

Aus der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-,
Plastische und Wiederherstellungschirurgie
der Universität Würzburg
Direktor: Prof. Dr. med. R. Meffert

**WIEDERHERSTELLUNG DES RADIALEN BOGENS NACH
OSTEOSYNTHESE VON UNTERARMSCHAFTFRAKTUREN DURCH
VERRIEGELUNGSNAGEL –
KLINISCHE UND RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
vorgelegt von
Judith Elke Fick
aus Werneck

Würzburg, November 2012

Referent: Prof. Dr. med. A. Weckbach
Korreferent: Prof. Dr. med. W. Kenn
Dekan: Prof. Dr. med. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 19. November 2013

Die Promovendin ist Ärztin

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einführung	1
1.1.	Unterarmschaftfrakturen bei Erwachsenen	1
1.2.	Anatomische Besonderheiten und Problematik der intramedullären Osteosynthese am Unterarm.....	2
2.	Patienten, Material und Methode	5
2.1.	Patientenkollektiv	5
2.2.	Ermittlung des radialen Bogens	9
2.3.	Bestimmung der Unterarmfunktion.....	10
2.3.1.	Gelenkbeweglichkeiten.....	10
2.3.2.	DASH-Score	11
2.4.	Statistische Methoden.....	12
3.	Ergebnisse	14
3.1.	Patienten.....	14
3.2.	Radialer Bogen	16
3.3.	Funktionelle Resultate.....	17
3.3.1.	Gelenkbeweglichkeiten	17
3.3.2.	DASH-Score.....	19
3.4.	Auswertung der Ergebnisse	19
3.5.	Komplikationen.....	28
4.	Diskussion	30
4.1.	Analyse der angewandten Methodik.....	30
4.2.	Diskussion der Ergebnisse.....	31
4.3.	Diskussion der Komplikationen	36

5.	Zusammenfassung	38
6.	Literaturverzeichnis	40

1. EINFÜHRUNG

1.1. Unterarmschaftfrakturen bei Erwachsenen

Unterarmschaftfrakturen bei Erwachsenen entstehen am häufigsten durch direkte Gewalteinwirkung bei Stürzen auf den Arm [7, 17] oder Unfällen im Straßenverkehr. Aus tätlichen Auseinandersetzungen, wenn der Arm zur Gefahrenabwehr eingesetzt wird, entwickelt sich typischerweise die sogenannte Parierfraktur. Da die entsprechende Schutzhaltung gewöhnlich in Neutralrotation des Unterarms eingenommen wird, ist zunächst die Ulna aufgrund ihrer Lage betroffen. Entsprechend große Gewalteinwirkungen können jedoch zur Mitverletzung des Radius führen [27].

Bei der Einteilung werden isolierte Radius- und Ulnaschaftfrakturen von „kompletten“ Unterarmschaftfrakturen abgegrenzt [18]. Sonderformen bilden die Luxationsfrakturen, bei denen Schafffrakturen mit einer Luxation in einem der beiden Radioulnargelenke einhergehen. Die Monteggia-Fraktur beschreibt eine Fraktur der proximalen Ulna mit Luxation des Radiusköpfchens. Bei der Galeazzi-Fraktur ist der distale Radiuschaft frakturiert und die Ulna im distalen Radioulnargelenk luxiert.

In der AO-Klassifikation werden Unterarmschaftfrakturen mit der Ziffer 22 beschrieben (2 für Unterarm und 2 für diaphysären Knochenabschnitt). Üblicherweise wird dann weiter unterteilt in Typ A-, B- und C-Verletzungen. Typ A umfasst alle einfachen Frakturformen, Typ B die Keilfrakturen und Typ C die komplexen Frakturen. Eine weitere nachfolgende Ziffer soll Aufschluss über den betroffenen Knochen geben. Gruppe 1 umfasst hier isolierte Frakturen der Ulna, Gruppe 2 isolierte Frakturen des Radius und Gruppe 3 beschreibt Frakturen beider Unterarmknochen, wobei oben erwähnte Luxationsfrakturen immer der Gruppe 3 zugeordnet werden. Nach einem gesetzten Punkt folgt die Einteilung in eine Untergruppe je nach Schweregrad der Verletzung (1=einfach, 2=mittelschwer, 3 =schwer).

Therapie der Wahl bei Unterarmschaftfrakturen des Erwachsenen ist die Osteosynthese, die bei guter Adaptation eine zuverlässige Stabilisierung und damit die Möglichkeit zur frühfunktionellen Nachbehandlung bietet.

Eine konservative Therapie mit Ruhigstellung in gespaltenem Oberarmgips kommt nur bei schwerwiegenden Kontraindikationen für die Osteosynthese in Betracht, da oft keine ausreichende Stabilität erreicht werden kann und eine frühfunktionelle Nachbehandlung verhindert wird. Eine konservative frühfunktionelle Therapie im Brace ist lediglich bei kaum oder nicht dislozierten Ulnaschaftfrakturen im mittleren und distalen Drittel mit intaktem Weichteilmantel möglich [21].

1.2. Anatomische Besonderheiten und Problematik der intramedullären Osteosynthese am Unterarm

Die Integrität und optimale Funktion des Unterarms ist von herausragender Bedeutung für die Bewältigung des alltäglichen Lebens. Während die Ulna eine leichte S-förmige Krümmung besitzt, ansonsten aber annähernd gerade verläuft, ist der Radius durch seine besondere Architektur mit einem bogigen Verlauf in beiden Ebenen gekennzeichnet. In der Sagittalebene weist er eine palmar konkave, in der Frontalebene eine ulnar konkave Krümmung auf. Dieser radiale Bogen ist individuell unterschiedlich und neben der Integrität von proximalem und distalem Radioulnargelenk für die Pronation des Unterarms von Bedeutung. Bei einem geraden Verlauf des Radius würden die beiden Unterarmknochen bei der Umwendbewegung vorzeitig in Kontakt treten und die Drehbewegung blockieren [14].

Neben dem Ellbogen- und Handgelenk spielen die Radioulnargelenke eine große Rolle für die komplexen Bewegungen des Unterarms [2]. Das ungestörte Zusammenspiel von Ulna und Radius im distalen und proximalen Radioulnargelenk ist essentiell für eine optimale Funktion. Diese beiden Gelenke ermöglichen dem Unterarm die Längsrotation und damit - neben Flexion und Extension sowie Ab- und Adduktion - die Aktion im 3. Freiheitsgrad.

Dadurch wird funktionell ein Kugelgelenk ersetzt [14] und der Hand eine Kontrolle der Raumorientierung ermöglicht. Distales und proximales Radioulnargelenk sind mechanisch gekoppelt, d.h. eine Unterarmdrehung findet immer in beiden Gelenken gleichzeitig statt. Man spricht dabei von einer koinzidierenden Gelenkkongruenz.

Schon kleine Änderungen bezüglich Länge, Achse oder Torsion des Radius führen zu einer Änderung des radialen Bogens und/oder zu einer Inkongruenz der Radioulnargelenke. Daraus entstehende Bewegungsstörungen können nicht kompensiert werden und wirken sich nachteilig auf die gesamte Funktion des Unterarms aus. Radius- oder Unterarmfrakturen gehen meist mit einer Veränderung von Länge, Achse oder Torsion des Radius und/oder der Ulna sowie einer damit verbundenen gestörten Biomechanik einher. Um bleibenden Funktionseinschränkungen entgegen zu wirken, ist deshalb eine möglichst exakte anatomische Rekonstruktion erforderlich, welche meist leichter durch eine offene, direkte Reposition und Stabilisierung zu ermöglichen ist als durch indirekte Verfahren [28]. Besonderes Augenmaß ist hierbei auf den Radius zu legen, der aufgrund seiner einzigartigen Architektur eine große Herausforderung für den Operateur darstellt und ein Osteosynthese-System den anatomischen sowie biomechanischen Anforderungen gewachsen sein muss.

Die intramedulläre Osteosynthese stellt bei Frakturen langer Röhrenknochen das operative Verfahren der Wahl dar [29]. Einzige Ausnahme bildeten aufgrund mangelnder geeigneter Implantate die beiden Unterarmknochen. Standardverfahren bei Unterarmfrakturen ist bislang die Plattenosteosynthese mit 3,5-DCP bzw. LC-DCP, mit der überwiegend gute Resultate bei sofortiger Übungsstabilität erreicht werden können. Als Nachteile dieser Methoden gelten vor allem die ausgedehnte Freilegung der Frakturzone und das hohe Refrakturrisiko nach Implantatentfernung.

Neuere Implantate in Form des Verriegelungsnagels bieten jedoch die Alternative zur intramedullären Osteosynthese. Die Anforderungen an ein solches System für den Unterarm sind hoch [28]. Neben den zu bewältigenden biomechanischen Problemen in Bezug auf Torsions- und Kompressionskräfte,

müssen die anatomischen Besonderheiten berücksichtigt werden. Da das Ausmaß des radialen Bogens auch Einfluss auf die Länge des Radius hat, ist für die Wiederherstellung der normalen Radiuslänge zwangsläufig eine genaue Rekonstruktion des bogigen Verlaufs notwendig. Aus diesem Grund darf ein Implantat für den Unterarm nicht gerade verlaufen, sondern muss in der Lage sein, die anatomische Form nachbilden zu können. Zusätzlich erschwert wird die Situation durch die physiologische Enge der Markräume am Unterarm, besonders im mittleren Segment. Im Laufe der Zeit wurden die intramedullären Nagelsysteme immer weiter optimiert [15], so dass die Verriegelungsnagelung inzwischen eine echte Alternative zur Plattenosteosynthese bei Unterarmschaftfrakturen darstellt.

Trotz einer anspruchsvollen Operationstechnik (siehe [26]) bietet die intramedulläre Osteosynthese einige Vorteile, die nicht zu vernachlässigen sind. Das geringere Operationstrauma durch minimal invasive Technik mit geringem Blutverlust, die kosmetisch besseren Ergebnisse, das geringe Refrakturrisiko nach Implantatentfernung und niedrigere Infektionsraten stehen hier im Vordergrund [25].

Folgende Arbeit beschäftigt sich mit der Wiederherstellung des radialen Bogens durch intramedulläre Osteosynthese nach Unterarmfrakturen und den daraus resultierenden radiologischen sowie funktionellen Ergebnissen.

2. PATIENTEN, MATERIAL UND METHODE

2.1. Patientenkollektiv

Im Rahmen einer retrospektiven Studie wurden die Ergebnisse von 35 Patienten untersucht, bei denen im Zeitraum von Juni 1998 bis Juli 2007 eine Radiusfraktur mittels Verriegelungsnagel versorgt wurde. 13 Patienten wiesen eine isolierte Fraktur des Radius auf, bei den übrigen 22 waren beide Unterarmknochen betroffen.

Die Versorgung erfolgte bei 22 Unterarmen mit ForeSight™-Nägeln (insgesamt 36; siehe [30]), bei den übrigen 13 Patienten wurden Würzburger-Ulna/Radius-Nägel (insgesamt 20) implantiert (Abb. 1). Bei einem Patienten mit Fraktur beider Unterarmknochen wurde die intramedulläre Nagelung des Radius mit einer Plattenosteosynthese der Ulna kombiniert.

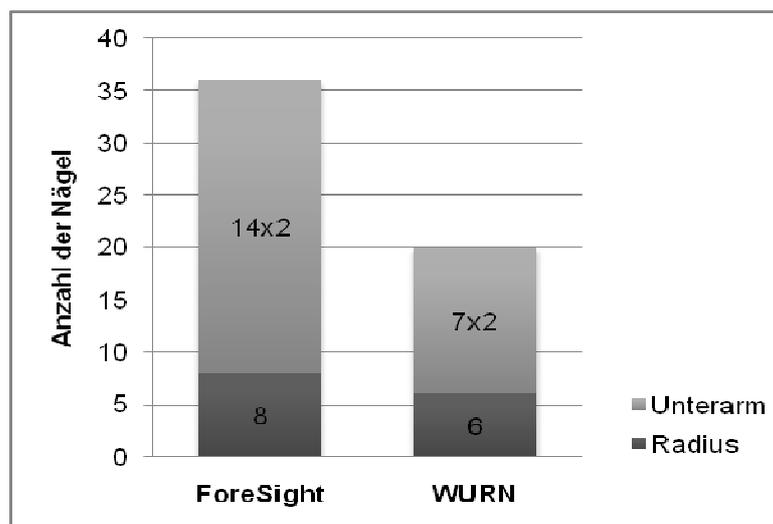


Abb. 1: Anzahl der implantierten Nägel und deren Verteilung

Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation betrug 39,3 Jahre (18 bis 84 Jahre) (Abb. 2), das Geschlechtsverhältnis weist mit 29:6 ein deutliches Überwiegen (> 80%) des männlichen Geschlechts auf (Abb. 3). Betroffen war bei 24 Patienten der linke, bei 11 der rechte Unterarm (Abb. 4). Die jahreszeitliche Verteilung (Abb. 5) der Operationen zeigt ein Maximum im Winter (34%), gefolgt vom Sommer (29%), Frühling (23%) und Herbst (14%).

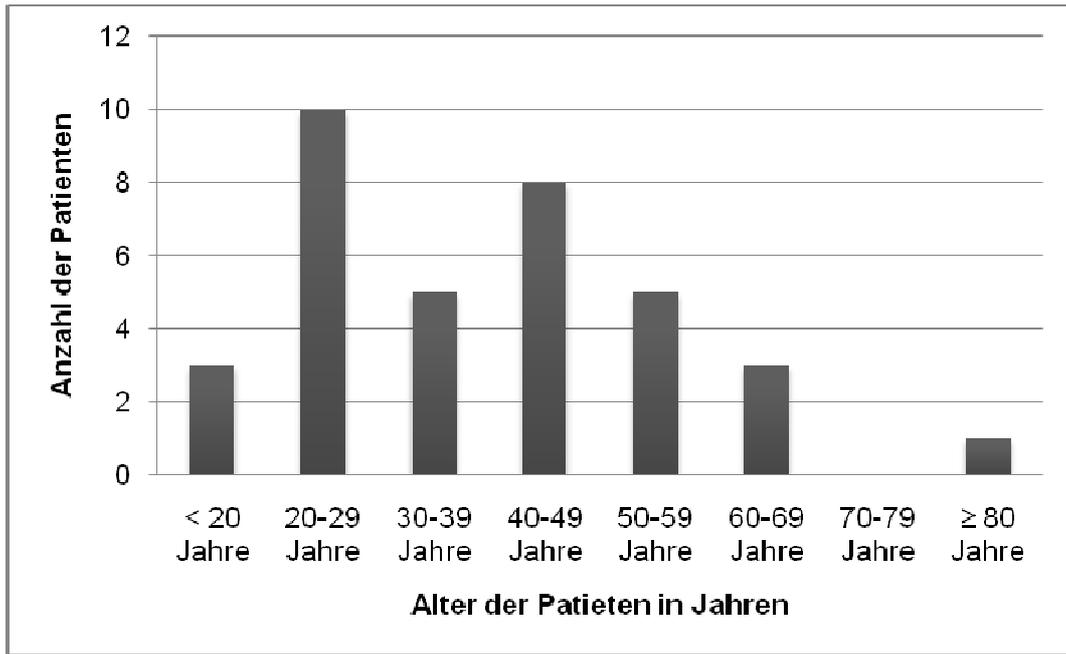


Abb. 2: Altersverteilung der Patienten

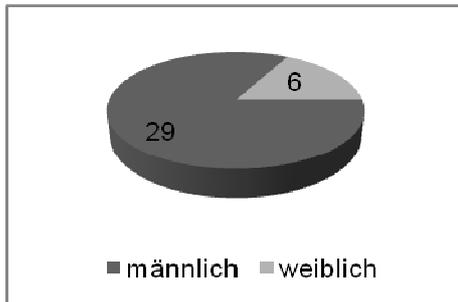


Abb. 3: Geschlechtsverteilung

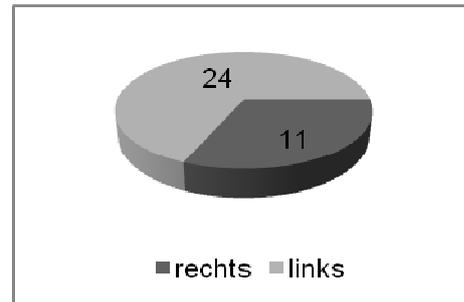


Abb. 4: Seitenverteilung

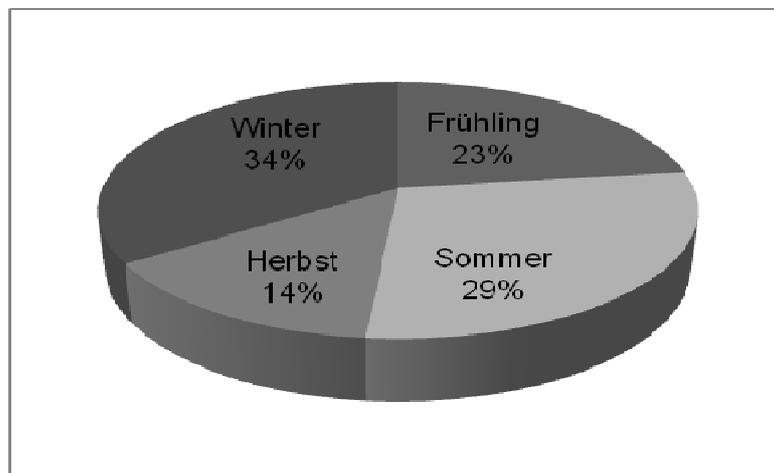


Abb. 5: Jahreszeitliche Verteilung

An Frakturtypen lag bei 17 Fällen (50%) eine einfache Fraktur, in 11 Fällen (32%) eine Keilfraktur und in 6 Fällen (18%) eine komplexe Fraktur vor (Abb.6). Bei einer Patientin mit pathologischer Fraktur wurde keine Einteilung in die AO-Klassifikation vorgenommen.

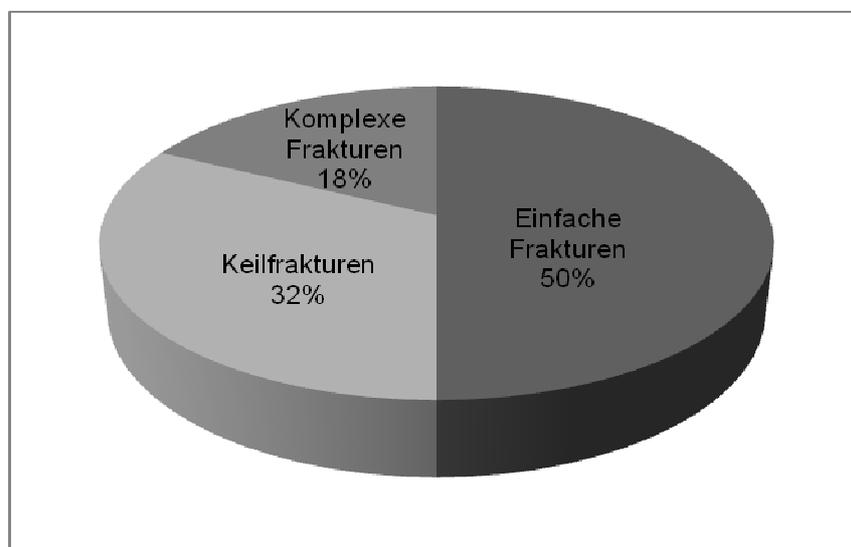


Abb. 6: Frakturtypen

Bei 16 Patienten, also etwa der Hälfte (46%), lag eine Monoverletzung, d.h. lediglich die Radius- bzw. Unterarmschaftfraktur, vor. Die anderen 19 Patienten hatten mindestens noch eine weitere Begleitverletzung. In 11 Fällen (31%) lagen spezielle Begleitverletzungen im Schulter-Arm-Bereich mit vor (davon 6 der betroffenen Seite), die restlichen 8 (23%) hatten allgemeine Begleitverletzungen außerhalb der Schulter-Arm-Bereiche (Abb. 7).

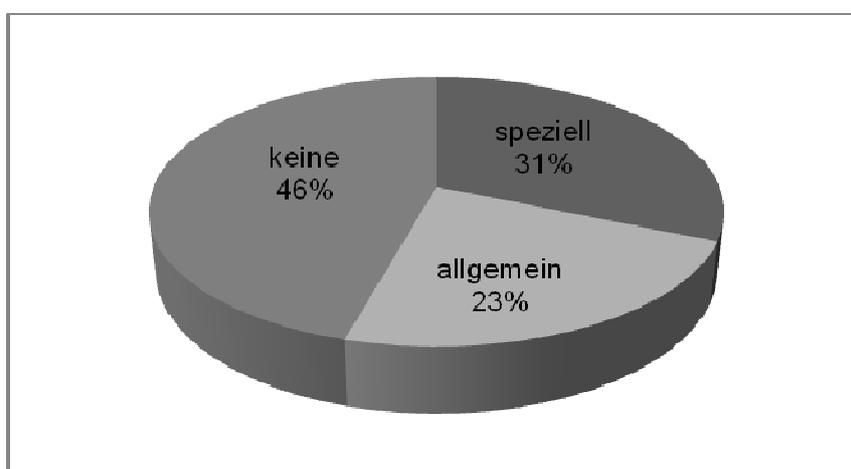


Abb. 7: Begleitverletzungen

In nachfolgender Tabelle (Tab. 1) wird das Patientenkollektiv im Überblick dargestellt.

Fallnummer	Geschlecht, Alter (Jahre)	Vorerkrankungen/ Begleitverletzungen der oberen Extremität	Verletzte Seite	Jahreszeit	Verwendeter Nagel
1	m, 28	Quetschtrauma rechter Unterarm, Metacarpalefraktur V links	L	Frühling	ForeSight 260*
2	m, 26	distale Radiusfraktur rechts	L	Frühling	ForeSight 240
3	m, 66		R	Herbst	ForeSight 240
4	m, 44		L	Sommer	ForeSight 240
5	m, 56	Rotatorenmanschettenruptur rechts	L	Herbst	ForeSight 240
6	m, 25	Scaphoidfraktur links	L	Winter	ForeSight 220
7	m, 44	postoperativ neu auftretende Radialisparese rechts ohne Trauma	R	Winter	ForeSight 260
8	m, 35		L	Herbst	ForeSight 200
9	m, 18		L	Frühling	ForeSight 260
10	m, 55		R	Sommer	ForeSight 260
11	m, 50		L	Sommer	ForeSight 240
12	w, 84		L	Sommer	ForeSight 200
13	m, 22	Claviculafraktur links	L	Sommer	ForeSight 200
14	m, 37		L	Herbst	ForeSight 200
15	m, 32	distale Humerusfraktur links, Olecranonfraktur links	R	Sommer	ForeSight 240
16	w, 44		L	Frühling	ForeSight 200
17	m, 35	Metacarpalefraktur IV,V links	L	Frühling	ForeSight 260
18	m, 22		L	Sommer	ForeSight 240*
19	m, 18		L	Winter	ForeSight 220
20	m, 32		L	Sommer	ForeSight 240
21	m, 29		R	Winter	ForeSight 220
22	m, 25	Scapularandfraktur rechts	R	Winter	ForeSight 240
23	m, 51		L	Frühling	WURN 200
24	m, 41		R	Winter	WURN 260*
25	m, 62	Defektarthropathie rechte Schulter	L	Winter	WURN 240
26	m, 20		R	Winter	WURN 210
27	m, 45	vorbestehendes steifes Handgelenk rechts, Handgelenk-Luxations-Fraktur links	L	Frühling	WURN 230
28	m, 49	distale Radiusfraktur rechts	L	Winter	WURN 210
29	m, 59		L	Winter	WURN 240
30	w, 19		R	Winter	WURN 250
31	m, 65	komplexe Vorschädigung rechte Hand mit Handgelenk	R	Frühling	WURN 190
32	w, 27		R	Winter	WURN 220
33	m, 44	begleitende Plexus brachialis-Läsion links, Synostose	L	Sommer	WURN 250
34	w, 45		L	Herbst	WURN 240
35	w, 20		L	Sommer	WURN 210

Tab. 1: Geschlecht und Alter bei Operation, Vorerkrankungen/Begleitverletzungen, verletzte Seite, Jahreszeit bei Operation, verwendeter Nagel;
Anmerkung: * Umstieg auf Plattenosteosynthese

2.2. Ermittlung des radialen Bogens

Die Ermittlung des radialen Bogens fand mit Hilfe der Röntgenbilder statt. Die benötigten radiologischen Aufnahmen des Unterarms einschließlich Ellenbogen- und Handgelenk mussten im anterior-posterioren Strahlengang, wenn möglich bei maximaler Supination des Unterarms, erstellt werden.

Zur Erfassung des radialen Bogens wurde eine Linie der Länge Y vom Apex der Tuberositas radii zum meist ulnar gelegenen Punkt des Radius am Handgelenk gezogen [22]. Anschließend musste eine Senkrechte vom Punkt des maximalen radialen Bogens zu dieser Linie errichtet werden. Die Höhe dieser senkrechten Linie in Millimetern entspricht dem maximalen radialen Bogen a. Weiterhin konnte daraus die Lage des maximalen radialen Bogens in Prozent ermittelt werden. Die Strecke X zwischen Tuberositas radii und der Senkrechten wurde gemessen und in Prozent der Gesamtlänge Y angegeben (Abb. 8).

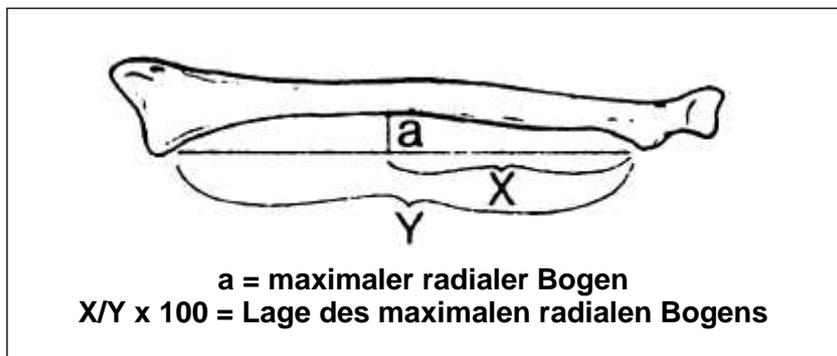


Abb. 8: Ermittlung des radialen Bogens [22]

Bei konventionellen Film-Folien-Röntgenaufnahmen musste hierbei anders vorgegangen werden als bei digitalen Röntgenbildern. Letztere wurden in einer Größe von 100% ausgedruckt, d. h. 1 cm im Bild entspricht 1 cm in der Realität. Somit konnten hier die zu ermittelnden Strecken in ihrer wahren Größe im Röntgenbild einfach abgemessen und die Lage des maximalen radialen Bogens berechnet werden.

Konventionelle Röntgenbilder werden jedoch abhängig vom Abstand der Strahlenquelle zum Film sowie des Objekts zum Film vergrößert. Aus diesem

Grund wurde bei konventionellen Röntgenaufnahmen zuerst die Länge des implantierten Nagels im Bild gemessen, wobei hierbei die Längenänderung durch den bogigen Verlauf des Implantats als vernachlässigbar klein einzuschätzen ist. Aus der tatsächlichen Länge des Nagels und der Länge im Bild konnte dann die Vergrößerung errechnet werden. Bei Bildern nach Implantatentfernung wurde die durchschnittliche Vergrößerung aus den Röntgenaufnahmen mit Marknagel beim jeweiligen Patienten ermittelt. Nach Erfassung der Größen Y, X und a im Bild konnten dann die tatsächlichen Längen mit Hilfe der ermittelten Vergrößerung berechnet werden.

2.3. Bestimmung der Unterarmfunktion

2.3.1. Gelenkbeweglichkeiten

Zur postoperativen Funktionsanalyse wurde die Beweglichkeit im Hand- und Ellenbogengelenk sowie Pro- und Supination beider Arme nach der Neutral-0-Methode erfasst. Der Bewegungsumfang der mit Marknagel versorgten Seite wird in Prozent im Vergleich zur Gegenseite angegeben. Eine freie Beweglichkeit des verletzten Arms entspricht einer Funktion von 100%. Bei Vorerkrankungen oder Begleitverletzungen der Seite ohne Marknagel mit nachfolgenden Bewegungseinschränkungen wurden als Vergleich die Normwerte der Gelenkbeweglichkeiten verwendet. Im Ellenbogengelenk entspricht dies einer Extension von 0° oder mehr und einer Flexion von 150°, im Handgelenk einer Extension von mindestens 35° und einer Flexion von mindestens 50° sowie am Unterarm einer Pronation und Supination von jeweils mindestens 80° [5]. Ist in folgender Arbeit von der Unterarmfunktion bzw. Unterarmbeweglichkeit die Rede, ist die Gesamtunterarmfunktion gemeint, welche durch Addition der 3 einzelnen Prozentwerte, gefolgt von einer Division durch 3 entsteht.

2.3.2. DASH-Score

Für Patienten sind nach jeder Operation vor allem die Bewältigung täglicher Aktivitäten sowie die soziale und berufliche Wiedereingliederung von enormer Bedeutung und ein Parameter zur Einschätzung des Operationserfolges. Auch in medizinischen Fachkreisen verschiebt sich die Erfolgsbeurteilung einer Operationstechnik immer weiter von rein funktionellen Kriterien zugunsten der Lebensqualität der Patienten [10].

Aus diesem Grund entwickelte die „American Academy of Orthopaedic Surgeons“ zusammen mit dem „Council of Musculoskeletal Speciality Societies“ und dem „Institute for Work and Health“ ein Instrument mit der Bezeichnung DASH zur Erfassung von Funktionseinschränkungen der oberen Extremität. **DASH (Disability of the Arm, Shoulder and Hand)** ist ein Fragebogen, der vom Patienten selbst beantwortet wird und seine subjektive Einschätzung der Funktionalität erfasst, wobei die Händigkeit des Patienten keine Rolle spielt.

Aus dem Englischen ins Deutsche übersetzt wurde DASH von Günter Germann, Gerhard Wind und Angela Harth aus der Abteilung für Verbrennungen, Plastische und Handchirurgie der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Ludwigshafen.

Der DASH-Fragebogen gliedert sich in 3 Teile und insgesamt 30 Fragen, die die Funktionalität, die Symptomatik und optional mit weiteren 8 Fragen die berufliche, sportliche und musikalische Aktivität überprüfen. Der Patient bewertet die einzelnen Fragen jeweils mit einem bis fünf Punkten, wobei ein Punkt die beste Funktion, fünf Punkte die schlechteste Funktion bedeuten.

Errechnet wird der DASH-Score aus der erreichten Gesamtpunktzahl, von der der Minimalscore (30, wenn alle Fragen beantwortet wurden) subtrahiert und anschließend durch die Bandbreite (1,20 bei 30 beantworteten Fragen) dividiert wird [6].

$$DASH - Score = \frac{Gesamtpunktzahl - 30(\text{Minimalpunktzahl})}{1,20(\text{Bandbreite})}$$

Dadurch können Werte von 0 bis 100 erreicht werden. Ein Wert von 0 entspricht einer optimalen Funktion ohne jegliche Beeinträchtigung, ein Wert von 100 einer maximalen Behinderung. Kann jede erfragte Tätigkeit ohne oder mit wenigen Schwierigkeiten (entsprechend 1 oder 2 Punkten) erfüllt werden, wird ein Wert zwischen 0 und 25 Punkten erreicht. Bei erheblichen Schwierigkeiten oder wenn die Ausführung einer Tätigkeit nicht möglich ist (entsprechend 4 oder 5 Punkten), ergibt sich ein Punktwert von 75 bis 100.

Daraus erhält man für den DASH-Score folgende Einteilung:

0-25	sehr gutes Ergebnis
26-50	zufriedenstellendes Ergebnis
51-74	unbefriedigendes Ergebnis
75-100	schlechtes Ergebnis

2.4. Statistische Methoden

Bei den statistischen Berechnungen wurden der Mittelwert sowie die Standardabweichung aus der Varianz nach den bekannten folgenden Formeln ermittelt. Die einzelnen ermittelten Werte werden hierbei als x_1 bis x_n bezeichnet, wobei n die Anzahl der ermittelten Werte angibt.

$$\text{Mittelwert (arithmetisches Mittel)} \quad \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

$$\text{Varianz} \quad s^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}$$

$$\text{Standardabweichung } s = \sqrt{s^2}$$

Der Korrelationskoeffizient r als Maß für den Grad eines linearen Zusammenhangs zweier Größen, kann Werte zwischen +1 und -1 annehmen. Ein Korrelationskoeffizient von 0 bedeutet keine lineare Abhängigkeit von zwei Größen; ein Wert von +1 bzw. -1 eine komplette lineare Abhängigkeit. Je näher der Korrelationskoeffizient also gegen +1 bzw. -1 geht, desto größer die lineare Abhängigkeit der zwei untersuchten Größen.

$$\text{Korrelationskoeffizient } r = \frac{\text{Cov}(x, y)}{s_x * s_y}$$

$\text{Cov}(x, y)$ bezeichnet hierbei die Kovarianz zweier Größen x und y , eine nicht vergleichbare Zahl für die lineare Abhängigkeit, und wird mit Hilfe der Erwartungswerte E der beiden Größen berechnet.

$$\text{Kovarianz } \text{Cov}(x, y) = E(x * y) - E(x) * E(y)$$

Zur Überprüfung der Signifikanz wurde in dieser Arbeit der Signifikanz-Wert bzw. p -Wert mit Hilfe des t -Tests für gepaarte Stichproben bestimmt. Ein signifikanter Unterschied im 5%-Signifikanzniveau ist dann gegeben, wenn der errechnete Wert $p < 0,05$.

3. ERGEBNISSE

3.1. Patienten

Im Rahmen der Studie wurden insgesamt 35 Patienten untersucht, von welchen in 13 Fällen alle gewünschten Werte vorliegen. Bei diesen Patienten konnte idealerweise neben dem DASH-Score und der Unterarmfunktion auch die Lokalisation und der absolute Wert des radialen Bogens vom verletzten sowie unverletzten Arm erfasst werden. Bei den übrigen 22 Patienten konnte mindestens einer dieser Parameter nicht ermittelt werden. Am häufigsten fehlen Lokalisation und absoluter Wert des radialen Bogens der unverletzten Seite, da aufgrund von klaren anatomischen Verhältnissen oder einer dringlichen Situation kein Röntgenbild der unverletzten Seite angefertigt wurde.

Folgende Tabelle (Tab. 2) zeigt die erhaltenen Ergebnisse im Überblick.

Fallnummer	Maximaler radialer Bogen <i>unverletzte Seite</i>		Maximaler radialer Bogen <i>verletzte Seite</i>		DASH-Score	Unterarmbeweglichkeit <i>verletzte Seite</i> (%)
	Absoluter Wert (mm)	Lokalisation (%)	Absoluter Wert (mm)	Lokalisation (%)		
1			18,0	75		
2	16,5	58	16,5	62	0,0	100
3			10,0	73		
4			16,5	74	0,0	100
5			13,0	69	29,6	100
6			8,5	69	9,2	90
7			12,5	60	24,2	85
8			14,0	63		
9	19,5	51	18,5	67	1,7	100
10	17,0	70	16,5	79	35,0	93
11	15,0	62	13,0	70		
12			12,5	56		
13			12,0	73	15,8	98
14			15,5	77	25,0	91
15			17,5	58	24,2	81
16			9,0	75	0,0	100
17			14,5	64	32,5	100
18			16,0	59		
19	14,0	62	12,0	70	20,0	87
20	17,0	69	17,5	65		85
21	16,5	60	13,0	66	1,7	97
22	21,0	62	10,5	84	3,3	93
23			19,5	62	0,0	100
24			21,5	62		
25	16,5	55	20,0	63	45,8	98
26	16,0	64	15,5	65		
27			13,5	62		83
28			15,0	62	32,5	100
29			21,5	66	54,3	
30	15,0	63	12,5	66	0,0	100
31	15,5	61	12,0	60	13,8	68
32	16,0	60	16,5	72	34,5	100
33	17,0	60	18,5	59	40,8	20
34	15,0	62	18,5	62	0,0	100
35	16,0	58	14,0	59	7,5	99
Mittelwert	16,5	61,1	15,0	66,5	18,1	91
Standardabweichung	1,7	4,6	3,3	6,6	16,8	16,6

Tab. 2: Absoluter Wert und Lokalisation des radialen Bogens der unverletzten sowie verletzten Seite, DASH-Score, Unterarmfunktion

3.2. Radialer Bogen

Der radiale Bogen des genagelten Arms und dessen Lokalisation konnte bei allen 35 untersuchten Patienten ermittelt werden. Im Idealfall sollten diese Ergebnisse mit denen des kontralateralen Arms verglichen werden, um eine Aussage über die Genauigkeit der Wiederherstellung machen zu können. Dies war allerdings aufgrund nicht durchgeführter Röntgenaufnahmen des gesunden Arms nur bei 16 Patienten möglich.

Der maximale radiale Bogen des mit Marknagel versorgten Arms ist durchschnittlich $15,0 \pm 3,3$ mm lang (8,5 bis 21,5 mm) und bei $66,5 \pm 6,6\%$ (56 bis 84%) der Gesamtlänge lokalisiert (Abb. 9 und 10).

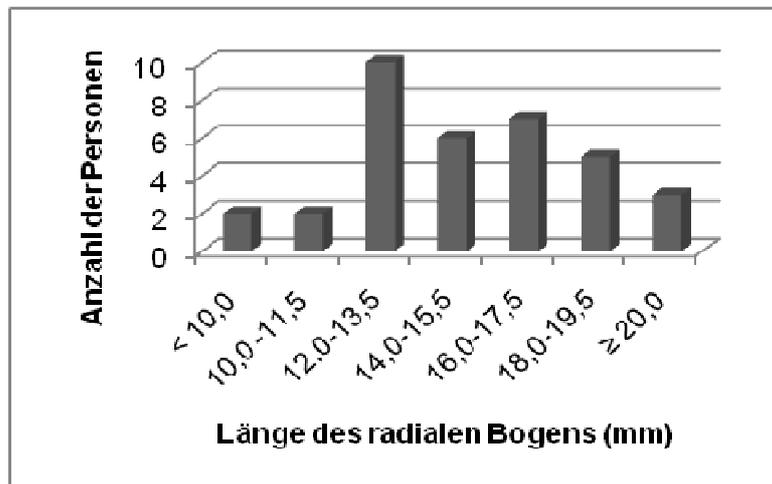


Abb. 9: Verteilung der Länge des radialen Bogens

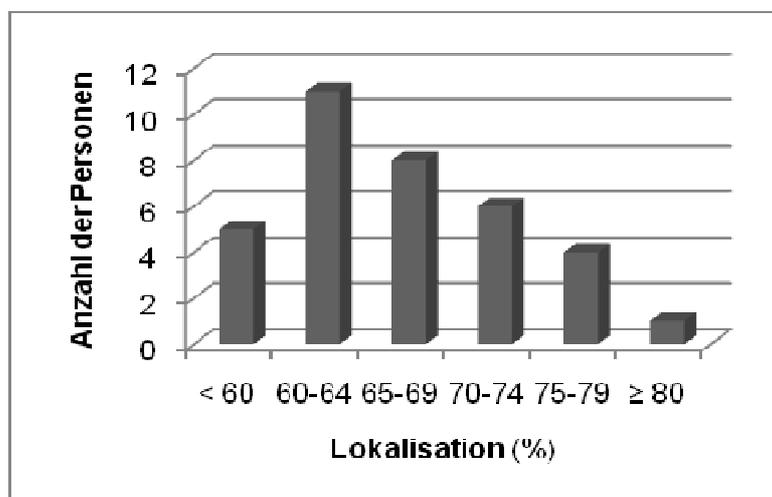


Abb. 10: Verteilung der Lokalisation des radialen Bogens

Bei den 16 untersuchten kontralateralen Armen liegt die mittlere Länge des maximalen radialen Bogens bei $16,5 \pm 1,7$ mm (14,0 bis 21,0 mm) und kann bei $61,1 \pm 4,6\%$ (51 bis 70%) der Gesamtlänge bestimmt werden. Die mittlere Differenz zwischen verletztem und unverletztem Arm beträgt beim maximalen radialen Bogen $2,3 \pm 2,5$ mm (0,0 bis 10,5 mm), bei der Lokalisation $6,5 \pm 6,1\%$ (0 bis 22%). Damit zeigt das Maximum des radialen Bogens mit einem p-Wert von 0,1776 keinen signifikanten Unterschied verglichen mit den Werten der kontralateralen Arme. Die Lokalisation des radialen Bogens ist jedoch mit einem p-Wert von 0,0044 in den mit Marknagel versorgten Unterarmen signifikant unterschiedlich im Vergleich zu den gesunden kontralateralen Unterarmen.

3.3. Funktionelle Resultate

Die Unterarmfunktion wurde mittels der Gelenkbeweglichkeiten und des DASH-Scores erfasst. Bei 24 der 35 Patienten konnte beides ermittelt werden, von zwei Patienten liegen lediglich die Gelenkbeweglichkeiten vor, von einem Patienten nur der DASH-Score.

In acht Fällen konnte die Unterarmfunktion weder mittels Prüfung der Gelenkbeweglichkeiten noch mittels DASH-Fragebogen bestimmt werden. Bei drei dieser Patienten fand ein Umstieg auf Plattenosteosynthese statt, ein Patient ist verstorben, einer unbekannt verzogen und drei Patienten waren zu keiner Nachuntersuchung bzw. Befragung bereit.

3.3.1. Gelenkbeweglichkeiten

Nach Versorgung mittels intramedullärer Osteosynthese ergab sich bei den 26 untersuchten Patienten eine Unterarmfunktion bezogen auf die Beweglichkeit von durchschnittlich 91%. Ein sehr gutes Ergebnis mit einer Gesamtunterarmfunktion von mindestens 90% erzielten 19 Patienten (73%), davon elf (42%) eine freie Funktion. Weitere fünf Patienten erreichten eine Funktion von 80 bis 89%, lediglich zwei Patienten lagen mit einem schlechteren Ergebnis darunter. Bei einem der beiden lag eine komplexe Vorschädigung an der Hand sowie am Handgelenk der genagelten Seite vor, der andere erlitt als

Begleitverletzung eine Läsion des ipsilateralen Plexus brachialis mit Wurzelbeteiligung.

Am häufigsten in der Beweglichkeit eingeschränkt war die Pronation/Supination bei 14 Patienten mit einem Verlust von mindestens 5% (maximaler Verlust 100%). Im Vergleich dazu war die Beweglichkeit im Handgelenk bei 7 Patienten, die Beweglichkeit im Ellenbogengelenk bei nur 4 Patienten eingeschränkt.

Folgende Tabelle zeigt die Pronation/Supination des verletzten sowie unverletzten Armes mit der jeweils dazugehörigen Lokalisation und dem Maximum des radialen Bogens (Tab. 3).

Fallnummer	Maximaler radialer Bogen unverletzte Seite		Maximaler radialer Bogen verletzte Seite		Pronation/Supination (%)	
	Absoluter Wert (mm)	Lokalisation (%)	Absoluter Wert (mm)	Lokalisation (%)	unverletzte Seite	verletzte Seite
2	16,5	58	16,5	62	100	100
4			16,5	74	100	100
5			13,0	69	100	100
6			8,5	69	100	71
7			12,5	60	100	70
9	19,5	51	18,5	67	100	100
10	17,0	70	16,5	79	100	92
13			12,0	73	100	95
14			15,5	77	100	73
15			17,5	58	100	47
16			9,0	75	100	100
17			14,5	64	100	100
19	14,0	62	12,0	70	100	61
20	17,0	69	17,5	65	100	75
21	16,5	60	13,0	66	100	91
22	21,0	62	10,5	84	100	90
23			19,5	62	100	100
25	16,5	55	20,0	63	100	93
27			13,5	62	63	50
28			15,0	62	100	100
30	15,0	63	12,5	66	100	100
31	15,5	61	12,0	60	100	72
32	16,0	60	16,5	72	100	100
33	17,0	60	18,5	59	100	0
34	15,0	62	18,5	62	100	100
35	16,0	58	14,0	59	100	100

Tab. 3: Maximum und Lokalisation des radialen Bogens des unverletzten sowie verletzten Unterarms, Pronation/Supination des unverletzten sowie verletzten Unterarms

Von den 26 aufgeführten Patienten zeigen 25 (entsprechend 96%) eine Pronation/Supination von 100% der unverletzten Seite. In Fall 27 lag eine komplexe Vorerkrankung der Gegenseite mit einer Pronation/Supination des unverletzten Armes von 63% vor. Bei der verletzten Seite konnte nach Markraumnagelung eine Pronation/Supination von durchschnittlich $84 \pm 24\%$ erreicht werden (0 bis 100%).

3.3.2. DASH-Score

Der DASH-Score der 25 vorliegenden Fragebögen liegt zwischen 0 und 54,3 Punkten (Mittelwert: $18,1 \pm 16,8$ Punkte). 17 Patienten (68%) erzielten nach Markraumnagelung einen sehr guten Punktwert, entsprechend einem Ergebnis von insgesamt 0 bis 25 Punkten. Schlechtere Ergebnisse wurden vor allem von Patienten mit erheblichen Vorerkrankungen bzw. Begleitverletzungen erreicht (vgl. Tab. 2). Über 50 Punkte ergaben sich bei nur einem Patienten (54,3 Punkte), welcher allerdings zu keiner Nachuntersuchung bereit war und keine Vorerkrankungen bzw. weitere Verletzungen des Armes, der Schulter oder Hand bekannt waren.

3.4. Auswertung der Ergebnisse

Vergleicht man unter Ausschluss der Patienten mit komplexer Vorschädigung (Fall 31) oder einer Brückenkallusbildung und Nervenläsion (Fall 33) die Lokalisation des radialen Bogens mit der Unterarmbeweglichkeit (in 12 Fällen möglich), fällt auf, dass bei einem Korrelationskoeffizienten von -0,12 (Abb.11) die Abweichung der Lokalisation des radialen Bogens der versorgten Seite von der unverletzten Seite in Prozent kaum eine Auswirkung auf die Gesamtunterarmbeweglichkeit in Prozent hat.

Trägt man die Beweglichkeit in Abhängigkeit von der Maxima-Differenz des radialen Bogens beider Arme auf, kann festgestellt werden, dass auch der Betrag der Abweichung des Maximums des radialen Bogens von der anatomischen Größe keine relevante Rolle für die Beweglichkeit spielt (Korrelationskoeffizient -0,06; Abb. 12).

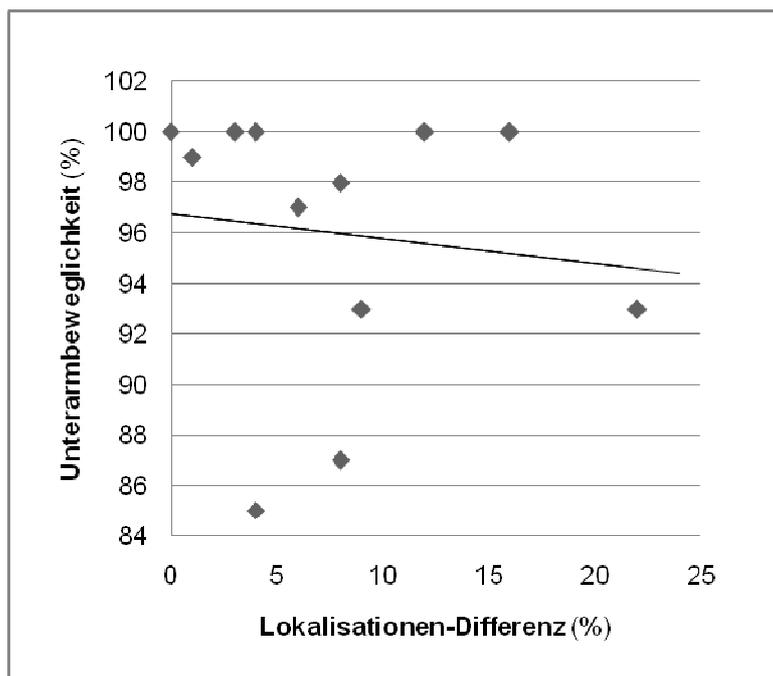


Abb. 11: Abhängigkeit der Gesamtbeweglichkeit von der Lokalisationen-Differenz des radialen Bogens; Korrelationskoeffizient -0,12

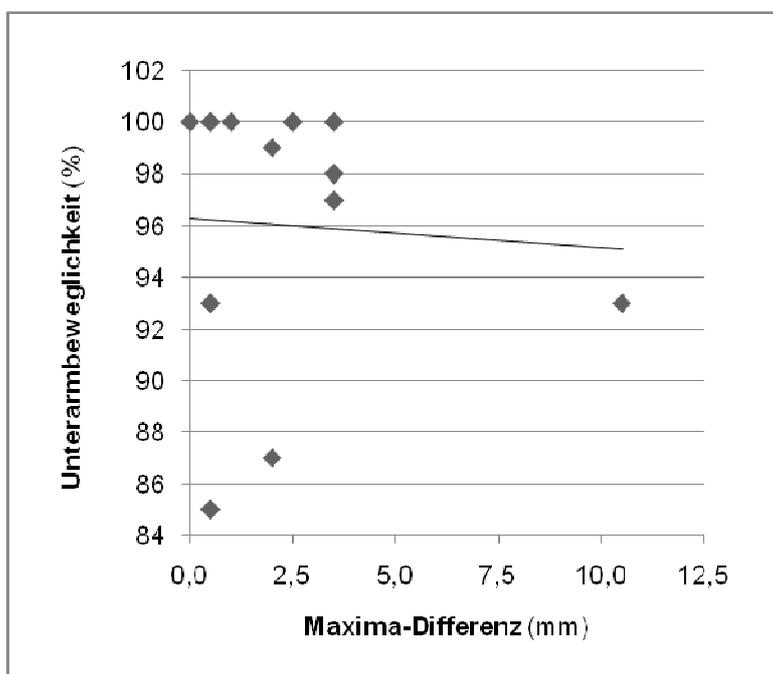


Abb. 12: Abhängigkeit der Gesamtbeweglichkeit von der Maxima-Differenz des radialen Bogens; Korrelationskoeffizient -0,06

Teilt man die Gesamtunterarmbeweglichkeit in ihre Komponenten Pronation/Supination, Handgelenk- und Ellenbogengelenkbeweglichkeit auf, kann festgestellt werden, dass am häufigsten (bei 14 von 26 Patienten entsprechend 54%) die Pronation/Supination mit einer minimalen Beweglichkeit von 61% bei Fall 19 (Fall 31 und 33 ausgeschlossen, s.o.), eingeschränkt ist. Es folgt die Handgelenkbeweglichkeit (bei 7 Patienten) mit einer minimalen Funktion von 80% bei Fall 20 (ebenfalls Fall 31 und 33 ausgeschlossen, s.o.). Am seltensten tritt nach Markraumnagelung eine Veränderung der Beweglichkeit im Ellenbogengelenk auf. Außer bei Fall 33 (Ellenbogengelenkbeweglichkeit von 60%), liegt bei allen untersuchten Patienten eine Ellenbogengelenkbeweglichkeit von über 90% vor.

Es stellt sich nun die Frage, ob die anfälligste und postoperativ am häufigsten eingeschränkte Komponente, die Pronation/Supination, relevant durch die Veränderungen des radialen Bogens nach Markraumnagelung beeinflusst wird. Der durchschnittliche radiale Bogen der unverletzten Seite ist - wie oben bereits aufgeführt - $16,5 \pm 1,7$ mm (14,0-21,0 mm) lang und bei $61,1 \pm 4,6\%$ (51-70%) der Gesamtlänge lokalisiert.

Bei einer guten postoperativen Unterarmrotation (Pronation/Supination mindestens 80%) weist der radiale Bogen des mit Markraumnagel versorgten Unterarms eine mittlere Länge von $15,1 \pm 3,2$ mm (9,0 bis 20,0 mm) auf und ist bei $68,2 \pm 7,0\%$ (59 bis 84%) der Gesamtlänge lokalisiert. Bei einer schlechteren Unterarmrotation von unter 80% beträgt das Maximum des radialen Bogens $14,0 \pm 3,0$ mm (8,5 bis 18,5mm), die Lokalisation $64,4 \pm 6,4\%$ (58 bis 77%). Das Maximum des radialen Bogens liegt also bei einer guten Unterarmrotation von über 80% näher am Maximum der unverletzten Seite; bei der Lokalisation verhält sich dies genau umgekehrt.

Folgende Tabelle zeigt die Maxima- sowie Lokalisationendifferenz des verletzten vom unverletzten Unterarmes mit der postoperativen Pronation/Supination der verletzten Seite (Tab. 4).

Fallnummer	Maxima-Differenz (mm)	Lokalisationen- differenz (%)	Pronation/Supination verletzte Seite
2	0,0	4	100
9	1,0	16	100
10	0,5	9	92
19	2,0	8	61
20	0,5	4	75
21	3,5	6	91
22	10,5	22	90
25	3,5	8	93
30	2,5	3	100
31	3,5	1	72
32	0,5	12	100
33	1,5	1	0
34	3,5	0	100
35	2,0	1	100

Tab. 4: Maxima- und Lokalisationendifferenz des radialen Bogens, Pronation/Supination des verletzten Armes nach Markraumnagelung

Das Maximum des radialen Bogens der verletzten Seite unterscheidet sich bei einer Pronation/Supination von mindestens 80% um durchschnittlich $2,8 \pm 3,0$ mm (0 bis 10,5 mm) von der unverletzten Seite. Bei einer Unterarmrotation von weniger als 80% (Ausschluss der Fälle 31 und 33; Gründe siehe oben) liegt die Maxima-Differenz bei nur $1,3 \pm 1,1$ mm (0,5 bis 2,0 mm).

Die Lokalisation des radialen Bogens unterscheidet sich bei einer Pronation/Supination von mindestens 80% um $8,1 \pm 7,0\%$ (0 bis 22%), bei einer schlechteren Pronation/Supination (Ausschluss der Fälle 31 und 33; Gründe siehe oben) um $6,0 \pm 2,8\%$ (4 bis 8%) von der unverletzten Seite.

Es fällt auf, dass der Unterschied sowohl der Lokalisation als auch des Maximums des radialen Bogens zur unverletzten Seite, also dem Normalzustand des Unterarmes, bei einer Pronation/Supination von unter 80%

kleiner ist als bei einer Unterarmrotation von mindestens 80%. Dies bedeutet, dass der im vorliegenden Patientengut durch Markraumnagelung rekonstruierte radiale Bogen nach Unterarmfrakturen keinen Einfluss auf die Unterarmrotation hat. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass nach Ausschluss der Fälle 31 und 33 aus oben genannten Gründen nur zwei Patienten in die Gruppe einer Pronation/Supination von unter 80% fallen und somit nicht repräsentativ für die Allgemeinheit sind.

Folgende Abbildungen (Abb. 13 und Abb. 14) zeigen - wiederum unter Ausschluss der Fälle 31 und 33 - die Pronation/Supination in Abhängigkeit von der Maxima-Differenz (Abb. 13) sowie der Lokalisationendifferenz (Abb. 14). Auch hier lässt sich bei nur sehr kleinen Korrelationskoeffizienten keine relevante Abhängigkeit der beiden Merkmale voneinander ableiten.

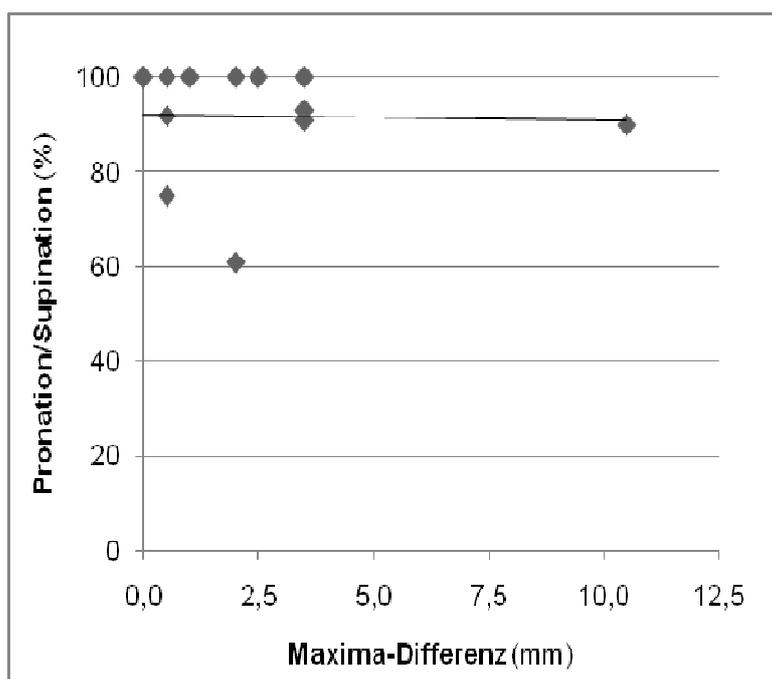


Abb. 13: Abhängigkeit der Pronation/Supination von der Maxima-Differenz des radialen Bogens; Korrelationskoeffizient -0,03

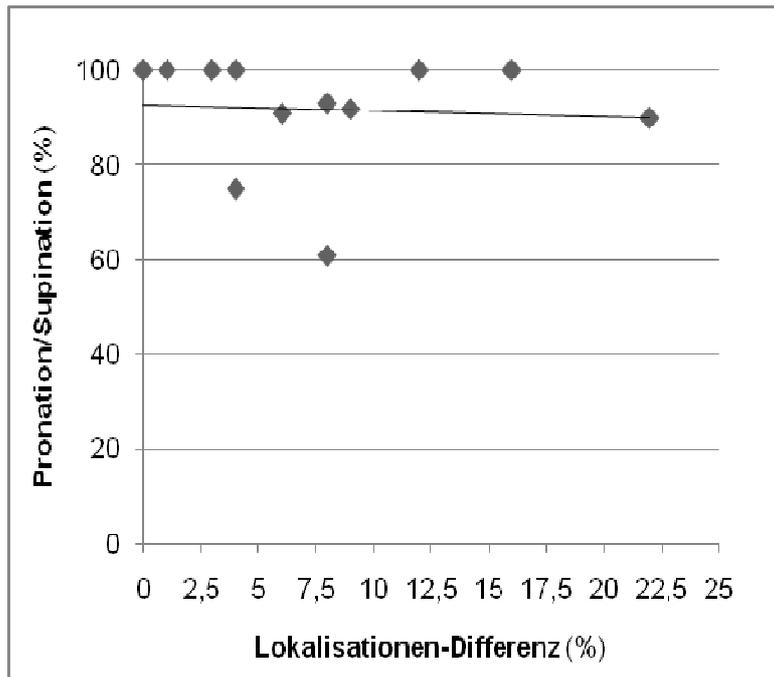


Abb. 14: Abhängigkeit der Pronation/Supination von der Lokalisationendifferenz des radialen Bogens; Korrelationskoeffizient -0,06

Bei der Gegenüberstellung der Lokalisation mit der Unterarmbeweglichkeit (in 26 Fällen möglich), fällt auf, dass im vorliegenden Patientengut - unabhängig von der Lokalisation des radialen Bogens vor der entstandenen Unterarmfraktur - eine Lokalisation des radialen Bogens bei 71 bis 75% immer eine sehr gute Beweglichkeit bedeuten (Abb. 15). Abweichungen von dieser Lokalisation führen tendentiell eher zu einer schlechteren Gesamtfunktion.

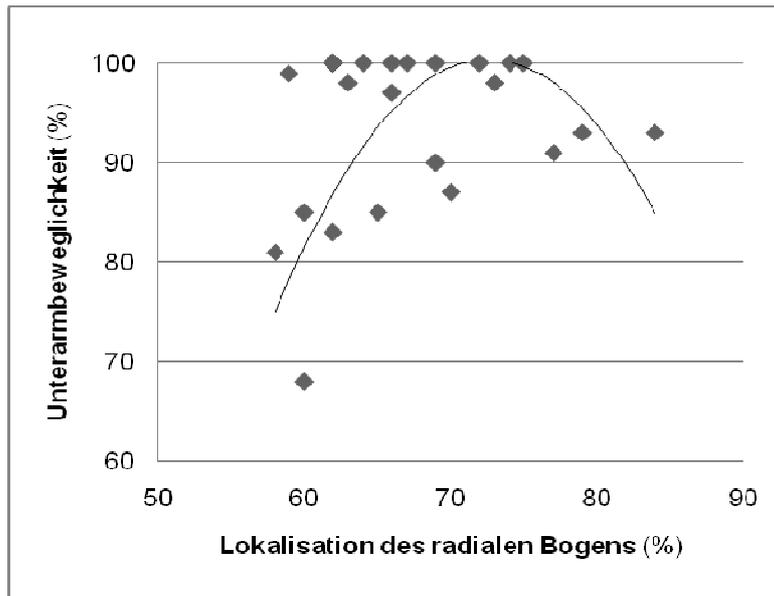


Abb. 15: Abhängigkeit der Gesamtunterarmbeweglichkeit von der Lokalisation des radialen Bogens; Korrelationskoeffizient 0,31

Auch bei Betrachtung der Pronation/Supination in Abhängigkeit von der postoperativen Lokalisation des radialen Bogens, kann festgestellt werden, dass bei einer Lokalisation des radialen Bogens von 71 bis 75% eine Pronation/Supination von mindestens 95% erreicht wird (Abb. 16).

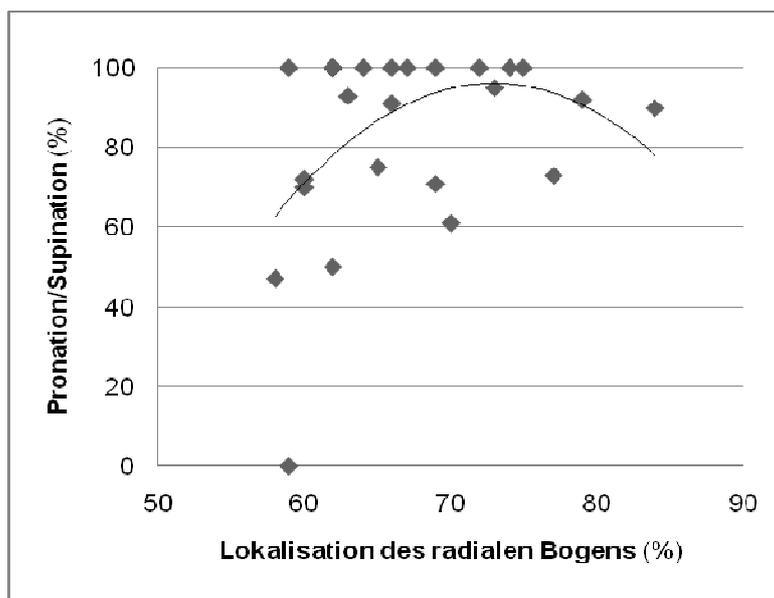


Abb. 16: Abhängigkeit der Pronation/Supination von der Lokalisation des radialen Bogens; Korrelationskoeffizient 0,30

Allerdings muss beachtet werden, dass die durchschnittliche Lokalisation des radialen Bogens der nicht verletzten Seite bei 61% liegt und die Hälfte der Patienten mit einer Lokalisation des radialen Bogens von 60 bis 70% nach Frakturversorgung ebenfalls eine uneingeschränkte Pronation/Supination und Unterarmfunktion von 100% besitzen (8 von 16 Patienten) sowie 63% eine Pronation/Supination von mindestens 90% und mehr als zwei Drittel der Patienten eine Gesamtfunktion von mindestens 90%. Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass eine Zunahme der ursprünglichen Lokalisation bis etwa 75% unproblematisch für die Pronation/Supination und Gesamtunterarmbeweglichkeit zu sein scheint bzw. eine Lokalisation zwischen 60 und 75% die Wahrscheinlichkeit für ein gutes postoperatives Ergebnis mit einer Unterarmbeweglichkeit von mindestens 90% erhöht. Es bleibt jedoch offen, ob bei einer höheren Fallzahl eine Lokalisation von 71 bis 75% immer eine sehr gute Funktion nach sich zieht. Die Vermutung liegt allerdings nahe, dass die Verteilung rein zufällig ist und bei einem höheren Patientengut durchaus auch schlechtere Funktionen bei dieser scheinbar optimalen Lokalisation vorkommen würden. Insgesamt kann also davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit für eine gute Unterarmfunktion bei einer Lokalisation des radialen Bogens zwischen 60 und 75% am größten ist. Auch beim Vergleich der Gesamtbeweglichkeit sowie der Pronation/Supination mit dem Maximum des radialen Bogens kann keine eindeutige Abhängigkeit beobachtet werden (Abb. 17 und Abb. 18).

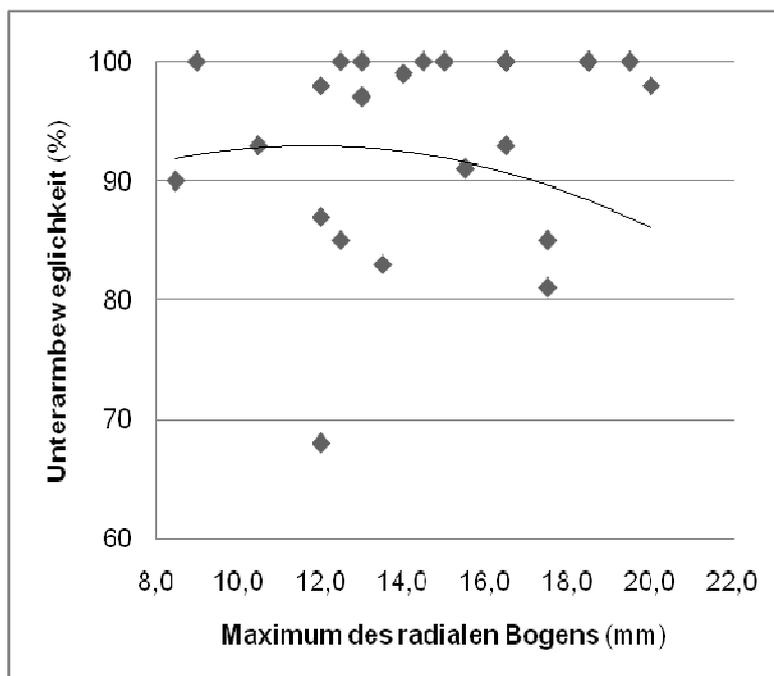


Abb. 17: Abhängigkeit der Unterarmbeweglichkeit vom Maximum des radialen Bogens; Korrelationskoeffizient - 0,11

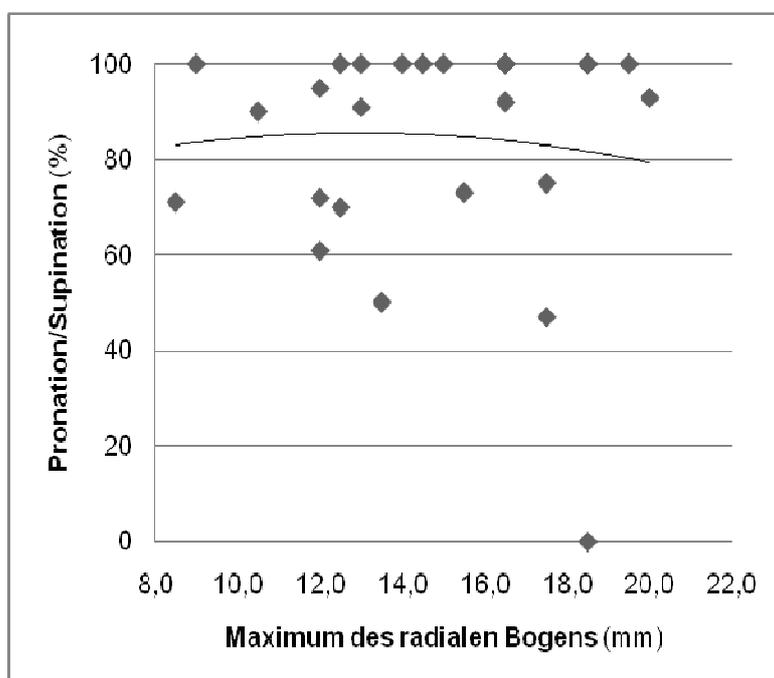


Abb. 18: Abhängigkeit der Pronation/Supination vom Maximum des radialen Bogens; Korrelationskoeffizient - 0,05

Auf den DASH-Score bezogen, kann - wie erwartet - festgestellt werden, dass sich die objektiv gemessene Unterarmbeweglichkeit in Prozent direkt proportional zu einem niedrigen DASH-Score verhält (Abb. 19).

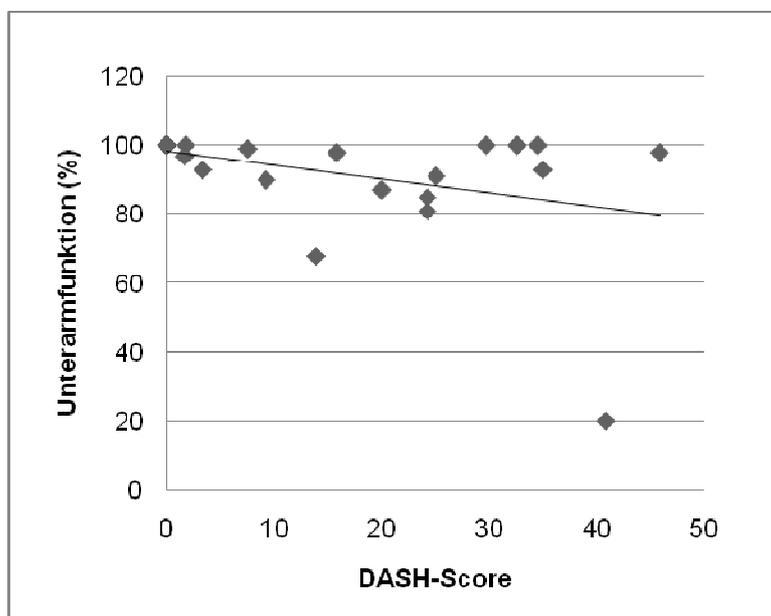


Abb. 19: Abhängigkeit der Unterarmbeweglichkeit vom DASH-Score; Korrelationskoeffizient -0,36

3.5. Komplikationen

In 2 von 35 Fällen des vorliegenden Patientengutes (Fall 15 und 24) trat eine Pseudarthrose (5,7%) auf. Bei einem dieser Patienten (Fall 15) wurde eine Spongiosaplastik durchgeführt; bei dem anderen Patienten (Fall 24) fand ein Umstieg auf Plattenosteosynthese statt (Austausch beider Nägel von Ulna und Radius gegen Platten).

In ebenfalls 5,7% (2 Personen) kam es zu einer radioulnaren Synostose im Verlauf der Heilung. Bei einem dieser Patienten (Fall 14) kam es nur zu einer inkompletten Synostose, welche komplikationslos reseziert werden und eine sehr gute postoperative Funktion erreicht werden konnte. Der andere Patient (Fall 33) zog sich seine Verletzung im Rahmen eines Motorradunfalls zu und

wies deutliche Begleitverletzungen einschließlich einer Plexus-brachialis-Läsion auf.

Eine Infektion, eine Refraktur oder ein Kompartmentsyndrom war bei keinem Patienten zu verzeichnen.

4. DISKUSSION

4.1. Analyse der angewandten Methodik

Bei der Beurteilung des radialen Bogens anhand der Röntgenbilder soll der Unterarm für eine korrekte Bestimmung in maximaler Supination geröntgt werden. Dies ist im Nachhinein nicht immer sicher zu beurteilen. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass bei einigen Patienten schmerzbedingt oder aufgrund mangelnder Compliance die maximale Supination nicht zu erreichen war. Aufgrund dieser Vermutung muss auch die Bestimmung der Lokalisation und des Maximums des radialen Bogens kritisch beurteilt werden.

Weitere Ungenauigkeit entsteht bei der Messung dadurch, dass der meist ulnar gelegenste Punkt und/oder der Apex der Tuberositas radii nicht immer eindeutig festgelegt werden können. Vor allem der Apex der Tuberositas radii nimmt gelegentlich eine Plateau-Form an und es muss als Messpunkt die Mitte dieses Plateaus benutzt werden.

Bei den konventionellen Film-Folien-Röntgenaufnahmen kommt hinzu, dass vor der Bestimmung des radialen Bogens die Vergrößerung berechnet werden muss. Bei Bildern mit Implantat ist diese durch Längenmessung des Nagels und anschließende Berechnung der Vergrößerung annähernd exakt zu bestimmen, da die Längenänderung durch den bogigen Verlauf des Nagels vernachlässigbar klein einzuschätzen ist. Bei Bildern ohne Implantat muss allerdings die durchschnittliche Vergrößerung aus den Röntgenaufnahmen mit Nagel des jeweiligen Patienten ermittelt und diese zur Berechnung des radialen Bogens verwendet werden. Diese durchschnittliche Vergrößerung liegt der wahren Vergrößerung des Bildes sehr nahe, entspricht aber nicht dem tatsächlichen Wert.

Genauere Messungen sind bei den Gelenkbeweglichkeiten möglich, da diese nach der Neutral-0-Methode erfasst werden und Normwerte für die jeweilige Bewegung existieren.

Der DASH-Score wiederum ist jedoch ein rein subjektiv empfundener Wert des jeweiligen Patienten, der dadurch zwar eine Aussage über die Funktionalität des Armes machen kann, jedoch die tatsächliche Funktionseinschränkung durch die Verletzung nicht beschreibt.

Studien haben zudem bewiesen, dass nach Plattenosteosynthese von Unterarmschaftfrakturen die subjektiv empfundene Beeinträchtigung weniger abhängig von objektiv zu messenden Parametern ist, sondern vielmehr v.a. durch Schmerzen beeinflusst wird [7]. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine solche Abhängigkeit des DASH-Scores von den postoperativen Schmerzen auch auf die Markraumnagelung zutrifft. Dies bedeutet, dass der DASH-Score nur eingeschränkt mit der objektiv zu ermittelnden Funktion korreliert.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

In vorliegender Arbeit liegt der maximale radiale Bogen bei den unverletzten kontralateralen Armen durchschnittlich bei $61,1 \pm 4,6\%$ der Gesamtlänge und ist $16,5 \pm 1,7$ mm lang. In der Literatur sind ähnliche vergleichbare Lokalisationen und Längen des normalen maximalen radialen Bogens zu finden. Schemitsch und Richards geben eine normale durchschnittliche Lokalisation des maximalen radialen Bogens von $59,9 \pm 0,7\%$ an [22], Firl und Wünsch bei Kindern eine Lokalisation bei $60,39 \pm 3,7\%$ [8]. Die Länge des radialen Bogens wird in der Literatur mit einem etwas niedrigeren Wert als im untersuchten Patientengut angegeben, nämlich mit $15,3 \pm 0,3$ mm. Firl und Wünsch geben aufgrund der stark schwankenden Gesamtlänge des Radius bei Kindern das Maximum des radialen Bogens nicht in Millimetern sondern in Prozent von der Gesamtlänge des Radius an, da die mit dem Alter und der Körpergröße steigende Länge des Radius auch ein größeres Maximum des radialen Bogens bedeutet [8]. Die Länge des radialen Bogens beträgt bei ihnen nicht mehr als 10% der Gesamtlänge Y; die durchschnittliche Länge liegt bei $7,21 \pm 1,03\%$ der Gesamtlänge [8]. Rechnet man die Länge des maximalen Bogens in

vorliegender Arbeit in eine Prozentangabe der Gesamtlänge des Radius um, kommt man auf einen durchschnittlichen Prozentwert von $7,66 \pm 0,58\%$ der Gesamtlänge, also ebenfalls einem Prozentwert von unter 10% wie von Firl und Wünsch beschrieben. Der etwas höhere Wert des Maximums des radialen Bogens der untersuchten Patienten, ist somit auf eine größere Gesamtlänge Y zurückzuführen und liegt laut Firl und Wünsch im Rahmen des Normalen.

Der maximale radiale Bogen des mit Marknagel versorgten Armes liegt bei durchschnittlich $15,0 \pm 3,3$ mm, die mittlere Lokalisation bei $66,5 \pm 6,6\%$.

In der Literatur wird angegeben, dass mit der Plattenosteosynthese eine genauere anatomische Rekonstruktion zu erreichen ist als mit der Markraumnagelung, jedoch ohne signifikanten Unterschied zwischen den beiden Methoden bezüglich Lokalisation und Maximum des radialen Bogens [23], so dass aus beiden Methoden eine zufriedenstellende Unterarmfunktion resultieren kann, wie auch vorliegende Arbeit mit einer durchschnittlichen Gesamtunterarmbeweglichkeit nach der Neutral-0-Methode von 91% und einer durchschnittlichen Pronation/Supination von $85 \pm 24\%$ sowie einem mittleren DASH-Score von 18,1 Punkten zeigt.

Bei der Plattenosteosynthese nach Unterarmfrakturen wird in der Literatur keine signifikante Veränderung des Maximums des radialen Bogens im Vergleich zur unverletzten Gegenseite beschrieben. Sowohl bei der Versorgung eines Unterarmknochens sowie beider Unterarmknochen mittels Plattenosteosynthese nach Fraktur tritt keine Längenänderung des radialen Bogens auf [23]. Auch bei der Versorgung von Unterarmbrüchen mit Markraumnagelung, welche nur den Radius betreffen, kann in selber Studie keine signifikante Längenänderung des radialen Bogens festgestellt werden. Anders verhält sich dies bei Versorgung beider Unterarmknochen mittels Markraumnagel. Hier wird eine signifikante Verkürzung des radialen Bogen um durchschnittlich 1 mm angegeben [23]. Eine Veränderung der Lokalisation des radialen Bogens konnte sowohl bei der Plattenosteosynthese als auch bei der Markraumnagelung einer oder beider Unterarmknochen nicht verzeichnet werden [23]. Es ist jedoch zu beachten, dass in betreffender Arbeit sowohl bei der Plattenosteosynthese als auch bei der Markraumnagelung nach

Unterarmbrüchen eine Fallzahl von nur 8 Patienten vorliegt. Anders als in der Literatur angegeben, kann in dieser Arbeit eine signifikante Änderung ($p=0,0044$) der Lokalisation des radialen Bogens nach Markraumnagelung nachgewiesen werden (siehe oben), jedoch ohne relevante Auswirkung auf die Pronation/Supination oder Gesamtunterarmbeweglichkeit. Eine signifikante Änderung des Maximums des radialen Bogens liegt in dieser Arbeit nicht vor ($p=0,1776$).

Am häufigsten nach Frakturversorgung mittels Markraumnagel eingeschränkt ist erwartungsgemäß die anfälligste Größe, die Pronation/Supination, in 54% der Fälle, jedoch unabhängig von der im Patientengut erreichten Genauigkeit der anatomischen Rekonstruktion, wie die durchschnittlich niedrigeren Abweichungen von Lokalisation und Maximum des radialen Bogens bei einer Funktion von unter 80% anzeigen (siehe oben).

Schemitsch und Richards beschreiben in ihrer Arbeit eine Pronation/Supination von mindestens 80% der Normalfunktion, wenn eine mit der unverletzten Gegenseite vergleichbare Lokalisation des radialen Bogens nach Plattenosteosynthese vorliegt (durchschnittliche Änderung von $4,3 \pm 0,7\%$) [22]. In der vorliegenden Arbeit liegt der durchschnittliche Lokalisationsunterschied bei einer Pronation/Supination von mindestens 80% bei $8,1 \pm 7,0\%$. Das bedeutet, dass im Vergleich zur Plattenosteosynthese mit einem noch größeren Unterschied der Lokalisation des radialen Bogens zur Norm durchaus eine sehr gute Pronation/Supination (über 80%) erreicht werden kann. Eine Pronation/Supination von mindestens 80% der Normalfunktion soll laut Schemitsch und Richards auch dann nach Plattenosteosynthese erreicht werden, wenn die Änderung des Maximums des radialen Bogens durchschnittlich $1,5 \pm 0,2$ mm beträgt [22]. Auch hier ist in dieser Arbeit eine noch größere durchschnittliche Abweichung des Maximums des radialen Bogens von der unverletzten Seite möglich ($2,8 \pm 3,0$ mm) ohne eine schlechtere Pronation/Supination als 80% zu erzielen (siehe oben).

Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass in dieser Arbeit bei einer Pronation/Supination von unter 80% sowohl für die Lokalisation als auch das Maximum des radialen Bogens kleinere Änderungen als bei einer

Pronation/Supination von mindestens 80% vorliegen, nämlich $6,0 \pm 2,8\%$ für die Lokalisation und $1,3 \pm 1,1$ mm für das Maximum des radialen Bogens. Dies kann aber auf das nicht repräsentative niedrige Patientengut in der Gruppe der Pronation/Supination unter 80% zurück geführt werden.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass im vorliegenden Patientengut sowohl die Länge als auch die Lokalisation des radialen Bogens keine relevanten Auswirkungen auf die Funktion des Unterarmes haben (siehe Korrelationskoeffizienten). Am häufigsten eingeschränkt zeigt sich in 54% die Pronation/Supination des Unterarmes, wobei die Beweglichkeit im Ellenbogengelenk in nahezu alle Fällen sehr gut ist (Funktion immer über 90% außer bei Fall 33). Eine relevante Abhängigkeit der Pronation/Supination von der im Patientengut erreichten Genauigkeit der Rekonstruktion des radialen Bogens ist jedoch auch hier nicht feststellbar. Da also in dieser Arbeit keine signifikante Beeinflussung der Pronation/Supination bzw. der Gesamtunterarmfunktion in Abhängigkeit von der erreichten Genauigkeit der anatomischen Rekonstruktion des radialen Bogens beschrieben werden kann, muss davon ausgegangen werden, dass durch Markraumnagelung eine Wiederherstellung des radialen Bogens in Länge und Lokalisation in einem Bereich gelungen ist, der keinen Einfluss sowohl auf die Unterarmfunktion als auch speziell die Pronation/Supination hat. Im Vergleich zur Plattenosteosynthese können sogar noch größere Abweichungen des radialen Bogens in Lokalisation und Länge ohne Auswirkungen auf die Pronation/Supination und somit die Gesamtfunktion in Kauf genommen werden.

Die Bündelnagelung erreicht in 66,3% eine freie Beweglichkeit des Unterarmes und in weiteren 20,9% gute funktionelle Resultate (Einschränkung der Pronation/Supination von nicht mehr als 50%) [13]. Für die Markraumnagelung ohne Verriegelungsschraube am Unterarm wird in der Literatur eine ausgezeichnete Funktion (entsprechend einem Verlust von weniger als 10° bei der Flexion/Extension oder weniger als 25% Verlust bei der Pronation/Supination) in 69% der Fälle angegeben [25]. Von den 35 untersuchten Patienten erreichen 73% eine sehr gute

Gesamtunterarmbeweglichkeit von mindestens 90% sowie 65% eine Pronation/Supination von mindestens 80%, also durchaus mit den in der Literatur für die Bündelnagelung und die Markraumnagelung ohne Verriegelungsschraube angegebenen Werten vergleichbare Ergebnisse.

Eine weitere Studie gibt bei mit Markraumnagelung versorgten Radiuschaft-, Ulnaschaft- oder Unterarmfrakturen einen mittleren DASH-Score von 15 Punkten (5 bis 61 Punkte) und ein sehr gutes Ergebnis (0 bis 19 Punkte) in 85% an, wobei mehr Nägel für Ulnaschaft- als für Radiuschaftfrakturen verwendet wurden [16]. In der vorliegenden Studie erreichen 68% der untersuchten Patienten nach einer Radiuschaft- oder Unterarmfraktur einen sehr guten DASH-Score (0 bis 25 Punkte) bei einem Mittelwert von 18,1 Punkten (0 bis 54,3 Punkte), also etwas schlechtere Werte als in der Literatur angegeben, was durch die Konzentration auf Radiuschaftfrakturen in dieser Arbeit erklärbar wäre. Ob Radiuschaftfrakturen tatsächlich einen signifikant schlechteren DASH-Score als Ulnaschaftfrakturen bedeuten kann anhand der bisherigen Literatur nicht nachvollzogen werden. Dies wäre jedoch aufgrund des komplexeren Aufbaus des Radius im Vergleich zur Ulna (siehe Kapitel 1.2.) gut denkbar und bleibt zu überprüfen.

In der Literatur wird nach Plattenosteosynthese bei Unterarmschaftfrakturen ein mittlerer DASH-Score von 18,6 Punkten angegeben, einem signifikant unterschiedlichen Wert im Vergleich zum normalem Durchschnittswert der USA [7]. Dieser dort angegebene DASH-Score nach Plattenosteosynthese von 18,6 entspricht fast exakt dem Wert des DASH-Scores nach Markraumnagelung von 18,1 in dieser Arbeit. Da bisher in der Literatur kein Durchschnittswert des DASH-Scores für die deutsche Bevölkerung existiert, kann keine Berechnung der Signifikanz bezüglich des Unterschiedes stattfinden. Da allerdings von einem ähnlichen Normwert des DASH-Scores in Deutschland wie in den USA ausgegangen werden kann, muss bei ähnlichen postoperativen Durchschnittswerten des DASH-Scores auch nach Markraumnagelung von einem signifikanten Unterschied des postoperativen DASH-Scores im Vergleich

zum Normwert ausgegangen werden. Dies bedeutet, dass sich Radiuschaftfrakturen unabhängig von der Form der Versorgung allgemein negativ auf den DASH-Score auswirken, d.h. ein schlechteres subjektives Funktionsempfinden, bedeuten, was durch die Beeinflussung des DASH-Scores v.a. durch Schmerzen zu erklären ist. Die durchschnittlich subjektiv empfundene postoperative Funktion ist also für die Plattenosteosynthese sowie die Markraumnagelung gleich.

4.3. Diskussion der Komplikationen

Die Pseudarthroserate wird in der Literatur bei der Plattenosteosynthese mit etwa 3% angegeben [19], bei der Bündelnagelung liegt sie bei nur 1,1% [13]. Die Markraumnagelung ohne Verriegelungsschraube erreicht in der Literatur eine Pseudarthroserate von 7% [25]. Von den 35 untersuchten Patienten entwickelten 2 eine Pseudarthrose, was 5,7% und damit einem niedrigeren Wert als bei der Markraumnagelung ohne Verriegelungsschraube entspricht.

Die Infektrate liegt bei der Plattenosteosynthese zwischen 0,8% und 3,1% [3, 11, 24], bei der Bündelnagelung bei 1,1% [13]. Bei den 35 Patienten der vorliegenden Studie kam es in keinem der Fälle zu einer Infektion.

Eine radioulnare Synostose bzw. Brückenkallus tritt bei der Plattenosteosynthese in 6,6 bis 9,4% [1, 24] und bei der Bündelnagelung in 3,9% [13] auf. Bei den 35 untersuchten Patienten konnte eine radioulnare Synostose bei 2 Patienten (Fälle 14 und 33) entsprechend 5,7% festgestellt werden, bei einem Patienten davon jedoch nur inkomplett.

Eine Refraktur nach Materialentfernung tritt bei der Plattenosteosynthese laut Literatur in 4,3 bis 25% der Fälle auf [4, 11, 12, 20], bei der Bündelnagelung in 1,2% [13]. In der vorliegenden Studie kam es bisher zu keiner Refraktur.

Ein Kompartmentsyndrom am Unterarm, das meist durch Traumata entsteht [9], kann auch durch operative Versorgung von Verletzungen induziert werden, was bei den 35 Patienten der Studie allerdings nicht vorkam.

Diese Vergleiche mit der Literatur zeigen, dass mit der Markraumnagelung leicht erhöhte Pseudarthrosraten im Vergleich zur Plattenosteosynthese vorkommen können, jedoch eine niedrigere Rate als bei der Markraumnagelung ohne Verriegelungsschraube. Zudem werden deutlich reduzierte Infekt- und Refrakturraten erreicht als mit der Plattenosteosynthese und Bündelnagelung. Auch eine radioulnare Synostose tritt bei der Markraumnagelung seltener auf als bei der Plattenosteosynthese. Die niedrigste Synostoserate wird bei der Bündelnagelung angegeben.

Allerdings muss beim Vergleich der Komplikationsraten beachtet werden, dass in dieser Arbeit nur die Ergebnisse nach Markraumnagelung von Radiuschaftfrakturen untersucht werden; Komplikationen nach Ulnaschaftfrakturen werden hier nicht erfasst. Zudem können mit der Bündelnagelung nur A- und B-Frakturen behandelt werden, jedoch nicht C-Frakturen, welche mit der Markraumnagelung oder Plattenosteosynthese durchaus versorgt werden können. Deshalb kann ein Vergleich der Komplikationsraten nur eingeschränkt erfolgen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Unterarmschaftfrakturen waren lange Zeit eine Domäne der Plattenosteosynthese, obwohl Frakturen aller anderen langen Röhrenknochen mittels intramedullärer Nagelung versorgt werden. Neuere Implantate in Form des Verriegelungsnagels sind jedoch in der Lage den radialen Bogen wiederherzustellen und eine ausreichende Rotationsstabilität für eine ungestörte Frakturheilung zu schaffen.

In einer retrospektiven Studie wurden 35 Patienten mit Radius- bzw. Unterarmschaftfrakturen nach Markraum Nagelung untersucht. Die Genauigkeit der Rekonstruktion der anatomischen Gegebenheiten am Unterarm wurde anhand des radialen Bogens bestimmt, welcher mit Hilfe von Röntgenbildern ermittelt wurde. Zur Beurteilung der Funktion wurden Handgelenk- und Ellenbogengelenkbeweglichkeit und die Pronation/Supination nach der Neutral-0-Methode sowie der DASH-Score herangezogen.

Am gesunden Arm ist der durchschnittliche maximale radiale Bogen bei $61,1 \pm 4,6\%$ lokalisiert und ist $16,5 \pm 1,7$ mm lang, was $7,66 \pm 0,58\%$ der Gesamtlänge entspricht. Der maximale radiale Bogen des mit Marknagel versorgten Armes liegt bei durchschnittlich $15,0 \pm 3,3$ mm, die mittlere Lokalisation bei $66,5 \pm 6,6\%$. Das postoperativ erreichte Maximum des radialen Bogens zeigt im Vergleich zum gesunden Arm keinen signifikanten Unterschied. Die Lokalisation allerdings unterscheidet sich signifikant von den Werten des gesunden kontralateralen Armes ($p=0,0044$), jedoch ohne relevanten Einfluss auf die postoperativ erreichte Pronation/Supination und die Gesamtunterarmbeweglichkeit.

Die Gesamtunterarmbeweglichkeit nach operativer Versorgung liegt bei durchschnittlich $91 \pm 17\%$, die Pronation/Supination bei $85 \pm 24\%$. Eine freie Funktion wird bei 42% der Patienten erreicht und in nur 2 Fällen liegt bei erheblichen Vorerkrankungen bzw. Begleitverletzungen eine Gesamtunterarmbeweglichkeit von unter 80% vor. Eine Pronation/Supination von unter 80% ist bei 9 Patienten (35%) zu verzeichnen. Eine besondere Beeinflussung der Pronation/Supination durch die im Patientengut erreichten

Längen- bzw. Lokalisationsänderungen des radialen Bogens nach Markraumnagelung ist nicht zu erkennen, wobei die Pronation/Supination mit 54% am häufigsten eine Abweichung von der Norm zeigt.

Im Vergleich zur Plattenosteosynthese sind größere Abweichungen sowohl der Lokalisation (Abweichung $8,1 \pm 7,0\%$) als auch der Länge (Abweichung $2,8 \pm 3,0$ mm) des maximalen radialen Bogens von der Norm akzeptabel, um eine gute postoperative Pronation/Supination von mindestens 80% zu erzielen.

Bei einem mittleren DASH-Score von 18,1 Punkten nach Markraumnagelung - ein mit dem DASH-Score nach Plattenosteosynthese vergleichbarer Wert - erreichen 68% der Patienten einen sehr guten Punktwert von 0 bis 25 Punkten. Auch die erreichten Komplikationsraten sind mit denen nach Plattenosteosynthese vergleichbar. Bei minimal erhöhtem Pseudarthrosrisiko im Vergleich zur Plattenosteosynthese, können deutlich reduzierte Infekt-, Refraktur und Synostoseraten erzielt werden.

Mit dem ForeSight™-Ulna/Radius-Nagel und dem Würzburger-Ulna/Radius-Nagel sind also tatsächlich geeignete intramedulläre Implantate zur Osteosynthese von Unterarmschaftfrakturen geschaffen worden, die eine Alternative zur Plattenosteosynthese bieten. Mit der Markraumnagelung ist eine Wiederherstellung des radialen Bogens in Länge und Lokalisation in einem Bereich möglich, der keinen relevanten Einfluss auf die Pronation/Supination und damit die Gesamtfunktion hat. Im Vergleich zur Plattenosteosynthese können sogar noch größere Abweichungen des radialen Bogens in Lokalisation und Länge ohne Auswirkungen auf die Pronation/Supination und somit die Gesamtunterarmbeweglichkeit in Kauf genommen werden. Ein Unterschied in Bezug auf die subjektiv empfundene Funktion anhand des DASH-Scores kann im Vergleich zur Plattenosteosynthese nicht festgestellt werden.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. Bauer G, Arand M, Mutschler W. Post-traumatic radioulnar synostosis after forearm fracture osteosynthesis. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery 1991;110:142-145.
2. Benninghoff A, Drenckhahn D. Anatomie: Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie. Band 1: Zellen- und Gewebelehre, Entwicklungslehre, Skelett- und Muskelsystem, Atemsystem, Verdauungssystem, Harn- und Genitalsystem. 17. Auflage. München: Elsevier; 2008.
3. Chapman MW, Gordon E, Zissimos AG. Compression-Plate Fixation of Acute Fractures of the Diaphyses of the Radius and Ulna. Journal of Bone and Joint Surgery 1989;71-A:159-169.
4. Deluca PA, Lindsey RW, Ruwe PA. Refracture of Bones of the Forearm after the Removal of Compression Plates. Journal of Bone and Joint Surgery 1988;70-A:1372-1376.
5. DGUV. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., Formtexte, Onlinedokument, 2010, aufgerufen am 26.11.2010. In: http://www.dguv.de/formtexte/aerzte/F_4222/F4222.doc: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Mittelstraße 51, 10117 Berlin-Mitte.
6. Döhler C, Busse M, Gahr R. Validierung des DASH-Scores am modifizierten Neer-Score. Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine-Germany (KCS) 2001;2:57-66.
7. Droll KP, Perna P, Potter J, Harniman E, Schemitsch E, McKee MD. Outcomes Following Plate Fixation of Fractures of Both Bones of the Forearm in Adults. Journal of Bone and Joint Surgery 2007;89-A(12): 2619-2624.

8. Firl M, Wunsch L. Measurement of bowing of the radius. *Journal of Bone and Joint Surgery* 2004;86-B:1047-1049.
9. Gelberman RH, Garfin SR, Hergenroeder PT, Mubarak SJ, Menon J. Compartment Syndromes of the Forearm: Diagnosis and Treatment. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1981;161:252-261.
10. Germann G, Wind G, Harth A. Der DASH-Fragebogen – Ein neues Instrument zur Beurteilung von Behandlungsergebnissen an der oberen Extremität. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, Plastische Chirurgie* 1999;31:149-152.
11. Hertel R, Pisan M, Lambert S, Ballmer FT. Plate osteosynthesis of diaphyseal fractures of the radius and ulna. *Injury* 1996;27:545-548.
12. Hidaka S, Gustilo RB. Refracture of Bones of the Forearm after Plate Removal. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1984;66-A:1241-1243.
13. Joist A, Baranowski D, Brug E. Die Bündelnagelung bei Unterarmschaftfrakturen (am Beispiel einer Radiusfraktur). *Operative Orthopädie und Traumatologie* 1999;11:25-33.
14. Kapandji I. Funktionelle Anatomie der Gelenke. Band 1. Obere Extremität. Stuttgart: Enke; 1992.
15. Krettek C, Schandelmaier P, Tscherne H. Neue Entwicklungen bei der Stabilisierung dia- und metaphysärer Frakturen der langen Röhrenknochen. *Orthopäde* 1997;26:408-421.
16. Lee YH, Lee SK, Chung MS, Baek GH, Gong HS, Kim KH. Interlocking Contoured Intramedullary Nail Fixation for Selected Diaphyseal Fractures of the Forearm in Adults. *Journal of Bone and Joint Surgery* 2008;90:1891-1898.

17. Oestern H-J. Allgemeines. In: Schmit-Neuerburg KP, Towfigh H, Letsch R (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie – Ellenbogen, Unterarm, Hand. Berlin, Heidelberg: Springer; 2001.
18. Oestern H-J. Unterarmschaffrakturen. In: Schmit-Neuerburg KP, Towfigh H, Letsch R (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie – Ellenbogen, Unterarm, Hand. Berlin, Heidelberg: Springer; 2001.
19. Oestern H-J, Tscherne H. Ergebnisse der AO-Sammelstudie über Unterarmschaffrakturen. Der Unfallchirurg 1983;86:136.
20. Rumball K, Finnegan M. Refractures After Forearm Plate Removal. Journal of Orthopaedic Trauma 1990;4:124-129.
21. Sarmiento A, Kinman P, Murphy R, Phillips J. Treatment of ulnar fractures by functional bracing. Journal of Bone and Joint Surgery 1976;58-A:1104-1107.
22. Schemitsch E, Richards R. The effect of malunion on functional outcome after plate fixation of fractures of both bones of the forearm in adults. Journal of Bone and Joint Surgery 1992;74:1068-1078.
23. Schemitsch E, Jones D, Henley MB, Tencer AF. A Comparison of Malreduction After Plate and Intramedullary Nail Fixation of Forearm Fractures. Journal of Orthopaedic Trauma 1995;9:8-16.
24. Stern PJ, Drury WJ. Complications of Plate Fixation of Forearm Fractures. Clinical Orthopaedics and Related Research 1983;175:25-29.
25. Street DM. Intramedullary Forearm Nailing. Clinical Orthopaedics and Related Research 1986;212:219-230.
26. Treu-Insturmente. Treu-Insturmente GmbH, Produkte, Onlinedokument, 2009, aufgerufen am 03.04.2009. In: http://www.treu.com/PRODUKTE/PDF/cap_01.pdf: Treu-Instrumente GmbH, Altentalstraße 6-10, 78532 Tuttlingen, Deutschland.

27. Weckbach A, Blatter T. Die Unterarmschaftfraktur des Erwachsenen. Der Unfallchirurg 2002;73:627-642.
28. Weckbach A, Weißer C, Blatter T. Marknagelung am Unterarm. Trauma Berufskrankheit 2001;3:297-302.
29. Weckbach A, Blatter T, Weisser C. Interlocking nailing of forearm fractures. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery 2006;126(5):309-315.
30. Weißer C, Weckbach A. Die Verriegelungsnagelung von Unterarmfrakturen mit dem ForeSight-Ulna/Radius-Nagel. Operative Orthopädie und Traumatologie 2003;15:151-169.

DANKSAGUNG

Danken möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Weckbach für die schnelle Vergabe des Dissertationsthemas und die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit, Herrn Dr. med. Weißer für das Zusammentragen und die Bereitstellung von Untersuchungsergebnissen sowie Herrn Prof. Dr. med. Kenn für das Engagement bei der Anfertigung der Röntgenbild-Drucke und die freundliche Übernahme des Korreferats.

Weiterer Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden für die Geduld und Unterstützung während der Erstellung der Doktorarbeit. Besonders danken möchte ich Herrn Christian Ziegler, Herrn Bastian Gingele und Herrn Fabian Geiger für die Ausdauer und Gelassenheit bei der Klärung technischer und statistischer Probleme.

LEBENS LAUF

Persönliche Angaben:

Name: Judith Fick
Geburtsdatum/-ort: 19. Juli 1985, Werneck
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: ledig

Ausbildung:

1991-1995 Balthasar-Neumann-Grundschule
Schleerieth
1995-2004 Walther-Rathenau-Gymnasium
Schweinfurt
2004-2010 Studium der Humanmedizin,
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Approbation:

15. November 2010

Beruflicher Werdegang:

seit Januar 2011 Assistenzärztin der Gynäkologie und Geburtshilfe
Caritas-Krankenhaus Bad Mergentheim