

Aus der Klinik für Handchirurgie  
des Rhön-Klinikums  
in Bad Neustadt an der Saale  
Direktoren:  
Priv.-Doz. Dr. med. Jörg van Schoonhoven  
Priv.-Doz. Dr. med. Karl Josef Prommersberger

Die operative Versorgung der instabilen, distalen Radiusfraktur  
mittels palmarer, winkelstabiler Plattenosteosynthese

Techniken und klinische Analyse

Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
vorgelegt von  
Fabian Roth  
aus Hildburghausen  
Würzburg, September 2008

Referentenblatt:

Referent : Prof. Dr. med. Hermann Krimmer

Koreferent: Univ.-Prof. Dr. med. Rainer H. Meffert

Dekan: Prof. Dr. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung : 20.3.2009

Der Promovend ist Arzt.

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	1
2	Einleitung	3
2.1	Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Handgelenks und des distalen Radioulnargelenkes	3
2.1.1	Knöcherne Gelenkstrukturen	3
2.1.2	Die Bandstrukturen am Handgelenk	7
2.1.3	Gefäßnervenverlauf am distalen Unterarm	10
2.1.4	Radiologische Kriterien am Handgelenk	11
2.1.5	Biomechanik des menschlichen Handgelenkes	14
2.2	Epidemiologie, Verletzungsmechanismen, Begleitverletzungen und Fraktуреinteilung der distalen Radiusfraktur	16
2.2.1	Epidemiologie	16
2.2.2	Verletzungsmechanismus und Pathomechanik der distalen Radiusfraktur	17
2.2.3	Begleitverletzungen der distalen Radiusfraktur	21
2.2.4	Fraktуреinteilung der distalen Radiusfraktur	26
2.3	Behandlungsverfahren der distalen Radiusfraktur	30
2.3.1	Reposition	31
2.3.2	Konservative Therapie	32
2.3.3	Operative Therapieverfahren	34
2.4	Plattenosteosyntheseverfahren am distalen Radius	41
2.4.1	Geschichtliches	41
2.4.2	Indikationen für die palmare und dorsale Plattenosteosynthese am distalen Radius	41
2.4.3	Vergleich der Plattenosteosynthese mit dem Fixateur externe	46
2.5	Das Prinzip der Winkelstabilität	48
2.5.1	Winkelstabile Plattensysteme für den distalen Radius	53

2.6	Die technische Anwendung der winkelstabilen Plattenosteosynthese	56
2.6.1	Präoperative Vorbereitung	56
2.6.2	Zugang und offene Reposition zur palmaren Instrumentation einer distalen Radiusfraktur	56
2.6.3	Durchführung der winkelstabilen Osteosynthese bei distaler Radiusfraktur	58
2.7	Nachbehandlung der winkelstabilen versorgten distalen Radiusfraktur	63
3	Studienziel	65
4	Material und Methoden	66
5	Ergebnisse	69
5.1	Frakturkonstellation	69
5.2	Radiologische Auswertung	71
5.3	Repositionsverlust	72
5.4	Bewegungsausmaße	73
5.5	Faustschlusskraft	74
5.6	Auswertung der Handgelenkscores	75
5.7	Komplikationen	78
6	Diskussion	79
7	Zusammenfassung	82
8	Anhang	85
9	Literaturverzeichnis	93

# 1 Vorwort

Die Unversehrtheit und Funktionstüchtigkeit des menschlichen Handgelenks ist ein wichtiger Baustein für ein unbeschwertes Bewältigen vieler Alltagssituationen in unserem täglichen Leben. Gerade dieses, für die Lebensqualität so wichtige Gelenk ist von Verletzungen am häufigsten betroffen. Die distale Radiusfraktur steht dabei bei den Verletzungen am menschlichen Skelett an erster Stelle und stellt auf Grund der komplexen Anatomie und Bewegungsphysiologie des Handgelenks und der häufig nach einem Trauma auftretenden Komplikationen immer eine potentielle Gefahr für das Gelenk und seinen Funktionen dar.

Deshalb hat die Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit des Handgelenks mit dem ihm umgebenden Strukturen absolute Notwendigkeit. Dieses Ziel muss durch eine optimale Ausschöpfung und Aufeinanderfolge von posttraumatischem Management, der Therapiestrategie und der Rehabilitationsmaßnahmen verwirklicht werden. Die distale Radiusfraktur stellt den behandelnden Arzt immer vor die Frage der richtigen und angemessenen Therapie, und nicht selten ist es eine Herausforderung, der oftmals als Bagatellverletzung beschriebenen Fraktur zu begegnen.

Der Chirurg kann mittlerweile abhängig von Schweregrad auf eine Vielzahl an etablierten Behandlungsmöglichkeiten von der konservativen Therapie bis hin zu komplexen Operationsverfahren zurückgreifen. Dabei hat sich die Behandlungsstrategie in den letzten Jahren von den konservativen Behandlungsverfahren mehr zu den operativen Methoden verschoben. Diese Tendenz hat sich auf Grund der häufig beobachteten Repositionsverluste in Folge der dorsalen Trümmerzone entwickelt. Nachuntersuchungen haben gezeigt, dass der Verlust der primären Stabilität und die unzureichende anatomisch korrekte Rekonstruktion des Handgelenkes, den oftmals zunächst guten Therapieerfolg, auf lange Frist relativiert. Auch innerhalb der operativen Verfahren ist eine Tendenz erkennbar. Die Kirschnerdrahtosteosynthese und die Fixateur externe – Behandlung, die lange Zeit zum Standard in der Frakturbehandlung am distalen Radius zählten, werden mehr und mehr durch die Plattenosteosynthese verdrängt. Grund ist, dass die Plattenosteosynthese

dauerhafter und sicherer als die anderen Osteosyntheseverfahren, das Repositionsergebnis stabilisieren kann und das perioperative Management erheblich vereinfacht werden konnte. Die anderen Operationsverfahren am distalen Radius haben daher den Stellenwert additiver Verfahren eingenommen. Seit Mitte der neunziger Jahre wurden erste Versuche unternommen, Plattensysteme, die bei anderen Frakturen bereits mit Erfolg eingesetzt wurden, auch am distalen Radius zu etablieren. Zunächst kamen nicht winkelstabile Platten zum Einsatz. Dabei stellte der sekundäre Repositionsverlust, vor allem bei höhergradigen Frakturen und bei osteoporotischen Knochenverhältnissen weiterhin die entscheidende Komplikation dar. Auch eine frühfunktionelle Behandlung war nicht möglich. Wie auch bei anderen Osteosyntheseverfahren konnte ein langfristig gutes Therapieergebnis bei vielen Patienten nicht erzielt werden.

Mit der Entwicklung winkelstabiler Systeme bzw. mit dem Übertragen des winkelstabilen Prinzips auf interne Plattensysteme konnte ein Meilenstein in der Versorgung metaphysärer und intraartikulärer Frakturen gelegt werden. Die neuen winkelstabilen Platten konnten nicht nur das Problem des Repositionsverlusts lösen, sondern gaben auch eine Antwort auf die Forderung nach funktioneller Beübbarkeit einer operativ versorgten Fraktur zu Gunsten eines besseren frühfunktionellen Ergebnisses.

Diese Arbeit soll die Thematik der distalen Radiusfraktur in seiner Komplexität beleuchten und Vor- und Nachteile konservativer und operativer Verfahren aufzeigen. Schließlich soll festgestellt werden, dass die Behandlung der distalen Radiusfraktur mit der winkelstabilen Plattenosteosynthese über den palmaren Zugang ein geeignetes und komplikationsarmes Verfahren darstellt, ein exaktes und stabiles Repositionsergebnis zu erzielen, die Funktionen des Handgelenks dauerhaft wiederherzustellen und zu erhalten und damit dem Patienten langfristig ein Höchstmaß an Zufriedenheit zu geben.

## 2 Einleitung

### 2.1 Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Handgelenkes und des distalen Radioulnargelenkes

#### 2.1.1 Knöcherne Gelenkstrukturen

Das Handgelenk des Menschen besteht aus zwei funktionellen Einheiten und untergliedert sich in drei einzelne Gelenke:

1. das distale Radioulnargelenk (Articulatio radioulnaris distalis) für Pro- und Supination,
2. das proximale Handgelenk, Radio- und Ulnocarpalgelenk (Articulatio radio- et ulnocarpalis) und
3. das distale Handgelenk, Mediocarpalgelenk (Articulatio mediocarpalis), die Ab- und Adduktionsbewegungen sowie Extensions- und Flexionsbewegungen ermöglichen (Fernandez et al. 2007).

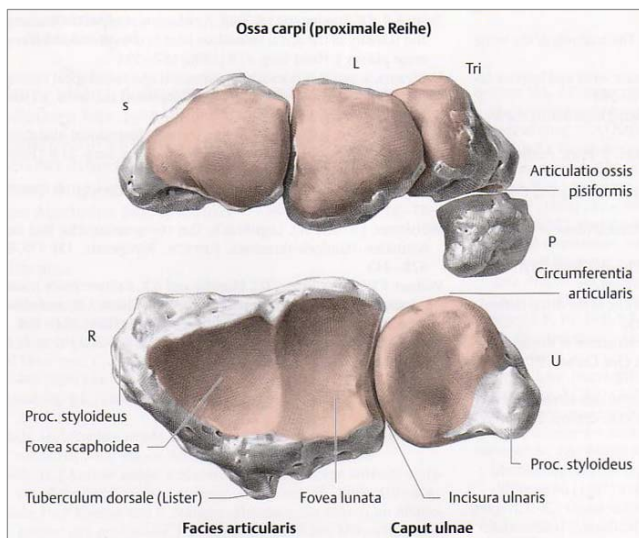
#### Das Radioulnargelenk

Im Radioulnargelenk, welches funktionell einem Radgelenk entspricht, artikulieren das Caput der Ulna mit der Incisura articularis des Radius. Dabei bewegt sich die überknorpelte Inzisur bei Pronation und Supination um die feststehende, überknorpelte Zirkumferenz der Ulna. Die Gelenkkapsel ist schlaff und bildet proximal zwischen Radius und Ulna eine Reservefalte (Rezessus sacciformis) für die Umwendbewegungen (Waldeyer 2003).

#### Das proximale Handgelenk

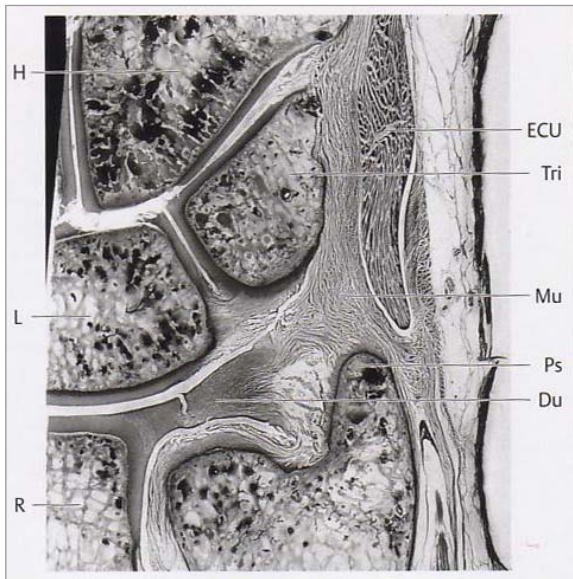
Der radio- bzw. ulnocarpale Gelenkabschnitt, funktionell als Elipsoidgelenk anzusehen, wird an der zweigeteilten distalen Radiusgelenkfläche durch die dreiecksförmige Fovea scaphoidea, für die Aufnahme des Os scaphoideums und der kleineren, eher sphärischen Fossa lunata, die als Widerlager für das Os lunatum dient (Abb.1), dem ulnocarpalen Komplex (triangulärer, fibrocartilaginärer Komplex, TFCC) (Abb.2) und der proximalen Handwurzelreihe gebildet, wobei die Ossa scaphoideum et lunatum radial

artikulieren und das Os triquetrum ulnar am Gelenk beteiligt ist. Die Ulna ist diesem Gelenk über den Discus articularis nur schmal angelagert und beteiligt sich nicht am Gelenk. Die distale Radiusfläche ist palmar eher flach und dient wichtigen, stabilisierenden Bandstrukturen als Ansatzmöglichkeit. Dorsal krümmt sich der Radius konvex und ist Widerlager für die sechs dorsalen Strecksehnenfächer. Eine längliche Erhöhung im dorsalen Handgelenksbereich, die man als Tuberculum lister bezeichnet, ist funktionell ein Hypomochlion und gleichzeitig Widerlager für die im dritten Strecksehnenfach verlaufende Sehne des M. extensor pollicis longus (Frank et al. 2003).



**Abbildung 1:** Gelenkfacetten am distalen Radius für Os scaphoideum und lunatum (Schmidt HM, Lanz U 2003)





H	Os hamatum
L	Os lunatum
R	Radius
DU	Discus ulnocarpalis
PS	Processus styloideus ulnae
MU	Meniscus ulnocarpalis
Tri	Os triquetrum
ECU	Sehne und Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris

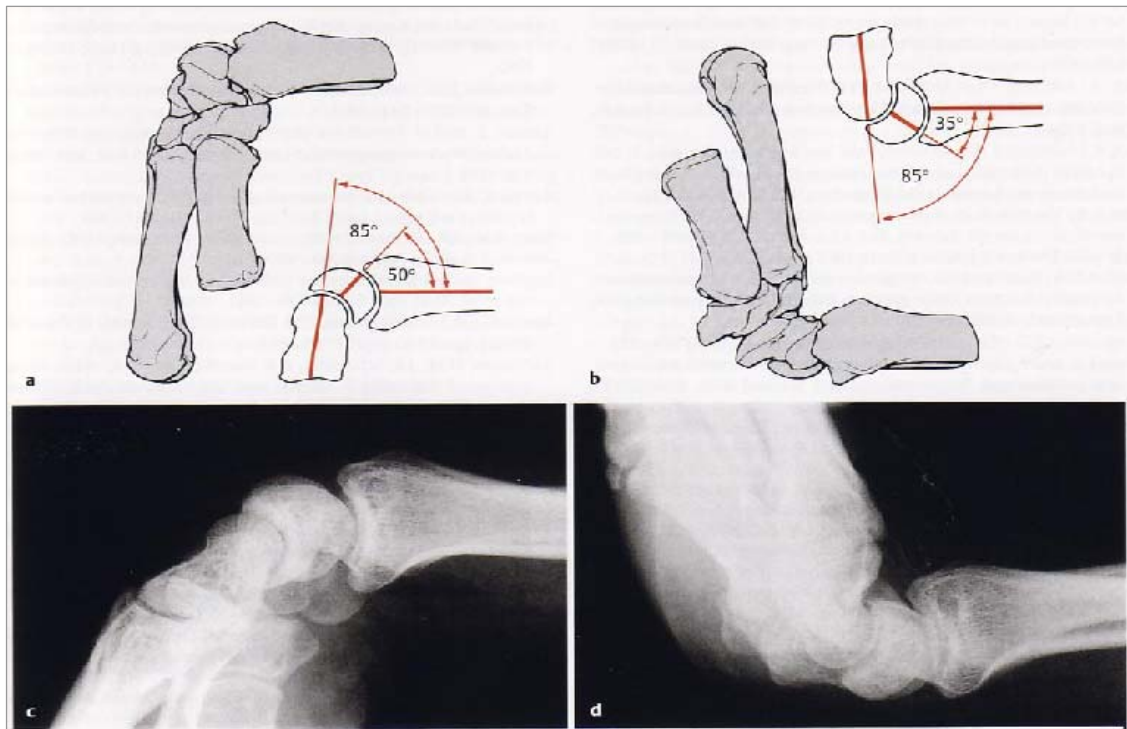
**Abbildung 2** : Ulnokarpaler Komplex (TFCC, „triangular fibrocartilage complex“)  
(Schmidt HM, Lanz U 2003)

### Das distale Handgelenk

Im distalen Handgelenksbereich verbinden sich die proximale und distale Handwurzelreihe, bestehend aus den Ossa trapezium, trapezoideum, capitatum und hamatum, ebenfalls zu einer scharniergelenkartigen Verbindung, wobei zwischen den Handwurzelknochen individuelle Einzelgelenke bestehen, die eine s-förmig verlaufenden Gelenkspalt formen (Frank et al. 1999, Oestern 1999). Die einzelnen Handwurzelknochen sind in ihren Reihen gelenkig miteinander verbunden und ändern bei allen Bewegungen im Sinne einer Rotation ständig ihre Position. Dabei passen sich die korrespondierenden Gelenkpartner durch die exakte Bandführung jeder Stellung und Belastung optimal an (Krimmer 2001). Von Lichtmann wurde 1997 der Karpus funktionell als ein unter Spannung stehendes dynamisches Ringsystem mit individueller Bewegungstendenz beschrieben, dessen Spannung durch ihren komplexen Bandapparat aufrechterhalten wird.

In ihrem Zusammenspiel ermöglichen die Einzelgelenke des Handgelenkes die Dorsalextension und Palmarflexion (Bewegungsausmaß: Dorsalextension-Palmarflexion 70-80°/0°/80-90°), die Radial- und Ulnarabduktion

(Bewegungsausmaß: Radialabduktion-Ulnarabduktion: 25°-30°/0°/30°-40°) sowie die Pronation und Supination (Bewegungsausmaß: Pronation-Supination: 80°-90°/0°/80°-90°) (Abb.3). Darüber hinaus sind in Kombination dieser Bewegungen komplexe Bewegungsformationen möglich, die annähernd Bewegungen in einem Kugelgelenk gleichkommen (Moll 2002).



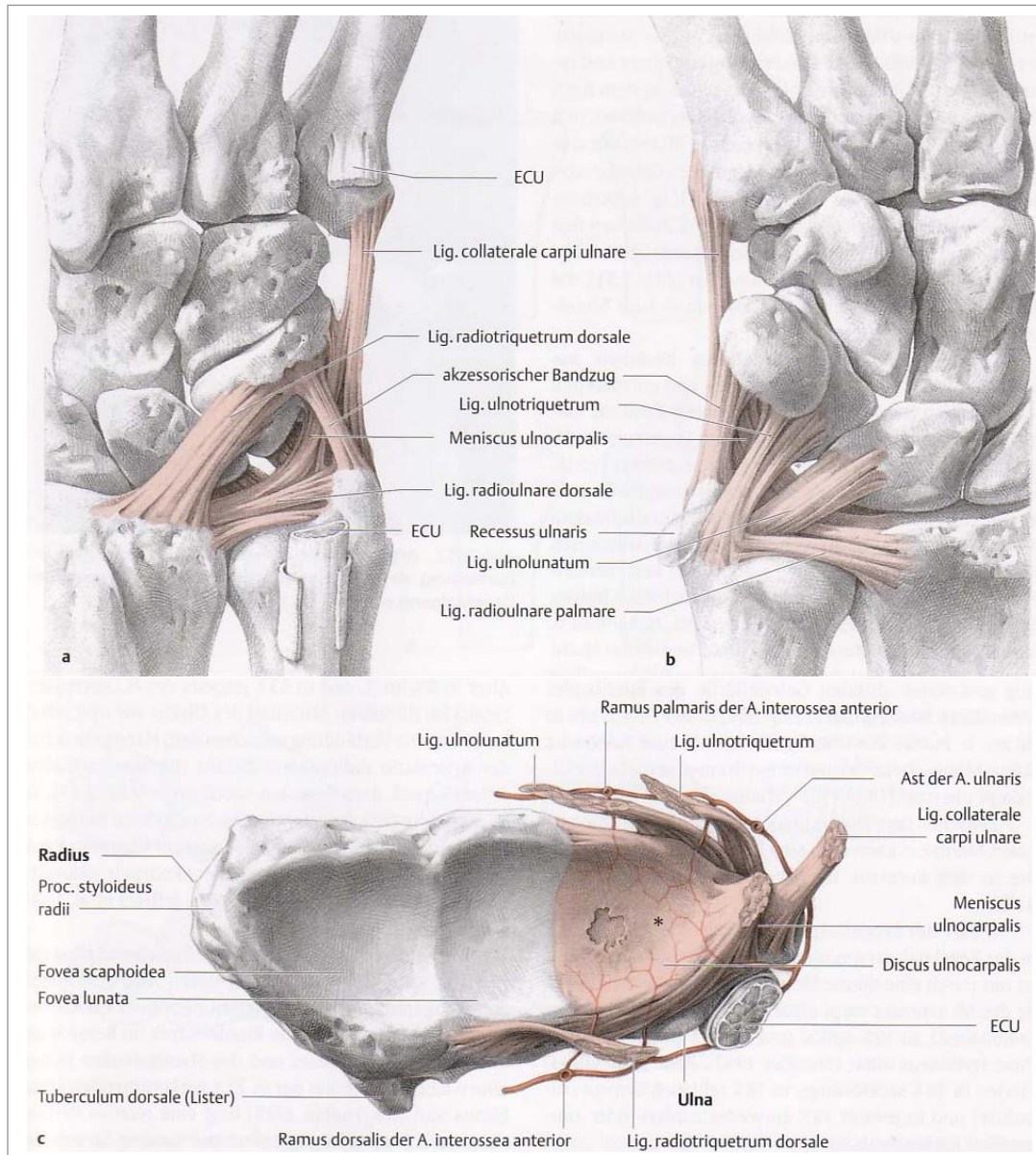
**Abbildung 3 a-d:** Flexion und Extension in den Handgelenken.

- a** Winkel der Längsachsen von Radius, Lunatum und Kapitatum bei Flexion
- b** Winkel der Längsachsen von Radius, Lunatum und Kapitatum bei Extension
- c** Röntgenbild der Handwurzelregion in Flexion
- d** Röntgenbild der Handwurzelregion in Extension.

(Schmidt HM, Lanz U 2003)

### 2.1.2 Die Bandstrukturen am Handgelenk

Der *Diskus ulnae carpalis* dient, wie vergleichbare andere Menisci- und Discikörper der Übertragung von Druckkräften. Er füllt die radiologisch sichtbare Lücke zwischen dem Ulnakopf und den Ossa lunatum et triquetrum und wird bei Umwendbewegungen mit dem Radius mitgeführt. Zusätzlich sind Verbindungen zum Triquetrum, Hamatum und Metacarpale V beschrieben. Befestigt ist der Diskus zum einen über einen breiten Ansatz an der Inzisur des Radius, zum anderen inseriert er an der Ulna über eine doppelte Verankerung am Processus styloideus ulnae und radial davon. Der Diskus ist neben dem radioulnaren und ulnocarpalen Bändern zentraler Bestandteil des *trinangulären, fibrocartiläre Komplexes* (TFCC) (Abb.2,4), einem fibrösen Stabilisierungsapparat für das distale Radioulnargelenk, der durch den Zug des M.extensor carpi ulnaris seine Spannung erhält. Zentral ist der Discus nicht vaskularisiert und damit gegenüber degenerativen Veränderungen und traumatischen Perforationen exponiert.



#### Abbildung 4: Ulnokarpaler Komplex

- a** Ulnokarpaler komplex von dorsal.
- b** Ulnokarpaler Komplex von palmar.
- c** Ulnokarpaler Komplex von distal mit arterieller Versorgung (nach Thiru-Pathi et.al. 1986)

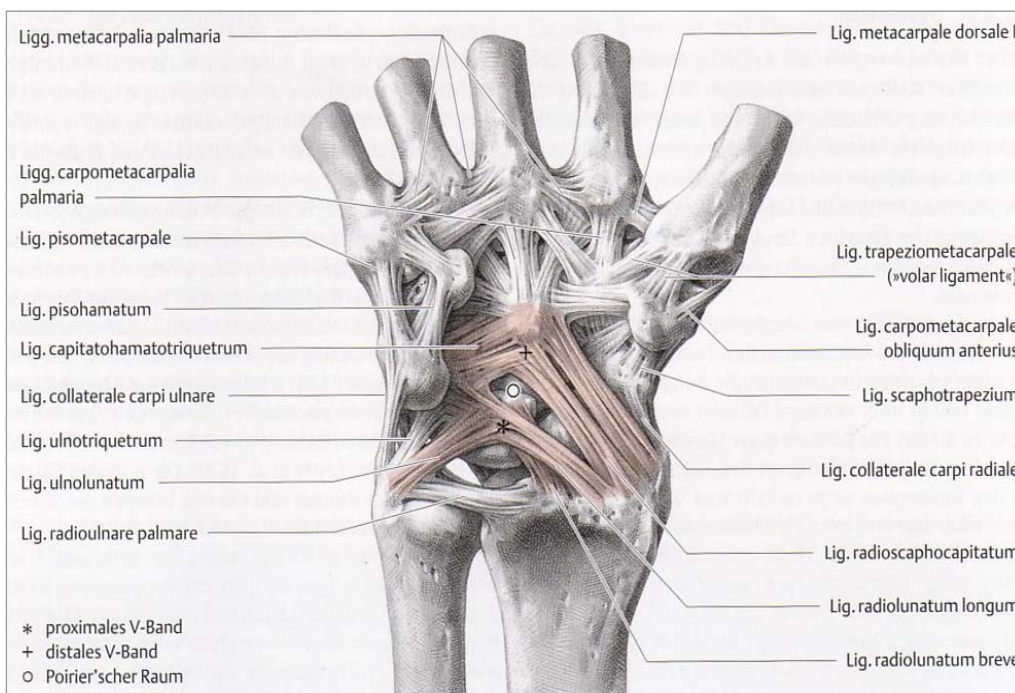
**ECU** Sehne und Sehnenscheide des M. extensor carpi ulnaris

\* Perforation des Discus ulnocarpalis

(Schmidt HM, Lanz U 2003)

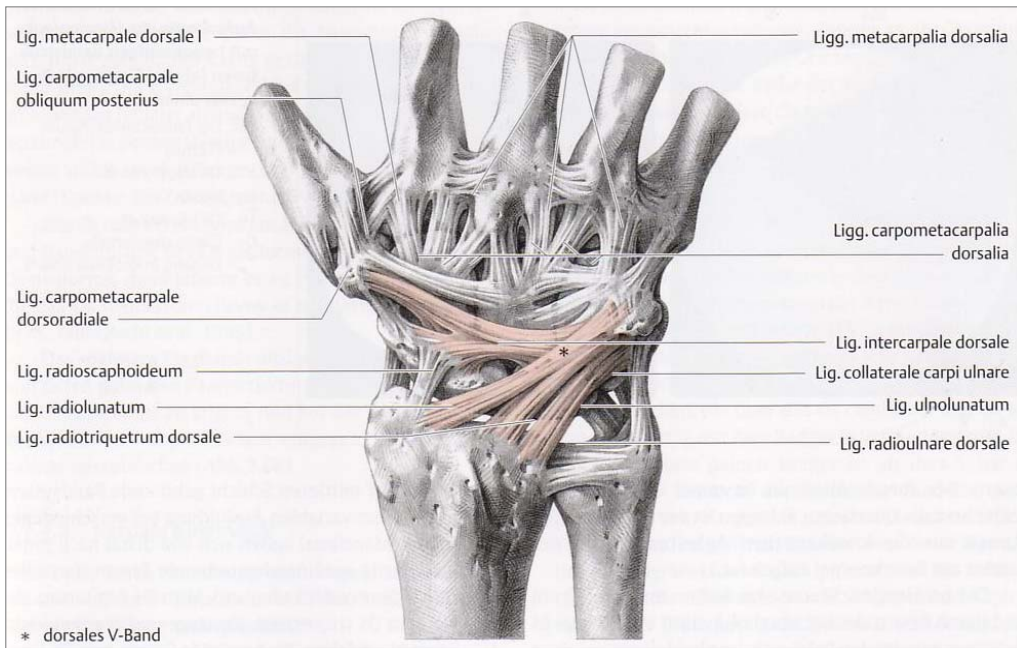
Taleisnik (1968) unterscheidet die intrinsischen von den extrinsischen Bändern. Die extrinsischen Bänder verbinden den Carpus mit dem Radius und Metacarpus und sind mit der Gelenkkapsel verwachsen. Die intrinsischen Bänder, welche intraartikulär liegen, verbinden die Karpalknochen

untereinander. Die *extrinsischen* Bänder bilden palmar und volar die Form eines V. Palmar unterteilt man diese in ein proximales und distales V-Band, die in der Dreiecksmitte den Poirier Raum aussparen (Abb. 5 und 6). Der beugeseitige Bandapparat ist sehr viel stärker ausgebildet als der Dorsale. Die dorsalen Bänder sind breitflächiger und dünner strukturiert als die Palmaren. Beide Bandsysteme sparen die proximale Handwurzelreihe aus, setzen weitgehend an der Distalen an und ermöglichen so der proximale Handwurzelreihe eine größere Beweglichkeit. Die *intrinsischen* Bänder halten die Knochen der distalen Handwurzelreihe so straff zusammen, dass Bewegungen minimiert werden und so eine Art funktionelle Einheit entsteht. In der proximalen Handwurzelreihe sind die intrinsischen Bänder weniger straff gespannt und ermöglichen so gewisse Freiheitsgrade, die für harmonische Bewegungen und Anpassungsvorgänge notwendig sind (Frank et al. 2003).



**Abbildung 5:**

Karpale Bandsysteme einer rechten Hand von palmar sowie palmare Bänder des Daumensattelgelenks. Das Lig. radioscapocapitatum ist zweigeteilt (Var.). Beachte die Anordnung des proximalen und distalen V-Bandes (rosa). Die Binnenbänder sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. (Schmidt HM, Lanz U 2003)

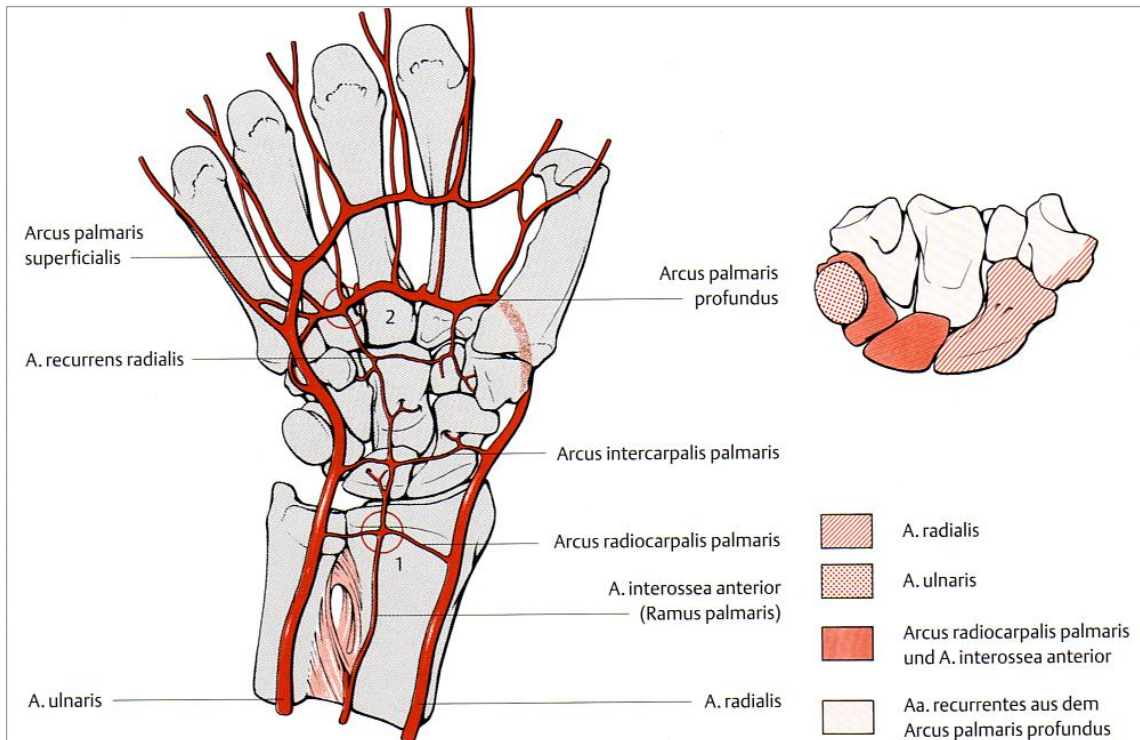


**Abbildung 6:**

Karpale Bandsysteme einer rechten Hand von dorsal sowie dorsale Bänder des Daumensattelgelenks. Beachte das dorsale V-Band (rosa). Die Binnenbänder sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. (Schmidt HM, Lanz U 2003)

**2.1.3 Gefäßnervenverlauf am distalen Unterarm**

Das Handgelenk wird über den Ramus superficialis des Nervus radialis innerviert. Dieser spaltet sich am distalen Unterarm vom N. radialis ab und verläuft in der Regel auf der Sehne des M. extensor pollicis longus. In seinem Verlauf teilt sich der Ramus superficialis n. radialis in zwei bis drei Äste auf. Unter der Sehne des M. palmaris longus bzw. neben der Sehne des M. flexor carpi radialis findet sich der N. medianus. Die Gefäßversorgung erfolgt über Äste der Aa. radialis et ulnaris (Oestern 1999). Der Gefäßnervenverlauf am distalen Unterarm ist in Abbildung 6 dargestellt.



**Abbildung 6:** Arterien der Handwurzel von palmar mit Versorgungsgebieten  
 (nach Gelbermann et al. 1983)  
 1 Proximale Zone arterieller Konvergenz  
 2 Distale Zone arterieller Konvergenz (nach Kuhlmann et al. 1988)  
 (Schmidt HM, Lanz U 2003)

#### 2.1.4 Radiologische Kriterien am Handgelenk

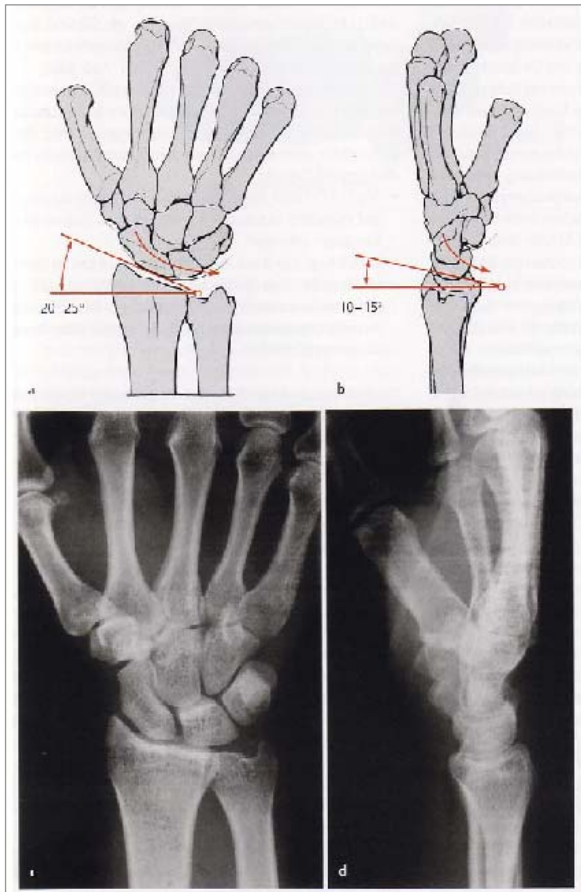
Bei der radiologischen Beurteilung des Handgelenkes sind folgende Kriterien wichtig:

- Der dorsopalmare Neigungswinkel distalen Radius bezeichnet den Winkel zwischen der Parallelen zur Gelenkfläche und der Senkrechten zur Längsachse des Radius (Abb.7). Der Durchschnittswert liegt bei ca. 11°-12°. Diese anatomische Gegebenheit ermöglicht eine optimale Kraftankopplung des distalen Radius an die Handwurzelknochen.
- Der radioulnare Neigungswinkel oder Radiusbasiswinkel bestimmt den Winkel zwischen der Parallelen zur Gelenkfläche und der Senkrechten zur Längsachse des Radius (Abb.7). Am gesunden Handgelenk beträgt dieser Winkel 22°-25°.
- Die *Ulnarvarianz*: Die Ulnarvarianz ist der relative Längenunterschied des Ulnaköpfchens gegenüber der Lunatumfacette der distalen

Radiusgelenkfläche. Zwei Millimeter Differenz werden als Normvariante aufgefaßt. Größere Differenzen werden als Plus- oder Minusvariante der Ulna bezeichnet. Dabei macht der radiologische Vergleich mit der Gegenseite Sinn. Bei der Ulna-plus-Variante ist die Ulna relativ zu lang und es besteht die Gefahr eines ulnoulnaren Impingements und degenerativer Veränderungen am Discus triangularis. Eine Ulna-minus-Variante, also eine relativ zu kurze Ulna, prädispositioniert zu einer avaskulären Nekrose des Lunatum.

- Die *Radiuslänge*: Die Radiuslänge ist die Distanz zwischen der Horizontalen durch den Processus styloideus radii und der Parallelen zu dieser Linie durch den ulnaren Begrenzungspunkt der Radiusgelenkfläche. Durchschnittlich beträgt dieser Strecke 11-12 mm.





**Abbildung 7 a-d: Neigungswinkel der Gelenkflächen am Radius.**

- a** Radiulnarer Neigungswinkel der Facies articularis carpalis des radius mit Tendenz des Abgleitens des Karpus nach ulnar (gebogener Pfeil).
- b** Dorsopalmarer Neigungswinkel der Facies articularis carpalis des Radius mit Tendenz des Abgleitens des Karpus nach palmar (gebogener Pfeil).
- c** Röntgenbild der Handwurzelregion im dorsopalmaren Strahlengang.
- d** Röntgenbild der Handwurzelregion im radiulnaren Strahlengang.

(Schmidt HM, Lanz U 2003)

Die Wiederherstellung der Radiusgelenkfläche ist für das Erreichen eines guten funktionellen Langzeitergebnisses ein entscheidendes Kriterium. Gelenkstufen von zwei Millimetern und mehr wurden von Knirk und Jupiter (1986) bereits als Präarthrose bezeichnet. Weitere Untersuchungen von Trumble et al. wiesen eine deutliche Verschlechterung des funktionellen Outcomes bereits bei einer Stufe von bereits mehr als einem Millimeter nach. Schupp et al. (2003) beschreiben einen positiven Zusammenhang zwischen den radiologischen Ergebnissen und den funktionell messbaren Resultaten.

Für ein gutes funktionelles und schmerzfreies Langzeitergebnis ist somit zum einen die Wiederherstellung der Achs- und Längenverhältnisse am distalen Unterarm, zum anderen die exakte stufenfreie Rekonstruktion der Radiusgelenkfläche verantwortlich und dienen damit als prognostischer Faktor (Lutz et al 2007). Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass sich nicht immer der radiologisch ermittelte Schweregrad der Arthrose mit den subjektiv empfundenen Schmerzen und Einschränkungen deckt. Denn gerade an der oberen Extremität stellt die Arthrose einen oft langsam fortschreitenden Prozess dar, der nicht dem klinischen Bild entspricht (Lutz et al. 2003). Darüber hinaus müssen Arthrosen als Folge von Frakturen ohne eigentliche Gelenkinstabilität von Arthrosen, die durch ein instabiles Gelenk hervorgerufen werden, unterschieden werden. Dies konnte eine Langzeitstudie aus dem Jahr 2007 nachweisen. Lediglich das Ausmaß der Extensions-Flexionsbewegung korreliert mit dem Arthrosegrad ohne negative Auswirkung auf den DASH - Score (siehe Anhang) (Lutz et al. 2007).

#### 2.1.5 Biomechanik des menschlichen Handgelenkes

Das distale Ende der des Unterarms kann aus biomechanischer Sicht als aus drei Säulen bestehend betrachtet werden: einer radialen Säule mit dem Radiusstyloid und der Fossa scaphoidea des radiokarpalen Gelenks; einer intermediären Säule mit der Fossa lunata und der sigmoid notch (distales Radioulnargelenk); und einer ulnaren Säule mit der distalen Ulna und dem triangulären fibroartilaginären Komplex (TFCC). Bei einer aufwendigen Messung, die die Kraftübertragung im menschlichen Handgelenk untersuchte,

wurde festgestellt, dass bei aktiver Bewegung im Handgelenk die Kraft über zwei Zentren, ein Radiales und ein Ulnares, übertragen wird. Diese beiden Zentren liegen entgegen der lange Zeit vorherrschenden Meinung deutlich mehr auf der ulnaren Seite des Handgelenkes. Das ulnare Zentrum projiziert sich zum großen Teil auf den TFCC. Drei Viertel der Kraft wird über die ulnare Säule übertragen. Dies ist der Grund für die im Alter beobachteten degenerativen Veränderungen im Bereich des TFCC (ab fünfter Dekade in 100 %). Deshalb wird auch ein ulnare Impactionsyndrom nach Verkürzung des Radius schlecht toleriert. Das radiale Kraftzentrum projiziert sich im Wesentlichen auf die intermediäre Säule und nur am ulnaren Rand auf die radiale Säule. Demzufolge führt die Kraftübertragung über die intermediäre Säule zu Impressionen der Gelenkfläche und man findet weit in die Metaphyse eingesprengte artikuläre Fragmente fast immer im Bereich der Fossa lunata. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass bei Radial- und Ulnarduktion die Kraftzentren nach radial bzw. nach ulnar verlagert werden. Bei der Extensions- und Flexionsbewegung bleiben die Kraftzentren in der Frontalebene durch die koordinierte Kontrolle der Extensoren- und Flexorenmuskulatur immer perfekt auf das radio-ulnokarpale Gelenk zentriert, und es kommt nicht zu einer Verschiebung nach dorsal oder palmar.

Man kann zusammenfassend formulieren: die radiale Säule dient der Stabilisierung des Karpus, das Radiusstyloid begrenzt dabei als knöchernen Barriere die Radialduktion. Die intermediäre Säule dient der Kraftübertragung, die Ulnare sowohl der Kraftübertragung wie auch der Stabilisierung des Karpus. Sie stellt die Drehstange dar, um die Radius und Karpus bei Pro- und Supination rotieren und ist die stabile ossäre Verbindung zwischen Karpus und Humerus (Rikli et al. 2007).

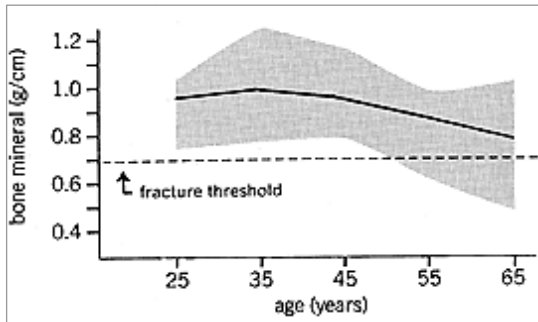
## 2.2 Epidemiologie, Verletzungsmechanismen, Begleitverletzungen und Fraktуреinteilung der distalen Radiusfraktur

### 2.2.1 Epidemiologie

Die distale Radiusfraktur ist mit einem Anteil von 10-25% die häufigste Fraktur des menschlichen Skeletts. Erst in der Altersgruppe der über 75-Jährigen wird die distale Radiusfraktur durch die hüftgelenknahen Frakturen übertroffen (Schupp et al 2003).

1996 wurden in der Bundesrepublik 530 000 Radiusfrakturen stationär behandelt. An der oberen Extremität hat sie einen Anteil von 14%, allein bezogen auf die Unterarmfrakturen einen Anteil von sogar 75% (Schmidt et al. 2003). Die distale Radiusfraktur tritt gehäuft im Alter zwischen 41 und 60 Jahren auf (Pechlaner et al 2007). Bei den jüngeren Patienten dominiert das männliche Geschlecht. Im höheren Lebensalter sind vorwiegend Frauen betroffen.

Dies ist durch die höhere Inzidenz an postmenopausaler Osteoporose und anderer Osteopathien bedingt. Bei älteren Patientengruppen erleiden mehr Frauen als Männer eine distale Radiusfraktur. Eine Studie von Earnshaw et al. aus dem Jahre 2003 evaluierte das Verhältnis zwischen distaler Radiusfraktur und Osteoporose (siehe Abbildung 8). Von 106 untersuchten Frauen in der Postmenopause mit distaler Radiusfraktur zeigte die Hälfte eine Osteoporose der Wirbelsäule, des proximalen Femurs und des distalen Radius (Oestern 2003). Die Inzidenz der distalen Radiusfraktur steigt von prämenopausal 10 pro 10.000 Einwohner auf 33 pro 10.000 nach der Menopause (Thompson et al. 2004). Weitere Ursachen für die beobachtete Alterslastigkeit sind zum einen Stoffwechsel- und kardiovaskuläre Erkrankungen, die das Sturzrisiko erhöhen, zum anderen führen arthrosebedingte Gelenksteifigkeit und Muskelatrophien dazu, dass Stauchungskräfte ungehinderter auf den anfälligeren Knochen einwirken können (Rikli und Regazzoni 1999, Oestern 2003, Schmidt et al. 2003).



**Abbildung 8:** Knochenmineralgehalt (g/cm) in Abhängigkeit vom Lebensalter (Earnshaw et al.2003)

In einer Studie von Cuenca et al. wurde ein Verhältnis von metaphysären zu intraartikulären Frakturen von 46 zu 54% errechnet (Cuenca et al. 2003). In Osteoporosestudien verschiebt sich dieses Verhältnis ab dem 65. Lebensjahr auf 73% zu 27%, geschuldet durch den verminderten Mineralsalzgehalt v.a. in der Metaphyse (Vogt et al. 2002). Signifikante Unterschiede in einzelnen Frakturtypen und einzelnen Altersgruppen konnte die Multizenterstudie von Pechlaner et al. (2007) nicht nachweisen.

### 2.2.2 Verletzungsmechanismus und Pathomechanik der distalen Radiusfraktur

Ursache der distalen Radiusfraktur ist der Sturz auf die dorsal extendierte oder palmar flektierte Hand oder ist Folge eines axialen Stauchungstraumas. Dabei ist der Sturz selbst meist Resultat aus körperlicher Hyperaktivität und Unbedachtheit junger Patienten oder der zunehmenden Hinfälligkeit des Alters geschuldet (Brug et al. 2000). In einer österreichischen Multizenterstudie wurde herausgearbeitet, dass bei 65,1% ein allgemeines Sturzgeschehen, bei 17,4% Sportverletzungen, bei 8,9% Verkehrsunfälle, bei 7,5% Stürze aus großer Höhe und bei 1,1% andere Ursachen für das Zustandekommen einer distalen Radiusfraktur verantwortlich sind (Pechlaner et al. 2007). Dabei ist der Winkel, in der die Kraft auf den Radius einwirkt für die Lokalisation der Fraktur entscheidend.

Die Extensionsfraktur, die so genannte *Colles-Fraktur* (Abb.9), mit einem Anteil von 90% die häufigste Verletzungsform, entsteht bei Extensionswinkel von 40-90°. Nimmt der Winkel zu, wächst mit diesem der Kraftaufwand, um ein

Frakturgeschehen herbeizuführen. Jenseits der 90° werden Radiusfrakturen kaum noch beobachtet. Es kommt vorwiegend zu Luxationen und Frakturen im Handwurzelbereich. Unterhalb von 40° finden sich Unterarmschaft- und Ellenbogenfrakturen. Auf Grund der dorsal schwächer ausgebildete Kompaktastruktur des distalen Radius kommt es bei den Extensionsfrakturen meist zur dorsalen Abkipfung der Knochenfragmente.



**Abbildung 9:** Distale Radiusfraktur nach Sturz auf die nach dorsal extendierte Hand (Colles Fraktur) mit nach dorsal dislozierten gelenktragenden Fragmenten (eigenes Bildmaterial)

Die Frakturlinie befindet sich in der Regel 1,5-2 cm proximal der Radiusgelenkfläche. Durch die dorsale Abkipfung der Fragmente entsteht eine so genannte Gabelstellung des distalen Radius. Im seitlichen Strahlengang des Röntgenbildes imponiert die Stellung des Radius als Bajonett. Der Sturz auf die palmar flektierte Hand, nach ihrem Erstbeschreiber als *Smith-Fraktur* bezeichnet, tritt wesentlich seltener auf als die Extensionsfraktur. Es kommt zu einer Abscherung und Abkipfung der palmaren Radiusfläche. Die so genannte *Chauffeur-Fraktur* und die „*die-punch-fraktur*“, eine Impressionsfraktur der Fossa lunata des Radius entstehen durch axiale Stauchungstraumata. Die indirekte Krafteinwirkung auf den Radius führt in Abhängigkeit von Stärke der

einwirkenden Kraft und dem Osteoporosegrad des Knochens zu einer mehr oder weniger starken Spongiosakompression, die nach Reposition einen Hohlraum hinterlässt, der u.a. für die Zusammensinterung und den Radiuslängenverlust bei der konservativen Therapie mitverantwortlich ist (Oestern 1999, Felderhoff et al.1999, Brug et al.2000, Schmidt et al.2003).

Je nach Stärke und Richtung der Krafteinwirkung und Beschaffenheit des Knochens resultieren intra- oder extraartikuläre Frakturen. Letztere entstehen aus einer dorsalen Verkipfung und Dislokation sowie einer radialen Verkipfung und Verkürzung des distalen Fragmentes. Durch die dorsale Verkipfung entsteht die bereits beschriebene Defektzone an der dorsalen Kortikalis. Begleitende Abrisse des Processus styloideus ulnae sind häufig.

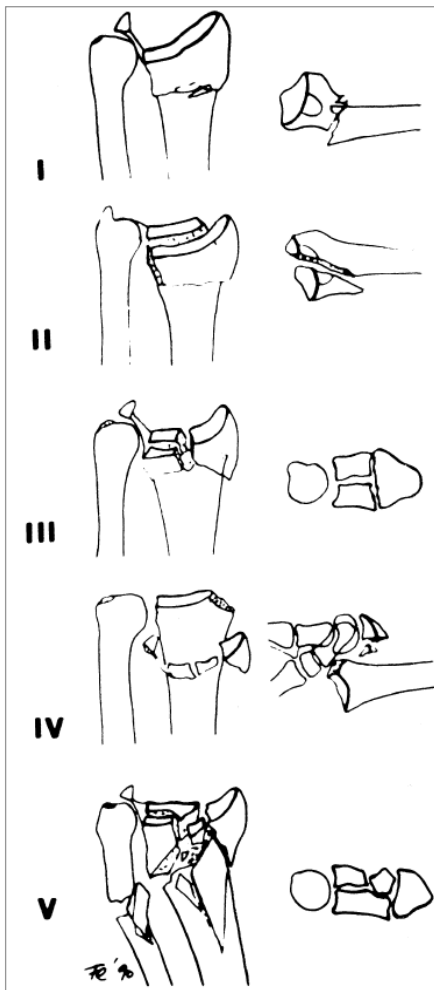
Fernandez beschreibt in seiner gleichnamigen Klassifikation den Zusammenhang zwischen Sturzmechanismus und Verletzungsformen am distalen Radius. Die häufigste Form (Typ I) (Abb.10) kommt durch indirekte Biegekräfte zustande. Sind die Kräfte nach dorsal gerichtet, entsteht die klassische Colles Fraktur: eine extraartikuläre Fraktur der Radiusepiphyse mit Dislokation nach dorsal und radial und mehr oder weniger ausgeprägter metaphysärer Trümmerzone. Relativ häufig finden sich sagittale Ausläufer ins Gelenk, meist ohne Dislokation. Sind die Kräfte nach palmar gerichtet, entsteht die Smith-Fraktur mit Dislokation des distalen Fragmentes nach palmar. Auch hier findet sich gerade beim osteoporotischen Knochen häufig eine Ausdehnung der Fraktur ins Gelenk, insbesondere eine Absprengung des Radiusstyloids. Bei mehr axial einwirkender Kraft kommt es je nach Stellung des Handgelenkes zur Abscherung der dorsalen (Barton) oder der palmaren (reversed Barton) Kante der Radiusepiphyse mit einem mehr oder weniger großen Gelenkanteil. Auch die isolierte Fraktur des Radiusstyloids (backfire fracture) gehört zu dieser Gruppe (Typ II). Das sind Gelenkfrakturen des jüngeren Menschen. Bei rein axial einwirkender Kraft kommt es zu den typischen, von Melone beschrieben Gelenkfrakturen (Typ III). Durch den so genannten „die punch“ Mechanismus (die lange Gerade im Boxsport) wird die Radiusepiphyse in der Regel in vier Hauptfragmente aufgesprengt. Der Processus styloideus radii, der Radiuschaft, das dorso-ulnare und das palmar-ulnare Fragment. Die beiden letzteren bilden das distale Radioulnargelenk. Bei

dieser Hochenergieverletzung (in der Regel des jüngeren Menschen) findet sich meist auch eine Impaktion von Gelenkfragmenten in die Metaphyse. Vor allem bei Frakturen, die durch die Facies lunaris verlaufen, entstehen gehäuft Verletzungen der radiokarpalen und intrakarpalen Bänder. Es entsteht darüber hinaus bei diesen „die punch“ Verletzungen durch die Interruption der distalen Handgelenksfläche und Subluxation des Handgelenkes eine höchst instabile Fraktursituation (Janak und Bain 1999).

Bei den seltenen Avulsionsverletzungen kommt es zum ossären Ausriss der radiokarpalen und ulnokarpalen Bandstrukturen im Sinne einer Handgelenksluxation (Typ IV). Da der Karpus in der Regel spontan reponiert, zeigen sich im Unfallbild unter Umständen nur kleine, ossäre Fragmente im Bereich der dorsalen oder palmaren Kante und im Bereich des Radiusstyloids, weshalb man im Röntgenbild die Verletzung unterschätzen kann. Die Prüfung der Stabilität unter Bildwandler zeigt dann das tatsächliche Ausmaß des Schadens. Bei Hochenergietraumen findet man schließlich Kombinationen der oben erwähnten Verletzungsformen.

Klinisch zeigt sich eine schmerzhafte Bewegungseinschränkung im Hand- sowie im distalen Radioulnargelenk und ein deutlicher Kraftverlust der Faustschlussbewegung. Die typische Fourchette- und Bajonettstellung des Handgelenkes ist häufig zu beobachten. Schwellungsneigung, periphere Parästhesien und verminderte Durchblutung können komplizierend hinzutreten (Janak und Bain 1999). Zusätzliche Frakturmechanismen sind Scherwirkungen durch lateral (radiale oder ulnare Inklination) und rotatorisch einwirkende Kräfte (Pronation und Supination) sowie Avulsionsmechanismen, die Abrissfrakturen des Processus styloideus radii et ulnae und ligamentäre Ausrisse bedingen (Merle et al. 1999).





**Abbildung 10:** Klassifikation der distalen Radiusfraktur nach Fernandez

### 2.2.3 Begleitverletzungen bei distaler Radiusfraktur

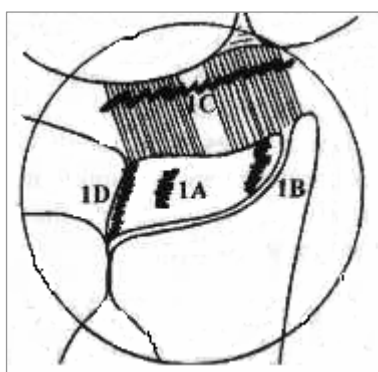
Die im Vorangegangenen geschilderten Verletzungsmechanismen führen oft nicht nur zu einer alleinigen Destruktion des Radius, sondern betreffen oftmals auch umgebende Weichteil- und Knochenstrukturen, deren Schädigung trotz anatomisch korrekter Rekonstruktion der knöchernen Anteile zu unbefriedigenden Behandlungsergebnissen führen können und somit besonderer Aufmerksamkeit bedürfen. Diese Verletzungen betreffen vor allem die karpalen Bandstrukturen, das distale Radioulnargelenk (DRUG), den triangulären, fibroartilaginären Komplex (TFCC), die gelenküberziehenden Knorpelstrukturen und die benachbarten Knochenstrukturen v.a. im Handwurzel- und Ulnabereich. Kombinationen dieser Verletzungen sind häufig zu beobachten. Untersuchungen zeigen, dass der Anteil therapierelevanter,

interkarpaler Begleitverletzungen positiv mit der Schwere der Radiusfraktur korreliert. Auch die Rasanze des Traumas und das vorangeschrittene Lebensalter begünstigen das Auftreten therapiebedürftiger Begleitverletzungen. Interkarpale Bandverletzungen entstehen im Zusammenhang mit einer distalen Radiusfraktur durch Extension und radiale Deviation, axiale Kompression und Impaktion eines dorsoulnaren Fragmentes sowie durch ulnare Deviation und starke Radiusverkürzung (Polzer et al. 2002).

Während knöchernen Läsionen in der Regel mit der Nativröntgenaufnahme beurteilt werden können, sind ligamentäre Verletzungen, vor allem wenn sie nicht mit einer knöchernen Dissoziation oder einer massiven Instabilität verbunden sind, häufig nur mit weiteren, zum Teil aufwendigeren, diagnostischen Maßnahmen zu diagnostizieren (Polzer et al. 2002). Bei Verdacht auf ligamentäre, karpale Verletzungen sollten die nativen Röntgenaufnahmen durch eine Handgelenksarthrographie bzw. –arthroskopie sowie durch magnetresonanz- oder computertomographische Untersuchungen ergänzt werden. Arthrographische Untersuchungen zeigen ligamentäre Verletzungen durch Kontrastmitteldurchtritt an einer beim Gesunden dichten Stelle an. Diese diagnostische Methode kann allerdings weder eine Aussage über das Alter der Verletzung noch über die klinische Wertigkeit im Sinne einer etwaigen Instabilität treffen. Ähnlich verhält es sich mit den Kernspinuntersuchungen; die diagnostische Verlässlichkeit ist unzureichend. Therapeutische Konsequenzen sind nur bedingt daraus abzuleiten. Einzig die Handgelenksarthroskopie lässt eine verlässliche Beurteilung der karpalen, ligamentären Strukturen zu. Akute Verletzungen können von Chronischen, Teilrupturen von kompletten Zerreißungen der Bänder unterschieden werden. Damit erlaubt diese Methode auch funktionelle Aussagen über die Stabilität des Karpus und des distalen Radioulnargelekes. Die Stabilität der interkarpalen Bandsysteme werden nach Geissler in vier Grade eingeteilt. Bei den Graden I und II handelt es sich um Läsionen ohne Beeinträchtigung der Stabilität, die Grade III und IV stellen instabile Situationen dar, die einer gesonderten Behandlung bedürfen. Die Arthroskopie wird mediokarpal und radiokarpal durchgeführt werden. Anschließend erfolgt die Beurteilung dieser beiden

Gelenke auf Elongation und/oder Einblutung im Mediokarpalgelenk und auf Inkongruenz oder Stufe im Radiokarpalgelenk.

Eine häufige Begleitverletzung mit einem Anteil von 23 bis 78% an den assoziierenden Verletzungen der distalen Radiusfraktur stellt die Läsion des TFCC dar. Es gibt dabei eine positive Korrelation zwischen der Radiusverkipfung und der Radiusverkürzung. Die TFCC Verletzungen werden nach Palmer klassifiziert (Abb.11).



**Abbildung 11:** Palmer Klassifikation der TFCC Schädigungen (Polzer et al.2002)

1A Läsionen betreffen die zentrale, dünnste Region des Diskus articularis. 1B bedeutet ulnarer Abriss des TFCC, 1C den distalen Abriss des TFCC im Bereich des ulnotriquetralen und ulnolunären Ligamentes und 1D schließlich den Abriss des TFCC an seiner radialen Verankerung. Abhängig vom Ausmaß der Ruptur zeigt sich klinisch ein radioulnarer Stabilitätsverlust. 1A Läsionen führen dabei so gut wie nie zu einer radioulnaren Instabilität (Polzer et al. 2002). Der Verdacht kann durch das Vorliegen einer schmerzhaften, federnden Prominenz der distalen Ulna nach dorsal, einer schmerzhaften Ulnabewegung (ulnares Impingement), bei Abrißfrakturen des Processus styloideus ulnae bei Galeazzi-Frakturen und erheblicher Verschiebung der Radiusbasis nach radial geäußert werden. Durch eine MRT-Untersuchung oder eine Handgelenksarthroskopie kann die Diagnose gesichert werden. Die Therapie besteht entweder aus konsequenter Ruhigstellung des Handgelenkes für fünf bis sechs Wochen oder aus der operativen Sanierung mit arthroskopischer oder

offener Refixation bei ulnaren Rupturen bzw. einem Debridement bei einem zentralen Defekt des TFCC.

Die Stabilität des distalen Radioulnargelenkes, als Folge eines TFCC Defektes oder einer knöchernen Schädigung sowie der Kombination aus beiden kann ebenfalls klassifiziert werden. Es werden drei Typen mit jeweils zwei Untertypen unterschieden:

Typ I: Processus styloideus ulnae Abrisse an der Spitze des Fortsatzes ohne Mitbeteiligung der tiefer inserierenden TFCC-Anteile ohne Stabilitätsverlust des DRUG.

Typ II: Untertyp A ist gleichbedeutend mit der TFCC Ruptur Palmer 1D, die des Untertyps B stellt den Basisabbruch des Processus styloideus ulnae evtl. mit zusätzlich zum TFCC beteiligten Insertionsstellen dorsaler und palmarer radioulnarer Bänder dar.

Typ III: intraartikuläre Frakturen im Bereich der Incisura ulnae radii mit Beteiligung des Discus triangularis (Typ A) oder Frakturen des Ulnakopfes (Typ B).

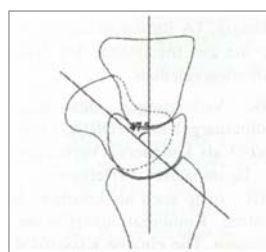
Typ I und II Verletzungen können erheblichen Einfluss auf die radioulnare Stabilität haben und müssen therapiert werden. Dabei gibt es keine Korrelation zwischen einer Fraktur des Processus styloideus ulnae und der Instabilität des DRUG. Ob es bei Typ III Verletzungen zu Instabilitäten kommt, hängt vom Ausmaß der Verletzung im Einzelfall ab (Polzer et al. 2002). Im Falle einer instabilen Situation besteht als Therapieoption, die radioulnaren Bänder zu refixieren oder das Gelenk ruhigzustellen. Dislozierte Basisfrakturen des Ulnakopfes bedürfen einer Reposition und Fixation durch Zuggurtung oder/und Kirschnerdrähte, bei Trümmerfrakturen gelegentlich der offenen Einrichtung und Verplattung.

Eine weitere schwerwiegende Begleitverletzung mit einem Anteil von 29 bis 85% stellt die Ruptur des scapholunären Bandes dar. Röntgenologisch (dynamische Prüfung im p. a. Strahlengang) weist eine Diastase zwischen Os scaphoideum und Os lunatum von mehr als 3 mm sowie die Unterbrechung der Gilulabögen und ein vergrößerter scapholunärer Winkel im Seitenbild von mehr als 60 - 80 Grad auf eine Mitbeteiligung des SL-Bandes hin. Dieser scapholunäre Winkel sollte zwischen 30 und 60°, im Durchschnitt 47° betragen.

Zwischen 60 und 80° kann er normal oder pathologisch sein, so dass in diesem Fall die Gegenseite mitbeurteilt werden sollte (Abb. 12 - 15 [Polzer et al.2002]).



**Abbildung 12:** scapholunäre Dissoziation



**Abbildung 13:** physiologischer SL-Winkel



**Abbildung 14:** pathologischer SL- Winkel



**Abbildung 15:** intakte Gilulabogenreihe

Zur Diagnosestellung eignen sich daneben die Handgelenksarthroskopie, funktionelle Röntgenaufnahmen (Ball-Aufnahmen) oder die Magnetresonanztomographie. Beim Vorliegen oben genannter Kriterien ist eine Instabilität der Handwurzelreihen anzunehmen; es besteht eine Indikation zur Therapie. Durch die Instabilität sowie durch die Ruptur des Bandes erhöhte Mobilität der beteiligten Handwurzelknochen kommt es zu statisch relevanten Verschiebungen zwischen Scaphoid und Lunatum. Folglich nimmt die Höhe des Karpus ab. Es kommt zu einem zunehmenden Kollaps der proximalen Handwurzelreihe (SLAC (scapholunate advanced collapse) – Wrist) und schließlich durch die Reduktion der Kontaktflächen zu einem Druckanstieg im mediokarpalen Gelenkabschnitt, was langfristig zur Arthrose im mediokarpalen Gelenkkompartiment führt (Friedel 1997).

Die offene oder arthroskopische Bandrefixation des SL-Bandes oder die arthroskopisch kontrollierte Reposition und Kirschnerdrahtfixation ist oftmals für ein gutes Behandlungsergebnis unumgänglich, sollten aber individuell entschieden werden. Isolierte Scaphoidfrakturen gehen verhältnismäßig selten mit einer Radiusfraktur einher.

Werden die oben genannten Begleitverletzungen bei der distalen Radiusfraktur nicht im erforderlichen Maße berücksichtigt und mitversorgt, kann ein zufriedenstellendes Ergebnis nur bedingt erzielt werden (Brug et al.2000, Pilz et al.2000, Marzi und Frank 2003, Frank et al.2003).

Bei hochenergetischen Traumen besteht die Gefahr, dass sich neben den beschriebenen Begleitverletzungen ein Kompartmentsyndrom am Unterarm entwickelt. Tritt dieses auf, ist eine Fasciotomie erforderlich. Häufig führen raumfordernde Prozesse im Bereich des Handgelenkes zu einer Beteiligung des Karpaltunnels mit nachfolgender Medianuskompression im Sinne eines Karpaltunnelsyndroms. Bei entsprechender Symptomatik sollte mit der Versorgung der Radiusfraktur die Dekompression des Karpaltunnels durchgeführt werden (Janik und Bain 1999).

#### 2.2.4 Fraktуреinteilung der distalen Radiusfraktur

Für die Einteilung der Radiusfraktur gibt es eine Vielzahl an Klassifikation. Die Älteste ist die nach Smith (1847) und Colles (1814), die sich nach dem Verletzungsmechanismus orientieren. Extensionsfrakturen werden als Colles-Frakturen, Flexionsfrakturen als Smith-Frakturen bezeichnet. Bei den Colles-Frakturen spricht man auch von der „Fraktura loco typico sive classico“. Je nach Gelenkbeteiligung und Dislokation unterscheidet man vier Formen:

1. Colles I: extraartikulär, nicht disloziert
2. Colles II: extraartikulär, disloziert
3. Colles III: intraartikulär, nicht disloziert
4. Colles IV: intraartikulär, disloziert

Die Smith-Frakturen lassen sich wie die Colles - Frakturen nochmals in Untergruppen untergliedern. Diese Klassifizierung nach Thomas kennt drei Typen:

- Typ I: extraartikuläre Fraktur mit metaphysär verlaufendem Bruchspalt
- TypII: volare Luxationsfraktur mit Beteiligung der distalen Radiusgelenkfläche
- TypIII: extraartikuläre Schrägfraktur des distalen Radius

Als *Barton-Fraktur* wird eine Sonderform der Colles-Fraktur bezeichnet. Hier kommt es durch ein Hyperextensionstrauma zum Abriss der dorsalen Radiuslippe. Die *Reverse Barton-Fraktur* (Thomas Typ II) bezeichnet analog den Abriss der palmaren Radiuslippe als Sonderform der Smith-Fraktur.

Eine weitere Einteilungsmöglichkeit ist die nach Frykman (1967). Es werden extraartikuläre und intraartikuläre Frakturen mit oder ohne Beteiligung des Processus styloideus ulnae unterschieden. Die Einteilung der distalen Radiusfraktur nach Frykman stellt zwar eine genaue Differenzierung der Radiusfraktur im posterioren-anterioren Strahlengang dar, vernachlässigt jedoch, wie auch die Colles-Klassifikation die Flexionsfrakturen. Ebenso bleiben die Ausdehnung und Richtung etwaiger Dislokationen, die Ausbildung einer dorsalen Trümmerzone sowie die traumatische Radiusverkürzung unberücksichtigt. Auch eine Aussage zur Stabilität, die Grundlage jeder Behandlungsstrategie ist, lässt sich mit dieser Klassifikation nur schwer treffen.

Eine weitere Einteilungsmöglichkeit ist die nach *Melone*. Er unterteilte den distalen Radius in vier Schlüsselfragmente: 1. Radiuschaft, 2. radiales Styloidfragment, 3. dorso-ulnares Fragment und 4. palmar-ulnares Fragment. Drittes und viertes Fragment bilden zusammen mit den Bandverbindungen zum Processus styloideus ulnae und der proximalen Handwurzelreihe den medialen Komplex. Es werden vier Typen unterschieden.

Diese Fraktуреinteilung bietet im Vergleich zur Frykmanklassifikation die Möglichkeit, eine Aussage zur Stabilität der Radiusfraktur zu treffen. Sie lässt Beurteilungsmöglichkeiten von Flexionsfrakturen zu und bezieht Fragmentdislokationen mit ein.

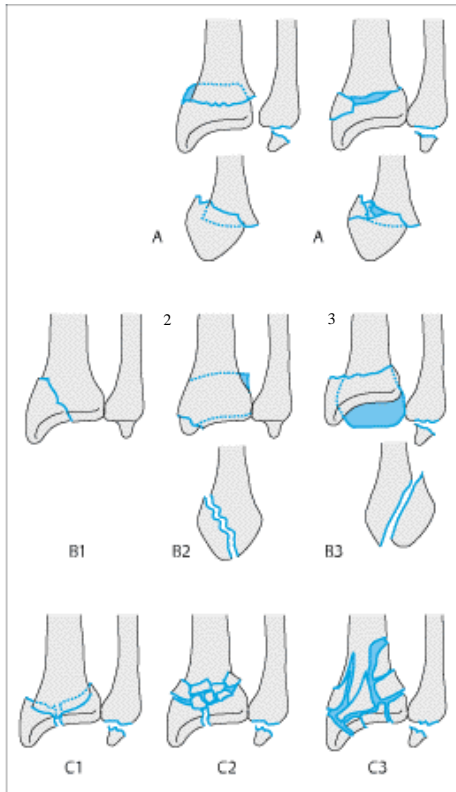
Die Klassifikation nach Fernandez bietet neben einer guten Beschreibung der knöchernen Verhältnisse eine gute Differenzierung der Weichteilläsionen nach stattgehabter distaler Radiusfraktur. Zusätzlich werden Verletzungsmechanismus und Begleitverletzungen als Klassifikationskriterien

einbezogen. Die Klassifikation stellt somit die umfassendste Klassifikation für die distale Radiusfraktur dar (Merle et al.1999). Die Fernandez-Klassifikation ist im Absatz 2.2.3 bereits ausführlich erläutert.

Die international am häufigsten angewendete Klassifikation ist die AO- (Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese) Klassifikation der Frakturen. Jeder Abschnitt eines langen Röhrenknochens wird mit Ziffern versehen (distaler Radius 2 3). Anschließend erfolgt die Strukturierung nach Mitbeteiligung der Gelenkfläche. A steht für die extraartikulären Frakturen, B für die partiell intraartikulären Frakturen und C bezeichnet die komplett intraartikuläre Frakturen. Jede Frakturlokalisierung wird nochmals in drei Untergruppen unterteilt, die von eins bis drei durchnummeriert werden (Abb.16).

- A1: Fraktur der Ulna, Radius intakt
- A2: extraartikuläre Radiusfraktur
- A3: extraartikuläre Radiusfraktur mit mehreren Fragmenten
- B1: partiell intraartikuläre Radiusfraktur in der Sagitalebene
- B2: partiell intraartikuläre Radiusfraktur mit dorsaler Kante (Barton)
- B3: partiell intraartikuläre Radiusfraktur mit volarer Kante
- C1: komplett einfach intraartikuläre Radiusfraktur mit einfacher, metaphysärer Fraktur
- C2: komplett einfach intraartikuläre Radiusfraktur mit mehrfach, metaphysärer Fraktur
- C3: mehrfach fragmentierte Radiusfraktur





**Abbildung 16:** AO-Klassifikation der distalen Radiusfrakturen (Friedel 1997)

Zu jeder dieser Untergruppe existieren nochmals drei Subtypen, die zusätzliche Informationen zu den Fragmenten und den Frakturlinienverlauf enthalten. Begleitverletzungen, wie Processus styloideus ulnae Abrisse, subkapitale Ulnafrakturen, Ulnahalsfrakturen, Ulnaköpfchenfrakturen und Ulnaschaftbrüche ermöglichen eine noch präzisere Einteilung der distalen Radiusfraktur. Die Vorteile dieser Klassifikation sind vielfältig. So kann jede Fraktur nur durch Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen klassifiziert werden. Es ist möglich, Behandlungsindikationen direkt abzuleiten und eine Prognose für das Behandlungsergebnis zu stellen. Nachteil der AO-Klassifikation ist die fehlende Einbeziehung ligamentärer und karpaler knöcherner Verletzungen. Nur indirekt kann man aufgrund der Fraktуреinteilung auf Begleitverletzungen schließen. Eine Klassifizierung der distalen Radiusfraktur sollte die intra- und extraartikuläre Differenzierung erlauben, Dislokationen und ligamentäre Verletzungen sicher erfassen und die Ausdehnung von Trümmerzonen beschreiben können. Keine der oben beschriebenen Klassifikationen kann alle

diese Bedingungen erfüllen. Die AO - Klassifikation kommt diesen Vorgaben jedoch am nächsten wird international akzeptiert und soll auch im Folgenden als Klassifikation verwendet werden (Schmidt et al.2003, Dorow 2004).

### 2.3 Behandlungsverfahren der distalen Radiusfraktur

Bis zu den achtziger Jahren war die Behandlung der distalen Radiusfraktur eine Domäne der konservativen Therapie. Seit Anfang bis Mitte der neunziger Jahre haben sich darauf die Therapiestrategien für die Radiusfrakturen gewandelt. Anatomisch, wie auch funktionell unbefriedigende Ergebnisse, die vor allem durch die sekundäre Dislokation nach initial gutem Repositionsergebnis hervorgerufen werden, lange Arbeitsunfähigkeitszeiten und eine große Anzahl an posttraumatischen Symptomkomplexen im Langzeitverlauf führten dazu, dass das konservative Vorgehen in den darauf folgenden Jahren eher in den Hintergrund rückte, und operative Verfahren favorisiert wurden (Krimmer et al. 2008). Aber auch mit der Einführung neuer und besserer Behandlungsmethoden konnte keine definitive Therapieform für die jeweiligen Frakturtypen als Standard festgelegt werden. Die Behandlung der distalen Radiusfraktur bleibt schwierig und kontrovers. In einer Metaanalyse zur Behandlung der distalen Radiusfraktur aus dem Jahr 2002 an 42 unfallchirurgischen Zentren wurde konstatiert, dass von 4160 distalen Radiusfrakturen, 433 konservativ, 1070 mit Kirschnerdraht, 954 mit Fixateur externe, 140 mit Schraube, 1299 mit einer Plattenosteosynthese und 264 Patienten mit Kombinationsosteosynthesen versorgt wurden (Schupp et al. 2003).

Die allgemein geforderten Behandlungsziele sind die anatomisch korrekte Wiederherstellung der Länge, Achse und Gelenkwinkel am distalen Radius, die bestmögliche Rekonstruktion der Gelenkflächen und der Gelenkkongruenz und die stabile Retention des anatomisch korrekt wiederhergestellten Repositionsergebnisses bis zur knöchernen Konsolidierung. Die Ausheilung in Fehlstellung, als immer noch häufigste Komplikation, trotz moderner Osteosyntheseverfahren, muss nicht zwingend, kann jedoch zu Einschränkungen der Handgelenksbeweglichkeit und der Unterarmdrehung

sowie zu Verminderung der Griffkraft und zu chronischer Schmerzsymptomatik führen. Diese Fehlstellungen machen oftmals aufwendige Rekonstruktionsoperationen mit nicht immer zufrieden stellenden Behandlungsergebnissen in der Folge erforderlich. (Prommersberger et al. 2007).

### 2.3.1 Reposition

Ein wesentliches Element der in Abbildung 17 schematisch dargestellten Reposition ist der Längszug, der mittels „Mädchenfänger“ mit Aushängen oder durch horizontalen Zug und Gegenzug und zusätzliche Manipulation der Fragmente eine Reposition der dislozierten Fragmente ermöglichen soll.



**Abbildung 17:** Reposition einer distalen Radiusfraktur. Die Extension erfolgt über Mädchenfänger, der Zug verläuft über den Daumen, der 2. und 4. Finger dienen der Sicherung der Rotation (eigenes Bildmaterial).

Der Repositionsvorgang beginnt mit der Reposition der Radialverschiebung durch verstärkten Zug am 1. Mittelhandknochen und Kippung nach ulnar. Die Dorsalverschiebung wird durch Druck von dorsal auf das distale Fragment und die Handwurzel ausgeübt, wobei die eine Hand als Gegenhalt für das proximale Fragment dient (Oestern 1999).

Durch diese Maßnahmen sollen Radiuslänge, die Gelenkwinkel, die Radiuslängsachse, die Gelenkfläche und eventuell vorhandene Rotationsfehlstellungen behoben werden (Siebert und Klonz 2005). Es ist in der Regel nicht möglich, diesen Zug längere Zeit aufrecht zu erhalten, was zu Redislokationen führt und damit die Anwendung konservativer Methoden stark einschränkt.

Ein gutes Repositionsergebnis geht vor allem bei instabilen Frakturen bereits nach 24 Stunden in bis zu 80% der Fälle wieder verloren. Auch bei wiederholt angewandten Repositions- und Gipstechniken heilen viele der konservativ behandelten Brüche in Fehlstellung aus (Schwarz 2003).

### 2.3.2 Konservative Therapie

Grundsätzlich ist es möglich, nahezu jede Form der Radiusfraktur konservativ zu behandeln. Nahezu jeder Frakturtyp lässt sich befriedigend reponieren. Die Reposition der distalen Radiusfraktur erfolgt durch axialen Längenzug an der Hand des Verunfallten. Diese kann entweder durch einen so genannten „Mädchenfänger“ erfolgen, oder bedarf zusätzlich der Hilfe eines Assistenten. Reicht dies nicht aus, muss zusätzlich eine manuelle Reposition der meist nach radial und dorsal dislozierten Fragmente erfolgen. Anschließend erfolgt die Gipsbehandlung mittels eines zirkulären Unterarmgipses für vier bis zu sechs Wochen.

Das größte Problem der konservativen Therapie stellt die Konstanz des Repositionsergebnisses dar. Ein Großteil, ca. 80 Prozent aller reponierten Frakturen, meist sind dies Trümmerfrakturen oder Frakturen mit ausgeprägter Trümmerzone sowie initial instabile Frakturen, neigen dazu, bereits innerhalb der ersten zehn Tage der Gipsbehandlung das oftmals gute Repositionsergebnis zu verlieren. Dies geschieht schleichend. Deshalb sind durch wiederholte Röntgenkontrollen die radiologischen Kriterien kritisch zu

überprüfen. Ansonsten kommt es zu einer Ausheilung der Radiusfraktur in Fehlstellung. Vor allem die pathologische dorsale Abkipfung des Radius mit negativer Palmarinklination schränkt die Funktion des Handgelenkes ein. Radiusverkürzungen bedingen eine relative Ulna-plus-Variante mit Gefahr einer ulnaren Impaktion. Stufen in der Gelenkfläche bilden die Grundlage einer posttraumatischen Handgelenksarthrose. Lange Verläufe mit Chronifizierung der Schmerzsymptomatik und eingeschränkter Funktionstüchtigkeit sind die Folge.

Daher eignen sich für die konservative Therapie stabile, wenig dislozierte Frakturen ohne Ausbildung einer größeren Trümmerzone. Grundsätzlich ist eine distale Radiusfraktur als stabil anzusehen, wenn nach der Reposition unter Bildwandlerkontrolle beim Durchbewegen des Handgelenkes keinerlei Bewegungen im Bereich der Fraktur, sondern nur eine Bewegung im Handgelenk erfolgen. Nach palmar dislozierte Frakturen eignen sich nicht zur konservativen Therapie, da sie auf Grund des starken Tonus der Beugermuskulatur fast immer sekundär dislozieren.

Für die Beurteilung der Stabilität einer Radiusfraktur können weiterhin die radiologischen Instabilitätskriterien von Poigenfürst und Tuchmann 1978 herangezogen werden. Eine distale Radiusfraktur gilt demnach als instabil, wenn Radiusanteile um mehr als  $10^\circ$  nach dorsal oder generell nach palmar abgekippt sind, eine Supinationsfehlstellung größer  $20^\circ$  vorliegt, der Radius mehr als 3 mm eingestaucht ist oder ein proximaler Abriß des Processus styloideus ulnae vorzufinden ist. Weiterhin geben eine distale Ulnafraktur, eine distale radio-ulnare Dissoziation, ligamentäre Verletzungen der Handwurzel sowie Skaphoidfrakturen Hinweise auf einen Verlust der Stabilität. Diese Kriterien können allerdings nur begrenzt für die Wahl der Behandlungsform verwendet werden. Die Einschätzung der Stabilität einer Fraktur bleibt schwierig.

Aus Sicht der AO-Klassifikation ist die konservative Therapie sehr gut für stabile, nicht dislozierte und stabil reponierbare, extraartikuläre Frakturen vor allem vom AO-Typ A2 geeignet. Eine noch gute Indikation bieten die nicht dislozierten, intraartikulären Frakturen vom AO-Typ B<sub>1</sub> und Typ C<sub>1</sub>. Kindliche Frakturen sind im ersten Altersgipfel zwischen sechs und zehn Jahren ebenfalls

eine Domäne der konservativen Therapie. Nur gravierend dislozierte Frakturen bedürfen vor Wachstumsabschluss einer operativen Versorgung. Liegen Kontraindikationen für ein operatives Vorgehen vor, muss ebenfalls auf die konservative Therapie zurückgegriffen werden. Letztendlich bleibt die Entscheidung für die Durchführung einer konservativen Therapie jedoch abhängig von kurzfristigen Verlaufsbeobachtungen. Denn stellen sich im Laufe einer Gipsbehandlung Dislokationstendenzen ein, ist ein Umsteigen auf ein stabilisierendes Verfahren unumgänglich. (Brug et al.2000, Schwarz 2003, Oestern 2003, Dorow 2004, Wagner et al 2004).

### 2.3.3 Operative Therapieverfahren

Die wichtigsten operativen Behandlungsmethoden sind die Kirschnerdraht-Osteosynthese, der Fixateur externe, die Schraubenosteosynthese und die dorsale bzw. palmare Plattenosteosynthese.

#### *Die Kirschnerdrahtosteosynthese*

Die Kirschner- (K-) Draht-Osteosynthese wurde erstmals 1908 von Lambotte mit der Fixierung des Processus styloideus radii beschrieben. 1959 fand sie mit der Beschreibung von Willenecker Aufnahme in die Methoden der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese. 1976 wurde sie durch Kapandji einigen Modifikationen unterworfen. Es handelt sich um eine Methode, die ein einfaches, schnelles und kostenfreundliches Osteosyntheseverfahren darstellt und die Möglichkeit komplikationsarmer Anästhesieverfahren, wie die Plexus brachialis Regionalanästhesie oder lokalanästhetische Verfahren ermöglicht. Durch das Einbringen von zwei bis drei dünnen Metalldrähten werden größere Weichteilirritationen vermieden. Man unterscheidet die frakturüberquerende und die intrafokale Spickdrahtosteosynthese nach Kapandji, bei der die Drähte direkt in den Frakturspalt eingebracht werden. Ziel soll es sein, durch Platzierung von ca. 1,5 bis 2 mm starken Edelstahldrähten eine dislozierte Fraktur in ihrem Repositionsergebnis zu halten. Dies ist nicht ohne zusätzliche Stabilisierung durch einen retinierenden Gipsverband oder einem Fixateur externe möglich. Indikationen für diese Methode sind extraartikuläre, nach dorsal instabil dislozierte Frakturen oder zusätzlich komplizierende

Weichteilsituationen. Intraartikuläre Frakturen können beim Vorliegen nur einer Bruchlinie ebenfalls auf diese Art und Weise behandelt werden. Eine weitere wichtige Indikation für die Bohrdrahtversorgung stellen dislozierte, kindliche Frakturen dar, die nicht einer konservativen Versorgung zugänglich sind.

Die Bohrdrähte können, im Zusammenwirken mit einem Gipsverband, die Fraktur meist sicher stabilisieren und ermöglichen gleichzeitig die Schonung der empfindlichen Epiphysenfugen. Droht einer Fraktur nach alleiniger Gipsretention die Redislokation, ist dieses Verfahren ebenfalls anwendbar. Nicht geeignet ist die Methode für intraartikuläre Impressionen, palmaren Dislokationen, komplexer Gelenkgeteiligung und bei ausgeprägten Trümmerfrakturen. Die Reposition der Fraktur erfolgt manuell, wie bei der konservativen Behandlung oder bei unbefriedigendem Ergebnis bzw. eingestauchten Fragmenten durch das Einbohren von K-Drähten in den Bruchspalt und anschließenden Aufhebeln in eine akzeptable Position. Beim klassischen Verfahren werden zwei bis drei Kirschnerdrähte so eingebohrt, dass sie sich in drei Ebenen überkreuzen, so dass die Fraktur wie auf einer ausgebreiteten Hand zu liegen kommt. Die intrafokale Transfixation der Fragmente nach Kapandji erfolgt durch Platzierung der Drähte direkt in den Bruchspalt. Anschließend wird die Fehlstellung der Bruchstücke durch Ausnutzen der Hebelkraft der Drähte behoben, indem man die Bohrmaschine in die entsprechende Richtung kippt und den Draht weiter einbohrt bis die Gegenkortikalis erreicht ist. Lenobe konnte in einer prospektiven Studie von 96 Patienten nach 2 Jahren keine klinisch funktionellen Unterschiede zwischen transstyloider Methode und der Kapandjitechnik ermitteln (Rüedi et al.2000).

Gerade für Monoblockfrakturen bietet die Kirschnerdrahtosteosynthese eine interessante Alternative zu invasiveren Verfahren. Für das Einbringen des Bohrdrahtes steht zum einen die offene K-Draht-Fixation durch vorherige Längsinzision, zum anderen die geschlossene Kirschnerdrahtspickung (perkutane Methode) zur Verfügung. Nach der Operation erfolgt die Ruhigstellung des Handgelenkes für ca. vier bis sechs Wochen. Die Bohrdrahtentfernung erfolgt in der Regel unmittelbar nach der knöchernen Konsolidierung. Ein Nachteil bei der K-Draht-Methode ist vor allem der sekundäre Repositionsverlust nach der Gipsentfernung, der vor allem bei

Frakturen mit Trümmerzonen oder bei osteoporotischen Frakturen beobachtet werden kann. Fehlende Verankerung der K-Drähte in der Gegenkortikalis, zu flach eingebrachte Drähte und die Verwendung zu kurzer Gewinde oder zu dünner Drähte begünstigen ebenso sekundäre Einsinterungen. Rüedi et al. konnten 2000 in ihrer Untersuchung nachweisen, dass die perkutane Spickung eine hohe Rate an sekundären Dislokationen aufweist; geringe Dislokationen können zu einem guten Ausheilungsergebnis führen. Weiterer Nachteil der K-Draht-Osteosynthese ist die Gefährdung des Ramus superficialis des Nervus radialis durch fehlerhafte Implantation bzw. durch ungenügendes Kürzen, Umbiegen oder Versenken der Bohrdrähte.

Da die K-Draht-Osteosynthese nicht ohne zusätzliche Fixation des Handgelenkes auskommt, ist eine frühfunktionelle Nachbehandlung nur bedingt möglich. Insgesamt stellt die Kirschnerdraht-Osteosynthese durch ihre verhältnismäßig geringen Komplikationsmöglichkeiten eine risikoarme Alternative zur konservativen Therapie dar und ist Mittel der Wahl bei dislozierten kindlichen Frakturen. (Oestern 1999, Pilz et al. 2000, Hotz 2003, Dorow 2004).

#### *Der Fixateur externe*

Ein weiteres operatives Verfahren ist die Versorgung mittels Fixateur externe. Es wurde bereits 1929 von Ombredanne beschrieben und später von Hoffmann mit der Entwicklung eines Traktionsmoduls weiter modifiziert. Der Fixateur externe besteht aus einem außerhalb des Körpers angebrachten, meist gelenkübergreifenden Metallgestänge als Längsträger, welches perkutan über Pins, so genannten Steinmann - Nägeln oder Schanz`schen Schrauben mit dem der Fraktur angrenzenden soliden Knochen in Verbindung steht (Abb.18). Dabei wird das Prinzip der Ligamentotaxis zur Repositionsstabilisierung genutzt. Ligamentotaxis bezeichnet die Fähigkeit, der einer Fraktur umgebenden Kapsel- und Bandstrukturen, die reponierten Frakturfragmente durch Extension in ihrer Stellung zu fixieren. Die Kraftübertragung, die normalerweise über die Ossa metacarpalia und die Handwurzelknochen auf den Radius erfolgt, wird ganz oder zum großen Teil durch den Fixateur aufgenommen und an proximale Knochenstrukturen weitergegeben. Wie viel



Kraft aufgenommen wird, hängt von der Steifigkeit des Fixateurs ab. Die Frakturfragmente bleiben somit nur teil- bzw. unbelastet. Durch diese frakturentlastende und den Frakturbereich schonende Wirkungsweise, ist der Fixateur externe vor allem für offene Frakturen interessant geworden.



**Abbildung 18:** Mit Fixateur externe versorgte distale Radiusfraktur (Rikli und Regazzoni 1999)

Nahezu jede Fraktur bzw. Luxation der Röhrenknochen und zum Teil auch des Stammskeletts mittels Fixateur stabilisiert werden (Frank et al.2003, Oestern 1999, Kuhner et al.2002). Am distalen Radius ist der Fixateur externe ein vielfach durchgeführtes und bewährtes Verfahren. Die Vorteile liegen in der minimalen Beeinträchtigung der Weichteile und die hervorragenden indirekten Repositionsmöglichkeiten über Ligamentotaxis (Wenda 2002). Besonders Frakturen mit ausgeprägter dorsaler Trümmerzone (A3-Fraktur) sowie intraartikuläre Frakturen (C2- oder C3-Frakturen) nutzen dieses Prinzip (Frank et al. 2003). Gerade bei nach dorsal dislozierten Frakturen mit einer Dorsalkippung von mehr als 20 Grad, wo meist eine dorsale Trümmerzone vorzufinden ist, können K-Drähte das Repositionsergebnis nur bedingt sichern (Wenda 2002).

Nach meist manueller Reposition werden im Metacarpale II und im distalen Radius jeweils zwei Pins eingebracht (Abb.18). Hierbei hat sich das offene

Vorgehen zur Schonung der Weichteile bewährt. Das danach angebrachte Fixateur-externe-Gestänge sollte das Handgelenk in Neutralposition oder in zehn Grad Extension fixieren. Diese starre Ruhigstellung des Handgelenkes sollte nach drei bis vier Wochen wieder aufgehoben werden, da sonst mit einem bleibenden Bewegungsdefizit gerechnet werden muss. Auch die Gefahr der sympathischen Reflexdystrophie steigt mit Zunahme der Immobilisationsdauer. Um diesen Nachteilen zu entgehen, ist es möglich, mit Einbringen der Pins in das distale Fragment der Fraktur oder durch Anlage eines Bewegungsfixateurs, eine geringe Beweglichkeit im Handgelenk zu gewährleisten. Vergleichende Studien, zum Beispiel die von Jenkins et al. und von Mc Queen, zeigten, dass die funktionellere Behandlung mit dem beweglichen Fixateur oder die nicht gelenkübergreifende Fixateurbehandlung bessere Spätresultate hinsichtlich der Funktionalität liefern (Pennig et al. 2007). Eine nach drei Wochen durchgeführte Reduktion der Extension, ein so genanntes Release, soll die beschriebenen Folgen einer zu langen Einsteifung des Handgelenkes ebenfalls minimieren. Das Release bewirkt zum einen eine physiologischere Belastung der Knorpel- und Knochenstrukturen, zum anderen eine Entspannung der Handgelenksbänder und damit eine Steigerung der Blutzirkulation. Weitere Nachteile des Fixateurs ergeben sich durch seine Verbindung zur Hautoberfläche. Pininfektionen oder durch das Einbringen der Pins verursachte Frakturen im Metatarsale II werden nicht selten beobachtet.

Gegenüber anderen Osteosyntheseverfahren können bei der Fixateurversorgung die Weichteile im Frakturbereich sehr gut geschont werden. Dies ist für die Vaskularisation und damit für die Vitalität der Fragmente einer Fraktur von Bedeutung; bei höhergradigen Frakturen mit vielen Fragmenten und Gelenkbeteiligung kann durch den Erhalt der Mikrozirkulation gelenktragender Fragmente die Möglichkeit der Regeneration und der sekundären Knorpelbildung über Faserknorpel gegeben werden. Aus diesem Grund sind höhergradige Frakturen eine Domäne der Fixateurversorgung. Absolute Indikationen zur Fixateurversorgung stellen neben septischen Komplikationen, zweit- und drittgradig offenen Frakturen dar, die primär mittels Fixateur externe versorgt werden. Die Vitalität der Fragmente ist bei einem offenen Frakturgeschehen von großer Bedeutung.

Oftmals ist es notwendig, den Fixateur mit anderen Osteosyntheseverfahren zu kombinieren (Abb.19). Zusätzlich eingebrachte Kirschnerdrähte oder Schrauben führen zu einer noch höheren Stabilität im Frakturbereich und verbessern den Erhalt des Repositionsergebnisses.



**Abbildung 19:** Fixateur externe versorgte distale Radiusfraktur mit zusätzlich eingebrachten Spickdrähten (Joosten et al.2000)

Die anfängliche Annahme, der dynamische Fixateur, der es ermöglicht, Kompression innerhalb der Fragmente zuzulassen, sei den starren Modellen überlegen, wurde durch eine Untersuchung von Jupiter et al. 2007 widerlegt. Es wurden Nachsinterungen und dorsale Fehlstellungen beobachtet; 20% der Fälle zeigten mäßige bzw. schlechte radiomorphologische Resultate.

Im Falle einer postraumatischen Weichteilschwellung, die eine offene Reposition und Osteosynthese mittels Plattenosteosynthese verbietet, schafft der Fixateur externe die Möglichkeit, vor der endgültigen osteosynthetischen Versorgung die Fraktur und die Weichteile intermittierend zu stabilisieren, bevor der Verfahrenswechsel zum Beispiel zur Plattenosteosynthese erfolgt.

Insgesamt stellt der Fixateur externe ein sicheres und komplikationsarmes Osteosyntheseverfahren dar, welches bei alleiniger Anwendung oder in Kombination mit anderen Osteosynthesetechniken durch gute Ergebnisse überzeugen kann. Weiterhin ist der Fixateur als temporäres oder additives

Verfahren bei Indikation zur Plattenosteosynthese geeignet (Frank et al.2003, Oestern 1999, Wenda 2002).

### *Plattenosteosynthese*

Der Fixateur externe konkurriert mit der Plattenosteosynthese, die das Fixateurprinzip aufgreift und seine stabilisierende Funktion innerhalb des Körpers entfaltet. Weitere Ausführungen zur Plattenosteosynthese finden sich im anschließenden Kapitel.

### *Schraubenosteosynthese*

Eine bei der distalen Radiusfraktur seltener zur Anwendung kommende operative Frakturbehandlung ist die Schraubenosteosynthese. Für diese Behandlungsform eignen sich Abrissfrakturen des Processus styloideus radii und die B-Frakturen. Der Styloidabriss führt in der Regel zu einer Mitverletzung von Bandstrukturen. Vor allem das Ligamentum collaterale radii und das Ligamentum radiocapitatum sind betroffen. Die Frakturversorgung mittels Zugschraube ermöglicht bei diesen Frakturen eine Rekonstruktion der Gelenkfläche und eine Wiederherstellung der verletzten Weichteilstrukturen. Die versorgten Verletzungen sind in der Regel übungstabil und können einer frühfunktionellen Behandlung zugeführt werden (Oestern 1999).

## 2.4 Plattenosteosyntheseverfahren am distalen Radius

### 2.4.1 Geschichtliches

Die Verwendung von Metallplatten bei der Versorgung von Knochenbrüchen ist keine Erfindung der Neuzeit. Bereits 1886 wurde diese Form der Frakturbehandlung durch den Hamburger Chirurgen Carl Hansmann beschrieben. Lange Jahre konnten sich die Platten-Schrauben-Osteosynthesen wegen der hohen Komplikationsraten nicht durchgreifend durchsetzen. Eine Wende brachte die Einführung der axialen Kompression der Fragmentenden durch den Belgischen Chirurgen Robert Danis (1949), was Anfang der sechziger Jahre von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese aufgegriffen wurde und schließlich zur klinischen Reife entwickelt werden konnte. In den darauf folgenden Jahren wurde das Prinzip der Plattenosteosynthese ständig weiterentwickelt und mit Zunahme guter klinischer Resultate immer häufiger für die Frakturbehandlung eingesetzt. Gearbeitet wurde vor allem an der Funktionalität und Stabilität, sowie am Traumatisierungsgrad der eingebrachten Materialien. Inzwischen sind eine Reihe verschiedener Plattenformen und Plattengrößen im Handel, die für die jeweilige Frakturkonszellation konzipiert sind.

Die plattenosteosynthetische Versorgung der distalen Radiusfraktur gewann erst relativ spät, und zwar erst in den vergangenen zehn Jahren an Bedeutung, da durch die bereits beschriebenen anderen Osteosyntheseverfahren zum Teil gute bis sehr gute funktionelle Ergebnisse erzielt werden konnten. Erst mit Einführung winkelstabiler Plattensysteme konnte in den letzten Jahren eine Trendwende zugunsten der Plattenosteosynthese am distalen Radius beobachtet werden.

### 2.4.2 Indikationen für die palmare und dorsale Plattenosteosynthese am distalen Radius

Es existieren zwei Verfahrensweisen für die Plattenosteosynthese am distalen Radius, die sich durch die Wahl des Zugangs voneinander unterscheiden. Man unterscheidet die dorsale Plattenosteosynthese, die einen streckseitigen

Zugang wählt von der palmaren Plattenosteosynthese, die die Fraktur über einen volaren Zugang von der Beugeseite aus stabilisiert.

#### *Die plattenosteosynthetische Versorgung der distalen Radiusfraktur von dorsal*

Die Versorgung von dorsal galt lange Zeit bei Radiusextensionfrakturen als Mittel der Wahl. Allerdings brachte und bringt im Gegensatz zur palmaren Plattenosteosynthese die Verwendung des dorsalen Zugangs anatomische und funktionelle Probleme mit sich. Das dorsale distale Speichenende ist nicht flach, wie auf der palmaren Seite, sondern weist eine leicht konkave, zeltförmige Form auf. Die Strecksehnen verlaufen direkt oberhalb des Knochens in ihren jeweiligen Strecksehnenfächern, die mit dem darunterliegenden Periost eine feste Verbindung eingehen. Das heißt, dass beim Einbringen einer dorsalen Radiusplatte den anatomischen Gegebenheiten besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Das Tuberculum lister muss für einen optimalen Sitz bei manchen Plattentypen abgetragen werden. Der feste Verbund zwischen Strecksehnenfach und Periost erfordert es, die Sehnen aus ihren Fächern zu lösen, so dass sie nach Einbringen der Platte schließlich oberhalb des Metalls zum Liegen kommen. Dies führt zu einer weiteren Komplikation: Durch den ungeschützten Lauf der Strecksehnen über den T-Schenkel der Platte ergeben sich chronische Sehnenreizzustände bis hin zu Sehnenrupturen, was durch die Interposition des Retinaculum extensorum zwischen Platte und Sehne, der so genannten Retinaculumplastik verhindert werden soll. Ergebnisse haben jedoch gezeigt, dass auch durch diese Maßnahme die Reizungen sowie die Rupturen der Sehnen nicht gänzlich verhindert werden konnten. Eine weitere Komplikationsmöglichkeit bietet der relativ große Zugangsweg zur Mobilisierung des zweiten bis vierten Strecksehnenfaches: die Rate an Wundheilungsstörungen steigt. Dies ist durch die Traumatisierung der vor allem dorsal verlaufenden Lymphbahnen am distalen Radius geschuldet. Zudem ist das operative Verfahren technisch anspruchsvoll.

Die Antwort auf die beobachteten Komplikationen waren kleinere Platten oder Doppelplattenosteosynthesen, die durch Verkleinerung des Zugangs und den Verzicht auf die Entfernung der Sehne des Extensor pollicis longus

tragenden Tuberculum lister die peri- und postoperativen Komplikationen minimieren sollten (Abb.20).



**Abbildung 20:** Doppelplattenosteosynthese von dorsal (Rikli und Regazzoni 1999)

Auch diese Verbesserungen konnten letztlich den Sehnen-Platten-Kontakt nicht gänzlich verhindern bzw. die Größe des Zugangs nicht in dem Maße verkleinern, dass eine deutlich geringere Komplikationsrate beobachtet werden konnte (Rikli und Regazzoni 1999, Marzi 2002, Siebert 2003, Pabst et al.2003). Auf Grund der beschriebenen Komplikationen und der damit verbundenen eingeschränkten funktionellen Ergebnisse ist die dorsale Plattenosteosynthese noch auf folgende Frakturereignisse beschränkt:

- Prinzipiell Frakturen mit relevanten dorsalen Gelenkfragmenten, die nicht indirekt reponierbar und (von palmar) stabilisierbar sind
- B1.2 Frakturen; partiell intraartikuläre Frakturen mit Dislokation, die die Funktion des distalen Radioulnargelenkes (DRUG) beeinträchtigen
- B2 Frakturen; Barton Frakturen, die disloziert und nicht sicher indirekt stabilisiert werden können (B2.2 und B2.3 Frakturen)

- C Frakturen, wenn dorsale Kantenfragmente direkt reponiert werden müssen (ulnares Schlüsselfragment) oder die mittels Platte reponiert und umklammert werden können (Wenda 2002)
- bei in die Metaphyse impaktierte Gelenkfragmente im Bereich der intermediären Säule (Rikli et al. 2007)

Vorraussetzung für die alleinige Versorgung von dorsal ist eine intakte palmare Kante, auf welcher der palmare Anteil der intermediären Säule abgestützt ist.

#### *Die plattenosteosynthetische Versorgung der distalen Radiusfraktur von palmar*

Wie im Vorangegangenen gezeigt, können die Kirschner-Draht-Fixierung und die Stabilisierung der distalen Radiusfraktur mittels Fixateur externe die Anforderungen der Reposition und dauerhaften Retention nur bedingt gerecht werden. Die dorsale Plattenosteosynthese ist durch ihren komplikationsreichen Zugang nicht als Standardverfahren anwendbar. Somit wurde die Plattenosteosynthese von palmar mehr und mehr, nicht zuletzt wegen der geringeren Zugangsmorbidität favorisiert (Krimmer et al 2008).

Die palmare Plattenosteosynthese wurde vor allem bei den Flexionsfrakturen zu einem Verfahren, das mit guten funktionellen und radiologischen Ergebnissen aufwarten konnte. 1995 wurde erstmals der Versuch unternommen, auch Radiusextensionsfrakturen von der Beugeseite aus mit einer Platte zu versorgen. Winkelstabile Platten standen zu dieser Zeit noch nicht zur Verfügung (Winker 2005). Mit dem Aufkommen winkelstabiler Implantate am distalen Radius wurde am Klinikum Erfurt eine vergleichende Studie zwischen winkelstabilen und nicht winkelstabilen Implantaten mit Patientendaten aus den Jahren 1996 bis 1999 durchgeführt (Winker et al. 2005). 398 Patienten mit Radiusextensionsfrakturen wurden in zwei Gruppen, eine Gruppe, die mit nicht winkelstabilen Platten, und eine zweite Patientengruppe, die mit winkelstabilen Implantaten versorgt wurden, unterteilt (randomisierte Gruppen und gleiche frühfunktionelle Nachbehandlung beider Kollektive). Es zeigte sich, dass in der Gruppe der winkelstabil versorgten Patienten hoch signifikant bessere Ergebnisse im Hinblick auf Funktion und radiologisches Ergebnis erzielt wurden, als in der Vergleichsgruppe, in der sich bei vielen Patienten ein



deutlicher dorso-axialer Korrekturverlust bei sonst guten Behandlungsergebnissen zeigte.

Die konventionelle Plattenosteosynthese ging insbesondere bei dorsaler Trümmerzone und intraartikulären Frakturen mit der Schwierigkeit einher, dass Standardschrauben in der distalen Trümmerzone keinen Halt finden und meist zusätzlich eine Spongiosaplastik notwendig wurde. Hinzu kam die Problematik, dass das Plattendesign den Anforderungen der atraumatischen Reposition und Retention nicht gerecht werden konnte und dass Narbenprobleme und Ausheilung in Fehlstellung häufig Probleme darstellten. Mit Einführung winkelstabiler Platten konnten viele dieser Schwierigkeiten gelöst werden. (Krimmer et al. 2008).

Als Indikationen für die palmare Plattenosteosynthese gelten folgende Frakturen:

- A2.2 Frakturen; Extensionsfraktur; Colles Frakturen
- A2.3 Frakturen; Flexionsfraktur, Smith Fraktur; mit plamarer Abkipfung und Instabilität
- A3 Frakturen; metaphysäre Mehrfragmentfraktur; Voraussetzung ist hier, dass mit der Platte Radiuslänge und die Gelenkwinkel sicher gehalten werden können.
- B1.2 Fraktur; partielle intraartikuläre Fraktur des Radius, um die Gelenkfläche vom Processus styloideus radii aus nach ulnar hin zu rekonstruieren.
- B3 Frakturen; Frakturen der volaren Radiuskante, reversed Barton Fraktur
- C-Frakturen, wenn die dorsalen Kantenfragmente ohne Gelenkversatz sind oder indirekt stabilisiert werden können
- C3 Frakturen mit mehrfach frakturierter Gelenkfläche stellen eine Grenzindikation dar.
- Revisionseingriffe, u.a. bei sekundär dislozierten Frakturen, sowohl nach alleiniger Reposition, als auch nach vorrausgegangener KD-Osteosynthese (Thielke et al.2002)

Somit kann die Plattenosteosynthese von palmar mit der Möglichkeit der winkelstabilen Versorgung viele Indikationen anderer Osteosyntheseverfahren übernehmen. Die palmarseitig besser ausgebildete Weichteildeckung verhindert

die bei dorsal eingebrachtem Material auftretenden Komplikationen. Durch die Winkelstabilität ist es möglich, auch nach dorsal extendierte Frakturen sicher von palmar zu verschrauben. Darüber hinaus erlaubt das winkelstabile Verfahren, weitgehend ohne Spongiosainterponat zu arbeiten und auch bei Knochen mit osteoporotischer Struktur eine sichere Verankerung und Stabilität der Fragmente zu gewährleisten (Moser VL et al. 2005).

#### *Kombinierte palmare und dorsale Plattenosteosynthese*

Ist der palmare Anteil der intermediären Säule in Hyperextension und /oder fehlt die palmare kortikale Abstützung und liegt gleichzeitig ein nicht reponiertes dorsolnars Fragment oder ein zusätzliches, in die Metaphyse impaktiertes Gelenkfragment vor, ist das kombinierte Verfahren indiziert. Derartige Frakturen lassen sich nach entsprechender winkelstabiler Versorgung nach Prüfung der Stabilität unter Bildverstärker frühfunktionell nachbehandeln. (Rikli et al. 2007)

#### 2.4.3 Vergleich der Plattenosteosynthese mit dem Fixateur externe

Die Übereinstimmungen bei der Wahl des richtigen Osteosyntheseverfahrens sind bei der Fixateur externe – Versorgung und bei der winkelstabilen Plattenosteosynthese am größten. Vergleichende randomisierte Studien, bei denen bei einem speziellen Frakturtyp abwechselnd mit dem Fixateur externe oder mit anderen Behandlungsmöglichkeiten stabilisiert wurden sind nicht bekannt und in der Unfallchirurgie auf Grund der individuellen Besonderheiten des einzelnen Patienten auch nicht möglich. Grundsätzlich steht bei diesem Vergleich der Vorteil der anatomisch korrekten Reposition der Gelenkfläche und -winkel mit der Möglichkeit der frühfunktionellen Nachbehandlung bei der winkelstabilen Plattenosteosynthese, der geringeren Weichteilirritation und dem Erhalt der vaskulären Versorgung der Bruchfragmente und der drainierenden Lymphbahnen beim Fixateur externe gegenüber. Im jugendlichen Alter und bei guter Knochenqualität mit minimaler Schwellung des Frakturgebietes bietet die Plattenosteosynthese zweifellos Vorteile gegenüber dem Fixateur. Bei älteren Patienten, die eine ausgeprägte Schwellung und schlechte Knochenqualität aufweisen, ist bei der Anwendung der Plattenosteosynthese häufig eine

gipsfreie Nachbehandlung nicht möglich, so dass die Vorteile einer frühfunktionellen Nachbehandlung die Nachteile eines größeren Eingriffs nicht kompensieren können. Jüngere Patienten profitieren von der exakteren Repositionsmöglichkeit der Platte, eine Präarthrose würde bei einem größeren Teil der Patienten zum Tragen kommen. Das Prinzip der Ligamentotaxis des Fixateurs kann eine absolut genaue Rekonstruktion der Gelenkfläche nicht sicher erzielen. Bei älteren Patienten ist darüber hinaus zu beobachten, dass die Möglichkeit der früheren Beübbarkeit des Handgelenkes nicht ausreichend genutzt werden kann. Hinzu kommt, dass die Bereitschaft zur intensiven Physiotherapie oft geringer ist als bei Jüngeren, so dass auf die Beweglichkeit der Finger abgezielt werden muss, was der Fixateur ebenfalls ermöglichen kann.

Bei höhergradiger Zertrümmerung der Gelenkfläche mit starken Schwellungszuständen bietet der Fixateur Vorteile gegenüber der Platte. Eine exakte anatomische Wiederherstellung der gelenktragenden Anteile ist oftmals auch durch eine Plattenosteosynthese nicht zu erzielen. Die Reposition über Ligamentotaxis kann in solchen Situationen ein ausreichend gutes Repositionsergebnis mit dem Erhalt der Vitalität der Fragmente und der damit möglichen Faserknorpelbildung erzielen, so dass durch die geringere Invasivität faskale Verläufe mit langwierigen Schwellungszuständen und mit Ausbildung einer Reflexdystrophie oder Infektionen vermieden werden können (Wenda 2002).

## 2.5 Das Prinzip der Winkelstabilität

Unter einer winkelstabilen Osteosynthese wird ein System verstanden, bei dem die im Knochen verankerten Schrauben mit einem die Fraktur überbrückenden Träger so verbunden sind, dass sich der zwischen Platte und Schraube gebildete Winkel nicht wesentlich verändern kann. Als Fixateur externe oder als Fixateur interne, der in der Wirbelsäulen Chirurgie angewendet wird, ist das System bereits hinreichend bekannt und wird bereits mit Erfolg durchgeführt (Dorow 2004). Winkelplatten und intramedulläre Systeme, wie die Dynamische

Hüftschraube (DHS) oder die Marknagelosteosynthesen (z.B. der Proximale Femurnagel (PFN)) gelten als komplikationsarme und funktionell erfolgreiche Beispiele für winkelsteife Osteosynthesen (Höntzsch 2004).

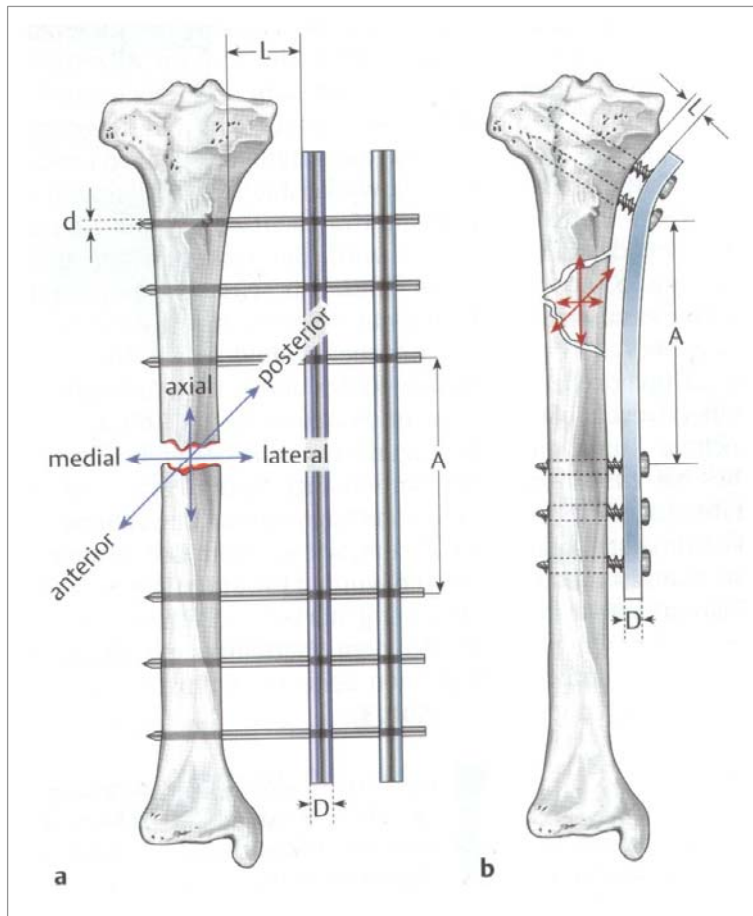
Nicht winkelstabile Plattensysteme nutzen das Prinzip der Erzeugung von Haftreibung, wodurch hohe Anpressdrücke des Kraftträgers auf den Knochen notwendig sind. Dies hat zur Folge, dass durch den Druck auf den Knochen am Periost Durchblutungsstörungen und damit Frakturheilungsstörungen provoziert werden (Claes 2004). Darüber hinaus erfordert dieses Verfahren eine exakte Reposition der Fraktur und damit ein präzises Vorbiegen zum Anpassen an den jeweiligen Knochen (Wagner et al.2004). Deshalb wurde in den letzten Jahren in die Plattenosteosyntheseverfahren viel Entwicklungsarbeit investiert, um diese unerwünschten Nachteile eines sonst viel versprechenden Verfahrens zu minimieren. Das Prinzip der winkelstabilen Plattenosteosynthese besteht darin, dass eine Schraube oder Gewindebolzen, mit einer Platte derart verankert ist, dass eine feste Einheit gebildet wird. Dies wird durch ein in die Platte eingebrachtes konisches Gewinde erzielt, in das eine Schraube mit entsprechender konischer Gewindebohrung exakt eingeschraubt werden kann. Dadurch wird erreicht, dass die Schrauben in der Platte in ihrem Winkelgrad zur Platte gehalten werden. Diese Richtungsstabilität ermöglicht es, nach Einbringen der Schrauben in die Platte und den Knochen das fixierte Knochenfragment in seiner Position bis auf minimale Bewegungen zu halten und damit sekundäre Dislokationen zu vermeiden. Die Stabilität der winkelstabilen Osteosynthese ist nicht mehr, wie bei der herkömmlichen Plattenosteosynthese mit Schraube-Gleitlochpaarung, abhängig vom Anpressdruck und der damit verbundenen möglichst großen Auflagefläche und Passgenauigkeit der Platte, sondern hängt mehr und mehr vom eingebrachten Material und der Anordnung des Osteosynthesematerials ab (Wagner et al.2004).

Zwischenzeitlich ist die Plattenosteosynthese von palmar mit winkelstabilen Implantaten zum Trend in der Behandlung von Radiusfrakturen geworden und hat andere Osteosyntheseverfahren zurückgedrängt. Die Entwicklung geht hin zu immer filigraneren Platten mit daraus resultierender minimaler iatrogener Traumatisierung.

Auf Grund der Problematik und der Komplikationen der herkömmlichen Plattenosteosynthese wurden Richtlinien und Anforderungen für eine „biologische“ Osteosynthese formuliert. Diese beinhalten grundlegende Maßnahmen einer Fraktur mit noch vitalen oder kurzfristig revitalisierbaren Fragmenten die geringst mögliche Traumatisierung zukommen zu lassen. Diese Maßnahmen sollen eine von äußeren Eingriffen möglichst ungestörte Selbstregeneration aufrechterhalten und fördern. Dies soll durch schonende Operationstechniken, wie die geeignete Wahl des Zugangs mit minimaler Irritation des Weichteil- und Knochengewebes, durch Verwendung neuer Verankerungsprinzipien und Implantatdesigns und durch die auf das Notwendige beschränkte Reposition der Fragmente erzielt werden. Letzteres ist abhängig von der Lokalisation der Fraktur. Kann bei dia- bzw. metaphysären Frakturen auf eine 100 % exakte Reposition zu Gunsten der Vitalität der Fragmente verzichtet werden, bedarf es bei Gelenkbeteiligung zur Prophylaxe posttraumatisch degenerativer Veränderungen der genauen anatomischen Rekonstruktion der Gelenkfläche. Diese biologische Plattenosteosynthese ist jedoch nur für die Frakturen geeignet, deren Fragmente vitalisiert bzw. rasch vitalisierbar sind. Hier wird das Prinzip der relativen Stabilität genutzt. Relative Stabilität meint Konstanz der Winkel- und Gelenkverhältnisse mit Duldung einer flexiblen, elastischen Mikrobewegung der Fragmente. Für avitale Frakturen ist nach wie vor das Prinzip der absoluten Stabilität gefordert. Diese schützt den sehr langen Prozess der direkten Knochenbruchheilung durch inneren Umbau (Wagner et al.2004).

Die interfragmentäre Bewegung ist der entscheidende biomechanische Faktor für den Ablauf der Knochenbruchheilung. Diese Bewegungsfreiheit wird durch die Verformung der Schrauben und Kraftträger unter Belastung der zu stabilisierenden Extremität hervorgerufen. Beim Fixateur externe wird die Dynamik durch die Verbiegung der Pins bzw. der Schrauben erzielt. Das Ausmaß der Bewegung wird dabei durch die Länge  $L$  (Abb.21), die die Schrauben aus dem Knochen ragen, und deren Abstand  $A$  von der Frakturlinie bestimmt. Die Durchbiegung nimmt dabei mit der vierten Potenz der freien Länge zu. Vorteil des inneren Fixationsprinzipes ist es, dass diese freie Länge abnimmt und sich damit die interfragmentären Bewegungen ebenfalls

verringern. Allerdings muss man daraus folgend mit einer entsprechenden Zunahme der Stärke des Längsträgermaterials gegenüber der konventionellen Plattenosteosynthese reagieren, das nun die entstehenden Kräfte aufnehmen muss. Nach Berechnungen von Duda (Claes 2004) ist diese Beanspruchung des Längsträgers, also der Platte bei nicht abgestützten Frakturen metaphysär unkritisch, stößt jedoch vor allem bei Frakturen im Schaftbereich an seine Grenzen. Die kritische interfragmentäre Bewegung hängt also bei winkelstabilen Platten zum einen, wie beim Fixateur externe vom Abstand A der Schrauben vom Frakturgebiet ab, zum anderen spielt die Dicke der Platte eine entscheidende Rolle (Abb.21). Diese stellt den limitierenden Faktor dar, so dass der begrenzte Querschnitt der Plattenfixateure dazu führt, dass der überwiegende Teil der interfragmentäre Bewegung aus ihrer eingeschränkten Biegesteifigkeit resultiert. Die interfragmentäre Bewegung ist also um so kleiner, je dicker das Material und je kleiner der Abstand der frakturnahesten Schrauben voneinander ist (Claes 2004).



- d: Dicke des Querträgers
- A: Abstand zwischen den der Fraktur nahe liegenden Querträgern
- D: Dicke des Längsträgers

**Abbildung 21:** Das Prinzip der Winkelstabilität; a: Fixateur externe versorgte Fraktur mit der Möglichkeit zur interfragmentären Bewegung durch die relativ lange Strecke L bis zum Längsträger; b: winkelstabile Plattenosteosynthese mit geringer interfragmentärer Schwingungsbreite (Claes 2004)

Gegenüber der herkömmlichen Plattenosteosynthese wird bei den winkelstabilen Platten auf die interfragmentäre Kompression verzichtet. Es stellt sich die Frage, ob dies ebenfalls zu einer ausreichenden Kallusbildung und Frakturstabilität führt. Untersuchungen aus dem Jahre 1995 um Prof. Claes (Claes 2004) haben gezeigt, dass bei Frakturspalten bis zu zwei Millimetern bereits kleine interfragmentäre Bewegungen unter 0,1 Millimeter zur Knochenneubildung in Form eines Kallus und zur Knochenneubildung in der Frakturzone führen. Größere interfragmentäre Bewegungen bis 0,5 Millimeter, wie sie beim LISS (Less Invasive Stabilisation System) gemessen wurden,

induzieren eine noch stärkere Kallusbildung. Größere Bewegungsspielräume können allerdings zu einer Resorption der Fragmentenden und zu einer Vergrößerung der Frakturspalten führen, was mit einer verzögerten Knochenbruchheilung verbunden sein kann. Übersteigt die Größe des Frakturspaltes die Zweimillimetergrenze, scheint es so zu sein, dass geringere interfragmentäre Bewegungen zur schnelleren Ausheilung führen als instabile Situationen mit größeren Bewegungsspielräumen. Beim Plattenfixateur interne kann es auf Grund der eingeschränkten Möglichkeit der anatomischen Anpassung und der vorgegebenen Richtung der einzudrehenden Schrauben zu relativ großen Frakturspalten kommen. Deshalb ist eine gute Reposition der Fragmente vor Osteosynthese besonders wichtig. Kommen weitere ungünstige Faktoren, wie die geringe Biegesteifigkeit der Materialien oder ein großer Abstand der fraktur-nahen Schrauben hinzu, wird eine Situation am Knochen erzeugt, die einer optimalen Frakturheilung widerspricht.

Ein weiterer Faktor, der die interfragmentäre Bewegung beeinflusst, ist die Frakturform. Bei Mehrfragmentfrakturen verteilt sich das Ausmaß der interfragmentären Bewegung auf mehrere Frakturspalten, was im Gegensatz zu nur einer oder weniger Frakturspalten zu weniger Einzelbewegung pro Frakturspalte führt. Dies schafft günstigere Gesamtbedingungen und ist somit tolerierbarer für die Knochenneubildung. Diese Vorteile der stabilen Schraubenverankerung kommen vor allem im metaphysären, spongiösen Bereich zum Tragen. Überdies sind die Biegebeanspruchungen der Platten in diesem Bereich unkritischer (Claes2004).

Ein weiteres Problem der herkömmlichen Plattenosteosynthese stellen osteoporotische Knochenverhältnisse dar. Durch den geforderten hohen Anpressdruck der Platte auf den Knochen müssen die Schrauben mit einem hohen Drehmoment eingedreht werden, was im osteoporotischen Knochen zum Stabilitätsverlust führen kann. Denn durch das hohe Drehmoment kommt es zum Durchdrehen der Schrauben und zur irreversiblen Zerstörung des Knochens. Beim Plattenfixateure interne werden keine Schraubenzugkräfte erzeugt. Allerdings wirken auch auf winkelstabil eingebrachte Schrauben Scher- und Biegekräfte ein, die von der äußeren Belastung der Schraube, dem Schraubendurchmesser und der Schraubenlänge im Knochen abhängen.



Übersteigt die Belastung der Schraube die Festigkeit des osteoporotischen Knochens, kommt es auch bei winkelstabiler Versorgung zum Auslockern bzw. Durchschneiden der Schraube durch den Knochen (cut out) und damit zur Destruktion des Knochens. Werden aber im metaphysären Bereich die Biegemomente der Platten-Schrauben-Einheit durch schonende postoperative Mobilisierung gering gehalten und die Schrauben möglichst subchondral platziert, lässt sich dies effektiv verhindern (Claes2004). Die winkelstabile Versorgung ermöglicht also auch im osteoporotischen Knochen die Stabilität der Schrauben und verringert somit den postoperativen, sekundären Repositionsverlust (Wagner et al.2004).

#### 2.5.1 Winkelstabile Plattensysteme für den distalen Radius

Bis Mitte/Ende der 90 er Jahre standen für die Versorgung der distalen Radiusfraktur die konventionellen 3,5 mm Form- bzw. Abstützplatten zur Verfügung. Die Indikation beschränkte sich auf nach palmar dislozierte Frakturen (Smith) oder auf Frakturen mit nach palmar dislozierten Kantenfragmenten (B3 – Frakturen, reversed Barton). Danach kamen auch am distalen Radius winkelstabile Platten zum Einsatz (3,5 mm oder 2,4 mm bezogen auf den Durchmesser der Schrauben), mit denen auch nach dorsal dislozierte, extraartikuläre bzw. artikuläre Frakturen von palmar versorgt werden können (Abb.22).

Diverse Firmen aus aller Welt bieten derzeit palmare winkelstabile Radiusplatten an, die sich in ihrem Design, den verwendeten Materialien und modellspezifischen Einzelheiten voneinander unterscheiden. Die Platten haben nahezu alle die T-Form gemeinsam. Der T-Schenkel ist dabei mit Gewindebohrungen für die winkelstabilen Schrauben versehen. Dieser kommt distal zum Liegen. Die winkelstabilen Schrauben fassen und stabilisieren die einzelnen Fragmente. Die proximalen Bohrlöcher sind in der Regel ohne Gewinde. Die hier eingebrachten Schrauben binden das winkelstabile System distal an den intakten proximalen Radius. Meist sind die Platten für die jeweilige Seite anatomisch bereits vorgeformt und geben damit durch ihre Form und der vorgegebenen Richtung der winkelstabilen Schrauben im T-Teil der Platte den dorsopalmaren Winkel vor.



**Abbildung 22:** winkelstabiles distales Radiussystem 2,4 mm mit 2,4 mm Kopfverriegelungsschrauben distal und Kombinationslöchern für 2,4 mm Kopfverriegelungsschrauben oder 2,4 mm bzw. 2,7 mm Kortikalschrauben im Schaft (Firma Synthes®) (Wagner et al.2004).

Neuste Entwicklungen haben Platten hervorgebracht, bei denen die Möglichkeit besteht, die Richtung der winkelstabilen Schrauben zu variieren. Diese multidirektionalen Plattensysteme bieten dem Operateur große Variationsmöglichkeiten in der Frakturzone. Er kann individuell auf das entsprechende Frakturgeschehen reagieren, indem Frakturfragmente exakter gefasst und damit sicherer stabilisiert werden können. Gerade bei Frakturen mit mehreren Fragmenten haben sich derartige Systeme hinsichtlich des postoperativen Outcomes bewährt (Abb.23).



**Abbildung 23:** Multidirektionales System mit variabler Schraubenplatzierung distal 2,5 mm (Medartis®) (eigenes Bildmaterial)

Dies zeigt eine Studie, die Patienten, die bei distaler intra- und extraartikulärer Radiusfraktur mit einer palmaren, multidirektionalen, winkelstabilen Platte mit zweireihiger winkelstabiler Abstützung versorgt wurden (Abb.23). Das Ergebnis zeigte, dass das Repositionsergebnis sicher und dauerhaft ohne den Einsatz von Spongiosainterponat gehalten werden konnte. Die oben gezeigte Platte bietet zudem den Vorteil, dass die distale Schraubenreihe die zentrale Gelenkfläche durch das sichere extraartikuläre Platzieren der Schrauben und durch Neigung dieser Reihe nach proximal unterstützt, während die zweite Reihe die dorsale subchondrale Platzierung ermöglicht (Mehling et al. 2007).

## 2.6 Die technische Anwendung der winkelstabilen Plattenosteosynthese

### 2.6.1 Präoperative Vorbereitung

Nach Diagnosestellung durch konventionelle Röntgenaufnahmen stellt die ergänzende CT-Untersuchung mit 3D-Rekonstruktion bei intraartikulärer Beteiligung eine wertvolle Hilfe zur Planung des operativen Vorgehens dar. Bei der so genannten „die-punch-fracture“ mit zentraler Impression der Gelenkfläche (Abb. 24) sollte sie zwingend vorliegen, da hier mit konventionellen Aufnahmen die Beurteilung der Fraktursituation nicht möglich ist (Krimmer et al. 2008).

### 2.6.2 Zugang und offene Reposition zur palmaren Instrumentation einer distalen Radiusfraktur

Der palmare Zugang (Abb. 25) stellt die bevorzugte Methode dar, da er eine exakte Reposition und Kontrolle des Repositionsergebnisses ermöglicht und die Platte mit guter Weichteildeckung platziert werden kann. Im Falle einer Karpaltunnelsymptomatik mit der Notwendigkeit der Karpaldachspaltung kann alternativ der relativ weit ulnar gelegene Zugang verwendet werden, der bei Bedarf nach proximal erweitert werden kann. Über die prophylaktische Spaltung des Karpaltunnels wird noch sehr strittig diskutiert. Einige Kliniken führen dies generell durch, um Re-Operationen zu vermeiden. Andere Krankenhäuser machen es abhängig von der evtl. vor dem Trauma bestehenden oder dabei entstandenen klinischen Symptomatik und vom Alter des Patienten. Einheitliche Regelungen, Empfehlungen oder vergleichende Studien sind zu diesem Thema nicht verfügbar. Problem dieses „ulnaren“ Zugangs ist die Irritation des N. medianus. Der Nerv kommt bei diesem Zugang meist unmittelbar unter dem Schnitt zu liegen. Schmerzhaftes Narbenprobleme um dem Nerv können die Folge sein. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass der Nerv durch die eingesetzten Homann Haken nach radial gedrückt wird, wodurch Druckschäden mit der Folge von Dys- und Hypästhesien entstehen können (Krimmer et. al 2008).

Im Allgemeinen wird jedoch der eher radial gelegene Zugang über der Sehne des M. flexor carpi radialis, radial des N. medianus empfohlen (Henry-Zugang,

Abb. 25). Hierbei kommt nach dem Durchtrennen der Haut und der Subcutis die Sehne des M. flexor carpi radialis zur Darstellung. Diese wird nach radial, die Arteria radialis nach ulnar weggehalten und die Fascie im Längsverlauf gespalten. Der nun erscheinende M. pronator quadratus wird am Insertionsort am distalen Radius radial abgelöst und nach ulnar abgeschoben. Darunter stellt sich der distale Radius mit vorliegender Fraktur dar (Abb. 26) Muss bei ausgeprägter Trümmerzone die Inzision nach distal verlängert werden, sollte dies bevorzugt gewinkelt nach radial erfolgen. Eine gerade Verlängerung über die Handgelenksbeugefalte geht in der Regel ebenfalls mit einer erheblichen Narbenproblematik einher. Es erfolgt die Reposition. Diese kann nach Vorreposition unter Längszug über dem II. oder III. Strahl, Flexion und Druck von dorsal erfolgen. Lässt sich so die Fraktur nicht aufeinander stellen, kann zusätzlich ein Elevatorium zur Hilfe genommen werden, welches im Frakturspalt liegend das distale Radiusende über die proximale Frakturkante hebt (Wenda 2002, Petereit 2003). Es ist auf die Wiederherstellung der Gelenkwinkel und Radiuslänge, sowie auf die Rekonstruktion der Gelenkfläche zu achten (Abb.27). Bei intraartikulären Frakturen, die häufig den Processus styloideus radii mit einbeziehen, empfiehlt es sich, das 1. Strecksehnenfach zu eröffnen und den Ansatz des M. brachioradialis abzulösen (Abb.28), da hieraus häufig ein Repositionshindernis resultiert. Gelingt die Reposition von palmar nicht vollständig, kann ergänzend ein limitierter dorsaler Zugang benutzt werden. Zentrale Impressionsfrakturen müssen in der Regel durch einen solchen versorgt werden. Zusätzlich ist es meist notwendig, die Gelenkfläche eines zentralen Gelenkdefektes hochzustößeln und das Repositionsergebnis durch Einbringen einer Spongiosaplastik zu sichern. Komplizierte Frakturen mit instabilem Repositionsergebnis erfordern eine Stabilisierung mit Hilfe intermittierend eingebrachter Kirschnerdrähte von radial oder ulnar, alternativ auch durch spezielle Löcher in der Platte, die nach Fixierung durch die Platte wieder entfernt werden können (Krimmer et al. 2008).

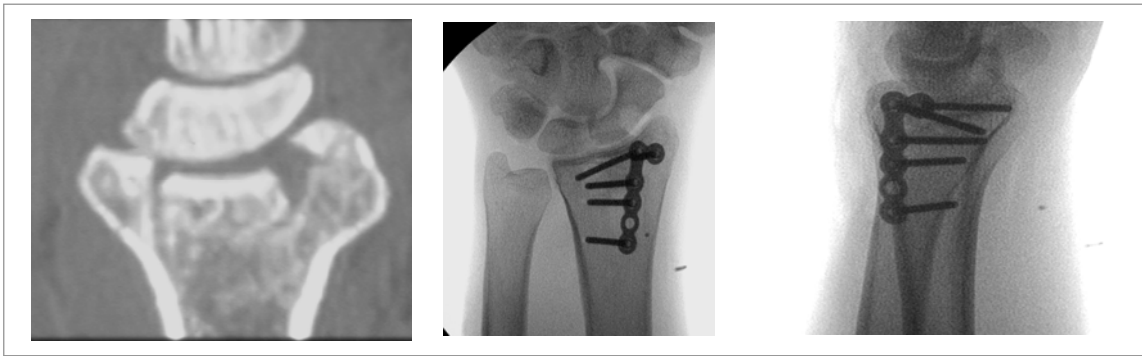
2.6.3 Durchführung der winkelstabilen Osteosynthese bei distaler Radiusfraktur  
Nach Darstellung und Reposition der Fraktur über den palmaren Zugang kann nun das entsprechende Implantat abhängig von der Frakturkonstellation

eingebraucht werden. Die Platte wird an den Radius angelegt und mit einer Kortikalisschraube im proximal gelegenen Gleitloch befestigt. Die Lage der Platte mit besonderer Beachtung der zentralen, achsengerechten Lokalisation und des distalen Endes wird mittels Bildwandler kontrolliert. Der distalen Umschlagslinie am Radius, der so genannten „water-shed-line“, kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da die Platte nicht weiter distal liegen sollte. Bei Nichtbeachtung besteht die Gefahr, dass an dem dann frei liegenden Plattenrand Beugesehnenrupturen entstehen können. Im Gleitloch kann die Platte nach distal oder proximal variiert werden. Danach wird sie mit einer 2. Schraube proximal fixiert und dient jetzt als Abstützung für die definitive Reposition und Fixierung (Abb. 29). Grundsätzlich sollten winkelstabile Implantate verwendet werden, da bei intraartikulären Frakturen in der distalen Trümmerzone keine stabile bikortikale Schraubenverankerung möglich ist. Bevorzugt kommen Low-Profile-Platten mit einem geringen Raumvolumen zur Schonung der Weichteile und Platten mit 2 distalen Reihen und mit Schraubendurchmessern von 2,4-2,7 mm zur Anwendung, um eine feine Abstützung der Gelenkflächenanteile zu gewährleisten. Die multidirektionale Schraubenplatzierung erlaubt in Verbindung mit den zwei distalen Reihen eine stabile, zentrale und dorsale Unterstützung der Gelenkfläche. Darüber hinaus kann die Schraubenplatzierung der Fraktur angepasst werden – mit besonderer Berücksichtigung der Problematik des ulnaren Kantenfragments und Frakturen des Processus styloideus radii. Dies ist bei unidirektionalen Systemen nur bedingt möglich. Unter Flexion und Zug wird jeweils eine Schraube aus der 1. und 2. Reihe eingebracht. Es ist auf die subchondrale Schraubenplatzierung zu achten, da in diesem Bereich die höchste Knochendichte vorzufinden ist und dementsprechend das winkelstabile System den besten Halt findet. Nach erneuter Röntgenkontrolle werden die restlichen Schrauben platziert. Zum sicheren Ausschluss intraartikulärer Schraubenlagen sollte in der p.a. Projektion leicht schräg entsprechend der palmaren Inklination durchleuchtet werden. Auch hier ist bei Nachweis einer intraartikulären Position ein multidirektionales System von Vorteil, da die Schraubenrichtung unter Belassen der Platte problemlos geändert werden kann. Gelingt die Reposition initial mit dieser Technik nicht, kann der Zugang gewinkelt nach radial erweitert werden. Wenn

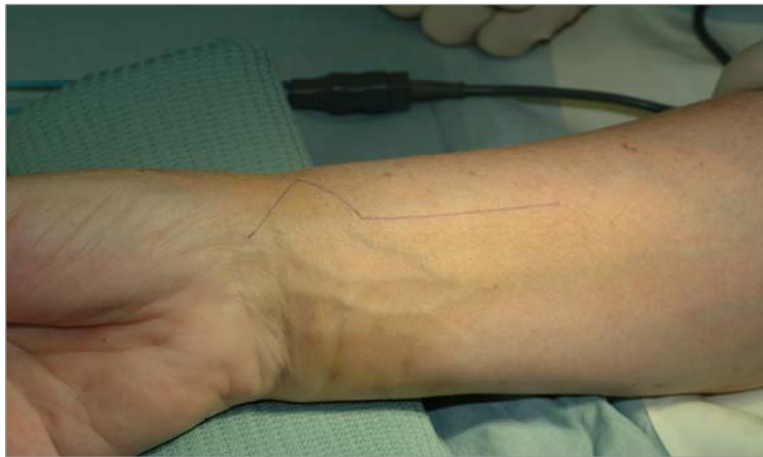
das 1. Strecksehnenfach eröffnet und der Ansatz des M. brachioradialis abgelöst sind, können der Radiuschaft herausgedreht und die Radiusgelenkfläche unter Sicht von proximal reponiert werden. Ergänzend kann zur Kontrolle des Repositionsergebnisses das Radiokarpalgelenk durch Inzision der radiokarpalen Bänder im Faserverlauf eröffnet werden.

Stehen die radiale oder ulnare Seite im Vordergrund, sollte die Platte in diesem Bereich mit mindestens 3 Schrauben fixiert werden. Quere, gesondert eingebrachte Zugschrauben von radial Richtung Ulnakopf sind problematisch, da sie ein hohes Gefahrenpotential für Knorpelschäden im distalen Radioulnargelenk darstellen. Durch gezielte Schraubenplatzierung von palmar kann der Processus styloideus radii nach passagerer Kirschner-Draht-Fixierung stabilisiert werden. Gelingt die Reposition allein von palmar nicht, muss zusätzlich ein dorsaler Zugang zur Reposition benutzt werden, unter Umständen mit der Technik der Doppelplattenosteosynthese. Bei Zertrümmerung der Gelenkfläche sehr weit distal ist die Retention mit Platten häufig nicht ausreichend möglich., hier kann von der Verwendung einzelner Minifragmentschrauben, die meist einen guten Halt finden, Gebrauch gemacht werden. Zentrale Impressionsfrakturen sollten nach Reposition über einen dorsalen Zugang durch winkelstabile Miniimplantate (Abb.24) fixiert werden. Bei ausgeprägter Weichteilschädigung empfiehlt sich der Einsatz eines Fixateur externe mit später additiver offener Reposition und Plattenosteosynthese (Krimmer et al.2008).

Nach erfolgter Osteosynthese sollte eine abschließende röntgenologische Beurteilung der Plattenlage, der Schraubenlänge sowie der korrekten Wiederherstellung der Gelenk- und Winkelverhältnisse erfolgen. Abschließend wird eine Redondrainage in das Wundgebiet eingebracht und dieses durch entsprechende subkutane und kutane Nähte verschlossen. Danach erfolgt die Ruhigstellung mittels Unterarm-Gipslonguette.

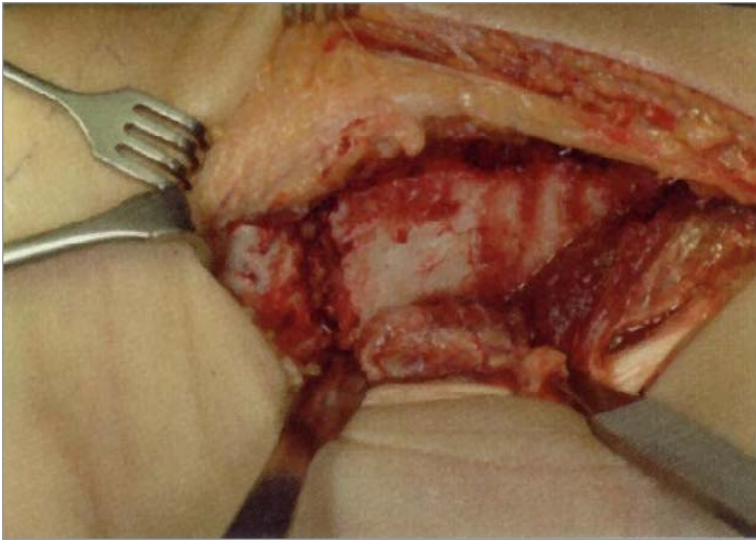


**Abbildung 24:** die-punch-fracture mit zentraler Impression der Gelenkfläche (linkes Bild), winkelstabile Versorgung über einen dorsalen Zugang (rechte Bilder)

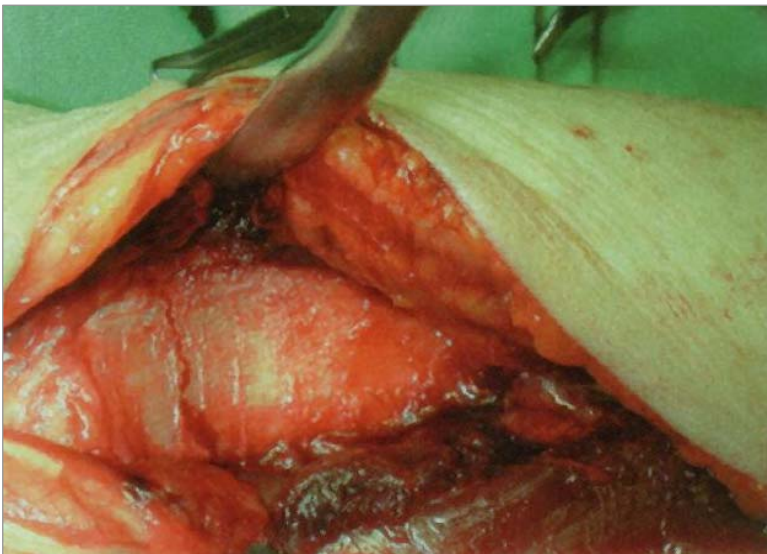


**Abbildung 25:** Henry-Zugang zur palmaren Instrumentation einer distalen Radiusfraktur (eigenes Bildmaterial).

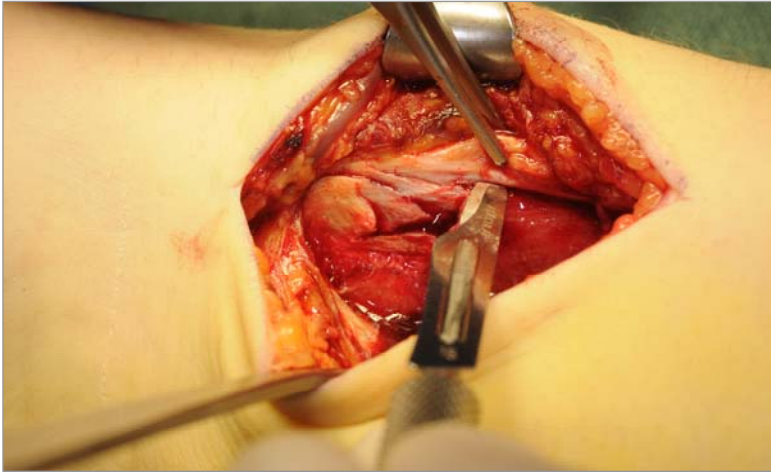




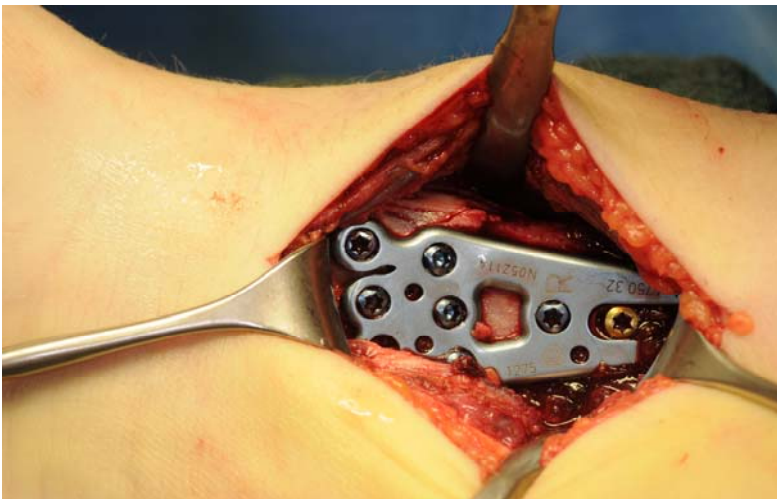
**Abbildung 26:** Blick von palmar auf die klaffende Frakturzone bei distaler Radiusfraktur (eigenes Bildmaterial)



**Abbildung 27:** Kontrolle des Repositionsergebnisses. Exaktes Aneinanderliegen der Fragmente bei distaler Radiusfraktur (AO-Klassifikation: 23-A3) (eigenes Bildmaterial)



**Abbildung 28:** Ablösen des M. brachioradialis zur Reposition des Processus styloideus radii (eigenes Bildmaterial)



**Abbildung 29:** Von palmar eingebrachtes multidirektionales System mit variabler Schraubenplatzierung distal 2,5 mm (Medartis®) (eigenes Bildmaterial)

## 2. Nachbehandlung der winkelstabil versorgten distalen Radiusfraktur

Die ergo- bzw. physiotherapeutische Nachbehandlung der distalen Radiusfraktur gliedert sich in zwei Phasen, die abhängig von Alter und Persönlichkeit, Komplexität der Fraktur sowie der Stabilität der osteosynthetischen Versorgung individuell gestaltet wird (Waldner-Nilsson 1999). In der früh- oder postoperativen Phase sind nach angelegter Unterarmgipslonguette physikalische Maßnahmen vordergründig. Kühlen und Hochlagern des Armes beugen einer Schwellung und damit einer Mikrozirkulationsstörung vor und reduzieren den Operationsschmerz. Bewegungsübungen der Finger unterstützen diese Maßnahmen in der Frühphase der Rehabilitation. Bei starken Schwellungszuständen profitieren die Patienten von Lymphdrainagebehandlungen. Unter Beibehalt dieser Maßnahmen schließen sich Bewegungsübungen der freien Gelenke an, die einer Bewegungseinschränkung in den jeweiligen Gelenken entgegenwirken sollen. Die zweite Phase erlaubt nun die Mobilisierung des Handgelenkes aus dem Gipsverband heraus. Dies darf frühzeitig nach Wund- und Weichteilkonsolidierung aus der Gipslonguette heraus erfolgen. Bei extraartikulären Frakturen ist die Ruhigstellung ca. zwei Wochen, bei intraartikulären Frakturen für ca. vier Wochen erforderlich. Die Ruhigstellung ist notwendig, da Teilrupturen des ulnokarpalen Komplexes und des karpalen Bandapparates eine Mindestruhigstellungszeit zur Ausheilung benötigen, um nicht später längerfristige Probleme zu bereiten (Krimmer et al. 2008). Man beginnt mit leichter passiver Mobilisierung, Faustschlussübungen und spezifischen Handgelenksübungen – Extensions- und Flexionsübungen sowie Pronations- und Supinationsbewegungen. Diese Übungen sind jedoch nur durch wohldosierten, schmerzadaptierten, allmählich zu steigenden Widerstand anzugehen. Allmählich, nach der zweiten oder vierten Woche, je nach Frakturkonstellation kann dann mit kombinierten aktiven und passiven Übungsbehandlungen begonnen werden, falls dies die klinische Situation und der radiologische Befund zulassen (Schröder 2007). Nach knöcherner Konsolidierung darf dann ein vorsichtiger und allmählicher Belastungsaufbau

erfolgen. Bis zu diesem Zeitpunkt sollten keine starken Belastungen, wie starke Stauchungs- oder Zugbelastungen, Torsions- oder Scherkräfte auf das Handgelenk einwirken. Darüber hinaus sollten Tätigkeiten des täglichen Lebens in die Behandlung integriert werden. Unter Umständen sollte der zweiten Phase noch eine dritte Rehabilitationsphase folgen, in der vor allem bei komplexen Brüchen zusätzliche Maßnahmen wie Mobilisation unter Traktion dynamische Schienung und ein spezielles Arbeitstraining erforderlich sind (Waldner-Nilsson 1999).

### 3. Studienziel

Die distale Radiusfraktur ist die häufigste Fraktur des Menschen. In den vergangenen Jahren hat sich eine Trendwende von der konservativen hin zur operativen Versorgung entwickelt. Dem Behandler stehen diverse OP Methoden zur Verfügung; die Kirschnerdrahtosteosynthese, der Fixateur externe und die Plattenosteosynthese.

Die winkelstabile Versorgung, die in der osteosynthetischen Versorgung von Frakturen unverzichtbar geworden ist, kommt zunehmend bei der Versorgung der distalen, instabilen, intra-, bzw extraartikulären Radiusfraktur zum Einsatz.

Ziel dieser Studie ist es, nachzuweisen, dass instabile distale Radiusfrakturen, extraartikuläre als auch intraartikuläre Frakturen sicher über den komplikationsärmeren Zugang von palmar mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese zu versorgen sind. Lassen sich auf diese Weise die Gelenkwinkel, die Radiuslänge, die Kongruenz der Gelenkfläche wiederherstellen und auch und bei osteoporotischer Knochenqualität dauerhaft halten, ohne dass der Einsatz von Spongiosaplastiken oder Knochenersatzstoffen notwendig ist? Ist es möglich, das Repositionsergebnis auch dann bis zur knöchernen Ausheilung zu stabilisieren, wenn frühfunktionell nachbehandelt wird? Welche Komplikationen werden bei der palmaren Instrumentation einer Radiusfraktur unmittelbar perioperativ und im Verlauf des ersten postoperativen Jahres beobachtet und wie hoch ist neben dem anatomisch-morphologisch-funktionellen Outcome die Zufriedenheit der Patienten im Alltag?

## 4. Material und Methoden

An der Studie nahmen insgesamt 50 Patienten aus dem nordbayrischen – südthüringer Raum teil, die sich in der Zeit zwischen Februar 2002 und August 2003 eine distale, radiologisch instabile Radiusfraktur zugezogen haben. Das Alter der Patienten lag zwischen 17 und 85 Jahren, durchschnittlich bei 51,2 Jahren. Das Patientengut wurde auf zwei Altersgruppen aufgeteilt; Patienten bis einschließlich 65 Jahre und in die Gruppe der über 65 Jährigen. Die Patienten wurden allesamt mit einer palmaren winkelstabilen Radiusplatte, primär oder zweizeitig versorgt, und durchschnittlich nach 11,1 Monaten (5-26 Monaten) nachuntersucht. Dazu wurden die Patienten willkürlich aus der Patientenkartei herausgesucht und telefonisch zu einem Nachuntersuchungstermin in die Handchirurgische Ambulanz nach Bad Neustadt einbestellt. Ausschlussgründe waren Begleitverletzungen des proximalen Handgelenkes, des Karpus sowie der angrenzenden Röhrenknochen.

Die Patienten wurden nach ausführlicher Anamnese klinisch untersucht und bezüglich Sturzmechanismus, Schmerzintensität und Alltagstauglichkeit befragt. Im Vordergrund der klinischen Untersuchung standen vor allem die Bewegungsausmaße, die mit einem Winkelmesser bestimmt wurden. Gemessen wurden jeweils an der betroffenen und gesunden Seite die Pronation und Supination bei in 90 Grad Beugung fixierten Ellenbogengelenk, Gesamtflexion und Gesamtextension, Faustschlussfähigkeit sowie Ulnar- und Radialduktion. Dabei wurde auf Schmerzempfindlichkeit bei den jeweiligen Bewegungen geachtet. Die Prüfung der Stabilität im Handgelenk erfolgte mit den Verschiebetests für das Radiokarpal- bzw. das distale Radioulnargelenk (DRUG). Der Watson-Test, der eine Instabilität im scapholunären Kompartiment vermuten lässt, sowie der lunatotriquetrale Ballotement-Test zum Überprüfen der lunatotriquetralen Stabilität gehörten ebenfalls zum Procedere. Zur orientierten Überprüfung ligamentärer oder osteochondraler Läsionen am ulnaren Handgelenk, insbesondere im Bereich des Discus triangularis wurde der ulnokarpale Impingementtest durchgeführt. Scherzen bei maximaler Ulnarduktion gaben Hinweise auf eine Läsion des Discus triangularis, einer

Chondromalazie des Ulnaköpfchens oder einer Läsion des lunatotriquetralen Bandes (Merle et al.1999). Sensibilitätsstörungen im Bereich der Narbe oder im Verlauf des Ramus superficialis nervi radialis sowie Hinweise auf ein posttraumatisches Karpaltunnelsyndrom wurden zusätzlich erfasst. Die Kraft beim Faustschluss konnte mit Hilfe eines yamar – Kraftdynamometers verifiziert werden, indem die Werte der kranken Seite mit der der Gesunden ins Verhältnis gesetzt wurden.

Anschließend erfolgte die Röntgenuntersuchung des Handgelenkes in zwei Ebenen zum Ausmessen der Gelenkwinkel, des Repositionsverlustes und der radialen Länge bzw. der Ulnarvarianz. Die Unfallaufnahmen dienten der Bestimmung der Frakturform und Einteilung der Frakturen nach der AO-Klassifikation.

Weiters Augenmerk wurde auf zwei international etablierten Scores gelegt. Zum einen auf den Traditionellen Handgelenksscore modifiziert nach Cooney (im weiteren THS genannt)(Krimmer 1996) (siehe Anhang) – in den funktionelle Parameter eingehen, und auf den DASH – Score (disabilities of arm, shoulder and hand), der im Gegensatz dazu den Schwerpunkt mehr auf Kriterien zur Erfassung des erlebten Traumas und der Lebensqualität sowie der subjektiven Befindlichkeit der Patienten im täglichen Umgang mit der Hand abzielt. In den THS gehen die Parameter Kraft (% der Gegenseite) beim Faustschluss, die Beweglichkeit in den verschiedenen Ebenen, die Schmerzintensität und die Gebrauchsfähigkeit der Hand im Alltag ein. Diese Parameter werden mit Punkten bewertet und addiert. Maximal können 100 Punkte erzielt werden. Die Summe der erreichten Punktzahl ergibt eine Zuordnung für ein hervorragendes (80-100 Punkte), ein gutes (65-79 Punkte), ein befriedigendes (50-64 Punkte) und ein schlechtes Behandlungsergebnis (0-49 Punkte). Modifiziert wurden von Cooney im Vergleich zum Traditionellen Handgelenksscore aus dem Jahre 1987 die Schmerzempfindung, die nicht wie bisher bei Cooney den Patienten zwischen leichten und mäßigen Schmerz unterscheiden lässt, sondern zwischen Belastungs- und Ruheschmerz differenziert. Im Hinblick auf den funktionellen Status steht bei im modifiziertem Score die Gebrauchsfähigkeit eher im Vordergrund als die berufliche Situation, die häufig durch von den

Patienten nicht beeinflussbare Momente mitbestimmt wird (Krimmer 2001) (Cooney et al. 1987).

Der DASH-Score der in den Neunzigern von der American Academy of Orthopedic Surgeons als ein Messinstrument für die Erfassung des Outcomes an Verletzung der oberen Extremität entwickelt wurde, setzt sich aus 34 Fragen zusammen und ist in Teil A, B und C gegliedert (s. Anhang). Alle Fragen werden numerisch von eins als positiv niedrige Punktzahl und 5 als negativ hohe Punktzahl aufgegliedert. Teil A, mit 23 Fragen beschreibt die Funktion, Teil B die Schmerzsymptomatik und Teil C bezieht sich mit vier Fragen auf das Spielen eines Musikinstruments oder die Ausübung von Sportarten. Für die Auswertung werden die ersten 30 Fragen addiert, die erreichbare Maximalpunktzahl beträgt 150, das Minimum 30 Punkte. Die erreichte Punktzahl wird durch die Bandbreite (entsprechend 1,2) dividiert und somit in einer Skala von 0-100 transformiert, wobei der Wert „Null“ keine Einschränkung und der Wert „100“ maximale Einschränkung bedeutet. Die übrigen vier Fragen können getrennt berechnet werden, wurden jedoch von uns wegen der großen Altersspanne und der damit verbundenen mangelnden Vergleichbarkeit auf dem Gebiet der Freizeitgestaltung außer Acht gelassen (Krimmer 2001). Untersuchungen durch Sauerbier et al. 1997 für die Bewertung nach Handgelenksarthrosen zeigten die hohe Sensivität und Spezifität dieses Scoresystems.

Die Auswertung der gesammelten Daten erfolgte mit SPSS for Windows Version 11.0 und wird im Folgenden dargestellt.



## 5. Ergebnisse

Insgesamt nahmen 50 Patienten an der Studie teil, davon waren 20 männlichen und 30 weiblichen Geschlechts. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Untersuchung betrug 51,2 Jahre (17-85 Jahre), der Median lag bei 50 Jahren.

Das Patientenkollektiv wurde nochmals in zwei Altersgruppen unterteilt. Der Anteil der unter 65 jährigen betrug 74 %, was für insgesamt 37 Patienten zutraf; Durchschnittsalter in dieser Gruppe ca. 43 Jahre. Die übrigen 13 Patienten (26%) waren demzufolge 65 Jahre oder älter; Durchschnittsalter in dieser Gruppe ca. 73 Jahre.

Der Zeitraum, zwischen Unfall und Operation betrug im Schnitt 4,5 Tage. 24 Patienten wurden noch am Unfalltag operiert, das entspricht 48 % aller Patienten. 76 % (38 Patienten) der Verunfallten konnten innerhalb von 5 Tagen, 84 % (42 Patienten) innerhalb von 10 Tagen einer Operation zugeführt werden. 8 Patienten wurden später, aber noch innerhalb eines Monats mit einer Platte versorgt. Die Operationsdauer (Schnitt-Nahtzeit) betrug im Durchschnitt 63,9 Minuten (25-135 Minuten). Bis zur Nachuntersuchung wurden bei 16 Patienten, das entspricht ca. 34 %, die Platte entfernt. Dies erfolgte durchschnittlich nach 9 Monaten. Bei Patienten über 65 wurden die Platten ausnahmslos zumindest bis zum Nachuntersuchungszeitpunkt belassen.

### 5.1 Frakturkonstellation

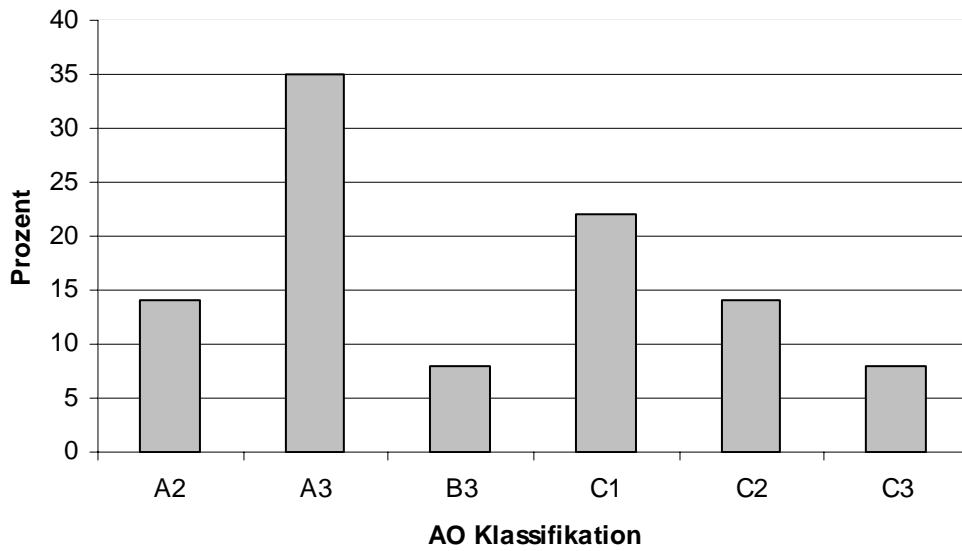
Zunächst erfolgte die Einteilung der Fraktur nach dem Sturzmechanismus, also in Extensions- und Flexionsfrakturen. Das Verhältnis betrug 80 zu 20 % zugunsten der Extensionsfrakturen. In den beiden Altersgruppen konnte kein signifikanter Unterschied diesbezüglich festgestellt werden. Das Verhältnis lag bei 78,5 zu 21,5% in der jüngeren, 84 zu 16% in der älteren Patientengruppe.

Die Einteilung in die einzelnen Kategorien der AO – Klassifikation ergab für alle Patienten folgendes Ergebnis (Diagramm 1, 2):

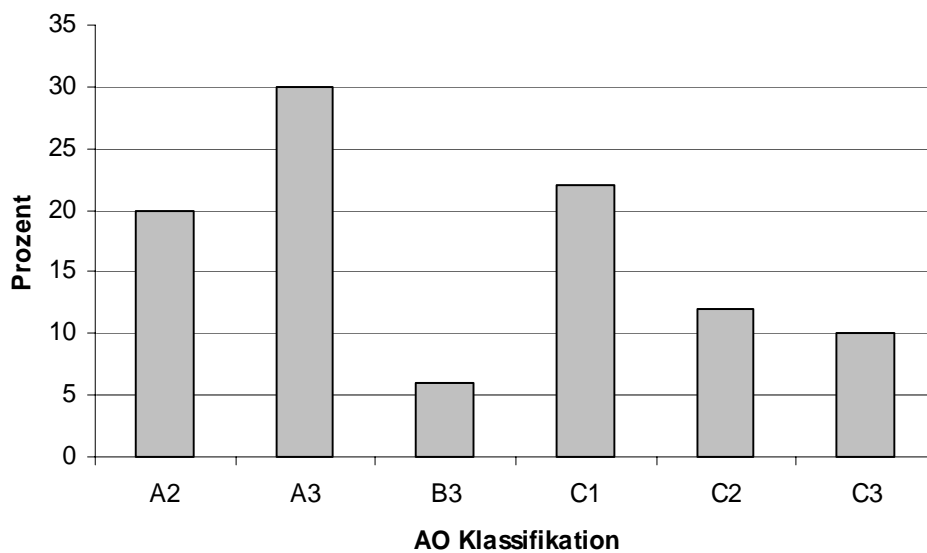
Anteil der A - Frakturen: 50 Prozent

Anteil der B – Frakturen: 6 Prozent

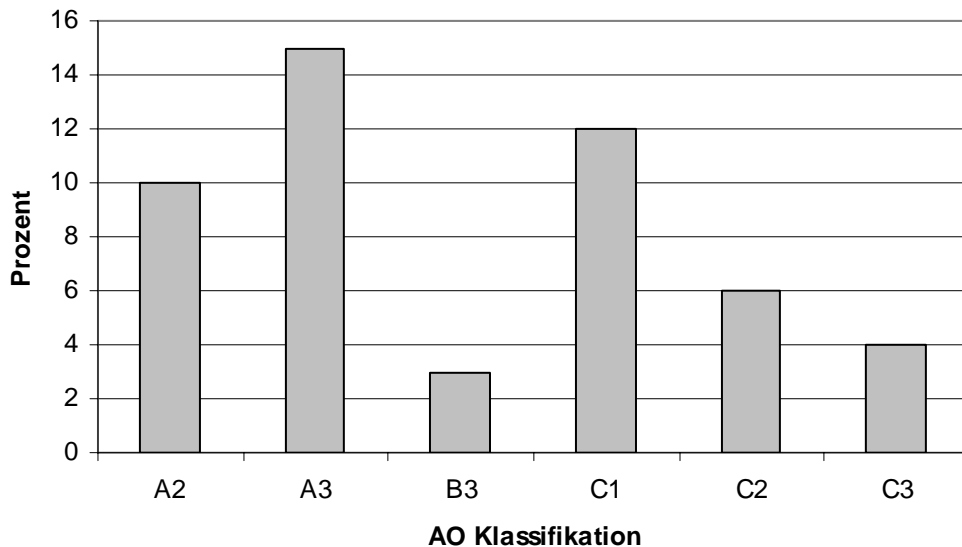
Anteil der C – Frakturen : 44 Prozent



**Diagramm 1:** Frakturverteilung in der „jüngeren“ Patientengruppe



**Diagramm 2:** Frakturverteilung in der „älteren“ Patientengruppe



**Diagramm 3:** Frakturverteilung beide Patientengruppen

Wie aus den Diagrammen 1-3 (Tabelle 1,2,3 siehe Anhang) zu entnehmen ist, lag in dieser Untersuchung der überwiegende Anteil der Frakturen im Bereich der A – Frakturen. Danach folgten die C - Frakturen. B – Frakturen waren am wenigsten vertreten, sind aber auch bis auf die B3 Frakturen keine Hauptindikation für die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese, sondern sind Domäne anderer osteosynthetischer Versorgungstechniken (Schraube, K-Draht).

Eine dorsale Trümmerzone wurde insgesamt bei 38 Patienten diagnostiziert.

## 5.2 Radiologische Auswertung

Bei allen Patienten wurde zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung eine radiologische Evaluierung durchgeführt. Alle Frakturen waren knöchern konsolidiert. Die Auswertung der radiologischen Daten erfolgte am Röntgenbild, welches in zwei Ebenen angefertigt wurde.

Der *dorsopalmare Neigungswinkel* oder die *Palmarinklination* betrug im Schnitt 8,7°. Die Spannweite reichte von 0° bis 15°. Negative Werte, als Zeichen eines unzureichenden Repositionsergebnisses, konnten nicht beobachtet werden. Mit

einem Median von  $10^\circ$  bezüglich dieses Winkels wurde ein Wert erzielt, der annähernd an den in der Literatur beschriebenen Normalwerten eines intakten Handgelenkes von  $11-12^\circ$  reicht. Der in dieser Untersuchung schlechteste Wert von  $0^\circ$  wurde insgesamt nur bei fünf Patienten nachgewiesen. Diese Patienten erreichten allerdings einen DASH-Score-Wert von nicht über 10 und im THS nicht unter 66 Punkte, also insgesamt gute bis sehr gute Werte. In den beiden Altersgruppen gab es bezüglich der Palmarinklination keine signifikanten Unterschiede. Durchschnittlich wurden in der Gruppe der älteren Patienten  $8,5^\circ$ , bei den jungen Patienten  $8,8^\circ$  gemessen.

Für den *radioulnaren Neigungswinkel* bzw. den *Radiusbasiswinkel* konnte ein Mittelwert von  $21,78^\circ$  errechnet werden. Die Spanne reichte von  $15-35^\circ$ . Der Median näherte sich mit  $20^\circ$  dem Mittelwert an und reicht ebenfalls annähernd an den Normwert von  $22-25^\circ$  für ein gesundes Handgelenk. Auch hier gab es, wie schon bei der Palmarinklination keine signifikanten Unterschiede in den beiden Altersgruppen.

Die *Ulnarvarianz* darf beim gesunden Menschen maximal 4 mm betragen. In dieser Untersuchung blieb die Ulna im Durchschnitt 0,18 mm hinter der Radiusgelenkfläche zurück. Der Median zeigte keine Ulnaverschiebung. Ein Patient entwickelte eine pathologische Verkürzung der Ulna auf 4 mm. Der größte Vorschub lag als Ulna-plus-Variante bei 2 Millimetern. Mit 0,33 mm Ulna-minus in der Gruppe der Jüngeren und 0,27 mm Ulna-plus in der Gruppe der Älteren ergab auch das dritte radiologische Kriterium keinen signifikanten Unterschied.

### 5.3 Repositionsverlust

Ein Repositionsverlust (ein Zusammensintern der Fraktur in axialer Richtung) im Vergleich zu den Röntgenaufnahmen, die als postoperative Röntgenkontrolle durchgeführt wurden, wurde insgesamt bei nur drei Patienten festgestellt. Bei einem dieser Patienten verkürzte sich der Radius um 2 mm. Die beiden anderen Patienten zeigten nur einen Millimeter Diskrepanz im Vergleich zu den unmittelbar postoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen. Nach palmar oder dorsal wurde bei keinem Patienten ein wesentlicher Korrekturverlust

verzeichnet. Betrachtet man die Scores dieser Patienten, wurden trotz des Repositionsverlustes hervorragende DASH- und THS-Werte erreicht. Bei einem Patienten handelte es sich um eine A3 Fraktur, die 17 Tage nach dem Unfall mit einer 3,5 mm T-Platte versorgt wurde. Dabei lagen die distalen, winkelstabilen Schrauben im Frakturspalt und mussten korrigiert werden. Der andere Patient hatte eine ausgeprägte dorsale Trümmerzone, die mit zwei winkelstabilen Stiften nicht ausreichend stabilisiert werden konnte.

#### 5.4 Bewegungsausmaße

Im Folgenden erfolgt die Auswertung der Bewegungsausmaße in allen Freiheitsgraden des Handgelenkes. Gemessen wurde auf beiden Seiten, um ein Verhältnis errechnen zu können.

Die auf der Frakturseite errechneten Mittelwerte sowie die Werte im Vergleich zur Gegenseite in den jeweiligen Altersgruppen zeigen die Tabellen 4-7 im Anhang.

Die Daten aus den Tabellen zeigen, dass nach durchgeführter Plattenosteosynthese gute bis sehr gute Ergebnisse in den Bewegungsausmaßen erzielt werden konnten. Die Patienten konnten in beiden Altersklassen deutlich mehr als 80% im Vergleich zur nicht verletzten Seite bewegen. Am wenigsten eingeschränkt war die Pronations-/Supinationsbewegung, dann folgten die Bewegungen zur Seite nach ulnar und radial; beide mit Werten um die 90% im Vergleich zur gesunden Seite. Das Bewegen in Extension und Flexion zeigte im Vergleich zur Gegenseite die größte Bewegungseinschränkung, darf aber mit nur ca. 20% geringerem Bewegungsspielraum dennoch als gutes Ergebnis geltend gemacht werden (Diagramm 4).

In den Einzelbewegungen wurden in der Gruppe der jüngeren Patienten die Normwerte des Gesunden bis auf die Radialduktion erreicht. Diese lag mit ca. 22° knapp unter der normalen Schwankungsbreite für ein gesundes Handgelenk. Die „range of motion“ (ROM) für die jeweiligen Bewegungsebenen bestätigte dieses sehr gute Ergebnis, denn alle Freiheitsgrade erzielten in dieser Altersgruppe die maximale Punktzahl (20 Punkte) im THS: Extension-

Flexion: 112,32° (Maximalpunktzahl im Score, wenn Wert > 100°),  
Radialduktion-Ulnarduktion: 58,32° (Maximalpunktzahl, wenn Wert > 50°) und  
Pronation-Supination: (164,51°) (Maximalpunktzahl, wenn Wert > 140°)

In der älteren Patientengruppe, die insgesamt schlechtere Ergebnisse erzielte, konnte bezüglich der ROM ebenfalls akzeptable Ergebnisse verzeichnet werden. Beugung und Streckung lag mit 5,2°, die Seitwärtsbewegungen sogar mit nur 2,7° unter den Grenzen für die Maximalpunktzahl im THS. Pro- und Supination erreichten auch in der Gruppe der über 65 Jährigen den Höchstwert.

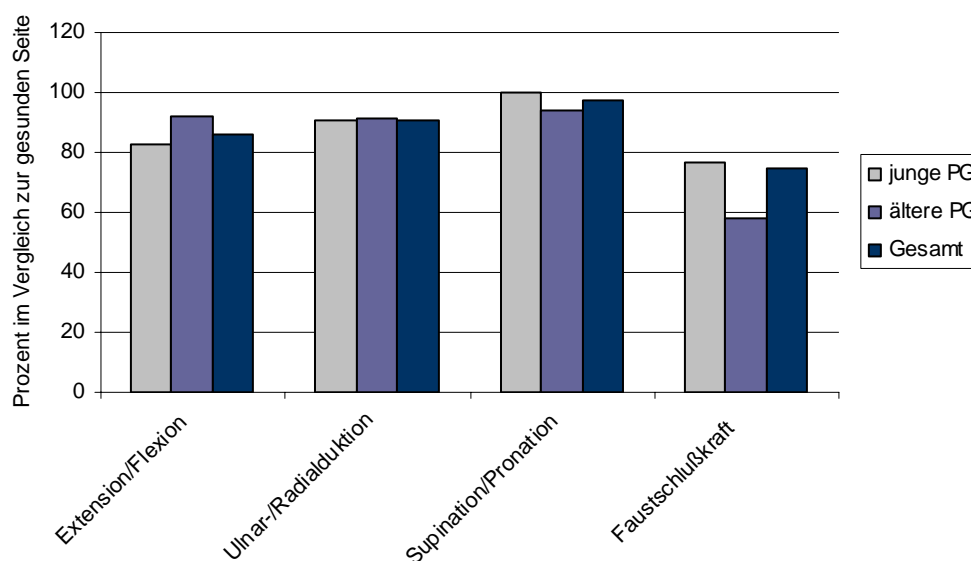
Im Vergleich mit anderen Untersuchungen liegt das Ergebnis bei dieser Studie der Bewegungsausmaße im Mittelfeld. Eine Studie des Klinikums Ludwigshafen aus dem Jahre 2003 bestätigt die Einschränkungen bei der Flexions- und Extensionsbewegung im Vergleich zur Gegenseite. Alle anderen Bewegungsrichtungen weisen, verglichen mit der gesunden Seite keine signifikanten Unterschiede auf (Matschke, Wentzensen 2004). Ähnliche Beobachtungen finden sich auch bei einer am Klinikum Minden 2003 angefertigten Studie. Im Vergleich zur Gegenseite werden auch hier Werte zwischen 80% und 90% bei allen Bewegungen außer den Umwendbewegungen erzielt. Diese sind auch in dieser Studie am wenigsten durch das Frakturgeschehen beeinträchtigt und erzielen Werte zwischen 95% und 100% (Thielke et al.2003).

## 5.5 Faustschlusskraft

Die Faustschlusskraft gilt als ein weiteres Maß für das funktionelle Behandlungsergebnis. Einschränkungen werden vor allem bei schmerzhaften, traumatisch bedingten Prozessen am Weichteilgewebe und an den beteiligten Knochen beobachtet. Durchschnittlich erreichte die Gesamtheit der Patienten 72,22% der Zugkraft der Gegenseite. Der Median lag bei 75%. Die jüngere Patientengruppe erreichte im Schnitt 75,68% (Median bei 77%). Einen größeren Sprung gab es zu den älteren Patienten. Es wurde im Schnitt nur knapp zwei Drittel (62,38%, Median 58%) der Kraft der gesunden Seite erreicht. Verglichen mit einer Studie aus der Orthopädischen Klinik der FU Berlin, wurden in unseren Untersuchungen bezüglich der Kraft am Handdynamometer im

Vergleich zur Gegenseite ca. 7% schlechtere Werte erzielt, wobei allerdings hier die Patienten im Durchschnitt später nachuntersucht wurden, und man davon ausgehen kann, dass sich die volle Kraft mit weiterem Auftrainieren der Muskulatur noch weiter steigern kann. Auch die Händigkeit und die Verteilung der Fraktur auf eine bestimmte Seite spielt dabei eine Rolle. So schneidet ein Rechtshänder mit distaler Radiusfraktur rechts besser ab als ein Patient mit gleicher Fraktur und funktionellem Ergebnis auf der linken Seite, da in diesem Fall links von vorne herein niedrigere Faustschlusskräfte erreicht werden.

Das folgende Diagramm zeigt graphisch die Medianwerte der ROM sowie der Faustschlusskraft im Vergleich zur gesunden Seite in Prozent.



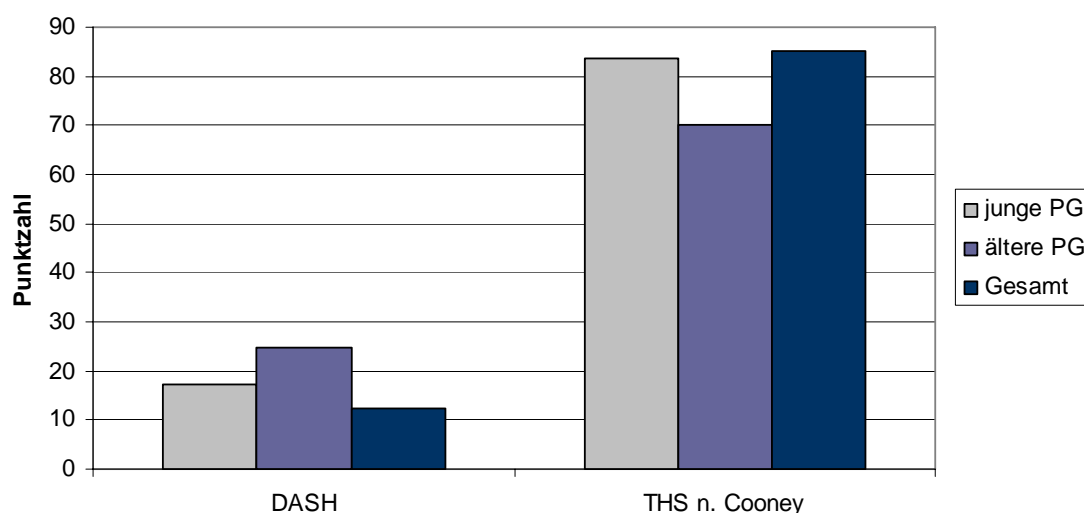
**Diagramm 4:** ROM im Vergleich zur Gegenseite in % für alle Bewegungsrichtungen und für die Faustschlusskraft

## 5.6 Auswertung der Handgelenkscores

Nimmt man alle Patienten, also beide Altersgruppen zusammen, wurde beim DASH ein Mittelwert von ca. 19,4 (Spanne: 0 – 68), beim modifizierten Handgelenkscore nach Cooney von annähernd 80,1 (Spanne: 40 – 100)

ermittelt. Der Median lag beim DASH bei 12,5, im THS bei 85. Die jüngere Patientengruppe konnte bei gleicher Spanne einen Wert von 17,3 beim DASH und 83,7 (48,3 – 100) Zähler im THS erreichen. In der älteren Patientengruppe wurden in beiden Scores erwartungsgemäß schlechtere Werte erzielt: 24,7 (1,7 – 61) im Schnitt beim DASH und 70,3 (40 – 100) im THS. Nochmals zum Vergleich: im THS gelten Werte von mehr als 80 als sehr gutes, Werte zwischen 65 und 80 als gutes Behandlungsergebnis.

Die Auswertung des DASH- Scores sowie des THS zeigt das Diagramm 5.



**Diagramm 5:** DASH- und THS - Score

Weiterhin wurden die beiden Scores, die Bewegungen in die einzelnen Freiheitsgrade und die Faustschlusskraft hinsichtlich AO – Klassifikation, Geschlecht und OP-Zeitpunkt näher untersucht bzw. bewertet. Es wurde Folgendes berechnet:

Die beiden Handgelenkscores zeigten mit zunehmender *Schwere der Verletzung* erwartungsgemäß eine Verschlechterung der Score - Ergebnisse. Erreichten Patienten mit A- und B – Frakturen gute Werte unter 20 beim DASH und über 80 beim THS, kam es bei den C - Frakturen, insbesondere bei den Mehrfragmentbrüchen (C3) zu einem Sprung auf Werte über 20 (C3 Frakturen 32,0) beim DASH und unter 70 (C3 Frakturen 66,3) im THS (Tabelle 8).



	<b>AO – Klassifikation</b>					
	<u>A2</u>	<u>A3</u>	<u>B3</u>	<u>C1</u>	<u>C2</u>	<u>C3</u>
<b>DASH</b>						
Mittelwert	19,98	12,9	8,5	23,1	22,5	32,1
Standartabweichung	6	3,5	4,1	5,7	8,8	11,2
Minimum	0	0	3	0	0	9,2
Maximum	61	45	16,6	52,5	60	68
<b>THS</b>						
mod.n. Cooney						
Mittelwert	83,7	85,7	84,4	80,7	68,6	66,3
Standartabweichung	5,9	3,5	7,5	6,4	7,2	5
Minimum	40	56	70	46,6	48,3	56,6
Maximum	100	100	95	100	100	85

**Tabelle 8:** Abhängigkeit der Handgelenkscores von der Schwere der Verletzung

Eine Aussage bezüglich *geschlechtsspezifischer Unterschiede* konnten die Scores nicht ermitteln. Im Mittel lagen beim DASH die Frauen nur drei Punkte (ca. 17) über den DASH-Ergebnissen der männlichen Patienten.

Anders verhielt es sich, wenn die Scores auf den Operationszeitpunkt, d.h. auf die Zeit zwischen Unfall und Operation bezogen wurden. Die Einteilung erfolgte in Tagen, wobei alle Patienten zusammengefasst wurden, die am Unfalltag, in den ersten fünf Tagen ohne den Ersten, in den Tagen sechs bis zehn und jenseits der ersten zehn Tage nach dem Unfallereignis versorgt wurden. Für alle Operationen galt, dass bei bestehender Schwellung des Handgelenkes der Rückgang des Befundes abgewartet wurde oder die Operation frühzeitig vor dem Auftreten einer Weichteilschwellung erfolgte.

Gab es in den Tagen null bis zehn kaum Unterschiede in den beiden Scores, wurde bei den spät operierten Patienten, die mehr als 10 Tage nach dem Trauma operiert wurden, ein drastischen Sprung beobachtet. Der Punktwert stieg beim DASH von durchschnittlich 16 Punkten in den ersten zehn Tagen auf 29 Punkte. Im THS sank entsprechend der Punktwert von 84 auf 69 Punkte ab. Je länger also die Operation hinausgezögert wurde, desto schlechter war das Behandlungsergebnis. Innerhalb der ersten zehn Tage gab es keinen statistisch

signifikanten Unterschied, aber jenseits des zehnten Tages nach dem Trauma verschlechterte sich das Outcome mit jedem Tag, der verstrich.

Bei den *Bewegungsausmaßen* war bezüglich der AO Klassifikation weniger Dynamik zu verzeichnen. Außer bei der Extensions- und Flexionsrate, die bei den C2 und C3 Frakturen auf 70% im Vergleich zu Gegenseite ein mittelmäßiges Ergebnis darstellten, zeigte sich in den übrigen Bewegungsrichtungen keine Dynamik entsprechend des Schweregrades.

Schlüsselt man die *Faustschlusskraft* auf die einzelnen Frakturformen auf, kam es dagegen zu einem vermehrten Kraftverlust mit Zunahme des Schweregrades der Verletzung. Der Sprung zu schlechteren Werten war auch hier ab den C2 Frakturen zu beobachten. Konnten Patienten mit weniger schweren Verletzungen im Schnitt 74,5% der Kraft der Gegenseite aufbringen, schafften es Patienten mit C2 und C3 Frakturen durchschnittlich auf nur 59%. Geschlechtsspezifische Unterschiede fanden sich, wenn auch nur gering bei der Faustschlusskraft. Frauen brachten im Mittel 68% der Kraft der Gegenseite auf, Männer erreichten ca. 77%. Auch bezüglich des Operationszeitpunktes waren die Werte auffällig. Fand die Operation mehr als zehn Tage nach dem Unfall statt, kam es im Nachhinein zu einer Krafteinschränkung gegenüber den Patienten mit früheren Operationszeitpunkten. Hier fällt der Prozentsatz von 74% auf 62%.

## 5.7 Komplikationen

Die überwiegend guten Ergebnisse dieser Studie korrelieren mit der nur geringen Zahl an beobachteten Komplikationen. Zu nennen ist eine Revision am zweiten postoperativen Tag wegen intraartikulärer Schraubenlage. Das implantierte Material wurde insgesamt bei vier Patienten nach Abschluss der knöchernen Konsolidierung auf Grund von Weichteilirritationen und Parästhesien im Bereich des Ramus superficialis nervi radialis entfernt. Bei einem Patienten mit einer C3 Fraktur kam es zu einer sympathischen Reflexdystrophie, die im Stadium I durch medikamentöse und physikalisch-physiotherapeutische Maßnahmen beherrscht werden konnte.

## 6. Diskussion

Die Ergebnisse der Studie haben gezeigt, dass die Versorgung der distalen Radiusfraktur mittels palmarer, winkelstabiler Plattenosteosynthese ein geeignetes Verfahren darstellt, sowohl stabile als auch instabile Frakturen mit ausgeprägten Trümmerzonen ohne den zusätzlichen Einsatz eines Spongiosainterponates sicher zu versorgen. Ein relevanter Repositionsverlust wurde selbst nach frühfunktioneller Beübung der Handgelenke aller Patienten nicht beobachtet. Die postoperativ gemessenen Bewegungsausmaße, die radiologischen Winkel und die Faustschlusskraft wiesen geringe Defizite insbesondere im Vergleich zur gesunden Seite auf, führten jedoch nicht zu einer Behinderung der Patienten im Alltag. Dies haben die beiden verwendeten Scores belegt. Sowohl der DASH-Score als auch der traditionelle Handgelenkscore mod. nach Cooney erzielten gute Werte. Durch offene Repositionstechniken ließen sich Gelenkstufen korrigieren, das winkelstabile System ermöglichte die sichere Verankerung der reponierten, gelenktragenden Fragmente. Komplikationen wurden insgesamt wenig beobachtet. Nicht nur die jüngere, auch die ältere Patientengruppe profitierte gleichermaßen von diesem Verfahren. Die winkelstabilen Schrauben, die bewegungsstabil in der Platte fixiert sind, fanden auch im osteoporotischen Knochen ausreichend Halt.

Hinsichtlich der Korrelation zwischen Frakturausmaß, OP Zeitpunkt nach dem Trauma und Scoreergebnis wurde folgendes Ergebnis ermittelt:

Das Ergebnis in beiden Scores war um so schlechter, je schwerer die Verletzung war und je länger man mit der endgültigen Versorgung der Fraktur wartete. C3 Frakturen, mit dem demzufolge schlechtesten Behandlungsergebnis und später versorgte Frakturen erreichten aber immer noch gute Scorewerte. Wartezeiten bis zur operativen Versorgung von bis zu zehn Tagen ergaben bezüglich des Behandlungsergebnisses keinen signifikanten Unterschied. Patienten, die nach diesem Zeitpunkt versorgt wurden, erreichten schlechtere Scorewerte.

Ebenso verhielt es sich mit der Faustschlusskraft. Die Faustschlusskraft im Vergleich zur gesunden Handgelenksseite zeigte eine positive Korrelation zwischen der Schwere der Verletzung und der Zeit zwischen Unfall und

Operation. Bezüglich der Bewegungsausmaße wurde konstatiert, dass bis auf die Extensions- und Flexionsrichtung, bezüglich des Schweregrades der Fraktur in den übrigen Bewegungsrichtungen keine negative Korrelation existiert.

Andere Studien mit ähnlichem Design bestätigten ebenfalls das gute Abschneiden der palmaren Plattenosteosynthese. Zum Vergleich soll hier auf eine Studie aus dem Jahre 2002 der Unfallchirurgischen Klinik Minden eingegangen werden. Hierbei wurden insgesamt 64 Patienten mit einer distalen Radiusfraktur im Schnitt nach einem halben Jahr nachuntersucht. In dieser Patientengruppe gab es 12 A-Frakturen, 6 B und 46 C – Frakturen. Der Altersdurchschnitt lag bei 61 Jahren. Aus radiologischer Sicht konnten in zwei Drittel der Fälle gute bis exzellente Ergebnisse erzielt werden. Der DASH Score lag bei den A - Verletzungen bei ca. 11,5, bei den B-Frakturen bei etwa 23 und bei den C - Frakturen bei ca. 47. Auch war ist ein Sprung bei den höhergradigen Verletzungen zu verzeichnen, auch wenn er in unseren Untersuchungen weniger drastisch ausfiel (Thielke et al 2003).

Eine weitere Studie, in der nur höhergradige Verletzungen des AO Typs C bewertet wurden, wurde 2003 veröffentlicht. Dabei wiesen von insgesamt 49 Patienten 21 eine C1 Fraktur, 19 eine C2 und 9 Patienten eine C3 Fraktur auf. Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum betrug ca. 12 Monate. Alle Patienten wurden mit einer winkelstabilen palmaren Radiusplatte versorgt. Die Beurteilung der funktionell klinischen Resultate erfolgte nach der Graduierung des Bewertungsschemas von Martini (sehr gut, gut, befriedigend, schlecht) bzw. nach dem Punkteschema von Gartland und Werley (excellent, good, fair, poor). In diesen beiden Scoresystemen konnten im Durchschnitt in 85% der Fälle gute bis exzellente Langzeitergebnisse erzielt werden. Schlechte Ergebnisse gab es nicht. 15% der Patienten mit einem befriedigenden Ergebnis wiesen Begleitverletzungen auf. Beim DASH Score aller Patienten wurde ein sehr guter Wert von 15,5 erzielt. Auch diese Untersuchung deckt sich mit der Beobachtung unserer Studie, dass höhergradige Verletzungen eine Zunahme der DASH Scorewerte bedingen. Die Bewegungsausmaße im Vergleich zur Gegenseite lagen ebenfalls in einem guten bis sehr guten Bereich. Dorsalextension und Palmarflexion erreichten Werte von 84,3% bzw. 77,5% (im Vergleich: ROM Extension/Flexion in unserer Betrachtung: 84,5%), Ulnar- und

Radialduktion erzielten Werte von 88,0% und 85,5% (in unserer Studie: ROM Ulnar-/Radialduktion: 90,77%). Pronation und Supination waren kaum eingeschränkt. Die radiologische Auswertung lieferte ebenfalls vergleichbare Resultate mit unserer Arbeit: die Ulnarinklination betrug im Schnitt 19,5 Grad, die Palmarinklination ca. 6 Grad. Unsere Werte lagen im Vergleich bei 8,7 bzw. 21,78 Grad. Die Gelenkfläche betrachtet, zeigte sich in nur einem Fall eine Nachsinterung um mehr als einen Millimeter. Dabei ist zu erwähnen, dass wie auch bei unseren Patienten auf Spongiosaplastiken sowie Knochenersatzstoffen zur Defektfüllung der Trümmerzone verzichtet wurde (Thielke et al.2003). Eine Gruppe um A. Schupp untersuchte ausschließlich Patienten über 65 Jahre mit einer winkelstabil versorgten distalen Radiusfraktur nach und kamen zu dem Ergebnis, dass auch bei komplexen Verletzungsmustern und osteoporotischer Knochenqualität, eine übungsstabile Plattenosteosynthese mit niedriger Komplikationsrate erfolgreich angewendet werden kann. Es wurden in über 80% der Patienten gute bzw. sehr gute Werte in den Lidström- Scores (funktioneller und radiologischer Lidströmscore) erzielt. Von 37 nachuntersuchten Patienten kam es nur bei einem Patienten zu einem Repositionsverlust von 3 mm, bei einem Patienten zu einem Auslockern der proximale Kortikalisschrauben. Des weiteren zeigte sich eine statistische Korrelation zwischen radiologisch mäßige Resultaten und funktionell mäßigen Ergebnissen (Schupp et al 2003). Die palmare, winkelstabile Plattenosteosynthese grenzt sich auf Grund der ermittelten Vorteile von anderen Operationsverfahren, wie die Kirschnerdrahtosteosynthese und den Fixateur externe zur Versorgung einer distalen Radiusfraktur ab. Die Plattenosteosynthese gewährleistet durch das offene Vorgehen eine exakte Kontrolle des Repositionsergebnisses. Das Prinzip der Winkelstabilität ermöglicht es, im Gegensatz zur konventionellen Plattenosteosynthese, das Repositionsergebnis insbesondere im Bereich der Gelenkfläche zu fixieren und frühfunktionelle Bewegungsübungen zuzulassen. Somit sind die winkelstabilen Platten gegenüber den nicht winkelstabilen Platten im Vorteil. Der Chirurg hat darüber hinaus mit der Methode der palmaren, winkelstabilen Plattenosteosynthese ein einfaches Verfahren an der Hand, auch komplexe Frakturen sicher zu versorgen.

## 7. Zusammenfassung

Die winkelstabile Plattenosteosynthese am distalen Radius bedeutet eine markante Trendwende in der Behandlung der distalen Radiusfraktur. Insbesondere die A3 und C-Frakturen nach AO Klassifikation stellen nach wie vor eine therapeutische Herausforderung dar. K-Drähte erfüllen die Anforderungen einer exakten Reposition und einer stabilen Osteosynthese bei ausgedehnten Trümmerzonen häufig nicht und führen zur Ausheilung in Verkürzung. Der Einsatz dieses Verfahrens ist daher nur noch bei extraartikulären Extensionsfrakturen oder als additives Verfahren und bei der Versorgung kindlicher Radiusfrakturen Realität. Die Fixateur-externe-Osteosynthese erlaubt zwar einen guten und beständigen Längenausgleich, die Ligamentotaxis als Repositionsmechanismus ist jedoch bei intraartikulären Frakturen meist überfordert und kann Gelenkstufen nur unzureichend ausgleichen. Diese beide Verfahren sowie die konservative Behandlung im Gips erlauben darüber hinaus nur in Ausnahmefällen eine Frühmobilisation und begünstigen damit Funktionseinschränkungen.

Die winkelstabile Versorgung, die in der osteosynthetischen Versorgung von Frakturen unverzichtbar geworden ist, ist mittlerweile auch bei der Versorgung der distalen, instabilen, intra-, bzw extraartikulären Radiusfraktur zum bevorzugten Osteosyntheseverfahren geworden. Es können sowohl unkomplizierte als auch mehrfragmentär, dislozierte Radiusfrakturen annähernd anatomisch korrekt rekonstruiert werden, die Fraktur in der Repositionsstellung fixiert, seine Funktion früh wieder hergestellt werden.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese der distalen Radiusfraktur eine operative Alternative gegenüber anderen Osteosyntheseverfahren und der konservativen Therapie bietet. Die radiologischen sowie die funktionellen Ergebnisse sind in Verrechnung der Daten in den beiden Scores bei über 90 % der Patienten als gut bzw. sehr gut einzustufen. Dabei bietet die Möglichkeit der frühfunktionellen Nachbehandlung die Chance auf einen sowohl umfangreicheren als auch auf einen früherzeitig wiedererlangbaren Bewegungsspielraum. Zum anderen

verkürzt sich das durch das günstigere perioperative Management die Reintegrationszeit in Alltag und Beruf. Darüber hinaus wird aus Sicht des Chirurgen der Umgang mit diesen schwierigen Verletzungen erleichtert, da dem Behandler ein sicheres Verfahren mit klaren Handlungsanweisungen für eine Vielzahl an Frakturkonstellationen zu Verfügung steht. Die erfassten subjektiven Parameter wie die Alltagsgebräuchlichkeit der Hand und die Schmerzintensität bei Belastung und Ruhe, die zum Teil in die Scores mit eingingen oder gesondert erfasst wurden wie, konnten ebenfalls überwiegend gute und sehr gute Ergebnisse erzielen.

Der palmare Zugang mit seiner insgesamt geringen Komplikationsrate ermöglicht insbesondere bei den Extensionsfrakturen eine exakte Kontrolle der Reposition, die subchondrale winkelstabile Schraubenplatzierung eine dauerhafte Retention mit der Möglichkeit der Frühmobilisation. Dies gilt auch für die Mehrheit der Frakturen des Typ C nach AO. Die Möglichkeit der Reposition von palmaren Zugang aus und die Möglichkeit der exakten Platzierung des Osteosynthesematerials sind dabei unabdingbare Voraussetzungen. Eine Spongiosaplastik ist auch bei höhergradigen Verletzungen mit großen Defektzonen zum Erzielen einer hohen Primärstabilität durch die Rigidität des winkelstabilen Systems nicht mehr zwingend erforderlich.

Auf Grund der guten Weichteildeckung ist die Entfernung des Osteosynthesematerials nur noch selten erforderlich.

Des Weiteren zeigt die Studie, dass sowohl ältere als auch jüngere Patienten mit distaler Radiusfraktur gleichsam von dem Verfahren profitieren. Bei jungen Patienten sinkt vor allem durch die Möglichkeit der exakten und stabilen Reposition der Fraktur die Inzidenz von Langzeitfolgen, ältere Patienten profitieren vor allem von der stabilen Retentionsmöglichkeit des winkelstabilen Systems auch bei osteoporotischem Knochen und der schnelleren sozialen Reintegration, was einen nicht unerheblichen Beitrag zur Senkung der Gesamtmorbidität leisten kann.

Alternativverfahren wie die Kirschnerdraht-Osteosynthese, die dorsale Plattenosteosynthese, der Fixateur externe und die Spongiosaplastik sollten jedoch weiterhin zum Repertoire bei der distalen Radiusfraktur zählen, auch wenn die Indikationsstellung zu diesen Verfahren deutlich abgenommen hat.

Die winkelstabile Versorgung der distalen Radiusfraktur von palmar stellt eine Lösung für viele aber natürlich nicht für alle Frakturen am distalen Radius dar und schafft neue Möglichkeiten in Versorgung und Nachbehandlung insbesondere von Gelenkfrakturen. Sowohl jungen als auch bei ältere Patienten profitieren dabei gleichermaßen. Die winkelstabile Versorgung von palmar ist somit zum Goldstandard bei der Versorgung der distalen Radiusfraktur geworden.



## Anhang

AO	A2	A3	B3	C1	C2	C3
Prozent	14	35	8	22	14	8

Tabelle 1: Frakturverteilung junge Patientengruppe

AO	A2	A3	B3	C1	C2	C3
Prozent	20	30	6	22	12	10

Tabelle 2: Frakturverteilung ältere Patientengruppe

AO	A2	A3	B3	C1	C2	C3
Prozent	10	15	3	12	6	4

Tabelle 3: Frakturverteilung gesamtes Patientengut

	Extension	Flexion	Ulnar- duktion	Radial- duktion	Supination	Pronation	ROM Extension/ Flexion	ROM Ulnar-/ Radialduktion	ROM Supination/ Pronation
Mittelwert	56,22	51,56	34,42	21,04	80,34	83,10	107,78	55,46	163,44
Median	58,00	51,00	34,50	20,00	85,00	87,50	110,00	55,00	170,00
Minimum	20,00	20,00	18,00	5,00	35,00	40,00	55,00	25,00	100,00
Maximum	90,00	80,00	60,00	42,00	90,00	90,00	168,00	100,00	180,00

Tabelle 4: Bewegungsausmaße der Frakturseite – Alle Patienten (n=50) (alle Angaben in Grad)

	Extension	Flexion	Ulnar- duktion	Radial- duktion	Supination	Pronation	ROM Extension/ Flexion	ROM Ulnar-/ Radialduktion	ROM Supination/ Pronation
Mittelwert	52,07	42,76	29,46	17,85	78,85	81,54	94,85	47,31	160,38
Median	50,00	42,00	30,00	20,00	80,00	85,00	96,00	50,00	165,00
Minimum	38,00	20,00	18,00	10,00	40,00	60,00	60,00	30,00	100,00
Maximum	72,00	60,00	48,00	28,00	90,00	90,00	125,00	76,00	180,00

Tabelle 5: Bewegungsausmaße der Frakturseite – Alte Patienten (n=13) (alle Angaben in Grad)

	Extension	Flexion	Ulnar- duktion	Radial- duktion	Supination	Pronation	ROM Extension/ Flexion	ROM Ulnar-/ Radialduktion	ROM Supination/ Pronation
Mittelwert	57,68	54,64	36,16	22,16	80,86	83,65	112,32	58,32	164,51
Median	60,00	55,00	36,00	20,00	85,00	90,00	111,00	58,00	170,00
Minimum	20,00	20,00	20,00	5,00	35,00	40,00	55,00	25,00	110,00
Maximum	90,00	80,00	60,00	42,00	90,00	90,00	168,00	100,00	180,00

Tabelle 6: Bewegungsausmaße der Frakturseite – Junge Patienten (n=37) (alle Angaben in Grad)

	Extension/ Flexion	Ulnar-/ Radial- duktion	Supination/ Pronation	Extension/ Flexion	Ulnar-/ Radial- duktion	Supination/ Pronation	Extension/ Flexion	Ulnar-/ Radial- duktion	Supination/ Pronation
	Alle Patienten	Alle Patienten	Alle Patienten	Junge Patienten	Junge Patienten	Junge Patienten	Alte Patienten	Alte Patienten	Alte Patienten
Mittelwert	84,15	90,77	94,03	81,34	89,81	94,38	92,16	93,49	93,04
Median	86,19	90,77	97,22	82,35	90,63	100,00	91,67	91,23	94,12
Minimum	39,00	50,00	67,00	39,00	50,00	67,00	62,00	60,00	71,00
Maximum	113,00	138,00	109,00	105,00	133,00	109,00	113,00	138,00	103,00

Tabelle 7: ROM im Vergleich zur Gegenseite (Angaben in %)

## Traditioneller Handgelenksscore (mod.n.Cooney; Krimmer 1996)

Kraft (% der Gegenseite):	Punkte
0 – 25	0
> 25 – 50	10
> 50 – 75	20
> 75 – 100	30

### Beweglichkeit (ROM):

Ext./Fle.	Ulnar-/Radiald.	Pron./Sup.	Punkte
0 – 30	0 – 10	0 – 80	0
30 – 60	10 – 35	80 – 110	10
60 – 100	35 – 50	110 – 140	20
> 100	> 50	> 140	30

### Schmerz

#### Verbale Analogscala /1-4)

Stark, unerträglich	4	0
Ruheschmerz und Belastungsschmerz	3	10
Ausschließlich Belastungsschmerz	2	20
Schmerzfrei	1	20

### Gebrauchsfähigkeit:

Starke Einschränkung bereits im Alltag	0
Erhebliche Einschränkungen	10
Eingeschränkt nur bei speziellen Tätigkeiten	20
Normal keine Einschränkungen	30

Die maximal erreichbare Punktzahl 100 entspricht: ohne jegliche Einschränkung.

Beweglichkeit (ROM) kann bei allen Eingriffen im Bereich der Handwurzel auf Extension und Flexion (E/F) und Radial/Ulnarduktion (R/U) beschränkt sein, da Supination/Pronation (S/P) nicht beeinflusst wird.

Die Punktevergabe erfolgt durch Summation der Ergebnisse für E/F und R/U und Division des Ergebnisses durch 2 (bei Messung der S/P durch 3)

### Beurteilung:

Sehr gut	80 – 100 Punkte
Gut	65 – 80 Punkte
Befriedigend	50 – 65 Punkte
Schlecht	0 – 50 Punkte

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

### Teil A

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

	Keine Schwierigkeiten	wenig Schwierigkeiten	merkliche 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 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	1	2	3	4	5

Gegenstand tragen (über 5kg)						
12. eine Glühbirne über Ihrem Kopf wechseln	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. Kartenspielen, 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	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

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	kaum	merklich	deutlich	extrem
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	kaum eingeschränkt	merklich eingeschränkt	deutlich eingeschr.	extrem eingeschr.
1	2	3	4	5

## Teil B

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

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	wenig Schwierigkeiten	merkliche Schwierigkeiten	erhebliche Schwierigkeiten	konnte auf Grund der Schmerzen nicht schlafen
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

stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	weder Zustimmung noch Ablehnung	stimme zu	stimme sehr zu
1	2	3	4	5

Resultat:

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



## 9. Literaturverzeichnis

- 1.) Brug E, Joosten U, Püllen M: Brüche am distalen Unterarm.  
Der Orthopäde 2004; 318-326
- 2.) Claes L: Das Prinzip der Winkelstabilität in der Osteosynthese. OP J 2004;  
1:4-7
- 3.) Cooney WP, Bussey R: Difficult wrist fractures. Clin Orthop Rel Res 1987;  
213:136-147
- 4.) Cuenca J, Martinez AA, Herrera A, Domingo J: The incidence of distal forearm fractures in Zaragoza (Spain). Chir main 2003; 22:211-215
- 5.) Dorow C: Therapie der distalen Radiusfraktur. Chirurgenmagazin 2004;  
6:25 - 32
- 6.) Frank J, Pralle H, Marzi I: Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Handgelenkes und distalen Radioulnargelenkes. OP Journal 2003;  
1:4 -9
- 7.) Felderhoff J, Wiemer P, Dronsella J: Weber U: Operative Versorgung der distalen , instabilen Radiusfraktur mit der dorsalen/palmaren Abstützplatte. Der Orthopäde 1999; 10:853-863
- 8.) Fernandez DL, Scott WW: Distal Radius Fractures. Green`s Operative Hand Surgery 2007; 16:645-646
- 9.) Friedel R: Die distale Radiusfraktur. Traumatologie: Kompendium wichtiger Operationen. 1997;112-119

- 10.) Hotz TK: Osteosynthese distaler Radiusfrakturen mit der Kirschner-Draht-Osteosynthese. OP J 2003;1:21-27
- 11.) Höntzsch D: Welche winkelsteifen Implantate gibt es? Platte, Nägel, Fixateure. OP J 2004; 1:8-12
- 12.) Janak, Bain: An overview of distal radius fractures. Australian J of rural health 1999;121-126
- 13.) Krimmer H: Der posttraumatische karpale Kollaps. Hefte zur Zeitschrift „Der Unfallchirurg“ Georg Thieme Verlag 2001;1-14, 48-57
- 14.) Krimmer H: Neues und Zukünftiges in der Versorgung von Radiusfrakturen. Trauma und Berufskrankheit, Springer Verlag 2008; 10:259-262
- 15.) Krimmer H, Pessenlehner C, Hasselbacher K, Meier M, Roth F, Meier R: Palmare winkelstabile Plattenosteosynthese der instabilen distalen Radiusfraktur. Der Unfallchirurg 2004; 6:460-467
- 16.) Knirk JL, Jupiter JB: Intra-articular fractures of the distal end of the radius in young adults. J Bone Joint Surg [Am] 1986; 68:647-659
- 17.) Kuhner, Mellios, Behrwar: Behandlung der komplizierten distalen Radiusfraktur mit dem Fixateur externe. Der Unfallchirurg 2002;105:206
- 18.) Loos B, Olk A, Grimm A, Kopp J, Bach AD, Poykandriotis E, Henniig FF, Horch RE: Die distale Radiusfraktur und ihre Begleitverletzungen am Handgelenk. Chirurgische Allgemeine 2005; 1:13-19
- 19.) Lutz M, Rudisch A, Kralinger F, Smekal V, Goebel G, Gabl M, Pechlaner S: Sagittal wrist motion of carpal bones following intraarticular fractures of the distal radius. J Hand Surg [Br] 2003; 28:142-147

- 20.) Lutz M, Arora R, Smekal V, Krappinger D, Gschwentner M, Rieger M, Pechlaner S: Langzeitergebnisse operativ versorgter distal intraartikulärer Speichenfrakturen. Handchir mikrochir Plast Chir 2007; 39:54-59
- 21.) Marzi F, Frank J: Dorsale und palmare Plattenosteosynthese der distalen Radiusfraktur. Bericht über die Unfallmedizinische Tagung in Mainz 2003; 11:151-161
- 22.) Matschke S, Wentzensen A: Winkelstabile Implantate - Einsatzmöglichkeiten am distalen Radius. OP J 2004;20:18-26
- 23.) Mehling I, Meier M, Schlör U, Krimmer H: Multidirektionale winkelstabile Versorgung der instabilen distalen Radiusfraktur. Handchir mikrochir Plast Chir 2007; 39:29-33
- 24.) Merle, Dautel, Rehart: Chirurgie der Hand 1999
- 25.) Moll P, Moll K: Die obere Extremität. Anatomie des Menschen. Urban und Fischer Verlag 2002; 135-169
- 26.) Moser VL, Pommersberger KJ, Pessenlehner C, Meier M, Krimmer H: Palmare, winkelstabile Plattenosteosynthese der distalen, instabilen Radiusfraktur. Operative Orthopädie und Traumatologie 2004; 16:380-396
- 27.) Oestern HJ: Distale Radiusfrakturen. Der Chirurg 1999; 10:1180-1192
- 28.) Oestern HJ: Distale Radiusfrakturen. Trauma und Berufskrankheit 1999; 11:1381-1394
- 29.) Oestern HJ: Aktueller Stand der Behandlung von Radiusfrakturen. Trauma und Berufskrankheit 2003; 1:22-25

- 30.) Oestern HJ: Die Osteosynthese mit dem Fixateur externe. OP J 2003; 1:28-33
- 31.) Pabst T, Uzdil T, Winker KH: Die palmare Plattenosteosynthese bei distaler Radiusfraktur – Indikation und Technik. OP J 2003;1:42-50
- 32.) Pechlaner S, Gabl M, Krappinger D, Leixnering M, Krulis B, Ulmer H, Rudisch A: Distale Radiusfrakturen – Ätiologie, Behandlungsmethoden und Ergebnisse. Handchir Mikrochir Plast Chir 2007; 39:19-28
- 33.) Pennig D, Gausepohl T: Behandlung distaler Radiusfrakturen mit dem Fixateur externe — Indikation, Technik, Ergebnisse. European Surgery 1997; 29:1682-8631
- 34.) Petereit UM: OP Anleitung zum Einbringen einer palmaren, winkelstabilen Platte. Winkelstabile Platte für distalen Radius 2003; 3,4
- 35.) Pilz F, Lindemann-Sperfeld L, Winter S, Otto W: Distale Radiusfrakturen. Trauma und Berufskrankheit 2000; 4:313-319
- 36.) Polzer S, Frobenius H, Witt K: Karpale Begleitverletzungen der distalen Radiusfraktur. Der niedergelassene Chirurg 2002; 2:44-49
- 37.) Prommersberger KJ, Kalb K, van Schoonhoven J: Die fehlerverheilte distale Radiusfraktur – Biomechanik und operative Behandlungsmöglichkeiten. Handchir Mikrochir Plast Chir 2007; 39:9-18
- 38.) Rikli DA, Regazzoni: Distale Radiusfrakturen. Schweizer Medizinisches Wochenschriften 1999; 777-778
- 39.) Rikli DA, Babst R, Jupiter JB: Distale Radiusfraktur: neue Konzepte als Basis für die operative Therapie. Handchir Mikrochir Plast Chir 2007; 39:2-8

- 40.) Rüedi T, Sommer C, Brendebach L, Meier R, Leutenegger A: Distale Radiusfraktur – retrospektive Kontrolle nach konservativer und operativer Therapie. Swiss Surg 2001; 7:68-75
- 41.) Schmidt HM, Lanz U: Chirurgische Anatomie der Hand. 2., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Thieme Verlag 2003; 14-253
- 42.) Schmidt S, Heinz T, David A: Häufigkeit, Entstehung und Klassifikation der distalen Radiusfraktur. OP J 2003; 19:10-15
- 43.) Schmidt J, Schnorr W: Die Rolle der Spongiosaplastik und anderer augmentierender Verfahren. OP J 2003; 19:52,53
- 44.) Schröder B: Handtherapie. Georg Thieme Verlag Stuttgart 2007;93-98
- 45.) Schupp A, Tuttlies C, Möhling T, Siebert HR: Der distale Speichenbruch. Der Chirurg 2003; 11:1009-1016
- 46.) Siebert HR: Plattenosteosynthese von dorsal: OP J 2003;19:34-41
- 47.) Siebert HR, Klönz A: Distale Radiusfraktur. Der Unfallchirurg 2005;1:5-37
- 48.) Schwarz N: Die distale Radiusfraktur – Konservative Behandlung. OP J 2003; 19: 16-20
- 49.) Stahel PF, Infanger M, Bleif IM, Heyde CE, Ertel W: Die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese. Trauma und Berufskrankheit 2005; 1:27-29
- 50.) Schwarz: Die distale Radiusfraktur – konservative Behandlung. OP J 2003; 19:17-20

51.) Thompson PW, Taylor J, Dawson A: The annual incidence and seasonal variation of fractures of the distal radius in men and women over 25 years in Dorset, UK. *Injury* 2004; 35:462-466

52.) Thielke KH, Wagner T, Bartsch S, Echtermeyer V: Winkelstabile Plattenosteosynthese am distalen Radius: Lösung einer Problemfraktur? Implantat, Nachbehandlungskonzept, Frühergebnisse. *Aktuelle Traumatologie* 2002;245-250

53.) Thielke KH, Wagner, Bartsch, Echtermeyer: Winkelstabile, volare Plattenosteosynthese komplexer artikulärer Frakturen am distalen Radius – Lösung einer Problemfraktur. *Der Chirurg* 2003;1-14

54.) Uzdil T, Neumann W, Bauschke A, Winker KH: Die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese bei distalen Radiusextensionsfrakturen. *Aktuelle Traumatologie* 2001; 31:141-148

55.) Vogt MT, Cauley JA, Tomaino MM, Stone K, Williams JR, Herndon JH: Distal radius fractures in older women: a 10-year follow-up study of descriptive characteristics and risk factors. *The study of osteoporotic fractures. J Am Geriatric Soc* 2002; 50:97-103

56.) Wagner M, Frigg R, Frenk A: Wann haben winkelstabile Implantate Vorteile gegenüber konventionellen Implantaten. *OP J* 2004; 20:64-73

57.) Waldeyer A 2002: *Der Arm. Die Anatomie des Menschen* 16. Auflage. De Gruyter Verlag; 1:213-256

58.) Waldner-Nilsson: *Ergotherapie in der Handrehabilitation*. 1999;2:114-123

59.) Wenda K: Distale Radiusfraktur loco typico – Fixateur extern. Bericht über die Unfallmedizinische Tagung in Mainz 2002; 11:163 – 167

60.) Winker KH: Winkelstabile Plattensysteme am distalen Radius. Akt Traumatologie 2005; 35:151-154

## Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Hermann Krimmer danke ich für die Vergabe des Themas, sein Interesse am Gelingen der Arbeit und die wissenschaftliche Diskussion bei der Niederschrift der Arbeit.

Den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der handchirurgischen Klinik Bad Neustadt für die Hilfestellung bei der Nachuntersuchung und klinischen Beurteilung der Studienpatienten sowie bei der Einarbeitung in die Thematik.

Ein besonderer Dank gilt meiner Mutter Charlotte Giernoth und meinen Großeltern Paul und Brunhilde Roth für ihre ständige Unterstützung im Hintergrund sowie meiner Lebensgefährtin Sabine Hesse, die mir bei der Niederschrift der Arbeit zur Seite stand. Herzlichen Dank dafür.



## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name: Fabian Roth  
Geburtsdatum/ ort: 02.06.1977 / Sonneberg  
Familienstand: ledig  
Wohnort: Weitersrodaer Str. 20  
98646 Hildburghausen

### Studium und Schulausbildung

Okt 1999 bis Okt 2005 **Studium der Humanmedizin** an der  
Friedrich Schiller Universität Jena  
Examen Prädikat „Gut“  
Erlangung der Approbation als Arzt

Jun 2004 Arbeiten zur Promotion an der Handchirurgischen  
Klinik des Rhön Klinikums Bad Neustadt a. d. Saale

Okt 1998 bis Jul 1999 **Zivildienst** im Ambulanten Pflegedienst  
„Hoffmann und Zeuner“ Hildburghausen

Feb 1991 bis Jun 1998 **Arnoldgymnasium** Neustadt bei Coburg  
Allgemeine Hochschulreife (Abitur)

### Berufstätigkeit

Seit 05/2008 **Assistenzarzt** an der Allgemein- und  
Kinderorthopädischen Klinik des  
Marienstifts in Arnstadt  
CA Dr. med. habil. U. Irlenbusch  
CA Dr. med. S. Senst (Kinderorthopädie)

12/2005-04/2008 **Assistenzarzt** in der Ausbildung zum  
Unfallchirurgen / Orthopäden  
an der Unfallchirurgischen Klinik  
der Thüringenklinik Saalfeld  
CA Dr. med. U. Petereit

Hildburghausen, den 10.09.2008

---

Fabian Roth