

Aus der Klinik für Orthopädie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Kommissarischer Leiter Prof. Dr. med. H. R. Merk

**ÜBERLEGUNGEN ZUR IMPLANTATWAHL BEI DER**  
**INTRAMEDULLÄREN STABILISIERUNG VON**  
**OBERARMSCHAFTFRAKTUREN**

**Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Martin Krajewski

2000

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. Häussinger

Dekan

Referent: Prof. Dr. Merk

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Mödder

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Einführung
2. Grundlagen
  - a) Anatomie des Oberarmes
  - b) Biomechanik
  - c) Klassifikation der Oberarmfrakturen
  - d) Inzidenz
3. Konservative Behandlung der Oberarmchaftfraktur
  - a) Methode nach Böhler
  - b) Brace-Behandlung nach Sarmiento
4. Extramedulläre Techniken bei der operativen Behandlung der Oberarmchaftfraktur
  - a) Dorsale DC- oder LCDC-Platten- Osteosynthese
  - b) Fixateur externe
5. Intramedulläre Markraumdrahtungen oder- schienungen
  - a) Bündelnägel nach Hackethal
  - b) Ender-Nägel
  - c) Rush-Pin's
  - d) Kirschnerdrähte
  - e) Prévot-Titannägel
  - f) Zifko-Nägel

6. Markraumnagelungen mit Verriegelungsmöglichkeit

- a) AIM Humeral Nail
- b) Halder Humeral Nail
- c) Humerus Flex Nagel
- d) Gerader Humerusverriegelungsnagel nach Hempel
- e) Marchetti-Vicenzi-Nagel
- f) Modifizierter Tibianagel nach Grosse-Kempf
- g) Monachia-Nagel
- h) Russell-Taylor-Nagel
- i) Seidel-Nagel
- j) Telescopic Locking Nail (TLN)
- k) Unaufgebohrter Humerusnagel der AO (UHN)

7. Sonderformen der elastischen Markraumnagelung

- a) Endohelix nach Labitzke
- b) Fixion IM Humerus Nail

8. Grundsätzliche Überlegungen bei der intramedullären Verriegelungsnagelung

- a) Unaufgebohrt vs. aufgebohrt
- b) Massivquerschnitt vs. Hohlprofil
- c) Geschlitzt vs. ungeschlitzt
- d) Titan vs. Implantatstahl

9. Diskussion zur Implantatwahl bei der intramedullären Stabilisierung von Oberarm-schaftfrakturen an einem Krankenhaus der Grund- und Regelversorgung mit unfallchirurgischem Schwerpunkt.

10. Nachuntersuchung an 30 Patienten, die mit dem UHN nach Oberarmschaftfrakturen stabilisiert wurden
  - a) Material und Methode
  - b) Patientengut
  - c) Score nach Kwasny
  - d) Ergebnisse
  
11. Therapiekonzepte bei der Pseudarthrose nach Oberarmschaftfraktur
  
12. Therapiekonzepte bei primärer oder sekundärer Radialisparesis nach Oberarmschaftfraktur
  
13. Hypertrophe Ossifikationen nach retrograder Oberarmnagelung
  
14. Therapiekonzepte bei pathologischen Oberarmschaftfrakturen
  
15. Diskussion
  
16. Literatur
  
17. Danksagung
  
18. Lebenslauf
  
19. Abstract

## 1. Einführung

Seit den sechziger Jahren und den Ausführungen von L. Böhler (9) zur „Gutartigkeit“ des Oberarmschaftbruchs beginnt nahezu jeder Artikel über die Behandlung dieser Frakturen mit der Einleitung, dass die konservative Behandlung des Oberarmschaftbruchs die Standardtherapie sei. Trotz dieses einleitenden Satzes ist jedoch insbesondere in der zweiten Hälfte der neunziger Jahre zu beobachten, dass sich eine Vielzahl von Artikeln mit der operativen Behandlung, dieses im Vergleich zu Frakturen anderer langer Röhrenknochen seltenen Bruches, beschäftigt (8,15,24,32,40,43,44,51,55,61,71,75,78,83,90,92).

Veröffentlichungen mit großen Fallzahlen über konservative Behandlungen der Oberarmbrüche wurden dahingehend vergleichsweise selten (35,41,52,53,68,70).

Seit Einführung des Seidelnagels (84) Mitte der 80er Jahre als erstes, proximal und distal zu verriegelndes, intramedulläres Stabilisierungssystem für Oberarmschaftbrüche, hat es eine Vielzahl neuer Entwicklungen, nahezu ausschließlich intramedulläre Verfahren, gegeben, die wesentliche Nachteile der frühen Systeme zu vermeiden suchen. Weitere Verbesserungen der operativen Ergebnisse sind durch die neuen Implantate zu erwarten.

Ein weiterer nicht zu unterschätzender Faktor bei der Wahl des Therapieverfahrens von Oberarmschaftbrüchen ist die Tatsache, dass seit Beginn der 90er Jahre einer Vielzahl von unfallchirurgischen oder orthopädischen Krankenhausabteilungen in Deutschland die ambulante Kassenzulassung entzogen wurde. Die erforderliche engmaschige Nachkontrolle von konservativ behandelten Patienten in einer Hand ist daher oft nicht mehr gewährleistet.

In der zunehmend mobilen und schnelllebigen Berufswelt kann sich eine Vielzahl von Patienten den bei konservativer Behandlung erforderlichen längeren Funktionsausfall eines Armes nicht leisten. Eine nicht unerhebliche Anzahl unserer Patienten drängt daher auf eine Stabilisierung des Oberarmschaftbruches mit der möglichen frühfunktionellen Nachbehandlung.

Die Krankenhausabteilungen geraten ebenfalls zunehmend unter wirtschaftlichen Druck. Das Vorhalten mehrerer Systeme (83) für eine Indikation kann aus wirtschaftlichen Gründen nicht verantwortet werden.

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Literatur sowie der eigenen Nachuntersuchungsergebnisse soll mit der vorliegenden Arbeit die Frage beantwortet werden, ob mit einem einzigen Implantat alle Oberarmchaftbrüche an einem Krankenhaus der Grund- und Regelversorgung mit unfallchirurgischem Schwerpunkt adäquat versorgt werden können, und welches der auf dem Markt zur Verfügung stehenden Implantate am ehesten dafür geeignet erscheint.

Nach der Auswahl des Implantates wurden 30 Patienten nach Oberarmchaftfrakturen osteosynthetisch mit dem UHN versorgt. Die postoperativen klinischen und radiologischen Ergebnisse wurden dokumentiert und ausgewertet. 25 Patienten konnten nach einem entsprechenden Intervall nachuntersucht werden.

Zum besseren Verständnis der Thematik sind einige grundlegende Kapitel zur Einführung unerlässlich.

## 2. Grundlagen

### 2.a) Anatomie des Oberarms (81,92)

Die äußere Anatomie des Oberarms wird zunächst von körpernah nach körperfern beschrieben. Zur Schulterpfanne hin befindet sich zunächst der halbkugelförmige Oberarmkopf. An diesen schließt sich das sogenannte Collum anatomicum an. Im weiteren Verlauf folgt nach lateral dorsal das Tuberkulum majus, sowie nach ventral das Tuberkulum minus. Unterhalb der Tuberkula befindet sich das sogenannte Collum chirurgicum. Die beiden beschriebenen Tuberkula setzen sich nach körperfern als Leisten fort. Im Bereich der Humerusdiaphyse wird eine vordere mediale, vordere laterale und hintere Fläche unterschieden. Das körperferne Ende des Oberarmknochens ist medial zu einer Gelenkrolle, der Trochlea humeri geformt. Das Capitulum humeri liegt seitlich neben der Trochlea. Direkt darüber befindet sich eine Vertiefung, die nach vorne als Fossa coronoidea, nach hinten als Fossa olecrani bezeichnet wird. Das Condylenmassiv läßt nach medial und lateral in die sogenannten Epikondylen mit den entsprechenden Seitenbezeichnungen aus.

Anatomische Besonderheiten findet man am Oberarm im Bereich der Markhöhle. Eine gleichförmige Markhöhle wie in den Röhrenknochen der unteren Extremität zeigt sich am Humerus nicht. In der proximalen Hälfte des Schaftes ist der Markraum annähernd zylindrisch, verhältnismäßig weit und plattet sich ebenso wie der Schaft am distalen Drittel ventro- dorsal ab. Während in den beiden körpernahen Dritteln die Mittelachse des Markraums entsprechend der Humerusachse gerade verläuft, krümmt sie sich distal zunehmend nach vorne. Die Krümmung des Markraumes nach ventral ist so stark ausgeprägt, dass die dorsale Compacta des distalen Drittels die verlängerte ventrale Compacta überschneidet.

Die arterielle Versorgung des Oberarmes wird durch die Arteria brachialis gewährleistet, die als Verlängerung der A. axillaris aus der A. subclavia entspringt. Sie verläuft aus der Achselhöhe kommend auf der Beugeseite des Oberarms im Sulcus bicipitalis medialis. Sie wird begleitet vom Nervus medianus, der Vena brachialis und Lymphgefäßen. Die Arteria brachialis teilt sich in der Ellenbeuge in die Arteria radialis und Arteria ulnaris.

Wie auch an der unteren Extremität wird am Oberarm ein oberflächliches und ein tiefes Venensystem unterschieden. Die beiden größten Venen des Oberflächensystems sind die Vena cephalica, die in die Vena axillaris mündet und die Vena basilica, die am Übergang vom distalen zum mittleren Oberarmdrittel in die mediale Vena brachialis mündet. Das tiefe Venensystem läuft im wesentlichen parallel zu den Arterien. Zwei Venae brachialis vereinigen sich im körperfernen Oberarmdrittel zur Vena brachialis communis, bzw. im weiteren Verlauf zur Vena axillaris.

Die nervale Versorgung des Oberarmes entspringt aus dem Plexus brachialis und dessen drei Faszikeln. Der Nervus medianus entsteht mit zwei Wurzeln aus dem Faszikulus lateralis und medialis. Die beiden Teile vereinigen sich vor der Arteria axillaris. Der Nerv verläuft an der Innenseite des Oberarmes parallel zur Arteria brachialis. Der Nervus ulnaris läuft auf der medialen Seite des Oberarmes hinter dem Septum intermuskulare brachii mediale zum Sulcus nervus ulnaris hinter dem Epicondylus ulnaris. Dort liegt er dicht unter der Haut. Der Nervus radialis läuft in einer steilen Schraubentour am Sulcus nervus radialis zwischen caput mediale und laterale des M. triceps brachii nach unten. Im mittleren Drittel des Oberarms liegt er relativ nahe des dorsalen Anteils des Oberarmschaftes und ist hier bei Frakturen in entsprechender Höhe oder einem chirurgischen Zugang verletzungsanfällig. Der Nervus axillaris entspringt aus dem Faszikulus posterior des Plexus brachialis und läuft durch die laterale Achselmuskellücke um das Collum chirurgicum. Er ist bei einer proximalen Verriegelung, z.B. eines Oberarmnagels gefährdet.

## 2.b) Biomechanik

Der Oberarm ist von der mechanischen Seite her Kompressions-, Biegungs- und Torsionskräften ausgesetzt (6,7,13). Im Gegensatz zu den langen Röhrenknochen der unteren Extremitäten erfolgt die Belastung des Humerus jedoch nicht durch das Körpergewicht, sondern im wesentlichen durch Muskel- und Rotationskräfte. Kompressionskräfte können trotzdem das 1- bis 1,5-Fache des Körpergewichtes betragen. Physiologische Drehmomente am Humerusschaft treten bis zu 4 Nm (7) auf. Humerusschaftfrakturen beim Handball-, Baseball-Spielen oder auch beim Armdrücken sind alleine durch Torsionsbelastungen beschrieben. Problemfrakturen des Humerusschaftes sind häufig Quer- und kurze Schrägfrakturen. Hier findet sich eine erhöhte Rate von verspäteten Heilungen und

Pseudarthrosen, da diese Frakturen nur geringe Fragmentkontaktzonen aufweisen und oft instabil sind. Osteosynthesen des Humerusschaftes bewegen sich also im Spannungsfeld einer ausreichenden Stabilisierung, insbesondere bei der Rotation, die eine rasche Rehabilitation gewährleisten kann, und einem möglichst gewebeschonendem Zugang. Des Weiteren ist zu beachten, daß es zum gegenwärtigen Zeitpunkt unumstritten ist, dass Mikrobewegungen im Frakturspalt die Kallusbildung und Frakturheilung fördern. Das Ausmaß der zulässigen Bewegung zur Erlangung einer optimalen Frakturheilung ist jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht bekannt.

Die geringere Rotationsstabilität von unverriegelten Markraumschienen wurde von Henley (34) im Vergleich zwischen dem Seidel- und Russell Taylor- Nagel und Hackethal- und Ender- Nägeln nachgewiesen. Dalton (17) verglich ebenfalls die verriegelten Seidel- und Russell Taylor Nägel mit einem unverriegelten True-Flex Nagel. Er fand eine signifikant höhere Rotationsstabilität der verriegelten Markraumnägel gegenüber dem True-Flex Nagel. Schopfer (82) vergleicht den Russell Taylor Nagel mit dem Seidel Nagel und beschreibt eine signifikant höhere Rotationsstabilität des Russell Taylor Nagels.

In zwei neueren Untersuchungen wird die Bewegung nach Osteotomien und Stabilisierungen mit verschiedenen Implantaten direkt im Frakturspalt gemessen. In einer Untersuchung von Brand (13) wird der Verriegelungsnagel nach Seidel in seiner neuesten Modifikation mit zwei distalen Spreizschrauben, mit dem Krallenverriegelungsnagel nach Krettek und einer LCDC Platte verglichen. Der Krettek-Nagel ist jedoch nicht mehr im Handel erhältlich. Ein ähnliches Design weist der Monachia- und der Halder-Nagel auf. Eine weitere Untersuchung von Blum (6,7) aus dem Jahr 2000 vergleicht den UHN mit dem Russell Taylor Nagel. Es werden ausreichende Werte aller Implantate bei der Biege- und Kompressionssteifigkeit beschrieben. Signifikante Unterschiede finden sich insbesondere bei der Distraction, wobei die Krallennägel nicht ausreichend stabil erscheinen. Die größte Stabilität bei der Torsion ergibt sich in der Arbeit von Brand (13) bei der LCDC Platte, und in der Arbeit von Blum (6,7) beim statisch verriegelten UHN nach Kompression. Insbesondere der positive Effekt der Frakturkompression bei liegendem Nagel wird von Blum verdeutlicht.

Einen weiteren biomechanischen Aspekt beleuchtet Lin (59,60), der deutliche Stabilitätsvorteile bei intramedullären Oberarmosteosynthesen sieht, wenn vom kurzen zum langen Fragment genagelt wird.

Strothman (88) beschreibt eine Reduzierung der Widerstandskraft des Knochens in Bezug auf die Rotation auf 63% gegenüber einem intakten Leichenknochen, bei Schaffung eines retrograden Zugangs zum Humerus zur Aufnahme eines Nagels. Blum (5) hingegen fand in seinen Untersuchungen keine wesentliche Schwächung des Humerus bei retrograden Zugang.

Als weiterer Faktor ist die Materialbeschaffenheit dieser Nägel heranzuziehen (z.B. Titan oder Implantatstahl, Materialdicke), auf die im weiteren Verlauf dieser Arbeit noch eingegangen wird. Wesentlich für die Klinik ist sicherlich, dass ein wenig biegesteifes Implantat leichter in den Markraum eingeführt werden kann.

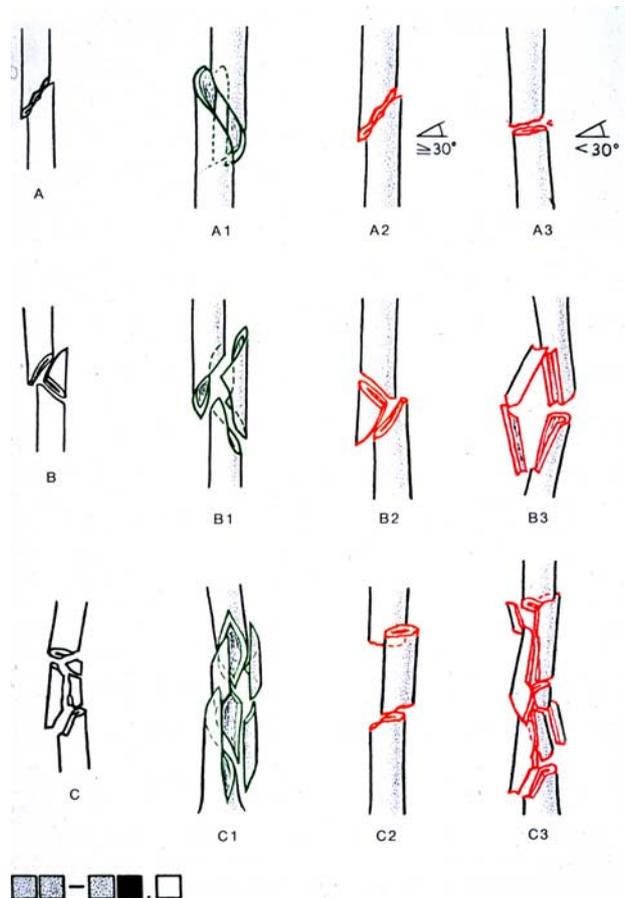
Auf andere Aspekte der Biomechanik, z. B. das schon angedachte Problem der Lockerung von nicht fixierten Verriegelungsschrauben im osteoporotischen Oberarmkopf (51), wird in experimentellen Arbeiten bisher nicht eingegangen.

Auf Grund der vorliegenden Literatur erscheinen Problemfrakturen, wie Quer- und kurze Schrägfrakturen des Humerus, bei denen das Risiko der gestörten Knochenheilung aufgrund einer geringen Fragmentkontaktzone und verminderter Torsionsstabilität erhöht ist, durch Nägel mit der Möglichkeit der interfragmentären Kompression und einer nachfolgenden statischen Zweipunktverriegelung sowohl proximal, als auch distal, am sichersten fixiert. Die Nagelung vom kurzen zum langen Fragment sollte bevorzugt werden.

## 2.c) Klassifikation der Oberarmfrakturen

Eine Fraktur des Humerus wird als Schaftfraktur bezeichnet, wenn der Bruch zwischen dem Oberrand der Insertionsstelle des M. pectoralis major bis knapp oberhalb einer supracondylären Kammlinie lokalisiert ist. Wird der Oberarm in sechs Sechstel eingeteilt, so wird der Bereich vom 2. bis zum 5. Humerussechstel als Schaftfraktur bezeichnet (66).

Die gängigste Einteilung der Oberarmschaftfrakturen wurde von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen eingeführt (66).



## 2.d) Inzidenz

Die Oberarmschaftfraktur macht etwa 1% der Frakturen der langen Röhrenknochen aus (45,66).

### **3. Konservative Behandlung der Oberarmchaftfraktur**

Schon seit Beginn dieses Jahrhunderts wurden konservative Therapien zur Behandlung des Oberarmchaftbruches beschrieben. L. Böhler (9) erwähnte in seiner 1964 erschienenen Arbeit „Gegen die operative Behandlung von frischen Oberarmbrüchen“, dass er bereits 1914 die meisten Oberarmbrüche auf der Abduktionsschiene nach Christen behandelt habe. Im Folgenden abgehandelt werden sollen die heute gebräuchlichsten konservativen Verfahren. Die auch von Böhler zeitweilig beschriebenen distrahierenden Verfahren wurden zwischenzeitlich, bei deutlich erhöhter Pseudarthrosenrate nahezu vollständig verlassen.

#### **3.a) Methode nach Böhler (9)**

Böhler schreibt 1964, dass er 50 Jahre gebraucht habe, bis er zur einfachsten Behandlung der frischen Oberarmchaftfraktur fand. Seit 1962 würde von ihm nur noch ein Desaultverband angelegt werden. Vom ersten Tag an würden Übungsbehandlungen mit aktiven Bewegungen der Finger, der Handgelenke und der Vorderarmdrehung in vollem Umfang durchgeführt. Bezüglich der Behandlungsdauer wird bei Drehbrüchen eine 4- bis 6-wöchige und bei Biegungsbrüchen eine 7- bis 8- wöchige Ruhigstellung beschrieben. In einer Serie von 1.019 konservativ behandelten frischen geschlossenen Oberarmbrüchen trat eine Pseudarthrosenrate von nur 4 Patienten auf, was einem Prozentsatz von 0,39 % entspricht. Eine Infektion oder eine iatrogene Radialisläsion wurde dementsprechend nicht gesehen. In der von nahezu allen anderen Autoren ebenfalls zitierten Arbeit aus dem Jahr 1964 wird jedoch keine Angabe zu den funktionellen Ergebnissen der untersuchten Patienten gemacht.

#### **3.b) Brace-Behandlung nach Sarmiento (35,41,52,53,68,70,80)**

Mit der von Sarmiento (80) seit 1977 beschriebenen Methode konnte der Nachteil der klassischen konservativen Frakturbehandlung mit Ruhigstellung der angrenzenden Gelenke vermieden werden. Die Brace-Behandlung integriert den Weichteilmantel in die Schienung der Fraktur. Nach Sarmiento besitzen die Weichteile zwei Hauptmechanismen, um für Stabilität zu sorgen. Der erste Mechanismus beruht auf ihrer Inkompressibilität. Die Muskelkompartimente wirken wie eine flüssigkeitsähnliche Struktur, die in einem Behälter

aus elastischen Fasern eingeschlossen ist. Solange dieser Behälter elastisch ist, führt eine axiale oder tangentielle Belastung zu einer Ausdehnung und Deformierung des Muskelmantels. Wird jedoch diese Hülle durch Verwendung einer Schiene starr gemacht, so bewirken die bei Belastung auftretenden Scherkräfte über eine hydraulische Wirkung innerhalb der umgebenden Muskelkompartimente eine zusätzliche Frakturstabilisierung. Mit dieser hydraulischen Komponente steht der zweite Mechanismus der Weichteile im Wechselspiel. Die Muskulatur stützt die Knochenfragmente an ihren natürlichen Ansatzpunkten, indem sie durch ihre innere Spannkraft Last überträgt. Diese zweite Komponente stellt einen möglichen Mechanismus zur Vermeidung von Rotationsfehlern dar. Eine Torsion der Fragmente bewirkt eine Verdrehung der längsgerichteten Muskelfasern. Bei Muskelanspannung im Rahmen der frühfunktionellen Therapie kann es zu einer Derotation der Fasern und damit Ausrichtung der Fraktur kommen. Die Anlage eines Brace-Verbandes direkt nach dem Trauma ist im Allgemeinen sehr stark schmerzhaft. Aus diesem Grunde sollte die Kunststoffschiene erst nach Abschwellung 1 bis 2 Wochen nach dem Trauma eingesetzt werden. Bis zu diesem Zeitpunkt wird ein Gilchrist- oder Desault Verband angelegt. Initial wird eine Frakturposition in Bruchspalt- oder systemischer Analgosedierung durchgeführt. Nach Abschwellung und Rückbildung der primären Schmerzen wird 1 bis 2 Wochen nach dem Unfall eine Kunststoffmanschette, die in verschiedenen Größen erhältlich ist, an den Oberarm angelegt. Der Unterarm wird zunächst abhängig vom Beschwerdebild für weitere 1 bis 2 Wochen in einer Mitella getragen. Im Verlauf kann mit Pendelübungen sowie krankengymnastisch geführter aktiver und passiver Mobilisation im Schulter- und Ellenbogengelenk begonnen werden. Die Ruhigstellungsdauer beträgt insgesamt durchschnittlich 6 bis 8 Wochen. Wie auch schon bei der von Böhler beschriebenen Ruhigstellung im Desault- oder Gilchrist Verband ist die Brace-Behandlung problematisch bei sehr adipösen Patienten, da die erwünschte Kompression hier nicht erreicht werden kann. Des weiteren können unter all den beschriebenen Verbandsanordnungen Hautirritationen, Ekzeme und Infekte der Haut auftreten. Die Pseudarthrosenrate nach der Brace-Behandlung wird von Sarmiento selbst mit 1 % bei 85 behandelten Patienten angegeben. In der Literatur schwanken die Zahlen zwischen den von Sarmiento angegebenen 1 % bis zu 7 % in einer Sammelstudie der AO aus dem Jahr 1991 (68).

Von Herkert (35) wird eine Modifikation der Brace Behandlung vorgestellt. Posttraumatisch erfolgt zunächst die Reposition in geeigneter Anästhesie und die Ruhigstellung in einer U-Gippschiene mit Schulterkappe, die distal lediglich das Ellenbogengelenk mit einschließt.

Nach 10-14 Tagen wird der Gips durch einen Kunststoffbrace, jedoch ebenfalls mit Schulterkappe ersetzt, der 8 -10 Wochen belassen wird.

In 2 von 36 Fällen (= 5,56 %) musste bei ungenügender Reposition innerhalb von 2 Wochen eine Osteosynthese angeschlossen werden. In 6 weiteren Fällen (= 16,67 %) wurde bei ausbleibender Knochenbruchheilung ebenfalls eine Plattenosteosynthese angeschlossen. Diese Zahlen liegen noch deutlich über den Werten, die für die ursprüngliche Brace Behandlung angegeben werden.

Die Brace-Behandlung nach Sarmiento stellt sicherlich in der Hand des Erfahrenen bei entsprechender korrekter Indikationsstellung ein adäquates Verfahren zur Behandlung des frischen Oberarmschaftbruches dar, welche auch heute in vielen Kliniken angewandt wird. Sie muß dem Patienten im Aufklärungsgespräch als Alternative zur internen Osteosynthese weiterhin dargestellt werden.

#### **4. Extramedulläre Techniken bei der operativen Behandlung der Oberarmschaftfraktur**

Das wesentliche Ziel der operativen Therapie von Frakturen am Oberarmschaft ist die Ermöglichung einer frühen funktionellen Nachbehandlung ohne Ruhigstellung der angrenzenden Gelenke. Die weiteren Vorteile der operativen Therapie wie die exakte Wiederherstellung der ursprünglichen Knochenlänge und die exakte Ausrichtung der Rotation sind am Oberarm von untergeordnetem Wert, da sogar Achsknickungen und Rotationsfehler bis zu 20° funktionell und kosmetisch häufig nicht störend sind.

Sowohl bei den intra- als auch bei den extramedullären Techniken kann eine offene oder geschlossene Reposition, je nach gewähltem Verfahren erforderlich sein.

##### 4.a) Dorsale DC- oder LCDC-Platten-Osteosynthese

Von mehreren zur Verfügung stehenden Plattenimplantaten hat sich zur Behandlung der Oberarmschaftfraktur die breite 4,5er DC oder LCDCP AO- Platte durchgesetzt. Hierbei wird gefordert, daß sowohl das proximale als auch das distale Hauptfragment mit jeweils 6 Corticales, d.h. 3 Schrauben gefasst werden müssen. Für den Zugang zur Platten-Osteosynthese stehen 2 Verfahren zur Auswahl.

##### 1. Anterolateraler Zugang.

Bei diesem Zugang befindet sich der Patient in Rückenlage. Es wird zwischen dem M. deltoideus und dem M. pectoralis major im Sulcus bicipitalis lateralis eingegangen. Hierbei wird der M. brachialis gespalten. Zur sicheren Schonung wird der Nervus radialis dargestellt und aus dem Operationsfeld gehalten.

##### 2. Dorsaler Zugang.

Hierzu befindet sich der Patient in Bauchlage mit abgespreiztem und aufliegenden Oberarm, sowie frei beweglichem Ellenbogengelenk. Der Zugang erfolgt unter Spaltung des Muskulus trizeps brachii von dorsal aus. Darüber wird der Nervus radialis sicher dargestellt und aus dem OP-Gebiet gehalten.

Die Platten-Osteosynthese war insbesondere in den 80iger und 90iger Jahren eine sehr häufig angewandte Methode zur Stabilisierung von Oberarmschaftfrakturen, was eine große Anzahl an Veröffentlichungen beweist (11,14,15,27,68,85,87,91). Bei korrekter Anwendung zeichnet sie sich durch eine niedrige Pseudarthrosenrate und eine hohe Stabilität aus. Beschrieben ist jedoch in unterschiedlichen Veröffentlichungen eine relativ hohe Anzahl an sekundären N. radialis Paresen. Schweiberer (91) berichtet in einer Sammelstudie der AO aus dem Jahre 1977 über eine Rate von 9,8 %. In einer weiteren Sammelstudie der AO berichtet Nast- Kolb (68) 1991 über 10 % postoperative N. radialis Paresen. Stoffelen (87) berichtet 1995 in einer Serie von 118 Fällen über eine Häufigkeit von 12,8 %. Bonnaire (11) berichtet dagegen 1997 über eine Rate von nur 2,9 % postoperativer Paresen bei 103 plattenosteosynthetisch stabilisierten Humerusschaftfrakturen. Die Rate der postoperativen Osteitiden schwankt in den beschriebenen Veröffentlichungen zwischen 0,9 und 4,9 % (91).

Als geeignete Methode hat sich die Platten-Osteosynthese, ggf. mit Spongiosaplastik bei Pseudarthrosen des Oberarmschaftes nach konservativer oder inadäquater operativer Behandlung bewährt.

#### 4.b) Fixateur externe

Bereits 1907 wurde von Lambotte (92) die Behandlung einer Oberarmschaftfraktur durch einen von außen durch die Haut an den Knochen angebrachten Festhalter beschrieben.

Das Prinzip der externen Fixation beruht auf dem Effekt der frakturfernen Stabilisierung der beteiligten Hauptfragmente (78). Der große Vorteil liegt in dem Belassen des Frakturhämatoms und damit in der Vermeidung des Infektionsrisikos. Hier finden sich Parallelen zur konservativen Behandlung. Durch den Fixateur externe kann jedoch gleichzeitig eine effektive Stabilisierung der Fraktur erreicht werden, ohne die benachbarten Gelenke ruhig zu stellen. Moderne Fixationssysteme erlauben ebenfalls eine axiale Dynamisierung (78). Als Nachteil der externen Fixation wird herausgestellt, dass es erforderlich ist, die Schrauben durch geschlossene Weichteile hindurch in den Knochen hineinzubringen (15).

Die Rate der sogenannten Pin- Tract-Infektion wird in den bekannten Veröffentlichungen jedoch unterschiedlich beschrieben. Brug (15) schreibt, dass nach Anlage eines Fixateur externe am Oberarm eine Pin- Tract Infektion und Pinlockerung nahezu obligat sei. Ruland (78) beschreibt in einer Serie von 77 mit Fixateur externe behandelten Humerusschaftfrakturen lediglich 4 Fälle mit einer vermehrten Sekretion der oberen Schraubengruppe, die jeweils mit einer Erweiterung der Pin Eintrittsstellen behandelt wurde. Ein manifester Infekt, der zu einer Entfernung eines Pins gezwungen hätte, wird nicht beschrieben.

Um eine iatrogene Schädigung des Nervus radialis auszuschließen, müssen die anatomischen Gegebenheiten bei der Pin- Platzierung berücksichtigt werden. Die iatrogene Schädigung des Nervus radialis wird in den vorliegenden Arbeiten mit 0 % angegeben, wobei die Größenordnung in den Veröffentlichungen der Platten-Osteosynthese zwischen 2,9 und 12,8 % (11,87) schwankt.

Trotz der theoretisch guten Anwendbarkeit am Oberarmschaft und wenigen negativen Erfahrungen hat sich die Behandlung der Oberarmschaftfraktur mit der externen Fixation nicht durchgesetzt. Wesentliche Gründe hierfür sind sicherlich die Ausheilungszeit, die in ähnlichen Größenordnungen wie bei der konservativen Behandlung liegen dürfte. Nähere Angaben hierzu werden insbesondere bei der Arbeit von Ruland (78) nicht gemacht. Des Weiteren ist der schlechte Patientenkomfort zu erwähnen, da eine normale Oberbekleidung über den Fixateur nicht getragen werden kann. Indikationen für die externe Fixation bestehen sicherlich bei höhergradig offenen Frakturen oder Frakturen mit schwerem gedecktem Weichteilschaden. Des Weiteren wird der Fixateur externe bei der glücklicherweise seltenen Osteitis des Oberarmes angewandt.

## 5. Intramedulläre Markraumdrahtungen oder- schienungen

### 5.a) Bündelnägel nach Hackethal

Dieses Verfahren wurde 1961 (26) erstmalig vorgestellt. Es handelt sich um drehrunde, elastische Metallnägel in einer Stärke von 2 und 3 mm. Die Bündelnagelung am Oberarm unterteilt sich in 2 Phasen. Es beginnt eine unsterile Repositionsphase, wobei das Repositionsergebnis durch entsprechende Vorrichtungen gehalten werden soll. Darauf folgt eine sterile Operationsphase. Über eine kleine Hautinzision und ein frakturfernes kortikales Fenster werden die Nägel in den Markraum eingeschlagen. Eine auf- und absteigende Nagelung ist möglich. 3 Faktoren erklären die Stabilität der Osteosynthese durch das Prinzip der elastischen Verklemmung und betonen den Unterschied zu einer alleinigen Markraumschienung. Das Nagelbündel wird in der Markraumtaille geschnürt. Des weiteren findet eine Schnürung der Nägel im kortikalen Einschlagfenster mit einer entsprechenden Verklemmung statt. Es erfolgt eine verspreizende Verankerung der Bündelnägel in der einschlagfernen Spongiosa, insbesondere des Oberarmkopfes. Durch die Bündelnagelung können nahezu alle Oberarmfrakturen versorgt werden. Durch die Aufspreizung der Nägel, bevorzugt im Oberarmkopf, ist eine Rotationsstabilität gegeben, die jedoch nicht an die Stabilität von Verriegelungsnägeln heranreicht.

Auch in jüngeren Veröffentlichungen wurde in großen Patientenkollektiven über gute Ergebnisse nach der Bündelnagelung berichtet. Die Pseudarthroserate wird in 4 Arbeiten mit großen Fallzahlen von Brug (14,15), Henley (33), Kurock (55) und Wölfel (96) zwischen 0,6 und 3 % angegeben. Die Häufigkeit der iatrogenen Schädigung des Nervus radialis wird mit 1 % beschrieben, wobei dieses deutlich günstiger liegt als bei anderen Osteosyntheseverfahren. Als wesentlicher Nachteil wird der Bündelnagelung, wie auch den anderen Markraumdrahtungen die mangelnde Rotationsstabilität angelastet (34). Ob dieses als ein wesentliches negatives Kriterium bei geeigneter funktioneller Nachbehandlung zu werten ist, muss eher bezweifelt werden. Im Gegensatz zu den langen Röhrenknochen der unteren Extremität reicht die zu erzielende Stabilität sicherlich für eine verbandsfreie Nachbehandlung unter Vermeidung der Rotation gegen Widerstand aus.

Als weiterer Nachteil muss angesehen werden, dass die Bündelnagelung nur intraoperativ durch den Operateur komprimiert werden kann. Diese Kompression kann allein durch die Verklemmung der Nägel gehalten werden. Durch eine DC- Platten-Osteosynthese oder die Kompression beim UHN sind hier sicherlich größere Druckkräfte auf den Frakturspalt zu erzielen.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Bündelnagelung sicherlich ein geeignetes Verfahren zur Stabilisierung von Oberarmschaftbrüchen mit guten Ergebnissen darstellt. Sie ist auch heute noch eine der am häufigsten angewandten operativen Methoden zur Stabilisierung von Oberarmschaftbrüchen.

#### 5. b) Ender Nägel

Ender Nägel wurden bevorzugt für die Stabilisierung von per- und subtrochantären Femurfrakturen entwickelt. Sowohl im englischen als auch im deutschen Sprachraum wurden sie für diese Indikation auch häufig angewendet.

Bekannt sind solide Nägel mit 3,2 oder 4,5 mm Durchmesser, die am einschlagfernen Ende abgerundet sind. Am anderen Ende besitzen sie eine Öse, die das Einführen oder Ausschlagen erleichtert. Die Nägel sind C- oder S- förmig vorgebogen. Es werden verschiedene Längen angeboten.

Hall (29) bevorzugte einen retrograden Zugang knapp oberhalb der Fossa olecrani. Es wurde der dünnere Nagel (3,2 mm) verwendet und bis zu 3 Nägel eingebracht. Die Ösen der 3 Drähte wurden mit einem 1mm dicken Cerclagedraht verbunden, um das Auswandern eines einzelnen Nagels zu verhindern.

Bei 89 behandelten Frakturen wurde eine Ausheilungszeit von durchschnittlich 7,2 Wochen beobachtet. Eine Pseudarthrose wurde nur 1x beobachtet (= 1,12 %). Zwei sekundäre Radialispareesen (= 2,25 %) heilten ohne Revision aus. Die funktionellen Resultate waren ebenfalls gut. Anfängliche Probleme mit dem Auswandern der Nägel konnten durch die beschriebene Drahtverbindung der Ösen behoben werden.

Im deutschen Sprachraum hat sich die Endernagelung von Oberarmchaftfrakturen nicht durchgesetzt, im Gegensatz zu anderen Markraumdrahtungen, z. B. der Bündelnagelung.

#### 5. c) Rush- Pins

Diese wurden erstmals zu Beginn der 50-er Jahre (79) zur intramedullären Stabilisierung von Frakturen beschrieben. Es handelt sich um einen soliden, relativ steifen Stahlnagel, der an der einen Seite spitz gedreht ist, und an der anderen Seite einen umgebogenen Haken besitzt. Verschiedene Dicken und Längen werden angeboten, mit jedoch einer englischen Maßangabe (z.B. 3/16 oder 1/4 inch).

Schon 1950 (79) wurde von Rush eine Technik zur Stabilisierung von Oberarmchaftfrakturen veröffentlicht. Das Einbringen des Nagels erfolgte über einen antegraden Zugang. Es wird jedoch eine anterolaterale Zusatzinzision in Frakturhöhe beschrieben.

1984 beschreibt Mackay (62) eine Serie von 23 mit einem Rush- Pin versorgte Oberarmchaftfrakturen. Hierbei wurde auf die Zusatzinzision in Frakturhöhe verzichtet und geschlossen reponiert. Auffällig ist der hohe Anteil an stabilisierten pathologischen Frakturen mit 10 Patienten (= 43,48 %). Die Ergebnisse werden bezüglich der Ausheilung als gut beschrieben, jedoch ohne Differenzierung der funktionellen Resultate.

Beide Autoren empfahlen die Technik nur zur schnellen Stabilisierung von einfachen Oberarmchaftfrakturen beim Mehrfachverletzten und bei pathologischen Frakturen.

#### 5. d) Kirschner Drähte

Die Verwendung von Kirschnerdrähten zur Stabilisierung von Oberarmchaftfrakturen wird in der Literatur nicht separat beschrieben. Dem Autor sind jedoch mehrere Kliniken bekannt, wo diese an Stelle der Original- Bündel Nägel in den Stärken von 2- und 2,5 mm mit ihrer stumpfen Seite voran und entsprechend vorgebogen zur Versorgung von Oberarmchaftbrüchen herangezogen werden.

## 5. e) Prevot- Titannägel (Pins)

Prevot Pins sind elastische Titannägel, welche in Stärken zwischen 2 und 5 mm erhältlich sind. Die Nagelenden sind beidseits abgerundet. Das Prinzip der Prevot- Nagelung beruht, neben der intramedullären Schienung, auf der elastischen Verspannung von mindestens 2 eingebrachten Nägeln.

Ursprünglich wurde die Methode zur Stabilisierung von kindlichen Schaftfrakturen der langen Röhrenknochen entwickelt (71), sie wird jedoch inzwischen auch beim Erwachsenen, am Ober- und Unterarm, eingesetzt.

Schratz (83) empfiehlt die Prevot Nagelung insbesondere bei distalen Schaftfrakturen. Bei Versorgung von Frakturen im mittleren Drittel wird der Prevot- Nagel denen in dieser Serie ebenfalls verwendeten Marchetti- Vicenzi und Seidel Nägeln gleichgestellt, jedoch gegenüber den anderen Verfahren eine eingeschränkte frühfunktionelle Nachbehandlung empfohlen.

In einer Serie von 58 Osteosynthesen des Oberarmschaftes wird 17x die Prevot Nagelung verwendet. Hierbei kam es 1x zu einer Fehllage eines Prevot Pins, welche durch eine frühzeitige ME mit gutem funktionellem Endergebnis ausbehandelt werden konnte.

Die Ergebnisse der gesamten Serie werden als gut dargestellt, wobei jedoch eine Differenzierung zwischen den 3 verwendeten Nageltypen nicht vorgenommen wird.

Oetiker (71) hat in einer Serie von insgesamt 38 Osteosynthesen an den langen Röhrenknochen 6 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 22 Jahren mit Humerusdiaphysenfrakturen mit Prevot Nägeln versorgt. Die funktionellen Ergebnisse waren insgesamt gut. Eine sekundäre Radialisparese heilte nach 10 Monaten vollständig aus. Bei einer Patientin mit kombinierter Ober- und Unterarmfraktur kam es zu einer verzögerten Bruchheilung beider Frakturen. Die Humerusfraktur verheilte jedoch ohne Reeingriff nach 14 Monaten fest.

Die Prevot Nagelung wird sicherlich in naher Zukunft eine weitere Verbreitung finden, insbesondere jedoch bei kindlichen Frakturen. Ob sie gegenüber den bewährten klassischen Markdrahtungen am Oberarm, z.B. Bündelnagelung, Vorteile bietet, bleibt abzuwarten.

## 5. f) Zifko- Nägel

Zifko-Nägel (97,98) wurden ursprünglich für die Versorgung von subkapitalen und Oberarmkopffrakturen entwickelt. Es handelt sich um elastische Markdrähte von 2 mm Durchmesser. Das untere Markdrahtende weist eine flache bogenförmige, 20 mm lange Krümmung auf. Das obere Ende der Drähte, welches im Oberarmkopf zu liegen kommt, ist abgerundet und auf einer Länge von 20 mm um 15° vorgeschärft. Durch die Vorkrümmung und Elastizität des Materials verklemmt sich das untere Ende im Einbringloch an der Kortikalis, wodurch ein Herausgleiten und Verdrehen des Drahtes vermieden wird. Die Stabilität der Markdrahtfixation wird dadurch erhöht und die Weichteile an der Einführungsstelle geschont.

Obwohl bisher nicht bei der Versorgung von Oberarmschaftbrüchen eingesetzt, bieten diese Drähte sicherlich eine interessante Alternative, insbesondere bei proximalen Übergangsfrakturen zum Oberarmkopf hin.

## 6. Markraumnagelungen mit Verriegelungsmöglichkeit

Unter diesem Kapitel werden alle Nägel mit zumindestens einer proximalen und distalen Verriegelungsmöglichkeit zusammengefaßt. Es wurden die Nägel berücksichtigt, über die in der Literatur mehr als Einzelfallbeschreibungen veröffentlicht wurden. Des weiteren sollten die Nägel auf dem Markt weiterhin erhältlich sein. Dies trifft nach dem Kenntnisstand des Autors auf einige Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre verwendete Nägel, z.B. True Flex (23), Uniflex (22) nicht zu. Durch die weitere Verbreitung der Verriegelungsnagelung werden zur Zeit von verschiedenen Firmen Oberarmnägel auf den Markt gebracht. Ein Anspruch auf absolute Vollständigkeit bei der Beschreibung der verschiedenen Nagelmodelle besteht daher nicht. Die Beschreibung der Nägel erfolgt in alphabetischer Reihenfolge.

### 6.a) AIM Humeral Nail

Der AIM Humeral Nail ist ein solider, gerader Nagel aus einer Titan- Vanadium- Aluminium Legierung, der mit Durchmessern von 7 und 8 mm angeboten wird. Die unaufgebohrte, antegrade Implantationstechnik wird empfohlen. Proximal kann der Nagel über einen Zielbügel mit bis zu 3 von lateral einzubringenden Schrauben verriegelt werden. Als Besonderheit kann proximal in das Nagelende ein sog. End- cup in verschiedenen Längen eingeschraubt werden, der die proximalste Verriegelungsschraube im Nagel sicher arretiert. Distal erfolgt die statische Verriegelung durch zwei in a.p. Richtung eingebrachte Schrauben. Die Verriegelungsschrauben sind sowohl mit einem Corticalis- als auch mit einem Spongiosagewinde erhältlich.

Das Einbringen des Nagels erfolgt antegrad nach Längsspaltung des Deltamuskels und einer longitudinalen Eröffnung der Rotatorenmanschette von 1 cm. Nach Einbringen eines 4 mm dicken Steinmann- Nagels in den Markraum unter Bildwandlerkontrolle, erfolgt die vollständige Eröffnung der Kopfkalotte mit einem speziellen Schneidegerät, welches über den Steinmann- Nagel eingeführt werden kann. Dadurch wird ein Kanal von 9 mm Durchmesser auf einer Länge von 5 cm angelegt.

Kröpfl (51) berichtet über die Stabilisierung von 111 Frakturen bei 109 konsekutiven Patienten. Die mittlere Konsolidierungszeit betrug 12,3 Wochen. Eine Pseudarthrose trat bei 5 Patienten auf. Einer dieser Patienten verweigerte die Reoperation. Die restlichen 4 Patienten wurden auf größerkalibrige Nägel unaufgebohrt umgenagelt. Davon kamen 2 zur Ausheilung. Die restlichen 2 Patienten mußten einem dritten Eingriff mit jetzt aufgebohrter Marknagelung und Spongiosaplastik unterzogen werden, worauf auch diese zur Ausheilung kamen. Bei 5 Patienten wurde ein Impingementsyndrom aufgrund einer Nagelprotrusion proximal beobachtet. Durch eine Implantatentfernung konnten die Beschwerden deutlich gelindert werden. Bei weiteren 12 Patienten traten Beschwerden an der operierten Schulter auf, wobei sich in 6 Fällen eine Läsion der Rotatorenmanschette sonographisch nachweisen ließ. Bei 4 Patienten fand sich eine Lockerung der proximalen Verriegelungsschraube, wobei diese Fälle nicht mit einem End- cup im Nagel arretiert worden waren. Bei 8 von 9 Patienten mit einer primären-, und bei den 2 Patienten mit einer postoperativen N. radialis Parese heilten diese nach spätestens 4 Monaten ohne weitere Maßnahmen aus.

95 Patienten mit 97 Humerusschaftfrakturen zeigten bei der Nachuntersuchung durchschnittlich 24,2 Monate postoperativ in 81,5 % ein sehr gutes bis gutes Nachuntersuchungsergebnis hinsichtlich der Schulterfunktion.

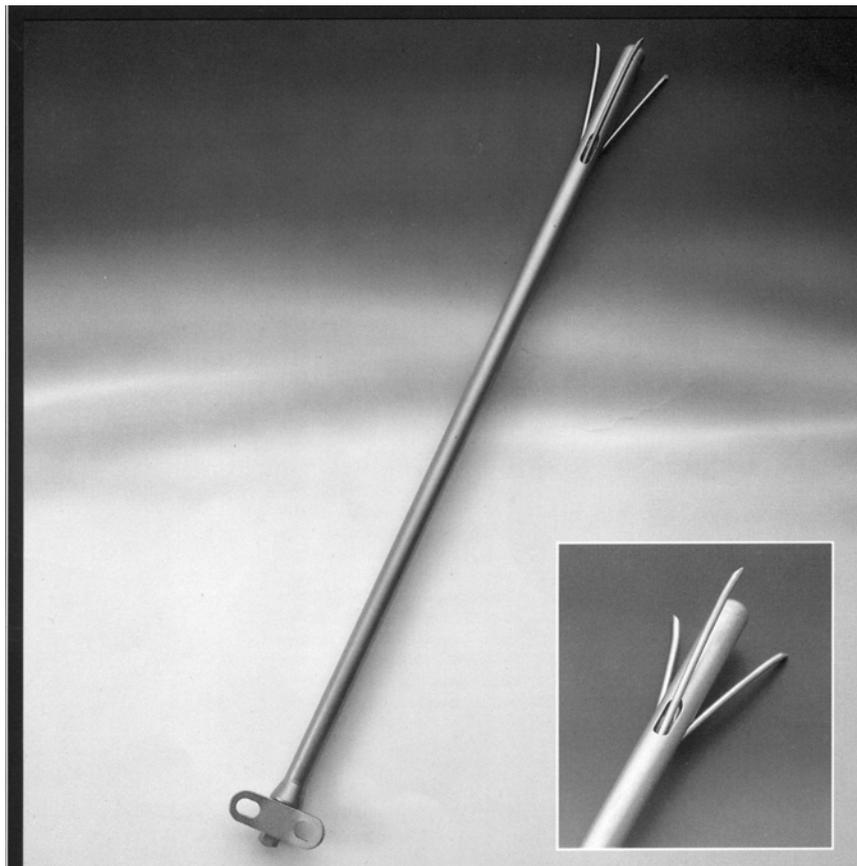
Zusammenfassend stellt der Autor fest, daß die Indikationsstellung zur operativen Behandlung der Humerusschaftfraktur weiterhin kritisch gestellt werden sollte, in Relation zu den guten Ergebnissen der konservativen Behandlung. Als limitierend wird beim antegraden Zugang die postoperative Schulterfunktion angesehen, die bei korrekter Anwendung des Verfahrens jedoch nicht eingeschränkt sein muß. Beim Auftreten einer Pseudarthrose wird schon bei der ersten Revision das Aufbohren der Markhöhle, das Umsteigen auf einen dickeren Nagel, sowie eine Spongiosaplastik empfohlen.

#### 6. b) Halder Humeral Nail

Hier handelt es sich um ein in England Mitte der 90er Jahre entwickeltes Design, wobei der Nagel jedoch auch im deutschsprachigen Raum vertrieben wird.

Es bestehen große Ähnlichkeiten sowohl zum ebenfalls vorgestellten Monachia Nagel, als auch zum nicht mehr angebotenen Krettek Nagel, über den vergleichende biomechanische Untersuchungen vorliegen. Der Nagel ist hohl und nicht gebogen. Er wird mit Durchmessern von 7, 8 und 9 mm angeboten. Im Bereich des einschlagfernen Nageldrittels finden sich 3 längsovale Öffnungen. Das andere Nagelende wird mit einer querovalen Platte abgeschlossen, wobei zu jeder Seite des Nagels in der Platte eine Öffnung zur Aufnahme einer 4,5 mm Schraube ist. Der Nagel und die Ausklinkdrähte bestehen aus Implantatstahl.

Es wird ein retrograder Zugang oberhalb der Fossa olecrani empfohlen. Des Weiteren wird das Aufbohren der Markhöhle bis 2 mm größer als der gewählte Nageldurchmesser angeraten. Nach Einbringen des Nagels wird ein Drahteführinstrument aufgesetzt und drei vorher in dem Instrument fixierte Drähte in den Nagel eingebracht. Diese treten an der Nagelspitze durch die längsovalen Löcher aus und verhindern so die Rotation des Nagels. Distal wird der Nagel durch zwei Schrauben in der beschriebenen Querplatte gesichert.



Aus Produktkatalog der Firma CORIFIX

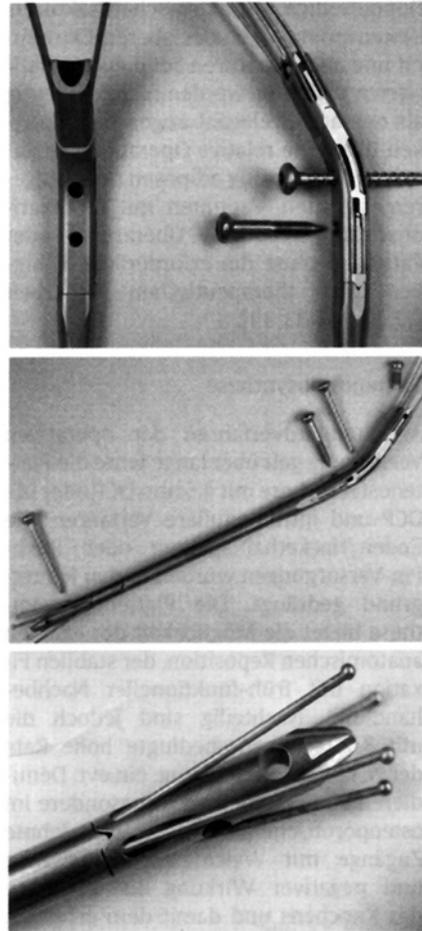
In der Veröffentlichung von Halder (28) werden 30 behandelte Fälle beschrieben. Die einzige signifikante Komplikation war die proximale Nagelwanderung in 2 Fällen, wonach das Nageldesign leicht geändert wurde. Eine Pseudarthrose trat nicht auf. Eine weitere Differenzierung der Ergebnisse wird nicht vorgestellt. Im vorliegenden Firmenprospekt aus dem Jahre 1998 werden 110 Fälle mit einer Erfolgsquote von 95 % erwähnt.

#### 6.c) Humerus Flex Nagel

Es handelt sich um ein erstmals 1996 (89) vorgestelltes, und im Jahre 2000 (90) in den Markt gebrachtes Nagelmodell.

Der Nagel besteht, je nach Nagellänge, aus 7 - 15, jeweils 1,5 cm langen Segmenten, die über 4 Führungsdrähte ineinandergesetzt sind. Er ist aus einer Titanlegierung gefertigt und in den Durchmessern 7,5 und 9 mm verfügbar. Er hat einen runden Querschnitt und ist in Längen von 180 bis 300 mm erhältlich.

Der Nagelkopf hat eine Biegung von 30 °. Er enthält eine Öffnung für eine 3,9 mm dicke Verriegelungsschraube, sowie eine weitere Öffnung für eine sogenannte Spannschraube. Im Nagelkopf sitzt ebenfalls ein Spannblock, der mit der Nagelspitze über einen Spanndraht verbunden ist. Durch Eindrehen der Spannschraube wird der Spannblock gegen den Nagelkopf gedrückt. Die Nagelspitze wird dadurch über den Zentraldraht in Richtung Nagelkopf gezogen, und der ansonsten durch die vielen Segmente flexible Nagel, wird versteift.



Aus Produktinformation der Firma SYNTHES

Der Nagel ist sowohl für den antegraden, als auch den retrograden Zugang vorgesehen. Beim antegraden Zugang wird eine 15 mm Extension auf den Nagelkopf aufgesetzt.

Durch die Flexibilität des Nagels kann die antegrade Insertion lateral der Rotatorenmanschette, und der retrograde Zugang deutlich oberhalb der Fossa olecrani erfolgen.

Der Nagel ist für die ungebohrte Technik empfohlen. Zur Vermeidung von Randausbrüchen an der Insertionsstelle, sowie iatrogenen Frakturen soll jedoch die einschlagnahe Markhöhle mit flexiblen Bohrern kurzstreckig eröffnet werden.

Der Nagel wird über ein spezielles Einführinstrumentarium eingebracht und über die Fraktur vorgeschoben. Bei korrekter Platzierung des Nagels und Reposition erfolgt bei retrogradem

Zugang zunächst die Versteifung des Nagels und dann die proximale Verriegelung mit einer Schraube. Jetzt werden die 4 Drähte mit einem speziellen Griff ausgeklinkt und in den Humeruskopf vorgeschoben. Zusätzlich können distal zwei weitere Verriegelungsschrauben eingebracht werden. Auf den Nagel kann eine Endkappe aufgebracht werden.

Südkamp berichtete bereits 1996 (89) in einem Kongressvortrag über die Versorgung von 9 Humerusfrakturen mit dem Flex Nagel und die knöcherne Heilung aller Frakturen.

Als wesentlichen Vorteil des Systems sieht der Autor die Flexibilität des Nagels beim Einbringen, was insbesondere beim antegraden Zugang eine sichere Schonung der Rotatorenmanschette gewährleistet.

Mit dem Humerus Flex Nagel liegt sicherlich eine interessante Alternative bei der Versorgung von Oberarmschaftbrüchen vor. Weitere Ergebnisse an größeren Patientenkollektiven bleiben abzuwarten.

#### 6.d) Gerader Humerusverriegelungsnagel nach Hempel

Dieser Nageltyp wurde in Anlehnung an die eigentliche unverriegelte Küntscher Nagelung bereits 1973 entwickelt. Seit 1984 wird er in der jetzt noch benutzten, und 1996 in einer Arbeit von Hempel (32) vorgestellten Form angewandt.

Es handelt sich um einen geraden Nagel von 10 oder 12 mm Durchmesser. Der Nagel ist in beiden Durchmessern durchbohrt. Er besteht aus Implantatstahl. An der einschlagfernen Spitze ist der Nagel abgerundet. Am Einschlagende besitzt er ein Innengewinde zur Aufnahme eines kombinierten Einschlag- und Zielgerätes. Der Nagel ist für einen antegraden Zugang konzipiert. Ein Aufbohren ist nur bei enger Markhöhle vorgesehen, wenn der 10 mm Nagel nicht problemlos eingeführt werden kann. Der Nagel wird über einen vorher eingebrachten Führungsspieß eingeführt. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass der Nagel unter die Kortikalis der Humeruskopfkalotte versenkt werden soll. Die proximale Verriegelung erfolgt mit 2 Schrauben über das Zielgerät von lateral. Nach Schwenken des Zielgerätes wird die distale Verriegelung mit ebenfalls 2 Schrauben a.p. durchgeführt. Die Verriegelungsschrauben besitzen die Besonderheit eines konisch geformten Doppelgewindes,

wobei das 1 mm dickere zweite Gewinde die Verriegelungsschraube beim Durchtritt durch den Nagel selbst zentriert.

Hempel (32) berichtet über mehr als 120 Humerusverriegelungsnagelungen. An Komplikationen traten 2 tiefe Infekte, inklusive einer Markraumphlegmone auf. Diese konnten beide zur Ausheilung gebracht werden. 2 mechanische Komplikationen traten bei Frakturen mit kurzem distalen Fragment auf, wo distal jeweils nur eine Verriegelungsschraube eingebracht werden konnte. Dadurch entstand eine Kippung des distalen Fragmentes, die einen erneuten Eingriff erforderlich machte. In 7 Fällen habe eine nicht ausreichende Versenkung des Nagelkopfes unter die Humeruskopfkalotte vorgelegen. Bei mehr als 5 mm überstehendem Nagel wurde eine schmerzhafte Bewegungseinschränkung der Schulter in allen Ebenen beobachtet, die zweimal zu einem Korrekturingriff zwang.

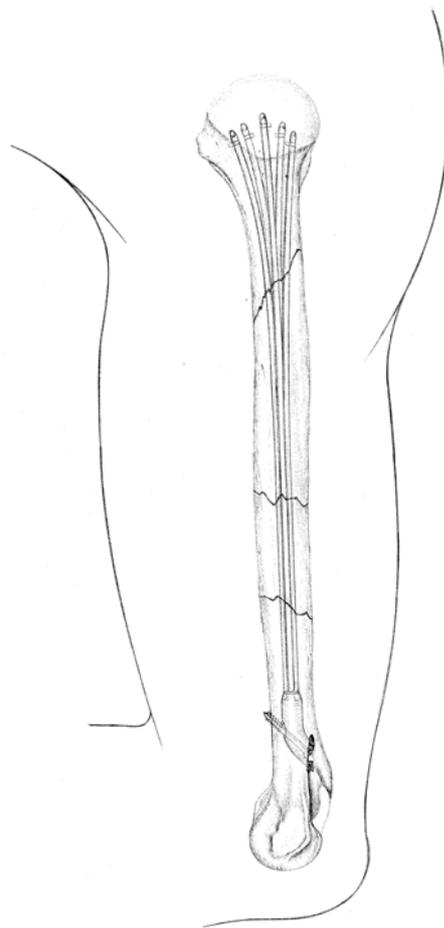
Einen besonderen Augenmerk richtete Hempel auf die für den erforderlichen Zugang zunächst quer inzidierte, und dann sorgfältig vernähte Rotatorenmanschette. Diese wurde sonographisch nachuntersucht. Nach 2 Wochen sei nur noch eine geringfügige Schwellung in der Muskulatur nachweisbar, nach längerer Zeit sei nicht einmal mehr eine Narbe der inzidierten Rotatorenmanschette nachweisbar. Ebenfalls wurde die Rotatorenmanschette vor der ggf. durchgeführten Metallentfernung untersucht, hierbei wurde in keinem Fall eine bleibende Schädigung der Rotatorenmanschette festgestellt. Eine Beschreibung der funktionellen Ergebnisse wird in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht gegeben.

#### 6. e) Marchetti- Vincenzi Nagel

Dieser Nagel besitzt an einer Seite einen kurzen zylindrischen Körper, der mit einer Neigung von  $45^\circ$  gewinkelt ist und ein Innengewinde besitzt. Die Dicke des Zylinders beträgt 8 oder 9 mm. Vom Zylinder ausgehend findet man beim dünneren Nagel 4, und beim dickeren Nagel 5 Pins. Ein Führungsstift sichert die Pins zusammengerollt knapp unterhalb ihrer Spitze. Der Nagel wird in Längen zwischen 210 und 310 mm angeboten. Der gesamte Nagel besteht aus Implantatstahl.

Die Anwendung des Nagels ist für den retrograden Zugang gedacht. Es ist ein Aufbohren der distalen Markhöhle über eine Strecke von ca. 10 cm bis 8, bzw. 9 mm, je nach gewählter Nagelstärke erforderlich.

Mit einem speziellen Einschlaginstrument, welches mit dem Nagel fest verschraubt werden kann, wird der Nagel eingeführt. Nach dem Passieren der letzten Frakturstelle wird der Führungsstift entfernt, wodurch ein automatisches Aufspreizen der Pins erreicht wird. Diese werden aufgespreizt in den proximalen metaphysären Humerusbereich vorgeschlagen. Die distale Verriegelung wird durch eine 4 mm Schraube gewährleistet, die durch den schrägen Schenkel des beschriebenen Zylinders eingebracht werden kann.



Aus Produktkatalog der Firma ZIMMER

Das Prinzip der Marchetti- Vincenzi Nagelung wurde zunächst für die Versorgung von Frakturen und Pseudarthrosen an Femur und Tibia entwickelt, und später modifiziert auf den Humerus übertragen. Das Verfahren wird im südeuropäischen Raum, insbesondere Italien, relativ häufig verwandt.

Veröffentlichungen im deutschen Sprachraum über Nagelungen des Humerus mit dem Marchetti- Vincenzi Nagel sind selten. Schratz (83) berichtet über eine Serie von 59 stabilisierten Humerusschaftfrakturen, wobei 10x der Marchetti- Vincenzi Nagel verwendet wurde. In der selben Serie wurden ebenfalls der Seidel Nagel, Prevot- Pins, Rush- Pins und ein Tibianagel benutzt. Sowohl in der Ausheilungsrate, als auch in den funktionellen Ergebnissen werden die Resultate des gesamten Kollektivs als gut beschrieben. Eine Differenzierung bezüglich der einzelnen Osteosyntheseverfahren wird jedoch nicht vorgenommen. Schratz (83) empfiehlt den Marchetti- Vincenzi Nagel bei Frakturen im mittleren Humerusdrittel. Bei proximalen Frakturen wird von ihm der Seidel Nagel, und bei distal gelegenen Frakturen die Prevot Nagelung bevorzugt.

Im eigenen Krankengut mussten wir einen in Spanien implantierten Marchetti- Vincenzi Nagel entfernen, da es bei der Implantation offensichtlich zu einer distalen Humerusschaftsprengung mit einem Ausreißen der distalen Verriegelung gekommen war. Wir führten eine Reosteosynthese mit einem UHN, sowie einer Rekonstruktionsplatte im Condylenbereich durch, worunter die Fraktur zur Ausheilung kam.

Weitere Veröffentlichungen über den Marchetti- Vincenzi Nagel und dessen Komplikationen in der Anwendung finden sich im italienischen (86) und englischen (30) Sprachraum, jedoch hier im Wesentlichen über die Nagelversionen für Tibia und Femur.

#### 6.f) Modifizierter Tibianagel nach Grosse- Kempf

Neben Beschreibungen, bei denen ein dünner AO Tibianagel unverriegelt zur Stabilisierung von Oberarmschaftfrakturen verwendet wurde (63), sowie Beschreibungen an kleinen Fallzahlen über die Verwendung des Küntscher Nagels am Oberarm (20), veröffentlichte Ingmann (38) 1994 eine Arbeit über einen modifizierten Grosse- Kempf Tibianagel mit 41 Fällen.

Der kanülierte, aber nicht geschlitzte Nagel wurde in der Stärke von 9 mm verwendet. Die proximalen 60 mm jedes Nagels wurden entfernt. In das verbliebene Ende wurden ein Innengewinde und ein Führungsschlitz gedreht. Proximal wurde in der endgültigen Fassung des Nagels zusätzlich ein Verriegelungsloch gebohrt, distal wurden die ursprünglichen Löcher

verwendet. Der ansonsten nach dem Kürzen gerade Nagel wurde 5 cm von der abgesägten Spitze entfernt um 5 ° gebogen. Es wurden Nagellängen zwischen 270 und 330 mm benutzt.

Der Zugang erfolgte in der beschriebenen Serie sowohl ante- als auch retrograd. Der Autor empfiehlt den retrograden Zugang für Frakturen des mittleren und distalen Humerusdrittels und den antegraden Zugang für proximale Schaftfrakturen. Ein Aufbohren des Markraumes bis 9 mm und des Einbringloches bis 9,5 mm ist erforderlich.

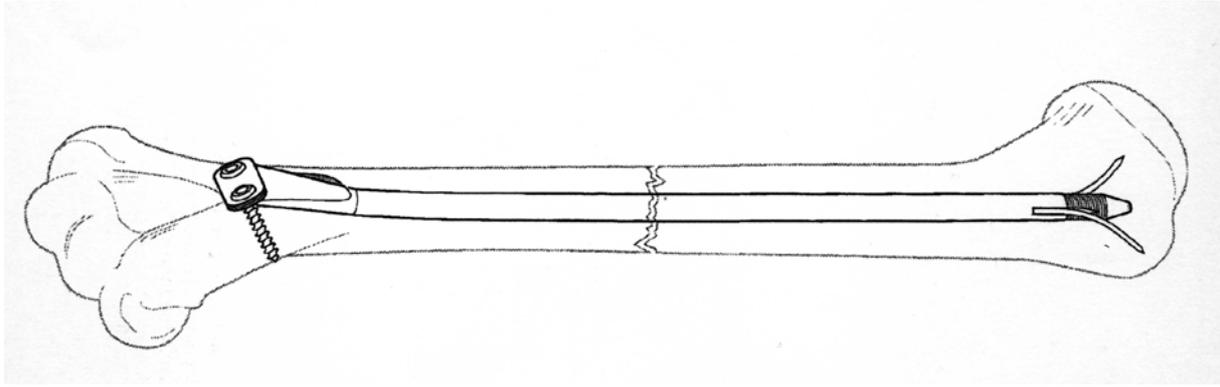
In der Serie wurden 21 frische Humerusschaftfrakturen, 15 pathologische Frakturen und 5 bereits voroperierte Pseudarthrosen mit dem beschriebenen Nagel versorgt.

Es wird bei den frischen Frakturen über eine Pseudarthrose bei einem einseitig nicht verriegelten Nagel berichtet, die durch sekundäre Verriegelung des Nagels und eine Spongiosaplastik zur Ausheilung kam. 6 Patienten hatten eine primäre Radialisparese, ein Patient eine postoperative Radialisparese. In keinem Fall wurde eine operative Revision des Nerven durchgeführt. Alle N. radialis Paresen heilten nach spätestens 6 Monaten aus.

Die funktionellen Ergebnisse der Serie werden in der Gesamtheit als gut beschrieben, wobei jedoch beim proximalen Zugang eine zumindestens vorübergehende, jedoch signifikante Einschränkung der Schulterfunktion erwähnt wird.

#### 6.g) Monachia Nagel

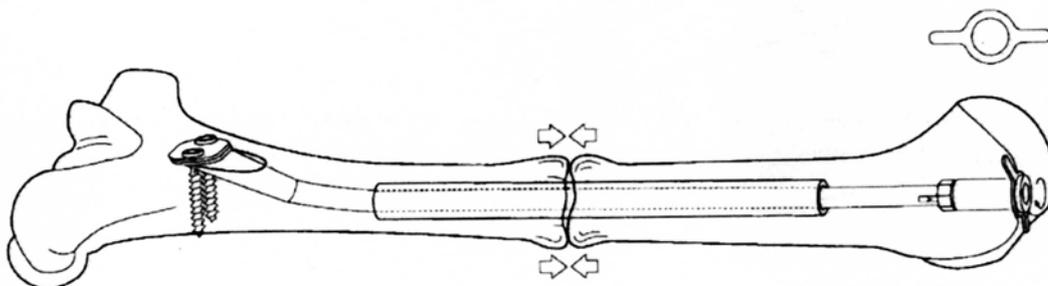
Bei dem Monachia Nagel handelt es sich um ein relativ elastisches, 6 mm dickes, gerades Rohr aus Implantatstahl mit einer Wandstärke von nur 0,6 mm. Der Nagel ist mit einer Titanlegierung beschichtet, so dass auch Patienten mit einer Nickelallergie behandelt werden können. Knapp unterhalb der Nagelspitze finden sich zwei gegenüberliegende längsovale Öffnungen. Etwas oberhalb der Ausklinkdrähte ist auf dem Nagel ein Außengewinde. Am unteren Ende, welches auf 9 mm Durchmesser erweitert ist, liegt, ähnlich wie beim Halder Nagel, eine kleine querovale Platte, die rechts und links des Nagels jeweils eine Verriegelungsschraube aufnehmen kann. Die proximale Verriegelung erfolgt durch zwei in den Nagel eingebrachte Ausklinkdrähte, die an den Öffnungen unterhalb der Nagelspitze austreten, und so das einschlagferne Fragment fixieren.



Es werden sowohl auf-, als auch absteigende Nagelungen beschrieben, wobei der retrograde Zugang bevorzugt wird. Ein Aufbohren der Markhöhle ist nicht erforderlich. Dieses wird nur für die Versorgung von Pseudarthrosen empfohlen.

Bei pathologischen Frakturen und zur Behandlung von Pseudarthrosen wird der Nagel in Schaftmitte mit einem Kunststoffrohr verstärkt.

Bei Pseudarthrosen des Humerusschaftes wird die retrograde Nagelung empfohlen. Nach Platzierung des Nagels mit seiner Spitze knapp unterhalb und lateral der Kopfkalotte, sowie distaler Verriegelung, wird proximal ein durch den Nagel geschobener Führungsdraht medial des Tuberculum majus ausgeleitet. Der Markraum wird kurzstreckig aufgebohrt, bis das Gewinde an der Spitze des Nagels sichtbar wird. Über eine Unterlegscheibe wird eine Kompressionsschraube aufgesetzt, die soweit angedreht werden kann, dass der Pseudarthrosenspalt ausreichend unter Kompression gerät.



Aus Produktkatalog der Firma SANTECH

Keßler beschreibt 1996 (45) eine Versorgung von 18 Patienten mit dem Monachia Nagel. Infektionen, Nervenschäden und Heilungsstörungen waren nicht zu verzeichnen. Die funktionellen Ergebnisse werden als sehr gut, im Vergleich zu einer konservativ behandelten Gruppe, beschrieben. Der knöcherne Durchbau war nach spätestens 6 Wochen eingetreten.

In einer zweiten Arbeit berichtet Keßler 1998 (44) über die Versorgung von 30 Patienten mit dem Monachia Nagel. Auch hier werden die Ergebnisse ohne nähere Differenzierung als gut beschrieben, mit der Ausnahme von insgesamt 4 durch andere Erkrankungen vorgeschädigte Patienten. In den schon zuvor beschriebenen biomechanischen Untersuchungen des Artikels von Keßler liegen die Werte des Monachia Nagels im Meßbereich der Bündelnagelung. Die ebenfalls verglichenen Russell- Taylor und Seidel Verriegelungsnägel weisen deutlich höhere Werte bezüglich Biegung, Torsion und Distraction auf. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Brand (13) und ihren Untersuchungen über den Krettek Nagel.

#### 6.h) Russell- Taylor Nagel

Der Humerusverriegelungsnagel nach Russell- Taylor ist aus rostfreiem Stahl gefertigt und in den Durchmessern von 7 mm, 8 mm und 9 mm erhältlich. Das einschlagnahe Nagelende hat stets einen Durchmesser von 9 mm. Die beiden größeren Nageldurchmesser sind kanüliert, der 7 mm Nagel ist solide. Als Standardimplantat gilt der 8mm Nagel. An der einschlagnahen Nagelbasis ist der Nagel um  $7^\circ$  gekrümmt, zur Nagelspitze hin besteht eine weitere Krümmung von  $2^\circ$ .

Der Nagel kann sowohl proximal, als auch distal mit jeweils einer 4,0 mm dicken, selbstschneidenden Schraube verriegelt werden. Beide Verriegelungslöcher sind als Schlitz ausgeführt. Einschlagnah kann über eine Winkelverstellung am Einführbügel die Verriegelungsschraube geführt in verschiedenen Winkeln zur Nagellängsachse eingebracht werden. Einschlagfern ermöglicht der Schlitz sowohl eine Veränderung des Einbringwinkels, als auch der Höhe auf einer Strecke von 10 mm bei der Verriegelung in Freihandtechnik.

Die retrograde Implantation des Nagels wird als Standard empfohlen, wobei eine antegrade Technik jedoch ebenfalls möglich sei. Das Aufbohren des Markraumes ist nur beim 9 mm Nagel erforderlich.



Aus Produktkatalog der Firma SMITH + NEPHEW

Zum RT - Nagel liegen umfangreiche biomechanische Vergleichsuntersuchungen vor (siehe Kapitel 2b). Eine ausreichende Rotations- und Biegestabilität wird in allen diesen Untersuchungen angegeben. Durch die Verriegelungsschlitze proximal und distal kann es jedoch zu einer Kompression oder Distraction der Fraktur bei entsprechender Belastung kommen. Bei kurzem distalen oder proximalen Fragment besteht die Möglichkeit der Rotation des Fragments um die nur singuläre Verriegelungsschraube.

Rommens (75,76,77) berichtet 1996 über eine Serie von 100 intramedullär, über einen retrograden Zugang stabilisierten Humerusschaftfrakturen. In 58 Fällen kam der RT - Nagel und in 42 Fällen ein Prototyp des UHN zur Anwendung. Nach Frakturheilung war die Schulterfunktion in 90 % und die Ellenbogenfunktion in 86 % ausgezeichnet. Von 4 postoperativen N. radialis Paresen bildeten sich 3 vollständig zurück. In 3 Fällen kam es zu einer zusätzlichen Fragmentaussprengung beim Einschlagen des Nagels, sowie in einem weiteren Fall zu einer supracondylären Fraktur (knöcherner Komplikationen = 4 %). 9 Patienten wiesen eine postoperative Frakturheilungsstörung auf. Fünfmal wurde ein Nagelwechsel durchgeführt, dabei zweimal unter Verwendung des Kompressionsaufsatzes für den UHN. Viermal wurde eine Plattenosteosynthese durchgeführt. Alle Frakturen heilten nach den Revisionseingriffen aus.

In einem bereits 1995 (76,77) erschienenen Artikel gibt Rommens zwei Verbesserungsvorschläge zum Design des RT - Nagels an. Am distalen Nagelende sollte ein zweites statisches Verriegelungsloch ergänzt werden. Weiterhin wird ein Kompressionsbolzen zur Behandlung von z.B. verzögerten Knochenheilungen gefordert.

Jurovich (39,40) berichtet über 44 mit dem RT- Nagel behandelte Patienten. Hier wurde jedoch in 42 Fällen die antegrade Technik, und nur in 2 Fällen die retrograde Implantation durchgeführt. An postoperativen Komplikationen wird einmalig das Abkippen eines kurzen proximalen Fragmentes beschrieben, welches durch offene Reposition bei liegendem Nagel und Cerclage behandelt wurde. Eine postoperative N. radialis Parese oder ein Infekt trat nicht auf. Bei 21 nachuntersuchten Patienten wurde das funktionelle Ergebnis 18 mal als sehr gut beurteilt. Bei einem Patienten mit einseitiger Versorgung einer AC- Gelenksverletzung, sowie zwei weiteren Patienten mit traumatisch bedingten N. axillaris Schädigungen waren die postoperativen Ergebnisse nicht zufriedenstellend.

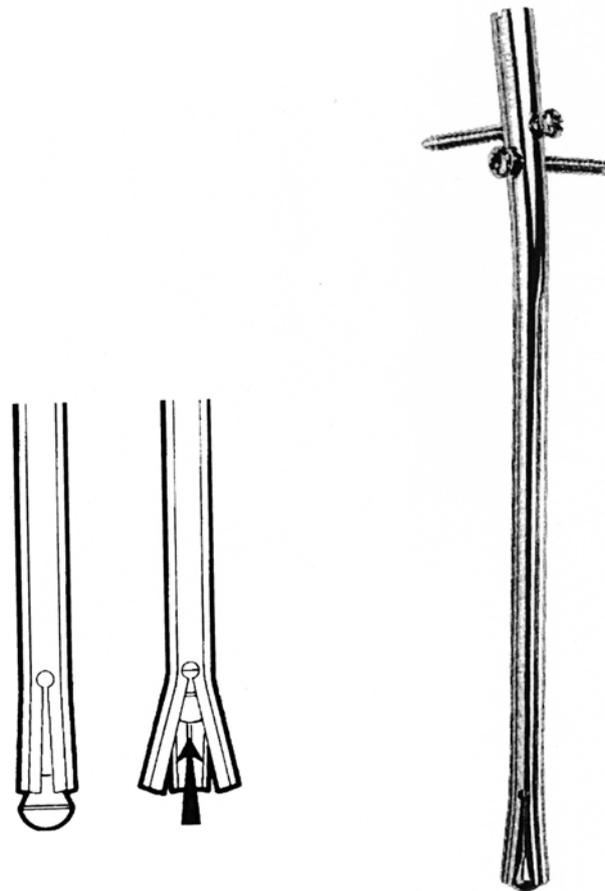
Im anglo- amerikanischen Sprachraum liegen weitere Veröffentlichungen mit vergleichbaren Ergebnissen vor (42,76).

#### 6.i) Seidel Nagel

Der Seidel Nagel war der erste, nur für den Einsatz am Oberarm entwickelte Verriegelungsnagel. Es handelt sich um einen geschlitzten Stahlnagel, der ursprünglich in 9 und 10 mm Durchmessern angeboten wurde. In seiner neuesten Version ist auch ein 8 mm Nagel erhältlich. Der Nagel ist an seinem proximalen Ende leicht gekrümmt. Er ist nur für die antegrade Insertion vorgesehen. Die proximale Verriegelung erfolgt über zwei um 90 ° versetzte Verriegelungsschrauben. Die distale Verriegelung wird über einen Spreizmechanismus an der Nagelspitze durchgeführt, der über eine zentrische Schraube aufgespreizt werden kann. Nachdem ursprünglich eine Spreizschraube zur Anwendung kam, verfügt die neuere Version des Nagels über zwei distale Spreizschrauben.

Die Insertion des Nagels erfolgt antegrad nach Spreizen der Rotatorenmanschette und Aufbohren des Markraumes bis mindestens 0,5 mm über die gewählte Nageldicke. Wie auch

bei anderen Humerusnägeln und dem retrograden Zugang soll beim Einbringen des Nagels das Benutzen eines Hammers strengstens vermieden werden. Nach korrekter Platzierung des Nagels soll zunächst, mit einem speziellen, in den Nagel eingeführten Schraubenzieher distal verriegelt werden, danach erfolgt die proximale Verriegelung. Eine Möglichkeit der Kompression über den Nagel besteht nicht.



Aus Produktkatalog der Firma HOWMEDICA

Der Seidel Nagel gehört zu den am häufigsten biomechanisch untersuchten Oberarmnägeln, wobei auf diese Untersuchungen bereits eingegangen wurde (siehe 2b). Es muss jedoch gesagt werden, dass die einzige biomechanische Untersuchung, welche die neue Version des Nagels mit zwei distalen Spreizschrauben berücksichtigt, von Brand (13) stammt. Bei dieser Untersuchung werden gute Ergebnisse des Seidel Nagels im Vergleich zur LCDC Platte und zum Krettek Nagel berichtet, insbesondere auch, was die Rotationsstabilität betrifft. Der in älteren und auch neueren klinischen und biomechanischen Arbeiten geäußerte Vorwurf der mangelnden Rotationsstabilität des Nagels trifft daher heute nur noch bedingt zu. Der zweite wesentliche Kritikpunkt des Seidel Nagels war der Zugang durch die Rotatorenmanschette

mit Irritation derselben. Wahler (95) führte diesbezüglich die Nachuntersuchung einer Serie von 44 mit dem Seidel Nagel versorgten Patienten durch, wobei die funktionellen Resultate als gut beschrieben werden. Als Fazit der Arbeit werden 4 Punkte genannt, die sicherlich insgesamt für den antegraden Zugang an der Schulter zutreffen:

1. Bei der Implantation des Seidelnagels sollte man nicht nur an die Fraktur, sondern auch an die Rotatorenmanschette denken
2. Bei schonender Präparation, ausreichender Incision und sorgfältiger Naht der Rotatorenmanschette fügt ein gut in den Humeruskopf versenkter Seidelnagel der Rotatorenmanschette keinen wesentlichen Schaden zu.
3. Nagelüberstände sind strikt zu vermeiden
4. Der OP- Situs ist gut zu Spülen
5. Bei der Explantation noch einmal an die Rotatorenmanschette denken.

1991 teilte Seidel (84) selbst die Ergebnisse von 160 mit seinem Nagel stabilisierten Frakturen mit und fand lediglich einmal (= 0,63 %) eine Pseudarthrose, zweimal einen Infekt (= 1,25 %), keine postoperative N. radialis Parese, wobei darauf hingewiesen werden muss, dass alle primären Nervenschäden intraoperativ revidiert wurden. Neben weiteren positiven Berichten über den Seidel Nagel (43,63,72,83,92,93) häuften sich die kritischen Artikel, die in ihrer großen Anzahl und Vielfalt an Kritikpunkten noch im Jahre 2000 von Blum (7) zusammengefasst wurden.

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass der Seidel Nagel sicherlich der am häufigsten implantierte Verriegelungsnagel am Oberarm war. Nach heutigem Kenntnisstand sind der alleinige antegrade Zugang des Nagels, das notwendige Aufbohren des Markraumes, sowie die fehlende Kompressionsmöglichkeit der Fraktur über den Nagel auch bei verbessertem Design des Nagels als Kritikpunkte zu erwähnen.

#### 6j) Telescopic Locking Nail (TLN)

Der TLN wurde als ein universelles Verriegelungsnagelsystem für Femur, Tibia und Humerus entwickelt. Mit einem möglichst uniformen Instrumentarium, jedoch unterschiedlichen Nägeln, sollten alle 3 Indikationsbereiche abgedeckt werden.

Der Nagel für den Humerus ist gerade und im diaphysären Bereich 7,6 mm dick. An beiden Enden hat er einen Durchmesser von 9 mm. Am einschlagfernen Ende besitzt der Nagel zwei runde Löcher zur Aufnahme von 4,6 mm dicken Verriegelungsbolzen. An der anderen Seite findet sich ein längsovales Gleitloch, ebenfalls zur Aufnahme einer 4,6 mm Schraube. Vom Nagelende aus kann an dieser Seite eine Kompressionsschraube eingeführt werden, die sich an der Verriegelungsschraube im Gleitloch abstützt, und so bei bereits durchgeführter einschlagferner Verriegelung eine Kompression auf den Frakturspalt bewirken kann.

Es wird sowohl eine antegrade, als auch eine retrograde Technik beschrieben. Beim retrograden Zugang wird der distale Humerus bis 11 mm, und der Markraum bis 9 mm aufgebohrt. Eine genaue Beschreibung des Aufbohrvorganges beim antegraden Zugang wird nicht gegeben.

In einer Serie von 48 Osteosynthesen in 9 niederländischen Kliniken wurden von Goessens (24) 28 akute Frakturen, 13 Pseudarthrosen und 7 pathologische Frakturen stabilisiert. An Komplikationen fanden sich 2 tiefe und ein oberflächlicher Infekt, 5 iatrogene Frakturen des distalen Humerus, 2 Wanderungen von Verriegelungsschrauben und 2 postoperative N. radialis Paresen. Drei der 15 behandelten Pseudarthrosen heilten nicht aus. Die funktionellen Ergebnisse werden bei insgesamt 41 nachverfolgten Patienten als gut beschrieben.

## 6.k) Unaufgebohrter Humerusnagel der AO (UHN)

Der UHN wurde von der AO entwickelt, um das bewährte, und als vorteilhaft angesehene Prinzip der unaufgebohrten Nagelung an Tibia und Femur auf den Humerusschaft zu übertragen (7).

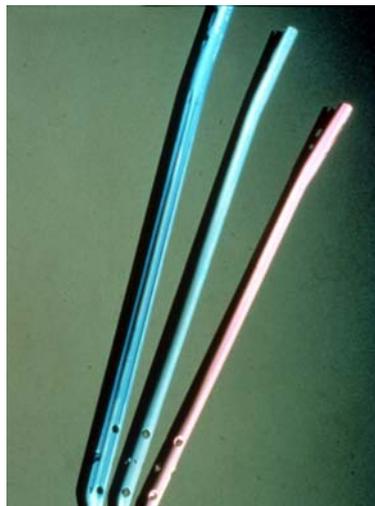
Der UHN ist ein solider Nagel aus einer Titanlegierung ( Ti-6Al-7Nb ). Er wird in Längen zwischen 190 und 325 mm angeboten. Es stehen 3 verschiedene Durchmesser zur Verfügung, 6,7 mm, 7,5 mm und 9,5 mm (Abb.1). Der mittlere Nagel wird als Standardimplantat empfohlen. Der 6,7 mm Nagel wird bei sehr schwächtiger Markhöhle eingesetzt. Bei weiter Markhöhle oder nach Aufbohren des Markraumes zur Behandlung einer hypertrophen Pseudarthrose des Humerusschaftes kann der 9,5 mm Nagel benutzt werden.

Der Nagel ist etwas oberhalb seiner Basis um 5 ° gekrümmt. An der Nagelspitze ist er zur entgegengesetzten Seite der Krümmung abgeschrägt und abgerundet. Zur Verriegelung des Nagels (Abb.2) stehen an der Spitze drei 4 mm Bohrungen zur Verfügung, wobei 2 der Bohrungen quer zur Nagellängsachse und die mittlere in a.p. Richtung zu liegen kommt. Diese drei Bohrungen können gleichzeitig besetzt werden. An der Nagelbasis findet sich basisnah gelegen ein dynamischer Verriegelungsschlitz in a.p. Richtung des Nagels. Am Unterrand des Verriegelungsschlitzes liegt in gleicher Richtung ein schräges Verriegelungsloch. Die schräge Verriegelung ist für den antegraden Zugang vorgesehen. Nach Besetzen der schrägen Verriegelung kann an der Nagelbasis kein weiteres Verriegelungsloch benutzt werden. Etwas zur Nagelspitze hin steht in gleicher Achsrichtung eine weitere runde Bohrung zur Aufnahme einer statischen Verriegelungsschraube zur Verfügung.

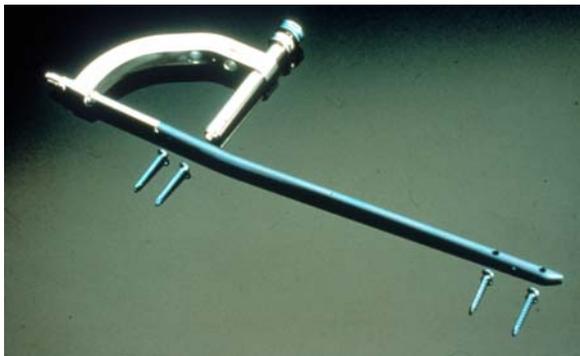
Die aus der gleichen Titanlegierung gefertigten, selbstschneidenden Verriegelungsschrauben haben bei dem dünnsten Nagel einen Durchmesser von 3,4 mm, und bei den beiden größeren Nägeln einen Durchmesser von 3,9 mm.

In der Nagelbasis findet sich ein Innengewinde zur Aufnahme einer Verschlusskappe, die mit einer Verlängerungsmöglichkeit des Nagels von 0 – 15 mm einhergeht, um die Nagelbasis exakt mit der äußeren Kortikalis abschließen zu lassen. Dies soll eine ggf. geplante Implantatentfernung erleichtern.

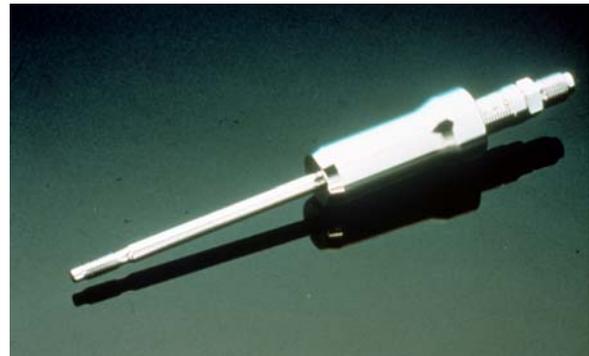
Für den UHN gibt es einen speziellen Kompressionszusatz (Abb.3), der mit einer Kompressionsverbindungsschraube zwischen Nagel und Zielbügel eingesetzt wird. Der Nagel muss an der Spitze verriegelt werden. Weiterhin wird das dynamische Verriegelungsloch an der Nagelbasis besetzt. Die Kompressionsverbindungsschraube kann jetzt auf den dynamischen Verriegelungsbolzen einwirken, indem sie, an einer Skala ablesbar, bis zu 8mm in Richtung der Nagelspitze vorgedreht werden kann. Anschließend muss der statische Verriegelungsbolzen das Ergebnis fixieren. Ein ähnliches Prinzip ist an Femur und Tibia bereits von den IC- Nägeln bekannt (16).



(Abb. 1)



(Abb. 2)



(Abb. 3)

Aus Produktkatalog der Firma SYNTHES

Das biomechanische Verhalten des UHN, der retrograden Eröffnung der Oberarmmarkhöhle und der Kompressionsmarknagelung am Oberarm wurde von Blum (5,6,7) ausführlich untersucht und wird in Kapitel 2.b beschrieben.

Zusätzlich berichtet Kolonja (47) in einem Kongreßvortrag über die Lagebeziehung der Verriegelungslöcher des UHN zum N.radialis bei antegrader Implantation des UHN. In einer Studie an Leichenpräparaten kam es in einem nicht unerheblichen Prozentsatz zu Verletzungen des N. radialis bei der distalen Verriegelung von lateral nach medial. Kolonja empfiehlt bei der antegraden Verwendung des UHN die distale Verriegelung immer unter Sicht durchzuführen.

Die Arbeitsgruppe von Blum und Rommens (7,8,73,74) veröffentlichte 1998 und 1999 die Ergebnisse einer prospektiven, randomisierten Multicenterstudie an europäischen AO-Kliniken mit 190 UHN Implantationen. An intra- und postoperativen Problemen werden die Folgenden geschildert. Probleme bei der proximalen Freihandverriegelung traten in 10 Fällen auf (=5,3 %). Bei 8 Patienten (=4,2 %) zeigten sich Fissuren oder Ausbrüche an der dorsalen Kortikalis der Insertionsstelle. Es fanden sich 8 (=4,2 %) postoperative Schädigungen des N. radialis, die jedoch alle ohne weitere Therapie ausheilten. 75 Patienten konnten vollständig nachverfolgt werden. Bei 5 Patienten (6,7 %) lagen Knochenheilungsstörungen vor, die einen Zweiteingriff erforderlich machten. In einem Fall wurde eine Spongiosatransplantation mit einer neuen distalen Verriegelung durchgeführt. In drei Fällen wurde bei der Revision das Kompressionsgerät benutzt, einmal unter Verwendung eines neuen Nagels und ein weiteres Mal mit einer zusätzlichen Spongiosatransplantation. Im fünften Fall musste bei der Revision eine Plattenosteosynthese durchgeführt werden. Von den 75 nachuntersuchten Patienten hatten 67 (=89,4 %) eine exzellente, 7 eine befriedigende und ein Patient eine schlechte Schulterfunktion. Bei der Funktion des Ellenbogengelenks fand sich 66 mal (=88,0 %) ein exzellentes, 7 mal ein befriedigendes und 2 mal ein schlechtes Ergebnis. Die Patienten bewerteten den Verlauf in 94,7 % der Fälle als exzellent oder gut. Bei der klinischen Interpretation der Komplikationen weist Blum insbesondere darauf hin, dass Komplikationen an der Einschlagstelle des Nagels zu vermeiden sind, wenn die Eröffnungsstelle zur Markhöhle ausreichend groß, und das Insertionsloch konsequent distal-dorsal abgeschrägt ist. Weiterhin darf bei der Insertion des Nagels unter keinen Umständen ein Hammer verwendet werden.

Verheyden (94) berichtet über 34 mit dem UHN osteosynthetisch versorgte Humerusschaftfrakturen. In 31 Fällen wurde der Nagel retrograd und in 3 Fällen antegrad implantiert. An intraoperativen Komplikationen traten 2 (=5,88 %) suprakondyläre Schaftfrakturen bei der retrograden Nagelinsertion, 3 Aussprengungen (=8,82 %) von kleinen

dorsalen Knochenfragmenten an der Insertionsstelle, sowie 1 proximale Schaftsprengung (=2,94 %) bei antegradem Zugang auf. Bei 2 Patienten mit chronischem Alkoholabusus war einmal die Nagelentfernung bei proximaler Auslockerung des Implantates, und ein weiteres Mal wegen eines Infektes erforderlich. Eine Pseudarthrose (=2,94 %) wurde 6 Monate postoperativ mit einer Kompressionsplatte bei liegendem Nagel stabilisiert. Eine postoperative N. radialis Läsion wird nicht beschrieben. 32 von 34 Patienten konnten nachuntersucht werden. Nach 6 Monaten waren alle nachuntersuchten Patienten subjektiv beschwerdefrei. 29 von 32 nachuntersuchten Patienten wiesen eine freie Beweglichkeit im Schulter- und Ellenbogengelenk auf.

Verheyden selbst hält die Rate der knöchernen intraoperativen Komplikationen für zu hoch und wertet dieses als Ausdruck einer grenzwertig traumatisierenden Operationstechnik. So werden die peri- und postoperativen Komplikationen als operateurabhängig beschrieben, der UHN sei ein anspruchsvolles Osteosyntheseverfahren für den erfahrenen Traumatologen. Bei sorgfältigem Vorgehen könnten jedoch auch in Grenzindikationen bei differenzierten Patienten sehr gute Ergebnisse erreicht werden.

Loitz (61) stellt eine Serie von 120 Osteosynthesen am Humerusschaft durch retrograde Marknagelung vor. 110 mal wurde der Krallennagel nach Krettek und 10 mal der UHN benutzt. Bemerkenswert ist, dass in 6 Fällen bei der Einbringung der Nägel eine Fraktur am distalen Humerus gesetzt wurde, wobei 3 mal der UHN verwendet wurde. Bei nur 10 UHN Implantationen entspricht dies einer Rate von 30 %. Da die weiteren Ergebnisse nicht zwischen UHN und dem Krallennagel differenziert werden, soll hier nicht weiter auf sie eingegangen werden.

Zusammenfassend stellt sich der UHN in den bisher veröffentlichten Arbeiten als ein Verfahren mit einer hohen Stabilisierungspotenz und einer niedrigen Rate an Pseudarthrosen, postoperativen N. radialis Läsionen und Infekten dar. Grenzwertig traumatisierend scheint jedoch der retrograde Zugang mit einer relativ hohen Zahl an ossären Komplikationen zu sein, was sich auch im eigenen Patientengut bestätigt.

## **7. Sonderformen der elastischen Markraumschienung**

### **7.a) Endohelix nach Labitzke**

Dieses System zur Stabilisierung von Oberarmschaftbrüchen wurde erstmalig 1993 (57,58) vorgestellt. Es handelt sich um einen spiralförmig gedrehten Stahlstab, wobei die Steilheit der Spirale von der Einschlagstelle zur Spitze hin abnimmt. Das System kann am Oberarm sowohl ante-, als auch retrograd eingebracht werden.

Die Fraktur wird zunächst über einen Führdraht reponiert. Die Endohelix wird ohne vorheriges Aufbohren in den Markraum eingedreht.

Durch die Elastizität der Helix sollen Mikrobewegungen im Frakturspalt zugelassen werden, die eine kallöse Frakturheilung fördern sollen.

Labitzke berichtet 1993 (57) über die Versorgung von 9 Humeri mit ermutigenden Ergebnissen. Weitere Ankündigungen von Kongreßvorträgen über die Endohelix mit Fallzahlen bis zu 120 Patienten sind dem Autor bekannt, weitere reguläre Veröffentlichungen jedoch nicht.

Die Endohelix nimmt sicherlich eine Sonderstellung bei den Markraumschienen ein. Eine weite Verbreitung hat sie jedoch nach dem Kenntnisstand des Autors nicht erhalten.

### **7.b) Fixion IM - Nail**

Dieses innovative Design aus Israel versucht die Vorteile einer Markraumschienung mit denen von Verriegelungsnägeln zu verbinden.

Der Nagel besteht im wesentlichen aus 4 längsverlaufenden Metallstangen, die radial über dünne Membranen dicht verbunden sind. Einschlagnah ist der Nagel mit einem Ventil abgedichtet. Es wird ein Einschlaggerät mit einer Pumpe auf den Nagel aufgesetzt. Nach Eröffnen des Markraumes kann der Nagel ante- oder retrograd unaufgebohrt eingebracht

werden. Nach korrekter Platzierung wird der Nagel unter laufender Druckkontrolle mit Kochsalz gefüllt. So werden die flexiblen Metallstangen sowohl in radialer, als auch in longitudinaler Richtung gegen die Innenseite des Markkanals gepresst und dadurch die Fraktur rotationsstabil fixiert.

Am Humerus steht der Nagel in nicht gefüllten Durchmessern von 5,5 bis 8,5 mm, und in Längen von 180 bis 280 mm zur Verfügung. Er besitzt am Übergang vom einschlagnahen zum mittleren Drittel eine Krümmung von 6 °.



Aus Produktkatalog der Firma DISCO TECH

Ascherl (2) berichtet in einem Abstract über 54 intramedulläre Stabilisierungen an langen Röhrenknochen. Dabei wurde 33 mal der Humerus, 13 mal die Tibia und 8 mal der Femur versorgt.

Die Operationen werden als ereignislos und komplikationsfrei beschrieben. Zu den postoperativen Resultaten wird bemerkt, daß sich alle Patienten vollständig erholten und eine freie Beweglichkeit zeigten.

Mit dem Fixion IM- Nail liegt sicherlich von der Konstruktion her eine sehr interessante Alternative vor. Anzumerken ist, dass beim nicht mit dem Körpergewicht belasteten Humerus, keine Möglichkeit der Kompression auf den Frakturspalt besteht. Durch die nicht vorhandene Querverriegelung kann der Nagel auch nicht, wie bei anderen Verriegelungsnägeln möglich, intraoperativ nach Durchführung der einschlagfernen Verriegelung zurückgeschlagen werden.

Weitere Studien an größeren Patientenkollektiven mit einer differenzierten Darstellung der postoperativen Ergebnisse müssen bis zu einer endgültigen Evaluierung des Systems abgewartet werden.

## **8. Grundsätzliche Überlegungen bei der intramedullären Verriegelungsnagelung**

### a) Unaufgebohrt vs. aufgebohrt (49,50,65)

Die möglichen negativen Einflüsse der Markraumaufbohrung auf die Knochenbruchheilung, sowie die systemischen Auswirkungen, insbesondere in Kombination mit einem Thoraxtrauma, werden seit längerem diskutiert, wobei die Diskussion noch nicht endgültig abgeschlossen erscheint. An der unteren Extremität hat sich jedoch die unaufgebohrte Marknagelung, sowohl an der Tibia, als auch am Femur im klinischen Alltag durchgesetzt. Eine erhöhte Infektrate der aufgebohrten Marknagelung wurde im Tierversuch statistisch signifikant nachgewiesen (65).

Obwohl sich die an den unteren Extremitäten gewonnenen Ergebnisse nicht ohne weiteres auf den Humerus übertragen lassen, scheint sich die unaufgebohrte Technik der intramedullären Stabilisierung auch hier in Bezug auf Knochenheilung und Infekthäufigkeit als vorteilhaft zu erweisen.

### 8.b) Massivquerschnitt vs. Hohlprofil (49,50,65)

Die Vorteile eines kanülierten Nagels liegen im leichteren Vorschieben des Nagels über die bereits reponierte und mit einem Führungsdraht aufgefädelte Fraktur. Der Nachteil, insbesondere am Humerus mit dünnen Markraumdurchmessern, besteht darin, daß kanülierte Nägel in den meisten Fällen einen größeren Durchmesser aufweisen. Solide Nägel mit 6,7 mm (8) Durchmesser sind bekannt, kanülierte werden erst ab 8 mm (39) Durchmesser angeboten.

Melcher (65) schreibt in seinem bereits zitierten Artikel, dass bei kanülierten Nägeln ein höheres Infektrisiko vorliegt. Erklärt wird diese Tatsache damit, dass im Nagel ein von der körpereigenen Infektabwehr weitgehend abgeschotteter Hohlraum mit entsprechend niedrigerer Infektionsschwelle liegt.

### 8.c) Geschlitzt vs. ungeschlitzt (49,50,65)

Durch die Hinwendung zur unaufgebohrten Marknagelung, für die deutlich geringere Nageldurchmesser an allen langen Röhrenknochen erforderlich waren, kam es zur Entwicklung weitgehend solider Nägel. Um eine ausreichende Rotationsstabilität alleine durch die Verriegelung erreichen zu können, wurde auf den bis dahin nahezu ausnahmslos vorhandenen Nagelschlitz verzichtet. Durch die deutlich erhöhte Torsionssteifigkeit solider Nägel besteht jedoch eine geringere Toleranz gegenüber exzentrisch gewählten Nageleintrittsstellen. Der Ersatz von Implantatstahl durch z.B. etwas weichere Titanlegierungen relativiert dieses Problem. Da sich Titan und seine Legierungen als biokompatibles Material zunehmend weiter verbreitet (siehe 8.d), und die Vorteile der soliden Nägel auch im niedrigeren Infektionsrisiko liegen, wird die weitere Entwicklung sicherlich nicht zu dünnwandigen, geschlitzten Implantaten zurückgehen.

### 8.d) Titan vs. Implantatstahl (1,49,50,65)

Bei Überlegungen zu Implantatmaterialien fällt häufig der Begriff Biokompatibilität. Die Forderung an eine optimale Biokompatibilität von Osteosynthesematerialien besagt, dass möglichst keine Irritation des lokalen oder auch ortsfremden Gewebes bewirkt werden sollte (1).

Implantatstahl ist nicht völlig frei von Korrosion. Durch Reibung kann es zur Freisetzung löslicher Produkte kommen, die das lokale Milieu beeinflussen. Reintitan hingegen gilt als nahezu korrosionsresistent. Diese Aussage ist für Titanlegierungen sicherlich zu relativieren.

Im Gegensatz zu Titan, an dem Zellen und Weichteilgewebe relativ fest anhaften, ist eine bekannte Gewebereaktion die Ausbildung einer bindegewebigen Kapsel auf rostfreiem Edelstahl. Im Todraum zwischen Kapsel und Implantat kann sich ein flüssigkeitsgefüllter Hohlraum bilden, in dem abgeschirmt von der lokalen Abwehr ein Infekt entstehen kann.

Das Problem der Allergieauslösung durch Chrom/ Nickelhaltige Legierungen ist bekannt. Das Risiko der Allergisierung durch Titan ist nach dem jetzigen Wissensstand nicht vorhanden (1).

Melcher (65) gibt in seinen Ergebnissen nach Tierversuchen mit intramedullären Nagelimplantaten, eine deutlich erhöhte Infektionsschwelle für den Titannagel im Vergleich zum Stahlnagel an.

Neben den beschriebenen biologischen Vorteilen des Titans müssen weiterhin die verschiedenen metallurgischen Eigenschaften betrachtet werden. Unter ähnlichen Belastungen ist Titan fast zweimal elastischer als Stahl. Das verformbarere Material ermöglicht eine optimale Konturierung und Anpassung an die anatomischen Gegebenheiten des Knochens. Dies ist beim nicht vom Körpergewicht belasteten Humerus sicherlich eine gewünschte Eigenschaft, an gewichtsbelasteten Extremitäten nicht in allen Fällen. Ein Nachteil von Titan ist sicherlich die niedrigere Bruchfestigkeit von Titanschrauben im Vergleich zu Stahlschrauben gleichen Durchmessers. Als Vorteil des Titans und seiner niedrigeren Steifigkeit gilt jedoch das Verhalten bei Extrembelastungen, wo sich ein Titanimplantat eher verbiegt, es beim Stahl hingegen zum Implantatbruch kommen kann.

Metallimplantate verursachen sowohl bei der Computertomographie als auch bei der Magnetresonanztomographie störende Artefakte. Im MRT ist die Ausprägung der Artefakte bei Titanimplantaten jedoch geringer. Des Weiteren gilt Titan als völlig unmagnetisch, so dass ein relevantes Erhitzen oder die Bewegung des Implantates durch das Magnetfeld im MRT ausgeschlossen ist.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß Titanimplantate bei der intramedullären Osteosynthese des Humerus deutliche Vorteile gegenüber dem Implantatstahl bieten, in Bezug auf die gewünschten metallurgischen Eigenschaften, die Infektschwelle, die Biokompatibilität und das postoperative Verhalten bei bildgebenden Untersuchungsverfahren.

## **9. Diskussion zur Implantatwahl bei der intramedullären Stabilisierung von Oberarmschaftfrakturen an einem Krankenhaus der Grund- und Regelversorgung mit unfallchirurgischem Schwerpunkt.**

Durch die Kombination einer unfallchirurgischen und einer neurochirurgischen Klinik liegt am Knappschaftskrankenhaus „Bergmannsheil“ Gelsenkirchen ein relativ hoher Prozentsatz an polytraumatisierten Patienten mit entsprechenden Verletzungsmustern vor. Das Vorhalten eines entsprechenden Osteosyntheseverfahrens zur sicheren Stabilisierung von Humerusschaftfrakturen, neben den vorhandenen Bündelnägeln, war erforderlich. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist das Vorhalten mehrerer Nagelsysteme für das gleiche Indikationsspektrum, wie an anderen Kliniken noch praktiziert (83), sicherlich nicht mehr zu verantworten.

Es sollten mit einem Nagelsystem möglichst alle angestrebten Indikationsbereiche abgedeckt werden können:

- Frische Humerusschaftfrakturen vom 2. - 5. Sechstel des Oberarms aller Frakturtypen
- Pathologische Frakturen
- Pseudarthrosen

Nach der ausführlich analysierten Literatur sind an ein neu anzuschaffendes intramedulläres Osteosyntheseverfahren am Oberarm folgende Anforderungen zu stellen:

- Reintitan oder Titanlegierung (1,49,50,65)
- Mindestens 3 verschiedene Nageldurchmesser im selben System erhältlich (7,8)
- Solider Nagel (65)
- Unaufgebohrtes und aufgebohrtes Vorgehen möglich (7,8,24,65)
- Retrograde und antegrade Implantation möglich (5,59,60,88)
- Mindestens 2 Verriegelungsmöglichkeiten proximal und distal (7,8)
- Kompression des Frakturspaltes über den Nagel möglich (7,8)
- Technisch einfache Handhabung mit niedriger Lernkurve

Zum Zeitpunkt der Anschaffung des Systems (Anfang 1996) und ebenfalls zum Zeitpunkt der Niederschrift dieser Arbeit (Herbst 2000) steht nach dem Kenntnisstand des Autors nur der unaufgebohrte Humerusnagel (UHN) zur Verfügung, der alle die genannten Anforderungen erfüllt. Folglich wurde das Nagelsystem angeschafft und im klinischen Alltag angewendet.

## 10. Nachuntersuchung an 30 Patienten, die mit dem UHN nach Oberarmschafffrakturen stabilisiert wurden

### a) Material und Methode

Zwischen dem 1.5.1996 und dem 31.3.1999 wurden in der Klinik für Unfallchirurgie des Knappschaftskrankenhauses „Bergmannsheil“ Gelsenkirchen 30 Patienten nach Oberarmschafffrakturen mit einem UHN versorgt. Alle Patienten wurden in Bauchlage über einen retrograden Zugang operiert. 18 mal wurde der 7,5 mm Nagel und 12 mal der 6,7 mm dicke Nagel verwendet.



Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3



Abb. 4



Abb. 5



Abb. 6

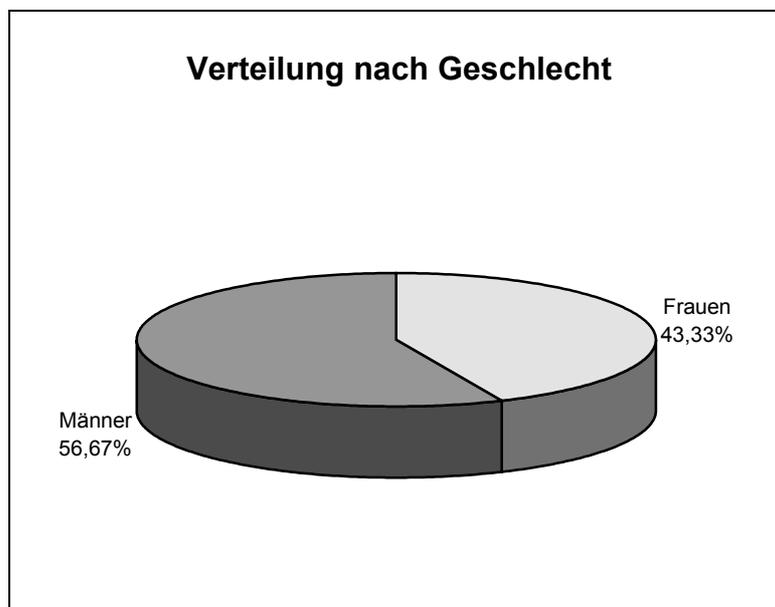
Die Patientenakten wurden retrospektiv ausgewertet. Bei allen Patienten konnten die radiologischen Ergebnisse bis zur Ausheilung, oder im Falle der pathologischen Frakturen bis zum Versterben der Patienten nachverfolgt werden. 25 Patienten konnten nach durchschnittlich 9,2 Monaten (4 - 18 Monate) nachuntersucht werden. 3 Patienten mit pathologischen Frakturen verstarben 2, 6 und 10 Monate nach dem Eingriff an ihren Grunderkrankungen. 2 weitere Patientinnen im Alter von 89 und 91 Jahren waren einer regulären klinischen Nachuntersuchung nicht mehr zugänglich..

Bei bereits radiologisch dokumentierter Ausheilung wurden zur Nachuntersuchung keine erneuten Röntgenaufnahmen angefertigt, ansonsten wurde der entsprechende Oberarm mit beiden angrenzenden Gelenken in 2 Ebenen geröntgt.

Neben der klinischen Nachuntersuchung wurden die Patienten befragt und entsprechend dem Score nach Kwasny (56) eingestuft.

#### 10.b) Patientengut

##### **Geschlecht:**

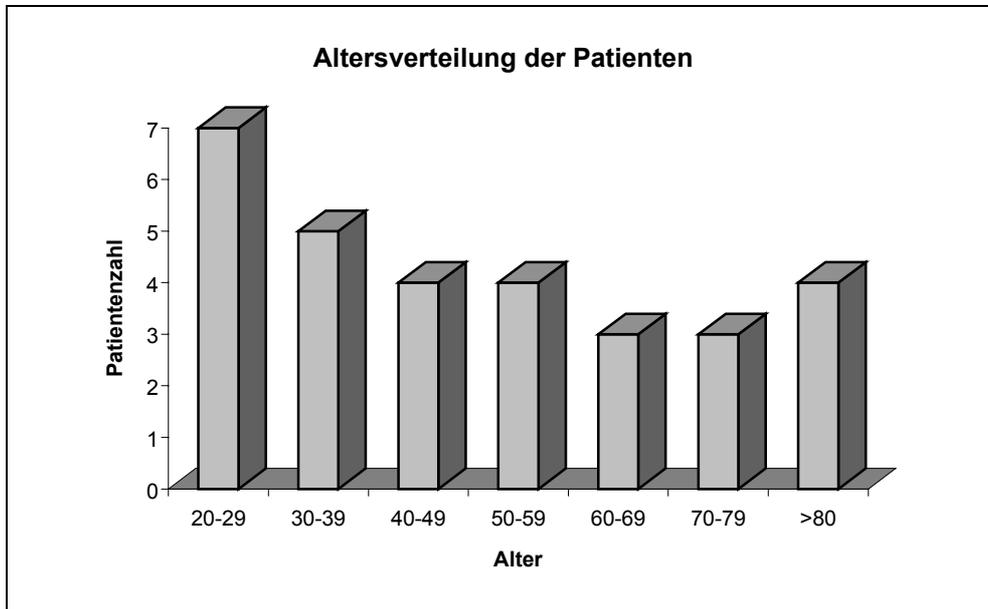


Grafik 1 : Geschlechtsverteilung der operierten Patienten

17 (56,67 %) der operierten Patienten waren Männer und 13 (43,33 %) waren Frauen.

**Alter:**

Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 48,67 Jahre (21 - 91) Jahre.



Grafik 2 : Altersverteilung der Patienten

**Seite:**

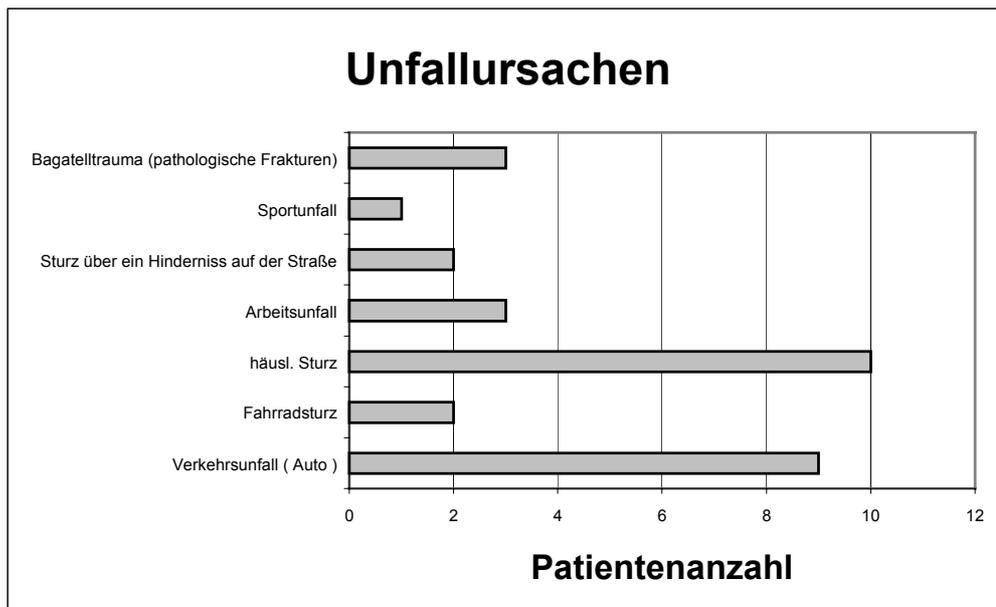
Bei 18 Patienten (60 %) war der linke Oberarm und bei 12 Patienten (40 %) der rechte Oberarm betroffen. Beidseitige Oberarmfrakturen fanden sich in unserem Patientengut nicht.



Grafik 3 : Seitenverteilung der Oberarmfrakturen

## Ursache:

Die Unfallursachen, die zur Oberarmschaftfraktur führten, waren wie folgt verteilt.



Grafik 4 : Unfallursachen

## **Begleitverletzungen:**

6 der Patienten zogen sich ihre Humerusschaftfrakturen im Rahmen eines Polytraumas zu. 4 Patienten waren mehrfachverletzt. Bei 2 Patienten lagen offene Frakturen vor.

Im Folgenden aufgelistet werden alle Begleitverletzungen, sowohl der polytraumatisierten, als auch der mehrfachverletzten Patienten.

SHT 2. Grades	6 Patienten
Lungenkontusion	1 Patient
Unterarmfraktur gleichseitig (floating ellbow)	3 Patienten
Unterschenkelfraktur	2 Patienten
Mittelhandfraktur gleichseitig	1 Patient
Instabile Beckenringfraktur	3 Patienten
Talusfraktur	1 Patient
Gesichtsschädelfraktur	1 Patient
Zerrung Plexus brachialis	1 Patient
Verletzung A. brachialis	1 Patient
Nerven und Gefäßverletzung Gefäßverletzung Unterarm	1 Patient
Rippenserienfraktur	1 Patient
Subtrochantäre Femurfraktur (gleichseitig)	1 Patient
Primäre N. radialis Läsion	2 Patienten
Sekundäre N. radialis Läsion	1 Patient
Postoperative N. radialis Läsion	2 Patienten

## **Indikationen:**

Bei 23 Patienten wurden frische Oberarmschaftfrakturen versorgt.

Bei 3 Patienten handelte es sich um pathologische Frakturen bei bereits bekannter maligner Grunderkrankung. Es lagen jeweils einmal ein Bronchialcarcinom, ein Hypernephrom und ein Mamma - Carcinom vor. Einer der Patienten verstarb 8 Wochen nach der Oberarmnagelung,

eine weitere Patientin nach 6 Monaten und die letzte Patientin nach 10 Monaten, jeweils an ihrer Grunderkrankung.

Bei einer Patientin war in einem auswärtigen Krankenhaus eine Oberarmschaftfraktur mit einer retrograden Rush - Pin Osteosynthese stabilisiert worden. Es war zu einem Weichteilinfekt gekommen, mit dem die Patientin uns zugewiesen wurde.

Eine Patientin wurde nach einem in der Türkei erlittenen Polytrauma zu uns verlegt. Dort wurde eine Oberarmschaftquerfraktur antegrad mit einem Rush - Pin stabilisiert. Bei der Aufnahme in unserem Haus fand sich ein deutliches Impingment der betroffenen Schulter bei Überstand des Pins, sowie eine drohende Pseudarthrose bei Dehiszenz der Fraktarenden (1,3 cm).

Bei einem Patienten war eine bei distaler Oberarmschaftfraktur 3 Monate vorher eingebrachte breite DC - Platte distal ausgebrochen. Ebenso lag hier eine ausgeprägte Osteoporose vor.

Eine Patientin war in Spanien nach Oberarmschaftquerfraktur mit einem Marchetti - Vincenzi Nagel stabilisiert worden. Dabei war es zu einer distalen Schaftsprennung gekommen, die nicht weiter therapiert worden war, so daß distal eine instabile Fraktur vorlag, und ebenfalls der eingebrachte Nagel distal nicht mehr verriegelt war.

### Einteilung:

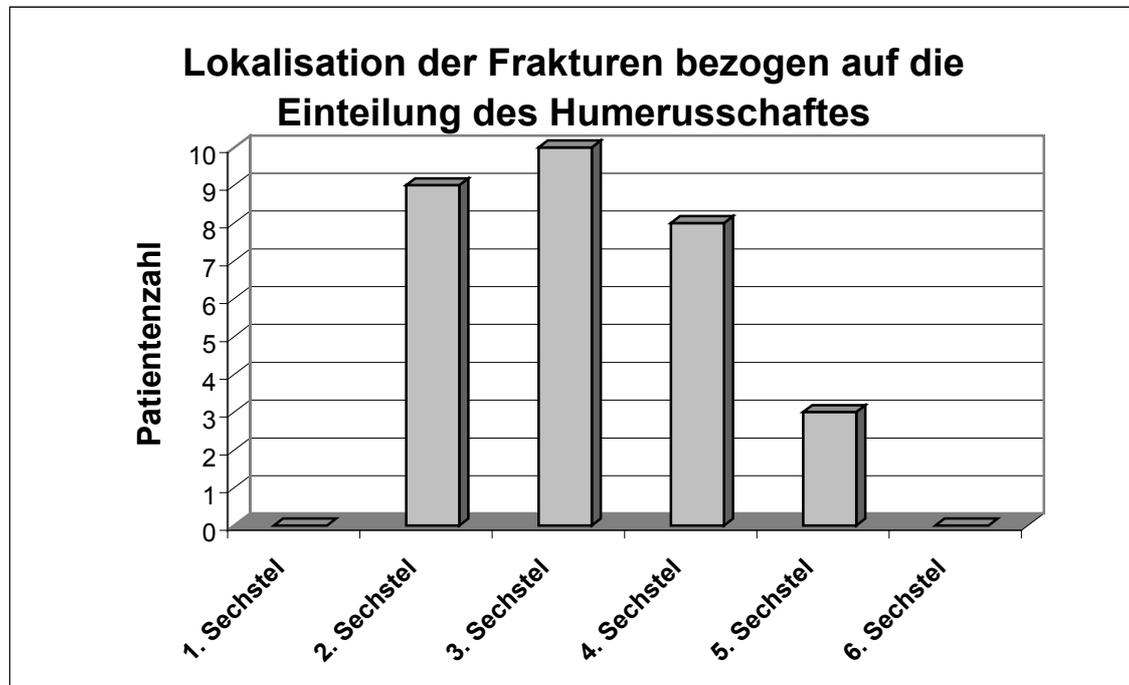
Einteilung der frischen Frakturen (n = 27) nach der AO-Klassifikation

<b>A</b> ( n = 11 )		<b>B</b> ( n = 11 )		<b>C</b> ( n = 5 )	
A <sub>1</sub>	1	B <sub>1</sub>	4	C <sub>1</sub>	3
A <sub>2</sub>	4	B <sub>2</sub>	5	C <sub>2</sub>	0
A <sub>3</sub>	6	B <sub>3</sub>	2	C <sub>3</sub>	2

Grafik 5: Einteilung nach AO-Klassifikationen

## Frakturlokalisierung:

Lokalisation der Frakturen bezogen auf die Einteilung des Humerusschaftes von 2. - 5. Sechstel:



Grafik 6 : Frakturlokalisierung

### 10.c) Score nach Kwasny (56)

Bei der Auswahl eines geeigneten Scores zur Einstufung der funktionellen Resultate stößt man in der Literatur auf den Score nach Kwasny. Er wurde speziell für die Einstufung der Ergebnisse nach Behandlung von Oberarmschaftfrakturen entworfen. Als einziger Score berücksichtigt er das subjektive Empfinden des Patienten, die Beweglichkeit und Kraft des Schulter- und Ellenbogengelenks, die radiologischen Ausheilungsergebnisse, den neurologischen Status und das kosmetische Resultat.

Der Score wurde von Kwasny selbst 1990 (56) im Zusammenhang mit einer Nachuntersuchung an plattenosteosynthetisch stabilisierten Humerusschaftfrakturen vorgestellt.

Die Bewertungskriterien werden im Folgenden dargestellt.

## Bewertungskriterien der Nachuntersuchungen bei Oberarmschaftfraktur

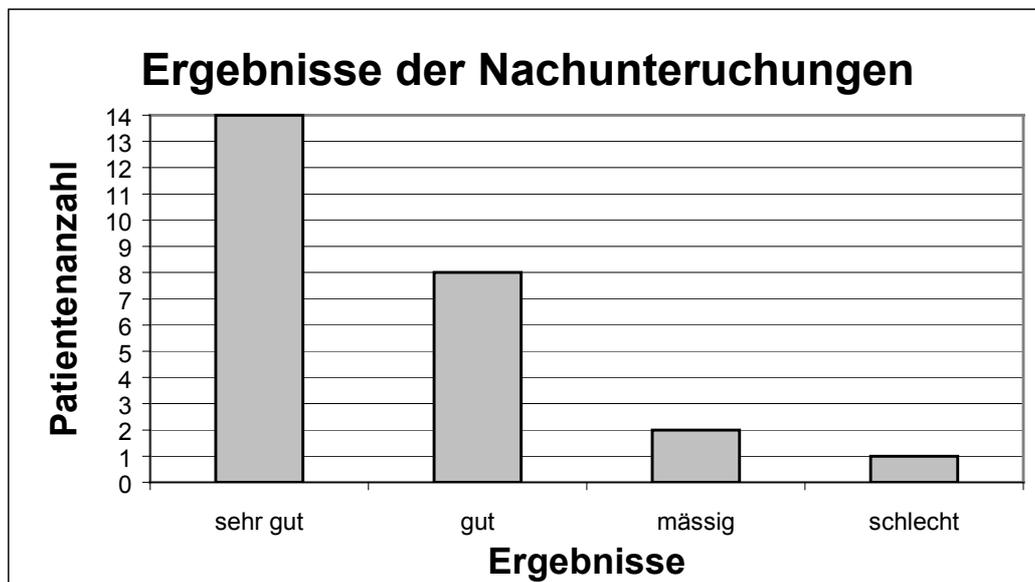
	0	1	2	3	5
<b>Subjektiv:</b>	Seitengleich	Zufrieden		Schlecht	
<b>Schmerzen:</b>		Wetterfühligkeit	Nach starker Belastung	Nach geringer Belastung	Ständig
<b>Beweglichkeit:</b>	Frei	Schulter - 10°	Schulter - 20°	Schulter > - 20°	
<b>Neurologie:</b>	Keine / vollständige Erholung	Sensibilitätsstörung bei vorbest. Läsion		Störung wie vor Behandlung	Störung erst nach Behandlung
<b>Kraft:</b>	Seitengleich	- 1/3		> - 1/3	
<b>Röntgen:</b>	Ausheilung achsengerecht	Fehlstellung - 10°	Fehlstellung > - 10°		Pseudarthrose
<b>Beweglichkeit: Ellbogen</b>		Ext. - 10° Flex. - 20°	Ext. - 20° Flex. - 40°	Ext. > - 20° Flex. > - 40°	
<b>Kosmetisches Resultat:</b>	Zufrieden	Kosmetisch störende Narbe		Fehlstellung	

**Ergebnis:**

Sehr gut	0 - 2
Gut	3 - 6
Mäßig	7 - 10
Schlecht	> 10

Alle 25 nachuntersuchten Patienten wurden nach dem Score befragt, nachuntersucht, und die radiologischen Ergebnisse entsprechend eingestuft.

Die Ergebnisse können der folgenden Tabelle entnommen werden. Bei 14 Patienten konnte das Ergebnis als sehr gut, bei 8 Patienten als gut, bei 2 Patienten als mäßig und bei 1 Patienten als schlecht eingestuft werden.



Grafik 7 : Nachuntersuchungsergebnisse



Abb. 7



Abb. 8



Abb. 9



Abb. 10

Bei dem Patienten mit dem schlechten Resultat handelte es sich um die schon zuvor beschriebene 3. Grad. offene, subtotale Oberarmamputation mit Plexus brachialis Läsion, die keine Erholung zeigte.

Bei einer Patientin mit mäßigen Ergebnis handelte es sich um die gleichseitig vorliegende Unterarmfraktur mit N. ulnaris Durchtrennung, wo das Ergebnis durch die schlechte Ellenbogenfunktion limitiert wurde.

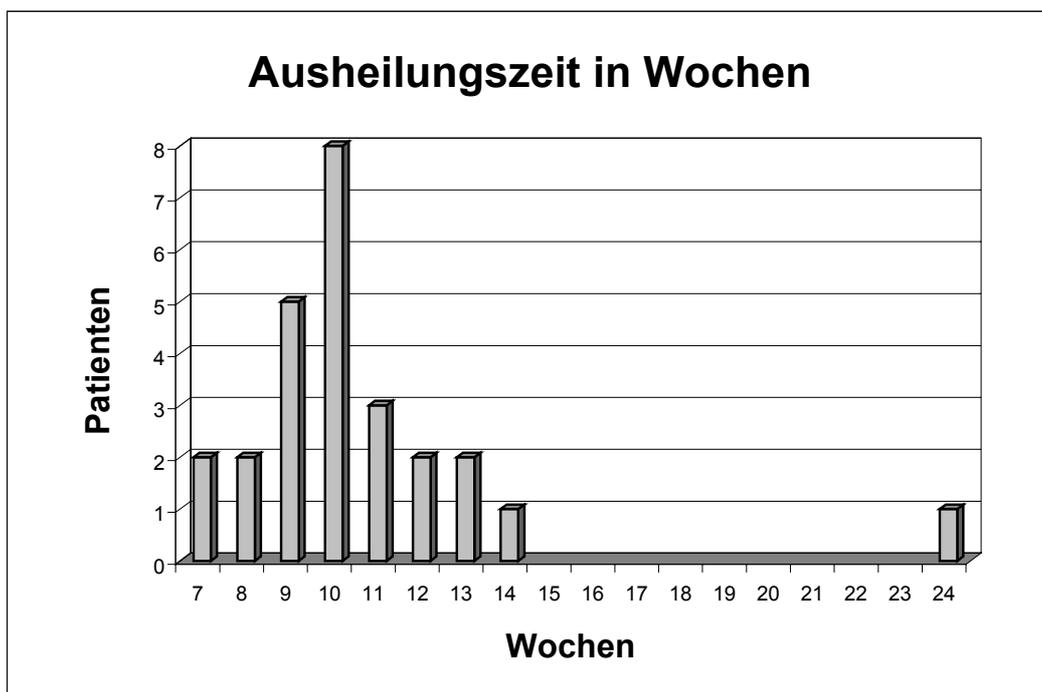
Das zweite mäßige Ergebnis lag bei einer Patientin mit Polytrauma bei SHT, instabiler Beckenfraktur, gleichseitiger Unterarmfraktur und Talusfraktur vor, wobei das gesamte Ergebnis durch die cerebralen Einschränkungen nach SHT determiniert wurde.

Bei insgesamt 22 Patienten konnte das Ergebnis als sehr gut oder gut bezeichnet werden.

#### 10.d) Ergebnisse

##### **Ausheilungszeit:**

Die Ausheilungszeit des Gesamtkollektivs ohne pathologische Frakturen und ohne einen Patienten mit subtotaler Oberarmamputation, der zunächst mit einem Fixateur versorgt worden war (n = 26) betrug 10,61 Wochen (7 - 24 Wochen).

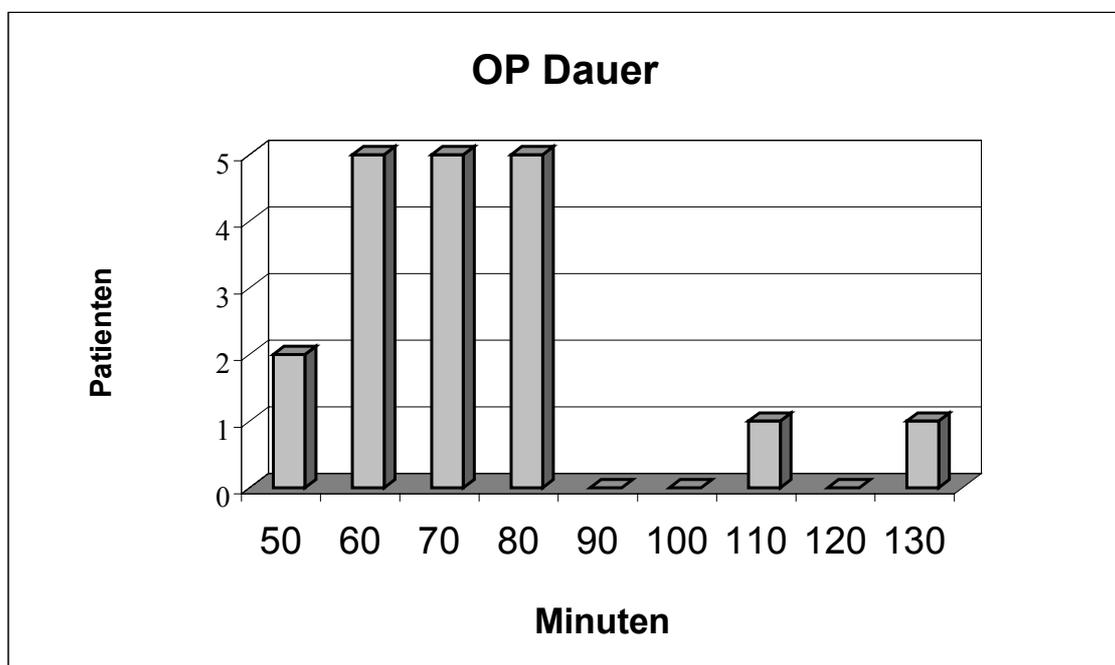


Grafik 8 : Ausheilzeiten

## OP - Dauer:

Die Operationsdauer der Oberarmnagelung bei den monoverletzten Patienten und den pathologischen Frakturen (n = 19) betrug durchschnittlich 73 Minuten (50 - 130 Minuten).

Bei den polytraumatisierten -und den mehrfachverletzten Patienten, sowie bei den kombinierten Eingriffen mit einzeitigem Verfahrenswechsel wurde die Operationsdauer der reinen Oberarmnagelung auf Grund eines noch nicht ausreichend differenzierten Computersystems nicht separat aufgezeichnet.



Grafik 9 : OP Dauer

## Intraoperative Komplikationen:

In 2 Fällen (6,66 %) kam es zu einer distalen Schaftsprennung. Einmalig trat beim Einbringen eines 7,5 mm Nagels eine vom Insertionsloch in die Trochlea und die Gelenkfläche längs einlaufende Fraktur auf, die durch die entsprechende Platzierung der distalen Verriegelungsschrauben, sowie zwei weitere Zugschrauben stabilisiert werden konnte.

Bei einer weiteren Patientin kam es, nach zunächst problemlosen Einbringen und distaler Verriegelung eines 6,7 mm dicken Nagels, beim Rotieren des Oberarms zur Platzierung der proximalen Verriegelung, zu einer vollständigen Sprengung des Condylenmassivs und der

Trochlea, die zusätzlich zu der UHN Osteosynthese eine Stabilisierung mit zwei Rekonstruktionsplatten erforderlich machte.

Beide Frakturen heilten zeitgerecht aus, zu einer wesentlichen Einschränkung der Ellenbogengelenksfunktion kam es bei diesen beiden Patienten nicht.

Ein Patient mit einer 3. ° offenen subtotalen Oberarmamputation wurde zunächst mit einem Fixateur externe stabilisiert. Nach Ausheilung eines Weichteilinfektes wurde der Fixateur externe entfernt und zweizeitig eine Oberarmverriegelungsnagelung durchgeführt. Hierbei gelang es dem Operateur nicht, die Frakturrenden ausreichend aufeinander zu bringen. Bei gefährdeten Weichteilen wurde hier auf eine offene Revision zunächst verzichtet. Es entwickelte sich eine Pseudarthrose. 1 Jahr nach dem Unfall wurde dann bei einer geplanten Revision des Plexus brachialis die Metallentfernung des UHN sowie eine Plattenosteosynthese mit Spongiosaplastik durchgeführt. Die Fraktur heilte hiernach zeitgerecht aus. Eine nervale Funktion des Armes stellte sich jedoch auch bis 2 ½ Jahre nach dem Unfall nicht ein.

Alle Operateure (insgesamt 6) schilderten Schwierigkeiten beim Einbringen des Nagels in das Insertionsloch, sowie bei der proximalen Freihandverriegelung durch relativ dicke Schulterweichteile. Diese Probleme führten jedoch nicht zu einer expliziten Erwähnung im OP Bericht und fanden auch keinen Niederschlag in den postoperativen Röntgenaufnahmen.

Intraoperative Komplikationen mit dem Instrumentarium oder mit den Implantaten traten nicht auf. Der Kompressionsaufsatz, der uns gegen Ende der Serie zur Verfügung stand, wurde nicht benutzt. Bei allen Patienten gelang sowohl die proximale als auch die distale Verriegelung mit 2 Schrauben.

### **Stabilität der Osteosynthese:**

Von den 30 durchgeführten Osteosynthesen wurden 27 von den Operateuren als übungsstabil charakterisiert. Lediglich die zwei distalen Schaftsprengungen sowie ein weiterer Patient mit einer langstreckigen Spiralstückfraktur, die bis nahe an den Humeruskopf heranreichte, wurden für 14 Tage in einem Gilchristverband ruhiggestellt. Die anderen Patienten wurden bereits ab dem 2. postoperativem Tag zunächst passiv, und im weiteren Verlauf auch aktiv beübt. Rotationsbewegungen gegen Widerstand wurden gemäß den Herstellerangaben des Implantates bis zur sicheren Knochenheilung nicht durchgeführt.

### **Nervus Radialis Läsionen:**

In unserem Krankengut sahen wir 2 primäre N. radialis Läsionen. Bei einem der beiden Patienten lag die Fraktur am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel. Hier wurde der Nerv intraoperativ in Frakturhöhe dargestellt. Hierbei zeigte sich jedoch ein intakter, nicht im Frakturspalt eingeklemmter Nerv.

Eine sekundäre, innerhalb von 12 Stunden nach dem Trauma, jedoch vor der Osteosynthese aufgetretene N. radialis Parese wurde ebenfalls intraoperativ revidiert, wobei makroskopisch kein sichtbarer Nervenschaden vorlag.

Es zeigten sich weiterhin zwei postoperative N. radialis Paresen. Einmal war der Nerv bei beschriebener distaler Schaftsprengung und deren osteosynthetischer Versorgung intraoperativ langstreckig dargestellt worden. Bei der zweiten Patientin lag bereits eine distale Schaftsprengung nach auswärtiger Versorgung mit einem Marchetti- Vincenzi Nagel vor. Auch hier wurde der Nerv für die erforderliche Osteosynthese intraoperativ langstreckig dargestellt.

Alle 5 N. radialis Paresen heilten unter symptomatischer Therapie innerhalb der ersten 5 Monate postoperativ vollständig aus.

### **Infektionen:**

Postoperative Infektionen nach UHN Osteosynthese traten in unserem Krankengut nicht auf. Bei einer Patientin lag bereits zur Aufnahme ein Weichteilinfekt im Bereich der Epicondylen nach auswärtig durchgeführter Rush- Pin Osteosynthese vor. Nach gründlichem Debridement mit Entfernung der Rush- Pins kam es zur Ausheilung des Infektes. Nach einem Intervall von 3 Monaten wurde bei kurzstreckiger Querfraktur (A3) mit fehlender Heilung und drohender Pseudarthrose eine UHN Osteosynthese angeschlossen. Unter der stabilen Osteosynthese heilte die Fraktur in weiteren 10 Wochen aus.

### **Verzögerte Knochenbruchheilung:**

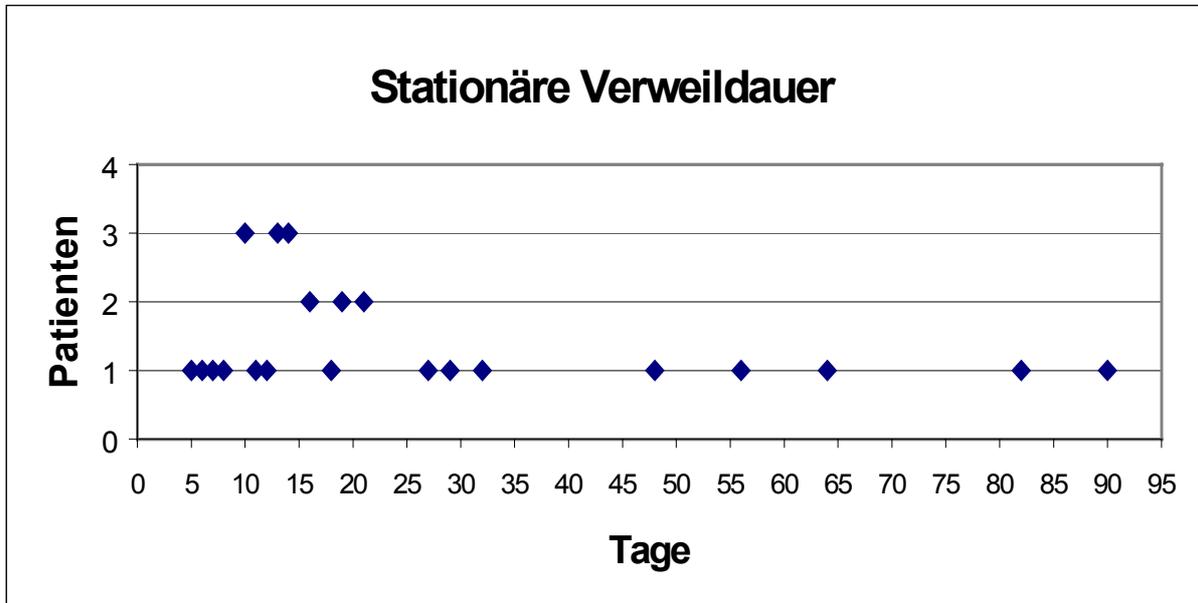
Wir sahen eine verzögerte Knochenbruchheilung bei einer jungen Patientin mit einer A3 Fraktur, wo postoperativ bei nicht durchgeführter Kompression ein deutlich sichtbarer Frakturspalt verblieben war. Diese Fraktur heilte jedoch ohne weitere Maßnahmen nach 24 Wochen aus.

### **Pseudarthrosen:**

Die schon erwähnte Pseudarthrose nach 3. ° offener, subtotaler Oberarmamputation, primärer Versorgung mit Fixateur externe, zwischenzeitlicher UHN Osteosynthese und Reosteosynthese mit DC Platte und Spongiosaplastik, heilte insgesamt 1 ½ Jahre nach dem Unfall knöchern aus. Der betroffene Arm verblieb jedoch nerval funktionslos.

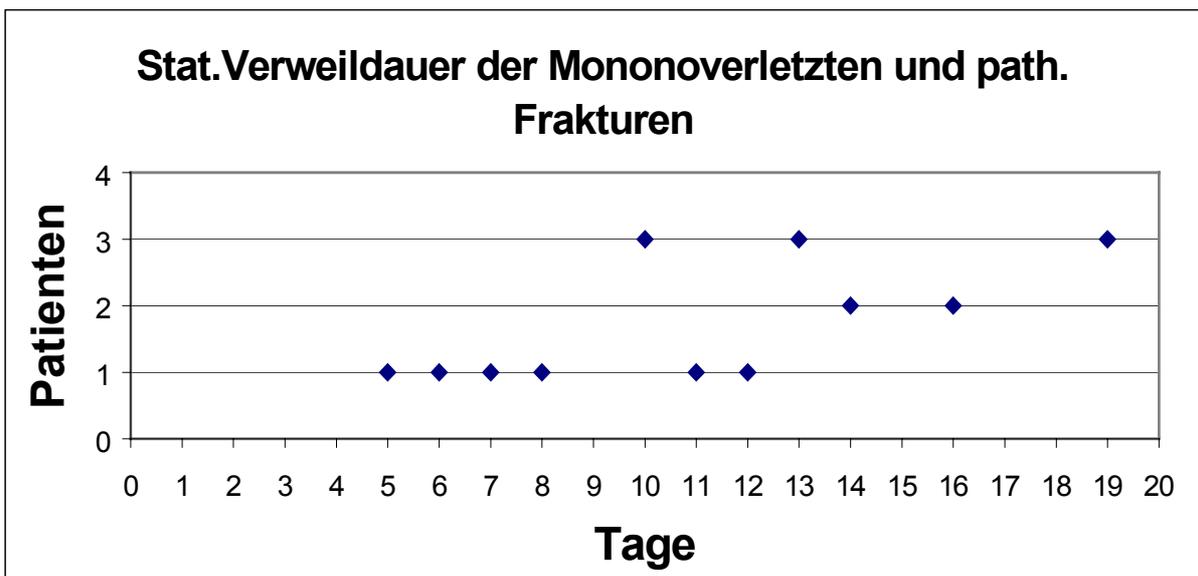
### Stat. Aufenthalt:

Die durchschnittliche stationäre Verweildauer des Gesamtkollektivs (n = 30) betrug 23,93 Tage (5 - 90 Tage).



Grafik 10 : Stationäre Verweildauer Gesamtkollektiv

Die durchschnittliche Verweildauer der monoverletzten Patienten betrug 12,8 Tage (5 - 21 Tage).



Grafik 11 : Stationäre Verweildauer monoverletzte Patienten

### **Hypertrophe Ossifikationen:**

Bei zwei Patienten (6,67 %), jeweils in Kombination mit einem schweren Schädelhirntrauma, traten hypertrophe Ossifikationen an der Nageleinschlagstelle auf. Eine Patientin wurde bei deutlicher Bewegungseinschränkung des Ellenbogens, bei noch liegendem Nagel operativ revidiert und die Ossifikationen wurden entfernt. Innerhalb von 3 Monaten kam es zu einem ausgeprägten Rezidiv. Es wurde eine erneute Revision mit gleichzeitiger Entfernung des UHN durchgeführt. Die Patientin wurde postoperativ einmalig nachbestrahlt. Ein weiteres Rezidiv trat nicht auf, die Funktion des Ellenbogengelenks konnte vollständig wiederhergestellt werden.

Bei einem weiteren Patienten wurde ausgeprägte hypertrophe Ossifikationen mit einer Streckhemmung des Ellenbogens von 30 ° nach 7 Monaten simultan mit dem UHN entfernt. Dieser Patient wurde ebenfalls nachbestrahlt. Ein Rezidiv trat nicht auf. Die Ellenbogenfunktion konnte bis auf ein Streckdefizit von 10 ° ebenfalls wiederhergestellt werden.

### **Implantatentfernung:**

Bis zum 31.3.1999 wurde bei 11 Patienten eine Implantatentfernung durchgeführt. 1 Patient musste nach subtotaler Oberarmamputation und der Entwicklung einer Pseudarthrose nach Reosteosynthese mit dem UHN, einem Verfahrenswechsel auf eine LCDC Platte mit Spongiosaplastik unterzogen werden. Bei 2 Patienten erfolgte die Entfernung simultan zur Resektion von hypertrophen Ossifikationen an der Nageleinschlagstelle. Bei 4 weiteren Patienten stand der ausdrückliche Patientenwunsch im Vordergrund, bei den letzten 4 Patienten wurde die Entfernung durch den niedergelassenen Chirurgen veranlasst und durch eine stationäre Einweisung entsprechend forciert. Keine der Entfernungen war durch eine Implantatlockerung- oder wanderung erforderlich. Wesentliche Nagelüberstände an der Einschlagstelle fanden sich ebenfalls nicht.

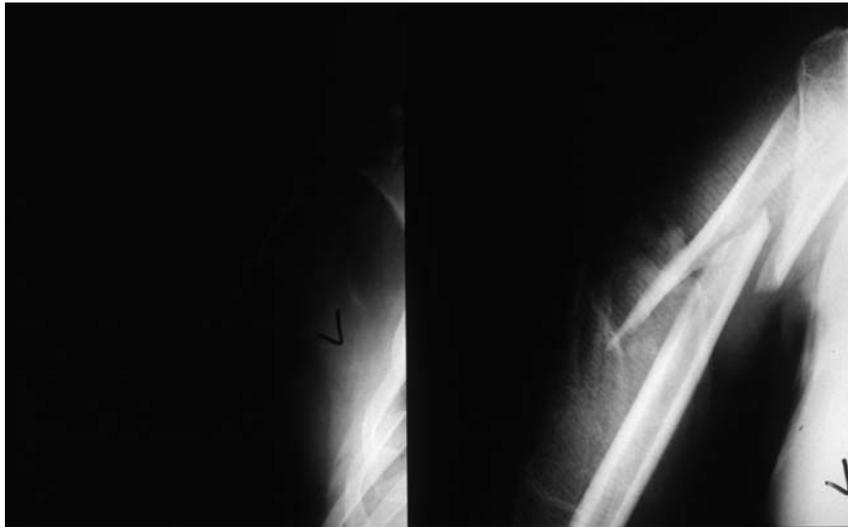


Abb. 11

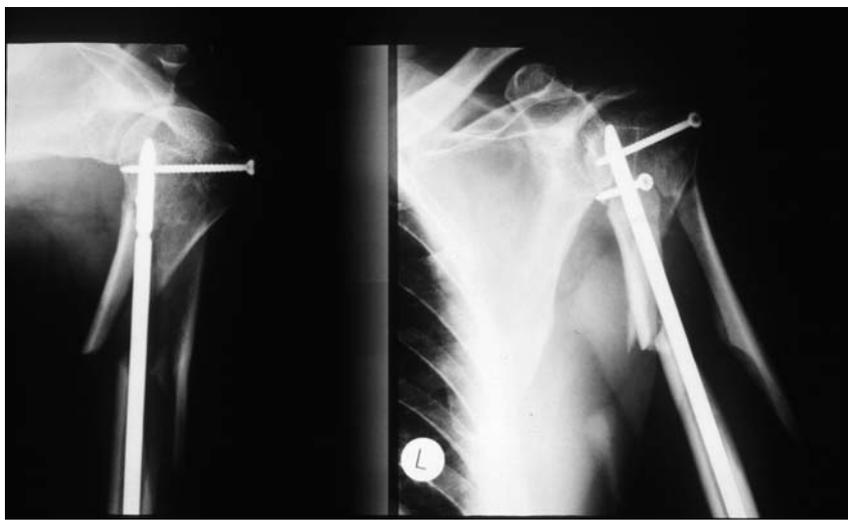


Abb. 12



P.R. ♂ 60 Jahre,  
Ausheilungszeit 14 Wochen

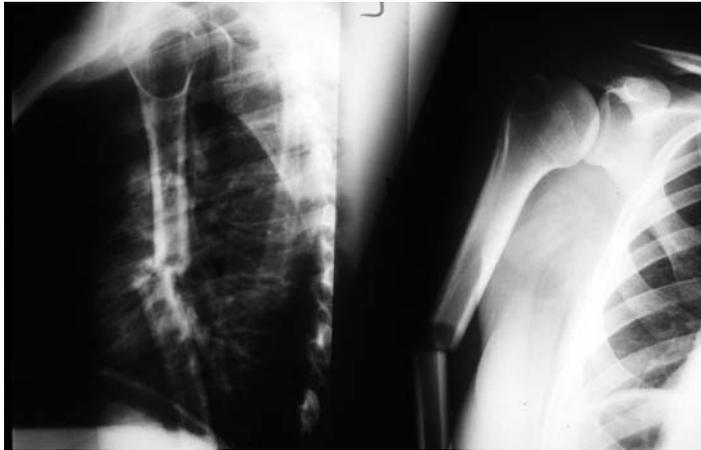


Abb. 14



Abb. 15

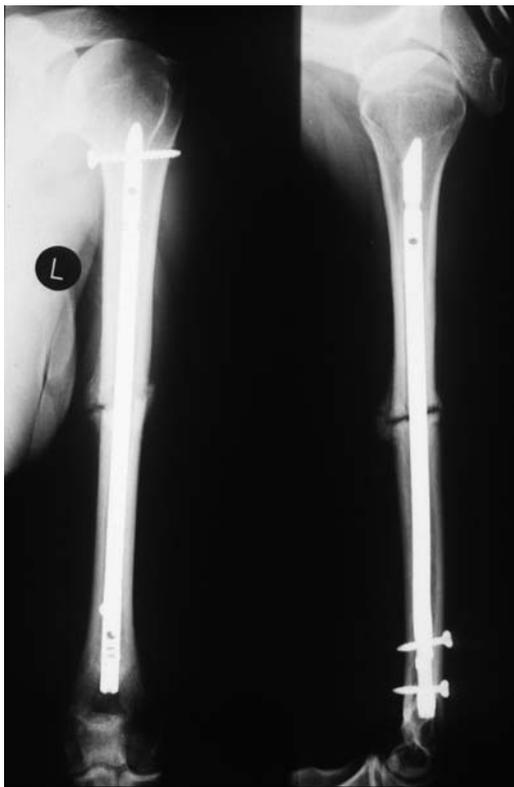


Abb. 16



Abb. 17

B.W. ♀ 35 Jahre, verzögerte Knochenbruchheilung, Ausheilungszeit 24 Wochen



Abb. 18

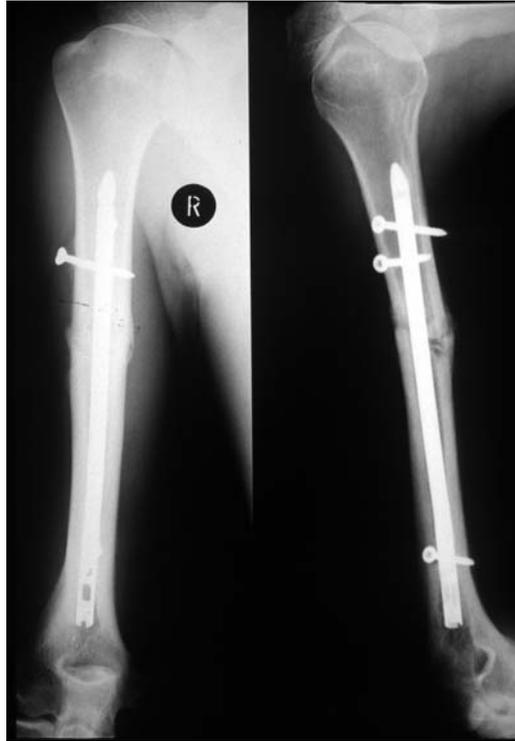


Abb. 19

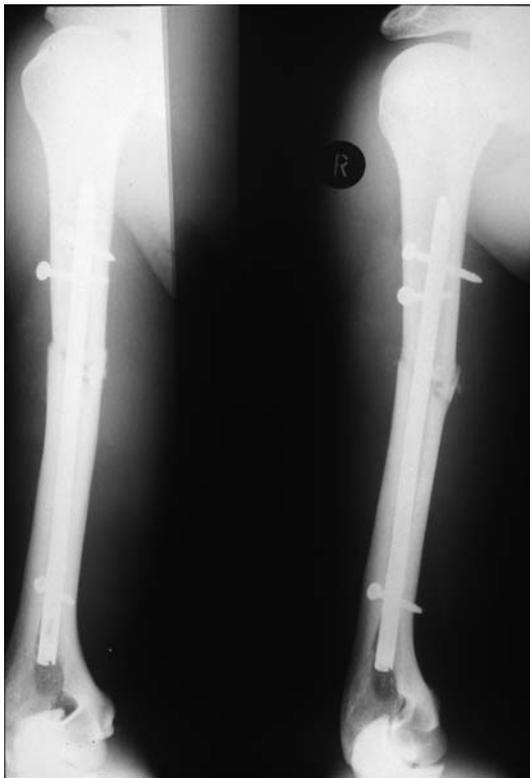


Abb. 20

K.K. ♂ 26 Jahre, Ausheilungszeit 12 Wochen



Abb. 21



Abb. 22

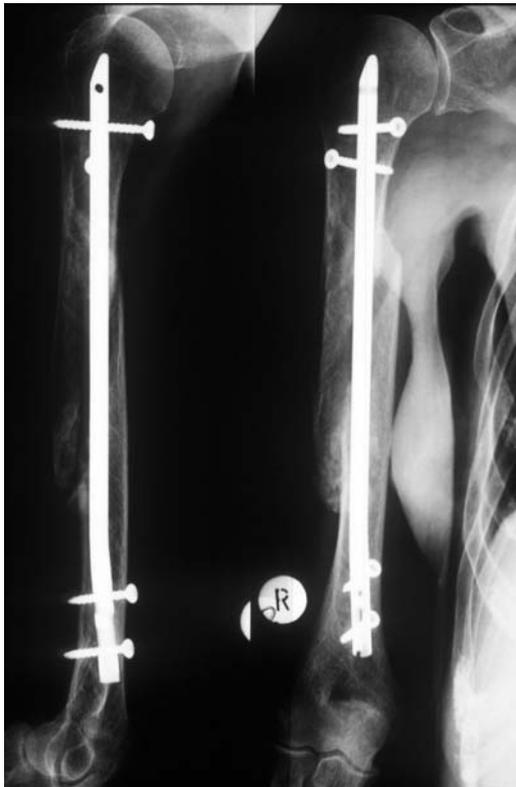


Abb. 23

M.B. ♀ 84 Jahre, Ausheilungszeit 16 Wochen

## **11. Therapiekonzepte bei der Pseudarthrose nach Oberarmchaftfraktur** (3,4,8,10,31,36,54,66)

Zur Definition der Pseudarthrose wird das AO-Manual der Osteosynthese herangezogen (66). Hier wird unterschieden zwischen einer verzögerten Frakturheilung, wenn nach 4 bis 6 Monaten auf dem Röntgenbild nur ein Reizkallus sichtbar ist, und der kompletten Pseudarthrose, wenn nach 6 Monaten noch eine komplette Unterbrechung der Kontinuität des Knochens vorliegt.

Unterschieden werden die sogenannte hypertrophe Pseudarthrose (auch Elefantenfußpseudarthrose genannt), wobei die gängige Lehrmeinung gilt, dass diese gut vaskularisiert ist und auf dem Boden einer nicht ausreichenden Ruhigstellung der Frakturrenden entsteht. Als zweite Form wird die atrophe Pseudarthrose beschrieben, wobei von schlecht vaskularisierten Frakturrenden auszugehen ist, unabhängig vom ausreichenden Grad der Ruhigstellung. Als eigentliche dritte größere Gruppe werden die Infekt-Defekt-Pseudarthrosen gezählt, wobei in den meisten Fällen nach einer Ostitis eine größere Knochendefektzone entstanden ist.

Die Häufigkeitsangaben zur Pseudarthrose schwanken in der Literatur zwischen 0,39 % und 13% in größeren Nachuntersuchungsserien. Als wesentliche, pseudarthrosenverursachende Maßnahmen wurden in der Vergangenheit distrahierte Verfahren bei der konservativen Frakturbehandlung beschrieben. Diese sind nach einhelliger Meinung heute nahezu vollständig verlassen worden und können daher vernachlässigt werden.

Als Standardverfahren bei der Behandlung der Oberarmchaftpseudarthrose gilt derzeit die offene Dekortikation und Stabilisierung mit breiter LCDC-Platte aus Titan (10). Bei einer atrophischen Pseudarthrose muss immer, bei der hypertrophischen Pseudarthrose kann eine Spongiosaplastik angeschlossen werden.

Als Alternative zu der derzeit vorherrschenden Standardtherapie müssen jedoch verschiedene andere Verfahren diskutiert werden.

Bei der hypertrophischen Pseudarthrose bedarf es im allgemeinen keiner Spongiosaplastik, verschiedene Autoren verlangen auch keine Dekortikation des pseudarthrotischen Bereiches.

Gefordert wird ausschließlich eine ausreichende Ruhigstellung des Frakturspaltes. Diese kann unseres Erachtens nach durch zwei verschiedene Verfahren erreicht werden. Die sogenannten Markraumschienen fallen bei nicht ausreichender Rotationsstabilität zur Behandlung der hypertrophen Pseudarthrose aus. Auch die Nagelsysteme mit Ausklinkdrähten bieten zur Sicherstellung einer völlig rotationsstabilen Osteosynthese nicht die nötige Sicherheit. Der Seidelnagel wird wegen seines alleinigen antegraden Zugangs, und einer relativ hohen Komplikationsrate zwischenzeitlich nicht mehr so häufig angewendet. Prinzipiell ist er jedoch als aufgebohrtes Verfahren geeignet, eine hypertrophe Pseudarthrose zu behandeln. Auch die anderen Verriegelungsnägel (Große-Kempf, Russell Taylor) sind prinzipiell geeignet, eine hypertrophe Pseudarthrose ausreichend ruhig zu stellen. Als das geeigneteste intramedulläre Verfahren erscheint uns derzeit der UHN. Bei einer zur Verfügung stehenden Dicke des Nagels bis 9,5 mm kann hier, bei geeignetem Instrumentarium ebenfalls ein Aufbohren der Markhöhle vorgenommen werden. Es liegen ausreichende Möglichkeiten zur stabilen proximalen und distalen Verriegelung mit ausreichender Rotationssicherheit vor. Des Weiteren kann eine Kompression des Frakturspaltes über das entsprechende Zusatzinstrumentarium vorgenommen werden. Die theoretischen Voraussetzungen zur Behandlung der Oberarmchaftpseudarthrose mit dem UHN sind also gegeben. Es liegt jedoch derzeit nur Studien mit kleineren Fallzahlen bei Pseudarthrosen vor (7,8,37,61,94) in der der UHN zur Behandlung der Pseudarthrose benutzt wurde. Größere Fallzahlen werden sicherlich in naher Zukunft folgen. Neben dem UHN besitzt auch der Telescopic Locking Nail (24) die Möglichkeit der Kompression auf den Frakturspalt. Dieser Nagel kann jedoch an der Einschlagseite nur mit einer Schraube verriegelt werden, was z.B. bei kurzem distalen Fragment ein Rotieren des Fragmentes um die einzelne Schraube erlaubt. Der TLN wurde in der bekannten Veröffentlichung ebenfalls zur Behandlung von Oberarmchaftpseudarthrosen eingesetzt.

Als weitere Behandlung bleibt die schon oben beschriebene breite LCDCP. Das Risiko einer iatrogenen Schädigung des Nervus radialis wird jedoch, insbesondere beim Zweiteingriff nach Voroperationen als relativ hoch eingeschätzt, abhängig von Frakturlokalisierung und Form. Eine ausreichende Kompression des Pseudarthrosenspaltes kann über das LCDC-Prinzip oder gegebenenfalls über einen Plattenspanner erreicht werden. Hierzu liegen Nachuntersuchungen an relativ großen Patientenkollektiven mit Oberarmchaftpseudarthrosen vor (3,10,36,68,91).

Bei der atrophischen Pseudarthrose ist immer eine Freilegung der Frakturenden mit ausreichender Anfrischung und Spongiosaplastik erforderlich. Bei freigelegtem Frakturspalt erscheint die sofortige Stabilisierung mit der beschriebenen breiten LCDC-Platte sinnvoll. Prinzipiell ist auch hier die Kombination mit einem intramedullären Verfahren, welches es ermöglicht Kompression auf den Frakturspalt auszuüben, möglich. Da jedoch hier ein zweiter Zugang geschaffen werden muss, erscheint uns diese Kombination als weniger geeignet.

Bei der Infekt-Defekt Pseudarthrose steht die Sanierung des Ostitisherdes durch verschiedene Verfahren im Vordergrund. Nach ausreichender Beruhigung der Ostitis müssen die Frakturenden aufeinander gebracht werden. Am Oberarm kann hier eine Verkürzung von bis zu 5 cm durchaus toleriert werden. Im Allgemeinen empfohlen wird auch hier eine extramedulläre Osteosynthese mit Spongiosaplastik zur Stabilisierung anzuschließen. Die Durchführung intramedullärer Osteosynthesen nach durchgemachter Ostitis wird in der Literatur kontrovers diskutiert (50). Der Stellenwert der Fixateur- externe Osteosynthese bei der Oberarmfraktur und der Pseudarthrose wird beschrieben (78), die Indikation jedoch nur im Ausnahmefall gesehen.

Als dritte Therapiemöglichkeit bei der Pseudarthrose finden sich in den letzten 3 Jahren Arbeiten über die Möglichkeiten der niedrig intensiven, gepulsten Ultraschalltherapie (64) und der extrakorporalen Stoßwellentherapie (4). Größere Fallzahlen zur Behandlung der Pseudarthrose bei der Oberarmfraktur liegen jedoch noch nicht vor. Es wird begleitend zur einer Ultraschalltherapie eine ausreichende Ruhigstellung der Fraktur durch eine Osteosynthese oder Gipsbehandlung gefordert. Bei eingeschränkter Operationsfähigkeit der Patienten oder fraglichen Weichteilverhältnissen ist diese Behandlung, bei derzeit vorliegenden ermutigenden Ergebnissen, durchaus zu erwägen.

## **12. Therapiekonzepte bei primärer oder sekundärer Radialisparese nach Oberarmschaftfraktur**

Die Verletzung des N. radialis im Rahmen einer Humerusschaftfraktur stellt die häufigste neurologische Komplikation im Zusammenhang mit Frakturen langer Röhrenknochen dar. Dies stellt die Wichtigkeit eines differenzierten therapeutischen Vorgehens heraus.

Das Auftreten einer primären und sekundären posttraumatischen N. radialis Läsion wird inzwischen mit 11- 27 % angegeben (14,15,69), wobei diese Zahlen deutlich höher liegen, als z.B. die von L. Böhler (9) Anfang der 60-er Jahre angegebenen Werte. Postoperative N. radialis Paresen treten mit einer Häufigkeit von 2- 13 % (69, 87) auf.

Bei der Analyse der Frakturlokalisation überwiegt prozentual das distale Schaftdrittel, danach die im mittleren Drittel gelegenen Frakturen.

Bei der Auswertung der Frakturform finden sich häufig die schweren Bruchformen der Gruppe C der AO Klassifikation, sowie die Quer- und Schrägbrüche mit Biegungskeil im mittleren und distalen Schaftdrittel.

In einer Literaturanalyse von 135 unfallbedingten Radialisparesen beschreibt Nast- Kolb (69), daß sich in 33 % der Fälle revisionspflichtige Schäden ergaben, welche ohne einen Eingriff keine oder nur fragliche Erholungschancen gehabt hätten.

Nach dieser Analyse wird bei der primären und sekundären posttraumatischen N. radialis Parese eindeutig die offene Revision mit sicherer Darstellung des N. radialis und ggf. weiterführenden mikrochirurgischen Maßnahmen empfohlen. Nast- Kolb und Brug (14,15) empfehlen nach der offenen Revision die plattenosteosynthetische Stabilisierung der Humerusfraktur.

Blum (7,8) dagegen sieht bei der primären N. radialis Parese ebenfalls die Notwendigkeit einer offenen Revision, diese wird von seiner Arbeitsgruppe jedoch nach retrograder Marknagelung mit dem UHN über einen anterolateralen Zusatzschnitt mit sicherer Darstellung des Nerven durchgeführt. Bei sekundären oder postoperativen N. radialis Paresen

wird ein Zuwarten empfohlen, da von einer nahezu vollständigen spontanen Erholungsrate ausgegangen werden könnte.

Die Ausheilungsrate der revidierten N. radialis Läsionen wird von Nast- Kolb (69) mit 70 % angegeben, von Brug (14,15) und Blum (7,8) werden darüber keine Angaben gemacht.

Noch differenzierter sind die Therapieempfehlungen bei der postoperativen N. radialis Parese. Nast- Kolb (69) und Brug (14,15) empfehlen nach offener Brucheinrichtung und DC-Plattenosteosynthese mit sicherer Darstellung des N. radialis auch nach der Osteosynthese, zunächst eine konservative Behandlung mit entsprechenden physikalischen Maßnahmen. Wenn sich nach 4 Monaten keinerlei Regenerationszeichen zeigen, muss eine erneute operative Revision in Erwägung gezogen werden.

Bei geschlossener Oberarmmarknagelung oder Markdrahtung ist bei postoperativer N. radialis Läsion immer eine frühe offene Revision zu fordern, da in diesem Fall eine interfragmentäre Einklemmung des Nerven nicht ausgeschlossen werden kann.

### 13. Hypertrophe Ossifikationen nach retrograder Oberarmnagelung

Das Auftreten von periartikulären Verkalkungen nach einem Trauma oder einem operativen Eingriff am Ellenbogengelenk wird beschrieben (12,18,19). Die Kombination eines zentralen Neurotraumas mit einem Ellenbogengelenkstrauma führt zu einer Inzidenz bis zu 86 % (19). Die definitive Pathogenese ist bis heute ungeklärt. Es wird eine Einteilung in 3 Schweregrade vorgenommen (18,19):

- Grad 1 stellt die Manifestation ohne Bewegungseinschränkung dar,
- Grad 2a beinhaltet eine subtotale Limitierung von Flexion/Extension,
- Grad 2b eine Limitierung von Pro-/Supination
- Grad 2c eine Limitierung beider Umfänge
- Grad 3 wird als Ankylose bei Brückenbildung definiert

Eine Operationsindikation wird ab Grad 2 gesehen. Der Eingriff sollte zur Vermeidung von limitierenden Kapsel- Band Kontrakturen innerhalb der ersten 4 Monate nach Auftreten der Ossifikationen durchgeführt werden. Die Rezidivprophylaxe erfolgt durch die einmalige postoperative Radiatio mit 7 Gy (18,19).

Im eigenen Krankengut (n = 30) sahen wir 2 Patienten (6,67 %) mit der Kombination eines SHT und periartikulären Ossifikationen nach UHN Osteosynthese. Ein primäres Ellenbogengelenkstrauma lag bei beiden Patienten nicht vor. Bei einem Patienten verblieb nach der Behandlung ein Streckdefizit von 10 °, bei ansonsten sehr gutem funktionellen und subjektiven Resultat. Die zweite Patientin beendete die Behandlung mit einer völlig freien Ellenbogengelenksfunktion.

Henley (33) berichtet über 48 Patienten, die über einen retrograden Zugang mit Bündelnägeln stabilisiert wurden. Bei den 33 nachuntersuchten Fällen fand sich 3x (=9,1 %) eine heterotope Ossifikation an der Einschlagstelle der Nägel. Weitere Aufschlüsselungen über die funktionellen Ergebnisse, sowie die weitere Behandlung dieser Patienten finden sich nicht.

Schratz (83) beschreibt eine Serie von 59 intramedullär stabilisierten Oberarmschaftfrakturen. 28 mal wurde jedoch der Seidel Nagel benutzt, so das bei den retrograden Versorgungen, die mit Prevot Pins und Marchetti Vincenzi Nägeln durchgeführt wurde, eine Zahl von n = 31

verbleibt. Bei einem Patienten (3,23 %) nach Polytrauma und Langzeitbeatmung traten ausgeprägte heterotope Verkalkungen auf, die zu einer schlechten Ellenbogengelenksfunktion führten. Ob und welche Behandlung dieser Ossifikationen durchgeführt wurde, wird in dem Artikel nicht erwähnt.

Loitz (61) fand in einer Serie von 120 retrograd stabilisierten Oberarmschaftfrakturen (110x Krettek Nagel, 10x UHN) einen Patienten (0,83 %) mit einer deutlichen heterotopen Ossifikation und einer Einschränkung der Streckung im Ellenbogengelenk von mehr als 20 °.

Über ektopische Ossifikationen wird jedoch ebenfalls nach antegrader Humerusnagelung berichtet, wenn auch nur in Einzelfällen (51). Weiterhin sind nach antegradem Zugang Verkalkungen der Rotatorenmanschette mit und ohne funktionelle Defizite in bis zu 40 % der Fälle beschrieben (51,95). In wie weit es sich hier um verschiedene Ausprägungen des selben Krankheitsbildes handelt, muß in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Periartikuläre Ossifikationen sind, insbesondere in Kombination mit einem zentralen Neurotrauma, kein alleiniges Problem des retrograden Zugangs zum Humerusschaft. Sie treten dennoch in einer erwähnenswerten Häufigkeit auf, und sind bei der Therapieentscheidung zu berücksichtigen. Des Weiteren müssen dem Operateur die Therapierichtlinien zur Behandlung dieses Krankheitsbildes bekannt sein, um eine einwandfreie Funktion des Ellenbogengelenkes zu erhalten.



Abb. 24



Abb. 24

F.S. ♀ 18 Jahre, Bilder vor und nach Abtragung hypertropher Ossifikationen

## 14. Therapiekonzepte bei pathologischen Oberarmschaftfrakturen

Die Behandlung von auf Knochenmetastasen beruhenden pathologischen Frakturen unterscheidet sich wesentlich von der Behandlung primärer Knochtumoren (67). Letztere sind im Erwachsenenalter am Humerus selten. Chirurgisches Therapieprinzip ist hier die radikale Tumorentfernung, der häufig eine aufwendige ossäre Rekonstruktion des Defektes folgen muß. Dies soll nicht Gegenstand dieser Arbeit sein, da die Behandlung primärer Knochtumoren im wesentlichen darauf spezialisierten Zentren vorbehalten bleibt.

Der Nachweis der ossären Metastasierung eines Tumors ist immer Ausdruck eines fortgeschrittenen Tumorleidens (25). Jede Behandlung ist daher als palliativ anzusehen. Daher ist das vorrangige Ziel der Therapie bei pathologischen Frakturen die Erhaltung oder Wiederherstellung der Mobilität, sowie eine Verbesserung der Lebensqualität unter möglichst geringer Belastung des Patienten.

Die Inzidenz pathologischer Frakturen steigt an, da aufgrund der verbesserten Möglichkeiten der Chirurgie sowie der Radio- und Chemotherapie maligner Tumoren immer mehr Patienten das Stadium der Skelettmetastasierung erreichen. Müller-Färber (67) zeigt aus einer Literaturzusammenstellung von 468 metastatisch bedingten pathologischen Frakturen, daß der Humerus mit 21 % nach dem proximalen Femur mit 61 % der am zweithäufigsten betroffene Skelettabschnitt ist. So ist es nicht verwunderlich, daß in einigen Arbeiten über die Versorgung von Oberarmschaftbrüchen bis zu 10 % pathologische Frakturen versorgt wurden (8,24,32,38,84). Nahezu alle Autoren konstatieren bei den pathologischen Frakturen nach Verriegelungsnagelung die sofortige Gebrauchsfähigkeit des betroffenen Armes. Wesentliche intra- oder postoperative Komplikationen werden nicht beschrieben. Dies bestätigt sich auch im eigenen Krankengut.

Für die operative Behandlung metastatischer Prozesse im Humerusschaft und deren pathologische Frakturen stehen drei Methoden im Vordergrund (67).

1. Intramedulläre Schienung ohne Tumorausräumung (Marknagel, Bündelnagel)
2. Ausräumung des Knochtumors und Osteosynthese, vorzugsweise Verplattung, unter Verwendung von Knochenzement (Verbundosteosynthese)
3. Resektion des betroffenen Schaftsegmentes und endoprothetischer Defektüberbrückung

Die intramedulläre Schienung und die Verbundosteosynthese gelten im Diaphysenbereich als Methode der Wahl.

Eingartner (21) berichtet über 19 Patienten, die nach pathologischen Frakturen an Femur, Tibia und Humerus mit unaufgebohrten Marknägeln stabilisiert wurden. Der Humerus war in 7 Fällen betroffen, hier wurde ein unaufgebohrter Tibianagel in den Stärken 7 bis 9 mm verwendet. Die mittlere Nachbeobachtungszeit betrug 6,2 Monate, was mit der mittleren Überlebenszeit identisch war. Alle Versorgungen wurden als stabil bezeichnet. In einem Fall kam es zu einer Refraktur am distalen Humerus, wonach eine Plattenosteosynthese mit Zement erforderlich war. Eingartner sieht in der Gefahr der Verschleppung von Tumormaterial durch den Nagelvorgang bei in palliativer Intention durchgeführtem Eingriff keine Kontraindikation für die Marknagelung. Er empfiehlt jedoch, insbesondere zur Vermeidung von pulmonalen Komplikationen, die Wahl eines ausreichend dünnen Marknagels und das betont vorsichtige Eintreiben des Implantates. Als Fazit sieht Eingartner die unaufgebohrte Marknagelung bei pathologischen Frakturen nach Metastasen als Verfahren der Wahl, da sie als minimal invasive Technik bei palliativem Eingriff der Forderung nach einem wenig belastendem Eingriff am besten nachkommt.

Götze (25) vergleicht die Ergebnisse intra- und extramedullärer Osteosynthesen bei manifesten oder drohenden pathologischen Frakturen in 99 Fällen. In 84 Fällen wurde die Verbundosteosynthese unter Verwendung eines extramedullären Kraftträgers durchgeführt. Bei 15 Frakturen wurde eine intramedulläre Versorgung vorgenommen (12x unaufgebohrt, 3x aufgebohrt). Es wurden Osteosynthesen am Humerus und am Femur durchgeführt, wobei die genaue Aufteilung nicht differenziert wird. Trotz der ungleich verteilten Patientenzahlen zwischen extra- und intramedullären Osteosynthesen sieht Götze eine deutlich geringere Zahl an lokalen und systemischen Komplikationen bei der Gruppe der intramedullär stabilisierten Patienten. Ein Implantatversagen mit erforderlicher Reosteosynthese trat in beiden Gruppen nicht auf. Zusammenfassend sieht Götze die Präferenz der unaufgebohrten Marknägeln bei diaphysär gelegenen Metastasen bei diffuser Skelettmetastasierung. Die statische Verriegelung sollte obligat durchgeführt werden. Die prophylaktische Stabilisierung bei drohender Fraktur geht mit einer deutlich geringeren Belastung, einer niedrigeren Komplikationsrate und einer kürzeren stationären Verweildauer einher. Die

Verbundosteosynthese wird weiterhin als Methode der Wahl gesehen bei sogenannten „solitären“ Knochenmetastasen, sowie bei Lokalisation der Fraktur im metaphysären Bereich.

Müller- Färber (67) berichtet über 32 Patienten mit Metastasen im Humerusschaft, die mit einer isoelastischen Humerusdiaphysenprothese versorgt wurden. Die Resektionsstrecke variierte hierbei zwischen 70 und 120 mm. Es wurde entweder über einen dorsalen oder einen anterolateralen Zugang operiert. Die mittlere Überlebenszeit von 25 nachverfolgten Patienten betrug 15,2 Monate. In 7 Fällen kam es zu einer distalen Implantatlockerung, die in 3 Fällen durch einen Implantatbruch und in 4 Fällen durch eine periprothetische Fraktur des distalen Humerussegmentes manifest wurde. Als Konsequenz wurde bei den nachfolgenden Operationen zusätzlich eine überbrückende Plattenosteosynthese am distalen Prothesen-Knochen Übergang durchgeführt, wonach keine Komplikationen mehr auftraten.

Bei den weiteren Ergebnissen beschreibt Müller- Färber die rasche Schmerzfreiheit und Belastungsstabilität der oberen Extremität, sowie die psychische Stabilisierung der Patienten als auffallend. Ein kurativer Ansatz des Verfahrens wird jedoch bei der beschriebenen mittleren Überlebenszeit ebenfalls nicht gesehen. Weiterhin beschreibt Müller- Färber, dass die Diaphysenprothese nach seiner Ansicht den Kriterien einer einfachen, den Patienten wenig belastenden und komplikationsarmen Operationsmethode gerecht wird.

Zusammenfassend bleibt zu sagen, dass die ungebohrte Marknagelung oder -drahtung an den meisten Kliniken das Standardverfahren zur Behandlung von pathologischen Frakturen am Oberarm ist. Dies beweist die Vielzahl von Veröffentlichungen mit einem hohen Prozentsatz an pathologischen Frakturen. Da die Patientenzahlen diesbezüglich sicherlich noch steigen werden, wird die relativ einfache, minimal invasive Marknagelung ihren Stellenwert bei der Versorgung pathologischer Frakturen noch ausbauen. Die Humerusdiaphysenprothese und alternative Verfahren werden im Wesentlichen experimentellen Studien an großen Zentren vorbehalten bleiben.

## 15. Diskussion

Seit den Veröffentlichungen von L. Böhler (9) 1964 galt die konservative Behandlung von Oberarmschaftbrüchen als Standardverfahren. Durch die von Sarmiento (80) 1977 vorgestellte Brace Technik wurde die Tendenz zur konservativen Behandlung des Oberarmschaftbruches noch verstärkt. Die von Böhler und Sarmiento vorgestellten guten Ergebnisse ließen sich von anderen Autoren jedoch nicht reproduzieren (35,41,52,53,70). Pseudarthrosraten von bis zu 12,5 % (35) werden bei der konservativen Behandlung beschrieben.

Auf Grund der anatomischen Verhältnisse am Oberarm sind einige Frakturformen häufig von Fehlheilungen bei der konservativen Behandlung betroffen (7). Lange Humerusschaftspiralfrakturen zeigen einen großen Frakturspalt mit der Möglichkeit der Interposition von Muskelgewebe. Die Repositionsergebnisse von Quer- und kurzen Schrägfrakturen können durch die am Oberarm typischerweise auftretender Rotationskräfte nur schwer gehalten werden. Die unterschiedliche Zugrichtung der ober- und unterhalb des Ansatzes des M. deltoideus ansetzenden Muskulatur verstärkt diese Tendenz.

Ebenfalls Anfang der 60er Jahre stellte Hackethal (26) seine Methode der Bündelnagelung vor. An großen Patientenkollektiven wurden gute Ergebnisse publiziert (14,15,33,55,96). Komplikationen durch proximale und distale Nagelwanderungen, eine relativ hohe Pseudarthrosrate und der Vorwurf der mangelnden Rotationsstabilität (34) ließen das Verfahren nicht auf uneingeschränkte Zustimmung stoßen. Die ebenfalls beschriebenen Methoden der Markraumschienung mit Ender- Nägeln (29), dem Küntscher Nagel (20), Rush-Pins (62,79) fanden keine weite Verbreitung.

Durch die AO (66,91) propagiert, setzte sich in den 80er Jahren die Plattenosteosynthese als Standardverfahren der operativen Behandlung der Oberarmschaftfraktur durch. Durch die relativ große Weichteiltraumatisierung und eine Rate an postoperativen N. radialis Läsionen von bis zu 12,8 % (68,87,91) suchten viele Operateure nach weniger traumatisierenden Behandlungsverfahren für die bestehenden Operationsindikationen, insbesondere in Abgrenzung zur konservativen Behandlung.

Der Fixateur externe blieb trotz vereinzelt auch in größeren Serien veröffentlichter guter Ergebnisse (78) ein Ausnahmeverfahren, welches höhergradig offenen Frakturen, Infekten oder der Polytraumaversorgung vorbehalten blieb (15).

Die Endohelix als Sonderform der elastischen Markraumschienung (57,58) beruft sich auf die Überlegung, dass Mikrobewegungen im Frakturspalt die Kallusbildung, und somit die Frakturheilung fördern. Trotz unbestreitbarer Vorteile und einer relativ einfachen Handhabung blieb sie jedoch ein Außenseiterverfahren.

Mit der Renaissance der Marknagelung an Tibia und Femur wurde dieses Konzept anstelle der Markraumschienenungen auch am Humerus angewandt. Schon Böhler (9) schreibt, dass er alleine bei der Marknagelung der Versuchung zur operativen Behandlung des Oberarmchaftbruches erlegen sei. Über die klassische Küntschnagelung des Oberarms liegen nur Berichte mit geringen Fallzahlen vor (20). Weitere Versuche wurden mit modifizierten Tibianägeln unternommen (38). Ebenso wurde der AO- Tibianagel zur Stabilisierung von Oberarmchaftfrakturen benutzt, von den Autoren selbst jedoch zu Gunsten eines anderen Nagels wieder verlassen (63). Hempel (32) implantierte seit Anfang der 80er Jahre einen modifizierten Küntscher Nagel, der in seiner letzten, 1996 vorgestellten Version proximal und distal zu verriegeln war. Aus dem englischen Sprachraum wurden Ende der 80er Jahre Artikel über für den Humerus entwickelte, unverriegelte Titannägel veröffentlicht (22,23).

Seidel (84) stellte 1985 den ersten, nur für den Einsatz am Oberarm entworfenen Marknagel vor. Den guten eigenen Ergebnissen (84) steht massive Kritik an drei Konstruktionsmerkmalen des Nagels entgegen (7). Der Nagel ist nur für den antegraden Zugang konzipiert und hat in seiner ursprünglichen Version einen Durchmesser von 9 oder 10mm. Dies bedingte einen relativ großen Zugang durch die Rotatorenmanschette mit einem hohen Prozentsatz an Impingmentproblemen der Schulter (7,95), sowie ein erforderliches Aufbohren des Markraumes. Der distale Spreizmechanismus war technisch anfällig (7,17,93) und die Funktion abhängig von der Weite des distalen Markraumes an der Nagelspitze. Den Kritikpunkten wurde mit einem neuen 8mm Nagel, sowie einer zweiten Spreizschraube an der Nagelspitze Rechnung getragen. Die klinische Bewertung des modifizierten Nagels an größeren Fallzahlen steht jedoch noch aus.

Der Telescopic Locking Nail (24) bietet die Möglichkeit der Frakturkompression über den Nagel. Er benötigt allerdings eine weite Aufbohrung des Marknagels, da er bei einem mittleren Durchmesser von 7,6 mm an beiden Enden 9 mm dick ist.

Der Russell -Taylor Nagel gab mit dem soliden 7 mm Nagel die Tendenz zu deutlich dünneren Nageldurchmessern vor. Er ist jedoch an beiden Enden nur mit einer Schraube zu verriegeln, was die Rotation eines kurzen Fragmentes um den Nagel ermöglicht. Weiterhin sind die beiden Verriegelungsöffnungen als Schlitz ausgeführt, was eine leichtere und variabelere Verriegelung ermöglicht, jedoch gleichzeitig bei entsprechender Krafteinwirkung eine Distraction der Fragmente über den liegenden Nagel bewirken kann. Rommens (76,77) fordert zur Verbesserung des Nageldesigns ein zweites statisches Verriegelungsloch am distalen Nagelende, sowie einen Kompressionsbolzen zur Behandlung von z.B. verzögerten Heilungen.

Eine Gruppe an Implantaten bilden die einseitig zu verriegelnden Nägel mit Ausklinkdrähten. Hierzu zählen der nicht mehr hergestellte Krettek-Nagel (48,49,61), der Halder-Nagel (28), der Monachia-Nagel (44,45) und der Marchetti-Vincenzi Nagel (30,83,86). Die Entwicklung des Krettek-Nagels (49) wurde wegen zu hoher Herstellungskosten nicht weiterverfolgt. Von den anderen Nageltypen liegen Veröffentlichungen mit geringen Fallzahlen und wenig differenzierten Ergebnissen vor. Als einziger dieser Nägel bietet der Monachia-Nagel die Möglichkeit der Frakturkompression über den Nagel mittels einer speziellen, auf die Nagelspitze aufgebrachten Schraube. Weiterhin ist der Monachia-Nagel mit einer Titanlegierung beschichtet.

Zu den neueren, soliden, aus einer Titanlegierung hergestellten Nägeln zählt der AIM Humeral Nail (51). Als Besonderheit besitzt er die Möglichkeit, mit einem End-cup einen Verriegelungsbolzen im Oberarmkopf zusätzlich zu arretieren. Als limitierend sieht Kröpfl (51) beim antegraden Zugang die postoperative Schulterfunktion an, die bei korrekter Anwendung des Verfahrens jedoch nicht eingeschränkt sein muss.

Der UHN (7,8,61,73,74,94) ist ebenfalls aus einer Titanlegierung hergestellt und von der Nageldicke und -länge sehr variabel. Weiterhin bestehen an der Nagelspitze 3, und an der Nagelbasis 2 Verriegelungsmöglichkeiten. Die Fraktur kann über den Nagel komprimiert werden. Der UHN ist in den letzten Jahren intensiv biomechanisch und klinisch untersucht

worden. Als wesentlicher Kritikpunkt bleibt lediglich der retrograde Zugang zu erwähnen (37,61,94), der grenzwertig traumatisierend erscheint. Beim ebenfalls möglichen antegraden Zugang wird ein offenes Vorgehen bei der distalen Verriegelung empfohlen, um Verletzungen des N. radialis zu vermeiden (47).

Neue Implantate für intramedulläre Stabilisierungen von Oberarmschaftfrakturen werden weiterhin auf den Markt gebracht. Einige weisen interessante und neuartige Konstruktionsmerkmale auf (Humerusflex, Fixion IM Nagel). Die klinische Bewertung dieser Nägel bleibt jedoch abzuwarten.

Implantate für Osteosynthesen am Oberarm wurden in ausreichendem Maße biomechanisch untersucht. Henley (34) beschreibt die Überlegenheit von Verriegelungsnägeln (Seidel, Russell-Taylor) gegenüber Markraumschienen (Hackethal, Ender) in Bezug auf Biege- und insbesondere Torsionssteifigkeit. Brand (13) vergleicht den Seidel Nagel mit zwei Spreizschrauben mit einer LCDC Platte, sowie einem Nagel mit Ausklinkdrähten (Krettek). Hier zeigt der Krallennagel (Krettek) nicht ausreichende Werte für Torsion und Distraction. Als stabilstes Implantat erweist sich die LCDC Platte. Schopfer (82) beschreibt eine signifikant höhere Torsionsstabilität des Russell-Taylor Nagels gegenüber dem Seidel Nagel. Blum (6,7) findet in seinen vergleichenden Untersuchungen eine höhere Torsionsstabilität des UHN gegenüber dem Russell-Taylor Nagel. Nach Kompression der Fraktur über den UHN erhöht sich die Stabilität des Knochen - Implantatverbundes gegenüber Torsionskräften. Ebenfalls beschreibt Blum (5,7), dass das retrograde Insertionsloch keine relevante Schwächung des Humerusschaftes gegenüber Druck- und Biegebelastungen bewirkt. Im Gegensatz dazu sieht Strothman (88) eine Reduzierung der Rotationsstabilität des Knochens nach Schaffung eines retrograden Insertionsloches, was sich eher mit den klinischen Erfahrungen verschiedener Autoren deckt (37,61,94). Lin (59) sieht deutliche biomechanische Vorteile, wenn bei der Humerusschaftfraktur vom kurzen zum langen Fragment genagelt wird.

Die biomechanischen Untersuchungen und die klinischen Resultate sollten bei der Diskussion über die Zugangswege der intramedullären Stabilisierung der Humerusschaftfraktur berücksichtigt werden. Neben einzelnen Nageltypen, die nur für einen der beiden Zugangswege, ante- oder retrograd vorgesehen sind (Seidel), können nahezu alle neueren Nageltypen für beide Zugänge verwendet werden. Als Nachteil des antegraden Zugangs wird

im Wesentlichen eine Irritation der Rotatorenmanschette mit folgender Impingementsymptomatik angeführt (7,51,95). Dem gegenüber stehen ossäre Komplikationen bei der retrograden Nagelung in einer Größenordnung von bis zu 10 % (37,61,94). Hypertrophe Ossifikationen, insbesondere bei Kombinationen von Humerusschaftfrakturen mit Neurotraumata, scheinen am Ellenbogen häufiger aufzutreten als am Schultergelenk (12,18,19). Sowohl die Verfechter des ante-, als auch des retrograden Zugangs argumentieren, das bei korrekter Anwendung des beschriebenen Osteosyntheseverfahrens ein komplikationsarmer Verlauf zu erwarten sei (7,51,95). Berücksichtigt man die biomechanischen Vorteile der Nagelung vom kurzen zum langen Fragment (59), so sollte die Wahl des Zugangs eher von Frakturtyp und -lokalisierung abhängig gemacht werden, da sich die Vor- und Nachteile des ante- und retrograden Zugangs zum Humerusschaft bei kritischer Betrachtung nicht wesentlich voneinander abheben.

Obwohl die Diskussion über die Vor- und Nachteile der Markraumaufbohrung, sowie der ungebohrten Verfahren noch nicht vollständig abgeschlossen erscheint, setzt sich das ungebohrte Vorgehen bei neueren Entwicklungen am Humerusschaft weitgehend durch (2,8,51,89,90). Die Vorteile der unaufgebohrten Marknagelung in Bezug auf die Infektrate, insbesondere bei offenen Frakturen, sowie die Kombination einer Schaftfraktur mit einem Thoraxtrauma sind erwiesen (49,50,65).

Die Vorteile von Reintitan und Titanlegierungen als Osteosynthesematerial in Bezug auf die metallurgischen Eigenschaften, die Infektschwelle, die Biokompatibilität und das postoperative Verhalten bei bildgebenden Verfahren sind ebenfalls ausreichend nachgewiesen (1,49,50,65). Auch dies wird bei der Vorstellung neuer Implantate berücksichtigt (8,51,90).

Bei der Behandlung der Pseudarthrose am Humerusschaft galt lange Zeit die Plattenosteosynthese als Therapie der Wahl (10). Die Verwendung insbesondere von Kompressionsmarknägeln zur Therapie der Pseudarthrose wird jedoch mit gutem Erfolg beschrieben (7,8,24,51). Bei der Revision einer intramedullären Osteosynthese mit Pseudarthrose wird das Aufbohren der Markhöhle mit Verwendung eines dickeren Nagels empfohlen (51). Falls bei einer atrophischen Pseudarthrose eine Dekortikation und Spongiosaplastik durchgeführt werden muss, wird weiterhin die Stabilisierung mit einer Plattenosteosynthese angeraten, um einen zweiten Zugang zu vermeiden (10,68). Die neueren alternativen Verfahren zur Behandlung von Pseudarthrosen, wie die niedrig intensiv gepulste

Ultraschalltherapie (64) und die extrakorporale Stoßwellentherapie (4), sind bei eingeschränkter Operabilität oder kritischen Weichteilverhältnissen durchaus zu erwägen.

Die Behandlung der primären, sekundären und postoperativen N. radialis Läsion wird weiterhin sehr kontrovers diskutiert (7,8,14,15,69). Die sich ähnelnden Behandlungskonzepte von Brug (14,15) und Nast-Kolb (69) scheinen im Interesse einer sicheren Versorgung ggf. vorliegender Nervenschädigungen schlüssig. Eine primäre und sekundäre N.radialis Parese wird immer intraoperativ revidiert. Eine postoperative Parese wird revidiert, wenn der Nerv intraoperativ nicht bereits sicher dargestellt wurde, was bei den intramedullären Osteosynthesen nicht der Fall ist.

In der Behandlung von pathologischen Frakturen des Humerusschaftes steht der palliative Aspekt im Vordergrund. Von den seltenen Ausnahmen des primären Knochentumors abgesehen, zeigt die ossäre Metastasierung nahezu immer ein Spätstadium des Grundleidens an (25). Die Patienten wenig belastende Verfahren zur Wiederherstellung der Funktion des Oberarmes, sowie zur Erzielung einer Schmerzfreiheit sind indiziert. Die unaufgebohrte Marknagelung entspricht als minimal invasives Verfahren mit einer hohen Stabilisierungspotenz sicherlich diesen Kriterien. In mehreren Veröffentlichungen und auch im eigenen Krankengut finden sich Zahlen von bis zu 10 % pathologischer Frakturen (8,24,32,38,84). Alternative, insbesondere resezierende Verfahren (67) bleiben Ausnahmesituationen oder klinischen Studien vorbehalten.

Die Behandlung von insbesondere in Kombination mit einem Neurotrauma auftretenden hypertrophen Ossifikationen am Ellenbogengelenk nach retrogradem Zugang zum Humerusschaft zielt auf die Vermeidung von schweren Funktionseinschränkungen des Ellenbogengelenks (12,18,19). Eine operative Resektion sollte ab Grad 2 der Einteilung nach Hastings und Graham (19) innerhalb von 4 Monaten nach Auftreten der Ossifikationen vorgenommen werden. Die Rezidivprophylaxe erfolgt durch einmalige postoperative Radiatio mit 7 Gy (18,19).

Bezüglich der Frage der Implantatentfernung von Marknägeln am Humerusschaft ist die Diskussion noch nicht abgeschlossen. Eine obligatorische Implantatentfernung ist bei beschwerdefreier Einlage eines Titanagels sicherlich nicht indiziert. Die Entfernung kann auf Wunsch des Patienten oder bei Revisionen am Ellenbogengelenk, z.B. bei der Abtragung

hypertropher Ossifikationen, durchgeführt werden. Eine generelle Empfehlung wird auch vom Hersteller des UHN nicht ausgesprochen.

Im eigenen Patientengut hat sich die unaufgebohrte Marknagelung mit dem UHN bewährt. Wesentliche technische Schwierigkeiten bei der Anwendung des Instrumentariums traten nicht auf. Die aufgetretenen intraoperativen Komplikationen mit 2 distalen Schaftsprennungen (=6,66 %) liegen am unteren Rand der in der Literatur beschriebenen Spannbreite. Die einzige Pseudarthrose (=3,33 %) trat nach einer subtotalen Oberarmamputation, Erstversorgung mit Fixateur externe und Verfahrenswechsel auf den UHN auf. Eine verzögerte Knochenbruchheilung kam ohne weitere Maßnahmen nach 24 Wochen zur Ausheilung. Die aufgetretenen hypertrophen Ossifikationen konnten ohne wesentliche Folgen für die Ellenbogengelenksfunktion ausbehandelt werden. Eine postoperative Infektion trat in unserem Patientengut nicht auf. Die beiden postoperativen N. radialis Paresen traten nach neu aufgetretener oder bereits stattgehabter distaler Humerusschaftsprennung und deren Stabilisierung mit jeweiliger Darstellung des Nerven auf. Beide Paresen heilten ohne weitere Therapiemaßnahmen innerhalb von 5 Monaten vollständig aus. Die postoperative Funktion konnte bei 25 nachuntersuchten Patienten 22 mal (=88 %) als sehr gut oder gut bezeichnet werden.

Der solide Humerusnagel der AO (UHN) bietet als unaufgebohrtes System mit einer hohen Biokompatibilität durch eine Titanlegierung, einem wahlweise zu verwendenden Kompressionsaufsatz sowie vielfältigen Möglichkeiten der proximalen und distalen Verriegelung, optimale Voraussetzungen für eine ungestörte Knochenheilung bei sofortiger postoperativer Mobilisierbarkeit der verletzten Extremität. Es steht ein durchdachtes, minimal invasiv anzuwendendes, relativ leicht zu erlernendes Verfahren zur Versorgung von frischen oder pathologischen Oberarmschaftfrakturen, sowie Pseudarthrosen zur Verfügung. Der Nagel eignet sich in einem Krankenhaus der Grund- und Regelversorgung mit den entsprechenden Fallzahlen als alleiniges Implantat zur Behandlung der genannten Indikationen. Bei korrekter Indikationsstellung und sorgfältiger Implantation unter Kenntnis der möglichen Komplikationen kann die Methode als Standardverfahren zur Stabilisierung von Oberarmschaftbrüchen empfohlen werden.

In der eigenen Abteilung wurden die Indikationen zur operativen Behandlung von Humerusschaftfrakturen wie folgt erweitert.

Absolute Indikationen:

- Offene Frakturen
- Beidseitige Humerusschaftfrakturen
- Arm-Serien Frakturen (floating ellbow)
- Pathologische Frakturen
- Humerusschaftfrakturen beim Polytrauma
- Primäre oder sekundäre N.radialis Parese
- Begleitende Gefäßverletzungen

Relative Indikationen:

- Instabile Quer- oder Schrägfrakturen
- Langstreckige Spiral- oder Stückbrüche
- Frakturen bei Systemerkrankungen (z.B. M. Parkinson)
- Pseudarthrosen

## 16. LITERATURVERZEICHNISS

1. Arens, St.; M. Hansis: Osteosynthese mit Titan. Deutsches Ärzteblatt 95 (1998):1216-1219
2. Ascherl, R.: „Fixion IM Nail“ - An inflatable self-locking intramedullary nailing system: The experience with 54 cases of long bone fractures treated with a new biomechanical concept of fixation. Abstract presented at the Efort Congress: 24 June 2000, Prague
3. Barquet, A.; A. Fernandez, J. Luvizio, R. Masliah: A Combined Therapeutic Protocol for Aseptic Nonunion of the Humeral Shaft. The Journal of Trauma 29 (1989):95-98
4. Beutler, S., G. Regel, H.C. Pape, S. Machtens, A.M. Weinberg, I. Kremeike, U. Jonas, H. Tscherne: Die extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT) in der Behandlung von Pseudarthrosen des Röhrenknochens. Unfallchirurg 102 (1999): 839-847
5. Blum, J., M. Högner, F. Baumgart, U. Schlegel, D. Wahl, P.M. Rommens: Die retrograde Eröffnung der Oberarmmarkhöhle. Unfallchirurgie 25 (1999): 207-14
6. Blum, J., H. Machemer, M. Högner, F. Baumgart, U. Schlegel, D. Wahl, P.M. Rommens: Biomechanik der Verriegelungsmarknagelung bei Oberarmschaftfrakturen. Unfallchirurg 103 (2000): 183-190
7. Blum, J., P.M. Rommens: Unaufgebohrte Humerusnagelung. Hefte Unfallchir 279 (2000)
8. Blum, J., P.M. Rommens, H. Janzing, H.S. Langendorff: Retrograde Nagelung von Humerusschaftfrakturen. Unfallchirurg 101 (1998): 342-352
9. Böhler, L.: Gegen die operative Behandlung von frischen Oberarmbrüchen. Langenbecks-Archiv für klinische Chirurgie. 308 (1964): 465-475
10. Bonnaire, F., M. Seif El Nasr: Die Humerusschaftpseudarthrose. Akt. Traumatol. 27 (1997): 132-135

11. Bonnaire, F., M. Seif El Nasr: Indikation und Technik der Plattenosteosynthese am Oberarmschaft. Akt. Traumatol. 27 (1997): 86-90
12. Botte, J., M. Keenan, R. Abrams, H. Schroeder, H. Gellmann, V. Mooney: Heterotopic ossifications in neuromuscular disorders. Orthopedics 20 (1997): 419-425
13. Brand, D., U. Knopf, H. Seidel, E. Schneider: Stabilisierung von Humerusschaftfrakturen – vergleichende biomechanische Untersuchungen. Osteo. Int. 4 (1996): 235-245
14. Brug, E., S. Winckler, W. Klein: Die distale Humerusdiaphysenfraktur. Unfallchirurg 97 (1994): 74-77
15. Brug, E., T. Westphal, G. Schäfers: Differenzierte Behandlung der Humerusdiaphysenfrakturen. Unfallchirurg 97 (1994): 633-638
16. Bühren, V., M. Potulski, W. Mittelmeier, H. Mittelmeier: Kompressions-Verriegelungs- Nagel zur Frakturbehandlung an Femur und Tibia. Hefte Unfallchir 230 (1993): 799-802
17. Dalton, J.E., S.L. Salkeld, Y.E. Satterwhite, S.D. Cook: A biomechanical comparison of intramedullary nailing systems for the humerus. J. Orthop. Trauma 7 (1993): 367-374
18. Ebinger, T., J. Hoellen, M. Mentzel, A. Wilke, H. Kiefer, L. Kinzl: Posttraumatische periartikuläre Ossifikationen. Hefte z. D. Unfallchirurg 262 (1996): 73
19. Ebinger, T., M. Schulte, M. Mentzel, L. Kinzl: Periartikuläre Ossifikationen nach Ellbogengelenkverletzungen. Trauma Berufskrankh. (2000) 2 Suppl. 1, 92-94
20. Eilenberger, S.: Die Marknagelung der Oberarmschaftfraktur nach Küntscher. MedWelt Bd. 33 (1982): 1542-1544
21. Eingartner, C., M. Pütz, E. Schwab, K. Weise: Die unaufgebohrte Marknagelung als minimalinvasiver Palliativeingriff bei Osteolysen und pathologischen Frakturen langer Röhrenknochen. Unfallchirurg 100 (1997): 715-718

22. Gallagher, JE, P. Keogh, J. Black: Humeral medullary nailing -- a new implant. *Injury* 19(4) (1988): 254-6
23. Garnavos, C., PG. Lunn: Preliminary clinical experience with a new fluted humeral nail. *Injury* 25(4); (1994) May: 241-5
24. Goessens, M.L.M.J., F.J.A.M. v.d. Wildenberg, G.J. Eggink, J.W.J.L. Stapert: The Telescopic Locking Nail for Humerus. *Osteo. Int.* 4 (1996): 270-274
25. Götze, B., W. Schlickewei, M. Seif, H.P. Friedl: Vergleich intra- und extramedullärer Osteosynthesen bei pathologischen Frakturen der langen Röhrenknochen. *Akt. Traumatol.* 29 (1999): 41-47
26. Hackethal, KH.: Die Bündelnagelung. Springer Verlag, Berlin Göttingen Heidelberg (1961)
27. Hahn, M.P., H. Bayer-Helms, P.A.W. Ostermann, G. Muhr: Indikationen und Ergebnisse der Plattenosteosynthese bei Humerusschaftfrakturen. *Osteo. Int.* 4 (1996): 246-252
28. Halder, S.C., J.A. Chapman: Proximal Humeral Fractures - A New Internal Fixation Device. *J. Bone + Joint Surg. (BR)* 78-B (1996) Supp. I,: 61
29. Hall, Robert F. jr., Arsen M. Pankovich: Ender Nailing of Acute Fractures of the Humerus. *J. Bone + Joint Surg. (AM)* 69 (1987): S. 58-67
30. Hargreaves, D.G., P.J. Warren, J.A. Pereira, J.P. Hollingdale: Complications following the use of the Marchetti flexible intramedullary nail. *Injury* Vol. 27 (1996): 735-738,
31. Healy, W.L., G.M. White, C.A. Mick, A.F. Brooker jun., A.J. Weiland: Nonunion of the Humeral Shaft. *Clin. Orthop.* 219 (1987): 206-213
32. Hempel, D.: Humerusverriegelungsnagelung mit geradem Nagel. *Osteo. Int.* 4 (1996): 282-287
33. Henley, M.B., J.R. Chapman, B.F. Claudi: Closed retrograde Hackethal nail stabilization of Humeral Shaft fractures. *J. Orthop. Trauma* 6 (1992): 18-24

34. Henley, M.B., M. Monroe, A.F. Tencer: Biomechanical comparison of methods of fixation of a midshaft osteotomy of the humerus. *J. Orthop. Trauma* 5 (1991): 14-20
35. Herkert, F., G. Ruflin: Erfahrungen mit konservativer Therapie bei Humerus-Schaft-Frakturen. *Z. Unfallchir. Vers. Med.* Bd. 85 Heft 4 (1992): 202-214
36. Hermichen, H.G., U. Pfister, S. Weller: Die Oberarmschaftpseudarthrose. *Unfallchirurgie* 8 (1982): 92-95
37. Hoellen, I.P., G. Bauer, W. Strecker, L. Kinzl: Indikation und Technik der intramedullären Stabilisierung der Humerusschaftfraktur. *Akt. Traumatol.* 27 (1997): 91-99
38. Ingman, A., D.A. Waters: Locked Intramedullary Nailing of Humeral Shaft Fractures. *J. Bone + Joint Surg. (BR)*76-B (1994): 23-29
39. Jurowich, B., W. Hübner, U. Kautz: Erste Erfahrungen mit der Oberarm-Verriegelungsnagelung nach Russell-Taylor. Sonderdruck *Osteo. Int.*, Druckhaus Mayer Verlag, Erlangen (1993): 311-318
40. Jurowich, B., W. Hübner, U. Kautz: Die Oberarmverriegelungsnagelung nach Russell-Taylor. *Arthroskopische Knie- u. Schultertherapie*, München, Sympomed (1994): 70-75
41. Kayser, M., G. Muhr, R. op den Winkel, A. Ekkernkamp: Funktionelle Behandlung der Humerusfraktur nach Sarmiento. *Unfallchirurg* 89 (1986): 253-258
42. Kellam, J.F.: Interlocking Nail Fixation for Humeral Shaft Fractures. *Operative Techniques in Orthopaedics* Vol 1 No 4 (1991): 336-346
43. Kelsch, G., P. Deffner, C. Ulrich: Die Humerusverriegelungsmarknagelung nach Seidel. *Unfallchirurg* 100 (1997): 111-118
44. Kessler, S.B., B. Huber, W. Plitz: Die elastische ungebohrte Verriegelungsnagelung von Oberarmfrakturen. *Osteosynthese International* 6 (1998) (Suppl.1): S130-S131

45. Kessler, S.B., D. Nast-Kolb, U. Brunner, E. Wischhöfer: Marknagelung des Oberarms als Alternative zur konservativen Therapie und zur Plattenosteosynthese. *Orthopäde* 25 (1996): 216-222
46. Klestil, Th., Ch. Rangger, A. Kathrein, E. Brenner, E. Beck: Konservative und operative Therapie traumatischer Oberarmschaftbrüche. *Chirurg* 68 (1997): 1132-1136
47. Kolonja, A., M. Mousavi, N. Vecsei, I. Märk, H. Seitz: Läsionen des N. radialis nach intramedullärer Versorgung der Humerusschaftfrakturen - eine klinische anatomische Studie. Vortrag zum 4. Europäischen Unfallkongreß, Hannover, 10.- 13. 9. 2000
48. Krettek, C., P. Schandelmaier, B. Könemann, J. Rudolf, H. Tscherne: Osteosynthesen bei offenen Frakturen. *Langenbecks Arch. Chir.* (1995) Suppl. II, 1208-1221
49. Krettek, C., P. Schandelmaier, H. Tscherne: Neue Entwicklungen bei der Stabilisierung dia- und metaphysärer Frakturen der langen Röhrenknochen. *Orthopäde* 27 (1997): 408-421
50. Krettek, C., S. Glüer, P. Schandelmaier, H. Tscherne: Marknagelung offener Frakturen. *Orthopäde* 25 (1996): 223-233
51. Kröpfl, A., H. Naglik, B. Niederwieser, H. Hertz: Unaufgebohrte antegrade Oberarmverriegelungsnagelung. *Unfallchirurg* 103 (2000): 348-354
52. Kujat R., H. Tscherne: Indikation und Technik der funktionellen Frakturbehandlung im Brace nach Sarmiento. *Zbl. Chirurgie* 109 (1984): 1417-1423
53. Kulenkampff, H.-A., M. Rustemeier: Klinische Erfahrungen bei der Behandlung von Oberarmschaftfrakturen mit dem Sarmiento-Brace. *Unfallchirurgie* 14 (1988): 191-198
54. Kuner, E.H., H. Berwarth, S.V. Lücke: Behandlungsprinzipien bei aseptischen Pseudarthrosen. *Orthopäde* 25 (1996): 394-404
55. Kurock, W., R. Ullitzka, G. Ritter: Erfahrungen mit der modifizierten Bündelnagelung bei Frakturen des Humerusschafts. *Osteo. Int.* 4 (1996): 253-258

56. Kwasny, O., R. Maier, W. Scharf: Die operative Versorgung von Humerusschaftfrakturen. Akt. Traumatol 20 (1990): 87-92
57. Labitzke, R.: Die Endo-Helix - ein Markraumstabilisator für Röhrenknochen. Hefte zu der Unfallchirurg 230 (1993): 833-834
58. Labitzke, R.: Von der „Knochennaht“ zu zeitgenössischen Osteosynthesen - eine Chronologie. Chirurg 66 (1995): 452-458
59. Lin, J., N. Inoue, A. Valdevit, YS. Hang, SM. Hou, Ey. Chao: Biomechanical comparison of antegrade and retrograde nailing of humeral shaft fracture. Clin. Orthop. 351 (1998) Jun: 203-13
60. Lin, J., SM. Hou: Antegrade locked nailing for humeral shaft fractures. Clin. Orthop.. 365 (1999) Aug.: 201-10
61. Loitz, D., H. Könecker, A. Illgner, H. Reilmann: Retrograde Marknagelung von Humerusfrakturen mit neuen Implantaten. Unfallchirurg 101 (1998): 543-550
62. Mackay, I.: Closed Rush pinning of fractures of the humeral shaft. Injury 16 (1984): 178-181
63. Marty, B., K. Käch, H.P. Friedl, O. Trentz: Die Marknagelung der Humerusschaftfraktur. Unfallchirurg 97 (1994): 424-429
64. Mayr, E., S. Wagner, M. Ecker, A. Rüter: Die Ultraschalltherapie bei Pseudarthrosen. Unfallchirurg 102 (1999): 191-196
65. Melcher, G.A., C. Hauke, A. Metzdorf, S.M. Perren, G. Printzen, U. Schlegel, W.J. Ziegler: Infection after intramedullary nailing: an experimental investigation on rabbits. Injury 27 (1996): Suppl.3, 23-26
66. Müller, M.E., M. Allgöwer, R. Schneider, H. Willenegger: Manual der Osteosynthese: Dritte Auflage 1992, Springer Verlag
67. Müller-Färber, J., K.-H. Müller: Die Behandlung der Humerusmetastasen mit der Diaphysenprothese. Akt. Traumatol. 27 (1997): 105-111

68. Nast-Kolb, D., W.T. Knöfel, L. Schweiberer: Die Behandlung der Oberarmschaftfraktur. Unfallchirurg 94 (1991): 447-454
69. Nast-Kolb, D., S. Ruchholtz, L. Schweiberer: Die Bedeutung der Radialisparese für die Wahl des Behandlungsverfahrens der Humerusschaftfraktur. Akt. Traumatol. 27 (1997): 100-104
70. Nast-Kolb, D., S. Ruchholtz, L. Schweiberer: Indikation und Technik der konservativen Behandlung der Humerusschaftfraktur. Akt. Traumatol. 27 (1997): 80-85
71. Oetiker, J., W. Komorek, R.P. Mayer, U. Kappeler: Die Prévot-Nagelung, eine elegante Methode. Unfallchirurg 99 (1996): 327-331
72. Riemer, B.L., M.E. Foglesong, C.J. Burke, S.L. Butterfield: Complications of Seidel intramedullary nailing of narrow diameter humerus diaphyseal fractures. Orthopedics 17 (1994): 19-29
73. Rommens, P.M., J. Blum: Die retrograde Verriegelungsmarknagelung von Humerusschaftfrakturen mit dem unaufgebohrten Humerusnagel. Operative Orthopädie und Traumatologie 11 (1999): 268-77
74. Rommens, P.M., J. Blum, M. Runkel: Retrograde Nailing of Humeral Shaft Fractures. Clinical Orthopaedics 350 (1998): 26-38
75. Rommens, P.M., H. Janzing, J. Blum: Die retrograde Verriegelungsnagelung der Humerusfraktur. Osteo. Int. 4 (1996): 275-281
76. Rommens, P.M., J. Verbruggen, P.L. Broos: Retrograde Locked Nailing of Humeral Shaft Fractures. J. Bone Joint Surg Vol 77-B. (1995): 84-89
77. Rommens, P.M., J. Verbruggen, P.L. Broos: Retrograde Verriegelungsnagelung der Humerusschaftfraktur. Unfallchirurg 98 (1995): 133-138
78. Ruland, W.O.: Stellenwert der externen Fixation in der Behandlung der Humerusschaftfraktur. Osteo. Int. 5 (1997): 94-101

79. Rush, L.: Atlas of rush-pin-techniques – a system of fracture treatment. Berivon Meridian, Mississippi (1955)
80. Sarmiento, A., P.B. Kinman, E.G. Kalvin et al: Functional bracing of fractures of the shaft of the humerus. J. Bone + Joint Surg. 59 (1977): 596
81. Schiebler, T.H., W. Schmidt: Lehrbuch der gesamten Anatomie des Menschen. Zweite Auflage 1981, Springer Verlag
82. Schopfer, A., T.C. Hearn, L. Malisano, J.N. Powell, J.F. Kellam: Comparison of torsional strength of humeral intramedullary nailing: a cadaveric study. J Orthop Trauma 8 (1994): 414-421
83. Schratz, W., O. Wörsdörfer, C. Klöckner, C. Götze: Behandlung der Oberarmschaftfraktur mit intramedullären Verfahren (Seidel-Nagel, Marchetti-Vicenzi-Nagel, Prévot-Pins). Unfallchirurg 101 (1998): 12-17
84. Seidel, H.: Verriegelungsnagelung des Humerus. Operat Orthop Traumatol 3 (1991): 156-168
85. Siebert, C.H., B.C. Heinz, H.-R. Höfler, M. Hansis: Plattenosteosynthetische Versorgung von Humerusschaftfrakturen. Unfallchirurg 99 (1996): 106-111
86. Simon, P., H.O. Geraud, E. Rinn, F. Aissaoui, S.R. Babin: The Marchetti bundle nail for femoral shaft fractures: a review of 56 cases. Int. Orthop. 21 (1997): 318-322
87. Stoffelen, D., P. Rommens, P. Broos: Plate and Screw Fixation of Humeral Shaft Fractures. Osteo. Int. 3 (1995): 107-109
88. Strothman, D., D.C. Templeman, Th. Varecra, J. Bechtold: Retrograde nailing of humeral shaft fractures: A biomechanical study of its effects on the strength of the distal humerus. Journal of Orthopaedic Trauma 14 (2000): 101-104
89. Südkamp, N., R. Hoffmann, C. Khodadadyan, N. Haas, S. Filoso, R. Frigg: AO Humerus Flex Nagel - ein neues Marknagelungssystem zur Versorgung von Humerusfrakturen. Hefte z. d. Unfallchirurg 262 (1996): 142

90. Südkamp, N.P., V. Schönfelder, M.J. Kääh, N.P. Haas: Humerusschaftfrakturen und intramedulläre Stabilisierungsverfahren. OP-Journal 16, (2000): 182-186
91. Schweiberer, L., et al: Die Plattenosteosynthese bei Oberarmschaftfrakturen. Unfallheilkunde 80 (1977): 231-235
92. Ulrich, Ch., J. Nothwang: Osteosynthesen am Oberarm – Entwicklung und klinischer Stellenwert. Osteo. Int. 4 (1996): 223-234
93. Vécsei, N., O. Kwasny, R. Maier: Stellenwert der Versorgung von Oberarmschaftfrakturen mit dem Verriegelungsnagel nach Seidel. Osteo. Int. 4 (1996): 259-269
94. Verheyden, P., A. Streidt, H. Lill, K. Weise, C. Josten: Der unaufgebohrte Humerusnagel - Indikationen, Technik und klinische Erfahrungen. Akt. Traumatol. 28 (1998): 251-257
95. Wahler, G., K. Dann, M. Wagner, N. Vécsei: Die Auswirkungen der Oberarmverriegelungsnagelung nach Seidel auf die Rotatorenmanschette. Osteo. Int. 3 (1995): 104-106
96. Wölfel, R., M. Walther, F.F. Hennig: Zur Standortbestimmung der Bündelnagelung in der Gegenwart. Osteo. Int. 3 (1995): 160-164
97. Zifko, B., H. Fouturi, J. Poigenfürst, Ch. Pezzeri: Die Markdrahtung instabiler Oberarmkopffrakturen. Osteo. Int. 3 (1995): 165-170
98. Zifko, B., B. Zifko, J. Poigenfürst: Die Behandlung unstabiler Frakturen am proximalen Humerusende durch elastisch vorgebogene Markdrähte. Unfallchirurgie 13 (1987): 72-81

## **17. Danksagung**

In erster Linie möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Merk bedanken, der es mir ermöglicht hat, das gestellte Thema an einem nicht universitären Krankenhaus zu bearbeiten.

Des weiteren bedanke ich mich bei meinem ehemaligen Chefarzt, Herrn Dr. med. F. Barnbeck, dem es gelang, mein Interesse an wissenschaftlicher Arbeit zu wecken und in die richtigen Bahnen zu lenken.

Frau Ute Dahlke danke ich für die Hilfestellung bei allen digitalen Fragestellungen.

Meinen Eltern danke ich dafür, dass sie immer daran geglaubt haben eines Tages einen promovierten Sohn zu haben.

## 18. Lebenslauf

Martin Krajewski

Facharzt für Chirurgie/Unfallchirurgie

1. Oberarzt der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie

St. Elisabeth Hospital/ÖKG

Große Str. 41, 49477 Ibbenbüren

Tel.: 05451/520

privat:

Schleiweg 22, 49479 Ibbenbüren

Tel.: 05451/938795

0172/7891659

Geburtsdatum Ich wurde am 02.07.59 als zweites von vier Kindern der Eheleute Dieter und Hildegard Krajewski, geb. Göden in Düsseldorf geboren

Familienstand verheiratet, zwei Kinder

Staatsangehörigkeit deutsch

Konfession römisch-katholisch

Schulbildung

1966-1969 Grundschule an der Eduardstraße in Mülheim/Ruhr

1969-1978 Besuch des Otto-Pankok Gymnasiums in Mülheim mit Abschluss der Allgemeinen Hochschulreife

Wehrdienst

Oktober 1978 –  
Dezember 1979 Aufgrund meiner damaligen Zugehörigkeit zur B-Nationalmannschaft des Deutschen Ruderverbandes konnte ich meinen Wehrdienst in der Sportkompanie der Bundeswehr in Essen-Kupferdreh ableisten

## Studium

1980 – 1987 Medizinstudium an der Universität Düsseldorf

## Beruflicher Werdegang

- 01.03.88 - Assistenzarzt in der Abteilung für Allgemein- und Unfallchirurgie des  
31.03.90 St. Vincenz Krankenhauses Essen, Chefarzt Dr. med. H. Hemmrich
- 01.04.90 - Assistenzarzt in der Abteilung für Allgemein- und Unfallchirurgie des  
31.03.91 Marienhospitals Düsseldorf, Chefarzt Prof. Dr. med. W. Stock
- 05.91 - Mitwirkung an einem Forschungsprojekt des Gesundheitsministeriums  
08.91 in Kenya zur Ausbreitung von Echinokokkus Leberzysten in  
bestimmten Bevölkerungsgruppen
- 01.10.91 - Assistenzarzt in der Abteilung für Allgemein- und Unfallchirurgie des  
30.09.95 St. Elisabeth Krankenhauses Dorsten, Chefarzt Dr. med. H. Hanke
- 28.10.95 Facharzt für Chirurgie
- 01.10.95 - Assistenzarzt in der Klinik für Unfallchirurgie,  
30.09.99 Knappschaftskrankenhaus „Bergmannsheil“ Gelsenkirchen,  
Chefarzt Dr. med. F. Barnbeck
- 30.01.99 Facharzt für Unfallchirurgie
- 01.02.99- Einsatz im oberärztlichen Hintergrunddienst der Klinik für  
30.09.99 Unfallchirurgie „Bergmannsheil“ Gelsenkirchen
- 01.10.1999- 1. Oberarzt der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie  
andauernd des St. Elisabeth Hospitals Ibbenbüren, Chefarzt Dr. med. T. Köhler

## 19. Abstract

Martin Krajewski

### Überlegungen zur Implantatwahl bei der intramedullären Stabilisierung von Oberarmchaftfrakturen

Seit den Ausführungen von L. Böhler zur „Gutartigkeit“ des Oberarmchaftbruches galt die konservative Behandlung dieser Verletzungen lange Zeit als „golden standard“. Die operative Behandlung, insbesondere mit intramedullären Implantaten, gewinnt jedoch zunehmend an Stellenwert. Durch die Auswertung der vorhandenen Literatur wird gezeigt, daß ungebohrte solide Marknägel aus Titan, mit einer Zweipunktverriegelung sowohl proximal als auch distal, sowie der Möglichkeit der Frakturkompression über den liegenden Nagel, nach dem derzeitigen Kenntnisstand die besten Voraussetzungen für eine ungestörte Knochenbruchheilung bieten in Bezug auf die Infektionsschwelle, die biomechanische Stabilität und die Biokompatibilität. Es können Therapierichtlinien für die Behandlung von begleitenden N. radialis Läsionen, pathologischen Frakturen, Pseudarthrosen und hypertrophen Ossifikationen gegeben werden.

30 Patienten mit frischen Oberarmchaftfrakturen, drohenden Pseudarthrosen und pathologischen Frakturen wurden mit dem unaufgebohrten Humerusnagel (UHN) der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) an einem Krankenhaus der Grund- und Regelversorgung mit unfallchirurgischem Schwerpunkt osteosynthetisch versorgt. Alle Patienten konnten bis zur vollständigen Durchbauung der Fraktur beobachtet werden. 25 Patienten wurden nachuntersucht. 3 Patienten mit pathologischen Frakturen waren zwischenzeitlich verstorben, 2 weitere konnten wegen ihres hohen Lebensalters keiner regulären klinischen Nachuntersuchung mehr zugeführt werden.

Alle Frakturen kamen zur Ausheilung. Die einzige Pseudarthrose nach einer Fraktur mit schwerem Weichteilschaden konnte durch eine Plattenosteosynthese mit Spongiosaplastik ebenfalls zur Ausheilung gebracht werden. An intraoperativen Komplikationen fanden sich zwei distale Schaftsprengungen. Postoperativ sahen wir zwei Patienten mit hypertrophen Ossifikationen an der Nageleinschlagstelle. Zwei postoperative N. radialis Paresen heilten unter konservativer Behandlung nach spätestens 5 Monaten vollständig aus. Die postoperative Funktion des betroffenen Armes war bei den nachuntersuchten Patienten in 88 % der Fälle als sehr gut oder gut zu bezeichnen.

Der UHN bietet als unaufgebohrtes System mit einer hohen Biokompatibilität durch eine Titanlegierung, einem wahlweise zu verwendenden Kompressionsaufsatz sowie vielfältigen Möglichkeiten der proximalen und distalen Verriegelung, optimale Voraussetzungen für eine ungestörte Knochenheilung bei sofortiger postoperativer Mobilisierbarkeit der verletzten Extremität. Es steht ein durchdachtes, minimal invasiv anzuwendendes, relativ leicht zu erlernendes Verfahren zur Versorgung von frischen oder pathologischen Oberarmchaftfrakturen, sowie Pseudarthrosen zur Verfügung. Der Nagel eignet sich in einem Krankenhaus der Grund- und Regelversorgung mit den entsprechenden Fallzahlen als alleiniges Implantat zur Behandlung der genannten Indikationen. Bei korrekter Indikationsstellung und sorgfältiger Implantation unter Kenntnis der möglichen Komplikationen kann die Methode als Standardverfahren zur Stabilisierung von Oberarmchaftbrüchen empfohlen werden.

**Univ.-Prof. Dr. H. Merk**

Orthopädische Klinik  
der Medizinischen Einrichtungen  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Hausanschrift: Moorenstraße 5 · D-40225 Düsseldorf  
Postfach 10 10 07 · D-40001 Düsseldorf