

Diplomarbeit

**Anatomische Passform und Passgenauigkeit von distalen
Ulna-Osteosyntheseimplantaten**

eingereicht von

Malimmes Falko Grötsch

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Univ. Klinik für Unfallchirurgie / LKH-Univ. Klinikum Graz

unter der Anleitung von

Herrn Priv.-Doz. Dr. Paul Puchwein

Herrn OA Dr. Hans Clement

Graz, am 11.12.2015

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 11.12.2015

Malimmes F. Grötsch, eh.

Danksagungen

Mein Dank geht an dieser Stelle an Herrn OA Dr. Clement und Herrn Priv.-Doz. Dr. Paul Puchwein für die Unterstützung bei dieser Arbeit, sowie Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr.h.c. Friedrich Anderhuber für die Bereitstellung der anatomischen Präparate.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich während meines gesamten Werdeganges immer bedingungslos unterstützt und gefördert haben.

Nicht zuletzt danke ich Serap Üclü, dass sie jederzeit an meiner Seite ist und für ihren tatkräftigen Beistand nicht nur während der Zeit der Anfertigung dieser Arbeit.

Zusammenfassung

HINTERGRUND: Distale Ulnafrakturen spielen als eigenständige Verletzung und als Begleitverletzung der distalen Radiusfraktur eine entscheidende Rolle in der Funktionalität des Handgelenks, da bei diesen Brüchen oftmals auch die Intaktheit des TFCC und Stabilität des DRUJ betroffen sind. Um die Integrität des distalen Radioulnargelenks nach Verletzungen zu gewährleisten ist es oftmals nötig die frakturierte distale Ulna mittels Plattenosteosynthese zu rekonstruieren und zu stabilisieren. Die klinische Erfahrung zeigt jedoch, dass Osteosyntheseplatten für die distale Ulna oftmals eine schlechte Passform aufweisen. Diese Arbeit untersucht daher die anatomischen Verhältnisse der distalen Ulna und die Passform von gängigen Osteosyntheseplatten, um eine Grundlage für die Plattenwahl und gegebenenfalls die Entwicklung einer neuen Platte zu legen.

METHODIK: Untersucht wurden 50 Kadaver-Präparate der Hand und des Handgelenks. Das Verhältnis rechts zu links betrug 25:25. Zunächst erfolgte die anatomische Vermessung der distalen Ulna anhand von neun zuvor festgelegten Messparametern. Anschließend wurden Platten der Hersteller Synthes, Königsee, Hofer, ITS und Acumed an die Ulna-Präparate angelegt und der Abstand der Platten zum Gelenkspalt, sowie der Abstand der distalen Schraubenlöcher zum Knochen wurden vermessen.

ERGEBNISSE: Für die Ulna konnte ein hoch-signifikanter Unterschied zwischen rechts und links in der Torquierung, dem Umschlagwinkel des Margo ant. auf med. und dem Durchmesser der dünnsten Schaftstelle in lateral-Richtung festgestellt werden. Gerade die Torquierung zeigte eine große Streubreite. Auch bei den Platten fielen zwischen rechts und links signifikante Unterschiede in der Passform für einzelne Messpunkte auf. Die Passform der Platten unterlag ebenfalls deutlichen Schwankungen.

DISKUSSION: Die simple Form der Synthes Platte ermöglicht in der Regel eine gute Anpassung an den Knochen, könnte bei komplexeren Frakturen jedoch an ihre Grenzen stoßen. Generell entsteht der Eindruck, dass einfacher gehaltene und schmalere Platten die anatomischen Variationen der Ulna besser ausgleichen können. Um einen direkten Vergleich der Platten untereinander ziehen zu können, würde sich in der Zukunft eventuell der Einsatz bildgebender Verfahren (CT) anbieten, um beispielsweise mittels standardisiert gesetzter Frakturen Vergleiche zwischen Reposition und der ursprünglichen Anatomie ziehen zu können.

Abstract

BACKGROUND: Distal ulna fractures with concomitant distal radius fractures, as well as isolated distal ulna fractures, play a crucial role for the functionality of the wrist, as fractures of the distal ulna may compromise integrity of the TFCC and stability in the DRUJ. Reconstruction and stabilization of the distal ulna via plate osteosynthesis often is necessary to assure the integrity of the distal radioulnar joint after injury. Yet, clinical experience shows a lack of conformity between the preshaped plates and the anatomical form of the distal ulna. This work examines the anatomical conditions of the distal ulna and the anatomical fit of established osteosynthesis plates, with the purpose of providing a basis for plate selection and, as the case may be, for the development of a new plate.

METHODS: 50 cadaveric wrists were examined. The ratio from right to left was 25:25. Initially, the anatomic measurement of the distal ulna was conducted on the basis of nine preassigned measuring points. Following, plates from Synthes, Königsee, Hofer, ITS and Acumed were fitted to the cadaveric wrists and the distance from the edge of the plate to the joint space, as well as the distance of the distal screw holes to the bone surface were measured.

RESULTS: A highly significant difference between the right and left side was found for the torsion, the angle from the anterior to the medial border and the diameter of the narrowest section of the shaft in lateral-direction. The torsion was found to have an especially wide spread. Also, for the plates it was found that there are significant differences between the right and the left side for several measuring points. The plate fits were also subject to clear variability.

DISCUSSION: While the simple shape of the Synthes plate usually allows good alignment to the bone, its effectiveness could be limited when it comes to complex fractures. In general the simpler and narrower plates seem to be more suited to compensate the ulna's anatomic variations. In future studies, imaging systems (CT) could be used to provide improved comparisons between the plates by generating standardized fractures and comparing the results of the reduction with the original anatomy.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	ii
Zusammenfassung.....	iii
Abstract.....	iv
Inhaltsverzeichnis.....	v
Glossar und Abkürzungen	vii
Abbildungsverzeichnis.....	viii
Tabellenverzeichnis.....	x
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Zielsetzung	1
1.2 Anatomie der distalen Ulna	1
1.2.1 Knöchernen Strukturen der distalen Ulna	1
1.2.2 Muskeln und Sehnen im Bereich der distalen Ulna	2
1.2.3 Nerven im Bereich der distalen Ulna	3
1.2.4 Das distale Radioulnargelenk	3
1.2.5 Der trianguläre fibrocartilaginäre Komplex (TFCC).....	5
1.3 Frakturen der distalen Ulna	5
1.3.1 Klassifikation.....	6
1.3.2 Therapeutische Möglichkeiten	7
1.3.3 Bedeutung der Osteosynthese bei kombinierten Radius und Ulna Frakturen.....	8
1.3.4 DRUJ-Instabilitäten.....	9
1.3.5 Auswirkungen von Verletzungen auf die Biomechanik des DRUJ	10
2 Material und Methoden.....	11
2.1 Die Osteosyntheseplatten	12
2.1.1 Acumed Acu-Loc VDU Plate.....	12

2.1.2	Hofer Ulnare Platte distal „HUSd“	13
2.1.3	ITS Distal Ulna Locking Plate „DUL“	14
2.1.4	Königsee winkelstabile distale Ulnaplatte	14
2.1.5	Synthes LCP Distal Ulna Plate	15
2.2	Messpunkte	16
2.2.1	Anatomische Vermessung der Ulna	16
2.2.2	Vermessung der Platten	18
3	Ergebnisse	20
3.1	Ergebnisse der Ulna.....	20
3.2	Ergebnisse der Platten	23
3.2.1	Hofer	23
3.2.2	Synthes.....	24
3.2.3	Königsee.....	26
3.2.4	ITS	27
3.2.5	Acumed	29
3.2.6	Überblick über die Vermessung der Platten nach Abzug der Plattenstärken	31
4	Diskussion.....	33
5	Literaturverzeichnis	36

Glossar und Abkürzungen

<i>Abb.</i>	Abbildung
<i>ant.</i>	Anterior
<i>a.p.</i>	anterior-posterior-Richtung
<i>AO</i>	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese (AO Foundation)
<i>DRUJ</i>	distal radioulnar joint (Distales Radioulnargelenk)
<i>M.</i>	Musculus
<i>med.</i>	medial
<i>N.</i>	Nervus
<i>post.</i>	posterior
<i>Proc.</i>	Processus
<i>PSU</i>	Processus styloideus ulnae
<i>TFC</i>	triangular fibrocartilage discus (Discus articularis)
<i>TFCC</i>	triangular fibrocartilage complex (triangulärer fibrocartilaginärer Komplex)

Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: RECHTE ULNA UND RADIUS VON VENTRAL (AUS WALDEYER AND FANGHÄNEL, 2009).....	2
ABB. 2: MUSKELANSÄTZE IM BEREICH DES DISTALEN UNTERARMS VON VENTRAL (AUS GRAY ET AL., 1918).....	3
ABB. 3: ANATOMIE DES DISTALEN RADIOULNARGELENKS (AUS TSAI AND PAKSIMA, 2009).	4
ABB. 4: AO KLASSIFIKATION NACH MÜLLER FÜR FRAKTUREN DES DISTALEN UNTERARMS (AUS MÜLLER ET AL., 2014).....	6
ABB. 5: UNTERTEILUNG DER AO KLASSIFIKATION NACH MÜLLER FÜR DISTALE UNTERARMFRAKTUREN (AUS MÜLLER ET AL., 2014).	7
ABB. 6: DIE VERWENDETEN PLATTEN JEWEILS FÜR DIE RECHTE SEITE. ANSICHT VON OBEN (LI.) UND UNTEN (RE.).	12
ABB. 7: DIE VERWENDETEN PLATTEN JEWEILS FÜR DIE RECHTE SEITE. ANSICHT VON SCHRÄG VORNE (LI.) UND SCHRÄG HINTEN (RE.).	12
ABB. 8: ACU-LOC VDU PLATTE VON ACUMED AN EINER ULNA ANGELEGT.....	13
ABB. 9: HUSD PLATTE VON HOFER AN EINER ULNA ANGELEGT.....	13
ABB. 11: DUL PLATTE VON ITS AN EINER ULNA ANGELEGT.....	14
ABB. 12: WINKELSTABILE DISTALE ULNAPLATTE VON KÖNIGSEE AN EINER ULNA ANGELEGT.....	15
ABB. 13: LCP PLATTE VON SYNTHES AN EINER ULNA ANGELEGT.....	15
ABB. 14: VERMESSUNG DES KNICKES DER MARGO ANTERIOR (LI.) UND ABSTAND DER DÜNNSTENS STELLE VOM GELENKSPALT (RE.).....	17
ABB. 15: VERMESSUNG VON ABSTAND DES BEGINNS DER STEIGUNG DER FACIES ANT. ZUM GELENKSPALT (LI.) UND WINKEL VON FACIES ANT. AUF FACIES MED. AN DIESER STELLE (RE.).....	17
ABB. 16: VERMESSUNG DES CAPUT ULNAE IN A.P. (RE.) UND LATERAL (LI.).	17
ABB. 17: VERMESSUNG DER DÜNNSTEN STELLE DES LATERALEN QUERSCHNITTES IN A.P. (RE.) UND LATERAL (LI.).	18
ABB. 18: VERMESSUNG DES ABSTANDES VON DISTALEM RADIALEM PLATTENENDE ZUM GELENKSPALT (LI.) UND ABSTAND DES DISTALEN ULNAREN SCHRAUBENLOCHES ZUM KNOCHEN (RE.).	18

ABB. 19: MESSPUNKTE AN DEN PLATTEN.....	19
ABB. 20: DARSTELLUNG DER MITTELWERTE DER ANATOMISCHEN VERMESSUNG DER ULNA.....	22
ABB. 21: DARSTELLUNG DER MINIMA UND MAXIMA DER ANATOMISCHEN VERMESSUNG DER RECHTEN UND LINKEN ULNA.....	22
ABB. 22: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER ERHOBENEN MITTELWERTE DER EINZELNEN PLATTEN AN DEN VERSCHIEDENEN MESSPUNKTEN FÜR DIE RECHTE SEITE (NACH ABZUG DER PLATTENSTÄRKEN).....	32
ABB. 23: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER ERHOBENEN MITTELWERTE DER EINZELNEN PLATTEN AN DEN VERSCHIEDENEN MESSPUNKTEN FÜR DIE LINKE SEITE (NACH ABZUG DER PLATTENSTÄRKEN).....	32

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: BEHANDLUNGSMÖGLICHKEITEN UND DEREN INDIKATION BEI 23-A1 FRAKTUREN (NACH FRICKER ET AL., N.D.).....	8
TABELLE 2: MESSPUNKTE UND DEREN DEFINITION FÜR DIE ANATOMISCHE VERMESSUNG DER ULNAPRÄPARATE.	16
TABELLE 3: MESSPUNKTE AN DEN PLATTEN UND DEREN DEFINITION.	19
TABELLE 4: MESSERGEBNISSE FÜR DIE RECHTE ULNA..	20
TABELLE 5: MESSERGEBNISSE FÜR DIE LINKE ULNA.....	21
TABELLE 6: SIGNIFIKANZNIVEAUS BEI 2-SEITIGER TESTUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE RECHTE ULNA GEGEN DIE DER LINKEN..	21
TABELLE 7: MESSWERTE DER HUSD PLATTE VON HOFER FÜR DIE RECHTE SEITE.....	23
TABELLE 8: MESSWERTE DER HUSD PLATTE VON HOFER FÜR DIE LINKE SEITE..	24
TABELLE 9: SIGNIFIKANZWERTE BEI 2-SEITIGER TESTUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE RECHTE HOFER PLATTE GEGEN DIE LINKE.....	24
TABELLE 10: MESSWERTE DER LCP PLATTE VON SYNTHES FÜR DIE RECHTE SEITE	25
TABELLE 11: MESSWERTE DER LCP PLATTE VON SYNTHES FÜR DIE LINKE SEITE..	25
TABELLE 12: SIGNIFIKANZ-WERTE BEI 2-SEITIGER TESTUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE RECHTE SYNTHES PLATTE GEGEN DIE LINKE.	25
TABELLE 13: MESSWERTE DER WINKELSTABILEN ULNA PLATTE VON KÖNIGSEE FÜR DIE RECHTE SEITE.....	26
TABELLE 14: MESSWERTE DER WINKELSTABILEN ULNA PLATTE VON KÖNIGSEE FÜR DIE LINKE SEITE.	26
TABELLE 15: SIGNIFIKANZ-WERTE BEI 2-SEITIGER TESTUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE RECHTE KÖNIGSEE PLATTE GEGEN DIE LINKE.	27
TABELLE 16: MESSWERTE DER DUL PLATTE VON ITS FÜR DIE RECHTE SEITE.	28
TABELLE 17: MESSWERTE DER DUL PLATTE VON ITS FÜR DIE LINKE SEITE.....	28
TABELLE 18: SIGNIFIKANZ-WERTE BEI 2-SEITIGER TESTUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE RECHTE ITS PLATTE GEGEN DIE LINKE.....	29
TABELLE 19: MESSWERTE DER ACU-LOC PLATTE VON ACUMED FÜR DIE RECHTE SEITE.	29
TABELLE 20: MESSWERTE DER ACU-LOC PLATTE VON ACUMED FÜR DIE LINKE SEITE..	30

TABELLE 21: SIGNIFIKANZ-WERTE BEI 2-SEITIGER TESTUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE RECHTE ACUMED PLATTE GEGEN DIE LINKE.	30
TABELLE 22: ÜBERSICHT ÜBER DIE MITTELWERTE ALLER MESSPUNKTE NACH ABZUG DER JEWEILIGEN PLATTENSTÄRKE.....	31
TABELLE 23: ZUTEILUNG DER AM EHESTEN GEEIGNETEN PLATTEN FÜR DIE UNTERSCHIEDLICHEN FRAKTURTYPEN.	34

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Zielsetzung

Frakturen der distalen Ulna werden zumeist nur als Begleitverletzung der distalen Radiusfraktur wahrgenommen. Während in der Literatur diesbezüglich der optimalen Versorgung von Radiusfrakturen viel Aufmerksamkeit zukommt, liegt der Grund für einen schlechten Outcome oft in der insuffizienten Versorgung von Begleitverletzungen des distalen Radioulnargelenks (Tsai and Paksima, 2009). Gerade deswegen kommt Frakturen der distalen Ulna besondere Bedeutung zu, da die suffiziente Versorgung einen wesentlichen Beitrag zum Gesamt-Outcome leistet. So sollte bei kombinierten distalen Unterarmfrakturen die Ulnafraktur bei relevanter Instabilität der Ulna nach Radiusosteosynthese stets osteosynthetisch mitversorgt werden, um die Kongruenz der radioulnaren Gelenkfläche zu gewährleisten und die mechanische Stabilität der Radius-Osteosynthese nicht zu gefährden (Towfigh et al., 2011). Ein Abriss des Processus styloideus ulnae (PSU) kommt bei bis zu etwa der Hälfte aller distalen Radiusfrakturen vor (Gaulke et al., 2015) und beeinflusst in Abhängigkeit der Stabilität des distalen Radioulnargelenks das Outcome der Radiusfraktur negativ (Stoffelen et al., 1998; Sammer et al., 2009). Die klinische Erfahrung zeigt jedoch, dass gängige Plattensysteme für die distale Ulna oftmals eine schlechte anatomische Passform aufweisen und durch die Reposition des gebrochenen Knochens an die Plattenform die natürliche Anatomie verändert wird.

Diese Arbeit untersucht daher die anatomischen Gegebenheiten der distalen Ulna in Hinblick auf die Frakturbehandlung mittels Plattenosteosynthese und die anatomische Passgenauigkeit von gängigen Plattensystemen für die distale Ulna. Es sollen Rückschlüsse gezogen werden, welche Platten für welche Art von Frakturen geeignet sind und gegebenenfalls die Grundlagen für die Entwicklung einer neuen Platte geschaffen werden.

1.2 Anatomie der distalen Ulna

1.2.1 Knöcherne Strukturen der distalen Ulna

Das Corpus ulnae besteht aus drei Flächen und drei Kanten. Der Margo anterior beginnt unterhalb des medialen Anteils des Processus coronoideus und verläuft sich distal zum ventralen Processus styloideus ulnae hin. Sie trennt die Facies

anterior und medialis. Der Margo posterior verläuft dorsal von unterhalb des Olecranon bis hin zum dorsalen Proc. styloideus ulnae und trennt die Facies medialis von der Facies posterior. Der Margo interosseus beginnt distal der Crista musculi supinatoris und zieht zum lateralen Caput ulnae. Er trennt die Facies anterior und posterior. An ihm ist die Membrana interossea aufgespannt. Die Facies anterior ist in ihrem distalen Viertel konkav und vom Musculus pronator quadratus bedeckt. Das proximale Ende des Ursprungs des M. pronator quadratus wird durch eine schräg nach distal und medial verlaufende Kante begrenzt. Die Facies posterior ist am distalen Ende abgerundet und glatt und geht in den Proc. styloideus ulnae über. Die Facies medialis ist im distalen Anteil konvex und verläuft im letzten Viertel subcutan. Das so prismatisch geformte Corpus ulnae geht etwa 1-2 cm vor dem distalen Ende in einen runden Querschnitt über. Das distale Ende der Ulna wird durch zwei Strukturen gebildet. Das lateral liegende runde Caput ulnae ist mit der Circumferentia articularis Teil des Radioulnargelenks und artikuliert nach lateral mit dem Radius und nach distal mit den Handwurzelknochen. Der medial liegende Processus styloideus ulnae entspringt von posteromedial und liegt extraartikulär (Gray et al., 1918; Waldeyer and Fanghänel, 2009).



Abb. 1: Rechte Ulna und Radius von ventral (aus Waldeyer and Fanghänel, 2009).

1.2.2 Muskeln und Sehnen im Bereich der distalen Ulna

Im distalen Viertel der Ulna entspringt der Musculus pronator quadratus entlang der zuvor beschriebenen Kante auf der Facies anterior. Er zieht von dort zum Radius und liegt der distalen Ulna direkt auf. Die Sehne des Musculus flexor carpi ulnaris verläuft am distalen Unterarm anteromedial am Caput ulnae vorbei und inseriert am Os pisiforme. Von dort laufen die Fasern weiter über den Hamulus ossis hamati hin zur Basis des fünften Metacarpale. Der Musculus extensor carpi ulnaris zieht mit seiner Sehne auf der Dorsalseite der Ulna zwischen Processus styloideus ulnae und Caput ulnae zur Basis des Os metacarpale V. Direkt radial

davon verläuft die Sehne des Musculus extensor digiti minimi, um an der Dorsalaponeurose des fünften Fingers zu inserieren (Gray et al., 1918; Schulte et al., 2007).

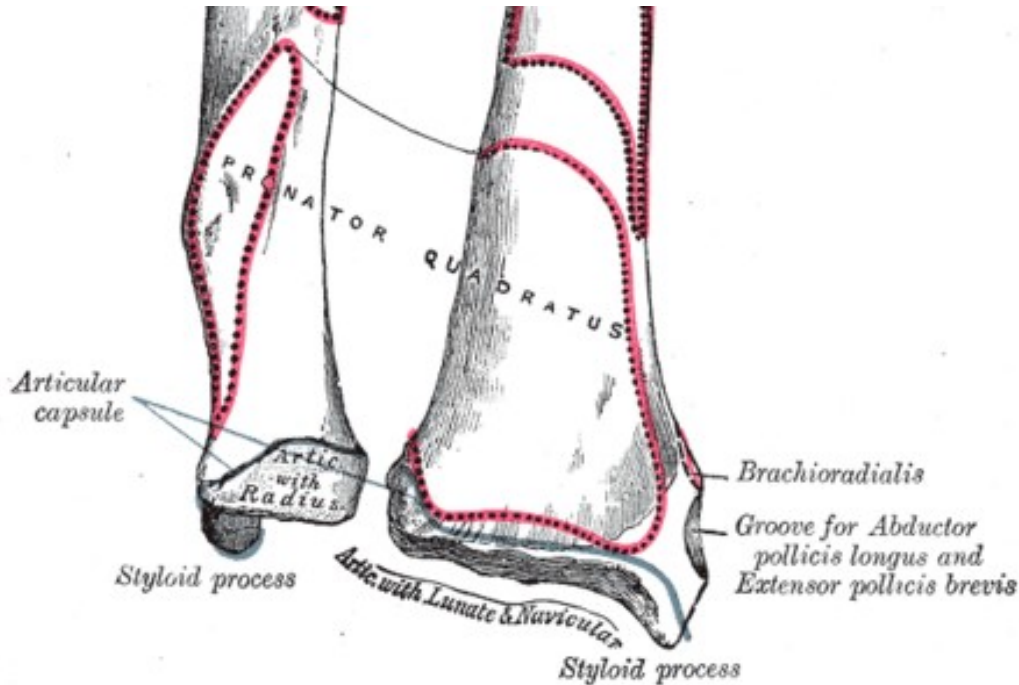


Abb. 2: Muskelansätze im Bereich des distalen Unterarms von ventral (aus Gray et al., 1918).

1.2.3 Nerven im Bereich der distalen Ulna

Der Nervus ulnaris erscheint zwischen den beiden Köpfen des M. flexor carpi ulnaris auf der Beugeseite des Unterarms. Dort zieht er zusammen mit dem M. flexor carpi ulnaris als Leitmuskel über die distale Ulna in die Guyon-Loge. Von besonderem Interesse bei der Versorgung von distalen Ulna -Frakturen ist hierbei der sensible Ramus dorsalis nervi ulnaris, der etwa 5 cm proximal des Handgelenks abgeht und zur Dorsalseite zieht um dort die ulnaren 2 ½ Finger zu versorgen. Er verläuft hierbei von proximal ventral nach dorsal distal zwischen den Sehnen des M. flexor carpi ulnaris und des M. extensor carpi ulnaris (Waldeyer and Fanghänel, 2009; Schulte et al., 2007). Damit läuft er schräg über die Schnittführung für den operativen Zugang zur distalen Ulna.

1.2.4 Das distale Radioulnargelenk

Im distalen Radioulnargelenk (DRUJ) artikuliert die Circumferentia articularis der Ulna mit der Incisura ulnaris des Radius. Es handelt sich um ein Radgelenk, das Umwendbewegungen des Radius um die Ulna ermöglicht. Zwischen Proc.

styloideus ulnae und ulnarer Radiuskante spannt sich der Discus articularis auf, der die Ulna von den Handwurzelknochen trennt. Von diesem Discus articularis verläuft die schlaaffe Gelenkskapsel zu den Knorpelrändern und bildet zwischen Radius und Ulna den Recessus sacciformis, der als Reservefalte für die Umwendbewegungen dient (Waldeyer and Fanghänel, 2009).

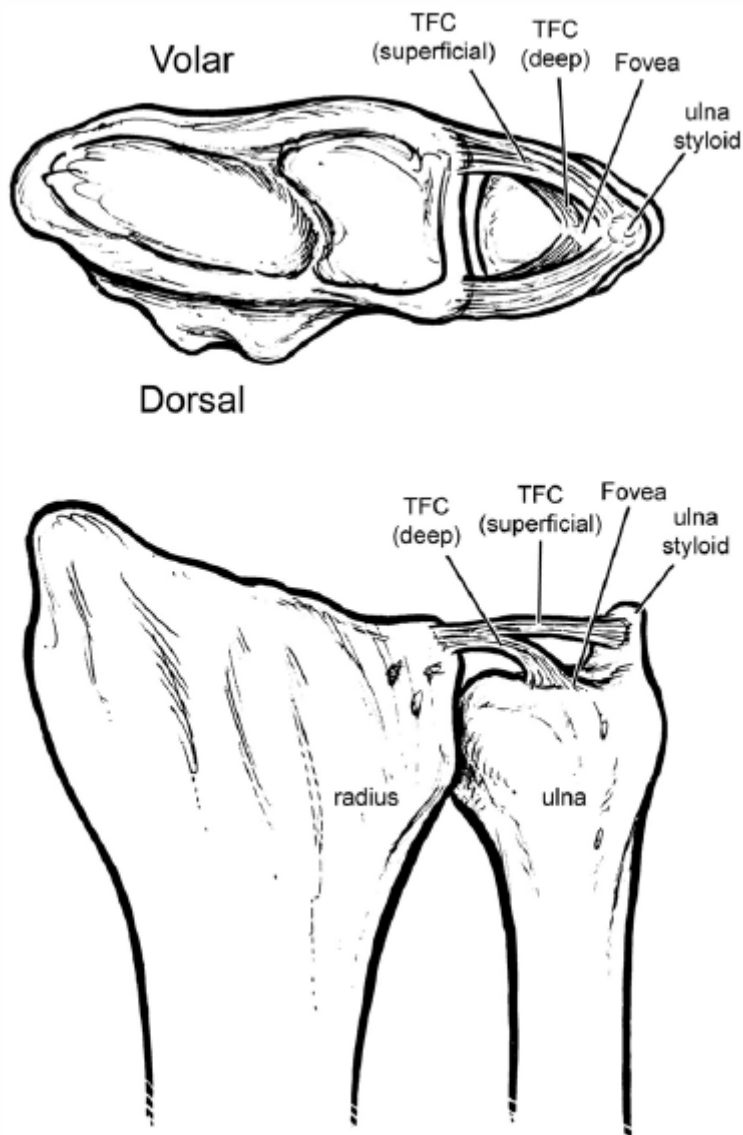


Abb. 3: Anatomie des distalen Radioulnargelenks (aus Tsai and Paksima, 2009).

Die beiden Gelenksflächen erreichen nur in Semipronationsstellung weitestgehend Kongruenz (Schulte et al., 2007). Die flachere Konkavität des Radius im Gegensatz zur Konvexität der Ulna ermöglicht daher eine Translationsbewegung der Ulna bei Supination und Pronation. So wandert die Ulna bei Supination im Mittel bis zu 5,4 mm nach volar, bei Pronation 2,8 mm nach dorsal. In der Folge beträgt das Bewegungsausmaß im DRUJ etwa 150°, während das

Bewegungsausmaß der Hand etwa 180° erreicht (Tsai and Paksima, 2009). Die Stabilität des DRUJ wird durch extrinsische und intrinsische Faktoren erreicht. Intrinsisch wird das DRUJ durch den Discus articularis, die dorsalen und volaren radioulnaren Bänder, die Gelenkkapsel und das Lig. collaterale carpi ulnare stabilisiert. Die extrinsische Stabilität wird durch statische und dynamische Kräfte erreicht. Hierzu gehören Teile der Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris, die Membrana interossea und der M. pronator quadratus, welche das Caput ulnae aktiv in die Incisura ulnaris radii pressen, sowie die Flexoren und Extensoren des Unterarms, die das DRUJ dynamisch komprimieren (Tsai and Paksima, 2009).

1.2.5 Der trianguläre fibrocartilaginäre Komplex (TFCC)

Erstmals beschrieben 1981 von Andrew K. Palmer und Frederick W. Werner gilt der TFCC heute als wichtige Struktur des Handgelenks und wurde vielfach untersucht. Er wird zusammengesetzt aus: Discus articularis, Lig. radioulnare palmare und dorsale, Lig. ulnolunatum, Lig. ulnotriquetrum, Lig. ulnocapitatum, Meniscus ulnocarpalis, Recessus ulnaris, Lig. collaterale carpi ulnare und der Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris (Schmidt, 2004). Während die ersten Untersuchungen vermuten ließen, dass der TFCC als Dämpfer für den ulnaren Carpus und Hauptstabilisator des DRUJ fungiert (Palmer and Werner, 1981), herrscht heute Konsens darüber, dass der TFCC das ulnocarpale Gelenk und das DRUJ stabilisiert, wirkende Kräfte vom Carpus auf die Ulna übermittelt und verteilt und komplexe Bewegungen des Handgelenks erlaubt (Nakamura et al., 1996). Verletzungen des TFCC können daher zu Instabilität im DRUJ und persistierenden Beschwerden führen. Gerade Frakturen an der Basis des Proc. styloideus ulnae sind verdächtig auf TFCC-Läsionen (Greene and Wolfe, 2011).

1.3 Frakturen der distalen Ulna

Isolierte Frakturen der distalen Ulna sind eher selten und kommen meist als Abwehrverletzungen vor. Diese sogenannten Parierfrakturen oder Nightstick Fractures betreffen typischerweise den Ulnaschaft, können aber auch am distalen Ende vorkommen. Auch bei Traumata des Handgelenks ohne Fraktur des Radius sind isolierte Frakturen des PSU und der distalen Ulna in Kombination mit Verletzungen der Bandstrukturen möglich. Wesentlich häufiger dagegen sind Frakturen der distale Ulna im Rahmen einer distalen Radiusfraktur, der häufigsten Fraktur beim Menschen. So treten begleitende Brüche der distalen Ulna

(ausgenommen isolierte Frakturen des PSU) in 5-10% der distalen Radiusfrakturen auf (Walz et al., 2006; May et al., 2002), während Frakturen des PSU bei etwa der Hälfte aller distalen Radiusfrakturen zu finden sind (Gaulke et al., 2015; May et al., 2002). Besonders zu erwähnen ist hierbei, dass es bei ca. einem Viertel dieser PSU Frakturen zu keiner suffizienten Frakturheilung kommt (Hauck et al., 1996).

1.3.1 Klassifikation

Entsprechend der Müller Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese (AO) werden Frakturen des distalen Unterarms in drei Gruppen eingeteilt (23 A, 23 B, 23 C). Die Gruppe A beschreibt extraartikuläre Frakturen, Gruppe B partiell artikuläre Frakturen und Gruppe C vollständig artikuläre Frakturen (Müller et al., 2014). Während Begleitverletzungen der Ulna bei allen Gruppen möglich sind, beinhaltet Gruppe A1 Frakturen der distalen Ulna bei intaktem Radius. Die Gruppe A1 unterteilt sich dabei weiter in A1.1 für den PSU, A1.2 für metaphysäre einfache und A1.3 für metaphysär mehrfragmentäre Frakturen (s. Abb. 4 & 5).

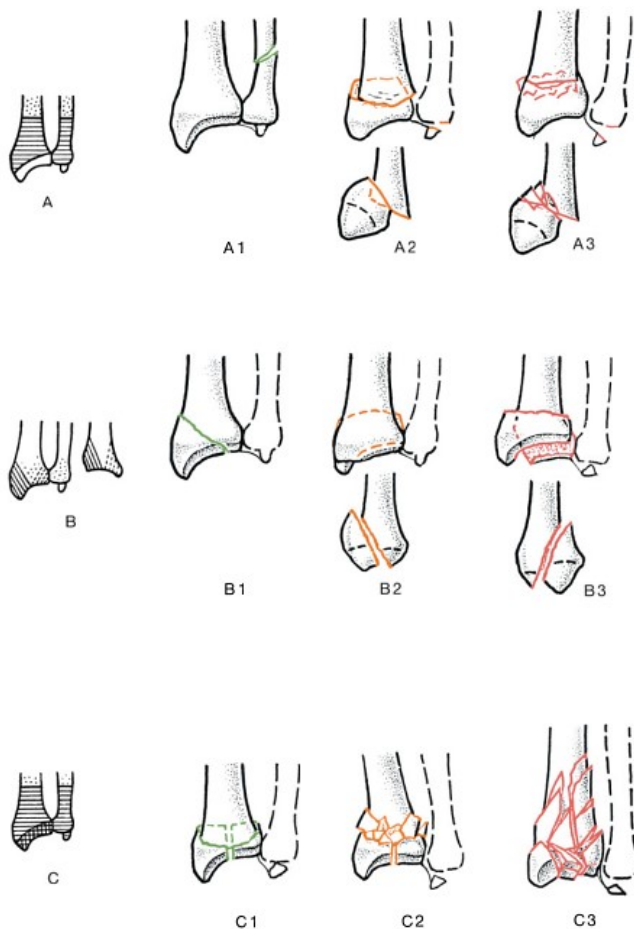


Abb. 4: AO Klassifikation nach Müller für Frakturen des distalen Unterarms (aus Müller et al., 2014). Zur genauen Definition vgl. Abb.2.

23- Radius/Ulna distal

A = Extraartikuläre Fraktur

- A1 Extraartikuläre Fraktur **der** Ulna, Radius intakt
 - .1 Processus styloideus
 - ② metaphysär einfach
 - .3 metaphysär mehrfragmentär
- A2 Extraartikuläre Fraktur des Radius, einfach und impaktiert
 - .1 ohne Fehlstellung
 - ② mit dorsaler Fehlstellung (Pouteau-Colles)
 - .3 mit volarer Fehlstellung (Goyrand-Smith)
- A3 Extraartikuläre Fraktur des Radius, mehrfragmentär
 - .1 impaktiert mit axialer Verkürzung
 - ② mit Keil
 - .3 komplex



23-

B = Partiell artikuläre Fraktur

- B1 Partiell artikuläre Fraktur des Radius, sagittal
 - ① lateral einfach
 - .2 lateral mehrfragmentär
 - .3 medial
- B2 Partiell artikuläre Fraktur des Radius, dorsale Kante (Barton)
 - ① einfach
 - .2 mit lateraler sagittaler Fraktur
 - .3 mit dorsaler Dislokation **der** Handwurzel
- B3 Partiell artikuläre Fraktur des Radius, volare Kante (reverse Barton, Goyrand-Smith II)
 - .1 einfach, mit einem kleinen Fragment
 - ② einfach, mit einem großen Fragment
 - .3 mehrfragmentär

C = Vollständig artikuläre Fraktur

- C1 Vollständig artikuläre Fraktur des Radius, artikulär einfach, metaphysär einfach
 - .1 mit posteromedialen Fragment
 - ② mit sagittal verlaufender Frakturlinie
 - .3 mit frontal verlaufender Frakturlinie
- C2 Vollständig artikuläre Fraktur des Radius, artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär
 - ① mit sagittal verlaufender Frakturlinie
 - .2 mit frontal verlaufender Frakturlinie
 - .3 in die Diaphyse reichend
- C3 Vollständig artikuläre Fraktur des Radius, mehrfragmentär
 - .1 metaphysär einfach
 - .2 metaphysär mehrfragmentär
 - ③ in die Diaphyse reichend

Abb. 5: Unterteilung der AO Klassifikation nach Müller für distale Unterarmfrakturen (aus Müller et al., 2014).

1.3.2 Therapeutische Möglichkeiten

Bei der Entscheidung über das therapeutische Regime müssen mehrere Faktoren bedacht werden. Neben der Klassifikation ist der klinische Untersuchungsbefund,

etwaige Begleitverletzung und auch der Zustand und Anspruch des/der Patienten/in entscheidend. Für 23-A1.1 Frakturen kann bei stabilem Handgelenk und DRUJ eine konservative Therapie im Gips erfolgen, ist die Fraktur instabil sollte bei kleinen Fragmenten eine Zuggurtungsosteosynthese und bei großen Fragmenten die Versorgung mittels Schraube angestrebt werden. Auch bei 23-A1.2 Frakturen ist die Versorgung im Gips möglich, sofern die Fraktur stabil und nicht disloziert ist. Bei instabilen Frakturen gilt die Plattenosteosynthese als Mittel der Wahl. Bei schräg oder spiralförmig verlaufenden Frakturen sollte zusätzlich zur Platte eine Kompressionsschraube eingebracht werden. Die konservative Therapie bei 23-A1.3 Frakturen sollte nur noch bei Patienten/innen erfolgen, deren Allgemeinzustand ein zu hohes OP-Risiko birgt oder deren Anspruch sehr niedrig ist. Bei allen anderen ist die Plattenosteosynthese indiziert (Fricker et al., n.d.). Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Verfahren und deren Indikation.

Fraktur	Therapie	Indikation
A1.1	Konservativ im Gips	Handgelenk und DRUJ stabil
	Zuggurtung	Instabil, kleines Fragment
	Schraubenosteosynthese	Instabil, großes Fragment
A1.2	Konservativ im Gips	Stabil, nicht disloziert
	Plattenosteosynthese	Instabil, schräge oder Spiralfaktur
	Plattenosteosynthese + Schraube	Instabil, Querfraktur oder kurze schräge Fraktur
A1.3	Konservativ im Gips	Patient/in nicht OP-tauglich oder niedriger Anspruch
	Plattenosteosynthese	alle

Tabelle 1: Behandlungsmöglichkeiten und deren Indikation bei 23-A1 Frakturen (nach Fricker et al., n.d.).

1.3.3 Bedeutung der Osteosynthese bei kombinierten Radius und Ulna Frakturen

Die Versorgung der Ulna bei kombinierten Frakturen leistet einen wesentlichen Beitrag zum Outcome. Nicht versorgte instabile Ulna Frakturen gefährden die Stabilität und erhöhen das Risiko einer insuffizienten Frakturheilung und persistierender Beschwerden im DRUJ. So berichteten Biyani et al. über 320 distale Radiusfrakturen von denen 6% eine nicht versorgte begleitende Fraktur

von Ulnakopf oder -hals aufwiesen. Von diesen Frakturen zeigten 46% im Follow-up Abnormitäten des DRUJ und nur in 60% konnte ein gutes oder sehr gutes Gesamtergebnis festgestellt werden (Biyani et al., 1995; Ring et al., 2004). Die Plattenosteosynthese bietet hier eine gute Methode der Versorgung der Ulna. Dennison zeigte für die Plattenosteosynthese der begleitenden Ulnafraktur gute Frakturheilung in allen Fällen, gute Beweglichkeit und Griffstärke bei minimaler Mortalität (Dennison, 2007). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Ring et al. bereits 2004, die ebenfalls gute bis sehr gute Ergebnisse mit der Plattenosteosynthese der distalen Ulna erzielten. Keine/r der eingeschlossenen Patienten/innen klagte im Verlauf über Beschwerden bezüglich der Funktionalität des DRUJ (Ring et al., 2004).

1.3.4 DRUJ-Instabilitäten

Die distale Ulna bildet zusammen mit dem TFCC und dem DRUJ ein komplexes System zur Stabilisierung des Handgelenks. Störungen in diesem Gefüge führen schnell zu Beschwerden und besonders Frakturen im Bereich der distalen Ulna gehen häufig mit Instabilitäten im DRUJ einher. So haben Patienten/innen mit distalen Radiusfrakturen ein signifikant höheres Risiko akute oder chronische Instabilitäten im DRUJ zu entwickeln, wenn der PSU ebenfalls frakturiert ist. Sowohl die Größe des PSU Fragments als auch das Ausmaß der Dislokation sind dabei signifikante Risikofaktoren. Basisnahe PSU Abrisse und stark dislozierte Frakturen haben die höchste Inzidenz an DRUJ-Instabilitäten (May et al., 2002). Während begleitende Frakturen der distalen Ulna das Risiko erhöhen eine Instabilität zu entwickeln, scheint die anzunehmende Schädigung der Weichteile bei dislozierten Radiusfrakturen allein kein gesondertes Risiko darzustellen. Ursächlich dafür könnte das von Noda et al. beschriebene distale Querbündel der Membrana interossea sein, das vom distalen Sechstel der Ulna zum Unterrand der Incisura ulnaris radii läuft (Noda et al., 2009; Jupiter, 2009). Ohne Zerreißung dieses Bündels scheint es zu keiner wahren Instabilität im DRUJ zu kommen (Jupiter, 2009). Wichtig ist also die klinische Beurteilung der DRUJ Instabilität. Die lange anerkannte Methode hierfür ist Dorsal- und Volarstress der Ulna bei Vergleich zum unverletzten DRUJ. Diese scheint jedoch ungeeignet, da der Test subjektiv ist und nach einem entsprechenden Trauma mit Zerrung der Bänder eine gewisse Instabilität anzunehmen ist. Daher sollte nach der Plattenosteosynthese

des Radius die Ulna intraoperativ gegen den Radius gepresst werden während die Hand rotiert wird. Ist hier ein Schnappen tastbar, spricht dies für tatsächliche Instabilität (Jupiter, 2009).

1.3.5 Auswirkungen von Verletzungen auf die Biomechanik des DRUJ

Die Bedeutung einer anatomisch korrekten Osteosynthese wird deutlich wenn man die Auswirkungen von strukturellen Veränderungen des DRUJ auf die Biomechanik betrachtet. Zusätzlich zu der unter 1.2.4 beschriebenen Translationsbewegung der Ulna bei Pro- und Supination, kommt es außerdem zu einer Bewegung der Ulna nach distal bei Pronation und bei Supination nach proximal. Diese Lageveränderungen des Ulnakopfes bei Umwendbewegungen des Handgelenks führen zu einer Wanderung der Unterarmachse nach lateral (Palmer and Werner, 1984). Die Tatsache, dass es sich bei Umwendbewegungen des Handgelenks nicht nur um eine Rotation des Radius um eine statische Ulna handelt, erklärt den deutlichen Einfluss von Veränderungen der natürlichen Anatomie auf die Beweglichkeit des DRUJ. So kommt es bei einer Annäherung des Radius an die Ulna im DRUJ um 5mm zu einem Verlust von 23% des möglichen Pronationswinkels (Bronstein et al., 1997). Die Lage der Strukturen des DRUJ beeinflusst neben der Beweglichkeit auch die Kraftverteilung von auf den Unterarm wirkenden Kräften. Bei intakter Anatomie kommt es zu einer Aufteilung der axial auf den Unterarm wirkenden Kräfte von etwa 80% auf den Radius und 20% auf die Ulna. Veränderungen der Ulnalänge beeinflussen dieses Verhältnis dramatisch. So kommt es bei einer Verkürzung der Ulna um nur 2,5mm zu einem Abfallen der von der Ulna getragenen Kraft auf 4%. Bei einer Verlängerung der Ulna um 2,5mm erhöht sich die wirkende Kraft auf 42% (Palmer and Werner, 1984). Diese Erkenntnisse verdeutlichen die Komplexität der Biomechanik des DRUJ und die Wichtigkeit nach Verletzungen des distalen Unterarms die Anatomie möglichst naturgemäß wiederherzustellen.

2 Material und Methoden

Untersucht wurden 50 nach der Methode nach Thiel konservierte Handgelenk-Präparate des Anatomischen Institutes der Medizinischen Universität Graz. Das Verhältnis rechts zu links betrug 25/25. Eine geschlechtsspezifische Unterscheidung war nicht möglich, da die Präparate bereits vorpräpariert und vom restlichen Körper getrennt waren. Da die zu untersuchenden Platten jedoch ebenfalls keine Geschlechterspezifikation aufweisen, war eine Unterscheidung auch nicht notwendig. Ausgeschlossen wurden Präparate mit stattgehabten Frakturen im Bereich des distalen Unterarms oder sonstigen offensichtlichen Deformitäten. Die Vermessung der Präparate und der Platten erfolgte händisch mit Hilfe eines handelsüblichen Digitalmessschiebers, eines digitalen Winkelmessers und eines Plurimeters zur Bestimmung der Torquierung. Der Messschieber wurde modifiziert, um die Abstandsmessung durch die Schraubenlöcher hindurch zu ermöglichen. Der Durchschub wurde hierzu mit einer Feile verschmälert. Vermessen wurden die Präparate zunächst ohne anliegende Platte um Mittelwerte für eine Standardulna zu erhalten. Anschließend erfolgte die Untersuchung mit anliegender Platte für jeweils rechts und links mit 5 verschiedenen Platten unterschiedlicher Hersteller. Verwendet wurden die Platten AcuLoc VDU re/li lang von Acumed (*Acumed, Hillsboro, OR, USA*), Distal Ulna Locking Plate „DUL“ 6-Loch re/li von ITS (*ITS GmbH, Lassnitzhöhe, A*), winkelstabile distale Ulnaplatte 4/3 Loch re/li von Königsee (*Königsee Implantate GmbH, Allendorf, D*), LCP Distal Ulna Plate 2.0 7-Loch von Synthes (*Synthes GmbH, Oberdorf, CH*) und Hofer Ulnare Platte distal „HUSd“ 6/4-Loch re/li (*Hofer GmbH & Co KG, Fürstenfeld, A*). Die Platten wurden nach Herstellervorgaben so angelegt, dass der Plattenschaft möglichst am Ulnaschaft anlag, jedoch nicht angeformt, um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den formbaren und nicht-formbaren Platten zu erreichen. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS Statistics (*IBM Corporation, Armonk, NY, USA*) sowie Microsoft Excel (*Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA*). Die Überprüfung erfolgte mittels t-Test für normalverteilte und Mann-Whitney-U-Test für nicht-normalverteilte Messpunkte. Normalverteilung und Varianzgleichheit wurden mittels Kolmogorov-Smirnov- bzw. Levene-Test überprüft.

2.1 Die Osteosyntheseplatten

Mit Ausnahme der LCP Distal Ulna Plate 2.0 von Synthes stehen von allen Platten unterschiedliche Ausführungen für rechts und links zur Verfügung. Alle Platten sind speziell für die distale Ulna entwickelt und vorgeformt und sind bereits in klinischer Verwendung.



Abb. 6: Die verwendeten Platten jeweils für die rechte Seite. Von links nach rechts: ITS, Königsee, Acumed, Hofer, Synthes. Ansicht von oben (li.) und unten (re.).



Abb. 7: Die verwendeten Platten jeweils für die rechte Seite. Ansicht von schräg vorne (li.) und schräg hinten (re.). Von außen nach innen: Synthes, Hofer, Acumed, Königsee, ITS.

2.1.1 Acumed Acu-Loc VDU Plate

Die Acu-Loc VDU Plate steht in einer Standard und einer langen Ausführung zur Verfügung. In dieser Arbeit wurde lediglich die lange Version verwendet. Die Platte zeigt am distalen Ende vier Schraubenlöcher für winkelstabile Schrauben, sowie zwei Löcher für die K-Draht Fixierung. Am Schaft befinden sich drei nicht-winkelstabile Schraubenlöcher, zwei Langlöcher und drei K-Draht Löcher (vgl. Abb. 6 & 7). Die gemessene Plattenstärke betrug 2mm. Die Platte ist speziell für periartikuläre Frakturen der distalen Ulna entwickelt und soll mit den distalen Schrauben Fragmente des Ulnakopfes und -halses fassen. Als Indikation für diese Platte werden distale Ulnaschaft-Frakturen, Ulnahals-Frakturen und

periartikuläre Ulnakopf-Frakturen angegeben (Acumed, 2012). Die Platte wird auf die Volarseite der Ulna angelegt und so positioniert, dass die distalen 4 Schrauben im Caput ulnae zum Liegen kommen. Besonders zu beachten ist, dass die Platte gerade proximal des DRUJ positioniert wird, um Impingement bei Supination und Pronation zu vermeiden (Acumed, 2012).



Abb. 8: Acu-Loc VDU Platte von Acumed an einer Ulna angelegt.

2.1.2 Hofer Ulnare Platte distal „HUSd“

Die HUSd Platte existiert in je einer Ausführung für links und für rechts. Die hier benutzte Standardausführung zeigt sechs Schraubenlöcher im Kopfteil und drei multidirektional winkelstabile Schraubenlöcher im Schaft, sowie ein Langloch (vgl. Abb. 6 & 7). Die Plattenstärke beträgt 2 mm (Hofer GmbH & Co KG, 2011). Da keine Anleitung zur OP-Technik vorliegt, erfolgte das Anlegen der Platten nach Rücksprache und Anweisung eines erfahrenen Operateurs. Die Platte wurde so auf die Dorsalseite der Ulna angelegt, dass der Plattenschaft am Ulnaschaft anlag und die distalen zwei Schrauben im Caput ulnae zum Liegen kommen.



Abb. 9: HUSd Platte von Hofer an einer Ulna angelegt.

2.1.3 ITS Distal Ulna Locking Plate „DUL“

Die DUL gibt es in einer breiten und schmalen Ausführung in den Plattenlängen 3, 4 und 6-Loch, für je links und rechts. Die hier verwendete Platte ist die 6-Loch schmal Variante. Sie bietet am Schaft 6 Schraubenlöcher, davon ein Langloch, sowie drei Löcher für die K-Draht-Fixierung. Das distale Ende verläuft gekrümmt nach ulnar und zeigt fünf Schraubenlöcher und ein K-Draht-Loch (vgl. Abb. 6 & 7). Ausgenommen das Langloch sind alle Schraubenlöcher multidirektional winkelstabil. Die Plattenstärke beträgt 2 mm. Das proximale Ende läuft spitz zu und soll das perkutane Einbringen ermöglichen. Die Indikationen für diese Platte sind Frakturen des Ulnakopfes, multifragmentäre Frakturen des Ulnakopfes, subcapitale Frakturen des Ulnakopfes, metaphysäre Trümmerfrakturen der distalen Ulna und kombinierte Ulnakopf- und Ulnaschaftfrakturen (ITS GmbH, 2013). Die Platte wird von volar eingebracht und der Ulnakontur passend angelegt (vgl. Abb. 10).

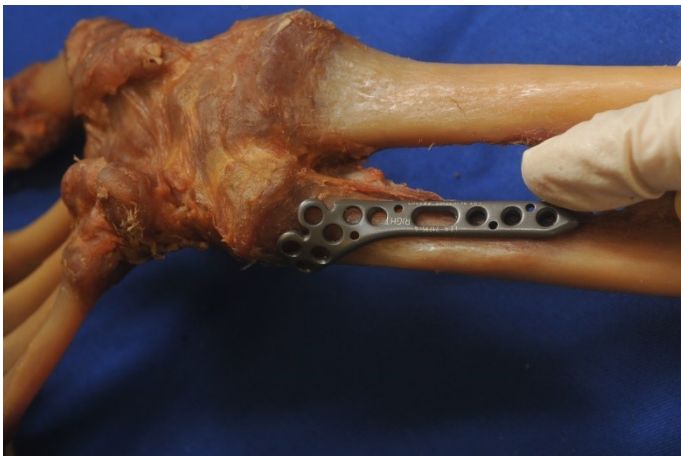


Abb. 10: DUL Platte von ITS an einer Ulna angelegt.

2.1.4 Königsee winkelstabile distale Ulnaplatte

Die Königsee Platte existiert in einer 4/3 und 4/6 Loch Variante (Königsee Implantate GmbH, 2012). Die hier verwendete 4/3 Loch Platte besitzt drei Schenkel. Der proximale Schenkel hat drei Schraubenlöcher, davon ein Langloch. Die beiden distalen Schenkel zeigen jeweils zwei Schraubenlöcher (vgl. Abb. 6 & 7). Die Schraubenlöcher der distalen Schenkel sind winkelstabil besetzbar. Die gemessene Plattenstärke betrug 1,4 mm. Bei fehlender Anleitung bezüglich der OP-Technik, erfolgt das Einbringen der Platte nach Absprache mit einem erfahrenen Operateur. Die Platte wurde dabei von dorsal angelegt, so dass der

radiale distale Schenkel proximal des DRUJ zum Liegen kommt und der proximale Schenkel am Ulnaschaft anlag (vgl. Abb. 11).



Abb. 11: Winkelstabile distale Ulnaplatte von Königsee an einer Ulna angelegt.

2.1.5 Synthes LCP Distal Ulna Plate

Die LCP Platte von Synthes kommt nur in einer Ausführung für sowohl rechts als auch links und ist für capitale und subcapitale Ulnafrakturen indiziert (Synthes GmbH, 2010). Sie zeigt am distalen Ende zwei Haken, die den PSU fassen und als Referenz für die Plattenlage dienen. Proximal der Haken folgen drei Schraubenlöcher, die winkelstabil besetzt werden, die proximalen zwei dieser Löcher werden überkreuzend besetzt, um einen sicheren Halt des Ulnakopfes zu gewährleisten. Die folgenden vier Löcher am Schaft sind kombinierte LCP Löcher, davon ein Langloch (vgl. Abb. 6 & 7). Die Platte ist zwischen den beiden distalen Schraubenlöchern anformbar und die Plattenstärke beträgt 2 mm. Die Platte wird zunächst mit den Haken an der Spitze des PSU eingehakt und anschließend der Plattenschaft an den Ulnaschaft angelegt (Synthes GmbH, 2010). Die Platte liegt somit dorsomedial an der Ulna.



Abb. 12: LCP Platte von Synthes an einer Ulna angelegt.

2.2 Messpunkte

2.2.1 Anatomische Vermessung der Ulna

Zunächst wurde die Ulna ohne Platte anatomisch vermessen. Hierfür wurden 9 Parameter ausgewählt, die an allen Präparaten bestimmt wurden. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Messpunkte.

<u>Messpunkt</u>	<u>Definition</u>	<u>Bild</u>
Knick Margo ant. [°]	Übergang Margo ant. von dorso-ventralem auf ventero-dorsalen Verlauf	Abb. 13
Torquierung [°]	Torquierung Facies ant. im Verlauf im distalen Drittel	-
Anfang Steigung [mm]	Beginn des Anstiegs der Facies ant. nach ventral kurz vor Caput. Entfernung zum Gelenkspalt	Abb. 14
Facies ant. auf med. unmittelbar vor Steigung [°]	Winkel Facies ant. auf Facies med., gemessen an der Margo ant. bei Beginn der Steigung der Facies ant.	Abb. 14
Durchmesser Caput a.p. [mm]	Durchmesser der Circumferencia articularis. Gemessen in a.p.-Richtung	Abb. 15
Durchmesser Caput lat.[mm]	Durchmesser der Circumferencia articularis. Gemessen in Lateral-Richtung	Abb. 15
Durchmesser dünnste Stelle lat. lat.[mm]	Durchmesser der in Lateralrichtung dünnsten Stelle des Schaftquerschnittes. Gemessen in Lateral-Richtung	Abb. 16
Durchmesser dünnste Stelle lat. a.p. [mm]	Durchmesser der in lateralrichtung dünnsten Stelle des Schaftquerschnittes. Gemessen in a.p.-Richtung	Abb. 16
Dünnste Stelle von Gelenksfläche [mm]	Abstand der in Lateralrichtung dünnsten Stelle des Schaftquerschnittes vom Gelenkspalt	Abb. 13

Tabelle 2: Messpunkte und deren Definition für die anatomische Vermessung der Ulnapräparate.

Mit Hilfe eines digitalen Winkelmessers wurde der Knick des Margo anterior gemessen, der etwa am proximalen Ende des distalen Viertels des Schaftes

auftritt. Hier geht der Margo anterior von einem leicht dorso-ventralen in einen ventero-dorsalen Verlauf über (s. Abb. 13).



Abb. 13: Vermessung des Knickes der Margo anterior (li.) und Abstand der dünnsten Stelle vom Gelenkspalt (re.).

Kurz vor dem Übergang des Schaftes zum Caput steigt die Facies anterior nach ventral leicht an. Hier wurde der Abstand zum Gelenkspalt gemessen, sowie der Winkel der Facies anterior auf die Facies medialis (s. Abb. 14). Mit einem Plurimeter wurde die Torquierung der Facies anterior in ihrem Verlauf im distalen Drittel bestimmt.

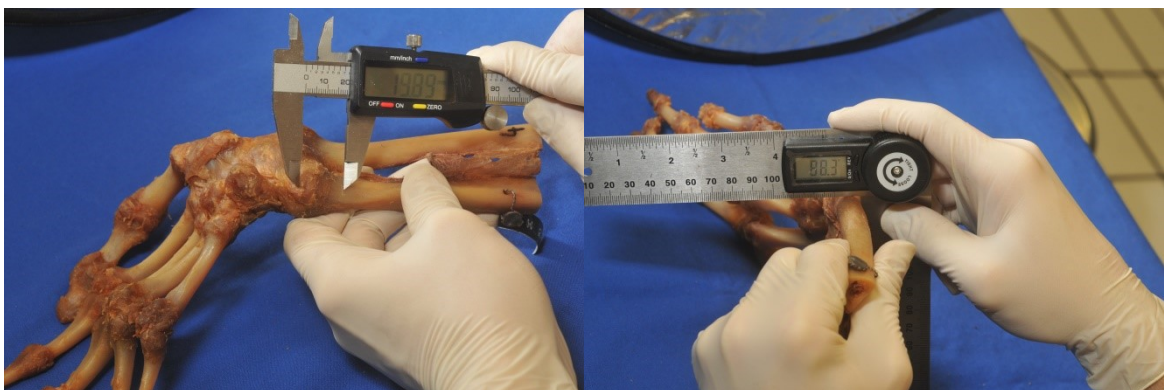


Abb. 14: Vermessung von Abstand des Beginns der Steigung der Facies ant. zum Gelenkspalt (li.) und Winkel von Facies ant. auf Facies med. an dieser Stelle (re.).

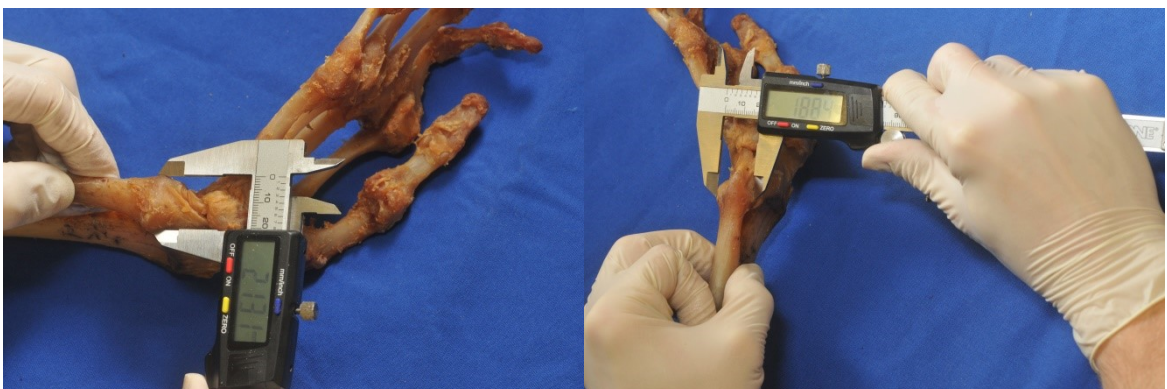


Abb. 15: Vermessung des Caput ulnae in a.p. (re.) und lateral (li.).

Der Durchmesser der Ulna wurde am distalen Ende des Caput ulnae in a.p. und lateral gemessen (s. Abb. 15), sowie an der in Lateralrichtung dünnsten Stelle des Schaftes ebenfalls in a.p. und lateral (s. Abb. 16). Zusätzlich wurde der Abstand der dünnsten Stelle zum Gelenkspalt protokolliert (s. Abb. 14).

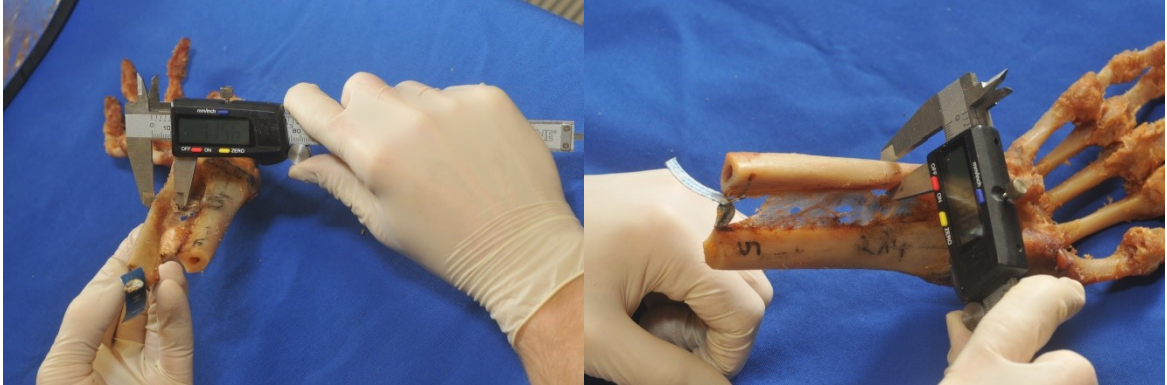


Abb. 16: Vermessung der dünnsten Stelle des lateralen Querschnittes in a.p. (re.) und lateral (li.).

2.2.2 Vermessung der Platten

Bei der Vermessung der Platten wurden die Platten so angelegt, dass der Plattenschaft auf dem Ulnaschaft aufliegt, um einschätzen zu können, wie gut die vorgeformten Platten an den Ulnakopf und -hals angepasst sind. Dafür wurden der Abstand der distalen Schraubenlöcher zum Knochen sowie der Abstand des distalen Plattenendes zum Gelenkspalt vermessen (vgl. Abb.17). Der Gelenkspalt wurde hierzu mit einer Kanüle markiert. Da der Messschieber an den Löchern auf der Plattenoberfläche angesetzt wurde, verstehen sich die Messwerte inklusive der Plattenstärke. Da die Platten alle verschiedene Formen und Lage der Löcher aufweisen, ist kein direkter Vergleich der Messpunkte möglich. Tabelle 3 und Abb.18 zeigen die einzelnen Messpunkte. Ausnahmen bilden die Platten von Synthes und Acumed, da bei Synthes nur jeweils ein Loch pro Reihe vorhanden ist und bei Acumed die zweite Lochreihe nur ein Loch aufweist.

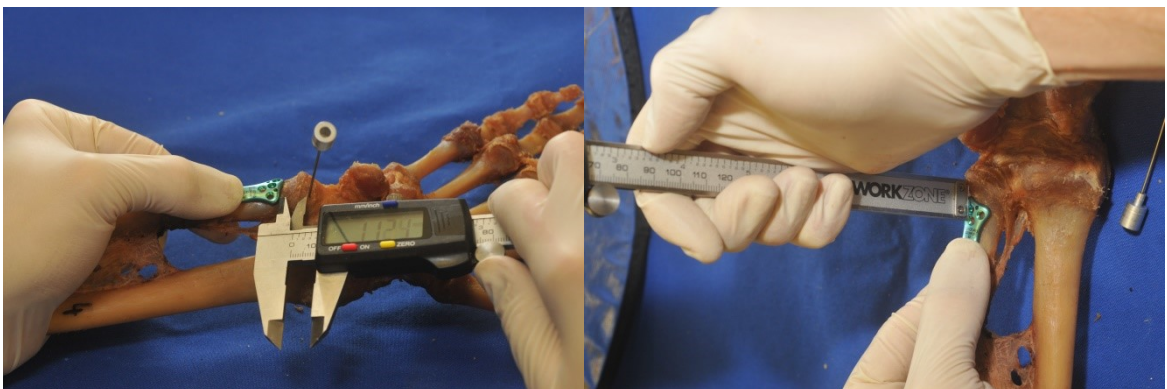


Abb. 17: Vermessung des Abstandes von distalem radialem Plattenende zum Gelenkspalt (li.) und Abstand des distalen ulnaren Schraubenloches zum Knochen (re.). Hier an einer Acumed Platte.

Messpunkt	Definition	N°
dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand des radialseitigen distalen Plattenendes zum Gelenkspalt	1)
dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	Abstand des ulnarseitigen distalen Plattenendes zum Gelenkspalt	2)
dist. Loch rad.	Abstand des distalen radialen Schraubenloches zum Knochen	3)
dist. Loch ulnar	Abstand des distalen ulnaren Schraubenloches zum Knochen	4)
2. Lochreihe rad.	Abstand des radialen Schraubenloches der von distal 2. Lochreihe zum Knochen	5)
2. Lochreihe uln.	Abstand des ulnaren Schraubenloches der von distal 2. Lochreihe zum Knochen	6)
dist. Loch	Abstand des distalen Schraubenloches zum Knochen (nur Synthes)	7)
2. Lochreihe	Abstand des Schraubenloches der 2. Lochreihe zum Knochen (nur Acumed und Synthes)	8)

Tabelle 3: Messpunkte an den Platten und deren Definition (vgl. Abb. 18). Ausnahmen bilden die Platten von Acumed und Synthes, da sie in der 2. Lochreihe bzw. allen Lochreihen nur ein Schraubenloch aufweisen.

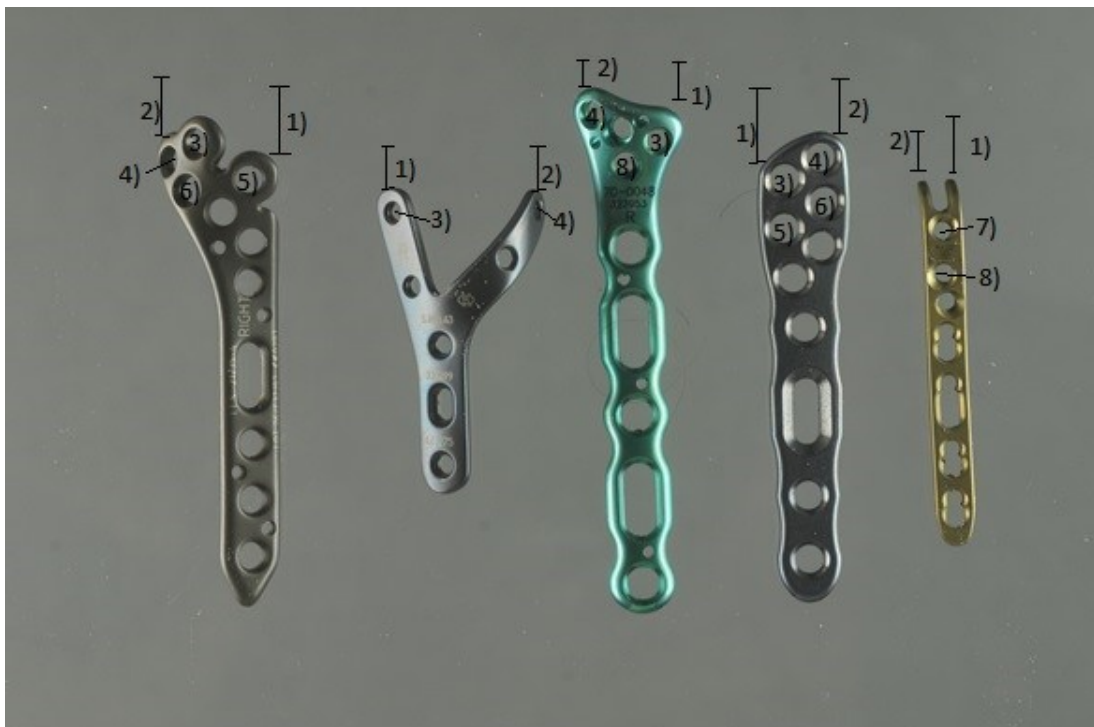


Abb. 18: Messpunkte an den Platten. Zur Beschriftung siehe Tabelle 3. Von links nach rechts: : ITS, Königsee, Acumed, Hofer, Synthes.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Ulna

Die Messungen ergaben für die Ulna re./li. einen mittleren Winkel des Margo anterior Knickes von 8,04°/6,65°, die Torquierung betrug 31,84°/40,08°, die distale Steigung begann im Mittel 17,57mm/17,87mm proximal des Gelenkspaltes, der Umschlagwinkel von Facies anterior auf medialis an dieser Stelle 84,96°/92,34°. Der Durchmesser des Caput ulnae betrug in a.p.-Richtung 15,99mm/15,94mm und in lateral-Richtung 20,76mm/20,02mm. Die dünnste Stelle des Schaftes befand sich im Schnitt 38,79mm/37,54mm proximal des Gelenkspaltes. Der Durchmesser an dieser Stelle betrug in a.p.-Richtung 10,52mm/9,9mm und in lateral-Richtung 12,54mm/11,11mm. Eine Übersicht über die gewonnenen Messdaten mit entsprechender Standardabweichung, Maxima und Minima zeigen die Tabellen 4 und 5, sowie Abb. 19 und 20.

Rechte Ulna					
	Knick Margo ant. [°]	Torquierung [°]	Facies anterior auf medialis unmittelbar vor Steigung [°]	Anfang Steigung [mm]	Durchmesser Caput a.p. [mm]
Mittelwert	8,040	31,840	84,964	17,568	15,988
<i>Standardabw.</i>	3,269	10,785	5,946	2,592	2,074
<i>Max.</i>	17,400	60,000	94,500	23,800	20,400
<i>Min.</i>	2,000	8,000	72,000	12,000	13,300
	Durchmesser Caput lat.[mm]	Durchmesser dünnste Stelle lat. lat.[mm]	Durchmesser dünnste Stelle lat. a.p. [mm]	Dünnste Stelle von Gelenksfläche [mm]	
Mittelwert	20,760	12,536	10,524	38,792	
<i>Standardabw.</i>	2,367	1,296	1,203	3,466	
<i>Max.</i>	25,600	15,800	12,600	43,800	
<i>Min.</i>	15,300	9,800	8,600	29,500	

Tabelle 4: Messergebnisse für die rechte Ulna. Zur Definition der Messpunkte siehe Tabelle 2.

Linke Ulna					
	Knick Margo ant. [°]	Torquierung [°]	Facies anterior auf medialis unmittelbar vor Steigung [°]	Anfang Steigung [mm]	Durchmesser Caput a.p. [mm]
Mittelwert	6,648	40,080	92,340	17,872	15,936
<i>Standardabweichung</i>	1,961	6,570	6,276	1,997	2,021
<i>Max.</i>	12,600	52,000	106,500	21,600	19,000
<i>Min.</i>	4,100	30,000	82,000	13,700	11,600
	Durchmesser Caput lat. [mm]	Durchmesser dünnste Stelle lat. [mm]	Durchmesser dünnste Stelle lat. a.p. [mm]	Dünkste Stelle von Gelenksfläche [mm]	
Mittelwert	20,020	11,112	9,932	37,540	
<i>Standardabweichung</i>	3,048	1,479	1,312	4,854	
<i>Max.</i>	23,700	14,200	13,100	49,100	
<i>Min.</i>	8,100	8,700	7,800	33,100	

Tabelle 5: Messergebnisse für die linke Ulna. Zur Definition der Messpunkte siehe Tabelle 2.

Ein hochsignifikanter Unterschied zwischen rechts und links konnte bei der Torquierung ($p=0,002$), dem Umschlagwinkel der Margo anterior auf medialis ($p=0,0001$) und dem Durchmesser der dünnsten Stelle in lateral-Richtung ($p=0,001$) festgestellt werden. Der Abstand der dünnsten Stelle vom Gelenkspalt war mit $p=0,047$ schwach signifikant, während die übrigen Messpunkte keinen signifikanten Unterschied aufwiesen. Tabelle 6 zeigt die p-Werte im Überblick.

Signifikanz rechts gegen links (alpha = 0,05)					
	Knick Margo ant. [°]	Torquierung [°]	Facies anterior auf medialis unmittelbar vor Steigung [°]	Anfang Steigung [mm]	Durchmesser Caput a.p. [mm]
p-Wert	0,074	0,002	0,0001	0,644	0,929
	Durchmesser Caput lat. [mm]	Durchmesser dünnste Stelle lat. [mm]	Durchmesser dünnste Stelle lat. a.p. [mm]	Dünkste Stelle von Gelenksfläche [mm]	
p-Wert	0,467	0,001	0,113	0,047	

Tabelle 6: Signifikanzniveaus bei 2-seitiger Testung der Ergebnisse für die rechte Ulna gegen die der linken. Rot markiert sind die signifikanten p-Werte bei einem alpha-Fehler von 0,05.

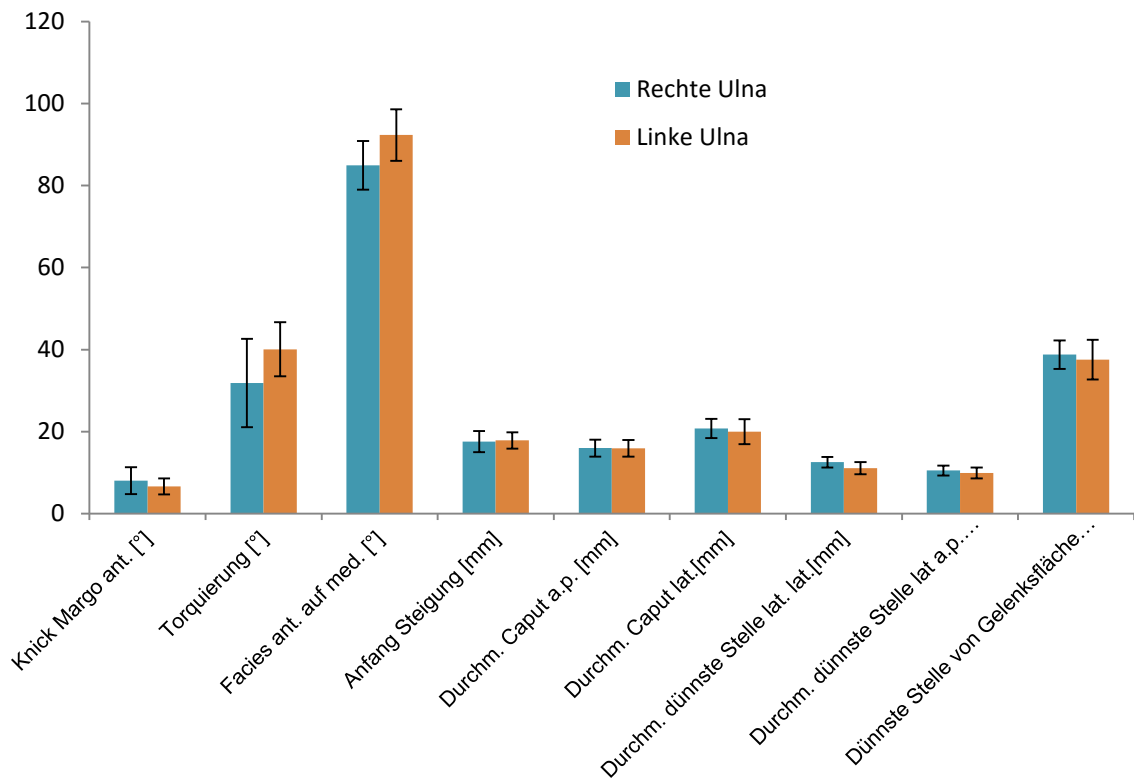


Abb. 19: Darstellung der Mittelwerte der anatomischen Vermessung der Ulna. Die y-Achse dient hier zur Darstellung von [mm] und [°] zugleich.

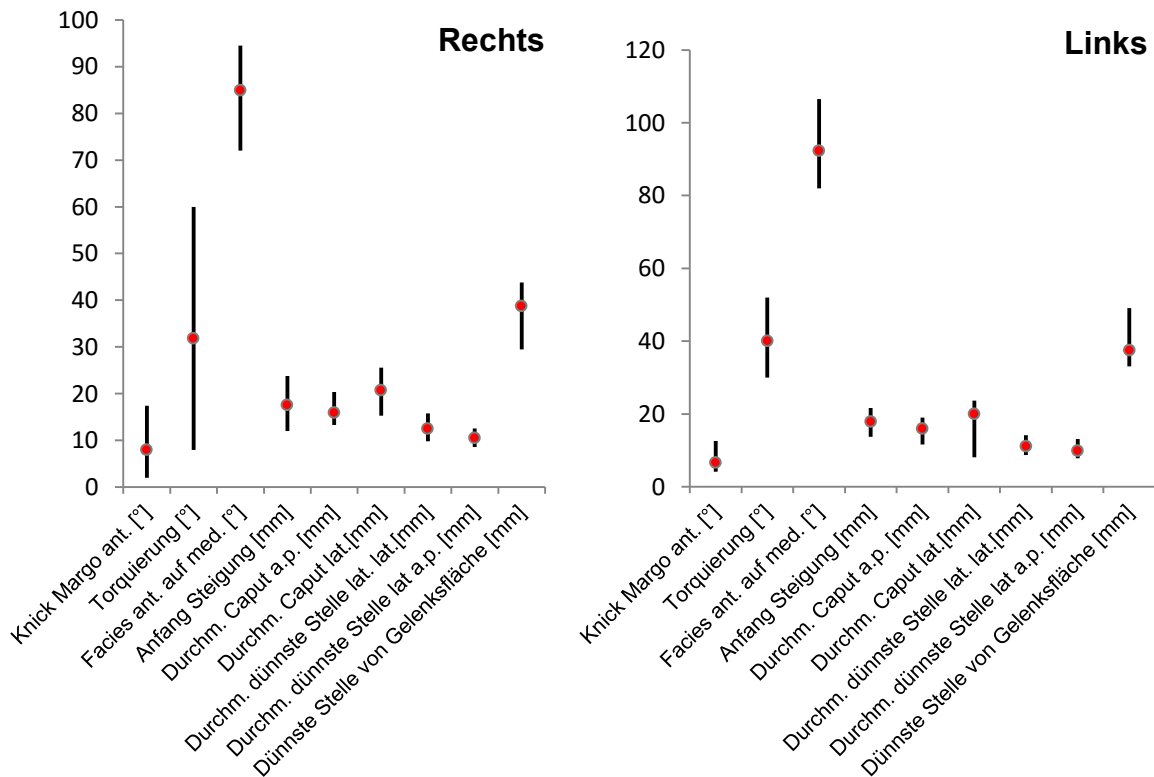


Abb. 20: Darstellung der Minima und Maxima der anatomischen Vermessung der rechten und linken Ulna. In rot die Mittelwerte, darüber und darunter die entsprechenden Extremata. Die y-Achse dient hier zur Darstellung von [mm] und [°] zugleich.

3.2 Ergebnisse der Platten

3.2.1 Hofer

Die Hofer Platte zeigte an der rechten Ulna einen mittleren Abstand vom Gelenkspalt von 7,27mm radial und 6,73mm ulnar. Die Schraubenlöcher der distalen Lochreihe waren inklusive Plattenstärke im Mittel auf der Radialseite 3,13mm und auf der Ulnarseite 3,04mm vom Knochen entfernt. Die von distal zweite Lochreihe zeigte einen Abstand von 2,56mm radial und 2,64mm ulnar (s. Tabelle 7).

Hofer rechts (inkl. Plattenstärke 2mm)			
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
Mittelwert	7,272	6,736	3,128
<i>Standardabw.</i>	1,728	1,988	0,498
<i>Max.</i>	10,300	10,000	4,200
<i>Min.</i>	4,200	1,800	2,400
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
Mittelwert	3,040	2,560	2,644
<i>Standardabw.</i>	0,940	0,371	0,509
<i>Max.</i>	5,100	3,800	3,800
<i>Min.</i>	1,800	2,200	2,100

Tabelle 7: Messwerte der HUSd Platte von Hofer für die rechte Seite. Die Vermessung erfolgte einschließlich der Platte mit einer Stärke von 2mm.

An der linken Ulna waren der Abstand zum Gelenkspalt radial 8,44mm und ulnar 6,97mm. Die distale Lochreihe zeigte einen Abstand von 2,92mm radial und 3,46mm ulnar, die zweite Lochreihe von 2,37mm radial und 2,84mm ulnar (s. Tabelle 8). Der Vergleich zwischen rechts und links zeigte einen signifikanten Unterschied beim Abstand des radialen distalen Plattenendes zum Gelenkspalt ($p=0,014$) und beim Abstand des radialen Loches der zweiten Lochreihe ($p=0,018$). Die restlichen Messpunkte ergaben keinen signifikanten Unterschied (vgl. Tabelle 9).

Hofer links (inkl. Plattenstärke 2mm)			
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
Mittelwert	8,436	6,972	2,920
<i>Standardabw.</i>	1,492	1,876	0,557
<i>Max.</i>	11,400	10,800	4,200
<i>Min.</i>	5,400	2,600	2,100
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
Mittelwert	3,460	2,368	2,840
<i>Standardabw.</i>	0,672	0,357	0,480
<i>Max.</i>	5,000	3,200	4,000
<i>Min.</i>	2,000	1,900	2,100

Tabelle 8: Messwerte der HUSd Platte von Hofer für die linke Seite. Die Vermessung erfolgte einschließlich der Platte mit einer Stärke von 2mm.

Hofer: Signifikanz rechts gegen links (alpha = 0,05)			
	Abstand dist. Ende- Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende- Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
<i>p-Wert</i>	0,014	0,668	0,106
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
<i>p-Wert</i>	0,075	0,018	0,057

Tabelle 9: Signifikanzwerte bei 2-seitiger Testung der Ergebnisse für die rechte Hofer Platte gegen die linke. Rot markiert sind die signifikanten p-Werte bei einem alpha-Fehler von 0,05.

3.2.2 Synthes

Die Synthes LCP Platte wird aufgrund ihrer Form mit zwei distalen Haken direkt am PSU eingehakt und schließt somit bündig mit dem distalen Ende des PSU ab. Die Messpunkte für den Abstand zum Gelenkspalt wurden daher in den Tabellen 10 und 11 mit 0 angegeben. Auf der rechten Seite zeigte das distale Loch einschließlich der Plattenstärke einen Abstand zum Knochen von durchschnittlich 2,40mm und das von distal zweite Loch 1,93mm (s. Tabelle 10). Für die linke

Seite ergaben sich für das distale Loch 2,20mm und für das zweite Loch 1,88mm (s. Tabelle 11). Zwischen der rechten und linken Seite ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (vgl. Tabelle 12).

Synthes rechts (inkl. Plattenstärke 2mm)				
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	distales Loch	2. Lochreihe
Mittelwert	0,000	0,000	2,400	1,928
<i>Standardabw.</i>	0,000	0,000	0,386	0,578
<i>Max.</i>	0,000	0,000	3,400	2,800
<i>Min.</i>	0,000	0,000	1,700	0,000

Tabelle 10: Messwerte der LCP Platte von Synthes für die rechte Seite. Die Vermessung erfolgte einschließlich der Platte mit einer Stärke von 2mm.

Synthes links (inkl. Plattenstärke 2mm)				
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	distales Loch	2. Lochreihe
Mittelwert	0,000	0,000	2,200	1,884
<i>Standardabw.</i>	0,000	0,000	0,448	0,467
<i>Max.</i>	0,000	0,000	3,300	2,900
<i>Min.</i>	0,000	0,000	1,600	1,200

Tabelle 11: Messwerte der LCP Platte von Synthes für die linke Seite. Die Vermessung erfolgte einschließlich der Platte mit einer Stärke von 2mm.

Synthes: Signifikanz rechts gegen links (alpha = 0,05)		
	distales Loch	2. Lochreihe
p-Wert	0,090	0,769

Tabelle 12: Signifikanzwerte bei 2-seitiger Testung der Ergebnisse für die rechte Synthes Platte gegen die linke. Es ergaben sich keine signifikanten p-Werte bei einem alpha-Fehler von 0,05.

3.2.3 Königsee

Für die rechte Königsee Platte ergaben sich radial 6,12mm und ulnar 8,18mm Abstand zum Gelenkspalt. Die distalen Löcher waren einschließlich der Plattenstärke radial im Mittel 1,9mm und ulnar 4,81mm vom Knochen entfernt. Die zweite Lochreihe ergab 1,85mm radial und 3,62mm ulnar (vgl. Tabelle 13).

Königsee rechts (inkl. Plattenstärke 1,4mm)			
	Abstand dist. Ende- Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende- Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
Mittelwert	6,120	8,188	1,896
<i>Standardabw.</i>	1,551	2,056	0,221
<i>Max.</i>	9,700	12,800	2,500
<i>Min.</i>	3,600	5,000	1,500
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
Mittelwert	4,812	1,848	3,624
<i>Standardabw.</i>	1,712	0,226	1,047
<i>Max.</i>	7,600	2,500	5,400
<i>Min.</i>	1,600	1,600	1,900

Tabelle 13: Messwerte der winkelstabilen Ulna Platte von Königsee für die rechte Seite. Die Vermessung erfolgte einschließlich der Platte mit einer Stärke von 1,4mm.

Königsee links (inkl. Plattenstärke 1,4mm)			
	Abstand dist. Ende- Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende- Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
Mittelwert	7,080	10,544	1,728
<i>Standardabw.</i>	2,154	2,554	0,179
<i>Max.</i>	12,800	15,800	2,300
<i>Min.</i>	4,000	7,300	1,500
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
Mittelwert	7,448	1,852	4,956
<i>Standardabw.</i>	1,421	0,383	1,431
<i>Max.</i>	9,900	3,300	7,400
<i>Min.</i>	5,100	1,400	1,800

Tabelle 14: Messwerte der winkelstabilen Ulna Platte von Königsee für die linke Seite. Die Vermessung erfolgte einschließlich der Platte mit einer Stärke von 1,4mm.

Die linke Platte war radial 7,08mm und ulnar 10,54mm vom Gelenkspalt entfernt. Die distale Lochreihe radial 1,72mm und ulnar 7,45mm und die zweite Lochreihe 1,85mm radial und 4,96mm ulnar abgehoben (vgl. Tabelle 14).

<u>Königsee: Signifikanz rechts gegen links (alpha = 0,05)</u>			
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
p-Wert	0,077	0,001	0,001
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
p-Wert	0,0000003	0,821	0,0005

Tabelle 15: Signifikanzwerte bei 2-seitiger Testung der Ergebnisse für die rechte Königsee Platte gegen die linke. Rot markiert sind die signifikanten p-Werte bei einem alpha-Fehler von 0,05.

Zwischen der rechten und linken Platte zeigte sich ein hochsignifikanter Unterschied für den Abstand vom ulnaren Plattenende zum Gelenkspalt ($p=0,001$), den Abstand der distalen Schraubenlöcher (radial: $p=0,001$; ulnar: $p=0,0000003$) und den Abstand des ulnaren Schraubenloches der zweiten Lochreihe ($p=0,0005$). Die Abstände vom radialen Gelenkspalt und der radialen zweiten Lochreihe zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen rechts und links (s. Tabelle 15).

3.2.4 ITS

Die rechte DUL Platte von ITS hatte im Mittel einen Abstand vom Gelenkspalt von 9,14mm radial und 8,68mm ulnar. Die distale Lochreihe stand einschließlich Plattenstärke radial 2,50mm und ulnar 2,63mm ab. Die zweite Lochreihe radial 2,79mm und ulnar 2,88mm (vgl. Tabelle 16). Die linke Platte war radial 6,94mm und ulnar 6,06mm vom Gelenkspalt entfernt. Die distale Lochreihe hatte einen Abstand von 2,68mm radial und 3,11mm ulnar und die zweite Lochreihe 3,26mm radial und 3,44mm ulnar (vgl. Tabelle 17). Die Signifikanz-Testung der rechten gegen die linke Seite ergab hochsignifikante p-Werte für den Abstand radialen ($p=0,001$) und ulnaren ($p=0,00002$) Abstand zur Gelenkfläche, sowie für beide Schraubenlöcher der zweiten Lochreihe (radial: $p=0,003$; ulnar: $p=0,003$). Die restlichen Messpunkte ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Seiten (vgl. Tabelle 18).

ITS rechts (inkl. Plattenstärke 2mm)			
	Abstand dist. Ende- Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende- Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
Mittelwert	9,144	8,676	2,504
<i>Standardabw.</i>	2,279	1,911	0,428
<i>Max.</i>	14,000	13,100	3,500
<i>Min.</i>	4,600	5,100	2,000
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
Mittelwert	2,628	2,788	2,876
<i>Standardabw.</i>	0,612	0,417	0,553
<i>Max.</i>	4,000	3,500	4,000
<i>Min.</i>	1,900	1,800	1,800

Table 16: Messwerte der DUL Platte von ITS für die rechte Seite. Die Vermessung erfolgte einschließlich der Platte mit einer Stärke von 2mm.

ITS links (inkl. Plattenstärke 2mm)			
	Abstand dist. Ende- Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende- Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
Mittelwert	6,936	6,060	2,676
<i>Standardabw.</i>	2,010	1,943	0,572
<i>Max.</i>	10,800	10,200	4,800
<i>Min.</i>	3,700	3,200	2,000
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
Mittelwert	3,108	3,260	3,436
<i>Standardabw.</i>	0,966	0,616	0,718
<i>Max.</i>	5,200	5,000	4,900
<i>Min.</i>	1,700	2,300	2,200

Table 17: Messwerte der DUL Platte von ITS für die linke Seite. Die Vermessung erfolgte einschließlich der Platte mit einer Stärke von 2mm.

ITS: Signifikanz rechts gegen links (alpha = 0,05)			
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
<i>p-Wert</i>	0,001	0,00002	0,234
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
<i>p-Wert</i>	0,06	0,003	0,003

Tabelle 18: Signifikanzwerte bei 2-seitiger Testung der Ergebnisse für die rechte ITS Platte gegen die linke. Rot markiert sind die signifikanten p-Werte bei einem alpha-Fehler von 0,05.

3.2.5 Acumed

Für die rechte Seite zeigte sich bei der Acumed Acu-Loc Platte ein Abstand zum Gelenkspalt von radial 8,14mm und ulnar 7,48mm. Die distale Lochreihe hatte inklusive der Plattenstärke von 2mm einen Abstand zum Knochen von 2,68mm radial und 2,82mm ulnar. Das von distal zweite Loch hatte durchschnittlich einen Abstand von 3,0mm (vgl. Tabelle 19).

Acumed rechts (inkl. Plattenstärke 2mm)			
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
Mittelwert	8,136	7,480	2,676
<i>Standardabw.</i>	3,279	2,318	0,224
<i>Max.</i>	15,000	13,100	3,400
<i>Min.</i>	3,800	4,500	2,300
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe	
Mittelwert	2,820	3,004	
<i>Standardabw.</i>	0,483	0,370	
<i>Max.</i>	4,500	3,600	
<i>Min.</i>	2,200	2,400	

Tabelle 19: Messwerte der Acu-Loc Platte von Acumed für die rechte Seite. Die Vermessung erfolgte einschließlich der Platte mit einer Stärke von 2mm.

Die linke Platte war radialseitig 6,9mm und ulnarseitig 6,09mm vom Gelenkspalt entfernt. Die distale Lochreihe zeigte einen Abstand von radial 2,62mm und ulnar von 2,97mm. Das von distal zweite Loch war 2,91mm entfernt (vgl. Tabelle 20).

Acumed links (inkl. Plattenstärke 2mm)			
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
Mittelwert	6,896	6,092	2,624
<i>Standardabw.</i>	1,536	1,453	0,279
<i>Max.</i>	9,400	9,300	3,400
<i>Min.</i>	4,400	3,800	2,100
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe	
Mittelwert	2,972	2,908	
<i>Standardabw.</i>	0,546	0,266	
<i>Max.</i>	4,100	3,500	
<i>Min.</i>	2,100	2,300	

Tabelle 20: Messwerte der Acu-Loc Platte von Acumed für die linke Seite. Die Vermessung erfolgte einschließlich der Platte mit einer Stärke von 2mm.

Lediglich der Abstand des distalen ulnaren Plattenendes zum Gelenkspalt wies einen hochsignifikanten p-Wert im Vergleich zur Gegenseite auf ($p=0,015$). Alle anderen Messpunkte waren im Seitenvergleich nicht signifikant (vgl. Tabelle 21).

Acumed: Signifikanz rechts gegen links (alpha = 0,05)			
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.
p-Wert	0,096	0,015	0,246
	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe	
p-Wert	0,531	0,422	

Tabelle 21: Signifikanzwerte bei 2-seitiger Testung der Ergebnisse für die rechte Acumed Platte gegen die linke. Rot markiert sind die signifikanten p-Werte bei einem alpha-Fehler von 0,05.

3.2.6 Überblick über die Vermessung der Platten nach Abzug der Plattenstärken

Die folgende Tabelle 22 gibt einen Überblick über die erhaltenen Messwerte der einzelnen Platten nach Abzug der jeweiligen Plattenstärke. Die Negativwerte wurden hervorgehoben und sind am ehesten Folge von Messungenauigkeiten.

Rechts						
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
<i>Hofer</i>	7,272	6,736	1,128	1,040	0,560	0,644
<i>Synthes</i>	0	0	0,400		-0,072	
<i>Königsee</i>	6,12	8,188	0,496	3,412	0,448	2,224
<i>ITS</i>	9,144	8,676	0,504	0,628	0,788	0,876
<i>Acumed</i>	8,136	7,48	0,676	0,820	1,004	
Links						
	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt radial	Abstand dist. Ende-Gelenkspalt ulnar	dist. Loch rad.	dist. Loch ulnar	2. Lochreihe rad.	2. Lochreihe ulnar
<i>Hofer</i>	8,436	6,972	0,920	1,460	0,368	0,840
<i>Synthes</i>	0	0	0,200		-0,116	
<i>Königsee</i>	7,08	10,544	0,328	6,048	0,452	3,556
<i>ITS</i>	6,936	6,06	0,676	1,108	1,260	1,436
<i>Acumed</i>	6,896	6,092	0,624	0,972	0,908	

Tabelle 22: Übersicht über die Mittelwerte aller Messpunkte nach Abzug der jeweiligen Plattenstärke. Bei Synthes und Acumed wurden die Werte für die Lochreihen, in denen nur ein Loch vorhanden ist, mittig in der Tabelle eingefügt. Rot markiert sind die nach Abzug der Plattenstärke negativen Werte (am ehesten Folge von Messungenauigkeiten).

Die graphische Darstellung der Messergebnisse ist in Abb. 21 und 22 zu sehen. Zu beachten ist hierbei, dass die Synthes Platte aufgrund der distalen Haken mit dem PSU abschließt und in den Ergebnissen daher 0 mm Abstand zum Gelenkspalt eingetragen wurde.

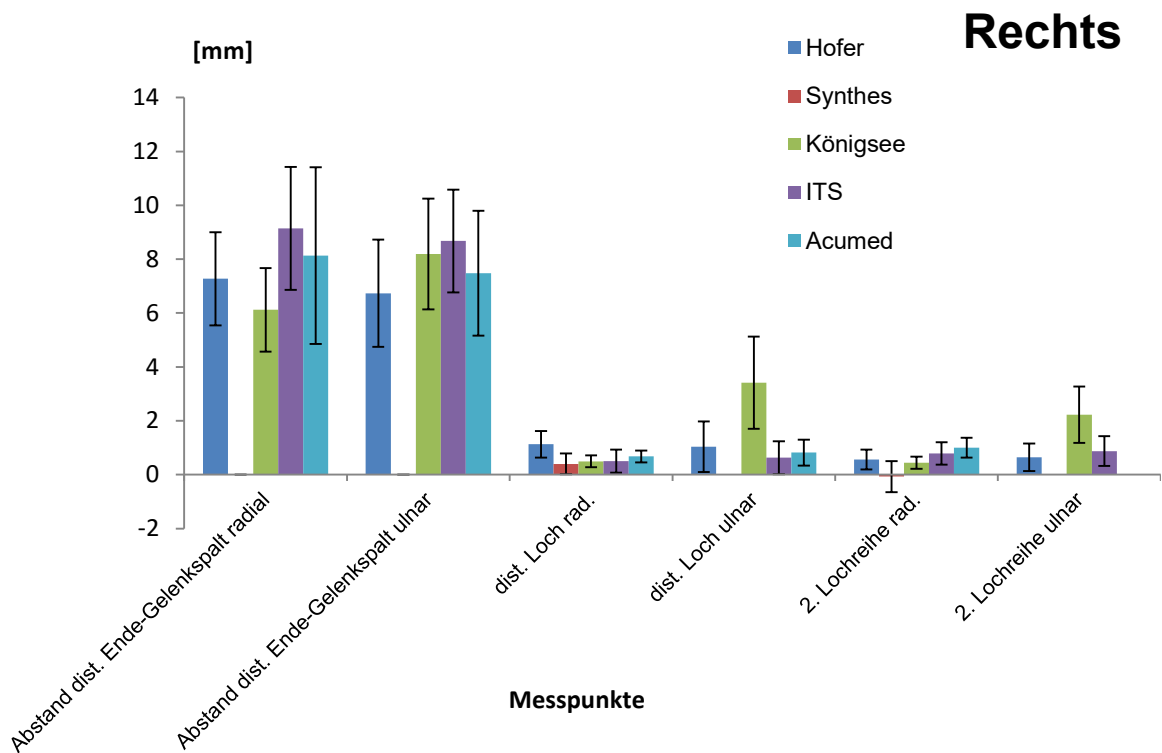


Abb. 21: Graphische Darstellung der erhobenen Mittelwerte der einzelnen Platten an den verschiedenen Messpunkten für die rechte Seite (nach Abzug der Plattenstärken). Bei Synthes und Acumed scheinen die einzelnen Löcher jeweils in der Gruppe für das radiale Loch auf.

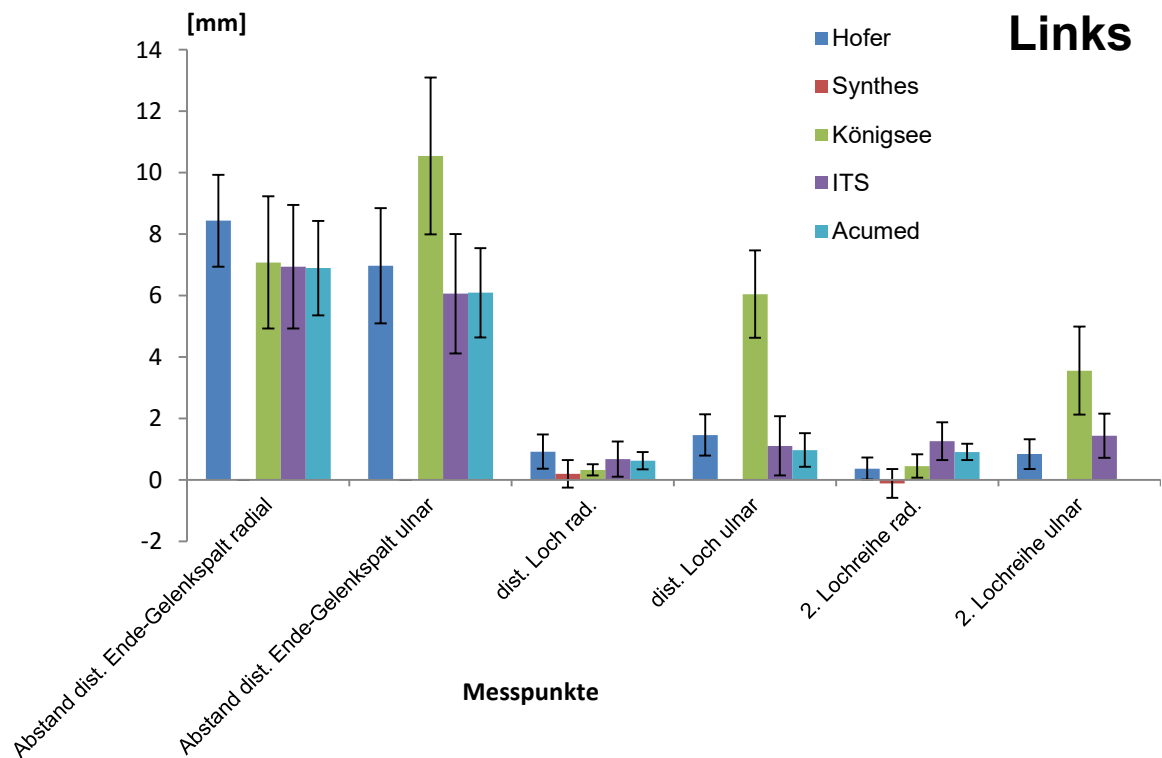


Abb. 22: Graphische Darstellung der erhobenen Mittelwerte der einzelnen Platten an den verschiedenen Messpunkten für die linke Seite (nach Abzug der Plattenstärken). Bei Synthes und Acumed scheinen die einzelnen Löcher jeweils in der Gruppe für das radiale Loch auf.

4 Diskussion

Auch wenn für die Versorgung von einfachen distalen Ulnafrakturen die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung eine Alternative zu den klassischen Verfahren darstellen könnte (Walz et al., 2006), bleibt gerade bei komplexeren Frakturen die Plattenosteosynthese das Verfahren der Wahl. Um hierbei eine zufriedenstellende Versorgung zu gewährleisten, wäre es wichtig, dass die einzubringende Platte gut an die ursprüngliche, unverletzte Anatomie des Knochens und von der Art der Platte an die Fraktur angepasst wird. Aktuelle Osteosyntheseimplantate kommen diesen Anforderungen nach, indem die Implantate bereits entsprechend der Kontur der distalen Ulna vorgeformt sind. Die Herausforderung hierbei ist jedoch eine Form zu finden, die der anatomischen Form des Knochens mit Kompromissen nahe genug kommt, um sich dem Knochen passend anzulegen, dabei jedoch allgemein genug gehalten ist, um die Variationen der menschlichen Anatomie zu überbrücken.

Bei der Überlegung welche Platte die richtige Wahl bei einer Versorgung ist müssen daher mehrere Faktoren bedacht werden. Die Art der Fraktur, die Plattenlage, Anzahl und Ausrichtung der Schraubenlöcher und die Form der Platte spielen eine Rolle. Hazel et al. wiesen in einer Studie darauf hin, dass die ideale Plattenlage an der distalen Ulna zwischen 12 und 2 Uhr liegt, wenn der PSU als 12 Uhr Position angesehen wird. So kann vermieden werden, dass es zu einem Impingement während der Rotationsbewegung oder zu einer Irritationen der M. extensor carpi ulnaris Sehne kommt (Hazel et al., 2015). Aus diesem Grund ist der Einsatz von dorsalen Osteosynthesplatten kritisch zu sehen. Darüber hinaus spielt auch die jeweils vorliegende Fraktur eine Rolle bei der Entscheidung über die zu verwendende Platte. Liegt die Frakturzone sehr weit distal, ist es möglich, dass die Frakturstücke mit Platten, die zu weit vom Gelenkspalt entfernt zum Liegen kommen, nicht gefasst werden können. Handelt es sich um eine Mehrfragmentfraktur, sind hingegen ausreichend Schraubenlöcher nötig, um den Ulnakopf suffizient zu stabilisieren.

Die Ergebnisse dieser Arbeit können eine Entscheidungshilfe bei der Plattenwahl bieten. Ein direkter Vergleich der Platten untereinander scheint im Rahmen der hier angewandten Methodik jedoch nicht möglich, da die verschiedenen Platten zu unterschiedliche Formen, Schrauben- und Plattenlagen aufweisen, um einen fundierten Vergleich mittels einheitlichen Messpunkten zuzulassen. Diesbezüglich

wären in der Zukunft weiterführende Untersuchungen unter zu Hilfenahme bildgebender Verfahren (CT) sinnvoll. So könnte man beispielsweise standardisierte Frakturen an den Präparaten setzen, um in der 3D Rekonstruktion die Reposition mittels Platte mit der natürlichen Anatomie zu vergleichen.

Anhand der erhobenen Daten und den Plattenformen und -lagen lässt sich eine grobe Einteilung treffen, welche der untersuchten Platten für welchen Frakturtyp am ehesten geeignet sein könnten. Natürlich muss eine definitive Entscheidung anhand der individuellen Fraktur getroffen werden. Für reine PSU Frakturen kommt demnach eigentlich nur die Synthes Platte in Frage, da sie als einzige den PSU direkt fasst. Für mehrfragmentäre Frakturen des Caput ulnae eignet sich die Platte von ITS, da sie durch die vielen Plattenlöcher, die um das Caput herum angeordnet sind, verschiedene Fragmente besser fassen kann. Auch die Abstände vom Knochen im Bereich des Caput sind geringer, als die von Acumed, welche ebenfalls für mehrfragmentäre Kopffrakturen eingesetzt werden könnte. Bei einfachen Kopffrakturen wäre die Platte von Synthes ebenfalls gut geeignet. Sie liegt gut an und ist aufgrund der Schmalen Form gut einzubringen. Für subcapitale Frakturen sollte die Acumed Platte am geeignetsten sein. Sie liegt am Kopf gerade an und überbrückt den Übergang zum Schaft gut. Für distale Schaftfrakturen sollten ITS und Acumed am besten geeignet sein, da sie den höheren Abstand zum Gelenkspalt haben und am Schaft am weitesten nach proximal reichen. Wie bereits erwähnt sind dorsal liegende Platten eher kritisch zu sehen, weswegen die Platten von Hofer und Königsee in Tabelle 23 nicht aufgelistet sind, auch wenn sie von der Passform her für Kopf- und subcapitale Frakturen geeignet wären.

Frakturtyp	Geeignete Platten
isolierte PSU Fraktur	Synthes
Fraktur Caput ulnae	ITS, Acumed, Synthes
Fraktur Caput ulnae mehrfragmentär	ITS, Acumed
subcapitale Fraktur	Acumed, Synthes
distale Schaftfraktur	ITS, Acumed

Tabelle 23: Zuteilung der am ehesten geeigneten Platten für die unterschiedlichen Frakturtypen.

Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass Platten, die eine simple Bauform aufweisen, besser am Knochen anliegen. So zeigte die LCP Platte von Synthes durchwegs kleine Abstände zum Knochen und auch der Unterschied

zwischen rechts und links fiel nicht-signifikant aus. Auch Meluzinová et al. erreichten mit der LCP Platte von Synthes gute funktionelle Ergebnisse nach kombinierten Radius und Ulna Frakturen (Meluzinová et al., 2015). Durch die schmale Form mit nur einem Schraubenloch pro Reihe, ist sie leicht anzupassen, stößt bei Mehrfragmentfrakturen aber gegebenenfalls an ihre Grenzen.

Die anatomischen Vermessungen der Ulna zeigten, dass die Form der distalen Ulna mitunter starke Schwankungen aufweist. Gerade die Torquierung zeigte eine große Streuweite der Werte. Dies sollte bei der Entwicklung von zukünftigen Platten berücksichtigt werden. Auch die zum Teil signifikanten Unterschiede zwischen den Messwerten der rechten und linken Ulna sollten in die Überlegungen einfließen, da die aktuellen seitenspezifischen Platten lediglich spiegelbildlich geformt vorliegen.

Kritisch zu sehen ist bei dieser Arbeit, dass es nach Abzug der Plattenstärken vereinzelt zu negativen Messwerten für die Abstände der Schraubenlöcher zum Knochen kam. Dies ist am ehesten auf Messungenauigkeiten zurückzuführen, da die händische Vermessung mittels Messschieber naturgemäß eine gewisse Ungenauigkeit mit sich bringt. Daher sind die Negativwerte am ehesten gleich Null zu sehen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Platten nicht weiter angeformt wurden, auch wenn dies nach Herstellerangaben möglich gewesen wäre. Dadurch ließe sich zwar bei den biegbaren Platten unter Umständen eine bessere Passform erreichen, als es ohne die Anpassung möglich gewesen ist, eine solche zusätzliche Anformung der Platten intraoperativ findet in der Praxis jedoch bei ohnehin verschobenen Knochenstücken und fehlendem Vergleich zu intakten Anatomie des Knochens sehr selten und höchstens bei massiver Inkongruenz zwischen vermeintlich richtiger Knochenreposition und schlecht sitzender Platte statt. Desweiteren wurde von jedem Hersteller nur eine Plattengröße verwendet, was ebenfalls die Vergleichbarkeit einschränken könnte.

5 Literaturverzeichnis

- Acumed, 2012. Acu-Loc Wrist Plating System Brochure & Surgical Technique. Acumed Produktkatalog HNW00-01-D.
- Biyani, A., Simison, A.J., Klenerman, L., 1995. Fractures of the distal radius and ulna. *J Hand Surg Br* 20, 357–364.
- Bronstein, A.J., Trumble, T.E., Tencer, A.F., 1997. The effects of distal radius fracture malalignment on forearm rotation: a cadaveric study. *J Hand Surg Am* 22, 258–262. doi:10.1016/S0363-5023(97)80160-8
- Dennison, D.G., 2007. Open Reduction and Internal Locked Fixation of Unstable Distal Ulna Fractures With Concomitant Distal Radius Fracture. *The Journal of Hand Surgery* 32, 801–805. doi:10.1016/j.jhsa.2007.03.010
- Fricker, R., Jupiter, J., Kastelec, M., n.d. AO Surgery Reference, Distal forearm [WWW Document]. URL <https://www2.aofoundation.org/wps/portal/surgery?showPage=diagnosis&bone=Radius&segment=Distal> (accessed 11.13.15).
- Gaulke, R., Bachmann, S., Wiebking, U., Krettek, C., 2015. Ausrissfraktur des Processus styloideus ulnae bei der distalen Radiusfraktur. *Obere Extremität* 10, 168–172. doi:10.1007/s11678-014-0295-8
- Gray, H., Gray, H., Lewis, W.H., 1918. *Anatomy of the human body*. Lea & Febiger, Philadelphia,.
- Greene, D.P., Wolfe, S.W. (Eds.), 2011. *Green's operative hand surgery*, 6. ed. ed. Elsevier, Churchill Livingstone, Philadelphia.
- Hauck, R.M., Skahen, J., Palmer, A.K., 1996. Classification and treatment of ulnar styloid nonunion. *J Hand Surg Am* 21, 418–422. doi:10.1016/S0363-5023(96)80355-8
- Hazel, A., Nemeth, N., Bindra, R., 2015. Anatomic Considerations for Plating of the Distal Ulna. *J Wrist Surg* 4, 188–193. doi:10.1055/s-0035-1556864
- Hofer GmbH & Co KG, 2011. HS3.0 - Hofer System - Kleinfragment Osteosynthese. Hofer Artikelübersicht 20111005da_HS3_ItemOverview-ge.indd.
- ITS GmbH, 2013. ITS Implants Tauma - DUL Distal Ulna Locking Plate. ITS Produktkatalog DUL-OP-1013-D.

- Jupiter, J.B., 2009. Commentary: The Effect of Ulnar Styloid Fractures on Patient-Rated Outcomes After Volar Locking Plating of Distal Radius Fractures. *The Journal of Hand Surgery* 34, 1603–1604. doi:10.1016/j.jhsa.2009.06.022
- Königsee Implantate GmbH, 2012. OP-Set winkelstabile distale Ulnaplatte. Königsee Produktkatalog 01/2012/MiHr.
- May, M.M., Lawton, J.N., Blazar, P.E., 2002. Ulnar styloid fractures associated with distal radius fractures: Incidence and implications for distal radioulnar joint instability. *The Journal of Hand Surgery* 27, 965–971. doi:10.1053/jhsu.2002.36525
- Meluzinová, P., Kopp, L., Dráč, P., Edelmann, K., Obruba, P., 2015. [Plate Osteosynthesis of Distal Ulna Fractures with Associated Distal Radius Fractures Treated by Open Reduction and Internal Fixation. Short-Term Functional and Radiographic Results]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* 82, 369–376.
- Müller, M.E., Allgöwer, M., Schneider, R., Willenegger, H., Perren, S., Allgöwer, M., 2014. *Manual der OSTEOSYNTHESE AO-Technik*. Springer Berlin, Berlin.
- Nakamura, T., Yabe, Y., Horiuchi, Y., 1996. Functional anatomy of the triangular fibrocartilage complex. *The Journal of Hand Surgery: British & European Volume* 21, 581–586. doi:10.1016/S0266-7681(96)80135-5
- Noda, K., Goto, A., Murase, T., Sugamoto, K., Yoshikawa, H., Moritomo, H., 2009. Interosseous Membrane of the Forearm: An Anatomical Study of Ligament Attachment Locations. *The Journal of Hand Surgery* 34, 415–422. doi:10.1016/j.jhsa.2008.10.025
- Palmer, A.K., Werner, F.W., 1984. Biomechanics of the distal radioulnar joint. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 26–35.
- Palmer, A.K., Werner, F.W., 1981. The triangular fibrocartilage complex of the wrist--anatomy and function. *J Hand Surg Am* 6, 153–162.
- Ring, D., McCarty, L.P., Campbell, D., Jupiter, J.B., 2004. Condylar blade plate fixation of unstable fractures of the distal ulna associated with fracture of the distal radius 1. *The Journal of Hand Surgery* 29, 103–109. doi:10.1016/j.jhsa.2003.10.019
- Sammer, D.M., Shah, H.M., Shauver, M.J., Chung, K.C., 2009. The Effect of Ulnar Styloid Fractures on Patient-Rated Outcomes After Volar Locking Plating of

- Distal Radius Fractures. *The Journal of Hand Surgery* 34, 1595–1602.
doi:10.1016/j.jhsa.2009.05.017
- Schmidt, H.-M., 2004. [The anatomy of the ulnocarpal complex]. *Orthopade* 33, 628–637. doi:10.1007/s00132-004-0665-9
- Schulte, E., Schumacher, U., Schünke, M., Voll, M., Wesker, K. (Eds.), 2007. *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: 182 Tabellen, 2., überarb. und erw. Aufl. ed*, Prometheus : LernAtlas der Anatomie / Michael Schünke; Erik Schulte; Udo Schumacher. Unter Mitarb. von Jürgen Rude. Ill. von Markus Voll; Karl Wesker. Thieme, Stuttgart [u.a.].
- Stoffelen, D., De Smet, L., Broos, P., 1998. The importance of the distal radioulnar joint in distal radial fractures. *J Hand Surg Br* 23, 507–511.
- Synthes GmbH, 2010. LCP Distal Ulna Plate. For capital and subcapital fractures of the ulna. Synthes Technique Guide surgical technique 036.000.494.
- Towfigh, H., Hierner, R., Langer, M., Friedel, R., Millesi, H., Towfigh-Hierner-Langer-Friedel (Eds.), 2011. *Handchirurgie*, 1. Aufl. ed. Springer, Berlin.
- Tsai, P.C., Paksima, N., 2009. The distal radioulnar joint. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 67, 90–96.
- Waldeyer, A., Fanghänel, J. (Eds.), 2009. *Waldeyer Anatomie des Menschen: [Lehrbuch und Atlas in einem Band]*, 18. Aufl. ed. de Gruyter, Berlin.
- Walz, M., Kolbow, B., Möllenhoff, G., 2006. Distale Ulnafraktur als Begleitverletzung des körperfernen Speichenbruchs: Minimal-invasive Versorgung mittels elastisch-stabiler intramedullärer Nagelung (ESIN). *Der Unfallchirurg* 109, 1058–1063. doi:10.1007/s00113-006-1185-3