

Aus der Klinik für Unfallchirurgie  
der medizinischen Fakultät  
der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg

Humeruskopffrakturen –  
Funktionelle, radiologische und neurophysiologische Ergebnisse  
nach winkelstabiler Plattenosteosynthese über den  
erweiterten anterolateralen Delta-Splitting-Zugang

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades  
Dr. med.  
(doctor medicinae)  
an der medizinischen Fakultät  
der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg

vorgelegt von	Stephan Woischnik
aus	Leipzig
Leipzig	2012

## **Dokumentationsblatt**

### Bibliographische Beschreibung:

Woischnik, Stephan:

Humeruskopffrakturen - Funktionelle, radiologische und neurophysiologische Ergebnisse nach winkelstabiler Plattenosteosynthese über den erweiterten anterolateralen Delta-Splitting-Zugang. - 2012. - 89 Blatt.: 24 Abb., 27 Tab.

### Kurzreferat:

Proximale Humerusfrakturen stellen die dritt-häufigste Fraktorentität bei älteren Menschen dar. Dislozierte Frakturen werden aktuell mittels winkelstabilem Implantat, Platte oder Nagel, osteosynthetisch versorgt. Für die Plattenosteosynthese steht neben dem klassischen deltoideopectoralen Zugang der Delta-Splitting-Zugang zur Verfügung. Eine komplikationsfreie Versorgung ist aktuell nicht möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Ergebnisse und Komplikationen nach Frakturversorgung der Klinik für Unfallchirurgie der Otto-von-Guericke Magdeburg nach osteosynthetischer Versorgung von proximalen Humerusfrakturen erfasst. Es konnten 40 von 80 Patienten die zwischen dem 01.01.2005 und dem 31.12.2008 operiert wurden, in die Auswertung eingeschlossen werden. Die Nachuntersuchung fand durchschnittlich 28 Monate nach Osteosynthese statt. Im Constant-Murley-Score, adaptiert nach Katolik, wurden durchschnittlich 71,18 Punkte erzielt. Als Einflussfaktoren konnte die Zeit zwischen Unfall und Operation, das Auftreten von Begleitverletzungen und der ASA-Score der Patienten zum Zeitpunkt der Operation identifiziert werden. In der radiologischen Kontrolle konnte eine knöcherne Konsolidierung bei allen Frakturen nachgewiesen werden. Es wurden 9 aseptische Kopfnekrosen (22,5%) in verschiedenen Stadien dokumentiert. Eine eventuell zusätzliche Verschraubung einer Tuberculum minus Fraktur und die Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension als Frakturmerkmal zeigten einen signifikanten Zusammenhang auf das Auftreten einer aseptischen Kopfnekrose. In der neurophysiologischen Untersuchung wurden drei pathologische (7,5%) und 37 nicht pathologische (92,5%) Befunde des N. axillaris dokumentiert. Hinsichtlich des funktionellen Ergebnisses zeigte sich ein signifikanter Unterschied für Patienten mit nachgewiesener Affektion des N. axillaris.

### Schlüsselwörter:

Proximale Humerusfraktur - winkelstabile Plattenosteosynthese - erweiterter Delta-Splitting-Zugang - funktionelle Ergebnisse - aseptische Kopfnekrosen - N. axillaris Affektion

## Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis relevanter Abkürzungen .....	5
1.1. Einleitung .....	6
1.2. Zielsetzung .....	7
1.3. Epidemiologie .....	8
1.4. Ätiologie .....	8
1.5. Mögliche Begleitverletzungen .....	9
1.6. Die Anatomie des Schultergelenks .....	9
1.7. Die Diagnosestellung der proximalen Humerusfraktur .....	13
1.7.1. Die klinische Untersuchung .....	13
1.7.2. Die radiologische Diagnostik .....	13
1.8. Die Frakturmorphologie und Klassifikationen .....	15
1.9. Die Therapieformen und Operationsindikationen .....	19
1.10. Die operativen Zugangswege zum proximalen Humerus .....	21
1.10.1. Der deltoideopectorale Zugang .....	22
1.10.2. Der erweiterte anterolaterale Delta-Splitting-Zugang .....	22
1.11 Die Probleme der Versorgung .....	24
1.11.1. Die aseptische Humeruskopfnekrose .....	24
1.11.2. Die iatrogene Affektion des N. axillaris .....	25
2. Material und Methoden .....	27
2.1. Die Nachuntersuchung .....	27
2.2. Das Patientenkollektiv .....	28
2.3. Präoperativ durchgeführte radiologische Diagnostik und Fragmentdislokationen .....	30
2.4. Die Bestimmung des funktionellen Ergebnisses in der Nachuntersuchung .....	34
2.5. Die radiologische Kontrolle zur Nachuntersuchung .....	36
2.6. Die neurophysiologische Untersuchung .....	36

2.7. Die statistischen Methoden .....	37
3. Ergebnisse .....	37
3.1. Deskriptive Darstellung der nachuntersuchten Patienten.....	37
3.2. Unfallmechanismus und Begleitverletzungen .....	38
3.3. Frakturklassifikation der nachuntersuchten Patienten.....	39
3.4. Operatives Vorgehen und stationärer Aufenthalt .....	41
3.5. Klinische Ergebnisse des N. axillaris .....	43
3.6. Funktionelle Ergebnisse .....	43
3.7. Komplikationen.....	47
4. Diskussion .....	53
4.1. Methodenkritik .....	53
4.2. Patientengut .....	54
4.3. Zeitpunkt und Dauer der Operation .....	54
4.4. Funktionelle Ergebnisse der Nachuntersuchung .....	55
4.5. Komplikationen.....	60
5. Zusammenfassung .....	69
6. Literaturverzeichnis .....	72
7. Abbildungsverzeichnis .....	80
8. Tabellenverzeichnis.....	81
9. Danksagung.....	83
10. Erklärung .....	84
11. Lebenslauf.....	85
12. Anlagen .....	86

## Verzeichnis relevanter Abkürzungen

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
CDC	Center of Disease Control and Prevention, Atlanta (USA)
CM-Score	Constant-Murley-Score
DASH-Score	Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Score
DXA	Dual-Energy X-Ray Absorptiometry
EPIDOS Studie	L'étude épidémiologie de l'ostéoporose
k. A.	keine Angabe
M.	Musculus
Max.	Maximum
Min.	Minimum
Mm.	Musculi
MW	Mittelwert
N.	Nervus
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
VAC Verband	Vacuum Assisted Closure Verband

## 1.1. Einleitung

Die proximale Humerusfraktur ist auch heute noch eine Herausforderung für jeden Unfallchirurgen. Mit steigendem Durchschnittsalter unserer Gesellschaft ist mit einer steigenden Inzidenz von Oberarmkopffrakturen zu rechnen. Aufgrund von hohen Komplikationsraten und schlechten funktionellen Ergebnissen ist im Verlauf der letzten Jahre ein Wandel in der osteosynthetischen Versorgung der Frakturen hin zu winkelstabilen Implantaten, Platten und Nägeln, eingetreten. Doch auch mit diesen Implantaten ist keine komplikationslose Versorgung möglich.

Bei der Verwendung einer winkelstabilen Platte steht klassisch der deltoideopectorale Zugang zum proximalen Oberarm zur Verfügung. Ein entscheidender Nachteil des deltoideopectoralen Zugangs ist die schlechte intraoperative Zugänglichkeit der lateralen Anteile des Oberarmkopfes [86]. Mit diesem Operationszugang verbunden soll eine erhöhte Weichteiltraumatisierung und daraus resultierend eine Verringerung der Kopfdurchblutung mit erhöhtem Risiko für aseptische Kopfnekrosen sein. Ein großer Vorteil beim deltoideopectoralen Vorgehen allerdings ist, dass während der Operation weitere Therapiemöglichkeiten zur Verfügung stehen. Stellt sich intraoperativ ein nicht rekonstruktionsfähiger Befund einer Fraktur dar, kann problemlos von der geplanten Plattenosteosynthese auf eine Frakturendoprothese gewechselt werden [70].

Mit dem Wunsch, die lateralen Anteile der Schulter intraoperativ besser überblicken zu können und gleichzeitig die Rate an aseptischen Kopfnekrosen zu reduzieren, wurde der aus der Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion bekannte anterolaterale Delta-Splitting-Zugang auf die Versorgung von proximalen Humerusfrakturen ausgeweitet. Gardner beschrieb 2004 einen erweiterten anterolateralen Delta-Splitting-Zugang mit Darstellung und Anschlingen des N. axillaris zur Osteosynthese von proximalen Humerusfrakturen [20, 21]. Dieses Vorgehen wurde ebenfalls von Robinson et al. 2007 und 2011 sowie Khan et al. 2009 beschrieben [44, 70, 71]. Lill et al. beschrieben 2004 eine Variation des anterolateralen Delta-Splitting-Zugangs. Hier wird, zunächst an der ventralen Akromionkante beginnend, ein ca. 5 cm langer Hautschnitt nach distal durchgeführt. Nach Visualisierung oder Palpation des Gefäß-Nerven-Bündels des N. axillaris wird distal davon eine zweite Inzision von ca. 3 cm durchgeführt. Über diesen Zugang erfolgt dann die Verschraubung der distalen Plattenlöcher [50]. Als Fortführung dieser Doppel-Inzisions-Technik führten sowohl Röderer als auch Laflamme und Rouleau die distale Verriegelung über Stichinzisionen ein. Nach geschlossener

Reposition erfolgt die proximale Inzision. Über diese wird die winkelstabile Platte mit entsprechendem Zielbügel von kranial her eingeschoben [48, 75].

In allen Arbeiten wird der N. axillaris als limitierender Faktor hinsichtlich des operativen Zugangs genannt. Gardner 2005, Röderer 2007 und Saran 2010 fertigten mit diesem Wissen anatomische Kadaverstudien zur Evaluierung des Risikos für Schäden des N. axillaris an [20, 75, 77]. Als Folge dessen wurde beschlossen, verschiedene Plattenlöcher im distalen Kopf- und im Calcaranteil nicht zu besetzen um den N. axillaris zu schützen. Gleichzeitig forderten die Autoren, den N. axillaris gezielt klinisch und neurophysiologisch zu untersuchen [75]. Khan et al. veröffentlichten 2009 erste neurophysiologische Untersuchungsergebnisse des N. axillaris nach erweitertem Delta-Splitting-Zugang bei der osteosynthetischen Versorgung von proximalen Humerusfrakturen von 14 Patienten. Hier trat lediglich ein axonaler Schaden auf [44]. Wu und Kollegen veröffentlichten 2011 in ihrer Studie Daten eines Vergleiches zwischen deltoideopectoralem und Delta-Splitting-Zugang. Hier konnte 3 Monate postoperativ im EMG kein Unterschied zwischen den beiden Zugängen erfasst werden [86]. Arbeiten mit klinischen und neurophysiologischen Ergebnissen nach erweitertem anterolateralen Delta-Splitting-Zugang, die eine größere Anzahl an Patienten und einen längeren Nachuntersuchungszeitraum einschließen, liegen zum heutigen Zeitpunkt nicht vor.

## **1.2. Zielsetzung**

Mit dieser Arbeit soll erstmals das Auftreten einer Affektion des N. axillaris nach winkelstabiler Plattenosteosynthese über den erweiterten anterolateralen Delta-Splitting-Zugang an einer größeren Patientengruppe klinisch und neurophysiologisch untersucht und eventuelle Risikofaktoren eingegrenzt werden.

Gleichzeitig soll das Auftreten einer aseptischen Kopfnekrose erfasst werden. Erstmals erfolgt eine Stadieneinteilung der aseptischen Kopfnekrosen, analog zum proximalen Femur nach Cruess [17]. Statistische Untersuchungen auf eventuelle Risikofaktoren für das Entstehen einer aseptischen Kopfnekrose wurden durchgeführt.

Die funktionellen Ergebnisse wurden mittels Constant-Murley und DASH-Score erfasst und auf mögliche Einflussfaktoren untersucht.

Alle Ergebnisse werden im Anschluss mit der aktuellen Literatur verglichen.

### **1.3. Epidemiologie**

Die Frakturen am proximalen Humeruskopf gehören mit 4-5% aller Frakturen zu den häufigsten bei erwachsenen Menschen. Gerade bei älteren Menschen gehören sie nach Frakturen der Hüftregion sowie des Handgelenkes zu den drei Häufigsten [63]. Infolge steigender Lebenserwartung und Umverteilung der Bevölkerungspyramide ist in den nächsten Jahrzehnten von einer steigenden Anzahl an Humeruskopffrakturen auszugehen. Dies zeigten unter anderem Palvanen et al. in ihrer systematischen Auswertung finnischer Krankenhausdaten [62]. Im Verlauf stieg hier die Inzidenz von 32 pro 100.000 Einwohner 1970 auf 105 pro 100.000 Einwohner 2002 deutlich an. Péntek et al. konnten für Ungarn sogar eine Gesamtinzidenz von 342 pro 100.000 Einwohner für proximale Humerusfrakturen nachweisen. Hier wurden neben den stationären Patienten auch die ambulant betreuten Patienten mit einbezogen. Zusätzlich konnten die Autoren ein höheres Risiko für Frauen nachweisen (Frauen : Männer = 1,8 : 1) [64]. In Deutschland wurden durch Lohmann et al. nach Auswertung der verwendeten DRGs 2005 (Jahresbericht des Institutes für das Entgeltsystem im Krankenhaus, Siegburg) und der epidemiologischen Daten des Statistischen Bundesamtes hinsichtlich der Bevölkerungsentwicklung versucht abzuschätzen, wie sich die behandlungspflichtige Anzahl von proximalen Humerusfrakturen entwickelt. Errechnet wurde eine voraussichtliche Zunahme der Anzahl von „Komplexen Eingriffen an Humerus, Tibia, Fibula und Sprunggelenk“ (DRG 113) um 9% bis 2024 und ein anschließendes Absinken auf 105% des Ausgangswertes bis 2050 [55].

### **1.4. Ätiologie**

Als wichtigste Risikofaktoren wiesen Chu et al. 2004 eine bestehende Osteoporose und vorausgegangene Stürze aus [9]. Mehr als 80% der proximalen Humerusfrakturen sind Resultat eines Sturzes. Bei älteren Frauen sind es bis zu 95%. Faktoren, die das Sturzrisiko erhöhen, erhöhen auch das Risiko für eine proximale Humerusfraktur [15, 41]. Beim jungen Menschen sind die häufigsten Frakturmechanismen Hochrasanztraumen im Rahmen eines Verkehrsunfalls oder der Sturz aus großer Höhe [54, 63]. Hierdurch resultieren häufig schwere Verletzungsformen einschließlich Luxationsfrakturen.

Kelsey et al. zeigten bereits 1992 in einer prospektiven Kohortenstudie, dass ältere Frauen mit vermindertem Kalksalzgehalt des Knochens, verminderter Beweglichkeit, insulinabhängigem Diabetes mellitus (Typ 2) und verminderten neuromuskulären Funktionen ein

erhöhtes Risiko für eine Fraktur des proximalen Humerus haben [41]. Im Rahmen der EPIDOS Studie 2002 zeigten Lee und Kollegen ebenso, dass verminderte Knochendichte, nachgewiesen mittels DXA-Messung am Collum femoris und Ultraschallmessungen am Calcaneus, sowie Faktoren für ein erhöhtes Sturzrisiko, wie vorherige Stürze, Schmerzen im Sprunggelenk oder Fuß und verminderte neuromuskuläre Funktionen eine signifikante Steigerung des Risikos für eine proximale Humerusfraktur bedingen [49].

### **1.5. Mögliche Begleitverletzungen**

Die häufigsten ossären Begleitverletzungen sind distale Radiusfrakturen und proximale Femurfrakturen. In der epidemiologischen Aufarbeitung proximaler Humerusfrakturen von Court-Brown et al. 2001 war dies in 3,31% (distale Radiusfraktur) bzw. 1,18% (proximale Femurfraktur) der Fall [15].

Nervale Begleitverletzungen sind auch nach Niedrig-Energie-Mechanismen häufig nachzuweisen. Visser et al. konnten 2001 im Rahmen von elektromyographischen Untersuchungen nach proximaler Humerusfraktur ohne Osteosynthese eine große Zahl an axonalen Verletzungen im Bereich der Schulter nachweisen. So war in 58% der Frakturen der N. axillaris betroffen. In absteigender Reihenfolge kam es zu Veränderungen am N. suprascapularis, N. radialis, N. musculocutaneus, N. medianus und N. ulnaris. In der Mehrzahl der Patienten kam es zu einer Mehrfachverletzung von Nerven. Durchschnittlich waren 2,8 Nerven betroffen. Als größter Risikofaktor für das Auftreten von Nervenverletzungen bei proximalen Humerusfrakturen konnte hier der Dislokationsgrad der Fraktur nachgewiesen werden [81].

Arterielle Gefäßschäden können insbesondere die A. axillaris, aber auch Abgänge der Zirkumflexarterien betreffen, sind aber insgesamt deutlich seltener als Nervenverletzungen. Gefäßschäden können zum einen durch scharfe Fraktursplitter, zum anderen durch Freilösung von artheromatösen Plaques entstehen. Hauptsächlich handelt es sich um Fallreporte die in der Literatur beschrieben werden [8, 66].

### **1.6. Die Anatomie des Schultergelenks**

#### Ossäre Bestandteile

Das Schultergelenk (Articulatio humeri) ist das beweglichste Kugelgelenk des menschlichen Körpers. Der große, halbkugelige Gelenkkopf, das Caput humeri, artikuliert mit einer relativ

kleinen, ringsherum durch eine Gelenkklippe (Labrum glenoidale), vergrößerten Gelenkpfanne (Cavitas glenoidalis). Der zu große Gelenkkopf liegt deshalb nie ganz in der Gelenkpfanne.

Der nach medial und oben, gegen die Schulterpfanne weisende, überknorpelte Humeruskopf, Caput humeri, hat ungefähr Halbkugelform. Durch eine seichte Rinne, das Collum anatomicum, ist er gegen den Humerusschaft abgesetzt. Dieser dient als Ansatzpunkt der Gelenkkapsel. Nach lateral und dorsal weist das Tuberculum majus, welches nach ventral durch den Sulcus intertubercularis vom Tuberculum minus getrennt ist. Das Tuberculum majus dient als Ansatzpunkt für die Mm. supraspinatus, infraspinatus et teres minor (von ventral nach dorsal). Das Tuberculum minus ist der Ansatz des M. subscapularis.

Die Gelenkkapsel ist relativ weit und schlaff. Sie entspringt in der Nähe des Pfannenrandes und inseriert an der Knorpel-Knochengrenze des Humeruskopfes. Die Kapsel ist dorsal wesentlich dünner als ventral. Die Sehnen der Mm. supraspinatus, infraspinatus, teres minor und subscapularis gehen ansatznah mit in die Kapsel ein.

### Muskuläre Bestandteile

Der M. deltoideus entspringt mit drei Anteilen - Pars clavicularis vom lateralen Drittel der Clavicula, Pars acromialis vom Acromion und Pars spinalis von der Spina scapulae und setzt an der Tuberositas deltoidea humeri an. Die Pars acromialis abduziert, die Pars clavicularis ist für Anteversion, Ab- und Adduktion und Innenrotation und die Pars spinalis für Retroversion, Außenrotation und auch für Ab- und Adduktion verantwortlich. Nerval wird der M. deltoideus hauptsächlich durch den N. axillaris aus dem Plexus brachialis (C5/C6) versorgt.

Die Rotatorenmanschette (nach dem englischen Chirurgen Moseley) setzt sich aus Mm. supraspinatus, infraspinatus, teres minor und subscapularis zusammen. Diese bilden die aktiven Stabilisatoren des Glenohumeralgelenkes [38].

Der M. supraspinatus mit Ursprung aus der Fossa supraspinata, zum Teil unter dem Schulterdach verlaufend, setzt an der oberen Facette des Tuberculum majus an. Für die Abduktion des Armes im Glenohumeralgelenk kommt ihm die Starterfunktion zu. Bei einer weiteren Abduktion ist er im Gegensatz zum M. deltoideus mehr für die Zentrierung des Kopfes in der Pfanne als für die eigentliche Abduktion verantwortlich. Innerviert wird er durch den N. suprascapularis aus dem Plexus brachialis (C4-C6).

Der M. infraspinatus, von dem medialen Teil der Fossa infraspinata zur mittleren Facette des Tuberculum majus ziehend, ist der stärkste Außenrotator des Armes. Zusätzlich hilft er bei der Abduktion. Innerviert wird er wie der M. supraspinatus durch den N. suprascapularis.

Der M. teres minor zieht von seinem Ursprung, dem Margo lateralis der Scapula zur unteren Facette des Tuberculum majus. Er hilft bei Außenrotation und Retroversion des Armes mit. Er wird durch den N. axillaris innerviert.

Der M. subscapularis zieht von den medialen Anteilen der Fossa subscapularis zum Tuberculum minus. Er ist der stärkste Innenrotator des Armes und hilft je nach Gelenkstellung sowohl bei Ante-/Retroversion als auch bei Ab-/Adduktion.

Nerval wird er durch den N. subscapularis (C5-C7) innerviert.

### Vaskularisation des Oberarmkopfes

Der proximale Humerus wird arteriell durch Gefäße aus der A. axillaris versorgt. Circa 7 cm unterhalb des Scheitels des Humeruskopfes geht die A. circumflexa anterior humeri ab. Die A. circumflexa posterior humeri entspringt meist 0,5 cm proximal der A. circumflexa anterior aus der A. axillaris und ist kaliberstärker als diese. Sie verläuft mit dem N. axillaris durch die laterale Achsellücke und schlingt sich eng am Knochen um das Collum chirurgicum [38, 58]. Die A. circumflexa anterior zieht zwischen M. coracobrachialis und kurzem Kopf des M. biceps brachii zum Collum chirurgicum, welchen sie am Unterrand des M. subscapularis erreicht [23]. Hier teilt sie sich in je einen Ramus ascendens medialis et lateralis. Der antero-laterale Ast unterquert den langen Kopf des M. biceps brachii und steigt lateral der Sehne im Sulcus intertubercularis zum Tuberculum majus. Dort bildet der Ramus ascendens lateralis intraossär als Endast die sogenannte A. arcuata, welche in Höhe des anatomischen Halses in den Humeruskopf eintritt. Diese verläuft nach posterior medial und versorgt nahezu den ganzen Caput humeri (etwa 2/3). Ein posterior-inferiores Areal des Kopfes wird durch Rr. periostales beider Circumflexarterien versorgt, die am anatomischen Hals insbesondere mediodorsal in den Kopf eintreten (etwa 1/3). Die A. circumflexa posterior realisiert darüber hinaus im Wesentlichen die Durchblutung des Tuberculum majus. Häufige periostale Anastomosen des R. ascendens lateralis mit kaliberschwachen Gefäßen der A. suprascapularis, A. thoracoacromialis, A. subscapularis oder A. circumflexa humeri posterior, welche an der Innenseite der Epiphyse verlaufen, wurden durch Gerber et al. beschrieben [23]. Das Anastomosennetz zwischen dorsalen Gefäßen des Periostes und der

Rotatorenmanschette kann ggf. den Ausfall einer A. circumflexa kompensieren, eine direkte Anastomose besteht allerdings nicht [56, 57].

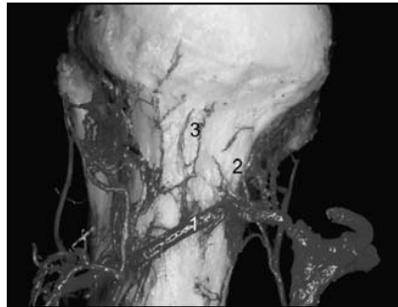


Abb. 1: Humeruskopf von medial mit arterieller Versorgung (1. A. circumflexa humeri posterior, 2. mediale Gefäßgruppe, 3. Gefäßpenetration) [57]

### Der Nervus axillaris

Der N. axillaris verlässt den Fasciculus posterior des Plexus brachialis in der Achselhöhle, am lateralen Unterrand des M. subscapularis, zieht mit der A. circumflexa humeri posterior durch die laterale Achsellücke nach dorsal und teilt sich dort auf. Ein hinterer Anteil gibt einen Ast für den M. teres minor und für den dorsalen Anteil des M. deltoideus ab. Der Endanteil hat als N. cutaneus brachii lateralis superior rein sensible Qualitäten und versorgt ein autonomes Areal am lateralen Oberarm. Der vordere Anteil versorgt den mittleren und ventralen Anteil des M. deltoideus [38, 46, 65].

Der individuelle Verlauf des N. axillaris kann allerdings sehr unterschiedlich sein. Zusätzlich besteht eine deutliche Abhängigkeit von der Schulterposition. Insbesondere bei Abduktion ist eine Verkürzung der Strecke Akromion – N. axillaris beschrieben [7].

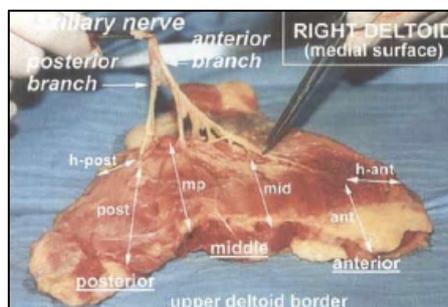


Abb. 2: Darstellung des N. axillaris auf der Innenseite des M. deltoideus aus [46]

## **1.7. Die Diagnosestellung der proximalen Humerusfraktur**

### **1.7.1. Die klinische Untersuchung**

Vor der klinischen Untersuchung steht die Anamneseerhebung. Es sollte gezielt nach dem Sturzmechanismus als auch Nebenerkrankungen jeglicher Art mit entsprechender Medikation gefragt werden. Im Anschluss erfolgt die Inspektion der verletzten Extremität, die Palpation, die Überprüfung der Funktionsfähigkeit und die Erhebung des Gefäß-Nerven-Status.

Bei der Inspektion der verletzten Schulter zeigt sich sehr häufig, in unterschiedlicher Ausprägung, ein flächiges subcutanes Hämatom im Bereich des Oberarmes. Dieses kann im Verlauf von mehreren Tagen in die laterale Thoraxwand als auch den Unterarm auslaufen. Ebenso von Bedeutung ist die Beurteilung von Haut und Weichteilen an der betroffenen Schulter, die mit das weitere Procedere beeinflussen. Bei zu starker Einblutung ist eine operative Versorgung unter Umständen erst nach abschwellenden Maßnahmen möglich.

Bei Luxationsfrakturen kann es bei nicht übermäßig vorhandener Schultermuskulatur und Hämatom, je nach Richtung der Luxation, die typischen Veränderungen der Schulterkontur geben. Bei vorderer Luxation kommt es zum vorstehenden Humeruskopf, prominentem Akromion, kaum palpablen Coracoid und verstrichener hinterer Kontur. Die hintere Luxation verhält sich entgegengesetzt. Zusätzliche Hinweise auf eine Luxation kann die charakteristische Armhaltung liefern. Bei vorderer Luxation ist dies eine leichte Abduktion und Außenrotation bei Innenrotationsblockade, bei hinterer Luxation eine Innenrotationsstellung bei Außenrotationsblockade.

Funktionell zeigt sich bei Frakturen des Oberarmkopfes ein Verlust der Beweglichkeit bei deutlichen Schmerzen.

### **1.7.2. Die radiologische Diagnostik**

#### Das konventionelles Röntgen

Bereits C. S. Neer forderte 1970 zwei Röntgenaufnahmen des proximalen Humerus 90° zueinander. Zusätzlich empfahl Neer eine axiale Aufnahme des Schultergelenkes [60]. Heute erfolgt standardmäßig bei Verdacht auf Verletzungen der Schulter die sogenannte Trauma-Serie im konventionellen Röntgen. Sie besteht aus einer true a. p. Aufnahme, einer skapulatangentialen Aufnahme (y-view) und einer axialen Aufnahme. Häufig ist auf Grund von Schmerzen beim Patienten die notwendige Abduktion der Schulter für die axiale

Aufnahme nicht möglich. In diesem Fall sollte die Aufnahme nach Velpeau (Alfred Velpeau, frz. Chirurg und Anatom, 1795-1867) angefertigt werden [26].

### Die Computertomographie

Bei allen Mehrfragmentfrakturen ergibt sich die Indikation zur Computertomographie (CT) der Schulter. Insbesondere bei Head-Split-Frakturen, Impressionsfrakturen der Kalotte, Luxationsfrakturen und knöchernen Begleitverletzungen an Glenoid, Scapula oder Processus coracoideus ist die CT sinnvoll. Mit einer CT lassen sich Kopfkalotte, die Größe und Lage einzelner Fragmente, die exakte Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension und die ad-latus Verschiebung der Kopfkalotte genau darstellen. Die Erstellung von 3-D Rekonstruktionen erleichtert zusätzlich die räumliche Vorstellung. Bei Luxationsfrakturen und Einschränkungen der körperfernen arteriellen Durchblutung ist ein Kontrastmittel-CT indiziert, um eventuelle Gefäßschäden schnell darzustellen [35, 68].

### Die Magnetresonanztomographie

Vogt und Kollegen zeigten in ihrer Arbeit, dass die MR Untersuchung bei frischen proximalen Oberarmfrakturen einen Zugewinn an Informationen liefern kann [83]. Zusatzinformationen, wie die Darstellung der posteromedialen Periostverbindung oder die Darstellung der Rotatorenmanschette, konnten ebenso gewonnen werden wie die Möglichkeit der exakten Einteilung der Frakturen in das „Binary-fracture-description System“ von Hertel [33]. Für die Entscheidung der Therapie, Rekonstruktion der Fraktur und Osteosynthese bzw. Prothesenimplantation, konnten somit entscheidende Informationen gewonnen werden. Als weiterer Vorteil ergibt sich ein Verzicht auf Röntgenstrahlung. Nachteile sind eine geringere Verfügbarkeit, eine längere Untersuchungszeit und erhöhte Kosten. Empfehlenswert ist die MR-Untersuchung bei jüngeren Patienten, um eine Strahlenbelastung zu vermeiden und beim älteren Patienten als Entscheidungshilfe für eine primär endoprothetische Versorgung. So kann bei einer im MRT nachgewiesenen intakten Rotatorenmanschette eine Frakturoprothese implantiert werden. Bei Defekt der Rotatorenmanschette ist dies nicht möglich und eine inverse Prothese ist das Mittel der Wahl in der operativen Versorgung.

### Die Ultraschalluntersuchung

Die Ultraschalluntersuchung bei frischen Frakturen des proximalen Humerus kann nicht zur Frakturklassifikation beitragen. Die Untersuchungsbedingungen sind bei ausgeprägten subcutanen und intraartikulären Hämatomen, zusätzlich zum in der Regel deutlich schmerzbeeinträchtigten Patienten, erschwert. Somit lassen sich nur schwer zusätzliche Informationen zur erlittenen Verletzung gewinnen.

### **1.8. Die Frakturmorphologie und Klassifikationen**

Die Einteilung von Frakturen erfolgt zur Vergleichbarkeit untereinander und zur Ableitung einer entsprechenden Therapie. Eine Einteilung sollte logisch aufgebaut und klinisch praktikabel sein, um eine hohe Reproduzierbarkeit zu gewährleisten.

### Die Frakturmorphologie

Je nach Fraktur kommt es zu einer typischen Dislokation der einzelnen Fragmente, bedingt durch den Ursprung der jeweiligen Muskeln.

Bei einer Fraktur des Tuberculum majus kommt es durch Sehnenzug der Mm. supraspinatus, infraspinatus und teres minor zur Dislokation nach kranial und dorsal. Bei gleichzeitiger Fraktur subcapital kommt es durch Zug des M. subscapularis am Tuberculum minus zur Innenrotation des Kopfes mit Fehlstellung der Kalotte nach dorsal. Bei isolierten Tuberculum minus Frakturen, wird das Tuberculum minus durch den M. subscapularis nach medio-kaudal verlagert.

Bei einer 4-Fragmentfraktur stehen die Fragmente ebenfalls entsprechend des Muskelzuges. Durch das Ansetzen des M. pectoralis major kann es zusätzlich zu einer Angulationsfehlstellung des Humerusschaftes nach ventral-medial kommen, wo entweder der Kopf metaphysär impaktiert oder mit Rotations- und Winkelfehlstellung verschoben ist.

Die valgisch impaktierte Fraktur stellt somit in zweierlei Hinsicht eine Sonderform dar. Zum einen ist sie mechanisch ungünstig hinsichtlich Elevation des Armes bei subacromialer Blockade, durch Medialisierung und Kaudalisierung des Kopfes und gleichzeitigem Hochstand des Tuberculum majus. Zum anderen bleibt, durch das in die Metaphyse impaktierte Gelenkfragment, die Rotationsfehlstellung aus und somit die mediale periostale Gefäßversorgung erhalten [33, 58].

Eine Sonderstellung nehmen die Humerusschaftfrakturen mit zusätzlicher Frakturkomponente im Kopfbereich ein. Diese lassen sich in keiner der folgenden Klassifikationen korrekt einordnen.

#### Die Einteilung nach Kocher

Die erste Fraktуреinteilung am proximalen Humerus wurde bereits 1896, noch vor der Möglichkeit des Röntgens, durch Kocher allein anhand der klinischen Beurteilung beschrieben [45]. Er unterschied die bekannten anatomischen Regionen – Collum anatomicum, Collum chirurgicum sowie die Tubercula. Die supratuberculären Frakturen entsprechen Frakturen im Collum anatomicum. Die infratuberculären Frakturen werden in per- und subtuberculäre Frakturen unterteilt. Dabei verläuft die pertuberculäre Fraktur in Höhe der Epiphysenfuge, die subtuberculäre Frakturlinie entspricht dem Collum chirurgicum. Eine Möglichkeit der Differenzierung zwischen dislozierten und undislozierten Frakturen bestand damals noch nicht.

#### Die Einteilung nach Codman

Codman unterschied 1934 erstmals komplexe Humeruskopffrakturen nach den vier Hauptfragmenten:

- Kalottenfragment
- Tuberculum majus Fragment
- Tuberculum minus Fragment
- Schaftfragment.

Eine Unterteilung in dislozierte und undislozierte Frakturen fand nicht statt [11].

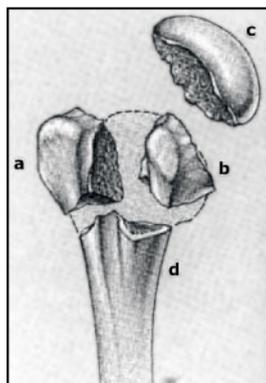


Abb. 3: Darstellung der Einzelfragmente nach Codman

### Die Einteilung nach NEER

Basierend auf der Klassifikation von Codman erarbeitete Charles Neer 1970 eine Einteilung, die bis heute die weltweit gebräuchlichste Klassifikation bei proximalen Humerusfrakturen darstellt. Die Einteilung nach NEER verbindet erstmals die Frakturmorphologie mit der resultierenden Therapieform – konservativ versus operativ.

Als disloziert gelten Frakturen mit einer Fragmentverschiebung von  $> 1$  cm oder einer Achsfehlstellung  $> 45^\circ$ . Somit erfolgt die Einteilung in nicht bzw. gering dislozierte und dislozierte Frakturen. Zusätzlich werden die Luxationsfrakturen nach Luxationsrichtung und der Anzahl der Fragmente aufgeführt.

I 	DISLOZIERTE FRAKTUREN		
	Anzahl der Fragmente		
	2	3	4
Minimale Dislokation			
II Collum anatomicum 			
III Collum chirurgicum 			
IV Tuberculum majus 			
V Tuberculum minus 			
VI anteriore Luxationsfraktur 			
posteriore Luxationsfraktur 			

Abb. 4: Klassifikation nach NEER aus [26]

Trümmerfrakturen (sog. Head-Split-Frakturen) und Impressionsfrakturen der Kopfkalotte sind Sonderformen und werden in der NEER-Klassifikation nicht mitabgebildet. Auch wenn die NEER-Klassifikation die gebräuchlichste ist, so weist sie doch einige Schwächen auf. Die prognostisch ungünstige 2-Fragment Fraktur im anatomischen Hals wird als günstig eingestuft. Darüber hinaus wird für die prognostisch ungünstigen 3- und 4-Fragmentfrakturen keine Unterscheidung bezüglich des Frakturverlaufes im anatomischen oder chirurgischen Hals getroffen [60].

### Die Einteilung der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese (AO)

Die Frakturklassifikation der AO beruht auf Einteilung aller Knochensegmente in drei Typen, die jeweils in drei Gruppen mit je drei Untergruppen subklassifiziert werden. Mit steigender Gruppe wird ein zunehmender Schweregrad und damit verbundener schlechterer Prognose beschrieben [59].

Diese Unterteilung in insgesamt 27 Gruppen erfordert viel Erfahrung, ist zeitintensiv und wenig übersichtlich, somit anfällig für Fehler. Mit der Vielzahl der Möglichkeiten wird allerdings der Komplexität der Frakturen Rechnung getragen. Insgesamt konnte sich diese Klassifikation im klinischen Alltag nicht durchsetzen.

### Das Binary-fracture-description System nach Hertel

Das System der Frakturklassifikation nach Hertel [32] beruht im Gegensatz zu Codman's vier unterschiedlichen Fragmenten, auf fünf unterschiedlichen Frakturebenen. Diese ergeben sich aus den folgenden Fragen:

1. Gibt es eine Fraktur zwischen Tuberculum majus und Kopffragment?
2. Gibt es eine Fraktur zwischen Tuberculum majus und Schaft?
3. Gibt es eine Fraktur zwischen Tuberculum minus und Kopffragment?
4. Gibt es eine Fraktur zwischen Tuberculum minus und Schaft?
5. Gibt es eine Fraktur zwischen Tuberculum majus und Tuberculum minus?

Daraus ergeben sich 12 verschiedene Frakturmöglichkeiten, die Hertel bildhaft mit LEGO® Bauteilen darstellte.

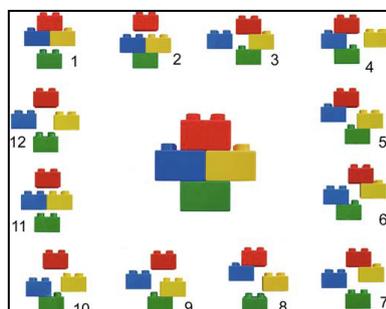


Abb. 5: Darstellung der Hertel-Klassifikation mittels LEGO® Steinen

Das grüne LEGO® Teil steht für den Humerusschaft, das rote LEGO® Teil für das Kopffragment, das blaue LEGO® Teil für das Tuberculum majus und das gelbe LEGO® Teil für

das Tuberculum minus. Es sind somit 6 mögliche Frakturen mit zwei Teilen des Humeruskopfes, fünf mögliche Frakturen mit drei Teilen des Humeruskopfes und eine mögliche Fraktur mit vier Fragmenten.

Zusätzlich stellte Hertel 7 weitere Fragen auf.

6. Wie lang ist die posteromediale metaphysäre Kalottenextension („medialer Spickel“)?

7. Wie groß ist die Dislokation zwischen Kopffragment und Schaft?

8. Wie groß ist die Dislokation zwischen den Tuberkula und dem Kopffragment?

9. Wie groß ist die Abkipfung des Kopffragments?

10. Ist es eine Humeruskopfluxationsfraktur?

11. Gibt es eine Kalottenimpression?

12. Gibt es eine Head-Split Komponente?

Mit diesen Fragen kann man das Risiko für eine später auftretende aseptische Kopfnekrose abschätzen und entsprechend die Therapie planen.

## **1.9. Die Therapieformen und Operationsindikationen**

### Die konservative Therapie

60-85% aller proximalen Humerusfrakturen sind undisloziert bis gering verschoben und können konservativ therapiert werden. Damit können gute bis sehr gute funktionelle Ergebnisse erzielt werden [14, 16, 26-28, 37, 39, 47, 51, 68, 80].

Das Prinzip der konservativen Therapie geht zurück auf Richard Poelchen und beinhaltet zunächst die Ruhigstellung der verletzten Schulter im Gilchristverband unter entsprechender Analgesie. Die Dauer der Ruhigstellung beträgt, je nach Stabilität der Fraktur, ein bis vier Wochen. Im Anschluss erfolgt eine frühfunktionelle Behandlung mittels Pendelübungen unter Längszug des Armes. Dafür wird dem Patienten idealerweise ein Gewicht an das Handgelenk gebunden. Röntgenkontrollen im Verlauf sind indiziert, um ein sekundäres Abrutschen der Fraktur auszuschließen [1].

### Operative Möglichkeiten früher und heute

Ziele der operativen Versorgung sind eine anatomische Reposition und exakte Wiederherstellung der Gelenkflächen. Bis Ende der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts war

die T-Platten Osteosynthese oder Minimalosteosynthesen (K-Drähte, Schrauben, Zuggurtungen) die Therapie der Wahl. Hiermit wurden sehr unterschiedliche funktionelle Resultate erzielt [39]. Aufgrund der nicht zufriedenstellenden Ergebnisse wurden diese Verfahren mittlerweile durch winkelstabile Implantate (Platte und Marknagel) als Standardverfahren verdrängt. Die winkelstabile Plattenosteosynthese soll den Vorteil haben, die Periostdurchblutung durch geringeren Anpressdruck der Platte zu erhalten und somit das Risiko für das Auftreten einer Kopfnekrose reduzieren. Gleichzeitig soll durch die Winkelstabilität der Implantate eine ausreichende Stabilität im osteoporotischen Knochen erreicht und ein sekundäres Nachsintern vermieden werden [29, 30].

### Die Operationsindikationen

Neer beschrieb 1970 als Operationsindikation bei proximalen Humerusfrakturen Dislokationen größer 1 cm und eine Achsabkippung Kopf gegen Schaft größer 45°. Hierbei machte er keine Unterscheidung zwischen dem Ort der Dislokation, Schaftfragment gegen Kopffragment oder Tuberculafragment zum Kopffragment [60].

Resch machte in seiner Arbeit 2003 einen Unterschied in der Dislokation Kopf/Schaft und Tubercula/Schaft. Er beschreibt eine Dislokation der Tubercula größer 5 mm als nicht zeitgemäß und empfahl bereits in diesen Fällen eine osteosynthetische Versorgung [68].

In den letzten Jahren wurde dieser Dislokationsgrad weiter reduziert. H. Lill und C. Voigt forderten 2010 eine anatomische Reposition und Osteosynthese bei jeglicher Dislokation im Tubercula Bereich [53].

Einigkeit besteht über die Zeit bei offenen Frakturen, großen Hämatomen im Oberarmkopfbereich mit der Gefahr von Hautnekrosen und Gefäß-/Nervenläsionen, die eine sofortige Operationsindikation darstellen [79].

Head-Split-Frakturen und Mehrfragmentfrakturen beim jüngeren Menschen werden nach Möglichkeit osteosynthetisch versorgt. Beim älteren Patienten wird hier bereits eher die Indikation zur Frakturoprothese gestellt [69].

Die Operationsindikation in unserem Patientengut wurde entsprechend der aktuellen Literatur gestellt. Als Dislokationskriterien galten Fragmentdislokationen > 10 mm im Schaft-/Kalottenbereich, > 5 mm im Tuberculabereich und/oder eine Achsabkippung Kopf gegen Schaft > 45° [79].

### **1.10. Die operativen Zugangswege zum proximalen Humerus**

Als operativer Zugang zur Plattenosteosynthese am proximalen Humerus stehen zwei Standardzugänge zur Verfügung. Neben dem deltoideopectoralen Zugang ist dies der Delta-Splitting-Zugang. Dieser kann als erweiterter anterolateraler Delta-Splitting-Zugang oder als anterolateraler Delta-Splitting-Zugang in Doppel-Inzisions Technik durchgeführt werden. Ursprünglich kommt dieser Zugang aus der rekonstruktiven Rotatorenmanschetten-Chirurgie, wo am distalen Schnittende gelegentlich eine Sicherungsnaht zum Schutz des N. axillaris angelegt wird. Ebenfalls zur Anwendung kommt der kurze Delta-Splitting-Zugang bei der antegraden Nagelung von Oberarmfrakturen [50].

Vorteile des deltoideopectoralen Zugangs sind eine gute Übersichtlichkeit bei Repositionen im Bereich der Kalotte und des Tuberculum minus. Gleichzeitig kann intraoperativ problemlos bei nicht rekonstruktionsfähigem Frakturbefund auf eine Frakturotoprothese gewechselt werden [70, 78].

Ein Nachteil beim deltoideopectoralen Zugang ist eine schlechtere Übersicht über die lateralen Aspekte des Oberarmes. Dies kann zu Problemen in der Reposition der häufigen Tuberculum majus Frakturen führen und gleichzeitig ein korrektes Platzieren der winkelstabilen Platte erschweren [20, 21]. Der erhöhte Zug an den Weichteilen der Schulter, um eine anatomische Reposition und regelrechte Lage des Osteosynthesematerials zu erzielen, soll eine weitere Minderdurchblutung des Kopfes zur Folge haben und das Risiko für das Auftreten einer aseptischen Kopfnekrose erhöhen [20, 71].

Der anterolaterale Delta-Splitting-Zugang in Doppel-Inzisions Technik und erweiterter Schnittführung erlauben eine deutliche bessere intraoperative Darstellung des Tuberculum majus. Damit kommt es gleichzeitig zu einer geringeren Weichteiltraumatisierung. Ebenso kann die korrekte Lage der Platte am lateralen Anteil des Humerus deutlich einfacher dargestellt werden. Als Nachteile sind die schlechte Übersicht im Bereich der Kalotte und des Tuberculum minus bekannt. Ferner wird der Verlauf des N. axillaris als limitierender Faktor in der Länge des Zugangs angegeben [20, 21, 31, 50, 71, 72].

	Vorteil	Nachteil
<b>deltoideopectoraler Zugang</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gute Übersicht über Kalotte und Tuberculum minus</li> <li>- intraoperativer Wechsel auf Frakturendoprothese gut möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- schlechte Erreichbarkeit des Tuberculum majus und eingeschränkte Darstellbarkeit des optimalen Plattenlagers</li> <li>- größere Weichteiltraumatisierung</li> <li>- höhere Rate an Kopfnekrosen</li> </ul>
<b>Delta-Splitting-Zugang</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gute Übersicht über laterale Humeruskopfanteile</li> <li>- geringerer Weichteilzug und damit verbunden geringere Rate an aseptischen Kopfnekrosen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- schlechte Übersicht im Bereich der Kopfkalotte und des Tuberculum minus</li> <li>- mögliche Affektion des N. axillaris</li> <li>- Wechsel im operativen Vorgehen schwieriger</li> </ul>

Tab. 1: Vergleich deltoideopectoraler und Delta-Splitting-Zugang

### 1.10.1. Der deltoideopectoraler Zugang

Der deltoideopectoraler Zugang ist in der Literatur gut beschrieben und wird sehr häufig angewendet [3, 4, 19, 30, 34, 42, 67]. Es wird ein circa 10-12 cm langer Hautschnitt vom Processus coracoideus nach distal Richtung vordere Achselfalte geführt. Nach scharfer Durchtrennung der Subcutis wird durch den Sulcus deltoideopectoralis stumpf eingegangen. Die Vena cephalica wird wegen ihrer zahlreichen deltoidealen Seitenäste nach lateral gehalten. Durch den Sulcus erfolgt die weitere Präparation in die Tiefe auf den Humeruskopf, welcher hier gut zugänglich ist [3, 4, 19, 30, 34, 42, 67].

### 1.10.2. Der erweiterte anterolaterale Delta-Splitting-Zugang

In Klinik für Unfallchirurgie der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg wird zur winkelstabilen Plattenosteosynthese bei Oberarmkopffraktur in der Regel der erweiterte Delta-Splitting-Zugang als operativer Zugangsweg verwendet. Der Hautschnitt wird von der anterolateralen Akromionkante nach distal geführt (Abb. 6). Die Spaltung des M. deltoideus erfolgt anschließend idealerweise in einem Muskelseptum zwischen Pars clavicularis und Pars acromialis. Nach Spaltung der Bursa subdeltoidea wird der N. axillaris palpirt und unter Schonung der begleitenden Gefäße angeschlungen (Abb. 7). Anschließend erfolgt nach entsprechender Reposition der Fraktur und temporärer Retention mit Kirschner Drähten, das Einschleiben der winkelstabilen PHILOS® Platte von proximal unter den N. axillaris. Bei

Frakturen der Tubercula erfolgt gegebenenfalls eine Zuggurtung mittels an der PHILOS® Platte vorgelegten Mersilene® Fäden (Fa. Ethicon, nicht resorbierbar, geflochten) (siehe Abb. 8) [21].



Abb. 6: Hautschnitt von der anterolateralen Akromionkante nach distal



Abb. 7: Darstellung und Anschlingung des N. axillaris mit begleitenden Gefäßen



Abb. 8: Eingeschobene PHILOS® Platte von proximal unter den N. axillaris

## **1.11 Die Probleme der Versorgung**

### **1.11.1. Die aseptische Humeruskopfnekrose**

Als Komplikation ist die aseptische Humeruskopfnekrose relevant. Das Auftreten einer Nekrose, ob partiell oder total, hat letztlich auch einen Einfluss auf das funktionelle Ergebnis [10, 23, 25, 26, 52]. Insofern ist es wichtig, entsprechende Risikozeichen bereits bei Behandlungsbeginn zu erkennen. Eine Nekrose kann sowohl nach konservativer als auch nach operativer Therapie auftreten und ist der besonderen arteriellen Versorgung des Oberarmkopfes geschuldet [23, 25, 50]. Über das Nekroserisiko entscheiden im wesentlichen die Anzahl der Fragmente, die Bruchhöhe (im anatomischen oder chirurgischen Hals) sowie der Dislokationsgrad [26]. Frakturen im anatomischen Hals haben aufgrund der vaskulären Situation gegenüber Frakturen im chirurgischen Hals ein deutlich höheres Nekroserisiko. Wenn die Fraktur im chirurgischen Hals auftritt, sind die A. arcuata und die periostalen Gefäße weniger gefährdet. Anders ist es bei Frakturen im anatomischen Hals, wo die eintretende A. arcuata extrem gefährdet ist. Auch eine Absprengung des Tuberculum minus weist auf eine Gefährdung der A. arcuata hin. Wenn zusätzlich noch Periost und Kapselverbindungen medial am anatomischen Hals durch Lateralisation der Kalotte abgerissen sind, ist die letzte verbleibende Gefäßversorgung zum Kopfsegment unterbrochen und die Ernährung kann nur noch per diffusionem erfolgen. Für die Einschätzung des Nekroserisikos ist daher relevant, ob durch epiphysäre Translationsverschiebung die mediale Periostverbindung zum Kalottensegment unterbrochen wurde [26]. Resch und Kollegen führten aus diesem Grund biomechanische Untersuchungen an Leichenpräparaten durch. Sie zeigten eine Unterbrechung des medialen Periostes makroskopisch bei einer Lateralverschiebung des artikulären Kopfsegmentes > 9 mm und bei einer Medialverschiebung > 6 mm gegenüber dem Schaft. Aufgrund der häufig komplexeren Frakturmorphologie mit Abkipfung des Kopffragmentes nach dorsal forderten die Autoren weitergehende Untersuchungen [68]. Hertel et al. untersuchten an Hand ihrer Klassifikation 2004 die Vorhersagekraft für das Auftreten einer Humeruskopfnekrose retrospektiv an Patienten. Hier zeigte sich eine durchschnittliche ad-latus Translation des Kopfes gegen das Schaftfragment von 13mm bei ischämischen Kopffragmenten und 4 mm bei weiterhin perfundierten Kopffragmenten. Mit der Kombination aus Fraktur im anatomischen Hals, kurze dorsomediale metaphysäre Kalottenextension und unterbrochene mediale Periostverbindung kamen sie auf einen positiven prädiktiven Wert von 97% [33].

Auch die verwendete Osteosynthese hat vermeintlich Einfluss auf die Rate an Kopfnekrosen. Für die Minimal- und nicht-winkelstabile T-Platten-Osteosynthese werden in der Literatur Raten von Humeruskopfnekrosen von bis zu 45% angegeben. Dies konnte durch die winkelstabilen Implantate bereits deutlich reduziert werden. Allerdings beträgt auch bei der winkelstabilen Plattenosteosynthese das Risiko für eine Humeruskopfnekrosen bis zu 20% [10, 18, 25].

Gerber und Kollegen wiesen bereits 1998 nach, dass Kopfnekrosen auch noch nach mehr als 5 Jahren nach Trauma beziehungsweise osteosynthetischer Versorgung auftreten können [23]. Greiner et al. fanden in ihrer Langzeitnachuntersuchung von proximalen Humerusfrakturen nach Osteosynthese mittels winkelstabiler Platte auch nach 45 Monaten noch neu aufgetretene Kopfnekrosen [25]. Eine langfristige Nachbetreuung der Patienten sollte erfolgen.

#### **1.11.2. Die iatrogene Affektion des N. axillaris**

Die Gefahr einer Verletzung des N. axillaris ist beim Delta-Splitting-Zugang gegeben und wird auch so in den Arbeiten zum Zugang angegeben. Der Verlauf des N. axillaris ist gleichzeitig der limitierende Faktor des Zugangs [20, 21, 31, 44, 48, 50, 61, 70, 71, 74-77]. Ausfälle des N. axillaris äußern sich in einer verminderten Abduktionsfähigkeit des Armes sowie Sensibilitätsstörungen am lateralen Oberarm im autonomen Versorgungsgebiet des N. axillaris [21, 31, 50, 78]. Aus diesem Wissen heraus, und mit dem Ziel, eine möglichst sichere operative Versorgung unter Vermeidung einer N. axillaris Affektion zu erreichen, wurden mehrere anatomische Untersuchungen durchgeführt. Gardner et al. untersuchten 20 Kadaverschultern. Es wurde in 0° Abduktionsstellung der Schulter, von der anterolateralen Akromionkante beginnend, ein ca. 8-10 cm langer Hautschnitt nach distal gezogen. Das subkutane Gewebe wurde getrennt um die Bindegewebsschicht zwischen ventralem und mittlerem Deltaanteil darzustellen. Unterhalb des Akromions wurde hier ein ca. 2 cm langer Schnitt durchgeführt. Anschließend wurde mit dem Finger der N. axillaris aufgesucht und unter Schutz des Nervens der Schnitt nach distal erweitert. Im Anschluss wurden an den anatomischen Präparaten Längenmessungen durchgeführt. So stellte sich die mittlere Entfernung des N. axillaris vom unteren Rand des Akromion mit 65 mm dar [21].

Röderer et al. bevorzugten in ihrer Arbeit 2007 die Verwendung eines Zielbügels im Rahmen eines minimalinvasiven Delta-Splitting [75]. 2010 veröffentlichten Röderer und Kollegen eine

anatomische Arbeit, um das Risiko einer N. axillaris Verletzung abzuschätzen zu können [73]. Hierfür wurden 10 frische Kadaverschultern in identischer Weise operiert. Der Hautschnitt wurde in einer Länge von ca. 4 cm beginnend 1 cm oberhalb der anterolateralen Akromionkante nach distal gezogen. Dann erfolgte ein scharfes Durchtrennen des M. deltoideus und Ablösen des M. deltoideus von der Humerusdiaphyse mittels Elevatorium. Von proximal wurde im nächsten Schritt die winkelstabile Platte (NCB-PH®, Fa. Zimmer, Winterthur, Schweiz) eingeschoben. Über eine entsprechende Röntgenkontrolle wurde die korrekte Lage der Platte 1 cm unterhalb des Tuberculum majus nachgewiesen und die Platte mittels Kirschner-Drähten fixiert. Die perkutane Verschraubung wurde mittels Stichinzisionen über den angebrachten Zielbügel durchgeführt. Im Anschluss erfolgte die schrittweise Darstellung des N. axillaris unter Entfernung des M. deltoideus zur Beurteilung einer eventuellen Verletzung des Nervens und Lage des Nervens zur Platte. In allen Fällen lag der N. axillaris direkt über der eingeschobenen Platte. In einem Fall (Inzidenz 5%) wurde die Verletzung eines Nervenastes dokumentiert. Insgesamt wird das minimal invasive Vorgehen von den Autoren als sicher angesehen. Als limitierender Faktor des Zugangs wird die Frakturposition betrachtet. Für den Fall der unzureichenden Reposition ist die Erweiterung des operativen Zugangs notwendig und kann analog der Arbeit von Gardner 2004 als erweiterter Delta-Splitting-Zugang durchgeführt werden [21].

Saran und Kollegen veröffentlichten 2010 ebenfalls eine anatomische Arbeit zum minimal-invasiven Delta-Splitting-Zugang [77]. Der operative Zugang wurde in gleicher Weise wie von Röderer 2007 beschrieben durchgeführt. Als Osteosynthesemittel wurde die 3,5 mm LCP Proximal Humerus Plate® der Firma Synthes (Schweiz) mit entsprechendem Zielbügel gewählt. Über den Zielbügel ist das vollständige Besetzen der Plattenlöcher perkutan nicht möglich. Durch den Hersteller wurde über verschiedene anatomische Arbeiten der Verlauf des N. axillaris in Bezug auf die Platte abgeschätzt und die Schraubenlöcher D, E1 und E2 im Zielbügel (siehe Abbildung 5) blockiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurden 8 Kadaverschultern über den bereits von Röderer beschriebenen operativen Zugang operiert.

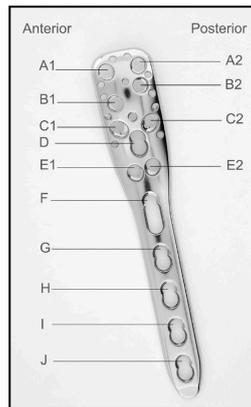


Abb. 9: 3,5 mm LCP Proximal Humerus Plate® der Firma Synthes (Schweiz) mit Beschriftung der Plattenlöcher  
[77]

Im Anschluss wurde der N. axillaris anatomisch präpariert und Distanzmessungen zu den eingesetzten Schrauben durchgeführt. Die Schrauben C 1 und C 2 verliefen durchschnittlich 15,1 bzw. 16,8 mm oberhalb des N. axillaris. Die Schrauben F und G durchschnittlich 6,6 bzw. 23 mm unterhalb des N. axillaris. In 2 von 8 Fällen verlief die Schraube F lediglich 2 mm entfernt vom N. axillaris. Die Autoren schlossen aufgrund der erhobenen Daten, dass eine sichere Versorgung der proximalen Humerusfraktur über den minimal invasiven Delta-Splitting-Zugang mittels Zielbügel und unter Auslassen der Schrauben C, D, E und F ohne Verletzung des N. axillaris möglich ist. Falls die anatomische Reposition weitere Schrauben benötigt, sollte der N. axillaris palpirt und dargestellt werden, um eine Verletzung zu vermeiden. Als Voraussetzung für ein minimal invasives Vorgehen wird ebenfalls ein anatomisches Repositionsergebnis vor Einschleiben der Platte angesehen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Die Nachuntersuchung

Im Rahmen dieser Arbeit sollten alle Patienten der Klinik für Unfallchirurgie der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, die zwischen dem 01.01.2005 und dem 31.12.2008 operativ mit einer PHILOS® Platte (PHILOS = Proximal Humerus Interlocking System, Firma Synthes) versorgt wurden, nachuntersucht werden (n=80).

Nach Vorliegen des positiven Votums (144/09) der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg wurden diese Patienten schriftlich über die geplante Nachuntersuchung informiert und gebeten, sich telefonisch zur Terminabsprache zu melden.

Die klinische Nachuntersuchung erfolgte bei allen Patienten einheitlich durch den Autor. Zunächst wurden mittels der vorliegenden Krankenakte folgende Parameter erfasst: Alter des Patienten zum Unfallzeitpunkt, das Geschlecht, die verletzte Seite, Art des Unfalls, eventuelle Begleitverletzungen, Zeitpunkt der Operation nach Unfall, die Operationsdauer und die Dauer des stationären Aufenthaltes.

Als Ausdruck der Morbidität der Patienten wurde der ASA-Score (American Society of Anaesthesiology, 1963) erhoben.

Es wurden weiterhin die postoperativen Komplikationen erfasst: Wundinfektionen (Kriterien nach Center of Disease Control and Prevention, USA), die Ausbildung einer Pseudarthrose, eine Sekundärdisklokation der Fragmente, primäre und sekundäre Materialfehlagen, sekundäre Sinterungen, Materialbrüche und erforderliche Revisionsoperationen.

Im Rahmen der klinischen Untersuchung wurde das subjektive Befinden der Patienten erfragt und es wurden mit ihm zusammen die subjektiven Frageteile der verwendeten Scores ausgefüllt. In der klinischen Untersuchung wurde zunächst mittels Goniometer die Beweglichkeit beider Schultern in Saggital- (Ante- und Retroversion), Frontal- (Ab- und Adduktion) und Transversalebene (Innen- und Außenrotation) ausgemessen. Ebenso wurde die Distanz von der anterolateralen Akromionkante zum distalen Narbenende dokumentiert. Es wurden die periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität untersucht. Klinische Zeichen für mögliche periphere Läsionen des N. axillaris in Form von Atrophien des M. deltoideus (objektiviert als Umfangsmessung des Oberarmes in Höhe Achsel) als auch sensiblen Störungen im autonomen Versorgungsgebiet des N. axillaris (N. cutaneus brachii lateralis superior) am lateralen proximalen Oberarm wurden dokumentiert. Eine Röntgenkontrolle von der ehemals verletzten Schulter wurde in den drei Standardebenen angefertigt. Zur Objektivierung einer möglichen N. axillaris Affektion erfolgte eine neurophysiologische Untersuchung.

## **2.2. Das Patientenkollektiv**

Insgesamt konnten 46 Patienten (57,5%) für die Nachuntersuchung gewonnen werden. 19 Patienten (23,8%) lehnten eine Nachuntersuchung aus persönlichen Gründen ab. 9 Patienten (11,3%) waren zur Nachuntersuchung bereits verstorben. 6 Patienten (7,5%) konnten weder schriftlich noch telefonisch erreicht werden.

Von denen zur Nachuntersuchung erschienenen 46 Patienten wurden 42 Patienten (91%) über einen anterolateralen Delta-Splitting-Zugang und 4 (9%) über den deltoideopectoralen Zugang operativ versorgt. Bei diesen vier Patienten wurde erst intraoperativ die Entscheidung zur Osteosynthese und gegen Frakturendoprothese gestellt. Von diesen 42 Patienten wiederum konnte bei 40 Patienten (95%) die vollständige neurophysiologische Nachuntersuchung erfolgen. Bei zwei Patientinnen konnte auf Grund eines persistierenden Vorhofflimmerns und Falithrom-Dauertherapie eine EMG nicht durchgeführt werden. Somit konnten 40 von 80 Patienten in die statistischen Untersuchungen einbezogen werden (siehe Abb. 10).

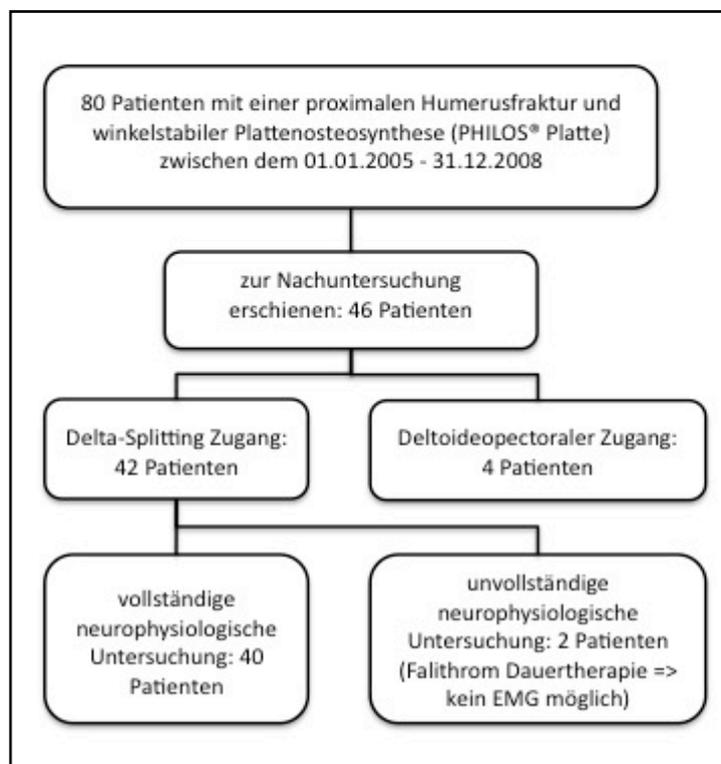


Abb. 10: Darstellung des Patientenkollektivs

In 27 von 40 Fällen (67,5%) handelte es sich um eine proximale Humerusfraktur der rechten Seite. Bei 26 von 40 Patienten (65,0%) war die verletzte Seite gleichfalls die dominante Seite.

Hinsichtlich des Allgemeinzustandes der Patienten fanden sich in unserem Kollektiv 7 ASA I Patienten (17,5%), 23 Patienten mit ASA II (57,5%) und 10 Patienten mit ASA III (25,0%).

Bei 9 Patienten (22,5%) bestand zur Operation ein medikamentenpflichtiger Diabetes mellitus. 22 von 40 Patienten (55,0%) litten unter einer kardiovaskulären Nebenerkrankung

wie arterieller Hypertonie, Zustand nach Herzinfarkt oder Apoplex, Herzrhythmusstörung und ähnlichem.

### **2.3. Präoperativ durchgeführte radiologische Diagnostik und Fragmentdislokationen**

Standardisiert wurde in der Klinik für Unfallchirurgie zur Diagnostik der proximalen Humerusfraktur die Trauma-Serie im Röntgen durchgeführt. Bei 21 der 40 nachuntersuchten Patienten (52,5%) lagen zur Operation true a. p., y-view und axiale Schulteraufnahme vor. Bei 17 Patienten (42,5%) war die axiale Aufnahme auf Grund von Schmerzen nicht durchführbar. In 5% der Fälle (zwei Patienten) lagen zur Operation sowohl die axiale als auch die y-view Aufnahme aufgrund einer Mehrfachverletzung nicht vor. In diesen Fällen wurde aus der durchgeführten CT-Trauma-Spirale die Schulter herausgerechnet und dargestellt.

Bei 15 weiteren Patienten erfolgte präoperativ eine Computertomographie der Schulter. Insgesamt lag somit bei 17 der 40 Patienten (42,5%) eine CT präoperativ vor. Bei 8 Patienten (20%) lag zur Operation weder eine axiale Aufnahme noch eine Computertomographie der verletzten Schulter vor. Eine Magnetresonanztomographie der Schulter wurde bei keinem Patient durchgeführt.

In allen true a. p. Röntgenaufnahmen vom Unfall konnten folgende Parameter als mögliche Risikofaktoren für das Auftreten einer aseptischen Knochennekrose bestimmt werden.

#### Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension (medialer Spickel)

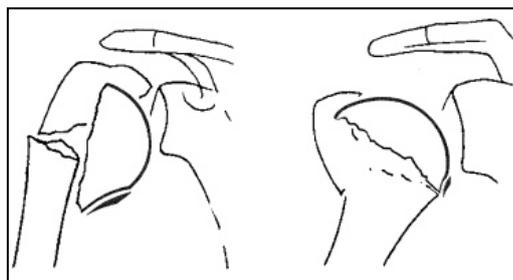


Abb. 11: Darstellung der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension, links langer medialer Spickel, rechts kurzer medialer Spickel aus Hertel 2005 [32]

<b>Codman-Klassifikation</b>	<b>Mittelwert (mm)</b>	<b>SD (± mm)</b>
alle Patienten (n= 40)	11,33	9,20
2-Fragment (n= 4)	14,00	8,29
3-Fragment (n=20)	14,15	10,60
4-Fragment (n=13)	6,15	4,38
Head-Split-Frakturen (n=2)	9,00	12,73
Humerusschaftfraktur mit Kopfkomponente (n=1)	16,00	0,00

Tab. 2: Einteilung der Frakturen nach Codman und jeweilige Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension

<b>NEER-Klassifikation</b>	<b>Mittelwert (mm)</b>	<b>SD (± mm)</b>
III (n=8)	12,38	5,83
IV (n=19)	13,05	10,23
V (n=7)	5,43	3,91
VI (n=3)	11,33	17,10

Tab. 3: Einteilung der Frakturen nach NEER und jeweilige Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension

### Ad-latus Verschiebungen der Kopfkalotte

Die präoperative ad-latus Verschiebung des Kopffragmentes gegen den Humerusschaft ist in den Tabellen 4 und 5 dargestellt. Nach Hertels Arbeit aus 2005 ist auch die Verschiebung insgesamt aufgeführt, um eine aussagefähigere Statistik zu erzielen [32].

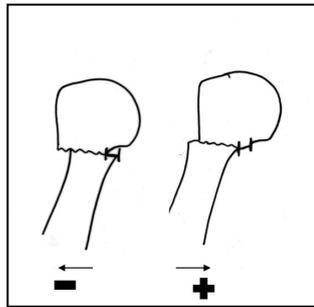


Abb. 12: Darstellung der ad-latus Verschiebung Humeruskopf gegen Schaft nach lateral (-) und medial (+)

Codman-Klassifikation	Verschiebung insgesamt MW ± SD	nur mediale Verschiebung (n)	MW ± SD	nur laterale Verschiebung (n)	MW ± SD
alle Patienten (n=40)	-5,80 ± 18,66	19	7,20 ± 6,3	21	-17,5 ± 18,43
2-Fragment (n=4)	-19,75 ± 9,18	0		4	-19,75 ± 9,18
3-Fragment (n=20)	0,30 ± 11,34	10	9,30 ± 7,65	10	-8,70 ± 5,76
4-Fragment (n=13)	-12,85 ± 26,54	6	5,83 ± 2,04	7	-28,86 ± 27,52
Head-Split-Frakturen (n=2)	4,00 ± 5,66	2	4,00 ± 5,66	0	
Humerusschaft- fraktur mit Kopfkomponente (n=1)	0,00	1	0,00	0	

Tab. 4: Einteilung der Frakturen nach Codman und jeweilige ad-latus Verschiebung in Millimeter (mm)

NEER-Klassifikation	Verschiebung insgesamt MW ± SD	mediale Verschiebung (n)	MW ± SD	laterale Verschiebung (n)	MW ± SD
III (n=8)	-8,00 ± 15,28	2	12,00 ± 0,00	6	-14,67 ± 10,65
IV (n=19)	-3,47 ± 11,51	9	6,33 ± 5,10	10	-12,30 ± 7,70
V (n=7)	-15,71 ± 33,14	3	4,67 ± 1,53	4	-31,00 ± 38,31
VI (n=3)	0,00 ± 29,82	2	16,50 ± 12,02	1	-33,00

Tab. 5: Einteilung der Frakturen nach NEER und jeweilige ad-latus Verschiebung in Millimeter (mm)

### Kopf-Schaft Winkel

Für den Kopf-Schaft Winkel wurde der Winkel zwischen Schaftachse und Kopfachse auf  $5^\circ$  bestimmt. Dabei wird die Kopfachse als Lot zwischen der am weitesten lateral und medial sichtbaren Punkten des anatomischen Halses gezogen. Der normale Kopf-Schaft Winkel wird mit  $125-145^\circ$  angegeben [6]. Eine valgische Fehlstellung besteht bei einem Winkel größer  $145^\circ$ , eine varische Fehlstellung bei einem Winkel kleiner  $125^\circ$ .

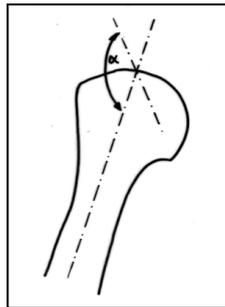


Abb. 13: Bestimmung des Kopf-Schaft Winkels

<b>Codman-Klassifikation</b>	<b>Mittelwert (°)</b>	<b>SD (± °)</b>
alle Patienten (n=40)	117,63	28,49
2-Fragment (n=4)	161,25	30,92
3-Fragment (n=20)	116,75	19,55
4-Fragment (n=13)	108,46	30,65
Head-Split-Frakturen (n=2)	117,50	10,67
Humerusschaftfraktur mit Kopfkompente (n=1)	80	0

Tab. 6: Einteilung der Frakturen nach Codman und jeweiliger Kopf-Schaft Winkel

NEER-Klassifikation	Mittelwert (°)	SD (± °)
III (n=8)	145,00	31,50
IV (n=19)	112,89	15,03
V (n=7)	104,29	37,69
VI (n=3)	118,33	38,19

Tab. 7: Einteilung der Frakturen nach NEER und jeweiliger Kopf-Schaft Winkel

## 2.4. Die Bestimmung des funktionellen Ergebnisses in der Nachuntersuchung

### Der Constant-Murley-Score (CM-Score)

Dieser Score zur Beurteilung der Schulter-Arm Funktion wurde von Constant und Murley 1987 publiziert [13]. Das Bewertungssystem basiert sowohl auf subjektiven als auch auf objektiven Kriterien, für welche maximal 100 Punkte erreicht werden können. Als objektiver Parameter wird, neben der Schulterbeweglichkeit in allen Ebenen, auch die Kraft gemessen. Für die Kraftmessung gab es in der Folgezeit in der Literatur unterschiedliche Angaben, so dass die Autoren 2008 eine Empfehlung zu einer einheitlichen Kraftmessung veröffentlichten. Hier beschreiben die Autoren, dass für die Kraftmessung der Schulter der Arm 90° abduziert, der Ellenbogen durchgestreckt und die Hand vollständig proniert werden soll [12]. Die Kraftmessung sollte mittels geeichter Federwaage durchgeführt und dreimal wiederholt werden. Gegebenfalls sind die Messungen mit einem elektronischen Messgerät durchzuführen. Aus diesen Messungen soll ein Mittelwert gebildet werden. Für jedes gehobene Pfund (1 Pfund = 0,45 kg) wird ein Punkt vergeben, bei einem Gewicht von größer gleich 25 Pfund (= 11,34 kg) ist der Maximalwert von 25 erreicht. Der Patient, der den Arm nicht 90° abduzieren kann, bekommt automatisch 0 Punkte. Dieser Messaufbau wurde in unsere Studie übernommen. Eine geeichte Federwaage wurde zur Kraftmessung verwendet. Zusätzlich wurde durch mehrere Autoren nachgewiesen, dass unterschiedliche Punktwerte im CM-Score in Abhängigkeit des Lebensalters und des Geschlechtes resultieren. Entsprechende Tabellen liegen vor [2, 40, 87]. Der Constant-Murley-Score in Verbindung mit der Adaption nach Katolik ist heute in der Literatur weit verbreitet und anerkannt [22, 25, 31].

Männer	Alter	Frauen
95	18 - 29	88
95	30 - 39	87
96	40 - 49	86
94	50 - 59	84
92	60 - 69	83
88	70 - 79	81

Tab. 8: Faktor zur Berechnung des adaptierten Constant-Murley-Score nach Katolik [40]

Die Berechnung des adaptierten CM-Werten ergibt sich aus:

$$\text{CM adapt.} = (\text{Ist-Wert}) / (\text{Faktor}) \times 100$$

In der Bewertung der Ergebnisse liegt ein ausgezeichnetes funktionelles Resultat bei einem CM-Score von 91-100 Punkten vor. Ein gutes Ergebnis bei 81-90 Punkten, befriedigend bei 71-80 Punkten und ausreichend bei 61-70 Punkten. Ein schlechtes funktionelles Ergebnis ist ab einer Punktzahl kleiner 61 gegeben.

### Der DASH-Score

Der DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) Score ist ein rein subjektiver Score zur Erfassung der Funktion der oberen Extremität. Er wurde 1996 durch die American Academy of Orthopaedic Surgeons entwickelt [36]. Ziel war es, einen Score zu entwickeln, der vom Patienten alleine ausgefüllt werden kann, aber gleichzeitig die Funktionseinschränkungen und Beschwerden gut wieder gibt. Eine validierte deutsche Übersetzung wurde 2003 durch Germann et al. vorgelegt [24].

Die Berechnung der DASH-Punktzahl erfolgte nach:

$$\text{DASH} = (\text{Summe aller einzelnen Punktwerte} - \text{Anzahl aller beantworteten Fragen}) / \text{Bandbreite.}$$

Wobei gilt: Bandbreite = (Maximalsumme aller beantworteten Fragen - Anzahl der beantworteten Fragen) / 100.

Als Ergebnis wird ein Punktwert zwischen 0 und 100 errechnet, wobei 0 keine Einschränkungen und 100 erheblichen Einschränkungen entspricht [24].

## **2.5. Die radiologische Kontrolle zur Nachuntersuchung**

Im Rahmen der Nachuntersuchung wurden alle Patienten einer nativ-radiologischen Kontrolle mittels Trauma-Serie unterzogen.

Kriterien, die mit diesen Röntgenbildern überprüft wurden, waren die knöcherne Konsolidierung der Fraktur, eine mögliche varische oder valgische Fehlstellung (normaler Kopf-Schaft Winkel 125-145°[6]), dislozierte Tubercula und mögliche Implantat-Fehllagen (Schrauben und/ oder Platte).

Eine als Komplikation angesehene varische oder valgische Fehlstellung postoperativ besteht ab einer Fehlstellung von  $\pm 40^\circ$  (Kettler 2006 [42]) bzw.  $\pm 45^\circ$  (Voigt 2007 [84]) vom normalen Kopf-Schaft Winkel.

Eine zu hohe Plattenlage wurde definiert als eine Plattenlage kleiner 5 mm kaudal des Ursprungs des Tuberculum majus [84].

Bei Vorliegen einer aseptischen Kopfnekrose erfolgte die Einteilung nach Cruess [17].

Im Stadium I der Kopfnekrose nach Cruess finden sich nativ-radiologisch keine Veränderungen. Lediglich im MRT finden sich im T1-gewichteten Bild Signalveränderungen des subchondralen Knochens.

Stadium II ist bereits im konventionellen Röntgen sichtbar. Hier finden sich lokal eine Osteopenie und Sklerose. Die Form des Humeruskopfes ist noch erhalten.

Stadium III ist gekennzeichnet von lokal begrenzten subchondralen Frakturzonen bei lediglich diskreter Entrundung des Humeruskopfes.

Stadium IV zeigt bereits nativ-radiologisch eine deutliche Abflachung und Entrundung des Humeruskopfes mit Zunahme der Sklerosezone. Lose osteochondrale Fragmente können ebenfalls vorliegen.

Im Stadium V kommt es zu zusätzlichen Veränderungen des Glenoids.

## **2.6. Die neurophysiologische Untersuchung**

Mittels standardisierter neurophysiologischer Untersuchungen wurden die Patienten auf mögliche Affektionen des N. axillaris objektiv untersucht. Zunächst wurde mittels motorischer Neurographie die Überleitung des N. axillaris zum M. deltoideus im

Seitenvergleich gemessen. Mit der cervikalen Magnetstimulation wurde die Überleitungszeit vom Rückenmark zum M. deltoideus im Seitenvergleich bestimmt. Des Weiteren wurden somatosensorisch evozierte Potentiale (SEP) mit Stimulation im sensiblen autonomen Versorgungsgebiet des N. axillaris (lateraler Oberarm) und anschließender Ableitung im corticalen Primärfeld erzeugt. Zum Abschluss wurde der M. deltoideus der operierten Seite mittels Elektromyographie auf neurogene Schäden untersucht.

Kontraindikationen für die Durchführung einer Elektromyographie waren eine Dauertherapie mit Vitamin-K Antagonisten (Falthrom) oder eine erhöhte Blutungsneigung.

## **2.7. Die statistischen Methoden**

Alle erhobenen Daten wurden im Statistikprogramm SPSS (Version 15.0) von SPSS Inc. (USA) erfasst und ausgewertet.

Zur Analyse der Einflussfaktoren auf das funktionelle Ergebnis (Constant-Murley-Score und DASH-Score), das Auftreten einer aseptischen proximalen Humerusnekrose und das Auftreten einer Affektion des N. axillaris wurde eine binär logistische Regression für kategorialen Variablen beziehungsweise eine ANOVA für stetige Größen verwendet. Die explorativen Analysen der einzelnen Variablen erfolgten entsprechend des jeweiligen Messniveaus anhand t-Test, Korrelationsanalyse oder Fishers exaktem Test für die kategorialen Variablen. Zur Prädiktion einer aseptischen Kopfnekrose anhand der dorsomedialen metaphysären Kopfextension wurde eine ROC-Analyse durchgeführt. Als Kriterium zur Bestimmung des Cut-off-Levels diente der Youden-Index (maximale Summe von Sensitivität und Spezifität).

Die Testergebnisse wurden als signifikant eingestuft wenn der p-Wert  $\leq 0,05$  war beziehungsweise hochsignifikant bei einem p-Wert  $< 0,01$ . Aufgrund des explorativen Ansatzes erfolgte jeder Test zum vollen Testniveau.

## **3. Ergebnisse**

### **3.1. Deskriptive Darstellung der nachuntersuchten Patienten**

Die Nachuntersuchungen fanden zwischen Ende November 2009 und Februar 2010 statt. Es konnten 40 Patienten vollständig nachuntersucht werden (siehe Abb. 10). Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum betrug 28,03 Monate (Min. 12 Monate, Max. 57 Monate).

Es handelte es sich um 31 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 63,96 Jahren zur Operation ( $\pm 13,50$ , Min. 30,08, Max. 81,38) und 9 Männer mit einem Durchschnittsalter von 50,69 Jahren zur Operation ( $\pm 10,07$ , Min. 38,54, Max. 69,62). Die Anzahl der Patienten, getrennt nach Geschlecht und aufgeteilt nach Alter in Lebensjahrzehnten zum Operationszeitpunkt, ist in Tabelle 14 dargestellt.

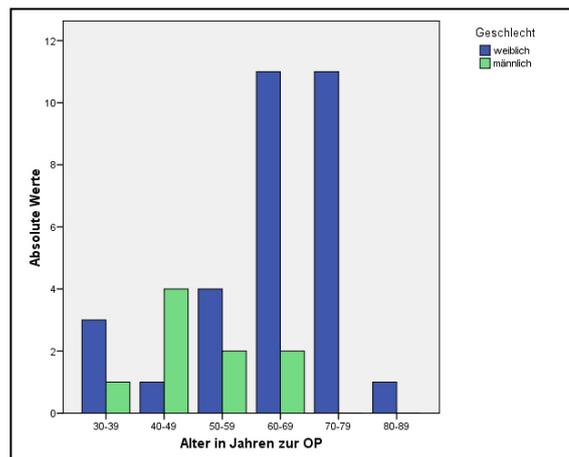


Abb. 14: Patientenalter in Dekaden zum Operationszeitpunkt, getrennt nach Geschlecht

### 3.2. Unfallmechanismus und Begleitverletzungen

Im Rahmen der Nachuntersuchung wurden die Patienten gezielt zum Unfallmechanismus befragt. Als häufigster Unfallursache ( $n=28$ , 70,0%) wurde der direkte Sturz aus dem Stand auf die betroffene Schulter angegeben. 6 Patienten (15,0%) versuchten, laut eigener Aussage, den Sturz mit der Hand der betroffenen Seite abzufangen. Zwei Patienten (5%) zogen sich die Fraktur im Rahmen eines Hochrasanztraumas zu. Vier Patienten (10%) konnten zum Unfallhergang keine Aussagen treffen.

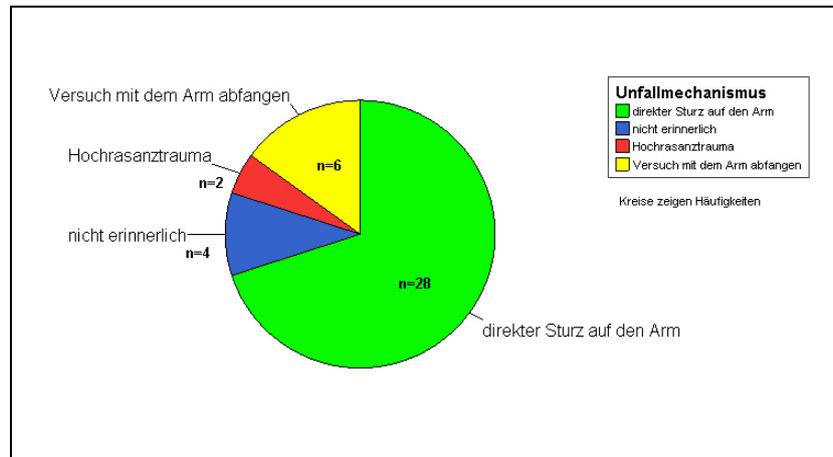


Abb. 15: Grafische Darstellung des Unfallmechanismus

60% der Patienten (n=24) zogen sich die Verletzung außerhuslich zu, 40% (n=16) in der eigenen Wohnung bzw. Haus.

Bei 26 Patienten (65%) stellte sich die proximale Humerusfraktur als solitäre Verletzung dar. Fünf Patienten (12,5%) zogen sich zusätzlich Verletzungen des betroffenen Armes zu. Hierbei handelte es sich um drei Frakturen des Glenoids, eine distale Radiusfraktur und eine Clavikulafraktur. Eine junge Patientin (2,5%) zog sich die proximalen Humerusfraktur im Rahmen einer Mehrfachverletzung nach Verkehrsunfall zu.

In den klinischen Untersuchungen am Unfalltag und zur präoperativen Vorbereitung wurden Verletzungen der Nerven und Gefäße der verletzten Extremität nicht beobachtet.

### 3.3. Frakturklassifikation der nachuntersuchten Patienten

Die Frakturklassifikation erfolgte nach Codman, NEER, Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese (AO) und Hertel. Gesondert erfasst wurden Head-Split-Frakturen (n=2; 5%) und Schaftfrakturen mit Kopfkomponente (n=1).

Diese Einteilung erfolgte primär durch den Operateur. Sämtliche Röntgenbilder wurden im Rahmen der Nachuntersuchung von zwei erfahrenen Oberärzten der Klinik für Unfallchirurgie der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg und dem Autor erneut gesichtet und klassifiziert.

#### Einteilung nach Codman

Es lagen 4 x 2-Fragment Frakturen (10%), 20 x 3-Fragment Frakturen (50%) und 13 x 4-Fragment Frakturen (32,5%) vor.

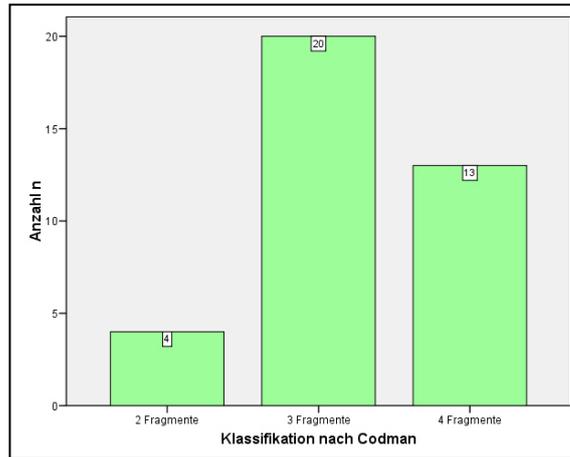


Abb. 16: Fraktуреinteilung nach Codman

### Einteilung nach NEER

Es sind 8 x NEER III Frakturen (20%), 19 x NEER IV Frakturen (47,5%), 7 x NEER V Frakturen (17,5%) und 3 x NEER VI Frakturen vertreten (7,5%).

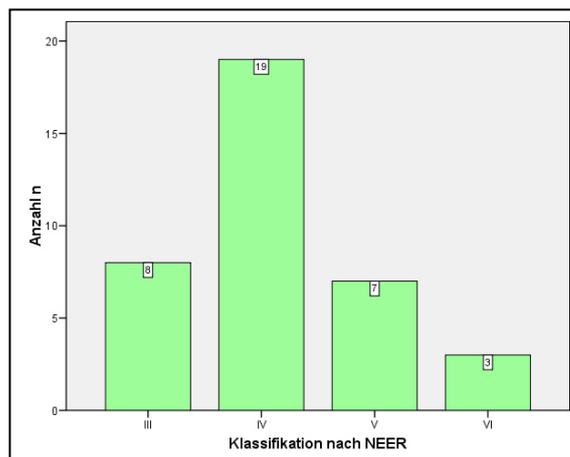


Abb. 17: Fraktуреinteilung nach NEER

### Einteilung nach AO

Bei der Einteilung der Frakturen in das System der AO wurden lediglich die Humerusschaftfrakturen mit Kopfkomponente (n=1) nicht mit aufgeführt. Die Häufigkeiten sind im folgenden Diagramm aufgeführt.

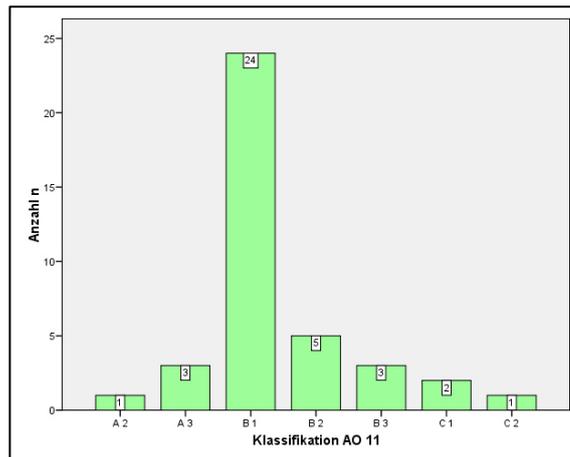


Abb. 18: Frakturreinteilung nach AO

### Einteilung nach Hertel

Wir beobachteten 4 x Typ 1 (10%), 19 x Typ 7 (47,5%), 1 x Typ 8 und 13 x Typ 12 (32,5%). Ebenfalls nicht erfasst sind zwei Head-Split-Frakturen (5,0%) und eine Oberarmschaftfraktur mit Kopfkomponekte (2,5%).

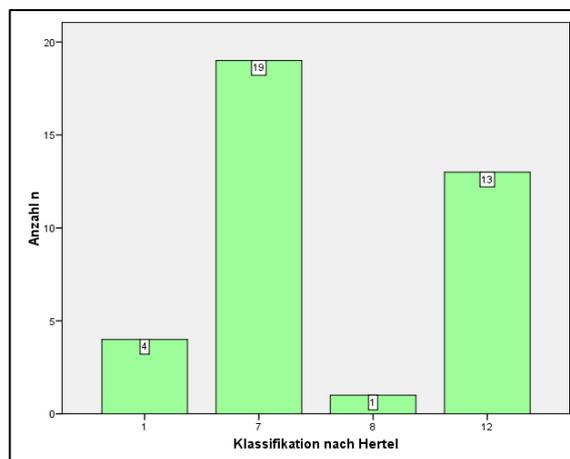


Abb. 11: Frakturreinteilung nach Hertel

### **3.4. Operatives Vorgehen und stationärer Aufenthalt**

Drei der 40 (7,5%) proximalen Humerusfrakturen wurden noch am Unfalltag osteosynthetisch versorgt. Hierbei handelte es sich um Luxationsfrakturen. Der Großteil der proximalen Humerusfrakturen (n=19; 47,5%) wurde bei zunächst deutlicher Weichteilschwellung im Verlauf operiert. Ein Patient (2,5%) musste zunächst von Falithrom auf ein niedermolekulares Heparin umgestellt werden. Bei fünf Patienten (12,5%) verzögerte

sich die Versorgung auf Grund einer notwendigen Stabilisierung bei Mehrfachverletzung/ Polytraumatisierung bzw. fehlender internistischer Abklärung bei bis dahin unbekanntem Nebenerkrankungen. Fünf Patienten (12,5%) stellten sich erst verzögert in unserer Klinik vor. Bei 7 weiteren Patienten (17,5%) kam es nach zunächst begonnener konservativer Therapie zur Sekundärdisklokation der Fraktur. Nach Vorliegen einer Fragmentdisklokation entsprechend den Operationsindikationen wurde in diesen Fällen eine Osteosynthese durchgeführt.

Durchschnittlich 8,23 Tage nach Unfall erfolgte die operative Versorgung der proximalen Humerusfrakturen (SD  $\pm$  4,53).

<b>präoperatives Vorgehen</b>	<b>Anzahl der Patienten</b>	<b>Mittelwert der Tage vor Operation</b>	<b>SD <math>\pm</math> Tage</b>	<b>Min. Tage</b>	<b>Max. Tage</b>
<i>Luxations-Frakturen</i>	3	0	0	0	0
<i>abschwellende Maßnahmen</i>	19	7,21	3,41	3	15
<i>zunächst konservativ</i>	7	12,00	3,37	8	17
<i>verzögerte Vorstellung</i>	5	9,40	3,36	4	13
<i>Umstellung Falithrom</i>	1	4	0	4	4
<i>Stabilisierung/ internistische Abklärung</i>	5	11,40	4,51	6	15

Tab. 9: durchschnittliche Anzahl der Tage vor OP mit präoperativem Prozedere

Die mittlere Operationsdauer bei der osteosynthetischen Versorgung der proximalen Humerusfrakturen betrug in unserem Kollektiv 93 Minuten (SD  $\pm$  25).

In allen Operationen wurde die PHILOS® Platte der Fa. Synthes als Osteosynthesemittel verwendet. Es wurde die 3-Loch Platte in 82,5 % (n=33) der Fälle und die 5-Loch Platte in 17,5% (n=7) verwendet. In fünf Fällen (12,5%) wurde eine zusätzliche Osteosyntheseschraube zur Fixierung einer Tuberculum minus Fraktur verwendet.

Der durchschnittliche postoperative stationäre Aufenthalt betrug 8,08 Tage (SD  $\pm$  6,69). Insgesamt betrug der Aufenthalt im Krankenhaus durchschnittlich 11,25 Tage (SD  $\pm$  8,47).

### 3.5. Klinische Ergebnisse des N. axillaris

Im Rahmen der Nachuntersuchung wurde die Narbenlänge beginnend von der anterolateralen Akromionkante zum distalen Narbenpol ausgemessen. Hier zeigte sich ein durchschnittlicher Wert von  $12,13 \pm 1,93$  cm (n=40).

Gezielt wurden die Patienten im Rahmen der Nachuntersuchung auf Zeichen einer N. axillaris Affektion untersucht. 35 Patienten (87,5%) zeigten keine Auffälligkeiten.

Bei einem Patienten (2,5%) fand sich klinisch eine Atrophie des M. deltoideus pars clavicularis. Drei Patienten (7,5%) gaben Dysästhesien im sensiblen autonomen Versorgungsgebiet des N. axillaris, am lateralen Oberarm, an. Eine Patientin (2,5%) zeigte klinisch sowohl eine Atrophie des ventralen Delta-Muskel Anteils als auch Dysästhesien im Versorgungsgebiet des N. axillaris.

### 3.6. Funktionelle Ergebnisse

#### Constant-Murley-Score (CM-Score)

Der CM-Score wurde bei allen Patienten an der ehemals frakturierten Seite wie oben beschrieben erhoben. Anschließend wurde eine Alters- und Geschlechteradaption durchgeführt wie sie Katolik et al. beschrieben haben [12, 13, 40].

Hierbei ergab sich ein durchschnittlicher adaptierter CM-Score aller 40 Patienten von 71,18 (SD  $\pm 20,67$ ; Min. 35,63; Max. 100,00). In unserem Patientenkollektiv fanden sich 10 ausgezeichnete Ergebnisse (25%), fünf gute Ergebnisse (12,5%), 7 befriedigende Ergebnisse (17,5%), vier ausreichende Ergebnisse (10%) und 14 schlechte Ergebnisse (35%). Die Häufigkeiten der Ergebnisse des CM-Score sind in Abb. 20 dargestellt.

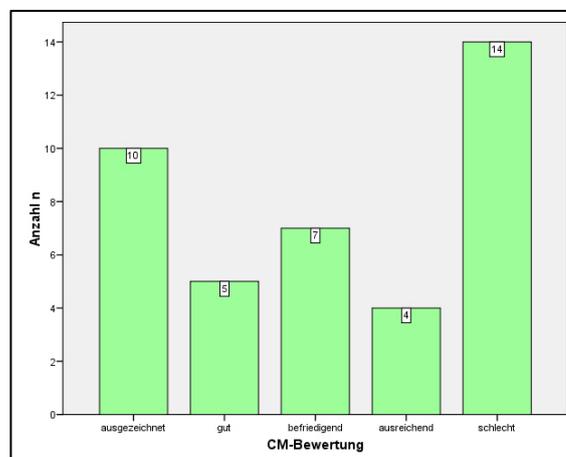


Abb. 20: Häufigkeiten der Bewertung im Constant-Murley-Score

In der Auftrennung der Geschlechter (siehe Abb. 21) zeigte sich bei 31 weiblichen Patientinnen ein durchschnittlicher CM-Score von 69,99 (SD  $\pm$  21,44; Min. 35,63; Max. 100,00) und bei 9 männlichen Patienten ein durchschnittlicher CM-Score von 75,27 (SD  $\pm$  18,28; Min. 45,75; Max. 100,00). Es zeigte sich in der statistischen Untersuchung kein Unterschied hinsichtlich des Geschlechtes.

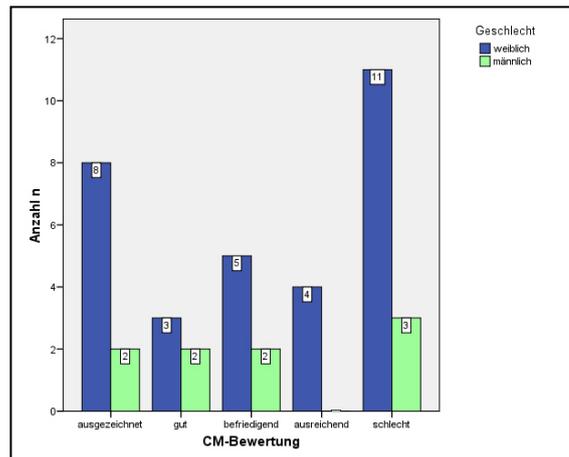


Abb. 21: Häufigkeiten der Bewertung im Constant-Murley-Score aufgeteilt nach Geschlecht

Die Ergebnisse des adaptierten CM-Score aufgeteilt nach dem Alter der Patienten zur Operation sind in Tabelle 10 und Abbildung 22 dargestellt.

Patientenalter	CM-Score MW	SD $\pm$	Min.	Max.
30-39 (n=4)	61,36	30,63	35,63	100,00
40-49 (n=5)	84,92	12,87	65,25	100,00
50-59 (n=6)	65,23	26,06	41,60	100,00
60-69 (n=13)	73,73	20,32	37,00	98,91
70-79 (n=11)	70,25	17,05	43,21	95,06
80-89 (n=1)	54,32	0,00		

Tab. 10: Deskriptive Darstellung des CM-Score in Aufteilung des Lebensalters

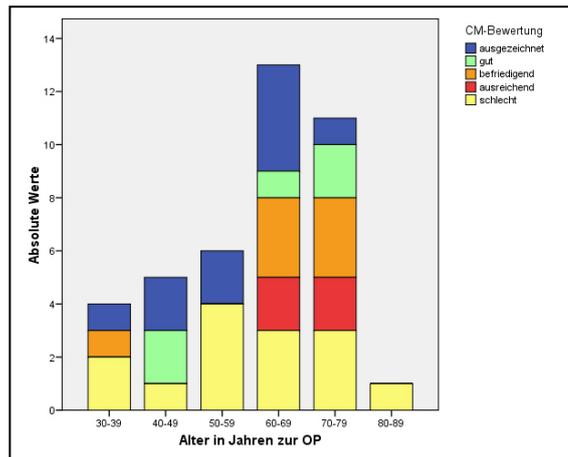


Abb. 22: Häufigkeiten der CM-Score Beurteilung in Aufteilung des Patientenalters

Hinsichtlich der Codman Fraktur Einteilung stellt sich der CM-Score wie folgt dar:

Codman-Klassifikation	CM-Score MW	SD ±	Min.	Max.
2-Fragment (n=4)	78,16	23,97	45,67	100,00
3-Fragment (n=20)	75,88	19,13	37,93	100,00
4-Fragment (n=13)	63,13	22,64	35,63	100,00
Head-Split-Frakturen (n=2)	70,88	7,96	65,25	76,50
Schaftfraktur mit Kopfkomponente (n=1)	54,32	0,00		

Tab. 11: Deskriptive Darstellung des CM-Score in Aufteilung der Frakturen nach Codman

Als Einflussfaktoren auf den Constant-Murley-Score konnten in unserem Patientengut der Gesundheitszustand der Patienten zur Operation (ASA-Score,  $p=0,002$ ), das Auftreten einer aseptischen Kopfnekrose ( $p=0,001$ ) und das präoperative Procedere ( $p=0,001$ ) nachgewiesen werden.

In den univariaten Analysen zeigten zusätzlich die Zeit zwischen Unfall und Operation ( $p<0,001$ ) und das Auftreten von Begleitverletzungen ( $p=0,008$ ) einen Einfluss auf den Constant-Murley-Score. Diese potentiellen Einflussfaktoren zeigten sich im Modell allerdings nicht signifikant. Die Ergebnisse aller univariaten Analysen sind im Anhang Tabelle 24 dargestellt.

## Der DASH-Score

Der Mittelwert des ermittelten DASH-Score aller 40 Patienten beträgt 32,55. Die Standardabweichung beträgt  $\pm 24,08$ .

In der Auftrennung nach Geschlechtern ergab sich bei den weiblichen Patienten ein mittlerer Score-Wert von 36,03 (SD  $\pm 24,79$ ), bei den männlichen Patienten von 20,56 (SD  $\pm 17,74$ ). Statistisch konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern nachgewiesen werden.

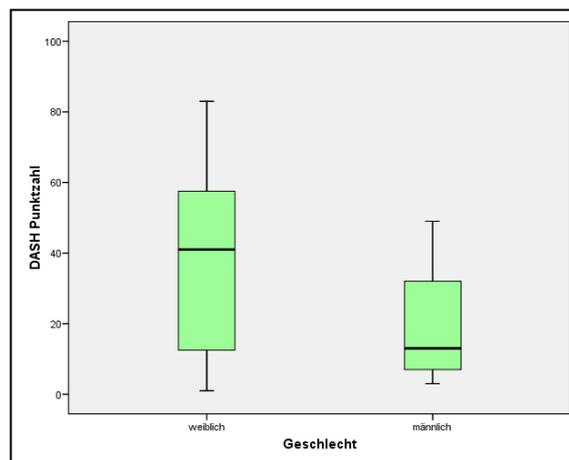


Abb. 23: Darstellung des DASH-Score in Aufteilung der Geschlechter

Der durchschnittliche DASH-Wert in den einzelnen Lebensdekaden ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Patientenalter	DASH MW	SD $\pm$	Min.	Max.
30-39 (n=4)	41,00	38,40	1	83
40-49 (n=5)	20,80	19,22	3	49
50-59 (n=6)	28,00	17,54	4	47
60-69 (n=13)	25,54	22,47	2	69
70-79 (n=11)	42,55	22,70	1	69
80-89 (n=1)	66,00	0,00		

Tab. 12: Deskriptive Darstellung des DASH-Score in Aufteilung des Lebensalters

Die Einteilung der Frakturen nach Codman mit entsprechenden DASH-Werten ist in Tabelle 13 dargestellt.

Codman-Klassifikation	DASH MW	SD ±	Min.	Max.
2-Fragment (n=4)	30,75	34,10	1	69
3-Fragment (n=20)	31,15	20,35	1	63
4-Fragment (n=13)	33,46	27,55	3	83
Head-Split-Frakturen (n=2)	27,50	30,41	6	49
Schaftfraktur mit Kopfkomponente (n=1)	66,00	0,00		

Tab. 13: Deskriptive Darstellung des DASH-Score in Aufteilung der Frakturen nach Codman

In der Suche nach möglichen Einflussfaktoren auf den DASH-Score konnte im Modell der Gesundheitszustand der Patienten zur Operation (ASA-Score,  $p < 0,001$ ) als auch das präoperative Vorgehen ( $p < 0,001$ ) herausgestellt werden. Passend zum präoperativen Vorgehen stellt die Zeit zwischen Unfall und Operation einen tendenziellen Einflussfaktor dar ( $p = 0,074$ ).

In den univariaten Analysen stellte zusätzlich das Auftreten von Begleitverletzungen einen weiteren Risikofaktor dar ( $p = 0,010$ ). Dieser konnte allerdings im Modell nicht nachgewiesen werden. Die weiteren Ergebnisse der univariaten Analysen sind im Anhang in Tabelle 25 dargestellt.

### 3.7. Komplikationen

#### Wundinfektionen

Im unmittelbaren postoperativen Verlauf kam es bei drei Patienten (7,5%) zu tiefen Frühinfektionen (A 2 nach Kriterien des Center of Disease Control and Prevention, USA). Bei einer Patientin konnte ein *Staphylococcus epidermidis*, bei einer zweiten Patientin ein *Staphylococcus aureus* und *Bacillus cereus* in der mikrobiologischen Anzucht nachgewiesen werden. Der dritte Patient mit Frühinfektion blieb mit negativem Keimnachweis. Es erfolgten jeweils 6 Revisionsoperationen unter Erhalt der Osteosynthese mit vorübergehender Anlage eines VAC-Verbandes, resistenzgerechter Antibiose und

Sekundärnaht. In allen drei Fällen kam es zur knöchernen Konsolidierung der Fraktur. Ein statistischer Zusammenhang zum funktionellen Ergebnis (CM und DASH-Score) konnte nicht nachgewiesen werden, allerdings besteht auf Grund der geringen Anzahl nur eine eingeschränkte Aussagekraft.

#### Primäre postoperative ossäre Fehlstellungen

Bei einem Patienten wurde in der unmittelbaren postoperativen Röntgenkontrolle eine unzureichende Reposition der Fraktur festgestellt und die Indikation zur operativen Revision gestellt. Die Fraktur heilte anschließend in anatomischer Stellung problemlos aus.

Veränderungen des normalen Kopf-Schaft Winkels  $\pm 40^\circ$  konnten in keiner postoperativen Kontrolle nachgewiesen werden.

#### Primäre Implantatfehllage (Schrauben oder Platte)

Eine Patientin fiel unmittelbar postoperativ mit einer kranialisierten Plattenlage auf. Eine erneute Operation wurde abgelehnt. Intraartikuläre Schraubenlagen konnten unmittelbar postoperativ nicht beobachtet werden.

#### Bildung einer Pseudarthrose

Im Rahmen der radiologischen Kontrolluntersuchung konnte bei allen Patienten (100%) eine knöcherne Konsolidierung der Frakturen nachgewiesen werden.

#### Sekundäre Implantatfehllagen

Ein Implantatversagen der eingebrachten PHILOS® Platte und der verwendeten Schrauben konnte in keinem Fall (0%) beobachtet werden.

Zur Nachuntersuchung wurde eine intraartikuläre Schraubenlage bei zwei Patienten (5,0%) registriert. Bei einem der zwei Patienten lag gleichzeitig eine fortgeschrittene Kopfnekrose (Stadium IV nach Cruess) vor.

#### Sekundäre Dislokation der Fragmente/ Fehlstellungen

In drei Fällen (7,5%) wurde im Rahmen der Nachuntersuchung ein kranialisiertes Tuberculum majus nachgewiesen, welches in Fehlstellung knöchern konsolidiert war.

### Aseptische Humeruskopfnekrose

Aseptische Kopfnekrosen wurden bei 9 Patienten (22,5%) beobachtet. Die Einteilung der Kopfnekrosen erfolgte angelehnt an die Klassifikation von Cruess, der Osteonekrosen des Femurkopfes untersuchte und klassifizierte [17].

Es fanden sich zwei Kopfnekrosen Stadium II (5%), vier Kopfnekrosen Stadium IV (10%) und drei Kopfnekrosen Stadium V (7,5%). Ein isoliertes Stadium III (beginnender subchondraler Knocheneinbruch) konnte nicht beobachtet werden.

Kopfnekrose-Stadium nach Cruess	Codman Fragmente	Länge medialer Spickel in mm	CM-Score
II	Head-Split	0	76,5
II	3	17	51,2
IV	4	8	37,0
IV	3	11	69,1
IV	4	3	45,8
IV	3	13	77,8
V	4	0	39,8
V	4	0	42,2
V	3	10	24,1

Tab. 14: Beschreibung der einzelnen Patienten mit aseptischer Kopfnekrosen mit Stadium, Codman Fragmente, Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension (medialer Spickel) und funktionellem Ergebnis

Als Einflussfaktoren für das Auftreten einer Kopfnekrose konnte in unserem Patientengut lediglich die additive Verschraubung der Tuberculum minus Fraktur signifikant bestimmt werden ( $p=0,024$ ). In den univariaten Analysen zeigte sich zusätzlich die dorsomediale metaphysäre Kalottenextension als potentieller Einflussfaktor ( $p=0,019$ ). Diese zeigte sich im statistischen Modell aber nicht mehr signifikant. Weitere Einflussfaktoren auf das Auftreten einer aseptischen Kopfnekrose wie die ad-latus Verschiebung, Veränderungen des Kopf-Schaft Winkels oder die Frakturklassifikation konnten wir nicht nachweisen. Die Ergebnisse restlichen univariaten Analysen sind im Anhang in Tabelle 26 aufgeführt.

Zur Bestimmung des Grenzwertes der Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension für das Auftreten einer Kopfnekrose wurde eine ROC-Kurve verwendet

(siehe Abb. 24). Bei Bestimmung des Youden-Index, also rein datengetrieben, liegt der ideale Grenzwert bei 0,35 cm (Sensitivität 0,556, Spezifität 0,935; Youden-Index 0,491). Bei relativ geringer Patientenzahl (n=40) und 9 aufgetretenen Kopfnekrosen ist die Aussagekraft allerdings eingeschränkt. Dies spiegelt sich im relativ großen Konfidenzintervall der area under the curve AUC = 0,742 (0,534; 0,950) wieder.

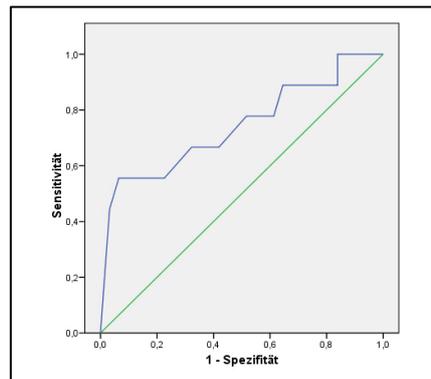


Abb. 24: ROC-Kurve für die dorsomediale metaphysäre Kalottenextension und das Auftreten einer aseptischen Humeruskopfnekrose

### Die Affektion des N. axillaris

Die Durchführung der neurophysiologischen Untersuchungen erfolgte durch die neurophysiologische Abteilung der Klinik für Neurologie an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg unter Leitung von Herrn Prof. Dr. med. H. Feistner.

Aufgrund der erhobenen Befunde erfolgte die Einteilung der Patienten in 4 Gruppen. Das Untersuchungsverfahren mit größter Wichtung war jeweils das EMG.

**Gruppe 1:** neurophysiologischer Normalbefund mit unauffälliger EMG sowie NLG und SEP

**Gruppe 2:** Axonotmesis mit abgeschlossener Reinnervation bei leicht erhöhten Einzelpotentialen im EMG ohne Zeichen pathologischer Spontanaktivität, gegebenenfalls mit Verminderung der Amplitude im NLG bzw. im SEP

**Gruppe 3:** Axonotmesis mit unvollständiger Reinnervation bei pathologischer Spontanaktivität (positive scharfe Wellen und Fibrillationen) und Polyphasie als Zeichen einer noch nicht abgeschlossenen Aussprossung von Nervenfasern (gegebenenfalls mit verminderter Amplitude im NLG bzw. im SEP)

**Gruppe 4:** Neurotmesis wo im EMG keine Willküraktivität nachgewiesen werden konnte

<b>Neurophysiologischer Befund</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>CM-Score (MW und SD)</b>
Normalbefund	34	85,0	73,2 ± 20,0
Axonotmesis mit abgeschlossener Reinnervation	3	7,5	69,0 ± 31,0
Axonotmesis mit unvollständiger Reinnervation	2	5,0	49,4 ± 8,7
Neurotmesis	1	2,5	51,2
Gesamt	40	100	71,2 ± 20,7

Tab. 15: Neurophysiologische Ergebnisse mit Darstellung des CM-Score

In einem weiteren Schritt wurden Patienten mit Normalbefund (n=34) und Axonotmesis mit abgeschlossener Reinnervation (n=3) zusammengeschlossen. In der Gruppe mit anhaltend verändertem neurophysiologischen Befund wurden die Patienten mit nachgewiesener Axonotmesis mit unvollständiger Reinnervation (n=2) und die Patientin mit Neurotmesis (n=1) zusammengefasst.

<b>Neurophysiologischer Befund</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>CM-Score (MW und SD)</b>
nicht pathologisch	37	92,5	72,9 ± 20,5
pathologisch	3	7,5	50,0 ± 6,3
gesamt	40	100	71,2 ± 20,7

Tab. 16: Neurophysiologische Ergebnisse (nicht pathologisch versus pathologisch) mit Darstellung des CM-Score

In der statistischen Untersuchung hinsichtlich möglicher Einflussfaktoren für das Auftreten eines pathologischen neurophysiologischen Befundes konnte auf Grund der kleinen Gruppengröße kein statistisches Modell erstellt werden.

Somit musste auf die univariaten Analysen zurückgegriffen werden. Hier zeigte sich lediglich die Zeit zwischen Unfall und Operation ( $p=0,032$ ) als präoperativer Einflussfaktor.

Für das funktionelle Ergebnis, erfasst im adaptierten Constant-Murley-Score, zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ( $p=0,003$ ). Einen Zusammenhang mit dem Auftreten von klinischen Zeichen einer N. axillaris Affektion konnte ebenso nachgewiesen werden ( $p=0,022$ ).

Die vollständigen Ergebnisse der univariaten Analysen sind im Anhang in Tabelle 27 aufgeführt.

### Gesamtkomplikationen und eventuelle Revisionsoperationen

		Patienten (n)	Revisionsoperationen (n)
<b>Frühkomplikationen</b>	Frühinfekt (A 2 nach CDC Kriterien)	3	18
	unzureichende Reposition	1	1
	primäre Plattenfehlage	1	0
<b>Spätkomplikationen</b>	Aseptische Humeruskopfnekrose	9	2
	N. axillaris Affektion	3	0
	sekundär intraartikuläre Schrauben	2	0
	Subacromiales Impingement	6	6
	Sekundärdислоkationen des Tuberculum majus	3	0

Tab. 17: Darstellung der Gesamtkomplikationen und aller Revisionsoperationen

Insgesamt kam es zu 28 erfassten Komplikationen bei 22 von 40 Patienten (55%).

Bei 10 von diesen 22 Patienten waren insgesamt 27 Revisionsoperationen notwendig (25%). Eine Revisionsoperation wurde unmittelbar postoperativ wegen unzureichender Reposition notwendig. Hier erfolgte nach Auflösung der Osteosynthese die anatomische Reposition und anschließende Reosteosynthese mittels winkelstabiler Platte. Allein 18 Operationen betrafen die Patienten mit einem Frühinfekt. 6 Patienten gaben im Intervall subjektive Beschwerden kombiniert mit Bewegungseinschränkungen an. Hier erfolgte eine Entfernung des Osteosynthesematerials und offene subacromiale Dekompression. Bei zwei Patienten mit Humeruskopfnekrose erfolgten Folgeeingriffe. Bei einer Patientin mit Humeruskopfnekrose Stadium V nach Cruess erfolgte die Entfernung der Platte und Implantation einer Hemiendoprothese. Eine weitere Patientin mit proximaler Humerusnekrose Stadium V nach Cruess wünschte lediglich die Materialentfernung und offene subacromiale Dekompression. Weiterführende operative Maßnahmen wurden zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung von der Patientin abgelehnt.

## **4. Diskussion**

### **4.1. Methodenkritik**

Die gesamte Arbeit ist retrospektiv ausgelegt. Alle Patienten wurden osteosynthetisch über das gleiche Vorgehen operiert.

Ein Kritikpunkt ist die Frakturklassifikation. Da die erhobenen Daten allesamt mit deutlichem Versatz zum Unfall und der anschließenden Osteosynthese erhoben wurden, wurde zunächst versucht, die Frakturklassifikation an Hand der Operationsberichte zu erheben. Hier fand sich allerdings eine nicht einheitliche Klassifikation. Somit erfolgte im Rahmen der Nachuntersuchung eine erneute Klassifikation der Frakturen nach Codman, NEER, AO und Hertel an Hand der präoperativen Röntgenaufnahmen bzw. falls vorhandener Computertomographie. Trotz aktueller Literaturlage lag bei 20% der Patienten weder eine vollständige Trauma-Serie noch eine ergänzende CT Untersuchung vor.

Die Klassifikation proximaler Humerusfrakturen ist nicht trivial. Ein Nachteil der Klassifikation nach NEER ist, dass bei einem Dislokationskriterium von 0,5 cm, ein Großteil der Frakturen als undisloziert beschrieben werden muss. Vorteilhaft ist die Übersichtlichkeit und damit verbundene einfache Einteilbarkeit. Damit verbunden ist auch eine gute Reliabilität der NEER-Klassifikation [5]. Die Einteilung der AO hat den Vorteil, dass mit den Untergruppen 27 verschiedene Arten der proximalen Humerusfraktur erfasst werden können. Dies erschwert allerdings auch die Einteilung der Frakturen. In der aktuellen Literatur zum Thema proximale Humerusfraktur wird diese Klassifikation deutlich seltener verwendet als die NEER- bzw. die kombinierte NEER-/ Codman-Klassifikation. Als Weiterentwicklung der Codman- und NEER-Klassifikation ist die Klassifikation nach Hertel zu sehen. Allerdings findet diese Klassifikation in Klinik und Literatur kaum Verwendung.

Die Erhebung des Constant-Murley-Scores als Standardmessinstrument nach Schulteroperationen wird von der Europäischen Gesellschaft für Schulter- und Ellenbogenchirurgie (SECEC) und der Deutschen Vereinigung für Schulter und Ellenbogenchirurgie (DVSE) empfohlen. Allerdings gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben zur Kraftmessung bzw. wird diese unterschiedlich ausgelegt und praktiziert. In der Originalarbeit von Constant und Murley 1987 wird die Kraftmessung am 90° abduzierten und gestreckten Arm mittels Federwaage beschrieben [13]. In der Arbeit von Constant aus 2008 räumt er allerdings Schwierigkeiten bei der Kraftmessung ein. Hier empfiehlt Constant, als Messpunkt den Ansatz des M. deltoideus zu nutzen um Einschränkungen am Ellenbogen als

auch der Hand auszuschließen. Gegebenfalls empfiehlt er die Nutzung elektronischer Messgeräte [12]. Vor dieser Arbeit 2008 erfolgten bereits verschiedene Publikationen, die auf die Alters- und Geschlechtsunterschiede bei gesunden Probanden hinwiesen. Wir haben uns in unserer Auswertung für die Anpassung der Werte nach Katolik entschieden, da diese am häufigsten in der Literatur angegeben werden [50, 79]. Es gibt allerdings auch Arbeiten, wo die verletzte Seite im Vergleich zur gesunden Seite gesetzt wurde [4, 44, 73]. Wiederum andere Autoren gingen gar nicht auf die Erstellung des Constant-Murley-Scores in ihrer Nachuntersuchung ein. Dies reduziert die Vergleichbarkeit der Ergebnisse des Constant-Murley-Scores insgesamt.

Als Einschränkung bei den neurophysiologischen Ergebnissen muss festgehalten werden, dass bei unseren Patienten keine präoperativen neurophysiologischen Messungen durchgeführt wurden. Es handelt sich lediglich um eine retrospektive Untersuchung. Allerdings hat Visser 1999 bei konservativ therapierten proximalen Humeruskopffrakturen im Rahmen einer Studie gezeigt, dass die durch den Unfallmechanismus verursachten Affektionen des N. axillaris innerhalb von 3 Monaten nahezu vollständig regredient waren [82]. Somit ist davon auszugehen, dass die bei uns nachgewiesenen neurophysiologischen Schäden iatrogen entstanden sind.

#### **4.2. Patientengut**

Hinsichtlich unseres Patientengutes, der Geschlechterverteilung der betroffenen Patienten, der Nebenerkrankungen und dem Unfallmechanismus stimmen unsere Ergebnisse mit einer Vielzahl der vorhandenen Studien überein [15, 44, 74, 79, 86].

Der Nachuntersuchungszeitraum von minimal 12 Monaten nach Osteosynthese findet sich ebenfalls in der Literatur. Mit einer durchschnittlichen Nachuntersuchung von 28 Monaten postoperativ haben wir im Vergleich einen eher längeren Zeitraum betrachtet.

#### **4.3. Zeitpunkt und Dauer der Operation**

Der optimale Zeitpunkt der osteosynthetischen Versorgung ist schwer zu definieren und auch die Datenlage ist aktuell unklar. In unserem Patientengut wurden lediglich die Luxationsfrakturen am Unfalltag versorgt. Alle anderen Patienten wurden nach durchschnittlich 8,23 Tagen osteosynthetisch versorgt. In unseren Daten fand sich ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen dem funktionellen Ergebnis (CM und DASH-

Score) und der Zeit zwischen Unfall und Operation. Patienten die ein ausgezeichnetes (n=10) oder gutes (n=5) Ergebnis im Constant-Murley-Score erreichten, wurden nach 7,7 bzw. 6,4 operativ versorgt. Patienten mit befriedigenden (n=7), ausreichenden (n=4) und schlechten (n=14) funktionellem Ergebnis wurden dagegen nach durchschnittlich 8,0, 8,5 beziehungsweise nach 9,29 Tagen osteosynthetisch versorgt.

Für das Auftreten einer Affektion des N. axillaris konnte als Einflussfaktor ebenfalls die Zeit zwischen Unfall und Operation identifiziert werden ( $p=0,032$ ). Allerdings wurden die Patienten mit pathologischem neurophysiologischem Befund durchschnittlich etwas eher operiert als die Patienten, mit einem unauffälligen neurophysiologischem Befund (7,67 zu 8,27 Tage).

Bei Lill et al. 2004 wurden knapp die Hälfte aller Patienten (48,6%) in den ersten 48 Stunden nach Unfall operativ versorgt. Alle weiteren Patienten erhielten ihre Versorgung zwischen dem 3. und 8. Tag nach Unfall [50].

Die meisten Angaben in der Literatur stimmen mit unserem Versorgungszeitraum überein, wo die Mehrzahl der Frakturen in den ersten 10 Tagen nach Unfall osteosynthetisch versorgt wurde [10, 48, 67].

Somit besteht in der Literatur Einigkeit in der dringlichen, aber nicht notfallmäßigen operativen Versorgung proximaler Humerusfrakturen - ausgenommen offene Frakturen und Verletzungen von Gefäßen und Nerven.

Aus unseren Daten schließen wir ebenfalls, dass die operative Versorgung der proximalen Humerusfraktur keine Notfallindikation darstellt. Abschwellende Maßnahmen bei ausgeprägtem Frakturhämatom und damit verbundener Schwellung der gesamten Schulter können die sichere Identifizierung des N. axillaris erleichtern und somit das Risiko für dessen Affektion senken.

Die Operationsdauer betrug bei uns durchschnittlich 93 Minuten. Dies liegt ebenfalls im Mittel der in der Literatur angegebenen Zeiten von 66 – 123 Minuten bei osteosynthetischer Versorgung über einen Delta-Splitting-Zugang [10, 48, 50, 67, 75, 86]. Hier ist zu bemerken, dass viele Autoren in ihren Arbeiten keine Operationsdauer angeben.

#### **4.4. Funktionelle Ergebnisse der Nachuntersuchung**

Die im Rahmen unserer Untersuchung erhobenen Werte im Constant-Murley-Score entsprechen den Werten, die man in der Literatur (siehe Tab. 18) findet. Im Vergleich zu den

Studien, die einen deltoideopectoralen Zugang zum proximalen Humerus favorisierten, liegen die Werte des Constant-Murley und des DASH-Scores tendenziell etwas niedriger. Dies entspricht auch den Zahlen von Hepp 2008. Er konnte in einer Zwei-Center Studie aufzeigen, dass Patienten, die über einen deltoideopectoralen Zugang versorgt wurden, nach 12 Monaten höhere Werte im Constant-Murley-Score erzielten, als Patienten die über ein Delta-Splitting operativ versorgt wurden (siehe Tabelle 20) [31]. In den Tabellen 18-20 findet sich ein Literaturüberblick hinsichtlich der beiden operativen Zugangswege und den entsprechenden funktionellen Ergebnissen im CM- und DASH-Score.

Im zeitlichen Verlauf konnten mehrere prospektiv angelegte Studien zeigen, dass es im Verlauf des ersten Jahres nach Osteosynthese zu einer deutlichen Verbesserung des funktionellen Ergebnisses kommt [31, 79].

Eine deutliche Abhängigkeit der erzielten Punktwerte in Abhängigkeit vom Patientenalter wurde von mehreren Autoren nachgewiesen. So zeigte zum Beispiel Clavert 2010, dass bei einem Alter unter 65 Jahren der Constant-Murley-Score durchschnittlich 70,5 und bei Patienten über 65 Jahren dieser durchschnittlich 54,7 Punkte betrug [10]. Dies stellte sich in unserem Patientengut nicht dar ( $p=0,994$ ).

Ein weiterer sicherer Einflussfaktor auf das funktionelle Ergebnis ist das Auftreten einer aseptischen Kopfnekrose[10, 23, 25]. Dies konnten wir ebenfalls belegen ( $p=0,014$ ).

Ein Einfluss der Frakturmorphologie auf das funktionelle Ergebnis nach Osteosynthese wurde bereits durch Südkamp et al. belegt. Dies konnten wir durch unsere Daten allerdings nicht bestätigen (Codman-Klassifikation  $p=0,0158$ ; NEER-Klassifikation  $p=0,336$ ) [79].

<b>Autor (Jahr)</b>	<b>Patienten (♀ : ♂)</b>	<b>Fraktureinteilung nach Codman</b>	<b>Zugang</b>	<b>Constant-Murley- Score (adaptiert)</b>	<b>DASH</b>
<i>Khan</i> (2009) [44]	14 (6 : 8)	9 x 3-Fragment, 5 x 4-Fragment	erweiterter Delta- Splitting	81,1 nach 12 Monaten *	14,6 nach 12 Monaten
<i>Lill</i> (2004) [50]	29 (19 : 10)	13 x 2-Fragment, 7 x 3-Fragment, 5 x 4-Fragment	Delta-Splitting mit Doppelinzision	72,5 nach 3 Monaten #	k. A.
<i>Röderer</i> (2010) [74]	54 (38 : 16)	17 x 11 A, 27 x 11 B, 10 x 11 C Fraktur nach AO	Delta-Splitting mit Doppelinzision	66,8 nach 17 Monaten *	k. A.
<i>Laflamme</i> (2008) [48]	27 (20 : 7)	17 x NEER II Frakturen, 10 x NEER III Frakturen	Delta-Splitting mit Doppelinzision	79 nach 12 Monaten	26 nach 12 Monaten
<i>Eigene Ergebnisse</i>	40 (21 : 9)	4 x 3-Fragment, 10 x 3-Fragment, 13 x 4-Fragment, 2x Head-Split-Frakturen, 2 x Oberarmschaftfrakturen mit Kopfkomponente	erweiterter Delta- Splitting	71,2 nach 28 Monaten	32,5 nach 28 Monaten
* absoluter CM-Score, ohne Alters- und Geschlechter Adaption # Bestimmung der Kraft aus dem Verhältnis zur Gegenseite					

Tab. 18: Literaturvergleich funktioneller Ergebnisse proximaler Humerusfrakturen über einen Delta-Splitting

Zugang

<b>Autor (Jahr)</b>	<b>Patienten (♀ : ♂)</b>	<b>Frakturteilung nach Codman</b>	<b>Zugang</b>	<b>Constant-Murley- Score (adaptiert)</b>	<b>DASH</b>
<i>Björkenheim</i> (2004) [4]	72 (44 : 28)	38 x 2-Fragment, 22 x 3-Fragment, 12 x 4-Fragment	deltoideo-pectoral	77 nach 12 Monaten*	k. A.
<i>Plecko</i> (2005) [67]	36 (24 : 12)	8 x 11 A - Frakturen, 9 x 11 B - Frakturen, 17 x 11 C Frakturen (Einteilung nach AO)	deltoideo-pectoral	80,7 nach 3 Monaten	18 nach 31 Monaten
<i>Kettler</i> (2006) [42]	174 (123 : 51)	61 x 2-Fragment, 75 x 3- Fragment, 26 x 4-Fragment, 9 x Luxationsfraktur, 5 x Head-Split Fraktur	deltoideo-pectoral	81 nach 9 Monaten	k. A.
<i>Voigt</i> (2007) [84]	50 (39 : 11)	7 x 2-Fragment, 36 x 3-Fragment, 7 x 4-Fragment	deltoideo-pectoral	86,5 nach 12 Monaten	k. A.
<i>Dietrich</i> (2008) [18]	37 (42 : 10)	11 x 2-Fragment, 41 x 3-Fragment, 4 x 4-Fragment <sup>+</sup>	deltoideo-pectoral	91 nach 12 Monaten	k. A.
<i>Greiner</i> (2009) [25]	48 (29 : 19)	22 x 2-Fragment, 17 x 3-Fragment, 9 x 4-Fragment	deltoideo-pectoral	90,0 nach 12 Monaten	k. A.
<i>Geiger</i> (2010) [22]	28 (20 : 8)	8 x 2-Fragment, 12 x 3-Fragment, 8 x 4-Fragment	deltoideo-pectoral	67,5 nach 25 Monaten	28,3 nach 25 Monaten

\* absoluter Constant-Murley-Score, ohne Alters- und Geschlechter Adaption  
+ Angaben des gesamten Patientenkollektives

Tab. 19: Literaturvergleich funktioneller Ergebnisse proximaler Humerusfrakturen über den deltoideopectoralen Zugang

<b>Autor (Jahr)</b>	<b>Patienten (♀ : ♂)</b>	<b>Frakturteilung nach Codman</b>	<b>Zugang</b>	<b>Constant-Murley-Score (adaptiert)</b>	<b>DASH</b>
<i>Hepp</i> (2008) [31]	44 (37 : 7)	6 x 2-Fragment, 31 x 3-Fragment, 7 x 4-Fragment	deltoideopectoral	81 nach 12 Monaten	14,7 nach 12 Monaten
	39 (27 : 12)	12 x 2-Fragment, 22 x 3-Fragment, 5 x 4-Fragment	Delta-Splitting - sowohl erweitert und Doppelinzision	73,1 nach 12 Monaten	14,7 nach 12 Monaten
<i>Südkamp</i> (2009) [79]	187 (135 : 52)	Angaben nur in einem Diagramm - ohne Zahlen	160 x deltoideopectoral, 27 x Delta-Splitting **	85 nach 12 Monaten *,***	15,2 nach 12 Monaten
<i>Clavert</i> (2010) [10]	44 (47 : 26) +	23% 3-Fragment, 76% 4-Fragment, daraus 19,2% Luxationen (hohe Anzahl)	59 x deltoideopectoral, 14 x Delta-Splitting **, +	62,3 nach 21 Monaten	k. A.
<i>Brunner</i> (2009) [6]	132 (111 : 47) +	29% x 2-Fragment, 42% x 3-Fragment, 22% x 4-Fragment, 5% Luxationsfrakturen, 3% Head-Split - Frakturen	deltoideopectoral und Delta-Splitting in nicht genannter Aufteilung	87 nach 12 Monaten *	16 nach 12 Monaten
<i>Wu</i> (2011) [86]	32 (26 : 6)	12 x 2-Fragment, 9 x 3-Fragment, 6 x 4-Fragment	deltoideopectoral	76,9 nach 32 Monaten	13,5 nach 32 Monaten
	28 (19 : 7)	7 x 2-Fragment, 7 x 3-Fragment, 14 x 4-Fragment	erweiterter Delta-Splitting	18,3 nach 33 Monaten	14,4 nach 33 Monaten

+ Angaben des gesamten Kollektives  
\* Constant-Murley Score im Vergleich zur Gegenseite  
\*\* keine genauen Angaben zur Art des Zuganges  
\*\*\* laut Autor keine signifikanten Unterschiede zwischen den operativen Zugängen

Tab. 20: Literaturvergleich funktioneller Ergebnisse proximaler Humerusfrakturen über deltoideopectoralen und Delta-Splitting-Zugang

## 4.5. Komplikationen

### Das Auftreten von aseptischen Kopfnnekrosen

Eine aseptische Kopfnnekrose - partiell oder total, konnte in unserem Patientengut bei 9 von 40 Patienten (22,5%) beobachtet werden.

Als Einflussfaktor konnte im Modell lediglich die additive Verschraubung von Tuberculum minus Frakturen (n=5 Patienten) nachgewiesen werden. Im Gegensatz zur Modellrechnung zeigte sich die dorsomediale metaphysäre Kalottenextension in der univariaten Analyse als möglicher Einflussfaktor. Andere Einflussfaktoren wie der Frakturtyp oder die ad-latus Verschiebung, wie von Hertel 2005 beschrieben, konnten wir nicht nachweisen.

Das Kopfnnekrosen einen Einfluss auf das funktionelle Ergebnis (CM-Score) haben, konnten wir ebenfalls belegen.

Ein Vergleich mit der Literatur gestaltet sich schwierig. Insbesondere die Länge des Intervalls von der Operation bis zur Nachuntersuchung ist in den Arbeiten sehr unterschiedlich, hat aber deutlichen Einfluss auf die Anzahl der erfassten aseptischen Kopfnnekrosen. Lill präsentierte 2004 funktionelle Ergebnisse drei Monaten nach Versorgung. Aussagen über Kopfnnekrosen wurden hier nicht getroffen [50]. Kettler veröffentlichte 2006 Daten neun Monate nach durchgeführter Osteosynthese [42]. Greiner et al. konnten in ihrer Arbeit 2009 aufzeigen, dass aseptische Kopfnnekrosen noch mit deutlicher Latenz zum Unfall auftraten (> 45 Monate) [25].

In den meisten Arbeiten wird keine Aussage über die genaue Einteilung, partielle oder vollständige Nekrose getroffen. Insgesamt betrachtet besteht für das Risiko des Auftretens einer aseptischen Knochennekrose eine große Spannweite mit unterschiedlichen Risikofaktoren. So betragen die geringsten Raten an Kopfnnekrosen bei proximalen Humerusfrakturen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese um 3% (Hepp 2008 [31], Südkamp 2009 [79]) und die höchsten Raten über 20% (Clavert 2010 [10], Dietrich 2008 [18]). Der Delta-Splitting-Zugang wurde auf proximale Humerusfrakturen ausgedehnt, um die Weichteile weiter zu schonen und das Risiko einer Kopfnnekrose zu minimieren [44].

Lediglich in der direkt vergleichenden Arbeit der operativen Zugänge von Hepp 2008 konnte ein niedrigeres Risiko für das Auftreten einer Kopfnnekrose dem Delta-Splitting-Vorgehen zugeschrieben werden [31].

Diese Frage kann durch unsere Ergebnisse und die aktuelle Literatur nicht abschließend beurteilt werden.

In unserem Patientengut hatten Patienten ohne Kopfnekrose einen durchschnittlichen CM-Score von 75,3 ( $\pm$  20,1) und Patienten mit einer Kopfnekrose einen durchschnittlichen CM-Score von 56,9 ( $\pm$  16,7). Dies wurde auch schon durch Habermeyer 1997, Gerber 1998, Lill 2001, Greiner 2009 und Clavert 2010 beschrieben [10, 23, 25, 26, 51].

Das erhöhte Risiko für das Auftreten einer aseptischen Kopfnekrose bei einer Verkürzung der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension von kleiner 8 mm ist seit Hertel 2004 bekannt [33]. Auch Wu konnte diese 8 mm in seiner Arbeit 2011 belegen [86]. In unserem Patientengut lag der Schwellenwert für das Auftreten einer Kopfnekrose bei kleiner 3,5 mm Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension (Sensitivität 0,556, Spezifität 0,935).

Hinsichtlich der Anzahl und der Art der durchgeführten Revisionen bei diagnostizierter Kopfnekrose ist die aktuelle Literaturlage unklar. Khan et al. berichteten 2009 über das Auftreten einer Kopfnekrose 9 Monate postoperativ. Dieser Patient wurde erneut operiert und eine Hemiendoprothese implantiert [44]. Röderer et al. beschrieben in ihrer Arbeit 2010 das Auftreten von drei Kopfnekrosen. Hiervon wurde eine konservativ therapiert und bei zwei Patienten, nach Entfernung der winkelstabilen Platte und des Kopffragmentes, eine Hemiendoprothese implantiert [74]. Eine mögliche Ursache hierfür kann das retrospektive Studiendesign der meisten Arbeiten sein. Die postoperative Nachbehandlung erfolgt durch den niedergelassenen Kollegen und die Patienten erscheinen lediglich zur Nachuntersuchung in der Klinik.

In den Tabellen 21-23 ist die aktuelle Literatur zur winkelstabilen Plattenosteosynthese hinsichtlich der Zugangswege getrennt mit ihren jeweiligen Angaben über aseptische Kopfnekrosen aufgeführt.

<b>Autor (Jahr)</b>	<b>Fraktureinteilung nach Codman</b>	<b>Zugang</b>	<b>Partialnekrose/ Re-OP</b>	<b>Totalenekrose/ Re-OP</b>	<b>Constant-Murley-Score (adaptiert)</b>
<i>Khan</i> (2009) [44]	9 x 3-Fragment, 5 x 4-Fragment	erweiterter Delta-Splitting		1 (7,1%)/ 1	81,1 nach 12 Monaten *
<i>Lill</i> (2004) [50]	13 x 2-Fragment, 7 x 3-Fragment, 5 x 4-Fragment	Delta-Splitting mit Doppelinzision		0	72,5 nach 3 Monaten #
<i>Röderer</i> (2010) [74]	17 x 11 A, 27 x 11 B, 10 x 11 C Fraktur nach AO	Delta-Splitting mit Doppelinzision		3 (5,5%)/ 1 x kons. Th, 2x Hemiendo- prothese	66,8 nach 17 Monaten *
<i>Loflamme</i> (2008) [48]	17 x NEER II Frakturen, 10 x NEER III Frakturen	Delta-Splitting mit Doppelinzision		+	79 nach 12 Monaten
<i>Eigene Ergebnisse</i>	4 x 3-Fragment, 10 x 3-Fragment, 13 x 4-Fragment, 2x Head-Split-Frakturen, 2 x Oberarmschaffrakturen mit Kopfkomponente	erweiterter Delta-Splitting	2 x Stadium II (5%)/ 0	4 x Stadium IV, 3 x Stadium V (17,5%)/ 1 Hemiendo- prothese	71,2 nach 28 Monaten

\* Constant- Murley Score im Vergleich zur Gegenseite  
# Bestimmung der Kraft aus dem Verhältnis zur Gegenseite  
+ keine Angaben

Tab. 21: Literaturvergleich der Kopfnekrose nach proximaler Humerusfraktur über einen Delta-Splitting-Zugang mit Anzahl der Revisionsoperationen

<b>Autor (Jahr)</b>	<b>Fraktureinteilung nach Codman</b>	<b>Zugang</b>	<b>Partialnekrose/ Re-OP</b>	<b>Totalnekrose/ Re-OP</b>	<b>Constant-Murley-Score (adaptiert)</b>
<i>Björkenheim</i> (2004) [4]	38 x 2-Fragment, 22 x 3-Fragment, 12 x 4-Fragment	deltoideo-pectoral		3 (4,2%) <sup>#</sup> / 0	77 nach 12 Monaten *
<i>Plecko</i> (2005) [67]	8 x 11 A - Frakturen, 9 x 11 B - Frakturen, 17 x 11 C Frakturen (Einteilung nach AO)	deltoideo-pectoral	1 (2,8%) <sup>#</sup> / 0	2 (5,6%) <sup>#</sup> / 0	80,7 nach 31 Monaten
<i>Kettler</i> (2006) [42]	61 x 2-Fragment, 75 x 3-Fragment, 26 x 4-Fragment, 9 x Luxationsfraktur, 5 x Head-Split Fraktur	deltoideo-pectoral	2 (1,2%) <sup>#</sup> / 2	7 (4%) <sup>#</sup> / 7	81 nach 9 Monaten
<i>Voigt</i> (2007) [84]	7 x 2-Fragment, 36 x 3-Fragment, 7 x 4-Fragment	deltoideo-pectoral	3 (6%) <sup>#</sup> / 0	2 (4%) <sup>#</sup> / 0	86,5 nach 12 Monaten
<i>Dietrich</i> (2008) [18]	11 x 2-Fragment, 41 x 3-Fragment, 4 x 4-Fragment <sup>+</sup>	deltoideo-pectoral		8 (21,6%) <sup>#</sup> / 0	91 nach 12 Monaten
<i>Greiner</i> (2009) [25]	22 x 2-Fragment, 17 x 3-Fragment, 9 x 4-Fragment	deltoideo-pectoral		7 (14,6%) <sup>#</sup> / 0	90,0 nach 12 Monaten
<i>Geiger</i> (2010) [22]	8 x 2-Fragment, 12 x 3-Fragment, 8 x 4-Fragment	deltoideo-pectoral	1 (3,6%) <sup>#</sup> / 0	1 (3,8%) <sup>#</sup> / 1	67,5 nach 25 Monaten

\* Constant- Murley Score im Vergleich zur Gegenseite  
<sup>#</sup> keine näheren Angaben zur Stadieneinteilung  
<sup>+</sup> Angaben des gesamten Kollektivs

Tab. 22: Literaturvergleich der Kopfnekrose nach proximaler Humerusfraktur über einen deltoideopectoralen Zugang mit Anzahl der Revisionsoperationen

<b>Autor (Jahr)</b>	<b>Fraktуреinteilung nach Codman</b>	<b>Zugang</b>	<b>Partialnekrose/ Re-OP</b>	<b>Totalnekrose Re-OP</b>	<b>Constant-Murley-Score (adaptiert)</b>
<i>Hepp</i> (2008) [31]	6 x 2-Fragment, 31 x 3-Fragment, 7 x 4-Fragment	deltoideopectoral		3 (6,8%) <sup>†</sup> / 0	81 nach 12 Monaten
	12 x 2-Fragment, 22 x 3-Fragment, 5 x 4-Fragment	Delta-Splitting - sowohl erweitert und Doppelinzision		1 (2,6%) <sup>†</sup> / 0	73,1 nach 12 Monaten
<i>Südkamp</i> (2009) [79]	Angaben nur in einem Diagramm - ohne Zahlen	160 x deltoideopectoral, 27 x Delta-Splitting **		6 (2,8%) <sup>†</sup> / 0	85 nach 12 Monaten * <sup>***</sup>
<i>Clavert</i> (2010) [10]	23% 3-Fragment, 76% 4-Fragment, daraus 19,2% Luxationen (hohe Anzahl)	59 x deltoideopectoral, 14 x Delta-Splitting ** <sup>†</sup>	12 (27,3%) / 0		62, 3 nach 21 Monaten
<i>Brunner</i> (2009) [6]	29% x 2-Fragment, 42% x 3-Fragment, 22% x 4-Fragment, 5% Luxationsfrakturen, 3% Head-Split-Frakturen	deltoideopectoral und Delta-Splitting in nicht genannter Aufteilung	7 (2,4%) / 2	6 (3,8%) / 1	87 nach 12 Monaten *
	12 x 2-Fragment, 9 x 3-Fragment, 6 x 4-Fragment	deltoideopectoral		3 (9,4%) <sup>†</sup> / 0	76,9 nach 32 Monaten
<i>Wu</i> (2011) [86]	7 x 2-Fragment, 7 x 3-Fragment, 14 x 4-Fragment	erweiterter Delta-Splitting		3 (10,7%) <sup>†</sup> / 0	18,3 nach 33 Monaten

\* Constant- Murley Score im Vergleich zur Gegenseite

\*\* keine genauen Angaben zur Art des Zuganges

\*\*\* laut Autor keine signifikanten Unterschiede zwischen den operativen Zugängen

<sup>†</sup> keine genauen Angaben

Tab. 23: Literaturvergleich der Kopfnekrose nach proximaler Humerusfraktur über einen deltoideopectoralen und Delta-Splitting-Zugang mit Anzahl der Revisionsoperationen

### Die Affektion des N. axillaris

Mittels durchgeführten neurophysiologischen Untersuchungen fand sich in unserem Patientengut bei drei von 40 Patienten (7,5%) eine dauerhafte Affektion des N. axillaris. Eine statistische Modellrechnung für mögliche Einflussfaktoren war auf Grund der kleinen Gruppengrößen nicht möglich. In den univariaten Analysen stellte sich die Zeit zwischen Unfall und Operation als Einflussfaktor dar. Einen Einfluss des Auftretens einer Affektion des N. axillaris auf das funktionelle Ergebnis (Constant-Murley-Score) als auch klinische Zeichen konnte statistisch nachgewiesen werden. Risikofaktoren wie die Hautschnittlänge oder durchgeführte Folgeoperationen haben in unserer Auswertung keine Auswirkung auf das neurophysiologische Ergebnis gezeigt. Die Ergebnisse sind allerdings auf Grund der geringen Gruppengrößen nur eingeschränkt zu verwerten.

In der vorhandenen Literatur zum Thema Delta-Splitting-Zugang wird die Gefahr der N. axillaris Affektion regelmäßig aufgeführt. In den Arbeiten von Robinson 2007, Robinson 2011, Lill 2004, Röderer 2010, Laflamme 2008, Rouleau 2009, Hepp 2008 und auch Clavert 2010 wurde gezielt nach klinischen Auffälligkeiten im Versorgungsgebiet des N. axillaris gesucht [10, 31, 48, 50, 70, 71, 74, 76].

Allerdings wurde bei allen genannten Studien in der klinischen Untersuchung des N. axillaris ein Normalbefund erhoben. Die einzigen aktuell verfügbaren Arbeiten mit neurophysiologischen Ergebnissen nach Delta-Splitting wurden mit jeweils einer relativ geringen Anzahl von Patienten von Khan et al. und Wu et al. vorgelegt [44, 86].

In der Arbeit von Khan 2009 wurden Patienten nach operativer Versorgung von proximalen Humerusfrakturen über den ausgedehnten Zugang nach 6 und 12 Monaten mittels EMG untersucht. Lediglich bei einem von 14 Patienten (7,1%) fanden sich leichte Amplitudenveränderungen in der Pars anterior des M. deltoideus bei unauffälliger Latenzzeit. Diese Patientin war klinisch unauffällig und erreichte im CM-Score 88 von 100 möglichen Punkten [44].

Wu et al. veröffentlichten 2011 eine Vergleichsarbeit der beiden Standardzugänge zum Humeruskopf - deltoideopectoral und Delta-Splitting. Drei Monate postoperativ wurde eine EMG und NLG Untersuchung des N. axillaris in beiden Gruppen durchgeführt. Nach Ausschluss der Patienten mit vorbestehenden cervicalen Radikulopathien gab es in der deltoideopectoralen Gruppe vier Patienten (12,5%) und in der Delta-Splitting Gruppe sieben Patienten (25%) mit Zeichen einer Reinnervation bzw. Denervation des M. deltoideus. Alle

Patienten waren klinisch unauffällig. Allerdings wurden die neurophysiologischen Untersuchungen bereits drei Monate postoperativ durchgeführt. Die Anzahl der in der Studie eingeschlossenen Patienten, betrug lediglich 32 Patienten in der deltoideopectoralen und 18 Patienten in der Delta-Splitting Gruppe [86].

Visser et al. zeigten 1999 den Unterschied zwischen einem häufigem klinischen Normalbefund und der pathologischen neurophysiologischen Untersuchung des N. axillaris auf [82].

Im Unterschied zu Visser fanden wir in den statischen Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen klinischem Hinweis auf eine N. axillaris Affektion und einem pathologischen neurophysiologischen Befund ( $p=0,022$ ).

Eine mögliche Erklärung ist, dass es sich bei unseren Patienten um eine Langzeitfolge nach Osteosynthese handelt und nicht um frisch verunfallte Patienten, bei denen Schmerz eine übergeordnete Rolle spielt [82].

2001 konnte Visser in einer weiteren Studie zeigen, dass es bei dislozierten, proximalen Humeruskopffrakturen zu einer signifikant höheren Rate an N. axillaris Affektionen gekommen ist als bei undislozierten Frakturen [81]. Einen Unterschied zwischen den einzelnen dislozierten Frakturtypen konnten wir nicht nachweisen.

Aus unserer Sicht besteht durchaus ein erhöhtes Risiko für die iatrogene Affektion des N. axillaris im operativen Vorgehen über einen Delta-Splitting-Zugang. Allerdings sind nicht alle Affektionen mit einer dauerhaften Einschränkung in der Innervation des M. deltoideus verbunden. Die dauerhafte Affektion des N. axillaris scheint mit einer Reduktion des funktionellen Ergebnisses verbunden zu sein.

#### Weitere Komplikationen und Komplikationsmanagement

Bei unseren 40 nachuntersuchten Patienten wurden 28 Komplikationen erfasst. Bei 10 Patienten wurden Folgeeingriffe notwendig. Die Diskussion der Komplikationen mit der aktuellen Literatur ist ebenfalls schwierig. Jeder Autor legte unterschiedliche Wertigkeiten und erfasste verschiedene Komplikationen. In den ersten Arbeiten zur winkelstabilen Plattenosteosynthese mit Beginn des 21. Jahrhunderts wurde mehr Wert auf das operative Vorgehen und funktionelle Ergebnisse gelegt.

Kettler et al. untersuchten als eine der Ersten 2007 gezielt die Komplikationen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese am proximalen Humerus [43]. Insgesamt wurden bei

200 mittels winkelstabiler Platte versorgten proximalen Humerusfrakturen 81 Komplikationen und 40 operative Revisionen dokumentiert. Dies entspricht einer Komplikationsrate von 40,5%. Sie teilten die Komplikationen in allgemeine, intraoperative, postoperative und späte Komplikationen ein. Als allgemeine Komplikationen dokumentierten sie Wundheilungsstörungen/ Wundinfekte (n=0), Hämatome (n=2), Nervenschäden (n=5) und Algodystrophien (n=2). Bis auf zwei Wundrevisionen bei Hämatom wurden alle weiteren allgemeinen Komplikationen konservativ therapiert. An intraoperativen Komplikationen fanden sich intraartikuläre Schraubenlagen (n=22), ein möglicher Hochstand der Platte (n=6), Fehlstellungen des Tuberculum majus (> 5 mm, n=9) und deutliche Achsfehlstellungen (Varusabweichung > 40°, n=7). Diese Komplikationen hatten 15 erneute Operationen zur Folge. Postoperative Komplikationen wie Implantatdislokationen (n=7) und sekundäre Dislokationen des Tuberculum majus (> 5 mm, n=3) wurden erfasst und acht Folgeeingriffe wurden durchgeführt. Als späte Komplikationen wurden aseptische Partial- und Totalnekrosen des Humeruskopfes (n=9 bzw. n=5) sowie Fraktursinterungen bei fehlender medialer Abstützung (n=4) nach einem Zeitraum von durchschnittlich 13,8 Monaten nach Osteosynthese erfasst. Diese hatten 11 Operationen zur Folge. Als Konsequenz forderten Kettler et al. eine konsequente intraoperative Röntgendiagnostik um intraoperative Fehler, wie intraartikuläre Schraubenlage und Hochstand der Platte, zu vermeiden. Andere Komplikationen wie das Nachsintern der Fraktur und das Entstehen von aseptischen Kopfnekrosen liegen laut den Autoren nicht in der Hand der Operateure und sind der Fraktur geschuldet. Generell stellt die winkelstabile Plattenosteosynthese ein geeignetes Verfahren zur operativen Versorgung proximaler Humerusfrakturen dar.

Eine ähnlich hohe Anzahl an Komplikationen in differenzierter Auflistung fand die Arbeitsgruppe um C. Voigt und H. Lill (Hannover) in ihrer Arbeit aus 2007 [85].

Insgesamt fanden sich hier bei 15 von 50 Patienten (30%) 26 Komplikationen. Allein sieben Komplikationen (14%) waren primäre Fehllagen von Schrauben und der Platte. Sekundäre Komplikationen wie Schraubenfehllage nach Sinterung und Schraubenlockerung wurden bei sieben Patienten gefunden (14%). Drei Frakturen heilten in Fehlstellung aus (3%). Eine Sekundärdislokation des Tuberculum majus wurde nachgewiesen. Insgesamt wurden fünf aseptische Kopfnekrosen erfasst (10%). Davon waren drei Partialnekrosen und zwei komplette Kopfnekrosen. Im zeitlichen Verlauf kam es zu zwei Pseudarthrosen (4%), welche

allerdings nach entsprechender Revision mit Spongiosaplastik und Re-Osteosynthese knöchern konsolidierten. Eine Infektion trat primär bei einem Patienten auf und musste mehrfach revidiert werden. Insgesamt wurden bei sechs Patienten (12%) Revisionsoperationen durchgeführt. In ihren Schlussfolgerungen kam das Autorenteam zu ähnlichen Aussagen wie Kettler und Kollegen. Eine intraoperative korrekte Röntgenkontrolle ist obligat zur Vermeidung von intraartikulären Schraubenlagen als auch einer korrekten Plattenlage. Eine hohe Primärstabilität der Fraktur sollte durch möglichst anatomische Reposition als auch korrekter Implantatlage durch den Operateur angestrebt werden [85].

Im Rahmen einer prospektiven Multicenter Studie wurden durch Südkamp et al. 2009 Ergebnisse nach proximalen Humerusfrakturen mit winkelstabiler Plattenosteosynthese vorgelegt. Aufgrund des Multicenter Designs der Studie konnten 155 Patienten eingeschlossen werden. Insgesamt kam es zu 62 Komplikationen bei 52 von 155 Patienten (34%) im ersten Jahr nach Operation. Allein bei 21 Patienten wurde eine unmittelbar postoperativ bestehende intraartikuläre Schraubenlage dokumentiert, bei vier Patienten war die Platte zu weit kranial implantiert. Im unmittelbaren postoperativen Verlauf traten zwei oberflächliche, vier tiefe Wundinfektionen und drei Nervenläsionen auf. Im weiteren Verlauf kam es zu einem sekundären Repositionsverlust der Fraktur bei sechs Patienten (fünf weitere Patienten mit sekundärer intraartikulärer Schraubenlage). Eine Kopfnekrose wurde bei sechs Patienten nachgewiesen und eine Pseudarthrose bei vier Patienten dokumentiert. Hinsichtlich der verwendeten Implantate kam es bei zwei Patienten zu einer Lockerung der Schrauben, zwei Plattenausbrüchen und drei Plattenbrüchen. Insgesamt wurden bei 29 von 155 Patienten (19%) Folgeoperationen notwendig. Einen Unterschied im Auftreten der Komplikationen konnte bei gleichzeitiger Verwendung von deltoideopectoralen und Delta-Splitting-Zugang nicht nachgewiesen werden. Südkamp et al. kamen zu dem Schluss, dass es sich bei der winkelstabilen Plattenosteosynthese bei proximalen Humerusfrakturen um ein geeignetes Verfahren handelt und gute funktionelle Ergebnisse liefern kann. Die Rate an Komplikationen kann bereits deutlich gesenkt werden, wenn intraoperativ eine korrekte radiologische Kontrolle der Platten und Schraubenlage erfolgt [79].

Im Gegensatz zur vorliegenden Literatur wurden in unserem Patientengut zusätzlich neurophysiologische Ergebnisse, gering ausgebildete Kopfnekrosen (Cruess Stadium II lokale Osteopenie und Sklerose) und Veränderungen ohne nachweisbarem funktionellem Verlust

miterfasst. Somit liegen unsere Komplikationsraten und die Rate an Folgeeingriffen auf einem vergleichbaren Niveau.

Insgesamt betrachtet ist die winkelstabile Plattenosteosynthese bei proximalen Humerusfrakturen ein anerkanntes und häufig eingesetztes Verfahren. Durch einen erfahrenen Unfallchirurgen lässt sich bei technisch einwandfreier Versorgung, die Rate an Komplikationen reduzieren, allerdings nie ausschließen. Dies ist bei der Indikationsstellung zu beachten und ausführlich mit dem Patienten zu diskutieren.

## **5. Zusammenfassung**

Im Zeitraum zwischen dem 01.01.2005 und dem 31.12.2008 wurden in der Klinik für Unfallchirurgie der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg 80 Patienten mit einer proximalen Humerusfraktur mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese (PHILOS® Platte) operativ versorgt. Neben dem deltoideopectoralen Operationszugang zum proximalen Humerus steht zusätzlich der Delta-Splitting-Zugang zur Verfügung. Dieser hat den Vorteil, die lateralen Anteile des Oberarmkopfes besser zu überblicken. Gleichzeitig soll aufgrund einer geringeren Weichteiltraumatisierung im Rahmen der Plattenanlage die Rate an aseptischen Kopfnekrosen geringer sein als beim deltoideopectoralen Zugang. Ein Nachteil beim Delta-Splitting-Zugang ist die mögliche Affektion des N. axillaris. Nach Vorliegen des positiven Votums der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg (144/09) konnte bei 40 Patienten, welche über einen erweiterten Delta-Splitting-Zugang operativ versorgt wurden, eine vollständige Nachuntersuchung erfolgen. Es wurden neben dem Bewegungsausmaß auch klinische Auffälligkeiten im Versorgungsgebiet des N. axillaris sowie die Narbenlänge, von der anterolateralen Akromionkante nach distal, erfasst. Das funktionelle Ergebnis wurde mittels Constant-Murley und DASH-Score ermittelt. Weiterhin erfolgten eine Röntgenkontrolle (Trauma Serie) der operierten Schulter und neurophysiologische Untersuchungen auf eine mögliche Affektion des N. axillaris.

Durchschnittlich 28 Monate nach der Operation erfolgte die Nachuntersuchung. Es handelte sich um 31 Frauen (Durchschnittsalter zur Operation 63,96 Jahre) und 9 Männer (Durchschnittsalter zur Operation 50,69 Jahre. Bei 28 Patienten (70%) war die Fraktur Folge eines direkten Sturzes auf die Schulter aus dem Stand. Es handelte sich in der Einteilung nach Codman um 4 x 2-Fragment (10%), 20 x 3-Fragment (50%) und 13 x 4-Fragment (32,5%)

Frakturen. Bei einem Patienten bestand eine Oberarmschaftfraktur mit Kopfkompone. Bei zwei Patienten wurde trotz Head-Split Fraktur (5%) eine Osteosynthese durchgeführt. Durchschnittlich 8,2 Tage nach Unfall erfolgte die osteosynthetische Versorgung.

Der durchschnittlich erzielte adaptiert Constant-Murley-Score, adaptiert nach Katolik, betrug 71,18. Insgesamt konnten 10 ausgezeichnete (25%), 5 gute (12,5%), 7 befriedigende (17,5%), 4 ausreichende (10%) und 14 schlechte (35%) funktionelle Ergebnisse im CM-Score dokumentiert werden. Als signifikante Einflussfaktoren auf das funktionelle Ergebnis konnten die Zeit zwischen Unfall und Operation, das Auftreten von Begleitverletzungen und der Gesundheitszustand des Patienten zur Operation (objektiviert im ASA-Score) identifiziert werden. Ein signifikanter Zusammenhang zum Auftreten einer aseptischen Kopfnekrose besteht. Zum DASH-Score besteht ein hochsignifikanter Zusammenhang.

Die knöcherne Konsolidierung konnte bei allen 40 Frakturen nachgewiesen werden.

Insgesamt wurden 28 Komplikationen bei 22 von 40 Patienten (55%) beobachtet. Bei 10 Patienten kam es insgesamt zu 27 Folgeoperationen.

Bei drei Patienten (7,5%) kam es zu einem Frühinfekt (A2 nach CDC Kriterien). Eine aseptische Humeruskopfnekrose trat bei insgesamt neun Patienten (22,5%) in unterschiedlicher Ausprägung auf. Als Einflussfaktoren konnten hier die additive Verschraubung von Tuberculum minus Frakturen und die Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension (medialer Spickel) nachgewiesen werden.

Erstmals erfolgten neurophysiologische Untersuchungen des N. axillaris bei einer relativ großen Gruppe an Patienten nach winkelstabiler Plattenosteosynthese über einen erweiterten anterolateralen Delta-Splitting-Zugang. Es ergaben sich 37 nicht pathologische (92,5%) und drei pathologische (7,5%) Befunde. Bei den pathologischen Befunden handelt es sich um zwei Patienten mit einer Axonotmesis mit unvollständiger Reinnervation und eine Patientin mit einer Neurotmesis des N. axillaris. Die Patienten mit pathologischem neurophysiologischem Befund unterschieden sich signifikant hinsichtlich des funktionellen Ergebnisses (72,9 vs. 50,0 Punkte im CM-Score) von den Patienten mit nicht pathologischem Befund. Ein statistischer Zusammenhang zur Schnittlänge bestand nicht.

Die winkelstabile Plattenosteosynthese bei proximalen Humerusfrakturen ist eine anerkannte und häufig eingesetzte Therapieform. Über einen erweiterten anterolateralen Delta-Splitting-Zugang werden im Vergleich zum deltoideopectoralen Vorgehen ebenfalls gute bis sehr gute funktionelle Ergebnisse erzielt. Die Möglichkeit einer N. axillaris Affektion

ist beim erweiterten Delta-Splitting gegeben. Die Rate an Komplikationen insgesamt ist bei beiden operativen Zugängen ähnlich einzuschätzen. Durch eine technisch einwandfreie Osteosynthese lässt sich die Anzahl an Komplikationen reduzieren.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Amlang, M.H., M. Schmidt, W. Röhnert, F. Czornack, H. Zwipp, and C. Dahlen: Proximale Humerusfraktur - konservativ-funktionelle Therapie nach Poelchen. *Trauma und Berufskrankheit*. 10 (Suppl. 1): 25-31 (2008).
2. Bankes, M.J., J.E. Crossman, and R.J. Emery: A standard method of shoulder strength measurement for the Constant score with a spring balance. *J Shoulder Elbow Surg*. 7 (2): 116-121 (1998).
3. Bartsch, S. and V. Echtermeyer: Osteosyntheseverfahren bei dislozierten proximalen Humerusfrakturen. *Trauma und Berufskrankheit*. 5 (Supplement 1): 1-10 (2003).
4. Bjorkenheim, J.M., J. Pajarinen, and V. Savolainen: Internal fixation of proximal humeral fractures with a locking compression plate: a retrospective evaluation of 72 patients followed for a minimum of 1 year. *Acta Orthop Scand*. 75 (6): 741-745 (2004).
5. Brorson, S. and A. Hrobjartsson: Training improves agreement among doctors using the Neer system for proximal humeral fractures in a systematic review. *J Clin Epidemiol*. 61 (1): 7-16 (2008).
6. Brunner, F., C. Sommer, C. Bahrs, R. Heuwinkel, C. Hafner, P. Rillmann, G. Kohut, A. Ekelund, M. Muller, L. Audige, and R. Babst: Open reduction and internal fixation of proximal humerus fractures using a proximal humeral locked plate: a prospective multicenter analysis. *J Orthop Trauma*. 23 (3): 163-172 (2009).
7. Burkhead Jr, W.Z., R.R. Scheinberg, and G. Box: Surgical anatomy of the axillary nerve. *J Shoulder Elbow Surg*. 1 (1): 31-36 (1992).
8. Byrd, R.G., R.P. Byrd, Jr., and T.M. Roy: Axillary artery injuries after proximal fracture of the humerus. *Am J Emerg Med*. 16 (2): 154-6 (1998).
9. Chu, S.P., J.L. Kelsey, T.H. Keegan, B. Sternfeld, M. Prill, C.P. Quesenberry, and S. Sidney: Risk factors for proximal humerus fracture. *Am J Epidemiol*. 160 (4): 360-7 (2004).
10. Clavert, P., P. Adam, A. Bevort, F. Bonnomet, and J.F. Kempf: Pitfalls and complications with locking plate for proximal humerus fracture. *J Shoulder Elbow Surg*. 19 (4): 489-494 (2010).

11. Codman, E., *Ruptur of the supraspinatus tendon and other lesions in or about the subacromial bursa*. The Shoulder. 1934, Boston: Thomas Todd.
12. Constant, C.R., C. Gerber, R.J. Emery, J.O. Sojbjerg, F. Gohlke, and P. Boileau: A review of the Constant score: modifications and guidelines for its use. *J Shoulder Elbow Surg.* 17 (2): 355-361 (2008).
13. Constant, C.R. and A.H. Murley: A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res.* 214: 160-164 (1987).
14. Court-Brown, C.M., H. Cattermole, and M.M. McQueen: Impacted valgus fractures (B1.1) of the proximal humerus. The results of non-operative treatment. *J Bone Joint Surg Br.* 84 (4): 504-508 (2002).
15. Court-Brown, C.M., A. Garg, and M.M. McQueen: The epidemiology of proximal humeral fractures. *Acta Orthop Scand.* 72 (4): 365-371 (2001).
16. Court-Brown, C.M. and M.M. McQueen: The impacted varus (A2.2) proximal humeral fracture: prediction of outcome and results of nonoperative treatment in 99 patients. *Acta Orthop Scand.* 75 (6): 736-740 (2004).
17. Cruess, R.L.: Osteonecrosis of bone. Current concepts as to etiology and pathogenesis. *Clin Orthop Relat Res.* 208 (30-39) (1986).
18. Dietrich, M., C. Meier, T. Lattmann, U. Zingg, P. Grüniger, and A. Platz: Komplexe proximale Humerusfraktur beim alten Menschen - Winkelstabile Plattenosteosynthese vs. Hemiarthroplastik. *Chirurg.* 79 (3): 231-240 (2008).
19. Fankhauser, F., C. Boldin, G. Schippinger, C. Haunschmid, and R. Szyszkowitz: A new locking plate for unstable fractures of the proximal humerus. *Clin Orthop Relat Res.* 430: 176-81 (2005).
20. Gardner, M.J., M.H. Griffith, J.S. Dines, S.M. Briggs, A.J. Weiland, and D.G. Lorch: The extended anterolateral acromial approach allows minimally invasive access to the proximal humerus. *Clin Orthop Relat Res.* 434: 123-129 (2005).
21. Gardner, M.J., M.H. Griffith, J.S. Dines, and D.G. Lorch: A minimally invasive approach for plate fixation of the proximal humerus. *Bull Hosp Jt Dis.* 62 (1-2): 18-23 (2004).

22. Geiger, E.V., M. Maier, A. Kelm, S. Wutzler, C. Seebach, and I. Marzi: Functional outcome and complications following PHILOS plate fixation in proximal humeral fractures. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 44 (1): 1-6 (2010).
23. Gerber, C., O. Hersche, and C. Berberat: The clinical relevance of posttraumatic avascular necrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg.* 7 (6): 586-590 (1998).
24. Germann, G., A. Harth, G. Wind, and E. Demir: Standardisierung und Validierung der deutschen Version 2.0 des „Disability of Arm, Shoulder, Hand“ (DASH)-Fragebogens zur Outcome-Messung an der oberen Extremität. *Unfallchirurg.* 106 (1): 13-19 (2003).
25. Greiner, S., M.J. Kaab, N.P. Haas, and H.J. Bail: Humeral head necrosis rate at mid-term follow-up after open reduction and angular stable plate fixation for proximal humeral fractures. *Injury.* 40 (2): 186-191 (2009).
26. Habermeyer, P.: Die Humeruskopffraktur. *Unfallchirurg.* 100 (10): 820-837 (1997).
27. Habermeyer, P. and L. Schweiberer: Frakturen des proximalen Humerus. *Orthopäde.* 18 (3): 200-207 (1989).
28. Habermeyer, P. and L. Schweiberer: Oberarmkopffrakturen - konservative und operative Differentialtherapie. *Unfallchirurg.* 94 (9): 438-446 (1991).
29. Heinrichs, G., A.-P. Schulz, J. Gille, C. Jürgens, and A. Paech: Frakturversorgung an der oberen Extremität - Probleme und Problemlösungen. *Trauma und Berufskrankheit.* 11 (Suppl. 1): S91-96 (2009).
30. Hente, R., J. Kampshoff, B. Kinner, B. Fuchtmeier, and M. Nerlich: Die Versorgung dislozierter 3- und 4-Fragmentfrakturen des proximalen Humerus mit einem winkelstabilen Plattenfixateur. *Unfallchirurg.* 107 (9): 769-782 (2004).
31. Hepp, P., J. Theopold, C. Voigt, T. Engel, C. Josten, and H. Lill: The surgical approach for locking plate osteosynthesis of displaced proximal humeral fractures influences the functional outcome. *J Shoulder Elbow Surg.* 17 (1): 21-28 (2008).
32. Hertel, R.: Fractures of the proximal humerus in osteoporotic bone. *Osteoporos Int.* 16 Suppl 2 (S65-72 (2005)).
33. Hertel, R., A. Hempfing, M. Stiehler, and M. Leunig: Predictors of humeral head ischemia after intracapsular fracture of the proximal humerus. *J Shoulder Elbow Surg.* 13 (4): 427-33 (2004).

34. Hessler, C., U. Schmucker, G. Matthes, A. Ekkernkamp, R. Gutschow, and C. Eggers: Ergebnisse nach Versorgung instabiler proximaler Humerusfrakturen mittels winkelstabiler Platte. *Unfallchirurg.* 109 (10): 867-874 (2006).
35. Hirzinger, C., M. Tauber, and H. Resch: Die Fraktur des proximalen Humerus: Neue Aspekte in der Epidemiologie, Frakturmorphologie und Diagnostik. *Unfallchirurg.* 114 (12): 1051-1058 (2011).
36. Hudak, P.L., P.C. Amadio, and C. Bombardier: Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand). *Am J Ind Med.* 29 (6): 602-608 (1996).
37. Illert, T., R. Grass, and H. Zwipp: Winkelstabile Plattenosteosynthese für proximale Humerusfrakturen - Konzepte und Ergebnisse. *Trauma und Berufskrankheit.* 10 (Supplement 1): S39-S46 (2008).
38. Jansen, T., C. Thorns, and H.J. Oestern: Anatomie des Schultergelenkes. *Zentralbl Chir.* 126 (3): 168-176 (2001).
39. Karataglis, D., S.I. Stavridis, G. Petsatodis, P. Papadopoulos, and A. Christodoulou: New trends in fixation of proximal humeral fractures: A review. *Injury.* 42 (330-338 (2011)).
40. Katolik, L.I., A.A. Romeo, B.J. Cole, N.N. Verma, J.K. Hayden, and B.R. Bach: Normalization of the Constant score. *J Shoulder Elbow Surg.* 14 (3): 279-285 (2005).
41. Kelsey, J.L., W.S. Browner, D.G. Seeley, M.C. Nevitt, and S.R. Cummings: Risk factors for fractures of the distal forearm and proximal humerus. The Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Am J Epidemiol.* 135 (5): 477-489 (1992).
42. Kettler, M., P. Biberthaler, V. Braunstein, C. Zeiler, M. Kroetz, and W. Mutschler: Die winkelstabile Osteosynthese am proximalen Humerus mit der PHILOS-Platte Darstellung von 225 dislozierten Frakturen. *Unfallchirurg.* 109 (12): 1032-1040 (2006).
43. Kettler, M., V. Braunstein, P. Biberthaler, K. M., and W. Mutschler: Komplikationen winkelstabiler Plattenosteosynthesen am Humeruskopf. *Trauma und Berufskrankheit.* 9 (Supplement 1): 48-53 (2007).
44. Khan, L.A., C.M. Robinson, E. Will, and R. Whittaker: Assessment of axillary nerve function and functional outcome after fixation of complex proximal humeral

- fractures using the extended deltoid-splitting approach. *Injury*. 40 (2): 181-185 (2009).
45. Kocher, T., *Beiträge zur Kenntniss einiger praktisch wichtiger Frakturformen*. 1896, Basel, Leipzig: Carl Sallmann Verlag.
  46. Kontakis, G.M., K. Steriopoulos, J. Damilakis, and E. Michalodimitrakis: The position of the axillary nerve in the deltoid muscle. A cadaveric study. *Acta Orthop Scand*. 70 (1): 9-11 (1999).
  47. Koval, K.J., M.A. Gallagher, J.G. Marsicano, F. Cuomo, A. McShinawy, and J.D. Zuckerman: Functional outcome after minimally displaced fractures of the proximal part of the humerus. *J Bone Joint Surg Am*. 79 (2): 203-7 (1997).
  48. Laflamme, G.Y., D.M. Rouleau, G.K. Berry, P.H. Beaumont, R. Reindl, and E.J. Harvey: Percutaneous humeral plating of fractures of the proximal humerus: results of a prospective multicenter clinical trial. *J Orthop Trauma*. 22 (3): 153-158 (2008).
  49. Lee, S.H., P. Dargent-Molina, and G. Breart: Risk factors for fractures of the proximal humerus: results from the EPIDOS prospective study. *J Bone Miner Res*. 17 (5): 817-825 (2002).
  50. Lill, H., P. Hepp, T. Rose, K. König, and C. Josten: Die winkelstabile Plattenosteosynthese (LPHP) proximaler Humerusfrakturen über den kleinen anterolateralen Delta-Splitting-Zugang - Technik und erste Ergebnisse. *Zentralbl.Chir*. 129 (1): 43-48 (2004).
  51. Lill, H. and C. Josten: Conservative or operative treatment of humeral head fractures in the elderly? *Chirurg*. 72 (11): 1224-1234 (2001).
  52. Lill, H., J. Korner, S. Glasmacher, P. Hepp, A. Just, P. Verheyden, and C. Josten: Die gekreuzte Schraubenosteosynthese proximaler Humerusfrakturen. *Unfallchirurg*. 104 (9): 852-9 (2001).
  53. Lill, H. and C. Voigt: Proximale Humerusfraktur. *Z Orthop Unfall*. 148 (3): 353-60; quiz 361-2 (2010).
  54. Lind, T., K. Kroner, and J. Jensen: The epidemiology of fractures of the proximal humerus. *Arch Orthop Trauma Surg*. 108 (5): 285-287 (1989).

55. Lohmann, R., K. Haid, U. Stockle, and M. Raschke: Epidemiologie und Perspektiven der Alterstraumatologie. *Unfallchirurg*. 110 (6): 553-560 (2007).
56. Menck, J., A. Döbler, and J.R. Döhler: Vascularization of the humerus. *Langenbecks Arch Chir*. 382 (3): 123-127 (1997).
57. Meyer, C., V. Alt, H. Hassanin, C. Heiss, J.P. Stahl, G. Giebel, J. Koebke, and R. Schnettler: The arteries of the humeral head and their relevance in fracture treatment. *Surg Radiol Anat*. 27 (3): 232-237 (2005).
58. Meyer, C., V. Alt, R. Kraus, G. Giebel, J. Koebke, and R. Schnettler: Die Arterien des Humerus und deren Bedeutung für die Frakturbehandlung. *Zentralbl Chir*. 130 (6): 562-567 (2005).
59. Müller, M., M. Allgöwer, R. Schneider, and H. Willenberger, *Manual der Osteosynthese*. 1992, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
60. Neer, C.S.: Displaced proximal humerus fractures. Part I. Classification and evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 52 (6): 1077-1089 (1970).
61. Neubauer, T. and M. Wagner: Minimal invasive Plattenosteosynthese am proximalen Oberarm: Operationsanleitung. *Unfallchirurg*. 112 (11): 997-1002 (2009).
62. Palvanen, M., P. Kannus, S. Niemi, and J. Parkkari: Update in the epidemiology of proximal humeral fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 442 (87-92) (2006).
63. Palvanen, M., P. Kannus, J. Parkkari, T. Pitkajarvi, M. Pasanen, I. Vuori, and M. Jarvinen: The injury mechanisms of osteoporotic upper extremity fractures among older adults: a controlled study of 287 consecutive patients and their 108 controls. *Osteoporos.Int*. 11 (10): 822-831 (2000).
64. Pentek, M., C. Horvath, I. Boncz, Z. Falusi, E. Toth, A. Sebestyen, I. Majer, V. Brodszky, and L. Gulacsi: Epidemiology of osteoporosis related fractures in Hungary from the nationwide health insurance database, 1999-2003. *Osteoporos Int*. 19 (2): 243-249 (2008).
65. Perlmutter, G.S.: Axillary nerve injury. *Clin Orthop Relat Res*. 368): 28-36 (1999).
66. Piatek, S., T. Bürger, Z. Halloul, T. Westphal, F. Holmenschlager, and S. Winckler: Arterielle Gefäßverletzungen bei Frakturen und Luxationen. *Zentralbl Chir*. 126 (5): 379-384 (2001).

67. Plecko, M. and A. Kraus: Internal fixation of proximal humerus fractures using the locking proximal humerus plate. *Oper Orthop Traumatol.* 17 (1): 25-50 (2005).
68. Resch, H.: Die Humeruskopffraktur. *Unfallchirurg.* 106 (8): 602-617 (2003).
69. Reuther, F., B. Mühlhausler, D. Wahl, and S. Nijs: Functional outcome of shoulder hemiarthroplasty for fractures: A multicentre analysis. *Injury.* 41 (6): 606-612 (2010).
70. Robinson, C.M., L. Khan, A. Akhtar, and R. Whittaker: The extended deltoid-splitting approach to the proximal humerus. *J Orthop Trauma.* 21 (9): 657-662 (2007).
71. Robinson, C.M. and I.R. Murray: The extended deltoid-splitting approach to the proximal humerus: variations and extensions. *J Bone Joint Surg Br.* 93 (3): 387-392 (2011).
72. Röderer, G., M. Abouelsoud, F. Gebhard, T.M. Bockers, and L. Kinzl: Minimally invasive application of the non-contact-bridging (NCB) plate to the proximal humerus: an anatomical study. *J Orthop Trauma.* 21 (9): 621-7 (2007).
73. Röderer, G., M. AbouElsoud, F. Gebhard, L. Claes, A.J. Aschoff, and L. Kinzl: Biomechanische Untersuchung der winkelstabilen Plattenosteosynthese am proximalen Humerus. *Unfallchirurg.* 113 (2): 133-138 (2010).
74. Röderer, G., J. Erhardt, M. Graf, L. Kinzl, and F. Gebhard: Clinical results for minimally invasive locked plating of proximal humerus fractures. *J Orthop Trauma.* 24 (7): 400-406 (2010).
75. Röderer, G., F. Gebhard, J. Erhardt, S. Al-Agha, M. AbouElsoud, and L. Kinzl: Die Non-Contact-Bridging-(NCB-) Platte. Ein neues winkelstabiles System zur minimal-invasiven Versorgung von Frakturen des proximalen Humerus-Technik und erste Ergebnisse. *Unfallchirurg.* 110 (6): 505-512 (2007).
76. Rouleau, D.M., G.Y. Laflamme, G.K. Berry, E.J. Harvey, J. Delisle, and J. Girard: Proximal humerus fractures treated by percutaneous locking plate internal fixation. *Rev Chir Orthop Traumatol.* 95 (1): 56-62 (2009).
77. Saran, N., S.G. Bergeron, B. Benoit, R. Reindl, E.J. Harvey, and G.K. Berry: Risk of axillary nerve injury during percutaneous proximal humerus locking plate insertion using an external aiming guide. *Injury.* 41 (1037-1040 (2010)).

78. Schmidgen, A. and M. Magin: Proximale Oberarmfraktur. *Z Orthop Unfall.* 146 (146): 409-417 (2008).
79. Südkamp, N., J. Bayer, P. Hepp, C. Voigt, H. Oestern, M. Käab, C. Luo, M. Plecko, K. Wendt, W. Köstler, and G. Konrad: Open reduction and internal fixation of proximal humeral fractures with use of the locking proximal humerus plate. Results of a prospective, multicenter, observational study. *J Bone Joint Surg Am.* 91 (6): 1320-1328 (2009).
80. Szyszkowitz, R. and G. Schippinger: Die Frakturen des proximalen Humerus. *Unfallchirurg.* 102 (6): 422-428 (1999).
81. Visser, C.P., L.N. Coene, R. Brand, and D.L. Tavy: Nerve lesions in proximal humeral fractures. *J Shoulder Elbow Surg.* 10 (5): 421-427 (2001).
82. Visser, C.P., D.L. Tavy, L.N. Coene, and R. Brand: Electromyographic findings in shoulder dislocations and fractures of the proximal humerus: comparison with clinical neurological examination. *Clin Neurol Neurosurg.* 101 (2): 86-91 (1999).
83. Voigt, C., M. Ewig, R. Vosschenrich, and H. Lill: Wertigkeit der MRT in der präoperativen Diagnostik proximaler Humerusfrakturen vs. CT und konventionelles Röntgen. *Unfallchirurg.* 113 (5): 378-385 (2010).
84. Voigt, C. and H. Lill: Versorgung proximaler Humerusfrakturen - Fortschritte in der Plattenosteosynthese. *Trauma und Berufskrankheit.* 9 (Suppl 1): 43-47 (2007).
85. Voigt, C., A. Woltmann, A. Partenheimer, and H. Lill: Komplikationsmanagement nach winkelstabiler Plattenosteosynthese am proximalen Humerus. *Chirurg.* 78 (1): 40-46 (2007).
86. Wu, C.H., C.H. Ma, J.J. Yeh, C.Y. Yen, S.W. Yu, and Y.K. Tu: Locked Plating for Proximal Humeral Fractures: Differences Between the Deltopectoral and Deltoid-Splitting Approaches. *J Trauma.* 1-7 (2011).
87. Yian, E.H., A.J. Ramappa, O. Arneberg, and C. Gerber: The Constant score in normal shoulders. *J Shoulder Elbow Surg.* 14 (2): 128-133 (2005).

## 7. Abbildungsverzeichnis

1: Humeruskopf von medial mit arterieller Versorgung	12
2: Darstellung des N. axillaris auf der Innenseite des M. deltoideus	12
3: Darstellung der Einzelfragmente nach Codman	16
4: Darstellung der Klassifikation nach NEER	17
5: Darstellung der Hertel-Klassifikation mittels LEGO® Steinen	18
6: Hautschnitt beim erweiterten anterolateralen Delta-Splitting-Zugang	23
7: Darstellung des N. axillaris beim erweiterten anterolateralen Delta-Splitting-Zugang	23
8: Eingeschobene PHILOS® Platte unter den N. axillaris beim erweiterten anterolateralen Delta-Splitting-Zugang	23
9: Darstellung LCP Proximal Humerus Plate® mit Beschriftung der Plattenlöcher	27
10: Darstellung des Patientenkollektivs	29
11: Darstellung der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension	30
12: Darstellung der ad-latus Verschiebung	32
13: Bestimmung des Kopf-Schaft Winkel	33
14: Patientenalter in Dekaden zum Operationszeitpunkt	38
15: Grafische Aufteilung des Unfallmechanismus	39
16: Fraktуреinteilung nach Codman	40
17: Fraktуреinteilung nach NEER	40
18: Fraktуреinteilung nach AO	41
19: Fraktуреinteilung nach Hertel	41
20: Häufigkeiten der Bewertung im Constant-Murley-Score	43
21: Häufigkeiten der Bewertung im Constant-Murley-Score aufgeteilt nach Geschlecht	44
22: Häufigkeiten der CM-Score Beurteilung in Aufteilung des Patientenalters	45
23: Darstellung des DASH-Scores in Aufteilung der Geschlechter	46
24: ROC-Kurve für die dorsomediale metaphysäre Kalottenextension und das Auftreten einer aseptischen Humeruskopfnekrose	50

## 8. Tabellenverzeichnis

1: Vergleich deltoideopectoraler und Delta-Splitting-Zugang	22
2: Einteilung der Frakturen nach Codman und jeweilige Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension	31
3: Einteilung der Frakturen nach NEER und jeweilige Länge der dorsomedialen metaphysären Kalottenextension	31
4: Einteilung der Frakturen nach Codman und jeweilige ad-latus Verschiebung	32
5: Einteilung der Frakturen nach NEER und jeweilige ad-latus Verschiebung	32
6: Einteilung der Frakturen nach Codman und jeweiliger Kopf-Schaft Winkel	33
7: Einteilung der Frakturen nach NEER und jeweiliger Kopf-Schaft Winkel	34
8: Faktor zur Berechnung des adaptierten Constant-Murley-Score	35
9: Durchschnittliche Anzahl der Tage bis zu OP mit präoperativem Procedere	42
10: Deskriptive Darstellung des CM-Score in Aufteilung des Lebensalters	44
11: Deskriptive Darstellung des CM-Score in Aufteilung der Frakturen nach Codman	45
12: Deskriptive Darstellung des DASH-Score in Aufteilung des Lebensalters	46
13: Deskriptive Darstellung des DASH-Score in Aufteilung der Frakturen nach Codman	47
14: Darstellung der einzelnen Patienten mit aseptischer Kopfnekrose und funktionellem Ergebnis (CM-Score)	49
15: Neurophysiologische Ergebnisse mit Darstellung des CM-Score	51
16: Neurophysiologische Ergebnisse (nicht pathologisch versus pathologisch) mit Darstellung des CM-Score	51
17: Darstellung der Gesamtkomplikationen und Revisionsoperationen	52
18: Literaturvergleich funktioneller Ergebnisse proximaler Humerusfrakturen über einen Delta-Splitting-Zugang	57
19: Literaturvergleich funktioneller Ergebnisse proximaler Humerusfrakturen über den deltoideopectoralen Zugang	58
20: Literaturvergleich funktioneller Ergebnisse proximaler Humerusfrakturen über deltoideopectoralen und Delta-Splitting-Zugang	59
21: Literaturvergleich der Kopfnekrose nach proximaler Humerusfraktur über einen Delta-Splitting-Zugang mit Anzahl der Revisionsoperationen	62

22: Literaturvergleich der Kopfnekrose nach proximaler Humerusfraktur über einen deltoideopectoralen Zugang mit Anzahl der Revisionsoperationen	63
23: Literaturvergleich der Kopfnekrose nach proximaler Humerusfraktur über einen deltoideopectoralen und Delta-Splitting-Zugang mit Anzahl der Revisionsoperationen	64
24: Univariate Analysen potentieller Einflussparameter auf den CM-Score	86
25: Univariate Analysen potentieller Einflussparameter auf den DASH-Score	87
26: Univariate Analysen potentieller Einflussparameter auf das Entstehen einer aseptischen Humeruskopfnekrose	88
27: Univariate Analysen potentieller Einflussparameter auf den neurophysiologischen Nachweis einer N. axillaris Affektion	89

## 9. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. med. St. Winckler für die freundliche Vergabe dieses Dissertationsthemas und die umfassende fachliche Betreuung.

Herrn Prof. Dr. med. H. Feistner für die Durchführung der EMG Untersuchungen und Beratung in der Auswertung der neurophysiologischen Befunde.

Herrn Dr. med. St. Piatek für die hervorragende fachliche Betreuung, die Überlassung der Fotos des Operationssitus und die immer fortwährende Motivation während des gesamten Zeitraums der Erstellung dieser Dissertation.

Frau Dipl.-Stat. Daniela Adolf für die Hilfe bei der statistischen Bearbeitung der Ergebnisse.

Frau Baum und ihren Kolleginnen für die professionelle Durchführung der neurophysiologischen Untersuchungen.

Herrn Dr. med. St. Schubert bei der Unterstützung in der Auswertung der Röntgenbilder und für hilfreiche Tipps in der Erstellung.

## 10. Erklärung

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel:

Humeruskopffrakturen - Funktionelle, radiologische und neurophysiologische Ergebnisse nach winkelstabiler Plattenosteosynthese über den erweiterten anterolateralen Delta-Splitting-Zugang

in der Klinik für Unfallchirurgie (Direktor: Prof. Dr. med. St. Winckler) an der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg,

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind Rechte Dritter nicht verletzt worden.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien meiner Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Stephan Woischnik

Leipzig, 10.04.2012

## 11. Lebenslauf

### Persönliche Daten

Familienstand	verheiratet, 2 Söhne
Geburtsdatum	02.12.1980
Geburtsort	Schkeuditz
Staatsangehörigkeit	deutsch

### Schulbildung

09/1987 - 06/1991	POS Karl Liebknecht, Delitzsch
08/1991 - 06/1999	Oskar-Reime Gymnasium, Delitzsch

### Zivildienst

07/1999 - 09/2000	Krankenhaus Delitzsch
-------------------	-----------------------

### Hochschulstudium

10/2000 - 11/2006	Humanmedizin, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg
-------------------	--

### Facharztausbildung

04/2007 - 03/2010	Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Klinik für Unfallchirurgie, Prof. Dr. med. St. Winckler
seit 05/2010	Waldkrankenhaus Bad Düben, Orthopädisches Fachkrankenhaus, Prof. Dr. med. Ch. Melzer

## 12. Anlagen

Variable	p-Wert
Geschlecht der Patienten	0,474
Fraktur dominante Seite	0,341
Patientenalter zur Operation	0,994
Dauer der Operation	0,898
Codman-Klassifikation	0,158
NEER-Klassifikation	0,336
Hertel-Klassifikation	0,528
dorsomediale metaphysäre Kalottenextension	0,317
ad-latus Dislokation	0,585
Kopf-Schaft Winkel	0,232
Zeit zwischen Unfall und Operation	< 0,001
Begleitverletzungen ja/nein	0,008
ASA Einteilung	0,001
Diabetes mellitus ja/nein	0,677
Cardiovaskuläre Erkrankungen ja/nein	0,678
sonstige Komorbiditäten	0,472
additive Verschraubung Tuberculum minus	0,412
Revisionsoperation ja/nein	0,581
klinisch N. axillaris Affektion	0,013
neurophysiologische N. axillaris Affektion	0,003
aseptische Kopfnekrose ja/nein	0,014
DASH-Score	< 0,001
VAS	0,005
subjektive Benotung	< 0,001

Tab. 24: Univariate Analysen potentieller Einflussparameter auf den Constant-Murley-Score

<b>Variable</b>	<b>p-Wert</b>
Geschlecht der Patienten	0,051
Fraktur dominante Seite	0,178
Patientenalter zur Operation	0,432
Dauer der Operation	0,714
Codman-Klassifikation	0,884
NEER-Klassifikation	0,871
Hertel-Klassifikation	0,697
dorsomediale metaphysäre Kalottenextension	0,790
ad-latus Dislokation	0,343
Kopf-Schaft Winkel	0,894
Zeit zwischen Unfall und Operation	0,001
Begleitverletzungen ja/nein	0,010
ASA Einteilung	0,006
Diabetes mellitus ja/nein	0,694
Cardiovaskuläre Erkrankungen ja/nein	0,969
sonstige Komorbiditäten	0,353
additive Verschraubung Tuberculum minus	0,849
Revisionsoperation ja/nein	0,924
klinisch N. axillaris Affektion	0,022
neurophysiologische N. axillaris Affektion	0,074
aseptische Kopfnekrose ja/nein	0,965
CM-Score	< 0,001
VAS	0,001
subjektive Benotung	< 0,001

Tab. 25: Univariate Analysen potentieller Einflussparameter auf den DASH-Score

<b>Variable</b>	<b>p-Wert</b>
Geschlecht der Patienten	1,000
Fraktur dominante Seite	0,124
Patientenalter zur Operation	1,000
Dauer der Operation	0,711
Codman-Klassifikation	0,176
NEER-Klassifikation	0,130
Hertel-Klassifikation	0,402
dorsomediale metaphysäre Kalottenextension	0,019
ad-latus Dislokation	0,869
Kopf-Schaft Winkel	0,132
Zeit zwischen Unfall und Operation	1,000
Begleitverletzungen	0,694
ASA Einteilung	0,175
Diabetes mellitus ja/nein	0,654
Cardiovaskuläre Erkrankungen ja/nein	0,149
sonstige Komorbiditäten	0,705
additive Verschraubung Tuberculum minus	0,065
Revisionsoperation ja/nein	0,665
klinisch N. axillaris Affektion	1,000

Tab. 26: Univariate Analysen potentieller Einflussparameter auf das Entstehen einer aseptischen Kopfnekrose

<b>Variable</b>	<b>p-Wert</b>
Geschlecht der Patienten	1,000
Fraktur dominante Seite	1,000
Patientenalter zur Operation	0,249
Dauer der Operation	0,711
Codman-Klassifikation	1,000
NEER-Klassifikation	0,633
Hertel-Klassifikation	1,000
dorsomediale metaphysäre Kalottenextension	0,860
ad-latus Dislokation	0,869
Kopf-Schaft Winkel	0,202
Zeit zwischen Unfall und Operation	0,032
Begleitverletzungen ja/nein	1,000
ASA Einteilung	1,000
Diabetes mellitus ja/nein	0,055
Cardiovaskuläre Erkrankungen ja/nein	1,000
sonstige Komorbiditäten	0,579
additive Verschraubung Tuberculum minus	1,000
Revisionsoperation ja/nein	0,149
klinisch N. axillaris Affektion	0,022

Tab. 27: Univariate Analysen potentieller Einflussparameter auf den neurophysiologischen Nachweis einer N. axillaris Affektion