinderung der Ulnatranslation nach palmar ein ⁹⁷.

Wenn trotz deutlicher Fehlstellung die Umwendbewegung nicht wesentlich beeinträchtigt ist, so könnte dies an einem Drehfehler der distalen Fragmentes liegen. Der Kontaktflächenverlust im DRUG kann auf diese Weise sogar vollständig ausgeglichen werden⁹⁶.

1.9.1 Konservative Therapie

Die Domäne der konservativen Therapie ist die extraartikulär- metaphysäre Extensionsfraktur ohne Trümmerzone⁹⁸.

Bei dislozierten Frakturen erfolgt das Aushängen in einem Mädchenfänger. Die Reposition wird in Bruchspaltanästhesie durchgeführt. Im Anschluss wird in noch hängender Position und bei 10- 20 Grad dorsalflektiertem Handgelenk eine dorsale Schiene angelegt. Nach 4 Tagen wird ein gespaltener Gips angepasst. Dieser beginnt zwei Querfinger distal der Elbenbogenbeugefalte und endet in der distalen Beugefalte der Hohlhand auf Höhe der Metakarpaleköpfchen.

Eine freie Beweglichkeit im Ellenbogengelenk, Umwendbewegungen des Unterarmes sowie der vollständige Faustschluss müssen möglich sein.

Das Repositionsergebnis wird im Anschluss radiologisch kontrolliert. 24h nach Gipsanlage, sowie bei jedem folgenden Gipswechsel, muss eine klinische Kontrolle der ruhiggestellten Extremität durchgeführt werden. Nach Abschwellen des Handgelenkes kann der Gips zirkuliert werden. Bei Schmerzen oder Druck ist er zügig zu wechseln.

Radiologische Verlaufskontrollen sollten in regelmäßigen Abständen, z.B. Tag 4/ 7/ 14 und bei Abschluss der Ruhigstellung erfolgen. Bei einer sekundären Dislokation ist das Verfahren zu wechseln.

Der Zeitraum der Ruhigstellung variiert vom Frakturtyp, der Ausprägung der Dislokation und dem Alter, dem radiologischen Konsolidierungszeichen und der Klinik. Klinisch hat sich eine Ruhigstellung zwischen 4- 6 Wochen durchgesetzt. Von Beginn der Therapie muss eine freie Beübung von Schulter, Ellenbogen und Finger erfolgen^{98,99}. Eine intensive schmerzadaptierte funktionelle Nachbehandlung nach Gipsabnahme ist für das Ergebnis wichtig¹⁰⁰.

Bezüglich verschiedener konservativer Behandlungsmethoden gibt es in der Literatur nur wenige systematische Übersichtsarbeiten.

Im Rahmen von Metaanalysen verschiedener Repositionstechniken¹⁰¹ und verschiedener konservativer Behandlungsmethoden¹⁰² konnte wegen methodischer Schwächen und Heterogenität der vorhandenen Studien keine Therapieempfehlung gegeben werden.

Stabile Radiusfrakturen zeigen bei der konservativen Therapie gute Ergebnisse. Bei nicht dislozierten Frakturen ist die konservative Therapie häufig besser als bei einer Osteosynthese. Qualitätsentscheidend sind gute Gips- und Casttechniken, die funktionelle Nachbehandlungsmöglichkeit und die Patientencompliance¹⁰³.

1995 wurde die distale Radiusfraktur in dem Modellprojekt „köperferner Speichenbruch“ durch den Landesverband Südwestdeutschland der gewerblichen Berufsgenossenschaften⁹ als Domäne der konservative Therapie bezeichnet. Dabei wird die Indikation einer konservativen Therapie durch das Wissen einer möglichen Sinterung der Frakturzone und damit Verkippung des distalen gelenktragenden Fragmentes geleitet.

Zur Beurteilung der Stabilität wurden die Instabilitätskriterien nach Jupiter¹⁰⁴ hinzugezogen. Wenn davon mehr als ein Kriterium auf die Frakturmorphologie zutrifft, gilt die Fraktur als instabil und sollte nicht konservativ ausbehandelt werden.

Nach der AO- Klassifikation sind die Typen A2 und B1 für die konservative Therapie geeignet. C1 Frakturen sind nur im nicht dislozierten Zustand als stabil anzusehen. Bedürfen sie einer Reposition, gelten sie aufgrund der fehlenden dorsalen Abstützung als instabil^{105,106}.

Nach der Reposition müssen Gelenkfläche, Radiuslänge und das distale Radioulnargelenk wiederhergestellt sein.

Zeigt sich radiologisch eine sekundäre Dislokation, so ist bei erneuter Reposition und fortgeführter konservativer Therapie mit 20- 30% unbefriedigender Ergebnisse zu rechnen^{107,108}. In einer Studie von Leung¹⁰⁹ bestätigt sich dies an 111 konservativ behandelten jungen Patienten mit intraartikulärer Beteiligung. Es fanden sich bei 28% ein Repositionsverlust. Bei wiederholtem Repositionsversuch konnte dieser über den weiteren Verlauf nicht gehalten werden. Nur 33% der nachreponierten Frakturen zeigten nach zwei Jahren ein gutes Ergebnis.

Handoll¹⁰² führte eine Metaanalyse bezüglich der konservativen Therapie bei älteren Frauen mit Osteoporose durch. Welches konservative Vorgehen für diese Patientengruppe das Beste ist, konnte aus der aktuellen Literatur nicht evaluiert werden. Gerade alte Menschen sind aber zum Erhalt ihrer Mobilität bei arthrotischen Veränderungen der unteren Extremität auf den Gebrauch der Hände angewiesen. So muss an die Frage der Therapie unter Berücksichtigung der Begleitumstände kritisch herangegangen werden¹⁰⁷. Das hohe Alter und eine Osteoporose sind weder für die konservativen- oder operativen Therapie Ausschlusskriterien¹⁰⁴.

1.9.2 Operative Therapie

In den letzten zehn Jahren kam es von der konservativen Therapie, über Kirschnerdrahtosteosynthesen und Plattenosteosynthesen zu einem erheblichen Wandel in der Behandlung der distalen Radiusfraktur. Die Behandlungsresultate haben sich durch bessere Klassifikationen und dem jeweils adaptierten Osteosyntheseverfahren entsprechend verbessert¹.

Bei Sturz auf das dorsalextendierte Handgelenk kommt es häufig zu einer Zertrümmerung der dorsalen metaphysären Kortikalis, spongiöser Einstauchung und dorsaler Abkipfung der Gelenkfläche. Bei der geschlossenen Reposition wird die posttraumatisch stabile- in eine instabile Situation umgewandelt. Dadurch kann die Reposition häufig nicht gehalten werden, so dass es zu einer Ausheilung in Fehlstellung kommen kann. Dieses Wissen hat dazu geführt, dass die einstige Domäne der konservativen Therapie verlassen wurde.

Instabile Frakturen nach der Klassifikation von Jupiter¹⁰⁴ müssen operativ versorgt werden. Ebenso Flexionsfrakturen vom Typ „Smith“ und Typ „Reversed Barton“. Bei diesen beiden Frakturtypen liegt zu jeder Zeit eine instabile Situation vor. Um ein anatomisches Ausheilen zu ermöglichen, müssen sie operativ stabilisiert werden¹¹⁰.

Eine notfallmäßige operative Therapie muss bei massivem Weichteilschaden, drohendem- oder manifestem Kompartmentsyndrom, Nervenläsionen oder bei erheblichen, nicht reponierbaren Dislokationen erfolgen¹¹¹.

Handoll untersuchte im Rahmen einer Metaanalyse verschiedene operative- und konservative Therapieverfahren. Es wurden 48 randomisierte und quasirandomisierte Studien mit 3371 Patienten mit einbezogen. 25 Studien befassten sich mit Vergleichen unterschiedlicher operativer Therapien. Die Studien bezogen sich auf die Behandlung mit Fixateur externe, perkutane K- Draht- Osteosynthese, offene dorsale-, palmar-, winkelstabile und nicht winkelstabile Verfahren. 25 Studien verglichen konservative- mit operativen Verfahren. Wegen der Heterogenität war jedoch keine Zusammenfassung der Studien möglich. Bezuglich der anatomischen Rekonstruktion zeigten die chirurgischen Verfahren bessere Ergebnisse. Ob dies aber zu einer besseren Funktion und Klinik führt, konnte nicht ausreichend geklärt werden. Aufgrund mangelnder Evidenz kann deshalb keine Therapieform als überlege Behandlung empfohlen werden¹¹².

1.9.2.1 Kirschnerdrahtosteosynthese

Diese Behandlungsmethode wurde durch Lambotte 1913 eingeführt. Die perkutane Kirschnerdrahtspickung ist bei Kindern oder Adoleszenten mit offenen Epiphysenfugen noch immer Mittel der Wahl¹¹³.

Bei Erwachsenen stellen Frakturen mit nicht- oder nur gering dislozierten Frakturfragmenten eine Indikation zur Kirschnerdrahtosteosynthese dar. Deutliche Fragmentdislokationen und volare Trümmerfrakturen stellen jedoch eine Kontraindikation dar¹¹⁴.

Das Verfahren ist eine effiziente, einfach zu erlernende und kostengünstige Methode zur Frakturstabilisierung¹¹⁵. Die Kirschner-Drahtspickung kann in Bruchspalt-, Plexus- oder Allgemeinanästhesie durchgeführt werden.

Die Reposition erfolgt nach den Kriterien der konservativen Therapie. Kirschnerdrähte der Stärke 1,4 bis 1,8 mm Durchmesser werden vom Prozessus styloideus radii aus nach proximal ulnar eingebohrt. Um den radioulnaren Winkel und die palmaren Inklinations zu korrigieren sind zwei bis drei Drähte notwendig. Der Erste wird zur Wiederherstellung der Gelenkfläche subchondral positioniert, der Zweite und Dritte stabilisiert mittels bikortikaler Verankerung den radioulnaren- und palmaren Winkel.

Beim Einbringen sind Verletzungen des Ramus superficialis N. radialis unbedingt zu vermeiden. Dessen Verlauf zeigt sich eine hohe anatomische Variabilität¹¹⁶. Auch Hitze- schäden mit der Gefahr sich lockernder Drähte sind zu vermeiden.

Die Drähte müssen bei überkreuzter Lage sicher in der Gegenkortikalis verankert werden und die Lage mit einem Bildwandler kontrolliert werden. Nur so wird eine ausreichende Retention ermöglicht¹⁰⁸.

Bei dem Verfahren ist eine additive Gipsbehandlung bis zur knöchernen Konsolidierung notwendig. Die perkutane K- Drahtspickung zeigt für eine frühfunktionelle Therapie keine ausreichende biomechanische Stabilität¹¹³.

Bei der Technik der intrafokalen K- Draht Spickung nach Kapandji¹¹⁷ wird zur Reposition des palmaren Winkels ein Kirschnerdraht der Stärke 1,6 mm direkt in den Frakturspalt positioniert und intramedullär nach proximal vorgeschoben. Aufgrund erhöhter Komplikationen bei der Methode nach Kapandji kann diese jedoch nicht empfohlen werden¹¹⁸.

Eine Entfernung der Drähte erfolgt in einem zweiten Eingriff nach 7- 9 Wochen.

Bei jüngeren Patienten können aufgrund der guten Knochenqualität gute Ergebnisse erzielt werden. Bei älteren Patienten sind die radiologischen und funktionellen Ergebnisse deutlich schlechter. Eine zusätzliche Stabilisierung mittels eines Fixateur externe bei Patienten unter 50 Jahren brachte keinen biomechanischen Vorteil¹¹⁹.

Eine Metaanalyse verschiedener Bohrdrahttechniken zeigte gleiche, oder leicht bessere Ergebnisse als die konservative Therapie. Die einbezogenen Studien bezogen sich auf Vergleiche zwischen Bohrdraht- und konservativer Therapie, Dauer der Ruhigstellung und die Verwendung bioresorbierbare Bohrdrähte. Es zeigte sich dabei keine überlegene Technik, die bioresorbierbaren Bohrdrähte zeichnen sich aber durch eine hohe Komplikationsrate aus¹¹⁸.

Auch wenn viele Autoren gute Erfolge bei dieser Technik aufführen, so zeigen einige Studien schlechte Ergebnisse. Sommer¹²⁰ berichtet von 93,3 % Repositionsverlust. Ursache ist die fehlende dorsale kortikale Abstützung. Bei einer Reposition entsteht ein großer spongiöser und dorsokortikaler Defekt im Bereich der Metaphyse. Die Drähte sind dabei biomechanisch meist nicht in der Lage die Reposition gegen die axiale Druckbelastung zu halten. Auch wenn das Repositionsergebnis gehalten werden kann, ist der große metaphysäre Defekt häufig bis zur Metallentfernung nach 6- 8 Wochen nicht ausreichend knöchern konsolidiert. So kann es noch nach diesem Zeitraum zu einer Sinterung kommen. Auch ein Ausfüllen dieses Defektes mit Knochenzement bringt zwar eine zusätzliche, aber keine ausreichende Stabilität. Die Invasivität des Eingriffs wird dadurch außerdem deutlich erhöht¹²¹.

Zusammenfassend bestehen die Vorteile dieser Behandlungsform in der guten Verfügbarkeit der Kirschnerdrähte, den geringen Materialkosten und der geringen Invasivität. Mittels Joystick- Technik kann im Vergleich zur rein geschlossenen Reposition eine bessere anatomische Wiederherstellung der Gelenkfläche durchgeführt werden.

Die Nachteile der Technik liegen in der mangelnden biomechanischen Stabilität, so dass auf eine Ruhigstellung nicht verzichtet werden kann. Eine frühfunktionelle Nachbehandlung ist dadurch nicht möglich. Die Drähte können lockern und wandern. Es muss eine Metallentfernung durchgeführt werden. Dabei besteht ein hohes Risiko von Gefäß- Nerven- und Sehnenverletzungen, besonders der subkutan verlaufenden sensiblen Äste des N. radialis. Es besteht das Risiko von Gipsdruckstellen, Pininfektionen und insuffizienter Retention¹¹⁵.

1.9.2.2 Schraubenosteosynthese

Schraubenosteosynthesen finden bei Avulsionsfrakturen oder bei nicht dislozierten Abrissfrakturen des Prozessus styloideus radii (B1 nach AO) ihre Anwendung. Es ist meist eine

additive Ruhigstellung notwendig. Eine Indikation besteht bei 7% der distalen Radiusfrakturen¹¹³.

1.9.2.3 Fixateur externe

Das Prinzip des von Hoffmann erstmalig 1904 vorgestellten Fixateurs externe besteht in der überbrückenden Frakturstabilisierung. Die Funktion beruht auf Reposition durch Ligamentotaxis und Bildung eines intrartikulären Vakuums, sowie Ruhigstellung der Fraktur¹²¹. Dabei werden Schanz'sche Schrauben nach einer Hautinzision und stumpfer Präparation auf den Knochen senkrecht zur Knochenlängsachse frakturfern angebracht. Die Fixierung erfolgt durch starre äußere Längsträger. Diese sind die Aufnehmer von Druck- und Torsionskräften.

Zur Versorgung der distalen Radiusfraktur sind kleine Fixateure mit Schanz'schen Schrauben von 2,5 mm Durchmesser geeignet. Die Schrauben werden im Bereich der Radiusdiaphyse, proximal der Fraktur und der Diaphyse des Os metakarpale II platziert¹²². Um bei einer Ausbehandlung im Fixateur die Reposition der Fragmente bis zur Konsolidierung zu halten, ist eine stetige Ligamentotaxis notwendig. Ein dauerhafter Zug erhöht jedoch das Risiko für ein CRPS. Es sollte daher eine Kombination mit einer Kirschnerdrahtosteosynthese durchgeführt werden. Auch durch Implantation von Knochenersatzmaterialien oder einem kortikospongiösen Span zur Stabilisierung der dorsalen Kortikalis kann übermäßiger Zug vermieden werden¹²¹. Kaempffe¹²³ bestätigte dies in einer Studie an 26 Patienten und einem Follow-up von 2 Jahren. Es zeigte sich eine nachteiliger Zusammenhang zwischen der ausgeübten Zugstärke, dessen Dauer und der Funktion nach Ausheilung.

Eine frühfunktionelle Beübung des Handgelenkes kann bei einer üblichen gelenkübergreifenden Anlage des Fixateurs nicht durchgeführt werden. Bei extraartikulären Frakturen mit großen distalen Gelenkblock kann der Fixateur auch nicht gelenkübergreifend angebracht werden. Um eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten, müssen im distalen Fragment zwei Pins positioniert werden können. Damit kann eine frühe Beübung des Handgelenkes durchgeführt werden.

Durch die Entwicklung von dynamischen Fixateuren sollten frühfunktionelle Behandlungen trotz gelenkübergreifender Anlage möglich sein. Sie haben sich jedoch aufgrund mangelnder Stabilität und hoher Komplikationsraten nicht bewährt¹²⁴. Bei 20% zeigen sich mäßige und schlechte radiologische Ergebnisse¹²⁵.

Die Auswahl eines geeigneten Fixateurs hängt im klinischen Alltag weniger von der optimalen Steifigkeit und Applikationsmöglichkeit, sondern vielmehr von der Gewöhnung des Chirurgen und den Kosten ab¹²⁶.

Der Fixateur findet Anwendung bei komplexen Frakturen mit Gelenkbeteiligung vom Typ C2 und C3, bei schweren Weichteilschwellungen, offenen Frakturen und bei Patienten in schlechter Allgemeinsituation. Die konservative Therapie oder die reine Kirschnerdrahtspickung wäre bei den Frakturtypen C2 und C3 nicht ausreichend^{127,128}.

Er kann als Einzelosteosynthese oder in Kombination mit anderen Verfahren verwendet werden^{102,112}.

Handoll¹²⁹ verglich in einer Metaanalyse die Therapie mit Fixateur externe mit der konservativen Therapie. Es wurden die Ergebnisse von 1022 Patienten mit einbezogen. Bezuglich der Repositionsretention und anatomischen Rekonstruktion zeigte sich der Fixateur externe überlegen. Bezuglich der funktionellen- und klinischen Ergebnisse konnte keine Überlegenheit nachgewiesen werden. Es zeigte sich bei der Behandlung mit dem Fixateur eine hohe Rate an Komplikationen, meist Infektionen der Pins. Das häufigere Auftreten eines CRPS war dabei nicht signifikant.

Zusammenfassend gelten die wenig invasive Applikation und die einfache Handhabung als Vorteil. Der Fixateur ist gewebeschonend, die Weichteildeckung über der Fraktur bleibt unberührt. Es findet eine geschlossene Reposition statt. Auch komplexe Frakturen können mit gutem Ergebnis zur Ausheilung gebracht werden. Die Therapieform ist weit verbreitet. Auch bei schweren Weichteilverletzungen und offenen Frakturen kann das Verfahren zur Anwendung gebracht werden.

Metaanalysen zeigen ein besseres Ausheilungsergebnis und Funktion als die konservative Therapie, sowie die reine K- Draht Spickung bei komplexen Frakturen^{129,130}.

Nachteilig stellt sich die Pflege der Pins zur Infektionsvermeidung dar. Bei Auslockerung der Schanz'schen Schrauben verliert das System die notwenige Stabilität. Von vielen Patienten wird die externe Osteosynthese als störend empfunden. Eine frühfunktionelle Therapie ist in der Regel nicht möglich. Auch bei einer Ausbehandlung über 6 Wochen kann es bei einer großen metaphysäreren Defektzone zu einem Repositionsverlust kommen. Bei fehlender Compliance kann sich der Patient an dem Fixateur verletzen¹¹³.

1.9.2.4 Intramedulläre Osteosynthese

Die intramedulläre Versorgung distaler Radiusfrakturen ist ein neuartiges Verfahren, zu dem noch wenige Untersuchungen vorliegen.

Der Zugangsweg erfolgt auf Höhe des Prozessus styloideus radii zwischen dem ersten und zweiten Strecksehnenfach. Der Knochen liegt hier direkt subkutan. Durch die intramedulläre Lage geht man davon aus, dass durch die Implantatlage die Sehnen bei Beugung und Streckung wenig irritiert werden.

Aufgrund fehlender Rotationsstabilität haben sich bisherigen Nagelmodelle wie z.B. die „Ender- Nägel“ in der Therapie nicht durchsetzen können ¹³¹.

Tan ¹³² sah in 13% bei Marknagelosteosynthesen mit dem „Mikronail“ der Firma „Wright Medical Corporation“ ein sekundäres Versagen der Implantate. Trotz allem sei die intramedulläre Versorgung eine sinnvolle Erweiterung der Therpieoptionen. In einer prospektiv randomisierten Studie konnte Gradl ¹³³ zeigen, dass Patienten, die mit einer intramedullären winkel- und rotationsstabilen Osteosynthese (Targon- Nagel der Firma Aesculap) versorgt wurden, im Vergleich zur volaren winkelstabilen Plattenosteosynthese einen signifikanten schnelleren Funktionsaufbau und signifikant weniger Schmerzen hatten. Der Vorteil liegt in der geringen Invasivität und dem Vermeiden von Sehnenirritationen. Eine Metallentfernung muss nicht zwingend erfolgen, eine frühfunktionelle Nachbehandlung ist möglich ^{133,134}. Frakturen mit einer mehrfachen Gelenkbeteiligung stellen jedoch eine mögliche Limitierung dar ¹³³.

1.9.2.5 Konventionelle Plattenosteosynthese

Bei konventionellen Platten kommt die Stabilität einer Osteosynthese durch Haftriebung zustande. Sie ist das Produkt aus axialer Schraubenkraft und Anpressdruck der Platte. Um die nötige Reibung und damit die Stabilität zu gewährleisten, müssen die Schrauben bikortikal fest angezogen werden. Dadurch entsteht ein großer Anpressdruck der Platte. Dies führt aber zu einer Minderung der periostalen Durchblutung. Damit kommt es zu einer Beeinträchtigung der Frakturheilung. Im Bereich des distalen Radius ist dieser Effekt aufgrund einer überwiegenden endostalen Perfusion jedoch zu vernachlässigen ¹³⁵.

Bei einer bikortikalen Lockerung des Schraubengewindes im Knochen, folgt ein Verlust des Plattenanpressdrucks. Die Osteosynthese verliert ihre initiale Stabilität. Bei den typischen Radiusextensionsfrakturen mit dorsaler Trümmerzone müssen die konventionellen Platten zur besseren Abstützung der volaren Kortikalis von dorsal angebracht werden. Es

zeigen sich jedoch häufig Verklebungen der Sehnenfächer und Rupturen der Strecksehnen, besonders der Sehne des M. extensor pollicis longus ¹³⁶. Um durch das Gleiten der Sehnen über die Platte die Gefahr einer Tendinitis und Ruptur zu vermeiden, muss diese frühzeitig nach knöcherner Konsolidierung entfernt werden. In Abhängigkeit der metaphysären Defektzone ist das Auffüllen mit Knochenzement, oder einem kortikospongiösen Span oder Spongiosa erforderlich ^{137,138}. Aufgrund der unzureichenden biomechanischen Stabilität kann bei der konventionellen Plattenosteosynthese auf eine additiven Ruhigstellung bis zur knöchernen Konsolidierung nicht verzichtet werden.

1.9.2.6 Winkelstabile Plattenosteosynthese

Reinhold schlug als erster eine winkelstabile Platten-Schrauben-Verbindung nach dem Prinzip „Gewinde im Gewinde“ vor. 1931 folgte bereits die Patentanmeldung in Paris.

Heinz Kruda konzipierte 1981 eine unidirektionale winkelstabile Platte, ohne von Reinhold zu wissen. Das Implantat fand aber aufgrund von Materialschwierigkeiten, Konstruktionsproblemen und fehlendem Wissen über den Kraftfluss keine Anwendung ¹³⁹.

Das Prinzip der Winkelstabilität beruht in einer festen Verbindung zwischen Schraube und Platte. Winkelstabile Implantate entsprechen damit dem Prinzip eines Fixateur-interne. Die Fraktur wird geschient und nicht über Kompression stabilisiert. Bei einer osteosynthetisch stabilisierten Radiusfraktur kommt es zu einer Übertragung der längsgerichteten Kraft über Scherkräfte auf den Schraubenkopf und damit die Platte. Ein hoher Anpressdruck der Platte ist für die Stabilität nicht notwendig. Winkelstabile Platten sind nicht abhängig vom axialen Schraubenzug im Knochen. Die Verwendung monokortikaler, subchondral verankerter Schrauben im Bereich des Gelenkblocks sind zur Abstützung der radialen Gelenkfläche ausreichend. Dadurch wird zusätzlich die medulläre Perfusion geschont ^{140,141}.

Winkelstabile Implantate gewährleisten eine adäquate und ausreichende Stabilität um physiologisch einwirkenden Kräften in der postoperative Phase und in der Frakturheilung zu widerstehen ¹⁴⁰. Blythe ¹⁴² untersuchte von dorsal und palmar eingebrachte winkelstabile Plattenosteosynthesen. Alle Platten hielten dabei einer Lasteinwirkung von 250 N und 5000 Zyklen stand. Dabei zeigten dorsal angelegte Platten im Vergleich zu den palmaren Platten eine höhere biomechanische Stabilität. Trease ¹⁴³ bestätigte dies in einer Untersuchung von winkelstabilen und konventionellen Platten. Diese wurden von dorsal und palmar angelegt. Die winkelstabilen Platten waren rigider als die konventionellen Platten. Ob

die zusätzliche Stabilität dorsaler Systeme von klinischer Relevanz ist, konnte die Studie nicht belegen.

Bei der Frakturversorgung mittels winkelstabiler Platte hat das System die Möglichkeit zu schwingen. Auftretende Mikrobewegungen der Frakturspaltumgebung fördern die Kallusbildung ¹⁴⁴.

Durch den Gebrauch winkelstabiler Bolzen oder Schrauben muss die Platte nicht direkt dem Knochen aufliegen, so dass der Platten-Knochenabstand die Bildung von periostalem Kallus auch unterhalb der Osteosynthese erlaubt. Jedoch ist ein Abstehen der Osteosynthese vom distalen Radius mit einer Erhöhung Ein minimalinvasives Einbringen der Osteosynthese ist so ebenfalls möglich. Ein geringeres operatives Trauma unter Schonung des Periostes und die Fähigkeit des Systems zu schwingen, verbessert die Frakturheilung ¹⁴⁵. Die Anforderung an die Osteosynthese besteht damit in einer hinreichenden stabilen Schienung der Fraktur unter bestmöglicher Schonung der Weichteile und Perfusion in der Frakturmgebung.

Ein wesentlicher Nachteil der ersten Generation winkelstabiler Plattenosteosynthesen bestand in der Unidirektionalität des Verblockungsmechanismus zwischen Schraubenkopf und Platte. Die Schraubenrichtung ist dabei durch das Plattengewinde vorgegeben. Eine optimale Positionierung der Schrauben in den jeweiligen Fragmenten ist so nicht möglich.

Durch die Entwicklung multidirektionaler Platten wurde dieses Problem verbessert. Je nach Plattenmodell können die Schrauben mit einer Winkelabweichung von $^{+/-}10-15$ Grad eingebracht werden. Das gezielte Fassen von Fragmenten, sowie die fraktur- und anatomiespezifische Anpassung der Implantate werden durch diese Variabilität möglich.

Im Gegensatz zu den konventionellen Platten ist die Gefahr der retrograden Schraubenwanderung bei winkelstabiler Verankerung geringer ¹³⁹.

Aufgrund der empirisch guten Erfahrung mit winkelstabilen Implantaten, scheint eine randomisierte Vergleichsstudie zwischen winkelstabilen und konventionellen Osteosynthesen am distalen Radius als nicht vertretbar. Damit bleibt in der Praxis nur der Erfahrungsaustausch auf Basis einer sorgfältigen und kritischen Analyse der Einzelergebnisse. Ein Nachteil der winkelstabilen Implantate liegt in einer gewindebedingt stärkeren Dicke und der Gefahr von Kaltverschweißungen zwischen Platte und Schraubenkopf, wodurch eine Metallentfernung deutlich erschwert wird ¹¹³. Auch die höheren Kosten in der Primärversorgung sind ein deutlicher Nachteil. Winkelstabile Platten kosten im Vergleich zu konventionellen Platten deutlich mehr. Für die Schrauben sind mit etwa vierfach so hohen Preisen zu rechnen. Während die konventionelle Platte der Firma Synthes bei etwa 30 Euro liegt,

kostet die winkelstabile LCP zwischen 166-267 Euro. Während die konventionellen Schrauben bei 12-16 Euro liegen, kosten die winkelstabilen Schrauben zwischen 36- 40 Euro.

1.9.2.6.1 Dorsale winkelstabile Plattenosteosynthesen

Bei komplexen Frakturen mit notwendiger Gelenksrekonstruktion unter Sicht oder bei zusätzlichen, operativ zu versorgenden Verletzungen des in- oder extrinsischen Bandapparates, bietet sich die Versorgung einer distalen Radiusfraktur von dorsal an. Häufige Verwendung fand dabei die Pi- Platte verwendet ^{5,138}. Die Fraktur kann dabei nach Reposition biomechanisch ausreichend bis zur Konsolidierung retiniert werden. Bei intraartikulären Frakturen besteht bei dem dorsalen Zugang die Möglichkeit durch Eröffnung der dorsalen Gelenkkapsel das radiokarpale Gelenk einzusehen. Dadurch ist bei komplexen intraartikulären Frakturen eine optimale Reposition unter Sicht möglich. Bewegungseinschränkungen durch die dorsale Kapsulotomie sind dabei nicht zu erwarten. Nur selten besteht bei dieser Osteosynthese der Bedarf einer Spongiosaanlagerung bei metaphysärer Trümmerzone. Erschwerend bei der Plattenanlage sowie bei der Gestaltung des Plattendesigns stellt sich das Tub. listeri als zeltförmige Erhebung des dorsalen Radius dar. Bei der Doppelplattenosteosynthese wird eine Platte radial- und die weitere Platte ulnar des Tub. listeri angebracht. Dadurch wird die radiale und intermediäre Säule separat stabilisiert ²³. Um das Risiko einer osteosynthesebedingten Sehnenruptur zu vermeiden, sollte nach Konsolidierung der Fraktur eine zeitnahe Metallentfernung nach etwa vier Monaten erfolgen ^{136,137}. Im Vergleich zu einer palmaren Plattenanlage findet sich ein bessere Stabilität gegenüber einer Beweglichkeit im Frakturspalt ^{141,146}.

Nach der AO Klassifikation können alle Frakturtypen bis auf B1 Frakturen versorgt werden. Auch bei Osteoporose zeigt sich nur ein geringer Korrekturverlust und gute Ausheilungsergebnisse ^{137,147}. In den meisten Nachuntersuchungen zeigten sich insgesamt gute bis sehr gute Ergebnisse. Zingg ¹³⁸ stellte Strecksehnenirritationen bei 18% des Patientenguts fest. Nach einer Metallentfernung kam es zu einer deutlichen Verbesserung der Beschwerden und Beweglichkeit des Handgelenkes. Sánchez ¹⁴⁶ berichtete von fünf Strecksehnenrupturen bei einem Patientenkollektiv von 389 Patienten in den ersten zwei Monaten nach der Operation. Bei 75% der Patienten erfolgte einer Metallentfernung nach 6- 8 Monaten.

Nachteilige Ergebnisse präsentierte Grewal ¹⁴⁸ im Rahmen einer prospektiv randomisierten Vergleichsstudie zwischen Fixateur externe in Kombination mit K- Draht- Spickung und dorsaler winkelstabiler Plattenosteosynthese: Letztere zeigte sich dabei bezüglich der Komplikationsraten, der Handkraft und dem Schmerzlevel nach einem Jahr als unterlegen. Herron ¹⁴⁹ sieht in der dorsalen winkelstabilen Plattenosteosynthese aufgrund der häufigen Komplikationen und zwingenden Metallentfernung keine ideale Lösung bei jungen Patienten mit distaler Radiusfraktur.

1.9.2.6.2 Palmare winkelstabile Plattenosteosynthesen

In den letzten Jahren kam es zu einer grundlegenden Veränderung der Behandlung der distalen Radiusfraktur. Es wird geschätzt, dass aktuell 90% der distalen Radiusfrakturen mittels volarer winkelstabiler Platte versorgt werden ¹⁵⁰.

Die ersten winkelstabilen Plattensysteme waren unidirektional, wodurch die jeweiligen winkelstabilen Schrauben nur in einer festgelegten Richtung und Winkel eingebracht werden konnten. Die am weitesten verbreiteten Systeme waren die 2,4/2,7-mm- T-Platten, sowie die 3,5/2,4/2,7-LCP der Firma Synthes, Umkirchen ¹⁵¹. Insgesamt konnten mit dieser Implantatgeneration gute Ergebnisse erzielt werden. Constantine ¹⁵² erzielte 2002 bei 20 Fällen 40% sehr gute, 40% gute und 20% durchschnittliche Ergebnisse. Arora ¹³¹ zeigte bei 112 Patienten bei einem DASH- Score von 14,8 Punkten ein gutes Ergebnis. Bei C3 Frakturen kam es jedoch gehäuft zu Komplikationen. Sakhaii ¹⁵³ wies bei 100 Patienten in 15% sehr gute, in 56% gute, in 28% befriedigende und in 1% schlechte Ergebnisse nach. Aufgrund der Limitierung in der Implantatplazierung bei unidirektionalen Systemen kam es zur Entwicklung multidirektionaler Systeme, wodurch eine größere Variabilität bezüglich der Schraubenpositionierung und Implantatplazierung möglich wurde. Meier ¹⁵¹ zeigte in einer prospektiven Untersuchung in einem Follow-up von 26 Wochen eine subjektiv und objektiv nahezu identische Funktion wie die Gegenseite, ohne radiologischem Repositionsverlust. Die Ergebnisse entsprachen in etwa denen der unidirektionalen Platten. Mehling ¹⁵⁴ zeigte bei 55 Patienten einen DASH Score von 14 Punkten. Figl ¹⁵⁵ erreichte bei 80 Patienten in 38% ein sehr gutes, in 61% ein gutes und in 1% ein befriedigendes Ergebnis. Der Zugangsweg erfolgt beim palmaren Zugangsweg über der Sehne des M flexor carpi radialis. Die Präparation auf den Radius kann ulnar oder radial der Sehne fortgesetzt werden.

Radial der Sehne ist eine gedeckte Präparation am N. medianus vorbei auf den M. pronator quadratus möglich. Der Nerv liegt dabei direkt unter der Sehne. Ulnar der Sehne wird eine bessere Darstellung des N. medianus und seines sensiblen Astes Ramus palmaris ermöglicht. Bei Bedarf besteht die Möglichkeit den Karpaltunnel zu spalten. Besonders bei ulnaren Kantenfragmenten gibt dieser Zugangsweg dem Operateur eine bessere Übersicht. Der N. medianus kann dabei nach radial oder ulnar gehalten werden. Wird dieser nach radial gehalten, muss der R. palmaris weniger mobilisiert werden, wird er nach ulnar gehalten, muss der N. medianus weniger aus seinem Bett mobilisiert werden¹¹³. Wegen der Verletzungsgefahr des N. medianus und dessen sensiblen Astes sollte dieser Zugangsweg nach Möglichkeit vermieden werden, so dass ein radialseitiger Zugang empfohlen wird. Besteht dabei der Bedarf einer zusätzlichen CTS- Spaltung sollte ein zusätzlicher kleiner Schnitt in der Hohlhand durchgeführt werden. Zur Darstellung der palmaren Radiusfläche wird der M. pronator quadratus radialseitig abgelöst und stumpf nach ulnar abgelöst. Nach Reposition und Plattenanlage sollte der M. quadratus über die Osteosynthese gelegt und nach Möglichkeit an der radialen Insertion refixiert werden. Eine gute Weichteildeckung und Beugesehnengleitfläche ist damit gegeben. Unter Schonung der dorsalen Weichteile kommt es zu einer schnellen Heilung bei sehr guten Ergebnissen. Die Anzahl notwendiger Spongiosaimplantationen hat bei verbesserter biomechanischer Stabilität der Osteosynthesen deutlich abgenommen¹⁵⁶.

Der beugeseitige Zugang wird in der Literatur als komplikationsärmer angegeben¹⁵². Der wesentliche Vorteil dieses Zugangsweges im Vergleich zur dorsalen Plattenapplikation liegt im schonenderen Zugang und besseren Weichteildeckung der Osteosynthese. Im Vergleich zur dorsalen Plattenanlage resultieren deutlich weniger Sehnenirritationen¹⁵⁷.

Im Gegensatz zum dorsalen Zugangsweg, sollte die Handgelenkkapsel und die radiokarpalen Bandstrukturen nicht durchtrennt werden. Es drohen Handgelenksinstabilitäten und Bewegungseinschränkung. Bei intraartikulär komplexen Frakturen kann das Gelenk damit nicht direkt eingesehen werden. Durch die winkelstabilen Plattenosteosynthesen ist die palmare Plattenapplikation bei sicherer Retention des Repositionsergebnisses auch bei Radiusfrakturen mit dorsaler Trümmerzone möglich¹⁵⁸. Im Vergleich zu andern Osteosyntheseverfahren und der konservativen Therapie ist eine additive Gipsruhigstellung bis zur Konsolidierung der Fraktur nicht zwingend notwendig¹⁵⁹. Damit besteht eine Möglichkeit der funktionellen Nachbehandlung¹⁶⁰.

Aktuell wird die volare winkelstabile Plattenosteosynthese zunehmend als Therapie der Wahl propagiert¹⁶¹. Bisher gibt es aber in der Literatur keine ausreichend validierten Da-

ten, welche eine evidente Überlegenheit des Verfahrens gegenüber den herkömmlichen Therapiestrategien beweisen konnten¹⁶².

Köck¹⁶⁰ zeigte in einer retrospektiven Studie an 603 Patienten zwischen Januar 1999 bis Dezember 2003, dass mit diesem Verfahren auch höhergradige instabile Radiusfrakturen vom Typ C2 und C3 versorgt werden können. Die Komplikationsrate war dabei gering.

Ochman¹⁵⁸ verglich die volare winkelstabile Platte mit dem Fixateur externe. Dabei zeigten sich im Gesamten eindeutige Vorteile zugunsten der volaren Platte. Während sich nach 24 Monaten kein signifikanter Unterschied im DASH Score zeigte, war das radiologische Ergebnis doch signifikant besser.

Im Vergleich zur dorsalen winkelstabilen Platte bei C2 und C3 Frakturen ließ sich ein annähernd gleiches Ergebnis im DASH- Score nachweisen. Der Gartland- Werley- Score, sowie die geringere Anzahl von Komplikationen und vorzeitige Metallentfernungen fiel zugunsten der volaren Platte aus¹⁵⁷.

In einer prospektiven Multicenterstudie kam es im Therapieverlauf zu einer zunehmenden Besserung der Funktion und Beweglichkeit zwischen sechs Monaten um einem Jahr. Danach zeigte sich keine wesentliche Besserung mehr. Bei 71 intraartikulären Frakturen waren nur bei 5 Patienten Gelenkstufen >2mm nachweisbar. Nur 9 von insgesamt 150 Patienten hatten Sehnenreizungen. Aufgrund einer abstehenden Platte und prominenten Schraubenköpfen kam es in zwei Fällen zu einer Sehnenruptur¹⁰⁴.

Windolf¹⁶³ befand die volare winkelstabile Platte als gute Osteosyntheseform. Bei sachgerechter Indikationsstellung und schonender Operationstechnik können durch exakte Schraubenlänge und Plattenlage Sehnenkomplikationen vermieden werden. Frakturen mit ausgeprägten intraartikulären Trümmerzonen oder sehr kleinen Fragmenten sind für die Versorgung von palmar nur eingeschränkt geeignet.

Bezüglich der Indikation zur Metallentfernung gibt es nur wenige Publikationen¹⁵⁰. Unter Abwägung der Vor- und Nachteile wird eine grundsätzliche Metallentfernung als nicht sinnvoll angesehen. Bei nach dorsal überragenden Schrauben, intraartikulärer Lage, gelockertem Schraubenkopf oder abstehender Platte, sollte aufgrund drohender Komplikationen eine Metallentfernung durchgeführt werden. Gleiches gilt für Infektionen im Plattenlager oder einem Kompartmentsyndrom.

Aufgrund der verstärkten Plattendicke bei winkelstabilem Gewinde, oder durch nicht voll versenkte Schraubenköpfe kann es zu einer Irritation der Sehne des M. flexor pollicis longus kommen. Verwachsungen an der rauen Titanoberfläche können zu Schmerzen und Bewegungseinschränkung und damit eine Indikation zur Metallentfernung darstellen.

Bei Belassen der Osteosyntheseplatte könnte es nach Jahren aufgrund von Verwachsungen und möglicher Kaltverschweißung zu einer erschweren Metallentfernung kommen. Zu dieser Thematik gibt es jedoch bis aktuell keine Untersuchungen. Besonders periprothetische Frakturen stellen sich so als komplex zu versorgen dar. Langzeitergebnisse, wie sich die aktuellen Titanimplantate über Jahre verhalten, stehen derzeit noch aus. Dies betrifft besonders die jüngeren Patienten¹⁵⁰.

In den letzten zwei Jahren wurde das Design der aktuellen winkelstabile Platten grundlegend verändert. Durch die Multidirektionalität der Schraubengewinde war eine fragment-spezifischere Platzierung der Schrauben möglich. Je nach Hersteller kommen dabei unterschiedliche technische Lösungen zum Einsatz. Die Plattenformen werden anatomisch vorgeformt angeboten. Um eine dreidimensionale Gestaltung zu ermöglichen, werden sie aus einem Block gefräst. Die Materialkosten und der Produktionsaufwand sind deshalb höher. Durch anodisierte Oberflächen soll das Anheften des umliegenden Gewebes reduziert werden.

Die distale Ausrichtung der neuen Platengeneration richtet sich weniger nach der distalen Radiusgelenkfläche, sondern nach dem Verlauf der sogenannten „Watershadseline“, dem Ansatz der palmaren Kapselbandstrukturen. Diese verläuft eher quer zur Radiuslängsachse und folgt nicht der radioulnaren Inklinierung. So soll die Plattenanlage vereinfacht werden und es zu weniger Impingementsyndromen zwischen Handgelenk und Platte kommen. Der Abstand zu den tiefen Beugesehnen soll im Gelenkbereich erhöht werden. Die Gefahr einer intraartikulären Schraubenplatzierung soll geringer sein. Das Fassen des Prozessus styloideus radii ist jedoch durch den resultierenden steilen Winkel der Schraube erschwert, die resultierende biomechanische Belastbarkeit korreliert indirekt mit dem zunehmenden Winkel der eingebrachten Schraube¹⁶⁴. Vorangulierte Gewindebohrungen wie bei der anatomischen VariAx Platte der Firma Stryker richten sich deshalb bereits nach der zu erwartenden Schraubenrichtung. Die Multidirektionalität des Verblockungsmechanismus kann dadurch besser ausgenutzt werden. Die Dicke der Platte nimmt jedoch damit zusätzlich zu, was Sehnenirritationen begünstigt.

Ein weiterer Nachteil besteht in der Röntgenundurchlässigkeit des Materials Titan und Stahl. Ist die Platte intraoperativ platziert, können keine Aussagen über den Frakturverlauf unter der Platte getroffen werden.

Bei den aktuellen Plattendesigns finden sich meist zwei Schraubenreihen für den distalen Gelenkblock. Dies führt zu einer besseren biomechanischen Stabilität und verbesserter Anpassungsmöglichkeit an die jeweiligen anatomischen Gegebenheiten. Während die di-

stale Reihe subchondral monokortikal platziert werden soll, sollten sich die Schrauben der proximalen Reihe gegen die dorsale Radiuslippe richten. Diese Schraubenplatzierung bringt eine signifikant höhere biomechanische Stabilität¹⁶⁵. Um eine größtmögliche biomechanische Stabilität zu erzielen, müssen alle Gewindelöcher besetzt werden. Die Schrauben sollten gegeneinander divergierend eingebracht werden. Dadurch wird die Gefahr eines sogenannte Cuttig- out der rigide verankerten Schrauben in das Gelenk reduziert, mehr spongiöses Volumen gefasst und die subchondrale Abstützung erhöht.

1.9.2.6.3 Doppelplattenosteosynthese

Kann eine Radiusfraktur von einseitig dorsal oder volar nicht anatomisch reponiert und rethiniert werden, so muss an die Möglichkeit einer Doppelplattenosteosynthese im Sinne einer Sandwich-Konstruktion gedacht werden. Mit dieser Technik lässt sich die radioulnare Gelenkfläche unter Sicht von dorsal gut anatomisch rekonstruieren. Mit bis zu 50% zeigt sich in der Literatur jedoch eine hohe Arthroserate bei Patienten, welche mit diesem Verfahren versorgt wurden^{166,167}. Ursächlich ist vermutlich die Schwere der Verletzung mit dem hohen posttraumatischen Dislokationsgrad der Fraktur. Des Weiteren zeigt sich eine hohe CRPS-1- Rate. Diese wird durch das initiale- und operative Trauma bei dorsalem und volarem Zugang erklärt¹⁶⁸.

1.10 Standard der Radiusfrakturbehandlung im Klinikum Bad Reichenhall

Nach erfolgter Anamnese und klinischer Untersuchung werden zwei Röntgenbilder im ap- und seitlichen Strahlengang angefertigt. Anhand der Röntgenbilder werden der Frakturtyp und die Dislokation bestimmt. Im Falle komplexer Frakturen, vornehmlich mit Gelenkbeteiligung wird im weiteren Verlauf ein CT- durchgeführt.

Mittels Mädchenfänger wird die Fraktur ausgehängt. Bei Bedarf erfolgt eine Reposition in Bruchspaltanästhesie oder Analgosedierung. Das Ergebnis wird in einem gespaltenen Unterarmweißgips fixiert. Im Anschluss wird das Ergebnis radiologisch in zwei Ebenen kontrolliert.

Offene Frakturen, Frakturen mit Neurologie und Frakturen bei denen eine achsgerechte Reposition nicht erfolgreich durchgeführt werden kann, werden sofort operativ versorgt und die Weichteile bei Bed. debridiert. Geschlossene Frakturen werden je nach Grad der

Schwellung zeitnah oder in den nächsten Tagen versorgt. Komplexe Frakturen mit Gelenkbeteiligung und offene Frakturen werden mit einem dorsalen Fixateur externe Primär-versorgt. Die offene Reposition und Plattenosteosynthese erfolgt nach Konsolidierung der Weichteile oder weiterführender präoperativer Planung mittels CT bei komplexen Frakturen. Dabei wird der palmar Zugangsweg radial der Sehne Flexor carpi radialis durchgeführt und die palmar multidirektional winkelstabile Matrix- Plattenosteosynthese der Firma Stryker verwendet. Die offene Reposition sowie Plattenosteosynthese wird in Blutsperre durchgeführt. Der Karpaltunnel wird nur bei Vorliegen einer Neurologie des N. medianus gespalten.

Postoperativ wird das betroffene Handgelenk mittels einer palmaren Fieberglasschiene ruhiggestellt. Der erste Verbandswechsel erfolgt mit dem Redonzug am zweiten Tag post Op.

Nach Konsolidierung der Weichteile wird ein gespaltener Unterarm Softcast angepasst. Je nach intraoperative Befund und Wunsch des Operateurs wird eine frühfunktionelle Beübung aus dem Cast oder eine Ruhigstellung des Handgelenkes durchgeführt. In der Regel wird eine frühfunktionelle Behandlung bevorzugt. Diese beinhaltet eine Beübung der Fingermotorik ab sofort und passive Bewegungsübungen aus dem Cast im schmerzfreien Intervall im Flexion/ Extension und Supination/ Pronation. Nach 2 Wochen beginnt die aktiv- assistiv Beübung im ebenfalls schmerzfreien Intervall. Die Lymphdrainage erfolgt in den ersten 14 Tagen bis Fadenzug regelmäßig. Nach vier Wochen kann bei entsprechender Compliance des Patienten und Schmerzfreiheit auf den Cast zugunsten einer Handgelenksorthese für weitere zwei Wochen verzichtet werden. Nach der 6. Woche erfolgt die klinische Abschlussuntersuchung mit Röntgenkontrolle in zwei Ebenen.

Eine aktive Beübung des Handgelenkes gegen Belastung beginnt nach der 6. Woche je nach Grad der Konsolidierung und Maßgabe der Beschwerden.

Eine Metallentfernung wird bei jungen Patienten nach einem Jahr empfohlen, im Falle von Irritationen durch das Osteosynthesematerial auch je nach klinischem Befund und Grad der Konsolidierung vorzeitig.

2 Patienten/ Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Bei der Studie handelt es sich um eine retrospektive Nachbeobachtungsstudie. Sie wurde von Januar bis Mai 2010 durchgeführt.

Es wurden nur Patienten mit einer Radiusfraktur Typ 23A2/3, 23C2 und 23C3 in die Studie mit eingeschlossen, welche zwischen Januar 2005- März 2008 im Klinikum Bad Reichenhall mit einer palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese nach der im Abschnitt 1.10. beschriebenen Methode versorgt wurden.

Die Zuordnung zu den einzelnen Frakturtypen erfolgte anhand der präoperativen radiologischen Diagnostik sowie den jeweiligen Operationsberichten.

Als Ausschlusskriterium galten neben 23 A1, B1/ 2/ 3 Frakturen begleitende Frakturen der Handwurzelknochen, scapholunäre Bandläsionen und ein Anfahrtsweg größer 100km.

Es wurde die radiologische Verlaufsdokumentation und die dokumentierten Krankheitsverläufe ausgewertet, es erfolgte eine stets photodokumentierte Untersuchung der Handgelenke nach festgelegten Parametern. Des Weiteren wurden in der Literatur gängige Scores bestimmt. Die gewonnenen Daten wurden statistisch ausgewertet und in Bezug zur aktuellen Literatur gesetzt.

2.2 Osteosynthese

92 Patienten wurden mit der Matrix SmartLock der Firma Stryker versorgt. Dabei handelt es sich um eine anatomisch vorgeformte, multidirektionale winkelstabile palmare Platte. Es ist eine Winkelfreiheit der Schrauben von +/- 10 Grad möglich.

2 Patienten wurden mit der palmaren winkelstabilen 3,5 mm-T-LCP Plattenosteosynthese der Firma Synthes versorgt.

2.3 Nachuntersuchung

2.3.1 Untersuchungsablauf

Der Patient erhielt das Anschreiben mit der Einladung zur Nachuntersuchung und ausführlichem Informationsmaterial über die Studie per Post. Im Anschluss erfolgte eine telefonische Terminvereinbarung. Dabei brachte er die zugeschickte Einverständniserklärung unterschrieben mit zum Untersuchungstermin.

Vor Beginn der Datenerhebung wurde ein ausführliches mündliches Aufklärungsgespräch geführt, bei welchem die Möglichkeit bestand alle verbliebenen Fragen abschließend zu klären.

2.3.2 Krankheitsverlauf

Es wurde ein Aktenstudium durchgeführt. Dabei wurde das Alter zum Unfallzeitpunkt, vorbestehende Funktionseinschränkungen der Extremität, begleitende Verletzungen dokumentiert. Weiter wurden der Unfallhergang, der Zeitraum zwischen Unfall und Frakturversorgung, die Art der Reposition sowie der stationäre und poststationäre Verlauf sowie aufgetretene Komplikationen festgehalten.

Anhand des Operationsberichtes und der präoperativen bildgebenden Diagnostik führten wir eine Frakturklassifikation nach AO durch.

2.3.3 Anamnese

Es erfolgte ein Abgleich mit den aus der Dokumentation entnommenen Daten. Es wurde die Händigkeit erfragt. Es wurde besonders auf vorbestehenden Beschwerden oder Bewegungseinschränkungen des Handgelenkes sowohl der betroffenen- als auch der Gegenseite eingegangen. Auch nach etwaigen Komplikationen im bisherigen Verlauf wurde gefragt.

2.3.4 Inspektion und Palpation

Es wurde beidseits die Silhouette der Handgelenke, der Hypotenar- und Thenarmuskulatur auf Atrophiezeichen, Hidrosis, Schwellung und Fehlstellungen überprüft. Im Anschluss erfolgte die palpatorische Untersuchung, die Überprüfung der Sensibilität und Überprüfung des Pulsstatus sowie des arteriellen Refills. Es erfolgte eine Photodokumentation der Handgelenke beidseits von palmar, dorsal und seitlich in Neutralstellung. Die Sensibilität wurde beidseits im Bereich des Handgelenkes, der Hand und der Finger untersucht. Es wurden die Qualitäten spitz, stumpf und Zweipunktdiskrimination getestet. Dabei wurden ein Wattestäbchen und eine aufgebogene Büroklammer benutzt.

2.3.5 Funktionelle Untersuchung

Es wurde das passive Bewegungsausmaß bezüglich Dorsalflexion, Palmarflexion, Radial- und Ulnaduktion sowie Pronation und Supination der frakturierten Seite gemessen.

Die Messung erfolgte nach der Neutral- Null- Methode mit dem Winkelmesser. Bei der Neutral- Null- Methode befinden sich alle Gelenke des Körpers in Neutralstellung, wenn der Proband mit parallel gestellten Füßen, in aufrechtem Stand und nach vorn gerichtetem Blick steht. Dabei hängen die Arme mit gestreckten Fingern und nach vorn gerichtetem Daumen. Die jeweiligen Bewegungsausmaße wurden photographisch dokumentiert.

2.3.5.1 Messung der Bewegungsausmaße

Die Messung der Bewegungsausmaße erfolgte wie in den Abbildungen dargestellt unter Zuhilfenahme eines Winkelmessers nach der Neutral- Null- Methode.

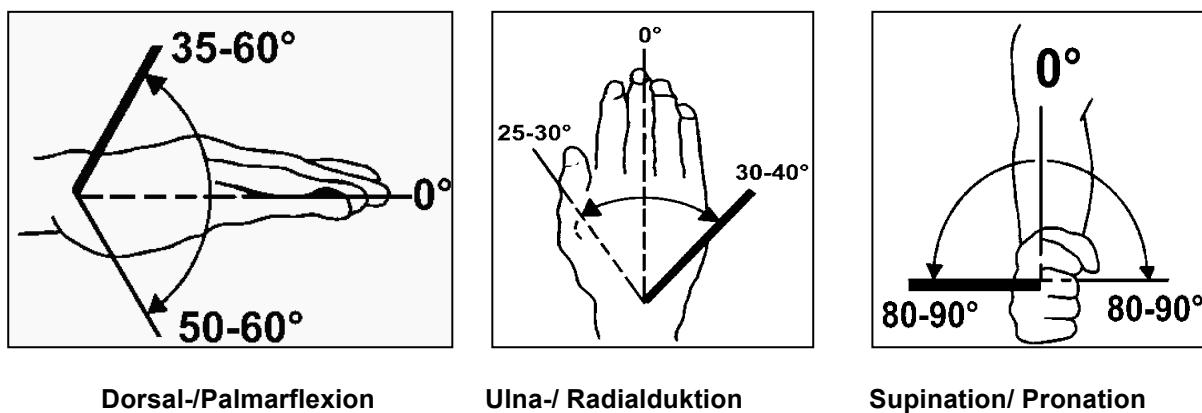


Abbildung 4 Bewegungsausmaß des Handgelenkes

2.3.6 Radiologische Auswertung

Es wurden die präoperativen-, direkt postoperativen und jüngsten postoperativen Röntgenbilder im anterior- posterioren sowie streng seitlichen Strahlengang ausgewertet.

Anhand der präoperativen Röntgenbilder erfolgte eine genaue Analyse des Frakturtyps. Dabei wurde neben der Fraktureinteilung nach der Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesen besonders auf die Beteiligung des distalen Radioulnargelenkes geachtet. Dabei wurde darauf geachtet ob der Frakturverlauf die Sigmoid notch mit einbezieht, oder diese disloziert steht.

Anhand der postoperativen Röntgenbilder wurde die Lage des Implantates im Rahmen der Terminabsprache zur Nachuntersuchung wurden die Patienten gebeten durchgeführte Verlaufskontrollen von den niedergelassenen Kollegen mitzubringen. Damit konnte bezüglich des bisherigen Heilungsverlaufes eine aussagekräftige Bilddokumentation zusammengetragen werden.

2.3.6.1 Bestimmung des radioulnaren Gelenkwinkels

Es wird eine Linie (X) parallel zum Radiusschaft gezogen. Im Lot dazu wird eine weitere Linie (Z) auf Höhe des ulnarseitigen Endes des radialen Gelenkflächen (Punkt C) gezogen. Eine dritte Linie (Y) wird zwischen Proz. styl. radii und Punkt C gezogen. Der Winkel zwischen Linie Z und Y beschreibt den radioulnaren Gelenkwinkel (DiBenedetto et al.)

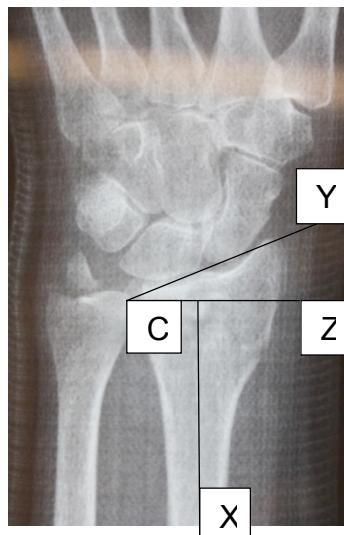


Abbildung 5 Bestimmung des radioulnaren Gelenkwinkels

2.3.6.2 Bestimmung des seitlichen Radiusgelenkwinkels

Es wird eine Linie X im Zentrum der Radiusachse gezogen. Die Linie Y verläuft durch die zwei distalen Punkte des Radius. Zur Radiusachse wird im Schnittpunkt der Linien X und Y die Linie Z im Lot auf die Linie X gezogen. Der seitliche Radiusgelenkwinkel bezieht sich auf den Winkel zwischen der Linie Y und Z (DiBenedetto et al.)

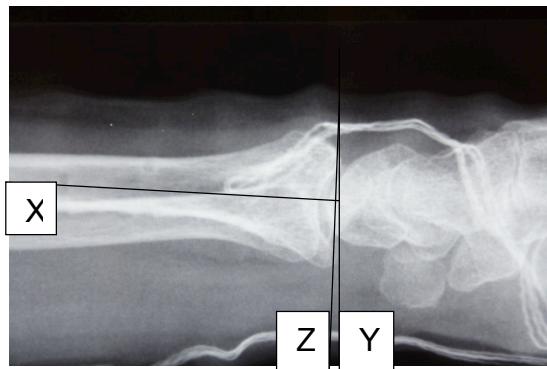


Abbildung 6 Bestimmung des seitlichen Radiusgelenkwinkels

2.3.6.3 Bestimmung der relativen Ulnalänge

Es wird eine Linie X parallel zum Radiusschaft gezogen. Im Lot dazu wird eine weitere Linie Z auf Höhe des ulnarseitigen Endes des radialen Gelenkflächen (Punkt C) gezogen.

Es wird eine Linie Y in der anterior-posterioren Aufnahme auf Höhe der distalen Ulnagelenkfläche gezogen. Der Abstand zwischen den Linien Z und Y beschreibt die relative Ulnalänge



Abbildung 7 Bestimmung des Ulnavorschubs

2.3.6.4 Bestimmung von Gelenkstufen und Dehiszenzen

In den direkt postoperativen Röntgenbildern des Handgelenkes in zwei Ebenen werden sowohl Gelenkstufen als auch Dehiszenzen in Millimetern ausgemessen.

2.3.7 Nachuntersuchungsbögen

2.3.7.1 DASH- Score

Dieser Score wurde 1996 von Hudak ¹⁶⁹ beschrieben (siehe Kapitel 7. Anhang). Dabei handelt sich um einen Test, durch den ein regionales Behandlungsergebnis dargestellt wird und der sich auf die gesamte obere Extremität als eine funktionelle Einheit bezieht. Das Testverfahren beurteilt das Ergebnis durch den Patienten selbst. Faktoren wie Kraft, radiologische Ergebnisse, und Bewegungsausmaße gehen dabei nicht mit ein.

Der DASH-Score bezieht sich dabei auf subjektive Symptome und die Wahrnehmung des Patienten auf die Funktion.

Es sind dabei insgesamt 30 Fragen zu beantworten. Es gibt jeweils 5 Antwortmöglichkeiten pro Frage. Es stehen je 5 Antwortmöglichkeiten zur Verfügung. Die Skala reicht dabei von „keine Schwierigkeiten“ oder „keine Symptome“ bis „Aktivität ist nicht möglich“ oder „sehr starke Symptome“. Das Mindestergebnis pro Frage beträgt 1 Punkt, das Höchstergebnis 5 Punkte. Ein niedriger Wert bedeutet keine oder nur sehr geringe Einschränkungen, ein hoher Wert erhebliche Schwierigkeiten. Die Punktzahl berechnet sich nach der Formel: DASH- Punktzahl = (Summe der Antworten-1) x 25/ Summe der Frage. Dabei ist „0“ der Beste Wert und der „100“ der Schlechteste Wert.

Beaton ¹⁷⁰ zeigte, dass bei einem Unterschied von 12,5 Punkten zwischen zwei Ergebnissen von einem klinisch messbaren Unterschied ausgegangen werden kann. Insgesamt ist es aber schwierig einen genauen Punktewert zu definieren. Bei einem Unterschied von mindestens 5% kann von einer klinisch bemerkbaren Unterscheidung ausgegangen werden.

Die Beantwortung der Fragen benötigt in etwa 10-15 min, die Auswertung benötigt weitere 10min. Die Zuverlässigkeit beträgt 0,9615, die Reproduzierbarkeit 0,9219

Die Validität im Vgl. mit anderen Verfahren wie z.B. SPADI (Shoulder Pain And Disability Index) liegt bei 0,72. Die Beurteilung der Schmerzintensität ist mit 0,67 jedoch schwach.

2.3.7.2 Gartland and Werley Score

Dieser Test wurde 1951 von Gartland and Werley ¹⁷¹ beschrieben (siehe Kapitel 7. Anhang). Dabei erfolgt die Beurteilung des Behandlungsergebnisses durch den Untersucher selbst. Es handelt sich so um eine objektive Evaluation der Handgelenkfunktion

Dabei wird eine Dorsalflexion von 45 Grad, eine Palmarflexion von 30 Grad, eine Ulnar/Radialduktion von 15 Grad und eine Supination und Pronation von je 50 Grad als Normal angesehen. Je nach Bewegungseinschränkung werden Punkte vergeben. Bezuglich der erzielten Punktezahl wird das Ergebnis als exzellent, gut oder schlecht eingestuft.

Sarmiento modifizierte im Verlauf den Bewertungsbogen indem er zusätzliche die Beurteilung von Griffstärke und Pronationseinschränkung mit einbezog.

Lucas und Sachtjen ¹⁷² modifizierten den Test durch das Hinzufügen von Parametern be treffend Irritationen des N. medianus, CRPS und Einschränkung der Fingerbeweglichkeit. Die Griffstärke wurde aus dem funktionellen Ergebnis entfernt.

Es handelt sich dabei also um einen Score, welcher sich auf rein objektive Parameter stützt.

Obwohl er weit verbreitet ist, gibt es bisher keine Studien zu dessen Validierung.

2.3.7.3 Mayo- Wrist Score

Dieser Score wurde von Fernandez und Lamey ¹⁷³ 1998 vorgestellt (siehe Kapitel 7. Anhang). Dabei fließen sowohl subjektive, als auch objektive Parameter mit in das Ergebnis ein. Es werden die Kategorien Schmerz, Patientenzufriedenheit, Bewegungsumfänge und Griffstärke im Vgl. zur Gegenseite bewertet. Die einzelnen Punkte werden dabei addiert, wobei die Punktzahl 100 das maximal zu erreichende Ergebnis darstellt. Anhand der Gesamtpunktzahl werden die Ergebnisse in sehr gut, gut, befriedigend und schlecht eingeteilt.

In Kategorie „Schmerz“ erhält das beste Ergebnis „kein Schmerz“ 25 Punkte, „leichter Schmerz bei starker Aktivität“ und „Schmerzen nur bei Wetteränderung“ 20 Punkte, während „mittelgradiger Schmerz bei starker Aktivität“ oder „leichter Schmerz bei Alltagsaktivitäten“ 15 Punkte erhält. Ein „mittelgradiger Schmerz bei Alltagsaktivitäten“ gibt 5 Punkte und das schlechteste Ergebnis „Ruheschmerz“ 0 Punkte.

Die Kategorie Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis unterteilt sich in „sehr zufrieden“, „mittelmäßig zufrieden“, „nicht zufrieden aber arbeitsfähig“ und „nicht zufrieden und nicht arbeitsfähig“. Die höchste Punktzahl ist 25 und die Schlechteste 0 Punkte.

Die Kategorien „Bewegungsumfang“ und Griffstärke“ untergliedern sich in Stufen zu je in 25% Einschränkung. Die beste Punktzahl ist wieder 25 Punkte und die Schlechteste ist 0 Punkte.

2.3.7.3.1 Minderung des Bewegungsausmaßes

Bei der Erhebung der Minderung des Bewegungsumfanges wurden die Patienten gebeten die Minderung des Bewegungsumfanges im Vergleich zum Zustand vor dem Unfallereignis abzuschätzen. Dabei mussten die Patienten eine mögliche Minderung des Gesamtbewegungsumfanges in 25%- Intervallschritten angeben.

2.3.7.3.2 Minderung der Griffstärke

Um die Griffstärke zu beurteilen werden bei vergleichbaren Studien häufig Messungen der Griffstärke der operierten und der Gegenseite gemessen und miteinander in Bezug gesetzt. Die dadurch gewonnen Aussagen bezüglich einer möglichen Minderung der Griffstärke als Folge des Unfalls sind umstritten, da Unterschiede der Griffstärke zwischen der dominanten- und nicht dominanten Seite physiologisch sind. Aus unserer Sicht ist die subjektive Wahrnehmung des Patienten zur Abschätzung des Therapieergebnisses entscheidend. Entsprechend wurden die Patienten gebeten, eine mögliche Kraftminderung in der Hand und dem Handgelenk seit dem Unfallereignis in Schritten zu je 25% anzugeben.

2.3.8 Komplikationen

Entscheidend ist die Definition einer Komplikation, weshalb wir uns diesbezüglich an der Literatur orientieren. Dabei werden in der Regel nur die schwereren, revisionsbedürftigen Komplikationen genannt^{156,174–176}.

2.4 Auswertung

Die evaluierten Daten wurden in das Programm SPSS 14 der Firma IBM eingegeben und ausgewertet. Dabei wurde die Werte mittels Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung untersucht und mit dem Kruskal-Wallis-H Test auf Signifikanzen überprüft. Im Falle einer Normalverteilung wurden zwei nicht verbundene Stichproben mit dem T-Test untersucht. Korrelationen wurden mit dem Pearson- Test herausgearbeitet. Bei nicht normalverteilten Date wurden zwei Stichproben mit dem Mann-Whitney-U-Test verglichen. Korrelationstests erfolgten mit der Spearman-Formel.

3 Ergebnisse

3.1 Patientenkollektiv

Insgesamt wurden zwischen Januar 2005 und März 2008 507 Radiusfrakturen versorgt. Davon erfüllten 267 Patienten die Kriterien zur Teilnahme an der Nachuntersuchung. Das Geschlechterverhältnis weiblich zu männlichen Patienten betrug 4: 1 (50 Männer: 213 Frauen).

4,5% (n=12) der Patienten waren zwischenzeitlich verstorben und 4,1% (n=11) demenzbedingt nicht untersuchbar. 31,8% (n=85) Patienten hatten einen Anfahrtsweg größer 100km, 11,6% (n=31) haben sich auf das Anschreiben nicht gemeldet, bei 10,5% (n=28) Patienten war der aktuelle Wohnort nicht eruierbar und 2,2% (n=6) lehnten eine Teilnahme an der Studie ab. Letztlich folgten 70% (n=94) Patienten der Einladung und unterzogen sich der Nachuntersuchung.

3.2 Alter

Es handelte es sich um Männer und Frauen unterschiedlichen Alters. Das Durchschnittsalter des Kollektivs zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung lag bei 63,3 (+/-13,4) Jahren, das der Frauen bei 65,2 (+/-12,4) Jahren und das der Männer bei 55 (+/-12,4) Jahren. Der jüngste Patient war zum Zeitpunkt der Fraktur 30 Jahre alt, und der Älteste war 88 Jahre alt.

3.3 Geschlecht

Das Nachuntersuchungskollektiv bestand aus 18% (n=17) Männern und 82% (n=77) Frauen. Das Verhältnis männlich zu weiblich entsprach dabei in etwa dem des Gesamtkollektivs.

3.4 Follow up

Das Follow up lag im Mittel bei 36 Monaten. Das Minimum betrug 18 Monate, das Maximum 62 Monate.

3.5 Nachuntersuchungszeitraum

Der Nachuntersuchungszeitraum betrug im Mittel 35,8 Monate.

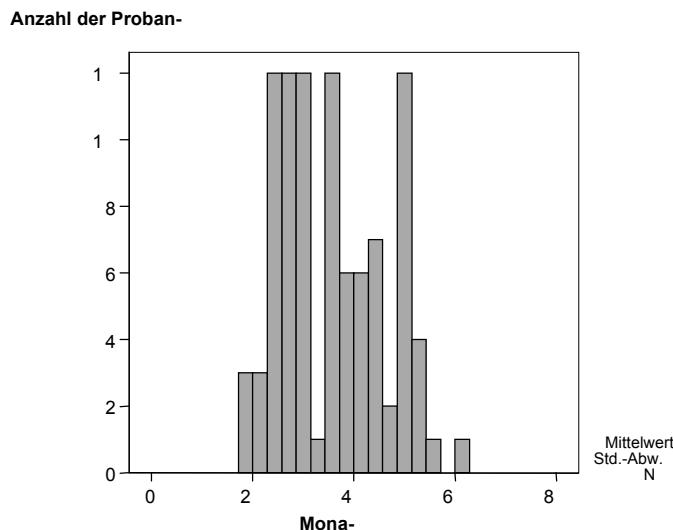


Abbildung 8 Nachuntersuchungszeitraum in Monaten

3.6 Frakturverteilung

Nach der AO Klassifikation (Müller et al. 1987) besteht das Kollektiv aus 34 nicht gelenkbeteiligten A2 und A3 Frakturen (36,2%), 40 C2 Frakturen (42,6%) und 20 C3 Frakturen (21,3%).

Das geschlechtsspezifische Verhältnis bezüglich der unterschiedlichen Frakturtypen ist in folgender Tabelle dargestellt:

	Mann	Frau	Gesamt
Frakturtyp A2/3	29,4%	36,2%	36,2%
Frakturtyp C2	47,1%	41,6%	42,6%
Frakturtyp C3	23,5%	20,8%	21,3%

Dabei zeigt sich im Mann-Whitney-U-Test für nicht normalverteilte unabhängige Stichproben kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen.

Dabei war in 42,9% der Fällen das distale Radioulnargelenk auf Höhe der Sigmoid notch in den Frakturverlauf mit eingeschlossen entsprechend den Frakturtypen Frykman 5-8. Die

Verteilung zwischen den Geschlechtern war gleich. Sowohl 57,1% der Männer, als auch 57,1% der Frauen zeigten keine Beteiligung des DRUGs.

3.7 Alter und Fraktur

Das Durchschnittsalter betrug 63,3(+/-13,4) Jahre.

Bezüglich beider Geschlechter zeigt sich eine signifikante Altersdifferenz. Der Altersmedian in der Gruppe der Frauen liegt bei 50,75 Jahren, während sich dieser bei den Männern bei 32,79 Jahren befindet (Mann-Whitney-Test $p=0,01$).

Die Korrelation nach Pearson zwischen dem Geschlecht und dem Unfallalter ist bei den Frauen mit 0,3 signifikant ($p=0,01$) positiv, während in der Gruppe der Männer diesbezüglich keine Korrelation festgestellt werden kann.

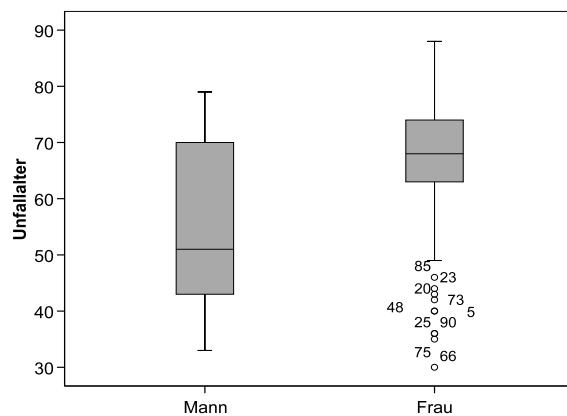


Abbildung 9 Geschlechtsspezifisches Alter zum Frakturzeitpunkt in Jahren

Während sich bei den Frauen ein zweigipfliger Verlauf zeigt, so ist die Zahl der Frakturen bei den Männern weitgehend homogen über die verschiedenen Altersgruppen verteilt.

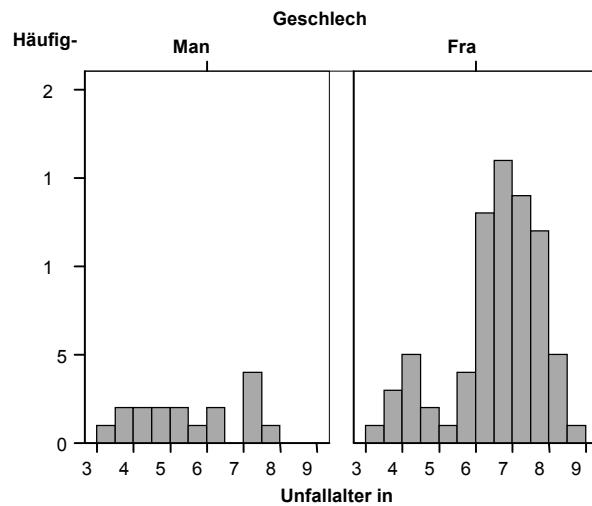


Abbildung 10 Geschlechtsspezifische Frakturinzidenz in Jahren

Im Bezug auf die Korrelation von Alter und Frakturtyp lässt sich keine signifikante Aussage treffen.

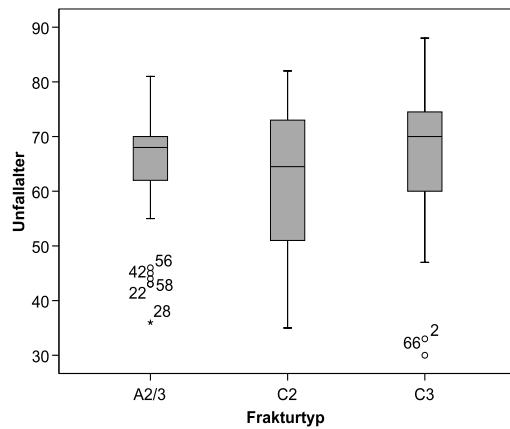


Abbildung 11 Altersverteilung der AO-Frakturtypen

3.8 Zusammenhang zwischen dominanter- und frakturierter Seite

In der Nachuntersuchungsgruppe finden sich 86,2% (n=81) Rechtshänder, 10,6% (n=10) Linkshänder und 1,1% (n=1) beidhändige Patienten. Bei 2 Patienten fehlte die diesbezügliche Dokumentation.

Bei 62,4% (n= 58) der Patienten handelt es sich um eine Fraktur des linken Handgelenks, bei 37,6% (n=35) um eine Fraktur des rechten Handgelenkes.

Während bei Rechtshändern mit 63% das Handgelenk der Gegenseite häufiger betroffen war, kam es bei Linkshändern mit 70% häufiger zu einem Bruch der entsprechenden linken Seite.

Im Spearman-Rho-Test kann mit bei einem Koeffizienten von 0,00 keine Korrelation zwischen der Händigkeit und der Bruchseite festgestellt werden.

3.9 Zeitraum zwischen Fraktur und Operation

Der größte Abstand zwischen Unfalltag und endgültiger Implantation der Plattenosteosynthese betrug 14 Tage. Zwischenzeitlich wurde die Fraktur mittels eines Fixateurs externe stabilisiert. Selbiges betrifft zwei weitere Patienten welche am Tag 12 sowie 8 post Trauma versorgt wurden.

Alle weiteren Patienten wurden zwischen dem Unfalltag selbst und dem 6. Tag versorgt.

Bei 51% (n=48) aller Patienten erfolgte der operative Eingriff noch am Unfalltag, bei 25,5% (n=24) am Folgetag und 8,5% (n=8) am zweiten Tag. Die weiteren 11,8% (n=11) verteilen sich homogen bis zum 6. Tag.

Dabei lässt sich kein signifikanter ($p=0.6$) Zusammenhang (Korrelationskoeffizient 0,05) zwischen dem Frakturtyp und der Anzahl der Tage zwischen Fraktur und Operation feststellen.

3.10 Komplikationen

Bei insgesamt 17% (n=16) der nachuntersuchten Patienten traten postoperative Komplikationen auf.

Dabei manifestierte sich bei 5,3% (n=5) Patienten eine Irritation des N. medianus. Bei zwei Patienten traten die Parästhesien im direkten postoperativen Verlauf auf, bei drei Patienten nach etwa einem halben Jahr. In einem Fall waren die Beschwerden selbstlimitierend in den anderen Fällen erfolgte eine Spaltung des Karpaltunnels und wenn möglich eine Metallentfernung.

3,2% (n=3) zeigten zum Nachuntersuchungszeitpunkt eine thenare Hypästhesie (sensibler Bereich des Ramus palmaris N. medianus). Bei diesen Patienten verlief der Hautschnitt nach distal über die Beugefalten hinweg.

Bei 3,2% (n=3) Patienten kam es zu einem Bruch des Implantates. Bei einem Patienten kam es zu einem frühen Bruch mit anschließend erfolgter Revision. Der Materialbruch in den beiden weiteren Fällen wurde im Rahmen der Abschlusskontrolle nach 6 Wochen radiologisch diagnostiziert. Eine Patientin lehnte die korrigierende Umstellungsosteotomie ab. Bei der Anderen erfolgte eine dreidimensionale Umstellungsosteotomie des Radius mit Implantation eines kortikospongiösen Beckenkammpans und Doppelplattenosteosynthese.

Bei 1,1% (n=1) kam es auf der dorsalen Seite des Radius zu einer knöchernen Umbauung der Sehne des M. extensor pollicis longus. Es erfolgte eine Exostosenabtragung mit Freilegung der noch intakten Sehne und Metallentfernung.

Bei 1,1% (n=1) wurde bei zunehmender Irritation des N. medianus mit entsprechenden Parästhesien die Platte vorzeitig entfernt. Es zeigte sich eine narbige Einengung des Nervens im Bereich der Platte.

Bei 1,1% (n=1) des Kollektivs kam es zu einem schnellenden Finger. Bei diesem Patienten wurde entgegen den Empfehlungen des Operateurs keine funktionelle Nachbehandlung durchgeführt.

Die geplante Metallentfernung wegen Kaltverschweißung war bei 1,1% (n=1) der Patienten nicht möglich.

Es wurde einmal die Diagnose eines CRPS (chronisch regionales Schmerzsyndrom/ M. Sudek) gestellt. Dabei zeigte sich radiologisch ein anatomisches Repositionsergebnis bei regl. einliegender Osteosynthese. Mittels physikalischer und physiotherapeutischer Behandlungen kam es zu einem Sistieren der Beschwerden nach etwa einem halben Jahr. Bezuglich der Gesamtkomplikationen ergab sich mathematisch im Mann-Whitney-U-Test keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Frakturgruppen und dem Auftreten von Komplikationen. Auch zwischen intra- und extraartikulären Frakturen gab es diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede.

Wundheilungsstörungen oder Infektionen der Wunde wurde nicht beobachtet.

3.11 Radiologische Auswertung

Im Vergleich zu den präoperativen Röntgenbildern konnte der palmare Neigungswinkel um 20 Grad reponiert werden. In 65% zeigte sich eine palmarseitige, in 15% eine neutrale und in 20% eine dorsale Ausrichtung der Gelenkfläche. Ein signifikanter Unterschied zwi-

schen den einzelnen Frakturtypen nach AO und dem postoperativen palmaren Neigungs-winkel konnte nicht nachgewiesen werden ($p=0,63$).

Während der radioulnare Gelenkwinkel nach dem Frakturereignis im Mittel bei 14,9 (+/- 7,8) Grad lag, so betrug er nach Reposition 19,9 (+/- 5,8) Grad. Es konnte im Mittel eine Reposition von 5(+/-7,8) Grad erzielt werden.

In den postoperativen Röntgenbildern zeigte sich im Mittel eine Ulnavarianz von 0,7(+/-3) Millimetern.

Ein signifikanter Unterschied bezüglich dem Repositionsergebnis und dem Frakturtyp nach AO, bzw. mit und ohne Gelenkbeteiligung konnte nicht festgestellt werden.

3.11.1 Radiokarpale Gelenkstufen

Die Auswertung der radiocarpalen Gelenkstufen erfolgte anhand der direkt postoperativ durchgeführten Röntgenbilder. Die Gelenkstufen wurden in der anterior-posterioren sowie streng seitlichen Röntgenaufnahme in Millimetern abgelesen. Bei insgesamt 8 Patienten war das entsprechende Röntgenbild nicht auffindbar, so dass insgesamt 86 Patienten ausgewertet werden konnten.

Bei 79,8% ($n=67$) können keine Gelenkstufen nachgewiesen werden. Während bei 14% ($n=12$) Gelenkstufen kleiner als zwei Millimeter vorliegen, zeigen sich bei 8% ($n=7$) Gelenkstufen von mindestens zwei Millimetern.

In der Gruppe der C2 Frakturen ($n=37$) zeigen sich bei 21,6% ($n=8$) verbliebene Gelenkstufen kleiner als zwei Millimeter und bei 16% ($n=4$) Stufen größer zwei Millimeter.

In der Gruppe der C3 Frakturen ($n=18$) sind bei 16,7% ($n=3$) Stufen kleiner als zwei Millimeter und bei 11,1% ($n=2$) Stufen größer als zwei Millimeter nachweisbar.

Zwischen den Frakturtypen C2 und C3 zeigt sich im Mann-Whitney-U-Test kein signifikanter Unterschied ($p=0,77$) bezüglich dem Vorhandensein von postoperativen Gelenkstufen. Wird zwischen den beiden Gruppen mit-, bzw. ohne radiocarpalen Gelenkstufendifferenziert, lassen sich ebenso keine unterschiedliche Häufigkeiten nachweisen.

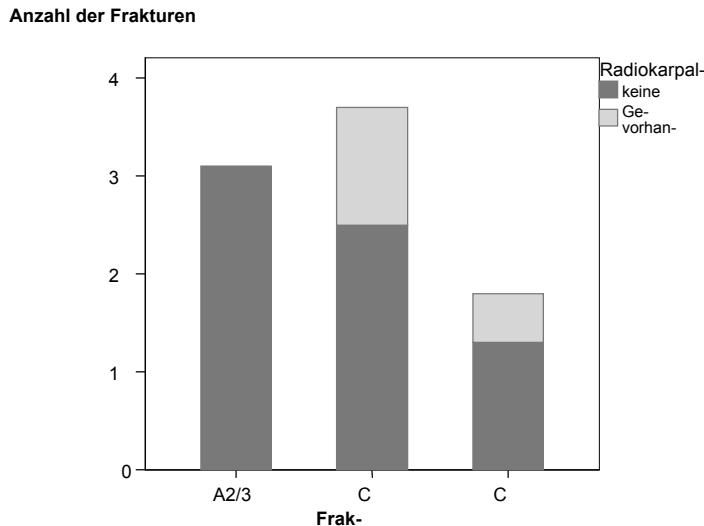


Abbildung 12 Radiokarpale Gelenkstufen hinsichtlich dem AO-Frakturtyp

3.11.2 Gelenkstufen distales Radioulnargelenk

Die Auswertung radioulnarer Gelenkstufen erfolgte ebenso in der direkt postoperativ durchgeführten Röntgenkontrolle des Handgelenkes in zwei Ebenen.

Da keine Gelenkstufen größer 1,5 mm nachweisbar waren und eine genauere Größendifferenzierung auf den Röntgenbildern im ap und seitlichen Strahlengang technisch nur ungenau möglich war, wurde nur auf das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein verbliebener Stufen geachtet.

Es konnten 84 bilddokumentierte Patienten prä- und postoperativ ausgewertet werden. Bei 38,3% (n=36) war die Sigmoid notch intraartikulär beteiligt. Bei 41,7% (n=15) dieser Patienten zeigten sich postoperativ weiter persistierende Gelenkstufen im Bereich der Sigmoid notch. Nur bei 58,3% (n=21) der Fälle konnte ein stufenfreies Repositionsergebnis erzielt werden.

Bezüglich postoperativ verbliebener Gelenkstufen ergab sich kein signifikanter Unterschied ($p=0,53$) zwischen den einzelnen Frakturtypen nach AO.

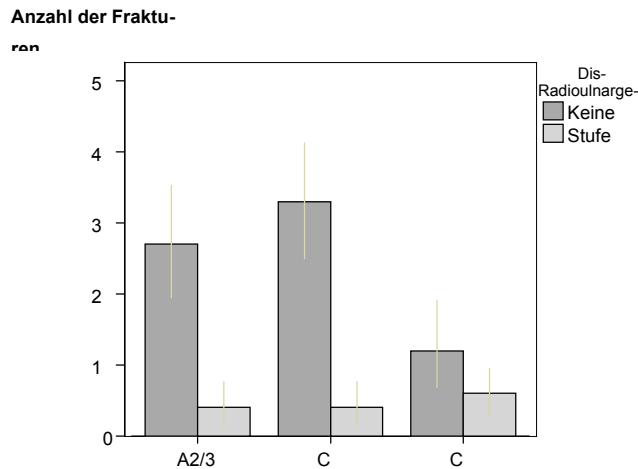


Abbildung 13 Radioulnare Gelenkstufen hinsichtlich dem AO-Frakturtyp

3.11.3 Dehiszenz

In der postoperativen Röntgenkontrolle zeigt sich in der Gruppe der C2 Frakturen in 11% (n=4) ein Spalt von einem Millimeter. In der Gruppe der C3 Frakturen lassen sich bei 11,1% (n=2) eine Dehiszenz von einem Millimeter und bei 11,1% (n=2) eine Dehiszenz von zwei Millimetern nachweisen.

3.11.4 Ulnavorschub

Bei der Ausmessung des Ulnavorschub auf dem anterior-posterioren Röntgenbild zeigt sich in 45% (n=39) ein Ulna-minus Ergebnis. In 30,2% (n=26) findet sich eine neutrale Stellung der Ulna. In 24,4% (n=21) besteht eine Ulnavorschub. Davon lagen 95,2% (n=20) zwischen 1-5 Millimeter und 4,8% (n=1) darüber.

Insgesamt zeigten damit 10,5% (n=9) aller radiologisch ausgewertet Patienten einen Ulnavorschub von 1-2mm, 9,3% (n=8) von 2-3mm und 3,5% (n=3) von 3-5mm. Der Maximalwert wurde von einem Patienten erreicht und betrug 10 Millimeter.

Bezüglich der Kategorie „Ulnavorschub“ lassen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Frakturgruppen (A2/3, C2, C3 ; gelenk- und nicht gelenkbeteiligte Gruppe) feststellen (p=0,84).

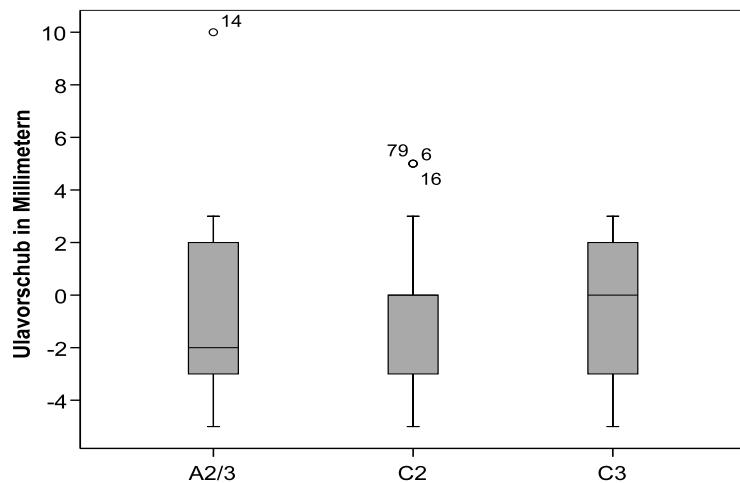


Abbildung 14 Ulnavorschub in Millimetern hinsichtlich dem AO-Frakturtyp

3.11.5 Seitlicher Radiusgelenkwinkel

In den postoperativen Röntgenkontrollen zeigt sich in 65% (n=56) ein palmarseitig ausgerichteter seitlicher Radiusgelenkwinkel. In 15,1% (n=13) ist die Radiusgelenkfläche neutral und in 19,8% (n=17) ein dorsalseitig eingestellt.

Im Mittel zeigt sich postoperativ eine Palmarflexion von 4,21 Grad. Die größte palmarseitige Abkipfung betrug 20 Grad und die größte dorsale Abkipfung 16 Grad.

5,8% (n=5) der A2/3 Frakturen, 9,3% (n=8) der C2 Frakturen und 4,7% (n=4) der C3 Frakturen zeigen postoperativ eine dorsale Ausrichtung der Gelenkfläche.

Statistisch zeigen sich im Mann-Whitney-U-Test dabei keine signifikanten Unterschiede ($p=0,63$).

Präoperativ zeigte sich mit Mittel ein seitlicher Gelenkwinkel von 15,3 Grad dorsale Ausrichtung. Dabei betrug die größte dorsale Abkipfung der radialen Gelenkfläche 46 Grad und die größte palmarseitige Abkipfung 20 Grad. Insgesamt zeigten 87,2% (n=82) der Frakturen präoperativ eine nach dorsal abgekippte Gelenkfläche.

Im Mittel konnte die radiale Gelenkfläche um 19,5 Grad reponiert werden.

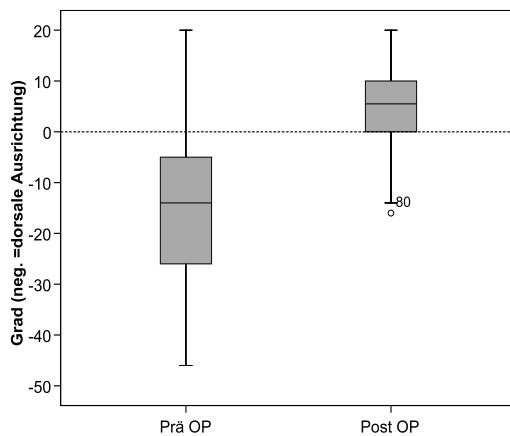


Abbildung 15 Repositionsergebnis des seitlichen Radiusgelenkwinkels in Grad

3.12 Bewegungsausmaße

3.12.1 Umwendbewegung in Supination und Pronation

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zeigte sich nach der Neutral- Null Methode auf der frakturierten Seite ein mittleres Bewegungsausmaß von 71° (Min. 40° , Max. 90°) / 0° / $78,5^\circ$ (Min. 60° , Max. 90°) Supination/ Pronation.

Auf der Gegenseite betrug das Bewegungsausmaß im Mittel $78,1^\circ$ (Min. 60° ; Max. 90°) / 0° / $81,6^\circ$ (Min. 60° ; Max. 90°) in Supination/ Pronation.

Es lassen sich keine signifikante Unterschied zwischen den verschiedenen Frakturtypen nach AO und den Bewegungsausmaßen in Supination und Pronation feststellen. Im Falle verbliebener radiokarpaler Stufen findet sich eine nicht signifikante Reduktion der Supination um $4,2^\circ$ ($+/- 2,9^\circ$) und eine nicht signifikante Reduktion der Pronation um $2,9^\circ$ ($+/- 2,2^\circ$). Werden die Gelenkstufen in kleiner-, bzw. größer zwei Millimeter differenziert lassen sich keine weiteren Unterschiede bezüglich der Bewegungseinschränkung feststellen.

Hingegen zeigt sich zwischen den beiden Gruppen mit, bzw. ohne Mitbeteiligung des distalen Radioulnargelenkes im Mann-Whitney-U-Test für nicht normalverteilte Stichproben eine signifikante Einschränkung der Pronation ($p=0,006$) bei einer Beteiligung des DRUG. Die Differenz beträgt dabei $4,7^\circ$ ($+/- 1,7^\circ$). Bezüglich der Supination findet sich ebenso ein signifikanter Unterschied ($p=0,04$) von 4° ($+/- 2,4^\circ$) Grad.

Bei nicht beteiligtem DRUG zeigte sich somit eine Supination/ Pronation von $72,5^{\circ}(+/-10,8^{\circ})$ / $0^{\circ}/80^{\circ}(+/-6,8^{\circ})$ während sich im Falle einer Gelenkbeteiligung ein Bewegungsausmaß von $68,6^{\circ}(+/-10,3^{\circ})$ / $0^{\circ}/75^{\circ}(+/-8,4^{\circ})$ zeigte.

Bei verbliebenen Gelenkstufen im DRUG resultiert eine signifikante ($p=0,08$) Reduktion der Supination um $8,4^{\circ}(+/-8,4^{\circ})$ Grad und der Pronation ($p=0,00$) um $8,2^{\circ}(+/-2,2^{\circ})$ Grad.

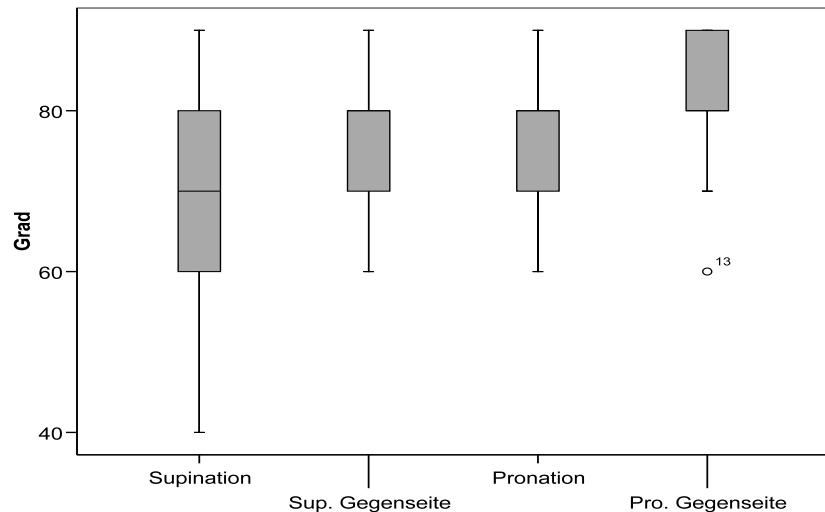


Abbildung 16 Supination und Pronation im Vergleich zur Gegenseite in Grad

3.12.2 Dorsal- und Palmarflexion im Handgelenk

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung betrug das Bewegungsausmaß bei Palmar- und Dorsalflexion nach der Neutral-Null-Methode im Mittel $52,9^{\circ}$ (Min. 20° ; Max. 80°)/ $0^{\circ}/47,9^{\circ}$ (Min. 20° ; Max. 80°) Palmarflexion/ Dorsalflexion.

Dabei kann kein signifikanter Unterschied in den Bewegungsausmaßen zwischen den unterschiedlichen Frakturtypen nach AO nachgewiesen werden.

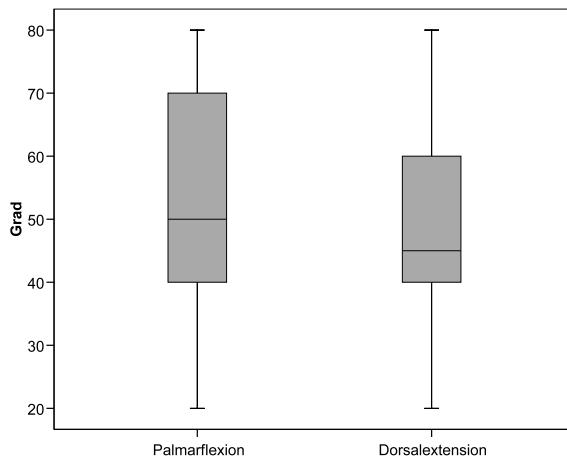


Abbildung 17 Palmar- und Dorsalflexion des frakturierten Handgelenkes in Grad

Im Falle verbliebener radiokarpaler Gelenkstufen zeigt sich eine nicht signifikante ($p=0,89$) Reduktion der Dorsalflexion um $0,5^\circ (+/-4,1^\circ)$, aber signifikante Einschränkung der Palmarflexion um $9,3^\circ (+/-4,3^\circ)$.

Eine weitere Differenzierung in Gelenkstufen kleiner-, bzw. größer als zwei Millimeter zeigte bezüglich der Bewegungseinschränkung keine weiteren Unterschiede.

Vergleicht man die beiden Gruppen mit-, bzw. ohne Beteiligung des DRUG, so findet sich in der Dorsalflexion eine nicht signifikante ($p=0,7$) Reduktion des Bewegungsausmaßes um $1,4^\circ (+/-3,3^\circ)$ und in der Palmarflexion eine nicht signifikante ($p=0,7$) Reduktion um $7,1^\circ (+/-3,5^\circ)$. Im Falle eines intakten DRUG zeigt sich damit ein Bewegungsausmaß von $49,3^\circ (+/-14,3^\circ) / 0^\circ / 56^\circ (+/-15,3^\circ)$ und im Falle einer Beteiligung des DRUG von $47,9^\circ (+/-15,9^\circ) / 0^\circ / 48,9^\circ (+/-16,2^\circ)$ je in Palmarflexion/ Dorsalflexion.

Bei verbliebenen Gelenkstufen resultiert eine signifikante ($p=0,03$) Reduktion der Dorsalflexion um $9,7^\circ (+/-4,3^\circ)$ und der Palmarflexion ($p=0,04$) um $9,7^\circ (+/-4,1^\circ)$.

3.12.3 Ulnaduktion und Radialduktion

Bezüglich der Ulnaduktion bzw. Radialduktion im Handgelenk ergab sich zum Nachuntersuchungszeitpunkt nach der Neutral-Null-Methode ein mittleres Bewegungsausmaß von $19,2^\circ$ (Min. 10° ; Max. 30°) / $0^\circ / 19^\circ$ (Min. 10° ; Max. 30°) Ulnaduktion/ Radialduktion.

Signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Frakturtypen nach AO konnten nicht festgestellt werden.

Im Falle verbliebener radiokarpaler Gelenkstufen ist die Ulnaduktion nicht signifikant ($p=0,85$) um $0,2^\circ (+/-1,2^\circ)$ und die Radialduktion nicht signifikant ($p=0,35$) um $1,1^\circ (+/-1,2^\circ)$ eingeschränkt.

Im Falle einer Beteiligung des DRUG zeigt sich in der Ulnaduktion eine nicht signifikante ($p=0,17$) Minderung der Beweglichkeit um $1,3^\circ (+/-0,9^\circ)$ und in der Radialduktion ebenso nicht signifikant ($p=0,9$) um $0,9^\circ (+/-1,0^\circ)$ Grad.

Ist das DRUG nicht betroffen findet sich ein Bewegungsausmaß in Ulna-/Radialduktion von $19,5^\circ (+/-4,3^\circ) / 0^\circ / 19,4^\circ (+/-4,1^\circ)$ und im Falle einer Beteiligung von $18,1^\circ (+/-4,2^\circ) / 0^\circ / 19,3^\circ (+/-4,7^\circ)$

Die Reduktion der Ulna- ($p=0,19$) und Radialduktion ($p=0,42$) ist im Falle verbliebener Gelenkstufen des DRUG nicht signifikant eingeschränkt.

3.13 DASH- Score

3.13.1 Outcome im Hinblick auf die AO- Klassifikation

Ein Untersuchungsbogen konnte nicht ausgewertet werden, so dass letztlich die Daten von 93 Patienten vorlagen.

Bezüglich aller nachuntersuchten Patienten zeigt sich eine mittlere Gesamtpunktzahl von 38,5 Punkten (Max.106, Min.30, Staw.13,8). Nach der DASH- Formel betrug der Mittelwert damit 7,1 (Min. 0,0; Max.63,3; Staw.11,5).

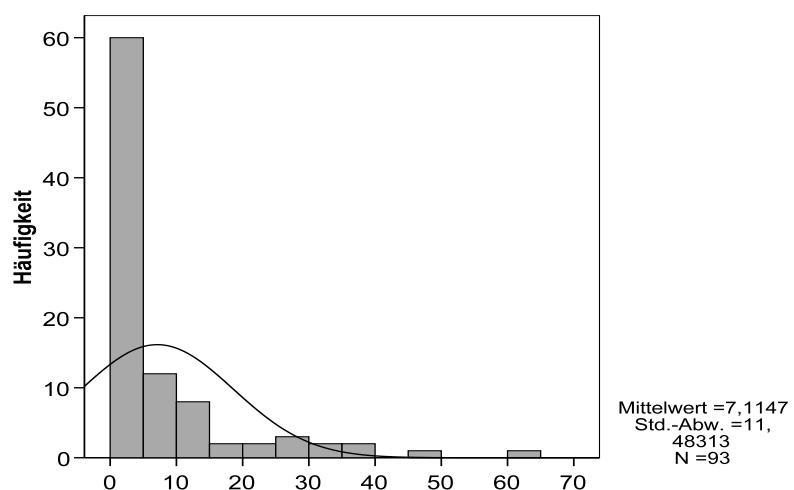


Abbildung 18 DASH-Score Gesamtergebnis

Die mittlere Gesamtpunktzahl lag in der Gruppe der extraartikulären Frakturen bei 39,6 (Min.30, Max.88) und in der Gruppe der intraartikulären Frakturen bei 37,9 (Min.30, Max.106). Der Mittelwert des DASH-Scores für die extraartikulären Frakturen beträgt 8,0(+/-12,6) und für die intraartikulären Frakturen 6,6(+/-10,9).

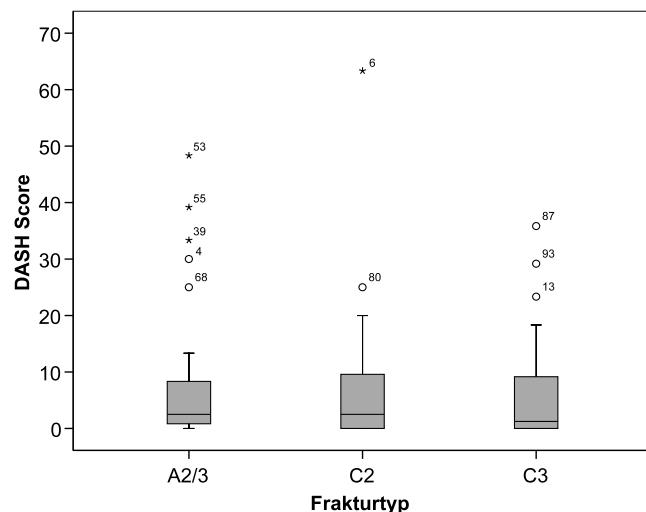


Abbildung 19 Ergebnis des DASH-Score hinsichtlich dem AO-Frakturtyp

Im Kolmogorov-Smirnov-Z-Test zeigte sich eine Normalverteilung aller Parameter in den unterschiedlichen Gruppen ($p<0,05$).

In der DASH- Gesamtpunktzahl, bzw. in der DASH- Summe ergaben sich im T-Test für unabhängige Stichproben keine signifikanten Unterschiede ($p=0,33$) zwischen der erreichten Punktzahl und den unterschiedlichen Frakturtypen nach AO.

In der Kruskal-Wallis-Testung für k-unabhängige Stichproben zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den drei Frakturtypen (A2/3, C2, C3) bezüglich den Kategorien „Schreiben“ in der einseitigen Testung ($p=0,05$), und „Kribbeln der Hand/ Finger in der letzten Woche“ in der zweiseitigen Testung ($p=0,00$).

Im T- Test für zwei unabhängige normalverteilte Stichproben konnte dabei ein signifikanter Unterschied in der Kategorie „Schreiben“ zwischen den Frakturtypen A2/3 und C3 ($p=0,00$), sowie zwischen C2 und C3 ($p=0,00$) festgestellt werden.

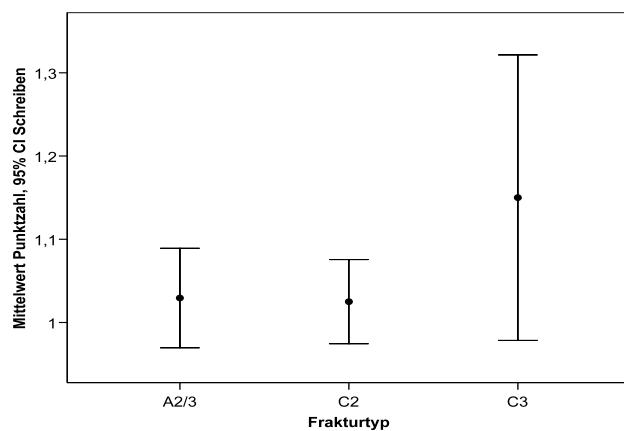


Abbildung 20 Ergebnis der Kategorie "Schreiben" hinsichtlich dem AO-Frakturtyp

In der Kategorie „Kribbeln“ zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Frakturtypen A2/3 und C2 ($p=0,00$) sowie A2/3 und C3 ($p=0,00$), bei keinem signifikanten Unterschied zwischen C2 und C3 ($p=0,5$).

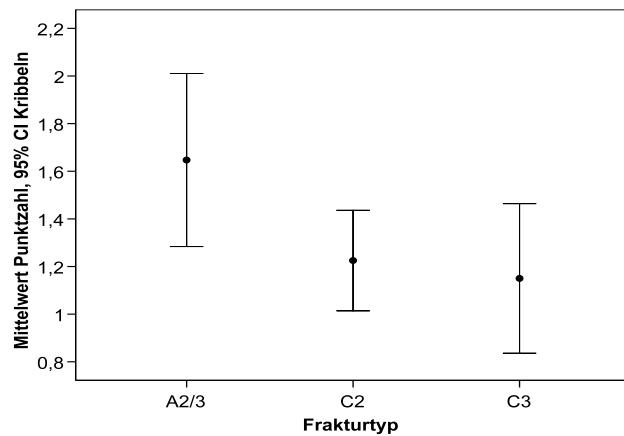


Abbildung 21 Ergebnis der Kategorie "Kribbeln" hinsichtlich dem AO-Frakturtyp

In der Berechnung der Unterschiede zwischen den beiden normalverteilten Frakturgruppen mit, bzw. ohne Gelenkbeteiligung zeigten die Kategorien „Schwierigkeiten beim Tra-

gen einer Tasche“ (p=0,03), „Freizeitaktivitäten mit Druck- bzw. Stoßbelastung“ (p=0,02), „Kribbeln“ (p=0,00) und „Selbstvertrauen“ (p=0,01) signifikante Unterschiede.

Kategorie	p	Mittelwert	Mittelwert
		C2/3	A2/3
<i>Schwierigkeiten beim Tragen einer Tasche</i>	0,03	1,30	1,47
<i>Freizeitaktivitäten mit Druck- bzw. Stoßbelastung</i>	0,02	1,3	1,6
<i>Kribbeln</i>	0,00	1,2	1,65
<i>Selbstvertrauen</i>	0,01	1,40	1,15

3.13.2 Outcome im Hinblick auf das distale Radioulnargelenk

Die Gruppe ohne Beteiligung des distalen Radioulnargelenkes zeigte im T- Test für unabhängige Stichproben ein Ergebnis von 5,8 (+/-10,6) während das Ergebnis bei beteiligtem DRUG mit 9,2 (+/-13,6) schlechter war. Diese Differenz war aber nicht signifikant (p=0,21).

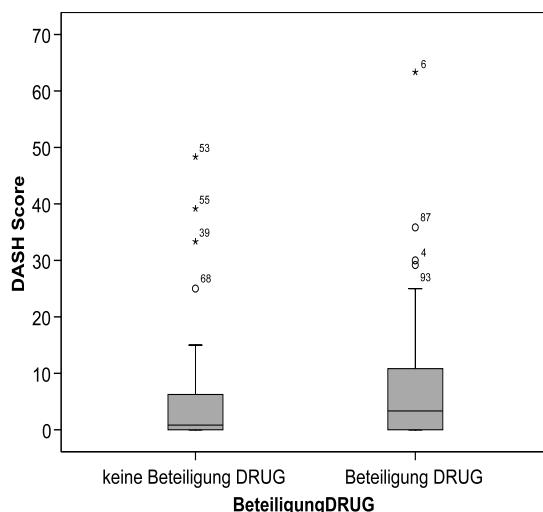


Abbildung 22 Ergebnis des DASH-Score im hinsichtlich der Beteiligung des DRUGs

3.13.3 Outcome im Hinblick auf das radioulnare Repositionsergebnis

Das Ergebnis der Gruppe ohne Gelenkstufen im DRUG betrug im Mittel 5,4 (+/-8) Punkte, das der Gruppe mit Gelenkstufen war mit 17,6(+/-20,4) Punkte deutlich schlechter.

Dabei zeigt sich ein signifikanter Unterschied bezüglich des DASH- Wertes ($p=0,01$) im Mann-Whitney-U-Test.

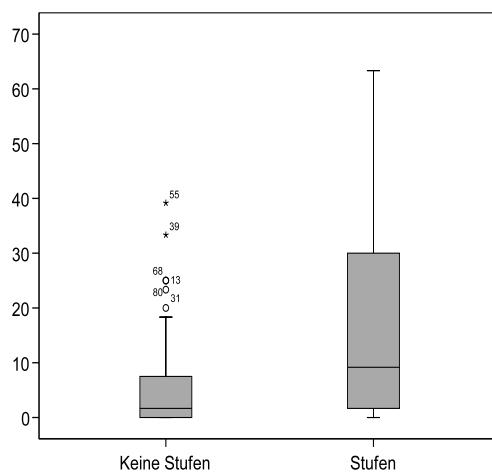


Abbildung 23 DASH-Score hinsichtlich der radioulnaren Reposition

Bei der Analyse der einzelnen nicht normalverteilten Kategorien finden sich signifikante Unterschiede in folgenden Kategorien:

Kategorie	p	Mittlerer Rang	Mittlerer Rang
		Keine Stufe DRUG	Gelenkstufe DRUG
Öffnen eines Glases	0,04	41,4	54,29
Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	0,00	41,09	55,89
Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	0,00	41,05	56,11
Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	0,00	41,19	55,36
Mit Fortbewegungsmitteln zurechtkommen	0,00	40,66	58,11
Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	0,06	41,65	58,39
DASH- Score	0,01	39,96	58,39

In den normalverteilten Kategorien fanden sich im T-Test für unabhängige Stichproben folgende Signifikanzen:

Kategorie	p	Mittelwert	Mittelwert
		Keine Stufe DRUG	Gelenkstufe DRUG
Schreiben	0,00	1,01	1,29
Kochen	0,00	1,10	1,50
Eine schwere Türe aufstoßen	0,00	1,14	1,93
Hof- oder Gartenarbeit	0,00	1,21	1,57
Betten machen	0,02	1,10	1,29
Gegenstand >5 Kg tragen	0,00	1,51	2,50
Rücken waschen	0,00	1,18	2,00
Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen	0,00	1,10	1,79
Freizeitaktivitäten, bei denen der Arm frei bewegt wird (Frisbee)	0,01	1,33	1,86
Alltägliche Einschränkung der Aktivitäten	0,00	1,24	1,86
Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	0,00	1,46	2,14
Steifheit in Schulter, Arm oder Hand	0,00	1,08	1,57
Schlafstörung letzte Woche	0,00	1,07	1,43
Weniger Selbstvertrauen	0,00	1,22	1,86

3.13.4 Outcome im Hinblick auf das radiokarpale Repositionsergebnis

Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen radiocarpalen Gelenkstufen und DASH- Score, sowie den einzelnen Kategorien festgestellt werden ($p=0,58$). Die Gruppe ohne Gelenkstufen erreichte 7,05 (+/-10,6) Punkte, die Gruppe ohne Gelenkstufen war etwas schlechter mit 8,82 (+/-16,7) Punkten. Auch in den einzelnen Kategorien erreichte die Gruppe ohne Gelenkstufen stets ein etwas besseres Ergebnis. Die Unterschiede waren aber nicht signifikant.

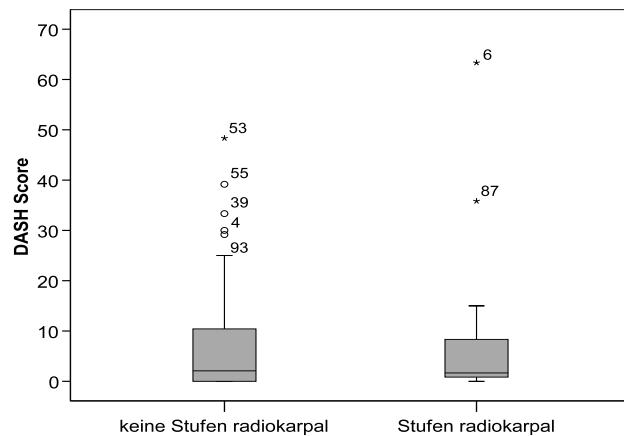


Abbildung 24 Ergebnis des DASH-Score hinsichtlich der radiokarpalen Reposition

3.13.5 Outcome in Hinblick auf den seitlichen Radiusgelenkwinkel

In der Korrelation nach Pearson (-0,2) kann keine relevante Korrelation zwischen dem seitlichen Radiusgelenkwinkel und dem DASH- Score festgestellt werden.

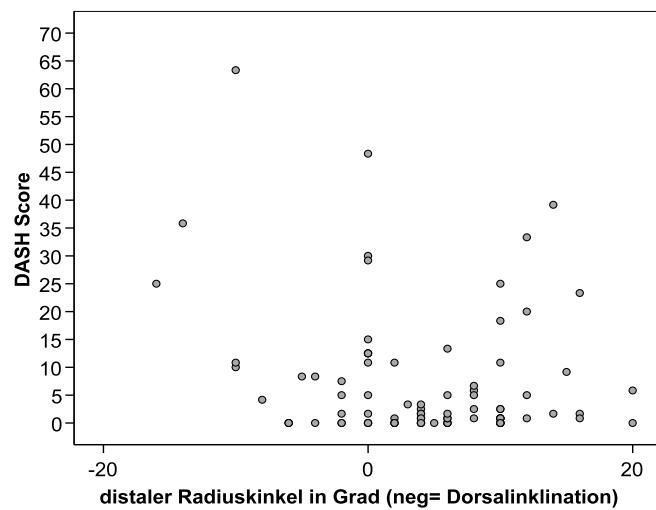


Abbildung 25 Korrelation zwischen seitlichem Radiusgelenkwinkel und DASH-Score

Hinsichtlich der einzelnen Kategorien finden sich folgende signifikante Korrelationen.

<i>Kategorie</i>	<i>p</i>	<i>Korrelationskoef- fizient nach Pear- son</i>
Schreiben	0,03	-0,24
Kochen	0,00	-0,31
Eine Glühbirne über Ihrem	0,02	-0,25
Kopf auswechseln		
Mit einem Messer schneiden	0,01	-0,28
Freizeitaktivitäten, bei freier Bewegung des Armes (z.B. Frisbee)	0,01	-0,23
Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	0,05	-0,21
Steifheit in Schulter, Arm oder Hand	0,00	-0,32
Selbstvertrauen	0,01	-0,29
DASH- Score	0,05	-0,21

3.13.6 **Outcome im Hinblick auf den radioulnaren Gelenkwinkel**

In der Korrelation nach Pearson konnten keine signifikanten Korrelationen ($p=0,093$) zwischen dem radioulnaren Gelenkwinkel und dem DASH- Score, bzw. den einzelnen DASH Kategorien festgestellt werden.

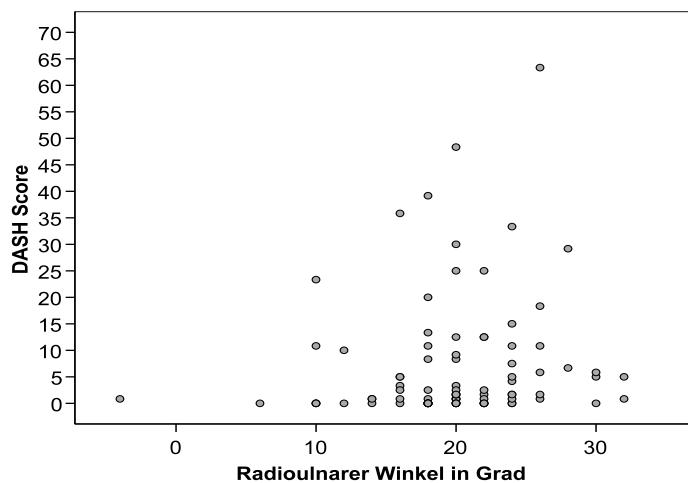


Abbildung 26 Korrelation zwischen dem radioulnaren Gelenkwinkel und DASH-Score

3.14 Gartland- and Werley- Score

3.14.1 Outcome im Hinblick auf die AO- Klassifikation

Der Mittelwert aller Probanden bzgl. des Gartland- and Werley- Scores lag bei 3,73 (Min.0; Max.28, Stabw.5). Dieses Ergebnis entspricht der definierten Bewertung „good“. 54,8% (n=51) erreichten ein exzellentes, 33,3% (n=31) ein gutes, 10,8% (n=10) ein genügendes und 1,1% (n=1) ein schlechtes Ergebnis.

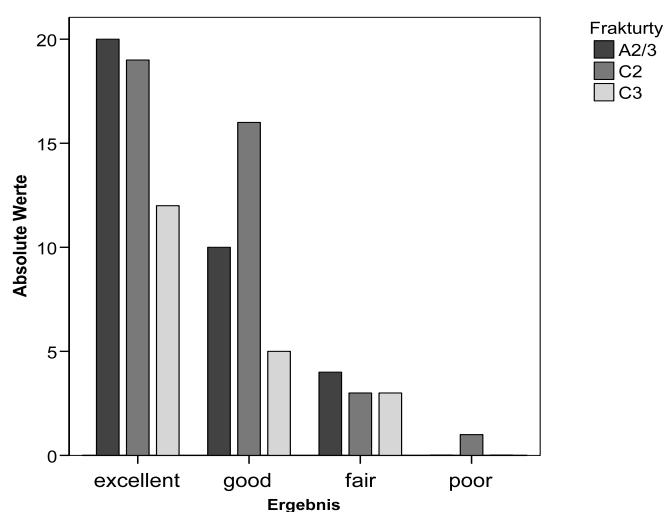


Abbildung 27 Ergebnis des Garland-and Werley-Scores hinsichtlich dem AO-Frakturytyp

<i>Bewertung</i>	<i>Exzellent</i>	<i>Good</i>	<i>Fair</i>	<i>Poor</i>	<i>Gesamt</i>
<i>Punkte</i>	(0-2)	(3-8)	(9-20)	(>20)	
A2/3	21,5% (n=20)	10,8% (n=10)	4,3% (n=4)	0% (n=0)	36,6% (n=34)
C2	20,4% (n=19)	17,2% (n=16)	3,2% (n=3)	1,1% (n=1)	41,9% (n=39)
C3	12,9% (n=51)	5,4% (n=5)	3,2% (n=3)	0% (n=0)	21,5% (n=20)
Gesamt	54,8% (n=51)	33,3% (n=31)	10,8% (n=10)	1,1% (n=1)	100% (n=93)

Im Kolmogorow-Smirnov-Z-Test zeigte sich eine Normalverteilung des Ergebnisses, sowie aller Kategorien bezüglich der unterschiedlichen Frakturgruppen ($p<0,05$).

Im Kruskal-Wallis-Test zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Kategorien und den Frakturtypen A2/3, C2 und C3.

In der Differenzierung der normalverteilten Frakturgruppen mit, bzw. ohne Gelenkbeteiligung mittels T- Test, zeigten sich signifikante Unterschiede bezüglich der Kategorie „Verbliebene Deformität des Handgelenkes“ ($p=0,04$), Einschränkung in der Dorsalflexion ($p=0,01$), Palmarflexion ($p=0,05$), Ulnaduktion ($p=0,05$) und Supination ($p=0,00$). Des Weiteren zeigte sich ein Unterschied bezüglich Schmerzen im distalen Radioulnargelenk ($p=0,03$). Dabei zeigten die Gruppe der gelenkbeteiligten Frakturen stets ein schlechteres Outcome.

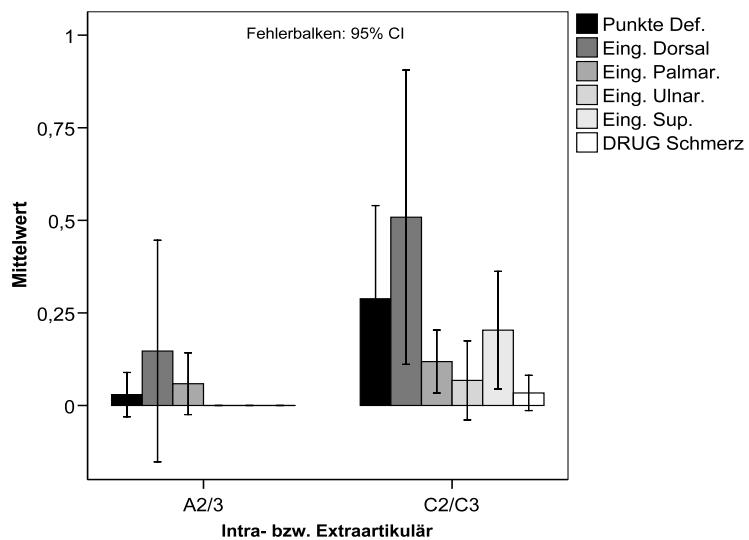


Abbildung 28 Einschränkung der Bewegungsausmaße und des Schmerzniveaus hinsichtlich der radiokarpale Gelenkbeteiligung

Kategorie	p	Mittelwert	Mittelwert
		C2/3	A2/3
Verbliebene Deformität des Handgelenkes	0,04	0,29	0,03
Einschränkung Dorsalflexion	0,01	0,51	0,15
Einschränkung Palmarflexion	0,05	0,12	0,06
Einschränkung Ulnaduktion	0,05	0,07	0,00
Einschränkung Supination	0,00	0,20	0,00
Schmerzendes distales Radioulnargelenk	0,03	0,03	0,00

3.14.2 Outcome im Hinblick auf das distale Radioulnargelenk

Im Hinblick auf die beiden Gruppen ohne- bzw. mit beteiligtem distalen Radioulnargelenk schnitt Erstere mit 1,55 (+/- 0,7) Punkten besser ab als Zweite mit 1,67 (+/- 0,79). Der Unterschied war im T- Test für unabhängige Stichproben nicht signifikant ($p= 0,5$)

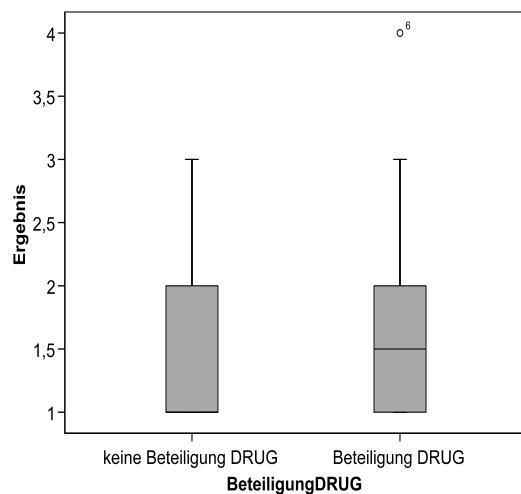


Abbildung 29 Ergebnis des Gartland- and Werley- Score hinsichtlich der Beteiligung des DRUG

3.14.3 Outcome im Hinblick auf das radioulnare Repositionsergebnis

Bezüglich des Testergebnis (nicht normalverteilt) zeigt sich im Mann-Whitney-U-Test ein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe mit-, bzw. ohne verbliebene Gelenkstufen im DRUG ($p= 0,00$).

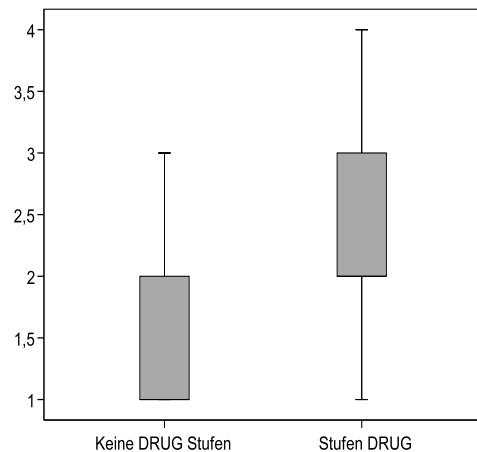


Abbildung 30 Gartland- and Werley- Score hinsichtlich der radioulnaren Reposition

Auch die Kategorie „Schmerz“ ($p=0.03$), „Komplikationen“ ($p=0.13$), „Fingerfunktion“ ($p=0.00$) und Gesamtpunktzahl ($p=0,00$) unterscheiden sich zwischen den beiden Gruppen. Dabei schneidet die Gruppe mit verbliebenen Gelenkstufen im distalen Radioulnargelenk stets schlechter ab.

In der Gruppe der normalverteilten Kategorien finden sich signifikante Unterschiede im T-Test bezüglich den verbliebenen Deformitäten ($p=0,00$), der eingeschränkten Dorsalflexion ($p=0,00$), Palmarflexion ($p=0,00$), Supination ($p=0,00$) und Radialduktion ($p=0,00$). Die Gruppe mit verbliebenen Gelenkstufen im distalen Radioulnargelenk schneidet erneut stets schlechter ab.

Bezüglich der Ulnaduktion sowie Schmerzen im distalen Radioulnargelenk lassen sich dabei keine Unterschiede feststellen.

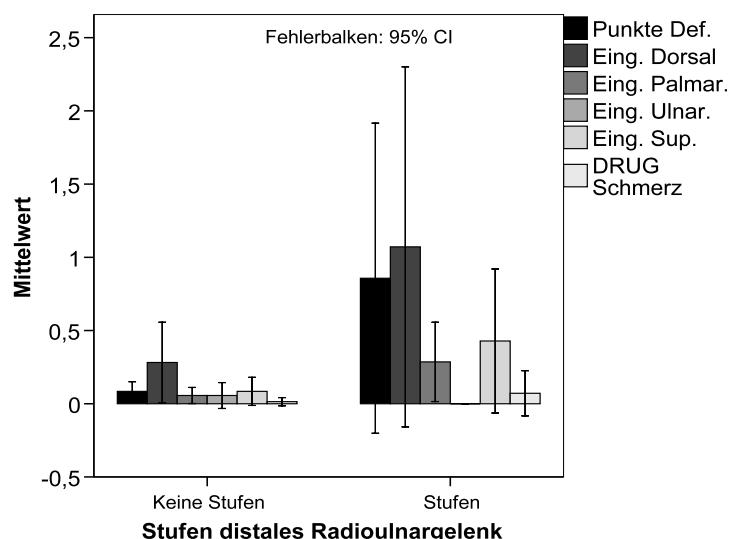


Abbildung 31 Einschränkung der Bewegungsausmaße und des Schmerzniveaus hinsichtlich der radioulnaren Reposition

Kategorie	p	Mittlerer Rang C2/3	Mittlerer Rang A2/3
Schmerz	0,03	53,54	40,92
Komplikationen	0,01	56,81	39,88
Fingerfunktion	0,00	59,46	39,39
Gesamtpunktzahl	0,01	58,57	39,93
Ergebnis	0,00	59,43	39,76

Kategorie	p	Mittelwert	Stufen	Mw. keine Stufen
			DRUG	DRUG
Verbliebene Deformität des Handgelenkes	0,00	0,86		0,08
Einschränkung Dorsalflexion	0,00	1,07		0,28
Einschränkung Palmarflexion	0,00	0,29		0,06
Einschränkung Supination	0,00	0,43		0,08
Eingeschränkte Radialduktion	0,00	0,07		0,00

3.14.4 Outcome im Hinblick auf das radiokarpale Repositionsergebnis

Bei der Analyse des Gartland- und Werley-Scores bezüglich Outcome und radiokarpaler Gelenkstufen ergaben sich im Kruskal-Wallis-Test keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen (keine Gelenkstufen, Gelenkstufen kleiner zwei Millimeter, Gelenkstufen größer zwei Millimetern).

Wird nur zwischen den beiden Gruppen mit-, bzw. ohne Gelenkstufen unterschieden, so findet sich kein signifikanter Unterschied bezüglich dem Ergebnis ($p=0,33$) aber bezüglich den Kategorien Einschränkung der Dorsalflexion ($p=0,00$) sowie der Pronation ($p=0,04$), Schmerzen im distalen Radioulnargelenk (DRUG) ($p=0,04$), dem Auftreten von Nervenirritationen (N. medianus) ($p=0,02$) und der Fingerfunktion ($p=0,00$).

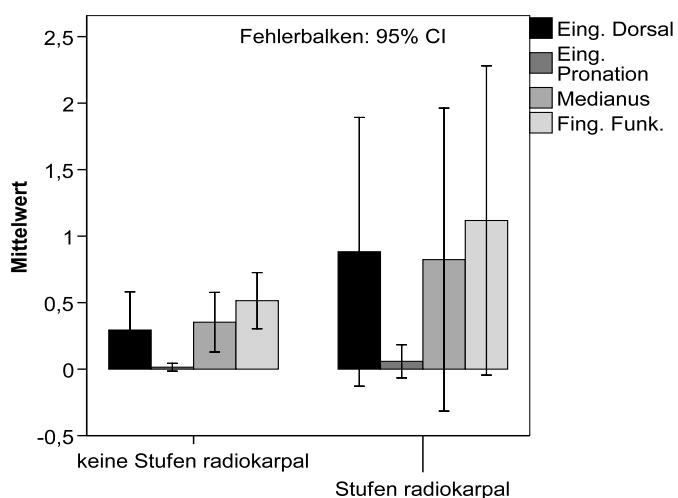


Abbildung 32 Bewegungsausmaß, Fingerfunktion und Nervenirritation hinsichtlich der radiokarpalen Reposition

Kategorie	p	Mittelwert	Stufen	Mw. keine Stufen
		DRUG	DRUG	DRUG
Ergebnis Gartland	0,33	1,76		1,56
Einschränkung der Dorsalflexion	0,00	0,88		0,29
Einschränkung der Pronation	0,04	0,06		0,01
Nervenirritationen (N. medianus)	0,02	0,82		0,35
Fingerfunktion	0,00	1,12		0,51

3.14.5 Outcome im Hinblick auf den seitlichen Radiusgelenkwinkel

Es konnte keine signifikante Korrelation ($p=0,17$) zwischen dem distalen Radiusgelenkwinkel und den erreichten Punkten im Gartland- und Werley-Score festgestellt werden.

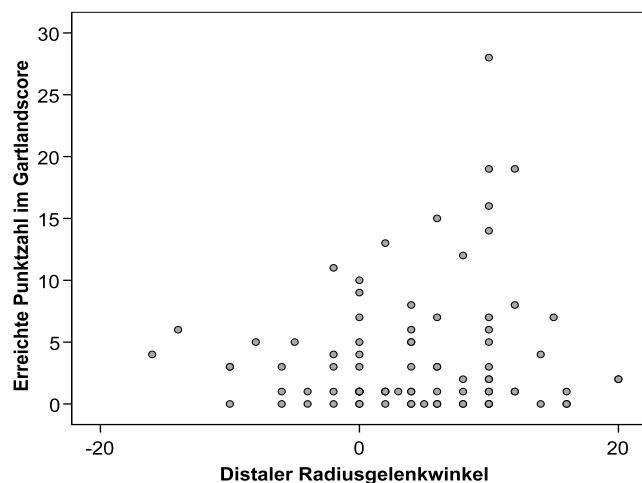


Abbildung 33 Korrelation zwischen seitlichem Radiusgelenkwinkel und Gartland-and Werley-Score

In der Korrelationsberechnung nach Pearson zeigten sich signifikante Ergebnisse bezüglich Dorsalflexion bzw. Supination ($p=0,05$) und dem distalen Radiusgelenkwinkel ($p=0,17$). Jedoch ließ der niedrige Koeffizient mit 0,18, bzw. 0,23 keine wesentlichen weiteren Schlüsse zu.

3.14.6 Outcome im Hinblick auf den radioulnaren Gelenkwinkel

Es konnte keine signifikante Korrelation zwischen dem radioulnaren Winkel und den erreichten Punkten im Gartland- und Werley- Score festgestellt ($p=0,14$) werden.

Zwischen dem radioulnaren Gelenkwinkel und den Bewegungsausmaßen des Handgelenkes konnte ebenso in keiner Ebene ein signifikanter Zusammenhang im Korrelations- test nach Pearson festgestellt werden.

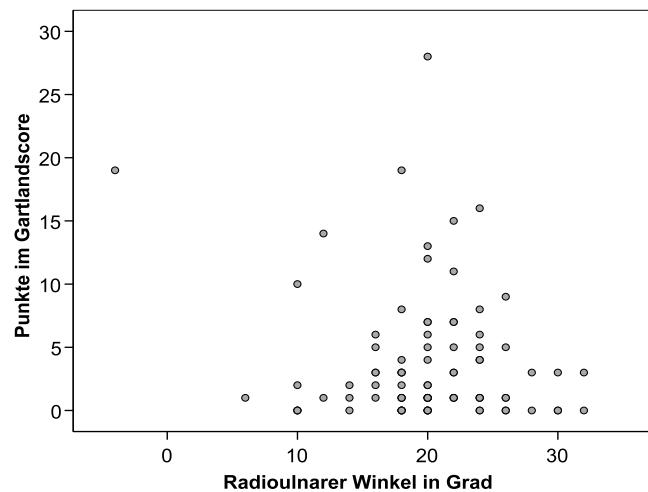


Abbildung 34 Korrelation zwischen radioulnarem Radiusgelenkwinkel und Gartland-and Werley-Score

3.15 Mayo- Score

3.15.1 Outcome im Hinblick auf die AO- Klassifikation

Frakturübergreifend ergab sich ein Mittelwert von 87 Punkten (Max.100; Min. 20; Stabw.16,8) was einem Endergebnis von „Gut“ (80-89 Punkten) entspricht. Dabei erreichten 62,4% (n=58) die Note „Sehr gut“ (90-100 Punkte), 14% (n=13) die Note „Gut“ (80-89 Punkte), 11,8% (n=11) die Note „Befriedigend“ (65-79 Punkte) und 11,8% (n=11) die Note „Schlecht“ (<65 Punkte).

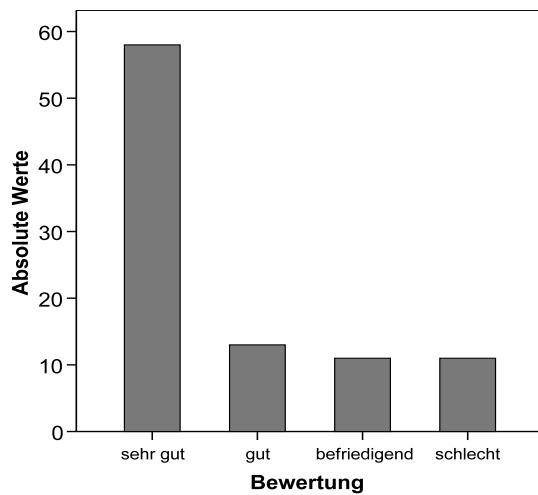


Abbildung 35 Ergebnis des Mayo-Scores

Die Bewertungsverteilung zwischen den einzelnen Frakturtypen ist in folgender Tabelle dargestellt:

	<i>Sehr gut</i>	<i>Gut</i>	<i>Befriedigend</i>	<i>Schlecht</i>	<i>Gesamt</i>
A2/3	21,5% (n=20)	7,5% (n=7)	4,3% (n=4)	3,2% (n=3)	36,6% (n=34)
C2	30,1% (n=28)	2,2% (n=2)	4,3% (n=4)	5,4% (n=5)	41,9% (n=39)
C3	10,8% (n=10)	4,3% (n=4)	3,2% (n=3)	3,2% (n=3)	21,5% (n=20)
Gesamt	62,4% (n=58)	14% (n=13)	11,8% (n=11)	11,8% (n=11)	100% (n=93)

Zwischen den einzelnen Frakturgruppen ($p=0,4$), sowie in der Differenzierung zwischen Gelenk- und nicht Gelenkbeteiligung ($p=0,9$) konnten keine signifikanten Unterschiede im Bezug auf die Gesamtpunktzahl oder das Ergebnis nachgewiesen werden.

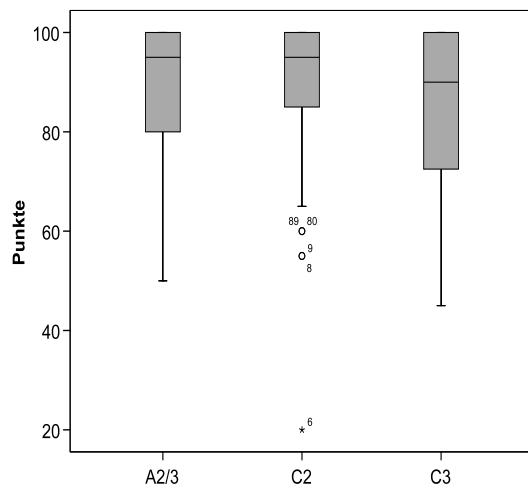


Abbildung 36 Mayo-Score Punkte hinsichtlich dem AO-Frakturtyp

3.15.1.1 Kategorie „Schmerz“

53,8% (n=50) der untersuchten Patienten gaben eine komplette Schmerzfreiheit an und 1,1% (n=1) berichteten von Ruheschmerzen. 28% (n=26) berichtete von leichten Schmerzen bei Alltagsaktivitäten, 9,7% (n=9) von mittleren Schmerzen bei schwerer Aktivität und 7,5% (n=7) von mittleren Schmerzen bei leichter Aktivität.

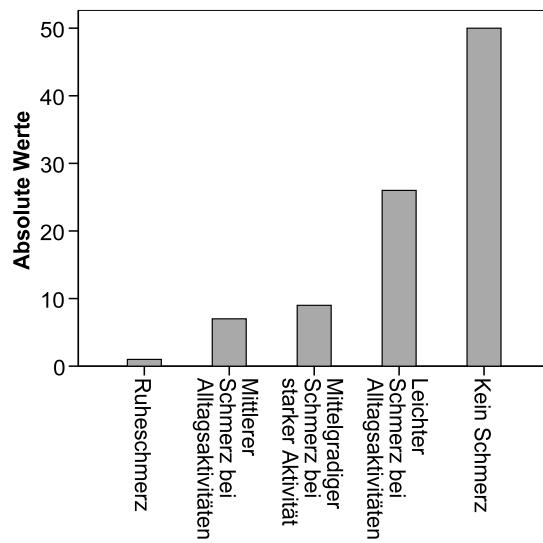


Abbildung 37 Ergebnis der Kategorie "Schmerz" hinsichtlich dem Mayo-Score

Der Zusammenhang bezüglich den einzelnen Frakturtypen und der Kategorie „Schmerz“ :

	<i>Ruhe-schmerz</i>	<i>Mittlerer Schmerz, leichte Aktivität</i>	<i>Mittlerer Schmerz, schwere Aktivität</i>	<i>Leichter Schmerz, Alltagsaktivität</i>	<i>Kein Schmerz</i>	<i>Gesamt</i>
A2/3	0% (n=0)	3,2% (n=3)	2,2% (n=2)	11,8% (n=11)	19,4% (n=18)	36,6% (n=34)
C2	1,1% (n=1)	3,2% (n=3)	3,2% (n=3)	12,9% (n=12)	21,5% (n=20)	41,9% (n=39)
C3	0% (n=0)	1,1% (n=1)	4,3% (n=4)	3,2% (n=3)	12,9% (n=12)	21,5% (n=20)
Gsamt	1,1% (n=1)	7,5% (n=7)	9,7% (n=9)	28% (n=26)	53,8% (n=50)	100% (n=93)

Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Parameter „Schmerz“ und den einzelnen Frakturgruppen festgestellt werden.

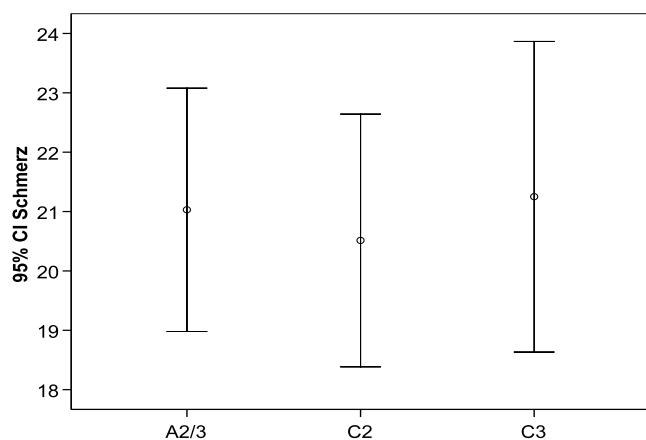


Abbildung 38 Ergebnis der Kategorie "Schmerz" hinsichtlich dem AO- Frakturtyp

3.15.1.2 Kategorie „Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis“

Insgesamt waren Frakturübergreifend 86% (n=80) der Patienten mit dem Behandlungsergebnis zum Nachuntersuchungszeitpunkt sehr zufrieden und 1,1% (n=1) mit dem Ergebnis

nicht zufrieden und dadurch arbeitsunfähig. Dabei handelte es sich um einen Frakturtyp C2. 8,6% (n=8) aller untersuchten Patienten waren mittelmäßig zufrieden, 4,3% (n=4) waren nicht zufrieden mit dem Ergebnis aber arbeitsfähig.

Bezüglich der Zufriedenheit und den einzelnen Frakturtypen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

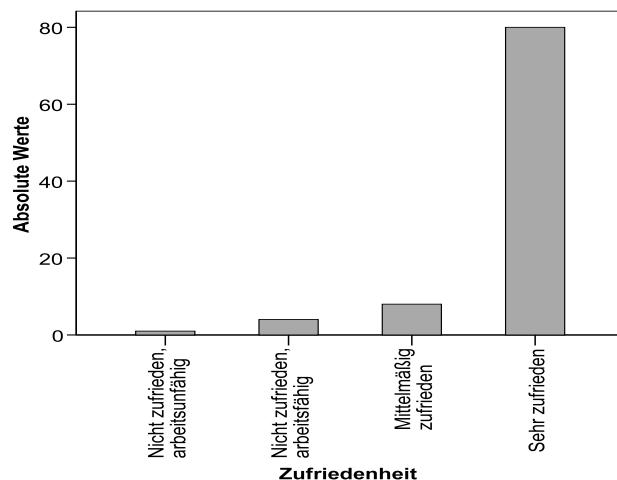


Abbildung 39 Ergebnis der Kategorie "Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis"

Der Zusammenhang bezüglich den Frakturtypen und der Kategorie „Zufriedenheit“ :

	<i>Nicht zufrieden, arbeitsunfähig</i>	<i>Nicht zufrieden, arbeitsfähig</i>	<i>Mittelmäßig zufrieden</i>	<i>Sehr zufrieden</i>	<i>Gesamt</i>
A2/3	0% (n=0)	2,2% (n=2)	5,4% (n=5)	29% (n=27)	36,6% (n=34)
C2	1,1% (n=1)	1,1% (n=1)	0% (n=0)	39,8% (n=37)	41,9% (n=39)
C3	0% (n=0)	1,1% (n=1)	3,2% (n=3)	17,2% (n=16)	21,5% (n=20)
Gesamt	1,1% (n=1)	4,3% (n=4)	8,6% (n=8)	86% (n=80)	100% (n=93)

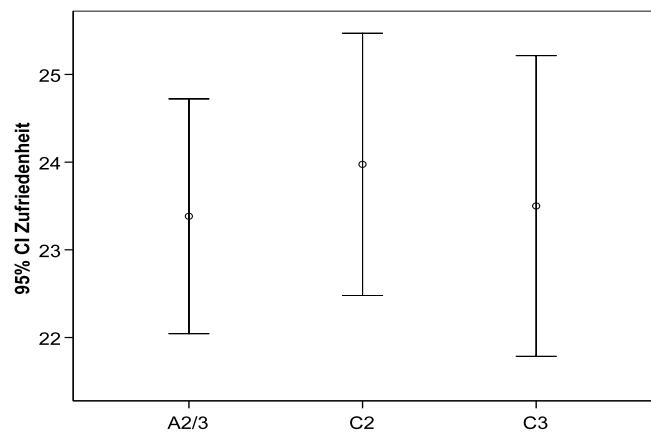


Abbildung 40 Ergebnis der Kategorie "Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis" hinsichtlich dem AO-Frakturtyp

3.15.1.3 Kategorie „Subjektive Minderung des Bewegungsumfangs“

Im Bezug auf den gesamten Bewegungsumfang des operierten Handgelenkes gaben 74,2% (n=69) der Patienten 100% der ursprünglichen Beweglichkeit an. 1,1% (n=1) gaben einen Bewegungsumfang von nur noch 24-49% an. Dabei handelte es sich um eine C3 Fraktur. Das schlechteste Intervall von 0-24% betraf keinen Patienten.

19,4% (n=18) erreichten 75-99%, 5,4% (n=5) 50-74% des ehemaligen Bewegungsausmaßes. Zwischen den einzelnen Frakturtypen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

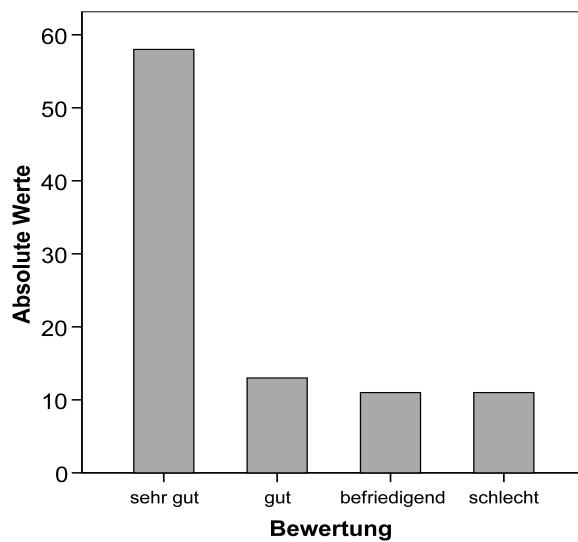


Abbildung 41 Ergebnis der Kategorie "subjektive Minderung des Bewegungsumfangs"

Der Zusammenhang bezüglich den einzelnen Frakturtypen und der Kategorie „subjektive Minderung des Bewegungsumfangs“ ist in folgender Tabelle dargestellt:

	0-24%	25-49%	50-74%	75-99%	100%	Gesamt
	Gegens.	Gegens.	Gegens.	Gegens.	Gegens.	
A2/3	0% (n=0)	0% (n=0)	1,1% (n=1)	4,3% (n=4)	31,2% (n=29)	36,6% (n=34)
C2	0% (n=0)	0% (n=0)	3,2% (n=3)	8,6% (n=8)	30,1% (n=28)	41,9% (n=39)
C3	0% (n=)	1,1% (n=1)	1,1% (n=1)	6,5% (n=6)	12,9% (n=12)	21,5% (n=20)
Gesamt	0% (n=0)	1,1% (n=1)	5,4% (n=5)	19,4% (n=18)	74,2% (n=69)	100% (n=93)

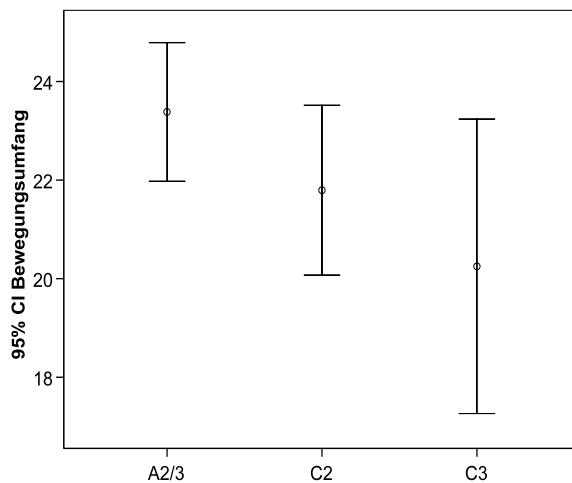


Abbildung 42 Ergebnis der Kategorie "subjektive Minderung des Bewegungsumfangs" im Hinblick auf den AO- Frakturtyp

Bei der Auswertung der beiden normalverteilten gelenk-, bzw. nicht gelenkbeteiligten Frakturgruppen zeigte sich im T- Test für unabhängige Stichproben eine signifikante Differenz bezüglich der Kategorie „Bewegungsumfang“ ($p=0,00$) zugunsten der nicht gelenkbeteiligten Gruppe.

	<i>p</i>	<i>Mittelwert C2/3</i>	<i>Mittelwert A2/3</i>
Bewegungsumfang	0,00	21,27	23,38

3.15.1.4 Kategorie „Subjektive Minderung der ursprünglichen Griffstärke“

Im Bezug auf die Minderung der ursprünglichen Griffstärke vor dem Unfall entsprach diese bei 61,3% ($n=57$) 100%. Die schlechtesten 12,9% ($n=12$) lagen im Intervall zwischen 50-74%. 25,8% ($n=24$) erreichten 75-99% der Griffstärke vor dem Unfallzeitpunkt.

Anzahl der Fraktu-

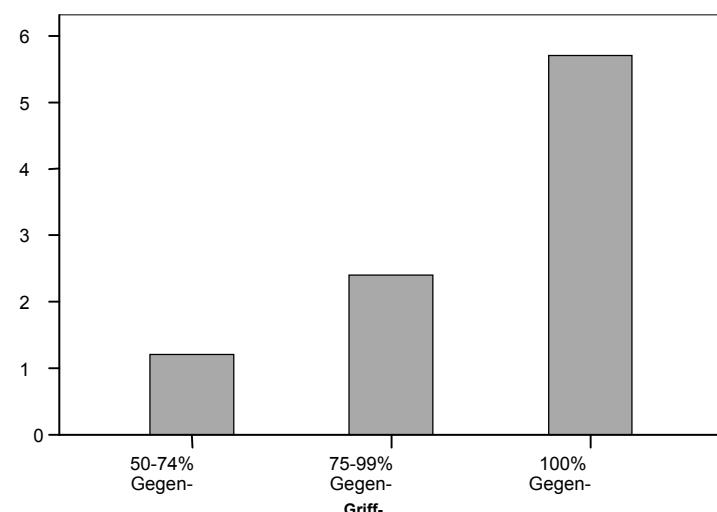


Abbildung 43 Ergebnis der Kategorie "Minderung der Griffstärke"

Ein signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Frakturtypen konnte nicht nachgewiesen werden ($p=0,48$).

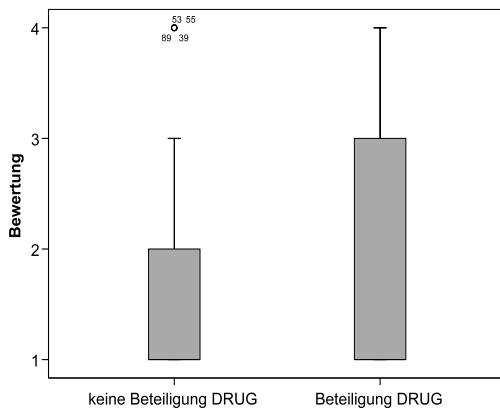
Der Zusammenhang bezüglich den einzelnen Frakturtypen und der Kategorie „Griffstärke“ ist in folgender Tabelle dargestellt:

	50-74%	75-99%	100%	Gesamt
	Gegens.	Gegens.	Gegens.	
A2/3	5,4% (n=5)	9,7% (n=9)	21,5% (n=20)	36,6% (n=34)
C2	5,4% (n=5)	7,5% (n=7)	29% (n=27)	41,9% (n=39)
C3	2,2% (n=2)	8,6% (n=8)	10,8% (n=10)	21,5% (n=20)
Gesamt	12,9% (n=12)	25,8% (n=24)	61,3% (n=57)	100% (n=93)

3.15.2 Outcome im Hinblick auf das distale Radioulnargelenk

Die Gruppe ohne Frakturbeteiligung der Sigmoid notch erreichte 89,7(+/-14,5) Punkte und die Gruppe mit Beteiligung erreichte 83,9(+/-19) Punkte im MAYO- Score. Die Gruppe ohne Beteiligung der Sigmoid notch erzielte damit noch das Ergebnis „Sehr gut“ (90-100 Punkte), während die Gruppe mit Gelenkbeteiligung das Ergebnis „Gut“ (80-89) Punkte erreichen konnte.

Dabei konnten hinsichtlich der Punktedifferenz kein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe mit- bzw. ohne Beteiligung der Sigmoid notch nachgewiesen werden ($p=0,095$). Nur in der Kategorie „Bewegungsumfang“ zeigte sich bei einer mittleren Differenz von 2,4(+/-1,2) Punkten ein signifikanter Unterschied ($p=0,04$).



1= Sehr gut; 2= Gut; 3= Befriedigend; 4= Schlecht

Abbildung 44 Ergebnis des Mayo-Score hinsichtlich der DRUG-Beteiligung

3.15.3 Outcome im Hinblick auf das radioulnare Repositionsergebnis

Die Gruppe mit verbliebenen Gelenkstufen im Bereich der Sigmoid notch erreichte mit 72,9 (+/-22,5) Punkten und der Bewertung „Befriedigend“ (65-79 Punkte) ein signifikant ($p=0,05$) schlechteres Ergebnis als die Gruppe ohne Gelenkstufen in der radioulnaren Gelenkfläche des distalen Radius mit 89,9 (+/-14,8) Punkten und der Bewertung „Sehr gut“.

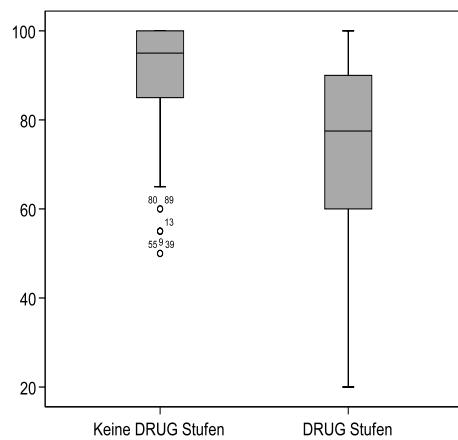


Abbildung 45 Mayo-Score Punkte hinsichtlich der radioulnaren Reposition

Während bezüglich der Griffstärke kein Unterschiede festgestellt werden können ($p=0,7$), zeigen sich signifikante Differenzen betreffend die Kategorien „Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis“ ($p=0,02$), „Bewegungsumfang“ ($p=0,004$) und fraglich „Schmerz“ ($p=0,07$).

Dabei scheidet die Gruppe ohne radioulnare Gelenkstufen stets besser ab.

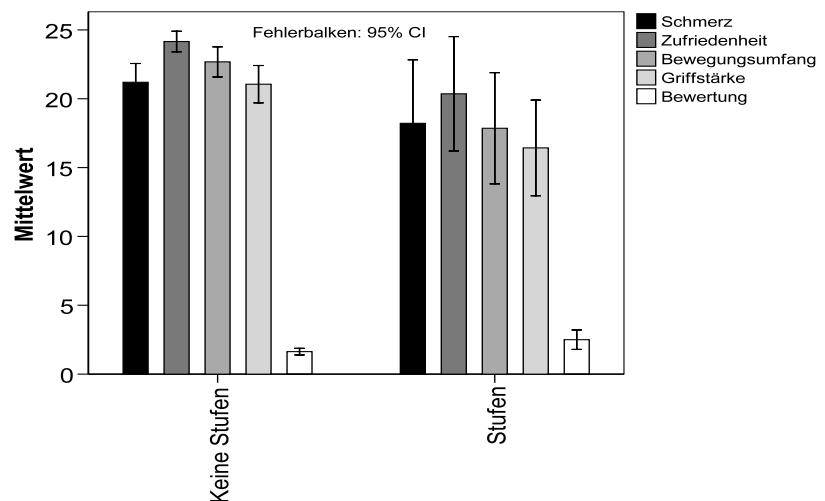


Abbildung 46 Ergebnisse des Mayo-Scores hinsichtlich dem radioulnaren Repositionsergebnis

Kategorie	p	Mittelwert	Stufen	Mw. keine Stufen
			DRUG	DRUG
Schmerz	0,07	18,21		21,20
Zufriedenheit mit dem Ergebnis	0,02	20,36		24,15
Bewegungsumfang	0,04	17,86		22,68
Griffstärke	0,25	16,43		21,06
Punkte	0,05	72,86		89,08

3.15.4 Outcome im Hinblick auf das radiokarpale Repositionsergebnis

Es lässt sich im Kruskal-Wallis-Test kein signifikanter Unterschied zwischen dem Ergebnis ($p=0,22$), sowie den einzelnen Kategorien des MAYO- Score im Bezug auf die drei Gruppen (keine Gelenkstufen, Gelenkstufen <2 mm, Gelenkstufen >2 mm) bzw. zwischen den Gruppen mit-, und ohne Gelenkstufen ($p=0,3$) eruieren.

Wird nur zwischen den Gruppen mit-, bzw. ohne radiokarpalen Gelenkstufen unterschieden, so findet sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der Kategorie „Bewegungsausmaß“ ($p=0,04$)

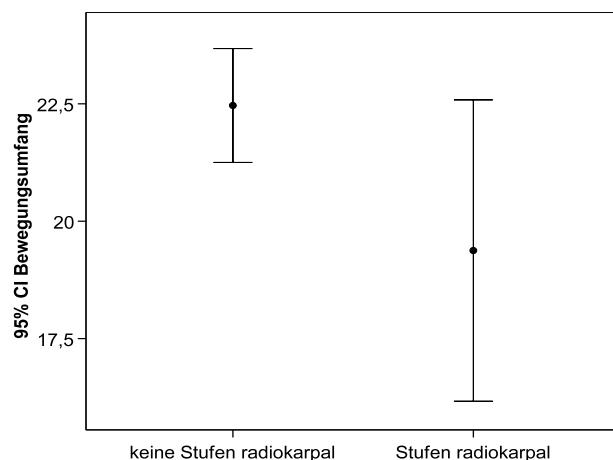


Abbildung 47 Ergebnis des Mayo-Score hinsichtlich dem radiokarpalen Repositionsergebnis

Kategorie	p	Mittelwert	Stufen	Mw. keine Stufen
			radiokarpal	radiokarpal
Bewegungsausmaß	0,04	19,38		22,46

3.15.5 Outcome hinsichtlich des seitlichen Radiusgelenkwinkels

In der Korrelationsberechnung nach Spearman-Rho konnte kein signifikanter Zusammenhang ($p=0,13$) zwischen der erreichten Punktzahl im Mayo- Score und dem distalen Radiusgelenkwinkel nachgewiesen werden.

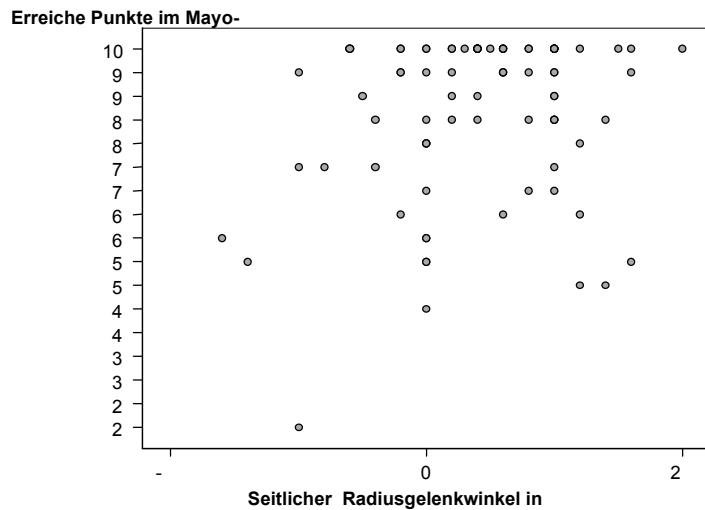


Abbildung 48 Korrelation zwischen seitlichem Radiusgelenkwinkel und Mayo-Score

Es zeigt sich jedoch ein signifikanter Zusammenhang bezüglich der Kategorie Griffstärke und dem distalen Radiusgelenkwinkel ($p=0,05$). Jedoch ließ der niedrige Koeffizient mit 0,22 keine weiteren Schlüsse zu.

3.15.6 Outcome hinsichtlich des radioulnaren Gelenkwinkels

In der Korrelationsberechnung nach Spearman-Rho konnte kein signifikanter Zusammenhang ($p=0,08$) zwischen der erreichten Punktzahl im Mayo- Score und dem radioulnaren Gelenkwinkel nachgewiesen werden.

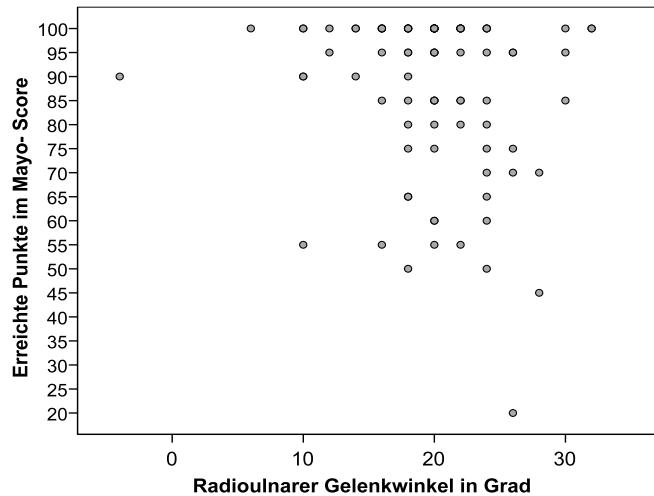


Abbildung 49 Korrelation zwischen radioulnarem Gelenkwinkel und Ergebnis

Es zeigte sich jedoch ein signifikanter Zusammenhang bezüglich der Kategorien „Schmerz“ und dem distalen Radiusgelenkwinkel ($p=0.03$). Der niedrige Koeffizient mit -0,24 ließ aber keine wesentlichen Schlüsse zu. Die negative Korrelation bedeutet dabei eine tendenzielle Schmerzzunahme bei Abflachung des radioulnaren Winkels.

4 Diskussion

4.1 Studiendesign

4.1.1 Einleitung

Der Arbeit wurde die Hypothese zugrunde gelegt, dass mittels volarer winkelstabilen Plattenosteosynthese das Behandlungsergebnis bei Frakturen vom Typ A2/3, C2 und C3 nach AO unabhängig von der Komplexität ist. Alternative Therapieverfahren brachten im Vergleich teils schlechtere Therapieergebnisse bei intraartikulären- als bei extraartikulären Frakturen¹⁷⁷. Wang¹⁷⁸ zeigte, dass bei komplexen intraartikulären Frakturen vom Typ C nach AO winkelstabile Plattenosteosynthesen im Vergleich zu konventionellen Plattenosteosynthesen zu besseren klinischen Ergebnissen führen. Ob die Erwartungen an die multimodal winkelstabilen Plattenosteosynthese im Hinblick auf ein verbessertes Outcome erfüllt werden können, kann in der aktuellen Literatur aufgrund der geringen Studienlage nicht ausreichend beantwortet werden. Des Weiteren finden sich kaum Arbeiten welche

sich mit Therapieergebnissen winkelstabiler Plattenosteosynthesen im Hinblick auf verschiedenen Frakturtypen beziehen. Sonderegger¹⁷⁹ konnte in einer dabei keine wesentlichen Unterschiede im Outcome zwischen extra- und intraartikulären Frakturen nach 12 Monaten feststellen. Eine genauere Differenzierung des Frakturtyps wie z.B. nach der AO-Klassifikation ist dabei aber nicht erfolgt.

Das Behandlungsziel der distalen Radiusfraktur ist eine möglichst schmerzfreie, bewegliche und kraftvolle Hand. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte ein besonderer Augenmerk auf die eine möglichst anatomische Reposition mit kongruenten Gelenkflächen¹⁸⁰ und regelrechten Achs- sowie Längenverhältnissen gerichtet werden.¹⁸¹ So haben die von Fernandez¹⁸² publizierten Langzeitergebnisse über 5 Jahre eine direkte Korrelation zwischen dem radiologischen Repositionsergebnis und der Funktion des Handgelenkes gezeigt. Es gibt jedoch auch einzelne Veröffentlichungen, wie jene von Jakob mit einem Follow up 36 Jahren bei konservativ behandelten Frakturen, die keinen direkten Zusammenhang zwischen dem funktionellen Ergebnis und dem radiologischem Ergebnis feststellen konnten¹⁸³. Dabei ist aber zu erwähnen, dass sich diese auf Patienten im fortgeschrittenen Alter mit geringem funktionellen Anspruch an das Handgelenk beziehen und eine differenzierte Betrachtung der radiologischen Ergebnisse fehlt. Speziell bei der Behandlung älterer Menschen korreliert das radiologische Ergebnis nicht immer mit dem funktionellen und subjektiven Ergebnis.¹⁸⁴

In den letzten Jahren kam es zu einer deutlichen Veränderung der Therapie der distalen Radiusfraktur. Dabei haben ein besseres funktionelles Verständnis, sowie die gesteigerten Ansprüche der Patienten an die Funktion des Handgelenkes und die teils unbefriedigenden Ergebnisse herkömmlicher Osteosyntheseverfahren zur Entwicklung neuer Implantate geführt.^{19,23,109,185} Seit der Einführung winkelstabiler palmarer Plattenosteosynthesen werden diese zunehmend als Therapie der Wahl postuliert.¹⁶¹ Nachdem die erste Generation dieser Implantate nur ein unidirektionales Verblocken der Schrauben zuließ, so ermöglichen aktuelle Implantate eine multidirektionale Verblockung. Dadurch ist eine bessere Anpassung der Osteosynthese an die anatomischen Gegebenheiten und den Frakturverlauf möglich. Hakimi¹⁸⁶ konnte jedoch entgegen den Vermutungen in einer Kohortenstudie an 40 Patienten bei einem Vergleich zwischen unidirektional- und multidirektionalen Plattenosteosynthesen und einem Follow-up von einem Jahr keinen funktionellen oder radiologischen Vorteil feststellen.

Es wird geschätzt, dass aktuell etwa 90% der distalen Radiusfrakturen mit winkelstabilen Plattenosteosynthesen versorgt werden.¹⁴⁹

Der beugeseitige Zugang und Plattenpositionierung wird dabei als komplikationsarm angesehen¹⁵². Im Vergleich zur konservativen Therapie ist eine konsequente Gipsruhigstellung bis zur Konsolidierung der Fraktur nicht zwingend erforderlich^{160,187}. Bisher gibt es aber keine ausreichend validierten Daten, welche eine evidente Überlegenheit dieses Verfahrens gegenüber herkömmlichen Therapiestrategien beweisen können¹⁶².

4.1.2 Patienten

Bei der Untersuchung handelte es sich um eine retrospektive Untersuchung an 94 Patienten. Die Patienten wurden in den beiden Kliniken Berchtesgaden und Bad Reichenhall mit einer winkelstabilen palmaren Plattenosteosynthese therapiert. Beide Krankenhäuser gehören zum Verbund Kliniken Südostbayern AG und werden durch eine gemeinsame unfallchirurgische Abteilung unter CA PD Dr. med. R. Hente versorgt.

Obwohl in dem Zeitraum zwischen Jan. 2005- März 2008 insgesamt 267 Patienten die medizinischen Kriterien zur Teilnahme an der Nachuntersuchung erfüllten, konnten letztlich nur 94 Patienten nachuntersucht werden. Dabei betrug der Nachuntersuchungszeitraum im Mittel 35,8 Monate (3Jahre), der kürzeste 18 Monate und der längste 62 Monate. Die beiden Kliniken liegen in einer beliebten Tourismusregion. 31,8% der versorgten Patienten kamen daher nicht aus der direkten Umgebung und hatten einen Anfahrtsweg größer als 100 km. Die Anzahl der verstorbenen, nicht auffindbaren und eine Teilnahme ablehnender Patienten entspricht mit insgesamt 10,8% denen vergleichbarer Studiendesigns. 11,6% der Patienten meldeten sich nicht auf die Einladung zur Studienteilnahme.

4.1.3 Datenerfassung

Zur Evaluierung des Behandlungsergebnisses und Vergleich mit anderen Studien wurden drei gängige Scores ausgewertet und der Behandlungsverlaufs ausgewertet. Es erfolgte eine klinische Untersuchung sowie die Auswertung der radiologischen Verlaufsdocumentation.

4.1.3.1 Scores

Viele Untersuchungen zur Behandlung distaler Radiusfrakturen verwenden unterschiedliche Scores und Bewertungskriterien, so dass zusammenfassende Metanalysen nur schwer möglich sind ¹⁸⁸.

Entsprechend wurden verbreitete Scores verwendet, um Vergleiche mit anderen Studien zu ermöglichen.

4.1.3.1.1 DASH- Score

Im DASH- Score spiegeln sich die subjektiven Behandlungsergebnisse durch den Patienten selbst wieder. Dabei wird die Fähigkeit eine Handlung durchzuführen und nicht die Art der Durchführung bewertet. Der Test bewertet die Funktion der gesamten oberen Extremität und bezieht sich nicht speziell auf das Handgelenk.

4.1.3.1.2 Gartland and Werley- Score

Im Gartland- and Werley- Score ¹⁷¹ bezieht sich auf das Handgelenk. Es werden subjektive (Schmerz) als auch objektive Parameter (Form, Funktion, radiologisch Parameter) durch den Untersucher bewertet.

4.1.3.1.3 Mayo-Score

Der Test bezieht sich rein auf das Handgelenk. Im Mayo- Score fließen subjektive als auch objektive Parameter in das Ergebnis ein. Es erfolgten einige Modifikationen: Bezuglich der Kraftmessung wird ein Vergleich mit der Gegenseite als ungenau angesehen, da in der Regel eine natürliche Kraftdifferenz zwischen den beiden Körperseiten besteht ¹¹². Von Interesse war für uns die Minderung der Kraft seit dem Unfallereignis. Da dies retrospektiv nicht objektiv evaluierbar ist, wurde der Proband gebeten eine grobe prozentuale Schätzung abzugeben (100%, 75-99%, 50-74%, 25-49%, 0-24%).

Bezuglich der Kategorie „Minderung des Bewegungsumfanges im Vergleich zur Gegenseite“ wurde der Patient gebeten nach der gleichen prozentualen Einteilung eine subjektive Beurteilung der Minderung des Gesamtbewegungsumfanges anzugeben. Die beiden weiteren Kategorien „Zufriedenheit“ und „Schmerz“ sind rein subjektiver Natur.

Letztlich ist die Beurteilung des Behandlungsergebnisses durch den Patienten selbst die beste Auswertung, denn jede Therapie sollte nicht dem Untersucher, sondern dem Patienten dienen.¹⁸⁹

4.1.3.2 Bewegungsausmaße

Neben den Untersuchungsbögen wurden die Bewegungsausmaße erhoben. Dabei ist als Schwachpunkt zu erwähnen, dass zum Untersuchungszeitpunkt nur die Bewegungsausmaße der operierten Extremität gemessen wurden und kein Seitenvergleich erfolgte. Hinsichtlich der Supination und Pronation konnten die Bewegungsausmaße der Gegenseite anhand der erfolgten Bilddokumentation rückwirkend ausgewertet werden. In den anderen Bewegungsebenen ließ die Bilddokumentation dies nicht zu.

4.1.3.3 Bildgebung und Klassifikation

Die radiologische Klassifizierung der Frakturen erfolgte anhand der AO- Klassifikation⁷⁸. Sie wurde 1989 publiziert und findet aktuell eine breite Anwendung. In der Literatur wird ihr der Vorrang gegenüber anderen Einteilungen gegeben, da sie die morphologische Komplexität, mögliche Schwierigkeiten der Therapie und die Prognose gut wiederspiegelt.⁷⁶ Das distale Radioulnargelenk wird jedoch bei dieser Klassifikation im Gegensatz zur Frykman- Einteilung nicht berücksichtigt. Das distale Radioulnargelenk wurde deshalb hinsichtlich Beteiligung und Repositionsergebnis separat betrachtet und ausgewertet. Andere Frakturklassifikationen wie z.B. die Frykman- Klassifikation sind diesbezüglich zwar umfassender, finden jedoch im klinischen Alltag kaum Anwendung¹⁹⁰.

Studien zeigten, dass unterschiedliche Untersucher keine signifikanten Übereinstimmungen erzielen konnten, wenn eine Klassifikation mehr als drei Gruppen beschrieb. Dies galt auch für die Einteilung nach Frykman. Für die AO-Klassifikation konnte eine signifikante Übereinstimmung nur dann erzielt werden, wenn eine Reduktion auf die drei Frakturgruppen A, B, C erfolgte¹⁹¹. Eine präzise Einteilung der Frakturen nach radiologischen Parametern ist deshalb mit einer gewissen Fehlerquote behaftet. Cole⁸⁰ beschreibt eine Fehlerquote von bis zu 30% in der Beurteilung von Gelenkbeteiligungen und Gelenkstufen im Vergleich zur computertomographischen Auswertung .

Arora¹⁹² fand in einer prospektiven Studie an 117 Patienten ähnliche Resultate. Während auf den Röntgenbildern intraartikuläre Gelenkstufen von 0,9 mm nach Reposition gemes-

sen wurden, zeigten sich in computertomographischen Schnittbildern Stufen von 2,4 mm. Eine zentrale Impression der Gelenkfläche wurde auf Röntgenbildern in 18% nachgewiesen, während sich im computertomographisch in 62% der Fälle eine Impression nachweisen ließ. In 23% der Fälle folgte daraufhin eine Änderung des Therapiekonzeptes.

Da nur in einer geringen Anzahl der Frakturen eine weiterführende CT- Diagnostik erfolgte, wurde neben der rein radiologischen Beurteilung der jeweilige Operationsbericht mit ausgewertet. Jedoch kann das Gelenk selbst intraoperativ nur eingeschränkt eingesehen werden, da die palmare Handgelenkskapsel und die radiokarpalen Bandstrukturen nicht durchtrennt werden sollten, um Instabilitäten des Gelenkes vorzubeugen.

Nach Auswertung der erfolgten bildgebenden Diagnostik, den dokumentierten Krankheitsverläufen sowie den jeweiligen Operationsberichten erfolgte die Frakturklassifikation. Eine geringe Fehlerquote kann aber trotz aller Aufmerksamkeit nicht komplett ausgeschlossen werden.

Zur Beurteilung des Repositionsergebnisses wären Vergleichsaufnahmen der kontralateralen Seite sinnvoll. Aus ethischen Sicht und Gründen des Strahlenschutzes wurde aber davon abgesehen.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Epidemiologische Parameter

Es wurden insgesamt 94 Patienten nachuntersucht. Das durchschnittliche Alter betrug zum Zeitpunkt der Unfallereignisses 63,3(+/-13,4) Jahre. Dabei stimmt das Unfallalter mit der vergleichenden Literatur weitgehend überein. Während es in der Studie von Herron¹⁴⁹ bei 42 Jahren liegt, so beträgt das höchste Alter in der Studie von Drobetz¹⁷⁶ 62 Jahre.

Es handelte sich bei 36% um radiokarpal extraartikuläre A2/3 Frakturen, und bei 64% um gelenkbeteiligte Frakturen. Letztere setzten sich aus 43% C2 Frakturen und 21% C3 Frakturen zusammen. Betreffend das distale Radioulnargelenk fand sich in 43% eine intraartikuläre Beteiligung

Die Alters- und Geschlechtsverteilung zeigte ebenfalls eine weitgehende Übereinstimmung mit der Literatur^{2,10–13,193}. Die Frakturinzidenz war bei Frauen vier mal so hoch wie bei Männern. Während sich der Altersmedian in der Gruppe der Frauen bei 51 Jahren befand, lag dieser bei den Männern mit 33 Jahre deutlich darunter.

Es zeigte sich eine signifikant positive Korrelation bezüglich der Frakturinzidenz ansteigendem Alter bei Frauen. Bei Männer ließ sich dieser Zusammenhang nicht nachweisen.

Owen² konnte entsprechend nachweisen, dass das Frakturrisiko bei Frauen ab dem 60.-64. Lebensjahr um das 6-fache ansteigt. Wie in der Literatur häufig beschrieben, zeigte sich auch in unserer Untersuchung ein Trend bezüglich einem häufigeren Auftreten gelenkbeteigter und komplexerer Frakturen bei höherem Alter. Eine statistische Signifikanz konnte dabei aber nicht nachgewiesen werden. Itoh¹⁷ sieht einen direkten Zusammenhang zwischen der Knochendichte und der Komplexität einer Fraktur. Als direkte Risikofaktoren konnte Nguyen¹⁸ mittels einer longitudinalen Studie in England die Knochendichte sowie den muskulären Status benennen. Die Anzahl postmenopausaler Jahre, Größe und Gewicht sowie Lifestyle korrelieren mit der Knochendichte und stellen damit indirekte Risikofaktoren dar.

Der Anteil der Rechtshänder überwiegte mit 86%. In 62% der Fälle handelte es sich um eine Fraktur des linken Handgelenks. Bei Rechtshändern kam es in 63% zu einem Bruch der Gegenseite, bei Linkshändern mit 70% häufiger zu einer Fraktur der dominanten Seite. Ein Zusammenhang zwischen der dominanten Seite und dem betroffenen Handgelenk, wie von Zwack¹⁹⁴ diskutiert bestätigte sich nicht.

Bei 17% der Patienten traten postoperative Komplikationen auf. In den vorliegenden Veröffentlichungen wird eine Komplikationsrate zwischen 3,2%¹⁵⁶, 10%¹⁷⁴, 17%¹⁷⁵ und 32%¹⁷⁶ beschrieben. Knight¹⁹⁵ wies bei einem Follow-up von 59 Wochen bei einer monodirektionalen volaren Platte sogar eine Komplikationsrate von 48% nach. Dabei traten am Häufigsten radiokarpal intraartikuläre Schraubenpositionierung und extensor pollicis longus Sehnenrupturen auf.

In unserer Nachuntersuchung zeigten sich bei 5% der Patienten Irritationen des Nervus medianus. Diese traten innerhalb eines halben Jahres auf.

In 3% kam es zu einer postoperativen Hypästhesie im Bereich des Thenars. Auffallend war bei diesen Patienten stets ein Hautschnitt, welcher über die distale Beugefalte hinweg lief. Das betroffene Hautareal könnte dabei dem Einzugsbereich den Ramus palmaris N. medianus entsprechen. Diese Komplikation wurde auch schon durch Gruber¹⁹⁶ im Rahmen einer Nachuntersuchung an 102 Patienten und einem Follow up von zwei Jahren beschrieben.

In weiteren drei Prozent kam es zum Bruch der Platte. In allen drei Fällen folgte ein sekundärer Korrekturverlust erheblichen Ausmaßes.

Bei einem Patienten zeigte sich eine Irritation der Sehne des M. extensor pollicis longus durch eine dorsale knöcherne Umbauung. Orbay¹⁵⁶ beschrieb z.B. Sehnenreizungen durch dorsal überstehende Stifte oder Schrauben. Walz¹⁹⁷ und Bell¹⁹⁸ beschreiben eine

Ruptur der Sehne extensor pollicis longus (EPL). Knight¹⁹⁵ berichtete sogar von 12,5% Sehnenrupturen. Als Ursachen für eine Strecksehnenruptur werden in der Literatur dorsal überstehende Schrauben, knöchernere Schuppen der dorsalen Trümmerzone, oder dorsale Kortikalisstufen beschrieben. Es wird deshalb geraten, die distalen Schrauben monokortikal zu platzieren oder die proximale Schraubenreihe im Gelenkblock nicht zu besetzen^{5,131,176,195,199,200}. Bei einem Patienten kam es zu einem schnellenden Finger.

In einem Fall wurde ein CRPS im postoperative Verlauf nachgewiesen, welches konservativ mittels komplexer Schmerztherapie und intensiver physikalischer und physiotherapeutischer Therapie zur Ausheilung gebracht werden konnte. In der Literatur wird das Auftreten eines CRPS bei distalen Radiusfrakturen mit 8-25% angegeben^{58,59}. Die niedrige Rate an CRPS Fällen wird in der Literatur auf die in Regel frühe operative Versorgung, die verbesserten osteosynthetischen Möglichkeiten sowie die suffizientere analgetischer Therapie bezogen^{62,63,196,201}.

Zusammenfassend entsprechen die geschilderten Komplikationen in ihrer Häufigkeit und Art den Ergebnissen der aktuellen Literatur. Pseudarthrosen oder Wundinfektionen wurden nicht beobachtet. Sekundäre Dislokationen zeigten sich nur bei Materialversagen. Bei intakter Osteosynthese konnten keine Dislokationen nachgewiesen werden.

4.2.2 Auswertung Bildgebung

Es handelte sich bei 36% um nicht gelenkbeteiligte A2/3 Frakturen, und 64% gelenkbeteiligten Frakturen. Letztere setzten sich aus 43%C2 Frakturen und 21%C3 Frakturen zusammen.

Hinsichtlich des distalen Radioulnargelenkes konnte in 43% der ausgewerteten Röntgenbilder ein Beteiligung des DRUG im Sinne Frykman Typ V-VIII nachgewiesen werden.

Cole⁸⁰ zeigte in einer radiologischen Evaluierung zwischen Röntgen- und CT-Diagnostik, dass eine millimetergenaue Abmessung von radiokarpalen Gelenkstufen nur eingeschränkt möglich und mit einer hohen Fehlerzahl behaftet ist. Deshalb wurden zwei Einteilungen vorgenommen. In der Ersten setzten sich drei Gruppen aus stufenfreien Repositionsergebnissen, denen mit Stufen < 2 mm und denen mit Stufen > 2 mm zusammen. In der Literatur wird davon ausgegangen, dass Stufen > 2mm eine signifikante Präarthrose darstellen und mit Bewegungseinschränkungen einhergehen²⁴.

In der zweiten Einteilung wurde nur zwischen den beiden Gruppen mit- bzw. ohne radiokarpalen Gelenkstufen unterschieden.

Bei 20% der Frakturen waren postoperativ Gelenkstufen nachweisbar. Bei 14% waren sie kleiner als zwei Millimeter, bei 8% größer als zwei Millimeter. Statistisch zeigte sich kein Zusammenhang ($p=0,77$) zwischen dem Repositionsergebnis und dem Frakturtyp.

Dies bestätigte die Ergebnisse von Jupiter¹⁰⁴, der im Rahmen einer prospektiven Studie an 102 Patienten bei 19% Gelenkstufen bis zwei Millimeter und bei 5% Gelenkstufen größer als zwei Millimeter nachweisen konnte.

Im Gegensatz zur AO- Klassifikation wird in der Einteilung nach Frykman mit den Typen V-VIII auf eine Beteiligung des distalen Radioulnargelenkes beschrieben. In den präoperativen Röntgenbildern zeigte sich in 43% der Fälle eine Beteiligung des DRUGs im Sinne Frykman Typ V- VIII. In der aktuellen Literatur findet sich nur eine Veröffentlichung, welche auf die Beteiligung des DRUG bei der distalen Radiusfraktur Bezug nimmt. Cuenca²⁰² stellte dabei in 32,1% eine Beteiligung des DRUGs fest.

Bei 32% der Frakturen mit Beteiligung der Sigmoid notch erfolgte kein stufenfreies Repositionsergebnis. Ein Zusammenhang zwischen Repositionsergebnis der Sigmoid notch und dem Frakturtyp nach AO konnte ($p=0,53$) nicht nachgewiesen werden.

Anhand der ausgewerteten Röntgenbilder konnten keine DRUG- Stufen größer 1,5 mm festgestellt werden. Krural¹⁹⁰ untersuchte verschiedene Klassifikationen im Hinblick auf ihre Reproduzierbarkeit. Entsprechend dieser Ergebnisse wäre eine weitere Unterteilung der Gelenkstufen mit einer zu hohen Fehlerquote behaftet.

Der relativen Länge der Ulna bzw. der Verkürzung des Radius wird bezüglich des Behandlungsergebnisses in der Literatur eine wichtige Bedeutung zugesprochen. So führt eine Verkürzung des Radius um zwei Millimeter zu einer Verdopplung der Belastung der ulnaren Gelenkfläche und eine Reduktion der Kontaktfläche im DRUG auf 58%. Bei einer Verkürzung von 14 Millimeter wird eine weitgehend aufgehobene Umwendbewegung beschrieben^{24,95}. Jedoch besteht bezüglich des Längenverhältnisses zwischen Radius und Ulna eine hohe physiologische Varianz. So weisen 60% der Bevölkerung keinen Längenunterschied bzw. einen Ulnavorschub bis 4 Millimetern auf^{20,21}. In der Auswertung der postoperativen Röntgenbilder fand sich in 45% eine Ulna- minus- Variante, in 30% kein Längenunterschied und in 24% ein Ulna- plus- Variante. Ein Zusammenhang zwischen der relativen ulnaren Länge und dem Frakturtyp ließ sich nicht herstellen ($p=0,84$). Interessant wäre ein radiologischer Vergleich mit der Gegenseite, dies ist aber aus ethischen und Strahlenschutzgründen schwer zu rechtfertigen.

Der seitliche Radiusgelenkwinkel oder palmare Neigungswinkel betrug im Mittel 8-10° palmare Ausrichtung. Dies liegt im physiologisch Bereich⁹⁵. Pogue²⁷ zeigte, dass es im

Falle einer dorsalen oder palmaren Fehlstellung zu einer Verlagerung der Belastungszone aus dem Zentrum der Fossa lunata und scaphoidea nach dorsal bzw. palmar kommt. Dies führt zu Schmerzen, einem vermehrten Gelenkverschleiß und Bewegungseinschränkungen.

Im Vergleich zu den präoperativen Röntgenbildern konnte der seitliche Radiusgelenkwinkel um 20° reponiert werden. Dies entspricht den Ergebnissen von Oezokyay²⁰³ mit 21,4°, Knight¹⁹⁵ mit 18° und Meier¹⁵¹ mit ebenso 18°. In 65% zeigte sich eine palmarseitige, in 15% eine neutrale und in 20% eine dorsale Ausrichtung der Gelenkfläche. Ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Frakturtypen nach AO und dem postoperativen palmaren Neigungswinkel konnte nicht nachgewiesen werden (p=0,63).

Während der radioulnare Gelenkwinkel nach dem Frakturereignis im Mittel bei 14,9° (+/- 7,8°) lag, so betrug er nach Reposition 19,9° (+/-5,8°). Es konnte im Mittel eine Reposition von 5°(+/-7,8°) erzielt werden. Die Werte entsprechen den Ergebnissen vergleichbarer Studien^{151,179,195,199,203}.

In den postoperativen Röntgenbildern zeigte sich im Mittel eine Ulnavarianz von 0,7(+/-3) Millimetern. In der vergleichenden Literatur werden entsprechend Mittelwerte zwischen 0 und 1 Millimetern beschrieben^{151,179,195,199,203}.

Zusammenfassend entsprechen die Ergebnisse der radiologischen Auswertung der aktuellen Literatur. Einzig die Beteiligung des distalen Radioulnargelenkes liegt um etwa 10% höher als von Cuenca²⁰² geschildert.

4.2.3 Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die AO- Klassifikation

4.2.3.1 Passives Bewegungsausmaß

In der Auswertung des passiven Bewegungsausmaßes bei Supination und Pronation ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Frakturgruppen nachweisen. Im Mittel betrug das Ausmaß der Umwendbewegung in Supination und Pronation nach der Neutral- Null- Methode bei 71°(+/-10,6°)/ 0°/ 79°(+/-7,9°) und auf der gesunden Gegenseite im Mittel 7°8(+/- 7,9°)/ 0°/ 82°(+/-7,2°). Das Bewegungsausmaß der gesamten Umwendbewegung lag mit 160 Grad zwischen dem von Hakimi¹⁸⁶ und Sonderegger¹⁷⁹ beschrieben Werte. Ersterer stellte ein Jahr nach operativer Versorgung ein Bewegungsausmaß der Umwendbewegung von 140,4 Grad fest Letzterer nach 14,7 Monaten ein Bewegungsausmaß von 171 Grad.

Mit einer signifikanten Einschränkung von 9% bei Supination und 5% bei Pronation zwischen operierter Seite und Gegenseite entsprachen die Studienergebnisse in etwa denen von Figl¹⁵⁵. Im Rahmen seiner 12 Monatsergebnisse bei 80 Patienten nach volarer winkelstabiler Platenosteosynthese stellte er ein mittleres Bewegungsdefizit von 7% fest.

Knight¹⁹⁵ wies im Rahmen einer retrospektiven Studie mit einem 59 Wochen Follow-up eine Einschränkung der Supination um 19 Grad, sowie eine Einschränkung der Pronation um 9 Grad nach. Sonderegger¹⁷⁹ konnte bei einer mittleren Umwendbewegung von 84,6°/0°/86,3° in Supination/ Pronation auf der betroffenen, sowie 87°/0°/87° auf der Gegenseite, keinen signifikanten Unterschied nachweisen.

Im Falle verbliebener radiokarpaler Stufen findet sich eine nicht signifikante Reduktion der Supination um 4,2°(+/-2,9°) und nicht signifikante Reduktion der Pronation um 2,9° (+/-2,2°). Ein Zusammenhang zwischen der Größe der Gelenkstufen und dem Bewegungsausmaß konnte nicht festgestellt werden.

Die Palmar- und Dorsalflexion wurde nur auf der Frakturseite bestimmt. Das Bewegungsausmaß der Gegenseite wurde nicht dokumentiert. Eine rückwirkende Auswertung anhand der Photodokumentation konnte nicht durchgeführt werden, so dass nur ein Vergleich mit den physiologischen Werten möglich ist. Es zeigte sich ein mittlerer Bewegungsumfang von 53°(+/-15,7°)/ 0°/ 48°(+/-14,7°). Dies entspricht einem Gesamtbewegungsausmaß von 101 Grad und stimmt in etwa dem von Hakimi¹⁹⁹ überein, der nach einem Jahr 108 Grad feststellte. Das physiologische Bewegungsausmaß liegt laut Literatur zwischen 30-60°/0°/45-60° in Palmar- und Dorsalflexion^{171,179}. Entsprechend liegen 95% der Patienten bezüglich der Palmarflexion im Normbereich und 5% der Patienten mit Werten zwischen 20-29 Grad außerhalb des Normbereichs. Alle Patienten lagen hinsichtlich der Dorsalflexion in dem geschilderten physiologischen Bereich. Ein signifikanter Unterschied in der passiven Beweglichkeit konnte bei der Dorsal- und Palmarflexion zwischen den AO- Frakturgruppen nicht festgestellt werden. Dies stimmt weitgehend mit den Ergebnissen von Sonderegger¹⁷⁹ überein, der jedoch bezüglich der aktiven Beweglichkeit zwischen gelenk- und nicht gelenkbeteiligten Frakturen nur bei der Palmarflexion (85% der gesunden Gegenseite) und Radialduktion (87% der gesunden Gegenseite) einen signifikanten Unterschied feststellen konnte. Jedoch führten diese Unterschiede zu keinen wesentlichen klinischen Einschränkungen. Im Falle verbliebener radiokarpaler Gelenkstufen zeigt sich eine nicht signifikante ($p=0,89$) Reduktion der Dorsalflexion um 0,5(+/-4,1) Grad, aber signifikante Einschränkung der Palmarflexion um 9,3(+/-4,3) Grad.

Eine weitere Differenzierung in Gelenkstufen kleiner- bzw. größer als zwei Millimeter zeigte bezüglich der Bewegungseinschränkung keine weiteren Unterschiede.

Knight¹⁹⁵ beschreibt eine Bewegungseinschränkung in Radial- bzw. Ulnaduktion von je 25% im Vgl. zur gesunden Gegenseite nach einem Jahr. Da die passiven Bewegungsausmaße der Gegenseite in unserer Studie bezüglich dieser Bewegungsebene nicht dokumentiert wurde, müssen die Ergebnisse mit den in der Literatur beschriebenen physiologischen Bewegungsausmassen verglichen werden:

In der Ulnaduktion bzw. Radialduktion fand sich ein mittleres Bewegungsausmaß von 19°(+/-4,3°)/ 0°/ 19°(+/-4,2°). In der Literatur werden Normwerte von 15-30°/0°/15-30° angegeben, so dass 97% der Patienten in diesem Intervall liegen.^{171,179} Unser Ergebnis lag deutlich unter den geschilderten 62,5 Grad Gesamtbewegungsumfang von Hakimi.¹⁹⁹ Auch in dieser Bewegungsebene ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Frakturtypen A2/3, C2 und C3 feststellen. Im Falle verbliebener radiokarpaler Gelenkstufen ist die Ulnaduktion nicht signifikant ($p=0,85$) um 0,2(+/-1,2) Grad und die Radialduktion nicht signifikant ($p=0,35$) um 1,1(+/-1,2) Grad eingeschränkt.

Zusammenfassend finden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Frakturgruppen A2/3, C2 und C3 bezüglich den Bewegungsausmaßen in Supination und Pronation, Dorsal- und Palmarflexion sowie Radial- und Ulnaduktion. Diese Beobachtung entspricht den Ergebnissen von Gruber¹⁹⁶ an 102 Patienten, die aufgrund distaler Radiusfrakturen verschiedener Schweregrade mit einer volaren winkelstabilen Plattenosteosynthese behandelt wurden. Der Nachuntersuchungszeitraum lag bei 2 Jahren.

Abramo²⁰⁴ zeigte in seinen Einjahresergebnissen einen mittleren Bewegungsumfang von 136 Grad bei der mit einem Fixateur externe versorgten Gruppe und 150 Grad bei der mit einer palmaren Plattenosteosynthese versorgten Gruppe in der Supination/ Pronation. Rizzo²⁰⁵ hingegen konnte keine signifikanten Unterschied hinsichtlich der Bewegungsausmaße zwischen Plattenosteosynthese und Fixateur feststellen. Auf die Qualität der Reposition wurde jedoch in beiden Untersuchungen nicht eingegangen. Es lässt sich im Hinblick auf die Literatur nicht feststellen ob die geschilderten Ergebnisse ein reiner Effekt der palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese sind.

Verbliebene radiokarpale Gelenkstufen führten in allen Bewegungsebenen zu einer geringen Einschränkung des mittleren Bewegungsausmaßes. Eine signifikante Einschränkung konnte nur in der Dorsalflexion festgestellt werden.

4.2.3.2 DASH- Score

Der DASH- Score betrug im Mittel 7,1(+/-11,5) Punkte. Dabei entspricht das beste Ergebnis 0 Punkten und das schlechteste Ergebnis 100 Punkten. Das schlechteste Ergebnis betrug 63,3 Punkte und das Beste 0 Punkte. Der Unterschied zwischen gelenkbeteiligten (7,9 Punkten) und nicht gelenkbeteiligten Frakturen (6,3 Punkten) betrug 1,54 Punkte. Bei dieser geringen Differenz ist laut Beaton¹⁷⁰ von keinem klinisch bemerkbaren Unterschied auszugehen. Die Ergebnisse der einzelnen Frakturtypen A2/3, C2 und C3 sowie der gelenk- und nicht gelenkbeteiligten Gruppen zeigten keinen signifikanten Unterschied ($p=0,33$). Verbliebene radiokarpale Gelenkstufen führten zu keiner Verschlechterung des DASH- Scores ($p=0,22$).

Rozental¹⁶¹ zeigte in einer retrospektiven Untersuchung an 41 Patienten und einem Follow up von 17 Monaten einen mittleren DASH- Score von 14 Punkten. Gruber¹⁹⁶ stellte in einem zwei Jahres Nachuntersuchungszeitraum im Mittel einen DASH- Score von 8 Punkten fest. Seine im Literaturvergleich guten Ergebnisse bezieht er auf einen frühen Operationszeitpunkt und eine frühfunktionelle Nachbehandlung. Murakami²⁰⁶ zeigte bei einem Follow Up von 9 Monaten an 24 Patienten entsprechend der Studie von Orbay und Fernandez²⁰⁷ einen mittleren DASH- Score von 9,9 Punkten. Jupiter¹⁰⁴ zeigte im Rahmen einer prospektiven Multicenterstudie an 125 gelenkbeteiligten Patienten einen mittleren DASH Score von 8 Punkten nach einem Jahr und 7 Punkten nach zwei Jahren, während er vor dem Frakturzeitpunkt bei 2 Punkten lag.

In der Kategorie „Schreiben“ zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen A2/3 und C3, sowie zwischen C2 und C3 und in der Kategorie „Kribbeln in der Hand“ zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen gelenk- und nicht gelenkbeteiligten Frakturen. Im Bezug auf die Kategorie „Freizeitaktivitäten mit Druck- und Stoßbelastung“ ließ sich ein signifikanter Unterschied zwischen gelenk- und nicht gelenkbeteiligten Frakturen nachweisen. Jedoch waren die Differenzen der Bewertung nie sehr hoch, lagen aber über den von Beaton¹⁷⁰ geforderten 5%, so dass von einem klinisch merkbaren Unterschied ausgegangen werden kann. Die Unterschiede in der Kategorie „Schwierigkeiten beim Tragen einer Tasche“ waren zwar hinsichtlich gelenk- und nichtgelenkbeteiligten Frakturen signifikant, aber lagen unter der von Beaton geforderten mindesten Differenz. Bei verblieben radiokarpalen Gelenkstufen ließen sich in insgesamt 5 Einzelkategorien signifikante Unterschiede feststellen.

Untersuchungen zu den einzelnen Test- Kategorien lassen sich in der Literatur nicht finden, so dass diese Beobachtungen nicht mit anderen Arbeiten in Bezug gesetzt werden kann.

Zusammenfassend lassen sich nach Auswertung der Ergebnisse des DASH- Scores keine klinisch relevanten Unterschiede im Behandlungsergebnis zwischen den einzelnen Frakturtypen nach AO, bzw. zwischen intra- und extraartikulären Frakturen feststellen.

Einzelne Kategorien schnitten bei einer Gelenkbeteiligung signifikant schlechter ab. Die Unterschiede sind zwar sehr gering, aber laut Beaton¹⁷⁰ trotzdem von klinischer Evidenz. Im Hinblick auf den DASH- Score zeigen sich bei der Versorgung distaler Radiusfrakturen mit der palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese keine relevanten Unterschiede im Hinblick auf das Frakturausmaß nach AO.

4.2.3.3 Gartland-and-Werley-Score

Bezüglich des Gartland- and- Werley- Scores lag das durchschnittliche Ergebnis bei 3,7 Punkten (Min.0, Max.28 Punkten) was der Bewertung „Gut“ entspricht. 88% erreichten ein gutes, bzw. exzellentes Ergebnis. Jupiter¹⁰⁴ zeigte in einem zwei Jahres Follow Up einen durchschnittlichen Wert von 4 Punkten nach sechs Monaten und 2 Punkten nach 2 Jahren. Dabei erzielten 96% aller Patienten ein exzellentes oder gutes Ergebnis.

Constantine¹⁵² fand 60% sehr gute und gute, sowie in 20% befriedigende Ergebnisse.

Sakhaai¹⁷⁴ stellte an 100 Patienten in 71% sehr gute und gute, sowie in 28% befriedigende und in 1% schlechte Ergebnisse fest. Beide Studien beziehen sich jedoch auf unidirektionale Plattenysteme.

Zwischen den einzelnen Frakturtypen A2/3, C2 und C3 ließen sich bei unseren Patienten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Ergebnisses nachweisen.

Bei Vorliegen radiokarpaler Gelenkstufen kam es zu keiner signifikanten Verschlechterung des Gesamtergebnisses ($p=0,33$)

Wird jedoch nur zwischen den beiden Gruppen mit bzw.- ohne Gelenkbeteiligung unterschieden, so finden sich signifikante Unterschiede bezüglich den Kategorien „verbliebene Deformitäten des Handgelenkes“ ($p=0,04$), „Schmerzen des distalen Radioulnargelenks“ ($p=0,03$), sowie eine Einschränkungen der Dorsalflexion ($p=0,04$), Palmarflexion ($p=0,01$), Ulnaduktion ($p=0,05$) und Supination ($p=0,00$). Dabei erzielten nicht gelenkbeteiligte Frakturen stets das bessere Ergebnis. Sonderegger¹⁷⁹ konnte ebenfalls nachweisen, dass es

im Falle einer radiokarpalen Gelenkbeteiligung zu einer signifikanten Einschränkung der Palmarflexion und Radialduktion kommt.

Im Falle verbliebener Gelenkstufen folgte eine signifikante Bewegungseinschränkung in Dorsalflexion ($p=0,00$) und Pronation ($p=0,04$). Nervenirritationen ($p=0,02$) traten häufiger auf. Untersuchungen zu den einzelnen Test- Kategorien werden in der Literatur jedoch nicht herausgearbeitet, so dass diese Beobachtung nicht mit anderen Arbeiten in Bezug gesetzt werden kann.

Zusammenfassend lassen sich nach Auswertung der Ergebnisse des Gartland- and- Werry- Scores keine wesentlichen klinisch relevanten Unterschiede im Behandlungsergebnis zwischen den einzelnen Frakturtypen nach AO, bzw. zwischen intra- und extraartikulären Frakturen feststellen. Die Beweglichkeit des Handgelenkes, sowie das Schmerzniveau waren in der Gruppe der intraartikulären Frakturen etwas schlechter. Dies führte aber im Hinblick auf das Gesamtergebnis zu keiner Verschlechterung. Verbliebene Gelenkstufen führen zu einer Verschlechterung der Ergebnisse hinsichtlich dem Bewegungsausmaß und Nervenirritationen.

4.2.3.4 Mayo-Wrist-Score

76,4% erreichten im Mayo-Wrist-Scores die Bewertung „Sehr Gut“ bzw. „Gut“. 12% erzielten ein schlechtes Ergebnis. Die durchschnittlich erreichte Punktzahl betrug 87 von 100 möglichen. Meier ¹⁵¹ wies bei 20 prospektiv konsekutiv akquirierten Patienten bei einem Nachuntersuchungszeitraum von 6 Monaten im Mayo-Wrist-Score eine durchschnittliches Ergebnis von 83 Punkten nach. In der Literatur findet sich nur eine Studie mit einem 3-Jahres-Follow Up. Diese betraf Patienten die mit einer Doppelplattenosteosynthese in der Rikli ²³ beschriebenen Technik versorgt wurden. Hems ²⁰⁸ zeigte in diesem 36 Monats Follow-up in 44% exzellente-, bzw. gute Ergebnisse bei der Doppelplattenosteoythese. Dabei wurden die Frakturen nur als dorsal disloziert beschrieben, eine genauere Differenzierung der Frakturen nach AO fand nicht statt. In der gängigen Literatur lassen sich keine vergleichbaren Nachuntersuchungsstudien betreffend die volare winkelstabile Plattenosteosynthese mit einem Follow Up von größer als zwei Jahren finden. Meier ¹⁵¹ zeigte in einem 26 Wochen Follow-up bei einer multidirektionalen volaren Platte ein Ergebnis von 83 Punkten, was der Bewertung Gut entspricht.

Zwischen den einzelnen Frakturtypen A2/3, C2 und C3 ließ sich bezüglich des Ergebnisses kein Unterschied nachweisen, so dass keine klinisch relevanten Unterschiede im Be-

handlungsergebnis zwischen den einzelnen Frakturtypen nach AO, bzw. zwischen intra- und extraartikulären Frakturen festgestellt werden konnten. Bei Vorliegen radiokarpaler Gelenkstufen kam es ebenso zu keiner signifikanten Verschlechterung des Ergebnisses. In der Kategorie „Minderung des Bewegungsumfang“ zeigt sich, wie schon in den passiven Bewegungsausmassen und im Gartland- Score, nun auch im Mayo- Score eine signifikante Differenz ($p=0,00$) zwischen den gelenk- und nicht gelenkbeteiligten Gruppe. Die Kategorien „subjektiv empfundene Kraftminderung seit dem Unfall“, „Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis“ und „Schmerz“ zeigten keine Unterschiede zwischen den einzelnen Frakturtypen auf.

54% der Patienten gaben eine komplette Schmerzfreiheit an und nur 1% der Patienten berichtet von Ruheschmerzen. 86% der Patienten waren mit dem Behandlungsergebnis sehr zufrieden. Nur 1% war durch die Fraktur und deren Folgen arbeitsunfähig. 74% der Patienten gaben einen 100 prozentigen Erhalt des Bewegungsumfanges an und nur 1% der Patienten ($n=1$) lag in dem Intervall 24-49% der ursprünglichen Beweglichkeit. Dabei handelte es sich um einen Patienten mit einer komplexen C3 Fraktur.

Bei Vorliegen radiokarpaler Gelenkstufen zeigte sich nur in der Kategorie „Minderung Bewegungsausmaßes“ eine geringe, aber signifikante Verschlechterung ($p=0,04$) um 1-25%.

4.2.3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse hinsichtlich der AO- Klassifikation

Zusammenfassend zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Frakturgruppen A2/3, C2 und C3 im Bezug auf den passiven Bewegungsumfang des Handgelenkes, den DASH-, Gartland- and- Werley- und Mayo- Wrist-Score. Differenziert man jedoch zwischen gelenk- und nicht gelenkbeteiligten Frakturen, so fällt eine Bewegungsminde- rung in der Gruppe der gelenkbeteiligten Frakturen auf. Diese findet man sowohl in der ob- jektiven Bestimmung des passiven Bewegungsausmaßes, als auch im Vergleich des akti- ven Bewegungsumfanges im Gartland- and- Werley-Score, wie auch in der „Minderung Bewegungsausmaßes“ im modifizierten Mayo- Wrist- Score. Im DASH- Score schneiden gelenkbeteiligte Frakturen in den Kategorien „Selbstvertrauen“($p=0,01$), „Kribbeln der Hand“($0,00$), „Freizeitaktivitäten mit Druck- und Stoßbelastung“($0,02$), sowie „Schwierigkei- ten beim Tragen einer Tasche“ ($0,03$) signifikant schlechter ab. Dies spiegelte sich aber im Gesamtergebnis ($p=0,25$) nicht wieder.

Im Falle verbliebener Gelenkstufen finden sich keine signifikanten Verschlechterungen der Gesamtergebnisse. Im Mayo-Score als auch im Gartland-and- Werley-Score lässt sich jedoch ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Bewegungsausmaße feststellen.

Diese Beobachtung entspricht in etwa den Ergebnissen von Sonderegger¹⁷⁹, der im Rahmen eines Follow-up von 14,7 Monaten keine wesentlichen Unterschiede zwischen gelenk- und nicht gelenkbeteiligten Frakturen im DASH-Score, aktiven Bewegungsumfang und Griffstärke feststellen konnte. Nur bezüglich der Komplikationsrate waren die Ergebnisse in der gelenkbeteiligten Gruppe mit 1,8:1 schlechter.

Die Behandlungsergebnisse der distalen Radiusfraktur mit der palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese zeigen keinen klinisch wesentlich relevanten Unterschied zwischen den einzelnen Frakturgruppen nach AO, auch wenn intraartikuläre Frakturen im Vergleich zu extraartikulären Frakturen in einzelnen Kategorien wie z.B. dem Bewegungsausmaß, der Funktion und dem Schmerzniveau eine schlechtere Tendenz aufzeigten.

4.2.4 Diskussion der Ergebnisse hinsichtlich dem Radioulnargelenk

Da in der AO- Frakturklassifikation⁷⁸ die Beteiligung des distalen Radioulnargelenks nicht berücksichtigt wird, wurde dieser Teil des distalen Radius separat betrachtet. Im Gegensatz zur AO- Klassifikation wird in der Einteilung nach z.B. Frykman die radioulnare Gelenkfläche des distalen Radius in die Klassifikation mit einbezogen. Die Frakturtypen V-VIII beschreiben dabei eine radioulnar intraartikuläre Fraktur. Die Reproduzierbarkeit dieser Einteilung entspricht in etwa der AO- Klassifikation¹⁹⁰.

Häufig klagen Patienten nach konsolidierter Fraktur des distalen Radius über ellenseitige Schmerzen und Einschränkungen der Umwendbewegung, unabhängig ob die Fraktur in anatomischer Stellung oder in Fehlstellung verheilt ist. Als Ursache werden neben einer Inkongruenz des DRUGs, Verletzungen des ulnokarpalen Komplexes oder Instabilitäten des distalen Radioulnargelenkes beschrieben²⁰⁹. Dabei kann eine Inkongruenz des distalen Radioulnargelenks nicht nur direkt durch eine Stufe im Gelenk, sondern auch indirekt durch eine in Fehlstellung verheilte, streng extraartikuläre distale Radiusfraktur verursacht werden²¹⁰.

Bei 42,9% der Patienten konnte anhand der Standardröntgenbilder des Handgelenkes in zwei Ebenen eine Beteiligung des distalen Radioulnargelenks nachgewiesen werden. Dies ist etwas häufiger als von Cuenca²⁰² beobachtet. Er konnte in 32,1% eine Beteiligung feststellen.

Die betroffenen Patienten zeigten in 38,9% kein stufenfreies Repositionsergebnis. Bei 17,4% aller nachuntersuchten Patienten war damit postoperativ ein inkongruentes distales Radioulnargelenk nachweisbar. Dies unterstreicht die geringe Aufmerksamkeit, welche dem distalen Radioulnargelenk und seiner Reposition gewidmet wird. Ursächlich könnten des Weiteren die radiologisch und intraoperativ schwere Einsehbarkeit, das Fehlen der radioulnaren Beurteilung in der AO- Klassifikation, sowie die mangelnden Verankerungsmöglichkeiten gängiger Plattenosteosynthesen im radioulnaren Bereich sein.

4.2.4.1 Passives Bewegungsausmaß

Während sich im Vergleich zwischen radiokarpal intra- und extraartikulären Frakturen nur geringe Bewegungseinschränkungen finden, führt eine radioulnare Gelenkbeteiligung zu einer signifikanten Minderung der Pronation um $4,7^\circ (+/-1,7^\circ)$. Auch in den anderen Ebenen kam es stets zu einer Reduktion der Beweglichkeit. Die Unterschiede waren dabei aber statistisch nicht signifikant.

Auffallend war eine hoch signifikante Verschlechterung der Gesamtbewegung im Falle eines nicht stufenfreien Repositionsergebnisses um $16,3^\circ (+/-16,6^\circ)$ in der Umwendbewegung, um $19,4^\circ (+/-8,1^\circ)$ und in der Palmarflexion- Dorsalflexion.

In der Literaturrecherche konnten keine Vergleichsdaten aus anderen Studien gefunden werden, obwohl Hunt²¹¹ bereits 1998 die Wichtigkeit des DRUG bei der distalen Radiusfraktur betonte und Faierman²¹² in einem Review zur Behandlung distaler Radiusfrakturen weitere Studien zur Behandlung eines beteiligten DRUGs bei der distalen Radiusfraktur forderte.

Die geschilderten Ergebnisse betonen die Notwendigkeit eines stufenfreien Repositionsergebnisses nicht nur radiokarpal als auch radioulnar. Obwohl dem Radioulnargelenk nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird scheint dieses im Hinblick auf den Erhalt der Handgelenksbeweglichkeit von besonderer Bedeutung zu sein.

Die Dreijahresergebnisse zeigen mit Blick auf die Bewegungsumfänge, dass die Behandlungsergebnisse der winkelstabilen palmaren Plattenosteosynthese bei radioulnar intraartikulären distalen Radiusfrakturen signifikant schlechter sind als bei radioulnar extraartikulären Frakturen. Während der Anteil radiologisch nachweisbarer Gelenkstufen bei radiokarpal intraartikulären Frakturen nach Reposition bei 28,3% liegt, so ist er bei radioulnar intraartikulären Frakturen mit 38,9% deutlich höher. Betreffend den Erhalt der Beweglich-

keit besteht damit eine relevante Abhängigkeit des Behandlungsergebnisses vom Frakturtyp.

4.2.4.2 DASH-Score

Ähnlich stellten sich die Ergebnisse auch beim DASH- Score dar. Dabei kommt es bei einer Beteiligung des DRUGs zu einer tendenziellen Verschlechterung des Gesamtergebnisses um 4,5 Punkte. Die Differenz ist dabei deutlich größer als der von Beaton¹⁷⁰ geforderte Unterschied. Entsprechend ist deshalb von einem klinischen merkbaren Unterschied im Behandlungsergebnis auszugehen, welcher statistisch aber nicht signifikant ist.

Wie auch schon bei der Minderung der Bewegungsumfänge führt eine nicht stufenfreie Reposition des DRUG zu einer deutlichen Verschlechterung des Behandlungsergebnisses. Es zeigte sich dabei eine hoch signifikante Verschlechterung um 12,2 Punkte, wodurch die Bedeutsamkeit des DRUGs für das Behandlungsergebnis und die Funktion der gesamten oberen Extremität noch einmal unterstrichen wird.

Dabei bestätigt sich, dass die Dreijahresergebnisse der winkelstabilen palmaren Plattenosteosynthese eine Abhängigkeit vom Frakturtyp und der Reposition im Hinblick auf das DRUG zeigen.

4.2.4.3 Gartland-and Werley-Score

Wie auch beim DASH- Score konnte bei der Auswertung des Gartland- and Werley-Score keine signifikanten Unterschiede bezüglich beider Gruppen mit- und ohne Beteiligung des DRUG nachgewiesen werden.

Verbliebene Gelenkstufen führten auch hier zu einem signifikanten Unterschied in der Gesamtpunktzahl. Während die Gruppe ohne Gelenkstufen einen Mittelwert von 1,5(+/-0,7) Punkten zeigte, fand sich in der Gruppe mit Gelenkstufen ein Mittelwert von 2,2(+/-0,9) Punkten. Dabei entsprachen jedoch beide Gruppen einem exzellenten bzw. gutem Ergebnis (0-2 Punkte).

Bezüglich des Bewegungsumfanges ließen sich signifikante Unterschiede bezüglich der Dorsalflexion, Palmarflexion, Supination und Radialduktion aufzeigen (jeweils p= 0,00). Der größte Unterschied fand sich dabei in der Einschränkung der Dorsalflexion. Da die jeweiligen Bewegungseinschränkungen im Gartland-and-Werley- Score nicht weiter differenziert werden, können keine Aussagen bezüglich des Ausmaßes getroffen werden. Neben dem

Bewegungsausmaß ließen sich signifikante Unterscheide auch in den Kategorien Schmerz ($p=0,03$), Fingerfunktion ($p=0,00$) und degenerative Veränderungen ($p=0,01$) nachweisen.

In der Kategorie „Schmerz“ betrug der Mittelwert in der Gruppe ohne Gelenkstufen $0,03(+/-1,3)$ Punkte, was einem exzellenten schmerzfreien Ergebnis entspricht. Die Gruppe mit Gelenkstufen zeigten einen Mittelwert von $2(+/-2,4)$ Punkten, was einem guten bis mittelmäßigem Ergebnis, bei einer gewissen Bewegungseinschränkung des Handgelenkes und gelegentlichen Schmerzen entspricht.

In der Kategorie „Einschränkung der Fingerfunktion“ betrug der Mittelwert in der Gruppe ohne Gelenkstufen $0,5(+/-1,3)$ Punkte und die Gruppe mit Gelenkstufen $1,3(+/-1,0)$ Punkte auf einer Gesamtskala von 0-3 Punkten. Somit zeigt sich eine deutliche Einschränkung der Fingerfunktion bei verbliebenen Gelenkstufen im distalen Radioulnargelenk. In der Beurteilung degenerativer Veränderungen beträgt der Mittelwert in der Gruppe ohne Gelenkstufen $0,7(+/-0,8)$ Punkte. Dies beschreibt eine radiologische Auswertung ohne degenerative Veränderungen. In der Gruppe mit Gelenkstufen zeigt sich eine Punktzahl von $2,1(+/-1,8)$, entsprechend minimalen degenerativen Veränderungen mit und ohne Beschwerden.

4.2.4.4 Mayo-Wrist-Score

Im Mayo-Wrist-Score¹⁷³ zeigten sich hinsichtlich der erreichten Punktzahl keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen mit- und ohne Beteiligung des DRUG, auch wenn die Gruppe ohne DRUG- Beteiligung das Ergebnis „sehr gut“ erzielte und die Gruppe mit DRUG- Beteiligung nur noch das Ergebnis „gut“ erreichte. Einzig bzgl. der „subjektiv empfunden Bewegungsminderung“ ließ sich trotz des guten Ergebnisses mit nur 1-25% geminderten Bewegungsumfang ein diskreter, aber signifikanter Unterschied nachweisen.

Betrachtet man hingegen das Outcome bei einer verbliebenen Inkongruenz im DRUG, so folgt eine signifikante und deutliche Verschlechterung des Behandlungsergebnisses.

Während die Gruppe mit Gelenkstufen im Mittel nur die Bewertung „befriedigend“ erreicht erzielt die Gruppe ohne Gelenkstufen das Ergebnis „sehr gut“.

Bezüglich der Kategorie „subjektive Minderung der Griffstärke“ konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede aufgezeigt werden. Hinsichtlich der „Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis“ führt eine stufenfreies Repositionsergebnis im DRUG zu einer „sehr

guten“ Beurteilung, während im Falle verbliebener Gelenkstufen ein nur noch „mittelmäßiges“ Ergebnis erreicht wird. Bezogen auf das Bewegungsausmaß kommt es nur zu einer geringen Verschlechterung.

Zusammenfassend ist bereits bei einer Beteiligung des DRUGs von einem schlechteren Behandlungsergebnis auszugehen. Im Falle verbliebener Gelenkstufen nach Reposition verdeutlicht sich der Unterschied, so dass das Behandlungsergebnis unter Verwendung der multizentrisch winkelstabilen palmaren Plattenosteosynthese weiterhin mit der Schwere der Fraktur zu korrelieren scheint.

5 Zusammenfassung

Die distale Radiusfraktur stellt die häufigste Fraktur beim Menschen dar. Bei bis zu 30% zeigten sich vor Einführung der winkelstabilen Plattenosteosynthese unbefriedigende Therapieergebnisse (Tscherne und Jähne 1990).

Als sicher geeignete Indikation für den Einsatz der palmaren winkelstabile Plattenosteosynthese werden Frakturen der AO- Klassifikation Typ 23 A2, -A3, -C1 und -C2 angegeben, die keine intraartikuläre Trümmerzone beinhalten (Arora et al. 2007; Windolf et al. 2008; Hakimi et al. 2010). Hakimi (Hakimi et al. 2010) forderte weitere Studien unter Berücksichtigung des Frakturtyps um die Grenzen der Frakturversorgung zu evaluieren.

In unserer Studie über einem Nachuntersuchungszeitraum von drei Jahren konnten wir an 94 Patienten zeigen, dass die multidirektionale winkelstabile Plattenosteosynthese bei intra- und extraartikulären Mehrfragmentfrakturen vom Typ A2/3, C2 und C3 zu guten Ergebnissen führt. Dabei konnten wir keine wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Frakturtypen nach AO feststellen. Es lässt sich eine geringe Verschlechterung des Bewegungsausmaßes bei zunehmender Komplexität der Fraktur nachweisen, was sich jedoch in der Zufriedenheit der Patienten mit dem Behandlungsergebnis nicht niederschlägt. Signifikante Kraftminderungen zeigten sich nicht. Ist das radiokarpale Repositonsergebnis nicht stufenfrei reponiert, folgte eine Verschlechterung des Behandlungsergebnisses hinsichtlich des Bewegungsausmaßes. Eine zu erwartende Schmerzzunahme war nicht nachweisbar.

War das distale Radioulnargelenk an der Fraktur mitbeteiligt, ließ sich eine Verschlechterung der Behandlungsergebnisse nachweisen. Davon waren insbesondere die Schmerzwahrnehmung und die Bewegungseinschränkung des Handgelenkes, vor allem in der Umwendbewegung betroffen.

Im Falle radioulnarer Gelenkstufen nach Reposition, folgte eine hoch signifikante Verschlechterung sowohl in den Gesamtergebnissen, als auch in einem Großteil der Bewertungskriterien. Dies spiegelt sich in einer wesentlich geringeren Patientenzufriedenheit hinsichtlich des Behandlungsergebnisses wieder. Das Radioulnargelenk spielt offensichtlich in der Gesamtfunktion des Handgelenks eine entscheidende, oft unterschätzte Rolle. Demnach ist eine anatomiegerechte Reposition dort genauso einzufordern wie in der radiokarpalen Gelenkfläche. Während die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese hinsichtlich der radiokarpalen Gelenkfläche zu guten Ergebnissen führt, muss dem distalen Radioulnargelenk mehr Aufmerksamkeit zu teil werden. So widmen sich aktuell nur wenige Untersuchungen diesem Gelenkanteil. Aktuelle Plattenmodelle bieten nur wenige Verankerungsmöglichkeiten in diesem Bereich. Das distale Radioulnargelenk sollte vermehrt in den Fokus der Behandler gebracht werden, speziell da es in der gängigen und weit verbreiteten AO-Klassifikation nicht berücksichtigt wird.

Die jeweiligen Ergebnisse der einzelnen Nachuntersuchungsbögen als auch die ausgewerteten Bewegungsausmaße entsprachen weitgehend den Werten der aktuellen Literatur, auch wenn die Nachuntersuchungszeiträume deutlich kürzer waren.

Unsere Untersuchungsergebnisse waren durch das retrospektive Studiendesign, sowie die eingeschränkte Klassifikation der Frakturen in den Standard Röntgenaufnahmen limitiert. Deshalb empfehlen wir weitere, möglichst prospektiv randomisierte Untersuchungen. Hinsichtlich der eingangs formulierten Hypothese führen komplexere Frakturen weiterhin zu schlechteren Ergebnissen, auch wenn sich dies in der Auswertung nach der AO- Klassifikation nicht wiederspiegelt.

In der Auswertung der Frakturtypen nach AO, sowie im Vergleich zwischen radiokarpal intra- und extraartikulären Frakturen konnten keine wesentlichen Unterschiede im Behandlungsergebnis nach drei Jahren festgestellt werden. Das DRUG spielt bzgl. dem Behandlungsergebnis eine Schlüsselrolle. In der weit verbreiteten AO- Frakturklassifikation findet es jedoch keine Berücksichtigung.

Durch die weit verbreitet AO- Klassifikation wird der Fokus des Operateurs möglicherweise zu sehr auf die radiokarpale Gelenkfläche gerichtet und dem DRUG bei der Behandlung der distalen Radiusfraktur zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet.

Es zeigte sich eine Korrelation der Ergebnisse zwischen den einzelnen Scores nicht nur im Bezug auf das Gesamtergebnis, als auch in Bezug auf die einzelnen Kategorien.

6 Fragebögen

6.1 Gartland- and Werley- Score

www.traumascores.com - Score nach Gartland und Werley

Score nach Gartland and Werley



Referenz	Gartland JJ, Werley CW (1951) Evaluation of healed Colles' fractures. J Bone Jt Surg 33-A: 895-907.	
Anwendung	Radiusfraktur	
Anmerkung	Score vergleicht Hand nicht mit Gegenseite	
<hr/>		
Residual deformity	Prominent ulnar styloid	1
	Residual dorsal tilt	2
	Radial deviation of hand	3-3
Subjective evaluation		
	Excellent: No pain, disability, or limitation of motion	0
	Good: Occasional pain, slight limitation of motion, no disability	2
	Fair: Occasional pain, some limitation of motion, feeling of weakness in wrist, no particular disability if careful, activities slightly restricted	4
	Poor: Pain, limitation of motion, disability, activities more or less markedly restricted.	6
Objective evaluation [1]		
	Loss of dorsiflexion	5
	Loss of ulnar deviation	3
	Loss of supination	2
	Loss of palmar flexion	1
	Loss of radial deviation	1
	Loss of circumduction	1
	Pain in distal radio-ulnar joint	1

<http://www.traumascores.com//index2.php?opt...ent&task=view&id=61&pop=1&page=0&Itemid=112> (1 von 2) [14.07.2011 01:01:17]

Complications

Arthritis change		
Minimal		1
Minimal with pain		3
Moderate		2
Moderate with pain		4
Severe		3
Severe with pain		5
Nerve complications (median)		1-3
Poor finger function due to cast		1-3
Result	0-2	excellent
	3-8	good
	9-20	fair
	>20	poor

[1] The objective evaluation is based upon the following ranges of motion as being the minimum for normal function: dorsiflexion 45°; palmar flexion 30°; radial deviation 15°; ulnar deviation 15°; pronation 50°; supination 50°

6.2 DASH- Score

www.traumascores.com - DASH Score (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand)

DASH Score (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand)



Referenz	Germann G, Wind G, Harth A (1999) Der DASH-Fragebogen – Ein neues Instrument zur Beurteilung von Behandlungsergebnissen an der oberen Extremität. Handchir Mikrochir Plast Chir 31: 149–152
Anwendung	allgemein
Anmerkung	Subjektiver Score. Es wird die Fähigkeit, die Tätigkeit auszuführen, bewertet und nicht die Art. Empfohlener Score nach Radiusfrakturen: K.M. Stürmer (Hrsg.): Leitlinien Unfallchirurgie. 2. Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1999, S. 84 – 97 oder www.awmf-online.de DASH online: http://www.dash.iwh.on.ca/dash.htm
Cave	Zusätzlich gibt es noch 2 optionale Module, die hier nicht aufgeführt sind (Sport- und Musikmodul und Arbeits- und Berufsmodul).

Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeit ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
Schreiben	1	2	3	4	5
Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
Betten machen	1	2	3	4	5

<http://www.traumascores.com/index2.php?opt...ent&task=view&id=66&pop=1&page=0&Itemid=112> (1 von 4) [14.07.2011 00:59:29]

Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
Einen schweren Gegenstand tragen (über 5kg)	1	2	3	4	5
Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	1	2	3	4	5
Ihre Haare waschen oder fönen	1	2	3	4	5
Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z. B. Karten spielen, Stricken, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (z. B. Badminton, Frisbee)	1	2	3	4	5
Mit Fortbewegungsmitteln zurecht zukommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5

In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

	Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Ziemlich	Sehr
1	2	3	4	5	

Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

	Überhaupt nicht	Ein wenig eingeschränkt	Mäßig eingeschränkt	Sehr eingeschränkt	Nicht möglich
1	2	3	4	5	

Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Beschwerden während der letzten Woche ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)

	Keine	Leichte	Mäßige	Starke	Sehr starke
Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit	1	2	3	4	5
Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5

Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
Steifheit in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5

Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
	1	2	3	4	5

Aufgrund meiner Probleme im Schulter-, Arm- oder Handbereich empfinde ich meine Fähigkeiten als eingeschränkt, ich habe weniger Selbstvertrauen oder ich fühle, dass ich mich weniger nützlich machen kann. (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Weder Zustimmung noch Ablehnung	Stimme zu	Stimme sehr zu
	1	2	3	4	5

Dieser Disability/Symptom Score kann nur berechnet werden, wenn mindestens 27 der 30 Fragen beantwortet wurden. Es gibt 2 verschiedene Formeln, die neuere lautet: DASH = (Summe der beantworteten Fragen - 1)/Anzahl der beantworteten Fragen x 25

6.3 Mayo- Wrist- Score

www.traumascores.com - Mayo Wrist Score

Mayo Wrist Score



Referenz

Lamey DM, Fernandez DL. Results of the modified Sauve-Kapandji procedure in the treatment of chronic posttraumatic derangement of the distal radioulnar joint. J Bone Joint Surg [Am] 1998; 80: 1758–1769

Anwendung

Kategorie	Punkte	Befund
<u>Schmerz</u>	25	kein Schmerz
	20	leichter Schmerz bei starker Aktivität
	20	Schmerz nur bei Wetteränderung
	15	mittelgradiger Schmerz bei starker Aktivität
	15	leichter Schmerz bei Alltagstätigkeiten
	5	mittelgradiger Schmerz bei Alltagstätigkeiten
	0	Ruheschmerz
<u>Zufriedenheit</u>	25	sehr zufrieden
	20	mittelmäßig zufrieden
	10	nicht zufrieden aber arbeitsfähig
	0	nicht zufrieden, arbeitsunfähig
<u>Bewegungsumfang</u>	25	100% der Gegenseite
	15	75–99% der Gegenseite
	10	50–74% der Gegenseite
	5	25–49% der Gegenseite
	0	0–24% der Gegenseite
<u>Griffstärke (Grobgriff)</u>	25	100% der Gegenseite
	15	75–99% der Gegenseite

<http://www.traumascores.com//index2.php?opt...nt&task=view&id=198&pop=1&page=0&Itemid=112> (1 von 2) [14.07.2011 01:00:24]

<u>Endergebnis (Punkte)</u>	90–100	sehr gut
	80–89	gut
	65–79	befriedigend
	<65	schlecht

7 Literaturverzeichnis

1. Oestern, H. Aktueller Stand der Behandlung von Radiusfrakturen, *Trauma Berufskrankheiten* 2003, 22–25.
2. Owen, R. A. Melton, L. J. 3rd, Johnson, K. A. Ilstrup, D. M. & Riggs, B. L. Incidence of Colles' fracture in a North American community. *Am J Public Health* 72, 605–607 (1982).
3. Singer, B. R. McLauchlan, G. J. Robinson, C. M. & Christie, J. Epidemiology of fractures in 15,000 adults: the influence of age and gender. *J Bone Joint Surg Br* 80, 243–248 (1998).
4. Mallmin, H. Incidence of the colles fracture in uppsala, *Acta Orthop Scand*, 213–215 (1992).
5. Hahnloser, D. Platz, A. Amgwerd, M. & Trentz, O. Internal fixation of distal radius fractures with dorsal dislocation: pi-plate or two 1/4 tube plates? A prospective randomized study. *J Trauma* 47, 760–765 (1999).
6. Jakob, M. Rikli, D. A. & Regazzoni, P. Fractures of the distal radius treated by internal fixation and early function. A prospective study of 73 consecutive patients. *J Bone Joint Surg Br* 82, 340–344 (2000).
7. Bureau of Labor Statistics, U. D. o. L. *Number of nonfatal occupational injuries and illnesses involving days away from work by part og body and selected natures of injury and illness*. (1998), <http://www.bls.gov/iif/oshwc/osh/case/ostb0810.pdf>.
8. Vogt, M. T. et al. Distal radius fractures in older women: a 10-year follow-up study of descriptive characteristics and risk factors. The study of osteoporotic fractures, *J Am Geriatr Soc* 50, 97–103 (2002).
9. Rueger, J. M. Linhart, W. & Sommerfeld, D. W. Differentialindikation zur Behandlung der distalen Radiusfraktur, *Trauma Berufskrankheiten*, 6–14 (1998).
10. Wildner, M. Dörung, A. Meisinger, C. & de Clark. Frakturen im höheren Lebensalter – eine Herausforderung für Prävention und Gesundheitsförderung - Ergebnisse der KORA- Frakturstudie Augsburg. *Gesundheitswesen*, 180–186 (2005).
11. Pacovský, V. [Fractures of the distal radius. Part 1: statistical evaluation of the patient group], *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Cechoslovaca* 70, 108–111 (2003).
12. Melik, N. Togninalli, D. & Biegger, P. [Retrospective analysis of consecutively treated distal radius fractures with the external fixator], *Der Unfallchirurg* 97, 645–648 (1994).
13. Earnshaw, S. A. Cawte, S. A. Worley, A. & Hosking, D. J. Colles' fracture of the wrist as an indicator of underlying osteoporosis in postmenopausal women: a prospective study of bone mineral density and bone turnover rate, *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 8, 53–60 (1998).
14. Duan, Y. Turner, C. H. Kim, B. T. & Seeman, E. Sexual dimorphism in vertebral fragility is more the result of gender differences in age-related bone gain than bone loss, *J. Bone Miner. Res.* 16, 2267–2275 (2001).

15. Schattauer. DVO-Leitlinie 2009 zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei Erwachsenen, *Osteologie* 2009; 18: 304–328, 304–328 (2009).
16. Freedman, K. B. Kaplan, F. S. Bilker, W. B. Strom, B. L. & Lowe, R. A. Treatment of osteoporosis: are physicians missing an opportunity?, *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 82-A, 1063–1070 (2000).
17. Itoh, S. Tomioka, H. Tanaka, J. & Shinomiya, K. Relationship between bone mineral density of the distal radius and ulna and fracture characteristics, *J Hand Surg [Am]* 29, 123–130 (2004).
18. Nguyen, T. et al. Prediction of osteoporotic fractures by postural instability and bone density. *BMJ* 307, 1111–1115 (1994).
19. Hintringer, W. Leixnerring, M. Krimmer, H. & Pezzei, C. *Kinematische Überlegung zum Handgelenk* (Handgelenkkurs, Skriptum, 2009).
20. Aro, H. T. & Koivunen, T. Minor axial shortening of the radius affects outcome of Colles' fracture treatment. *J Hand Surg [Am]* 16, 392–398 (1991).
21. Frank, J. Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Handgelenks und distalen Radioulnargelenks, *OP- Journal* 2003, 4–9.
22. Böhler, J. Die Eingriffe an Knochen und Gelenken. Allgemeine und spezifische chirurgische Operationslehre 1972, 154–164.
23. Rikli, D. A. Businger, A. & Babst, R. Dorsal double-plate fixation of the distal radius, *Oper Orthop Traumatol* 17, 624–640 (2005).
24. Short, W. H. Palmer, A. K. Werner, F. W. & Murphy, D. J. A biomechanical study of distal radial fractures, *The Journal of hand surgery* 12, 529–534 (1987).
25. Peicha, G. Seibert, F. J. Fellinger, M. Grechenig, W. & Schipplinger, G. Lesions of the scapholunate ligaments in acute wrist trauma—arthroscopic diagnosis and minimally invasive treatment, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 5, 176–183 (1997).
26. Patterson RM, N. C. V. S. High-speed, three-dimensional kinematic analysis of the normal wrist. *Journal of Hand Surgery*, 446–453 (1998).
27. Pogue, D. J. et al. Effects of distal radius fracture malunion on wrist joint mechanics. *J Hand Surg [Am]* 15, 721–727 (1990).
28. Cooney, W. P. III & Chao, E. Y. Biomechanical analysis of static forces in the thumb during hand function. *J Bone Joint Surg Am* 59, 27–36 (1977).
29. Putnam, M. D. Meyer, N. J. Nelson, E. W. Gesensway, D. & Lewis, J. L. Distal radial metaphyseal forces in an extrinsic grip model: implications for postfracture rehabilitation. *J Hand Surg [Am]* 25, 469–475 (2000).
30. Horii, E. et al. Effect on force transmission across the carpus in procedures used to treat Kienböck's disease. *J Hand Surg [Am]* 15, 393–400 (1990).
31. Osada, D. Viegas, S. F. Shah, M. A. Morris, R. P. & Patterson, R. M. Comparison of different distal radius dorsal and volar fracture fixation plates: a biomechanical study. *J Hand Surg [Am]* 28, 94–104 (2003).
32. Dunning, C. E. et al. Supplemental pinning improves the stability of external fixation in distal radius fractures during simulated finger and forearm motion. *J Hand Surg [Am]* 24, 992–1000 (1999).

33. Schmidt, S. Häufigkeit, Entstehung und Klassifikation der dist Radiusfraktur, *OP-Journal*, 10–15 (2003).
34. Smith, R. Treaties of fractures in the vicinity of joints and on certain forms of accidents and dislocations, *Hodges and Smith* (1847).
35. Kapandji, A. [A correction technic using an osteotomy-graft in chronic impaction of the radial socket, called "die punch"], *Chirurgie de la main* 18, 299–303 (1999).
36. Pechlaner, S. et al. [Distal radius fractures and concomitant lesions. Experimental studies concerning the pathomechanism], *Handchir Mikrochir Plast Chir* 34, 150–157 (2002).
37. Minne, H. *Die distale Radiusfraktur und Osteoporose* (Solingen, 2004).
38. Oestern, H. Distale Radiusfraktur, *Der Orthopäde* 1988, 52–63.
39. Hagert, C. G. The distal radioulnar joint, *Hand clinics* 3, 41–50 (1987).
40. Oestern, H. *Tscherne Unfallchirurgie. Behandlung der distalen Radiusfraktur* (Springer, Heidelberg, 2001).
41. Lutz, M. Germann, G. Krimmer, H. & Sauerbier, M. Die Bedeutung des Ellengriffels bei der Behandlung distaler Radiusfrakturen, *Trauma Berufskrankheiten*, 31–37 (2007).
42. Mudgal, C. & Hastings, H. Scapho-lunate diastasis in fractures of the distal radius. Pathomechanics and treatment options, *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)* 18, 725–729 (1993).
43. Geissler, W. B. Freeland, A. E. Savoie, F. H. McIntyre, L. W. & Whipple, T. L. Intracarpal soft-tissue lesions associated with an intra-articular fracture of the distal end of the radius, *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 78, 357–365 (1996).
44. Rikli, D. & Regazzoni, P. [Distal radius fractures], *Schweiz Med Wochenschr* 129, 776–785 (1999).
45. Watson, H. K. & Ballet, F. L. The SLAC wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis, *J Hand Surg Am* 9, 358–365 (1984).
46. Watson, H. K. & Ryu, J. Evolution of arthritis of the wrist, *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 57–67 (1986).
47. Resnick, D. SLAC wrist, *J Hand Surg Am* 10, 154–155 (1985).
48. Palmer, A. K. Triangular fibrocartilage disorders: injury patterns and treatment, *Arthroscopy* 6, 125–132 (1990).
49. Kovachevich, R. & Elhassan, B. T. Arthroscopic and open repair of the TFCC, *Hand Clin* 26, 485–494 (2010).
50. Watanabe, A. Souza, F. Vezeridis, P. S. Blazar, P. & Yoshioka, H. Ulnar-sided wrist pain. II. Clinical imaging and treatment, *Skeletal Radiol* 39, 837–857 (2010).
51. Papapetropoulos, P. A. Wartinbee, D. A. Richard, M. J. Leversedge, F. J. & Ruch, D. S. Management of peripheral triangular fibrocartilage complex tears in the ulnar positive patient: arthroscopic repair versus ulnar shortening osteotomy, *J Hand Surg Am* 35, 1607–1613 (2010).
52. Haas, N. & Tempka A. Behandlung der distalen Radiusfraktur- Diagnostik und Therapie der örtlichen Begleitverletzungen, *Langenbecks Arch Chir*, Kongressberichte 687 (1990).

53. Maresh, H. Treatment of comminuted fractures of the distal radius with self-contained skeletal traction, *American Journal of Surg* 1975, 715–719.
54. Peterson, T. Dresing, K. & Schmidt, G. [Measuring pressure in the carpal tunnel in distal radius fracture], *Unfallchirurg* 96, 217–223 (1993).
55. Erdshage, S. Komplikation des handgelenksnahen Speichenbruchs und deren Behandlung, *Der Orthopäde* 1975, 36–37.
56. Witter, H. Ruptur des musculus extensor pollicis longus als Komplikation der Radiusfraktur, *Klinische Chirurgie* 1960, 448–452.
57. Kwasny, O. Ergebnisse von konservativ behandelten Radiusfrakturen an typischer Stelle, *Aktuelle Traumatologie* 1990, 1–5.
58. Veldman, P. H. Reynen, H. M. Arntz, I. E. & Goris, R. J. Signs and symptoms of reflex sympathetic dystrophy: prospective study of 829 patients, *Lancet* 342, 1012–1016 (1993).
59. Atkins, R. M. Duckworth, T. & Kanis, J. A. Algodystrophy following Colles' fracture. *J Hand Surg [Br]* 14, 161–164 (1989).
60. Geertzen, J. H. Bruijn, H. de, Bruijn-Kofman, A. T. de & Arendzen, J. H. Reflex sympathetic dystrophy: early treatment and psychological aspects, *Archives of physical medicine and rehabilitation* 75, 442–446 (1994).
61. Reinders, M. F. Geertzen, J. H. B. & Dijkstra, P. U. Complex regional pain syndrome type I: use of the International Association for the Study of Pain diagnostic criteria defined in 1994, *The Clinical journal of pain* 18, 207–215.
62. Kurvers, H. A. et al. Reflex sympathetic dystrophy: result of autonomic denervation?, *Clin. Sci.* 87, 663–669 (1994).
63. Cohen, S. P. & Raja, S. N. Does prolonged skin temperature measurement improve the diagnosis of complex regional pain syndrome?, *Nature clinical practice. Neurology* 5, 14–15 (2009).
64. Atkins, R. M. Duckworth, T. & Kanis, J. A. Features of algodystrophy after Colles' fracture. *J Bone Joint Surg Br* 72, 105–110 (1990).
65. Mos, M. de, Sturkenboom, M. C. J. M. & Huygen, F. J. P. M. Current understandings on complex regional pain syndrome, *Pain practice : the official journal of World Institute of Pain* 9, 86–99.
66. Claes, L. Eckert-Hübner, K. & Augat, P. The effect of mechanical stability on local vascularization and tissue differentiation in callus healing, *J. Orthop. Res.* 20, 1099–1105 (2002).
67. Claes, L. Eckert-Hübner, K. & Augat, P. The fracture gap size influences the local vascularization and tissue differentiation in callus healing, *Langenbeck's archives of surgery / Deutsche Gesellschaft für Chirurgie* 388, 316–322 (2003).
68. Claes, L. Wolf, S. & Augat, P. [Mechanical modification of callus healing], *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 71, 989–994 (2000).
69. Perren, S. M. et al. The reaction of cortical bone to compression, *Acta orthopaedica Scandinavica. Supplementum* 125, 19–29 (1969).
70. Perren, S. M. & Cordey, J. Die Gewebedifferenzierung in der Frakturheilung, *Unfallheilkunde*, S-B 1-4 (1977).

71. Wolf, S. *et al.* The effects of external mechanical stimulation on the healing of diaphyseal osteotomies fixed by flexible external fixation, *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 13, 359–364 (1998).
72. Schemitsch, E. H. Kowalski, M. J. Swionkowski, M. F. & Senft, D. Cortical bone blood flow in reamed and unreamed locked intramedullary nailing: a fractured tibia model in sheep, *Journal of orthopaedic trauma* 8, 373–382 (1994).
73. The classic. On the fracture of the carpal extremity of the radius. Abraham Colles, Edinburgh Med. Surg. J. 1814, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 83, 3–5.
74. Liverneaux, P. [What wrist fracture did Pouteau actually describe?], *Chirurgie de la main* 23, 298–304 (2004).
75. Barton, R. A. Views and treatment of an important injury of the wrist, *Mediacal Examiner and Record of Medical Science* (1838).
76. Jupiter, J. B. Fernandez, D. L. Toh, C. L. Fellman, T. & Ring, D. Operative treatment of volar intra-articular fractures of the distal end of the radius, *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 78, 1817–1828 (1996).
77. Frykman, G. Fracture of the distal radius including sequelae--shoulder-hand-finger syndrome, disturbance in the distal radio-ulnar joint and impairment of nerve function. A clinical and experimental study, *Acta orthopaedica Scandinavica, Suppl* 108:3+ (1967).
78. Müller M, E. The comprehensive classification of fracture of long bones, *Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York* (1990).
79. Wittner, B. & Holz, U. Allgemeine Klassifikation der distalen Radiusfrakturen und Behandlung der extraartikulären distalen Radiusfrakturen (Typ A2 und A3), *Chirurg* 64, 880–888 (1993).
80. Cole, R. J. *et al.* Radiographic evaluation of osseous displacement following intra-articular fractures of the distal radius: reliability of plain radiography versus computed tomography, *American Academic of Orthopaedics Surgeons, 66th Annual Meeting, Anaheim, CA* 22, 792–800 (1997).
81. Knirk, J. L. & Jupiter, J. B. Intra-articular fractures of the distal end of the radius in young adults. *J Bone Joint Surg Am* 68, 647–659 (1986).
82. Grechenig, W. Fellinger, M. Seibert, F. J. Plenko, M. & Peicha, G. Distal radius fracture—the Value of wrist arthroskopy in akute setting, *European Journal of Trauma*, 353–360 (2004).
83. Peicha, G. Seibert, F. J. & Grechenig, W. Distal radius fractures- arthroscopically assisted management, *Osteo Trauma Care*, 1–7 (2002).
84. Silver, J. J. & Einhorn, T. A. Osteoporosis and aging. Current update, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 10–20 (1995).
85. Noble, P. C. *et al.* The effect of aging on the shape of the proximal femur, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 31–44 (1995).
86. Draenert, K. [Histomorphology of fracture healing in old age], *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* 124, 470–472.
87. Hierholzer, G. Jukema, G. N. & Ben, W. Allgemeine operationstechnische Aspekte beim verletzten alten Menschen, *OP- Journal*, 9–15 (1995).

88. Woltmann, A. Fischer, W. Kujath, P. Müller, G. & Bruch, H. P. [Mortality in proximal femur fractures in elderly people], *Unfallchirurgie* 20, 211–215 (1994).
89. Bormann, B. & Strube, H. D. Verletzungen im fortgeschrittenen Lebensalter aus anästhesiologischer Sicht, *OP- Journal*, 16–23 (1995).
90. Winkler, H. & Hochstein, P. Die distale Radiusfraktur des alten Menschen, *OP- Journal*, 56–62 (1995).
91. McQueen, M. & Caspers, J. Colles fracture: does the anatomical result affect the final function?, *J Bone Joint Surg Br* 70, 649–651 (1988).
92. Park, M. J. Cooney, W. P. 3rd, Hahn, M. E. Looi, K. P. & An, K.-N. The effects of dorsally angulated distal radius fractures on carpal kinematics. *J Hand Surg [Am]* 27, 223–232 (2002).
93. Kihara, H. Palmer, A. K. Werner, F. W. Short, W. H. & Fortino, M. D. The effect of dorsally angulated distal radius fractures on distal radioulnar joint congruency and forearm rotation. *J Hand Surg [Am]* 21, 40–47 (1996).
94. Jenkins, N. H. & Mintowt-Czyz, W. J. Mal-union and dysfunction in Colles' fracture. *J Hand Surg [Br]* 13, 291–293 (1988).
95. Bronstein, A. J. Trumble, T. E. & Tencer, A. F. The effects of distal radius fracture malalignment on forearm rotation: a cadaveric study, *The Journal of hand surgery* 22, 258–262 (1997).
96. Bade, H. & Lobeck, F. [Behavior of the joint surface of the distal radio-ulnar joint in malposition of the distal radius], *Unfallchirurgie* 17, 213–217 (1991).
97. Kleinman, W. B. & Graham, T. J. The distal radioulnar joint capsule: clinical anatomy and role in posttraumatic limitation of forearm rotation, *The Journal of hand surgery* 23, 588–599 (1998).
98. Korber, J. Kohler, H. Rembor, U. & Wentzensen, A. Treatment and aftercare of fractures of the distal part of the radius, *Trauma Berufskrankheiten* 2007, 42–46.
99. Li, S.-I. & Gong, X.-y. [Evaluation of stability of distal radius fracture after conservative treatment], *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* 86, 759–762 (2006).
100. Handoll, H. H. G. Madhok, R. & Howe, T. E. Rehabilitation for distal radial fractures in adults, *Cochrane database of systematic reviews (Online)* 3, CD003324 (2006).
101. Handoll, H. H. & Madhok, R. Closed reduction methods for treating distal radial fractures in adults, *Cochrane database of systematic reviews (Online)*, CD003763 (2003).
102. Handoll, H. H. & Madhok, R. Conservative interventions for treating distal radial fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev*, CD000314 (2003).
103. Gaulke, R. Spies, M. & Krettek, C. [Fractures of the wrist and hand. Principles of conservative treatment], *Unfallchirurg* 110, 833–844 (2007).
104. Jupiter, J. B. & Marent-Huber, M. Operative management of distal radial fractures with 2.4-millimeter locking plates. A multicenter prospective case series, *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 91, 55–65 (2009).
105. Petracic, B. Die Behandlung der Mehrfragmentgelenkesfrakturen des Radius, *Der Chirurg* 1993, 894–898.
106. Petracić, B. & Siebert, H. [AO-classification of fractures of the hand bones], *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeits-*

gemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße : Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen 30, 40–44 (1998).

107. Holz, F. Anerkannte Indikationen zur konservativen Frakturbehandlung Distale Radiusfraktur, *Trauma Berufskrankheiten*, 71–75 (2004).
108. Tscherne, H. & Jähne, J. [Current status of the treatment of distal radius fracture], *Der Unfallchirurg* 93, 157–164 (1990).
109. Leung, F. Ozkan, M. & Chow, S. P. Conservative treatment of intra-articular fractures of the distal radius--factors affecting functional outcome. *Hand Surg* 5, 145–153 (2001).
110. van Schoonhoven, J. Prommersberger, J.-K. & Lanz, U. Die Bedeutung des distalen Radioulnargelenks bei rekonstruktiven Eingriffen nach fehlverheilten körperfernen Speichenbrüchen, *Orthopädie*, 864–871 (1999).
111. Dreising, K. & Stürmer, K. M. Leitlinien Unfallchirurgie - Distale Radiusfraktur, *AWMF - online* (1999).
112. Handoll, H. H. G. & Madhok, R. Managing fractures of the distal radius in adults. Clinical and research implications from systematic reviews of existing trials, *Acta orthopaedica Scandinavica. Supplementum* 73, 45–48 (2002).
113. Woltmann, A. & Hierholzer C. B. V. Gibt es noch eine Differentialindikation für die Behandlung der distalen Radiusfraktur?, *Trauma Berufskrankheiten*, 6–13 (2007).
114. Greatting, M. D. & Bishop, A. T. Intrafocal (Kapandji) pinning of unstable fractures of the distal radius, *Orthop. Clin. North Am.* 24, 301–307 (1993).
115. Habernek, H. Technik und Ergebnis einer modifizierten perkutanen Bohrdrähtosteosynthese an der distalen Speiche, *Unfallchirurgie* 1992, 339–354.
116. Auerbach, D. M. Collins, E. D. Kunkle, K. L. & Monsanto, E. H. The radial sensory nerve. An anatomic study, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 241–249 (1994).
117. Kapandji, A. [Intra-focal pinning of fractures of the distal end of the radius 10 years later], *Annales de chirurgie de la main : organe officiel des sociétés de chirurgie de la main* 6, 57–63 (1987).
118. Handoll, H. H. G. Vaghela, M. V. & Madhok, R. Percutaneous pinning for treating distal radial fractures in adults, *Cochrane database of systematic reviews (Online)*, CD006080 (2007).
119. Trumble, T. E. Wagner, W. Hanel, D. P. Vedder, N. B. & Gilbert, M. Intrafocal (Kapandji) pinning of distal radius fractures with and without external fixation. *J Hand Surg [Am]* 23, 381–394 (1998).
120. Sommer, C. Brendebach, L. Meier, R. & Leutenegger, A. [Distal radius fractures--retrospective quality control after conservative and operative therapy], *Swiss Surg* 7, 68–75 (2001).
121. Nijs, S. & Broos, P. L. Fractures of the distal radius: a contemporary approach, *Acta Chir Belg* 104, 401–412 (2004).
122. Matschke, S. Winkler, H. Kessler, T. & Wentzensen, A. Versorgung einer distalen Radiusfraktur mit dem Fixateur externe, *Trauma Berufskrankheiten* 1998, 24–32.

123. Kaempffe, F. A. *et al.* Severe fractures of the distal radius: effect of amount and duration of external fixator distraction on outcome. *J Hand Surg [Am]* 18, 33–41 (1993).
124. Sommerkamp, T. G. *et al.* Dynamic external fixation of unstable fractures of the distal part of the radius. A prospective, randomized comparison with static external fixation. *J Bone Joint Surg Am* 76, 1149–1161 (1994).
125. Weiland, A. J. External fixation, not ORIF, as the treatment of choice for fractures of the distal radius, *Journal of orthopaedic trauma* 13, 570–572 (1999).
126. Frykman, G. K. Peckham, R. H. Willard, K. & Saha, S. External fixators for treatment of unstable wrist fractures. A biomechanical, design feature, and cost comparison, *Hand clinics* 9, 555–565 (1993).
127. Anderson, J. T. Lucas, G. L. & Buhr, B. R. Complications of treating distal radius fractures with external fixation: a community experience, *The Iowa orthopaedic journal* 24, 53–59 (2004).
128. Strohm, P. C. Müller, C. A. Boll, T. & Pfister, U. Two procedures for Kirschner wire osteosynthesis of distal radial fractures. A randomized trial, *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 86-A, 2621–2628 (2004).
129. Handoll, H. H. G. Huntley, J. S. & Madhok, R. External fixation versus conservative treatment for distal radial fractures in adults, *Cochrane database of systematic reviews (Online)*, CD006194 (2007).
130. Handoll, H. H. G. Huntley, J. S. & Madhok, R. Different methods of external fixation for treating distal radial fractures in adults, *Cochrane database of systematic reviews (Online)*, CD006522 (2008).
131. Arora, R. *et al.* [Limits of palmar locking-plate osteosynthesis of unstable distal radius fractures], *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße : Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen* 39, 34–41 (2007).
132. Tan, V. Capo, J. & Warburton, M. Distal radius fracture fixation with an intramedullary nail, *Techniques in hand & upper extremity surgery* 9, 195–201 (2005).
133. Gradl, G. Wendt, M. Gierer, P. Beck, T. & Mittlmeier, T. Intramedulläre Versorgung der distalen Radiusfraktur, *Trauma Berufskrankheiten*, 241–244 (2008).
134. Brooks, K. R. Capo, J. T. Warburton, M. & Tan, V. Internal fixation of distal radius fractures with novel intramedullary implants, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 445, 42–50 (2006).
135. Placzek, J. D. Sobol, G. V. Arnoczky, S. P. Quinn, M. & Magnell, T. The effect of an extended flexor carpi radialis approach on blood flow to the distal radius: a cadaveric study, *Orthopedics* 28, 1364–1367 (2005).
136. Kamano, M. Honda, Y. Kazuki, K. & Yasuda, M. Palmar plating for dorsally displaced fractures of the distal radius. *Clin Orthop Relat Res.* 403–408 (2002).
137. Keller, M. & Steiger, R. The pi plate: an implant for unstable extension fractures of the distal radius in patients with osteoporotic bone, *Techniques in hand & upper extremity surgery* 8, 212–218 (2004).

138. Zingg, U. Rillmann, P. Metzger, U. & Platz, A. [The osteosynthesis of fractures of distal radius with the AO/ASIF Titanium Pi Plate], *Unfallchirurg* 108, 206-8, 210-2, 214 (2005).
139. Wolter, D. Jürgens, C. Wenzl, M. Schürmann, U. & Seide, K. Titanfixateur- interne- Systeme mit multidirektonaler winkelstabilen Schraubenlage, *Trauma Berufskrankheiten*, 425–428 (2001).
140. Liporace, F. A. et al. A biomechanical comparison of two volar locked plates in a dorsally unstable distal radius fracture model. *J Trauma* 61, 668–672 (2006).
141. Willis, A. A. Kutsumi, K. Zobitz, M. E. & Cooney, W. P. Internal fixation of dorsally displaced fractures of the distal part of the radius. A biomechanical analysis of volar plate fracture stability, *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 88, 2411–2417 (2006).
142. Blythe, M. Stoffel, K. Jarrett, P. & Kuster, M. Volar versus dorsal locking plates with and without radial styloid locking plates for the fixation of dorsally comminuted distal radius fractures: A biomechanical study in cadavers, *The Journal of hand surgery* 31, 1587–1593 (2006).
143. Trease, C. McIff, T. & Toby, E. B. Locking versus nonlocking T-plates for dorsal and volar fixation of dorsally comminuted distal radius fractures: a biomechanical study. *J Hand Surg [Am]* 30, 756–763 (2005).
144. Augat, P. Merk, J. Wolf, S. & Claes, L. Mechanical stimulation by external application of cyclic tensile strains does not effectively enhance bone healing, *Journal of orthopaedic trauma* 15, 54–60 (2001).
145. Perren, S. M. Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. *J Bone Joint Surg Br* 84, 1093–1110 (2002).
146. Sánchez, T. et al. Complications after Pi Plate osteosynthesis, *Plast. Reconstr. Surg.* 116, 153–158 (2005).
147. Matschke, S. Wagner, C. & Wentzensen, A. Distale Radiusfrakturen - Indikationen zur Plattenosteosynthese, *Trauma Berufskrankheiten*, 24–30 (2007).
148. Grewal, R. Perey, B. Wilmink, M. & Stothers, K. A randomized prospective study on the treatment of intra-articular distal radius fractures: open reduction and internal fixation with dorsal plating versus mini open reduction, percutaneous fixation, and external fixation, *The Journal of hand surgery* 30, 764–772 (2005).
149. Herron, M. Faraj, A. & Craigen, M. A. C. Dorsal plating for displaced intra-articular fractures of the distal radius. *Injury* 34, 497–502 (2003).
150. Breyer, H. G. Indikation zur Entfernung winkelstabiler Radiusplatten, *Trauma Berufskrankheiten*, 256–258 (2008).
151. Meier, R. Krettek, C. & Probst, C. Erste Ergebnisse der multidirektionale- winkelstabilen palmaren Osteosynthese der distalen Radiusfraktur, *Unfallchirurg* 113, 789–795 (2010).
152. Constantine, K. J. Clawson, M. C. & Stern, P. J. Volar neutralization plate fixation of dorsally displaced distal radius fractures. *Orthopedics* 25, 125–128 (2002).

153. Sakhaii, M. Groenewold, U. Klonz, A. & Reilmann, H. [Results after palmar plate-osteosynthesis with angularly stable T-plate in 100 distal radius fractures: a prospective study], *Unfallchirurg* 106, 272–280 (2003).
154. Mehling I, M. M. S. U. K. H. Multidirectional palmar fixed-angle plate fixation for unstable radius fracture, *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2007, 29–33.
155. Figl, M. Weninger, P. Liska, M. Hofbauer, M. & Leixnering, M. Volar fixed-angle plate osteosynthesis of unstable distal radius fractures: 12 months results, *Archives of orthopaedic and trauma surgery* (2009).
156. Orbay, J. L. & Fernandez, D. L. Volar fixation for dorsally displaced fractures of the distal radius: a preliminary report. *J Hand Surg [Am]* 27, 205–215 (2002).
157. Ruch, D. S. & Papadonikolakis, A. Volar versus dorsal plating in the management of intra-articular distal radius fractures. *J Hand Surg [Am]* 31, 9–16 (2006).
158. Ochman, S. Frerichmann, U. Arnsen, N. Raschke, M. J. & Meffert, R. H. [Is use of the fixateur externe no longer indicated for the treatment of unstable radial fracture in the elderly?], *Unfallchirurg* 109, 1050–1057 (2006).
159. Voigt, C. & Lill, H. [What advantages does volar plate fixation have over K-wire fixation for distal radius extension fractures in the elderly?], *Unfallchirurg* 109, 845-6, 848-54 (2006).
160. Köck, H. Bandl, W.-D. & Chan, T. [Experiences and results with the locked compression plate for 603 fractures of the distal radius], *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße : Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen* 37, 303–308 (2005).
161. Rozental, T. D. & Blazar, P. E. Functional outcome and complications after volar plating for dorsally displaced, unstable fractures of the distal radius. *J Hand Surg [Am]* 31, 359–365 (2006).
162. Schädel-Höpfner, M. Diener, M. & Windolf, J. Gesicherte Literaturergebnisse zur Therapie distaler Radiusfracturen. Eine prospektive Studie, *Trauma Berufskrankheiten* 2007.
163. Windolf, J. Hakimi, M. & Schädel-Höpfner, M. Ergebnisse der palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese am distalen Radius, *Trauma Berufskrankheiten*, 236–240 (2008).
164. Trapp, O. M. & Gregor, M. Biomechanische Leistung des Schraubenverblockungsmechanismus in distalen Radiusplatten (Juli, 2008).
165. Drobetz, H. et al. Volar fixed-angle plating of distal radius extension fractures: influence of plate position on secondary loss of reduction--a biomechanic study in a cadaveric model, *The Journal of hand surgery* 31, 615–622 (2006).
166. Espen, D. [Combined palmar and dorsal approach for complex distal radius fractures], *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße : Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen* 35, 22–30 (2003).

167. Schneiders, W. *et al.* [Distal radius fracture. Correlation between radiological and functional results], *Unfallchirurg* 109, 837–844 (2006).
168. Can, Ü. Lattmann, T. Crool, D. Trenz, O. & Platz, A. Kombinierte dorsale und palmarre Plattenosteosynthese bei distalen intraartikulären Radiusfrakturen, *Unfallchirurg*, 607–612 (2008).
169. Hudak, P. L. Amadio, P. C. & Bombardier, C. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG), *Am. J. Ind. Med.* 29, 602–608 (1996).
170. Beaton, D. E. *et al.* Measuring the whole or the parts? Validity, reliability, and responsiveness of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand outcome measure in different regions of the upper extremity, *Journal of hand therapy : official journal of the American Society of Hand Therapists* 14, 128–146.
171. GARTLAND, J. J. Jr & WERLEY, C. W. Evaluation of healed Colles' fractures. *J Bone Joint Surg Am* 33-A, 895–907 (1952).
172. Lucas, G. L. & Sachtjen, K. M. An analysis of hand function in patients with colles' fracture treated by Rush rod fixation, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 172–179.
173. Lamey, D. M. & Fernandez, D. L. Results of the modified Sauvé-Kapandji procedure in the treatment of chronic posttraumatic derangement of the distal radioulnar joint, *J Bone Joint Surg Am* 80, 1758–1769 (1998).
174. Sakhaii, M. Groenewold, U. Klonz, A. & Reilmann, H. [Results after palmar plate-osteosynthesis with angularly stable T-plate in 100 distal radius fractures: a prospective study], *Unfallchirurg* 106, 272–280 (2003).
175. Schütz, M. Kolbeck, S. Spranger, A. Arndt-Kolbeck, M. & Haas, N. P. Die winkelstabile palmarre Plattenosteosynthese bei der dorsal dislozierten distalen Radiusfraktur-Anwendung und erste klinische Erfahrungen, *Zentralbl Chir* 128, 997–1002 (2003).
176. Drobetz, H. & Kutsch-Lissberg, E. Osteosynthesis of distal radial fractures with a volar locking screw plate system, *Int Orthop* 27, 1–6 (2003).
177. Mentzel, M. Hoss, H. Ebinger, T. Kinzl, L. & Wachter, N. J. [Problems of malunited fractures of the distal radius], *Unfallchirurg* 104, 210–214 (2001).
178. Wang J, Chen JH & Jiang BG. [The analysis of prognostic relative factors in patients with type-C fractures of distal radius after internal fixation], *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 47, 1387–1389 (2009).
179. Sonderegger, J. Schindeler, S. Rau M & Gruenert, G. Palmar multidirectional fixed-angle plate fixation in distal radius fractures: do intraarticular fractures have a worse outcome than extraarticular fractures?, *Arch Orthop Trauma Surg* 2010, 1263–1268.
180. Kreder, H. J. *et al.* Indirect reduction and percutaneous fixation versus open reduction and internal fixation for displaced intra-articular fractures of the distal radius: a randomised, controlled trial, *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 87, 829–836 (2005).
181. Trumble, T. E. Schmitt, S. R. & Vedder, N. B. Factors affecting functional outcome of displaced intra-articular distal radius fractures. *J Hand Surg [Am]* 19, 325–340 (1994).

182. Fernandez, D. L. Should anatomic reduction be pursued in distal radial fractures?, *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)* 25, 523–527 (2000).
183. Jakob, M. Mielke, S. Keller, H. & Metzger, U. [Results of therapy after primary conservative management of distal radius fractures in patients over 65 years of age], *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße : Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen* 31, 241-5; discussion 246-7 (1999).
184. Anzarut, A. *et al.* Radiologic and patient-reported functional outcomes in an elderly cohort with conservatively treated distal radius fractures, *The Journal of hand surgery* 29, 1121–1127 (2004).
185. Horesh, Z. Volpin, G. Hoerer, D. & Stein, H. The surgical treatment of severe comminuted intraarticular fractures of the distal radius with the small AO external fixation device. A prospective three-and-one-half-year follow-up study. *Clin Orthop Relat Res*, 147–153 (1991).
186. Hakimi, M. *et al.* Unidirektionals vs. multidirektionale winkelstabile Platenosteosynthese bei instabilen distalen Radiusfrakturen. Vergleichende Analyse mit der 2,4-mm-LDR-vs.2,7-mm-Matrix-Smartlock-Platte, *Unfallchirurg* 2010, 210–216.
187. Voigt, C. & Lill, H. [What advantages does volar plate fixation have over K-wire fixation for distal radius extension fractures in the elderly?], *Unfallchirurg* 109, 845-6, 848-54 (2006).
188. Handoll, H. H. G. & Madhok, R. Surgical interventions for treating distal radial fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev*, CD003209 (2003).
189. Amadio, P. C. & Botte, M. J. Treatment of malunion of the distal radius. *Hand Clin* 3, 541–561 (1988).
190. Kural, C. *et al.* Evaluation of the reliability of classification systems used for distal radius fractures, *Orthopedics* 33, 801 (2010).
191. Trumble TE, C. R. H. D. G. W. B. R. *Intra-articular fractures of the distal aspect of the radius*. (Instr. Course Lect. 48, 465-480. 1999).
192. Arora, S. Grover, S. B. Batra, S. & Sharma, V. K. Comparative evaluation of postreduction intra-articular distal radial fractures by radiographs and multidetector computed tomography, *J Bone Joint Surg Am* 92, 2523–2532 (2010).
193. Letsch, R. Schmit-Neuerburg, K. P. & Schax, M. Zur Wahl des Operationsverfahrens am distalen Radius. Bohrdraht versus Platte, *Aktuelle Traumatol* 17, 113–119 (1987).
194. Zwack, M. Kempf, P. & Stelzig, H. H. Distale Radiusfraktur--Behandlungsergebnisse, Indikationen zur konservativen, halboperativen und operativen Therapie, *Unfallchirurgie* 14, 125–132 (1988).
195. Knight Dominique, H. C. W. E. M. M. Locked volar plating for unstable radius fractures: Clinical and radiological outcomes, *Injury* 2010, 184–189.
196. Gruber, G. Bernhardt, G. A. Köhler, G. & Gruber, K. Surgical treatment of distal radius fractures with an angle fixed bar palmar plating system: a single center study of 102 patients over a 2-year period, *Arch Orthop Trauma Surg* 126, 680–685 (2006).

197. Walz, M. Kolbow, B. & Auerbach, F. [Do fixed-angle T-plates offer advantages for distal radius fractures in elderly patients?], *Unfallchirurg* 107, 664-6, 668-70 (2004).
198. Bell, J. S. Wollstein, R. & Citron, N. D. Rupture of flexor pollicis longus tendon: a complication of volar plating of the distal radius, *J Bone Joint Surg Br* 80, 225–226 (1998).
199. Hakimi, M. Jungbluth, P. Windolf, J. & Wild, M. Funktional results and complications following locking palmar plating on the distal radius: A retrospective study, *Journal of Hand Surgery* 2010, 283–288.
200. Ring, D. Jupiter, J. B. Brennwald, J. Büchler, U. & Hastings, H. 2nd. Prospective multicenter trial of a plate for dorsal fixation of distal radius fractures. *J Hand Surg [Am]* 22, 777–784 (1997).
201. Maciel, J. S. Taylor, N. F. & McIlveen, C. A randomised clinical trial of activity-focussed physiotherapy on patients with distal radius fractures, *Arch Orthop Trauma Surg* 125, 515–520 (2005).
202. Cuenca, J. Martínez, A. A. Herrera, A. & Domingo, J. The incidence of distal forearm fractures in Zaragoza (Spain), *Chir Main* 22, 211–215 (2003).
203. Oezokyay, L. Muhr, G. & Kutsch-Lissberg, E. Anwendung winkelstabiler Implantate am distalen Radius, *Trauma Berufskrankheiten* 2004, 293–298.
204. Abramo, A. Kopylov, P. Geijer, M. & Tägil, M. Open reduction and internal fixation compared to closed reduction and external fixation in distal radial fractures: a randomized study of 50 patients, *Acta Orthop* 80, 478–485 (2009).
205. Rizzo, M. Katt, B. A. & Carothers, J. T. Comparison of locked volar plating versus pinning and external fixation in the treatment of unstable intraarticular distal radius fractures, *Hand (N Y)* 3, 111–117 (2008).
206. Murakami, K. Abe, Y. & Takahashi, K. Surgical treatment of unstable distal radius fractures with volar locking plates, *J Orthop Sci* 12, 134–140 (2007).
207. Orbay, J. L. & Fernandez, D. L. Volar fixed-angle plate fixation for unstable distal radius fractures in the elderly patient. *J Hand Surg [Am]* 29, 96–102 (2004).
208. Hems, T. E. J. & Rooney, B. Open reduction and plate fixation of dorsally displaced fractures of the distal radius: surgical technique, clinical and radiological outcome, *J Hand Surg Eur Vol* 35, 56–60 (2010).
209. Cheng, H. S. Hung, L. K. Ho, P. C. & Wong, J. An analysis of causes and treatment outcome of chronic wrist pain after distal radial fractures, *Hand Surg* 13, 1–10 (2008).
210. Prommersberger, K.-J. & van Schoonhoven, J. Störungen des distalen Radioulnargelenkes nach distaler Radiusfraktur, *Unfallchirurg* 111, 173-84; quiz 185-6 (2008).
211. Hunt, T. R. Hastings, H. & Graham, T. J. A systematic approach to handling the distal radio-ulnar joint in cases of malunited distal radius fractures, *Hand Clin* 14, 239–249 (1998).
212. Faierman, E. & Jupiter, J. B. The management of acute fractures involving the distal radio-ulnar joint and distal ulna, *Hand Clin* 14, 213–229 (1998).

8 Danksagung

Herrn PD Dr. med. Reiner Hente danke ich für sein großes Interesse am Gelingen der Arbeit und für die wissenschaftliche Diskussion bei der Niederschrift der Arbeit. Herrn Dr. med. Ulrich Schächinger bin ich für die Hilfe bei der Ausrichtung des Themas sowie für den anregenden Beistand zu großem Dank verpflichtet.

Den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der unfallchirurgischen Abteilung der Kreisklinik Bad Reichenhall und Berchtesgaden bin ich für die Koordinierung der Nachuntersuchung gleichermaßen dankbar verbunden.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern Dr. Brigitte und Dr. Udo Altenberger sowie meinem Großvater Prof. Dr. Dr. Heribert Moser für ihre ständige Unterstützung und die vielen aufmunternden Worte.

Ebenso möchte ich an dieser Stelle insbesondere meiner Lebensgefährtin Sabine Diehl danken, die stets mit viel Geduld und Nachsicht meine Arbeit unterstützte.

9 Anhang

9.1 Lebenslauf

Allgemeine Daten

29. Dez. 1976 Geburt als Ältester von vier Kindern in München
Eltern: Dr. med. Brigitte Altenberger, Dr. med.
Udo Altenberger

Schule und Abitur

Sept. 1983 Einschulung in die Grundschule Hechendorf
Sept. 1987 Übertritt auf das humanistische Gymnasium St.
Ottilien
Aug. 1993 Austauschjahr USA, Hilton, New York
Juni 1997 Abitur, Leistungskurse Physik und Kunst

Zivildienst

Sept. 1997 - Okt. 1998 Zivildienst als Rettungssanitäter, Malteser
Hilfsdienst München- Gräfelfing

Wartesemester

Nov. 1998 - Jan. 1999 Pflegehelfer, Intensivstation Kl. Augustinum,
München
Jan. 1999 - Juli. 1999 Au- Pair, Rom
Juli 1999 - Okt. 1999 Famulatur Abt. Chirurgie Kl. San Rossore, Pisa

Medizinstudium

Okt.	1999	Beginn Medizinstudium	LMU- München
Aug.	2001	Physikum	LMU- München
Sept.	2002	Erstes Staatsexamen	LMU- München
Sept.	2004	Zweites Staatsexamen	LMU- München
April	2006	Drittes Staatsexamen	LMU- München
April	2006	Approbation	LMU- München

Weiterbildungsabschnitt

1. und 2. Abschnitt

Aug. 2006 Assistenzarzt Abt. für Unfallchirurgie
Kliniken Südostbayern AG
CA PD Dr. R.Hente

3. Abschnitt

Mai 2010 bis aktuell Assistenzarzt Abt. für Fußchirurgie,
Schönklinik München Harlaching,
CA Prof. Dr. M. Walther

9.2 Erklärung zum Promotionsverfahren

Name: Altenberger Sebastian, geb. am 29.12.1976 in München

Ich erkläre,

- dass ich den **Doktorgrad der Medizin** nicht schon an einer Hochschule der Bundesrepublik Deutschland erworben habe
- dass ich nicht an anderer Stelle zu einem Promotionsverfahren zum Erwerb des **medizinischen** zugelassen bin
- dass ich die **medizinische** nicht schon an einer Hochschule der Bundesrepublik Deutschland endgültig nicht bestanden habe

Außerdem erkläre ich,

- dass mir keine Tatsachen bekannt sind, die mich zur Führung eines akademischen Grades im Sinne des Gesetzes über die Führung akademischer Grade unwürdig erscheinen lassen
- dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.