

Aus der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie  
des Klinikum Darmstadt

Akademisches Lehrkrankenhaus der  
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

**Direktor: Prof. Dr. med. R. Brutscher**

**Die operative Versorgung der Oberarmschaftfraktur  
mit dem Russell-Taylor-Nagel - eine prospektive Studie**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
des Fachbereichs Humanmedizin der  
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

Vorgelegt von

**Viviane Moersig**  
aus Hamburg

Frankfurt am Main

2006

Dekan: Prof. Dr. med. J. Pfeilschifter

Referent: Prof. Dr. med. R. Brutscher  
1. Koreferent: Prof. Dr. med. I. Marzi  
2. Koreferent: Prof. Dr. med. L. Zichner

Tag der mündlichen Prüfung: 06.04.2006

## **Inhaltsangabe**

### **1. Einleitung**

#### **1.1 Anatomische und biomechanische Grundlagen des Humerus**

#### **1.2 Besonderheiten der Humerusschaftfrakturen und allgemeine Behandlungsprinzipien**

##### **1.2.1 Unfallmechanismus**

##### **1.2.2 Klinische und radiologische Diagnostik**

##### **1.2.3 Begleitverletzungen**

##### **1.2.4 Klassifikation**

##### **1.2.5 Konservative Therapie**

##### **1.2.6 Operative Therapie**

###### **1.1.1.1 Plattenosteosynthese**

###### **1.1.1.2 Verriegelungsnagelung**

###### **1.1.1.3 Bündelnagelung**

###### **1.1.1.4 Fixateur externe**

#### **1.3 Historischer Überblick**

### **2. Fragestellung**

### **3. Material und Methoden**

#### **3.1 Patienten**

#### **3.2 Implantat**

#### **3.3 Operationsmethode**

### **4. Ergebnisse**

#### **4.1 Epidemiologische Auswertungen**

##### **4.1.1 Altersdurchschnitt, Geschlechterverteilung und Frakturseite**

##### **4.1.2 Begleiterkrankungen und Risikofaktoren**

##### **4.1.3 Fraktуреinteilung**

##### **4.1.4 Unfallursache und Begleitverletzungen**

## **4.2 Intraoperative Ergebnisse**

### **4.2.1 Operationszeitpunkt, -dauer, und Röntgenzeit**

### **4.2.2 Nageldurchmesser, -länge und Anzahl der Verriegelungen**

### **4.2.3 Begleitverletzungen und Blutverlust**

### **4.2.4 Intraoperative Komplikationen**

## **4.3 Postoperative Ergebnisse**

### **4.3.1 Stationäre Nachbehandlung (Krankengymnastik, Blutverlust, Röntgen)**

### **4.3.2 Aufenthaltsdauer**

### **4.3.3 Frühkomplikationen**

#### 4.3.3.1 Frakturstellung, Lage des Nagels

#### 4.3.3.2 Wundheilung und Weichteilschwellung

#### 4.3.3.3 Radialisschädigung

## **4.4 Nachuntersuchungen**

### **4.4.1 Untersuchungsergebnisse nach 6 bis 12 Wochen**

#### 4.4.1.1 Beweglichkeit von Schulter- und Ellenbogengelenk

#### 4.4.1.2 Röntgenbefunde

#### 4.4.1.3 Spätkomplikationen

#### 4.4.1.3 Verlaufskontrollen der Frühkomplikationen

### **4.4.2 Untersuchungsergebnisse nach einem Jahr (Score n. Kwasny)**

#### 4.4.2.1 Auswertungen anhand des Score nach Kwasny

#### 4.4.2.2 Spätkomplikationen

#### 4.4.2.3 Verlaufskontrollen der Früh- und Spätkomplikationen

### **4.4.3 Spätergebnisse nach zwei Jahren (Metallentfernung)**

### **4.4.4 Ursachen und Therapie der Pseudarthrose**

### **4.4.5 Resultate bei den Patienten mit pathologischen Frakturen**

## **4.5 Fallbeispiele**

**4.5.1 Patient Nr. 41**

**4.5.2 Patient Nr. 29**

**4.5.3 Patientin Nr. 36**

**5. Diskussion**

**6. Zusammenfassung**

**7. Literaturverzeichnis**

**8. Anlagen**

## 1. Einleitung

### 1.1 Anatomische und biomechanische Grundlagen des Humerus

Anatomische Besonderheiten des Humerus, aber auch seine von Femur und Tibia unterschiedliche Beanspruchung seitens Zug-, Druck-, Biege- und insbesondere Rotationskräften erfordern eine spezifische Betrachtung dieses durch Muskelkraft und nicht durch Körpergewicht belasteten langen Röhrenknochens im Blickwinkel einer bevorstehenden Frakturversorgung.

An der oberen Extremität zielen alle Funktionsmechanismen darauf ab, die Beweglichkeit zu erhöhen, die Freiheitsgrade der Gelenke zu vergrößern und die Hebelgesetze in Richtung auf die Beschleunigungsarbeit maximal auszunutzen. Der Arm bildet zusammen mit dem Schultergürtel eine frei auf dem Brustkorb verschiebliche Gliedmaße und erschließt damit der Hand als eigentlichem Greiforgan ein wesentlich größeres Bewegungsfeld.

Die Schulter zeichnet sich durch eine enorme Beweglichkeit aus, die gewährleistet wird durch das Zusammenwirken von Schultergelenk - *Articulatio glenohumeralis* -, den Schultergürtelgelenken - *Articulationes acromioclavicularis* und *sternoclavicularis* - und den Bändern und *Bursae*, die als Gleitlager zwischen Schulterdach und Rotatorenmanschette ein Nebengelenk bilden. Die genannten Strukturen und letztendlich die freie Verschieblichkeit des Schulterblattes auf bzw. zwischen der Muskulatur, insbesondere dem *M. serratus anterior* und *M. subscapularis*, bilden eine funktionelle Einheit. Jede Bewegung ist das Resultat aller daran beteiligten Strukturen, da eigenständige Bewegungen im normalen Bewegungsablauf nicht möglich sind.

Der Humerus ist ein langer Röhrenknochen, dessen proximaler Anteil vom kugelförmigen *Caput humeri* gebildet wird. Die artikulierende Gelenkfläche der *Cavitas glenoidales* bildet zusammen mit dem Humeruskopf die knöchernen Anteile des Schultergelenkes. Die sich an den Humeruskopf anschließende *Diaphyse*, durch das ringförmige *Collum anatomicum* getrennt, trägt an ihrem proximalen Ende zwei Apophysen, das *Tuberculum majus* und das *Tuberculum minus*. Zwischen beiden verläuft der *Sulcus intertuberkularis*, durch den die lange Bizepssehne verläuft. Die Tuberkula dienen als Ansatzstellen der sog. Rotatorenmanschette, wobei die *Mm. supra-* und *infraspinatus* sowie der *M. teres minor* am *Tuberculum majus*, der *M. subscapularis* am *Tuberculum minus* inserieren. Die Rotatorenmanschette ist der



Der N. radialis windet sich in einer Spirale dorsal um das mittlere Humerusdrittel und hat beim Durchtritt durch das laterale Septum intermuskulare eine relative Fixationsstelle. Nach seinem dorsalen Verlauf direkt auf dem Knochen im Sulcus n. radialis gelangt er zwischen dem M. brachialis und M. brachio-radialis in die Fossa cubiti. Die A. brachialis verläuft nach distal beugeseitig durch die Fossa cubitalis parallel zum N. medianus und der Begleitvenen. Der N. ulnaris hat seinen Verlauf hinter dem Epicondylus medialis humeri im Sulcus n. ulnaris.

Das Schultergelenk ist ein Kugelgelenk mit drei Bewegungsachsen:

1. Transversale Achse: Anteversion / Retroversion
2. Sagittale Achse: Abduktion / Adduktion
3. Vertikale Achse: Außenrotation / Innenrotation

**Tabelle 1: Bewegungsmöglichkeiten des Schultergelenks**

Abduktion		180 Grad
Adduktion	bei leichter Anteversion	40 Grad
Anteversion		180 Grad
Retroversion		40-50 Grad
Außenrotation	bei seitlich anliegendem Arm und 90° gebeugtem Ellenbogengelenk	60 Grad
Innenrotation	bei seitlich anliegendem Arm und 90° gebeugtem Ellenbogengelenk	90 Grad

Das Ellenbogengelenk stellt funktionell ein Scharniergelenk dar:

1. Transversale Ebene: Extension / Flexion
2. Vertikale Ebene: Pronation / Supination

**Tabelle 2: Bewegungsmöglichkeiten des Ellenbogengelenks**

Extension		0 – 15 Grad
Flexion		150 Grad
Pronation	Bei 90° Flexion im Ellenbogengelenk	90 Grad
Supination	Bei 90° Flexion im Ellenbogengelenk	90 Grad

## **1.2 Besonderheiten der Humerusschaftfrakturen und allgemeine**

### **Behandlungsprinzipien**

Die Humerusschaftfraktur ist mit ca. 1 %, bezogen auf alle Extremitätenfrakturen des Erwachsenen, eine eher seltene Verletzung. Sie beeinträchtigt die betroffenen Patienten weniger als Ober-/Unterschenkel- oder Unterarmfrakturen. Die Heilungsbedingungen sind aus biologischen und mechanischen sowie aus funktionellen Gründen günstig. Die allseitige gute Weichteil- und Muskelbedeckung gewährt eine gute Blutversorgung der Frakturfragmente. Im Vergleich zur unteren Extremität ist die mechanische, insbesondere die axiale Belastung gering. So existieren nur wenige negative Einflüsse auf die Frakturheilung, Instabilitätspsuedarthrosen sind selten. Eine häufige Begleitverletzung der Humerusschaftfraktur ist die Schädigung des N. radialis.

Schulter- und Ellenbogengelenke vermögen aufgrund ihrer guten Mobilität Achsenfehlstellungen bis zu 20 Grad auszugleichen. Verkürzungen wirken sich beim Humerus, der nicht primär das Körpergewicht zu tragen hat, wesentlich geringer als an der unteren Extremität aus.

### **1.2.1 Unfallmechanismus**

Humerusschaftfrakturen entstehen meist durch indirekte Gewalt beim Sturz auf die Hand oder das Ellenbogengelenk. Es resultieren daraus Spiralfrakturen mit und ohne Drehkeil. Seltener direkte Krafteinwirkungen verursachen Quer-, Biegungs- oder Stückfrakturen mit mehr oder weniger ausgeprägten Weichteilschäden.

### **1.2.2 Klinische und radiologische Diagnostik**

Eine instabile Fraktur ist typischerweise klinisch anhand einer Fehlstellung, Verkürzung,

abnormen Beweglichkeit und lokalen Weichteilschwellung zu erkennen. Teil der klinischen Untersuchung ist der neurologische Status insbesondere die Feststellung einer sensiblen oder motorischen N. radialis –Schädigung.

Fehlende periphere Pulse der A. radialis stellen auch beim Nachweis eines Dopplersignals eine Indikation zur Angiographie dar.

Die konventionelle Röntgenaufnahme des Humerus in 2 Ebenen mit angrenzenden Gelenken gibt normalerweise alle notwendigen Informationen zur Beurteilung der Frakturausdehnung und Stellung.

### **1.2.3 Begleitverletzungen**

Offene Frakturen sind im Bereich des Oberarms selten. Im Allgemeinen liegt die Rate unter 5%.

Die schwerwiegendste Begleitverletzung der Humerusschaftfraktur stellt die Verletzung des N. radialis dar. Je nach Patientenkollektiv beträgt der Anteil der primären (unfallbedingten) Radialisparesen bis zu 18%. Dabei finden sich die meisten Paresen naturgemäß bei Frakturen im mittleren Schaftdrittel. Eine mittlere Radialisläsion in Höhe des Oberarms führt zur Parese der Mm. extensores carpi radialis longus et brevis und zur Supinationsschwäche durch Parese des M. brachioradialis (inkomplette Fallhand). Die Sensibilität ist am radialen Handrücken, Daumen, Zeigefinger und halben Mittelfinger mit Ausnahme der dorsalseitigen Endglieder herabgesetzt.

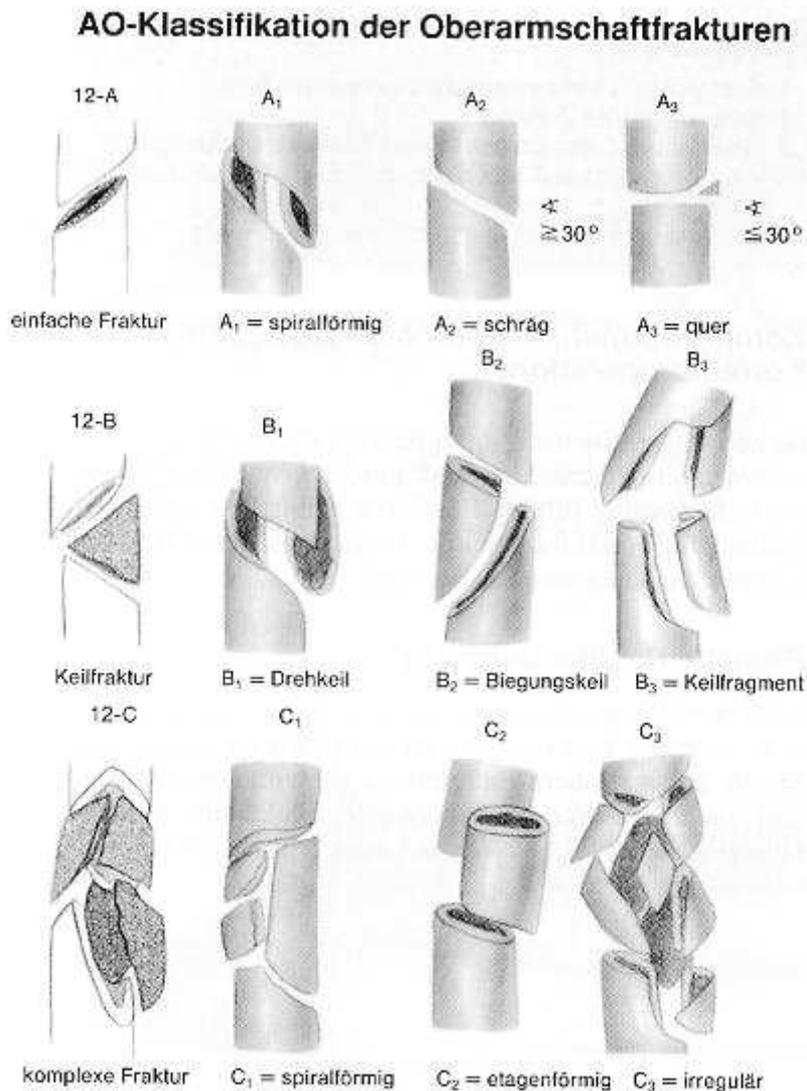
Verletzungen des N. ulnaris sind gelegentlich bei distalen Frakturen anzutreffen.

Eine Verletzung der A. brachialis ist ebenfalls selten anzutreffen und betrifft etwa 1-2% der Humerusfrakturen.

### 1.2.4 Klassifikation

Die Einteilung der Humerusschaftfrakturen erfolgt nach der AO-Klassifikation. Die einfachen Frakturtypen, Spiralfrakturen mit und ohne Drehkeil und Querfrakturen überwiegen bei weitem. Komplexe Frakturen (C-Typ) kommen selten vor.

**Abbildung 2: AO-Klassifikation nach Müller<sup>87</sup>**



### 1.2.5 Konservative Therapien

Bei stark dislozierten Frakturen erfolgt zunächst eine Reposition. Eine primäre Ruhigstellung kann durch verschiedene Methoden erreicht werden:

- Desault-Verband mit Binden oder Gips
- Gilchrist-Verband
- Oberarmgipsschiene ohne oder mit Extension  
bzw. als ‚hanging cast‘ in der Vergangenheit

Nach 2-3 Wochen, bei gering dislozierter Fraktur auch unmittelbar nach Unfallereignis, wird eine krankengymnastische Beübung gewährleistet durch Anlage einer Sarmiento-Manschette in Form von:

- Oberarmgips-Brace
- Kunststoff-Orthese (in 4 Größen für rechts oder links im Handel)

Das Prinzip des Sarmiento-Brace ist es, mit einer zirkulären, individuell angepassten breiten Kunststoffmanschette über eine gleichmäßige Weichteilkompression die Fragmente zu schienen. Ziel ist eine frühzeitige funktionelle Beübung von Schulter- und Ellenbogengelenk, die hierbei frei bleiben.

Je nach Komplexität und Lokalisation der Fraktur erfolgt die Entscheidung über die Dauer der Ruhigstellung einzelner Gelenke. Mittlere Werte über die Dauer der Ruhigstellung der Fraktur belaufen sich bei allen konservativen Behandlungsmethoden auf 6 – 8 Wochen. Radiologische Kontrollen erfolgen nach Anlage des primären Verbandes, nach Anlage des Sarmiento-Brace sowie im weiteren Verlauf nach 2, 4 und 6 Wochen.

Folgende typische Nachteile der Brace-Behandlung treten auf:

- Frakturdislokation
- Pseudarthrose
- Weichteilödem peripher
- Druckstellen

Nicht selten resultiert daraus ein Umsteigen auf eine operative Weiterbehandlung. Eine mangelnde Patientcompliance kann die Behandlung zusätzlich erschweren.

### **1.2.6 Operative Therapien**

Als operative Behandlungsmöglichkeiten stehen grundsätzlich folgende Methoden zur Verfügung:

- Plattenosteosynthese
- Verriegelungsnagelung
- Bündelnagelung
- Fixateur externe

#### 1.2.6.1 Plattenosteosynthese

Das Implantat der Wahl ist beim Humerus eine breite 4,5-mm-LC-DC-Platte, bei Patienten mit grazilerem Knochen, insbesondere Patientinnen die schmale 4,5-mm-LC-DC-Platte. Die Fixation in den beiden Hauptfragmenten sollte durch je 3 Schrauben erfolgen. Interfragmentäre Schrauben werden bei Schräg- und Spiralfrakturen notwendig. Es gilt große Vorsicht bei der Präparation, da es wegen der engen Lagebeziehung leicht zu einer Schädigung des N. radialis kommen kann. Hierbei stehen verschiedene Zugangswege zur Verfügung<sup>107</sup>:

1. der anterolaterale Zugang nach Henry (bei proximalen Frakturen)
2. der dorsale Zugang nach Henry (bei distalen Frakturen und Radialisschaden)
3. ein medialer Zugang (keine Bauchlagerung nötig).

Bei Mehrfragment- und Trümmerfrakturen ist eine sogenannte biologische Überbrückungs-Osteosynthese durchführbar, gegebenenfalls mit Plattenverankerung auf dem radialen metaphysären Pfeiler bei weit nach distal reichenden Frakturen. Problematisch kann eine Plattenosteosynthese bei fortgeschrittener Osteoporose werden.

### 1.2.6.2 Verriegelungsnagelung

Grundsätzlich stehen verschiedene Nagelsysteme zur Verfügung. Genannt seien hier der:

- Seidel-Nagel
- Ungebohrter Humerusnagel (UHN) oder AO-Nagel
- Russell-Taylor-Nagel

Alle Nägel haben in der Vergangenheit häufige Verwendung gefunden. Unterschiede finden sich in der Form, der Anzahl der Verriegelungen und der Operationsrichtung, das heißt ein Einbringen des Nagels von

- antegrad, bzw.
- retrograd.

Der Seidel-Nagel kann im Gegensatz zum AO-Nagel und Russell-Taylor-Nagel ausschließlich von antegrad eingebracht werden. Es existiert keine proximale Verriegelungsmöglichkeit, stattdessen kommt ein Aufspreizmechanismus im proximalen Humerus zum Einsatz, welcher eine Rotationsstabilität nicht immer garantieren kann. Der UHN hat an der Basis 2 Verriegelungslöcher und einen Verriegelungsschlitz, an der Spitze 3 Verriegelungslöcher, der klassische Russell-Taylor-Nagel an der Basis und Spitze je eine Verriegelungsmöglichkeit.

Bei der antegraden Marknagelung wird als Zugangsweg ein anterolateraler Hautschnitt, auf Höhe des Schultergelenks beginnend, gewählt. Der Eintrittspunkt des Nagels liegt in der Regel an der Spitze des Tuberculum majus. Zu beachten ist, dass es zu einer Verletzung der Rotatorenmanschette und der langen Bizepssehne kommen kann. Außerdem muss der Nagel proximal gut im Knochen versenkt werden, damit kein subakromiales Impingement entsteht. Unabhängig von den oben genannten Komplikationen sind häufig Einschränkungen der Schulterbeweglichkeit durch schmerzbedingte Ruhigstellung beschrieben.

Über einen Bohrdorn wird in der Regel wie beim retrograden Verfahren die Fraktur reponiert. Mit oder ohne vorangegangenes Aufbohren (letzteres z.B. beim UHN) erfolgt

das Einbringen des Marknagels. In Freihandtechnik werden die distalen Verriegelungen platziert, was nicht selten zu einer Fehllage einzelner Bolzen führen kann. Zielgeräte erweisen sich häufig als instabil.

Beim *retrograden* Zugangsweg sind weniger die Weichteile als der sich nach distal verjüngende Knochendurchmesser problematisch. Nach Spalten der Tricepssehne erfolgen in der Regel mehrere Bohrungen proximal der Fossa olecrani zur Anlage eines Knochenfensters (s. Abb. 5). Beim Einbringen des Nagels kann es in diesem Bereich zu Fissuren oder Frakturen kommen. Die distalen Verriegelungen erfolgen über ein Zielgerät. Proximal kann es in Freihandtechnik zu Fehlplatzierungen kommen. Ebenso sind Anteile des N. axillaris durch die Stichinzisionen gefährdet.

#### 1.2.6.3 Bündelnagelung

Erstmals wurde die Bündelnagelung 1959 durch Hackethal beschrieben<sup>44</sup>. In aufsteigender oder absteigender Technik werden 2-5 Bündelnägel in unterschiedlicher Technik im Knochen elastisch verklemmt. Beim retrograden Verfahren erfolgt der Zugang knapp oberhalb des Epicondylus radialis oder dorsal proximal der Fossa olecrani (s. 3.3). Problematisch ist bei ungenügender Verklemmung die Möglichkeit des Herauswanderns einzelner Bündelnägel.

#### 1.2.6.2 Fixateur externe

Die Indikation zur Verwendung eines Fixateur externe ist nur in seltenen Fällen, wie bei schweren Weichteilverletzungen, Schussfrakturen, Polytrauma und als Rückzugsverfahren bei Komplikationen nach Plattenosteosynthese oder intramedullärer Stabilisierung gegeben. Es stehen verschiedene Fixateur-Modelle in unilateraler Montage zu Verfügung. Die Pin-Insertionspunkte richten sich einerseits nach der Art und Ausdehnung des Weichteilschadens andererseits nach den neurovasculären Strukturen. Zu bevorzugen ist eine proximal anterolaterale Insertion der Schanzschen Schrauben am Vorderrand des M. deltoideus sowie distal eine tiefe posterolaterale Lage am Rand der Tricepssehne unter Berücksichtigung der Lage des N. radialis. In Einzelfällen kommt auch der Ringfixateur nach Ilizarov zum Einsatz.

### 1.3 Historischer Überblick

Die Behandlung der Humerusschaftfrakturen wird seit über 50 Jahren kontrovers diskutiert. Während einige Autoren auch heute noch die primär konservative Therapie bei geschlossenen, unkomplizierten Oberarmschaftbrüchen empfehlen<sup>39,47,59,66,88,108,122</sup>, betrachten andere Autoren diese 'nicht operative' Versorgung (s.u.) als nicht mehr zeitgemäß.

Lorenz Böhler hat 1964 in seinem Artikel 'Gegen die operative Behandlung von frischen Oberarmschaftbrüchen' einen Standard aufgestellt, der durch Studien über die funktionelle Behandlung der Humerusschaftfrakturen mittels Sarmiento-Manschette, die übereinstimmend gute Ergebnisse zeigten, bestätigt wurde. Er schrieb unter anderem: 'Der Oberarmschaftbruch ist unter allen Schaftbrüchen der langen Röhrenknochen der gutartigste. Er kann bei entsprechender Verbandtechnik von ganz seltenen Ausnahmen abgesehen, fast immer auf einfachste Weise konservativ behandelt werden. Man muss nur wissen, dass das Erzeugen einer entsprechenden Verkürzung von 1-10 mm die wichtigste Aufgabe der Knochenbruchbehandlung ist und dass zum Beispiel bei Querbrüchen Verschiebungen um volle Schaftbreite mit Verkürzung funktionell und kosmetisch belanglos sind, wenn keine nennenswerte Achsenknickung und Verdrehung besteht'<sup>15</sup>.

Jedoch zeigen sich auch bei der konservativen Behandlung, wie schon von Sarmiento selbst<sup>39,59,108,129</sup> beschrieben, Komplikationen. Im Vordergrund stehen Mazerationen und Lymphödeme der Haut unter der Kunststoffmanschette sowie verzögerte Frakturheilungen und Pseudarthrosen mit daraus resultierender langdauernder Nachbehandlung. Einschränkend ist außerdem, dass gerade die funktionelle Behandlung eine adäquate Compliance des Patienten erfordert.

Anders wird die Therapie von komplizierten Brüchen bewertet. Schon Bandi stellte in den 60iger Jahren eine Liste von klaren Indikationen zur operativen Behandlung auf. Hierzu zählte er offene Frakturen, die Querfraktur, die Mehrfragmentfraktur in Kombination mit N. radialis-Parese, die distale Humerusfraktur bei unbefriedigender Reposition sowie die Pseudarthrose. In diesen Fällen gestaltet sich eine konservative

Behandlung problematisch oder ist eine funktionelle Therapie sogar ausgeschlossen. Diese Indikationsstellung wurde vom selben Autor <sup>4</sup> in Übereinstimmung mit den Richtlinien der AO erweitert (Kettenverletzung, Polytrauma, pathologische Fraktur). Er befürwortete die anatomische Reposition sowie die übungsstabile Fixierung.

Mit der Entwicklung neuer operativer Techniken und den damit verbundenen neuen und verbesserten Therapiemöglichkeiten werden nach Durchsicht der Literatur heute immer häufiger auch einfache, isolierte Humerusfrakturen operativ versorgt <sup>5,44,67,99</sup>. Unabhängig von der gewählten Operationsmethode stellen die Frühmobilisation des Patienten sowie ein möglichst wenig traumatisches Vorgehen ohne zusätzliche Gewebs- und Knochenverletzung die Eckpfeiler der operativen Behandlung dar.

Bei der Entscheidung, welchen Einfluss das Stabilisierungsverfahren auf die Knochenbruchheilung hat, flossen auch neuere biomechanische und histologische Erkenntnisse in die Beurteilung mit ein. Nachdem viele Jahre angenommen wurde, die „absolute Stabilisierung“ der Frakturen stelle die optimale Heilungsbedingung dar, wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen demonstriert, dass interfragmentäre Mikrobewegungen die Osteogenese begünstigen <sup>21,40,44</sup>.

Lange Zeit wurde die **Plattenosteosynthese** als favorisiertes Verfahren bei großen Patientenzahlen eingesetzt <sup>8,86,88,114,133</sup>. Die Vorteile dieser Osteosyntheseform liegen in der Möglichkeit einer exakten Reposition, der frühfunktionellen Mobilisation angrenzender Gelenke sowie der Überbrückung von auch langstreckigen Defekten. Nicht unerheblich sind jedoch die Komplikationen. Das Risiko einer iatrogenen Schädigung des Nervus radialis mit über 10% <sup>88</sup>, einer Reduzierung der Vitalität von Knochenfragmenten aufgrund des zugangsbedingten Weichteiltraumas <sup>38,100</sup> sowie die Gefahr eines Schraubenausrisses in osteoporotischen Knochen dämpften die zunächst in dieses Operationsverfahren gesetzten Erwartungen. Nicht unerheblich störten auch die durch den großen operativen Zugang verursachten Narben, die neben dem kosmetischen Aspekt eine höhere Infektrate beinhalteten.

Kessler <sup>63</sup> beispielsweise sieht deshalb die Indikation zur Plattenosteosynthese neben Pseudarthrosen und pathologischen Frakturen vor allem in Defektüberbrückungen und Frakturen im proximalen und distalen Metaphysenbereich.

Ein weiteres Verfahren der operativen Versorgung am Oberarm wurde mit dem **Fixateur externe** eingesetzt, der auch heute in Ausnahmefällen indiziert ist. Dieser wird vor allem bei polytraumatisierten Patienten und/oder bei offenen Frakturen mit ausgedehnten Weichteilschäden und bei infizierten Pseudarthrosen angewandt<sup>26,41,77,134</sup>. Erste Erfahrungswerte gibt es auch mit dem Ilizarov-Fixateur bei der Behandlung von Pseudarthrosen<sup>71,89,94</sup>.

Das in jüngerer Zeit zunehmend etablierte Operationsverfahren ist die Versorgung mittels **intramedullärer Osteosynthese-Techniken**. Erste Erfahrungen wurden von den *Gebriüderu Rush* 1939<sup>42,79,106</sup> unter Verwendung eines flexiblen Pins, der vom Humeruskopf eingebracht wird, veröffentlicht. Die Stabilität war jedoch so gering, dass zusätzlich eine Verbandstechnik erfolgen musste.

Es folgte die sog. *Ender-Nagelung*, bei der die Nägel mit einer Öse zur Fixation versehen sind<sup>46</sup>. Erst durch die Bündelnagelung nach *Hackethal*<sup>5,17,28,50,51</sup>, bei der die gesamte Markhöhle mit Bündelnägeln aufgefüllt wird, konnte eine relativ stabile Fixation erreicht werden, nicht ohne die Problematik der hohen Lockerungsrate der Implantate mit Herauswandern einzelner Nägel. Wegen der einfachen Operationstechnik wird die Bündelnagelung von einigen Zentren, bei spezieller Indikationsstellung (wie z.B. pathologische Frakturen, hohes Patientenalter oder proximale Frakturen) weiterhin verwendet<sup>20,52,54,72,110,124</sup>.

Die Komplikationen bei der Bündelnagelung führten zur Weiterentwicklung von verschieden geformten elastischen und starren intramedullären Kraftträgern. Erste Erfahrungen mit einem elastischen Marknagelsystem wurden hierbei mit Implantaten wie der sogenannten *Endohelix*<sup>70</sup>, dem *Anchor-Nagel*<sup>102</sup> dem *Monachia-Nagel*<sup>63</sup> und dem *True-flex-Nagel*<sup>25,36</sup> gesammelt.. Weitere Autoren berichten über gute Ergebnisse im Rahmen der intramedullären Stabilisierung mit einem oder mehreren elastischen Nägeln<sup>64,115,132,136</sup>, wie auch mit dem AO Humerus Flex Nagel<sup>118</sup> und dem Marchetti-Vincenzi Nagel<sup>80,93,110</sup>. Als problematisch wird in der Literatur immer wieder die geringe Rotationsstabilität, insbesondere wegen der fehlenden Verriegelungsmöglichkeit angegeben.

Als neues elastisches Implantat sei ferner der sogenannte *BEHAC-Nagel* genannt, der mit einem proximalen Schleifendesign besonders bei 2-Etagenfrakturen mit proximaler

Humerusfraktur eingesetzt wird <sup>2</sup>. Ähnliche Verwendung findet der *Halder-Nagel* <sup>45</sup>. Bei beiden Nagelsystemen wird ein retrograder Zugang gewählt.

Bereits seit Anfang der 40er Jahre war von Küntscher über eine Reihe guter Ergebnisse bei der Frakturversorgung von langen Röhrenknochen mittels geschlossener Reposition und Marknagelung berichtet worden <sup>68</sup>. Die Technik der Verriegelungsnagelung - zuvor an Tibia und Femur angewandt - wurde von Hempel <sup>48</sup> auf den Humerus übertragen und von Seidel <sup>112</sup> modifiziert .

Eine Reihe verschieden geformter starrer Verriegelungsmarknägel kamen seit 1987 am Humerus zur Anwendung. Die meisten Erfahrungen liegen mit dem oben genannten *Seidel-Nagel*, welcher antegrad eingebracht wird, vor <sup>29,43,60,61,113</sup>. Nachteilig werden in der Literatur eine hohe Rate an iatrogenen Frakturen beim Einbringen des Nagels, nicht zuletzt durch Aufbohren bis 11 mm (nach Operationsanleitung von Seidel) mit Schwächung der Kortikalis, beschrieben <sup>6,104,119</sup>. Weitere Schwachpunkte sind die Gefahr der operationsbedingten Verletzung der Rotatorenmanschette oder ein postoperativ sich entwickelndes Impingement-Syndrom bei Nagelüberstand mit funktioneller oder schmerzbedingter Einschränkung der Schulterbeweglichkeit <sup>3,37,57,97,104,125,127</sup>. Durch fehlende proximale Verriegelung kann zudem die Rotationsstabilität nicht sicher gewährleistet werden. Neben dem Seidel-Nagel kam anfangs auch der unverriegelte AO-Tibianagel zum Einsatz <sup>56,82</sup>.

Zur Vermeidung dieser Komplikationen wurden grazilere Nägel entwickelt, die auch von retrograd eingebracht werden können <sup>10,76,78,84,101,117</sup>.

Hier haben sich insbesondere zwei unterschiedliche Marknagelsysteme, der *Russell-Taylor(RT)-Nagel* und der *unaufgebohrte Humerusnagel (UHN)* der AO etabliert, beide können sowohl von retrograd als auch von antegrad platziert werden. Neben der unterschiedlichen Technik des Aufbohrens, unterscheiden sich die Nägel durch die verschiedenen Möglichkeiten der dynamischen (RT-Nagel) bzw. statischen Verriegelung (UHN). Der UHN besitzt zugleich die Möglichkeit einer interfragmentären Kompression.

Verschiedene Autoren berichten über Erfahrungen mit dem von antegrad eingebrachten RT-Nagel. Als problematisch werden, wie beim Seidel-Nagel, die postoperativ verstärkt auftretenden Probleme hinsichtlich der Schulterbeweglichkeit (s.o.) angegeben<sup>1,19,23,24,49,55,58,90</sup>.

Über die Verwendung des von retrograd eingebrachten RT-Nagels gibt es bislang nur wenige Veröffentlichungen. Gute Ergebnisse zeigten beispielsweise Rommens und Blum<sup>13,101</sup> auf, die auch ihre aktuellen Erfahrungen mit dem UHN in mehreren Publikationen<sup>9,10,98</sup> zusammengestellt haben. Grundsätzliche Probleme der retrograden Nagelung sind iatrogene Frakturen beim Einbringen des Nagels und Schwierigkeiten bei der Platzierung der proximalen Verriegelungen, wie auch von folgenden Autoren beschrieben.<sup>9,12,35,83,126</sup> Eine erste Studie zeigt auch eine mögliche Kraftabschwächung im distalen Oberarm aufgrund des retrograden Zugangs auf<sup>117</sup>.

Bei der Behandlung der Pseudarthrose wird in der Literatur unterschieden nach Art der primären Versorgung. Gerade nach konservativer Therapie werden intramedulläre Verfahren mit Erfolg verwendet<sup>7,74,81,135</sup>. Bei Zustand nach operativer Therapie wird mit großer Mehrheit die Metallentfernung, Resektion der Pseudarthrose und Plattenosteosynthese, bei hypotropher Pseudarthrose in Kombination mit einer Spongiosaplastik, empfohlen<sup>16,31,32,85,103,128</sup>. Erste gute Erfahrungen zur Behandlung einer Pseudarthrose bei liegendem Verriegelungsnagel liegen auch mit dem Ilizarov-Ringfixateur vor, mit dem von außen eine zusätzliche Kompression ausgeübt werden kann<sup>89</sup>. Ansonsten findet der Fixateur bei infizierten Pseudarthrosen<sup>41</sup> aber auch bei speziellen Indikationen, wie der Osteoporose oder Situationen, die nur einen minimal invasiven Eingriff zulassen, Verwendung<sup>71,94</sup>.

Eine besondere Stellung nimmt in der Literatur die operative Versorgung von pathologischen Frakturen ein. Gerade bei diesem Krankengut herrscht Einigkeit über die guten Ergebnisse intramedullärer Kraftträger, besonders der Verriegelungsnägel<sup>27,30,49,91,92,95</sup>. In der Probephase befindet sich auch ein expandierbares Nagelsystem, was sich dem Durchmesser der Markhöhle anpasst<sup>33,34</sup>. Ausnahmesituationen sind weiterhin große knöcherne Defekte, die mit Plattenosteosynthese und Knochenzement besser zu stabilisieren sind<sup>27</sup>.

## 2. Fragestellung

Im Rahmen einer prospektiven Studie an 70 Patienten mit Humerusschaftfrakturen werden systemimmanente und operationstechnische Fehler bei der operativen Versorgung untersucht.

Ziel der Studie ist es festzustellen, ob mit einem modifizierten, von retrograd eingebrachten Russell-Taylor-Nagel und sofortiger postoperativer aktiver Beübung bessere Langzeitergebnisse, insbesondere im Hinblick auf die Behandlungsdauer und den Zeitpunkt der Arbeitsfähigkeit, im Vergleich zu den anderen etablierten Verfahren zu erzielen sind. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Funktion von Schulter- und Ellenbogengelenk gerichtet, um Vor- und Nachteile des retrograden und antegraden Zugangswegs gegenüberzustellen.

Interessiert hat uns auch, welches Patientengut bzw. welche Frakturform am meisten von der intramedullären Stabilisierung profitiert.

Eine spezielle Fragestellung ergibt sich bei der Versorgung von pathologischen Frakturen. Konnte eine schnelle Verbesserung der Lebensqualität erreicht werden? Treten bei diesem Patientengut vermehrt Komplikationen auf?

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Patienten

An der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Klinikums Darmstadt wurden im Rahmen einer prospektiven Studie an 70 Patienten in einem Zeitraum von 5 Jahren (von 2/95 bis 4/2000) die Ergebnisse nach intramedullärer Nagelung mit Russell-Taylor-Nagel überprüft.

Hierbei wurden alle in diesem Zeitraum behandelten Patienten mittels Operationsbuch und Computererfassung (über ICD- und ICPM- Schlüssel) vollständig ermittelt. Eine konservative Behandlung einer Humerusschaftfraktur wurde bei keinem Patienten durchgeführt.

Ausschlusskriterien für die Osteosynthese mit Russell-Taylor-Nagel waren offene Trümmerfrakturen, ein stark eingeschränkter Allgemeinzustand des Patienten mit nicht realisierbarer intraoperativer Bauchlagerung sowie Patienten mit einem sehr engen Humerusmarkraum.

Bei 2 Patienten erfolgte aufgrund einer drittgradig offenen Trümmerfraktur mit Radialisschädigung und erheblichen Begleitverletzungen jeweils die Behandlung mit einem Fixateur externe. Bei insgesamt 9 Patienten, bei denen eine Bauchlagerung nicht möglich war, wurde zur Stabilisierung der Fraktur eine Bündelnagelung durchgeführt. Ferner war bei 2 sehr zierlichen, weiblichen Patienten wegen der anatomischen Situation einer engen Markraumhöhle ebenfalls eine Bündelnagelung notwendig (kleinster Nagel 7 mm s.u.).

Als Implantat wurde in den ersten 21 Fällen ein Standard Russell-Taylor-Nagel, bei den übrigen Patienten (n=49, 70%) ein modifizierter, mit einem zweiten distalen Verriegelungsloch ausgestatteter Nagel verwendet. Abgesehen von 4 Patienten (mit spezieller Indikationsstellung) erfolgte das Einbringen des Nagels 66-mal von retrograd.

Die Nachuntersuchungen wurden nach 6 bis 12 Wochen sowie 12 und 24 Monate nach der Osteosynthese durchgeführt.

Bei den 6 bzw. 12 Wochen-Kontrollen wurde neben einer Röntgenkontrolle insbesondere die Funktion von Schulter- und Ellenbogengelenk untersucht.

Bei der 1 Jahresuntersuchung wurde der Score nach Kwasny <sup>69</sup> (s. Tabelle 3) angewandt, wobei hier zusätzlich subjektive Patientenangaben betreffend Funktion, Schmerz und allgemeine Zufriedenheit neben messbaren Parametern, wie Gelenkfunktion, radiologischer und neurologischer Beurteilung, in die Bewertung einfließen.

Nach 24 Monaten erfolgte die Nachuntersuchung zusätzlich mit der Fragestellung der Metallentfernung.

**Tabelle 3: Score nach Kwasny (1990)**

<b>Subjektiv</b>	seitengleich	0	<b>Neurologie</b>	keine Ausfälle/ vollständige Erholung	0
	zufrieden	1		Sensibilitätsstörung bei vorbestehender Läsion	1
	schlecht	3		Störung wie vor der Behandlung	3
<b>Schmerzen</b>	keine	0		Iatrogener Schaden	5
	Wetterfühligkeit	1			
	starke Belastung	2			
	geringe Belast.	3			
<b>Kraft</b>	seitengleich	0	<b>Röntgen</b>	achsengerechte Ausheilung	0
	bis 1/3	1		Fehlstellung bis 10°	1
	mehr als 1/3	3		Fehlstellung > 10°	2
<b>Beweglichkeit Schulter</b>	frei	0		Pseudarthrose	5
(Einschränkung)	bis 10°	1			
	bis 20°	2			
	mehr als 20°	3			
<b>Beweglichkeit Ellenbogen</b>	Extension b. 10°	1	<b>Kosmetik</b>	zufrieden	0
	Flexion bis 20°	1		kosmetisch störende Narbe	1
	Extension b. 20°	2		Fehlstellung	3
	Flexion bis 40°	2			
	Extension > 20	3			
	Flexion > 40°	3			
	Auswertung: Gesamtsumme			0 - 2 Punkte	sehr gut
				3 - 6 Punkte	gut
				7 -10 Punkte	mäßig
				> 10 Punkte	schlecht

### 3.2 Implantat

Der Russell-Taylor-Humerusverriegelungsnagel aus Stahl ist in 3 Größen; und zwar als 7 mm Vollnagel und 8 bzw. 9 mm Hohl Nagel (von der Firma Smith & Nephew Richards, D-Tuttlingen) lieferbar.

Zur Verwendung kamen die Längen 220, 240, 260 und 280 mm.

An der Nagelbasis ist das Nagelrohr um 7 Grad seiner Achse gekrümmt, zur Nagelspitze hin besteht ebenfalls eine leichte Krümmung von 2 Grad. Die Nagelspitze ist abgerundet. Der Standardnagel kann an seiner Basis nur einfach, an seiner Spitze mit Hilfe von Verriegelungsschlitzten zweifach verriegelt werden. Eine Modifizierung in Form eines zweiten Verriegelungsschlitzes distal wurde von uns nach dem 21. Patienten vorgenommen.

**Abbildung 3: Russell-Taylor-Nagel seitlich**



- Oben: Klassischer Russell-Taylor-Nagel, Größe 8 mm, 260 mm Länge, mit zusätzlichem Verriegelungsloch an der Nagelspitze  
 Unten: Modifizierter Russell-Taylor-Nagel gleicher Größe mit Zielgerät, Proximal sind beide Verriegelungsschrauben sichtbar.

**Abbildung 4: Russell-Taylor-Nagel a.p.**

- Oben: Modifizierter Russell-Taylor-Nagel, Größe 8 mm, 260 mm Länge  
 Unten: Klassischer Russell-Taylor-Nagel gleicher Größe mit proximal einer Verriegelungsmöglichkeit

### **3.3 Operationsmethode**

Nach Bauchlagerung in Allgemeinanästhesie wird der frakturierte Oberarm auf einem röntgendurchlässigen, seitlich angebrachten Armbänkchen gelagert. Das Ellenbogengelenk ist dabei zunächst auf 90° gebeugt. Eine Überprüfung der Zugangsmöglichkeiten mittels Bildwandler, wobei der gesamte Humerus inklusive Humeruskopf und Ellenbogengelenk darstellbar sein muss, schließt sich an.

Nach sterilem Abwaschen und Abdecken erfolgt eine dorsale Hautinzision am distalen Oberarm von der Olecranonspitze nach proximal von etwa 5 cm Länge mit Durchtrennung des Subcutangewebes und Spaltung der Tricepssehne in Längsrichtung sowie Darstellung der dorsalen Fläche des distalen Humerus ohne Eröffnung des Ellenbogengelenkes. Der Eintrittspunkt in die Markhöhle befindet sich im Zentrum der medialen und lateralen suprakondylären Kante und dem Dach der Fossa olecrani. Es folgen vier Bohrungen mit dem 3,5er Bohrer. Mit der oszillierenden Säge wird ein

Knochenfenster dorsal von 1x2 cm Größe gelegt (Abb. 5). Nach Eingehen mit dem Pfriem wird ein Bohrdorn unter gleichzeitigem Auffädeln der Fraktur vorgeschoben.

Die korrekte Stellung der Fraktur wird radiologisch überprüft. Es folgt ein vorsichtiges schrittweises Aufbohren des distalen Humerus, wobei die distale Kante des Knochenfensters so weit abgeschrägt und geglättet wird, dass der Nagel ohne Zwang eintreten kann.

Wir verwenden flexible Markraumborner der Firma Aesculap beginnend mit 5 mm bis gegebenenfalls 10 mm Stärke je nach Knochendurchmesser. Nach unseren Erfahrungen ist es ausreichend, auf einer Strecke von 5 cm den distalen Humerus aufzubohren, wobei grundsätzlich ein Aufbohren des Markraums zu Platzierung des Nagels nicht zwingend erforderlich ist. Nach Entfernung des Bohrdrahtes wird anhand der vorgeschobenen Strecke die Nagellänge ausgemessen. Das Einbringen des Nagels erfolgt mit aufgesetztem Zielgerät, bei den Größen 8 und 9 unter Zuhilfenahme des Führungsdrahtes. Das Ellenbogengelenk wird dazu bis auf 120 Grad flektiert. Der Nagel sollte nur unter Drehbewegungen eingeschoben werden, ein Einschlagen mit dem Hammer oder forciertes Hebeln muss vermieden werden. Zur Verhinderung von Irritationen des Ellenbogengelenks muss der Nagel im Knochenfenster komplett versenkt werden.

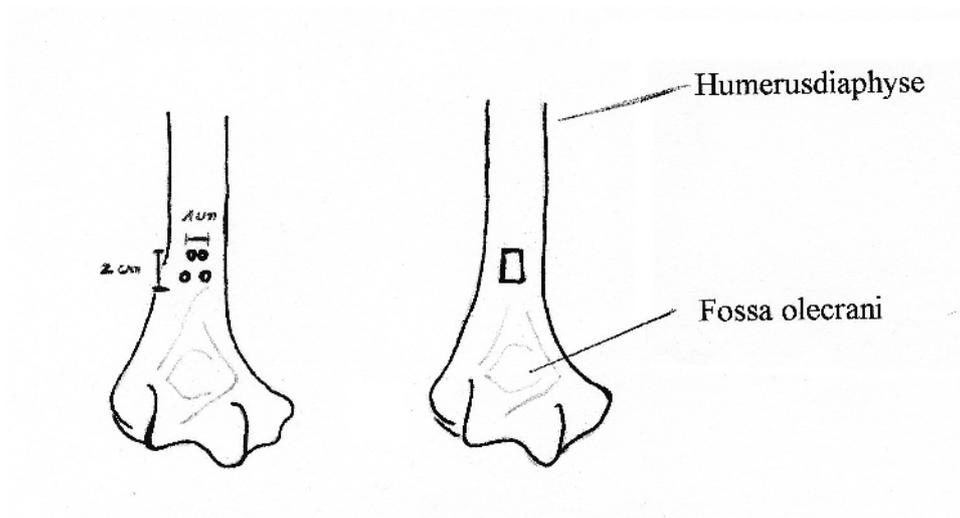
Über ein Zielgerät erfolgen eine bzw. nach Einführung des modifizierten Nagels zwei distale Verriegelungen. Wir erreichten damit eine bessere Rotationsstabilität und Nagelführung bei weit nach distal reichenden Frakturen. Bei dem Original Russell-Taylor-Nagel stellte sich heraus, dass häufig durch das dorsale Knochenfenster des Zugangs nur eine monokortikale Verriegelung möglich war. Aus diesem Grund verwenden wir einen mit einem zusätzlichen distalen Verriegelungsloch ausgestatteten Nagel.

In Freihandtechnik wird die proximale Verriegelung durchgeführt. Der von uns verwendete Nagel weist ein Langloch auf, das den Vorteil bietet, den Verriegelungsbolzen auch schräg nach distal platzieren zu können, ohne die Gelenkfläche zu tangieren, um eine bessere kortikale Verankerung zu gewährleisten.

Es schließt sich eine Kontrolle mit dem Bildwandler in beiden Ebenen an. Vor dem schichtweisen Wundverschluß werden distal 2 Drainagen subfascial und subcutan eingelegt.

Die Ruhigstellung wird mit Hilfe eines Gilchristverbandes gewährleistet, welcher noch im Operationssaal angelegt wird.

**Abbildung 5: Distaler Humerusknochen, Zugangsweg**



4 Einzelbohrungen

ausgesägtes Knochenfenster  
2x1 cm groß

## 4. Ergebnisse

70 Patienten mit Humerusschaftfrakturen wurden im Rahmen einer prospektiven Studie in einem 5-Jahreszeitraum mit einem Russell-Taylor-Nagel osteosynthetisch stabilisiert und regelmäßig klinisch und radiologisch kontrolliert.

### 4.1 Epidemiologische Auswertungen

#### 4.1.1 Altersdurchschnitt, Geschlechterverteilung und Frakturseite

Der Altersdurchschnitt betrug 54,2 Jahre, wobei der jüngste Patient 16, der älteste 85 Jahre alt war. Die Geschlechterverteilung verhielt sich männlich 39 zu weiblich 31.

Die rechte und linke Oberarm-Seite waren zu gleichen Teilen, nämlich mit jeweils 35, vertreten.

**Tabelle 4: Patientengut**

Untersuchungszeitraum	2/1995 bis 4/2000
Anzahl der Patienten	70
Modifizierter/klassischer Russell-Taylor-Nagel	49/21
Retrograd/antegrad	66/4
Durchschnittsalter	54,2 Jahre (16-85 Jahre)
Geschlecht	m 39/w 31
Oberarmseite	re 35/li 35

#### 4.1.2 Begleiterkrankungen und Risikofaktoren

An Begleiterkrankungen bzw. Risikofaktoren stellten wir bei 3 Patienten einen Diabetes mellitus, bei 3 eine koronare Herzkrankheit (KHK), bei 2 Herzrhythmusstörungen fest. Weitere 2 Patienten litten unter einer chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COL), 2 unter einer fortgeschrittenen Leberzirrhose bei Alkoholabusus, und bei 2 Patienten bestand eine schwere Osteoporose. Weitere Nebendiagnosen waren eine Epilepsie, eine HIV-Infektion und eine Adipositas permagna mit gleichzeitiger Scabies.

Bezüglich der Risikoerfassung erfolgte eine Einteilung nach der ASA-Klassifikation.

Entsprechend den Nebenerkrankungen und der Ausbreitung des Tumorleidens (bei den pathologischen Frakturen) bzw. der Begleitverletzungen der Patienten konnten wir eine Einteilung nach ASA1 bei 40., ASA 2 bei 22 und ASA 3 bei 8 Patienten vornehmen.

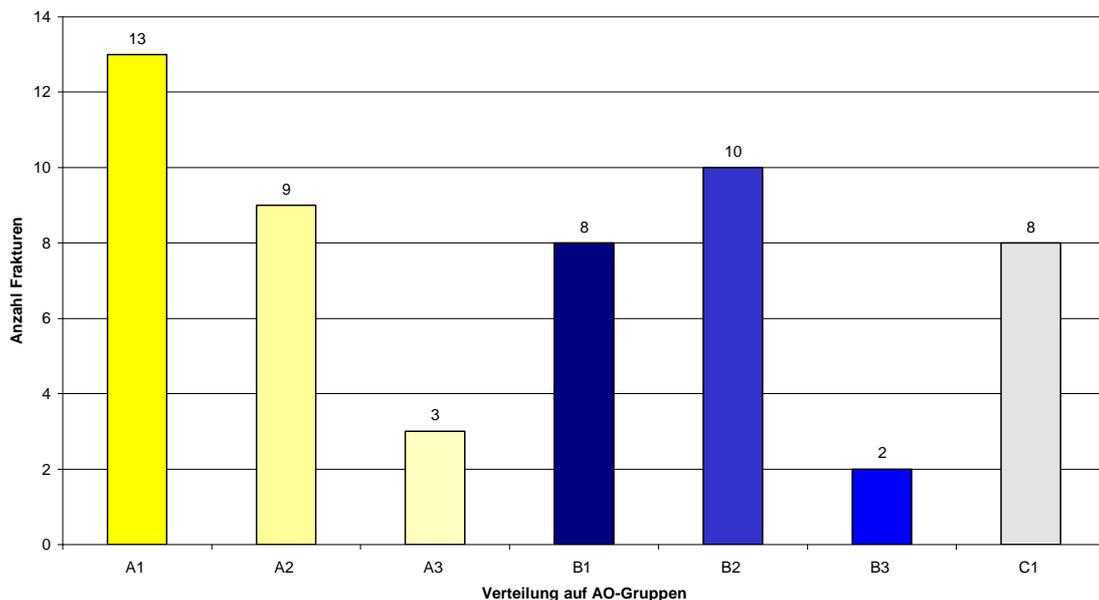
**Tabelle 5: Risiko-Klassifikation nach ASA**

Risikogruppe	Klinischer Status
1	Normaler, gesunder Patient
2	Patient mit leichter Allgemeinerkrankung
3	Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung und Leistungsminderung
4	Patient mit inaktivierender Allgemeinerkrankung, die eine ständige Lebensbedrohung darstellt
5	Moribunder Patient, von dem nicht erwartet wird, dass er die nächsten 24 Stunden überlebt

#### 4.1.3 Fraktureinteilung

Die Fraktureinteilung erfolgte nach AO mit 25 A, 20 B, 8 C und 17 pathologischen Frakturen (s. Abbildung 2). Hierbei zeigten sich folgende Untergruppierungen: A1 13, A2 9, A3 3, B1 8, B2 10, B3 2 und C1 8; Frakturen vom C2 und C3 Typ waren nicht vertreten (s. Diagramm 1). Es zeigte sich somit ein Schwerpunkt bei den leichteren Frakturen (A1, B1, C1 und A2, B2).

**Diagramm 1: AO-Klassifikation**



Wir behandelten neben den 17 pathologischen 52 frische Frakturen und eine verzögerte Knochenbruchheilung bei Zustand nach Bündelnagelung 5 Monate zuvor (in einem anderen Krankenhaus).

Insgesamt handelte es sich um 68 geschlossene (über 90 % Grad 0) sowie eine erstgradig offene und eine zweitgradig offene Fraktur nach der Klassifikation nach Tscherne und Oestern (s. Tabelle 6). Bei 3 Patienten zeigten sich außerdem eine Verletzung im Bereich des Olecranon, d.h. eine oberflächliche Schürfung, eine Risswunde mit Bursaverletzung sowie eine offene Ellenbogenluxation.

**Tabelle 6: Klassifikation der Frakturen mit Weichteilschaden nach Tscherne und Oestern**

Geschlossene Frakturen (Grad 0-III)

0	Keine oder unbedeutende Weichteilverletzung, indirekte Gewalteinwirkung, einfache Frakturform
I	Oberflächliche Schürfung oder Kontusion durch Fragmentdruck von innen, einfache bis mittelschwere Frakturform
II	Tiefe kontaminierte Schürfung oder Kontusion durch direkte Gewalteinwirkung, drohendes Kompartmentsyndrom, mittelschwere bis schwere Frakturform
III	Ausgedehnte Hautkontusion, -quetschung oder Zerstörung der Muskulatur, subcutanes Decollement, manifestes Kompartmentsyndrom, Verletzung eines Hauptgefäßes, schwere Frakturform

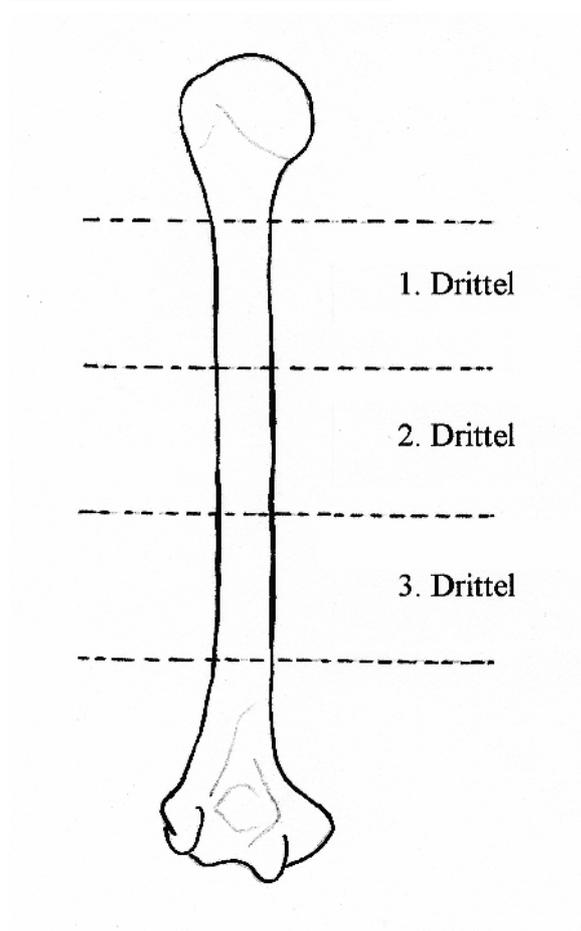
Offene Frakturen (Grad I-IV)

I	Durchspießung der Haut, unbedeutende Kontamination, einfache Frakturform
II	Durchtrennung der Haut, umschriebene Haut- und Weichteilkontusion, mittelschwere Kontamination, alle Frakturformen
III	Ausgedehnte Weichteildestruktion, häufig Gefäß- und Nervenverletzung, starke Wundkontamination, ausgedehnte Knochenzertrümmerung
IV	Subtotale und totale Amputation

Einen präoperativen motorischen Radialisschaden stellten wir bei keinem Patienten fest. In 2 Fällen zeigten sich allerdings sensible Ausfälle im Sinne von Parästhesien in den Fingern D1-D3. Bei einem polytraumatisierten Patienten konnte eine primäre Radialisläsion nicht ausgeschlossen werden.

Zur Lokalisation der Fraktur entschieden wir uns für eine Einteilung des Humerusschaftes in 3 Drittel, beginnend subcapital und bis supracondylär reichend. Es resultierte eine Verteilung von 10 proximalen, 41 mittleren und 2 distalen Schaftfrakturen, wobei sich zusätzlich 11 Frakturen über das proximale und mittlere Drittel und 6 Frakturen über das mittlere und distale Drittel erstreckten. Somit waren insgesamt 58 Frakturen (83%) auf das mittlere Schaftdrittel zu lokalisieren.

**Abbildung 6: Frakturlokalisierung**



Einteilung der Frakturlokalisierung im Schaftbereich: proximales (1), mittleres (2) und distales (3) Drittel

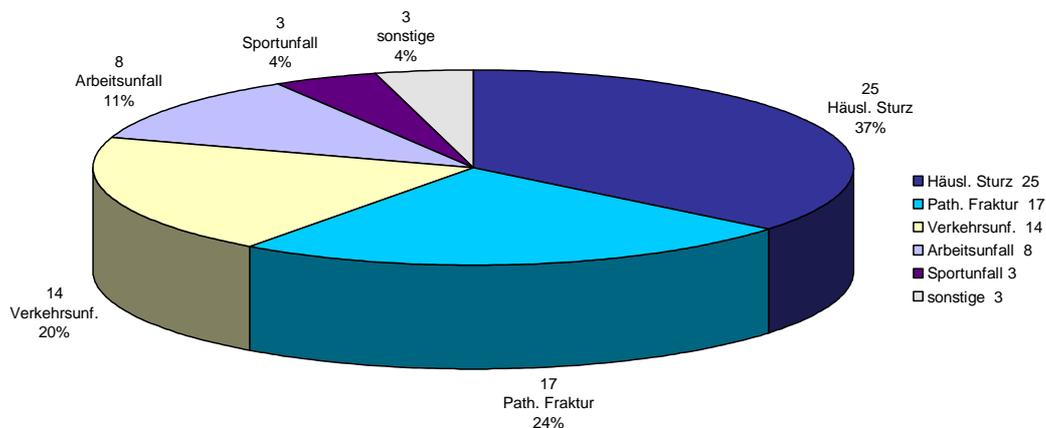
Bei den pathologischen Frakturen (n=17) fanden sich bezüglich des Primärtumors folgende Verteilungen: Prostatacarcinom 5, Bronchialcarcinom 3, Plasmozytom 3, Mammacarcinom 2, Adenocarcinom unklarer Lokalisation (CUP) 2, Ösophagus- und Oropharynxcarcinom je 1 (s. Tabelle 7).

**Tabelle 7: Pathologische Frakturen (n=17)**

Prostatacarcinom	5
Bronchialcarcinom	3
Plasmozytom	3
Mammacarcinom	2
Adenocarcinom	2
Ösophaguscarcinom	1
Oropharynxcarcinom	1

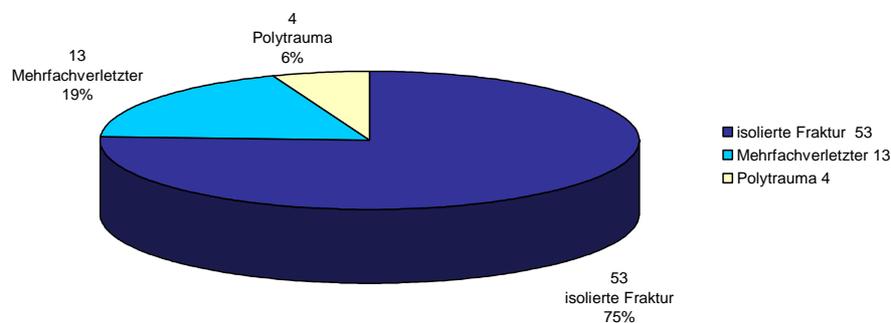
#### 4.1.4 Unfallursache und Begleitverletzungen

Vom Unfallmechanismus sahen wir neben den 17 (24,3%) pathologischen Frakturen 25 (35,7%) Stürze im Haus oder Garten. 14 (20%) Patienten erlitten einen Verkehrsunfall, davon einer als Fußgänger, einer als Motorradfahrer, 2 mit dem Fahrrad und 10 mit dem Pkw. 8 (11,4%) Patienten verletzten sich im Rahmen eines Arbeitsunfalls, wobei in 3 Fällen ebenfalls ein PKW-Unfall zugrunde lag. Ein Sportunfall lag bei 3 (4,3%) Patienten vor (beim Drachenfliegen, Schlittschuhlaufen und Fußballspielen). Die übrigen 3 (4,3%) Frakturen entstanden zweimal durch ein Bagateltrauma (bei Osteoporose und bei Zustand nach Schlüssellochplastik) und nach Sturz durch einen epileptischen Krampfanfall.

**Diagramm 2: Unfallmechanismus**

Als Verletzungsfolgen zeigten sich bei 53 (76%) Patienten isolierte Frakturen (inklusive der pathologischen Frakturen), 13 (18%) Mehrfachverletzungen und 4 (6%) Polytraumata (s. Diagramm 3). Besonders bei den Verkehrsunfällen und Arbeitsunfällen (zusammen 31%) traten die Mehrfachverletzungen und Polytraumata auf, während bei den häuslichen Stürzen die isolierte Fraktur dominierte.

Diagramm 3: Verletzungsfolgen



Zwei Unterarmfrakturen waren jeweils auf der Gegenseite lokalisiert, bei 4 Radiusfrakturen waren je zwei auf der gleichen und auf der Gegenseite. Desweiteren fanden sich eine Schulterluxation, eine subcapitale Humerusfraktur, eine zweitgradig offene Ellenbogenluxation und eine MHK-2 und 3 Fraktur auf der gleichen Seite sowie eine Claviculafraktur, eine transcondyläre Humerusfraktur mit Olecranonfraktur und 2 Scaphoidfrakturen auf der Gegenseite. Im Bereich der unteren Extremität stellten wir eine vordere Beckenring-, eine pathologische subtrocantäre Femur-, zwei Femurschaft-, eine Patella-, eine Unterschenkel- und eine Calcaneusfraktur fest. Eine Schädelprellung bzw. Commotio lag bei 4 Patienten vor.

Speziell bei den 4 polytraumatisierten Patienten zeigten sich in 2 Fällen Schädelhirntraumata mit Felsenbeinfrakturen beidseits bzw. Schädelimppressionsfraktur. Dabei musste bei einer Patientin eine Lungenkontusion beidseits, Unterarmfraktur und Querfortsatzfraktur HWK-2 behandelt werden. Bei dem anderen Patienten bestanden eine Schulterluxation, eine zweitgradig offene Unterarmfraktur sowie Scaphoidfraktur. Ein Patient hatte sich eine Leberruptur und Femurschaftfraktur sowie Kniebinnenschaden, ein weiterer eine Rippenserienfraktur mit Lungenkontusion bds. und eine Unterschenkelfraktur zugezogen.

Anhand der Tabelle 8 sind sämtliche Begleitverletzungen mit Dokumentation der Seite und operativer bzw. konservativer Therapie zusammengestellt.

**Tabelle 8 Begleitverletzungen**

<u>Diagnose</u>	<u>Gesamt/Operation</u>		<u>Gleiche Seite/Operation</u>	
Distale Radiusfraktur 2	4	2		2
Distale Unterarmfraktur	2	2	2	2
Schulterluxation	1		1	
Subcapitale Humerusfraktur	1	1	1	1
Claviculafraktur	1	1		
Transcondyläre Humerusfraktur mit Olecranonfraktur	1	1		
Zweitgradig offene Ellenbogenluxation	1	1	1	
Scaphoidfraktur	2			
MHK-2 und 3-Fraktur	1	1	1	
Vordere Beckenringfraktur	1		1	
Sacrumfraktur	1			
Patholog. subtrochantäre Femurfraktur	1	1	1	1
Femurschaftfraktur	2	2	1	1
Kniebinnenschaden	1		1	
Patellafraktur	1			
Unterschenkelfraktur	1	1	1	1
Calcaneusfraktur	1			
Schnitt-/Platzwunde Gesicht	4			
Multiple Prellungen/Schürfungen		3		
Bursa olecrani-Verletzung	2	2	1	1
Bursa praepatellaris-Verletzung	1	1		
Schädelprellung/unkomplizierte Commotio	4			
Schädelhirntrauma mit Fraktur	2			
Querfortsatzfraktur HWK 2	1			
Lungenkontusion	3		1	
Rippenserienfraktur	1			
Leberruptur	1	1		

## 4.2 Intraoperative Befunde

### 4.2.1 Operationszeitpunkt, -dauer und Röntgenzeit

Der mittlere Operationszeitpunkt lag innerhalb der ersten 48 Stunden nach Unfall bzw. stationärer Aufnahme. Der späteste Operationstermin war dabei 6 Tage nach dem Unfall. 10 (14,3%) Patienten, inklusive der beiden mit offenen Frakturen, wurden innerhalb der ersten 12 Stunden, 21 (30%) Patienten bis 48 Stunden nach der stationären Aufnahme operiert.

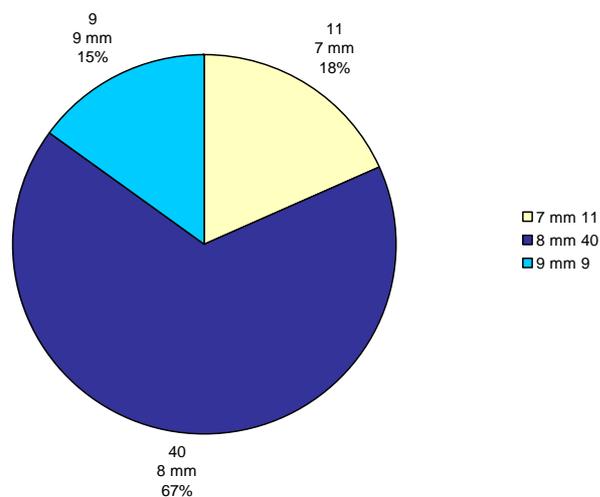
Die durchschnittliche Operationsdauer betrug 76,5 Minuten, bei einer Variationsbreite von 50-135 Minuten. Die Röntgendauer belief sich im Durchschnitt auf 3,95 Minuten (1-12,6).

Die Operationen wurden von 7 verschiedenen Operateuren durchgeführt.

### 4.2.2 Nageldurchmesser, Nagellänge und Verriegelungen

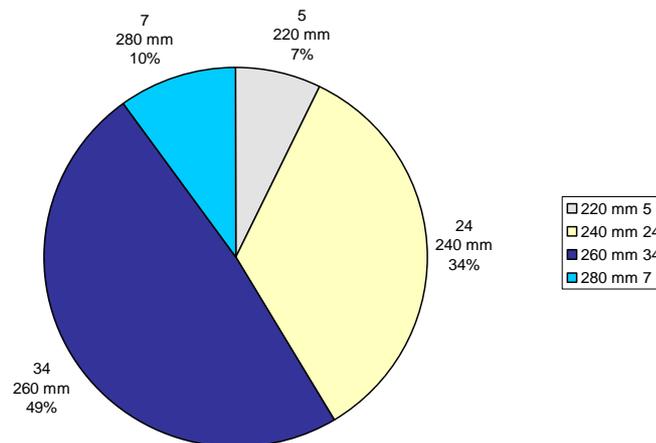
11 (15,7%) Patienten erhielten den 7 mm Nagel, 40 (57,1%) den 8 mm Nagel und 19 (27,2%) den 9 mm Nagel (s. Diagramm 3).

Diagramm 4: Nageldurchmesser (mm)



Zur Verwendung kamen die Längen 220 mm (5=7,1%), 240 mm (24=34,3%), 260 mm (34=48,6%) und 280 mm (7=10%) mm (s. Diagramm 4).

Diagramm 5: Nagellänge (mm)



Von den 70 verwendeten Russell-Taylor-Nägeln wurden 66 von retrograd, 4 von antegrad eingebracht. Bei 3 Patienten handelte es sich um weit nach proximal reichende Frakturen, bei denen eine exakte geschlossene Reposition und Fixierung im Humeruskopf nur über einen antegraden Zugang zu erreichen war. Eine ganz distale Fraktur drohte beim retrograden Einbringen des Nagels zu dislozieren. Über die geschlossene Reposition und das Einbringen des Nagels über den Schulterzugang ließ sich eine regelrechte Frakturstellung (durch 2 Operationen, s. Fallbeispiel Nr. 29) erreichen.

Ab dem 22. Patienten kam unser modifizierter Nagel zu Verwendung, so dass bei insgesamt 47 Patienten 3 Verriegelungen durchgeführt wurden. Bei einem antegrad eingebrachten Nagel wurde proximal auf die 2. Verriegelung verzichtet. Bei einem Patienten kam es zu einem Gewindeausbruch der distalen Verriegelung, so dass hier nur eine Verriegelung möglich war.

### 4.2.3 Begleitverletzungen und intraoperativer Blutverlust

Bei 10 (14,3%) Patienten erfolgte zusätzlich (während der gleichen Narkose) eine Operation aufgrund einer weiteren Verletzung, wobei insbesondere Unterarm- bzw. distale Radiusfrakturen osteosynthetisch versorgt wurden. So wurde bei 3 Patienten die Anlage eines Fixateur externe (2 auf der gleichen Seite) und bei einem Patienten eine Plattenosteosynthese durchgeführt. Bei einer Operation erfolgte nach Ellenbogenluxation eine Refixation des ulnaren Seitenbandes auf der betroffenen Seite, ein weiterer Patient erhielt zunächst einen Verfahrenswechsel mit Entfernung von Bündelnägeln. Bei einer Patientin wurde die gleichseitige Bursa olecrani, nach traumatischer Verletzung, entfernt. Ein weiterer Patient erhielt durch die intramedulläre Nagelung gleichzeitig eine Stabilisierung der subcapitalen Humerusfraktur (indem der Nagel weit nach proximal vorgeschoben wurde).

Weitere Operationen waren eine Tracheotomie und eine Burssektomie am Knie nach Risswunde mit Bursaverletzung. Bei einem Patienten mit verzögerter Knochenbruchheilung 5 Monate nach Oberarmfraktur, der ebenfalls einen Russell-Taylor-Nagel erhielt, wurde in gleicher Sitzung ein ausgedehnter Verfahrenswechsel nach Oberschenkelfraktur durchgeführt. Bei bestehender Valgusfehlstellung wurde der liegende UFN entfernt, eine Korrekturosteotomie durchgeführt und mit einem AO-Verriegelungsnagel stabilisiert. Die Operationszeiten für die begleitenden größeren Operationen wurden herausgerechnet.

Insgesamt 14 (20%) Patienten wurden zusätzlich wegen mindestens einer Begleitverletzung operiert, davon 7 Patienten zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt in einer 2. Operation. Außerdem erhielten weitere 12 (17,1%) Patienten eine begleitende konservative Therapie einer oder mehrerer Begleitverletzungen.

Der intraoperative Blutverlust betrug im Durchschnitt 266 ml. Der höchste Blutverlust (1000 ml) entstand bei einer Patientin mit einer iatrogenen distalen Fraktur, die mit Plattenosteosynthese zusätzlich zum Russell-Taylor-Nagel versorgt wurde. Ein weiterer hoher Blutverlust (800 ml) ergab sich bei einem polytraumatisierten Patienten, bei dem zunächst die Metallentfernung der Bündelnägel erfolgte. Bei 11 (16%) Patienten zeigte sich ein intraoperativer Blutverlust von unter 100 ml.

#### **4.2.4 Intraoperative Komplikationen**

An intraoperativen Komplikationen sahen wir insgesamt 4 (5,7%) distale iatrogene Frakturen, die eine zusätzliche Plattenosteosynthese zur Stabilisierung erforderten.

- Dabei waren 2 iatrogene Frakturen innerhalb der ersten 9 operierten Patienten anzutreffen. Im ersten Fall handelte es sich um eine proximale Schaftfraktur, nach AO-Klassifikation eine B1-Fraktur. Im zweiten Fall bestand eine B2-Fraktur, die weit nach distal reichte.
- Bei einem Patienten mit pathologischer Fraktur lag, radiologisch vorher nicht zu erkennen, eine Ausdehnung der Osteolysen bis weit nach distal vor. Beim Einbringen des Nagels gab der Knochen daher distal im Bereich der zusätzlichen Metastasierung nach.
- Bei einer weiteren Patientin lagen wegen einer Adipositas permagna erschwerte Operationsbedingungen vor. Es zeigte sich eine lange, proximal beginnende A1-Spiralfraktur.

Zusätzlich entstanden 6 (8,6%) distale Fissuren, die jedoch keinerlei therapeutische Konsequenz hatten.

- Bei 4 Patienten wurde diese durch Einbringen des Nagels, bei 2 Patienten beim Einbringen der distalen Verriegelung hervorgerufen. Die Mehrzahl der Fissuren (4) trat im ersten Drittel des Patientenguts auf, was auf die Eingewöhnungsphase der neuen Operationsmethode zurückzuführen war („learning curve“).

#### **4.3 Postoperative Befunde**

##### **4.3.1 Stationäre Nachbehandlung (Krankengymnastik, Blutverlust, Röntgen)**

Unmittelbar postoperativ wurde 68 (97%) von 70 Patienten ein Gilchrist-Verband zur kurzfristigen Ruhigstellung angelegt. In 2 Fällen wurde eine Ruhigstellung mit Oberarmgipsschiene notwendig (der eine aufgrund einer intraoperativen distalen Fraktur, welche mit einer zusätzlichen Platte versorgt wurde und der andere nach offener Ellenbogenluxation und Refixation des ulnaren Seitenbandes).

Zwischen dem 2. und 4. postoperativen Tag wurde der Gilchrist-Verband tagsüber entfernt und mit aktiver und passiver Krankengymnastik unter Vermeidung der Rotationsbewegungen begonnen. Zuvor erfolgte – in der Regel am 2. postoperativen Tag - die Entfernung der Redondrainagen.

Der durchschnittliche postoperative Blutverlust über die Drainagen betrug 153 ml. Eine Bluttransfusion von bis zu 9 Erythrocytenkonzentraten wurde bei 8 Patienten notwendig. Ursache waren entweder schlechte Ausgangsblutwerte im Rahmen der malignen Vorerkrankung (4) oder Gerinnungsstörungen beim polytraumatisiertem Patienten (3). Bei einem Patienten kam es bei Osteosynthese aufgrund einer verzögerten Knochenbruchheilung intraoperativ zur verstärkten Blutung, wobei während der gleichen Operation auch noch eine Reosteosynthese bei Zustand nach Femurschaftfraktur (s.o.) durchgeführt wurde.

Zwischen dem 2. und 4. postoperativem Tag führten wir routinemäßig eine Röntgenkontrolle des Oberarmes in 2 Ebenen mit den angrenzenden Gelenken durch. Bei 69 Patienten (98,6%) konnte dabei eine achsengerechte Stellung (Abweichung nicht größer als 5 Grad) der Fraktur mit regelrechter Implantatlage nachgewiesen werden. Bei einem Patienten stellte sich eine Frakturdehiszenz von 11 mm bei gleichzeitig bestehenden Innenrotationsfehler dar (s. Fallbeispiel Nr. 29).

#### **4.3.2 Aufenthaltsdauer**

Die durchschnittliche stationäre Aufenthaltsdauer betrug 16,67 Tage. Die kürzeste Zeit belief sich auf 7 Tage, die längste auf 50 Tage. 47 (67,1%) der Patienten konnten nach spätestens 18 Tagen entlassen werden. Verlängerte Aufenthaltszeiten ergaben sich nach den oben genannten Komplikationen, aber auch aufgrund der Begleitverletzungen, die eine krankengymnastische Mobilisierung verzögerte. Insgesamt 14 (20%) Patienten wurden zusätzlich wegen einer oder mehrerer Begleitverletzungen operiert, 12 Patienten erhielten eine begleitende konservative Therapie.

Ergebnisse bezüglich der Schulter- und Ellenbogengelenksfunktion zum Entlassungszeitpunkt konnten nicht ausgewertet werden wegen schlechter Dokumentation (etwa 70% fehlende Angaben).

#### **4.3.3 Frühkomplikationen**

Als Frühkomplikationen wurden alle während des stationären Aufenthaltes entstandenen intraoperativen und postoperativen Abweichungen vom normalen Heilungsverlauf bezeichnet.

##### 4.3.3.1 Frakturstellung

Bei 3 Patienten kam es im postoperativen Verlauf zu einer Fehlstellung oder Dislokation der Fraktur bzw. des Implantats:

- Bei einem Patienten zeigte sich unmittelbar postoperativ eine Frakturdehiszenz von 11 mm bei computertomographisch bestätigtem Innenrotationsfehler (7 Grad) und Varusfehlstellung. Es wurde eine Korrektur des Nagels mit offener Reposition und zusätzlichem Anbringen einer Cerclage (Fallbeispiel Nr. 29) durchgeführt.
- Bei einem weiteren Patienten kam es nach krankengymnastischer Beübung und vorbestehender Osteoporose zu einem proximalen Nagelausbruch. Es erfolgte eine Reposition über einen Schulterzugang und zusätzliche Osteosynthese mit Kleeblattplatte.
- Bei einer Patientin führte die krankengymnastische Beübung 3 Wochen postoperativ zu einem Plattenausbruch bei Zustand nach intraoperativer distaler Fraktur. Die Nagellage und Stellung der Humerusschaftfraktur war unverändert korrekt. Es erfolgte eine Plattenreosteosynthese.

Der weitere Verlauf war in allen 3 Fällen klinisch und radiologisch unauffällig. Nach erneuter kurzzeitiger Ruhigstellung im Gilchrist-Verband erfolgte die krankengymnastische Beübung. Die Patientin mit Plattenreosteosynthese erhielt zunächst eine Oberarmgipsschiene, aus der geführte krankengymnastische Bewegungen erlaubt waren.

##### 4.3.3.2 Wundheilung und Weichteilschwellung

Bezüglich des Weichteilbefundes kam es bei 7 Patienten zu Spannungsblasen sowohl im Wundbereich als auch auf Höhe der Frakturzone, wobei fünfmal bereits präoperativ ein Weichteilschaden Grad 1 vorlag. Einmal zeigte sich dieser Befund in Kombination mit einem starken Lymphödem. Bei einem weiteren Patienten trat eine reversible Rötung auf.

Einer der Patienten mit Spannungsblasen entwickelte eine Bursitis olecrani und einen Wundinfekt (mit positivem *Staphylococcus aureus*-Nachweis), der revidiert werden musste. Der weitere Verlauf war komplikationslos. Eine Osteitis trat in keinem Fall auf.

Bei den übrigen Patienten bildeten sich Schwellung und/oder Spannungsblasen unter konservativer Therapie vollständig zurück.

#### 4.3.3.3 Radialisschädigung

Eine sekundäre Radialisparese sahen wir bei 4 bzw. 5 (5,7%) Patienten. Bei einer Patientin waren bereits präoperativ Parästhesien vorhanden, bei einem anderen Patienten lag möglicherweise auch posttraumatisch bereits eine Radialisparese vor, konnte aufgrund der ausgedehnten Begleitverletzungen bei Polytrauma aber nicht überprüft werden. In einem Fall bildete sich die Radialisschwäche bis zur Entlassung bereits vollständig, in einem anderen unvollständig zurück. Demnach lagen bei 3 (4,3%) Patienten zum Entlassungszeitpunkt noch komplette Radialisparesen vor.

### 4.4 Nachuntersuchungen

#### 4.4.1 Untersuchungsergebnisse nach 6 bis 12 Wochen

53 (76%) Patienten konnten nach 6 bis 12 Wochen nachuntersucht werden. Der mittlere Untersuchungszeitpunkt lag bei 7,4 Wochen. 9 Patienten, davon 8 mit pathologischen Frakturen und einer nach einem Polytrauma waren innerhalb der ersten 12 Wochen bereits verstorben.

##### 4.4.1.1 Beweglichkeit von Schulter- und Ellenbogengelenk

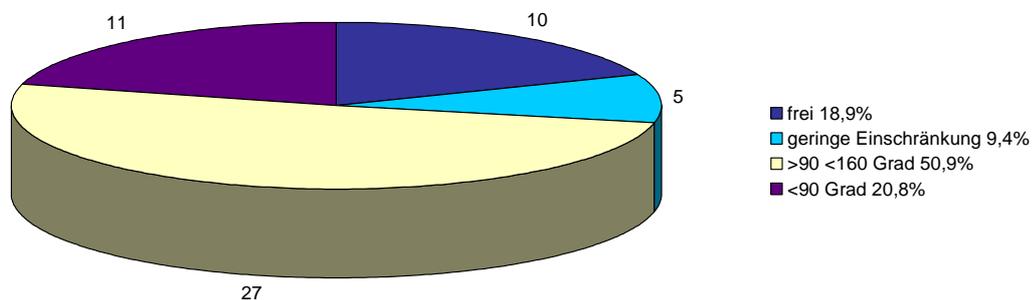
Bezüglich der Beweglichkeit von Schulter- und Ellenbogengelenk stellten wir folgende Ergebnisse fest:

1. 80 % der Patienten zeigten eine *Schulterbeweglichkeit*, die mindestens eine aktive Abduktion und Anteversion von 90 Grad zuließ. Im Einzelnen konnten 10 (18,9%)

Patienten ihre Schulter frei und 5 (9,4%) mit einem geringen Defizit im Seitenvergleich bewegen.

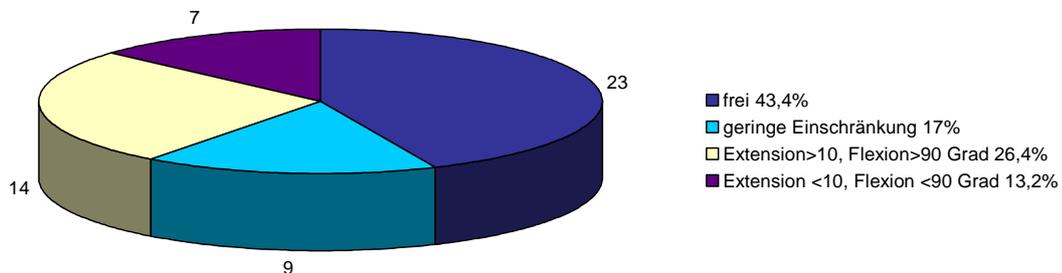
27 (50,9%) Patienten lagen mit den Bewegungsausmaßen zwischen 90 und 160 Grad sowohl was die Anteversion als auch was die Abduktion betraf. Einschränkungen der Rotationsbewegung waren nur unvollständig dokumentiert.

Diagramm 6: Beweglichkeit Schultergelenk



2. Das *Ellenbogengelenk* war bei 23 (43,4%) Patienten frei beweglich. Bei 9 (17,0%) Patienten zeigte sich eine geringe endgradige Bewegungseinschränkung, bei 14 (26,4%) ließ sich eine Beweglichkeit von Extension größer oder gleich 10 Grad und Flexion von mindestens 90 Grad feststellen. Demnach resultierte bei 86,8 % der Patienten bereits eine gute Beweglichkeit.

Diagramm 7: Beweglichkeit Ellenbogengelenk



3. Eine freie Beweglichkeit im *Schulter- und Ellenbogengelenk* innerhalb der ersten 12 Wochen (4 bis 12 Wochen) konnten wir bei 11 Patienten (15,7%) feststellen. Dabei lag der mittlere Zeitpunkt der freien Beweglichkeit bei 8,5 Wochen. Das Durchschnittsalter belief sich auf 31,2 Jahre (von 17 bis 47). Die Dauer der Arbeitsunfähigkeit bei diesen Patienten variierte zwischen 6 und 14 Wochen. Der mittlere Wert lag bei 10 Wochen. Die übrigen Patienten waren entweder nicht mehr im arbeitsfähigen Alter oder es fehlten die Angaben zur Arbeitsfähigkeit, da die Dokumentation darüber insbesondere die Patienten mit Zustand nach Arbeitsunfall erfasste.

4. Die 4 Patienten mit *antegrader Nagelung* zeigten uneinheitliche Ergebnisse:

- Ein junger Patient (22 Jahre) hatte bereits nach 7 Wochen eine freie Schulterbeweglichkeit und eine endgradige Bewegungseinschränkung im Ellenbogengelenk bei weit distal verlaufender Fraktur.
- Zwei Patienten (76 und 25 Jahre alt) zeigten noch eine deutliche Bewegungseinschränkung im Schultergelenk mit einer Abduktion von 80 Grad und einer Anteversion von 80 bzw. 90 Grad. Die Ellenbogengelenke waren beide nahezu frei beweglich. In beiden Fällen war die Fraktur proximal lokalisiert.
- Von einer Patientin existierten zum Untersuchungszeitpunkt keine Daten.

5. Bei dem Patienten mit verzögerter Knochenbruchheilung war nach 16 Wochen eine freie Beweglichkeit im Ellenbogengelenk anzutreffen. Das Schultergelenk zeigte präoperativ eine eingeschränkte Beweglichkeit mit Abduktion von 50 und Anteversion von 60 Grad, zu diesem Untersuchungszeitpunkt lag die Abduktion bei 90, die Anteversion bei 160 Grad, also im durchschnittlichen Bereich der übrigen Patienten.

#### 4.4.1.2 Röntgenbefunde

In dem mittleren Untersuchungszeitraum von 7,4 Wochen (s.o.) zeigte sich bei allen Patienten eine achsengerechte Stellung der Fraktur bei regelrechter Lage des Implantats und beginnender Kallusbildung. Zeichen für eine verzögerte Knochenbruchheilung waren nicht zu erkennen. Bei dem Patienten, der wegen einer verzögerten Knochenbruchheilung operiert wurde, ließ sich ebenfalls eine gute Kallusbildung darstellen. Innerhalb von 3 Monaten heilten nahezu 90% (n=47) der Frakturen, herausgenommen die pathologischen Frakturen, aus.

#### 4.4.1.3 Spätkomplikationen

Als Spätkomplikationen bezeichneten wir Abweichungen vom normalen Heilungsverlauf, die nach Abschluß des stationären Aufenthalts auftraten.

Bei einer Patientin fand sich innerhalb der ersten 8 Wochen eine Lockerung mit Dislokation des proximalen Verriegelungsbolzens. Dieser wurde daraufhin komplikationslos entfernt.

Klinisch ergab sich daraus eine schmerzbedingte Einschränkung der Schulterbeweglichkeit mit einer Abduktion von 120 und einer Anteversion von 130 Grad bei freier Ellenbogengelenksbeweglichkeit.

#### 4.4.1.4 Verlaufskontrollen nach Früh- und Spätkomplikationen

Die Nachuntersuchungen der Patienten mit **intraoperativer distaler Fraktur** und zusätzlicher Plattenosteosynthese (n=4) zeigten folgende Ergebnisse:

- Eine Patientin zeigte nach 6 Wochen bereits sehr gute Untersuchungsergebnisse mit endgradiger Bewegungseinschränkung im Schultergelenk und einer Extension/Flexion im Ellenbogengelenk vom 0-10-90 Grad und freier Pro- und Supination.

- Eine Patientin konnte nach 4 Wochen untersucht werden und konnte dabei eine aktive Abduktion und Anteversion von 70 Grad im Schultergelenk vorführen. Das Ellenbogengelenk war mit Extension/Flexion von 0-5-90 Grad und endgradiger Einschränkung von Pro- und Supination (80-0-75 Grad) beweglich.
- Der Patient mit pathologischer Fraktur und Ausdehnung der Osteolysen bis weit nach distal war zum Untersuchungszeitpunkt bereits verstorben.
- Eine Patientin mit Z.n. Polytrauma, welche postoperativ wegen eines Plattenausbruchs revidiert werden musste, war wegen einer Nachbehandlung in einem Rehasentrum für die Kontrolluntersuchung nicht erreichbar.

Die Nachuntersuchung der Patienten mit **intraoperativer Fissur** (n=6) entsprach den durchschnittlichen Untersuchungsergebnissen der anderen Patienten.

Die Nachuntersuchung des Patienten mit Reosteosynthese nach **Innenrotations- und Varusfehler** (n=1) erbrachte eine freie Beweglichkeit der Schulter bei lediglich endgradiger Bewegungseinschränkung des Ellenbogengelenkes.

Der Patient mit **proximalem Nagelausbruch** (n=1), Revision und Kleeblattplattenosteosynthese über einen Schulterzugang zeigte erwartungsgemäß noch eine deutliche Einschränkung der Schulterabduktion sowie -anteversion mit jeweils 60 Grad. Das Ellenbogengelenk war mit Extension/Flexion von 0-10-110 Grad bei freier Pronation/Supination gut beweglich.

Die Kontrolluntersuchung des Patienten mit Wundrevision und Bursektomie bei **lokalem Infekt** (n=1) und Bursitis olecrani zeigte eine zufriedenstellende Beweglichkeit der Schulter mit Abduktion, Anteversion von 90 Grad sowie einer Extension/Flexion im Ellenbogengelenk von 0-20-110 Grad.

Eine Kontrolle der zum Zeitpunkt der Entlassung fortbestehenden **Radialispareesen** (n=4) erbrachte eine vollständige Rückbildung innerhalb von 3 Monaten bei 3 Patienten. Eine Patientin brauchte 6 Monate bis zur vollständigen Erholung des Nervens. Eine komplette Rückbildung der Radialispareesen war somit nach spätestens 6 Monaten bei allen 5 Patienten (100%) ohne operative Revision erreicht. Die Beweglichkeit von Schulter- und Ellenbogengelenk entsprach den mittleren Werten der übrigen Patienten.

#### 4.4.2 Untersuchungsergebnisse nach einem Jahr (Score nach Kwasny)

##### 4.4.2.1 Auswertungen anhand des Score nach Kwasny

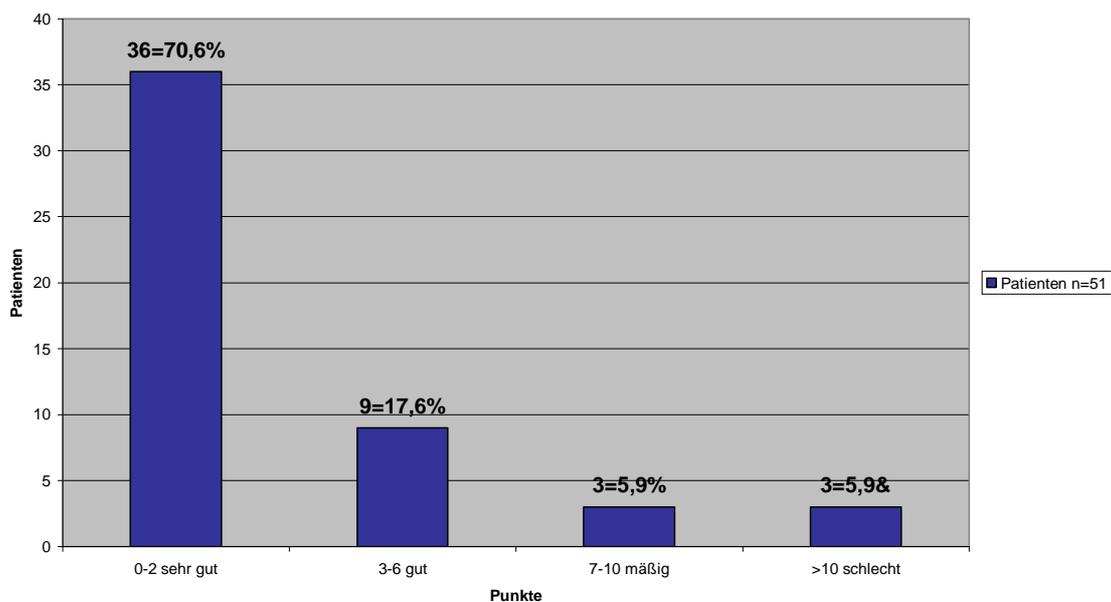
Weitere Nachuntersuchungen folgten nach einem Jahr. Nach durchschnittlich 14 Monaten (7-42) konnten insgesamt 51 (73%) Patienten nach dem Score n. Kwasny nachuntersucht werden.

12 Patienten waren zu diesem Zeitpunkt verstorben, 7 nicht erreichbar.

Nach der Punkteauswertung ergaben sich sehr gute und gute Ergebnisse bei über 88% der Patienten (n=45). 0-2 Punkte (sehr gut) erbrachte die Auswertung bei 70,6% (n=36), 3-6 Punkte (gut) bei 17,6% der Patienten (n=9). Lediglich 5,9% der untersuchten Patienten (n=3) zeigten ein mäßiges (7-10 Punkte) und weitere 5,9% ein schlechtes Resultat. Die Ergebnisse sind im Diagramm Nr. 8 zusammengestellt. Die durchschnittliche Punktezahl betrug damit 2,6.

Der Patient (n=1, 1,4%) mit osteosynthetisch mittels RT-Nagel versorgter verzögerter Knochenbruchheilung erhielt in seiner Beurteilung 3 Punkte, d.h. ein gutes Ergebnis.

Diagramm 8: Ergebnisse nach Score n. Kwasny



Bei den mäßigen oder schlechten Ergebnissen (11,8%, n=6) fanden wir folgende Ursachen:





55 KD	unbekannt									
56 TK	gestorben									
57 AA	unbekannt									
58 IW	1	1	1	0	0	0	0	0	15	3
59 CB	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0
60 GQ	1	1	1	2	1	0	0	0	15	6
61 KP	gestorben									
62 AR	0	1	0	0	0	0	0	0	13	1
63 IA	3	3	3	3	2	0	5	0	9	19
64 PH	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
65 PW	0	1	0	0	0	0	0	0	14	1
66 WK	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
67 CR	1	0	1	1	0	0	0	0	16	3
68 WP	1	1	0	0	0	0	0	0	11	2
69 EL	1	2	1	1	1	0	5	0	10	11
70 DB	gestorben									

#### 4.4.2.2 Spätkomplikationen

Eine **Dislokation der proximalen Verriegelungsschraube** konnten wir neben der unter 4.4.1.3 beschriebenen bei weiteren 2 Patienten (insgesamt n=3, 5,9%) feststellen.

- Bei einem Patienten blieb diese asymptomatisch, weshalb von Seiten des Patienten die vorzeitige Entfernung abgelehnt wurde.
- Bei der anderen Patientin stand die Lockerung in Zusammenhang mit einer verzögerten Knochenbruchheilung. Nach Entfernung der Verriegelungsschraube (nach 12 Monaten) stellte sich keine verbesserte Frakturheilung durch die Dynamisierung ein. Es resultierte eine Pseudarthrose.

Insgesamt war bei 5,9% der Patienten (n=3) radiologisch eine **Pseudarthrose** festzustellen, welche uns in 2 Fällen zu einem Verfahrenswechsel veranlasste.

- Bei der oben genannten Patientin (s. Fallbeispiel Nr. 36) fiel bei geringer Beschwerdesymptomatik nach einem Jahr zunächst eine Schraubenlockerung proximal, bei gleichzeitiger unvollständiger Frakturdurchbauung auf. Nach Entfernung der Schraube kam es zunächst zu einer Verbesserung der Beschwerden und der Schulterbeweglichkeit. Radiologisch zeigten sich im Verlauf der folgenden Monate allerdings keine weiteren Durchbauungszeichen

der C1-Fraktur im Übergang vom proximalen zum mittleren Drittel. Es resultierte eine hypotrophe Pseudarthrose.

- Bei einer weiteren Patientin fiel nach 9 Monaten eine stark schmerzhafte Bewegungseinschränkung des gesamten Armes auf. Anhand der Röntgenaufnahmen zeigte sich ein deutlich einsehbarer Frakturspalt der A1-Fraktur im Übergang vom proximalen zum mittleren Drittel ohne ausreichende Kallusbildung. Bei Z.n. intraoperativer iatrogenen Fraktur stellte sich die distale Platte unverändert dar. Hier war eine knöcherne Durchbauung erfolgt.
- Der dritte Patient erhielt wegen persistierender Schmerzen in der Ellenbeuge bei nahezu freier Beweglichkeit im Ellenbogengelenk nach 10 Monaten eine Röntgenuntersuchung. Hierbei stellte sich eine ungenügende Kallusbildung der langstreckigen B2-Fraktur im Übergang vom mittleren zum distalen Schaftdrittel dar. Der Frakturspalt war über eine Länge von 10 cm einsehbar.

Bei den ersten beiden Patientinnen wurde das Implantat entfernt, die Pseudarthrose reseziert, die Frakturenden angefrischt und eine Plattenosteosynthese mit Anlagerung von autologer Spongiosa durchgeführt. Bei dem dritten Patienten wurde allein Spongiosa und eine Cerclage zur Fragmentadaptation an den Nagel verwendet. (siehe Punkt 4.4.4)

#### 4.4.2.3 Verlaufskontrollen der Früh- und Spät komplikationen

Bei den Patienten mit **intraoperativer distaler Fraktur (n=4)** konnten unterschiedliche Ergebnisse erreicht werden:

- Die Patientin mit der bereits guten Beweglichkeit nach 6 Wochen erhielt nach 11 Monaten 2 Punkte nach dem Score n. Kwasny, d.h. ein sehr gutes Ergebnis.
- Eine Patientin entwickelte eine Pseudarthrose (s.o.) und erhielt daher nach 9 Monaten eine Punktwertung von 19.
- Die dritte Patientin, welche zusätzlich noch einen Plattenausbruch erlitt und nach 6 bis 12 Wochen nicht zur Untersuchung zu erreichen war, hatte nach dem Kwasnyscore nach 24 Monaten einen Punktestand von 10. Das heißt es bestand unverändert eine Bewegungseinschränkung in Schulter- und Ellenbogengelenk mit Schmerzen und Kraftminderung.

Von den Patienten mit **intraoperativer distaler Fissur (n=6)** waren 2 gestorben. Die übrigen hatten zweimal 0 Punkte, einmal 2 Punkte und einmal 4 Punkte nach dem Score von Kwasny, also zum Gesamtpatientengut vergleichbare Auswertungen.

Eine Nachuntersuchung des Patienten mit **Innenrotations- und Varusfehler (n=1)** und nachfolgender Reosteosynthese mit zusätzlicher Cerclage zeigte nach 10 Monaten eine Punkteauswertung von 0 (s. Fallbeispiel Nr. 29).

Der Patient mit **proximalen Nagelausbruch (n=1)** und Kleeblattplattenosteosynthese erhielt nach 15 Monaten eine Auswertung nach dem Score von Kwasny von 2 Punkten, ebenso der Patient mit Zustand nach **Wundinfekt, Bursitis (n=1)** und Revision (nach 14 Monaten).

Wie bereits unter 4.4.1.4 erläutert, bestand nach 1 Jahr keine **Radialisschädigung (n=5)** mehr. Von Seiten der Beweglichkeit und Schmerzen erhielt ein Patient die Punkteauswertung 0, zwei schnitten mit einem Punktestand von 2 und einer mit 3 ab. Bei einem weiteren Patienten lagen nach einem Jahr keine Ergebnisse vor.

#### **4.4.3 Spätergebnisse nach 2 Jahren (Metallentfernung, n=22)**

Bei Wiedervorstellungen von Patienten nach 1 bis 5 Jahren zeigten diese mit Ausnahme der 3 Patienten mit Pseudarthrosen einheitlich radiologisch verheilte Frakturen. Auffällig waren bei 2 jungen Patienten überschießende Kallusbildungen ohne klinische Relevanz. Bezüglich der Beweglichkeit und der sonstigen Kriterien nach dem Score von Kwasny ergaben sich keine neuen Gesichtspunkte, verglichen mit den 1-Jahres-Ergebnissen.

Nach durchschnittlich 25 Monaten (13 bis 48 Monate) führten wir die Metallentfernung durch. Insgesamt erfolgte diese planmäßig bei 19 Patienten. Die Indikation sahen wir in dem jungen Alter der entsprechenden Patienten gegeben, um Abstossungsreaktionen, Implantatwanderung nach Lockerung oder Komplikationen nach erneutem Sturz vorzubeugen. Zusätzlich wurde in den 2 beschriebenen Pseudarthrosesituationen und bei

einer Patientin mit einer neu aufgetretenen supracondylären Fraktur (nach Sturz) der Nagel entfernt. Die durchschnittliche Operationszeit betrug 50 Minuten (zwischen 25 und 90).

Bei einer Patientin kam es intraoperativ bei Zustand nach iatrogener Fraktur im Rahmen der Metallentfernung von Nagel und Platte zu einer Komplikation im Sinne einer erneuten distalen Fraktur, die mittels Platte osteosynthetisch versorgt wurde. Verlaufskontrollen in den ersten 3 Monaten zeigten einen komplikationslosen Heilungsverlauf. Die Beweglichkeit im Ellenbogengelenk entsprach dem präoperativen Status mit einer Einschränkung der Extension um 10 Grad (Score n. Kwasny: 2 Punkte). Eine Entfernung der Platte wurde von der Patientin abgelehnt.

Anhand der Tabelle 8 sind sämtliche Komplikationen zusammengestellt.

**Tabelle 8: Komplikationen gesamt**

<b><u>Frühkomplikationen</u></b>	<b><u>Behandlung</u></b>	<b><u>Anzahl</u></b>	<b><u>%</u></b>	<b><u>n</u></b>
<b><u>Intraoperativ:</u></b>				
Iatrogene distale Fraktur	zusätzliche Plattenosteosynthese	4	5,7	70
Distale Fissur	keine	6	8,6	70
<b><u>Postoperativ:</u></b>				
Sekundäre Radialisparese	keine	4	5,7	70
Wundinfektion	mit Revision	1	1,4	70
Innenrotations-/varusfehler	Reosteosynthese Nagel	1	1,4	70
Nageldislokation	zusätzliche Plattenosteosynthese	1	1,4	70
Plattenausbruch n. dist.Fraktur	Reosteosynthese Platte	1	1,4	70
<b><u>Spätkomplikationen</u></b>				
Schraubendislokation prox.	Entfernung 2	3	5,9	51
Pseudarthrose	Verfahrenswechsel 2, Spongiosaplastik, Cerclage 1	3	5,9	51

Distale Fraktur bei ME von Nagel u. distaler Platte	distale Plattenosteosynthese	1	2,0	51
--	------------------------------	---	-----	----

#### 4.4.4 Ursachen und Therapien der Pseudarthrosen

Wie bereits unter 4.4 2.2 erläutert, traten bei 3 Patienten hypotrophe Pseudarthrosen auf. Dabei handelte es sich um 2 Frauen und einen Mann im Alter zwischen 42 und 56 Jahren.

In allen Fällen war der linke Arm betroffen.

Von der Fraktureinteilung ergaben sich folgende Klassifikationen und Lokalisationen:

- eine langstreckige C1-Fraktur, die von proximal bis in die Schaftmitte reichte
- eine lange A1-Fraktur im Übergang vom proximalen zum mittleren Drittel
- eine langstreckige B2-Fraktur im Übergang vom mittleren zum distalen Schaftdrittel

Folgende Begleiterkrankungen lagen vor:

- Bei der ersten Patientin (56 Jahre) bestand ein Diabetes mellitus.
- Die andere Patientin (42 Jahre) war mit einer Wernicke-Enzephalopathie, Polyneuropathie mit Paraparese der Beine und Leberzirrhose bei chronischem Alkoholabusus sowie einem Diabetes mellitus und Adipositas permagna multimorbide. Zusätzlich bestand eine generalisierte Candida-Dermatitis.
- Bei dem dritten Patienten (53 Jahre) waren keine Risikofaktoren bekannt. Es bestand jedoch eine wesentliche Begleitverletzung mit einer distalen Radiusfraktur auf der gleichen Seite, die mittels geschlossener Reposition und Anlage eines Fixateurs externe versorgt wurde.

Bezüglich des Zeitpunktes der operativen Revision ergaben sich unterschiedliche Daten:

- Wegen geringer Beschwerden wurde bei der ersten Patientin (s. Fallbeispiel Nr. 36) nach 1 Jahr zunächst die gelockerte proximale Verriegelungsschraube entfernt. Nach 22 Monaten erfolgte die eigentliche operative Revision (s.u.).
- Die zweite Patientin erhielt den Verfahrenswechsel wegen einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung nach 9 Monaten, wobei eine Vorstellung vermutlich

nur deshalb erfolgte, weil zum gleichen Zeitpunkt eine stationäre internistische Behandlung stattfand. Zwischenzeitliche ambulante Kontrolltermine hatten bei fehlender Compliance der Patientin nicht stattgefunden.

- Bei dem dritten Patienten wurde nach 10 Monaten wegen anhaltender Beschwerden und Bewegungseinschränkung eine Spongiosaplastik durchgeführt. Gleichzeitig erhielt der Patient eine Metallentfernung zweier K-Drähte aus dem linken Handgelenk bei Zustand nach distaler Radiusfraktur.

Die Operationsmethode war in den ersten beiden Fällen die Entfernung des Russell-Taylor Nagels, Resektion der Pseudarthrose und Stabilisierung mit LCDC-Platte unter gleichzeitiger Anlagerung von autologer Spongiosa.

Der dritte Patient erhielt zunächst keinen Verfahrenswechsel, sondern eine Spongiosaplastik und Drahtcerclage.

Der Heilungsverlauf war uneinheitlich:

- Bei der ersten Patientin (s. auch Fallbeispiel Nr. 36) kam es zu einer komplikationslosen Ausheilung der Fraktur. Eine Nachuntersuchung nach einem Jahr erbrachte eine freie Beweglichkeit im Ellenbogen- und Schultergelenk. Die Patientin schilderte keinerlei Schmerzen oder Einschränkung im Seitenvergleich und war sehr zufrieden. Radiologisch zeigte sich eine vollständige knöcherne Konsolidierung der Fraktur. Somit ergab sich nach dem Score n. Kwasny ein Punktestatus von 0 Punkten. Eine Metallentfernung wurde abgelehnt.

- Bei der zweiten Patientin zeigte sich postoperativ ein Radialisschaden, welcher mit einer Radialisschiene therapiert wurde. Aufgrund einer erheblichen Einschränkung der Compliance (s. Begleiterkrankungen) wurden eine krankengymnastische Übungsbehandlung bereits während des stationären Aufenthaltes meistens abgelehnt. Radiologisch zeigte sich eine regelrechte Plattenlage bei korrekter Stellung der Fraktur. Zu ambulanten radiologischen und klinischen Kontrollterminen ist die Patientin erwartungsgemäß nicht erschienen.

- Der dritte Patient kam 3 Monate lang zu Kontrolluntersuchungen. Hierbei zeigte sich ein komplikationsloser Heilungsverlauf. Radiologisch bestätigte sich

eine zunehmende knöchernen Durchbauung der Fraktur. Die Beweglichkeit im Ellenbogen- und Schultergelenk war frei, der Patient nahezu beschwerdefrei und sehr zufrieden. Zu weiteren ambulanten Nachuntersuchungen wurde der Patient nicht mehr vorstellig.

#### **4.4.5 Resultate bei den Patienten mit pathologischen Frakturen**

Insgesamt 17 Patienten mit pathologischen Frakturen erhielten zur Stabilisierung einer ossären Metastasierung in den Humerus einen Russell-Taylor-Nagel.

Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer betrug 16,3 Tage, wobei 9 Patienten (53%) bei reizlosen lokalen Verhältnissen in die medizinische Abteilung zurückverlegt werden konnten und entsprechend kürzere Liegezeiten aufzeigten (Mittelwert bei 12,4). Ein Patient (ASA 3) verstarb am 14. postoperativen Tag an den Folgen seines onkologischen Grundleidens.

Die Operationszeit betrug im Mittel 66,2 Minuten (n=16), gegenüber dem Gesamtmittelwert also 10 Minuten weniger. Der intraoperative Blutverlust belief sich im Schnitt auf 275 ml (150 bis 600). Der Blutverlust über die Redondrainagen betrug 155 ml. Beide Werte entsprachen denen der Gesamtgruppe. Aufgrund der schlechteren präoperativen Blutwerte war bei 4 Patienten eine Bluttransfusion notwendig.

Bei einem Patienten trat eine intraoperative Komplikation, das heißt eine iatrogene Fraktur des distalen Oberarms beim Einschieben des Nagels, aufgrund einer unerkannten Osteolyse in diesem Bereich, auf. Es erfolgte eine zusätzliche Plattenosteosynthese.

Subjektiv lag bei allen Patienten eine deutliche Verbesserung der Schmerzsymptomatik innerhalb der ersten 2 Wochen vor. Krankengymnastische Übungen waren, wie bei den übrigen Patienten, frühzeitig möglich.

Lediglich 5 Patienten (29,4%) stellten sich in einem Zeitraum von 4 bis 6 Wochen erneut vor. Dabei bestand bei einer Patientin bereits eine freie Beweglichkeit im Schulter- und Ellenbogengelenk. Eine Schulterbeweglichkeit mit einer Abduktion und

Anteversion zwischen 80 und 90 Grad lag bei 3 Patienten vor. Bei einer Patientin war die Abduktion und Anteversion nur bis 60 Grad möglich. Bezüglich der Ellenbogengelenksbeweglichkeit zeigten sich zweimal eine Extension/Flexion von 0-10-90 bzw. 0-0-90 Grad, weitere zweimal eine nahezu freie Beweglichkeit.

Nachuntersuchungsergebnisse nach einem längeren Zeitraum zu erheben, war erwartungsgemäß problematisch. Nach 1 Jahr waren 11 (64,7%) Patienten verstorben, bei 4 Patienten war keine Wiedervorstellung erfolgt. Die mittlere Überlebensdauer betrug ca. 4,5 Monate. Lediglich 2 Patienten standen für eine Nachuntersuchung zur Verfügung. Diese Untersuchungen erfolgten nach 8 und 10 Monaten und ergaben bei einer Patientin mit einem Plasmozytom 0 Punkte, bei der anderen Patientin mit einem metastasierendem Bronchialcarcinom 4 Punkte nach dem Score n. Kwasny, d.h. ein sehr gutes bzw. gutes Ergebnis.

## **4.5 Fallbeispiele**

### **4.5.1 Patient Nr. 41, AM, männlich, 19 Jahre**

Herr M. war auf dem Weg zur Schule, also im Rahmen eines Arbeitsunfalls, als Fußgänger von einem PKW erfasst worden. Neben einer Humerusschaftfraktur rechts zog er sich eine Risswunde an der rechten Augenbraue sowie Prellungen über dem rechten Hemithorax und der rechten unteren Extremität zu.

Als Lokalbefund am Humerus zeigte sich eine lokale Schwellung und Fehlstellung, keine Verletzung der Haut. Die Durchblutung, Motorik und Sensibilität waren intakt.

Anhand der Röntgenaufnahmen stellen wir nach AO eine B2 Fraktur im mittleren Drittel fest.

Weitere knöcherne Verletzungen (Schädel, Hemithorax rechts und Unterschenkel rechts) konnten ausgeschlossen werden. Die Risswunde an der Augenbraue wurde in Lokalanästhesie genäht.

Am folgenden Tag (innerhalb von 48 Stunden) erhielt der Patient zur Stabilisierung der Humerusschaftfraktur einen retrograden Russell-Taylor-Nagel der Größe 7x240 mm. Die Operationszeit betrug 75 Minuten, die Durchleuchtungszeit 1,3 Minuten. Der intraoperative Blutverlust belief sich auf weniger als 50 ml.

Der unmittelbar postoperativ angelegte Gilchrist-Verband wurde am 2. postoperativen Tag entfernt und mit der Krankengymnastik begonnen. Eine Röntgenkontrolle des Oberarmes bestätigte eine regelrechte Lage des Nagels bei achsengerechter Frakturstellung.

Mit reizlosen Wundverhältnissen konnte der Patient nach 11 Tagen entlassen werden. Zum Entlassungszeitpunkt bestand bereits eine Beweglichkeit der aktiven Abduktion und Anteversion im Schultergelenk von 90 Grad (passiv jeweils 170 Grad). Das Ellenbogengelenk war mit Extension/Flexion von 0-20-70 noch eingeschränkt beweglich.

Die Nachuntersuchung nach 5 Wochen zeigte unauffällige Weichteilverhältnisse sowie eine nahezu regelrechte Beweglichkeit in Schulter- und Ellenbogengelenk:

- Schulter:                    Abduktion 180, Anteversion 160 Grad  
                                  Außenrotation 60, Innenrotation 80 Grad
- Ellenbogengelenk:    Extension/Flexion 0-0-130 Grad

Radiologisch war eine zunehmende knöcherne Konsolidierung zu verzeichnen.

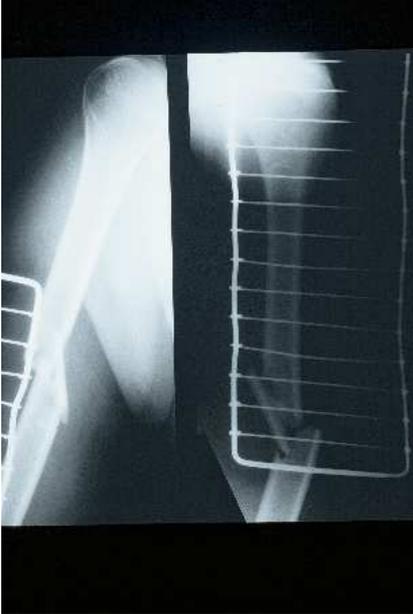
Eine freie Beweglichkeit und Beschwerdefreiheit bestand nach 9 Wochen. Nach 12 Wochen war der Verletzte erneut arbeitsfähig.

Nach 12 Monaten erhielt der Patient nach dem Score von Kwasny einen Punktestand von 0 Punkten, d.h. er war nach allen Gesichtspunkten unauffällig.

Die Metallentfernung führten wir nach 18 Monaten komplikationslos durch. Die Operationszeit betrug 50 Minuten. Der stationäre Aufenthalt betrug 7 Tage.

**Abbildung Röntgenaufnahmen 1-4:****Rö 1.:**

Unfallaufnahmen rechter Humerus in 2 Ebenen,  
B2-Fraktur, mittleres Schaftdrittel.

**Rö 2.:**

Röntgenkontrolle 3. postoperativer Tag:  
Modifizierter Russell-Taylor-Nagel, 7x240 mm.  
Regelrechte Stellung des Nagels und der Fraktur.

**Rö 3.:**

Röntgenkontrolle nach 16 Monaten, vollständige  
knöcherner Durchbauung.



**Rö 4.:**

Kontrolle nach Metallentfernung nach 18 Monaten.



#### **4.5.2 Patient Nr. 29, MT, männlich, 21 Jahre**

Herr T. erlitt als angeschnallter Autofahrer einen Frontalzusammenstoß mit einem anderen PKW und zog sich dabei folgende Verletzungen zu:

- Distale Oberarmschaftfraktur rechts
- Mediale Claviculafraktur links
- Riss-/Quetschwunde linkes Knie mit Bursa-Verletzung
- Fraktur der 2. Rippe links mit Hämatothorax

Am distalen Oberarm zeigte sich eine typische Weichteilschwellung mit Bewegungseinschränkung im Ellenbogengelenk, die Durchblutung, Motorik und Sensibilität waren intakt.

Radiologisch konnte neben den oben genannten Verletzungen eine Humerusschaftfraktur am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel nachgewiesen werden. Es zeigte sich ein Versatz und Abkippung des distalen Fragments nach dorsal mit ausgesprengten Fragmenten ventralseitig, nach der AO-Einteilung entsprechend einer B3-Fraktur.

Nach Anlage einer Thoraxdrainage links und Stabilisierung der pulmonalen Situation erfolgte innerhalb der ersten 12 Stunden die Osteosynthese der Oberarmfraktur mit antegradem Russell-Taylor-Nagel. Ferner wurde die Schnittverletzung am linken Kniegelenk versorgt und eine Bursektomie durchgeführt. Als Implantat kam ein 8x260 mm Nagel zur Verwendung. Die Operationsdauer belief sich auf 85 Minuten, die Durchleuchtungszeit auf 14,3 Minuten, da sich die geschlossene Reposition als schwierig herausstellte. Der intraoperative Blutverlust wurde mit 500 ml angegeben.

Der Patient wurde postoperativ unter Respirator-Therapie intensivmedizinisch überwacht. Am 2. postoperativen Tag erfolgte die Plattenosteosynthese der medialen Claviculafraktur links sowie das Entfernen der Thoraxdrainage bei radiologisch kontrollierter, vollständig entfalteter Lunge und Rückbildung des Hämatothorax.

Röntgenkontrollen des Thorax und der Clavicula zeigten regelrechte Befunde im Verlauf.

Die radiologische Kontrolle des Oberarms stellte eine Dehiszenz der Fragmente von 11 mm mit geringer Varusfehlstellung dar, woraufhin eine Computertomographie durchgeführt wurde. Hierbei ergab sich zusätzlich ein Innenrotationsfehler von 7 Grad.

Nach gesicherter Wundheilung führten wir am 15. postoperativen Tag die Reosteosynthese mit offener Frakturposition zur Stellungskorrektur mit zusätzlichem Anbringen einer Cerclage durch.

Es wurde hierbei erneut der 8x260 mm Nagel verwendet. Der weitere postoperative Verlauf gestaltete sich komplikationslos. Nach kurzfristiger Ruhigstellung im Gilchrist-Verband wurde eine erneute krankengymnastische Beübung begonnen.

Die postoperative Röntgenkontrolle bestätigte jetzt eine achsengerechte Stellung der Fraktur bei regelrechter Lage des Implantats.

Nach insgesamt 28 Tagen stationären Aufenthaltes konnte der Patient mit reizlosen Wundverhältnissen entlassen werden. Die Bewegungsausmaße im Schultergelenk lagen bei Abduktion und Anteversion von 80 Grad. Im Ellenbogengelenk zeigte sich eine Extension/Flexion von 0-10-90 Grad.

Bei der Nachuntersuchung nach 7 Wochen stellten wir bei unauffälligen Weichteil- und Narbenverhältnissen folgende Bewegungsausmaße in Schulter- und Ellenbogengelenk fest:

- Schulter: frei beweglich
- Ellenbogengelenk: Extension/Flexion 0-10-130 Grad

Radiologisch zeigte sich eine zunehmende knöcherne Konsolidierung mit periostalen Verkalkungen.

Eine freie Beweglichkeit und Beschwerdefreiheit sowie Arbeitsfähigkeit bestand nach 12 Wochen.

Nach 12 Monaten erhielt der Patient nach dem Score von Kwasny einen Punktestand von 0 Punkten, d.h. er war nach allen Gesichtspunkten unauffällig.

Die Metallentfernung erfolgte nach 22 Monaten und konnte unter Belassen der Cerclage mit einer Operationszeit von 60 Minuten problemlos durchgeführt werden. Gleichzeitig erfolgte auch noch die Entfernung der Platte aus der linken Clavicula. Die stationäre Behandlungsdauer belief sich auf 6 Tage.

**Abbildung Röntgenaufnahmen 5-9:**

**Rö 5.:**

Unfallbild: Rechter Humerus schräg a.p., 2. Ebene  
fehlt. B3-Fraktur im Übergang vom mittleren  
zum distalen Drittel.



**Rö 6.:**

Röntgenkontrolle 3. postoperativer Tag: modifizierter Russell-Taylor-Nagel von antegrad, Größe: 8x260 mm. Es kommt eine Frakturdehiszenz mit Varusfehlstellung und Verdacht auf Innenrotationsfehler zur Darstellung, der mittels Computertomographie bestätigt wird.



**Rö 7.:**

Röntgenkontrolle bei Zustand nach Reosteosynthese mit offener Reposition der Fraktur und Cerclagenanlage am 15. postoperativen Tag.



**Rö 8.:**

Verlaufskontrolle nach 20 Monaten: achsengerechte knöcherne Ausheilung der Fraktur, unveränderte Implantatlage.



**Rö 9.:**

Zustand nach Nagelentfernung nach 22 Monaten unter Belassen der Cerclage.



#### **4.6.3 Patient Nr. 36, MB, weiblich, 56 Jahre**

Frau B. zog sich nach einem Sturz auf der Straße eine Oberarmchaftfraktur links sowie eine Commotio cerebri zu. Anamnestisch hatte eine kurzzeitige Bewusstlosigkeit

bestanden. Bei Aufnahme war die Patientin wach und orientiert. Als Vorerkrankung war ein Diabetes mellitus Typ II b bekannt.

Am linken Oberarm bestand neben einer Weichteilschwellung eine deutliche Fehlstellung, die Durchblutung, Motorik und Sensibilität waren intakt.

Anhand der Röntgenaufnahmen zeigte sich eine lange Spiralfraktur im proximalen bis mittleren Drittel, nach der AO-Klassifikation eine C1-Fraktur. Eine knöcherne Verletzung am Schädel konnte ausgeschlossen werden.

Innerhalb der ersten 12 Stunden nach stationärer Aufnahme erhielt die Verletzte eine geschlossene Reposition und Stabilisierung mit einem retrograden Russell-Taylor-Nagel der Größe 8x240 mm. Die Operationszeit betrug 90, die Röntgenzeit 12,1 Minuten. Der intraoperative Blutverlust belief sich auf 500 ml.

Postoperativ erhielt die Patientin einen Gilchrist-Verband. Nach radiologischer Bestätigung der achsengerechten Stellung der Fraktur und korrekten Lage des Nagels erfolgte eine krankengymnastische Übungsbehandlung ab dem 5. Tag. Der stationäre Verlauf war komplikationslos, die Patientin konnte nach 13 Tagen entlassen werden. Die Bewegungsausmaße zum Entlassungszeitpunkt sind nicht bekannt.

Eine Nachuntersuchung nach 10 Wochen erbrachte bei reizlosen Weichteilen folgende Beweglichkeit im Schulter- und Ellenbogengelenk:

- Schulter:                    Abduktion, Anteversion 110 Grad  
                                      Nackengriff gut, Schürzengriff nicht möglich
- Ellenbogengelenk:    Extension/Flexion 0-10-140 Grad

Radiologisch waren bei unverändert gutem Stellungsbefund die Frakturlinien noch einsehbar, d.h. noch keine Durchbauungszeichen zu erkennen.

Nach 10 Monaten erfolgte eine weitere Nachuntersuchung, wo die Patientin insbesondere über Beschwerden in der Schulter klagte, die bis zur Mitte des Oberarmes ausstrahlen würden. Das Ellenbogengelenk war frei beweglich, die Schulter mit einer Abduktion von 120 Grad und Anteversion von 150 Grad eingeschränkt beweglich.

Röntgenaufnahmen des Oberarmes in 2 Ebenen stellten eine Dislokation der proximalen Verriegelungsschraube dar. Zusätzlich zeigten sich Lockerungszeichen des Nagels und lediglich diskrete Abrundungszeichen der Knochen im Frakturbereich ohne ausreichende Kallusbildung. Nach dem Score n. Kwasny erhielt die Patientin somit eine Punkteauswertung von 9.

Frau B. wurde stationär aufgenommen und es erfolgte zunächst die Entfernung der Verriegelungsschraube. Im postoperativen Verlauf kam es unter krankengymnastischer Beübung zunächst zu einer Verbesserung der Schmerzsymptomatik und Bewegungseinschränkung.

Die Patientin stellte sich dann nach einem weiteren Jahr erneut bei uns vor mit zunehmenden Schmerzen im mittleren Drittel des linken Oberarms. Die Beweglichkeit im Ellenbogengelenk war frei, die Schulter mit einer Anteversion und Abduktion von 130 Grad eingeschränkt beweglich. Auf den Röntgenaufnahmen sowie einer zusätzlich angefertigten Tomographie konnte eine Pseudarthrose sicher diagnostiziert werden.

22 Monate nach dem Unfallereignis und der Primärversorgung mit einem Russell-Taylor-Nagel erhielt die Patientin eine Metallentfernung und Stabilisierung der Pseudarthrose mittels breiter 10-Loch LCDC-Platte und autologer Spongiosaplastik.

Der postoperative Verlauf war komplikationslos. Nach 8 Wochen bestand Beschwerdefreiheit bei unveränderter Einschränkung der Schulterbeweglichkeit. Radiologisch war eine zunehmende knöcherne Durchbauung zu verzeichnen.

Nach weiteren 10 Monaten stellte sich die Patientin zu einer Abschlussuntersuchung vor und äußerte sich über das Ergebnis sehr zufrieden. Auch objektiv zeigte sich eine seitengleiche Beweglichkeit und Kraft in Ellenbogen- und Schultergelenken. Anhand der Röntgenaufnahmen stellten wir eine knöchern konsolidierte Fraktur und regelrechte Lage der Platte fest. Eine Metallentfernung wurde von der Patientin ausdrücklich abgelehnt.

**Abbildung Röntgenaufnahmen 10-14:**

**Rö 10.:**

Röntgenaufnahmen linker Humerus in 2 Ebenen:  
Lange C1-Spiralfraktur im proximalen bis mittleren  
Drittel.

**Rö 11.:**

Postoperative Röntgenkontrolle nach Implantation  
eines retrograden modifizierten Russell-Taylor-  
Nagels der Größe 8x240 mm. Achsengerechte  
Stellung der Fraktur und regelrechte Implantatlage.



**Rö 12.:**

Röntgenkontrolle nach 10 Monaten: unvollständige Durchbauung der Fraktur, Lockerung der proximalen Verriegelungsschraube.



**Rö 13.:**

Röntgenkontrolle nach 22 Monaten. Zustand nach Schraubenentfernung 11.postop. Monat, fehlende knöcherne Durchbauung: Hypotrophe Pseudarthrose



**Rö 14.:**

Kontrolle nach 32 Monaten, 10 Monate nach  
Nagelentfernung, Plattenosteosynthese und  
Spongiosaplastik: Gute Frakturkonsolidierung,  
regelrechte Plattenlage.



## 5. Diskussion

Um die Anwendung und Empfehlung einer neuen Methode zu rechtfertigen, sollten mit dieser zumindest gleich gute oder bessere Resultate als mit etablierten Verfahren zu erreichen sein.

Während es für die untere Extremität ein klares Plädoyer für die Marknagelung gibt, so kommen bei der Humerusfraktur seit Jahrzehnten die konservative Therapie nach Sarmiento und als operative Behandlungsmethoden die Plattenosteosynthese, die Bündelnagelung und der sogenannte Seidel-Nagel, gefolgt von verschiedenen anderen Nagelmodellen wie dem ungebohrten Humerusnagel (UHN) nebeneinander erfolgreich zur Anwendung. Zusätzlich konkurrieren bei den intramedullären Verfahren der retrograde und antegrade Zugangsweg und die aufgebohrte und ungebohrte Verfahrensweise.

Grundsätzlich besteht auch heute noch keine Einigkeit bezüglich der operativen Indikation. Wie in der Einleitung ausgeführt, haben auch konservative Behandlungsmethoden Heilungsraten bis über 90%<sup>15,39,59,88</sup>. Infektionen und sekundäre Radialispareesen, typische Komplikationen der operativen Therapie, sind bei der konservativen Behandlung äußerst selten beschrieben worden.

Wo liegen die Vorzüge der operativen Frakturversorgung?

Bei einer ganzen Reihe von Frakturtypen und Fraktursituationen stellt sich die konservative Therapie als sehr problematisch dar und kann mit Frakturheilungsstörungen verbunden sein. So findet sich bei Quer- und kurzen Schrägfrakturen eine höhere Rate mit bis zu 12% verspäteter Heilungen oder sogar Pseudarthrosen<sup>133</sup>, da diese Frakturen nur geringe Fragmentkontaktzonen aufweisen und instabil sind. Ein enger Kontakt der Hauptfragmente kann bei langen Spiralfrakturen durch interponierte Muskelanteile ebenfalls verhindert werden.

Ungünstig für eine konservative Behandlung erweisen sich zudem Patienten mit mangelnder Compliance, wie Drogen- und Alkoholabhängige, aber auch senile Patienten.

Nicht unterschätzt werden darf die Problematik adipöser Patienten mit reduzierter Stabilisierungstendenz von Gips bzw. Sarmiento-Brace.

Weitere relative Operationsindikationen sind Begleitverletzungen im Sinne von bilateralen Frakturen, Kettenverletzungen, ein instabiles Ellenbogengelenk bei Zustand nach Ellenbogenluxation, ein gleichzeitiges Thoraxtrauma sowie die N. radialis Läsion. Als absolute Operationsindikationen haben sich mittlerweile die offene und pathologische Fraktur, zusätzliche Gefäßverletzungen, der polytraumatisierte Patient und Pseudarthrosen etabliert<sup>4,8,17,18,32,100,122,123</sup>.

In zunehmenden Maße wird heute auch vom Patienten selbst eine rasche Frakturversorgung mit minimaler Schmerzhaftigkeit, früher Funktion und Belastbarkeit der betroffenen Extremität gefordert, nicht zuletzt um eine frühestmögliche Arbeitsfähigkeit zu erzielen und damit den Arbeitsplatz zu sichern.

Aus diesen Gründen spielte die konservative Therapie in unserem Krankengut keine Rolle.

Abgesehen von den oben genannten Ausschlusskriterien (s. 3.1) wurden bei uns in einem Zeitraum von 5 Jahren alle Patienten mit Oberarmschaftfrakturen (70) mit einem Russell-Taylor-Nagel von retrograd (Ausnahme 4 Patienten von antegrad) stabilisiert. Dabei handelte es sich um 52 frische Frakturen (davon zwei offene), 17 pathologische Frakturen und eine verzögerte Knochenbruchheilung bei Zustand nach Bündelnagelung. Nach der AO-Klassifikation waren außer C2- und C3-Frakturen alle Frakturtypen vertreten. Das Durchschnittsalter lag bei 54 Jahren.

An intraoperativen Komplikationen nach geschlossener Nagelung sahen wir 6 distale Fissuren (8,6%) und 4 distale Frakturen (5,7%), die einer zusätzlichen Plattenosteosynthese bedurften. Probleme bei der proximalen Freihandverriegelung zeigten sich nicht, wobei es im Verlauf bei 3 Patienten zu einer Lockerung der Verriegelungsschraube kam, wovon 2 entfernt wurden.

Die Fissuren waren in 4 Fällen beim Einbringen des Nagels und zweimal beim Anziehen der distalen Verriegelung entstanden, wobei die Mehrzahl (4) während der ersten 18 Monate nach Einführen dieser Operationstechnik auftrat.

Zwei iatrogene Frakturen waren unter den ersten 10 operierten Patienten anzutreffen und waren auf technische Probleme des Operateurs beim Einbringen des Nagels zurückzuführen, ebenso bei einer weiteren Patientin (im letzten Patientendrittel) mit Adipositas permagna. Bei einem Patienten mit pathologischer Fraktur kam es im Bereich von zusätzlichen Osteolysen distal zu einer weiteren Fraktur.

Den Rückgang dieser für den retrograden Nagel typischen Komplikationen mit zunehmender Anzahl der Patienten führten wir auf eine Verbesserung der operativen Routine im Sinne der „learning curve“ zurück. Bei neuen Operationsverfahren oder Implantaten ist zu beobachten, dass eine Übungszeit für jeden einzelnen Operateur, aber auch für das gesamte Team von Nöten ist, um Komplikationen gering zu halten. Zur Vermeidung einer supracondylären Fraktur oder Fissuren ist ein ausreichendes Aufbohren des distalen Markraums mit flexiblen Bohrern erforderlich und die Schaffung eines ausreichend großen, distal-dorsal abgechrägten Knochenfensters als „Einflugschneise“ für den Nagel von Vorteil. So wird auch bei Verwendung des ungebohrten Humerusnagels in Situationen, bei denen der Nagel schwierig einzubringen ist, die Benutzung von Handbohrern für den distalen Markraum empfohlen<sup>14,98</sup>.

Aktueller Diskussionspunkt bleibt daher fortwährend die Frage nach der Markraumbohrung, welche erfahrungsgemäß einen Gefäßschaden in der Markhöhle erzeugt, der innerhalb weniger Wochen durch Gefäßspaltung wieder behoben ist<sup>62</sup>. Grundsätzlich ist damit die Gefahr der Keimausbreitung gegeben, so dass im Allgemeinen von einer gebohrten Nagelung bei offenen Frakturen abgeraten wird. In der Literatur wird angegeben, dass es durch die Bohrung zu einer Heilungsverzögerung<sup>65,105</sup> kommen kann, die Platzierung des Nagels von retrograd aber erleichtert ist<sup>53</sup>. Hinzu kommt der Vorteil einer geringeren Lockerungsgefahr bei Verwendung eines an die Weite des Markraums angepassten Nagels nach vorherigem Aufbohren. Bei den Femurschaftfrakturen ist neben den lokalen Schäden durch den Aufbohrvorgang eine pulmonale Gefährdung des Patienten bekannt. So ist eine Einschwemmung von Fettthromben in die pulmonale Strombahn mit systemischen Reaktionen, die gerade bei polytraumatisierten Patienten zu einer erhöhten Rate an pulmonalen Komplikationen bis hin zum ARDS führen kann, nachgewiesen<sup>130,131</sup>. In unserem Patientengut konnten wir weder eine postoperative pulmonale Verschlechterung noch eine posttraumatische Osteitis verzeichnen.

Ab dem 22. Patienten kam der modifizierte Russell-Taylor-Nagel zum Einsatz, womit distal 2 Verriegelungen möglich waren, was zu einer besseren Versenkung des Nagels im Knochenfenster und Vermeidung distaler Fissuren durch bicorticale Verankerung beigetragen hat. Zusätzlich wird gerade auch im Vergleich zum Seidelnagel, bei dem ein distaler Spreizmechanismus zur Fixierung des Nagels verwendet wird, eine Verbesserung der Rotationsstabilität erreicht. Studien über die Implantation des Seidel-Nagels berichten zum Teil über deutlich höhere Zahlen an intraoperativen Komplikationen, besonders iatrogenen Frakturen bis zu 15%<sup>104</sup>, aber auch Probleme bei der distalen Verriegelung (27%) und Versagen des proximalen Spreizmechanismus (30%) mit darauffolgender Nagelprotrusion und Instabilität<sup>97</sup>.

Bei Patienten mit ossärer Metastasierung muß besonderes Augenmerk auf die radiologische Ausdehnung im Bereich des gesamten Humerus gerichtet werden. Gerade bei unklarer Situation der Stabilität des distalen Humerus erscheint die primäre Plattenosteosynthese als Verbundosteosynthese das bessere Verfahren zu sein. In unserem Patientengut kam es aufgrund einer nach distal fortgeschrittenen Metastasierung zu einer iatrogenen pathologischen Fraktur, beim Einbringen des Nagels von retrograd, welche einer zusätzlichen Plattenosteosynthese bedurfte. Andererseits gerät die Verbundosteosynthese bei ausgedehnteren Schaftosteolysen sehr schnell an ihre Grenzen, während der Nagel auch bei einem zu erwartenden Progress des Tumors noch für längere Zeit für Stabilität sorgen kann.

Bei sehr adipösen Patienten ergeben sich intraoperativ gelegentlich Probleme beim Beugen im Ellenbogengelenk, das heißt, hier nimmt die Gefahr der iatrogenen distalen Fraktur beim Einbringen des Nagels durch ‚Hebeln‘ zu. Gerade bei diesen Patienten ist aber sowohl die konservative Therapie als auch die Plattenosteosynthese ebenfalls mit großen Risiken behaftet. Ein antegrades Verfahren ist in diesen Fällen vorteilhaft.

Sekundäre Radialispareesen zeigten sich bei 4 Patienten (5,7%). Bei allen kam es ohne operative Revision innerhalb von 6 Monaten zu einer vollständigen Rückbildung. Bei Plattenosteosynthesen werden in der Literatur nicht selten Raten von über 10% - wie in der AO-Sammelstudie von 1977<sup>111</sup> und einer weiteren AO-Sammelstudie von 1991<sup>88</sup> - bis zu 12,3%<sup>100</sup> angegeben. In anderen Studien variieren die Angaben zwischen 0%<sup>60</sup> beim Seidel-Nagel und 11%<sup>35</sup> beim antegraden UHN, wobei auch bei konservativer

Behandlung durch Reposition und Frakturhämatom sekundäre Radialispareesen bis zu 3% beschrieben sind <sup>39</sup>. Eine Reihe derartiger Nervenläsionen entstehen dabei bereits durch ungeschickte Lagerungsmanöver im Operationssaal, worauf besonders bei der Bauchlagerung zu achten ist.

Zur Frage, wie mit einer postraumatischen Radialisläsion bei geschlossener Fraktur, die in unserem Patientengut nur in 2 Fällen mit Parästhesien auftrat, umzugehen ist, bestehen immer noch geteilte Meinungen. Überwiegend wird, da der Heilungsverlauf nicht mit genügender Sicherheit vorhergesagt werden kann, die Exploration des Frakturgebiets empfohlen. Dabei wird von vielen Autoren die offene Reposition und Plattenosteosynthese bevorzugt <sup>5,60,88</sup>. Grundsätzlich ist aber auch die offene Reposition unter Revision des Nerven und intramedulläre Stabilisierung möglich <sup>113</sup>.

Unserer Meinung nach sollten rein sensible N. radialis-Ausfälle keinen Anlaß zur operativen Freilegung geben, wohingegen motorische Defizite Hinweis auf eine stärkere Schädigung des Nerven geben können. Aus diesem Grund werden sensible neurologische Erscheinungen zunächst abwartend behandelt. Bei einer motorischen N. radialis-Schädigung erfolgt die offene Frakturposition und Revision des Nerven, gegebenenfalls mit Nervennaht und nachfolgende intramedulläre Nagelung. Häufig ist der N. radialis lediglich gedehnt oder gequetscht, Nervennahte sind selten notwendig.

Eine weitere postoperative Komplikation war ein oberflächlicher revisionsbedürftiger Wundinfekt (1,4%) nach geschlossener Fraktur. Indirekte Frakturstabilisierung, geringes Operationstrauma und kurze Operationszeit senken die Infektrate. Die Infektrate der Marknagelung scheint vernachlässigbar klein zu sein, was sich in unserer Studie bestätigt. Bei geschlossenen intramedullären Verfahren fanden sich Angaben von 0% <sup>1,82</sup>, 2% <sup>60</sup> bis 2,5% <sup>20</sup> und 2,7% <sup>23</sup>. Bei der Plattenosteosynthese gibt es Angaben bis 3,5% <sup>69</sup> und 4,9% <sup>111</sup>.

Außerdem mussten 3 Reosteosynthesen (4,3%) erfolgen:

1. eine Nagelkorrektur wegen Frakturdehiszenz und Varus-/Innenrotationsfehler,
2. eine Nagelreposition mit zusätzlicher Kleeblattplattenosteosynthese wegen proximalem Nagelausbruch bei Osteoporose,
3. eine Plattenreosteosynthese bei Plattenausbruch nach distaler iatrogenen Fraktur .

Bei dem ersten Patienten (s. Fallbeispiel 29) wäre bei schwieriger oder unmöglicher Reposition bereits während der ersten Operation eine zusätzliche offene Reposition erforderlich gewesen. Ähnliches wird von Blum<sup>14</sup> aus einer Multicenterstudie beschrieben, wo immerhin in 6,7% (5 Patienten) eine primär offene Nagelung mit dem UHN wegen Problemen bei der Reposition durchgeführt wurde. Vergleichbare Komplikationsraten werden in der Literatur auch bei der Plattenosteosynthese von osteoporotischen Knochen angegeben <sup>114</sup>. Typische Komplikationen der Bündelnagelung, die zu Reeingriffen oder frühzeitigen Metallentfernungen führen, sind auf Nagelwanderungen mit Reoperationen in bis zu 14% <sup>20,28</sup> zurückzuführen. Unter Verwendung des antegraden UHN wird von Fric <sup>35</sup> in 16% von einer postoperativen Nagelprotrusion mit Revision und zusätzlich in 27% von Problemen bei der Verriegelung berichtet. In unserem Patientengut kam es zu keinen Fehlplatzierungen von den in Freihandtechnik eingebrachten, bei 66 Patienten proximalen, Verriegelungsschrauben.

Pseudarthrosen sahen wir bei 3 Frakturen (5,9%). Parallelen ergaben sich trotz der unterschiedlichen Frakturformen (A1, B2, C1) was die Ausdehnung der Fraktur betraf. Bei allen Patienten handelte es sich um langstreckige Frakturen, wo zum einen interponierte Weichteile mit letzter Sicherheit nicht auszuschließen waren, zum anderen sich eine Adaptation der Knochenfragmente über die gesamte Länge der Fraktur als schwierig darstellte. Als problematisch sehen wir gerade bei diesen Patienten die eingeschränkte Rotationsstabilität durch lediglich eine proximale, dynamische Verriegelung. Eine zweite Verriegelung, beispielsweise von ventrodorsal, wie sie von uns in ausgewählten Situationen nach 2000 bereits verwendet wurde, erhöht die Rotationsstabilität deutlich. Ein zusätzliches seitliches Verriegelungsloch an der Nagelspitze ist mittlerweile Standard.

Bereits regelmäßig zur Anwendung kommen eine bis zwei zusätzliche proximale Verriegelungen beim UHN. In der bereits angesprochenen Veröffentlichung von Blum<sup>14</sup> sind die Ergebnisse, was Komplikationen und Funktion der Gelenke anbetrifft, vergleichbar mit unseren. In 3,9% kam es zur distalen Fissur, in 1% zur Fraktur. Bei 5,9% der Patienten ergaben sich, nicht zuletzt durch die höhere Anzahl, Schwierigkeiten bei den proximalen Verriegelungen, die bei uns nicht auftraten. Vor einem routinemäßigen Gebrauch gerade auch der ventrodorsalen Verriegelung wird allerdings von demselben Autor<sup>12</sup> wegen des Risikos einer Verletzung des N. axillaris - und nicht zuletzt der A. und V. axillaris - gewarnt, wozu weitere Literaturangaben existieren<sup>75,96</sup>. Sekundäre N.radialis-Paresen traten bei Blum<sup>14</sup> bei 3,9%, verzögerte Knochenbruchheilungen bzw. Pseudarthrosen bei 6,7% der Patienten auf. Ähnliche Ergebnisse wurden von Rommens<sup>98,99</sup> selbst veröffentlicht. Die funktionellen Untersuchungen und Dauer der durchschnittlichen Knochenbruchheilung erbrachten, verglichen mit unseren, nahezu identische Resultate.

Bei der konservativen Therapie finden sich bezüglich der Pseudarthroserate Werte zwischen 1%<sup>59</sup> und 11%<sup>108</sup>, wobei wegen Frakturdehiszenz und verzögerter Knochenbruchheilung sogar bis zu 31% der Patienten<sup>60</sup> einen Therapiewechsel, in diesem Fall Seidel-Nagel erhielten. Ursachen sind häufig die ungenügende Reposition und nicht durchgeführte funktionelle Behandlung mit daraus resultierender Dehiszenz und Instabilität<sup>38</sup>, was von anderen Autoren bestätigt wird<sup>69,111</sup>.

Die Pseudarthroserate bei der Plattenosteosynthese wird mit maximal 3-4 % angegeben<sup>8,123</sup>

Nachuntersuchungen nach 6 bis 12 Wochen (mittlerer Untersuchungszeitpunkt 7,4 Wochen) erbrachten in unserem Patientengut bereits gute Ergebnisse was Schulter- und Ellenbogenbeweglichkeit betraf, wobei 9 Patienten verstorben waren, weitere 8 für eine Untersuchung nicht zur Verfügung standen. Von diesen 53 Patienten zeigten 80% eine Schulterbeweglichkeit von mindestens 90 Grad Anteversion und Abduktion. Bei knapp 87% der Patienten bestand eine gute Ellenbogengelenksbeweglichkeit mit einer Extension/Flexion von mindestens 0-10.90 Grad.

Eine freie Beweglichkeit im Schulter- und Ellenbogengelenk zu einem mittleren Untersuchungszeitpunkt von 8,5 Wochen konnten wir bei 11 Patienten (15,7%) feststellen. Das Durchschnittsalter dieser Patienten belief sich auf 31,2 Jahre (17 bis 47). Die Dauer der mittleren Arbeitsunfähigkeit lag hier bei 10 Wochen (6 bis 14).

Eine achsengerechte knöcherne Heilung der Frakturen war bei 90% der Patienten innerhalb von 3 Monaten zu verzeichnen.

Die Untersuchungsergebnisse nach einem Jahr erbrachten bei 88% (n=51) der Patienten einen Punktestand von gut oder sehr gut nach dem Score nach Kwasny, d.h. eine durchschnittliche Punktezahl für alle untersuchten Patienten (n=51) von 2,6.

Die mäßigen und schlechten Ergebnisse resultierten bei 3 Patienten mit Pseudarthrosen, bei 2 alten Patientinnen mit Zustand nach antegrader Nagelung aufgrund einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung im Schultergelenk und schließlich bei einer Patientin als Folge einer intraoperativen Komplikation mit Fraktur und zusätzlicher Plattenosteosynthese.

Die Patienten mit pathologischen Frakturen profitierten durchweg mit einer deutlichen Verbesserung der Schmerzhaftigkeit des Oberarms und damit frühen Wiedererlangung der Funktion zumindest für Alltagstätigkeiten, wie selbständiges Essen und Ankleiden.

Bei 22 Patienten wurde nach durchschnittlich 25 Monaten die Metallentfernung durchgeführt. Dabei erfolgte diese planmäßig bei 19 Patienten. Zweimal wurde der Nagel im Rahmen einer Pseudarthroserevision, einmal nach Sturz mit supracondylärer Fraktur entfernt. Einzige Komplikation war eine distale Refraktur bei Entfernung der zusätzlichen Platte nach iatrogenen Fraktur, die mit erneuter Plattenosteosynthese problemlos versorgt wurde. Gerade bei jungen Patienten sollte nach Abschluss der Frakturheilung eine Metallentfernung durchgeführt werden. In der Literatur ist diese besonders nach Plattenosteosynthese aufgrund der Gefahr der Radialisschädigung wegen Unübersichtlichkeit im Narbengebiet als gefährlich beschrieben.

Aus dem Vergleich der Ergebnisse dieser Studie mit Angaben aus der Literatur sind folgende Schlussfolgerungen zu ziehen:

1. Bei konservativer Therapie werden je nach Dauer und Art der Ruhigstellung gute und sehr gute funktionelle Ergebnisse beispielsweise in 71% <sup>116</sup>, 78,3% <sup>39</sup>, 88% <sup>47</sup> und sogar 91% <sup>88</sup> angegeben, wobei der Untersuchungszeitpunkt zwischen 3 Monaten und 3 Jahren variierte. In einer Studie von Klestil <sup>66</sup> erfolgte nach durchschnittlich 18 Monaten eine Auswertung nach dem Score nach Kwasny. Danach erzielte eine konservativ behandelte Gruppe durchschnittlich 2,2 Punkte, die operativ behandelte (Plattenosteosynthesen und Verriegelungsnagel) 6,7 Punkte. Hierbei zeigen sich unsere Ergebnisse mit durchschnittlich 2,6 Punkten (Score nach Kwasny) vergleichbar mit der konservativ behandelten Gruppe und deutlich besser als die mit Plattenosteosynthese stabilisierten Patienten.

Schlechte Befunde werden bei der konservativen Behandlung besonders bei komplexeren Frakturen (B3, C2 und C3) sowie zusätzlichen Begleitverletzungen und bei hohem Alter der Patienten beschrieben. Die Dauer der Gesamtfixationszeit variierte zwischen 50 und 60 Tagen, die Behandlungsdauer zwischen durchschnittlich 80 und 100 Tagen <sup>109</sup>. Eine Aussage zur Dauer der Arbeitsunfähigkeit wurde äußerst selten - von ‚Helmreich‘ jedoch mit 80 Tagen angegeben. Knöcherner Durchbauungszeiten werden mit 8 bis 10 Wochen beschrieben <sup>39,59</sup>.

2. Einzelne Studien zur Plattenosteosynthese zeigen im wesentlichen gute funktionelle Ergebnisse, bei Kwasny <sup>69</sup> selbst sogar 90% der Patienten mit einem guten oder sehr guten Resultat. Diese Auswertungen sind mit unseren besonders gut vergleichbar wegen der Anwendung des Scores nach Kwasny, wobei keine Angaben zur durchschnittlichen Punktezahl gemacht wurden. Bei den mit Plattenosteosynthese stabilisierten Oberarmfrakturen traten 6% sekundäre Radialispareesen auf, wobei 2 von 5 einer Neurolyse unterzogen werden mussten. Abweichend von unserer Studie war das Durchschnittsalter deutlich niedriger (43 Jahre) und der Untersuchungszeitraum lag im Mittel bei 4,2 Jahren. In anderen Veröffentlichungen fehlen allerdings häufig auch detaillierte Angaben zu Funktionsprüfungen im Schulter- und Ellenbogengelenk <sup>100,133</sup>.

3. Bei den intramedullären Verfahrensweisen zeigt sich unabhängig vom Implantat eine Häufung der Schulterprobleme beim antegraden Zugangsweg <sup>3,37,57,97,104,125,127</sup>.

Besonders beim Seidelnagel sind vielfach intraoperative Probleme mit konsekutiven Komplikationen besonders der Nagelprotrusion, Rotatorenmanschettenverletzungen und des Impingementsyndroms <sup>6,22,37,43,120</sup> beschrieben worden.

Neuere Erfahrungen sowohl mit dem Russell-Taylor-Nagel <sup>1,23,49</sup> als auch mit dem ungebohrten Humerusnagel <sup>35,67</sup> beschreiben ebenfalls eine Häufung dieses Problems beim antegraden Zugangsweg. Entsprechend fallen die funktionellen Bewertungen zum Teil sehr schlecht aus. Eine Veröffentlichung von Crates <sup>24</sup> zeigt allerdings auch sehr gute Ergebnisse mit 90% kompletter Wiederherstellung der Schulterfunktion Ikpeme <sup>55</sup> von 88% guter und zufriedenstellender Schulterfunktion nach antegrader Russell-Taylor-Nagel Implantation.

In unserer Studie wurden 4 Patienten wegen spezieller Indikationsstellung, besonders wegen proximaler Frakturen, von antegrad stabilisiert. In 2 Fällen ergaben sich auch hier schlechte Ergebnisse der Schulterfunktion, besonders in Kombination mit dem hohen Alter der Patienten. Studien von Blum <sup>11</sup> und Lin <sup>73,76</sup> konnten keine signifikanten Unterschiede bei Vergleichen in der Funktion nach antegradem und retrogradem Zugangsweg feststellen, beide bevorzugen jedoch die retrograde Vorgehensweise, ebenso weitere Autoren <sup>78,84,121,126</sup>

Hinweise für eine Minderung der Kraft im distalem Arm nach retrograder Nagelung, wie in einer Studie von Strothmann <sup>117</sup> beschrieben, ergaben sich klinisch nicht.

Problematisch war in unserer prospektiv angelegten Studie zum einen die unvollständige Dokumentation von Untersuchungsergebnissen bezüglich Beruf und Dauer der Arbeitsunfähigkeit, zum anderen der hohe Anteil von pathologischen Frakturen am Gesamtpatientengut (24%) mit daraus resultierender geringer Nachuntersuchungsrate von 76 (nach 12 Wochen) bzw. 73% (nach einem Jahr). Neben häufig fehlenden Angaben über Schulter- und Ellenbogengelenksfunktion zum Entlassungszeitpunkt wurde insbesondere die Messung von Innen- und Außenrotation im Schultergelenk vernachlässigt.

Ähnliche Erfahrungen wurden allerdings auch in anderen Studien, wie beispielsweise der AO-Sammelstudie von 1991 <sup>88</sup> gemacht, wo die Nachuntersuchungsrate bei 57% lag. Die beste Dokumentation wurde erwartungsgemäß bei den Patienten durchgeführt, die ihre Oberarmfraktur als Folge eines Arbeitsunfalls erlitten hatten. In diesem Patientenkollektiv waren auch die besten Ergebnisse zu verzeichnen.

Hauptziel der Behandlung muss es sein, den schmerzfreien und ungehinderten Gebrauch von Hand und Arm zu ermöglichen, um ohne gravierende Einschränkungen den gewohnten Verrichtungen des Alltags nachgehen zu können. Aus dieser Forderung wird deutlich, dass das angestrebte Ziel zwar unabhängig von Alter und Geschlecht einheitlich formuliert werden, das Ergebnis jedoch gemäß den individuellen Anforderungen, die aus den verschiedenen Lebensaufgaben resultieren, erhebliche Unterschiede aufweisen kann. So mögen beispielsweise die objektiven Ausheilungsergebnisse eines 32jährigen Mannes, der seinem Beruf als Schreiner nachgeht und einer 84jährigen Frau, die ihren Lebensabend im Altenheim verbringt, zwar die gleichen sein. Der Mann wird jedoch funktionelle Einschränkungen unter anderem bei seiner Arbeit erheblich stärker bemerken, während die alte Frau sich möglicherweise in keiner Weise beeinträchtigt fühlt.

Gerade bei Patienten im arbeitsfähigen Alter ist die Stabilisierung einer Oberarm-schaftfraktur mit dem Russell-Taylor-Nagel besonders erfolgreich. Der große Vorteil gegenüber der konservativen Therapie stellt der frühzeitige Beginn der krankengymnastischen Übungsbehandlung dar. Bei gleichzeitiger schnellerer Schmerzreduktion nach stabiler Versorgung sind gerade „jüngere Patienten“ in der Lage in vergleichbar kürzerer Zeit die vollständige Funktion des Armes wiederzuerlangen. Gleichzeitig läßt sich die Dauer der Arbeitsunfähigkeit damit verkürzen und die Zufriedenheit des Patienten verbessern.

## 6. Zusammenfassung

Die vorliegende prospektive Studie untersucht 66 retrograde und 4 antegrade geschlossene Marknagelungen bei Humerusschaftfrakturen mit einem ab dem 22. Patienten modifizierten Russell-Taylor-Nagel in einem Untersuchungszeitraum von 5 Jahren (1995 bis 2000). Behandelt wurden 52 frische Verletzungen, davon 2 offene Frakturen, 17 pathologische Frakturen und eine verzögerte Knochenbruchheilung. Nach der AO-Klassifikation waren außer C2 und C3 Frakturen alle Frakturtypen vertreten. Die häufigste Frakturlokalisation (83%) war das mittlere Humerusschaftdrittel einschließlich der proximalen und distalen Übergangszone. Bei 17 Patienten (24%) lagen Mehrfachverletzungen vor, viermal im Sinne eines Polytraumas. Das durchschnittliche Patientenalter betrug 54 Jahre.

Als schwerwiegendste intraoperative Komplikation sahen wir in 4 Fällen (5,7%) eine iatrogene Humerusfraktur, die eine zusätzliche Plattenosteosynthese erforderte. 6 distale Fissuren bedurften keiner weiteren Therapie. Iatrogene Radialisläsionen verzeichneten wir in 4 Fällen (5,7%). Ohne operative Freilegung kam es bei allen Patienten zur vollständigen Remission. Bei einem Patienten entwickelte sich ein lokaler Wundinfekt mit Bursitis olecrani, welcher nach Revision problemlos ausheilte. Eine posttraumatische Osteitis trat in keinem Fall auf. Bei 3 Patienten (4,3%) war eine Reosteosynthese innerhalb von 4 Wochen notwendig, einmal aufgrund einer Frakturdehiszenz mit Innenrotations- und Varusfehler, einmal wegen eines proximalen Nagelausbruchs bei osteoporotischem Humeruskopf und ein drittes Mal wegen eines Plattenausbruchs nach distaler iatrogenen Fraktur. Ein Verfahrenswechsel war nicht notwendig. Zweimal wurde ein gelockerter proximaler Verriegelungsbolzen vorzeitig entfernt. Spätestens ab dem dritten postoperativen Tag wurde mit einer aktiven Übungsbehandlung begonnen.

Klinische und radiologische Kontrollen nach 6 bis 12 Wochen und nach einem Jahr waren bei 53 bzw. 51 Patienten (76 bzw. 73%) möglich. Nach einem durchschnittlichen Untersuchungszeitpunkt von 7,4 Wochen zeigten 80% der Patienten eine gute bis sehr gute Schulterbeweglichkeit sowie 87% eine gute bis exzellente Funktion im Ellenbogengelenk. Bei 11 Patienten (15,7%) bestand eine freie Beweglichkeit im Schulter- und Ellenbogengelenk nach im Mittel 8,5 Wochen. Das Durchschnittsalter dieser Patienten lag bei 31,2 Jahren (17 bis 47) und damit deutlich unter dem

Altersgesamtdurchschnitt. Die Dauer der Arbeitsunfähigkeit belief sich auf 6 bis 14 (im Durchschnitt 10) Wochen. Nach 3 Monaten fand sich bei nahezu 90% (47) eine knöcherne Konsolidierung der Fraktur.

Bei 88% der Patienten ergab sich nach einem Jahr ein Punktestand von gut oder sehr gut nach dem Score nach Kwasny, wo neben der klinischen und radiologischen Untersuchung auch subjektive Befunde und die Kosmetik miteinbezogen wurden. Mäßige und schlechte Ergebnisse resultierten bei 3 Patienten mit Pseudarthrosen (5,9%). Bei 2 älteren Patientinnen mit Zustand nach antegrader Nagelung kam es zu einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung im Schultergelenk und bei einer Patientin als Folge einer intraoperativen Komplikation mit Fraktur und zusätzlicher Plattenosteosynthese zur Funktionseinschränkung von Ellenbogen- und Schultergelenk. Die Pseudarthrosen wurden zweimal mit Hilfe eines Verfahrenswechsels, d.h. Metallentfernung, Plattenosteosynthese und Spongiosplastik und einmal mit zusätzlicher Cerclage und Spongiosaanlagerung erfolgreich behandelt. Metallentfernungen wurden planmäßig bei 19 Patienten durchgeführt, wobei es in einem Fall bei Entfernung einer zusätzlichen Platte zu einer Refraktur im Bereich einer ursprünglich iatrogenen distalen Fraktur kam. Diese wurde mit erneuter Plattenosteosynthese problemlos stabilisiert.

Bei den 17 Patienten mit pathologischen Frakturen kam es ohne große zusätzliche Belastung zu einer raschen Verbesserung der Beschwerdesymptomatik und Gebrauchsfähigkeit des Armes. Bei 2 Patienten war ein gutes bis sehr gutes funktionelles Ergebnis auch noch nach 8 und 10 Monaten nachweisbar. Innerhalb eines Jahres waren allerdings 64,7% (11) der Patienten verstorben, die mittlere Überlebensdauer betrug 4,5 Monate.

Zusammenfassend beurteilen wir den von retrograd eingebrachten Russell-Taylor-Nagel mit seiner von uns vorgenommenen Modifizierung als ein geeignetes Implantat zur Stabilisierung von Humerusschaftfrakturen. Wesentliche Komplikationen des Verfahrens

können unter Beachtung bestimmter technischer Regeln vermieden werden. Wie auch bei der Einführung anderer neuer Verfahren ist zu erwarten, dass nach Abschluss der „learning curve“ eine Reihe der aufgetretenen Probleme nicht mehr vorkommen sollten. Durch die guten funktionellen Ergebnisse bestätigt, sind wir der Meinung, dass gerade

der retrograde Zugangsweg bei nahezu allen Fraktursituationen im Bereich der Diaphyse zum Einsatz kommen kann und sei es beispielsweise bei langen Spiralfrakturen mit zusätzlichen Implantaten wie Zugschrauben oder Cerclagedraht. Allerdings wird in weiteren Studien zu klären sein, ob mit einer oder zwei zusätzlichen proximalen Verriegelungen eine Senkung der Pseudarthroserate über die Verbesserung der Rotationsstabilität zu erreichen ist. Zusätzliche proximale Verriegelungen sollten unseres Erachtens aber besonderen Frakturformen, wie z.B. den oben genannten langen Spiralfrakturen, vorbehalten bleiben. Ganz besonders bewährt hat sich in unserer Studie der Einsatz bei jüngeren Patienten, die einer frühfunktionellen Übungsbehandlung besonders zugänglich sind und somit durch schnelle Wiedererlangung von Kraft und Funktion des Armes am meisten profitieren. Nicht zuletzt kann damit auch die Dauer der Arbeitsunfähigkeit reduziert werden. Aber auch bei Patienten mit pathologischen Frakturen empfiehlt sich das Verfahren besonders aufgrund der schnellen Beschwerdefreiheit und Wiederherstellung der Armfunktion.

## 7. Literaturliste

1. **Ajmal, M.; O'Sullivan, M.; McCabe, J.; and Curtin, W.:** Antegrade locked intramedullary nailing in humeral shaft fractures. *Injury*, 32(9): 692-4, 2001.
2. **Alt, V., and Persoons, D.:** [The BEHAC nail--a new intramedullary implant for managing 2-stage fractures of the humerus]. *Unfallchirurg*, 105(5): 471-3, 2002.
3. **Bain, G. I.; Sandow, M. J.; and Howie, D. W.:** Treatment of humeral shaft fractures with the Seidel intramedullary nail. *Aust N Z J Surg*, 66(3): 156-8, 1996.
4. **Bandi, W.:** Indikation und Technik der Osteosynthese am Humerus. *Helv chir acta*, 31: 89, 1989.
5. **Baranowski, D., and Brug, E.:** Aktuelle Indikationen zur Bündelnagelung. *Unfallchirurg*, 92: 486-94, 1989.
6. **Barnes, C. E., and Shuler, T. E.:** Complications associated with the Seidel nail. *Orthop Rev*, 22(6): 699-706, 1993.
7. **Beguin, J. M.; Plenevaux, P.; and Poilvache, G.:** [Considerations concerning the treatment of pseudarthrosis of the humerus]. *Acta Orthop Belg*, 57(2): 114-23, 1991.
8. **Bell, M.:** The results of plating humeral shaft fractures in patients with multiple injuries. *J Bone Joint Surg Br*, 67 (2): 293-6, 1985.
9. **Blum, J.; Janzing, H.; Gahr, R.; Langendorff, H. S.; and Rommens, P. M.:** Clinical performance of a new medullary humeral nail: antegrade versus retrograde insertion. *J Orthop Trauma*, 15(5): 342-9, 2001.
10. **Blum, J.; Machemer, H.; Baumgart, F.; Schlegel, U.; Wahl, D.; and Rommens, P. M.:** Biomechanical comparison of bending and torsional properties in retrograde intramedullary nailing of humeral shaft fractures. *J Orthop Trauma*, 13(5): 344-50, 1999.
11. **Blum, J.; Machemer, H.; Hogner, M.; Baumgart, F.; Schlegel, U.; Wahl, D.; and Rommens, P. M.:** Biomechanik der Verriegelungsmarknagelung bei Oberarmschaftfrakturen. *Unfallchirurg*, 103(3): 183-90, 2000.
12. **Blum, J., and Rommens, P. M.:** [Proximal interlocking of humeral intramedullary nails and risk of axillary nerve injury]. *Unfallchirurg*, 105(1): 9-13, 2002.
13. **Blum, J.; Rommens, P. M.; and Janzing, H.:** The unreamed humeral nail--a biological osteosynthesis of the upper arm. *Acta Chir Belg*, 97(4): 184-9, 1997.
14. **Blum, J.; Rommens, P. M.; Janzing, H.; and Langendorff, H. S.:** Retrograde Nagelung von Humerusschaftfrakturen mit dem UHN. *Unfallchirurg*, 101(5): 342-52, 1998.
15. **Böhler, L.:** Gegen die operative Behandlung von frischen Oberarmschaftbrüchen. *Langenbecks Arch Klin Chir*, 3: 465-75, 1964.
16. **Bosch, U.; Skutek, M.; Kasperczyk, W. J.; and Tscherne, H.:** [Nonunion of the humeral diaphysis - operative and nonoperative treatment]. *Chirurg*, 70(11): 1202-8, 1999.
17. **Brug, E.; Westphal, T.; and Schäfers, G.:** Differenzierte Behandlung der Humerusdiaphysenfrakturen. *Unfallchirurg*, 97: 633-8, 1994.

18. **Brumback, R. J.; Bosse, M. J.; Poka, A.; and Burgess, A. R.:** Intramedullary stabilization of humeral shaft fractures in patients with multiple trauma. *J Bone Joint Surg Am*, 68(7): 960-70, 1986.
19. **Chapman, J. R.; Henley, M. B.; Agel, J.; and Benca, P. J.:** Randomized prospective study of humeral shaft fracture fixation: intramedullary nails versus plates. *J Orthop Trauma*, 14(3): 162-6, 2000.
20. **Chen, C. M.; Chiu, F. Y.; and Lo, W. H.:** Treatment of acute closed humeral shaft fractures with Ender nails. *Injury*, 31(9): 683-5, 2000.
21. **Claes, L.; Angat, P.; Wilke, H.; and Suger, G.:** The influence of interfragmentary movement on bone healing. *The 4th Conference of International Society for Fracture Repair*, Abstracts, p24, 1994.
22. **Corradi, M.; Petriccioli, D.; Panno, B.; and Marengi, P.:** Seidel locked nailing for the treatment of unstable fractures and nonunion of the humerus. *Chir Organi Mov*, 81(2): 189-95, 1996.
23. **Cox, M. A.; Dolan, M.; Synnott, K.; and McElwain, J. P.:** Closed interlocking nailing of humeral shaft fractures with the Russell-Taylor nail. *J Orthop Trauma*, 14(5): 349-53, 2000.
24. **Crates, J., and Whittle, A. P.:** Antegrade interlocking nailing of acute humeral shaft fractures. *Clin Orthop*, 31(350): 40-50, 1998.
25. **Dalton, J. E.; Salkeld, S. L.; Satterwhite, Y. E.; and Cook, S. D.:** A biomechanical comparison of intramedullary nailing systems for the humerus. *J Orthop Trauma*, 7(4): 367-74, 1993.
26. **De Bastiani, G.; Aldegeri, R.; and Renzi-Brivio, L.:** The treatment of fracture with the dynamic axial fixateur. *J Bone Joint Surg Br*, 66: 538-545, 1984.
27. **Dijkstra, S.; Stapert, J.; Boxma, H.; and Wiggers, T.:** Treatment of pathological fractures of the humeral shaft due to bone metastases: a comparison of intramedullary locking nail and plate osteosynthesis with adjunctive bone cement. *Eur J Surg Oncol*, 22(6): 621-6, 1996.
28. **Durbin, R. A.; Gottesman, M. J.; and Saunders, K. C.:** Hackethal stacked nailing of humeral shaft fractures. Experience with 30 patients. *Clin Orthop*, 45(179): 168-74, 1983.
29. **Eberle, C.; Keller, H.; Guyer, P.; and Metzger, U.:** [Stable interlocking intramedullary nailing of humeral fractures with the Seidel nail]. *Helv Chir Acta*, 59(4): 673-7, 1993.
30. **Eingartner, C.; Putz, M.; Schwab, E.; and Weise, K.:** [Unreamed intramedullary nailing as minimal invasive palliative intervention in osteolysis and pathologic fractures of long tubular bones]. *Unfallchirurg*, 100(9): 715-8, 1997.
31. **Fattah, H. A.; Halawa, E. E.; and Shafy, T. H.:** Non-union of the humeral shaft: a report on 25 cases. *Injury*, 14(3): 255-62, 1982.
32. **Foster, R. J.; Dixon, G. L.; Bach, A. W.; Appleyard, R. W.; and Green, T. M.:** Internal fixation of fractures and non-unions of the humeral shaft. Indications and results in a multi-center study. *J Bone Joint Surg Am*, 67(6): 857-64, 1985.
33. **Franck, W. M.; Olivieri, M.; Jannasch, O.; and Hennig, F. F.:** Expandable nail system for osteoporotic humeral shaft fractures: preliminary results. *J Trauma*, 54(6): 1152-8, 2003.
34. **Franck, W. M.; Olivieri, M.; Jannasch, O.; and Hennig, F. F.:** An expandable nailing system for the management of pathological humerus fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*, 122(7): 400-5, 2002.

35. **Fric, V.; Pazdirek, P.; and Bartonicek, J.:** [Unreamed locking intramedullary nailing of humeral fractures--basic evaluation of a patient group]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*, 68(6): 345-56, 2001.
36. **Garnavos, C.; Seaton, J.; and Lunn, P. G.:** The treatment of selected fractures of the humeral shaft with the True-Flex nail. *Injury*, 29(4): 269-75, 1998.
37. **Gaullier, O.; Rebai, L.; Dunaud, J. L.; Moughabghab, M.; and Benaissa, S.:** [Treatment of fresh humeral diaphysis fractures by Seidel intramedullary locked nailing. A study of 23 initial cases after 2.5 years with rotator cuff evaluation]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 85(4): 349-61, 1999.
38. **Giebel, G.; Tscherne, H.; and Reißmann, K.:** Die gestörte Frakturheilung am Oberarm. *Unfallchirurg*, 89: 353-60, 1986.
39. **Goldhahn, S.; Bach, O.; Friedel, R.; and Markgraf, E.:** Funktionelle Knochenbruchbehandlung am Oberarm. *Unfallchirurgie*, 22(5): 209-15, 1996.
40. **Goodship, A. E., and Kenwright, J.:** The influence of induced micromovement upon the healing of experimental fractures. *J Bone Joint Surg Br*, 67: 650-655, 1985.
41. **Gualdrini, G.; Pascarella, R.; Colozza, A.; and Stagni, C.:** Infected nonunion of the humerus. *Chir Organi Mov*, 85(3): 251-5, 2000.
42. **Gualtieri, I.; Prosperi, L.; Gagliardi, S.; and Gualtieri, G.:** [Nailing with Rush nails in diaphyseal fractures of the humerus]. *Chir Organi Mov*, 72(4): 339-42, 1987.
43. **Habernek, H.:** A locking nail for fractures of the humerus. *J Bone Joint Surg Br*, 80(3): 557, 1998.
44. **Hackethal, K. H.:** Die Bündelnagelung. *Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg*, 1961.
45. **Halder, S. C.; Chapman, J. A.; Choudhury, G.; and Wallace, W. A.:** Retrograde fixation of fractures of the neck and shaft of the humerus with the 'Halder humeral nail'. *Injury*, 32(9): 695-703, 2001.
46. **Hall, R. F., and Pankovich, A. M.:** Ender nailing of acute fractures of the humerus. A study of closed fixation by intramedullary nails without reaming. *J Bone Joint Surg Am*, 69(4): 558-67, 1987.
47. **Helmreich, M.:** Die funktionelle Behandlung der OA-Schaftfrakturen nach Sarmiento. *Unfallchirurg*, 90: 502-507, 1987.
48. **Hempel, V. D.:** Intramedullary nailing of the humerus. *Browner BD, Edwards CC (eds). The science and practice of intramedullary nailing*, (Lea & Febiger, Philadelphia): 319-23, 1987.
49. **Hems, T. E., and Bhullar, T. P.:** Interlocking nailing of humeral shaft fractures: the Oxford experience 1991 to 1994. *Injury*, 27(7): 485-9, 1996.
50. **Henley, M. B.; Chapman, J. R.; and Claudi, B. F.:** Closed retrograde Hackethal nail stabilization of humeral shaft fractures. *J Orthop Trauma*, 6(1): 18-24, 1992.
51. **Hennig, F.; Link, W.; and Wofel, R.:** Bündelnagelung - eine Bilanz nach 27 Jahren. *Aktuelle Traumatol*, 18(3): 117-9, 1988.
52. **Herzog, T.; Hoffmann, A.; and Link, W.:** Die Bündelnagelung als Ausnahmeindikation bei pathologischen Oberarmfrakturen. *Unfallchirurg*, 92(2): 64-7, 1989.
53. **Hillmeier, J.; Krause, V.; and Brutscher, R.:** Probleme der retrograden Nagelung von Humerusschaftfrakturen. *Unfallchirurgie*, 25(1): 26-32, 1999.
54. **Hyder, N., and Wray, C. C.:** Treatment of pathological fractures of the humerus with Ender nails. *J R Coll Surg Edinb*, 38(6): 370-2, 1993.

55. **Ikpeme, J. O.:** Intramedullary interlocking nailing for humeral fractures: experiences with the Russell-Taylor humeral nail. *Injury*, 25(7): 447-55, 1994.
56. **Ingman, A. M., and Waters, D. A.:** Locked intramedullary nailing of humeral shaft fractures. Implant design, surgical technique, and clinical results. *J Bone Joint Surg Br*, 76(1): 23-9, 1994.
57. **Jensen, C. H.; Hansen, D.; and Jorgensen, U.:** Humeral shaft fractures treated by interlocking nailing: a preliminary report on 16 patients. *Injury*, 23(4): 234-6., 1992.
58. **Jurowich, B.; Hübner, W.; and Kautz, U.:** Erste Erfahrungen mit der Oberarmverriegelungsnagelung nach Russell-Taylor. *Osteo Int*: 311-18, 1993.
59. **Kayser, M.; Muhr, G.; op den Winkel, R.; and Ekkernkamp, A.:** Funktionelle Behandlung der Humerusfraktur nach Sarmiento. *Unfallchirurg*, 89: 253-58, 1986.
60. **Kelsch, G.; Deffner, P.; and Ulrich, C.:** Die Humerusverriegelungsnagelung nach Seidel. *Unfallchirurg*, 100(2): 111-8, 1997.
61. **Kempf, I.; Heckel, T.; Pidhorz, L. E.; Taglang, G.; and Grosse, A.:** [Interlocking nail according to Seidel in recent diaphyseal fractures of the humerus. Review of 41 cases of 48 fractures]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 80(1): 5-13, 1995.
62. **Kessler, S. B.:** The effect of reaming and intramedullary nailing on fracture healing. *Clin Orthop*, 212: 18-25, 1986.
63. **Kessler, S. B.; Nast-Kolb, D.; Brunner, U.; and Wischhofer, E.:** Marknagelung des Oberarms als Alternative zur konservativen Therapie und zur Plattenosteosynthese. *Orthopäde*, 25(3): 216-22, 1996.
64. **Khodadadyan-Klostermann, C.; Raschke, M.; Fontes, R.; Melcher, I.; Sossan, A.; Bagchi, K.; and Haas, N.:** Treatment of complex proximal humeral fractures with minimally invasive fixation of the humeral head combined with flexible intramedullary wire fixation - introduction of a new treatment concept. *Langenbecks Arch Surg*, 387(3-4): 153-60, 2002.
65. **Klein, M. P. M.; Rahn, B. A.; and Frigg, R.:** Reaming versus nonreaming in medullary nailing: Interference with cortical circulation of the canine tibia. *Arch Orthop Trauma Surg*, 109: 314-316, 1990.
66. **Klestil, T.; Rangger, C.; Kathrein, A.; Brenner, E.; and Beck, E.:** Konservative und operative Therapie traumatischer Oberarmschaftbrüche. *Chirurg*, 68: 1132-36, 1997.
67. **Kropfl, A.; Naglik, H.; Niederwieser, B.; and Hertz, H.:** Unaufgebohrte antegrade Oberarmverriegelungsnagelung. *Unfallchirurg*, 103(5): 348-54, 2000.
68. **Küntschner, G.:** 25 Jahre Marknagelung. *Zentralbl Chir*, 45: 2257-2263, 1965.
69. **Kwasny, O.; Maier, R.; and Scharf, W.:** Die operative Versorgung von Humerusschaftfrakturen. *Akt Traumatol*, 20: 87-92, 1990.
70. **Labitzke, R.:** Die Endo-Helix - ein Markraumstabilisator für Röhrenknochen. *Hefte Unfallchir*, 230: 833-4, 1993.
71. **Lammens, J.; Bauduin, G.; Driesen, R.; Moens, P.; Stuyck, J.; De Smet, L.; and Fabry, G.:** Treatment of nonunion of the humerus using the Ilizarov external fixator. *Clin Orthop*, (353): 223-30, 1998.
72. **Le Bellec, Y.; Masméjan, E.; Cottias, P.; Alnot, J. Y.; and Hutten, D.:** [Internal fixation of proximal humerus fracture by "palm tree" pinning]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 88(4): 342-8, 2002.
73. **Lin, J., and Hou, S. M.:** Rotational alignment of humerus after closed locked nailing. *J Trauma*, 49(5): 854-9, 2000.

74. **Lin, J.; Hou, S. M.; and Hang, Y. S.:** Treatment of humeral shaft delayed unions and nonunions with humeral locked nails. *J Trauma*, 48(4): 695-703, 2000.
75. **Lin, J.; Hou, S. M.; Inoue, N.; Chao, E. Y.; and Hang, Y. S.:** Anatomic considerations of locked humeral nailing. *Clin Orthop*, 48(368): 247-54, 1999.
76. **Lin, J.; Inoue, N.; Valdevit, A.; Hang, Y. S.; Hou, S. M.; and Chao, E. Y.:** Biomechanical comparison of antegrade and retrograde nailing of humeral shaft fracture. *Clin Orthop*, 48(351): 203-13, 1998.
77. **Link, W., and Henning, F.:** Indikation und Osteosyntheseverfahren bei Humerusschaftfrakturen. *Aktuelle Traumatol*, 18(3): 120-4, 1988.
78. **Loitz, D.; Konnecker, H.; Illgner, A.; and Reilmann, H.:** [Retrograde intramedullary nailing of humeral fractures with new implants. Analysis of 120 consecutive cases]. *Unfallchirurg*, 101(7): 543-50, 1998.
79. **Mackay, I.:** Closed Rush pinning of fractures of the humeral shaft. *Injury*, 16(3): 178-81, 1984.
80. **Marchetti, P. G.; Vicenzi, G.; Impallomeni, C.; Landi, S.; and Surdo, V.:** The use of elastic nails for intramedullary fixation of humeral fractures and nonunions. *Orthopedics*, 23(4): 343-7, 2000.
81. **Martinez, A. A.; Cuenca, J.; and Herrera, A.:** Treatment of humeral shaft nonunions: nailing versus plating. *Arch Orthop Trauma Surg*, 124(2): 92-5, 2004.
82. **Marty, B.; Kach, K.; Candinas, D.; Friedl, H. P.; and Trentz, O.:** Die Marknagelung der Humerusschaftfraktur. *Helv Chir Acta*, 59(4): 681-5, 1993.
83. **Mauch, J.; Renner, N.; and Rikli, D.:** [Intramedullary nailing of humeral shaft fractures--initial experiences with an unreamed humerus nail]]. *Swiss Surg*, 6(6): 299-303, 2000.
84. **McKee, D.:** Retrograde locked nailing of humeral shaft fractures. *J Bone Joint Surg Br*, 77(4): 667, 1995.
85. **McKee, M. D.; Miranda, M. A.; Riemer, B. L.; Blasier, R. B.; Redmond, B. J.; Sims, S. H.; Waddell, J. P.; and Jupiter, J. B.:** Management of humeral nonunion after the failure of locking intramedullary nails. *J Orthop Trauma*, 10(7): 492-9, 1996.
86. **Modabber, M. R., and Jupiter, J. B.:** Operative management of diaphyseal fractures of the humerus. Plate versus nail. *Clin Orthop*, 101(347): 93-104, 1998.
87. **Müller, M., Nazarian, S., Koch, P.:** Classification AO des fractures. *Springer, Berlin, Heidelberg, New York*, 1987.
88. **Nast-Kolb, D.; Knoefel, W. T.; and Schweiberer, L.:** Die Behandlung der Oberarmschaftfraktur. Ergebnisse einer prospektiven AO-Sammelstudie. *Unfallchirurg*, 94: 447-54, 1991.
89. **Patel, V. R.; Menon, D. K.; Pool, R. D.; and Simonis, R. B.:** Nonunion of the humerus after failure of surgical treatment. Management using the Ilizarov circular fixator. *J Bone Joint Surg Br*, 82(7): 977-83, 2000.
90. **Petsatodes, G.; Karataglis, D.; Papadopoulos, P.; Christoforides, J.; Gigis, J.; and Pournaras, J.:** Antegrade interlocking nailing of humeral shaft fractures. *J Orthop Sci*, 9(3): 247-52, 2004.
91. **Piatek, S.; Westphal, T.; Bischoff, J.; Schubert, S.; Holmenschlager, F.; and Winckler, S.:** [Intramedullary stabilisation of metastatic fractures of long bones]. *Zentralbl Chir*, 128(2): 131-8, 2003.

92. **Pietu, G.; Letenneur, J.; and Bourgade, M.:** [The Seidel humeral nail in limited indications: pathological fractures, delayed union, pseudarthrosis and reconstruction]. *Acta Orthop Belg*, 60(2): 187-93, 1994.
93. **Ponziani, L.; Pascarella, R.; Barchetti, M.; Palumbi, P.; Trono, M.; and Magnani, M.:** Fractures of the humerus treated by elastic nailing. *Chir Organi Mov*, 86(1): 15-9, 2001.
94. **Raschke, M.; Khodadadyan, C.; Maitino, P. D.; Hoffmann, R.; and Sudkamp, N. P.:** Nonunion of the humerus following intramedullary nailing treated by Ilizarov hybrid fixation. *J Orthop Trauma*, 12(2): 138-41, 1998.
95. **Redmond, B. J.; Biermann, J. S.; and Blasier, R. B.:** Interlocking intramedullary nailing of pathological fractures of the shaft of the humerus. *J Bone Joint Surg Am*, 78(6): 891-6, 1996.
96. **Riemer, B. L., and D'Ambrosia, R.:** The risk of injury to the axillary nerve, artery, and vein from proximal locking screws of humeral intramedullary nails. *Orthopedics*, 15(6): 697-9, 1992.
97. **Robinson, C. M.; Bell, K. M.; Court-Brown, C. M.; and McQueen, M. M.:** Locked nailing of humeral shaft fractures. Experience in Edinburgh over a two-year period. *J Bone Joint Surg Br*, 74(4): 558-62, 1992.
98. **Rommens, P. M., and Blum, J.:** Die retrograde Verriegelungsmarknagelung von Humerusschaftfrakturen mit dem unaufgebohrten Humerusnagel. *Operat Orthop Traumatolog*, 11: 268-77, 1999.
99. **Rommens, P. M.; Blum, J.; and Runkel, M.:** Retrograde nailing of humeral shaft fractures. *Clin Orthop*, 101(350): 26-39, 1998.
100. **Rommens, P. M.; Vansteenkiste, F.; Stappaerts, K. H.; and Broos, P. L.:** Indikationen, Gefahren und Ergebnisse der operativen Behandlung von Oberarmschaftfrakturen. *Unfallchirurg*, 92(12): 565-70, 1989.
101. **Rommens, P. M.; Verbruggen, J.; and Broos, P. L.:** Retrograde Verriegelungsnagelung der Humerusschaftfraktur. *Unfallchirurg*, 98(3): 133-8, 1995.
102. **Rotini, R.; Bianco, T.; Bettini, N.; Cervellati, C.; Mignani, G.; Fontana, M.; and Fontanesi, G.:** The anchor nail in osteosynthesis of fractures of the humerus. *Chir Organi Mov*, 78(1): 31-7, 1993.
103. **Rubel, I. F.; Kloen, P.; Campbell, D.; Schwartz, M.; Liew, A.; Myers, E.; and Helfet, D. L.:** Open reduction and internal fixation of humeral nonunions: a biomechanical and clinical study. *J Bone Joint Surg Am*, 84-A (8): 1315-22, 2002.
104. **Ruf, W., and Pauly, E.:** Zur Problematik der Humerusverriegelungsnagelung. *Unfallchirurg*, 96(6): 323-8, 1993.
105. **Runkel, M.; Wenda, K.; Ritter, G.; and Rahn, B. A.:** Knochenheilung nach unaufgebohrter Marknagelung. *Unfallchirurg*, 96: 1-7, 1994.
106. **Rush, L., and Rush, H.:** Intramedullary fixation of fractures of the humerus by the longitudinal pin. *Surgery*, 27: 268-75, 1950.
107. **Rüter, A. T., O.; Wagner, M.:** Unfallchirurgie. *Urban und Fischer Verlag*, 2. Auflage 2004.
108. **Sarmiento, A., and Latta, L.:** Functional bracing of fractures of the shaft of the humerus. *J Bone Joint Surg*, 59-A: 596-601, 1977.
109. **Schellander, R.; Braunstätter, K.; Ortner, R.; and Schedl, R.:** Der Stellenwert der funktionellen Behandlung des Oberarmschaftbruches. *Osteosynthese International (Hrsg. Rommens, P., Vecsei, V.)*, International Congress Leuven 1994. University Press, Leuven: 272-74, 1995.

110. **Schratz, W.; Wörsdorfer, O.; Klockner, C.; and Gotze, C.:** [Treatment of humeral shaft fracture with intramedullary procedures (Seidel nail, Marchetti-Vicenzi nail, Prevot pins)]. *Unfallchirurg*, 101(1): 12-7, 1998.
111. **Schweiberer, L.; Poelau, P.; and Gräber, S.:** Plattenosteosynthese bei Oberarmschaftfrakturen, Sammelstudie der deutschen Sektion der AO International. *Unfallheilkunde*, 80: 231-35, 1977.
112. **Seidel, H.:** Humeral locking nail: a preliminary report. *Orthopedics*, 12(2): 219-26, 1989.
113. **Seidel, H.:** Verriegelungsnagelung am Humerus. *Operat Orthop Traumatolog*, 3: 158-68, 1991.
114. **Siebert, C. H.; Heinz, B. C.; Hofler, H. R.; and Hansis, M.:** Plattenosteosynthetische Versorgung von Humerusschaftfrakturen. *Unfallchirurg*, 99(2): 106-11, 1996.
115. **Stannard, J. P.; Harris, H. W.; McGwin, G., Jr.; Volgas, D. A.; and Alonso, J. E.:** Intramedullary nailing of humeral shaft fractures with a locking flexible nail. *J Bone Joint Surg Am*, 85-A (11): 2103-10, 2003.
116. **Steinmüller, T.; Dreithaler, B.; Grauhan, O.; and Schauwecker, H.:** Ergebnisse der frühfunktionellen Behandlung von Humerusschaftfrakturen. *Hefte Unfallchir*, 230: 847-50, 1993.
117. **Strothman, D.; Templeman, D. C.; Varecka, T.; and Bechtold, J.:** Retrograde nailing of humeral shaft fractures: a biomechanical study of its effects on the strength of the distal humerus. *J Orthop Trauma*, 14(2): 101-4, 2000.
118. **Südkamp, N. P.; Hoffmann, R.; Khodadadyan, C.; and Haas, N.:** AO Humerus Flex Nagel - ein neues Marknagelsystem zur Versorgung von Humerusfrakturen. *Hefte Unfallchir*, 262: 142, 1996.
119. **Svend-Hansen, H.; Skettrup, M.; and Rathcke, M. W.:** Complications using the Seidel intramedullary humeral nail: outcome in 31 patients. *Acta Orthop Belg*, 64(3): 291-5, 1998.
120. **Thomsen, N. O.; Mikkelsen, J. B.; Svendsen, R. N.; Skovgaard, N.; Jensen, C. H.; and Jorgensen, U.:** Interlocking nailing of humeral shaft fractures. *J Orthop Sci*, 3(4): 199-203, 1998.
121. **Togninalli, D., and Remiger, A.:** [Antegrade or retrograde intramedullary nailing in diaphyseal or sub-capital humeral fractures in the adult]. *Swiss Surg*, 28(4): 193-7, 1998.
122. **Tscherne, H., and Wippermann, B. W.:** Konservative Frakturbehandlung der oberen Extremität. *Chirurg*, 61: 752-760, 1990.
123. **Vander Griend, R.; Tomasin, J.; and Ward, E. F.:** Open reduction and internal fixation of humeral shaft fractures. *J Bone Joint Surg Am*, 68: 430-33, 1986.
124. **Vander Griend, R. A.; Ward, E. F.; and Tomasin, J.:** Closed Kuntscher nailing of humeral shaft fractures. *J Trauma*, 25(12): 1167-9, 1985.
125. **Varley, G. W.:** The Seidel locking humeral nail: the Nottingham experience. *Injury*, 26(3): 155-7, 1995.
126. **Vecsei, N.; Kolonja, A.; Mousavi, M.; and Vecsei, V.:** [Intramedullary fixation of humerus shaft fractures. An analysis of complications of 2 implants with special reference to outcome after management with the unreamed humerus interlocking nail]. *Wien Klin Wochenschr*, 113(15-16): 597-604, 2001.

127. **Wahler, G.; Dann, K.; Wagner, M.; and Vecsei, N.:** Die Auswirkungen der Oberarmverriegelungsnagelung nach Seidel auf die Rotatorenmanschette. *Osteo Int*, 2: 104-106, 1995.
128. **Walch, G.; Badet, R.; Nove-Josserand, L.; and Levigne, C.:** Nonunions of the surgical neck of the humerus: surgical treatment with an intramedullary bone peg, internal fixation, and cancellous bone grafting. *J Shoulder Elbow Surg*, 5(3): 161-8, 1996.
129. **Wasmer, G., and Wörsdorfer, O.:** Funktionelle Behandlung von Oberarmschaftbrüchen mit der Sarmientomanschette. *Unfallheilkunde*, 87: 309-315, 1984.
130. **Waydhas, C.; Nast-Kolb, D.; Kick, M.; and Schweiberer, L.:** Posttraumatic inflammatory response, secondary operations and late multiple organ failure. *J Trauma*, 37: 624-631, 1996.
131. **Wenda, K.; Ritter, G.; Degreif, G.; and Rudigier, J.:** Zur Genese pulmonaler Komplikationen nach Marknagelosteosynthesen. *Unfallchirurg*, 91: 432-435, 1988.
132. **Williams, P. R., and Shewring, D.:** Use of an elastic intramedullary nail in difficult humeral fractures. *Injury*, 29(9): 661-70, 1998.
133. **Winker, H.; Vosberg, W.; and Cryis, A.:** Behandlungsergebnisse nach Oberarmschaftfrakturen. *Akt Traumatol*, 23: 36-41, 1993.
134. **Wölfel, R.; Link, W.; and Spitzpfeil, E.:** Der Monofixateur zur Behandlung von Oberarmschaftfrakturen. *Osteo Int*, 2: 104-106, 1995.
135. **Wu, C. C., and Shih, C. H.:** Treatment for nonunion of the shaft of the humerus: comparison of plates and Seidel interlocking nails. *Can J Surg*, 35(6): 661-5, 1992.
136. **Zatti, G.; Teli, M.; Ferrario, A.; and Cherubino, P.:** Treatment of closed humeral shaft fractures with intramedullary elastic nails. *J Trauma*, 45(6): 1046-50, 1998.

## Lebenslauf

Name: Viviane Nicole Moersig, geb. Krause

Geburtstag, -ort: 24.11.1965, Hamburg

Familienstand: verheiratet, 2 Kinder

Ehemann: Dr. Wolfgang Moersig, Herzchirurg

Religion: evangelisch

Abitur: 1984 Gymnasium Meiendorf in Hamburg

Studium der Medizin: 1985 bis 1991 Universität Hamburg

Drittes Staatsexamen: 27.11.1991

Beruflicher Werdegang: 15.12.1991 bis 15.06.1993 Ärztin im Praktikum in der chirurgischen Klinik des Krankenhauses Reinbek, St. Adolf-Stift bei Herrn Prof. Dr. med. A. Eggert

16.06.1993 bis 31.07.1995 Folgebeschäftigung als Assistenzärztin in der Weiterbildung für Chirurgie im Krankenhaus Reinbek

12/93 Anerkennung der ‚Fachkunde Rettungsdienst‘ mit regelmäßigen Einsätzen als Notärztin im Rahmen der chirurgischen Bereitschaftsdienste

01.08.1995 bis 30.09.1998 Klinikum Darmstadt:  
21,5 Monate Assistenzärztin in der Klinik für Allgemein-, Thorax- und Gefäßchirurgie bei Herrn Prof. Dr. med. Chr. Petermann.

15,5 Monate Assistenzärztin in der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie bei Herrn Prof. Dr. med. R. Brutscher

09.12.1998 Facharztanerkennung für Chirurgie, Landesärztekammer Hessen

01.10.1998 bis 12.04.2000 Weiterbildung für den Schwerpunkt Unfallchirurgie in der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie im Klinikum Darmstadt

Krefeld, den 28.06.2005

## **Danksagung**

Herrn Prof. Dr. Robert Brutscher danke ich für die Überlassung dieses interessanten Themas und die zu jeder Zeit wissenschaftlich inspirierende Unterstützung und überaus hilfreiche Beratung, die er mir bei der Bearbeitung zukommen ließ.

Insbesondere danke ich Herrn Dr. Jochen Hillmeier für die Hilfe und Beratung bei technisch-operativen Fragen bezüglich der Verwendung des Russell-Taylor-Nagels in dieser Arbeit.

Mein Dank gilt auch der gesamten unfallchirurgischen Klinik des Klinikum Darmstadt, insbesondere der Chefsekretärin Frau Eichhorn und den stets freundlichen Sekretärinnen und Schwestern der Poliklinik, die mir bei der Auffindung der Krankenakten und Patientendaten eine große Hilfe waren.

Weitere umfangreiche Unterstützung wurde mir von den Sekretärinnen und Schwestern der unfallchirurgischen Stationen, besonders der Station 21 zuteil, nicht zuletzt im Zusammentragen von fehlenden Daten und Röntgenbildern. Ich bedanke mich ferner bei der Röntgenabteilung und den Mitarbeitern des Fotolabors für die Leihgabe der Röntgenbilder und Anfertigung der Abzüge für diese Arbeit.

Meinen besonderen Dank möchte ich meiner Familie aussprechen, insbesondere meinem

Ehemann Dr. Wolfgang Moersig, der mir stets geduldig mit Rat und Tat zur Seite stand. Ohne seine umfangreichen Computerkenntnisse hätte diese Arbeit sicher nicht ein so schönes Layout erhalten können. Meinen Schwiegereltern Dr. Hans-Jörg Moersig und seiner Frau Gisela gebührt ein Dankeschön für die mühsame und akribische Lektorenarbeit bis zur letzten Sekunde. Moralische Unterstützung wurde mir von der gesamten Familie nicht zuletzt aber auch von meiner Schwester Jennifer Krause zuteil.

Meinen beiden Kindern, Anna und Julius, bin ich ganz besonders dankbar dafür, dass sie es zugelassen haben, diese Promotion fertigzustellen.

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel

**Die operative Versorgung der Oberarmschaftfraktur mit dem Russell-Taylor-Nagel - eine prospektive Studie**

in der Klinik für Unfall-und Wiederherstellungschirurgie des Klinikum Darmstadt unter Leitung von Herrn Prof.Dr. R. Brutscher mit Unterstützung von Herrn Dr. J. Hillmeier

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Vorliegende Arbeit wurde in keinem Publikumsorgan veröffentlicht.

Krefeld, den 28.06.2005

