

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
Direktor: Prof. Dr. med. Andreas Seekamp
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**VERSORGUNG DER DISTALEN RADIUSFRAKTUR MIT EINER WINKELSTABILEN
CARBONVERSTÄRKTEN POLYMER-KOMPOSIT-PLATTE-
PILOTSTUDIE ZUR KLINISCHEN ANWENDUNG**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Würde einer Doktorin der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Vorgelegt von
Eva Carina Kruse
aus Hamburg

Kiel 2018

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Sebastian Lippross, Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie

2. Berichterstatter: Priv. – Doz. Dr. Matthias Grünewald, Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin

Tag der mündlichen Prüfung: 26.09.2018

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 23.07.2018

gez.: Prof. Dr. Johann Roider
(Vorsitzender der Prüfungskommission)

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Anatomische Grundlagen	2
2.1 Strukturelle Anatomie	2
2.2 Funktionelle Anatomie	5
3. Die distale Radiusfraktur	7
3.1 Epidemiologie und Ätiologie	7
3.2 Pathophysiologie	8
3.3 Begleitverletzungen	9
3.4 Diagnostik und radiologische Kriterien	12
3.5 Klassifikationen	13
3.5.1 Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO)	14
3.5.2 Klassifikation nach Frykman	16
3.5.3 Klassifikation nach Melone	16
3.5.4 Klassifikation nach Fernandez	17
4. Grundlagen der Frakturheilung	19
5. Versorgung distaler Radiusfrakturen	20
5.1 Therapieprinzipien	20
5.2 Konservative Therapie	20
5.3 Operative Therapie	22
5.3.1 Kirschnerdrahtosteosynthese	22
5.3.2 Schraubenosteosynthese	23
5.3.3 Fixateur externe	24
5.3.4 Plattenosteosynthese	25
6. Carbonfaserverstärktes PEEK als Implantatmaterial	30
7. Fragestellung und Ziel	33
8. Methoden und Material	33
8.1 Studiendesign und Patientenkollektiv	33
8.2 Osteosyntheseform	33
8.3 Allgemeine Patienten- und Operationsdaten	34
8.4 Verlauf und Methodik der Nachuntersuchungen	35
8.5 Fragebögen	36
8.5.1 Selbstständig entwickelter Fragebogen	36
8.5.2 Mayo Wrist Score	36
8.5.3 DASH-Score	36
8.5.4 Visuelle Analogskala (VAS) Schmerz und Zufriedenheit	37
8.6 Radiologische Auswertung	38
8.7 Statistische Methoden	38
8.8 Aufklärung und Einverständniserklärung	38
9. Ergebnisse	39
9.1 Patientenkollektiv	39

9.2 OP-Daten	45
9.3 Radiologische Parameter	47
9.4 Nachuntersuchungen 6 Wochen postoperativ	51
9.4.1 Arbeitsfähigkeit	51
9.4.2 Beweglichkeit	54
9.4.3 DASH Score und Mayo Wrist Score	56
9.4.4 VAS Schmerz und Zufriedenheit.....	62
9.4.5 Radiologische Parameter	64
9.5 Nachuntersuchungen 1 Jahr postoperativ	69
9.5.1 Arbeitsfähigkeit	70
9.5.2 Beweglichkeit	71
9.5.3 DASH und Mayo-Wrist-Score	74
9.5.4 VAS Schmerz und Zufriedenheit.....	79
9.5.5 Radiologische Parameter	81
10. Diskussion	85
10.1 Patienten- und Operationsdaten	86
10.2 Klinisch- funktionelle und radiologische Ergebnisse 6 Wochen und 1 Jahr postoperativ	88
10.3 Zusammenfassung	93
11. Literaturverzeichnis	98
12. Abbildungsverzeichnis	104
13. Tabellenverzeichnis	106
14. Abkürzungsverzeichnis	107
15. Anhang.....	108
15.1 DASH-Score	108
15.2 Selbstständig entwickelter Fragebogen	112
16. Danksagung	119

1. Einleitung

Die distale Radiusfraktur ist ein Verletzungsbild, das durch den wissenschaftlichen Fortschritt der letzten Jahrzehnte im Bereich der Diagnostik und der Therapie einen Wandel vollzogen hat. Mit einem Anteil von 25% aller Frakturen im pädiatrischen Bereich und bis zu 18% der Frakturen erwachsener Patienten ist die distale Radiusfraktur ein Krankheitsbild aller Altersklassen mit dem Trend zu steigender Inzidenz. Multiple Faktoren wie Lebensweise und Umwelteinflüsse scheinen dabei einen direkten Einfluss auf das Risiko und das Vorkommen dieser Verletzung zu haben (Johannes Nellans, Kowalski, & Chung, 2012). Das vermehrte Aufkommen komplexer Hochrasanztraumata junger Patienten sowie der gestiegene Anspruch älterer Patienten an die Funktionalität und Beschwerdefreiheit einer versorgten Fraktur rechtfertigen innovative Therapieansätze, um eine adäquate Versorgung zu gewährleisten (Siebert & Klönz, 2006).

Die offene Reposition und interne Fixation von instabilen und dislozierten Frakturen mithilfe der metallenen Plattenosteosynthese hat sich seit Dekaden als Therapieoption der distalen Radiusfraktur etabliert. Durch die frühe Übungsstabilität ist eine entsprechend zügige Regeneration und Wiedererlangung der physiologischen Funktionen auch im Falle komplexer Frakturen möglich (Orbay, 2005). Jedoch ergeben sich in Hinblick auf das verwendete Material auch Nachteile wie Artefaktbildungen im Rahmen der Bildgebung sowie ungewünschte Interaktionen zwischen dem metallischen Implantat und dem umgebenden Gewebe (Harris, Patterson, Bacon, Gwynn, & Richards, 2005; Rupp, Ebraheim, Savolaine, & Jackson, 1993; Zannoni, Viceconti, Pierotti, & Cappello, 1998).

Implantate aus Polyetheretherketon (PEEK) stellen aufgrund ihrer Materialeigenschaften eine Alternative zu den herkömmlich verwendeten Metallimplantaten zur operativen Therapie der distalen Radiusfraktur dar, was in dieser Studie genauer beleuchtet werden soll.

2. Anatomische Grundlagen

2.1 Strukturelle Anatomie

Die knöchernen Strukturen und Bandverbindungen des Handgelenks sind maßgeblich für die hohe Beweglichkeit und die Kraftübertragung von der Hand auf den Unterarm. Proximal setzt sich das Handgelenk aus drei Anteilen zusammen: der radiokarpalen Gelenkfläche, dem Discus ulnocarpalis und dem distalen Radioulnargelenk. Der distale Anteil des Handgelenks wird durch die erste Handwurzelknochenreihe gebildet. Anhand des gelenküberbückenden Bandapparats und der Gelenkkapsel wird die notwendige Stabilität gewährleistet. Im Folgenden soll auf diese wesentlichen anatomischen Einheiten genauer eingegangen werden.

Der distale Radius beteiligt sich am Aufbau des Radiokarpal- und distalen Radioulnargelenkes (DRUG), innerhalb welcher er gelenkig mit der Ulna und der proximalen Handwurzelknochenreihe, genauer den Ossa scaphoideum und lunatum, verbunden ist. Er dient als Hauptpfeiler der karpalen Kraftübertragung und verfügt distal über drei konkave Gelenkflächen, die als Vertiefungen, Fossae, imponieren: die Fossa scaphoidea, die Fossa lunata, und die Fossa des distalen Radioulnargelenkes, die Incisura ulnaris, auch „Sigmoid Notch“ genannt, über die der Radius mit dem Ulnakopf artikuliert. Die Fossa scaphoidea ist dreieckig geformt und läuft radial in den Processus styloideus radii (PSR) aus. Die Abgrenzung zur Fossa lunata wird durch eine knöcherne Leiste, Crista, geschaffen (Frank, Pralle, & Marzi, 2003; Schmitt, 2006).

Die Stellung des vom Radius gebildeten Anteils der Gelenkpfanne ist maßgeblich für eine optimale Beweglichkeit im Radiokarpalgelenk. Die Radiusgelenkfläche steht hierbei nicht senkrecht zur Unterarm längsachse, sondern in einem radioulnaren Neigungswinkel von durchschnittlich 20-25°, der sogenannten Ulnarinklination, und in einem dorsopalmaren Winkel von 10-15°, der Palmarinklination. Darüberhinaus ist das Verhältnis von distaler Radiuslänge, gemessen ab der Spitze des Processus styloideus radii, zu karpaler Gelenkfläche der Ulna ebenso wichtig für eine korrekte Funktion und Handbeweglichkeit und sollte etwa 9-12 mm betragen (Schünke, Schulte, & Schumacher, 2014). Die Fossa lunata des distalen Radius und der distale Ulnakopf liegen in der Regel auf gleicher Höhe mit einer Varianz von etwa 2 mm. Davon abweichende Stellungen werden entsprechend als

Minus- oder Plusvariante des Ulnakopfes bezeichnet. Hierbei kann eine zu lange Ulna zu einem ulnolunaren Impingement führen, während aus einer Ulnaverkürzung wiederum eine karpale Mehrbelastung resultieren kann (Oestern, 1999a; Siebert & Klönz, 2006).

Die flache palmare Seite des Radius dient vielen stabilisierenden Bändern als Ansatzpunkt, während die dorsale Seite eher konvex ist und über Furchen für die Strecksehnen verfügt (Frank et al., 2003).

Die Handwurzelknochen sind in zwei Reihen zu jeweils vier Knochen angeordnet, die proximale und die distale Handwurzelreihe. Zwischen den beiden Reihen liegt das S-förmige Mediokarpalgelenk mit nur geringer Beweglichkeit nach palmar und dorsal. Biomechanisch und klinisch betrachtet bilden die Handwurzelknochen keine Querreihen, sondern drei longitudinale Säulen. Die Ossa scaphoideum, trapezium und trapezoideum bilden hierbei die radiale Scaphoidsäule, die Ossa lunatum und capitatum die zentrale Lunatumsäule und die Ossa triquetrum und hamatum die ulnare Triquetrumsäule. Das Os pisiforme wird bei dieser Betrachtungsweise als Sesambein in der Sehne des M. flexor carpi ulnaris angesehen. Die Knochen weisen im gelenkigen Verband dorsalseitig eine konvexe Form auf, während sich palmar eine konkave Wölbung zeigt, wodurch der Sulcus carpi, der Karpalkanal, entsteht. Radial und ulnar wird dieser jeweils von einer knöchernen Erhebung begrenzt (Schünke et al., 2014).

Die Stabilität des Handgelenks wird durch die karpalen Bänder geschaffen, die benachbarte Knochen in ihren Bewegungsrichtungen führen und Bewegungsauslässe begrenzen. Sie können individuell sehr unterschiedliche Verlaufsrichtungen einschlagen und stark miteinander verwoben sein. Die palmaren Bänder sind stärker als die dorsalen, wodurch ihnen mehr Bedeutung zukommt (Oestern, 1999a). Unterschieden werden extrinsische und intrinsische Bänder, die von Radius und Ulna zur proximalen und distalen Handwurzelknochenreihe ziehen. Die extrinsischen Bänder verlaufen palmar und dorsal eher oberflächlich in einer V-Form und sind eng mit der Gelenkkapsel verbunden, die sie dadurch stabilisieren. Die intrinsischen Bänder verlaufen hingegen in der Tiefe, verbinden die einzelnen Handwurzelknochen straff miteinander und unterteilen den Gelenkbinnenraum in verschiedene Kompartimente (Schmitt, 2006; Schünke et al., 2014).

Die Hauptgelenkfläche des Handgelenks wird durch das radiokarpale Gelenk gebildet. Unter klinischen Gesichtspunkten wird innerhalb des Radiokarpalgelenks ein radiales und ein ulnares Kompartiment unterschieden, wobei berücksichtigt wird, dass durch die

Interposition des aus Faserknorpel bestehenden Discus ulnocarpalis (triangulärer Faserknorpel, TFC) eine zweite, ulnare Gelenkfläche entsteht. Der TFC entspringt im distalen Bereich der Incisura ulnaris des Radius im hyalinen Gelenkknorpel. Seine Faserzüge ziehen zur distalen Ulna und erreichen den Processus styloideus ulnae sowie die Ulnabasis. Entsprechend liegt er in einer transversalen Ebene zwischen distaler Ulna und dem Os triquetrum bzw. Os lunatum, dient dem Ausgleich eines radioulnären Längenunterschiedes, wobei er bei Ulna-Minus-Varianten stärker und bei Ulna-Plus-Varianten schwächer ausgebildet ist, und dämpft Druck- und Stoßkräfte im Handgelenk. Die Sehne des M. extensor carpi ulnaris hält den Faserkomplex hierbei dynamisch gespannt (Oestern, 1999a; Schünke et al., 2014). Demnach artikuliert im radialen Kompartiment der Radius und im ulnaren Kompartiment das Caput ulnae bzw. der TFC mit den Ossa lunatum und triquetrum der proximalen Handwurzelreihe. Die Gelenkfläche des Radius wie auch das ulnare Kompartiment werden von palmaren und dorsalen Bandstrukturen umschlossen und überbrückt. Hierbei sind das palmare und dorsale radioulnäre Band mit den äußeren Rändern des TFC verwachsen, sodass dem distalen Radioulnargelenk (DRUG) die notwendige Stabilität bei Pronation und Supination geboten wird. Ein Auseinanderweichen des Radius und der Ulna wird hierbei verhindert sowie die axiale Verschieblichkeit der Unterarmknochen gegeneinander begrenzt. Dieser kombinierte Band- und Diskuskomplex, der die Verbindung zwischen distaler Ulna, DRUG und proximaler Handwurzelreihe unterstützt, wird ulnokarpaler Komplex oder triangulärer fibrocartilaginärer Komplex (TFCC) genannt. Wie beschrieben kann der TFCC funktionell in den Discus ulnocarpalis (TFC), die Ligg. radioulnare dorsale und palmare, die Ligg. ulnolunatum und ulnotriquetrum, den Meniscus ulnocarpalis, die Ligg. collaterale carpi ulnare und das Lig. radiotriquetrum eingeteilt werden. Der Meniscus ulnocarpalis dient der Überbrückung des erweiterten ulnaren Gelenkspalts im proximalen Handgelenk, indem seine kollagenen Faserzüge vom ulnaren Bereich des TFC zur Palmarseite des Os triquetrum ziehen, was insbesondere in ulnarabduzierter Stellung (bei Ulnarabduktion) zu einer Vergrößerung der kraftaufnehmenden Fläche führt (Frank et al., 2003; Schmidt, 2004; Schünke et al., 2014).

2.2 Funktionelle Anatomie

Das Zusammenspiel der oben beschriebenen Strukturen ist maßgeblich für die korrekte Funktion und Biomechanik des Handgelenks. Der Kraftfluss innerhalb des Gelenkes kann anhand des 3-Säulen-Modells von Rikli und Riggazoni veranschaulicht werden:

Der Unterarm wird hierbei distal in drei Säulen eingeteilt.

Die radiale Säule wird von dem Processus styloideus radii und der Fossa scaphoidea gebildet. Die zentrale bzw. intermediäre Säule verläuft durch die Fossa lunata und die Incisura ulnaris radii, die ulnare Säule durch die distale Ulna und den ulnokarpalen Komplex (D. A. Rikli & Regazzoni, 1996; Siebert & Klönz, 2006).

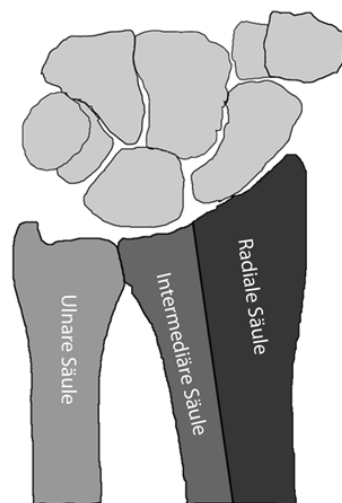


Abbildung 1: 3-Säulen-Modell nach Rikli u. Regazzoni (D. A. Rikli & Regazzoni, 1996)

Befindet sich die Hand in einer 0°-Stellung, laufen 80% der Kraftübertragung über die intermediäre Säule. In Abhängigkeit von der Stellung des Handgelenks kann die Richtung des Kraftflusses variieren, sodass ein Großteil der Belastung über die ulnare Säule verlaufen und zu einer Überbeanspruchung dieser führen kann. Auch die Verkürzung der intermediären Säule führt zu einer Mehrbelastung der ulnaren Säule. Darüberhinaus dient sie als Stabilisator bei Umwendbewegungen des Unterarms. Über die radiale Säule findet nur wenig Kraftübertragung auf die Hand statt, jedoch dient sie bei Pro- und Supinationsbewegungen als radiale Rotationsstabilisator (D. A. Rikli et al., 2007; Rueger, Hartel, Ruecker, & Hoffmann, 2014; Siebert & Klönz, 2006). Demgegenüber weist das Os scaphoideum eine höhere chondrale Knochendichte auf als das Os lunatum und

dessen Facette, sodass der Gelenkdruck zwischen Radius und Scaphoid höher zu sein scheint (Oestern, 1999a). Die Pronation und Supination findet im proximalen und distalen Radioulnargelenk statt, wobei die Drehachse schräg durch den Unterarm vom Caput radii des proximalen Radius aus nach distal zum Processus styloideus des Ulnakopfes verläuft. Hierbei ist die Ulna das statische Element, um das sich der Radius überkreuzend bewegt. Das Bewegungsausmaß beträgt hier physiologischerweise aus der Neutral- Null- Stellung heraus 90° - 0° - 90° . Die Dorsalextension und Palmarflexion verläuft entlang einer transversalen Achse durch das Os lunatum bzw. Os capitatum und hat ein Ausmaß von etwa 85° - 0° - 80° . Die Radial- und Ulnarabduktion erfolgt um eine dorsal-palmare Achse durch das Os capitatum und beträgt 20° - 0° - 40° (Schmidt, 2004; Schmitt, 2006; Schünke et al., 2014).

3. Die distale Radiusfraktur

3.1 Epidemiologie und Ätiologie

Die distale Radiusfraktur ist die häufigste Fraktur des menschlichen Skeletts mit einer Inzidenz von 2-3 pro 1000 Einwohner und Jahr (Oestern, 1999a), wobei es deutschlandweit jährlich zu 200.000 Speichenbrüchen kommt (Siebert & Klonz, 2006). Laut einer amerikanischen Studie sind 1,5% der in den Notaufnahmen behandelten Fälle Frakturen der Hand und des Handgelenks, wobei der Anteil der Frakturen von Radius und Ulna 44% beträgt (Chung & Spilson, 2001).

Es zeigen sich zwei Altersgruppen, die besonders häufig betroffen sind. Dies sind zum Einen Kinder und Jugendliche, wobei das Gipfelalter der Mädchen 8 bis 12 Jahre und das der Jungen 11 bis 14 Jahre beträgt. Jungen sind zudem häufiger betroffen. Die Häufung in dieser Altersklasse wird einerseits mit zunehmender sportlicher Betätigung erklärt, andererseits wird ein Zusammenhang mit wachstumsbedingter Knochendichteminderung während der Pubertät diskutiert (Bailey, Wedge, McCulloch, Martin, & Bernhardson, 1989; Khosla et al., 2003). Die Hauptursachen für eine distale Radiusfraktur im Kindes- und Jugendalter sind sportliche Aktivitäten, Autounfälle und Unfälle beim Spielen (Nellans et al., 2012). Am häufigsten werden hierbei sturz-assoziierte Mechanismen als Unfallursache beschrieben (Ryan et al., 2010).

Auf der anderen Seite steht das Kollektiv der älteren Patienten, insbesondere der postmenopausalen Frauen über 50 Jahre, bei denen die Osteoporose als pathogenetischer Faktor eine wichtige Rolle spielt (Brogren, Petranek, & Atroshi, 2007). Die distale Radiusfraktur ist eine der häufigsten osteoporotischen Frakturen (O'Neill et al., 2001) und wird im höheren Alter im Gegensatz zur jungen Population weniger durch Hochrasanztraumata als vielmehr durch Unfälle mit geringer Krafteinwirkung verursacht, wie beispielsweise der Fall aus dem Stand. Dem Unfallmechanismus entsprechend zählen zu den wichtigsten Risikofaktoren eine verminderte Knochendichte, eine vorausgegangene Fraktur sowie hohes Lebensalter (Oyen et al., 2010). Darüber hinaus gibt es begünstigende Faktoren wie die Witterung in den Wintermonaten, in denen es zu deutlich mehr Speichenbrüchen kommt (Flinkkila et al., 2011; O'Neill et al., 2001). Da die Inzidenz in Skandinavien und Osteuropa höher ist als in anderen europäischen Regionen, wird auch

eine geographische Abhängigkeit diskutiert (Ismail et al., 2002). Die altersadjustierte Inzidenz bei Frauen beträgt derzeit 309 bis 761 /100.000 und bei Männern 73 bis 202 /100.000. Ab dem 35. Lebensjahr entspricht dies einem Verhältnis von 4,1:1 (O'Neill et al., 2001). Mit steigendem Lebensalter zeigt sich vor allem bei Frauen ab 50 Jahren eine deutliche Zunahme der Inzidenz, wobei die der Männer bis ins höhere Lebensalter konstant bleibt und erst ab dem 80. Lebensjahr ansteigt (Brogren et al., 2007; Flinkkila et al., 2011; Ismail et al., 2002; O'Neill et al., 2001). Entsprechend beträgt das Lebenszeitrisiko, ab einem Alter von 60 Jahren eine distale Radiusfraktur zu erleiden, bei Männern 2% und bei Frauen 15% (Nguyen, Ahlborg, Center, Eisman, & Nguyen, 2007). Aufgrund der zunehmenden Lebenserwartung unserer Gesellschaft kann jedoch mit einer weiteren Zunahme der Inzidenz in den nächsten Jahren gerechnet werden (Chen & Jupiter, 2007).

3.2 Pathophysiologie

Abhängig von der Stellung der Handwurzel zum distalen Radius im Moment der Gewalteinwirkung, der Größe dieser Gewalteinwirkung und der individuellen Beschaffenheit des Knochens, entstehen unterschiedliche Verletzungsformen. Grundsätzlich kann man zwischen intra- und extraartikulären Frakturen unterscheiden, wobei sich die extraartikuläre Fraktur typischerweise 2-4 cm proximal des Radiokarpalgelenkes befindet. In 90% der Fälle resultiert eine Radiusextensionsfraktur (Colles-Fraktur, „loco typico“), wobei der typische Verletzungsmechanismus der Sturz auf die ausgestreckte, dorsalextendierte Hand ist und es sich bei dem Patienten in der Regel um eine ältere Dame handelt (Niethard, Pfeil, & Biberthaler, 2009). Üblicherweise ist die Hand hierbei um 40 bis 90° extendiert und gleichzeitig zwischen 0 und 35° nach radial oder ulnar abduziert (Oestern, 1999a). Es resultiert eine extraartikuläre Fraktur der Radiusepiphyse mit einer nach dorsal gerichteten Dislokation. Dabei kann eine metaphysäre Trümmerzone entstehen sowie saggitale Ausläufer ins Gelenk (D. Rikli & Regazzoni, 1999). Der notwendige Kraftaufwand beträgt hierbei durchschnittlich 283kp (2942 N) beim Mann und 195kp (1912 N) bei der Frau. Klinisch imponiert die meist bajonettförmige Fehlstellung des Handgelenks. Ist das Handgelenk um mehr als 90° extendiert, resultieren eher Luxationen und Frakturen der Handwurzelknochen (Oestern, 1999a). Im Falle eines Sturzes auf die palmarflektierte Hand entsteht die Flexionsfraktur (Smith-Fraktur), wobei es zu einer Abscherung der palmaren

Radiusfläche kommt. Auch hier kann es zu Ausläufern ins Gelenk mit Absprengung des Processus styloideus radii kommen, besonders wenn es sich um einen osteoporotischen Knochen handelt. Die selteneren, durch axiale Krafteinwirkung verursachten Frakturen, betreffen eher jüngere Patienten. Je nach Gelenkstellung kann es nach der hierbei zu Abscherfrakturen der dorsalen (Barton) oder der palmaren (reversed Barton) Radiusepiphysenkante kommen. Bei axialen Hochrasanztraumata wird die Radiusepiphyse und mit ihr das distale Radioulnargelenk in vier Hauptfragmente aufgesprengt. Häufig findet sich auch eine Impaktion von Gelenkfragmenten in die Metaphyse (D. Rikli & Regazzoni, 1999; Schünke et al., 2014) .

3.3 Begleitverletzungen

Die distale Radiusfraktur kann isoliert oder in Kombination mit anderen Verletzungen des Handgelenks auftreten, die insbesondere intrinsische Bänder, das distale Radioulnargelenk und den TFCC betreffen und das Ergebnis der Therapie wesentlich beeinflussen können. Diese Begleitverletzungen werden in Abhängigkeit vom Patientenkollektiv mit einer Häufigkeit von 25% bis 89% angegeben und sind bei Patienten mit komplett intraartikulären Frakturen signifikant häufiger behandlungswürdig (Frank, Pralle, Lehnert, & Marzi, 2010).

Der Abriss des Processus styloideus ulnae ist mit 60% die häufigste Begleitverletzung. Durch die korrekte Reposition der Radiusfraktur kann sich das Ulnastyloid wieder einstellen und in einer Pseudarthrose ausheilen. In diesen Fällen bedarf es keiner weiteren Therapie und führt nur selten zu Beschwerden. Eine operative Versorgung kann bei Instabilitäten und Dislokationen anhand einer offenen Reposition und Fixation mit Kirschnerdrähten und Drahtzuggurtung erfolgen. Die Bedeutung der Therapie eines Ellengriffelabrisses für das Ergebnis und die Prognose wird allerdings kontrovers diskutiert (Kramer et al., 2013; D. Rikli & Regazzoni, 1999; Siebert & Klonz, 2006). Im Falle eines basisnahen Abrisses des Processus styloideus ulnae kann dies einem knöchernen Ausriss des TFCC entsprechen. Die Verletzungen des TFCC lassen sich anhand ihrer Risslokalisation nach Palmer in zentrale, ulnare, palmare und radiale Verletzungen (A-D) unterteilen und können unbehandelt zu Instabilitäten des distalen Radioulnargelenkes und persistierenden Schmerzen führen und sollten daher operativ behandelt werden (Frank et al., 2010; Siebert & Klonz, 2006).

Im Bereich der Handwurzelknochen kommt es am häufigsten zu Frakturen des Os scaphoideum. Die häufigste Frakturlokalisation ist das mittlere Drittel, wobei distale

Frakturen die beste Prognose haben, da dort die Vaskularisation am besten ist. Typischerweise findet sich bei der klinischen Untersuchung ein Druckschmerz über der Tabatière und Schmerzen bei Stauchung des Daumens. Die operative Versorgung mittels Herbert-Schraube (Doppelgewindschraube) ist bei primär oder sekundär dislozierten, instabilen Frakturen und Luxationsfrakturen indiziert, andernfalls kann konservativ vorgegangen werden. Da viele Scaphoidfrakturen undiagnostiziert bleiben, ist die Rate an Pseudarthrosen durch Ausheilung in Fehlstellung entsprechend hoch. Es kommt zur Instabilität der proximalen Handwurzelreihe und arthrotischen Veränderungen, die zu einem karpalen Kollaps mit chronischen Handgelenksbeschwerden führen können (Grifka & Krämer, 2013; Niethard et al., 2009). Auch ligamentäre Verletzungen in diesem Bereich kommen vergleichsweise häufig vor und können gleichermaßen karpale Instabilitäten verursachen. Hier ist insbesondere die Bandruptur zwischen Os scaphoideum und Os lunatum zu nennen, die zur sogenannten SL-Dissoziation führt. Verletzungen des intrinsischen Bandapparats mit Zeichen einer SL-Bandläsion kommen bei 40% bis 70% der intraartikulären Frakturen mit Beteiligung der Fossa lunata vor (Siebert & Klonz, 2006). Charakteristische Zeichen auf dem konventionellen Röntgenbild sind die Vergrößerung des Abstands zwischen Scaphoid und Lunatum über 2mm und eine Verkippung des Os lunatum nach dorsal oder palmar gegenüber einem flektierten Os scaphoideum (D. Rikli & Regazzoni, 1999; Rueger et al., 2014). Unbehandelt hat diese Fehlstellung durch eine punktuelle Mehrbelastung arthrotische Veränderungen im Radiokarpal- und Mediokarpalgelenk zur Folge, wobei es auch hier zum Vollbild des karpalen Kollaps mit Tiefertreten des Os capitatum in den Gelenkspalt zwischen Os scaphoideum und Os lunatum kommen kann. Um Spätfolgen wie eine persistierende Instabilität zu vermeiden, sollte bei einer frischen Bandruptur eine operative Rekonstruktion und vorübergehende Arthrodesse mittels Kirschnerdrähten erfolgen (Grifka & Krämer, 2013). Luxationen werden insgesamt seltener beobachtet und betreffen am häufigsten das Os lunatum, welches häufiger nach palmar als nach dorsal luxiert. Im Falle einer perilunären Luxation bleibt das Os lunatum an seiner anatomisch korrekten Position stehen, während die gesamte übrige Handwurzel nach dorsal luxiert. In beiden Fällen kann eine geschlossene Reposition erfolgreich sein. Eine operative Behandlung sollte bei Versagen der konservativen Maßnahmen und bei einer Bandruptur erfolgen (Grifka & Krämer, 2013).

Eine weitere typische Komplikation der distalen Radiusfraktur ist das komplexe regionale Schmerzsyndrom (CRPS), das in etwa 3,8 bis 32,2% der Fälle auftritt (Jellad, Salah, & Ben Salah Frih, 2014; Moseley et al., 2014). Man kann das CRPS Typ I ohne klinisch nachweisbare Nervenläsion von dem Typ II mit eindeutiger Nervenläsion unterscheiden. Im Allgemeinen handelt es sich um einen Symptomkomplex multifaktorieller Genese, der mit Durchblutungsstörungen an Knochen und Weichteilen, autonomen und motorischen Funktionsstörungen und starkem Schmerz einhergehen und im Extremfall zu einer totalen Gelenkeinstellung führen kann. Bekannte Risikofaktoren für die Entwicklung eines CRPS sind periphere, gelenknahe Frakturen, anhaltender Frakturschmerz, grobe Repositionsmanöver, lange Ruhigstellung in engen Verbänden und fortgeschrittenes Patientenalter. Jellad et al. konnten darüber hinaus in ihrer Studie zeigen, dass auch das weibliche Geschlecht einen Risikofaktor darstellt. Der stadienhafte Verlauf zeigt klinisch und röntgenmorphologisch typische Befunde: der Beginn entspricht einem Entzündungsstadium, welches durch eine teigige Weichteilschwellung und eine Funktionseinschränkung mit typischem Bewegungs- und Nachtschmerz charakterisiert ist. Im Verlauf zeigen sich die Schmerzen rückläufig, jedoch stellen sich trophische Störungen der Weichteile und Muskulatur ein. In diesem zweiten, durch Dystrophie gekennzeichnetem Stadium, wird im Röntgenbild eine zunehmende diffuse Entkalkung des Knochens sichtbar, die sich bereits im ersten Stadium abzeichnet. Nach Monaten bis Jahren setzt das Endstadium in Form einer generalisierten Atrophie von Knochen und Weichteilen mit Versteifung betroffener Gelenke ein. Röntgenmorphologisch zeigt sich eine diffuse Osteoporose mit Verschmälerung der Kortikalis. Therapeutisch steht eine Behandlung mit analgetischen und antiphlogistischen Maßnahmen bei ruhiggestellter Extremität im Vordergrund. Schmerzadaptiert können physikalische und physiotherapeutische Behandlungen eingesetzt werden, sowie eine psychologische Therapie sinnvoll sein. Eine medikamentöse oder invasive Reduzierung der Sympathikusaktivität kann ebenso in Erwägung gezogen werden. Mithilfe dieser interdisziplinären Therapie kann eine Rückbildung der Symptome insbesondere in Stadium 1 und 2 stattfinden. In Stadium 3 ist sowohl eine Rückbildung der trophischen Störungen, als auch die Persistenz der Atrophie möglich. Zentrales Konzept ist daher die Prävention durch initiale Schmerzreduktion, Vermeidung zu enger Verbände und frühzeitige Bewegungstherapie (Jellad et al., 2014; Moseley et al., 2014; Niethard et al., 2009).

3.4 Diagnostik und radiologische Kriterien

Die Grundlage zur Beurteilung der anatomisch korrekten Stellung und Form der Unterarmknochen sowie möglicher Begleitverletzungen stellt das Röntgenverfahren in zwei Ebenen dar. Verschiedene Parameter können anhand von Röntgenbildern in anterior-posteriorem (a.p.) - und seitlichem Strahlengang bestimmt werden. Zur Diagnostik karpaler Begleitverletzungen kann anhand eines konventionellen Röntgenbildes die korrekte Stellung der Karpalbögen sowie der Ossa lunatum und scaphoideum zueinander überprüft werden. Eine suffiziente Methode zur Demaskierung karpaler Instabilitäten stellt darüber hinaus die dynamische fluoroskopische Untersuchung dar, bei der die Handwurzel in verschiedenen Stellungen auf Pathologien untersucht werden kann (Frank et al., 2010).

Im Rahmen der Diagnostik eines Speichenbruchs sind besonders die bereits oben erwähnte palmare und ulnare Inklination, sowie die Radiuslängenbestimmung von Bedeutung.

Um eine Verkürzung des Radius bzw. einen Ulnavorschub diagnostizieren zu können, werden beide Unterarmknochen anhand ihrer Länge verglichen, wobei eine Senkrechte durch den Processus styloideus radii und eine durch den ulnaren Begrenzungspunkt der Radiusfläche gelegt wird. Der Abstand der beiden Senkrechten beträgt durchschnittlich 9 bis 12 mm. Die Radioulnarinklination bzw. der Radiusbasiswinkel kann anhand einer Geraden durch die Spitze des Processus styloideus radii und die ulnarseitige Gelenkfläche des Radius, angelegt an eine Senkrechte entlang der Radiuschaftlängsachse, ermittelt werden. Dieser Winkel beträgt 20 bis 25°. Sowohl die Radiuslängenbestimmung als auch die Ulnarinklination werden an Röntgenbildern mit a.p.-Strahlengang gemessen.

Die Palmarinklination wiederum kann anhand eines seitlichen Strahlengangs bestimmt werden, wobei die dorsalen und palmaren Begrenzungspunkte der Radiusgelenkfläche verbunden werden und deren Winkel an einer Senkrechten entlang der Radiuschaftlängsachse gemessen werden. Ein Wert von 10 bis 15° ist physiologisch. Die aufgeführten Indizes sollen nach einer distalen Radiusfraktur durch die Therapie wiederhergestellt werden, sodass mit der möglichst anatomisch korrekten Wiederherstellung die Voraussetzung für eine schmerzfreie und uneingeschränkte Funktion geschaffen wird (Oestern, 1999a; Schünke et al., 2014). Bei komplexen intraartikulären Frakturen kann die Anwendung von CT- oder MRT-Diagnostik notwendig werden, um Anzahl und Lage der Fragmente sowie Weichteilschäden besser beurteilen zu können und optimale

Voraussetzungen für die Operationsplanung zu schaffen (Frank et al., 2010). In den letzten Jahren hat sich die Arthroskopie auch bei der akuten Versorgung distaler Radiusfrakturen bewährt, da sie unter minimalinvasiven Bedingungen gleichzeitig diagnostische und therapeutische Optionen bietet, was insbesondere bei der Kontrolle intraartikulärer Frakturen mit karpalen und ligamentären Begleitverletzungen sinnvoll sein kann (Grechenig, Fellingner, Seibert, & Peicha, 1996; Siebert & Klötz, 2006).

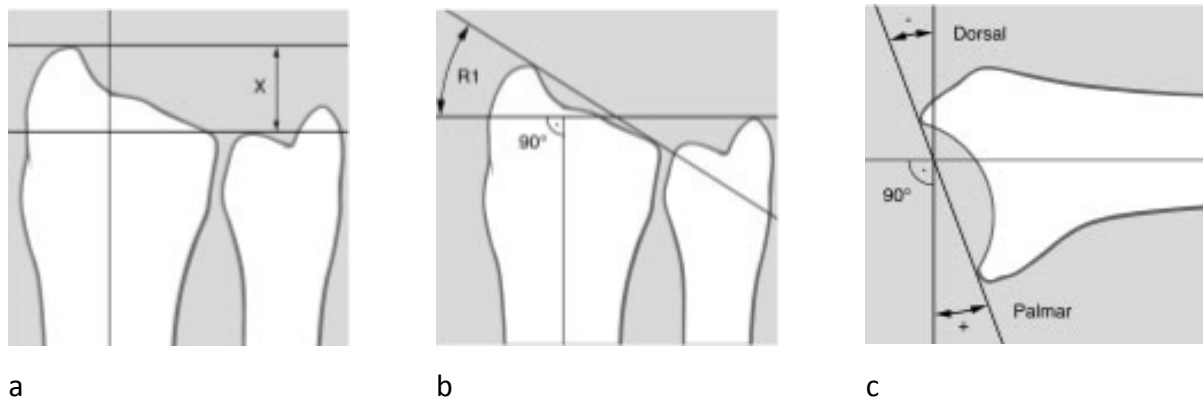


Abbildung 2: : a) Radiuslänge, b) Radiusbasiswinkel, c: palmarer Neigungswinkel (Oestern, 1999a)

Bei der Auswertung der Röntgenbilder dieser Studie wurde anhand der hier geschilderten radiologischen Kriterien und Methoden vorgegangen.

3.5 Klassifikationen

Aufgrund der zahlreichen Erscheinungsformen der distalen Radiusfraktur, wurde die damals übliche Benennung nach dem Erstbeschreiber im Laufe der Zeit durch eine Vielzahl an Klassifikationssystemen ersetzt, die anhand des Ausmaßes der Fraktur, nach Röntgenbefund oder Dislokationsgrad, nach Gelenkbeteiligung oder aufgrund des Verletzungsmechanismus die verschiedenen Frakturformen einteilten (Oestern, 1999a). Die Nutzung der Klassifikationssysteme erleichtert durch eine einheitliche Zuordnung nicht nur die Kommunikation, sondern soll darüber hinaus die Möglichkeit bieten, standardisierte Behandlungskonzepte abzuleiten, diese zu vergleichen und eine Prognose aufzustellen. Um eine Behandlungsstrategie ableiten zu können, muss jedoch die alleinige Nutzung eines Qualifikationssystems als unzureichend angesehen werden, da Begleitverletzungen, das Patientenalter, der Osteoporosegrad und die Anforderungen an die Hand gleichermaßen

Beachtung finden müssen. Demnach ist jede Fraktur individuell zu bewerten, wenn es um die optimale Behandlung geht (K. Becker, 2007). Im Folgenden soll nur auf die wichtigsten Klassifikationen eingegangen werden.

3.5.1 Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO)

1990 veröffentlichte Müller die AO-Klassifikation zur Einteilung von Frakturen langer Röhrenknochen. Ein fünfstelliger alphanumerischer Code gibt hierbei Auskunft über die Körperregion, den Frakturort innerhalb dieser Region und die Komplexität der Fraktur. Jeder Röhrenknochen wird individuell nummeriert und von proximal nach distal in drei Abschnitte unterteilt, sodass die distale Radiusfraktur mit der Zahlenkombination 23 codiert wird. Der Frakturtyp einer Schaft- oder Gelenkfraktur wird mit A-C bezeichnet. Im Falle der distalen Radiusfraktur wird zwischen extraartikulären Frakturen, partieller Gelenkbeteiligung und vollständigen Gelenkfrakturen unterschieden. Eine numerische Gruppierung 1-3 innerhalb der Frakturgruppe dient wiederum der genaueren Charakterisierung des Frakturtypus. Die fünfte Ziffer innerhalb des Codes stellt eine weitere Subgruppierung dar, welche die genaue Beschreibung bezüglich der Fragmentgröße und Frakturlinie erlaubt. Mit steigender Gruppierung nimmt die Schwere der Verletzung und die Notwendigkeit der Versorgung zu, sodass diese Klassifikation zur Ableitung einer Therapieempfehlung und Prognose geeignet ist. Sollte eine Fraktur keiner Gruppe zugewiesen werden können, wird dies als Typ D1-Fraktur bezeichnet. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, Verletzungen im Bereich der Ulna zu kennzeichnen. Diese Einteilung ist mit ihrer Vielzahl an Kombinations- und Subgruppierungsmöglichkeiten die bis heute detaillierteste Klassifikation und wird heutzutage mehrheitlich zur Einteilung und Auswertung von Frakturen des distalen Radius bevorzugt. Auch in meiner Arbeit dient sie unter Angabe der Hauptgruppen der Systematisierung der diagnostizierten Frakturen des Patientenkollektivs (Fernandez, 2001; Müller, Nazarian, Koch, & Schatzker, 1990; Wiemer, Koster, Felderhoff, & Weber, 1999).

Tabelle 1: AO- Klassifikation (K. Becker, 2007)

A1	isolierte Ulnafraktur
A2	einfache impaktierte Radiusfraktur
A3	Radiusfraktur mit metaphysärer Trümmerzone
B1	sagittaler Gelenkverlauf
B2	frontaler Frakturverlauf mit dorsalem Fragment
B3	frontaler Frakturverlauf mit palmarem Fragment
C1	einfache Gelenk- und metaphysäre Fraktur
C2	einfache Gelenk- und metaphysäre Mehrfragmentfraktur
C3	Mehrfragmentfraktur

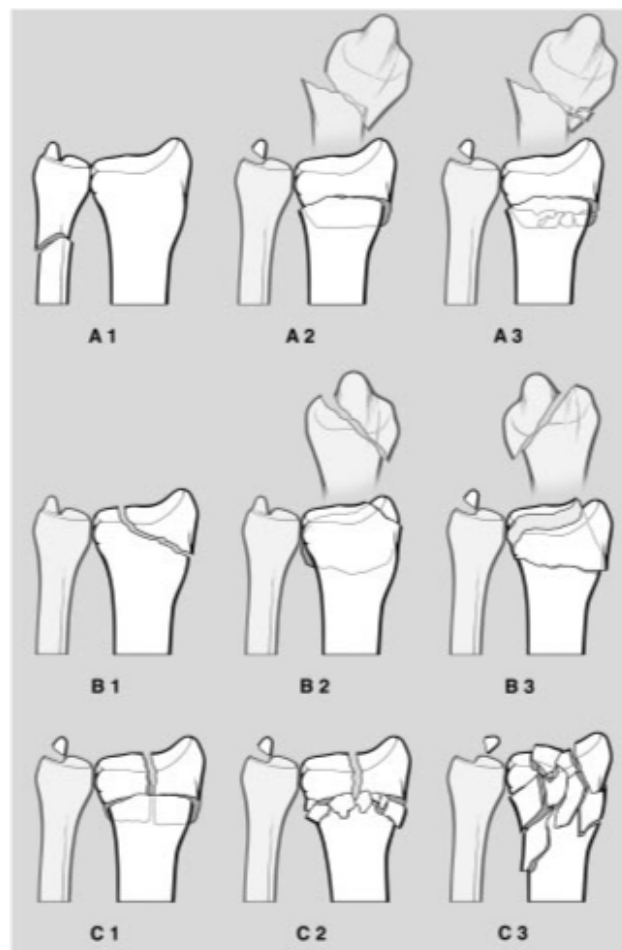


Abbildung 3: AO-Klassifikation (Oestern, 1999a)

3.5.2 Klassifikation nach Frykman

Die 1967 von Frykman entworfene Klassifikation teilt die Frakturen in acht Gruppen ein, wobei zwischen intra- und extraartikulären Brüchen unterschieden wird. Zudem werden Zusatzverletzungen der distalen Ulna berücksichtigt, nicht jedoch die Anzahl der Fragmente oder die Richtung der Abkippung. Typ I und II beschreiben die extraartikuläre Fraktur mit und ohne Abriss des Processus styloideus ulnae. Typ III und IV beziehen sich auf die Fraktur im Bereich des Radiokarpalgelenks, Typ V und VI auf jene im Bereich des distalen Radioulnargelenks. Bei Typ VII und VIII handelt es sich um Frakturen beider Gelenke. Durch die Berücksichtigung der ossären Verletzung des distalen Radioulnargelenks in seiner Klassifikation macht Frykman auf die Bedeutung des DRUG im Zusammenhang mit distalen Radiusfrakturen aufmerksam. In der Orthopädie und Unfallchirurgie war diese Einteilung lange Zeit Grundlage für die Beurteilung distaler Radiusfrakturen (Frykman, 1967; Oestern, 1999a; Wiemer et al., 1999).

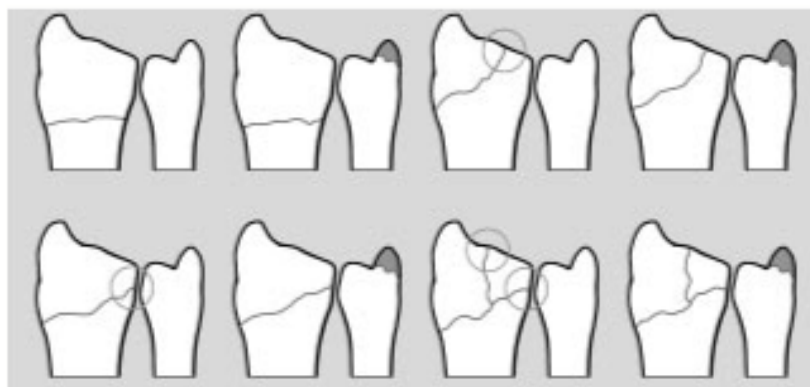


Abbildung 4: Klassifikation nach Frykman. 1-4 obere Reihe, 5-8 unterer Reihe (Oestern, 1999a)

3.5.3 Klassifikation nach Melone

Die Klassifikation nach Melone teilt intraartikuläre Frakturen ein, die sich zumeist als 3- oder 4-Fragment-Gelenkbrüche durch die Aufspaltung der Radiusepiphyse darstellen und Resultat des sogenannten „die punch“-Mechanismus (die „lange Gerade“ im Boxsport) sind. Die Frakturkomponenten bestehen aus dem Schaftanteil, dem Processus styloideus radii, einem dorsomedialen Fragment und aus einem palmarmedialen Fragment, wobei die beiden letzten essenziell für die Stabilität der distalen Speiche und des distalen

Radioulnargelenkes ist. Es werden 5 Typen nach Grad der Verschiebung, Zahl der Fragmente, Grad der Zertrümmerung und Ausdehnung in die Diaphyse unterschieden (Fernandez, 2001; Oestern, 1999a; Siebert & Klönz, 2006).

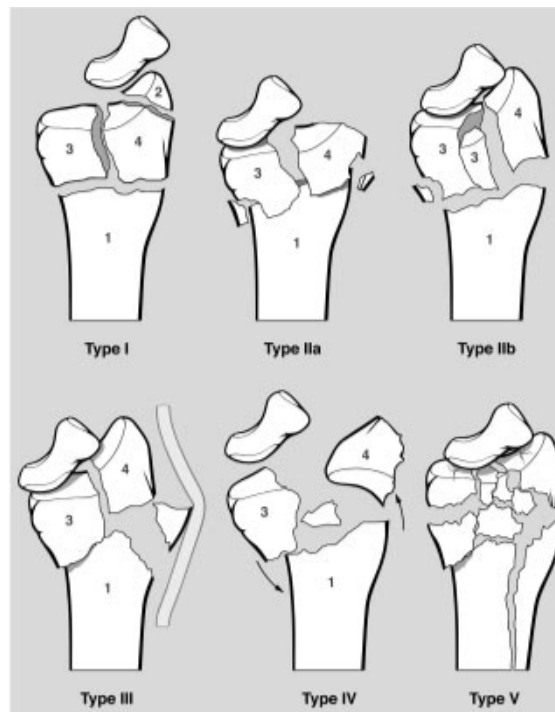


Abbildung 5: Klassifikation nach Melone (Oestern, 1999a)

3.5.4 Klassifikation nach Fernandez

Die Klassifikation nach Fernandez verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Pathophysiologie und Frakturform. Anhand des Pathomechanismus werden die Kategorien I bis V unterschieden: Biegefrakturen, Abscherfrakturen, Kompressionsfrakturen, Avulsionsfrakturen und Kombinationen dessen.

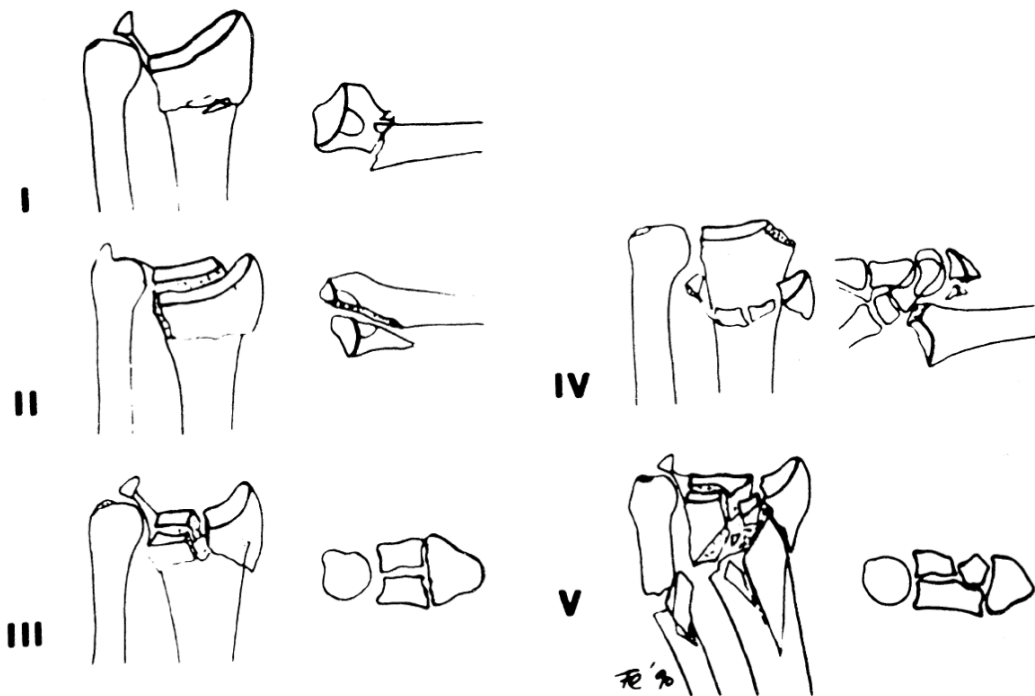


Abbildung 6: Klassifikation nach Fernandez (D. Rikli & Regazzoni, 1999)

Der durch indirekte Biegekräfte verursachte Biegebruch ist die häufigste Form. Hierzu zählen auch die Colles- und Smith- Fraktur. Die Abscherfrakturen entsprechen den oben erwähnten Barton-Frakturen. Typ III, die Kompressionsfrakturen, entstehen durch axiale Krafteinwirkung und entsprechen den von Melone beschriebenen Gelenkfrakturen. Bei den Avulsionsfrakturen kommt es zum knöchernen Ausriss der ulnokarpalen und radiokarpalen Bandstrukturen, sodass eine Handgelenkluxation resultiert. Im Rahmen von Hochrasanztraumata zeigen sich die Kombinationsfrakturen der fünften Kategorie. Die Komplexität der Frakturen und die Wahrscheinlichkeit damit verbundener Weichteilverletzungen steigen innerhalb der Klassifikation von I bis V an. Anhand dieser Klassifikation kann demnach sowohl eine Aussage zu Stabilität und assoziierten Verletzungen getroffen, als auch eine Therapieempfehlung und Prognose abgeleitet werden (Fernandez, 2001; D. Rikli & Regazzoni, 1999).

4. Grundlagen der Frakturheilung

Unter physiologischen Bedingungen findet ein ständiges Remodelling der Knochensubstanz statt, bei dem es durch die Aktivität der Osteoklasten zu einem Knochenabbau und durch jene der Osteoblasten zur Regeneration des Knochens kommt. Im Rahmen eines Frakturgeschehens wird diese Umbauaktivität deutlich gesteigert. Um eine suffiziente Frakturheilung erzielen zu können, muss eine intakte Durchblutung der Fragmente vorhanden sein, genügend Knochenkontakt bestehen sowie die Ruhigstellung der Fraktur in ausreichendem Maße gewährleistet sein. Eine unzureichende knöcherne Überbrückung durch Instabilitäten oder eine zu große Frakturspaltbreite kann zur Entwicklung einer Pseudarthrose führen. Andererseits ist eine gewisse interfragmentäre Bewegung als physiologischer Reiz der Knochenbildung jedoch notwendig (Claes, Wolf, & Augat, 2000).

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Mechanismen der Knochenheilung: die direkte oder primäre Knochenheilung und die indirekte oder sekundäre Knochenheilung, die sich im Wesentlichen durch die Bildung von Kallus unterscheiden.

Werden beide Bruchfragmente durch Osteosynthese stabil fixiert, können die Osteone, eine Einheit aus zentralem Knochenkanälchen und konzentrisch darum angeordneten Knochenlamellen, den Bruchspalt direkt durchwandern und sorgen somit innerhalb von 1,5 bis 2 Jahren für eine vollständige Knochenheilung ohne die Ausbildung von Kallus. Dies entspricht der direkten Knochenheilung.

Im Falle der indirekten Knochenheilung kommt es zum physiologischen Heilungsprozess unter Kallusbildung ohne Stabilisierung der Fragmente. Es werden verschiedene Stadien unterschieden. In der initialen Verletzungsphase bildet sich ein Frakturhämatom aus, welches sich in der folgenden Entzündungsphase innerhalb weniger Tage durch die Einwanderung von Fibroblasten zu bindegewebigem Kallus organisiert. Es folgt die Phase der Kallushärtung, in welcher sich über Wochen Geflechtknochen ausbildet. In der letzten Remodelling-Phase findet der Umbau zu lamellärem Knochen, der Abbau von überschüssigem Kallus und das Einsprossen von Gefäßen statt. Diese Phase kann bis zu 2 Jahre andauern (Claes et al., 2000; Niethard et al., 2009).

5. Versorgung distaler Radiusfrakturen

5.1 Therapieprinzipien

Ziel der Therapie der distalen Radiusfraktur ist die anatomische Wiederherstellung nach dem Grundsatz „Funktion folgt der Form“ (Siebert & Klonz, 2006). Die Rekonstruktion der extraartikulären anatomischen Verhältnisse wie Gelenkwinkel und Radiuslänge sind dabei ebenso entscheidend wie das Beheben intraartikulärer Stufen, um ein bestmögliches funktionelles Resultat zu erreichen (D. Rikli & Regazzoni, 1999). Die Versorgung der Fraktur sollte zeitnah erfolgen, um weitere Weichteilverletzung durch dislozierte Fragmente zu verhindern, wobei in Abhängigkeit verschiedener Kriterien wie Stabilität, Frakturtyp, Begleitverletzungen sowie Konstitution und Compliance des Patienten ein geeignetes Verfahren gewählt wird. Bei der Entscheidungsfindung sollten auch der Anspruch des Patienten sowie die Erfahrung des behandelnden Arztes mit den verschiedenen Behandlungsoptionen eine Rolle spielen (Handoll & Madhok, 2003; Oestern, 1999a). Prinzipiell wird zwischen konservativem und operativem Vorgehen unterschieden.

5.2 Konservative Therapie

Das konservative Vorgehen beschränkt sich auf stabile Radiusbrüche wie extraartikuläre metaphysäre A1- und A2-Frakturen ohne Trümmerzone oder B1-Frakturen, bei denen anhand einer geschlossenen Reposition mit anschließender Gipsanlage behandelt werden kann und gute Ergebnisse erzielt werden können (Handoll & Madhok, 2003; Oestern, 1999a; Siebert & Klonz, 2006; Wiemer et al., 1999). Auch die Wahl des konservativen Verfahrens geschieht individuell in Abhängigkeit der genannten Faktoren, sodass schwer ein bestes Verfahren bestimmt werden kann (Gaulke, Spies, & Krettek, 2007; Handoll & Madhok, 2003). Im Folgenden wird auf eine gängige Methode zur konservativen Behandlung eingegangen.

Voraussetzung für die Reposition ist eine adäquate Anästhesie, die als intravenöse Regionalanästhesie, Plexus-axillaris-Blockade oder als Vollnarkose durchgeführt werden kann. Im Rahmen einer lokalen Bruchspaltanästhesie wird das Lokalanästhetikum direkt in das Frakturhämatom gespritzt, was jedoch aufgrund erhöhter Infektionsrisiken und

verminderter Schmerzreduktion nicht empfohlen wird (Wiemer et al., 1999). Die Reposition des Bruches erfolgt bei dem auf dem Rücken liegenden Patienten anhand eines vertikalen Zugprinzips, bei dem der Daumen sowie der 2. und 4. Strahl in Extensionshülsen, den sogenannten Mädchenfängern, für 5 bis 10 Minuten ausgehängt werden. Der Oberarm ist dabei um 90° abduziert, der Unterarm und die Hand befinden sich in einer Neutralposition. Die Verteilung des Zugs auf mehrere Finger ist essentiell, um eine Rotation der Handwurzel während der Extension zu verhindern, die andernfalls zu einer Subluxationsstellung führen könnte (Oestern, 1999a). Bei einigen Brüchen ist die Behandlung im Mädchenfänger für eine korrekte Reposition ausreichend. In der Regel ist jedoch zusätzlich ein manuelles Repositionsmanöver notwendig, um Dislokationen nach dorsal oder volar reponieren zu können. Hierbei besteht das Risiko, durch ein forciertes Repositionsmanöver das Abkippen von Fragmenten zur Gegenseite zu provozieren (Oestern, 1999a).

Nach erfolgter Reposition wird ein zirkulär anmodellierter Unterarmgips angelegt und sofort gespalten. Die Grundgelenke bleiben ausgespart und der Unterarm wird in Funktionsstellung gelagert. Eine den Unterarm radialseitig mit einfassende Unterarmgipsschiene kann eine angemessene Alternative darstellen (Handoll & Madhok, 2003; Siebert & Klönz, 2006). Die engmaschige Röntgen- und Gipskontrolle erfolgt im Anschluss am 1., 4., 7., 11., 14. und 21. Tag. Bei der frühen Gipskontrolle ist besonders auf eine regelrechte Durchblutung und Sensibilität zu achten, um eine zu enge Gipsanlage auszuschließen. Sollte sich im Rahmen der regelmäßigen Röntgenkontrollen eine Verschlechterung des Repositionsergebnisses zeigen, besteht die Möglichkeit eines erneuten Repositionsversuches oder Verfahrenswechsels (Oestern, 1999a). Individuell muss entschieden werden, ob wiederholte Repositionsmanöver in Anbetracht des steigenden CRPS- Risikos sinnvoll sind (Siebert & Klönz, 2006). Abschwellende und analgetische Maßnahmen können begleitend durchgeführt werden, ebenso sollte die Beweglichkeit der Finger regelmäßig trainiert werden, um eine Einsteifung der Gelenke zu verhindern (Gaulke et al., 2007). In Abhängigkeit von der knöchernen Durchbauung, ist eine Immobilisierung für 4-6 Wochen notwendig. Dies ist radiologisch festzustellen. Im Anschluss erfolgt eine physiotherapeutische Behandlung, um eine schnelle Wiedererlangung der Funktion zu fördern und dem Patienten zu einer eigenständigen Übungsbehandlung zu verhelfen, die er möglichst täglich selbstständig durchführt (Oestern, 1999a; Wiemer et al., 1999).

5.3 Operative Therapie

Die Indikation zur operativen Versorgung einer distalen Radiusfraktur wird auf Grundlage verschiedener Kriterien gestellt, die eine adäquate Therapie der Verletzung durch konservatives Vorgehen ausschließen. Neben Frakturen mit Nerven- und Gefäßläsionen sind ebenso nicht reponierbare, offene und sekundär dislozierte Brüche von einer konservativen Therapie ausgeschlossen. Darüber hinaus werden instabile Frakturen, die Kriterien wie eine metaphysäre Trümmerzone, eine Dorsalabkippung über 20° oder intraartikuläre Stufenbildung erfüllen, operativ behandelt. Die operative Versorgung der distalen Radiusfraktur kann prinzipiell offen oder geschlossen erfolgen, wobei die Entscheidung über die Art des Verfahrens individuell geprüft und angepasst werden muss (Dumont, Fuchs, Folwaczny, Heuermann, & Sturmer, 2003).

5.3.1 Kirschnerdrahtosteosynthese

Die K-Draht-Osteosynthese zählt zu den minimal-invasiven Verfahren, die insbesondere bei dislozierten Frakturen ohne metaphysäre Trümmerzone, was den Typen A2, A3, B1, C1 nach AO-Klassifikation entspricht, Anwendung findet (Siebert & Klonz, 2006). Die Reposition erfolgt manuell oder analog dem konservativen Ansatz über den Extensionsbügel. Bei eingestauchten oder verschobenen Fragmenten kann die externe Reposition mithilfe eines Repositionsdrahtes, der von dorsal in die Fraktur eingebracht wird und diese aufrichtet, möglich gemacht werden (Oestern, 1999b). Sollen die Drähte über einen geschlossenen Zugang eingebracht werden, wird die angestrebte Platzierung der Drähte unter Bildwandlerkontrolle auf der Haut des Handrückens eingezeichnet und der Proc. styloideus radii, über den die Fixierung erfolgen soll, durch eine Injektionsnadel markiert. Aufgrund der anatomischen Nähe des N. radialis superficialis und seiner Äste zum Proc. styloideus radii, ist die Gefahr der Verletzung dieser Struktur nicht unerheblich. Anhand einer Längsinzision, ausgehend von der Tabatière entlang des Proc. styloideus radii, kann der N. radialis superficialis vor der Stabilisierung freigelegt und geschont werden. Diese offene K-Draht-Fixation sollte im Gegensatz zum geschlossenen Verfahren mindestens in Plexusanästhesie erfolgen, während andernfalls eine Lokalanästhesie ausreichend ist (Oestern, 1999b). Ausgehend vom Proc. styloideus radii werden zwei bis drei Kirschnerdrähte von 1,6 bis 2 mm Durchmesser so nach proximal ulnar eingebracht, dass ihr Winkel zur Radiuslängsachse

30-45° beträgt und sie sich in beiden Ebenen überkreuzen. Zur Stabilisierung der Fixierung ist eine feste Verankerung in der Gegencorticalis notwendig. Die Kombination aus zwei radialen Drähten mit einem von dorso-ulnar eingebrachten Draht, bietet biomechanisch die größte Stabilität (D. Rikli & Regazzoni, 1999). In Abhängigkeit von Frakturform und Fragmentierung ist das Einbringen weiterer Drähte und die Variation ihrer Lage zur zusätzlichen Stabilisierung möglich.

Ein anderes Vorgehen beschreibt die Methode nach Kapandji, bei der drei Kirschnerdrähte von dorsal direkt in den Frakturspalt eingebracht werden und anhand einer Hebelwirkung zur Reposition der Fraktur führen. Ist die korrekte Stellung hergestellt, werden die Drähte in den proximalen Radius eingepasst. Ein direktes Erfassen der distalen Fragmente erfolgt hierbei nicht (Oestern, 1999b).

Die Kirschnerdrähte verbleiben 6 Wochen in situ, eine Ruhigstellung des betroffenen Handgelenks ist für 4 Wochen notwendig. Da die K-Drähte oberhalb des Hautniveaus gekürzt werden, kann es zur Verletzung der darüber gleitenden Strukturen, wie beispielsweise der Sehnen, kommen. Im Anschluss können die Drähte in Lokalanästhesie entfernt werden, wobei es auch hier zu einer Verletzung oder Irritation des Ramus superficialis des N. radialis kommen kann. Weitere Komplikationen können die Infektion des Drahtes an seiner Eintrittsstelle sowie die sekundäre Dislokation durch falsch eingebrachte oder zu dünne K-Drähte sein. Darüberhinaus kann es zu einer extremen Hitzeentwicklung mit nachfolgender Nekrose-Bildung im Zuge einer überhöhten Bohrgeschwindigkeit kommen. Im Falle einer osteoporotisch veränderten Knochenstruktur ist eine alleinige Versorgung mittels K-Drähten aufgrund des sekundären Stabilitätsverlustes infolge der Knochendefekte nicht ausreichend (Ochman, Frerichmann, Armsen, Raschke, & Meffert, 2006; Oestern, 1999b; Siebert & Klönz, 2006).

5.3.2 Schraubenosteosynthese

Die Schraubenosteosynthese kommt typischerweise bei B1-Frakturen, also Frakturen des Proc. styloideus radii, zum Einsatz. Der Unfallmechanismus ist hierbei zumeist der Sturz auf die ausgestreckte Hand. Als operativer Zugang dient ein Schnitt über dem Proc. styloideus radii, über den der Ramus superficialis des N. radialis sowie die A. radialis und die Sehne des M. extensor pollicis longus in der Tabatière dargestellt werden können. Im Falle von

Mehrfragmentfrakturen (B 1.2, B1.3) können andere Zugangswege notwendig werden. Die Reposition der Fraktur kann manuell oder mithilfe einer Repositionszange durchgeführt werden. Je nach Frakturtyp und Größe der Fragmente kann die zusätzliche Versorgung mittels Kirschnerdrähte notwendig werden, die entweder nur für die Dauer des Eingriffs der Stabilisierung dienen und im Verlauf durch Schrauben ersetzt werden, oder zusätzlich zur Schraube belassen werden. Die Schrauben sollten parallel eingebracht werden, um eine gleichmäßige Kompression zu gewährleisten. Bei intakter Knochenstruktur ist die Fraktur sofort übungstabil, andernfalls kann eine dorsale Gipsschiene angelegt werden, die einige Tage getragen werden muss (Oestern, 1999b). Auch dieses Verfahren zählt zu minimal-invasiven Techniken und birgt die Gefahr der Verletzung oder Irritation wichtiger Strukturen wie Nerven oder Gefäße.

5.3.3 Fixateur externe

Der Funktionsweise des Fixateur externe liegt das Prinzip der Ligamentotaxis zugrunde: Durch ständigen Längszug werden dislozierte Fragmente über die an ihnen ansetzenden intakten Kapsel- und Bandstrukturen in ihre anatomisch korrekte Position zurückgeführt und gehalten. Der Fixateur kann dabei gelenkübergreifend oder extraartikulär eingebracht werden und gewährleistet neben einer korrekten Gelenkflächeneinstellung auch die radiale Längenerhaltung (Ochman et al., 2006; D. Rikli & Regazzoni, 1999). Die Indikation für eine Versorgung mit diesem System wird bei komplexen Verletzungen des distalen Unterarms mit Weichteilschädigungen unterschiedlicher Stärke, sowie bei dislozierten Trümmerfrakturen (Typ C3 nach AO) und stark dislozierten extraartikulären Frakturen des distalen Radius (Typ A3 nach AO) gestellt (Siebert & Klönz, 2006). Neben der Möglichkeit, den Fixateur externe zur definitiven Frakturversorgung zu verwenden, kann er auch als temporäre Lösung in Notfallsituationen eingesetzt werden, um beispielsweise eine Abschwellung der Weichteile oder Stabilisierung des Zustands vor einer endgültigen chirurgischen Intervention zu ermöglichen. Die Vorteile der kurzen Operationszeit und Anwendungsvariabilität sowie die Möglichkeit, nach erfolgter Versorgung weiterführende Diagnostik betreiben zu können, werden hierfür ausgenutzt. Die Anlage erfolgt über Schanzschrauben, die unter Sicht proximal und distal der Fraktur, in der Regel in den 2. Mittelhandknochen sowie den Radiuschaft, eingebracht und extern über Backen und Längsstangen miteinander verbunden werden. Die richtige Position kann unter manueller

Reposition über Bildwandlerkontrolle ermittelt und anhand der Backen fixiert werden (Oestern, 1999b). Die Schanzschrauben sollten extrakapsulär und von dorsoradial eingebracht werden, um eine Läsion des N. radialis superficialis sowie eine Knochenfragmentierung zu vermeiden. Eine zusätzliche Stabilisierung einzelner Fragmente kann über die Kombination mit Kirschnerdrähten erfolgen. Bei größeren metaphysären Defekten kann die Auffüllung dieser mit Spongiosa die Tragezeit des Fixateurs, die in der Regel 6-8 Wochen beträgt, um 1-2 Wochen verkürzen (D. Rikli & Regazzoni, 1999). Die Hand wird in einer nach ulnar, palmar oder dorsal abduzierten Position fixiert, der sogenannten Schede-Stellung, um das Auftreten einer Kontraktur oder eines CRPS vorzubeugen, dessen Erscheinen auch nach mehrwöchiger, starker Distraction beobachtet werden kann. Postoperativ ist eine intensive Pin-Pflege notwendig, um Infektionen sowie Pin-Lockerungen zu verhindern. Auch der Fixateur externe führt bei Patienten mit ausgeprägter Osteoporose ohne zusätzliche stabilisierende Maßnahmen zu Komplikationen wie radialem Längenverlust (Ochman et al., 2006; Oestern, 1999b).

5.3.4 Plattenosteosynthese

Das Prinzip und die Indikation zur Versorgung einer distalen Radiusfraktur mittels Plattenosteosynthese unterlagen im Laufe der letzten Jahrzehnte starken Schwankungen. Während vor der Einführung des winkelstabilen Plattensystems die Mehrzahl der Frakturen konservativ oder über einen dorsalen Zugang mit einer Abstützplatte versorgt wurden, ist die volare winkelstabile Plattenosteosynthese für instabile Frakturen heutzutage die Therapie der Wahl (Thorninger, Madsen, Waeber, Borris, & Rolfing, 2017).

Prinzipiell unterscheidet man zwischen einem palmaren und einem dorsalen Zugangsweg. Die Wahl des Verfahrens erfolgt in Abhängigkeit vom Grad der Instabilität (D. A. Rikli & Regazzoni, 1996), wobei die Versorgung anhand einer modernen winkelstabilen oder einer konventionellen, nicht-winkelstabilen Platte erfolgen kann (K. Becker, 2007).

5.3.4.1 Nicht-winkelstabile Plattenosteosynthese

Die konventionellen, nicht-winkelstabilen Platten eignen sich für dorsale Frakturen mit geringer Verschiebung der palmaren Kortikalis. Die Stabilität entsteht durch die Haftreibung, die aus axialer Schraubkraft, also dem Drehmoment der Schrauben, und dem

Anpressdruck (Reibkraft) der Platte auf den Knochen resultiert. Durch diese Kompression wird die Fraktur stabilisiert und eine primäre Knochenheilung induziert. Voraussetzung für eine zuverlässige Retention ist der feste Sitz der in den Knochen eingedrehten Schraube, entsprechend ist die Knochenqualität maßgeblich. Osteoporotisch veränderter Knochen kann demnach zu einer Lockerung der Plattenosteosynthese führen. Darüber hinaus führt der große Anpressdruck der Platte an den Knochen zu einer periostalen Minderdurchblutung, die ihrerseits durch Nekrosenbildung zu einer Lockerung der Schrauben mit entsprechendem Repositionsverlust führen kann. Zusätzlich zur Frakturstabilisierung mit einer Platte kann in Abhängigkeit von der Ausprägung metaphysärer Defekte der zusätzliche Einsatz von Knochenzement oder Spongiosa zur Auffüllung der Defektzonen notwendig werden. Im Falle der häufig durchgeführten Unterfütterung mit autologer Spongiosa kann es an der Entnahmestelle am Beckenkamm zu erheblichen Komplikationen wie Schmerzen, Nachblutungen, Hämatomen, Infektionen, Nervenverletzungen und iatrogenen Frakturen kommen (Stahel, Infanger, Bleif, Heyde, & Ertel, 2005).

Aufgrund der unzureichenden biomechanischen Stabilität nach Osteosynthese mit einer konventionellen Platte, ist eine Ruhigstellung des Armes für 2-4 Wochen notwendig.

5.3.4.2 Winkelstabile Plattenosteosynthese

Im Gegensatz zur konventionellen Abstützplatte, deren Prinzip auf der festen Verankerung der Schrauben im Knochen basiert, werden die Schrauben der winkelstabilen Platte fest mit dieser verblockt. Durch ein Gewinde in der Platte werden die Schrauben fest angezogen. Im Falle der unidirektionalen (uniaxialen) winkelstabilen Platte kann das Einbringen der Schrauben nur in einem festgelegten Winkel erfolgen. Nur ein Biegen der Platte ermöglicht die Änderung des Winkels. Mit multidirektionalen (polyaxialen) Platten ist das Einbringen der Schrauben in verschiedenen Winkeln möglich, sodass eine Verblockung der Schrauben mit der Platte in unterschiedlichen Stellungen erfolgen kann. Sowohl winkelstabile als auch konventionelle Schrauben können mithilfe von Kombinationslöchern im Schaftbereich verwendet werden.

Das Prinzip der winkelstabilen Platte folgt dem Prinzip eines Fixateur externe: die Fraktur wird innerhalb des Systems geschient, sodass zur Stabilisierung keine Kompression

notwendig wird und somit keine Beeinträchtigung der periostalen Perfusion stattfindet. Das Resultat ist eine sekundäre Bruchheilung. Durch die fehlende Kompression und die daraus resultierende Flexibilität des Systems, sind Mikrobewegungen im Frakturbereich möglich, was die Kallusbildung fördert.

Nachteile der winkelstabilen Platte ist die gewindebedingte stärkere Plattendicke und die größere Steifigkeit des Implantats, welche zusammen mit der definierten Lage der winkelstabilen Schrauben ein nachträgliches Korrigieren bei Repositionsfehlern nicht mehr zulässt. Drohende Frakturspalten und eine somit verzögerte Frakturheilung können durch eine gute Reposition der Fragmente vor der Osteosynthese vermieden werden (Claes, 2004). Ein weiterer Nachteil ist die mögliche Kaltverschweißung zwischen Platte und Schraubenkopf im Zuge des Einbringens der Schrauben, was eine Materialentfernung im Verlauf erheblich erschweren kann (Van Nortwick, Yao, & Ladd, 2012). Der Kostenfaktor im Vergleich zur konventionellen Plattenosteosynthese ist als weiterer Nachteil zu werten.

Dorsaler Zugangsweg

Im Vergleich zum palmaren wird der dorsale Zugangsweg deutlich seltener und nur bei speziellen Indikationen gewählt, wenn beispielsweise intraoperativ eine Darstellung der Gelenkfläche notwendig ist oder Begleitverletzungen ausgeschlossen oder therapiert werden müssen. So ist eine Gelenkrekonstruktion unter Sicht sowie die Versorgung des in- und extrinsischen Bandapparates möglich. Darüber hinaus können intraartikuläre Frakturen durch das Eröffnen der dorsalen Gelenkkapsel und Einsicht in das radiokarpale Gelenk unter Sicht reponiert werden. Durch die anatomischen Gegebenheiten des dorsalen Radius, wie die zeltförmige Krümmung und die ohne schützende Muskelschicht freiliegenden Strecksehnenfächer, kommt es intra- und postoperativ durch mangelhafte Plattenlage bzw. Strecksehnenirritationen häufig zu Komplikationen. Um einer Tendinitis oder Ruptur der Strecksehnen durch das eingebrachte Transplantat vorzubeugen, wird die Indikation zur Materialentfernung nach abgeschlossener Frakturheilung frühzeitig gestellt. Neben einer deutlichen Senkung des Risikos einer Sehnenirritation, kann eine verbesserte Beweglichkeit sowie Handkraft erreicht werden (Zingg, Rillmann, Metzger, & Platz, 2005). Mittlerweile sind auch die von dorsal einzubringenden Platten winkelstabil.

Palmarer Zugangsweg

Die von palmar eingebrachte winkelstabile Platte hat inzwischen ein sehr breites Indikationsspektrum. Vor ihrer Einführung war der palmare Zugang jedoch lediglich den Flexionsfrakturen beziehungsweise Frakturen mit nach palmar disloziertem Fragment vorbehalten, während die extraartikulären A-Frakturen sowie ein Teil der B-Frakturen häufig konservativ und die höhergradigen Frakturen über einen dorsalen Zugang oder mittels anderer Osteosyntheseverfahren behandelt wurden. Der am häufigsten vorkommende Frakturtyp der Extensionsfraktur mit dorsaler Trümmerzone wurde demnach regulär über einen dorsalen Zugang mit einer Stützplatte versorgt. Durch den Einsatz winkelstabiler Platten ist bei sicherer Retention des Repositionsergebnisses, mit Ausnahme von ausgeprägten Trümmerzonen und sehr kleinen Fragmenten, inzwischen auch in diesem Falle die Versorgung von palmar möglich, die durch die anatomischen Gegebenheiten des palmaren Radius wesentliche Vorteile wie ein geringeres operatives Trauma bringt.

Bei der palmaren Plattenosteosynthese erfolgt der Zugang über einen beugeseitigen Längsschnitt, wobei man nach Spaltung der Unterarmfaszie über dem M. flexor carpi radialis und Durchtrennung des M. pronator quadratus an seinem radialen Ansatz den distalen Radius erreicht (Wentzensen, 2007). Der höchste Punkt am distalen palmaren Radius, die sogenannte Watershedline, sollte hierbei nicht überschritten werden. Hier befindet sich der Ansatzpunkt der palmaren Kapselbandstrukturen. Eine Ausnahme bildet eine sehr weit distal gelegene Fraktur, die ein Übertreten der Watershedline rechtfertigt. Die anatomische Konfiguration des flachen palmaren distalen Radius ermöglicht ein gutes Anliegen der Platte. Durch den schützenden Weichteilmantel des Musculus pronator quadratus, unter dem eine eingebrachte Platte keinen weiteren störenden Effekt hat, wird das Komplikationsrisiko entsprechend reduziert.

Bei korrekt eingebrachtem Implantat und Beschwerdefreiheit des Patienten, ist eine Materialentfernung im Gegensatz zum Verfahren von dorsal nicht notwendig (K. Becker, 2007; Wentzensen, 2007). Nur bei dorsal überragenden Schrauben, intraartikulärer Lage des Systems, abstehender Platte oder Infektionen im Plattenlager besteht die Indikation zur Metallentfernung. Darüber hinaus können nicht versenkte Schraubenköpfe mit nachfolgender Irritation der Sehne des M. flexor pollicis longus zu Komplikationen führen, sowie prinzipiell mögliche Verwachsungen an der Plattenoberfläche, die durch die rauen

Materialeigenschaften des Titans bedingt sind. Dies kann zu Schmerzen und Bewegungseinschränkungen führen. Erschwerend kommt hinzu, dass eine Materialentfernung durch eben diese Verwachsungen nach Jahren deutlich verkompliziert werden kann. Eine weitere materialbedingte Beeinträchtigung durch Titan und Stahl ergibt sich in der postoperativen Röntgenkontrolle: nach erfolgter intraoperativer Platzierung der Platte ist durch fehlende Röntgendurchlässigkeit keine Aussage über den Frakturverlauf mehr zu treffen. Sowohl im CT als auch im MRT werden durch die röntgenundurchlässigen Eigenschaften von Titan und Stahl Artefakte produziert, die eine adäquate und zuverlässige postoperative Beurteilung mittels konventioneller Bildgebung erschweren (Radzi et al., 2014; Rupp et al., 1993; Zannoni et al., 1998). Darüber hinaus können metallische Implantate Korrosion und Metall-Allergien provozieren (Hierholzer & Hierholzer, 1982).

Die Kombination aus schonendem palmarem Zugang und winkelstabiler Platte garantiert eine hohe Frakturstabilität, die auch im osteoporotischen Knochen gewährleistet ist. Verschiedene Studien konnten bisher zeigen, dass der Einsatz der winkelstabilen palmaren Platte auch bei höhergradigen C-Frakturen mit guten funktionellen Ergebnissen und geringer Komplikationsrate möglich ist. Die Indikation zur Versorgung mittels konventioneller Abstützplatte kann jedoch im Falle einer einfachen Smith-Fraktur (AO: B3) oder A2-Fraktur mit OP-Indikation stets gegeben sein (K. Becker, 2007). Sollte eine anatomische Reposition durch einseitiges Einbringen einer Platte nicht möglich sein, kann eine Doppelplattenosteosynthese im Sinne einer Sandwich-Konstruktion erfolgen. Dies kann im Falle komplexerer C-Frakturen zum Einsatz kommen, wobei die Anlage biomechanisch dem 3-Säulen-Modell (s.o.) folgt und die radiale und die intermediäre Säule stabilisiert werden (Wentzensen, 2007).

6. Carbonfaserverstärktes PEEK als Implantatmaterial

Das Prinzip der Faserverbundwerkstoffe, der Komposite, basiert auf der Verbindung einer Matrix mit einem bestimmten Fasertyp, wobei die Fasern in die Matrix eingebettet werden und diese als Leim die Fasern an Ort und Stelle hält. Voraussetzung hierfür ist eine chemisch gute Verbindung zwischen den Stoffen, aus der eine extrem hohe Festigkeit und Stabilität resultiert, wobei sich diese mit steigendem Faseranteil erhöhen. So ergeben sich in Abhängigkeit von der anteilmäßigen Verteilung der Komponenten die Charakteristika des resultierenden Materials.

Die Fasern der Polymerkomposite können beispielsweise aus Glas oder Carbon, die thermoplastische Matrix aus Polyetheretherketon, Polyoxymethylen oder Polymethylmethacrylat hergestellt werden (Rohner, Wieling, Magerl, Schneider, & Steiner, 2005). Die Eigenschaften des Faserverbundwerkstoffes Polyetheretherketon/Carbonfaser (PEEK/CF) sind gerade für den Einsatz im medizinischen Bereich geeignet. Im Gegensatz zu anderen Kompositen zeichnet sich PEEK/CF durch eine hohe Röntgendurchlässigkeit aus, die zum einen eine artefaktfreie Darstellung im Röntgenbild ermöglicht und zum anderen den Gebrauch weniger intensiver Röntgenstrahlung ohne Verlust der Darstellungspräzision erlaubt, was für den Patienten eine Reduzierung der Strahlenbelastung bedeutet (Baidya, Ramakrishna, Rahman, & Ritchie, 2001).

PEEK ist ein semikristalliner, aromatischer Thermoplast mit extremer Hitzestabilität. Bei Raum- und Körpertemperatur liegt PEEK in seinem amorphen Zustand vor, die Glasübergangstemperatur liegt bei 143°C und der Kristallitschmelzpunkt bei 343°C (Kurtz & Devine, 2007).

PEEK als semikristalliner Thermoplast zeichnet sich durch die Eigenschaft aus, dass es nach Erhitzen weich und fließfähig wird und nach Abkühlung die Fasern zusammenhält. In Hinblick auf den Einsatz im medizinischen Bereich ist besonders vorteilig, dass PEEK ohne Beimischung von Zusatzstoffen verarbeitet werden kann. Chemisch ist es sehr inert und lediglich in konzentrierter, 98%-iger Schwefelsäure löslich (Kurtz & Devine, 2007). Darüber hinaus zeichnet sich PEEK durch eine niedrige Flüssigkeitsabsorptionsrate aus, die nach ISO R262A bei 0,5% Wasser bei 23°C über 24 Stunden liegt. Weder unter physiologischen Bedingungen noch unter Bestrahlung mit Röntgen- oder Gammastrahlen lässt sich ein Abbau der Stoffe feststellen. PEEK absorbiert lediglich kleine, aus biologischem Gewebe

stammende Mengen Proteine. Darüber hinaus konnte belegt werden, dass es keinerlei zytotoxische oder mutagene Aktivität besitzt und auch im langfristigen Einsatz keine Schäden im Gewebe verursacht. Es zeigten sich sogar eher Osteoblasten-stimulierende Tendenzen, so dass der Schluss naheliegt, dass der Einsatz von PEEK die Knochenneubildung fördert (Katzner, Marquardt, Westendorf, Wening, & von Foerster, 2002; Kurtz & Devine, 2007). Neben der belegten Biokompatibilität gilt auch die Resistenz gegenüber den gängigen Sterilisationstechniken, beispielsweise unter Verwendung von Hitze bis 180°C, Hochdruck-Dampf bis 200°C/1 bar oder ionisierenden Strahlen, selbst nach mehrmaliger Durchführung als gesichert (Katzner et al., 2002).

Die Traumaplatten der Firma icotec AG (Altstätten, Schweiz) werden aus carbonverstärktem Polyetheretherketon gefertigt, wobei die Carbonfasern einen Durchmesser von 5 Mikrometern haben und unendlich lang sind, sie demnach generell nicht durchtrennt werden, was ihnen die hohen mechanischen Eigenschaften, wie extrem hohe Zugfestigkeit, verleiht. In der Regel bestehen die Traumaplatten zu 55% aus Kohlefasern und zu 45% aus PEEK. Fakultativ ist die Einarbeitung von Tantalfasern, die mit einem Anteil von 0,4% für eine Sichtbarkeit im Röntgen sorgen können. Die Rohlinge zur Herstellung der Platten werden im Pultrusionsverfahren hergestellt, wobei die Endlosfasern durch eine PEEK-Emulsion gezogen werden und zu einem Stab konsolidiert werden. Die Weiterverarbeitung der Rohlinge zu Platten wird mithilfe des Composite Flow Molding (CFM) realisiert. Hierbei handelt es sich um einen Prozess, der den Rohling im Rahmen eines Warmumformverfahrens unter Druck in eine Negativform und so in die endgültige Gestalt bringt. Die Stäbe werden demnach bis oberhalb des Schmelzpunktes der PEEK-Matrix erhitzt, in eine Formkavität gepresst und nach abgeschlossener Implantat-Formung ausgekühlt und konsolidiert. Die Fasern sind nach abgeschlossener Prozessierung vollständig in die Matrix eingearbeitet. Das CFM bietet im Vergleich anderen Verfahren wie beispielsweise dem Spritzgießen (Injection Molding) die Möglichkeit, Materialien mit hohem Fasergehalt den Ansprüchen an ein Implantat gemäß zu formen und ihm die notwendigen Eigenschaften zu verleihen (Rohner et al., 2005). Im Ergebnis entsteht ein Stoff von geringem Gewicht und hoher Stabilität, bei jedoch gering ausgeprägter Rigidität, was für den Einsatz als Traumaplatte von großer Bedeutung ist, da der Effekt des stress shielding, was den Knochenabbau durch fehlenden mechanischen Stress auf den Knochen meint,

ausgeschaltet wird (Jockisch, Brown, Bauer, & Merritt, 1992; Wenz, Merritt, Brown, Moet, & Steffee, 1990).

7. Fragestellung und Ziel

Im Rahmen dieser Pilotstudie soll auf Basis der materialwissenschaftlichen Vorteile die faserverstärkte PEEK-Platte hinsichtlich ihrer operativen Praktikabilität und der klinischen Ergebnisse mit einer konventionellen Titanplatte verglichen werden.

8. Methoden und Material

8.1 Studiendesign und Patientenkollektiv

Bei dieser Studie handelt es sich um eine prospektive klinische Studie an 26 Patienten, die sich mit einer distalen Radiusfraktur des AO-Typs 23-A bis 23-C in der Klinik für Unfallchirurgie am UKSH Kiel in einem Zeitraum von Dezember 2012 bis Juli 2014 vorstellten und eine entsprechende Indikation zur plattenosteosynthetischen Frakturversorgung aufwiesen. Die Versorgung erfolgte entweder anhand eines winkelstabilen, monoaxialen PEEK-Plattensystems (Icotec) oder alternativ mit einer winkelstabilen, polyaxialen Titan-Plattenosteosynthese (DePuy Synthes). Begleitverletzungen sowie Begleiterkrankungen stellten kein Ausschlusskriterium dar. Der Studieneinschluss erfolgte bei entsprechender Indikation präoperativ. Die operative Versorgung der Frakturen erfolgte durch zwei Oberärzte der Klinik für Unfallchirurgie am UKSH Kiel, wobei die endgültige Entscheidung über das angewandte Implantatmaterial intraoperativ durch den Operateur getroffen wurde, woraus sich die zwei Patientengruppen ergaben. Im Anschluss an die Operation wurden die Patienten über das angewandte Verfahren informiert. In einem Zeitraum von bis zu 12 Monaten wurden die Patienten nachuntersucht und die versorgten Frakturen röntgenologisch kontrolliert. Alle Daten wurden in einem persönlichen Gespräch und anhand international gültiger Scores bestimmt und schriftlich dokumentiert.

8.2 Osteosyntheseform

Die Indikation zur operativen Versorgung erfolgte entsprechend der AO-Klassifikation unter Berücksichtigung der wiederherzustellenden anatomischen Indizes wie die radioulnare und dorsopalmare Inklination sowie die radiale Höhe und anhand der radiologischen Instabilitätskriterien nach Poigenfurst und Tuchmann (Poigenfurst & Tuchmann, 1978;

Rueger et al., 2014). Alle Frakturen wurden über einen radiopalmaren Zugang dargestellt und alternierend mit dem winkelstabilen, monoaxialen PEEK-Plattensystem (2,7mm Distal Radius Plate; Icotec, Altstätten, Schweiz) oder mit einer winkelstabilen, polyaxialen Titan-Plattenosteosynthese (2,4mm LCP Distal Radius Plate; DePuy Synthes, Umkirch, Deutschland) versorgt. Die Entscheidung über das angewandte Verfahren wurde wie beschrieben intraoperativ durch den Operateur getroffen. Das Plattendesign der PEEK-Platte ist anatomisch an den zwei Säulen des distalen Radius ausgerichtet, so dass in beiden Säulen mindestens drei Schrauben zur monoaxial-winkelstabilen Fixierung zur Verfügung stehen. Die Plattendicke ist zum Schutze der Beugesehnen minimiert und der anatomischen Angulation des Radius angepasst. Für beide Plattensysteme dieser Studie steht ein Zielinstrumentarium (aiming adapter) zur Verfügung, wobei im Gegensatz zur Titanplatte bei der PEEK-Platte nicht die Möglichkeit einer multidirektionalen Schraubenpositionierung gegeben ist. Intraoperativ erfolgte eine Kontrolle der Reposition unter Fluoroskopie und angehobenen seitlichen und a.p.-Aufnahmen. Der Wundverschluss erfolgte wenn möglich mit Readaptation des M. pronator quadratus.

8.3 Allgemeine Patienten- und Operationsdaten

Im Rahmen des präoperativen Gesprächs, nach erfolgter schriftlicher Einwilligung der Patienten, wurden die präoperativen Basisinformationen erhoben. Variablen wie Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht und dominante Hand, sowie Informationen zu Begleiterkrankungen und Arbeitsfähigkeit vor dem Unfall wurden abgefragt und schriftlich dokumentiert. Zusätzlich wurde der DASH-Fragebogen zur präoperativen Selbsteinschätzung von den Patienten ausgefüllt. Informationen zu dem Frakturtyp und den Begleitverletzungen wurden den im Rahmen der präoperativ durchgeführten Röntgenkontrolle und den bereits erhobenen Daten in der Patientenakte entnommen.

Bezüglich des operativen Eingriffs wurden Daten zum Zeitraum zwischen Unfall und OP sowie die OP-Dauer, operativer Zugang, Anästhesieform, verwendetes Implantat, andere intraoperative Maßnahmen und Komplikationen erfasst. Intraoperativ erfolgte eine Kontrolle der Reposition unter Fluoroskopie und angehobenen seitlichen und a.p.

Aufnahmen, die postoperative Röntgenkontrolle erfolgte in der Regel am ersten postoperativen Tag.

8.4 Verlauf und Methodik der Nachuntersuchungen

Die Nachuntersuchungen fanden 6 Wochen sowie 12 Monate postoperativ in Form eines Gesprächs, einer körperlichen Untersuchung und einer Röntgenkontrolle statt. Die Patienten beider Gruppen wurden einzeln in die Ambulanz der Klinik für Unfallchirurgie des UKSH Kiel einbestellt und ärztlich sowie durch die Doktorandin befragt und untersucht. Informationen zu postoperativen Komplikationen, eventuell notwendig gewordenen Reoperationen sowie postoperativen Maßnahmen wie Immobilisation durch einen Gips oder Physiotherapie wurden anhand eines Fragebogens erhoben, der selbstständig durch die Patienten oder mit entsprechender Hilfe ausgefüllt wurde. Dies galt ebenso für den postoperativen DASH- und VAS-Fragebogen. Parameter wie die aktuelle Arbeitsfähigkeit sowie der Mayo Wrist Score zur Erfassung von Schmerzen, Funktionalität, Beweglichkeit und Kraft wurden ebenfalls erfasst und schriftlich festgehalten.

Neben den subjektiven Parametern, die anhand des Gesprächs und der Fragebögen erhoben wurden, erfolgte eine körperliche Untersuchung zur Objektivierung der Beweglichkeit und Funktionalität der operierten Hand. Dabei wurde stets im Seitenvergleich untersucht. Zuerst erfolgte die Inspektion und Palpation der Narbenregion, wobei insbesondere auf Druckschmerzhaftigkeit und Zeichen einer Wundheilungsstörung und Entzündung geachtet wurde. Darüber hinaus erfolgte die Registrierung der Bewegungsausmaße mithilfe eines Goniometers. Gemessen wurden die Flexion und Extension im Handgelenk, die Radial- und Ulnarabduktion, sowie die Supination und Pronation.

Im Anschluss an das Gespräch und die klinische Untersuchung erfolgte eine radiologische Verlaufskontrolle in zwei Ebenen zur Überprüfung der radialen und volaren Inklination sowie des Ulnavorschubs.

Sowohl der Untersuchungshergang als auch die Fragebögen waren 6 Wochen und 12 Monate postoperativ identisch.

8.5 Fragebögen

8.5.1 Selbstständig entwickelter Fragebogen

Zur Komplettierung der Patientendaten wurde ein selbstständig entwickelter Fragebogen eingesetzt, welcher den Patienten jedoch nicht ausgehändigt wurde, sondern im Rahmen des präoperativen Gesprächs sowie der postoperativen Untersuchungstermine der Dokumentation des Untersuchers diente. Neben den allgemeinen Variablen wie beispielsweise Gewicht und Alter konnten so relevante Begleiterkrankungen wie Osteoporose oder die Arbeitsfähigkeit erfasst werden.

8.5.2 Mayo Wrist Score

Ergänzend wurde der Mayo Wrist Score erhoben, der in vier Abschnitten, basierend auf den Angaben des Patienten Schmerz, Funktionalität, Bewegungsumfänge und Griffstärke im Vergleich zur Gegenseite bewertet (Slutsky, 2013). Pro Abschnitt wird jeder Antwortkategorie ein entsprechender Punktwert zugeordnet, nach Addition aller Punkte kann maximal eine Punktzahl von 100 als Ergebnis erreicht werden kann. Anhand dieser Gesamtpunktzahl wird das Ergebnis als sehr gut (90-110 Punkte), gut (80-90 Punkte), befriedigend (60-80 Punkte) oder schlecht (< 60 Punkte) eingestuft.

Sowohl Kraft als auch Beweglichkeit waren im Vergleich zur gesunden Gegenseite zu bewerten, wobei die Abstufungen in 25%-Schritten erfolgten.

8.5.3 DASH-Score

Jedem Patienten wurde sowohl präoperativ als auch postoperativ im Rahmen der Nachuntersuchungen die deutsche Version des „Disability of Arm, Shoulder and Hand“ – Fragebogens ausgehändigt. Dieser erstmalig 1996 von Hudak, Amadio und Bombardier beschriebene Fragebogen zur selbstständigen Bearbeitung durch den Patienten erfasst das aktuelle subjektive Empfinden des Patienten zu Funktion und Symptomen in Bezug auf die gesamte obere Extremität als eine funktionelle Einheit (Hudak, Amadio, & Bombardier, 1996). Innerhalb von 30 Fragen werden Schwierigkeiten im Alltag bei der Ausführung bestimmter Tätigkeiten abgefragt (21 Fragen), sowie das Vorhandensein bestimmter

Symptome (5 Fragen), Einschränkungen bezüglich des Soziallebens, der Arbeit, des Schlafes und des Selbstbewusstseins (jeweils eine Frage) . Im Falle des hier verwendeten DASH ist ein Arbeits- und Berufsmodul (4 Fragen) angehängt, welches optional bei entsprechender Beschäftigung zusätzlich ausgefüllt werden konnte. Die Antwortmöglichkeiten liegen in fünf Abstufungen vor, wobei die Skala angepasst an die verschiedenen Module sinngemäß von „keine Schwierigkeiten“ bis zu „nicht möglich“ reicht. Dabei wird jede Antwort mit einem Punktwert 1-5 versehen, wobei die Anzahl des Punktwertes mit der Zunahme der Schwierigkeiten korreliert: Ein niedriger Wert steht für keine oder nur geringe Einschränkungen, ein hoher Wert ergibt sich bei deutlichen Einschränkungen. Zur Auswertung des DASH wird der niedrigst mögliche Rohwert vom Rohwert subtrahiert und dann durch 1,2 dividiert. Der Rohwert bezeichnet die Summe aller Antwortpunkte. Insgesamt kann ein Punktwert zwischen 0 und 100 erreicht werden, wobei das Ergebnis umso schlechter ist, je näher es an 100 reicht. Aufgrund der einfachen Handhabung und der weit verbreiteten Anwendung, ermöglicht dieser Test eine hohe Vergleichbarkeit sowohl studieninterner Werte als auch mit externen Ergebnissen. Der DASH wurde den Patienten sowohl präoperativ zur Erfassung der Situation vor dem Unfall und zur Ermittlung eventuell vorbestehender Einschränkungen ausgehändigt, als auch bei den entsprechenden Nachuntersuchungen zur Dokumentation des Verlaufes.

8.5.4 Visuelle Analogskala (VAS) Schmerz und Zufriedenheit

Im Rahmen der Kontrollen nach 6 Wochen und 12 Monaten wurde zusätzlich zum DASH-Score die subjektive Patientenzufriedenheit bezüglich der Operation sowie postoperative Schmerzen anhand einer visuellen bzw. numerischen Analogskala erhoben. Die Patienten sollten hierbei, bezogen auf die vergangene Woche, bewerten, wo sich auf der Skala ihr Schmerz- bzw. Zufriedenheitslevel befand. In beiden Fällen bezeichnet der Wert 0 absolute Schmerzfreiheit bzw. äußerste Zufriedenheit, der Wert 100 hingegen maximalen Schmerz bzw. äußerste Unzufriedenheit.

8.6 Radiologische Auswertung

Sowohl präoperativ, postoperativ und im Rahmen der Nachuntersuchungen nach 6 Wochen und 12 Monaten wurden Röntgenbilder des betreffenden Handgelenks im anterior-posterioren sowie im seitlichen Strahlengang angefertigt. Die Röntgenbilder entstanden stets in der Klinik für Unfallchirurgie des UKSH Kiel und wurden standardisiert an einem radiologischen Befundungsmonitor mit der Software Impax (AGFA Health Care N.V.) ausgewertet. Die Bewertung der Reposition erfolgte wie beschrieben durch das Ausmessen der Radioulnarinklination, der Palmarinklination und des Ulna-Vorschubs.

Die im zeitlichen Verlauf erhobenen Werte wurden zur Verlaufskontrolle miteinander verglichen und in Bezug gesetzt.

8.7 Statistische Methoden

Zur statistischen Auswertung der Daten wurde das Programm GraphPad Prism 7 verwendet. Zur Feststellung statistisch signifikanter Unterschiede zwischen den Gruppen kam der Zweistichproben-t-Test für unabhängige Stichproben sowie die Varianzanalyse (ANOVA) unter Errechnung der p-Werte und Standardabweichungen, welche im Folgenden den Plusminus-Werten entsprechen, zur Anwendung. Die Daten wurden mit geeigneten Mitteln der deskriptiven Statistik entsprechend aufbereitet und zur besseren Übersicht graphisch dargestellt.

8.8 Aufklärung und Einverständniserklärung

Die Patienten wurden präoperativ in einem ausführlichen ärztlichen Gespräch über Ziele, Grundlagen, Dauer und Ablauf der Studie sowie über den Umgang mit ihren persönlichen Daten mündlich und schriftlich aufgeklärt. In entsprechendes Informationsblatt wurde jedem Patienten ausgehändigt. Darüber hinaus erfolgte der Hinweis, dass die Teilnahme an der Studie freiwillig sei und jederzeit zurückgezogen werden könne. Eine schriftliche Einverständniserklärung wurde von jedem Patienten unterschrieben.

Die entsprechende Einwilligung der Ethik-Kommission lag vor.

9. Ergebnisse

9.1 Patientenkollektiv

Nach 6 Wochen wurden 26 Studienteilnehmer nachuntersucht. Innerhalb dieses Kollektivs wurden 14 Patienten mit einer PEEK- und 12 Patienten mit einer Titan- Osteosynthese versorgt. Nach 12 Monaten wurden 7 Patienten der PEEK-Gruppe nachuntersucht. Im Rahmen dieser Studie wurden Patienten mit der konventionellen Titan-Platte nur nach 6 Wochen nachuntersucht.

Ursprünglich wurden jeweils 14 Patienten in beide Studiengruppen eingeschlossen, wobei jedoch zwei Patienten aus der Gruppe, die mit Titan-Platten versorgt wurde, aufgrund der großen Entfernung zwischen Wohnort und dem UKSH Kiel nicht zu den Nachuntersuchungen erscheinen konnten. Eine Patientin aus der PEEK-Gruppe konnte erst zur postoperativen Kontrolle nach 12 Monaten erscheinen, so dass diese Daten gesondert betrachtet werden.

Von den 26 insgesamt eingeschlossenen Patienten waren 20 weiblich und 6 männlich, wobei das Durchschnittsalter insgesamt bei 56,12 Jahren mit einem Maximum bei 77 und einem Minimum bei 22 Jahren lag. Es gab keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Alters der Patienten beider Gruppen ($p= 0,1742$), wobei sich die Altersverteilung in der PEEK-Gruppe als weniger homogen erweist.

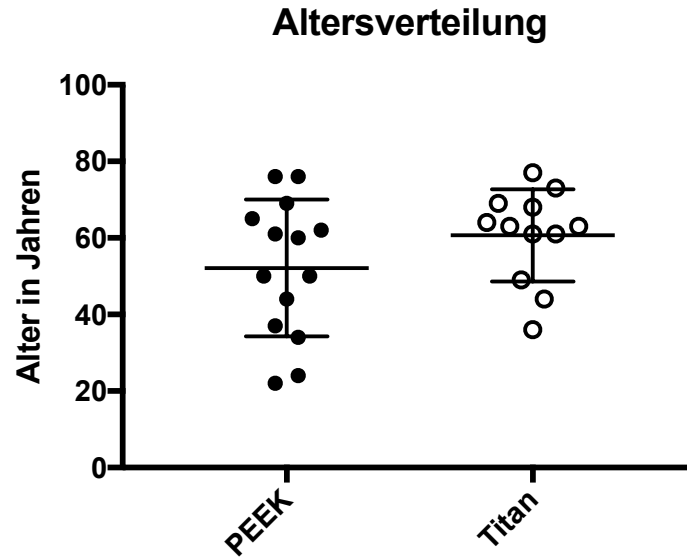


Abbildung 7: Altersverteilung der Studienteilnehmer

Die Frauen waren im Durchschnitt 57,75 Jahre alt, die Männer erreichten ein Durchschnittsalter von 50,5 Jahren. Auch hier bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($p=0,2004$ bzw. $p=0,6244$).

Tabelle 2: Basisprofil

Variable	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)
n	14	12
Mittleres Alter [a]	52,14 ± 17,89	60,67 ± 12,01
Frauen [%]	79	75
Männer [%]	21	27
OP-Seite		
rechts [%]	57	42
links [%]	43	58
AO-Frakturtyp		
23-A	11 [A2:2, A3:9]	7 [A2:2, A3:5]
23-B	2 [B1:1, B2:1]	1 [B1]
23-C	1 [C1]	4 [C1:2, C2:1, C3:1]

In Bezug auf die Geschlechterverteilung sowie die zu operierende Seite, ergab sich für beide Gruppen das gleiche Bild. Alle untersuchten Patienten, mit Ausnahme eines Patienten in der PEEK-Gruppe, waren Rechtshänder. Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, wurden in beiden Gruppen Frakturen des Typs 23-A2 bis 23-C eingeschlossen. Insgesamt wurden 18 23-A, 3 23-B und 5 23- C Frakturen osteosynthetisch versorgt, auch hier konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Kollektiven ausgeschlossen werden ($p= 0,7735$).

Anhand der präoperativ ausgehändigten Fragebögen wurde die Arbeitsfähigkeit, welche auch Haus- und Gartenarbeit einschließt, in Bezug auf die Zeit vor dem Unfall ermittelt. Alle Patienten waren vor dem Unfall arbeitsfähig und konnten einer Tätigkeit nachgehen. Es zeigen sich für beide Patientengruppen vergleichbare Werte mit einem Peak in der Gruppe derer, die teilszeitig leichter körperlicher Arbeit nachgehen. Das Ausgangsniveau unterscheidet sich demnach nicht signifikant ($p= 0,6483$).

Tabelle 3: Arbeitsfähigkeit präoperativ

Arbeitsfähigkeit präoperativ	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)
schwere körperliche Arbeit, Vollzeit	2 [14%]	2 [17%]
schwere körperliche Arbeit, Teilzeit	1 [7%]	3 [25%]
leichte körperliche Arbeit, Vollzeit	5 [36%]	2 [17%]
leichte körperliche Arbeit, Teilzeit	6 [43%]	5 [41%]
nicht arbeitsfähig	0	0

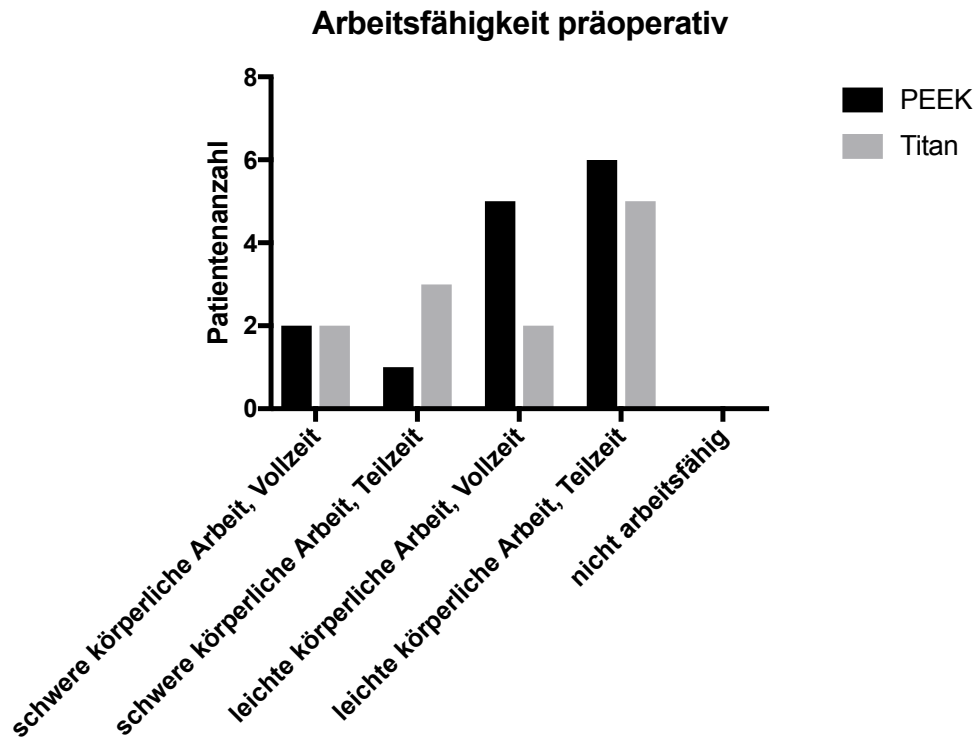


Abbildung 8: Arbeitsfähigkeit der Studienteilnehmer vor der Verletzung

Darüber hinaus zeigte die Auswertung des präoperativen DASH Scores, dass die Mehrheit der Patienten vor dem Unfall keinerlei Einschränkungen in ihrem alltäglichen Leben empfanden. In beiden Gruppen gab es jedoch auch Patienten, die angaben, bereits vor dem Unfall aufgrund einer vorbestehenden Grunderkrankung bei gewissen Tätigkeiten eingeschränkt gewesen zu sein.

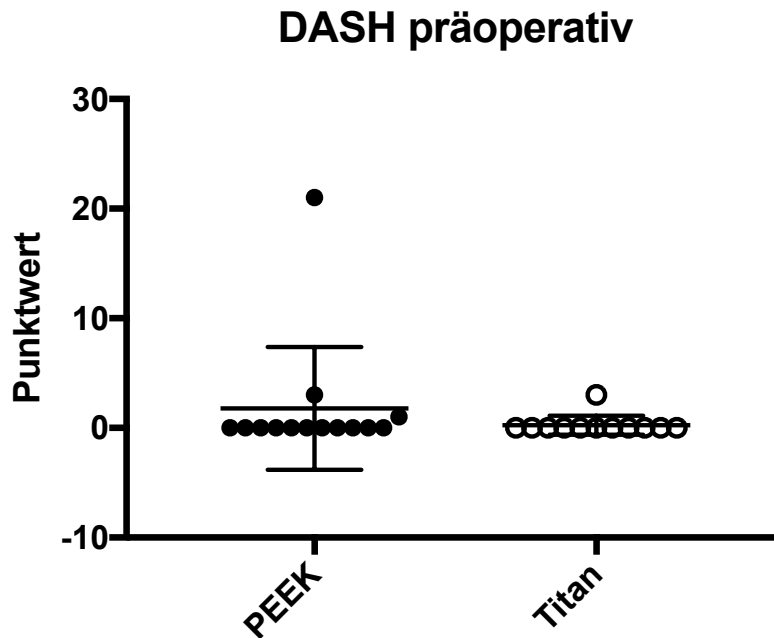


Abbildung 9: DASH Score in Bezug auf die Zeit vor der Verletzung

In beiden Studiengruppen zeigte sich anamnestisch ein gehäuftes Vorkommen von kardiovaskulären Begleiterkrankungen. Jeweils nur ein Patient berichtete von einer anamnestisch bekannten Arthrose bzw. Osteoporose, was dem Formenkreis der degenerativen Erkrankungen zugeordnet wurde. In der Titan-Gruppe litt ein Patient unter einem Karpaltunnelsyndrom, welches im Zuge des Eingriffs am Handgelenk operativ mitversorgt wurde. Begleiterkrankungen wie Diabetes mellitus und Schilddrüsendysfunktionen sind als endokrine Erkrankungen zusammengefasst worden. Bezüglich der onkologischen Erkrankungen war zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Knochenmetastasierung bekannt.

Tabelle 4: Begleiterkrankungen

Begleiterkrankung	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)
keine	6 [32%]	4 [20%]
kardiovaskulär	6 [32%]	7 [35%]
respiratorisch	0	1 [5%]
onkologisch	1 [5%]	1 [5%]
neurologisch	2 [10%]	2 [10%]
arthritisch	1 [5%]	0
degenerativ	1 [5%]	2 [10%]
endokrin	2 [11]	3 [15%]

14 der 26 Studienpatienten wiesen keinerlei Begleitverletzungen auf. Mit insgesamt 7 Fällen stellt der Abriss des Processus styloideus ulnae die häufigste Begleitverletzung in beiden Gruppen dar.

Tabelle 5: Begleitverletzungen

Begleitverletzung	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)
keine	9 [67%]	5 [42%]
Abriss Proc. styloideus ulnae	4 [29%]	3 [25%]
Humerusfraktur	1 [7%]	0
Ulnafraktur	0	1 [9%]
Luxation im Radioulnargelenk	0	1 [8%]
Handwurzelknochenfraktur	0	1 [8%]
scapholunäre Instabilität	0	1 [8%]

9.2 OP-Daten

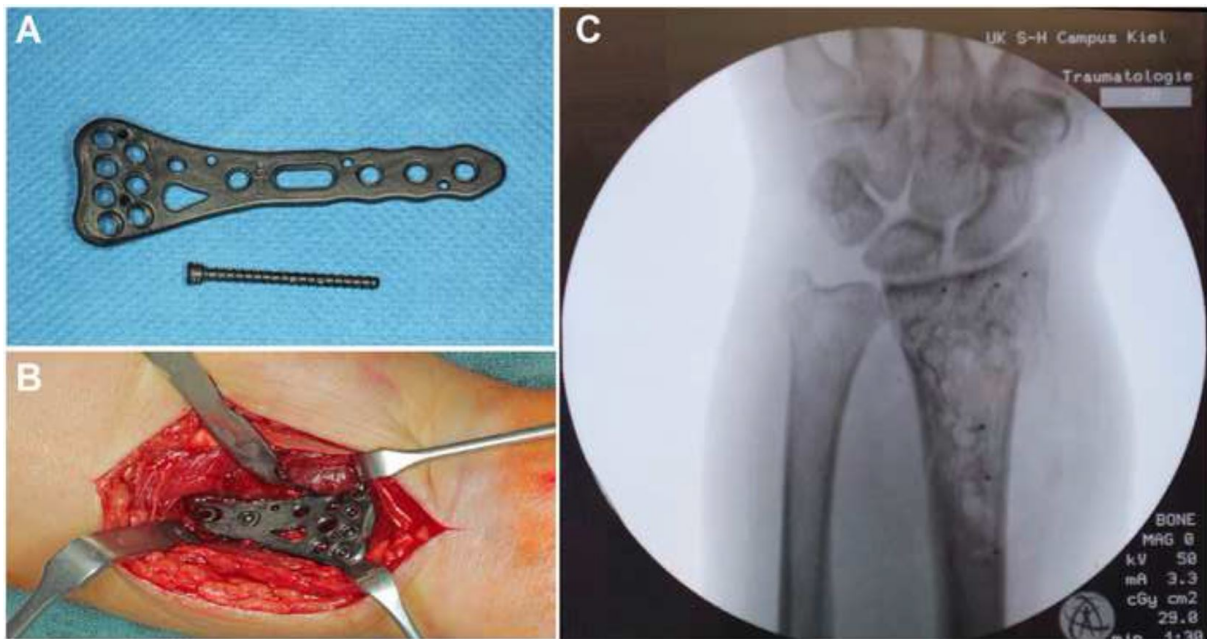
Durchschnittlich wurden die Patienten aus beiden Gruppen innerhalb einer Woche, genauer nach 6,46 Tagen, nach Unfallhergang operiert. Die Daten sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: perioperative Daten

Variable	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)
Zeit bis zur OP [d]	6,929 ± 3,99	5,917 ± 1,975
3-7 Tage	11	10
1-3 Wochen	3	2
OP-Zeit [min]	101 ± 58,92	105,5 ± 40,01
Allgemeinanästhesie [%]	71	83
Plexus-brachialis Anästhesie [%]	29	17
stationäre Liegedauer [d]	3,385 ± 0,6504	4,75 ± 3,494

Insgesamt wurden 77% der Patienten in Allgemeinanästhesie operiert, 23% in Plexus-brachialis-Regionalanästhesie. Die mittlere Operationszeit betrug ca. 101 Minuten in der PEEK-Gruppe und 105 Minuten in der Titan-Gruppe und wies demnach keinen signifikanten Unterschied auf ($p= 0,8370$). Dies deckt sich mit den Angaben der Operateure, wonach die Handhabung der PEEK-Platte sowie die der dazugehörigen Instrumentarien mit metallenen Standardsystemen als vergleichbar eingestuft werden können. Nach einer kurzen Eingewöhnungsphase konnte die PEEK-Platte von den Operateuren problemlos verwendet werden (s. Abb. 10 A,B).

Abbildung 10: Klinische Anwendung der PEEK-Plattenosteosynthese



A: Karbonfaserverstärkte PEEK-Plattenosteosynthese (Icotec, Schweiz),
B: intraoperative PEEK-Plattenlage, C: Plattenlage intraoperativ unter Bildwandlerkontrolle

Intraoperativ ließ sich die Implantat- und Schraubenlage sowie die Fraktur im intraoperativen Durchleuchten gut beurteilen wie Abbildung 10 C zeigt.

Während den Operationen wurden zweimal Schraubenköpfe der PEEK-Gruppe beim Fixieren beschädigt, sodass eine Entfernung der Schrauben notwendig wurde.

Nach durchschnittlich 4 Tagen stationären Aufenthalts konnten die Patienten beider Studiengruppen das Krankenhaus verlassen. 4 Patienten, die mittels Titanplatte versorgt wurden, wiesen eine stationäre Liegedauer ≥ 5 Tage auf. In 3 der 4 Fälle lagen operationsbedürftige Begleitverletzungen vor, so dass hier ein Zusammenhang bestehen kann.

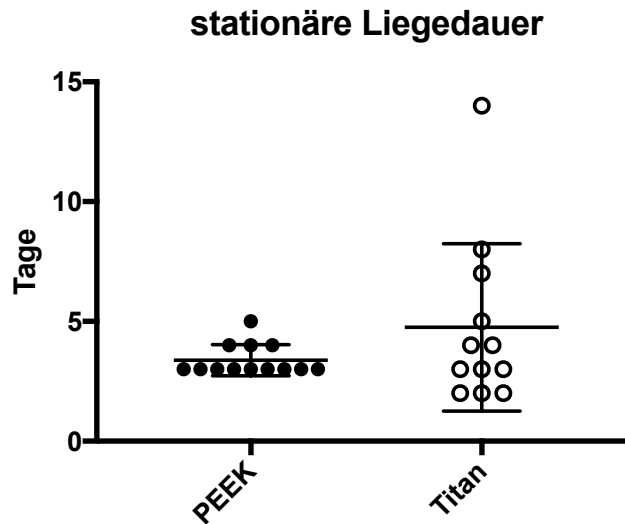


Abbildung 11: stationäre Liegedauer der Studienteilnehmer

9.3 Radiologische Parameter

Anhand der präoperativ angefertigten Röntgenbilder in anterior-posteriorem sowie seitlichem Strahlengang, wurden wie oben beschrieben die radiale und volare Inklination sowie die Radiuslänge bzw. der Ulnavorschub für jeden Patienten bestimmt. Nach erfolgter Operation wurden die gleichen Parameter anhand eines zumeist am 2. postoperativen Tag angefertigten Röntgenbildes auf die gleiche Art erhoben. Die entsprechenden Werte sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 7: Radiologische Parameter präoperativ – postoperativ

Variable	PEEK Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)	p-Wert
Radialinklination			
präoperativ	14,95 ± 9,591°	14,92 ± 7,51°	0,9923
postoperativ	20,04 ± 5,104°	20,06 ± 4,511°	0,9906
Δ Radialinklination	5,229 ± 8,596°	5,142 ± 5,747°	0,9765
Palmarinklination			
präoperativ	-5,707 ± 23,08°	-13,53 ± 22,24°	0,3895
postoperativ	9,814 ± 5,65°	11,35 ± 5,515°	0,4916
Δ Palmarklination	15,52 ± 23,61°	24,88 ± 23,39°	0,3216
Ulnavorschub			
präoperativ	2,186 ± 4,075 mm	1,092 ± 5,827 mm	0,5799
postoperativ	-0,6786 ± 2,89 mm	-1,013 ± 2,879 mm	0,7711
Δ Ulnarvorschub	-2,864 ± 4,825 mm	-2,104 ± 5,211 mm	0,7029

Die relative Reposition der entsprechenden Parameter ist mit Δ bezeichnet. Insgesamt konnte mit beiden Plattensystemen eine suffiziente Reposition der anatomischen Indizes erreicht werden, ohne dass diese sich postoperativ zwischen beiden Implantaten signifikant unterschied.

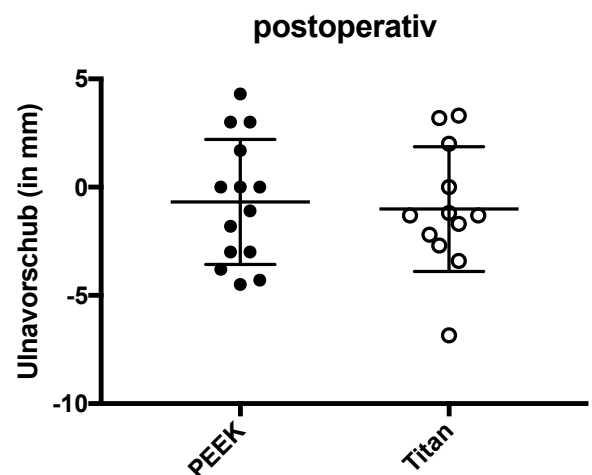
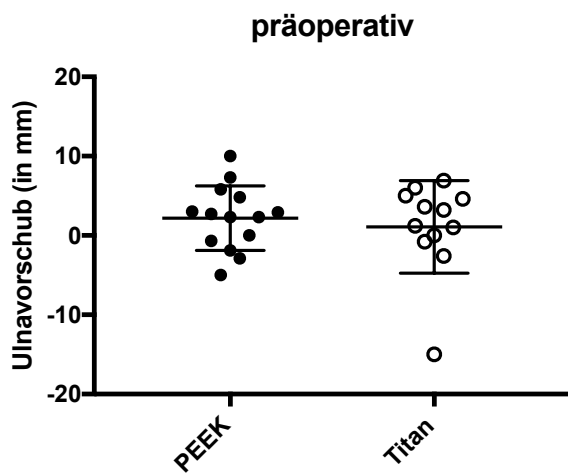
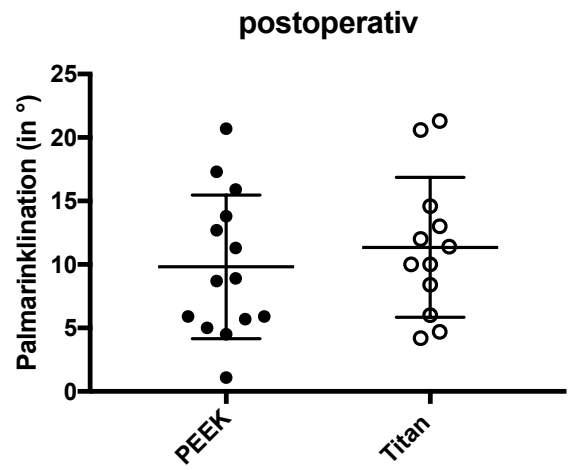
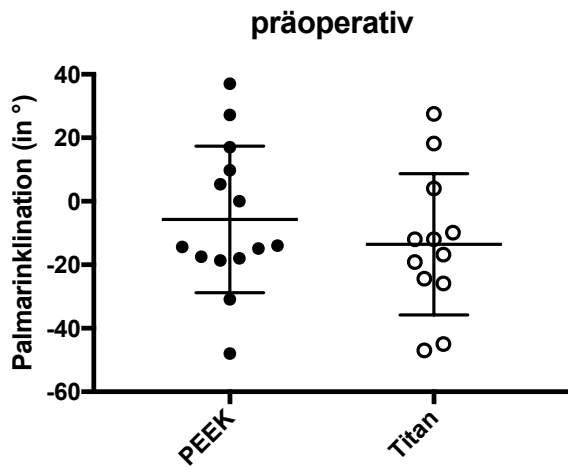
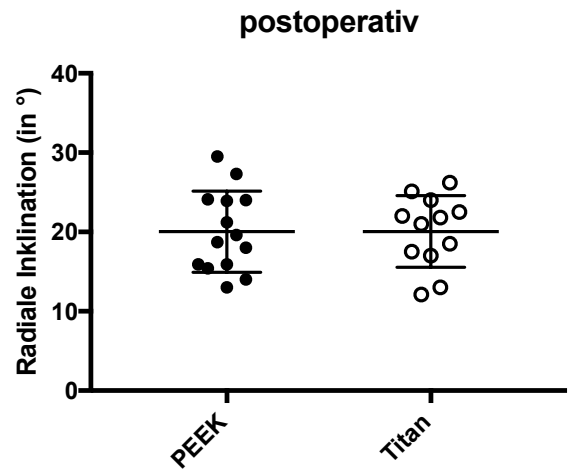
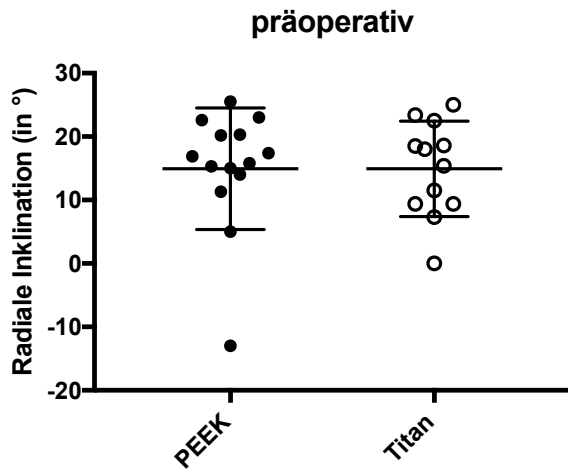


Abbildung 12: Radiologische Parameter prä- und postoperativ

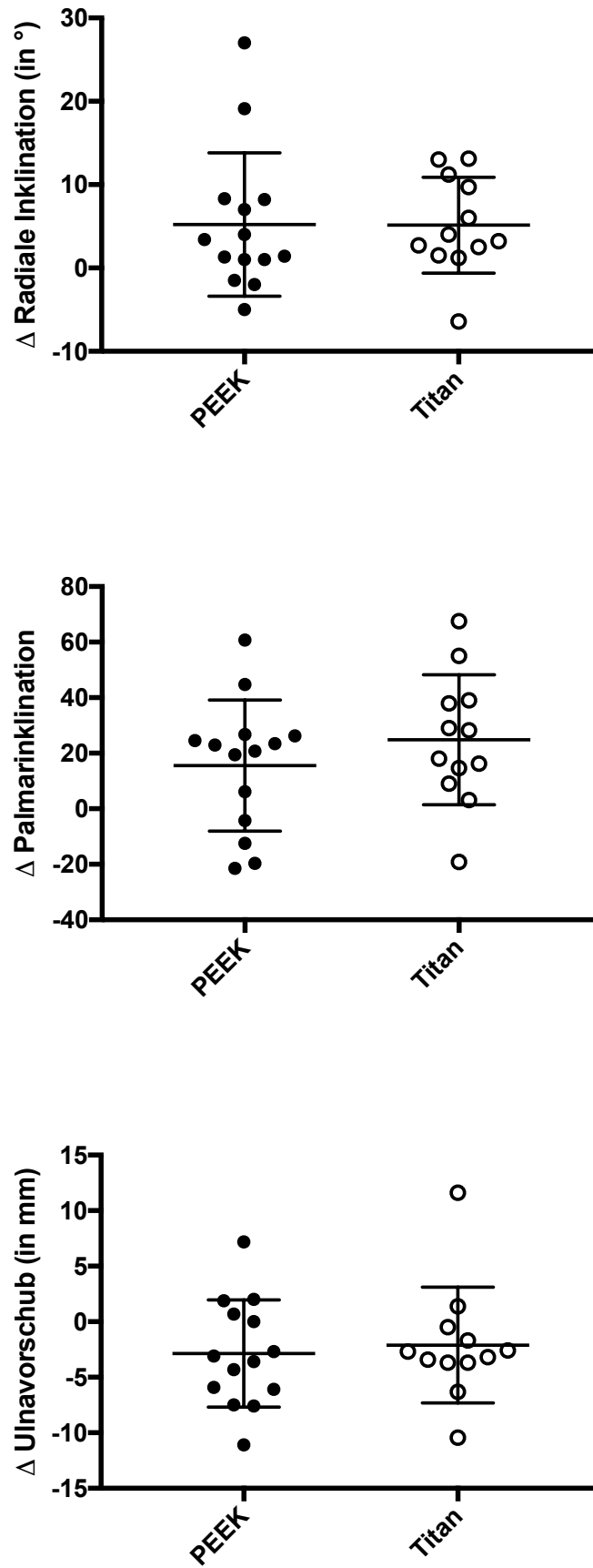


Abbildung 13: Relative Reposition präoperativ - postoperativ

9.4 Nachuntersuchungen 6 Wochen postoperativ

Im Rahmen der Nachuntersuchung 6 Wochen postoperativ wurden neben den klinischen und radiologischen Parametern auch Daten bezüglich der Arbeitsfähigkeit und des persönlichen Empfindens anhand der oben beschriebenen Fragebögen erfasst und mit den präoperativ erhobenen Daten verglichen.

9.4.1 Arbeitsfähigkeit

Wie zuvor bereits dargelegt, unterschied sich das Ausgangsniveau in Bezug auf die Arbeitsfähigkeit beider Patientengruppen präoperativ nicht signifikant voneinander.

Tabelle 8: Arbeitsfähigkeit 6 Wochen postoperativ

Arbeitsfähigkeit 6 Wochen postoperativ	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)
schwere körperliche Arbeit, Vollzeit	0	0
schwere körperliche Arbeit, Teilzeit	1 [7%]	0
leichte körperliche Arbeit, Vollzeit	5 [36%]	2 [17%]
leichte körperliche Arbeit, Teilzeit	7 [50%]	7 [58%]
nicht arbeitsfähig	1 [7%]	3 [25%]

Wie man Tabelle 8 entnehmen kann, sind die Patienten der Titan-Gruppe 6 Wochen postoperativ im Vergleich zur Ausgangssituation deutlicher beeinträchtigt in ihrer Arbeitsfähigkeit als die Patienten der PEEK-Gruppe. In beiden Gruppen ist es keinem Patienten möglich, einer schweren körperlichen Arbeit in Vollzeit nachzugehen, jedoch ist das Gefälle hin zu einer leichten körperlichen Arbeit in Teilzeit bzw. Arbeitsunfähigkeit

größer in der Gruppe der mit Titanplatten Versorgter. Die verzeichneten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen sind jedoch statistisch nicht signifikant ($p=0,6483$).

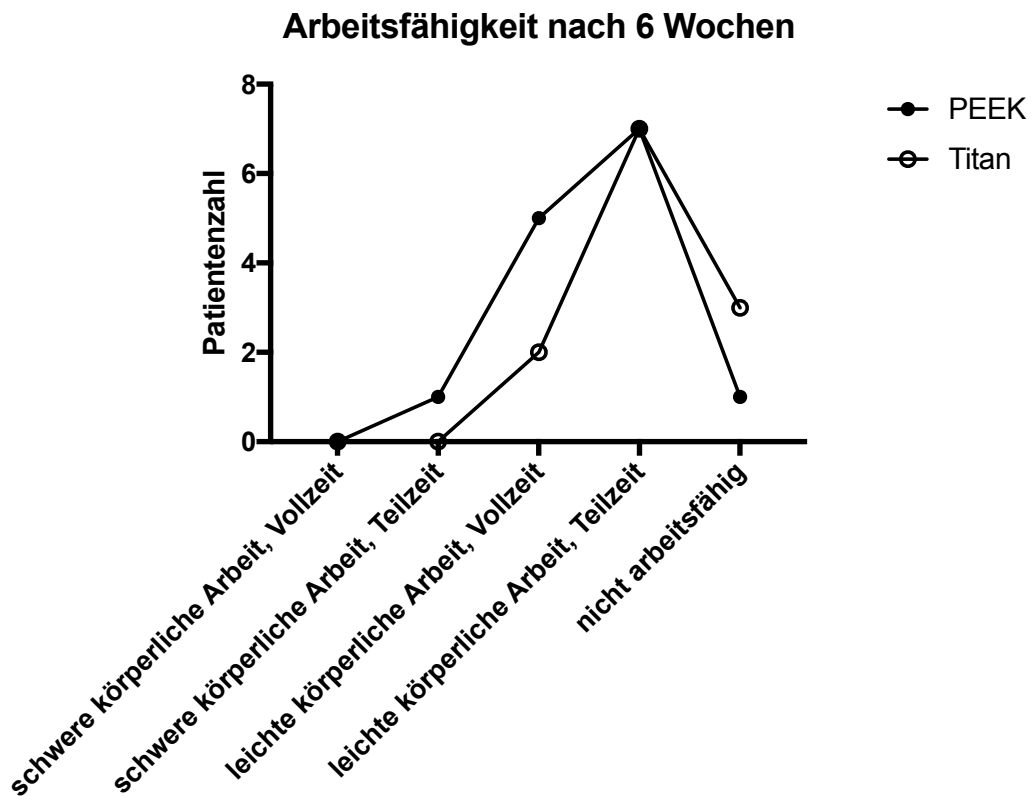


Abbildung 14: Arbeitsfähigkeit der Studienteilnehmer 6 Wochen postoperativ

In Tabelle 9 und Abbildung 15 sind die entsprechenden Ergebnisse zur Veranschaulichung gegenübergestellt.

Tabelle 9: Arbeitsfähigkeit präoperativ – 6 Wochen postoperativ

Arbeitsfähigkeit	PEEK präoperativ	PEEK 6 Wochen postoperativ	Titan präoperativ	Titan 6 Wochen postoperativ
schwere körperliche Arbeit, Vollzeit	2 [14%]	0	2 [17%]	0
schwere körperliche Arbeit, Teilzeit	1 [7%]	1 [7%]	3 [25%]	0
leichte körperliche Arbeit, Vollzeit	5 [36%]	5 [36%]	2 [17%]	2 [17%]
leichte körperliche Arbeit, Teilzeit	6 [43%]	7 [50%]	5 [41%]	7 [58%]
nicht arbeitsfähig	0	1 [7%]	0	3 [25%]

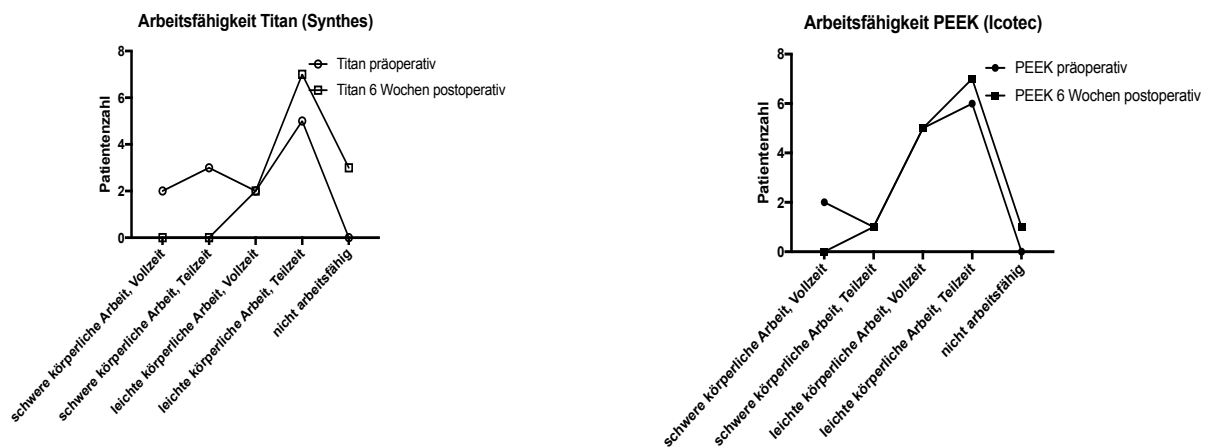


Abbildung 15: Arbeitsfähigkeit der Studienteilnehmer präoperativ und 6 Wochen postoperativ

9.4.2 Beweglichkeit

Die mithilfe des Goniometers erhobenen Werte zur Beweglichkeit des Handgelenks 6 Wochen postoperativ zeigten in allen untersuchten Kategorien tendenziell bessere Bewegungsausmaße bei den Patienten mit der PEEK-Platte. Wie Tabelle 10 zu entnehmen ist, war die Beweglichkeit in Bezug auf Extension, Radialabduktion und Ulnarabduktion in der Gruppe der PEEK-Patienten im Vergleich signifikant besser ($p \leq 0,05$).

Tabelle 10: ROM 6 Wochen postoperativ

ROM [in°]	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)	p-Wert
Flexion	47,86 ± 17,73	38,75 ± 21,12	0,2434
Extension	41,07 ± 16,31	27,5 ± 18,4	0,0576
Radialabduktion	18,93 ± 6,557	12,92 ± 6,895	0,032
Ulnarabduktion	28,57 ± 10,08	19,58 ± 9,876	0,0313
Supination	53,57 ± 25,45	40,42 ± 30,56	0,2426
Pronation	71,43 ± 18,44	68,75 ± 21,12	0,7328

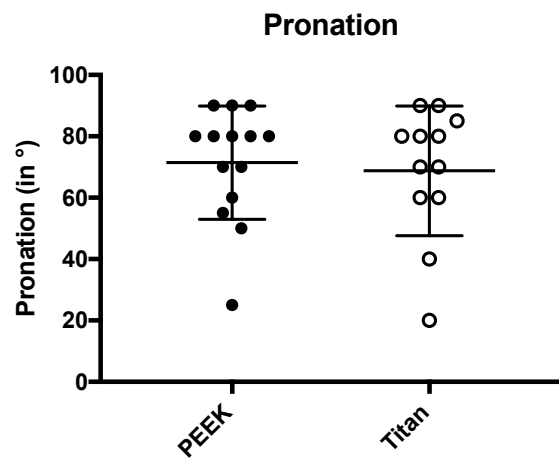
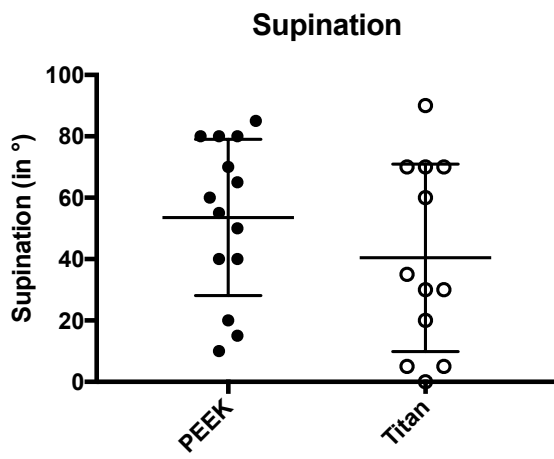
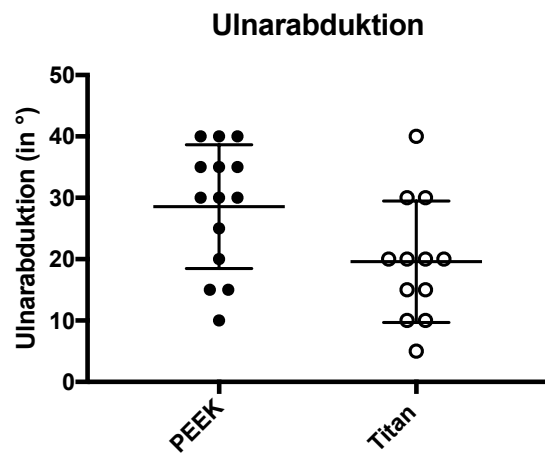
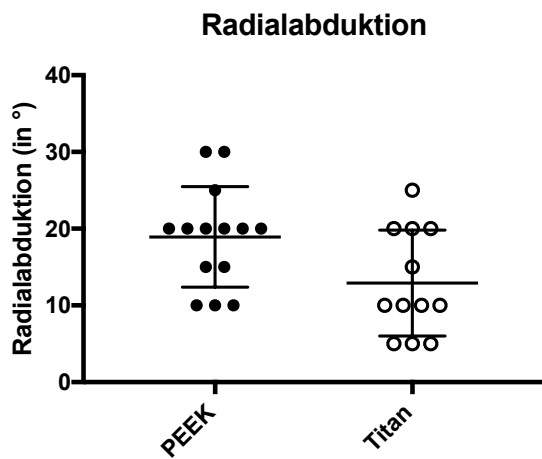
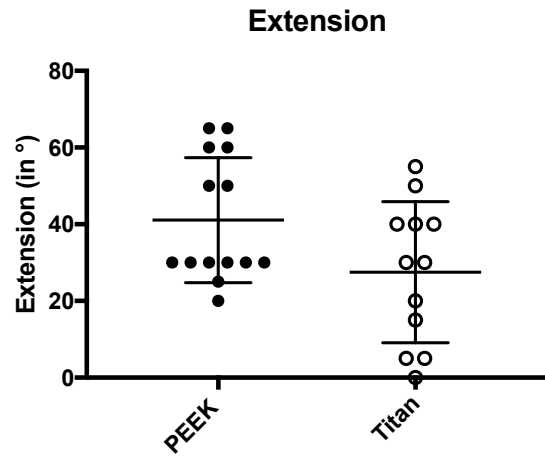
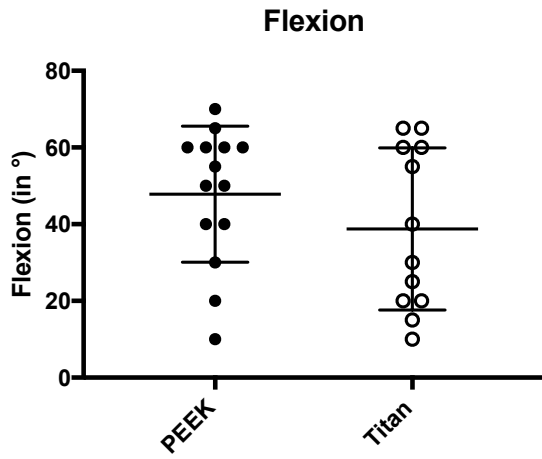


Abbildung 16: ROM 6 Wochen postoperativ

9.4.3 DASH Score und Mayo Wrist Score

Die Auswertung des DASH- und Mayo-Wrist-Scores nach 6 Wochen zeigte in beiden Fällen eine positive Tendenz zugunsten der PEEK- Patientengruppe .

Im Falle des Mayo Wrist Scores erreichten die Patienten der PEEK-Gruppe einen durchschnittlichen Punktwert von $58,21 \pm 15,64$. Die Patienten der Titan-Gruppe hingegen $44,17 \pm 23,14$ Punkte. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte jedoch ausgeschlossen werden ($p= 0,0787$). Im Folgenden werden die Kategorien des Mayo Wrist Scores mit den entsprechenden Ergebnissen genauer dargestellt.

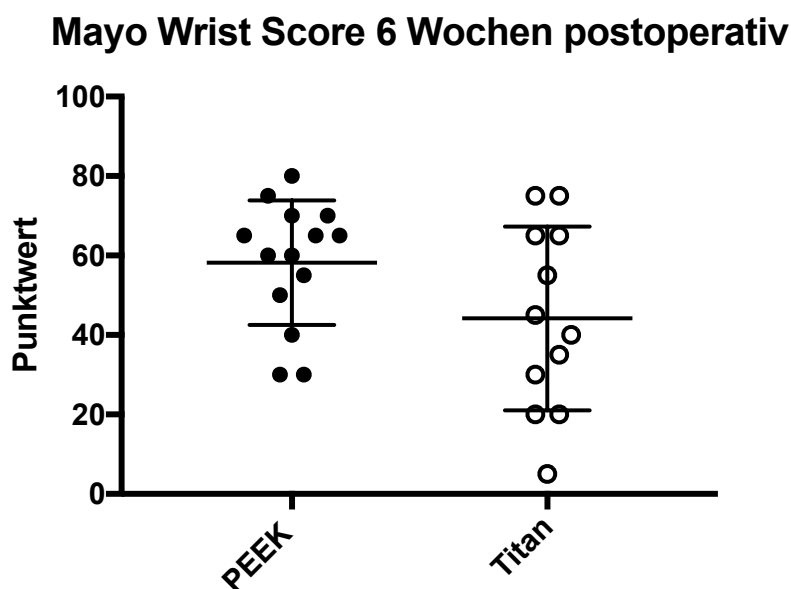


Abbildung 17: Mayo Wrist Score 6 Wochen postoperativ

Bezüglich der innerhalb des Mayo Wrist Scores erhobenen Schmerzintensität, zeigten sich für beide Gruppen vergleichbare Werte.

Tabelle 11: Mayo Wrist Score – Schmerzintensität 6 Wochen postoperativ

Schmerzintensität 6 Wochen postoperativ	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)
keine Schmerzen	4 [29%]	4 [34%]
gering gelegentlich	7 [50%]	6 [50%]
mäßig, tolerierbar	3 [21%]	1 [8%]
stark bis nicht tolerierbar	0	1 [8%]

Wie die nachfolgende Grafik veranschaulicht, zeichnet sich für beide Gruppen ein ähnlicher Kurvenverlauf mit den gleichen Peaks ab.

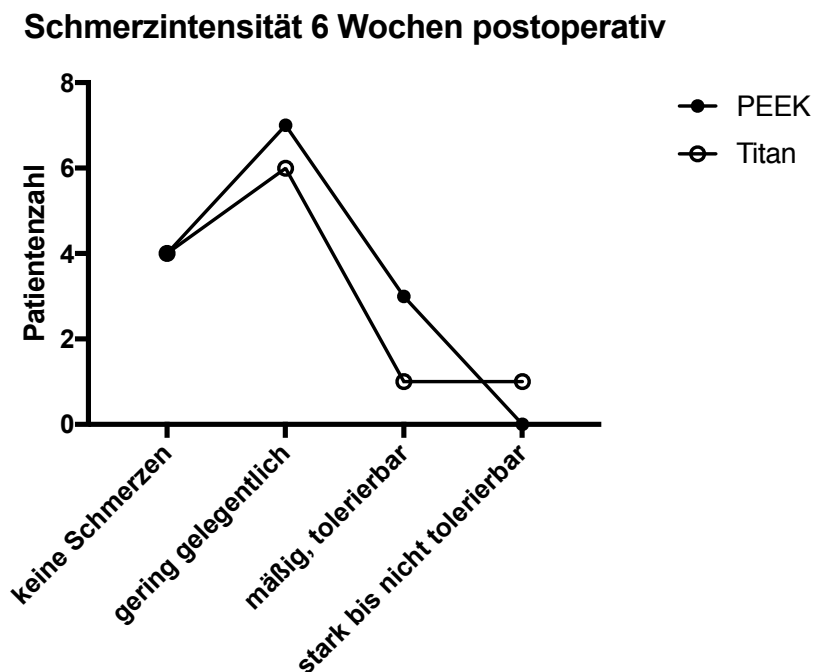


Abbildung 18: Schmerzintensität 6 Wochen postoperativ

Im Falle der Funktionalität lässt sich jedoch analog zur angegebenen Arbeitsfähigkeit wiederum eine Tendenz zugunsten der PEEK-Gruppe feststellen, in der 4 Patienten

angeben, nach 6 Wochen wieder zur normalen Arbeit zurückgekehrt zu sein. Dies trifft auf keinen der Patienten aus der Titan-Gruppe zu.

Tabelle 12: Mayo Wrist Score – Funktionalität 6 Wochen postoperativ

Funktionalität 6 Wochen postoperativ	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)
zurück zur normalen Arbeit	4 [29%]	0
eingeschränkt arbeitend	5 [36%]	7 [58%]
arbeitsfähig, aber arbeitslos	2 [14%]	0
wegen Schmerzen nicht arbeitsfähig	3 [21%]	5 [47%]

In beiden Gruppen gab es jedoch Patienten, die aufgrund der bestehenden Einschränkung 6 Wochen postoperativ nicht in der Lage waren, die zuvor ausgeübte Tätigkeit fortzuführen und demnach arbeitsunfähig wurden oder einer körperlich leichteren Arbeit nachgehen mussten. Insgesamt waren die Ergebnisse zwischen beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich ($p= 0,7608$).

Funktionalität 6 Wochen postoperativ

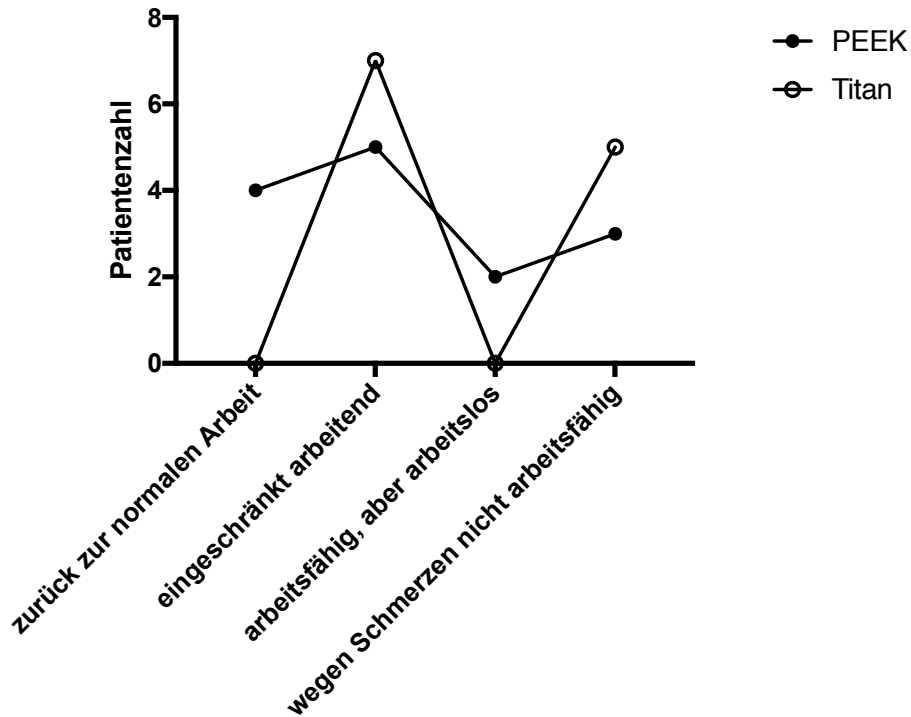


Abbildung 19: Funktionalität der betroffenen Hand 6 Wochen postoperativ

Auch in Bezug auf die Kraft und Beweglichkeit der betreffenden Hand lassen sich tendenziell bessere Werte für die mit PEEK-Platte versorgten Patienten ablesen.

Tabelle 13: Mayo Wrist Score – Beweglichkeit im Seitenvergleich 6 Wochen postoperativ

Beweglichkeit 6 Wochen postoperativ	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)
100%	0	0
75-99%	6 [43%]	2 [17%]
50-74%	5 [36%]	5 [42%]
25-49%	3 [21%]	1 [8%]
0-24%	0	4 [33%]

In beiden Gruppen gibt die Mehrheit der Patienten eine Handgelenksbeweglichkeit von mindestens 50% im Vergleich zur gesunden Gegenseite an. Im direkten Vergleich fällt jedoch auf, dass die Tendenz zu sehr guten Ergebnissen im oberen Viertel der Skala in der

PEEK-Gruppe größer ist. Eine Angabe zu sehr schlechter Beweglichkeit fehlt im Vergleich zur Titan-Gruppe gänzlich. Mit $p=0,7780$ ist dies statistisch jedoch nicht signifikant.

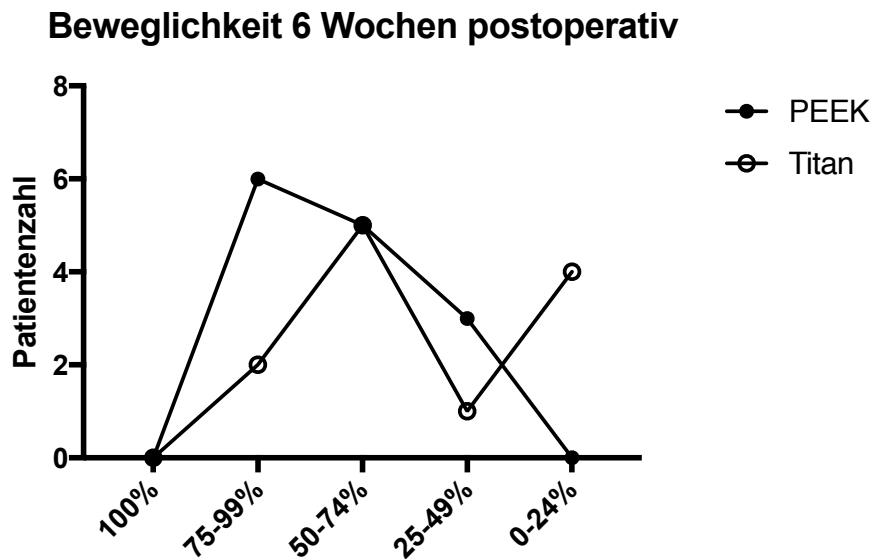


Abbildung 20: Beweglichkeit der betroffenen Hand im Vergleich zur gesunden Gegenseite 6 Wochen postoperativ

Äquivalent zur Beweglichkeit zeigt sich in Bezug auf die Kraft der betroffenen Hand im Vergleich zur gesunden Gegenseite der gleiche Trend mit Ansiedelung der Wertemehrheit oberhalb der 50% im Falle der PEEK-Gruppe. Im Gegensatz dazu liegt der Peak in der Titan-Gruppe in der unteren Hälfte der Skala. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen beider Gruppen liegt auch hier nicht vor ($p=0,7489$).

Tabelle 14: Mayo Wrist Score – Kraft im Seitenvergleich 6 Wochen postoperativ

Kraft 6 Wochen postoperativ	PEEK-Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)
100%	0	0
75-100%	6 [43%]	2 [17%]
50-75%	4 [29%]	2 [17%]
25-50%	2 [14%]	4 [33%]
0-25%	2 [14%]	4 [33%]

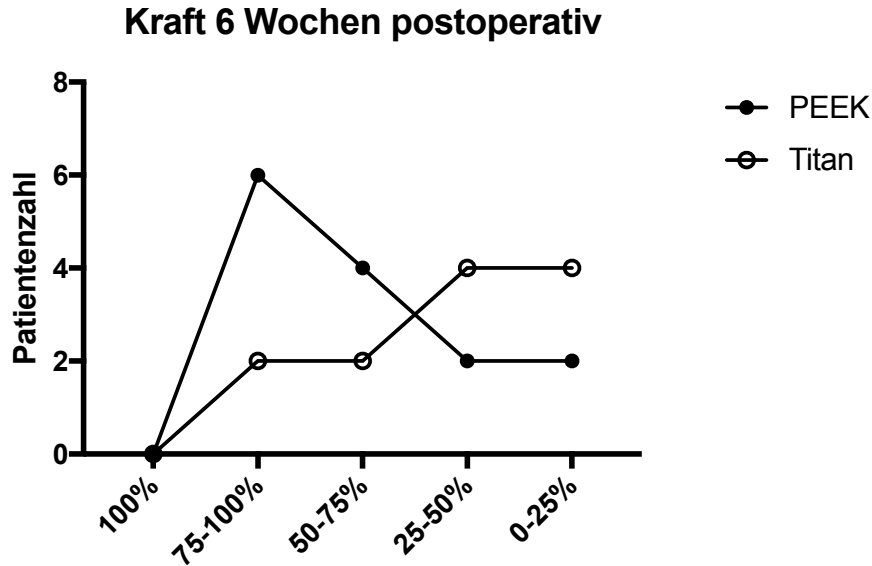


Abbildung 21: Kraft der betroffenen Hand im Vergleich zur gesunden Gegenseite 6 Wochen postoperativ

Auch die Auswertung des DASH Scores bestätigte die Tendenz zu besseren Ergebnissen in der PEEK-Gruppe, wobei hier durchschnittlich $38 \pm 19,83$ Punkte erreicht wurden und bei den Patienten mit Titan-Osteosynthese $45 \pm 24,61$ Punkte.

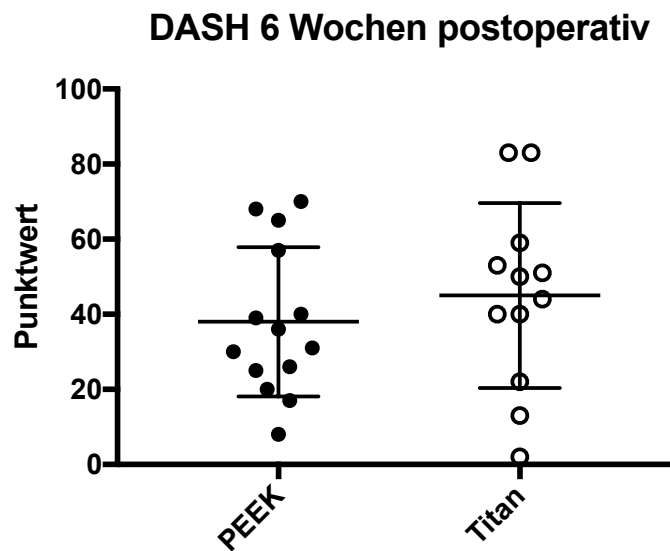


Abbildung 22: DASH Score 6 Wochen postoperativ

Die berufstätigen Patienten beider Gruppen füllten zudem ein zusätzliches Arbeitsmodul des DASH Scores aus, welches den subjektiv empfundenen Einfluss der Handverletzung auf die Arbeit abbildet. Die Fragen beziehen sich hierbei nicht ausschließlich auf die

Machbarkeit der Durchführung, sondern gleichermaßen auf den Anspruch des Patienten an seine Arbeitskraft und den realisierbaren Umfang der Arbeit. Erwartungsgemäß fiel die Bewertung in beiden Gruppen kritischer aus, die Tendenz blieb jedoch unverändert: die Patienten der PEEK-Gruppe erreichten durchschnittlich Punktwert von $59,86 \pm 38,8$.

In der Titan-Gruppe entsprach der Durchschnittswert $94,63 \pm 7,726$ Punkten. Die Ergebnisse beider Gruppen unterschieden sich in diesem Fall statistisch signifikant voneinander ($p=0,0270$).

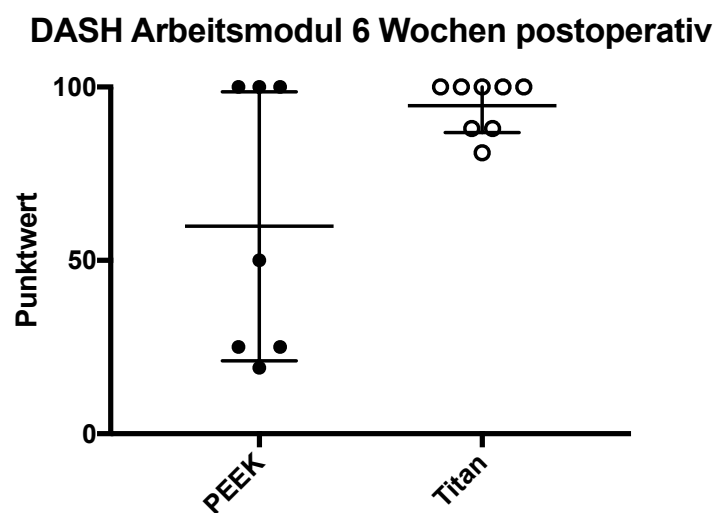


Abbildung 23: DASH Score Arbeitsmodul 6 Wochen postoperativ

In beiden Gruppen gab es jedoch einen nicht unerheblichen Anteil an Patienten, die auf Basis der Zufriedenheit in Bezug auf den realisierbaren Arbeitsumfang einen Punktwert zwischen 90 und 100 erreichten, obwohl die Arbeitsfähigkeit in einigen Fällen gleichzeitig erhalten blieb.

9.4.4 VAS Schmerz und Zufriedenheit

Die Ergebnisse bezüglich des postoperativen Schmerzes, die anhand einer visuellen und numerischen Analogskala erfasst wurden, ergaben für beide Gruppen ein recht identisches Bild.

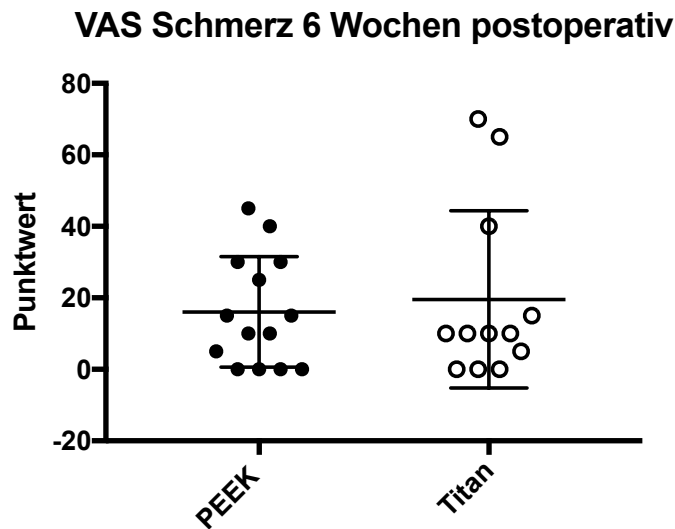


Abbildung 24: VAS Schmerz 6 Wochen postoperativ

Auf der Skala gab kein Patient aus der PEEK-Gruppe Schmerzwerte über 50 an. Innerhalb der Titan-Gruppe gaben lediglich zwei Patienten Schmerzen dieser Stärke an, wobei kein Patient einen Wert über 80 nannte. Diese Ergebnisse entsprachen jenen des Mayo Wrist Scores. Der Mittelwert in der PEEK-Gruppe betrug $16,07 \pm 15,46$, jener in der Titan-Gruppe $19,58 \pm 24,81$. Ein signifikanter Unterschied konnte hierbei ausgeschlossen werden ($p= 0,6639$).

Bezüglich der Patientenzufriedenheit wurden ebenfalls vergleichbare Werte erhoben: In der Gruppe der Patienten mit PEEK-Osteosynthese wurde die Zufriedenheit durchschnittlich mit einem Wert von $29,64 \pm 32,84$ eingestuft, analog dazu ergab sich für die Titan-Gruppe ein Mittelwert von $24,58 \pm 27,92$. Die Patientenzufriedenheit unterschied sich nicht signifikant zwischen beiden Gruppen ($p= 0,6788$).

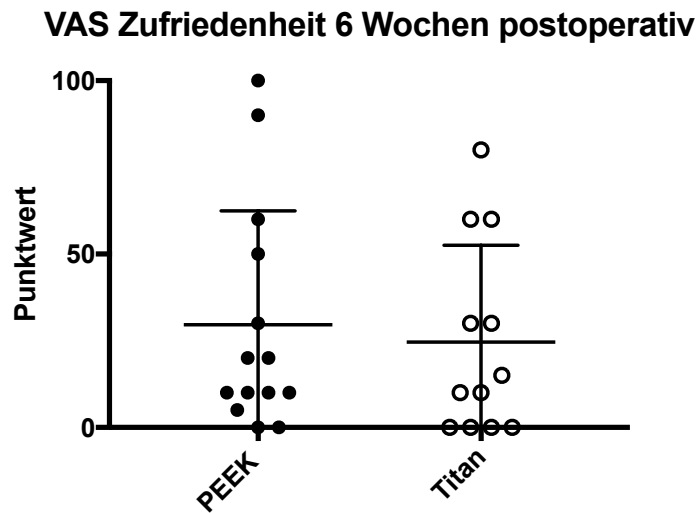


Abbildung 25: VAS Zufriedenheit 6 Wochen postoperativ

9.4.5 Radiologische Parameter

6 Wochen postoperativ konnten die Frakturen anhand der Röntgenbilder sehr gut eingesehen werden und die fortschreitende Heilung gut beurteilt werden (s. Abb. 26). In allen Fällen konnte eine Frakturheilung radiologisch bestätigt werden.



Abbildung 26: Röntgenkontrolle des betroffenen Handgelenks nach PEEK-Plattenosteosynthese 6 Wochen postoperativ

Analog zur Erhebung der radiologischen Parameter anhand der präoperativ und zwei Tage postoperativ angefertigten Röntgenbilder in 2 Ebenen, wurde 6 Wochen postoperativ die

radiologische Untersuchung wiederholt und Radialinklination, Palmarinklination und Ulnavorschub anhand der Röntgenbilder bestimmt und mit den bekannten Ergebnissen verglichen (s. Tabelle 15). Bedauerlicherweise lehnte ein Patient mit Titan-Plattenosteosynthese eine erneute Bildgebung ab, so dass hier nur 11 Fälle bewertet werden können.

Tabelle 15: Radiologische Parameter postoperativ – 6 Wochen postoperativ

Variable	PEEK Platte (Icotec)	Titan-Platte (Synthes)	p-Wert
Radialinklination			
2 Tage postoperativ	20,04 ± 5,104°	20,06 ± 4,511°	0,9906
6 Wochen postoperativ	22,39 ± 3,716°	18,67 ± 5,959°	0,0685
Δ Radialinklination	2,393 ± 2,683°	-1,027 ± 3,41°	0,0099
Palmarinklination			
2 Tage postoperativ	9,814 ± 5,65°	11,35 ± 5,515°	0,4916
6 Wochen postoperativ	9,793 ± 5,562°	9,536 ± 4,9°	0,9052
Δ Palmarinklination	-0,02143 ± 3,393°	-0,9091 ± 4,726°	0,5896
Ulnavorschub			
2 Tage postoperativ	-0,6786 ± 2,89 mm	-1,013 ± 2,879 mm	0,7711
6 Wochen postoperativ	-0,1357 ± 3,021 mm	-0,08182 ± 2,435 mm	0,9621
Δ Ulnavorschub	0,5429 ± 1,892 mm	0,9045 ± 1,478 mm	0,6075

Wie Tabelle 15 zu entnehmen ist, konnte nur bezüglich der radialen Inklination ein statistisch signifikanter Unterschied des Repositionsergebnisses nachgewiesen werden (p= 0,0099). Bezüglich der Palmarinklination und des Ulnavorschubs konnte ein relevanter Unterschied der Parameter zwischen beiden Studiengruppen ausgeschlossen werden.

Die folgenden Grafiken veranschaulichen die Ergebnisse. Abbildung 27 gibt in der linken Spalte die gemessenen Werte für die anatomischen Indizes 6 Wochen postoperativ wieder, während in der rechten Spalte die entsprechende Änderung der Repositionswerte dargestellt sind. Abbildung 28 zeigt den direkten Vergleich der Repositionsergebnisse.

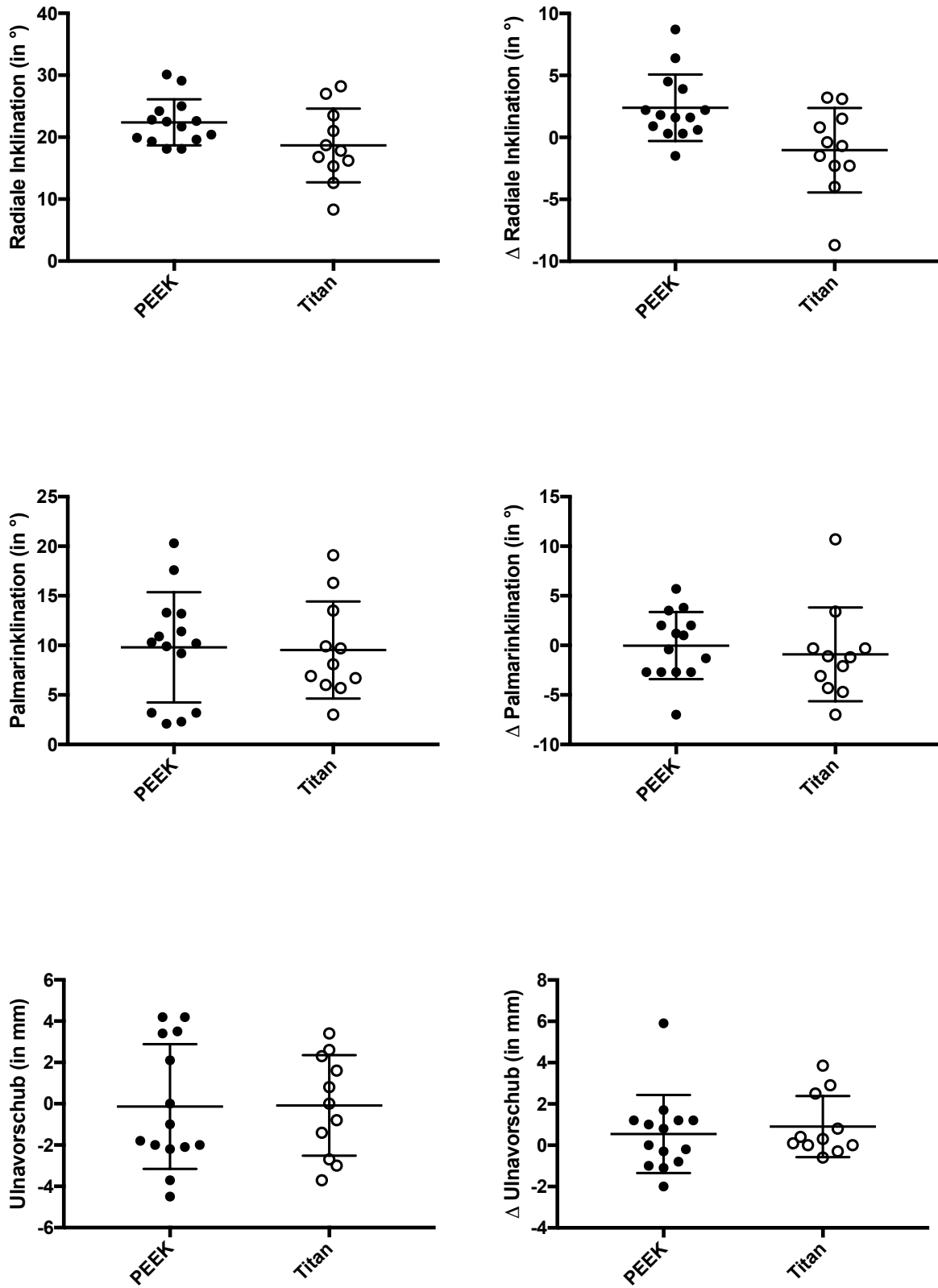


Abbildung 27: Radiologische Parameter 6 Wochen postoperativ (links) und relativer Repositionsverlust Δ 6 Wochen postoperativ (rechts)

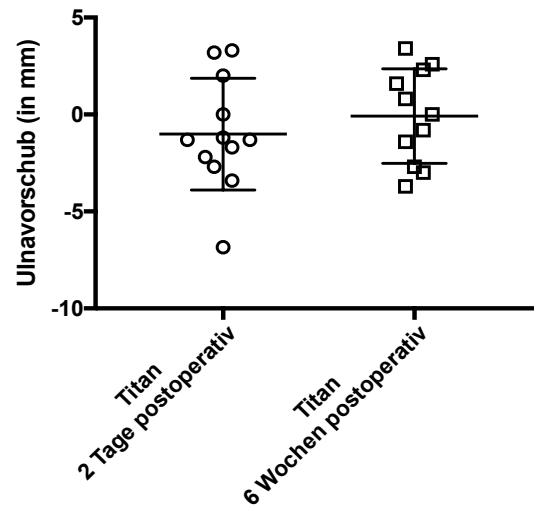
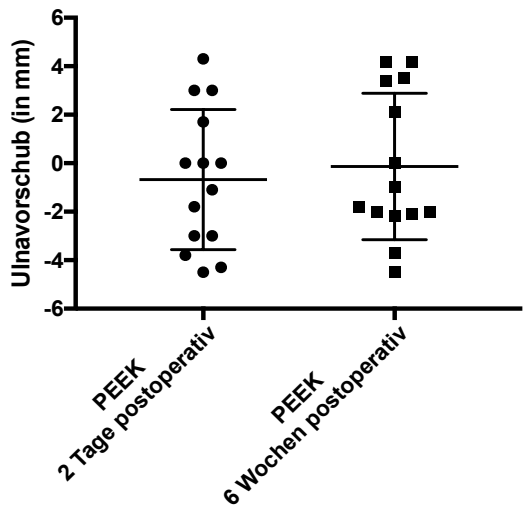
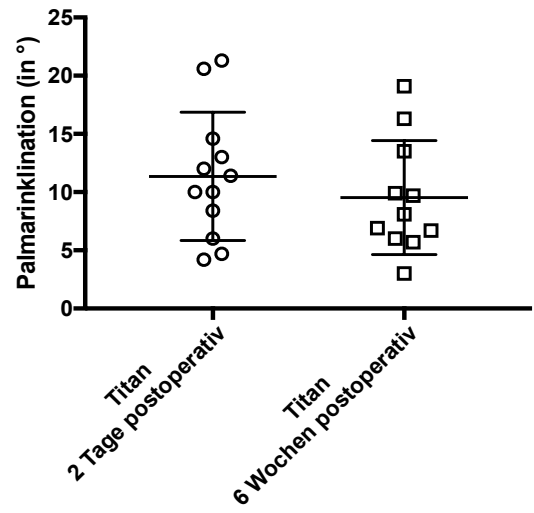
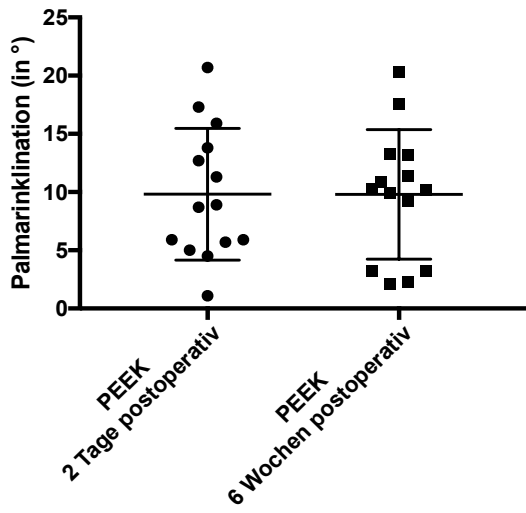
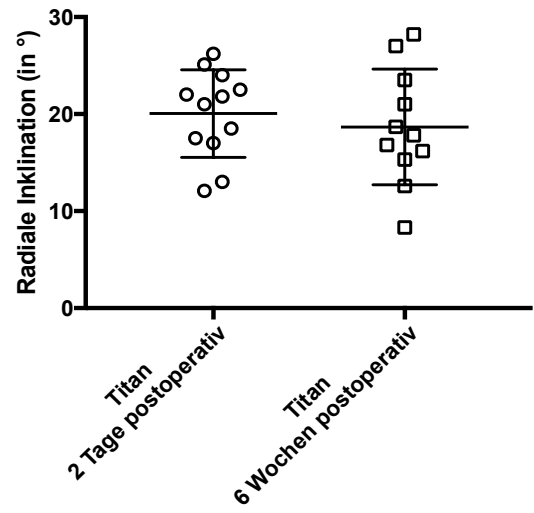
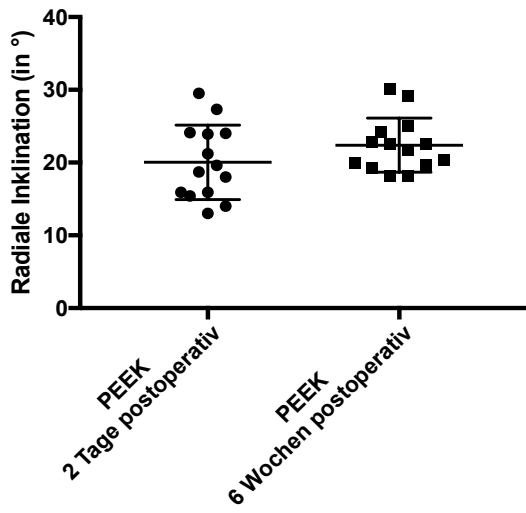


Abbildung 28: Reposition 2 Tage postoperativ und 6 Wochen postoperativ

9.5 Nachuntersuchungen 1 Jahr postoperativ

Ein Jahr nach stattgehabter Plattenosteosynthese wurden die Patienten, die mittels einer PEEK-Platte versorgt wurden, wieder einbestellt. Insgesamt erschienen 7 Patienten zur Nachuntersuchung, wobei 2 Patienten eine erneute Röntgenaufnahme ablehnten. Eine Patientin erschien nicht zur Nachuntersuchung nach 6 Wochen, sodass ihre Daten nur innerhalb der 1-Jahres-Ergebnisse betrachtet werden. Im Falle eines Patienten war im Verlauf eine Revision aufgrund einer postoperativen Ulnaplustvariante mit entsprechender Verkürzungsosteotomie notwendig, was ihn von der Nachuntersuchung nach einem Jahr ausschloss.

In der Tabelle 16 sind die Basisdaten der entsprechenden Patienten aufgeführt.

Analog zur Nachuntersuchung 6 Wochen postoperativ wurden die gleichen Parameter und Scores erhoben.

Tabelle 16: Basisprofil 1 Jahr postoperativ

Variable	PEEK-Platte (Icotec)
n	7
Mittleres Alter [a]	47,4 ± 11,82
Frauen [%]	71
Männer [%]	29
OP-Seite	
rechts [%]	86
links [%]	14
AO-Frakturtyp	
23-A	4 (A3:4)
23-B	2 (B1:1, B2:1)
23-C	1 (C1)

Bezüglich der Altersverteilung in der Gruppe muss erwähnt werden, dass die Frauen im Durchschnitt 53,6 Jahre alt waren, während die Männer ein Durchschnittsalter von nur 35

Jahren erreichten. In Hinblick auf die Verteilung der Geschlechter, die betroffene Seite sowie die Verteilung der Frakturtypen, blieb die Gewichtung unverändert.

9.5.1 Arbeitsfähigkeit

Ein direkter Vergleich zwischen den 6 Wochen postoperativ erhobenen Daten und jenen 1 Jahr postoperativ, zeigt eine Verbesserung der Arbeitsfähigkeit bis hin auf das Ausgangsniveau. Wie Tabelle 16 zeigt, stufen sich alle Patienten als arbeitsfähig ein, 29% gehen wieder einer schweren körperlichen Arbeit nach, was nach 6 Wochen für keinen Patienten möglich war. Im Allgemeinen lässt sich hier eine Tendenz zur präoperativen Ausgangssituation ablesen. In den speziellen Fällen der hier nachuntersuchten Patienten war es allen nach einem Jahr möglich, ihrer Arbeit auf dem gleichen Niveau nachzukommen wie vor dem Unfall.

Tabelle 17: Arbeitsfähigkeit der Patienten mit PEEK-Platte im zeitlichen Verlauf

Arbeitsfähigkeit	präoperativ	6 Wochen postoperativ	1 Jahr postoperativ
schwere körperliche Arbeit, Vollzeit	2 [14%]	0	2 [29%]
schwere körperliche Arbeit, Teilzeit	1 [7%]	1 [7%]	0
leichte körperliche Arbeit, Vollzeit	5 [36%]	5 [36%]	5 [71%]
leichte körperliche Arbeit, Teilzeit	6 [43%]	7 [50%]	0
nicht arbeitsfähig	0	1 [7%]	0

9.5.2 Beweglichkeit

Auch bezüglich des Bewegungsausmaßes des betreffenden Handgelenks konnte für die Patienten der PEEK-Gruppe nach einem Jahr eine teilweise deutliche Verbesserung beobachtet werden.

Tabelle 18: ROM der Patienten mit PEEK-Platte 6 Wochen und 1 Jahr postoperativ

ROM [in°]	6 Wochen postoperativ (n =14, n=6)	1 Jahr postoperativ (n=7)	Δ Mittelwert	p- Wert
Flexion				
	47,86 ± 17,73, n=14	70 ± 23,09	22,14 ± 9,065	0,0245
	42,5 ± 15,41, n=6	70 ± 23,09	27,5 ± 11,11	0,0308
Extension				
	41,07 ± 16,31	56,43 ± 20,35	15,36 ± 8,188	0,0762
	30,83 ± 10,21	56,43 ± 20,35	25,6 ± 9,198	0,0178
Radialabduktion				
	18,93 ± 6,557	20 ± 7,071	1,071 ± 3,112	0,7344
	17,5 ± 7,583	20 ± 7,071	2,5 ± 4,066	0,5511
Ulnarabduktion				
	28,57 ± 10,08	28,57 ± 15,2	0 ± 5,526	>0,9999
	27,5 ± 12,99	28,57 ± 15,2	1,071 ± 7,909	0,8947
Supination				
	53,57 ± 25,45	86,43 ± 7,48	32,86 ± 9,938	0,0037
	49,17 ± 23,33	86,43 ± 7,48	37,26 ± 9,274	0,002
Pronation				
	71,43 ± 18,44	88,57 ± 3,78	17,14 ± 7,13	0,0266
	62,5 ± 23,18	88,57 ± 3,78	26,07 ± 8,834	0,0132

Tabelle 18 zeigt die Ergebnisse der Beweglichkeit der betroffenen Seite nach einem Jahr im Vergleich zu den bekannten Ergebnissen 6 Wochen postoperativ. In der Tabelle sind hierbei sowohl die Werte des PEEK- Gesamtkollektivs (n=14) 6 Wochen postoperativ mit den Werten 1 Jahr postoperativ verglichen worden, als auch separat nur jene 6-Wochen-postoperativ-Werte von Patienten, die sowohl nach 6 Wochen als auch nach einem Jahr zur Kontrolle erschienen (n=6). Insgesamt lässt sich feststellen, dass in jeder Kategorie eine Verbesserung der Beweglichkeit erreicht werden konnte, im Falle der Flexion, Supination und Pronation ist die Verbesserung statistisch signifikant (s. p-Werte in Tabelle 18). Lediglich bezüglich der Ulnar- und Radialabduktion konnte keine eindeutige Verbesserung erreicht werden. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, besteht eine große Übereinstimmung zwischen dem Kollektiv und der gruppeninternen Bestimmung, so dass im Weiteren auf eine separate Darstellung der gruppeninternen Werte verzichtet wird.

Abbildung 29 stellt die Ergebnisse grafisch dar.

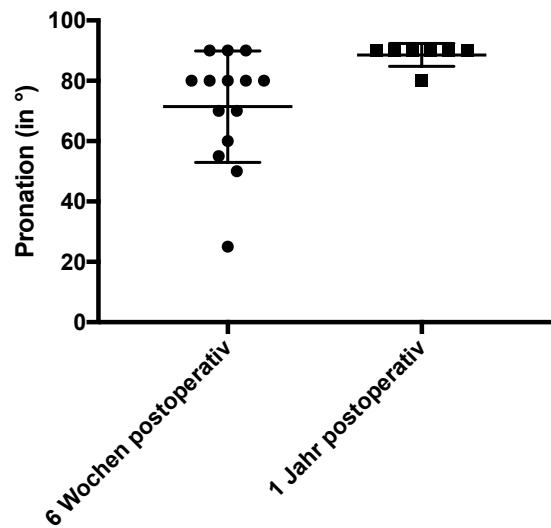
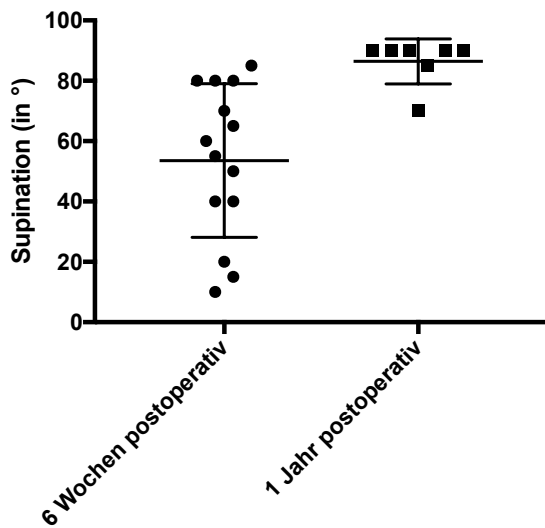
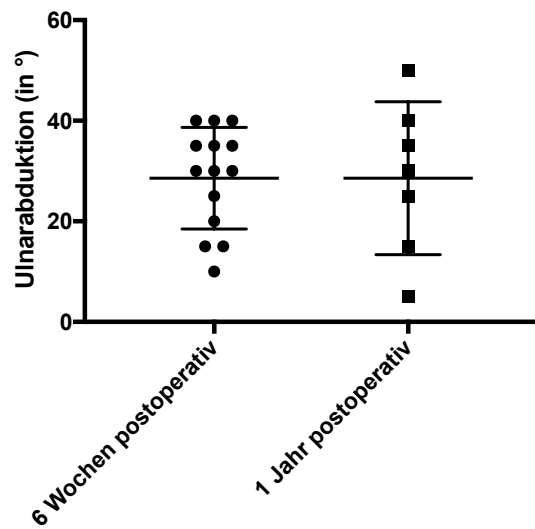
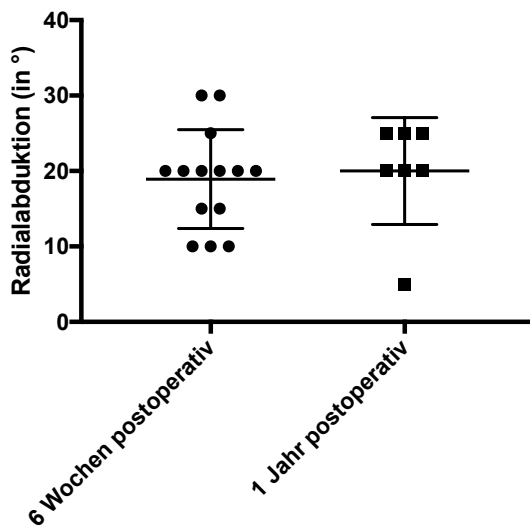
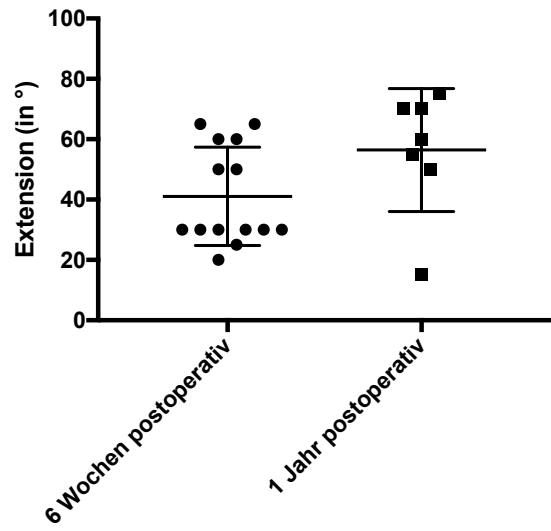
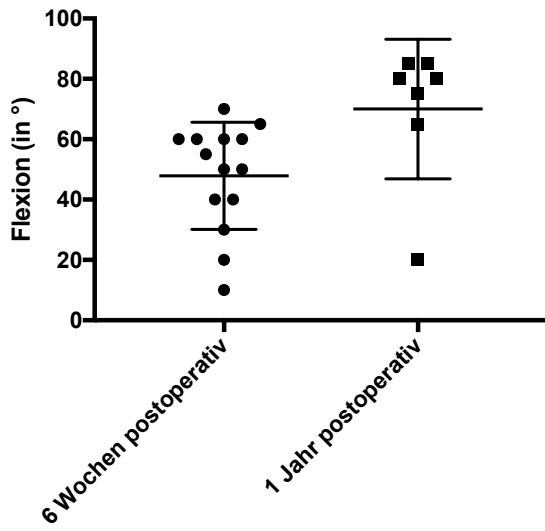


Abbildung 29: ROM der Patienten mit PEEK-Platte 6 Wochen und 1 Jahr postoperativ

9.5.3 DASH und Mayo-Wrist-Score

6 Wochen postoperativ wurde in der Gruppe der mit PEEK-Platte versorgten Patienten ein Mittelwert von $58,21 \pm 15,64$ Punkten erreicht. Nach einem Jahr beträgt der durchschnittliche Punktwert $83,57 \pm 9,449$, die Differenz der Mittelwerte liegt demnach bei $25,36 \pm 6,474$. Dies entspricht einer signifikanten Verbesserung des Mayo Wrist Scores nach einem Jahr ($p= 0,009$). Wie der Abbildung 30 zu entnehmen ist, liegt das Minimum 1 Jahr postoperativ bei 75 Punkten, das Maximum bei 100 Punkten.

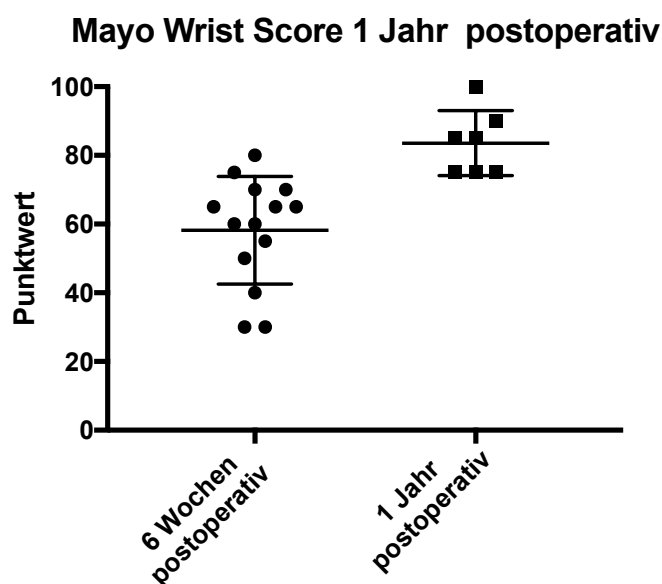


Abbildung 30: Mayo Wrist Score der Patienten mit PEEK-Platte

Betrachtet man die Unterpunkte des Mayo Wrist Scores individuell, so lässt sich bezüglich der Schmerzintensität zusammenfassen, dass auch nach einem Jahr nicht alle Patienten schmerzfrei sind, sich das Schmerzniveau jedoch mindestens auf „gering gelegentlich“ reduziert hat.

Tabelle 19: Schmerzintensität der Patienten mit PEEK-Platte

Schmerzintensität	6 Wochen postoperativ	1 Jahr postoperativ
keine Schmerzen	4 [29%]	3 [57%]
gering gelegentlich	7 [50%]	4 [43%]
mäßig, tolerierbar	3 [21%]	0
stark bis nicht tolerierbar	0	0

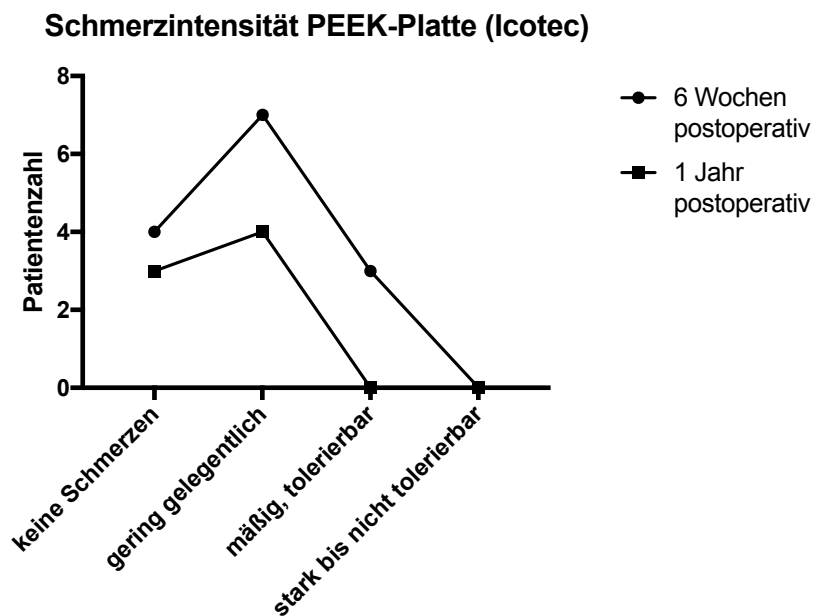


Abbildung 31: Schmerzintensität der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte

Bezüglich der Funktionalität geben alle Patienten an, zurück zu ihrer normalen Arbeit gekehrt zu sein. Dies deckt sich mit den oben erwähnten Angaben bezüglich der Arbeitsfähigkeit.

Tabelle 20: Funktionalität der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte

Funktionalität	6 Wochen postoperativ	1 Jahr postoperativ
zurück zur normalen Arbeit	4 [29%]	7 [100%]
eingeschränkt arbeitend	5 [36%]	0
arbeitsfähig, aber arbeitslos	2 [14%]	0
wegen Schmerzen nicht arbeitsfähig	3 [21%]	0

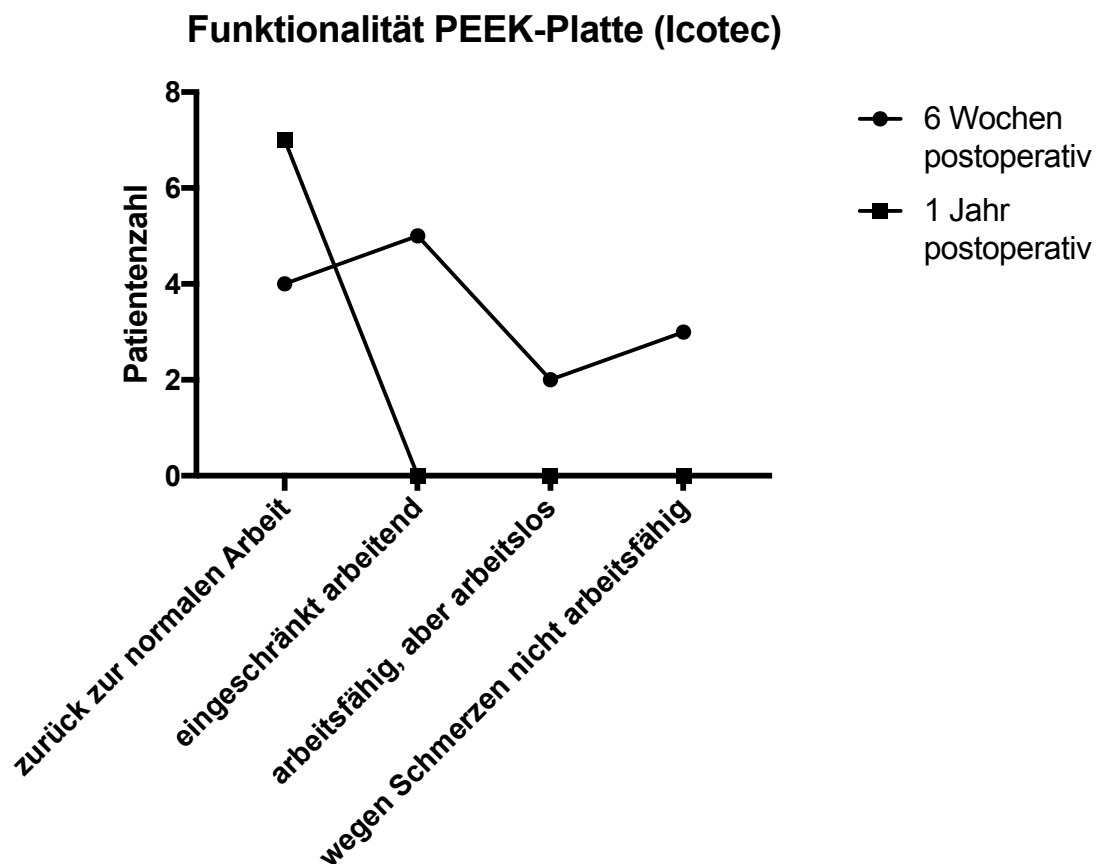


Abbildung 32: Funktionalität der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte

Sowohl bezüglich der Kraft der betroffenen Hand als auch der empfundenen Beweglichkeit bewegen sich die Werte ausschließlich im 75-100%-Bereich.

Tabelle 21: Beweglichkeit der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte

Beweglichkeit	6 Wochen postoperativ	1 Jahr postoperativ
100%	0	2 [29%]
75-99%	6 [43%]	5 [71%]
50-74%	5 [36%]	0
25-49%	3 [21%]	0
0-24%	0	0

Beweglichkeit PEEK-Platte (Icotec)

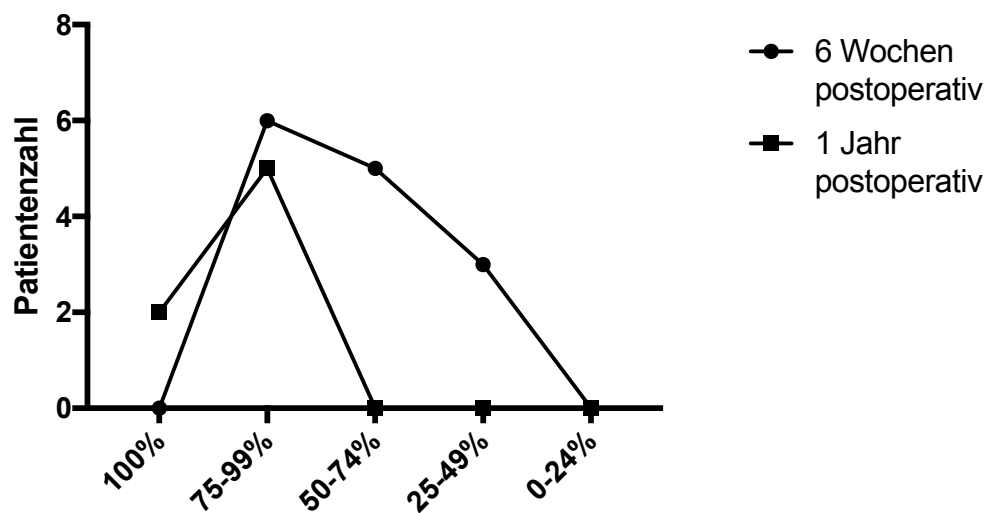


Abbildung 33: Beweglichkeit der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte

Tabelle 22: Kraft der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte

Kraft	6 Wochen postoperativ	1 Jahr postoperativ
100%	0	3 [43%]
75-100%	6 [43%]	4 [57%]
50-75%	4 [29%]	0
25-50%	2 [14%]	0
0-25%	2 [14%]	0

Kraft PEEK-Platte (Icotec)

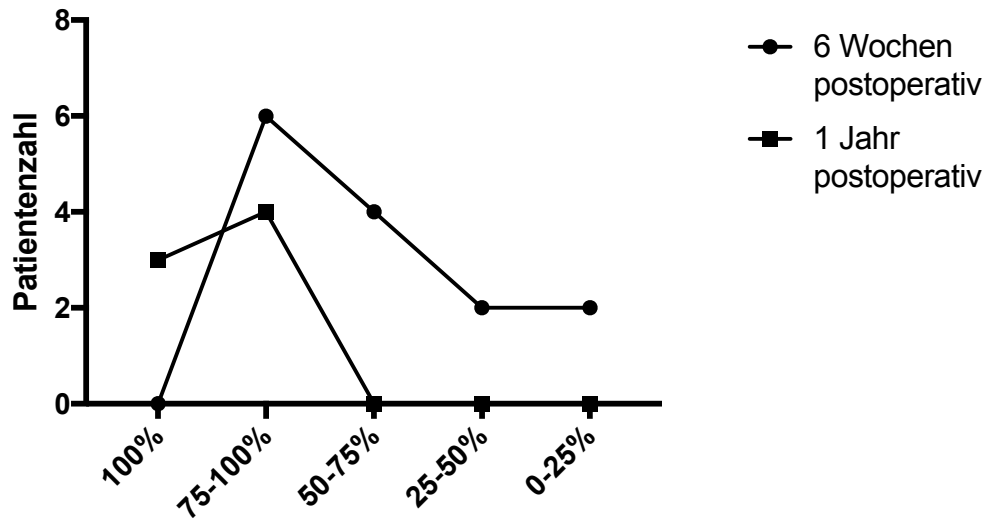


Abbildung 34: Kraft der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte

Auch anhand des DASH Scores wird die deutliche Verbesserung nach einem Jahr sichtbar, wonach die große Mehrheit der Patienten Punktwerte unter 10 erreicht.

DASH PEEK-Platte (Icotec)

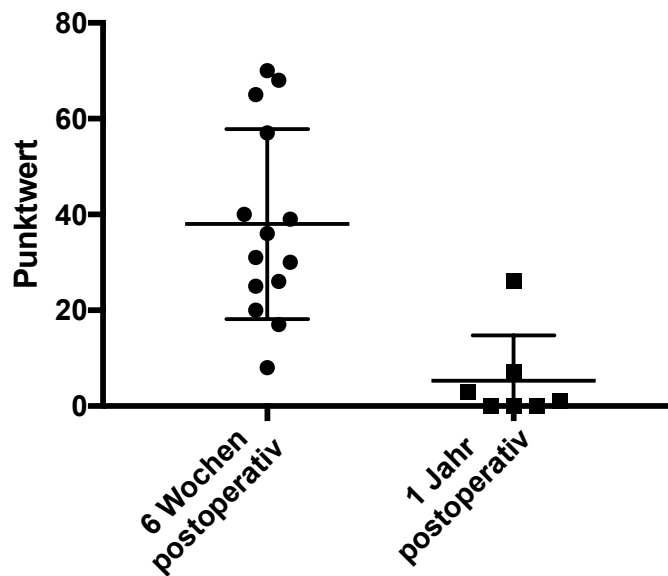


Abbildung 35: DASH Score der Patienten mit PEEK-Platte

Während 6 Wochen postoperativ der Mittelwert noch $38 \pm 19,83$ Punkte betrug, liegt der Durchschnitt ein Jahr postoperativ bei $5,286 \pm 9,482$ Punkten, was eine statistisch signifikante Besserung darstellt ($p= 0,0006$).

Das Arbeitsmodul des DASH Score bestätigt die deutliche Verbesserung der Arbeitsfähigkeit und das Empfinden der Patienten ihrer Arbeitskraft gegenüber, wie die folgende Grafik zeigt.

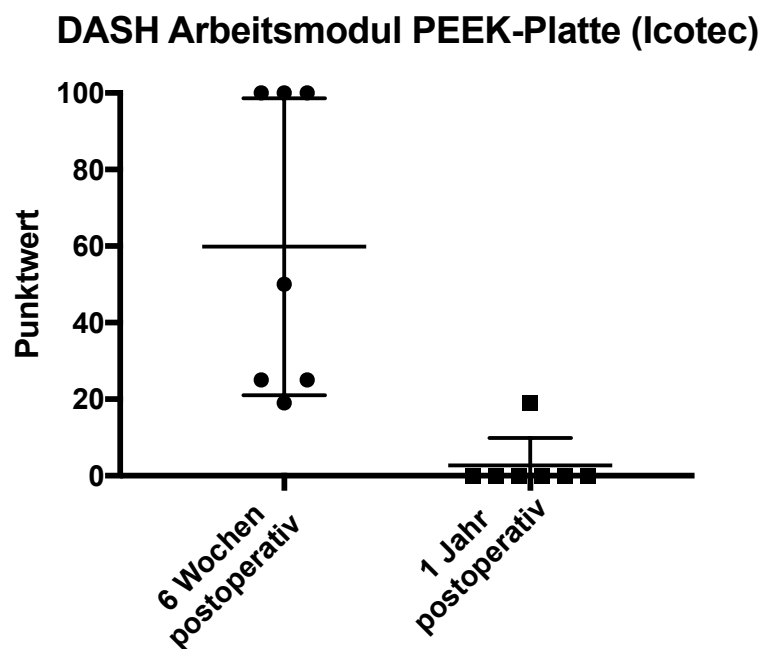


Abbildung 36: DASH Score Arbeitsmodul der Patienten mit PEEK-Platte

9.5.4 VAS Schmerz und Zufriedenheit

Bereits 6 Wochen postoperativ gaben die Patienten auf der Analogskala lediglich Schmerzen unterhalb eines Werts von 50 an, der Mittelwert betrug $16,07 \pm 15,46$. Dieser Trend setzte sich auch ein Jahr nach der Operation fort, jedoch wurden keine Angaben zu Schmerzniveaus oberhalb des Wertes 10 auf der Skala gemacht. Der Mittelwert ein Jahr postoperativ betrug $4 \pm 4,123$, wonach eine Verbesserung zu beobachten war, diese war jedoch statistisch nicht signifikant ($p=0,0593$).

VAS Schmerz PEEK-Platte (Icotec)

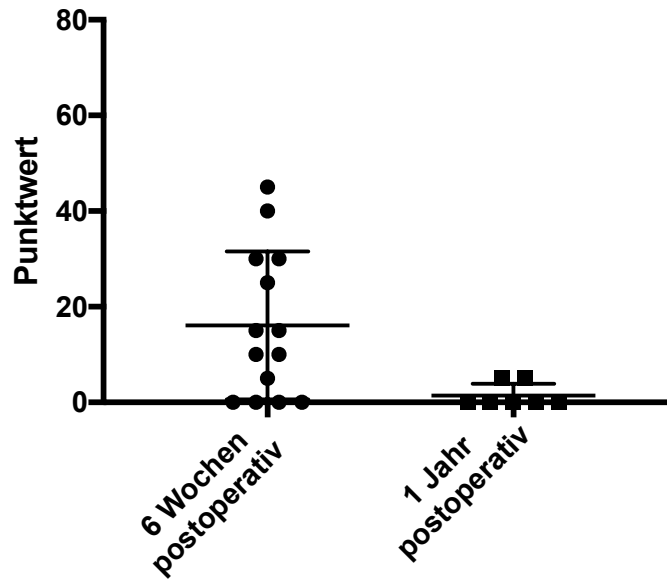


Abbildung 37: VAS Schmerz der Patienten mit PEEK-Platte

Im Rahmen der Nachuntersuchung nach 6 Wochen gaben zwei Patienten aus der PEEK-Gruppe auf der Skala an, äußerst unzufrieden zu sein. Nach Ablauf eines Jahres führten alle nachuntersuchten Patienten an, äußerst zufrieden zu sein, was auch Patienten mit anfänglicher Unzufriedenheit einschließt. Nach einem Jahr betrug der Mittelwert $1,429 \pm 2,44$, eine signifikante Verbesserung konnte demnach erzielt werden ($p= 0,0372$).

VAS Zufriedenheit PEEK-Platte (Icotec)

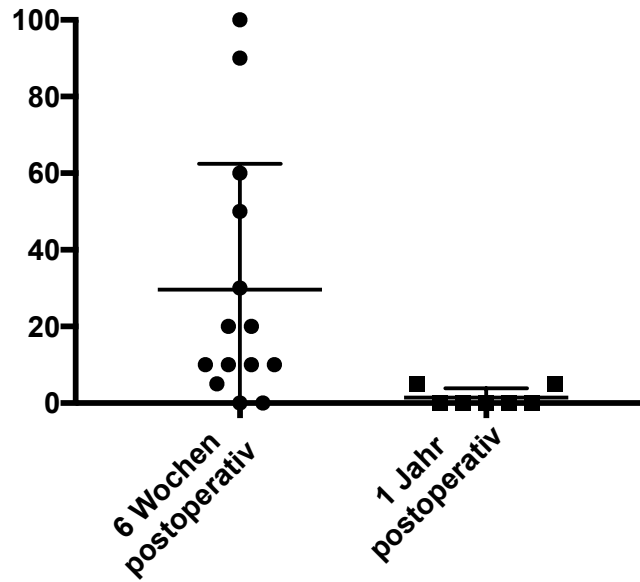


Abbildung 38: VAS Zufriedenheit der Patienten mit PEEK-Platte

9.5.5 Radiologische Parameter

Auch nach einem Jahr konnten die Frakturen anhand der Röntgenbilder ohne Einschränkungen eingesehen und beurteilt werden.



Abbildung 39: Röntgenkontrolle des betroffenen Handgelenks nach PEEK-Plattenosteosynthese 1 Jahr postoperativ

Die Auswertung der radiologischen Parameter unter Feststellung der anatomisch Indizes 1 Jahr postoperativ konnte in 5 Fällen anhand neu erstellter Röntgenbilder erfolgen.

Die Ergebnisse wurden mit den bekannten Ergebnissen der Nachuntersuchung 6 Wochen postoperativ verglichen, dies ist Tabelle 22 zu entnehmen. Ein signifikanter Repositionsverlust war nicht zu verzeichnen.

Tabelle 23: Radiologische Parameter der Patienten mit PEEK-Platte

Variable	6 Wochen postoperativ	1 Jahr postoperativ	Δ Mittelwert	p-Wert
Radialinklination	22,39 ± 3,716°	24,22 ± 9,646°	1,834 ± 2,968°	0,5448
Palmarinklination	9,793 ± 5,562°	11,8 ± 7,845°	2,007 ± 3,217°	0,541
Ulnavorschub	-0,1357 ± 3,021 mm	-1,18 ± 1,775 mm	-1,044 ± 1,448 mm	0,4805

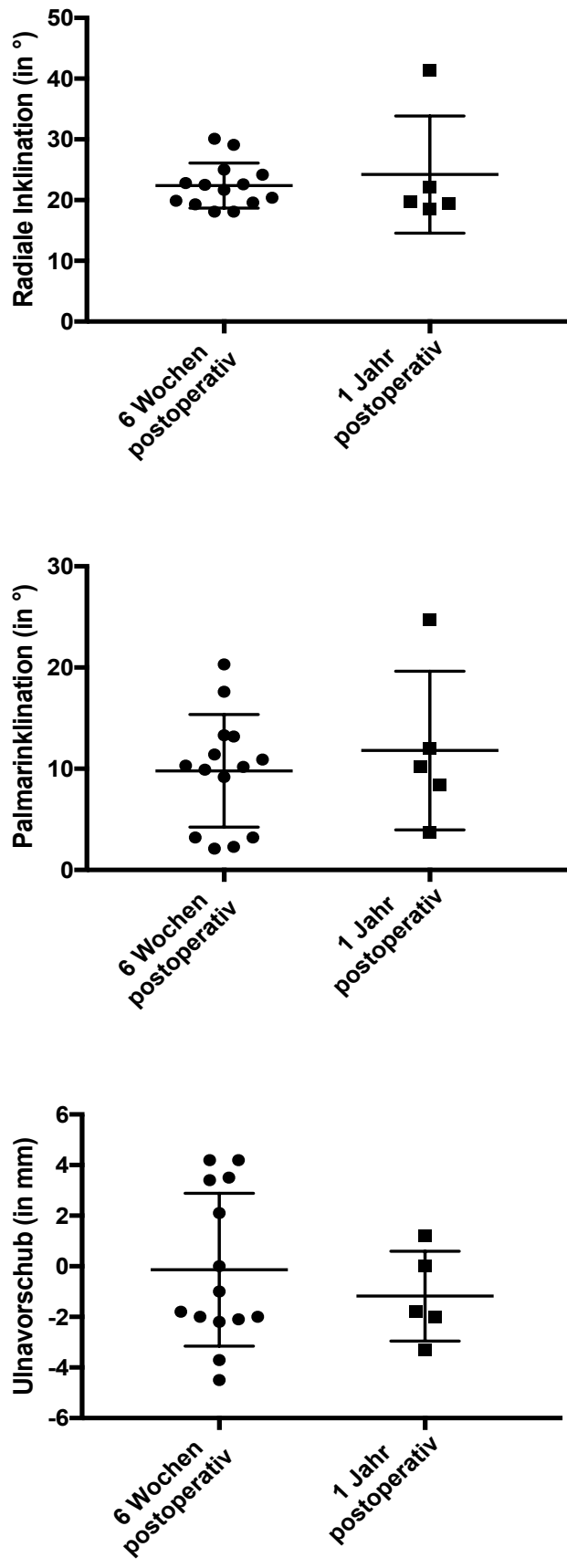


Abbildung 40: Radiologische Parameter der Patienten mit PEEK-Platte

10. Diskussion

Das Prinzip der winkelstabilen, volaren Plattenosteosynthese hat sich als das Standardverfahren in der operativen Therapie instabiler, distaler Radiusfrakturen etabliert und geht mit sehr guten klinischen Ergebnissen einher (Arora et al., 2011; Arora et al., 2007; Dumont et al., 2003; Orbay, 2005). Neben den radiologisch und klinisch messbaren Parametern konnten im Rahmen verschiedener Studien auch positive Ergebnisse bezüglich subjektiv zu bestimmender Parameter wie Schmerz und Funktionalität nach volarer Plattenosteosynthese erhoben werden (Arora et al., 2011; Gruber et al., 2010).

Neben der Bewertung der objektiv und subjektiv messbaren Faktoren, die als Maßgabe für den Therapieerfolg dienen, sollte eine stetige Überprüfung von Verbesserungsmöglichkeiten und somit eine Erweiterung der verfügbaren Alternativen erfolgen, um dem steigenden Anspruch der Patienten gerecht zu werden (Siebert & Klonz, 2006). Dementsprechend gewinnen carbonfaserverstärkte PEEK- Implantate aufgrund der günstigen biomechanischen Eigenschaften zunehmend an Aufmerksamkeit, was durch die steigende Verfügbarkeit entsprechender Implantate sowie der zunehmenden Relevanz in wissenschaftlichen Analysen widerspiegelt wird (Hak, Mauffrey, Seligson, & Lindeque, 2014).

Das Ziel dieser Studie war es, erste klinische Erfahrungen mit einer winkelstabilen Plattenosteosynthese aus karbonverstärktem Polyetheretherketon (PEEK) zu gewinnen, um Tendenzen und mögliche Unterschiede bezüglich klinischer, radiologischer und patientenabhängiger Parameter im Vergleich zur bisher angewandten winkelstabilen Plattenosteosynthese aus Titan herauszustellen. Sowohl die intraoperative Praktikabilität als auch die postoperativ erhobenen Parameter wurden bis zu einem Zeitpunkt von 6 Wochen postoperativ direkt mit den Ergebnissen einer Titan-Plattenosteosynthese verglichen. Nach einem Jahr wurden nur Patienten mit einer PEEK-Plattenosteosynthese nachuntersucht und die erhobenen Daten in einen Kontext mit den bereits bekannten Daten gesetzt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Studie mit Daten aus vergleichbaren Untersuchungen verglichen.

10.1 Patienten- und Operationsdaten

Insgesamt wurden 26 Patienten aus Schleswig-Holstein, wovon 20 weiblich und 6 männlich waren, in diese prospektive Studie eingeschlossen. Das Durchschnittsalter der Frauen lag bei $57,75 \pm 15,61$ Jahren, das der Männer bei $50,5 \pm 16,4$ Jahren, wobei sich dieses Bild des Geschlechterverhältnisses sowie der Altersverteilung in vergleichbaren Studien bestätigt (Arora et al., 2007; Pechlaner et al., 2007).

Bis auf einen Patienten waren alle eingeschlossenen Patienten Rechtshänder, während sich die Frakturseite in beiden Gruppen gleichmäßig auf rechts und links verteilte. Insgesamt wurden entsprechend der AO-Klassifikation vier A2 (15%), 14 A3 (54%), zwei B1 (8%), eine B2 (4%), drei C1 (11%) und jeweils eine C2 und C3 (jeweils 4%) Frakturen eingeschlossen. In beiden Gruppen findet sich eine Häufung bei den A3-Frakturen.

Während die Mehrheit der Patienten (53%) keine Begleitverletzungen aufwiesen, war der Abriss des Processus styloideus ulnae mit 26% in beiden Gruppen die häufigste Begleitverletzung. In Abhängigkeit vom Patientenkollektiv werden die Begleitverletzungen in der Literatur mit einer Häufigkeit von 25%- 89% angegeben, der Abriss des Processus styloideus ulnae dominiert auch hier mit etwa 60% (Frank et al., 2010).

Allen Patienten war es vor dem Unfall möglich, einer Tätigkeit nachzugehen, was neben beruflichen Aktivitäten auch Haus- und Gartenarbeit einbezog. In beiden Gruppen wurde vermehrt einer leichten körperlichen Arbeit nachgegangen. Alltägliche Aufgaben konnten in beiden Gruppen von der Mehrheit der Patienten ohne Einschränkungen bewältigt werden, allerdings gab es aufgrund von Vorerkrankungen in beiden Gruppen eine kleine Zahl von Patienten, die bereits vor dem Unfall gewisse Einschränkungen beschrieben. Die Mehrzahl der anamnestisch bekannten Vorerkrankungen waren dem kardiovaskulären Formenkreis zuzuordnen. Dies deckt sich mit den Angaben in der Literatur, wonach die arterielle Hypertonie (59,4%) und die KHK (29,4%) den größten Anteil der Begleiterkrankungen bei Patienten mit distaler Radiusfraktur ausmachen (Smektala et al., 2009). Eine anamnestisch bekannte Osteoporose oder Arthrose konnte in nur jeweils einem Fall festgestellt werden.

Durchschnittlich wurden die Patienten aus beiden Gruppen innerhalb einer Woche, genauer nach $6,46 \pm 3,2$ Tagen, nach Unfallhergang operiert. In Anbetracht einer möglichen intraoperativen Beeinträchtigung durch Weichteilschwellungen sowie einer gewissen Vorlaufzeit zum Bereitstellen notwendiger Ressourcen wie einem geeigneten Operationsteam, wird im Allgemeinen eine präoperative Zeitspanne von 3-5 Tagen bis zur operativen Versorgung mit einer Plattenosteosynthese anerkannt (Thielke, Wagner, Bartsch, & Echtermeyer, 2003).

Die mittlere OP-Zeit betrug $103,4 \pm 48,66$ Minuten mit einem Minimum von 60 Minuten in beiden Gruppen und einem Maximum von 205 Minuten in der Titan-Gruppe und 255 Minuten in der PEEK-Gruppe, wobei in beiden Fällen innerhalb des Eingriffs zusätzliche Prozeduren durchgeführt wurden: in der PEEK-Gruppe die zusätzliche ORIF des Humerus und in der Titan-Gruppe die Spaltung des Karpaltunnels bei vorbestehendem Karpaltunnelsyndrom. Bis auf die zusätzliche Versorgung einer Fraktur mittels K-Draht in der Titan-Gruppe, wurden in keinem Fall weitere operative Maßnahmen neben der Plattenosteosynthese notwendig. Insgesamt konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich der OP-Dauer zwischen den Gruppen festgestellt werden, was sich mit den Angaben der Operateure zu vergleichbarer Handhabung des PEEK-Systems vereinbaren lässt. In der Literatur wird die mittlere Operationszeit für die ORIF einer distalen Radiusfraktur mittels volarer, winkelstabiler Plattenosteosynthese mit $65,1 \pm 13,3$ Minuten angegeben (Thielke et al., 2003). Nach durchschnittlich $4,04 \pm 2,058$ Tagen konnten die Patienten das Krankenhaus wieder verlassen, was unterhalb der durchschnittlichen Liegedauer in vergleichbaren Fällen liegt, die mit 8,5 Tagen angegeben wird (Smektala et al., 2009).

Bezüglich der postoperativen Komplikationen kam es in keinem Fall zu einer Infektion, Strecksehnenirritation durch Implantatfehlage, Materialbruch oder Nervenirritationen. Jedoch wurde eine Revision aufgrund einer postoperativen Ulnarplusvariante mit entsprechender Verkürzungsosteotomie in der PEEK-Gruppe notwendig. Im Allgemeinen wird das postoperative Komplikationsrisiko in der Literatur mit einer Wahrscheinlichkeit von 3% bis 36% angegeben (Arora et al., 2007). Im Rahmen einer aktuellen retrospektiven Studie zu Komplikationsraten nach volarer Plattenosteosynthese einer instabilen distalen Radiusfraktur ergab sich eine Komplikationsrate von 14,6% nach einem durchschnittlichen

Beobachtungszeitraum von ca. 3 Jahren. In 10% wurde eine operative Revision notwendig, die in 7,1% zu einer Materialentfernung führte. In 4,7% wurde dies aufgrund einer Sehnenirritation- oder Ruptur notwendig. Ein Karpaltunnelsyndrom oder allgemeine Sensibilitätsstörungen konnten in 5,2% der Fälle beobachtet werden (Thorninger et al., 2017).

10.2 Klinisch- funktionelle und radiologische Ergebnisse 6 Wochen und 1 Jahr postoperativ

Im Rahmen der Nachuntersuchungen nach 6 Wochen sowie nach einem Jahr wurden anhand der Fragebögen und der klinischen sowie der radiologischen Parameter sowohl die Ausheilungstendenz der Frakturen beider Gruppen als auch die Lebensqualität in Bezug auf alltägliche Aufgaben verglichen, wobei nach einem Jahr nur PEEK-Patienten wieder einbestellt wurden.

Nach 6 Wochen war es keinem Patienten möglich, einer schweren körperlichen Arbeit nachzugehen. Während in der Titan-Gruppe eine deutliche Tendenz zu körperlich leichten Tätigkeiten und Arbeitsunfähigkeit zu sehen war, kam es in der PEEK-Gruppe nur in einem Fall zu einer Arbeitsunfähigkeit. Insgesamt waren die Unterschiede zwischen beiden Gruppen jedoch statistisch nicht signifikant. Nach einem Jahr zeigt sich in der PEEK-Gruppe eine deutliche Verbesserung der Arbeitsfähigkeit bis auf das Ausgangsniveau: alle Patienten waren arbeitsfähig und konnten auch schweren körperlichen Arbeiten nachgehen, sofern sie einer solchen Tätigkeit auch vor dem Unfall nachgehen konnten.

Zur Bewertung der Beweglichkeit wurden mittels eines Goniometers die Bewegungsumfänge nach der Neutral-Null-Methode gemessen. Nach 6 Wochen waren die gemessenen Bewegungsumfänge in der PEEK-Gruppe tendenziell besser als in der Titan-Gruppe. Bezüglich Extension, Radialabduktion und Ulnarabduktion war das Ergebnis in der PEEK-Gruppe signifikant besser als in der Titan-Gruppe:

In der PEEK- Gruppe wurden kam es durchschnittlich zu Bewegungsumfängen von 47,86° Flexion, 41,07° Extension, 18,93° Radialabduktion, 28,57° Ulnarabduktion, 53,57° Supination

und 71,43° Pronation. In der Titan-Gruppe wurden folgende Werte gemessen: 38,75° Flexion, 27,5° Extension, 12,92° Radialabduktion, 19,58° Ulnarabduktion, 40,42° Supination und 68,75° Pronation. Vergleichbare Werte können in der Literatur gefunden werden:

Eine 2011 veröffentlichte Studie zu Heilungsverläufen nach volarer Plattenosteosynthese bei instabilen distalen Radiusfrakturen eines vergleichbaren Patientenkollektivs zeigte nach 6 Wochen durchschnittliche Bewegungsumfänge von 39° Flexion, 43° Extension, 64° Supination und 74° Pronation. Die Radial- und Ulnarabduktion wurde nicht dokumentiert. Nach einem Jahr verbesserten sich die Ergebnisse auf durchschnittlich 59° Flexion, 64° Extension, 80° Supination und 81° Pronation (Dillingham, Horodyski, Struk, & Wright, 2011). Eine schwedische Studie an 70 Patienten, die mittels einer volaren Plattenosteosynthese (Firma Synthes) versorgt wurden, zeigte nach 12 Monaten durchschnittliche Bewegungsumfänge bei 76° Flexion, 58° Extension, 23° Radialabduktion, 28° Ulnarabduktion, 114° Supination und 91° Pronation (Mellstrand Navarro, Ahrengart, Tornqvist, & Ponzer, 2016).

Die nach einem Jahr in der PEEK-Gruppe gemessenen mittleren Bewegungsausmaße von 70° Flexion, 56,43° Extension, 20° Radialabduktion, 28,57° Ulnarabduktion, 86,43° Supination und 88,57° Pronation zeigen eine äquivalente Heilungstendenz. Für alle Bewegungsumfänge konnte somit eine Verbesserung erzielt werden, die im Falle der Flexion, Supination und Pronation eine statistische Signifikanz aufwies. Eine 2014 veröffentlichte Studie aus Italien untersuchte die Behandlungsergebnisse von 40 Patienten, die ebenfalls mit einer carbonfaserverstärkten PEEK-Plattenosteosynthese versorgt wurden. Nach 12 Monaten wurden hier ebenfalls vergleichbare Werte mit durchschnittlich 65° Flexion, 55° Extension, 29,5° Radialabduktion, 33,5° Ulnarabduktion, 75° Supination und 79° Pronation dokumentiert (Tarallo, Mugnai, Adani, Zambianchi, & Catani, 2014).

Alle Patienten erhielten postoperativ im Rahmen des stationären Aufenthaltes Physiotherapie, welche jedoch nicht in allen Fällen nach Entlassung weitergeführt wurde. Auch die selbstständige Beübung des betreffenden Handgelenkes, die nach entsprechender Anleitung standardmäßig im häuslichen Umfeld durchgeführt werden kann, steht in starker Abhängigkeit von der Compliance der Patienten und war im Rahmen dieser Studie nicht kontrollierbar.

Bei der Erhebung funktioneller Scores zeigt die PEEK-Platte eine Tendenz zu besseren Ergebnissen. Der DASH-Score gilt als ein reliables und valides Instrument zur Bewertung des Behandlungsergebnisses distaler Radiusfrakturen (Westphal, Piatek, Schubert, Schuschke, & Winckler, 2002). Nach 6 Wochen wurde ein Durchschnittswert von $38 \pm 19,83$ in der PEEK-Gruppe und $45 \pm 24,61$ in der Titan-Gruppe erreicht. Ein signifikanter Unterschied konnte jedoch ausgeschlossen werden ($p= 0,4297$). Die Auswertung des DASH-Arbeitsmoduls zeigte die gleiche Tendenz mit einem signifikant besseren Ergebnis für die PEEK-Gruppe ($p= 0,0276$), wobei erwähnt werden muss, dass nur etwa die Hälfte der Patienten beider Gruppen diesen Fragebogen bearbeiten konnte, da die Voraussetzung ein bestehendes Arbeitsverhältnis war. Die 2011 von Dillingham et al. veröffentlichte Studie dokumentierte die DASH-Werte 3, 6 und 12 Monate postoperativ und erhielt jeweils durchschnittliche Punktwerte von 19,1, 17,6 und 14,4. Eine signifikante Verbesserung konnte hierbei zwischen keinem der Zeitpunkte festgestellt werden (Dillingham et al., 2011). Die 2009 veröffentlichte Studie von Figl et al. zu volarer, winkelstabiler Plattenosteosynthese mit Titanimplantaten konnte nach 12 Monaten einen durchschnittlichen DASH-Wert von 25 Punkten verzeichnen (Figl, Weninger, Liska, Hofbauer, & Leixnering, 2009).

In dieser Studie liegt der mittlere Punktwert der PEEK-Gruppe 1 Jahr postoperativ bei $5,286 \pm 9,482$ Punkten, was eine statistisch signifikante Verbesserung darstellt ($p= 0,0006$). Dies spiegelt auch die Auswertung des DASH-Arbeitsmoduls wieder, in welchem 85% der Befragten einen Wert von 0 angaben. Die Studie von Tarallo et al. kommt ein Jahr postoperativ mit einem durchschnittlichen Punktwert von 6 zu dem gleichen Ergebnis (Tarallo et al., 2014).

Im Falle des Mayo Wrist Scores erreichten die Patienten der PEEK-Gruppe nach 6 Wochen einen durchschnittlichen Punktwert von $58,21 \pm 15,64$. Die Patienten der Titan-Gruppe hingegen $44,17 \pm 23,14$ Punkte. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte auch hier ausgeschlossen werden ($p= 0,0787$). Nach einem Jahr betrug der durchschnittliche Punktwert $83,57 \pm 9,449$. Dies entspricht einer signifikanten Verbesserung des Mayo Wrist Scores nach einem Jahr ($p= 0,009$). Eine 2016 von Ballal et al. veröffentlichte Studie zum radiologischen und funktionellen Outcome nach volarer Plattenosteosynthese verzeichnete am Endpunkt der Studie 24 Wochen postoperativ für die Mehrheit (60%) der Patienten ein befriedigendes Ergebnis (60-80 Punkte), ein gutes Ergebnis (80-90 Punkte) wurde von 25%

erreicht (Ballal, Sadasivan, Hegde, & Shetty, 2016). Es zeigt sich demnach eine vergleichbare Tendenz. Eine weitere retrospektive Studie von 2012 zu klinischen Ergebnissen nach volarer Plattenosteosynthese zeigte nach 30 Monaten einen durchschnittlichen Wert von 90 Punkten im Mayo Wrist Score (Phadnis et al., 2012).

Die subjektive Bewertung des Schmerzes und der Zufriedenheit lieferte in beiden Gruppen nach 6 Wochen ähnliche Ergebnisse. Die Tendenzen zu besseren Resultaten in der PEEK-Gruppe blieb erhalten, wobei die Mittelwerte in beiden Kategorien mit $16,07 \pm 15,46$ (PEEK) und $19,58 \pm 24,81$ (Titan) für den Schmerz und $29,64 \pm 32,84$ (PEEK) und $24,58 \pm 27,92$ (Titan) für die Zufriedenheit, wenig voneinander abwichen. Nach einem Jahr wurde in der PEEK-Gruppe eine deutliche Verbesserung mit einem Durchschnittswert von $4 \pm 4,123$ für den Schmerz und $1,429 \pm 2,44$ für die Zufriedenheit dokumentiert. In der Literatur finden sich ähnliche Ergebnisse für winkelstabile Titan-Osteosynthesen (Figl et al., 2009).

Es muss erwähnt werden, dass im Rahmen dieser Studie die Einnahme von Schmerzmittel nicht dokumentiert wurde und somit unklar ist, ob eine Beeinflussung des Schmerzempfindens durch eine entsprechende Schmerztherapie stattgefunden hat.

Bezüglich der erhobenen Scores einschließlich der Zufriedenheit der Patienten muss festgehalten werden, dass alle Patienten postoperativ über das angewandte Verfahren informiert wurden. Es ist daher nicht auszuschließen, dass in der PEEK-Gruppe das Wissen über das neuartige Behandlungskonzept zu einer Beeinflussung der subjektiven Score-Werte zu besseren Ergebnissen geführt hat.

Der entscheidende Parameter für das funktionelle Behandlungsergebnis nach der operativen Therapie von instabilen distalen Radiusfrakturen ist die Wiederherstellung der funktionellen Anatomie (Schneiders et al., 2006). Mit der PEEK-Platte konnte eine suffiziente Reposition der drei entscheidenden anatomischen Parameter Radial- und Palmarinklination und Ulnavorschub erreicht werden: direkt postoperativ ergaben sich in der PEEK-Gruppe Durchschnittswerte von $20,04 \pm 1,364^\circ$ für die Radialinklination, $9,814 \pm 1,51^\circ$ für die Palmarinklination und $-0,68 \pm 0,77$ mm für den Ulnavorschub. Diese, wenige Tage nach der OP ermittelten Werte, waren nicht signifikant unterschiedlich zu den Repositionswerten, die mit der konventionellen Titanplatte erzielt wurden. Nach 6 Wochen zeigte sich lediglich bezüglich der Radialinklination ein signifikanter Repositionsunterschied zwischen beiden

Gruppen. Hinsichtlich der Palmarinklination sowie des Ulnavorschubs konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich des Repositionsverlustes verzeichnet werden.

Nach einem Jahr konnte ein signifikanter Repositionsverlust mit $1,834 \pm 2,968^\circ$ für die Radialinklination, $2,007 \pm 3,217^\circ$ für die Palmarinklination und $-1,18 \pm 1,448$ mm für den Ulnavorschub ausgeschlossen werden. Die 1-Jahres-Ergebnisse der Patienten mit PEEK-Implantaten zeigen vergleichbare Ergebnisse mit Studiendaten winkelstabiler Titan-Plattenosteosynthesen (Arora et al., 2007; Bartl et al., 2011; Figl et al., 2009). Insgesamt konnte in allen Fällen eine suffiziente postoperative Reposition erreicht werden ohne die Notwendigkeit einer Revision aufgrund Materialversagens.

10.3 Zusammenfassung

Die Durchführbarkeit der Methode konnte in dieser Untersuchung bestätigt werden.

Nach einer Eingewöhnungsphase konnte die PEEK-Platte von erfahrenen Operateuren problemlos verwendet werden. Die intraoperative Handhabung des Plattensystems der Firma Icotec (Altstätten, Schweiz) wurde als mit metallenen Standardsystemen vergleichbar eingestuft. Die Operationszeit und die stationäre Liegedauer waren für beide Implantatmaterialien nahezu identisch. Bei der klinisch-radiologischen Nachuntersuchung ergaben sich nach 6 Wochen äquivalente Ergebnisse für beide Implantate. Bei der Prüfung der Handgelenksbeweglichkeit sowie der Erhebung funktioneller Scores und Arbeitsfähigkeit zeigt die PEEK-Platte einer Tendenz zu besseren Ergebnissen. Mit der PEEK-Platte konnte eine suffiziente Reposition der drei entscheidenden anatomischen Parameter Radial- und Palmarinklination und Ulnavorschub erreicht und auch nach einem Jahr gehalten werden.

Insbesondere war nach 6 Wochen und 12 Monaten kein signifikanter Unterschied bezüglich des Repositionsverlustes zu verzeichnen. Zusammenfassend zeigen die ersten Erfahrungen mit der PEEK-Osteosynthese, dass sie sich in der klinischen Anwendung durch eine gute Praktikabilität auszeichnet und in der frühen Nachbeobachtungsphase gute Ergebnisse in den wesentlichen Kategorien liefert. Die geringe Fallzahl sowie der große Anteil an extraartikulären Typ-A2/A3- Frakturen ist sicherlich als Nachteil dieser Studie zu betrachten. Eine statistische Aussage zu den AO-Subgruppen lässt sich daher nur schwer treffen.

Neben den untersuchten Kriterien bieten die PEEK-Platten im Vergleich zu metallischen Implantaten den Vorteil, über eine hohe Ermüdungsfestigkeit sowie einen günstigen Elastizitätsmodul zu verfügen, welcher im Zuge der Produktion durch Variation der Carbonfasern individuell angepasst werden kann und so eine höhere Angleichung an die mechanischen Eigenschaften des Knochens erreicht (Golish & Mihalko, 2011; Kurtz & Devine, 2007). Im Gegensatz zu metallischen Implantaten weisen sie eine geringere Gewebeadhäsion auf, was einen direkten positiven Einfluss auf die postoperative Vernarbung hat. Es konnte gezeigt werden, dass Interaktionen zwischen einem metallischen Implantat und dem umgebenden Gewebe im Zuge von Verwachsungen zu entzündlichen Reaktionen im Weichteilgewebe, Haut und Muskeln führen kann. Tendosynovitiden sowie Sehnenrupturen können hierbei beobachtet werden (Harris et al., 2005; Hayes, Welton,

Wieling, & Richards, 2012). Darüber hinaus erzeugen PEEK-Implantate nicht das Problem der Temperaturfühligkeit (Skinner, 1988).

Bezüglich des Materialabriebs, welcher im Falle von metallischem Abrieb lokale Osteolysen auslösen kann, konnte gezeigt werden, dass die Menge des Abriebs im Falle der PEEK-Platte im Vergleich zu einer Titanplatte signifikant geringer war (Steinberg et al., 2013). Auch das Risiko möglicher Korrosionen und allergischer Reaktionen auf metallische Implantate besteht unter Anwendung von PEEK-Implantaten nicht (Agin et al., 1988; Hierholzer & Hierholzer, 1982).

Die vollständige Röntgendurchlässigkeit und artefaktfreie Darstellung im Röntgen, CT und MRT erleichtert die intraoperative Rekonstruktion der Gelenkfläche. Dies ist ein Sachverhalt, der von beiden Operateuren als Vorteil gegenüber herkömmlichen Titanimplantaten beurteilt wurde. Zudem ermöglicht es eine direkte Beurteilung des postoperativen Repositionsergebnisses sowie der Frakturkonsolidierung und des Heilungsverlaufes (Baidya et al., 2001). Dieses ist insofern relevant, als postoperativ auftretende Fehlstellungen zu den Hauptkomplikationen nach der operativen Versorgung distaler Radiusfrakturen zählen und frühzeitig erkannt und korrigiert werden müssen, da entsprechende Fehlstellungen frühzeitig therapierefraktär sind (Bronstein, Heaton, Tencer, & Trumble, 2014; Elmi, Tabrizi, Rouhani, & Mirzatolouei, 2014; Siebert & Klonz, 2006). Zwar ist die Schraubenlage der PEEK-Schrauben aufgrund der Strahlentransparenz im Vergleich zu röntgendichten Metallschrauben schwieriger zu beurteilen, durch die Einarbeitung von Tantalfäden und metallische Markierungen der Schraubenenden ist die Position der PEEK-Platte sowie der Schraubenverlauf im Zuge der Bildgebung jedoch jederzeit detektierbar. Durch angehobene Aufnahmen zur Neutralisierung der Gelenkflächenneigung kann eine intraartikuläre Schraubenlage intraoperativ sicher ausgeschlossen werden. Bei den in dieser Studie mit der PEEK-Platte stabilisierten Patienten waren keine Revisionen aufgrund einer intraartikulären Schraubenlage oder Strecksehnenirritationen notwendig.

Limitiert ist die Anwendung der verwendeten Implantate durch das monoaxiale Schraubensystem, wodurch bestimmte Frakturen, insbesondere sehr peripher gelegene Fragmente, die nicht suffizient fixiert werden können. Andere PEEK-Implantate bieten die Möglichkeit der polyaxialen Schraubenverankerung, verwenden jedoch als Schraubenmaterial Metall. Eine polyaxiale Verankerungstechnik ermöglicht dem Operateur eine flexiblere Schraubenpositionierung, allerdings gibt es in Abhängigkeit der

Verblockungstechnik auch Berichte über den Verlust der Winkelstabilität (Michelitsch, Acklin, & Sommer, 2013). Die Herstellungsverfahren der unterschiedlichen, aktuell verfügbaren PEEK-Implantate unterscheiden sich in ihrem Herstellungsverfahren. Wie beschrieben variieren die physikalischen Eigenschaften des Stoffes in Abhängigkeit von Fasergehalt, Faserlänge und Faserorientierung (Jockisch et al., 1992; Rohner et al., 2005). Gemäß Herstellerangaben der Firma Icotec wird durch die Verarbeitung von endlosfaserverstärktem PEEK im CFM-Verfahren eine besonders hohe Festigkeit bei geringer Plattendicke erreicht und eine minimale Freisetzung von Faserbruchstücken. Welches Herstellungsverfahren, welche Materialkombination oder Verankerungstechnik mit den besten Ergebnissen einhergeht, sollte Gegenstand weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen sein. Auch in Hinblick auf das Plattendesign sollte anhand weiterführender Studien gezeigt werden, inwiefern eine exaktere Orientierung an der Anatomie das Repositions- und Behandlungsergebnis optimiert werden kann.

Weitere Studien sollten sich dem Problem des sogenannten stress shielding widmen: Aufgrund der hohen Rigidität metallischer Implantate wird der Knochen von mechanischem Stress abgeschirmt, was nach dem Wolffschen Gesetz zur Anpassung des Knochens an die reduzierte Belastung führt, indem die Knochenmasse verringert wird. Durch die fehlende physiologische Stimulierung des Knochens durch das stress shielding einer rigiden Plattenosteosynthese kann es demnach zu entsprechendem Knochenabbau kommen (Huiskes, Weinans, & van Rietbergen, 1992; Slatis, Karaharju, Holmstrom, Ahonen, & Paavolainen, 1978; Wolf, 1995). Aufgrund der günstigen physikalischen Eigenschaften von PEEK sollte geklärt werden, ob durch die Anwendung von PEEK-Implantaten das Problem des stress shielding verringert werden kann. Möglicherweise ermöglichen PEEK-Implantate eine physiologischere Mechanik im Frakturspalt mit einer beschleunigten Frakturheilung oder verringerten Refrakturrate. Ein Effekt auf die Frakturheilung an sich, der eventuell durch die günstigeren, dem Knochen vergleichbaren biomechanischen Eigenschaften hervorgerufen werden könnte, lässt sich aus den gewonnenen Ergebnissen jedoch nicht ableiten.

Die aktuelle Studienlage zeigt die klinische Anwendung von PEEK-Implantatmaterialien bei weiteren orthopädischen und unfallchirurgischen Krankheitsbildern (Hak et al., 2014; Tarallo

et al., 2014). Nachfolgende Studien mit höheren Fallzahlen und einem längeren Studienzeitraum sollten die Langzeitergebnisse bei der Stabilisierung mit PEEK-Osteosynthesen sowie Komplikationen bewerten und mögliche eventuelle materialspezifische Komplikationen aufdecken.

Als Fazit für die Praxis lässt sich demnach festhalten, dass die PEEK-Plattenosteosynthese zur operativen Versorgung der distalen Radiusfraktur geeignet ist und sich komplikationsarm und schnell in den klinischen Alltag etablieren lässt. Die frühklinischen und radiologischen Ergebnisse sind mindestens mit denen der konventionellen Titan-Plattenosteosynthesen vergleichbar und bieten darüber hinaus weitere materialbedingte Vorteile.

Einhaltung ethischer Richtlinien:

Interessenkonflikt: SL und MM geben an, dass sie gelegentlich beratende Tätigkeiten für die Firma Icotec wahrgenommen haben.

Patientenrechte: Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden in Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine Einverständniserklärung vor.

11. Literaturverzeichnis

- Agins, H. J., Alcock, N. W., Bansal, M., Salvati, E. A., Wilson, P. D., Jr., Pellicci, P. M., & Bullough, P. G. (1988). Metallic wear in failed titanium-alloy total hip replacements. A histological and quantitative analysis. *J Bone Joint Surg Am*, *70*(3), 347-356.
- Arora, R., Lutz, M., Deml, C., Krappinger, D., Haug, L., & Gabl, M. (2011). A prospective randomized trial comparing nonoperative treatment with volar locking plate fixation for displaced and unstable distal radial fractures in patients sixty-five years of age and older. *J Bone Joint Surg Am*, *93*(23), 2146-2153. doi:10.2106/jbjs.j.01597
- Arora, R., Lutz, M., Hennerbichler, A., Krappinger, D., Espen, D., & Gabl, M. (2007). Complications following internal fixation of unstable distal radius fracture with a palmar locking-plate. *J Orthop Trauma*, *21*(5), 316-322. doi:10.1097/BOT.0b013e318059b993
- Baidya, K. P., Ramakrishna, S., Rahman, M., & Ritchie, A. (2001). Quantitative radiographic analysis of fiber reinforced polymer composites. *J Biomater Appl*, *15*(3), 279-289.
- Bailey, D. A., Wedge, J. H., McCulloch, R. G., Martin, A. D., & Bernhardson, S. C. (1989). Epidemiology of fractures of the distal end of the radius in children as associated with growth. *J Bone Joint Surg Am*, *71*(8), 1225-1231.
- Ballal, A., Sadasivan, A. K., Hegde, A., & Shetty, A. (2016). Open Reduction and Volar Plate Fixation of Dorsally Displaced Distal Radius Fractures: A Prospective Study of Functional and Radiological Outcomes. *J Clin Diagn Res*, *10*(12), Rc01-rc04. doi:10.7860/jcdr/2016/23187.8944
- Bartl, C., Stengel, D., Bruckner, T., Rossion, I., Luntz, S., Seiler, C., & Gebhard, F. (2011). Open reduction and internal fixation versus casting for highly comminuted and intra-articular fractures of the distal radius (ORCHID): protocol for a randomized clinical multi-center trial. *Trials*, *12*, 84. doi:10.1186/1745-6215-12-84
- Brogren, E., Petranek, M., & Atroshi, I. (2007). Incidence and characteristics of distal radius fractures in a southern Swedish region. *BMC Musculoskelet Disord*, *8*, 48. doi:10.1186/1471-2474-8-48
- Bronstein, A., Heaton, D., Tencer, A. F., & Trumble, T. E. (2014). Distal radius malunion and forearm rotation: a cadaveric study. *J Wrist Surg*, *3*(1), 7-11. doi:10.1055/s-0034-1365826
- Chen, N. C., & Jupiter, J. B. (2007). Management of distal radial fractures. *J Bone Joint Surg Am*, *89*(9), 2051-2062. doi:10.2106/jbjs.g.00020
- Chung, K. C., & Spilson, S. V. (2001). The frequency and epidemiology of hand and forearm fractures in the United States. *J Hand Surg Am*, *26*(5), 908-915. doi:10.1053/jhsu.2001.26322
- Claes, L. (2004). Das Prinzip der Winkelstabilität in der Osteosynthese. *OP-Journal*, *20* (1).
- Claes, L., Wolf, S., & Augat, P. (2000). [Mechanical modification of callus healing]. *Chirurg*, *71*(9), 989-994.
- Dillingham, C., Horodyski, M., Struk, A. M., & Wright, T. (2011). Rate of Improvement following Volar Plate Open Reduction and Internal Fixation of Distal Radius Fractures. *Adv Orthop*, *2011*, 565642. doi:10.4061/2011/565642
- Dumont, C., Fuchs, M., Folwaczny, E. K., Heuermann, C., & Sturmer, K. M. (2003). [Results of palmar T-plate osteosynthesis in unstable fractures of the distal radius]. *Chirurg*, *74*(9), 827-833. doi:10.1007/s00104-003-0667-x

- Elmi, A., Tabrizi, A., Rouhani, A., & Mirzadolouei, F. (2014). Treatment of neglected malunion of the distal radius: a cases series study. *Med J Islam Repub Iran*, 28, 7.
- Fernandez, D. L. (2001). Distal radius fracture: the rationale of a classification. *Chir Main*, 20(6), 411-425.
- Figl, M., Weninger, P., Liska, M., Hofbauer, M., & Leixnering, M. (2009). Volar fixed-angle plate osteosynthesis of unstable distal radius fractures: 12 months results. *Arch Orthop Trauma Surg*, 129(5), 661-669. doi:10.1007/s00402-009-0830-z
- Flinkkila, T., Sirnio, K., Hippi, M., Hartonen, S., Ruuhela, R., Ohtonen, P., . . . Leppilahti, J. (2011). Epidemiology and seasonal variation of distal radius fractures in Oulu, Finland. *Osteoporos Int*, 22(8), 2307-2312. doi:10.1007/s00198-010-1463-3
- Frank, J., Pralle, H., Lehnert, M., & Marzi, I. (2010). [Concomitant injuries of distal radius fractures]. *Unfallchirurg*, 113(10), 796, 797-803. doi:10.1007/s00113-010-1850-4
- Frank, J., Pralle, H., & Marzi, I. (2003). Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Handgelenkes und distalen Radioulnargelenkes. *OP-Journal*(19).
- Frykman, G. (1967). 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 Orthop Scand*, Suppl 108:103+.
- Gaulke, R., Spies, M., & Krettek, C. (2007). [Fractures of the wrist and hand. Principles of conservative treatment]. *Unfallchirurg*, 110(10), 833-844. doi:10.1007/s00113-007-1320-9
- Golish, S. R., & Mihalko, W. M. (2011). Principles of biomechanics and biomaterials in orthopaedic surgery. *J Bone Joint Surg Am*, 93(2), 207-212.
- Grechenig, W., Fellinger, M., Seibert, F. J., & Peicha, G. (1996). [Arthrography of the wrist joint in acute trauma]. *Unfallchirurg*, 99(4), 260-266.
- Grifka, J., & Krämer, J. (2013). *Orthopädie Unfallchirurgie* (9 ed.). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Gruber, G., Zacherl, M., Giessauf, C., Glehr, M., Fuerst, F., Liebmann, W., . . . Bernhardt, G. A. (2010). Quality of life after volar plate fixation of articular fractures of the distal part of the radius. *J Bone Joint Surg Am*, 92(5), 1170-1178. doi:10.2106/jbjs.i.00737
- Hak, D. J., Mauffrey, C., Seligson, D., & Lindeque, B. (2014). Use of carbon-fiber-reinforced composite implants in orthopedic surgery. *Orthopedics*, 37(12), 825-830. doi:10.3928/01477447-20141124-05
- Handoll, H. H., & Madhok, R. (2003). Conservative interventions for treating distal radial fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev*(2), Cd000314. doi:10.1002/14651858.cd000314
- Harris, L. G., Patterson, L. M., Bacon, C., Gwynn, I., & Richards, R. G. (2005). Assessment of the cytocompatibility of different coated titanium surfaces to fibroblasts and osteoblasts. *J Biomed Mater Res A*, 73(1), 12-20. doi:10.1002/jbm.a.30276
- Hayes, J. S., Welton, J. L., Wieling, R., & Richards, R. G. (2012). In vivo evaluation of defined polished titanium surfaces to prevent soft tissue adhesion. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 100(3), 611-617. doi:10.1002/jbm.b.31967
- Hierholzer, S., & Hierholzer, G. (1982). [Allergy to metal following osteosynthesis]. *Unfallchirurgie*, 8(6), 347-352.
- Hudak, P. L., Amadio, P. C., & Bombardier, C. (1996). Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med*, 29(6), 602-608. doi:10.1002/(sici)1097-0274(199606)29:6<602::aid-ajim4>3.0.co;2-l

- Huiskes, R., Weinans, H., & van Rietbergen, B. (1992). The relationship between stress shielding and bone resorption around total hip stems and the effects of flexible materials. *Clin Orthop Relat Res*(274), 124-134.
- Ismail, A. A., Pye, S. R., Cockerill, W. C., Lunt, M., Silman, A. J., Reeve, J., . . . O'Neill, T. W. (2002). Incidence of limb fracture across Europe: results from the European Prospective Osteoporosis Study (EPOS). *Osteoporos Int*, 13(7), 565-571. doi:10.1007/s001980200074
- Jellad, A., Salah, S., & Ben Salah Frih, Z. (2014). Complex regional pain syndrome type I: incidence and risk factors in patients with fracture of the distal radius. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(3), 487-492. doi:10.1016/j.apmr.2013.09.012
- Jockisch, K. A., Brown, S. A., Bauer, T. W., & Merritt, K. (1992). Biological response to chopped-carbon-fiber-reinforced peek. *J Biomed Mater Res*, 26(2), 133-146. doi:10.1002/jbm.820260202
- K. Becker, P. H. (2007). Die distale Radiusfraktur- ein Update der Behandlungsmethoden. *Chirurgen Magazin*, 6/2007.
- Katzer, A., Marquardt, H., Westendorf, J., Wening, J. V., & von Foerster, G. (2002). Polyetheretherketone--cytotoxicity and mutagenicity in vitro. *Biomaterials*, 23(8), 1749-1759.
- Khosla, S., Melton, L. J., 3rd, Dekutoski, M. B., Achenbach, S. J., Oberg, A. L., & Riggs, B. L. (2003). Incidence of childhood distal forearm fractures over 30 years: a population-based study. *Jama*, 290(11), 1479-1485. doi:10.1001/jama.290.11.1479
- Kramer, S., Meyer, H., O'Loughlin, P. F., Vaske, B., Krettek, C., & Gaulke, R. (2013). The incidence of ulnocarpal complaints after distal radial fracture in relation to the fracture of the ulnar styloid. *J Hand Surg Eur Vol*, 38(7), 710-717. doi:10.1177/1753193412469582
- Kurtz, S. M., & Devine, J. N. (2007). PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials*, 28(32), 4845-4869. doi:10.1016/j.biomaterials.2007.07.013
- Mellstrand Navarro, C., Ahrengart, L., Tornqvist, H., & Ponzer, S. (2016). Volar Locking Plate or External Fixation With Optional Addition of K-Wires for Dorsally Displaced Distal Radius Fractures: A Randomized Controlled Study. *J Orthop Trauma*, 30(4), 217-224. doi:10.1097/bot.0000000000000519
- Michelitsch, C., Acklin, Y. P., & Sommer, C. (2013). [Multidirectional locking volar plate in distal radius fractures. Secondary loss of reduction--correct implantation is essential]. *Unfallchirurg*, 116(12), 1123-1127. doi:10.1007/s00113-012-2314-9
- Moseley, G. L., Herbert, R. D., Parsons, T., Lucas, S., Van Hilten, J. J., & Marinus, J. (2014). Intense pain soon after wrist fracture strongly predicts who will develop complex regional pain syndrome: prospective cohort study. *J Pain*, 15(1), 16-23. doi:10.1016/j.jpain.2013.08.009
- Müller, M. E., Nazarian, S., Koch, P., & Schatzker, J. (1990). *The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones* (1 ed.): Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Nellans, K. W., Kowalski, E., & Chung, K. C. (2012). The epidemiology of distal radius fractures. *Hand Clin*, 28(2), 113-125. doi:10.1016/j.hcl.2012.02.001
- Nguyen, N. D., Ahlborg, H. G., Center, J. R., Eisman, J. A., & Nguyen, T. V. (2007). Residual lifetime risk of fractures in women and men. *J Bone Miner Res*, 22(6), 781-788. doi:10.1359/jbmr.070315
- Niethard, F. U., Pfeil, J., & Biberthaler, P. (2009). *Orthopädie und Unfallchirurgie* (6th ed.). Stuttgart: Thieme.

- O'Neill, T. W., Cooper, C., Finn, J. D., Lunt, M., Purdie, D., Reid, D. M., . . . Wallace, W. A. (2001). Incidence of distal forearm fracture in British men and women. *Osteoporos Int*, 12(7), 555-558.
- Ochman, S., Frerichmann, U., Armsen, N., Raschke, M. J., & Meffert, R. H. (2006). [Is use of the fixateur externe no longer indicated for the treatment of unstable radial fracture in the elderly?]. *Unfallchirurg*, 109(12), 1050-1057. doi:10.1007/s00113-006-1166-6
- Oestern, H. J. (1999a). [Distal radius fractures. I. Basic principles and conservative therapy]. *Chirurg*, 70(10), 1180-1192.
- Oestern, H. J. (1999b). [Distal radius fractures. II. Surgical therapy]. *Chirurg*, 70(11), 1381-1394.
- Orbay, J. (2005). Volar plate fixation of distal radius fractures. *Hand Clin*, 21(3), 347-354. doi:10.1016/j.hcl.2005.02.003
- Oyen, J., Gjesdal, C. G., Brudvik, C., Hove, L. M., Apalset, E. M., Gulseth, H. C., & Haugeberg, G. (2010). Low-energy distal radius fractures in middle-aged and elderly men and women--the burden of osteoporosis and fracture risk : A study of 1794 consecutive patients. *Osteoporos Int*, 21(7), 1257-1267. doi:10.1007/s00198-009-1068-x
- Pechlaner, S., Gabl, M., Lutz, M., Krappinger, D., Leixnering, M., Krulis, B., . . . Rudisch, A. (2007). [Distal radius fractures--aetiology, treatment and outcome]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 39(1), 19-28. doi:10.1055/s-2007-964920
- Phadnis, J., Trompeter, A., Gallagher, K., Bradshaw, L., Elliott, D. S., & Newman, K. J. (2012). Mid-term functional outcome after the internal fixation of distal radius fractures. *J Orthop Surg Res*, 7, 4. doi:10.1186/1749-799x-7-4
- Poigenfurst, J., & Tuchmann, A. (1978). [Significance of ulnar ligament injuries in typical radius fractures]. *Handchirurgie*, 10(3), 121-125.
- Radzi, S., Cowin, G., Robinson, M., Pratap, J., Volp, A., Schuetz, M. A., & Schmutz, B. (2014). Metal artifacts from titanium and steel screws in CT, 1.5T and 3T MR images of the tibial Pilon: a quantitative assessment in 3D. *Quant Imaging Med Surg*, 4(3), 163-172. doi:10.3978/j.issn.2223-4292.2014.03.06
- Rikli, D., & Regazzoni, P. (1999). [Distal radius fractures]. *Schweiz Med Wochenschr*, 129(20), 776-785.
- Rikli, D. A., Honigmann, P., Babst, R., Cristalli, A., Morlock, M. M., & Mittlmeier, T. (2007). Intra-articular pressure measurement in the radioulnocarpal joint using a novel sensor: in vitro and in vivo results. *J Hand Surg Am*, 32(1), 67-75. doi:10.1016/j.jhsa.2006.10.007
- Rikli, D. A., & Regazzoni, P. (1996). Fractures of the distal end of the radius treated by internal fixation and early function. A preliminary report of 20 cases. *J Bone Joint Surg Br*, 78(4), 588-592.
- Rohner, B., Wieling, R., Magerl, F., Schneider, E., & Steiner, A. (2005). Performance of a composite flow moulded carbon fibre reinforced osteosynthesis plate. *Vet Comp Orthop Traumatol*, 18(3), 175-182.
- Rueger, J. M., Hartel, M. J., Ruecker, A. H., & Hoffmann, M. (2014). [Fractures of the distal radius]. *Unfallchirurg*, 117(11), 1025-1034; quiz 1035-1026. doi:10.1007/s00113-014-2676-2
- Rupp, R., Ebraheim, N. A., Savolaine, E. R., & Jackson, W. T. (1993). Magnetic resonance imaging evaluation of the spine with metal implants. General safety and superior imaging with titanium. *Spine (Phila Pa 1976)*, 18(3), 379-385.

- Ryan, L. M., Teach, S. J., Searcy, K., Singer, S. A., Wood, R., Wright, J. L., & Chamberlain, J. M. (2010). Epidemiology of pediatric forearm fractures in Washington, DC. *J Trauma*, 69(4 Suppl), S200-205. doi:10.1097/TA.0b013e3181f1e837
- Schmidt, H. M. (2004). [The anatomy of the ulnocarpal complex]. *Orthopade*, 33(6), 628-637. doi:10.1007/s00132-004-0665-9
- Schmitt, R. (2006). [Functional anatomy and biomechanics of the carpus]. *Radiologe*, 46(8), 638-648. doi:10.1007/s00117-006-1397-0
- Schneiders, W., Biewener, A., Rammelt, S., Rein, S., Zwipp, H., & Amlang, M. (2006). [Distal radius fracture. Correlation between radiological and functional results]. *Unfallchirurg*, 109(10), 837-844. doi:10.1007/s00113-006-1156-8
- Schünke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2014). *Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat* (4th ed.). Stuttgart: Thieme.
- Siebert, H. R., & Klonz, A. (2006). [Fracture of the distal radius]. *Chirurg*, 77(6), 545-562; quiz 563.
- Skinner, H. B. (1988). Composite technology for total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*(235), 224-236.
- Slatis, P., Karaharju, E., Holmstrom, T., Ahonen, J., & Paavolainen, P. (1978). Structural changes in intact tubular bone after application of rigid plates with and without compression. *J Bone Joint Surg Am*, 60(4), 516-522.
- Slutsky, D. J. (2013). Outcomes assessment in wrist surgery. *J Wrist Surg*, 2(1), 1-4. doi:10.1055/s-0033-1333892
- Smektala, R., Endres, H. G., Dasch, B., Bonnaire, F., Trampisch, H. J., & Pientka, L. (2009). [Quality of care after distal radius fracture in Germany. Results of a fracture register of 1,201 elderly patients]. *Unfallchirurg*, 112(1), 46-54. doi:10.1007/s00113-008-1523-8
- Stahel, P. F., Infanger, M., Bleif, I. M., Heyde, C. E., & Ertel, W. (2005). Palmar angular-stable plate osteosynthesis: a new concept for treatment of unstable distal radius fractures. *Trauma und Berufskrankheit*, 7(1), S27-S32. doi:10.1007/s10039-004-0975-5
- Steinberg, E. L., Rath, E., Schlaifer, A., Chechik, O., Maman, E., & Salai, M. (2013). Carbon fiber reinforced PEEK Optima--a composite material biomechanical properties and wear/debris characteristics of CF-PEEK composites for orthopedic trauma implants. *J Mech Behav Biomed Mater*, 17, 221-228. doi:10.1016/j.jmbbm.2012.09.013
- Tarallo, L., Mugnai, R., Adani, R., Zambianchi, F., & Catani, F. (2014). A new volar plate made of carbon-fiber-reinforced polyetheretherketon for distal radius fracture: analysis of 40 cases. *J Orthop Traumatol*, 15(4), 277-283. doi:10.1007/s10195-014-0311-1
- Thielke, K. H., Wagner, T., Bartsch, S., & Echtermeyer, V. (2003). [Angularly stable radius plate: progress in treatment of problematic distal radius fracture?]. *Chirurg*, 74(11), 1057-1063. doi:10.1007/s00104-003-0718-3
- Thorninger, R., Madsen, M. L., Waever, D., Borris, L. C., & Rolfing, J. H. D. (2017). Complications of volar locking plating of distal radius fractures in 576 patients with 3.2 years follow-up. *Injury*, 48(6), 1104-1109. doi:10.1016/j.injury.2017.03.008
- Van Nortwick, S. S., Yao, J., & Ladd, A. L. (2012). Titanium integration with bone, welding, and screw head destruction complicating hardware removal of the distal radius: report of 2 cases. *J Hand Surg Am*, 37(7), 1388-1392. doi:10.1016/j.jhsa.2012.04.027
- Wentzensen, S. M. C. W. A. (2007). Distale Radiusfrakturen - Indikationen zur Plattenosteosynthese. *Trauma Berufskrankheiten*.

- Wenz, L. M., Merritt, K., Brown, S. A., Moet, A., & Steffee, A. D. (1990). In vitro biocompatibility of polyetheretherketone and polysulfone composites. *J Biomed Mater Res*, 24(2), 207-215. doi:10.1002/jbm.820240207
- Westphal, T., Piatek, S., Schubert, S., Schuschke, T., & Winckler, S. (2002). [Reliability and validity of the upper limb DASH questionnaire in patients with distal radius fractures]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 140(4), 447-451. doi:10.1055/s-2002-33396
- Wiemer, P., Koster, G., Felderhoff, J., & Weber, U. (1999). [Fractures of the distal radius. Changing therapeutic strategies]. *Orthopade*, 28(10), 846-852. doi:10.1007/pl00003558
- Wolf, J. H. (1995). [Julius Wolff and his "law of bone remodeling"]. *Orthopade*, 24(5), 378-386.
- Zannoni, C., Viceconti, M., Pierotti, L., & Cappello, A. (1998). Analysis of titanium induced CT artifacts in the development of biomechanical finite element models. *Med Eng Phys*, 20(9), 653-659.
- Zingg, U., Rillmann, P., Metzger, U., & Platz, A. (2005). [The osteosynthesis of fractures of distal radius with the AO/ASIF Titanium Pi Plate]. *Unfallchirurg*, 108(3), 206-208, 210-202, 214. doi:10.1007/s00113-004-0862-3

12. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 3-Säulen-Modell nach Rikli u. Regazzoni (D. A. Rikli & Regazzoni, 1996)	5
Abbildung 2: : a) Radiuslänge, b) Radiusbasiswinkel, c: palmarer Neigungswinkel (Oestern, 1999a)	13
Abbildung 3: AO-Klassifikation (Oestern, 1999a)	15
Abbildung 4: Klassifikation nach Frykman. 1-4 obere Reihe, 5-8 unterer Reihe (Oestern, 1999a)	16
Abbildung 5: Klassifikation nach Melone (Oestern, 1999a)	17
Abbildung 6: Klassifikation nach Fernandez (D. Rikli & Regazzoni, 1999).....	18
Abbildung 7: Altersverteilung der Studienteilnehmer	40
Abbildung 8: Arbeitsfähigkeit der Studienteilnehmer vor der Verletzung.....	42
Abbildung 9: DASH Score in Bezug auf die Zeit vor der Verletzung	43
Abbildung 10: Klinische Anwendung der PEEK-Plattenosteosynthese	46
Abbildung 11: stationäre Liegedauer der Studienteilnehmer	47
Abbildung 12: Radiologische Parameter prä- und postoperativ	49
Abbildung 13: Relative Reposition präoperativ - postoperativ	50
Abbildung 14: Arbeitsfähigkeit der Studienteilnehmer 6 Wochen postoperativ	52
Abbildung 15: Arbeitsfähigkeit der Studienteilnehmer präoperativ und 6 Wochen postoperativ	53
Abbildung 16: ROM 6 Wochen postoperativ	55
Abbildung 17: Mayo Wrist Score 6 Wochen postoperativ	56
Abbildung 18: Schmerzintensität 6 Wochen postoperativ	57
Abbildung 19: Funktionalität der betroffenen Hand 6 Wochen postoperativ	59
Abbildung 20: Beweglichkeit der betroffenen Hand im Vergleich zur gesunden Gegenseite 6 Wochen postoperativ.....	60
Abbildung 21: Kraft der betroffenen Hand im Vergleich zur gesunden Gegenseite 6 Wochen postoperativ	61
Abbildung 22: DASH Score 6 Wochen postoperativ.....	61
Abbildung 23: DASH Score Arbeitsmodul 6 Wochen postoperativ	62
Abbildung 25: VAS Zufriedenheit 6 Wochen postoperativ	64
Abbildung 26: Röntgenkontrolle des betroffenen Handgelenks nach PEEK-Plattenosteosynthese 6 Wochen postoperativ	65
Abbildung 27: Radiologische Parameter 6 Wochen postoperativ (links) und relativer Repositionsverlust Δ 6 Wochen postoperativ (rechts).....	67
Abbildung 28: Reposition 2 Tage postoperativ und 6 Wochen postoperativ	68
Abbildung 29: ROM der Patienten mit PEEK-Platte 6 Wochen und 1 Jahr postoperativ	73
Abbildung 30: Mayo Wrist Score der Patienten mit PEEK-Platte	74
Abbildung 31: Schmerzintensität der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte	75
Abbildung 32: Funktionalität der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte	76
Abbildung 33: Beweglichkeit der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte	77
Abbildung 34: Kraft der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte.....	78
Abbildung 35: DASH Score der Patienten mit PEEK-Platte.....	78
Abbildung 36: DASH Score Arbeitsmodul der Patienten mit PEEK-Platte	79
Abbildung 37: VAS Schmerz der Patienten mit PEEK-Platte	80
Abbildung 38: VAS Zufriedenheit der Patienten mit PEEK-Platte	81

Abbildung 39: Röntgenkontrolle des betroffenen Handgelenks nach PEEK- Plattenosteosynthese 1 Jahr postoperativ	82
Abbildung 40: Radiologische Parameter der Patienten mit PEEK-Platte	84

13. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: AO- Klassifikation (K. Becker, 2007).....	15
Tabelle 2: Basisprofil	40
Tabelle 3: Arbeitsfähigkeit präoperativ.....	41
Tabelle 4: Begleiterkrankungen	44
Tabelle 5: Begleitverletzungen.....	44
Tabelle 6: perioperative Daten	45
Tabelle 7: Radiologische Parameter präoperativ – postoperativ.....	48
Tabelle 8: Arbeitsfähigkeit 6 Wochen postoperativ.....	51
Tabelle 9: Arbeitsfähigkeit präoperativ – 6 Wochen postoperativ	53
Tabelle 10: ROM 6 Wochen postoperativ	54
Tabelle 11: Mayo Wrist Score – Schmerzintensität 6 Wochen postoperativ.....	57
Tabelle 12: Mayo Wrist Score – Funktionalität 6 Wochen postoperativ	58
Tabelle 13: Mayo Wrist Score – Beweglichkeit im Seitenvergleich 6 Wochen postoperativ .	59
Tabelle 14: Mayo Wrist Score – Kraft im Seitenvergleich 6 Wochen postoperativ.....	60
Tabelle 15: Radiologische Parameter postoperativ – 6 Wochen postoperativ.....	66
Tabelle 16: Basisprofil 1 Jahr postoperativ	69
Tabelle 17: Arbeitsfähigkeit der Patienten mit PEEK-Platte im zeitlichen Verlauf.....	70
Tabelle 18: ROM der Patienten mit PEEK-Platte 6 Wochen und 1 Jahr postoperativ.....	71
Tabelle 19: Schmerzintensität der Patienten mit PEEK-Platte	75
Tabelle 20: Funktionalität der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte.....	76
Tabelle 21: Beweglichkeit der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte.....	77
Tabelle 22: Kraft der betroffenen Hand der Patienten mit PEEK-Platte	77
Tabelle 23: Radiologische Parameter der Patienten mit PEEK-Platte	83

14. Abkürzungsverzeichnis

A

AO - Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen

a.p. - anterior-posterior

C

CF - Carbonfaser

CRPS - Komplexes regionales Schmerzsyndrom (Complex Regional Pain Syndrome)

CT - Computertomographie

D

DASH Disability of Arm, Shoulder and Hand

DRUG - distales Radioulnargelenk

M

MRT - Magnetresonanztomographie

P

PEEK - Polyetheretherketon

PSR - Processus styloideus radii

R

ROM - Range of Motion

T

TFC - triangulärer Faserknorpel, Discus ulnocarpalis

TFCC - triangulärer fibrocartilaginärer Komplex, ulnokarpaler Komplex

V

VAS - visuelle Analogskala

15. Anhang

15.1 DASH-Score

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

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
1. Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
2. Schreiben	1	2	3	4	5
3. Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
4. Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
5. Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
6. Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
7. Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
8. Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
9. Betten machen	1	2	3	4	5
10. Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
11. Einen schweren Gegenstand tragen (über 5kg)	1	2	3	4	5
12. Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	1	2	3	4	5
13. Ihre Haare waschen oder föhnen	1	2	3	4	5
14. Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
15. Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
16. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
17. Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z. B. Karten spielen, Stricken, usw.)	1	2	3	4	5
18. Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.) ¹	1	2	3	4	5
19. Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (z. B. Badminton, Frisbee)	1	2	3	4	5
20. Mit Fortbewegungsmitteln zurecht kommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
21. Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

- 22.** 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

- 23.** 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 eingeschränkt	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
24. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
25. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit	1	2	3	4	5
26. Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
27. Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
28. Steifheit in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5

- 29.** 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

- 30.** 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

Auswertung DASH: Addieren Sie die angekreuzten Antworten (Nr. 1 bis 30); subtrahieren Sie 30; dividieren Sie durch 1,2 = DASH-Wert.
Falls Antworten fehlen, beachten Sie die detaillierten Anweisungen

DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

ARBEITS- UND BERUFS-MODUL (OPTIONAL)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihres Schulter-, Arm- oder Handproblems auf Ihre Arbeit (einschließlich Haushaltsführung, falls dies Ihre Hauptbeschäftigung ist).
Bitte geben Sie Ihre/n Arbeit/Beruf hier an:

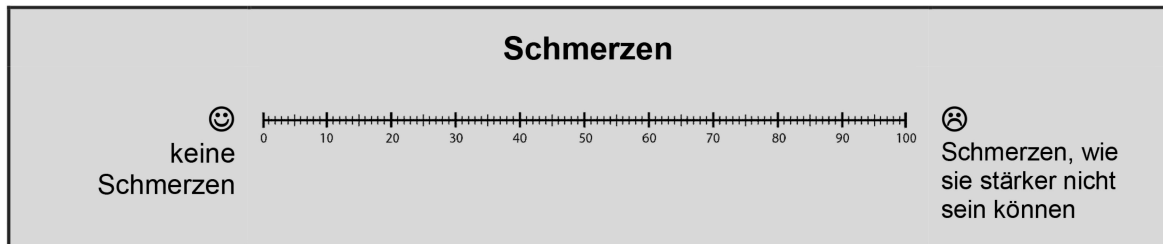
Ich bin nicht berufstätig (Sie können diesen Bereich auslassen).

Bitte kreuzen Sie die Zahl an, die Ihre körperlichen Fähigkeiten in der vergangenen Woche am besten beschreibt.
Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

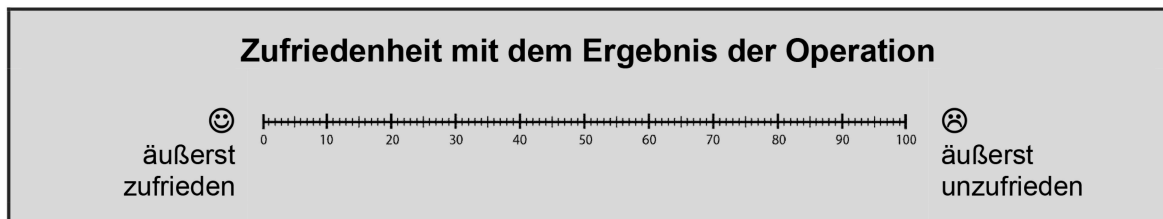
	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. In der üblichen Art und Weise zu arbeiten?	1	2	3	4	5
2. Aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihre übliche Arbeit zu erledigen?	1	2	3	4	5
3. So gut zu arbeiten wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. Die bisher gewohnte Zeit mit Ihrer Arbeit zu verbringen?	1	2	3	4	5

VA-Skala

Bitte markieren Sie mit einem Kreuz (X) auf der dargestellten Linie, **wie Ihre Schmerzen** an der operierten Hand oder am operierten Arm **im Durchschnitt während der vergangenen Woche** am besten zu beschreiben sind.



Bitte markieren Sie mit einem Kreuz (X) auf der dargestellten Linie, **wie Ihre Zufriedenheit** mit dem Ergebnis der Operation **im Durchschnitt während der vergangenen Woche** am besten zu beschreiben ist.



15.2 Selbstständig entwickelter Fragebogen

Neuer Fall

Vorname, Initiale:

Nachname, Initiale:

Geburtsjahr:

Geschlecht:

- männlich
- weiblich

Zu operierende Seite:

- rechts
- links

Präoperativ

Anamnese

Datum der präoperativen Untersuchung:

Größe: cm

Gewicht: kg

Dominante Hand:

- rechts
- links

AO Frakturklassifikation:

23-A2 - extraartikuläre Fraktur, einfach und impaktiert

- A2.1 - ohne Abkippung
- A2.2 - mit dorsaler Abkippung (Pouteau-Colles)
- A2.3 - mit volarer Abkippung (Goyrand-Smith's)

23-A3 - extraartikuläre Fraktur mehrfragmentär

- A3.1 - impaktiert mit axialer Verkürzung
- A3.2 - angewinkelt mit einem Fragmentkeil
- 3.3 – komplex

23-B1 - partiell artikuläre Fraktur, sagittal

- B1.1 - lateral einfach
- B1.2 - laterale Mehrfragmentfraktur
- B1.3 - medial

23-B2 - partiell artikuläre Fraktur, dorsale Kante (Barton)

- B2.1 - einfach
- B2.2 - mit lateraler, sagittaler Frakturlinie

- o B2.3 - mit dorsaler Luxation des Karpus
- 23-B3 - partiell artikuläre Fraktur, volare Kante (reversed Barton, Goyrand- Smith II)
- o B3.1 - einfach, kleines volares Fragment
- o B3.2 - einfach, großes volares Fragment
- o B3.3 - volare Mehrfragmentfraktur

23-C1 - vollständig artikuläre Fraktur, artikulär einfach, metaphysär einfach

- o C1.1 - mit posterior-medialem Gelenkfragment
- o C1.2 - mit sagitaler, artikulärer Frakturlinie
- o C1.3 - mit frontaler, artikulärer Frakturlinie

23-C2 - vollständig artikuläre Fraktur, artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär

- o C2.1 - mit sagitaler, artikulärer Frakturlinie
- o C2.2 - mit frontaler, artikulärer Frakturlinie
- o C2.3 - bis in die Diaphyse reichend

23-C3 - vollständig artikuläre Fraktur, mehrfragmentär

- o C3.1 - metaphysär einfach
- o C3.2 - metaphysäre Mehrfragmentfraktur
- o C3.3 - bis in die Diaphyse reichend

Begleitverletzungen am Handgelenk:

- o keine
- o distales Radioulnargelenk
- o TFCC-Läsion
- o SL Dissoziation
- o LT Dissoziation
- o Luxation
- o Sehnenverletzung
- o Nervenverletzung
- o Fraktur
- o andere

ASA Klassifikation:

- o 1 - Normaler, gesunder Patient
- o 2 - Patient mit leichter Allgemeinerkrankung
- o 3 - Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung
- o 4 - Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung, die eine ständige Lebensbedrohung ist.
- o 5 - Moribunder Patient, der ohne Operation voraussichtlich nicht überleben wird
- o 6 - Hirntoter Patient, dessen Organe zur Organspende entnommen werden

Begleiterkrankungen:

- o keine
- o kardiovaskulär
- o respiratorisch
- o Diabetes mellitus
- o chronische Nierenerkrankung
- o Tumor

- Infektion (Hepatitis, HIV, multiresistente Keime)
- neurologisch
- Osteoporose
- Rheumatischer Formenkreis
- Arthritiden
- Arthrose
- andere relevante Erkrankungen

Arbeitsfähigkeit (vor dem Unfall - inklusive Haus- und Gartenarbeit):

- schwere körperliche Arbeit, Vollzeit
- schwere körperliche Arbeit, Teilzeit
- leichte körperliche Arbeit, Vollzeit
- leichte körperliche Arbeit, Teilzeit
- nicht arbeitsfähig

Patienten-Selbsteinschätzung

Patient hat DASH Score ausgefüllt (Situation VOR dem Unfall)

- nein
- ja

Röntgenbilder

Datum der präoperativen Röntgenbilder:

Intraoperativ

OP-Datum:

Zeitraum zwischen Unfall und OP:

- < 6 Stunden
- 6 bis < 24 Stunden
- 24 bis < 3 Tage
- 3 Tage bis < 1 Woche
- 1 bis < 3 Wochen
- 3 Wochen bis 1 Monat
- >1 Monat

Initialen des Operateurs:

OP-Dauer: _____ min.

Blutleere verwendet?

- nein
- ja

Intraoperativer Blutverlust: _____ ml

Operativer Zugang:

- ventral
- dorsal
- kombiniert
- anderer Zugang, bitte angeben

Antibiotika Prophylaxe:

- keine
- präoperativ
- intraoperativ
- postoperativ

Anaesthesie:

- intravenöse Regionalanästhesie (IVRA)
- plexus brachialis Anästhesie
- Vollnarkose
- andere Anästhesie

Implantate

Plattensystem:

Typ:

- icotec Radiusplatte
- VA-LCP extraartikulär
- VA-LCP 2-Säulen
- LCP extraartikulär
- WINSTA-R
- TriLock

Andere intraoperative Maßnahmen:

- keine
- Arthroskopie
- TFCC Fixation
- Fixation des Processus styloideus ulnae
- Transfixation des distalen Radio-ulnar-Gelenks (bei Luxation)
- Reposition und transfixierende Bohrdrähte (bei scapholunärer Dissoziation)
- Schraubenosteosynthese (bei begleitender Scaphoidfraktur)
- Karpaldachspaltung
- Karpaltunnelspaltung
- andere Maßnahme

Komplikationen

Intraoperative Komplikationen:

- keine
- Embolie
- Gefäßläsion

- Nervenläsion
- Nachblutung / Hämatom
- primäre Fehlstellung
- andere Komplikation

Röntgendiagnostik

Intraoperative Durchleuchtungszeit: sek.

Datum der unmittelbar postoperativen Röntgenbilder:

Radiale Inklination: °

Ulna Vorschub: mm

Volare Inklination: °

6 Wochen/ 1 Jahr postoperativ

Datum der Nachuntersuchung:

Postoperative Komplikationen seit der letzten Nachuntersuchung:

- keine
- Embolie
- Thrombose
- Nervenkompression
- Weichteilirritation
- Nachblutung / Hämatom
- Wundheilungsstörung
- Infektion
- akutes posttraumatisches Karpaltunnel-Syndrom
- Complex Regional Pain Syndrom (CRPS) / M. Sudeck
- Chronische Schmerzen
- Sehnenruptur
- Instabilität
- Bewegungseinschränkung
- Kraftminderung
- Repositionsverlust
- verzögerte Frakturheilung / Pseudarthrose
- posttraumatische Arthrose
- Plattendislokation
- Plattenbruch
- Schraubenlockerung / Herausdrehen
- Schraubendislokation
- Schraubenbruch
- andere Komplikation

Reoperation seit der letzten Nachuntersuchung notwendig?

- keine
- zusätzliche Implantate
- teilweise Implantatentfernung
- komplette Entfernung der Platte (ME) OHNE Verfahrenswechsel
- andere Reoperation

Postoperative Maßnahmen:

- keine
- Gips/Immobilisierung
- Physiotherapie
- andere Maßnahme

Arbeitsfähigkeit (inkl. Haus- und Gartenarbeit):

- schwere körperliche Arbeit, Vollzeit
- schwere körperliche Arbeit, Teilzeit
- leichte körperliche Arbeit, Vollzeit
- leichte körperliche Arbeit, Teilzeit
- nicht arbeitsfähig

Beweglichkeit

Handgelenk – Flexion ° Kontraktur = '-' Vorzeichen

Handgelenk – Extension ° Kontraktur = '-' Vorzeichen

Radialabduktion ° Kontraktur = '-' Vorzeichen

Ulnarabduktion ° Kontraktur = '-' Vorzeichen

Supination ° Kontraktur = '-' Vorzeichen

Pronation ° Kontraktur = '-' Vorzeichen

Mayo Wrist Score

Sektion 1 - Schmerzintensität

- keine Schmerzen
- gering gelegentlich
- mäßig, tolerierbar
- stark bis nicht tolerierbar

Sektion 2 - Funktionalität

- zurück zur normalen Arbeit
- eingeschränkt arbeitend
- arbeitsfähig, aber arbeitslos
- wegen Schmerzen nicht arbeitsfähig

Sektion 3 - Beweglichkeit

- 100% im Seitenvergleich (oder > 120°)
- 75-99% im Seitenvergleich (oder 90-120°)
- 50-74% im Seitenvergleich (oder 60-90°)
- 25-49% im Seitenvergleich (oder 30-60°)
- 0-24% im Seitenvergleich (oder < 30°)

Sektion 4 - Kraft beim Greifen in % im Vergleich zum Normalen

- 100%
- 75-100%
- 50-75%
- 25-50%
- 0-25%

Mayo Wrist Score:

Patienten-Selbsteinschätzung

Patient hat DASH Score und VAS ausgefüllt

- nein
- ja

Röntgendiagnostik

Datum der postoperativen Röntgenbilder:

Radiale Inklination: °

Ulna Vorschub: mm

Volare Inklination: °

Studienabbruch

Grund für Studienabbruch:

- Kontaktaufnahme mit Patient trotz mehrmaliger Versuche nicht möglich
- Patient kann oder möchte die Studie nicht mehr weiterführen
- Patient verstorben
- komplette Entfernung der Platte MIT Verfahrenswechsel

16. Danksagung

Ich möchte mich zunächst ganz besonders bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Sebastian Lippross für sein Vertrauen und seine herzliche Betreuung bedanken. In allen Phasen dieser Arbeit hatte er stets ein offenes Ohr und war mir mit seiner geduldigen und freundschaftlichen Art eine große Hilfe.

Mein Dank gilt darüber hinaus allen Kollegen der Abteilung für Orthopädie und Unfallchirurgie am UKSH Kiel, die auch freundlich blieben, wenn ich einen wertvollen Arbeitsplatz blockierte oder permanent Fragen stellte.

Ganz besonders möchte ich Frau Kubsch und Frau Stölting danken, die mir eine große Hilfe bei der Organisation waren und immer eine herzliche Atmosphäre verbreiteten.

Ein besonderer Dank gilt auch meinen Freunden, die mich stets motiviert haben und mit Interesse, Zeit und konstruktiver Kritik eine wunderbare Unterstützung waren. Mein Dank gilt hierbei insbesondere Timo Schramm, der in vielerlei Hinsicht die beste Unterstützung war und ist, die ich mir wünschen könnte.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere meiner Mutter bedanken: Ohne deine grenzenlose Unterstützung in allen Lebenslagen wäre weder mein Studium noch diese Arbeit denkbar gewesen.