

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie  
Klinik der Universität München  
Muskuloskelettales Universitätszentrum München

Kollegiale Leitung:  
Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker  
Prof. Dr. med. Boris Holzapfel



**Klinische und radiologische Ergebnisse nach Behandlung proximaler  
Humerusfrakturen mit der winkelstabilen Plattenosteosynthese.  
Definition von Komplikationstypen des winkelstabilen Plattensystems  
am proximalen Humerus**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
**Mark Philipp Daferner**  
aus Karlsruhe

2022

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Ben Ockert

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Patrick Weber  
PD Dr. med. Christian Prall

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Georg Siebenbürger

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 24.11.2022

## **Eidesstattliche Versicherung**

**Daferner, Mark Philipp**

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

**Klinische und radiologische Ergebnisse nach Behandlung proximaler Humerusfrakturen mit der winkelstabilen Plattenosteosynthese. Definition von Komplikationstypen des winkelstabilen Plattensystems am proximalen Humerus**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Karlsruhe, 01.12.2022

Mark Philipp Daferner

---

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand

**Für Kristina und Konrad Brücker**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Proximale Humerusfraktur	1
1.1.1 Epidemiologie und Ätiologie	1
1.1.2 Essentielle anatomische Aspekte	2
1.1.2.1 Assoziation von Topographie und Frakturmorphologie	3
1.1.2.2 Kenntnis der Vaskularisation als Basis der Humeruskopfnekrose	5
1.1.3 Therapie - konservativ versus operativ	8
1.2 Winkelstabiles Plattensystem	10
1.2.1 Biomechanische und implantatbezogene Eigenschaften	10
1.2.2 Bedeutung hinsichtlich Therapie und Indikationsstellung	12
1.2.3 Bedeutung von Komplikationen	13
1.3 Fragestellung und Zielsetzung	15
<b>2. Material und Methodik</b>	<b>16</b>
2.1 Patienten und Methodik	16
2.2 Klinische Methodik - Funktionsscores	16
2.2.1 Constant-Score	16
2.2.1.1 Alters- und geschlechtsnormierter Constant-Score	18
2.2.2 Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH)	19
2.2.3 Short-Form Health Survey (SF-36)	19
2.3 Klinische Analyse	20
2.4 Frakturklassifikation	21
2.4.1 Neer-Klassifikation	21
2.4.2 AO-Klassifikation	22
2.5 Radiologische Analyse	24
2.5.1 Frakturverteilung	24
2.5.2 Komplikationsklassifizierung	25
2.6 Winkelstabile Plattenosteosynthese PHILOS®	27
2.6.1 Operationstechnik	27
2.6.2 Postoperative Nachbehandlung	28
2.7 Bildgestaltung von Komplikationstypen	29
2.8 Statistik	30
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>31</b>
3.1 Funktionelle Ergebnisse von Gesamtkollektiv und Untergruppen	31
3.2 Charakteristika der Komplikationen	36
3.2.1 Komplikationstyp 1	36
3.2.2 Komplikationstyp 2	36
3.2.2.1 Komplikationstyp 2a	36
3.2.2.2 Komplikationstyp 2b	37
3.2.2.3 Komplikationstyp 2c	38
3.2.3 Komplikationstyp 3	38
3.2.4 Komplikationstyp 4	39
3.2.4.1 Komplikationstyp 4a	39
3.2.4.2 Komplikationstyp 4b	40
3.3 Ergebnisse nach Komplikationstypen	41
3.3.1 Funktionelle Ergebnisse	41
3.3.2 Zeitliche Manifestation	47
3.3.3 Varusdislokationsgraduierung der Komplikationstypen 1, 2a, 2c	48
3.3.4 Komplikationsmanagement	50
3.3.5 Assoziation zur Frakturklassifikation	52

<b>4. Diskussion</b>	<b>55</b>
4.1 Einordnung der funktionellen Ergebnisse des Gesamtkollektivs	55
4.2 Überblick zu Komplikationen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese	56
4.3 Einordnung von Typen osteosynthese-assoziiierter Komplikationen	58
4.3.1 Varusdislokationsgrad als komplikationsspezifischer Faktor für das funktionelle Outcome	60
4.3.2 Komplikationszeitpunkt	62
4.3.3 Revisionsabhängige Unterschiede für das funktionelle Outcome	63
4.4 Assoziation von Frakturtyp mit funktionellem Ergebnis und Komplikation	65
4.5 Therapiemodalitäten und Therapieausblick	68
4.6 Limitationen der Arbeit	72
<b>5. Zusammenfassung</b>	<b>73</b>
<b>6. Literaturverzeichnis</b>	<b>76</b>
<b>7. Anhang</b>	<b>85</b>
7.1 Abkürzungsverzeichnis	85
7.2 Abbildungsverzeichnis	86
7.3 Tabellenverzeichnis	88
7.4 Publikationsverzeichnis	90
<b>8. Danksagung</b>	<b>91</b>

# 1. Einleitung

## 1.1 Proximale Humerusfraktur

### 1.1.1 Epidemiologie und Ätiologie

Die proximale Humerusfraktur stellt nach der proximalen Femurfraktur und der distalen Radiusfraktur die dritthäufigste Fraktur beim erwachsenen Menschen dar [1, 2]. Während die geschlechtsspezifische Inzidenzrate mit zunehmendem Alter bis zum 50. Lebensjahr für das weibliche und männliche Geschlecht kaum Unterschiede aufzeigt, so steigt sie für weibliche Patienten altersspezifisch bis zum Alter von >80 Jahren deutlich an [3].

Lind et al. (1989) [4] zeigen auf, dass mehr als 70% der betroffenen Patienten über 60 Jahre alt sind. In diesem Kollektiv repräsentieren Frauen mit rund 75% den überwiegenden Anteil, entsprechend einem Verhältnis von 3:1 für das weibliche Geschlecht. Court-Brown et al. (2001) [5] stellen einen Frauenanteil von 73% bei einem Gesamtkollektiv mit einem Altersdurchschnitt von 66 Jahren dar. Palvanen et al. (2006) [6] zeigen anhand von finnischen Registerdaten bei Patienten mit einem mittleren Alter über 60 Jahre in einer Zeitspanne von über drei Jahrzehnten (1970-2002) eine Verdreifachung der Inzidenz der proximalen Humerusfraktur auf (32/100.000 auf 105/100.000). Parallel ergibt sich ein Anstieg des Durchschnittsalters der betroffenen Patienten im genannten Zeitraum von 72 Jahre auf 77 Jahre. Ein altersspezifischer Inzidenzanstieg ist in allen Altersgruppen >60 Jahre zu verzeichnen. Dies betrifft jedoch am stärksten weibliche Patienten mit einem Alter >80 Jahre (90/100.000 auf 294/100.000) [6]. Kim et al. (2012) [7] können an einem amerikanischen Kollektiv eine exponentielle Funktion bezüglich der Inzidenzrate proximaler Humerusfrakturen bei Frauen im Alter von 40-84 Jahren und Männern von 60-89 Jahren ableiten. Die Tatsache der demographischen Entwicklung bekräftigt die Tendenz eines weiteren Inzidenzanstiegs [6, 7]. Kannus et al. (2009) [8] können diese Hypothese jedoch für Frauen >80 Jahre in ihrem Patientenkollektiv nicht bestätigen. Nach einem Inzidenzanstieg von 1970 bis 1995 zeigt sich ein stabiles Niveau.

Bei steigender Frequenz der operativen Therapie nach proximaler Humerusfraktur spielt diese eine zunehmend wichtigere Rolle [9]. Bell et al. (2011) [10] zeigten einen Anstieg der operativen Versorgungszahlen im Vergleich der Jahre 1999/2000 und 2004/2005 von 12,50% auf 15,72%. Die Rate der offenen Reposition und internen Fixation (ORIF) stieg für selbige Zeitpunkte von 8,10% auf 10,41% an, was einen relativen Zuwachs von 28,5% ausmachte. Gleichzeitig geht die erhöhte Rate der operativen Intervention mit einer erhöhten Rate von Revisionseingriffen einher [10]. Tepass et al. (2013) [11] können transnational eine Tendenz zur chirurgischen Intervention ausmachen, die insbesondere vom Einsatz des winkelstabilen Plattensystems geprägt ist. Diese

Aspekte zeigen die Bedeutung der klinischen Analyse, einschließlich Komplikationsanalyse, der winkelstabilen Plattenosteosynthese dieser Arbeit auf.

Abhängig vom Patientenalter gibt es einen Unterschied in der Frakturätiologie der proximalen Humerusfraktur. Während beim älteren Patienten zumeist niedrig-energetische Stürze aus Standhöhe ursächlich für die Fraktur sind [4, 5, 7], zeigt sich beim jüngeren Patienten tendenziell ein Unfall im Straßenverkehr bzw. beim Sport als auslösender Traumamechanismus [5]. Typische mechanische Unfallmechanismen sind der Sturz auf die ausgestreckte Hand mit Krafteinleitung auf den proximalen Humerus, ein direktes Anpralltrauma sowie ein Sturz bei außenrotiertem, abduziertem Arm [12, 13]. Aufgrund des im Verhältnis zum Knochen instabileren Kapsel-Band-Apparats kann dies bei jungen, knochengesunden Menschen tendenziell auch zur Luxation statt zur Fraktur führen [13]. Ohne nachvollziehbare Gewalteinwirkung als Ursache der Fraktur muss eine metastatische/pathologische Ätiologie in Erwägung gezogen werden [12]. Essentieller Risikofaktor ist die Osteoporose [14, 15], was sich im Muster der Geschlechterverteilung widerspiegelt. Lill et al. (2002) [16] zeigen in ihrer Arbeit, dass bei weiblichen Präparaten des proximalen Humerus eine statistisch signifikante Korrelation von Abnahme der Knochenmineraldichte und Alter besteht und diese Abnahme speziell bei Präparaten von Patienten mit einem Alter >70 Jahre stärker ausfällt. Weitere Risikofaktoren werden häufig in Assoziation mit den Parametern verringerte Knochendichte und Sturzrisiko, als zentrale Risikofaktoren, benannt [14, 17]: geringe körperliche/funktionelle Aktivität [14, 15], neuromuskuläre Funktionsstörung [15], schlechter Gesundheitszustand [15], Schenkelhalsfraktur der Mutter in der Vorgeschichte [14], (insulinpflichtiger) Diabetes mellitus [15, 17, 18], Visuseinschränkung [14, 15], geringe Kalziumzufuhr in der Adoleszenz [15], Stürze in der Vergangenheit [14, 19], Schwindel [14], Einsatz von Hörgeräten, Depression, Epilepsie/Epilepsie-Medikation [17] sowie Benzodiazepine [14]. Protektiv ist körperliche Aktivität [17], bei Frauen eine menopausale Östrogen-Therapie [15, 17], die Anzahl der Lebendgeburten und gestillten Kinder sowie ein später Eintritt in die Menopause [15]. Letztere Faktoren gehen alle einher mit einer im höheren Lebensalter zu erwartenden besseren Knochenqualität, aufgrund mechanischer und hormoneller Einflüsse.

### **1.1.2 Essentielle anatomische Aspekte**

Der Schulterkomplex ist durch eine hybride Einheit aus mehreren Knochen und Gelenken charakterisiert, wodurch dessen großer Bewegungsumfang resultiert. Neben dem Sternoclaviculargelenk, dem Acromioclaviculargelenk und der scapulothorakalen Gleitpaarung stellt das Glenohumeralgelenk die zentrale Gelenkeinheit dar. Die anatomische Eigenheit der glenohumeralen Gelenkpaarung beruht hierbei auf einer Inkongruenz der beteiligten Gelenkflächen durch die Disproportion von Humeruskopf und Glenoid. Dies bedingt eine

immanente knochen-assoziierte Instabilitätsprädisposition. Dieser Instabilität wird durch Gelenkkapsel, Labrum glenoidale, coraco- und glenohumeralen Ligamenta, negativen intraartikulären Druck und Muskeln der Rotatorenmanschette (RM) entgegnet [20]. Diese Schulterstabilisatoren können in dynamische und statische Elemente unterteilt werden. Den dynamischen, aktiven Faktor bildet hierbei die Schultergürtelmuskulatur mit der RM als zentrale Einheit, die mit den folgenden aufgeführten, statischen Elementen interagiert. Die kapsuloligamentären Strukturen determinieren als statische, passive Komponente die anteriore, inferiore und posteriore Stabilität, die, abhängig von Bewegung und Stellung des Humerus, unterschiedliche Stabilitätsanteile leisten [21]. Frakturmorphologische und vaskuläre Aspekte sollen im Folgenden die essentielle Anatomie hinsichtlich der proximalen Humerusfraktur illustrieren.

### **1.1.2.1 Assoziation von Topographie und Frakturmorphologie**

Die erste Frakturklassifikation nach Codman [22] aus dem Jahr 1934 basiert auf der Segmentierung in die entsprechenden vier Hauptfragmente des proximalen Humerus (siehe Abb. 1): Kopfkalotte, Tuberculum (Tub.) majus, Tub. minus und Humerusschaft. Die beiden Tubercula (Tubb.) werden nach proximal durch das Collum anatomicum von der Kopfkalotte und nach distal durch das Collum chirurgicum von der Diaphyse getrennt. Prädilektionsstellen für Frakturen stellen somit das Collum anatomicum, die intertuberculäre Region sowie das Collum chirurgicum dar.

Das Verständnis über die Insertionspunkte und Lokalisationen der vier RM-Muskeln (M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor, M. subscapularis), der thorakohumeralen Muskulatur (M. pectoralis major, M. latissimus dorsi) lässt im Frakturfall die Dislokation nachvollziehen [23, 24]. Vorhandene oder zerrissene Periostverbindungen können durch selbige Zugwirkungen eingeschätzt werden [23]. Die Fraktur des Tub. majus disloziert durch den Zug des M. supraspinatus (SSP) und infraspinatus (ISP) nach subacromial bzw. dorso-kranial, die des Tub. minus durch den Zug des M. subscapularis (SSC) nach ventro-medial. Die subkapitale 2-Fragment-Fraktur führt zur Varusstellung des Humeruskopfes und Medialisierung des Humerusschafts durch die Zugwirkung des M. pectoralis major; eine parallele Tub. minus Fraktur zur Außenrotation des Kopfes durch die Kraft des SSP und ISP sowie eine parallele Tub. majus Fraktur zur Innenrotation des Kopfes aufgrund der Kraft des SSC [23].

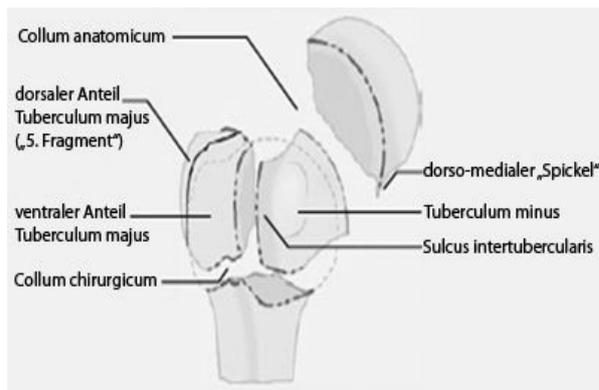


Abb. 1: Modifizierte Klassifikation nach Codman [22]; übernommen aus [25].

Hertel et al. (2004) [26] nutzten, basierend auf der Codman-Klassifikation, ein binäres Lego-Klassifikationssystem. Es resultieren mittels alleiniger Analyse der Frakturverläufe zwischen den vier Hauptfragmenten insgesamt zwölf Frakturmuster (sechs 2-Fragment-Frakturen, fünf 3-Fragment-Frakturen und eine 4-Fragment-Fraktur). Vervollständigt wird das System durch weitere Kriterien wie die metaphysäre Kopfextension (Kalkar) und die Integrität des medialen Hinge. Das Kalkarsegment stellt die metaphysäre Kopfextension dar, die im Frakturfall als metaphysärer Anteil am Kopfsegment verbleibt (siehe Abb. 2). Diese Erweiterung ist zumeist am posteromedialen Aspekt lokalisiert und ein Prognosefaktor hinsichtlich der Evaluierung der erhaltenen Humeruskopfperfusion nach Frakturmanifestation [26]. Der mediale Hinge ist von Hertel et al. „als zentraler Stützpunkt des Kopfes auf Höhe der posteromedialen Frakturlinie“ [26] definiert (siehe Abb. 2). Parallel zum Kalkarsegment ist die Hinge-Integrität bei Vorliegen eines kurzen Kalkarsegments, neben einem Parameter zur Beurteilung der bestehenden und zukünftigen Humeruskopfperfusion, ein zentraler Faktor für die Stabilität nach Reposition und Fixation [26]. „Während der Reposition wirkt das Periost wie ein Scharnier (engl.: hinge)“ [27]. Diesen mechanischen Hinge, basierend auf dem Prinzip der Ligamentotaxis, veranschaulichen Resch et al. (1997) [27] in deren Arbeit an einer valgisch-impaktierten 4-Fragment-Fraktur. Ferner spielt für die Fixation durch eine Plattenosteosynthese die intraossäre Lokalisation der Schrauben eine Rolle. Als Lokalisationen der hochwertigeren Knochensubstanz im Humeruskopf gelten proximal-posteriore und proximal-mediale Anteile [28]. Während die posterioren Bereiche und der zentrale Bereich eine signifikant höhere trabekuläre Knochendichte aufweisen als die anterioren, zeigt sich zwischen posteriorem und zentralem Bereich kein signifikanter Unterschied. Die superior-anteriore Schraubenlage soll vermieden werden, da hier im Vergleich zu anderen Regionen eine signifikant geringere Versagensbelastung besteht. Die zentrale Region soll als Lokalisation hingegen priorisiert werden [29].

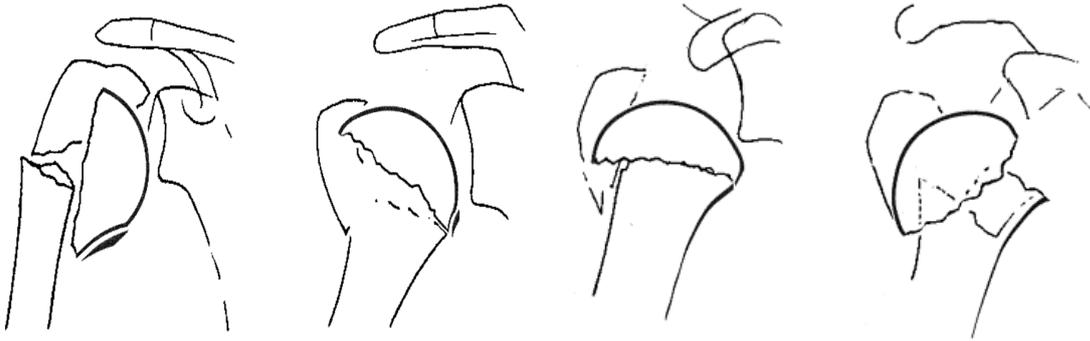


Abb. 2: Links: Zwei Abbildungen hinsichtlich der metaphysären Kopfextension (medialer Kalkar). Je länger der Kalkar, desto wahrscheinlicher ist die Erhaltung der Humeruskopfperfusion [26]. Rechts: Zwei Abbildungen hinsichtlich des medialen Hinge. Erstere zeigt eine vorhandene Hinge-Integrität auf, während letztere eine fehlende Hinge-Integrität darstellt; Abbildungen übernommen aus [26].

Hirzinger et al. (2011) [30] untersuchten in einer prospektiven Arbeit die Frakturmorphologie von 200 Humeruskopffrakturen. Speziell Varusfrakturen (43% Anteil; Varusimpaktion und Varusdistraktion) und Valgusfrakturen (31% Anteil; valgisch laterale Impaktion, valgisch posterolaterale Impaktion und ohne Impaktion) werden hierbei spezifiziert (Abkippung des Kopffragments von  $>20^\circ$  in Koronarebene; bei zusätzlicher Abkippung von  $>20^\circ$  in der Sagittalebene vorliegende Flexions-/Extensionsstellung), um neben der klassischen, deskriptiven Fragmentzahlbeschreibung eine möglichst genaue Abbildung der realen Fraktur zu erhalten. Die Varusimpaktionsfraktur charakterisiert eine Varusstellung der Kalotte zum Schaft, posteromediale Einstauchung, intaktes laterales Periost und zumeist eine additional, posteriore Abkippung (Flexionsstellung). Die Varusdistraktionsfraktur beschreibt eine Varusstellung und einen anteromedial dislozierten Schaft bei zerrissenem lateralem Periost (eine posteriore Abkippung kann seltener vorliegen). Die valgisch laterale und valgisch posterolaterale Impaktionsfraktur mit Valgusstellung des Kopfes unterscheiden sich in der additional, posterioren Abkippung  $>20^\circ$  in der Sagittalebene (Flexionsstellung). Die laterale Variante geht häufiger mit einer Hinge-Verschiebung einher als die posterolaterale valgische Impaktionsfraktur [30]. Die initiale Varusstellung zeigt nach winkelstabiler Plattenosteosynthese schlechtere klinische Ergebnisse und höhere Komplikationsraten als die identisch versorgte Valgusstellung [31, 32]. Speziell die postoperative, progressive Redisllokationsneigung in die Varusstellung wird bei der initialen Varuskomponente kritisch eruiert [32].

### 1.1.2.2 Kenntnis der Vaskularisation als Basis der Humeruskopfnekrose

Die adäquate Heilung einer Fraktur basiert auf einer erhaltenen, suffizienten Durchblutung des Knochens, sodass die Kenntnis über die Vaskularisation des Humeruskopfes fundamental für die Indikationsstellung einer humeruskopferhaltenden Therapie anzusehen ist. Die adäquate

Einschätzung des Risikos für das Entstehen einer avaskulären Nekrose (AVN) des Humeruskopfes stellt eine Voraussetzung für die Wahl des therapeutischen Verfahrens und das operative Vorgehen dar [26, 33]. Die Blutversorgung des Humeruskopfes erfolgt über die beiden Arteriae (Aa.) circumflexae humeri (anterior (ACA) & posterior (PCA), beides Äste der Arteria (A.) axillaris). Die PCA entspringt teils auch eines anderen Ursprungs (A. profunda brachii) [34-36]. Die frühere Theorie einer bevorzugten und unabdingbaren Versorgung durch die ACA und deren intraossären Ast, die A. arcuata [34, 37], wird durch neuere Arbeiten teils widerlegt [35, 38, 39]. Brooks et al. (1993) [38] zeigen auf, dass trotz Unterbindung der Blutversorgung durch die ACA auf Höhe des Knocheneintritts, die Humeruskopfdurchblutung erhalten werden kann. Dies zeigt die Bedeutung intraossärer Anastomosen aus metaphysären, posteromedialen sowie Gefäßen beider Tubb. Hettrich et al. (2010) [39] bestätigen die Relevanz der PCA und präzisieren in ihrer Arbeit die Verteilung der Humeruskopfdurchblutung mit 64% durch die PCA und 36% durch die ACA. Auch wenn die primäre Kopfversorgung durch die ACA attestiert wird, in deren Verlauf ein Ast Richtung Sulcus intertubercularis und lateral der langen Bizepssehne nach proximal zum Humeruskopf verlaufend in das Tub. majus eintritt oder Seitenäste zu beiden Tubb. abgibt, während das zentrale Gefäß bogenförmig (lat.: arcuatus) subchondral durch den Humeruskopf zieht [34, 36, 37, 40]; so wird die Relevanz der PCA ebenso befürwortet, indem sie im Verlauf um das Collum chirurgicum mehrere ascendierende, kopfpenetrierende Äste abgibt. Anatomische Varianten der PCA zeigen weitere Abgänge Richtung Tub. majus [40]. Darauf basierend ist der Erhalt der posterioren Blutversorgung beim operativen Zugangsweg, der Frakturposition und der Fixation essentiell [38, 39]. Eine direkte, extraossäre Anastomose beider Aa. findet sich nicht [40]; jedoch existiert ein breites Netzwerk von gefäßbildenden Anastomosen (auch mit weiteren Ästen der A. axillaris) im Kapselapparat, Tub. majus, umgebenden Weichteilgewebe mit Rotatorenintervall [34, 35, 41, 42] sowie mit Periostgefäßen [36]. Intraossäre Anastomosen von ACA und PCA lokalisieren sich primär um die Epiphyse [34, 35]. Gerber et al. (1990) [34] beschreiben insbesondere eine Anastomisierung innerhalb des Tub. majus und der Gelenkkapsel; eine Versorgung durch die PCA wird hier lediglich auf den posterioren Teil des Tub. majus und einen kleinen, posteroinferioren Teil der Gelenkfläche begrenzt. Duparc et al. (2001) [35] legen ein ausführliches Versorgungsmuster der jeweiligen Humeruskopfabschnitte dar und favorisieren die Relevanz der PCA: Präferenz durch die PCA für Tub. majus, Collum chirurgicum, Humeruskopfspitze, Humeruskopfzentrum, subchondralen Knochen und Präferenz durch die ACA für Tub. minus, Sulcus intertubercularis. Natürlich werden Diskrepanzen von diesen Versorgungsmustern postuliert, sodass auch eine Versorgung entgegengesetzt (insbesondere Humeruskopfspitze und Humeruskopfzentrum betreffend) oder durch beide Gefäße kombiniert (insbesondere Collum chirurgicum, Tub. majus und minus betreffend) existiert [35]. Die an den Tubb. ansetzenden Sehnen und Muskeln nehmen eine protektive Funktion ein, die auch im Frakturfall eine ausreichende Fragmentperfusion der Tubb.

ermöglichen kann. An der lateralen Seite des Tub. majus finden sich keine subperiostalen, arteriellen Gefäße. Diese Kenntnis ist bedeutend für die Implantation der Plattenosteosynthese, sodass sie an dieser Implantationsstelle keinen negativen Einfluss auf die arterielle Zirkulation nimmt [40]. Der Durchmesser der beiden Aa. unterscheidet sich, wobei sich die PCA größer als die ACA darstellt [34-36]. Einen weiteren wichtigen Vaskularisationsaspekt stellt das Periost dar. Die darin verlaufenden, venösen Abflussgefäße könnten durch die Auflagefläche der Osteosynthese geschädigt werden [40].

Frakturen im Collum anatomicum (Neer II, AO Typ C) sind für die Entwicklung einer AVN aufgrund einer potenziellen Verletzung der A. arcuata prädisponiert [40]. Brooks et al. (1993) [38] betonen in ihrer Arbeit die Relevanz der posteromedialen Gefäße, deren Anastomose und verneinen eine unabdingbare Avaskularität in Abhängigkeit dieser Gefäße. Voraussetzung hierfür ist ein gering dislozierter medialer Aspekt oder eine erhaltene Kontinuität Richtung Kopffragment. Der für die Versorgung relevante Verlauf der posteromedialen Gefäße stellt sich an der am Collum chirurgicum inserierenden Kapsel und dem Eintritt in den Knochen unterhalb der Gelenkfläche dar. Diese mögliche Anastomose geht folglich potenziell verloren und führt zur AVN des Kopfes, wenn die mediale Frakturlinie zwischen Gelenkfläche und Collumbereich lokalisiert ist [38]. Untersuchungen zu valgisch-impaktierten Frakturen validieren diese Thematik und zeigen auf, dass eine niedrigere AVN-Rate von der geringen Lateralverschiebung und dem darauf basierenden intakten Periost an der medialen Seite mit den intakten posteromedialen Gefäßen abhängt [43, 44]. Die von Hettrich et al. (2010) [39] aufgestellte prozentuale Verteilung von ACA und PCA bekräftigt die Wichtigkeit der Integrität des posteromedialen Kalkars und der Vaskularität durch die PCA [30]. In der wichtigen Arbeit von Hertel et al. „Predictors of humeral head ischemia after intracapsular fracture of the proximal humerus“ (2004) [26] werden als relevante Ischämie-Prädiktoren eine Kalkarlänge <8mm (je länger der Kalkar, desto wahrscheinlicher die vorhandene Kopfperfusion), eine fehlende Hinge-Integrität (>2mm Schaftverschiebung, vaskulär bedeutend in Kombination mit kurzem Kalkarsegment) sowie deren Frakturmuster 2, 9, 10, 11 und 12 (alle Collum anatomicum Beteiligung) definiert. Ein medialer Schaftversatz, hinsichtlich Humeruskopfposition, ist als signifikant kritischer einzuordnen als eine laterale Verschiebung. Bei Erfüllung aller drei Kriterien ergibt sich ein positiver prädiktiver Wert von 97% [26]. Kralinger et al. (2009) [45] deklarieren in ihrer Arbeit, basierend auf der biomechanischen Untersuchung eines valgisch-dislozierten Frakturmodells, den Beginn eines entstehenden Periostdefekts ab einer mittleren Dislokation von 3mm und eine vollständige Periostruptur bei einer Dislokation von 34,4mm (ohne signifikanten Unterschied zwischen medialer (35,8mm) und lateraler (33mm) Verschiebung). Im Vergleich von Valgus- und Varusfraktur wird die Valgusstellung für die AVN-Entwicklung als gefährdeter eingeordnet [30]: Die für die Vaskularität als „unhappy triad“ bezeichneten Faktoren (Kalkarlänge <8mm, Hinge-

Verschiebung >2mm, Frakturierung beider Tubb.) werden in der Arbeit von Hirzinger et al. (2011) [30] vergleichsweise häufiger bei Valgus- als bei Varusfrakturen vorgefunden.

Über die Gefäßanatomie hinaus gilt es, den möglichen Prozess der Revaskularisierung trotz initialer Ischämie, die Diskrepanz von Ischämie und tatsächlicher AVN-Entwicklung und die Möglichkeit der symptomlosen AVN-Situation trotz radiologischem Nachweis zu beachten. Die Entstehung muss als multifaktoriell und teilweise iatrogen nicht beeinflussbar angenommen werden [26, 46]. Zusammenfassend stellen eine Kalkarlänge <8mm und eine fehlende Hinge-Integrität die wichtigsten anatomischen Faktoren für die AVN-Entstehung dar. Frakturmuster mit Collum anatomicum Beteiligung, hohen Fragmentanzahlen erhöhen dieses Risiko zusätzlich [26]. Neben diesen anatomischen Faktoren sind Alkohol-, Nikotinkonsum und Kortisontherapie weitere Risikofaktoren [47, 48].

### 1.1.3 Therapie - konservativ versus operativ

Die Wahl der Therapie von konservativem versus operativem Behandlungskonzept ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. So spiegeln individuelle Kriterien des Patienten (Alter, Anspruch, Compliance) [49-52], bestehende Komorbiditäten [51, 53, 54], Frakturmorphologie [51, 52], Dislokationsgrad [50], Zeitpunkt der Therapie [55] und Erfahrung des Operateurs [23, 56] entscheidende Einflussgrößen. Die Diskrepanz bei der Entscheidung konservativ versus operativ sowie der jeweiligen operativen Methode nach dislozierter proximaler Humerusfraktur ist jedoch groß [11, 30, 50, 51, 57]. Erschwerend kommt die geringe intraobserver und interobserver reliability hinsichtlich der Klassifikationssysteme nach Neer und AO hinzu [58-60].

Imrecke et al. (2014) [49] und Krettek et al. (2011) [50] greifen mehrere Arbeiten [61-66] zur Thematik konservative versus operative Therapie (Plattenosteosynthese, Hemiprothese) auf und konkludieren keine wesentliche Überlegenheit der operativen Therapie. Gleichzeitig wird die hohe Komplikations- und Revisionsrate einer Operation als kritisch erachtet. Darüber hinaus kann die PROFHER-Studie für unterschiedliche Follow-up Zeitpunkte (6, 12, 24, 36, 48 und 60 Monate) keinen signifikanten Unterschied zwischen konservativer und operativer Behandlungsform aufzeigen [67, 68]. Hierbei bezieht man sich jedoch vor allem auf die schlechte Evidenzlage (wenige randomisierte Studien, heterogenes Studienkollektiv, kurze Follow-up Zeiträume). Insbesondere die hohe Patientenzufriedenheit und das geringe Schmerzniveau der konservativen Behandlungsform gilt es hervorzuheben [69]. Dennoch erfährt sie, trotz guter Ergebnisse für 2- und 3-Fragment-Frakturen, für die 4-Fragment-Fraktur eine klare, funktionelle Limitation [69, 70].

Während Zentren mit langjähriger konservativer Erfahrung (Krettek, Hannover) die Indikation zur konservativen Therapie weiter ausdehnen, geschieht dies umgekehrt an operativ geprägten

Zentren (Lill, Hannover) pro operativer Therapieentscheidung. So werden durch diese eigene Behandlungsalgorithmen für den konservativen und operativen Ansatz [25, 50, 71] aufgestellt; neben den klassischen Kriterien nach Neer [72] (konservative Therapie bei Dislokation der Fragmente  $<1\text{cm}$  und  $<45^\circ$  Achsabweichung). Dennoch ist insgesamt eine Tendenz zur operativen Vorgehensweise zu beobachten [10, 11].

Bei der Frage Osteosynthese versus Prothesenersatz können Prognosefaktoren hinsichtlich der Fraktur-Rekonstruierbarkeit nützlich sein. Grenzen dieser Rekonstruierbarkeit können frakturmorphologischer und vaskulärer Genese sein: Fehlende mediale Abstützung, metaphysäre Trümmerzone, schlechte Knochenqualität, kleines schalenförmiges Kalottenfragment, Head-Split-Frakturen, Luxationsfrakturen, kurze/fehlende posteromediale metaphysäre Kopfextension (Kalkar, medialer Spickel), Ruptur der posteromedialen Periostverbindung [26, 73, 74]. Ferner beschreiben Krappinger et al. (2011) [75] vier Faktoren für das Versagen einer Osteosynthese: Patientenalter  $>63$  Jahre, reduzierte Knochendichte, keine anatomische Reposition und fehlende mediale Abstützung. Bei Summation dieser Faktoren steigt auch die Versagensrate; bis zu 85,7% bei Komplettierung aller vier Faktoren [75]. Aufgrund der fehlenden Beeinflussbarkeit von Patientenalter und Knochendichte bedingen die korrekte anatomische Reposition und die mediale Abstützung die Prävention eines Osteosyntheseversagens und darauf basierend das klinische Outcome [49]. In Abhängigkeit der anatomischen Reposition ist bei initial ischämischen Knochen sogar eine Revaskularisation und damit einhergehend eine Humeruskopferhaltung möglich [76]. Des Weiteren ist ein besseres Outcome in Abhängigkeit eines kurzen Zeitintervalls zwischen Operation und Trauma erreichbar [77].

Der Behandlungsalgorithmus nach Jost/Spross [78] gibt eine Therapie-Empfehlung vor und zeigt damit die Relevanz der operativen Therapie für das Ziel einer maximalen Schulterfunktion auf. Er macht hierfür zunächst eine altersspezifische Trennung. Für junge und aktive Patienten ( $<65$  Jahre) wird empfohlen: Konservative Therapie bei Ein-Fragment-Frakturen ohne  $>5\text{mm}$  Tub.-Dislokation; ORIF bei Ein-Fragment-Frakturen mit  $>5\text{mm}$  Tub.-Dislokation und bei 2-, 3-, 4-Fragment- & Luxationsfrakturen mit Valgusimpaktion sowie ohne Valgusimpaktion bei Möglichkeit einer stabilen anatomischen Rekonstruktion; Hemiprothese bei 2-, 3-, 4-Fragment- & Luxationsfrakturen ohne Valgusimpaktion und Unmöglichkeit einer stabilen anatomischen Rekonstruktion. Für Patienten  $\geq 65$  Jahre setzt der Algorithmus eine Trennung in Abhängigkeit der Aktivität und Autonomie: Fehlt diese, ist das Ziel Schmerzfreiheit, was bei Frakturdislokation/Luxationsfraktur mittels Hemiprothese, sonst konservativ erreicht werden kann (sofern nach 3 Wochen Schmerzfreiheit besteht). Liegt diese vor, wird je nach Knochenqualität (bestimmt mittels Deltoid Tuberosity Index (DTI): Quotient äußerer corticaler Diameter und innerer endostaler Diameter oberhalb der Tuberositas deltoidea) weiter verfahren. Bei fehlendem DTI  $<1,4$  (gute Knochendichte) entspricht die Therapiewahl dem Algorithmus der Patienten  $<65$  Jahre, mit dem Unterschied des Einsatzes einer inversen Prothese statt einer

Hemiprothese. Bei einem DTI  $<1,4$  erfolgen folgende Therapieentscheidungen: Konservative Therapie bei Ein-Fragment-Frakturen, 2-Fragment-Frakturen mit Varus-/Valgusimpaktion, 3- & 4-Fragment-Frakturen mit Valgusimpaktion und  $<1\text{cm}$  Tub.-Dislokation; ORIF bei 2-Fragment-Frakturen ohne Varus-/Valgusimpaktion, 3- & 4-Fragment-Frakturen mit Valgusimpaktion ohne  $<1\text{cm}$  Tub.-Dislokation und möglicher anatomischer Reposition bei Patientenalter  $<70$  Jahre; inverse Prothese bei 3- & 4-Fragment-Frakturen ohne Valgusimpaktion, 3- & 4-Fragment-Frakturen mit Valgusimpaktion ohne  $<1\text{cm}$  Tub.-Dislokation bei Patientenalter  $\geq 70$  Jahre und unmöglicher anatomischer Reposition, bei Head-Split-Frakturen und Frakturdislokationen/Luxationsfrakturen.

## 1.2 Winkelstabiles Plattensystem

Die Implantation eines Plattensystems am proximalen Humerus wurde erstmals 1949 durch Bosworth mittels einer „blade plate“ aus Vitallium beschrieben [79]. Vor der Einführung des winkelstabilen Plattensystems war der Einsatz konventioneller, starrer Plattenosteosynthesen der Standard. Das Prinzip dieses konventionellen Plattensystems basiert auf der direkten Kompression zwischen Platte und Knochen und dem korrespondierenden Anpressdruck der Schrauben [80, 81]. Resultierend entstehen Haftreibungskräfte [81]. Dies ist assoziiert mit Weichteilverletzungen und Periostschäden mit begleitender Beeinträchtigung der Vaskularisation und Frakturheilung [82]. Die Entwicklung und Optimierung zum Winkelstabilitätsprinzip sollte diesen komorbiditätsverbundenen Wirkmechanismus negieren.

### 1.2.1 Biomechanische und implantatbezogene Eigenschaften

Das Prinzip des winkelstabilen Plattensystems beruht auf dem des Fixateur interne. Die Schrauben erhalten in der sich über die Fraktur hinaus erstreckenden Platte eine vordefinierte Winkelposition, von der sie nicht abweichen können [81]. Die Verriegelung und Ausrichtung wird durch das Gewinde im Plattenloch erreicht. Eine Kompression zwischen Platte und Knochen, wie es das konventionelle System fordert, tritt nicht ein. Die Beeinträchtigung der periostalen Vaskularisation wird folglich minimiert. Ein entscheidender Aspekt in der Frakturheilung durch ein winkelstabiles System stellt die beschränkte, interfragmentäre Bewegung mit der Induktion einer Kallusbildung nach adäquater Reposition dar [83, 84]. Essentiell im Gebrauch des winkelstabilen Plattensystems ist die Übungsstabilität und so die postoperativ frühfunktionelle Nachbehandlung [85]. Speziell für Frakturen des osteoporotischen Knochens gilt das winkelstabile Funktionsprinzip als adäquat. Die bei der konventionellen Plattenosteosynthese fehlende Primärstabilität, aufgrund der inadäquaten Wirkung der Kompressionstechnik durch unzureichende Schraubenzugkräfte in der osteoporotischen

Knochensubstanz, ist beim winkelstabilen Schraubensystem nicht gegeben. Dennoch sind die winkelstabilen Schrauben Biegemomenten und Scherkräften ausgesetzt, was bei Überschreiten der osteoporotischen Kapazität zur Dislokation von Plattenosteosynthese und Knochen führen kann [86]. Im Vergleich zur konventionellen Plattenosteosynthese spiegelt die winkelstabile Technik eine höhere Haltekraft [87], ein reduziertes Fixationsversagen [88], mehr mechanische Stabilität bei zyklischer Torsionsbelastung [89], ein konstanteres Ergebnis bezüglich Belastungsreduktion bei zyklischer Varusbiegung [90] und konkludierend die Präferenz für den osteoporotischen Knochen [89, 90]. Als Lokalisation der intraossären Schrauben empfiehlt sich zur optimalen Verankerung die Inklusion von Humeruskopfzentrum und subchondralem Bereich [91]. Des Weiteren werden Kalkarschrauben genutzt, um eine höhere Stabilität im inferomedialen Kalkar und eine bessere Erhaltung der Reposition zu erreichen [92]. Die Verwendung von Fadencerclagen, zur Verbindung von Implantat und RM, soll der Neutralisation von Zugkräften dienen [93]. Dieser Funktionsaspekt wird allerdings in biomechanischen Testungen nicht bestätigt [94, 95].

Die winkelstabilen Plattensysteme spiegeln in ihrer Formgestaltung die Anatomie des Locus von Humeruskopf und Humerusschaft wider. Es handelt sich zumeist um Titan-Implantate (Europa, USA eher Stahl), die im proximalen Bereich Schraubenlöcher zur Fixation des Kopfes und im distalen Bereich solche zur Schaftfixation besitzen. Hinzu finden sich im proximalen Plattenaspekt weitere Lochkonfigurationen, die der Fixation der Tubb. und der RM mittels Fadencerclagen dienen. Je nach Hersteller und Weiterentwicklung zeigen die winkelstabilen Plattensysteme des proximalen Humerus Unterschiede in Plattendicke, Plattenlänge, Lochanzahl, Lochkonfiguration, Schraubenkonfiguration und Schraubenausrichtung. Die PHILOS®-Platte (Proximal Humerus Internal Locking System, Synthes DePuy GmbH, Oberdorf, Schweiz) verfügt über neun proximale Schraubenlöcher mit der Möglichkeit einer parallelen, konvergierenden und divergierenden Schraubenausrichtung, zehn proximale Nahtlöcher sowie mehrere Schaftlängenausführungen mit entsprechend steigender Schaftlochzahl (Minimum drei, Maximum dreizehn). Die Varianz der proximalen Schraubenausrichtung erhöht die Cutout-Fläche [85]. Die Löcher im Schaftbereich ermöglichen die Wahl zwischen winkelstabilen Schrauben oder Zugschrauben. Eine weitere Entwicklung ist das Prinzip der Schraubenpolyaxialität (30°) der NCB®-PH-Platte (Non-Contact Bridging for the Proximal Humerus, Zimmer GmbH, Winterthur, Schweiz). Zwischen diesen zwei Plattensystemen zeigt sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich Implantatverhalten und Implantatversagen [96]. Weitere Entwicklungen sind die polyaxiale, röntgendurchlässige, karbonfaserverstärkte PEEK(Polyetheretherketon)Power®-Humerusfrakturenplatte (Firma Arthrex, Karlsfeld, Deutschland) und die zementaugmentierte Plattenosteosynthese.

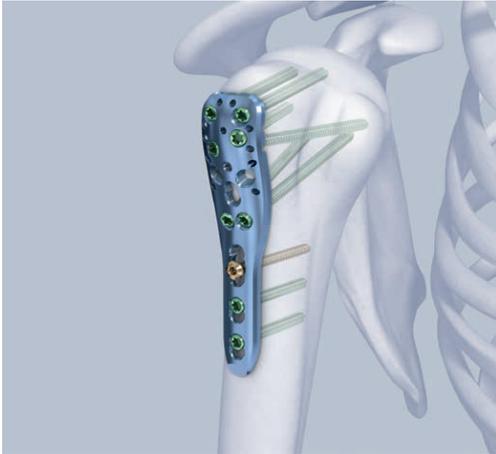


Abb. 3: Musterbild einer PHILOS®-Plattenosteosynthese (mit freundlicher Genehmigung der Synthes DePuy GmbH, Oberdorf, Schweiz).

### 1.2.2 Bedeutung hinsichtlich Therapie und Indikationsstellung

Der Einsatz der winkelstabilen Plattenosteosynthese stellt die meist verwendete, operative Therapieoption zur Versorgung der dislozierten proximalen Humerusfraktur dar [11]. Das klinische Outcome nach winkelstabiler Plattenosteosynthese zeigt überwiegend gute bis sehr gute Ergebnisse [93, 97-99]. Ergänzend ist innerhalb des ersten Jahres postoperativ eine progressive Verbesserung des klinischen Outcomes zu verzeichnen [64, 93]. Außerdem zeigt sich eine Korrelation von klinischem Outcome nach zehn Jahren und nach einem Jahr postoperativ, sodass längerfristig von geringen Varianzen ausgegangen werden kann und Patienten mit schlechtem funktionellem Ergebnis bereits zu einem frühen Zeitpunkt erkannt werden sollten. Die Tendenz für ein schlechteres funktionelles Ergebnis korreliert signifikant mit einem höheren Patientenalter [97]. Grundlegend für eine optimale Funktionalität der winkelstabilen Plattenosteosynthese ist die anatomische Reposition [100]. Die von Krappinger et al. definierten Faktoren eines Osteosyntheseversagens beinhalten diese beiden aufgeführten Aspekte, neben der Knochendichte und der fehlenden medialen Abstützung als weitere Elemente [75]. Bezieht man weiter die Prognosefaktoren zur Rekonstruierbarkeit einer Fraktur mit ein, werden in Summe Anhaltspunkte für die Indikationsstellung der winkelstabilen Plattenosteosynthese offeriert [26, 73, 74].

Südkamp et al. (2009) [64] favorisieren eine mögliche Indikation der winkelstabilen Plattenosteosynthese für alle Frakturtypen nach AO (Typ A, B und C). Es ergibt sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich funktionellem Outcome und den drei Frakturtypen [64]. Hingegen zeigt ein Review von Sproul et al. (2011) [101] eine signifikante Verringerung des funktionellen Outcomes von der 2- zur 4-Fragment-Fraktur auf. Zwei systematische Reviews belegen gute Werte für 2- und 3-Fragment-Frakturen sowie befriedigende Werte für 4-Fragment-Frakturen [101, 102]. Luxationsfrakturen zeigen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese

signifikant schlechtere Funktionswerte als jene ohne vorliegende Luxation [103]. Für Head-Split-Frakturen werden die schlechtesten Funktionswerte gemessen [104]. Auch wenn diese im Vergleich zu weniger komplexen Frakturen einen signifikant niedrigeren Constant-Score erreichen, so ist mit der winkelstabilen Plattenosteosynthese dennoch ein zufriedenstellendes funktionelles Ergebnis möglich [99]. Ockert et al. (2013) [105] zeigen für 3- und 4-Fragment-Frakturen mit Head-Split-Komponente oder RM-Ruptur gering bessere Funktionswerte, ohne signifikanten Unterschied, für die winkelstabile Rekonstruktion gegenüber des inversen Protheseneinsatzes.

### 1.2.3 Bedeutung von Komplikationen

Es werden in der Literatur unterschiedliche Einteilungen für Komplikationen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese am proximalen Humerus vorgenommen (primär, sekundär, osteosynthese-assoziiert, nicht osteosynthese-assoziiert). Konsensuell beinhalten sie: Infektion, Hämatom, Nervenverletzung, RM-Verletzung, frozen shoulder, Impingement, Dislokation/Fixationsverlust, Schrauben-Cutout, Plattenversagen durch Bruch oder Schraubenlockerung, AVN [64, 93]. Dislokation, Schrauben-Cutout und AVN stehen hierbei bezüglich Häufigkeit im Fokus [101, 102, 106, 107]. Weiterführend sind dies die häufigsten Komplikationsmuster mit der Indikation einer Revisionsoperation [102]. Ein relevanter Anteil an Komplikationen wird auf ein inkorrektes Operationsverfahren zurückgeführt, sodass dem jeweiligen Operateur für die Komplikationsrate und für die Möglichkeit eines Komplikationsereignisses ein essentieller Einfluss zugeschrieben werden muss. So werden Gesamt-Komplikationsraten von über 30% beschrieben, wovon ein wesentlicher Teil direkt auf den operativen Eingriff zurückgeführt werden kann [64, 93]. Haasters et al. [108] zeigen im zeitlichen Verlauf der letzten Jahre die Rückläufigkeit von Komplikations- und Revisionsrate, trotz konstant bleibender Operationsrate. Dislokation/Fixationsverlust stellt hierbei mit durchschnittlich 12,8% die häufigste Komplikation dar und fällt im letzten Untersuchungsjahr auf <5%. Die Revisionsrate wird mit durchschnittlich 11,6% angegeben, während auch hier Werte <5% in den letzten beiden Untersuchungsjahren selbige Rückläufigkeit für den Aspekt der Revision aufzeigen [108]. Die Revision umfasst die (frühe) Materialentfernung, den Schraubenaustausch und die Schraubenentfernung, die Reosteosynthese sowie den Verfahrenswechsel auf eine Prothese [64, 93].

Brunner et al. (2009) [93] zeigen eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit zur Entwicklung einer Komplikation für ältere Patienten (>60 Jahre) auf. Auch der Schweregrad der Fraktur geht mit einer steigenden Inzidenz hinsichtlich Komplikationsentwicklung einher. Kategorial ergibt sich ein signifikanter Inzidenzanstieg für implantat-assoziierte Komplikationen für ein Alter >70 Jahre und nicht für den Frakturtyp, für nicht-implantat-assoziierte Komplikationen hingegen stellt sich ein signifikanter Inzidenzanstieg für die Schwere des Frakturtyps und nicht für das

Patientenalter dar [93]. Das funktionelle Ergebnis zeigt im längerfristigen Verlauf eine signifikant negative Korrelation mit einem ungeplanten Revisionseingriff [99]. Ebenso zeigt sich eine signifikant negative Korrelation von Funktion und sekundärem Fixationsverlust [97]. Darauf basierend wird die Relevanz der adäquaten Primärversorgung ersichtlich. Im Vergleich der Dislokationsgraduierung zeigen Solberg et al. (2009) [32] für initial varusdislozierte 3- und 4-Fragment-Frakturen ein schlechteres funktionelles Outcome und eine höhere Komplikationsrate (AVN, Varusdislokation, Humeruskopf-Schrauben-Cutout, Fixationsverlust) als für selbige valgusdislozierte Frakturmuster. So muss bei Vorliegen einer  $>5^\circ$  initial dislozierten Varusfraktur eine relevante, postoperative Varusdislokation mit entsprechend schlechtem funktionellem Ergebnis bedacht werden. Eine postoperative Varusdislokation von  $>20^\circ$  wird in dieser Arbeit als Indikation für eine frühe Revision auf eine Hemiarthroplastik angesehen [32]. Brunner et al. (2009) [93] bestätigen diese funktionelle Dislokationsabhängigkeit: Die Varusdislokation im postoperativen Verlauf repräsentiert ein vergleichsweise schlechteres funktionelles Ergebnis. Eine biomechanische Arbeit zu dieser Thematik zeigt, dass eine höhere Varusdeformität durch Medialisierung des SSP-Ansatzes mit verringerter Effizienz des SSP und erhöhtem Kraftaufwand des M. deltoideus einhergeht. Darauf basierend soll eine Varusdislokation von  $>20^\circ$  intraoperativ korrigiert werden, um veränderten Kraftwirkungen am Gelenk und einer Prädisposition zur Arthrose-Entwicklung zu entgegen [109]. Die altersabhängige Wahrscheinlichkeit ( $>60$  Jahre) bezüglich der Komplikationsentstehung zeigt sich auch in der Wahrscheinlichkeit des Schrauben-Cutouts. Eine Collum anatomicum Fraktur mit gering intakter Humeruskopffläche ( $<1,5\text{cm}$ ) kann als relative Kontraindikation angesehen werden, da eine inakzeptable Cutout-Rate, bedingt durch insuffiziente Fixation, erzielt wird [107]. Bei Komplettierung der drei Ischämie-Risikofaktoren [26] zeigen mehr als die Hälfte dieser Patienten ein Schrauben-Cutout. Revisionen nach Schrauben-Cutout sind die komplette Materialentfernung nach vollendeter Frakturheilung, der Schraubenaustausch bei Überstand durch kürzere Schrauben und auch der Verfahrenswechsel auf eine Prothese aufgrund der Entwicklung einer AVN. Auch der Verzicht auf eine Revision kann eine komfortable Funktion schaffen. Allgemein fällt das funktionelle Outcome ohne Komplikationsbeteiligung nachvollziehbar besser aus [107]. Die AVN wird vor allem bei schweren Frakturmustern (Typ C-Frakturen) beobachtet [93, 103]. Verständlich ist das funktionelle Ergebnis bei vorliegender AVN signifikant schlechter als ohne vorliegende Nekrose [103].

Insgesamt kann eine Verringerung von Komplikations- und Revisionsrate nach winkelstabiler Plattenosteosynthese manifestiert werden [108]. Entscheidende Aspekte bezüglich dieser Reduktion sind die Indikationsstellung und die adäquate Ausweitung der Therapiemöglichkeit auf die inverse Prothese für bestimmte Frakturmuster [105, 108]. Dennoch stellt das winkelstabile Plattensystem das zentrale Instrumentarium in der Versorgung der proximalen Humerusfraktur dar und erfährt simultan aufgrund des Komplikations- und Revisionsaspekts Diskussion.

### 1.3 Fragestellung und Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, das funktionelle Ergebnis sowie auftretende osteosynthese-assoziierte Komplikationen dislozierter Frakturen des proximalen Humerus nach operativer Versorgung mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese zu erfassen. Diese Komplikationen sollen weiterhin definiert und radiologisch analysiert, charakterisiert und rangiert werden. Hierfür wurde eine bereits etablierte Datenbank ausgewertet, nachdem diese überarbeitet, erweitert und aktualisiert wurde [99].

Dabei sollen insbesondere folgende Fragen und klinisch relevanten Aspekte aufgegriffen werden:

- Wie stellt sich das funktionelle Outcome des Gesamtkollektivs dar?
- Gibt es bestimmte Komplikationstypen in der Varianz der aufgetretenen sekundären, osteosynthese-assoziierten Komplikationen und wie sind diese definiert? Daraus Erarbeitung einer Definition von einzelnen Komplikationstypen und deren Korrelation mit dem Frakturtyp.
- Wie verhält sich das Komplikationskollektiv hinsichtlich funktionellem Outcome verglichen mit dem Kollektiv ohne Komplikationen?
- Wie verhalten sich die jeweiligen Komplikationstypen hinsichtlich funktionellem Outcome untereinander?
- Ist eine Komplikation obligat mit einem schlechten funktionellen Outcome verbunden?
- Wie unterscheidet sich das funktionelle Outcome in Abhängigkeit des Grades der sekundären Varusdislokation?
- Wie stellt sich das zeitliche Eintreten der jeweiligen Komplikation dar?
- Welche Frakturtypen bedingen ggf. eine erhöhte Komplikations- und Revisionsrate?
- Wie bildet sich das weitere Procedere nach Manifestation der jeweiligen Komplikation ab und inwiefern ist die Notwendigkeit einer Revision obligat?

## 2. Material und Methodik

### 2.1 Patienten und Methodik

Im Rahmen dieser retrospektiven Kohortenstudie an den zwei Standorten Großhadern und Innenstadt der Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität München wurde im Zeitraum zwischen Februar 2002 und Dezember 2014 ein Kollektiv von 1031 Patienten mit 1047 dislozierten proximalen Humerusfrakturen (mittleres Alter  $67,2 \pm 15,8$  Jahre, 701 (67,0%) Frauen, 346 (33,0%) Männer) erfasst. Die operative Indikation zur ORIF mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese wurde bei allen Patienten für die dislozierte Fraktur anhand der Kriterien nach Neer (Frakturwinkel  $>45^\circ$ , Frakturversatz  $>1\text{cm}$ ) gestellt [72, 110]. Alle Frakturfälle wurden in einer Microsoft® Access® Datenbank, mitsamt klinischem und radiologischem Verlauf, festgehalten. Darauf basierend können die klinischen und radiologischen Ergebnisse in einem großen Gesamtkollektiv ermittelt und analysiert werden. Der Fokus gilt speziell den sekundären, osteosynthese-assoziierten Komplikationen. Diese werden mitsamt nachfolgender operativer Revision klinisch und radiologisch begutachtet, sodass eine detailhafte Analyse und Klassifikation der Komplikation möglich ist. Im Folgenden soll Gruppe A das Kollektiv ohne Komplikationen beschreiben, während Gruppe B das reine Komplikationskollektiv darstellt. Die am häufigsten verwendete Plattenosteosynthese ist die PHILOS®-Platte. Ausgeschlossen wurden offene und pathologische Frakturen. Die Studie wurde unter Zustimmung der Ethikkommission (Nummer 156-12) und gemäß den Grundsätzen der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

### 2.2 Klinische Methodik - Funktionsscores

#### 2.2.1 Constant-Score

Der 1987 von Constant und Murley publizierte Constant-Score (CS) ist ein Schulterfunktionsscore, welcher es erlaubt, die Funktionalität der Schulter sensitiv und reproduzierbar darzustellen [111]. Der CS ist auf vier Säulen aufgebaut, wovon zwei Subjektivität und zwei Objektivität reflektieren (siehe Tab. 1). Schmerz und Alltagsaktivitäten stellen die subjektive Komponente dar. Die objektive Komponente wird durch den Umfang der schmerzfreien, aktiven Beweglichkeit und die Kraft abgebildet. In der Summe resultiert ein Maximalwert von 100 Punkten. Verhältnismäßig entsteht folgende Punkteverteilung für die einzelnen Parameter: Schmerz mit maximal 15 Punkten bei Schmerzfreiheit (siehe Tab. 2), Alltagsaktivitäten mit maximal 20 Punkten bei Beschwerdefreiheit in Freizeit und Beruf (siehe

Tab. 3), Umfang aktiver Beweglichkeit in den vier Hauptbewegungsachsen mit maximal 40 Punkten/10 Punkten pro Bewegungsachse (siehe Tab. 4-6) und Kraft mit maximal 25 Punkten. Die klinische Untersuchung des aktiven Bewegungsumfangs wird unter Zuhilfenahme eines Goniometers durchgeführt. Die isometrische Kraftmessung erfolgt mittels geeichtem Myometer bei 90° Abduktion. Als Referenzwert zählen 25 Pfund beim Fünfundzwanzigjährigen. Bei Nichterreichen der 90° Abduktionsposition wird der bestmögliche Abduktionswinkel zur Messung herangezogen [111].

Das Ergebnis des Constant-Score kann je nach Punktesumme folgendermaßen definiert werden: Sehr gut (86-100 Punkte), gut (71-85 Punkte), mäßig (56-70 Punkte) und schlecht (0-55 Punkte) [112]. Ergänzend wird das Ergebnis des CS durch die Bestimmung des prozentualen Constant-Score im Vergleich zur Gegenseite (%CS), welcher eine bilaterale CS Bestimmung voraussetzt, und des alters- und geschlechtsnormierten Constant-Score nach Katolik et al. [113] erweitert.

Schmerz	15 Punkte
Alltagsaktivitäten	20 Punkte
Bewegungsumfang	40 Punkte
Kraft	25 Punkte

Tab. 1: Zusammensetzung des Constant-Score aus den jeweiligen vier Parametern (Schmerz, Alltagsaktivitäten, Bewegungsumfang, Kraft) mit entsprechender Punkteverteilung. In der Summe können als Bestwert 100 Punkte errechnet werden [111].

Kein Schmerz	15 Punkte
Milder Schmerz	10 Punkte
Mäßiger Schmerz	5 Punkte
Starker Schmerz	0 Punkte

Tab. 2: Parameter Schmerz des Constant-Score. Aufgeführt sind die jeweiligen Abstufungen mit entsprechender Punkteverteilung. Der Bestwert stellt sich mit 15 Punkten dar [111].

Aktivitätslevel	Arbeitsfähigkeit	0-4 Punkte
	Freizeit-/Sportfähigkeit	0-4 Punkte
	Schlaffähigkeit	0-2 Punkte
Schmerzfreie Handreichweite	Taille	2 Punkte
	Xiphoid	4 Punkte
	Hals	6 Punkte
	Scheitel	8 Punkte
	Über Kopfhöhe hinaus	10 Punkte
Gesamt		20 Punkte

Tab. 3: Parameter Alltagsaktivitäten des Constant-Score. Aufgeführt sind die Teilaspekte des Aktivitätslevels und die Positionen der schmerzfreien Handreichweite mit entsprechender Punkteverteilung. Bestmöglich können 20 Punkte errechnet werden [111].

	Flexion	Abduktion
0°-30°	0 Punkte	0 Punkte
31°-60°	2 Punkte	2 Punkte
61°-90°	4 Punkte	4 Punkte
91°-120°	6 Punkte	6 Punkte
121°-150°	8 Punkte	8 Punkte
>150°	10 Punkte	10 Punkte

Tab. 4: Parameter aktiver, schmerzfreier Bewegungsumfang des Constant-Score hinsichtlich Flexion und Abduktion. Aufgeführt sind die jeweiligen Positionen in Grad mit entsprechender Punkteverteilung. Die höchstmögliche Punktzahl stellt sich für beide Bewegungsachsen mit jeweils 10 Punkten dar [111].

Hand hinter Kopf mit Ellenbogen vorne	2 Punkte
Hand hinter Kopf mit Ellenbogen hinten	2 Punkte
Hand auf Kopf mit Ellenbogen vorne	2 Punkte
Hand auf Kopf mit Ellenbogen hinten	2 Punkte
Volle Elevation über Kopf hinaus	2 Punkte
Gesamt	10 Punkte

Tab. 5: Parameter aktiver, schmerzfreier Bewegungsumfang des Constant-Score hinsichtlich Außenrotation. Aufgeführt sind die jeweiligen Positionen mit entsprechender Punkteverteilung. Die maximal zu erreichende Punktzahl summiert sich aus den angegebenen Teilstufen und ergibt 10 Punkte [111].

Handrücken auf lateralen Oberschenkel	0 Punkte
Handrücken auf Gesäß	2 Punkte
Handrücken auf lumbosakralen Übergang	4 Punkte
Handrücken auf Taille (LWK 3)	6 Punkte
Handrücken auf BWK 12	8 Punkte
Handrücken zwischen Schulterblätter	10 Punkte

Tab. 6: Parameter aktiver, schmerzfreier Bewegungsumfang des Constant-Score hinsichtlich Innenrotation. Aufgeführt sind die jeweiligen Positionen mit entsprechender Punkteverteilung. Die maximal zu erreichende Punktzahl liegt durch Erreichen der letzten Position bei 10 Punkten [111].

### 2.2.1.1 Alters- und geschlechtsnormierter Constant-Score

Im Gegensatz zum „rohen“ CS [111] soll der normierte Constant-Score (nCS) nach Katolik et al. (2005) [113] eine Erweiterung dessen durch die Adaption an Alter und Geschlecht darstellen. Anhand eines Kollektivs von 441 schultergesunden Menschen, separiert nach unterschiedlichen Altersstufen und Geschlecht, wurden Mittelwerte des CS errechnet (siehe Tab. 7). Diese so definierten Normal-Werte repräsentieren die Abhängigkeit und Varianz des CS von Alter und Geschlecht und dienen folglich bei der Berechnung des nCS als alters- und geschlechtsadaptierter Faktor [113]. Die Berechnung des nCS erfolgt anhand folgender Formel: Normierter Constant-Score = Rohwert nach Constant [111]/Normal-Wert nach Katolik x 100 [113].

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

Tab. 7: Alters- und geschlechtsadaptierte Normal-Werte für den Constant-Score nach Katolik et al. zur Berechnung des normierten Constant-Score [113].

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

Als „self-report“-Fragebogen wurde 1996 von der „American Academy of Orthopedic Surgeons“ (AAOS), dem „Council of Musculoskeletal Specialty Societies“ (COMSS) und dem „Institute for Work and Health“ der „Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand“ (DASH) präsentiert, der einen subjektiven Wert über den funktionellen Status und die Symptomatik der oberen Extremität als einzelne Funktionseinheit eruieren soll; unabhängig vom Zustand und der Bedingung der oberen Extremität [114]. Die Publikation einer deutschen Übersetzung erfolgte erstmals 1999 durch Germann et al. und wurde 2003 als standardisierte und validierte Version von der AAOS zertifiziert [115, 116]. Der Fragebogen umfasst mit seinen 30 Fragen die Funktionalität, Aktivität und Symptomatik der oberen Extremität sowie die soziale Partizipation als weiteren komplettierenden Faktor. Eine Erweiterung des Fragenkontingents durch ein Sport- und Musik-Modul ist optional möglich. Dieses Zusatzmodul ist allerdings nicht Bestandteil im verwendeten Fragebogen der vorliegenden Arbeit. Die Verteilung der Punkte für die einzelnen Fragen erfolgt nach einem kontinuierlichen Muster, von einem Punkt für keine Schwierigkeiten/bestmögliche Funktionsfähigkeit bis zu fünf Punkten für maximale Einschränkung/nicht möglich. Somit kann sich aus der Summe ein Rohwert zwischen dem bestmöglichen Wert von 30 Punkten und dem negativsten Wert von 150 Punkten ergeben [115, 116]. Die Berechnung des DASH-Score erfolgt anhand folgender Formel:  $\text{DASH-Score} = (\text{Rohwert} - 30 (\text{Minimalpunktzahl})) / 1,2$  [115].

Der so errechnete DASH-Score nimmt folglich Werte von null Punkten (bestmöglicher Wert/keine Einschränkung) bis zu 100 Punkten (negativster Wert/maximale Einschränkung) an [115, 116]. Entsprechend verhält er sich, verglichen mit dem CS, in inverser Ausrichtung.

## 2.2.3 Short-Form Health Survey (SF-36)

Als weiteres, komplettierendes Messinstrument für das klinische Ergebnis des untersuchten Patientenkollektivs wird der Short-Form Health Survey (SF-36) einbezogen. Dieser wurde im Rahmen der amerikanischen Medical Outcome Study (MOS) entwickelt und stellt einen krankheitsunspezifischen, 36 Fragen umfassenden Fragebogen dar, der als Instrument zur

Messung der subjektiven, gesundheitsbezogenen Lebensqualität fungiert [117-119]. Hierfür basiert er auf folgenden acht Subskalen: körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Rollenfunktion, emotionale Rollenfunktion, soziale Funktionsfähigkeit, körperliche Schmerzen, psychisches Wohlbefinden, Vitalität und allgemeine Gesundheitswahrnehmung [117]. Die Auswertung des SF-36 erfolgt, nach einer Addition der einzelnen Itembeantwortungen je Subskala zu einem Rohwert, durch eine Transformation in Werte zwischen null und 100 (idealster Wert) und wird auf diese Weise pro Subskala angegeben. Werte zwischen diesen beiden Grenzbereichen stellen den Prozentsatz der insgesamt möglichen Punktzahl dar. Diese Auswertung erfolgt computergestützt [120]. Die Überführung in eine deutsche SF-36 Version erfolgte nach dessen Übersetzung und psychometrischer Testung nach dem Protokoll der IQOLA-Gruppe (International Quality of Life Assessment) [121].

### 2.3 Klinische Analyse

Von den 1047 Frakturen konnte eine klinische Nachuntersuchung mittels CS und nCS in 557 (53,2%) Fällen durchgeführt werden, bei einem mittleren Follow-up von  $4,0 \pm 2,7$  Jahren und Median von 3,3 Jahren (siehe Abb. 4). Das mittlere Alter der 557 Fälle betrug  $65,3 \pm 14,5$  Jahre und die Geschlechterverteilung zeigte 375 (67,3%) Frauen, 182 (32,7%) Männer. Für die Ermittlung des %CS waren 517 Fälle (mittleres Alter  $65,4 \pm 14,1$  Jahre, 351 Frauen, 166 Männer) verfügbar, bei einem mittleren Follow-up von  $4,2 \pm 2,7$  Jahren und Median von 3,5 Jahren.

Der Drop-Out des Follow-up stellte sich im Detail folgendermaßen dar: 149 (14,2%) Fälle waren verstorben, 42 (4,0%) Fälle waren verzogen/im Ausland wohnhaft, 33 (3,2%) Fälle hatten einen Schlaganfall, die Diagnose Demenz oder eine Multimorbidität (keine Möglichkeit der objektiven Nachuntersuchung), 28 (2,7%) Fälle waren im Pflege- oder Altenheim, 20 (1,9%) Fälle waren inkompliant und nicht zu den vereinbarten Nachuntersuchungsterminen erschienen, 35 (3,3%) Fälle verweigerten die Teilnahme, 183 (17,5%) Fälle konnten aufgrund fehlender Information, fehlender Rückmeldung oder neuer/unbekannter Wohnadresse/Telefonnummer nicht kontaktiert werden (siehe im Detail Abb. 4).

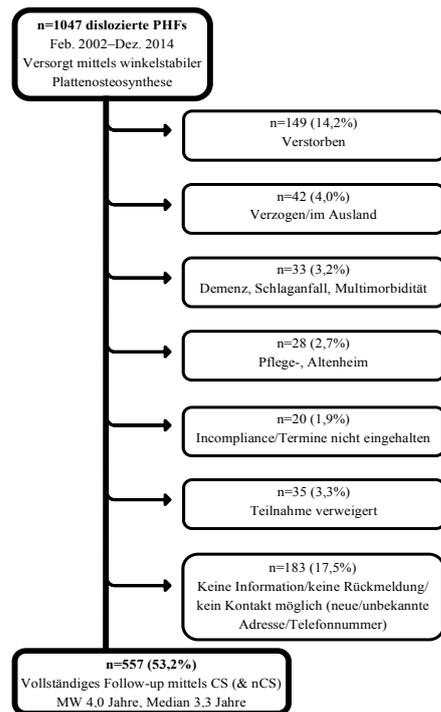


Abb. 4: Flow-Chart der mittels CS (sowie nCS) klinisch nachuntersuchten Frakturfälle. PHF Proximale Humerusfraktur. Follow-up=53,2% (n=557/1047), MW 4,0 Jahre, Median 3,3 Jahre.

## 2.4 Frakturklassifikation

### 2.4.1 Neer-Klassifikation

Die Neer-Klassifikation basiert auf dem Konzept der 4-Segment-Einteilung nach Codman aus dem Jahr 1934 [22]. Darauf basierend bildet sie ebenso die Unterteilung nach folgenden vier Hauptfragmenten als Grundlage der Klassifikation ab: Humeruskopf (Collum anatomicum und chirurgicum), Tub. majus, Tub. minus und Humerusschaft. Eine Erweiterung davon wird durch die Definition der Dislokation, unter Berücksichtigung der muskulären Komponente, erreicht. Eine Dislokation ist durch eine Fraktur-Abkippung von  $>45^\circ$  und einen Frakturversatz von  $>1$  cm charakterisiert [72]. Je nach Anzahl der Fragmente spricht man folglich von 2-, 3- oder 4-Fragment-Frakturen. Neben der Anzahl der Fragmente wird eine weitere Differenzierung nach sechs Gruppen vorgenommen: I undisloziert/minimale Dislokation, II Fraktur des Collum anatomicum, III Fraktur des Collum chirurgicum, IV Tub. majus Beteiligung, V Tub. minus Beteiligung, VI Luxationsfraktur nach anterior oder posterior. Weitere Frakturmorphologien, im Sinne von Impressionsfrakturen und Head-Split-Frakturen, werden gesondert aufgeführt. Unabhängig von der Anzahl der Fragmente werden alle undislozierten/minimal dislozierten Frakturen ( $<1$  cm Frakturversatz,  $<45^\circ$  Frakturwinkel) als Ein-Fragment-Frakturen der Gruppe I

zugeordnet. Den Frakturen dieses Typs ist die konservative Behandlungsmöglichkeit gemeinsam, während die dislozierten Frakturen die Indikation zur operativen Versorgung rechtfertigen. Mit steigender Anzahl der Fragmente geht eine schlechtere Prognose und ein erhöhtes Risiko für die Entstehung einer AVN einher [72].

Neer I	undisloziert/minimale Dislokation (<1cm, <45°) <i>Ein-Fragment-Fraktur</i>	
Neer II-V	Disloziert (>1cm, >45°)	II Collum anatomicum <i>2-Fragment-Fraktur</i>
		III Collum chirurgicum <i>2-Fragment-Fraktur</i>
		IV Tuberculum majus <i>2-, 3- und 4-Fragment-Fraktur möglich</i>
		V Tuberculum minus <i>2-, 3- und 4-Fragment-Fraktur möglich</i>
Neer VI	Luxationsfraktur nach anterior oder posterior <i>2-, 3- und 4-Fragment-Fraktur möglich</i>	

Tab. 8: Zusammenfassende Darstellung und Interpretation der Neer-Klassifikation.

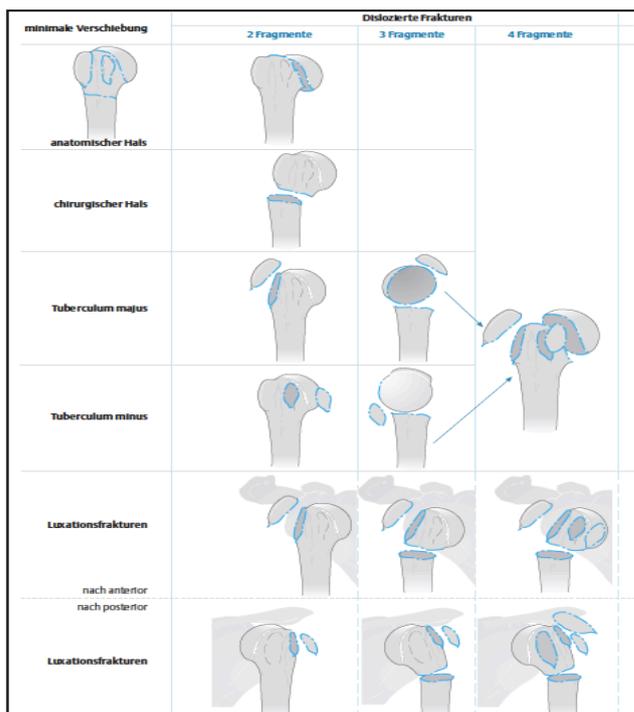


Abb. 5: Schematische Darstellung der Neer-Klassifikation; übernommen aus [122]. Additiv zu vorangegangener Beschreibung kann die 2-Fragment-Fraktur durch das Collum chirurgicum (III) frakturmorphologisch als impaktierte Fraktur, Fraktur mit seitlicher Dislokation und Fraktur mit Trümmerzone dargestellt werden [123].

## 2.4.2 AO-Klassifikation

Die Klassifikation geht auf die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) zurück. Die Frakturen werden dabei drei Haupttypen (Typ A, B, C) zugeordnet, welche jeweils in drei

Gruppen und diese nochmals in drei weitere Subgruppen aufgefächert werden (mittels Ziffern 1, 2, 3). Folglich entstehen 27 unterschiedliche Frakturmorphologien zur Charakterisierung der proximalen Humerusfraktur. Die gesamte AO-Klassifikation arbeitet nach einem solchen alphanumerischen Prinzip. So kategorisiert die anfangs aufgeführte Ziffer 11 den Locus Humeruskopf (die erste Ziffer 1 nummeriert den Humerus als Körperregion, die zweite Ziffer 1 beschreibt den proximalen Gelenkabschnitt als genaue Lokalisation innerhalb der Region). Typ A-Frakturen beschreiben extraartikuläre, unifokale 2-Fragment-Frakturen (Beteiligung von Tub. majus, Tub. minus oder Collum chirurgicum), Typ B-Frakturen sind als extraartikuläre, bifokale 3-Fragment-Frakturen (Frakturkombination aus Collum chirurgicum und eines der beiden Tubb., mit oder ohne glenohumerale Dislokation) und Typ C-Frakturen als intraartikuläre Frakturen des Collum anatomicum (bis zu 4-Fragment-Frakturen, mit oder ohne glenohumerale Dislokation) definiert. Die beiden weiteren Untergruppierungen mittels Ziffern geben eine detaillierte Beschreibung der Fraktur bezüglich Beteiligungsstruktur, Dislokationsgrad, Impaktierung, Rotationsfehlstellung, Multifragmentierung, Varus- und Valgusfehlstellung wieder. Die Rangordnung der Klassifikation basiert auf ansteigender Komplexität der Fraktur, der Behandlung und der Prognose [124]. So stellt die Typ C-Fraktur, insbesondere die C3-Fraktur, die schwerste Frakturform mit dem zugleich höchsten Risiko der Entwicklung einer AVN dar [12, 124]. Durch die Vielfalt der Untergruppen und der damit einhergehenden niedrigen intraobserver und interobserver reliability erweist sich die Anwendbarkeit dieser Klassifikation im klinischen Alltag als schwierig [12, 58, 125].

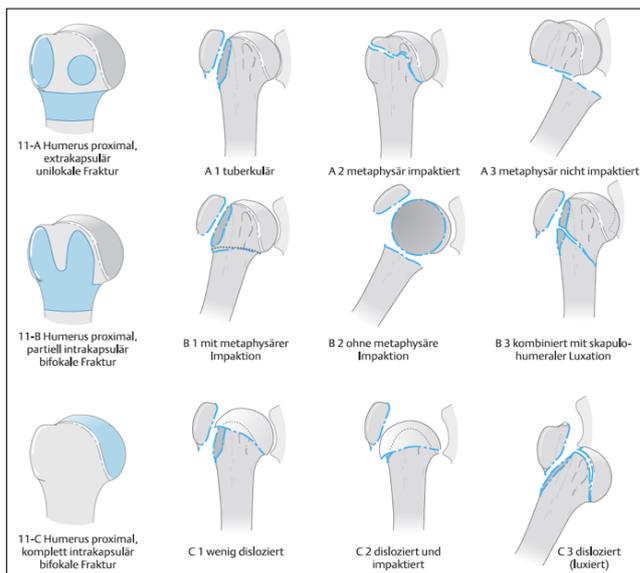


Abb. 6: Schematische Darstellung der AO-Klassifikation; übernommen aus [122]. Abgebildet sind die drei Haupttypen (A, B, C) mit den entsprechenden drei Gruppen (1, 2, 3). Auf die weitere Subgruppierung, zur Komplettierung der 27 Frakturmorphologien, wird zur verbesserten Übersichtsdarstellung verzichtet. In der vorliegenden Arbeit erfolgt die Klassifizierung der Frakturen nach AO gemäß der neun abgebildeten Frakturgruppen.

## 2.5 Radiologische Analyse

Von den erfassten Frakturen wurden standardmäßig Röntgenbilder in drei Ebenen (true a.p., axial und Y-View) zum Frakturzeitpunkt sowie postoperativ zu definierten Zeitpunkten (Tag 1, 6 Wochen, 3, 6 und 12 Monate) angefertigt. Erstere werden zur Einteilung der proximalen Humerusfraktur nach der Neer-Klassifikation und der AO-Klassifikation genutzt. Dies wurde durch den jeweiligen Radiologen und Operateur, sowie durch den Studienleiter (B.O.) und den Studiendurchführer (M.D.) gewährleistet. Die postoperativen Verlaufsröntgenbilder werden vollständig auf Frakturheilung, Stellung von Fraktur und Plattenosteosynthese geprüft, um eine Abweichung von der Norm und somit eine mögliche, osteosynthese-assoziierte Komplikation zu detektieren. Insgesamt konnten so 787 Fälle (75,2%) radiologisch analysiert werden, bei unterschiedlichen Follow-up Zeitpunkten. Das mittlere Follow-up betrug  $7,3 \pm 14,0$  Monate, bei einem Median von 2,8 Monaten. Das mittlere Alter der 787 Fälle war  $66,5 \pm 15,6$  Jahre und die Geschlechterverteilung zeigte 532 (67,6%) Frauen und 255 (32,4%) Männer. In den Fällen einer osteosynthese-assoziierten Komplikation wird die Ausprägung einer eingetretenen Varusdislokation, das Vorliegen eines Schrauben-Cutouts über die Humeruskopf-Kortikalis, eine Tub.-/Tubb.-Dislokation, ein Fixationsverlust der Platte am Humerusschaft und das Vorliegen einer AVN beurteilt. Der Nachweis einer AVN bedingt eine Zerstörung der trabekulären Architektur, den Verlust von Knochensubstanz, das Vorliegen diffuser sklerotischer Bereiche in der subartikulären Region und die Deformation der humeralen Gelenkfläche [27]. Der Nachweis dieser aufgeführten Komplikationsaspekte wurde durch den jeweiligen Radiologen, den Studienleiter (B.O.) und den Studiendurchführer (M.D.) erbracht. Eine zusätzliche Bildgebung zu den oben erwähnten Zeitpunkten erfolgte bei positiver Komplikationssymptomatik mit der Zustimmung des Patienten und nach Rücksprache mit dem leitenden Arzt (B.O.). Eine routinemäßige, radiologische Verlaufskontrolle am Tag der Nachuntersuchung war aufgrund der Einschränkungen durch die Ethikkommission bei asymptomatischen Patienten nicht Teil des Studienprotokolls und wurde dementsprechend auch nicht durchgeführt.

### 2.5.1 Frakturverteilung

Im Detail ergab sich folgendes Verteilungsmuster (siehe Abb. 7, 8): Anhand der Neer-Klassifikation wurden 308 (29,6%) 2-Fragment-Frakturen, 471 (45,3%) 3-Fragment-Frakturen, 173 (16,6%) 4-Fragment-Frakturen, 36 (3,5%) Head-Split-Frakturen und 52 (5,0%) Luxationsfrakturen beschrieben. Aufgrund externer radiologischer Aufnahmen und unzureichender Beurteilung des Operateurs wurden 7 Frakturen nicht klassifiziert. Nach der AO-Klassifikation wurden 20 (1,9%) A1-Frakturen, 112 (10,78%) A2-Frakturen, 161 (15,5%) A3-Frakturen, 252 (24,25%) B1-Frakturen, 214 (20,6%) B2-Frakturen, 32 (3,08%) B3-Frakturen, 65

(6,26%) C1-Frakturen, 152 (14,63%) C2-Frakturen und 31 (3,0%) C3-Frakturen definiert. Aufgrund externer radiologischer Aufnahmen und unzureichender Beurteilung des Operators wurden 8 Frakturen nicht klassifiziert.

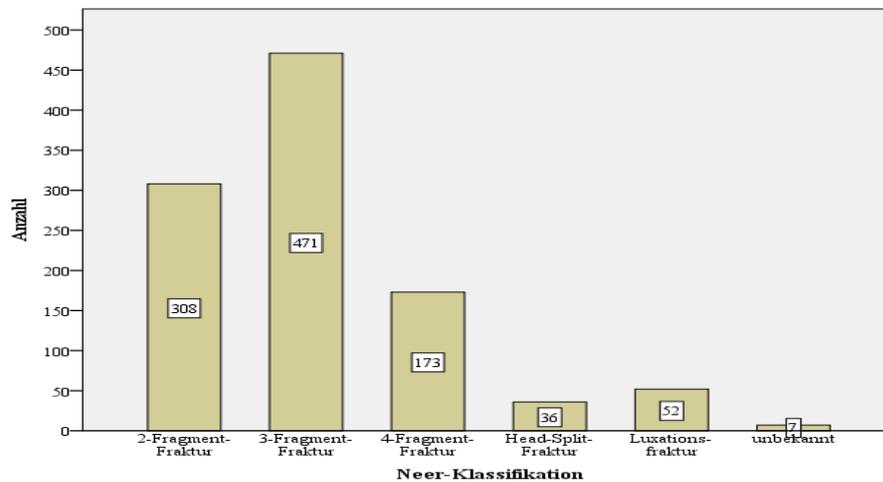


Abb. 7: Absolute Frakturverteilung des Gesamtkollektivs, basierend auf der Neer-Klassifikation, Gesamtzahl n=1047 (X-Achse: Neer-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl).

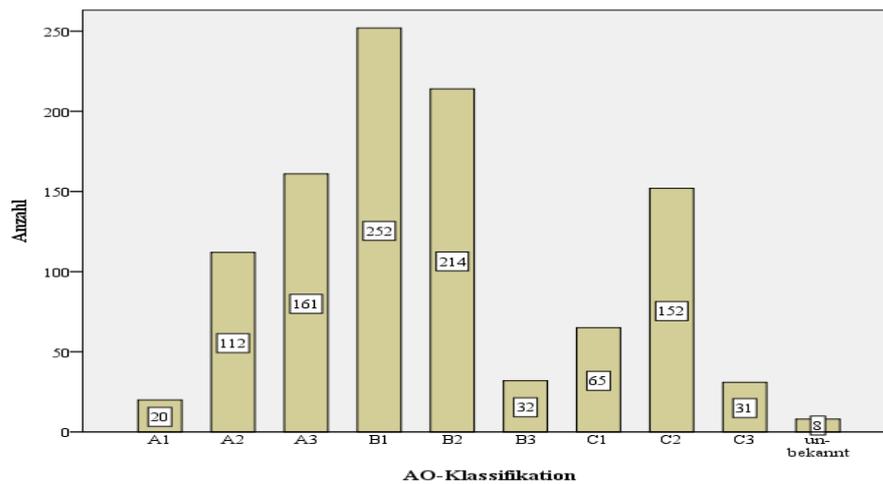


Abb. 8: Absolute Frakturverteilung des Gesamtkollektivs, basierend auf der AO-Klassifikation, Gesamtzahl n=1047 (X-Achse: AO-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl).

## 2.5.2 Komplikationsklassifizierung

Die 787 verfügbaren Fälle der insgesamt 1047 Frakturen werden mittels der postoperativen Verlaufsrontgenbilder auf das Vorhandensein von osteosynthese-assoziierten Komplikationen untersucht. Die Kriterien hierfür sind eine sekundäre Dislokation  $>10^\circ$  in Varus- oder Valgus-Richtung, ein Versatz von  $>5\text{mm}$ , ein Schrauben-Cutout und eine AVN. Ausschlusskriterien sind eine fehlende, anatomische Reposition im 1. postoperativen Röntgenbild ( $>10^\circ$  Achsabweichung,

>5mm Dislokation) und eine primäre Schraubenfehlage im 1. postoperativen Röntgenbild. Im Detail wird folglich bei jedem osteosynthese-assoziierten Komplikationsfall die Ausprägung der Varusdislokation, das Schrauben-Cutout über die Humeruskopf-Kortikalis, die Tub.-/Tubb.-Dislokation, der Fixationsverlust der Osteosynthese am Humerusschaft und die AVN beurteilt. Diese Beurteilung findet Anwendung in allen Verlaufsrontgenbildern, wodurch neben der Identifikation von Komplikationsmustern, das zeitliche Eintreten und der zeitliche Verlauf mit Unterscheidung von Progredienz und Konstanz bewertet werden kann. Weiterführend werden diese Komplikationsmuster durch die erhobenen klinischen Ergebnisse und durch die Analyse der Dokumentation durchgeführter Revisionen mit entsprechender Verfahrenswahl komplettiert. Anhand dieser Erfassung werden Komplikationstypen definiert. Die Ausprägung der Varusdislokation wird mithilfe des röntgenologischen Winkelprogramms bestimmt (siehe Abb. 9). Der Referenzwert für einen anatomischen Humeruskopf-Schaft-Winkel entspricht  $135^\circ$  [126].

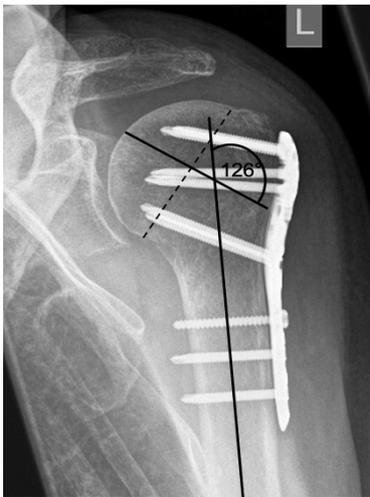


Abb. 9: Berechnung des Humeruskopf-Schaft-Winkels im a.p.-Strahlengang durch die Zeichnung dreier Linien und dem Schnittpunkt der Linie entlang der Längsachse des Humerusschafts mit der Senkrechten zur Linie von inferiorer + superiorer Gelenkfläche [127, 128].

## 2.6 Winkelstabile Plattenosteosynthese PHILOS®

### 2.6.1 Operationstechnik

Die Lagerung des Patienten erfolgt in Beach-Chair-Position mit seitlich freihängender Schulter der zu operierenden Seite. Präoperativ erhält der Patient eine Single-shot-Antibiose intravenös mit 1,5g Cefuroxim (ggf. alternatives Antibiotikum bei bekannter Unverträglichkeit bzw. Allergie) sowie parallel zur Intubationsnarkose eine Skalenusblockade. Die Operation wird mittels deltoideopektoralem Zugang (proximal-medial nach distal-lateral verlaufend) durchgeführt. Es wird zunächst die kontinuierliche Blutstillung und die scharfe Präparation auf die Fascia deltoideopectoralis gewährleistet. Es folgt das stumpfe Eingehen an der V. cephalica und der Umschlag dieser nach lateral auf den Humeruskopf. Die Vene wird über den gesamten Verlauf der Operation geschont. Der Humeruskopf wird mithilfe eines Roux-Hakens (lateral unter den M. deltoideus) und eines Langenbeck-Hakens (unter das mediale Muskelintervall) dargestellt. Stumpf-digital wird der subdeltoideale Raum mobilisiert und die Bursa reseziert. Es folgt die Identifikation und Beurteilung der langen Bizepssehne im Sulcus intertubercularis. Bei meist imponierender, degenerativer Veränderung mit Verbreiterung, Auffaserung und entzündlichen Anteilen erfolgt das Eröffnen dieses Intervalls über einen rund 1,5cm Longitudinalschnitt zur Darstellung der Bizepssehne mit der Klemme. Im Anschluss kann sie proximal am glenoidalen Ansatz abgesetzt werden, während mit dem distalen Anteil mittels subpectoraler Tenodese oder Tenotomie verfahren wird. Die ausführliche Inspektion der RM auf transmurale Verletzungen wird durchgeführt. Die Ansätze der Rotatorenmuskeln SSP, ISP und SSC, ggf. im Verbund mit den Tubb., werden mittels FiberWire®-Fäden der Stärke 5.0 (Arthrex, Naples, FL, USA) angeschlossen. Nach erfolgreichem Einfädern der Fadencerclagen in den dafür vorgesehenen Löchern folgt die Auflage der PHILOS®-Platte (Synthes DePuy GmbH, Oberdorf, Schweiz), die den Großteil der winkelstabilen Plattenosteosynthesen im behandelten Patientenkollektiv ausmacht (alternativ NCB®-PH-Platte). Die Platte wird lateral des Sulcus intertubercularis ausgerichtet und die Fraktur unter Sicht reponiert. Anschließend wird die Platte, nach ausreichenden Repositionsmanövern, im Humeruskopf und die Reposition selbst mit ausreichend Kirschner-Drähten fixiert. Unter Zuhilfenahme des Bildwändlers wird die Korrektheit der Reposition und der Plattenlage kontrolliert. Kann eine Bestätigung beider Aspekte erfolgen, so wird distal eine bikortikale Schraube im Langloch besetzt, sodass die Platte an den Humerusschaft herangezogen wird. Das Langloch lässt noch einen gewissen Spielraum zur Lagekorrektur in kranio-kaudaler Ausrichtung zu. Hierbei wird auf die Vermeidung einer zu hohen Plattenlage mit potenziellem subacromialem Impingement geachtet. Eine erneute Bildwandlerkontrolle in zwei Ebenen findet statt. Nach adäquater, anatomischer Reposition zur Wiederherstellung der Gelenkmorphologie werden die Schraubenlöcher nun von proximal nach distal besetzt. Die

Anzahl der notwendigen Schraubenbesetzung hängt von der Frakturmorphologie und der ausreichenden Stabilität ab. Selbiges gilt für die Auswahl und Relevanz von Kalkarschrauben. Die winkelstabilen Schrauben werden im Humeruskopf so eingebracht, dass sie subchondral zu liegen kommen (ca. 2mm Abstand Schraubenspitze zum Humeruskopf-Apex). Die Schaftschrauben werden individuell als Zugschrauben und/oder winkelstabile Schrauben bikortikal gesetzt. Alle winkelstabilen Schrauben werden zuletzt mit dem Drehmomentbegrenzer angezogen und so winkelstabil mit der Platte verriegelt. Die eingebrachten Kirschner-Drähte werden sukzessiv entfernt. Nach Beenden des Osteosynthese-Prozesses wird eine Bildwandlerkontrolle in drei Ebenen durchgeführt, um die Lokalisation aller Schrauben ohne Affektion des Gelenkspalts und eine adäquate Plattenlage mit korrekter Frakturreposition zu verifizieren. Zuletzt wird die Funktion der Schulter, inklusive Dokumentation aller Bewegungsgrade, geprüft und die Stabilität der Osteosynthese bestätigt. Es folgt die ausführliche Spülung der Wunde, die Klärung vorliegender Bluttrockenheit und die Einlage einer subfaszialen Redondrainage, welche im Regelfall am Folgetag entfernt wird. Vor Anlage eines sterilen Pflasterverbandes, elastischer Wickel und des Gilchrist-Verbandes erfolgt der schichtweise Wundverschluss und die Beendigung der Operation mittels fortlaufender Hautnaht.

### **2.6.2 Postoperative Nachbehandlung**

Das Procedere nach winkelstabiler Plattenosteosynthese geht mit einer frühfunktionellen Nachbehandlung einher, sodass die physiotherapeutische Mobilisation der Schulter bereits ab dem ersten postoperativen Tag beginnt. In den ersten zwei Wochen gilt eine Bewegungseinschränkung für assistiv-aktive Bewegungen in Flexion/Abduktion bis maximal 60° und in Rotation bis maximal 20°. Die Extension/Adduktion darf assistiv-aktiv frei bewegt werden. Ebenso erhalten die Patienten eine aktive Mobilisation von Hand und Ellenbogen sowie eine Haltungsschulung. Wahlweise tragen die Patienten in diesem Zeitraum zur Schmerzbehandlung einen Gilchrist-Verband oder eine Armschlinge. Ab Woche drei erfolgt eine Steigerung des assistiv-aktiven Bewegungsumfanges auf maximal 80° in Flexion/Abduktion und maximal 30° in Rotation. Die Extension/Adduktion ist weiterhin aktiv frei beweglich. Nach Abschluss des ersten postoperativen Monats dürfen für weitere zwei Wochen assistiv-aktive Bewegungen in Flexion/Abduktion bis maximal 120° erfolgen. Die Rotation darf isometrisch aktiv betätigt werden. Additiv kann ein Bewegungsbad wahrgenommen werden. Ab Woche sieben gelten keine Bewegungseinschränkungen mehr und die Flexion/Abduktion kann schmerzadaptiert gesteigert werden. Physiotherapeutisch stehen der allmähliche Kraftaufbau sowie das Koordinations- und Stabilisationstraining im Fokus.

Bei Frakturinvolvierung des Tub. majus wird postoperativ direkt ein Schulterabduktionskissen verordnet. Unterschiede ergeben sich in einer strengeren Bewegungseinschränkung zur

Vermeidung einer sekundären Dislokation des Tub. majus. So gilt hier für die ersten vier Wochen eine Bewegungseinschränkung für assistiv-aktive Bewegungen in Flexion/Abduktion mit 0°-15°-60° und in Rotation bis maximal 20°. Nach Abschluss des ersten postoperativen Monats darf der assistiv-aktive Bewegungsumfang in Flexion/Abduktion bis maximal 80° und in Rotation bis maximal 30° gesteigert werden. Das Abduktionskissen wird abtrainiert, sodass eine aktive Beweglichkeit für Extension/Adduktion bis zur 0°-Stellung toleriert wird. Ab Woche sechs wird die assistiv-aktive Bewegungseinschränkung in Flexion/Abduktion auf 120° ausgeweitet, mit schmerzadaptierter Steigerung im Verlauf. Die freie Beweglichkeit für Extension/Adduktion und Rotation, nach erfolgreicher isometrisch aktiver Belastung, wird legitimiert. Es folgen der allmähliche Kraftaufbau sowie das Koordinations- und Stabilisationstraining.

Eine Narbenbehandlung kann nach erfolgter Fadenexzision (12-14 Tage) erfolgen. Je nach Verträglichkeit und Bedarf werden eine analgetische Therapie, Wärme- und Kältebehandlungen sowie Lymphdrainage durchgeführt. Sport darf nur nach Rücksprache mit dem Operateur oder Therapeut ausgeübt werden. Eine Materialentfernung (ME) ist ab dem 6.-9. postoperativen Monat elektiv denkbar. Eine ME vor diesem Zeitpunkt gilt bei der vorliegenden Arbeit als nicht-elektive Früh-ME (<9 Monate).

## **2.7 Bildgestaltung von Komplikationstypen**

Die selbstständige, bildliche Gestaltung von verschiedenen Komplikationstypen erfolgt mithilfe einer Software der Nemetschek Group, nachdem anhand der Charakteristika der Komplikationen eine solche Klassifikation/Definition abgeleitet werden konnte.

## 2.8 Statistik

Für die Speicherung und Auswertung aller Daten wurde eine Microsoft® Access® Datenbank genutzt. Die erhobenen Daten kontinuierlicher Variablen wurden als arithmetisches Mittel (MW) mit entsprechender Standardabweichung (SD) oder als Median formuliert sowie teils durch Angabe von Minimal-/Maximalwert komplettiert. Die Beschreibung von kategorischen Variablen basierte auf numerischer und prozentualer Angabe.

Als Testverfahren für den Vergleich der abhängigen Variable zweier Gruppen wurde der T-Test für unabhängige, normalverteilte Stichproben (Effektstärkemaß Cohen's  $d$  und  $r$ ) und bei fehlender Erfüllung der Normalverteilungsvoraussetzung der Mann-Whitney-U-Test (Effektstärkemaß  $r$ ) angewandt. Für die Unterschiedsmessung der abhängigen Variable zwischen mehr als zwei unabhängigen Gruppen wurde bei vorliegender Normalverteilung die einfaktorielle ANOVA (Effektstärkemaß Eta-Quadrat  $\eta^2$  und Cohen's  $f$ ) und bei Verletzung der Normalverteilungsannahme der Kruskal-Wallis-Test (Effektstärkemaß  $r$ ) eingesetzt. Anschließend durchgeführte Post-hoc-Tests (LSD & Dunn-Bonferroni) stellten den paarweisen Vergleich sicher. Die einfache Regressionsanalyse wurde für die Prüfung eines Zusammenhangs zwischen zwei metrisch-skalierten Variablen genutzt (Effektstärkemaß Cohen's  $f^2$ ). Der Korrelationstest nach Pearson wurde herangezogen, um diesen linearen, bivariaten Zusammenhang zu bestimmen. Der Pearson Chi-Quadrat-Test wurde verwendet, um zwischen kategorialen Variablen einen Zusammenhang zu prüfen (Effektstärkemaß Cramer's  $V$ ). Bei erwarteten Häufigkeiten  $<5$  wurde hingegen mit dem exakten Test nach Fisher gearbeitet. Aufgrund der Größe der Kreuztabellen diente die darauffolgende Bonferroni-Korrektur die Kausalität dieses Zusammenhangs zu ermitteln.

Ein  $p$ -Wert  $<0,05$  galt als statistisch signifikant.

Bei Durchführung eines parametrischen Testverfahrens wurde stets die Erfüllung der Normalverteilung der abhängigen Variable durch den Kolmogorov-Smirnov-Test und den Shapiro-Wilk-Test ( $p>0,05$ ) und/oder durch Q-Q-Diagramme geprüft. Die Annahme der Varianzhomogenität wurde mit dem Levene-Test ( $p>0,05$ ) bestätigt. Bei ausreichend großen Gruppen-Stichproben ( $n>40$ ) wurde, unabhängig vom Ergebnis der Normalverteilungstestung, ein parametrisches Testverfahren angewandt [129].

Die Auswertung erfolgte mittels Microsoft® Excel® und der Statistiksoftware IBM® SPSS® Statistics Version 21.0.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Funktionelle Ergebnisse von Gesamtkollektiv und Untergruppen

Der Constant-Score betrug postoperativ zum Zeitpunkt des finalen Follow-ups von  $4,0 \pm 2,7$  Jahren und einem Median von 3,3 Jahren im Gesamtkollektiv (GK,  $n=557/1047$ )  $68,4 \pm 20,3$  Punkte (P.) und erreichte damit einen nCS von  $80,4 \pm 23,8$  P. Für den %CS resultierte ein Wert von  $83,9 \pm 28,1\%$  ( $n=517/1047$ , MW 4,2 Jahre, Median 3,5 Jahre, SD 2,7 Jahre). Darauf basierend stellte sich das funktionelle Ergebnis als mäßig bis gut dar.

Bei dem Kollektiv ohne Komplikationen (KOK/Gruppe A,  $n=440/594$ , MW 4,2 Jahre, Median 3,2 Jahre, SD 2,9 Jahre) betrug der CS  $72,1 \pm 19,0$  P. und der nCS  $84,7 \pm 21,9$  P. Der %CS stellte sich mit  $87,2 \pm 27,9\%$  dar ( $n=411/594$ , MW 4,4 Jahre, Median 3,8 Jahre, SD 2,7 Jahre). In der Summe resultierte ein gutes funktionelles Ergebnis.

Das Komplikationskollektiv (KK/Gruppe B,  $n=117/193$ , MW 3,3 Jahre, Median 2,8 Jahre, SD 2,5 Jahre) erzielte einen CS von  $54,5 \pm 19,0$  P. und einen nCS von  $64,5 \pm 22,9$  P. Der %CS betrug  $71,2 \pm 25,0\%$  ( $n=106/193$ , MW 3,5 Jahre, Median 2,8 Jahre, SD 2,5 Jahre). Dieses Kollektiv repräsentierte ein schlechtes bis mäßiges funktionelles Ergebnis.

	CS	nCS	%CS	weiblich/ männlich	Alter
	(MW, SD)	(MW, SD)	(MW, SD)		(MW, SD)
Gesamt	$68,4 \pm 20,3$	$80,4 \pm 23,8$	$83,9 \pm 28,1$	375/182	$65,3 \pm 14,5$
				351/166	$65,4 \pm 14,1$
Gruppe A	$72,1 \pm 19,0$	$84,7 \pm 21,9$	$87,2 \pm 27,9$	298/142	$64,1 \pm 14,7$
				280/131	$64,2 \pm 14,2$
Gruppe B	$54,5 \pm 19,0$	$64,5 \pm 22,9$	$71,2 \pm 25,0$	77/40	$69,9 \pm 12,8$
				71/35	$70,2 \pm 12,7$

Tab. 9: Vergleichsdarstellung der funktionellen Ergebnisse mittels Mittelwert und Standardabweichung von CS, nCS, %CS des Gesamtkollektivs, Gruppe A und Gruppe B. Zusätzliche Auflistung der Geschlechterverteilung und des mittleren Alters; aufgeteilt jeweils in obere Zeile für CS/nCS und untere Zeile für %CS.

Bei der Betrachtung des mittleren CS zwischen Gruppe A ( $n=440$ , MW 72,1, SD 19,0) und Gruppe B ( $n=117$ , MW 54,5, SD 19,0) zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied, wobei der mittlere CS von Gruppe B durchschnittlich 17,6 P. niedriger war (95%-CI[13,7, 21,5]),  $t(555)=8,921$ ,  $p<0,001$ ,  $d=0,9$ ,  $r=0,4$ .

Die Analyse des mittleren nCS ergab ebenfalls einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Gruppe A (n=440, MW 84,7, SD 21,9) und Gruppe B (n=117, MW 64,5, SD 22,9), unterdessen der mittlere nCS der Gruppe B durchschnittlich 20,2 P. niedriger war (95%-CI[15,6, 24,7]),  $t(555)=8,766$ ,  $p<0,001$ ,  $d=0,9$ ,  $r=0,4$ .

Der mittlere %CS differierte statistisch signifikant zwischen Gruppe A (n=411, MW 87,2, SD 27,9) und Gruppe B (n=106, MW 71,2, SD 25,0), während der mittlere %CS von Gruppe B durchschnittlich 16,0 Prozentpunkte niedriger war (95%-CI[10,1, 21,8]),  $t(515)=5,351$ ,  $p<0,001$ ,  $d=0,6$ ,  $r=0,2$ .

Im Folgenden sind der CS, nCS und %CS anhand von Box-Plots, basierend auf der Gegenüberstellung von KOK/Gruppe A und KK/Gruppe B, dargestellt (siehe Abb. 10, 11, 12).

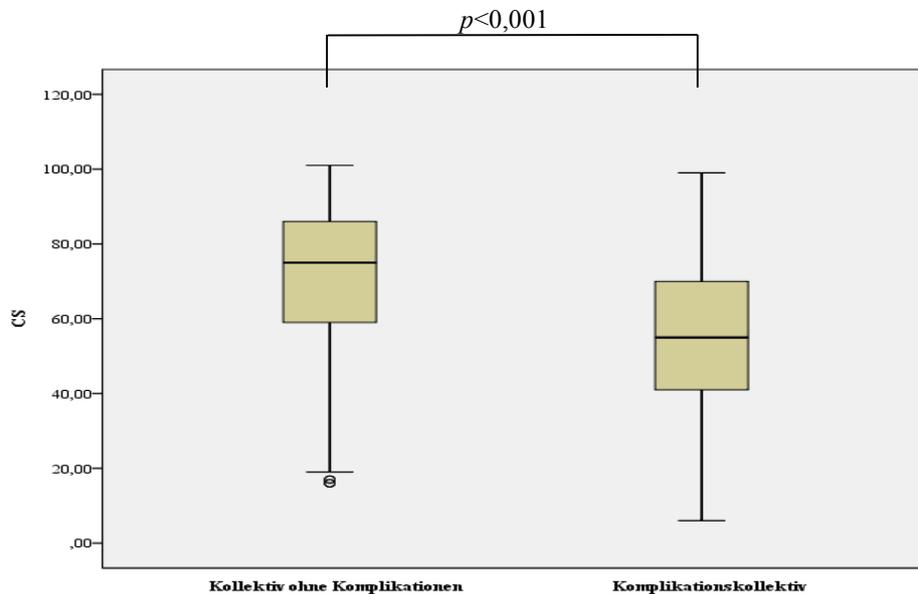


Abb. 10: Vergleich CS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationskollektiv/Gruppe B (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).

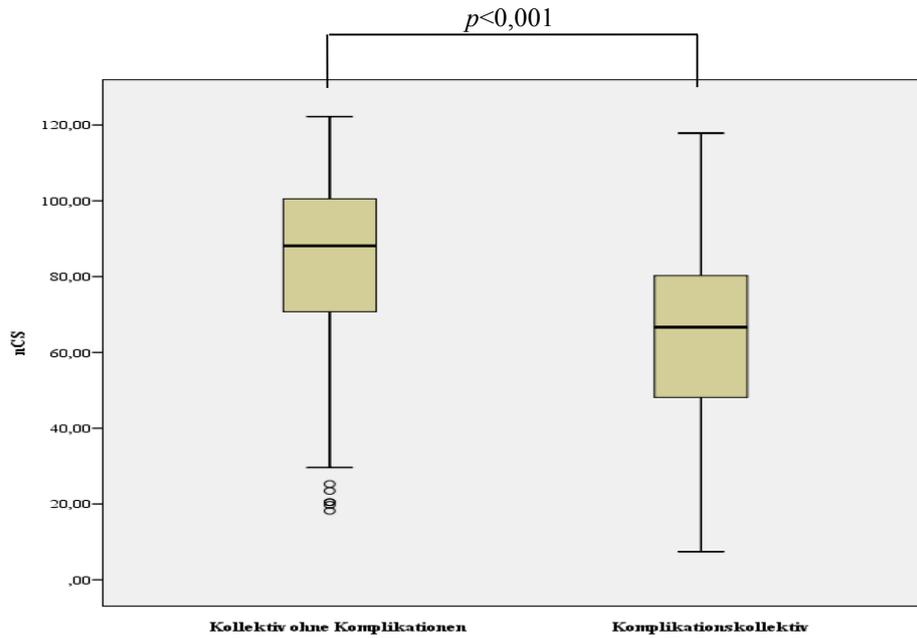


Abb. 11: Vergleich nCS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationskollektiv/Gruppe B (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).

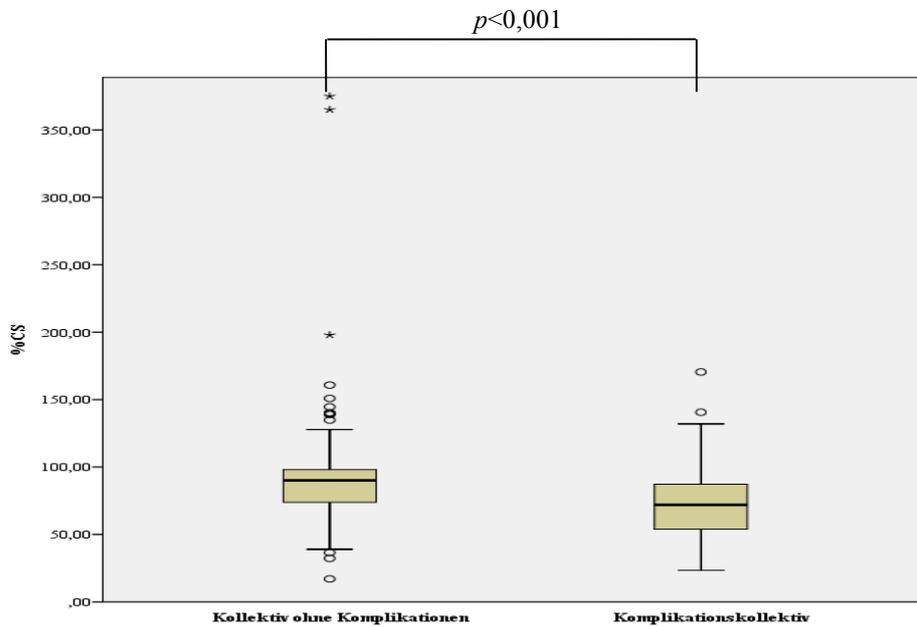


Abb. 12: Vergleich %CS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationskollektiv/Gruppe B (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).

Der DASH-Score lag zum finalen Follow-up Zeitpunkt von  $4,6 \pm 2,5$  Jahren und einem Median von 4,0 Jahren im Gesamtkollektiv ( $n=379/1047$ ) bei  $23,8 \pm 20,8$  P. Bei Gruppe A ( $n=307/594$ ) betrug der DASH-Score  $21,8 \pm 19,9$  P. (MW 4,7 Jahre, Median 4,1 Jahre, SD 2,5 Jahre). Gruppe B ( $n=72/193$ ) erzielte einen DASH-Score von  $31,9 \pm 22,4$  P. (MW 4,0 Jahre, Median 3,7 Jahre, SD 2,3 Jahre). Bei der Analyse des mittleren DASH zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Gruppe A ( $n=307$ , MW 21,8, SD 19,9) und Gruppe B ( $n=72$ , MW 31,9, SD 22,4); der mittlere DASH von Gruppe B war durchschnittlich 10,1 P. höher (95%-CI[-15,3, -4,8]),  $t(377)=-3,768$ ,  $p<0,001$ ,  $d=-0,5$ ,  $r=-0,2$ .

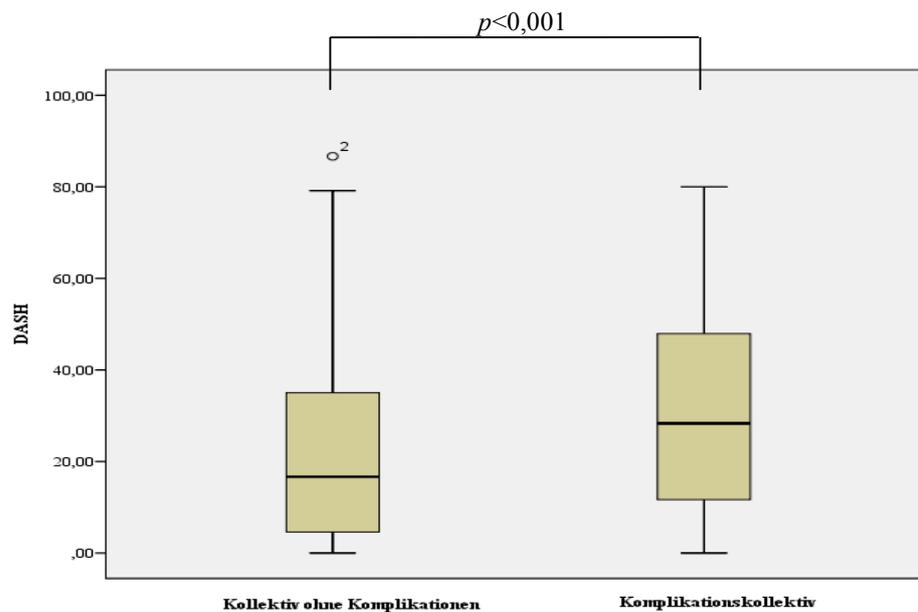


Abb. 13: Vergleich DASH von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationskollektiv/Gruppe B (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).

Die Ergebnisse des SF-36 von Gesamtkollektiv ( $n=379/1047$ , MW 4,6 Jahre, Median 4,0 Jahre, SD 2,5 Jahre), Gruppe A ( $n=307/594$ , MW 4,7 Jahre, Median 4,1 Jahre, SD 2,5 Jahre) und Gruppe B ( $n=72/193$ , MW 4,0 Jahre, Median 3,7 Jahre, SD 2,3 Jahre) sind in Tab. 10 zusammengefasst.

Für die beiden Scores zeigte sich folgende Geschlechterverteilung und mittleres Alter: GK mit 266 Frauen/113 Männer und  $64,8 \pm 14,0$  Jahre, Gruppe A mit 217 Frauen/90 Männer und  $63,6 \pm 14,1$  Jahre, Gruppe B mit 49 Frauen/23 Männer und  $69,6 \pm 12,5$  Jahre.

	GK		Gruppe A		Gruppe B		<i>p</i> -Wert Gruppe A/B
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
Körperliche Funktionsfähigkeit	66,5	29,3	68,1	29,0	59,7	29,6	<i>p</i> <0,05
Körperliche Rollenfunktion	67,6	29,2	69,2	28,9	60,8	29,5	<i>p</i> <0,05
Emotionale Rollenfunktion	70,4	28,0	72,0	27,7	63,5	28,4	<i>p</i> <0,05
Soziale Funktionsfähigkeit	64,8	22,2	66,0	22,0	59,4	22,5	<i>p</i> <0,05
Körperliche Schmerzen	76,6	23,8	77,4	23,4	73,4	25,3	<i>p</i> >0,05
Psychisches Wohlbefinden	66,9	19,7	68,0	19,6	62,2	19,8	<i>p</i> <0,05
Vitalität	69,4	19,0	70,5	18,7	64,9	19,6	<i>p</i> <0,05
Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	65,4	18,2	66,1	18,5	62,5	16,8	<i>p</i> >0,05

Tab. 10: Ergebnisse der subjektiven Lebensqualität nach Untergruppen des Short-Form Health Surveys (SF-36) mittels Mittelwert und Standardabweichung sowie des *p*-Werts für den Gruppenvergleich von Gruppe A und B. GK mit n=379, MW 4,6 Jahre, Median 4,0 Jahre, SD 2,5 Jahre. Gruppe A mit n=307, MW 4,7 Jahre, Median 4,1 Jahre, SD 2,5 Jahre. Gruppe B mit n=72, MW 4,0 Jahre, Median 3,7 Jahre, SD 2,3 Jahre.

### 3.2 Charakteristika der Komplikationen

Anhand der Beobachtungen der postoperativen Verlaufsrontgenbilder waren nachstehende Charakteristika typisch und es konnten folgende Komplikationstypen definiert werden:

#### 3.2.1 Komplikationstyp 1

Der Komplikationstyp 1 ist definiert durch eine milde, stabile Varusdislokation des Humeruskopfes, ohne dass ein Schrauben-Cutout durch die Humeruskopf-Kortikalis resultiert.

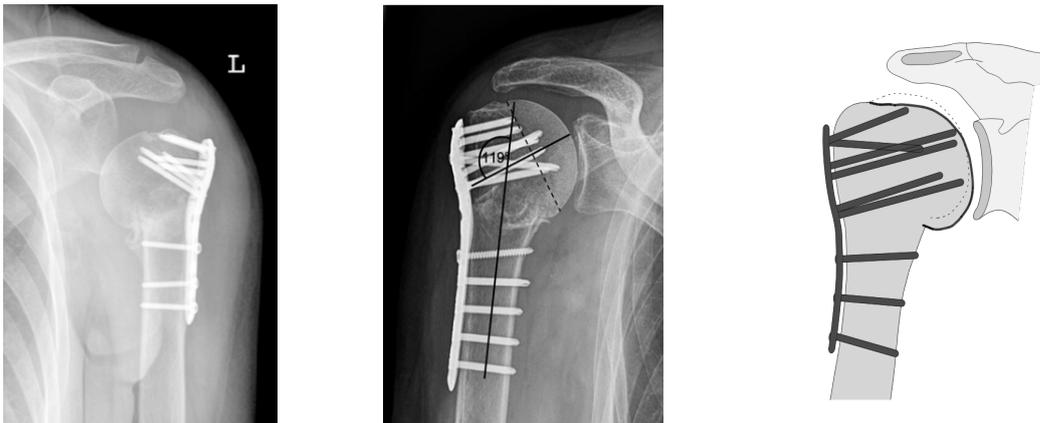


Abb. 14: Komplikationstyp 1. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der linken Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese illustriert eine milde Varusdislokation des Humeruskopfes. Die Humeruskopf-Kortikalis bleibt intakt, sodass kein Schrauben-Cutout vorliegt. Mitte: Messung der Varusdislokation bei einer a.p.-Röntgenaufnahme einer rechten Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese. Die Varusdislokation beträgt  $16^\circ$  relativ zum anatomischen CCD Winkel von  $135^\circ$ . Es resultiert kein Schrauben-Cutout. Rechts: Musterbild. Die milde Varusdislokation des Humeruskopfes nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten Zeichnung (initial korrekte Humeruskopfstellung) in die prominent schwarze Zeichnung dargestellt.

#### 3.2.2 Komplikationstyp 2

Der Komplikationstyp 2 wird in drei Subgruppen unterteilt. Typ 2a und 2c haben als charakteristisches, gemeinsames Merkmal eine Varusdislokation des Humeruskopfes, die mit einem Schrauben-Cutout durch die Humeruskopf-Kortikalis einhergeht. Typ 2b bildet das Merkmal und die Komplikation der Tub./Tubb.-Dislokation ab.

##### 3.2.2.1 Komplikationstyp 2a

Der Komplikationstyp 2a ist definiert durch eine Varusdislokation des Humeruskopfes, die mit einem Schrauben-Cutout durch die Humeruskopf-Kortikalis assoziiert ist. Die Kopfsinterung wird als relativ stabil und nicht progredient angesehen.



Abb. 15: Komplikationstyp 2a. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der rechten Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese zeigt eine mittelgradige Varusdislokation des Humeruskopfes. Die kranialste Schraube durchbricht die Humeruskopf-Kortikalis (Schrauben-Cutout). Mitte: CCD-relative Varusdislokation von  $19^\circ$ . Rechts: Musterbild. Die mittelgradige Varusdislokation des Humeruskopfes nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten (initial korrekte Humeruskopfstellung) in die prominent schwarze Zeichnung mit Schrauben-Cutout (zweifach) illustriert.

### 3.2.2.2 Komplikationstyp 2b

Der Komplikationstyp 2b beschränkt sich auf die Dislokation des Tub. majus, Tub. minus oder beider Tubercula. Es folgt eine Dislokation mit RM-Insuffizienz.



Abb. 16: Komplikationstyp 2b. Links: Die Y-View-Röntgenaufnahme der linken Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese veranschaulicht eine Dislokation des Tub. majus. Rechts: Musterbild. Bei Z.n. winkelstabiler Plattenosteosynthese wird die Dislokation des Tub. majus durch die Trennung der prominent schwarzen Zeichnung von der gezackten Zeichnung (initial regelrechte Stellung) abgebildet.

### 3.2.2.3 Komplikationstyp 2c

Der Komplikationstyp 2c ist definiert durch eine schwere Varusdislokation des Humeruskopfes, die parallel zu Typ 2a mit einem Schrauben-Cutout am Humeruskopf assoziiert ist. Gegenätzlich zu Typ 2a ist diese Varusdislokation jedoch durch eine instabile Osteosynthesesituation und Progression gekennzeichnet.

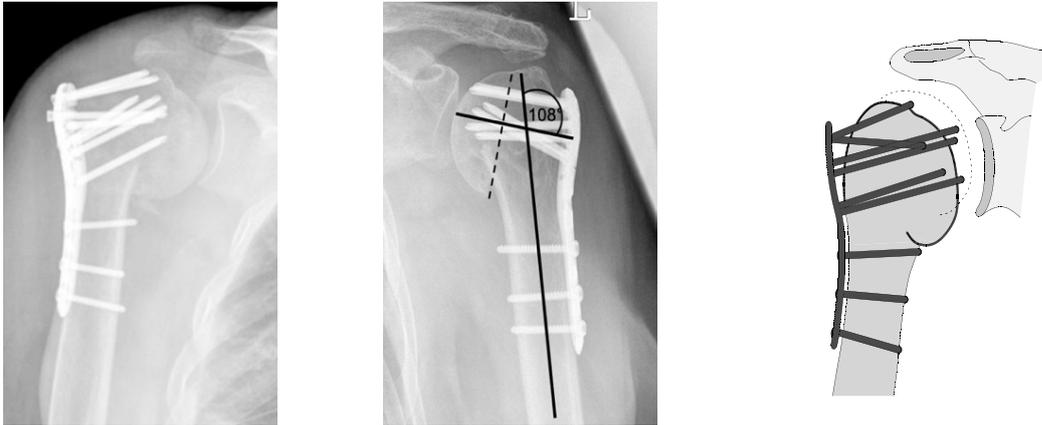


Abb. 17: Komplikationstyp 2c. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der rechten Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese zeigt eine schwere Varusdislokation des Humeruskopfes. Die kranialsten Schrauben durchbrechen die Humeruskopf-Kortikalis, sodass ein Schrauben-Cutout vorliegt. Die Humeruskopfsinterung erscheint instabil. Mitte: Messung der Varusdislokation bei einer a.p.-Röntgenaufnahme einer linken Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese mit gleichsinniger Komplikation. Die kranialen Schrauben durchbrechen die Kortikalis. Die Varusdislokation beträgt  $27^\circ$  relativ zum anatomischen CCD Winkel von  $135^\circ$ . Rechts: Musterbild. Die schwere Varusdislokation und Instabilität des Humeruskopfes nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten Zeichnung (initial korrekte Humeruskopfstellung) in die prominent schwarze Zeichnung dargestellt. Es folgt ein Cutout von vier Schrauben.

### 3.2.3 Komplikationstyp 3

Der Komplikationstyp 3 beschreibt eine Dislokation der winkelstabilen Plattenosteosynthese mit Schrauben-Cutout/Frakturbruch im Humerusschaftbereich, während die Humeruskopfstellung intakt bleibt.



Abb. 18: Komplikationstyp 3. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der rechten Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese bildet eine Dislokation des Humerusschaftbereichs ab, sodass eine Fixierung der Plattenosteosynthese in diesem Loco nicht mehr gewährleistet ist. Die Humeruskopfstellung hingegen ist regelrecht. Rechts: Musterbild. Die Dislokation des Humerusschafts nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten Zeichnung (initial korrekte Humerusschaftstellung) in die prominent schwarze Zeichnung aufgezeigt.

### 3.2.4 Komplikationstyp 4

Der Komplikationstyp 4 ist, trotz anfangs korrekter Osteosynthese, durch das Auftreten einer Humeruskopfnekrose charakterisiert. In Divergenz zu den zuvor beschriebenen Komplikationstypen ist er nicht die Folge einer sekundären Dislokation. Der Typ 4 ist in zwei Subgruppen unterteilt, wodurch die mögliche Beteiligung einer Schädigung der glenoidalen Gelenkfläche dargestellt wird.

#### 3.2.4.1 Komplikationstyp 4a

Der Komplikationstyp 4a basiert auf dem Vorhandensein einer AVN des Humeruskopfes, ohne dass es dabei zu einer begleitenden Destruktion der glenoidalen Gelenkfläche aufgrund eines assoziierten Schrauben-Cutouts durch die Humeruskopf-Kortikalis kommt.

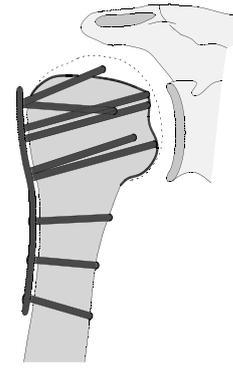


Abb. 19: Komplikationstyp 4a. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der rechten Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese stellt eine Nekrose des Humeruskopfes dar. Die glenoidale Gelenkfläche ist noch intakt. Rechts: Musterbild. Die Humeruskopfnekrose nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten Zeichnung (regelrechte Humeruskopf-anatomie) in die inhomogene, prominent schwarze Zeichnung abgebildet. Es resultiert ein Cutout der kranialsten Schraube, die jedoch keine Schädigung der glenoidalen Gelenkfläche bewirkt.

#### 3.2.4.2 Komplikationstyp 4b

Der Komplikationstyp 4b basiert ebenfalls auf dem Vorhandensein einer AVN des Humeruskopfes, während diese nun eine Destruktion der glenoidalen Gelenkfläche aufgrund des assoziierten Schrauben-Cutouts durch die Humeruskopf-Kortikalis induziert.

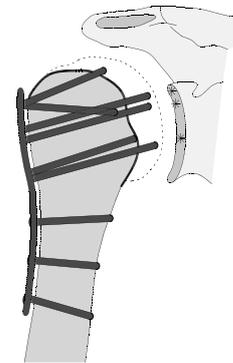


Abb. 20: Komplikationstyp 4b. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der linken Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese illustriert eine Nekrose des Humeruskopfes, die ein Cutout mehrfacher Schrauben impliziert. Dies hat eine Arrosion der glenoidalen Gelenkfläche zur Folge. Rechts: Musterbild. Die Humeruskopfnekrose nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten Zeichnung (regelrechte Humeruskopf-anatomie) in die inhomogene, prominent schwarze Zeichnung abgebildet. Es resultiert ein mehrfaches Schrauben-Cutout. Die darauf basierende Schädigung der glenoidalen Gelenkfläche wird durch die Sternsymbole an der Cavitas glenoidalis markiert.

### 3.3 Ergebnisse nach Komplikationstypen

Die deskriptive Verteilung der Komplikationstypen ist in Tab. 11 dargestellt. Insgesamt traten 193 Komplikationen auf und ergaben damit eine Komplikationsrate von 24,5%.

	n	%Komplikationen	%Gesamt (n=787)	Alter in Jahren (MW, SD)	Verteilung Männer/Frauen
Typ 1	54	28,0	6,9	69,1±12,1	19/35
Typ 2a	41	21,2	5,2	75,1±11,9	11/30
Typ 2b	13	6,7	1,6	77,8±7,5	2/11
Typ 2c	25	13,0	3,2	71,4±13,1	7/18
Typ 3	18	9,3	2,3	82,7±9,1	6/12
Typ 4a	34	17,6	4,3	66,4±13,0	12/22
Typ 4b	8	4,2	1,0	69,3±14,6	4/4
Gruppe B	193	100	24,5	72,1±12,9	61/132(68,4%)
Gesamt	787			66,5±15,6	255/532(67,6%)

Tab. 11: Deskriptive Verteilung der Komplikationstypen.

Vergleichsweise stellte sich Gruppe A (n=594) mit einem durchschnittlichen Alter von 64,8±16,0 Jahren (15 bis 95 Jahre) jünger dar. Sie verteilte sich auf 400 Frauen (67,3%) und 194 Männer (32,7%).

#### 3.3.1 Funktionelle Ergebnisse

Die funktionellen Ergebnisse, basierend auf dem CS, nCS und %CS der jeweiligen Komplikationstypen sowie des Komplikationskollektivs in Summe (Gruppe B) zur kontrastierenden Darstellung, sind in Tab. 12 abgebildet. Für die Komplikationstypen resultierten folgende funktionelle Ergebnisse anhand des gewerteten Constant-Score:

Komplikationstyp 1= mäßig bis gut, Komplikationstyp 2a= mäßig, Komplikationstyp 2b= schlecht, Komplikationstyp 2c= schlecht, Komplikationstyp 3= schlecht bis mäßig, Komplikationstyp 4a= schlecht, Komplikationstyp 4b= schlecht.

	CS (MW, SD)	nCS (MW, SD)	%CS (MW, SD)	Follow-up (MW, SD; Median)
Typ 1	64,7±16,7 (n=37)	76,2±20,3 (n=37)	84,5±18,0 (n=31)	CS/nCS: 3,2±1,9; 3,1 %CS: 3,5±1,8; 3,3
Typ 2a	58,7±17,5 (n=29)	70,0±21,6 (n=29)	77,5±24,6 (n=28)	CS/nCS: 2,7±2,2; 1,9 %CS: 2,8±2,2; 2,1
Typ 2b	33,2±13,0 (n=5)	40,0±16,6 (n=5)	42,0±20,2 (n=5)	CS/nCS/%CS: 1,2±0,8; 0,9
Typ 2c	39,3±17,1 (n=9)	48,0±21,1 (n=9)	65,3±28,5 (n=9)	CS/nCS/%CS: 3,3±2,7; 2,2
Typ 3	52,7±9,4 (n=7)	63,7±12,2 (n=7)	74,1±20,5 (n=6)	CS/nCS: 2,7±2,7; 1,0 %CS: 3,1±2,7; 2,4
Typ 4a	46,4±17,2 (n=23)	54,2±20,4 (n=23)	57,3±20,4 (n=21)	CS/nCS: 4,7±3,2; 3,5 %CS: 5,0±3,3; 4,0
Typ 4b	46,3±14,0 (n=7)	53,4±14,9 (n=7)	52,9±15,1 (n=6)	CS/nCS: 3,6±2,1; 3,3 %CS: 3,8±2,2; 4,0
Gruppe B	54,5±19,0 (n=117)	64,5±22,9 (n=117)	71,2±25,0 (n=106)	CS/nCS: 3,3±2,5; 2,8 %CS: 3,5±2,5; 2,8

Tab. 12: Funktionelle Ergebnisse mittels Mittelwert und Standardabweichung von CS, nCS, %CS der Komplikationstypen und Gruppe B sowie das jeweilige Follow-up der Funktionsscores in Jahren (Mittelwert, Standardabweichung und Median).

Bei der Betrachtung des mittleren CS zwischen Gruppe A (n=440, MW 72,1, SD 19,0) und dem jeweiligen Komplikationstyp 1-4b (MW und SD siehe Tab. 12) zeigte sich kontinuierlich ein statistisch signifikanter Unterschied, welcher auf folgenden Niveaus basierte:

- Komplikationstyp 1 (n=37) war durchschnittlich 7,4 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[1,1, 13,8]),  $t(475)=2,305$ ,  $p=0,022$ ,  $d=0,4$ ,  $r=0,1$ .
- Komplikationstyp 2a (n=29) war durchschnittlich 13,4 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[6,3, 20,5]),  $t(467)=3,699$ ,  $p<0,001$ ,  $d=0,7$ ,  $r=0,2$ .
- Komplikationstyp 2b (n=5) war durchschnittlich 38,9 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[22,2, 55,7]),  $t(443)=4,571$ ,  $p<0,001$ ,  $d=2,1$ ,  $r=0,2$ .
- Komplikationstyp 2c (n=9) war durchschnittlich 32,8 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[20,3, 45,3]),  $t(447)=5,138$ ,  $p<0,001$ ,  $d=1,7$ ,  $r=0,2$ .

- Komplikationstyp 3 (n=7) war durchschnittlich 19,4 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[5,3, 33,6]),  $t(445)=2,699$ ,  $p=0,007$ ,  $d=1,0$ ,  $r=0,1$ .
- Komplikationstyp 4a (n=23) war durchschnittlich 25,7 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[17,8, 33,7]),  $t(461)=6,364$ ,  $p<0,001$ ,  $d=1,4$ ,  $r=0,3$ .
- Komplikationstyp 4b (n=7) war durchschnittlich 25,8 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[11,7, 40,0]),  $t(445)=3,585$ ,  $p<0,001$ ,  $d=1,4$ ,  $r=0,2$ .

Bei der Analyse des mittleren nCS zwischen Gruppe A (n=440, MW 84,7, SD 21,9) und dem jeweiligen Komplikationstyp 1-4b (MW und SD siehe Tab. 12) zeigte sich auch stetig ein statistisch signifikanter Unterschied, welcher auf folgenden Niveaus basierte:

- Komplikationstyp 1 (n=37) war durchschnittlich 8,5 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[1,1, 15,8]),  $t(475)=2,270$ ,  $p=0,024$ ,  $d=0,4$ ,  $r=0,1$ .
- Komplikationstyp 2a (n=29) war durchschnittlich 14,7 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[6,4, 22,9]),  $t(467)=3,496$ ,  $p<0,001$ ,  $d=0,7$ ,  $r=0,2$ .
- Komplikationstyp 2b (n=5) war durchschnittlich 44,7 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[25,3, 64,0]),  $t(443)=4,543$ ,  $p<0,001$ ,  $d=2,0$ ,  $r=0,2$ .
- Komplikationstyp 2c (n=9) war durchschnittlich 36,7 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[22,2, 51,2]),  $t(447)=4,977$ ,  $p<0,001$ ,  $d=1,7$ ,  $r=0,2$ .
- Komplikationstyp 3 (n=7) war durchschnittlich 21,0 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[4,7, 37,3]),  $t(445)=2,529$ ,  $p=0,012$ ,  $d=1,0$ ,  $r=0,1$ .
- Komplikationstyp 4a (n=23) war durchschnittlich 30,5 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[21,3, 39,7]),  $t(461)=6,527$ ,  $p<0,001$ ,  $d=1,4$ ,  $r=0,3$ .
- Komplikationstyp 4b (n=7) war durchschnittlich 31,2 P. niedriger als Gruppe A (95%-CI[14,9, 47,6]),  $t(445)=3,758$ ,  $p<0,001$ ,  $d=1,4$ ,  $r=0,2$ .

Bei der Bewertung des mittleren %CS zwischen Gruppe A (n=411, MW 87,2, Median 90,1, SD 27,9) und dem jeweiligen Komplikationstyp 1-4b (MW und SD siehe Tab. 12) zeigte sich folgendes Ergebnis:

- Komplikationstyp 1 (n=31) war durchschnittlich 2,7 Prozentpunkte niedriger als Gruppe A (95%-CI[-7,3, 12,7]), zeigte damit jedoch keinen statistisch signifikanten Unterschied,  $t(440)=0,532$ ,  $p=0,595$ .
- Zwischen Komplikationstyp 2a (n=28, Median=76,4) und Gruppe A ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied,  $U(411, 28)=3796$ ,  $z=-3,015$ ,  $p=0,003$ ,  $r=0,14$ .

- Komplikationstyp 2b (n=5) war durchschnittlich 45,2 Prozentpunkte niedriger als Gruppe A (95%-CI[20,5, 69,8]), repräsentierte damit einen statistisch signifikanten Unterschied,  $t(414)= 3,599, p<0,001, d=1,6, r=0,2$ .
- Zwischen Komplikationstyp 2c (n=9, Median=60,0) und Gruppe A ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied,  $U(411, 9)=725, z=-3,123, p=0,002, r=0,15$ .
- Komplikationstyp 3 (n=6) war durchschnittlich 13,1 Prozentpunkte niedriger als Gruppe A (95%-CI[-9,4, 35,7]), zeigte damit jedoch keinen statistisch signifikanten Unterschied,  $t(415)= 1,145, p=0,253$ .
- Komplikationstyp 4a (n=21) war durchschnittlich 29,9 Prozentpunkte niedriger als Gruppe A (95%-CI[17,7, 42,0]), spiegelte damit einen statistisch signifikanten Unterschied,  $t(430)= 4,830, p<0,001, d=1,1, r=0,2$ .
- Komplikationstyp 4b (n=6) war durchschnittlich 34,3 Prozentpunkte niedriger als Gruppe A (95%-CI[11,8, 56,8]), spiegelte damit einen statistisch signifikanten Unterschied,  $t(415)= 2,996, p=0,003, d=1,2, r=0,2$ .

Eine einfaktorielle ANOVA wurde berechnet, um die Unterschiede des funktionellen Ergebnisses von CS, nCS in Abhängigkeit der verschiedenen Komplikationstypen zu konstatieren. Hierbei unterschied sich der CS statistisch signifikant für die Varianz von Komplikationstypen,  $F(6, 110)=6,235, p<0,001, \eta^2=0,25, f=0,6$ . Ebenso zeigte der nCS einen statistisch signifikanten Unterschied für selbige Varianz von Komplikationstypen,  $F(6, 110)=5,805, p<0,001, \eta^2=0,24, f=0,6$ . Der Kruskal-Wallis-Test bestätigte, dass sich auch der %CS zwischen den einzelnen Komplikationstypen statistisch signifikant unterschied,  $\text{Chi-Quadrat}(6)=33,969, p<0,001$ .

Mittels LSD-Post-hoc-Tests zeigten sich signifikante Unterschiede für den CS zwischen folgenden Komplikationstypen:

#### Komplikationstyp 1:

- 31,5 P. höher als Komplikationstyp 2b (95%-CI[15,5, 47,5]),  $p<0,001$ .
- 25,4 P. höher als Komplikationstyp 2c (95%-CI[12,9, 37,8]),  $p<0,001$ .
- 18,3 P. höher als Komplikationstyp 4a (95%-CI[9,4, 27,2]),  $p<0,001$ .
- 18,4 P. höher als Komplikationstyp 4b (95%-CI[4,6, 32,2]),  $p=0,009$ .

#### Komplikationstyp 2a:

- 25,5 P. höher als Komplikationstyp 2b (95%-CI[9,3, 41,8]),  $p=0,002$ .
- 19,4 P. höher als Komplikationstyp 2c (95%-CI[6,6, 32,2]),  $p=0,003$ .

- 12,3 P. höher als Komplikationstyp 4a (95%-CI[3,0, 21,7]),  $p=0,01$ .

Mittels LSD-Post-hoc-Tests ergaben sich signifikante Unterschiede für den nCS zwischen folgenden Komplikationstypen:

Komplikationstyp 1:

- 36,2 P. höher als Komplikationstyp 2b (95%-CI[16,8, 55,6]),  $p<0,001$ .
- 28,2 P. höher als Komplikationstyp 2c (95%-CI[13,1, 43,4]),  $p<0,001$ .
- 22,0 P. höher als Komplikationstyp 4a (95%-CI[11,2, 32,8]),  $p<0,001$ .
- 22,8 P. höher als Komplikationstyp 4b (95%-CI[6,0, 40,0]),  $p=0,008$ .

Komplikationstyp 2a:

- 30,0 P. höher als Komplikationstyp 2b (95%-CI[10,3, 49,7]),  $p=0,003$ .
- 22,0 P. höher als Komplikationstyp 2c (95%-CI[6,5, 37,6]),  $p=0,006$ .
- 15,8 P. höher als Komplikationstyp 4a (95%-CI[4,4, 27,2]),  $p=0,007$ .

Dunn-Bonferroni-Tests zeigten, dass sich für den %CS lediglich Komplikationstyp 1 und 2b ( $z=3,602$ ,  $p=0,007$ ,  $r=0,6$ ), Komplikationstyp 1 und 4a ( $z=4,433$ ,  $p<0,001$ ,  $r=0,6$ ) sowie Komplikationstyp 1 und 4b ( $z=3,274$ ,  $p=0,022$ ,  $r=0,5$ ) signifikant unterschieden.

Die restlichen Gruppenvergleiche der Komplikationstypen zeigten hinsichtlich funktionellem Ergebnis in der Post-hoc-Analyse keinen signifikanten Unterschied, basierend auf CS, nCS und %CS; auch wenn sich deskriptive Unterschiede der jeweiligen Mittelwerte darstellten.

Im Folgenden sind anhand von Box-Plots der CS, nCS und %CS von KOK/Gruppe A sowie der einzelnen Komplikationstypen abgebildet (siehe Abb. 21, 22, 23).

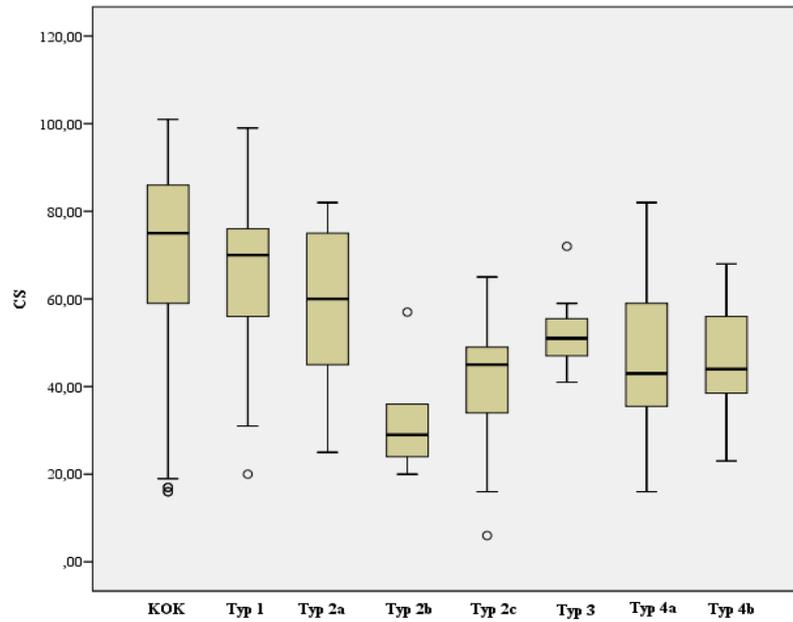


Abb. 21: Vergleich CS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationstypen (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).

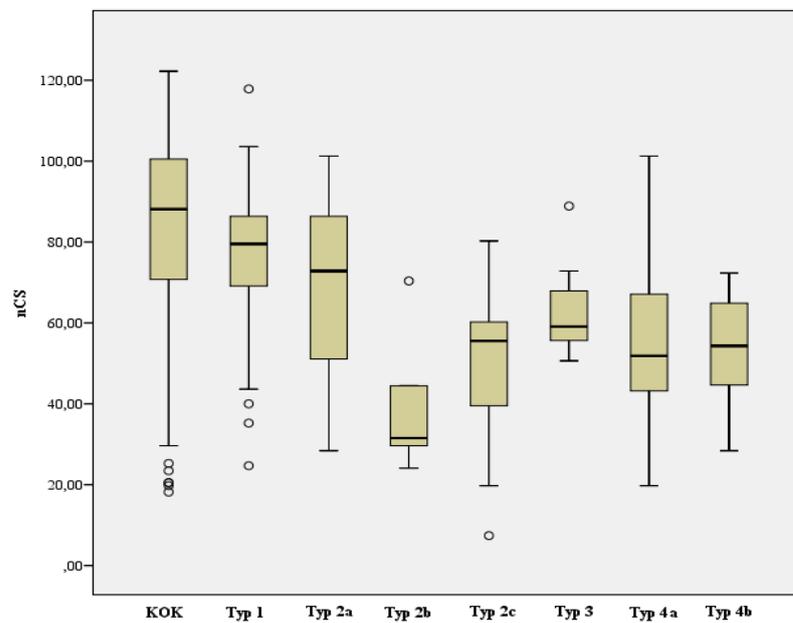


Abb. 22: Vergleich nCS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationstypen (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).

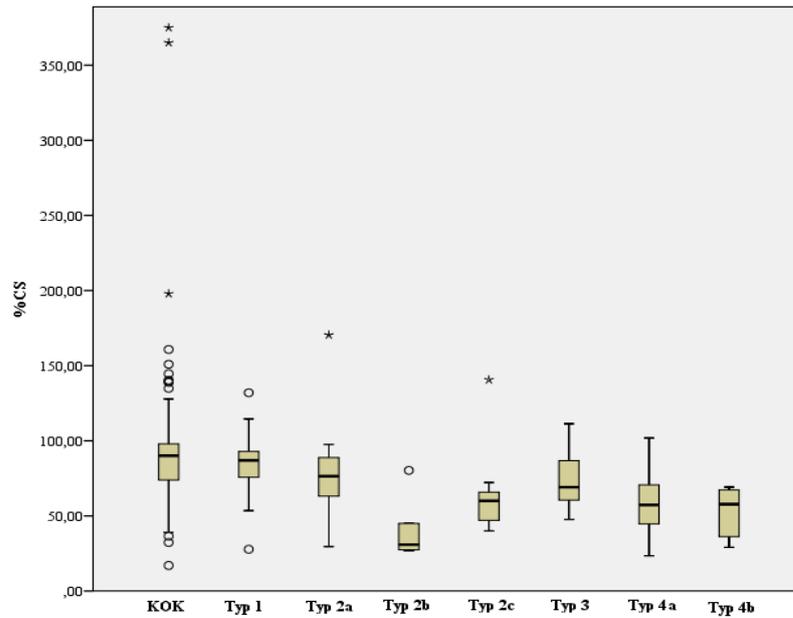


Abb. 23: Vergleich %CS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationstypen (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).

### 3.3.2 Zeitliche Manifestation

Die Ergebnisse der zeitlichen Manifestation des jeweiligen Komplikationstyps und des Komplikationskollektivs in Summe (Gruppe B) sind in Tab. 13 dargestellt.

	MW	SD
Typ 1	2,9	3,1
Typ 2a	3,0	2,7
Typ 2b	3,8	8,5
Typ 2c	1,3	0,8
Typ 3	2,1	2,0
Typ 4a	9,8	10,6
Typ 4b	7,9	7,4
Gruppe B	4,1	6,4

Tab. 13: Zeitliche Manifestation der einzelnen Komplikationstypen und von Gruppe B, in Monaten mittels Mittelwert und Standardabweichung.

Mittels Kruskal-Wallis-Test wurde gezeigt, dass bezüglich der zeitlichen Manifestation der Komplikationstypen ein statistisch signifikanter Unterschied bestand, Chi-Quadrat(6)=56,562,  $p < 0,001$ . Die Post-hoc-Analyse mittels Dunn-Bonferroni-Tests zeigte, dass sich das zeitliche Eintreten von Typ 4a zu den Typen 1-3 (zu Typ 1:  $z = -5,054$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,5$ ; zu Typ 2a:  $z = -4,231$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,5$ ; zu Typ 2b:  $z = -5,187$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,8$ ; zu Typ 2c:  $z = -6,014$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,8$ ; zu Typ 3:  $z = -4,854$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,7$ ) sowie von Typ 4b zu Typ 2c ( $z = -3,101$ ,  $p = 0,04$ ,  $r = 0,6$ ) statistisch signifikant unterschied. Bei Zusammenfassung des Typs 4a und 4b als gemeinsamer AVN-Typ zeigte der Kruskal-Wallis-Test auch einen statistisch signifikanten Unterschied bezüglich der zeitlichen Manifestation der Komplikationstypen, Chi-Quadrat(5)=55,984,  $p < 0,001$ . In der Post-hoc-Analyse (Dunn-Bonferroni-Tests) ergab sich jedoch nur für den AVN-Typ zu allen anderen Komplikationstypen ein statistisch signifikanter Unterschied (zu Typ 1:  $z = -5,081$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,5$ ; zu Typ 2a:  $z = -4,199$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,5$ ; zu Typ 2b:  $z = -5,145$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,7$ ; zu Typ 2c:  $z = -6,019$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,8$ ; zu Typ 3:  $z = -4,814$ ,  $p < 0,001$ ,  $r = 0,6$ ).

### 3.3.3 Varusdislokationsgraduierung der Komplikationstypen 1, 2a, 2c

Die Ergebnisse der Varusdislokation des Humeruskopfes (in Grad) von Komplikationstyp 1, 2a und 2c sind in Tab. 14 aufgeführt.

	MW	SD	Minimal-/Maximalwert
Typ 1	15,6	6,1	10,0/37,0
Typ 2a	16,3	3,9	10,0/26,0
Typ 2c	27,4	4,6	16,0/36,0

Tab. 14: Varusdislokationsgraduierung des Humeruskopfes in Grad von Komplikationstyp 1, 2a und 2c mittels Mittelwert, Standardabweichung und Minimal-/Maximalwert.

Der Zusammenhang von funktionellem Ergebnis und Grad der Varusdislokation des Humeruskopfes wurde mithilfe einer linearen Regression manifestiert,  $F(1, 503) = 18,487$ ,  $p < 0,001$ . Diese Relation konnte mit der Regressionsgerade  $CS = 71,943 - 0,608 \times \text{Varusdislokation}$  (siehe Abb. 24) beschrieben werden ( $f^2 = 0,04$ ). Der CS korrelierte signifikant schwach invers mit der Ausprägung der Varusdislokation des Humeruskopfes (Korrelationskoeffizient nach Pearson  $r = -0,188$ ,  $p < 0,001$ ,  $n = 505$ ).

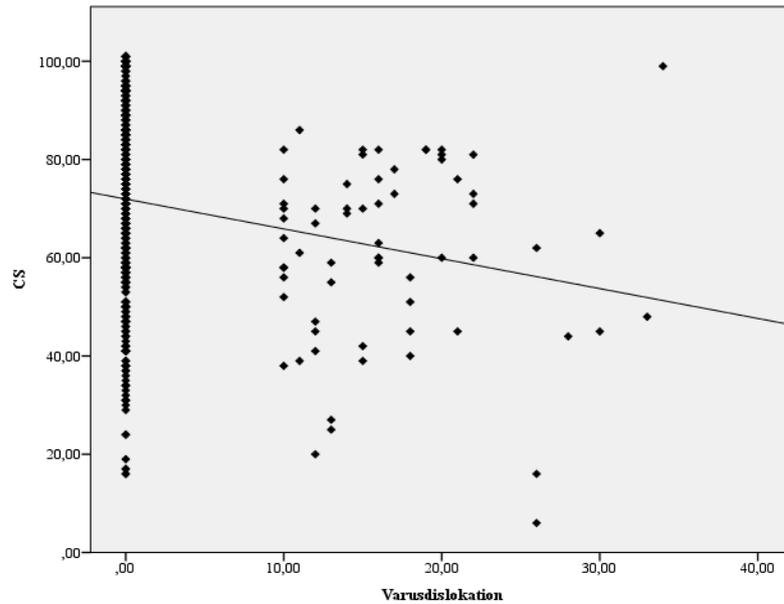


Abb. 24: Lineare Regression von Varusdislokation und Constant-Score, Funktion der Regressionsgerade:  $CS=71,943-0,608 \times \text{Varusdislokation}$  (X-Achse: Varusdislokation des Humeruskopfes in Grad, Y-Achse: Constant-Score).

Eine einfaktorische Varianzanalyse mittels ANOVA zeigte einen signifikanten Unterschied des mittleren CS zwischen den Gruppen unterschiedlich steigender Varusdislokation des Humeruskopfes ( $<10^\circ$ ,  $10-22^\circ$ ,  $>22^\circ$ ),  $F(2, 502)=12,645$ ,  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,05$ ,  $f=0,2$ . Der LSD-Post-hoc-Test spiegelte einen signifikanten Unterschied zwischen allen drei Gruppen. Der mittlere CS nahm ab, von einer Varusdislokation  $<10^\circ$  ( $n=440$ , MW 72,1, SD 19,0) zu  $10-22^\circ$  ( $n=57$ , MW 62,3, SD 16,4) um 9,85 P. (95%-CI[4,6, 15,1],  $p<0,001$ ), von einer Varusdislokation von  $10-22^\circ$  zu  $>22^\circ$  ( $n=8$ , MW 48,1, SD 29,0) um 14,2 P. (95%-CI[0,1, 28,2],  $p<0,05$ ) und von einer Varusdislokation  $<10^\circ$  zu  $>22^\circ$  um 24,0 P. (95%-CI[10,8, 37,2],  $p<0,001$ ). Bei einer Grenze von  $20^\circ$  zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen allen drei Gruppen.

Im Folgenden ist der CS anhand von Box-Plots in Abhängigkeit der jeweiligen Varusdislokationsgruppierung aufgeführt (siehe Abb. 25).

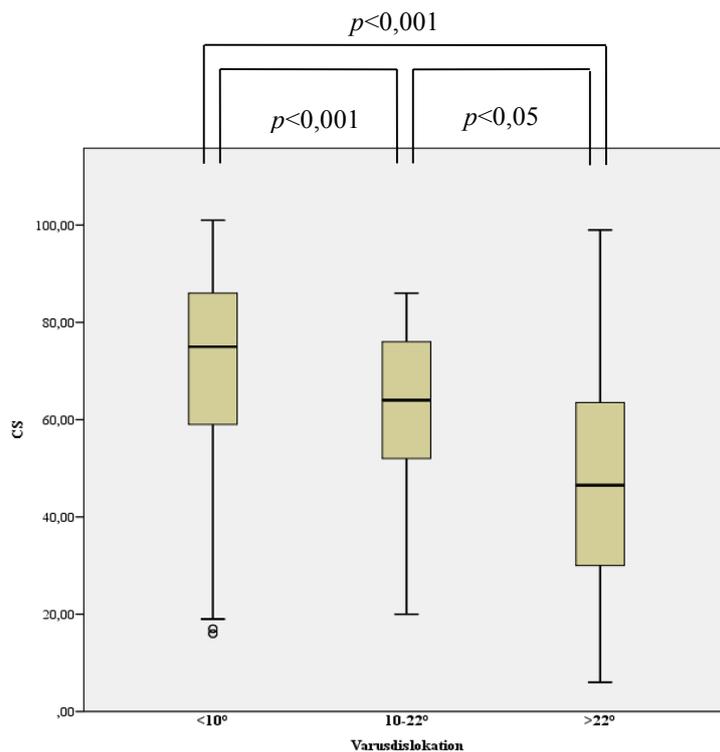


Abb. 25: CS in Abhängigkeit der Varusdislokation des Humeruskopfes von <math><10^\circ</math>, <math>10-22^\circ</math>, <math>>22^\circ</math> (X-Achse: Gruppen entsprechender Varusdislokation des Humeruskopfes, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).

### 3.3.4 Komplikationsmanagement

Im postoperativen Verlauf wurden alle durchgeführten Revisionen dokumentiert. Diese variierten in Abhängigkeit des Komplikationstyps. Zu den Revisionsarten zählten die ME, die anhand des Zeitpunktes nochmals in eine Früh-ME (<math><9</math> Monate) untergliedert wurde, der Schraubenwechsel oder die Schraubenentfernung, die Reosteosynthese, die Humeruskopf-/Tubercularesektion und der Verfahrenswechsel auf eine Hemiprothese, inverse Prothese oder Nagelosteosynthese. Insgesamt wurden 136 Revisionen durchgeführt (bei teils Mehrfachrevisionen pro Fall, 15% des radiologisch untersuchten Gesamtkollektivs, 61% des osteosynthese-assoziierten Komplikationskollektivs). Die dunkel hinterlegten Felder in Tab. 15 akzentuieren die dominierende Revisionsart in Abhängigkeit des Komplikationstyps. Eine Überlegenheit in der Absenz einer Revision zeigte sich alleinig bei Komplikationstyp 1. Falls doch eine Revision als notwendig erachtet wurde, so wurde diese vor allem mittels ME durchgeführt. Bei Komplikationstyp 2a stellten die Früh-ME und der Schraubenwechsel/die Schraubenentfernung die dominierenden Revisionsverfahren dar. Der Komplikationstyp 2b zeigte ein etwas heterogeneres Verteilungsmuster auf. Typische Revisionen waren die Reosteosynthese und der Verfahrenswechsel auf eine Hemiprothese oder inverse Prothese. Bei Komplikationstyp 2c stellte

die Konversion zur Prothese (inverse Prothese>Hemiprothese) das überlegene Revisionsverfahren dar, gefolgt von der Reosteosynthese und dem Schraubenwechsel/der Schraubenentfernung. Bei Komplikationstyp 3 war die Reosteosynthese das bestimmende Revisionsverfahren. Die Komplikation einer AVN (Komplikationstyp 4) erforderte zumeist eine Konversion auf eine Prothese. Auch eine ME wurde häufig durchgeführt.

Die ausführliche Verteilung der Revisionen in Abhängigkeit des Komplikationstyps ist in Tab. 15 dargestellt.

\* Zusatz zur Tab. 15: Einige Komplikationsfälle zeigten >1 Revision. Typ 3: 1 Fall mit 2 Revisionen. Typ 2a & 4b: 2 Fälle mit je 2 Revisionen. Typ 2b & 2c: 4 Fälle mit je 2 Revisionen. Typ 4a: 5 Fälle mit je 2 Revisionen.

	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	Typ 2c	Typ 3	Typ 4a	Typ 4b	Ge- samt
Früh-ME (<9 Monate)	<b>5</b>	<b>9</b> (35%)*	3 (25%)*	2 (8%)*	1 (7%)*	<b>13</b> (39%)*	2 (20%)*	35
ME	<b>9</b>	4 (15%)*	1 (8%)*	2 (8%)*	0	7 (21%)*	0	23
Schraubenwech- sel/-entfernung	1	<b>13</b> (50%)*	1 (8%)*	<b>3</b> (12%)*	0	5 (15%)*	0	23
Reosteosynthese	0	0	<b>3</b> (25%)*	<b>4</b> (16%)*	<b>11</b> (73%)*	0	0	18
Resektion	0	0	0	2 (8%)*	0	0	1 (10%)*	3
Nagelosteo- synthese	0	0	0	1 (4%)*	2 (13%)*	0	0	3
Hemiprothese	0	0	<b>2</b> (17%)*	<b>4</b> (16%)*	1 (7%)*	<b>5</b> (15%)*	0	12
Inverse Prothese	0	0	<b>2</b> (17%)*	<b>7</b> (28%)*	0	<b>3</b> (10%)*	<b>7</b> (70%)*	19
Gesamt	15	26	12	25	15	33	10	136
Keine Revision	<b>39</b>	17	5	4	4	6	0	75
<b>Revisionsrate</b>	<b>28%</b>	<b>59%*</b>	<b>62%*</b>	<b>84%*</b>	<b>78%*</b>	<b>82%*</b>	<b>100*</b>	<b>61%*</b>

Tab. 15: Revisionsnotwendigkeit und Verteilung der durchgeführten Revisionen in Abhängigkeit des Komplikationstyps. Je nach Komplikationstyp sind die dominierenden Verfahren dunkel hinterlegt.

Es konnte gezeigt werden, dass die Komplikationstypen und die Notwendigkeit einer Revision (ja/nein) in Zusammenhang standen (Chi-Quadrat(5)=43,69,  $p<0,001$ ,  $n=193$ ). Dieser Zusammenhang konnte als mittel eingestuft werden (Cramers  $V=0,48$ ). Die Post-hoc-Analyse mittels Bonferroni-Korrektur zeigte auf, dass die erwarteten und beobachteten Werte von Typ 1 und Typ 4 bezüglich Revision ja/nein für diesen statistisch signifikanten Zusammenhang verantwortlich waren.

### 3.3.5 Assoziation zur Frakturklassifikation

Die absoluten Werte der Komplikationsfälle in Assoziation mit dem jeweiligen Frakturtyp, gemäß der Neer- und AO-Klassifikation, sind der Abb. 26 und 27 zu entnehmen.

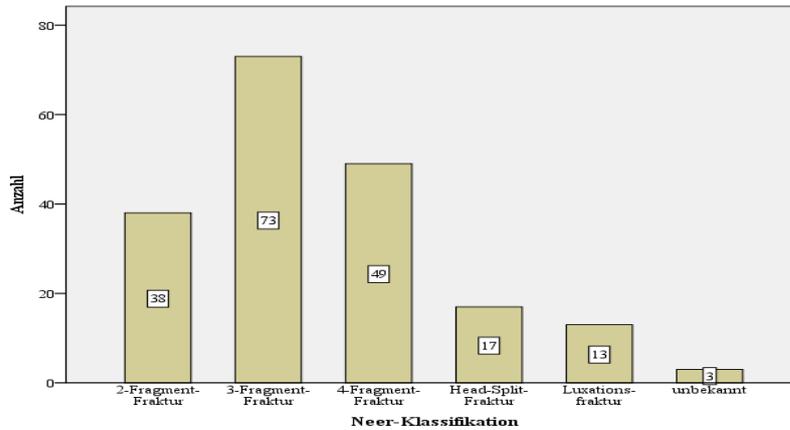


Abb. 26: Verteilung der Komplikationen auf Grundlage des jeweiligen Frakturtyps der Neer-Klassifikation, Gesamtzahl n=193 (X-Achse: Neer-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl).

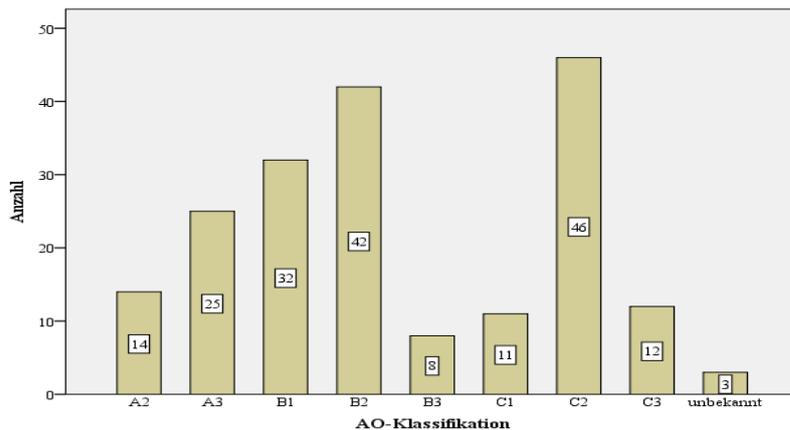


Abb. 27: Verteilung der Komplikationen auf Grundlage des jeweiligen Frakturtyps der AO-Klassifikation, Gesamtzahl n=193 (X-Achse: AO-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl).

Die prozentualen Häufigkeiten in Assoziation der Neer-Klassifikation eine osteosyntheseassoziierte Komplikation zu entwickeln sind in der Tab. 16 dargestellt. Dabei war das Risiko bei der Head-Split-Fraktur mit 51,5%, gefolgt von der 4-Fragment-Fraktur mit 35,8% und der Luxationsfraktur mit 32,5%, am höchsten. Abb. 28 und 29 zeigen hierfür eine Gegenüberstellung der Fallzahlen mit und ohne Komplikation in Bezug des Frakturtyps (Neer- und AO-Klassifikation).

Neer-Klassifikation	2-Fragment-Fraktur	3-Fragment-Fraktur	4-Fragment-Fraktur	Head-Split-Fraktur	Luxationsfraktur
% Komplikation	17,4	20,6	35,8	51,5	32,5

Tab. 16: Prozentuale Häufigkeiten der Komplikationsentwicklung in Assoziation des Frakturtyps der Neer-Klassifikation.

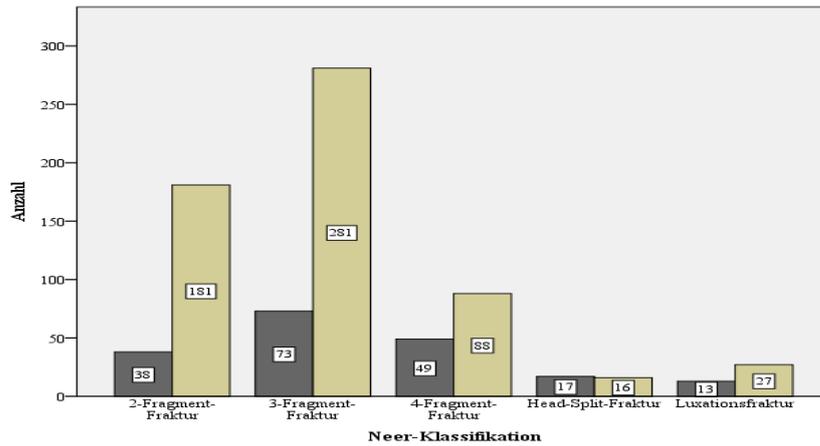


Abb. 28: Gegenüberstellung der Anzahl mit Komplikationen (dunkel) und ohne Komplikationen (hell) in Bezug des jeweiligen Frakturtyps, basierend auf der Neer-Klassifikation (X-Achse: Neer-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl).

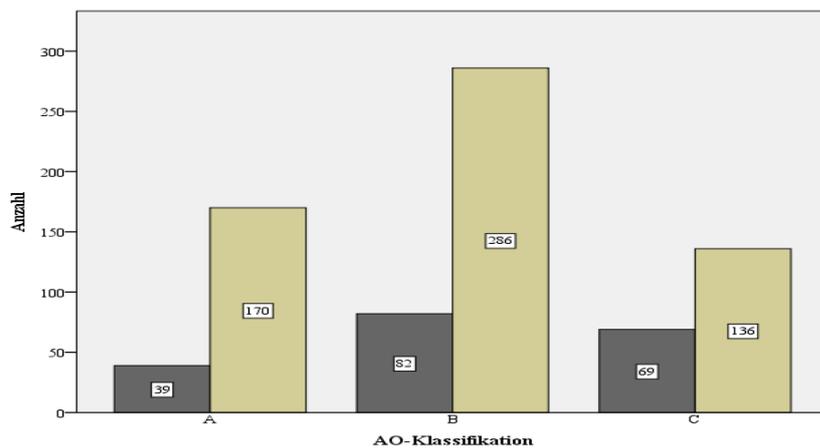


Abb. 29: Gegenüberstellung der Anzahl mit Komplikationen (dunkel) und ohne Komplikationen (hell) in Bezug des jeweiligen Frakturtyps, basierend auf der AO-Klassifikation (X-Achse: AO-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl).

Durch Zuordnung der einzelnen Komplikationstypen zu den ursprünglichen Frakturtypen (Neer- und AO-Klassifikation) konnten die in Tab. 17 aufgeführten Anzahlen ermittelt werden. Die dunkel hinterlegten Felder zeigen die dominierenden Frakturmuster auf.

	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	Typ 2c	Typ 3	Typ 4a	Typ 4b
2-Fragment-Fraktur	12	9	0	<b>8</b> (35%)	<b>7</b> (39%)	2	0
3-Fragment-Fraktur	<b>24</b> (44%)	<b>19</b> (46%)	5	<b>8</b> (35%)	<b>9</b> (50%)	7	1
4-Fragment-Fraktur	12	9	<b>6</b> (46%)	5	0	<b>14</b> (41%)	<b>3</b> (43%)
Head-Split-Fraktur	2	2	1	0	2	<b>7</b> (21%)	<b>3</b> (43%)
Luxationsfraktur	4	2	1	2	0	4	0
A2	7	2	0	2	2	1	0
A3	6	6	0	<b>6</b> (26%)	<b>6</b> (33%)	1	0
B1	<b>12</b> (22%)	<b>12</b> (29%)	2	2	1	2	1
B2	<b>14</b> (26%)	6	3	<b>7</b> (30%)	<b>7</b> (39%)	5	0
B3	2	2	0	1	0	3	0
C1	2	5	2	1	0	1	0
C2	10	6	<b>5</b> (38%)	3	1	<b>16</b> (47%)	<b>5</b> (71%)
C3	1	2	1	1	1	5	1
Keine Aufnahme	0	0	0	2	0	0	1

Tab. 17: Verteilung der Komplikationstypen auf die einzelnen Frakturtypen der Neer-Klassifikation und AO-Klassifikation. Die dunkel hinterlegten Felder spiegeln die dominierende(n) Frakturgruppe(n) der jeweiligen Komplikationstypen (mit zugehörigem Prozentwert).

Es konnte gezeigt werden, dass sowohl die Frakturtypen nach Neer (Chi-Quadrat(4)=32,9,  $p<0,001$ ,  $n=783$ , Cramers  $V=0,21$ ), als auch die Frakturtypen nach AO (Chi-Quadrat(2)=14,2,  $p<0,001$ ,  $n=782$ , Cramers  $V=0,14$ ) mit der Manifestation einer Komplikation (ja/nein) in Zusammenhang standen. Die Post-hoc-Analyse mittels Bonferroni-Korrektur zeigte auf, dass die erwarteten und beobachteten Werte bei der 4-Fragment-Fraktur, der Head-Split-Fraktur und der Typ C-Fraktur bezüglich Komplikation ja/nein für diesen statistisch signifikanten Zusammenhang verantwortlich waren. Die Prüfung des Zusammenhangs von Frakturtypen und Revisionsnotwendigkeit (ja/nein) zeigte, dass sowohl nach Neer (exakter Test nach Fisher, Wert=22,66,  $p<0,001$ ), als auch nach AO (Chi-Quadrat(2)=9,96,  $p=0,007$ ,  $n=782$ , Cramers  $V=0,11$ ) ein statistisch signifikanter Zusammenhang bestand. Ausschlaggebend waren hierfür die 4-Fragment-Fraktur, die Head-Split-Fraktur und die Typ C-Fraktur bezüglich Revision ja/nein, was durch eine Post-hoc-Analyse mittels Bonferroni-Korrektur nachgewiesen wurde.

## 4. Diskussion

Für die Versorgung der dislozierten proximalen Humerusfraktur gilt die winkelstabile Plattenosteosynthese als etabliertes Verfahren. Dennoch werden die Entstehung und Rate postoperativer Komplikationen und darauf basierend die Relevanz der adäquaten Therapiewahl in der Literatur kontrovers diskutiert [30, 32, 64, 97, 99, 105, 108]. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die funktionellen Ergebnisse der winkelstabilen Plattenosteosynthese dislozierter Frakturen des proximalen Humerus in einem großen Kollektiv zu detektieren und zu analysieren. Der Fokus sollte hierbei speziell auf die funktionellen Ergebnisse osteosynthese-assoziiertes, sekundärer Komplikationen gerichtet werden. Die Charakteristik, Klassifikation und Rangierung dieser Komplikationen galt es, unter Zuhilfenahme von radiologischer Diagnostik und funktionellem Resultat, herauszuarbeiten. Insgesamt konnte ein Gesamtkollektiv von 1047 dislozierten proximalen Humerusfrakturen (1031 Patienten) nach operativer Behandlung mit einer winkelstabilen Plattenosteosynthese herangezogen werden. Ein radiologischer Verlauf konnte von 787 Frakturen ausgewertet werden. 193 Fälle (24,5%) waren mit einer solchen Komplikation behaftet.

### 4.1 Einordnung der funktionellen Ergebnisse des Gesamtkollektivs

Funktionell betrug der Constant-Score für die winkelstabile Plattenosteosynthese  $68,4 \pm 20,3$  P., was einem nCS von  $80,4 \pm 23,8$  P. entsprach (MW 4,0 Jahre, Median 3,3 Jahre, SD 2,7 Jahre). Der %CS lag bei  $83,9 \pm 28,1\%$  (MW 4,2 Jahre, Median 3,5 Jahre, SD 2,7 Jahre). Das Ergebnis stellte sich insgesamt als mäßig bis gut dar. Der CS ist damit geringfügig schlechter als in anderen Arbeiten [64, 93, 97-99, 101, 102]. Der DASH-Score betrug  $23,8 \pm 20,8$  P. (MW 4,6 Jahre, Median 4,0 Jahre, SD 2,5 Jahre) und stellt sich damit ebenfalls geringfügig schlechter als in anderen ausgewählten Arbeiten dar [64, 93, 99]. Südkamp et al. (2009) [64] beschrieben ein Jahr postoperativ einen CS von  $70,6 \pm 13,7$  P., was  $85,1 \pm 14,0\%$  der Gegenseite ausmachte. Der DASH-Score erreichte einen Wert von  $15,2 \pm 16,8$  P. Brunner et al. (2009) [93] gaben ein Jahr postoperativ einen CS von  $72,0 \pm 15,2$  P., einen %CS von  $87,0 \pm 16,6\%$  und einen DASH-Score von  $16,0 \pm 21,0$  P. an. Acklin et al. (2013) [98] zeigten einen CS von  $75,0 \pm 11,0$  P. und einen %CS von  $83,0 \pm 7,0\%$  nach  $18,0 \pm 6,0$  Monaten auf. In allen drei Arbeiten kann eine signifikante, funktionelle Verbesserung im zeitlichen Verlauf von Monat 3, Monat 6 und Endzeitpunkt (12 Monate oder  $18 \pm 6$  Monate) dargestellt werden, sodass innerhalb des ersten Jahres die deutlichste Verbesserung der Schulterfunktion zu erwarten ist [64, 93, 98]. Reviews von Sproul et al. (2011) [101] und Thanasis et al. (2009) [102] konnten mit einem CS von 73,6 P. und 74,3 P. ebenfalls bestätigen, dass mit der winkelstabilen Plattenosteosynthese gute Ergebnisse erzielt werden. Dies deckt sich

mit dem Ergebnis der vorliegenden Arbeit. Das Gesamtergebnis ist mit anderen Studien sicherlich vergleichbar. Als Faktor für das vergleichsweise gering schlechtere funktionelle Abschneiden könnte das ältere Patientenkollektiv aufgeführt werden. So repräsentierte die vorliegende Arbeit ein Alter von  $65,3 \pm 14,5$  Jahren (mit CS-Auswertungen,  $n=557$ ) und stellt sich bis zu 3,3 Jahre älter dar [64, 93, 98, 101]. Die signifikant negative Korrelation von CS und Patientenalter ist bereits bekannt [97, 99]. Parallel steigt das Komplikationsrisiko mit zunehmendem Lebensalter an [93]. Dieser Aspekt kam ebenso in der vorliegenden Arbeit zur Geltung (Patientenalter von  $72,1 \pm 12,9$  Jahren für das Komplikationskollektiv versus  $64,8 \pm 16,0$  Jahre für das Kollektiv ohne Komplikationen). Auch die hier vorliegende Größe des Gesamtkollektivs von 1047 Frakturen (53,2% funktionelles, 75,2% radiologisches Follow-up) muss hervorgehoben werden und zeigt sich größer als in anderen Arbeiten [64, 93, 98, 101]. Die operative Versorgung mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese kann auch im Langzeitverlauf gute bis sehr gute Ergebnisse erzielen [97, 99], die mit Arbeiten mit wesentlich kürzerem Follow-up [64, 93] vergleichbar sind. So betrug 5,7 Jahre postoperativ der mittlere CS 75,5 P. [99] und nach 10 Jahren 75,3 P. [97]. Die funktionellen Langzeitergebnisse korrelieren signifikant mit denen nach einem Jahr postoperativ und bei der Mehrzahl der Patienten kommt es im postoperativen Verlauf zu keiner Verschlechterung der Funktionalität. Darüber hinaus besteht eine signifikant negative Korrelation von funktionellem Langzeitergebnis mit dem Auftreten einer sekundären Dislokation als auch mit einer ungeplanten Revisionsoperation. Insgesamt könnte dies einen prädiktiven Effekt zur Folge haben, sodass Patienten mit einem schlechten funktionellen Outcome bereits zu einem frühen Zeitpunkt identifiziert werden können und darauf basierend das weitere Procedere begründet sein kann [97]. Die Definition und Analyse von Komplikationstypen soll dies in der vorliegenden Arbeit weiter präzisieren, sodass sowohl eine Unterscheidung zwischen funktionell zufriedenstellenden und schlechten als auch zwischen revisionsbedürftigen und weniger revisionsbedürftigen Komplikationen gemacht werden kann. Es gilt zu berücksichtigen, dass nicht jeder als Komplikation definierte Fall obligatorisch ein schlechtes funktionelles Ergebnis impliziert [99].

## **4.2 Überblick zu Komplikationen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese**

Die Komplikationsangabe nach winkelstabiler Plattenosteosynthese variiert in der Literatur und ist abhängig von der jeweiligen Komplikationsdefinition und Komplikationseinteilung. So werden Gesamtkomplikationsraten von über 30% angegeben [64, 93, 101, 107]. Südkamp et al. (2009) [64] berichteten von einer Komplikationsrate von 34%, wovon jedoch die primäre Komplikation, insbesondere die primäre Schraubenperforation, den größten Anteil ausmachte. Bei den sekundären Komplikationen, die nochmals in fraktur-assoziiert und osteosynthese-

assoziiert unterteilt wurden, waren die Dislokation ohne/mit Schraubenperforation und die Humeruskopfnekrose führend [64]. Brunner et al. (2009) [93] gaben eine gleich hohe Komplikationsrate von 34% an und nahmen eine Unterteilung zwischen implantat-assoziiertes und nicht-implantat-assoziiertes Komplikationsrate vor. Die primäre Schraubenperforation stellte auch hier das häufigste Komplikationsmuster dar, gefolgt von der sekundären Schraubenperforation, der Humeruskopfnekrose, unterschiedlichen auf der Reposition basierenden Komplikationen (sekundärer Repositionsverlust, Dislokation des Tub. majus, sekundäre Impaktion), proximaler/distaler Schrauben-/Plattenausbruch [93]. Der hohe Anteil an primären Komplikationen, prädisponierend das primäre Schrauben-Cutout, spiegelt die Relevanz der korrekten Operationstechnik und Indikationsstellung; weniger eine klassische, verfahrensabhängige Komplikation. Idealerweise ist eine primäre Komplikationsgenese nicht existent. Auch auf die gesonderte Unterteilung von osteosynthese-assoziiertes und fraktur-assoziiertes Komplikation wurde in der vorliegenden Arbeit verzichtet, da sich eine klare Trennung oft nicht darstellen lässt. Auf eine Auswertung von klassischen Operationsrisiken/-komplikationen wie Hämatom, Wundinfektion und Nervenläsion wurde aufgrund der Fragestellung verzichtet. Die Raten sind jedoch äußerst gering. Zusammenfassend müssen die Angabe von Komplikationsraten der winkelstabilen Plattenosteosynthese nach proximaler Humerusfraktur und darauf basierende Vergleiche in der Literatur stets kritisch evaluiert werden. So liegt in der vorliegenden Arbeit der Fokus allein auf den sekundären, osteosynthese-assoziiertes Komplikationen.

Die klassischen Komplikationen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese stellen die sekundäre Varusdislokation, das sekundäre Schrauben-Cutout und die Humeruskopfnekrose dar. Diesbezügliche Auftretenswahrscheinlichkeiten wurden von Owsley et al. (2008) [107] mit 25% für die sekundäre Varusdislokation, 23% für das sekundäre Schrauben-Cutout und 4% für die Humeruskopfnekrose angegeben. Das Durchschnittsalter des Komplikationskollektivs stellte sich mit 62 Jahren signifikant älter dar, als das des Kollektivs ohne Komplikationen mit 48 Jahren. Die Generierung einer Komplikation in Abhängigkeit des Patientenalters war bei >60 Jahre signifikant häufiger als <60 Jahren [107]. In zwei Reviews gaben Thanasis et al. (2009) [102] und Sproul et al. (2011) [101] eine sekundäre Dislokation in 12,2% und 16,3%, eine Humeruskopfnekrose in 7,9% und 10,8% sowie ein sekundäres Schrauben-Cutout in 11,6% und 7,5% der Fälle an. Die Schraubenperforation war die häufigste Ursache für die Notwendigkeit eines Revisionseingriffs [101, 102]. Solberg et al. (2009) [32] untersuchten den Effekt des initialen Frakturmusters bei 3- und 4-Fragment-Frakturen (Patientenalter >55 Jahre), basierend auf initialer Varus- und Valgusfraktur, und gaben eine deutlich höhere Komplikationsrate von 79% versus 19% für die Varusfraktur an. Acklin et al. (2013) [98] berichteten von einem sekundären Schrauben-Cutout in 7,2% und einer Humeruskopfnekrose in 8,2% der Fälle. Im Langzeitverlauf von Median 5,7 Jahren konnte eine Komplikationsrate von 23,7% angegeben

werden, bestehend aus sekundärer Dislokation  $>10^\circ$ , Schrauben-Cutout und Humeruskopfnekrose [99]. Im Langzeitverlauf von Median 10 Jahren war die sekundäre Varusdislokation mit 21% das häufigste Komplikationsmuster, gefolgt von dem sekundären Schrauben-Cutout mit 9% und der Humeruskopfnekrose mit 5% [97]. Die Rate eines Revisionseingriffs betrug dabei 14% [97, 99] und spiegelt damit den in Reviews von Thanasis et al. und Sproul et al. erhobenen Wert wider [101, 102]. Zusammenfassend kann die Varusdislokation als häufigster Komplikationsaspekt der winkelstabilen Plattenosteosynthese nach proximaler Humerusfraktur definiert werden, weshalb ihr sicherlich eine besondere Beachtung eingeräumt werden muss. Trotz der bestehenden Varianzen von Komplikationsangaben in der Literatur kann über eine Zeitspanne von 12 Jahren, bei jährlich vergleichbaren Fallzahlen und Frakturtypen, eine Reduktion dieses Komplikationsaspekts sowie der Gesamtkomplikationsrate und Revisionsrate signifikant nachgewiesen werden [108]. In der vorliegenden Arbeit waren 193 der 787 ausgewerteten Frakturen mit einer sekundären, osteosynthese-assoziierten Komplikation verbunden, sodass eine Komplikationsrate von 24,5% resultierte. Diese setzte sich aus einer Varusdislokation mit 15,2%, einem Schrauben-Cutout mit 8,4%, einer Humeruskopfnekrose mit 5,3%, einer isolierten Dislokation des Humerusschaftbereichs mit 2,3% und der Tub.-/Tubb.-Dislokation mit 1,7% zusammen. Die Rate fällt, entsprechend des Rückgangs der Komplikationsrate [108], niedriger aus als in vergleichbarer Literatur; bei Beachtung der jeweiligen Komplikationsdefinition und Komplikationseinteilung [64, 93, 101, 107]. Diese Beobachtung wird, unter Berücksichtigung des vorliegenden älteren Patientenkollektivs und des nachgewiesenen Zusammenhangs von Komplikation und höherem Lebensalter, zusätzlich potenziert [93, 107].

Das Komplikationskollektiv (CS  $54,5 \pm 19,0$  P., nCS  $64,5 \pm 22,9$  P., %CS  $71,2 \pm 25,0\%$ ) war funktionell im Vergleich zum Kollektiv ohne Komplikationen (CS  $72,1 \pm 19,0$  P., nCS  $84,7 \pm 21,9$  P., %CS  $87,2 \pm 27,9\%$ ) signifikant schlechter ( $p < 0,001$ ). Ebenso erreichten der DASH-Score ( $p < 0,001$ ) und der SF-36 ( $p$ -Werte siehe Tab. 10) innerhalb des Komplikationskollektivs (DASH  $31,9 \pm 22,4$  P.) ein schlechteres Ergebnis als für das Kollektiv ohne Komplikationen (DASH  $21,8 \pm 19,9$  P.). Folglich werden die Komplikationen in Summe der Aussage, einen schlechteren funktionellen Ausgang zu haben, gerecht. Ein signifikant schlechteres funktionelles Abschneiden des Komplikationskollektivs gegenüber den Nicht-Komplikationen wurde auch durch andere Arbeiten bestätigt [93, 107, 130].

### **4.3 Einordnung von Typen osteosynthese-assoziiertes Komplikationen**

Ein essentieller Aspekt der vorliegenden Arbeit bestand darin, einzelne Komplikationstypen mittels radiologischer Diagnostik anatomisch zu beschreiben und zu klassifizieren sowie deren

funktionelles Outcome und deren Notwendigkeit eines Revisionseingriffs zu untersuchen. Darauf basierend ergeben sich der Typ 1, Typ 2a, 2b, 2c, Typ 3 sowie Typ 4a und 4b (siehe Abb. 14 bis 20). In diesem Kontext soll nochmals die Aussage aufgegriffen werden, dass nicht jeder als Komplikation definierte Fall obligatorisch ein schlechtes funktionelles Ergebnis impliziert [99]. Der Aspekt der Varusdislokation wird mit den Komplikationstypen 1, 2a und 2c abgebildet. Während Typ 1 lediglich die milde Varusdislokation darstellt, so wird für Typ 2a und 2c das Komplikationsspektrum durch den additiven Aspekt des Schrauben-Cutouts erweitert. Der Unterschied zwischen den Typen 2a und 2c definiert sich durch den Schweregrad der Varusdislokation und damit einhergehend durch die resultierende Osteosynthese-Instabilität im Fall von Typ 2c. Der Komplikationstyp 2b bildet die isolierte Dislokation des Tub. majus, Tub. minus oder die Kombination beider Tubb. ab, sodass sich parallel eine RM-Insuffizienz ergibt. Der Komplikationstyp 3 ist durch die sekundäre Dislokation des Humerusschaftbereichs gekennzeichnet, während sich die Humeruskopfstellung simultan als stabil und intakt erweist. Der Aspekt der Humeruskopfnekrose wird durch den Komplikationstyp 4 beschrieben; trotz primär korrekter Osteosynthese und fehlendem Vorliegen einer sekundären Dislokation. Der Unterschied von Typ 4a und 4b ist die zusätzliche Destruktion der Glenoid-Gelenkfläche durch ein assoziiertes Schrauben-Cutout im Fall von Typ 4b.

Der Grad der sekundären Varusdislokation war dabei von  $15,6^{\circ} \pm 6,1^{\circ}$  für Typ 1 auf  $16,3^{\circ} \pm 3,9^{\circ}$  für Typ 2a bis  $27,4^{\circ} \pm 4,6^{\circ}$  für Typ 2c angestiegen. Kongruent in inverser Richtung verhielt sich das funktionelle Ergebnis. So resultierte funktionell für Typ 1 ein mäßiges bis gutes (CS  $64,7 \pm 16,7$  P., nCS  $76,2 \pm 20,3$  P., %CS  $84,5 \pm 18,0\%$ ), für Typ 2a ein mäßiges (CS  $58,7 \pm 17,5$  P., nCS  $70,0 \pm 21,6$  P., %CS  $77,5 \pm 24,6\%$ ) und für Typ 2c ein schlechtes Ergebnis (CS  $39,3 \pm 17,1$  P., nCS  $48,0 \pm 21,1$  P., %CS  $65,3 \pm 28,5\%$ ), sodass für die ersten beiden Komplikationstypen der Ausgang für ein zufriedenstellendes funktionelles Outcome, trotz Klassifikation als Komplikation, ausgesprochen werden kann. Der Komplikationstyp 2b, als Abbild der Tub.-/Tubb.-Dislokation, repräsentierte ein schlechtes funktionelles Ergebnis (CS  $33,2 \pm 13,0$  P., nCS  $40,0 \pm 16,6$  P., %CS  $42,0 \pm 20,2\%$ ). Der Komplikationstyp 3, als Abbild der Humerusschaft-Dislokation, zeigte ein schlechtes bis mäßiges funktionelles Ergebnis (CS  $52,7 \pm 9,4$  P., nCS  $63,7 \pm 12,2$  P., %CS  $74,1 \pm 20,5\%$ ). Das funktionelle Ergebnis von Komplikationstyp 4a (CS  $46,4 \pm 17,2$  P., nCS  $54,2 \pm 20,4$  P., %CS  $57,3 \pm 20,4\%$ ) und 4b (CS  $46,3 \pm 14,0$  P., nCS  $53,4 \pm 14,9$  P., %CS  $52,9 \pm 15,1\%$ ) als Folge einer AVN konnte als schlecht eingeordnet werden. Alle Komplikationstypen zeigten für den CS und nCS einen signifikant schlechteren Wert als das Kollektiv ohne Komplikationen ( $p < 0,05$ ), sodass sie der Definition als Komplikation gerecht werden.

Eine andere Klassifikation der Folgen von Frakturen des proximalen Humerus beschreiben Boileau et al. (2006) [131] durch vier Typen; jedoch auf Grundlage der Arthroplastik als Therapie. Solberg et al. (2009) [132] errechneten ebenfalls die Funktionalität mittels CS von einzelnen

Komplikationsgruppen. So erreichten Patienten mit Schrauben-Cutout einen CS von  $67,8 \pm 9,6$  P., mit Fixationsverlust und sekundärer Hemiprothesen-Implantation einen CS von  $47,5 \pm 3,5$  P., mit AVN einen CS von  $62,5 \pm 4,6$  P. Basierend auf der negativen Korrelation von initialer Varusfehlstellung und finalem CS, erreichten Patienten mit initialem Varus  $< 5^\circ$  einen CS von 76 P. und mit  $5-20^\circ$  einen CS von 66 P., bei einer weiteren Varusdislokationstendenz von  $\leq 20^\circ$  einen CS von 71,4 P. und von  $> 20^\circ$  einen CS von 47 P. [132]. Die von uns beobachteten CS-Werte fallen vergleichsweise schlechter aus (siehe Tab. 12). Jost et al. (2013) [106] konnten selektiv für ein Kollektiv der sekundären Prothesen-Implantation (Hemiprothese, Totalendoprothese, inverse Prothese) nach primärer ORIF mit Komplikationsereignis eine funktionelle Verbesserung beobachten. So erreichte die Gruppe der Hemiprothese einen mittleren CS von 55 P., der Totalendoprothese von 54 P. und der inversen Prothese von 48 P. Ein direkter Funktionsscore in Abhängigkeit der jeweiligen Komplikationen wurde nicht berichtet. Dennoch fielen die Ergebnisse ebenfalls schlecht aus [106]. Dies macht einen Vergleich mit Werten aus unserer Arbeit schwierig. Brunner et al. (2009) [93] gaben zumindest für die Komplikationskomponente Varusdislokation ein funktionelles Ergebnis an. Ein Jahr postoperativ ergab sich bei starker Varusdislokation ( $< 115^\circ$ ) ein mittlerer CS von 60 P. und ein %CS von 73%, bei geringer Varusdislokation ( $115-124^\circ$ ) ein mittlerer CS von 70 P. und ein %CS von 83%. Der Typ 1 ist funktionell mit dem Wert der geringen Varusdislokation vergleichbar. Die Typen 2a (geringer Varus) und 2c (starker Varus) zeigen uns vergleichsweise schlechtere Funktionswerte auf. Es gilt jedoch die unterschiedliche Darstellung der Varusdislokation sowie die zusätzliche Differenzierung des Cutouts zu berücksichtigen. Der von Greiner et al. (2009) [133] ermittelte CS für operierte Patienten mit nachfolgender AVN von 48,7 P. deckt sich mit dem Wert für Typ 4. Insgesamt zeigt sich eine Einordnung bzw. ein Vergleich dieser Komplikationstypen in der Literatur teils schwierig, da die vorliegende Arbeit individuell eine detaillierte Beschreibung solcher Typen darstellt. So kommt ihr eine besondere Stellung in der aktuellen Literatur zu, hinsichtlich funktionellem Outcome einzelner Komplikationstypen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese bei proximalen Humerusfrakturen [64, 97-99, 101, 102, 107, 134, 135].

#### **4.3.1 Varusdislokationsgrad als komplikationsspezifischer Faktor für das funktionelle Outcome**

Während die einfaktorielle ANOVA für den CS und nCS einen signifikanten Unterschied zwischen den Komplikationstypen konstatierte, so zeigte die Post-hoc-Analyse, dass der Unterschied von Komplikationstyp 1 und 2a zu weiteren Typen ( $p < 0,05$ ) für diese Signifikanz maßgebend war. Parallel konnte aufgezeigt werden, dass die Typen 1 und 2a, trotz der gerechtfertigten Deklaration als Komplikation, ein zufriedenstellendes funktionelles Ergebnis erzielten. So kann mit dieser Arbeit die obligatorische Korrespondenz von Komplikation und

schlechtem funktionellem Outcome verneint werden. Der Grad der Varusdislokation erscheint hierfür ausschlaggebend. Dies konnte mittels einfaktorieller ANOVA und Post-hoc-Analyse von varusdislokationsbasierenden Gruppen von  $<10^\circ$ ,  $10\text{-}22^\circ$  und  $>22^\circ$  statistisch signifikant nachgewiesen werden ( $p < 0,05$ , siehe Abb. 25). Die Gruppe mit  $<10^\circ$  Varusdislokation erreichte mit einem CS von  $72,1 \pm 19,0$  P. ein gutes funktionelles Ergebnis. Während die Gruppe mit  $10\text{-}22^\circ$  Varusdislokation mit einem CS von  $62,3 \pm 16,4$  P. noch ein mäßiges funktionelles Ergebnis erzielen konnte, so war für die Gruppe mit  $>22^\circ$  Varusdislokation mit einem CS von  $48,1 \pm 29,0$  P. nur noch ein schlechtes funktionelles Ergebnis reproduzierbar. Das Ergebnis der linearen Regression und Korrelation von Varusdislokation und funktionellem Ergebnis konnte diesen negativen Zusammenhang ebenfalls signifikant validieren (siehe Abb. 24). Auch wenn die schlechtesten funktionellen Outcomes nach starken Varusdislokationen resultieren, so konnten Brunner et al. (2009) [93] diesen Zusammenhang von CS und Kopf-Schaft-Winkel nicht signifikant nachweisen. Solberg et al. (2009) [132] verweisen in deren Arbeit darauf, dass alle Fixationsverluste der Plattenosteosynthese auf einer Varusdislokation von  $>20^\circ$  basieren und eine signifikante Korrelation von initialer Varusfehlstellung und CS besteht. Voigt et al. (2011) [109] zeigen anhand eines biomechanischen Modells, dass die Varusdeformität eine reduzierte Vorspannung der RM, eine verringerte Effektivität des M. supraspinatus ( $>45^\circ$ ) und eine höhere, notwendige Kraftaufwendung ( $>20^\circ$ ) durch den M. deltoideus induziert. Darauf basierend ist eine Varusdeformität von  $>20^\circ$  durch veränderte biomechanische Verhältnisse nicht akzeptabel. Diese höhere Kraftaufwendung stellt natürlich gerade bei älteren Patienten einen kritischen Aspekt dar. So kann das Ergebnis der biomechanischen Vorarbeit durch die vorliegende Arbeit klinisch bestätigt werden. Als signifikante Grenze ergab sich in dieser Arbeit eine Varusdislokation von  $22^\circ$ . Eine Varusabkipfung von  $>20^\circ$  wird in der Literatur ebenfalls als kritisch erachtet, sodass eine Grenze in diesem Bereich sicherlich sinnvoll erscheint [136]. Ein sekundäres subacromiales Impingement durch erhöhte Varusdislokation kann ebenfalls ein Faktor für eine schlechte Schulterfunktion sein. Benegas et al. (2007) [137] führen dabei einen kleineren Subacromialraum mit der Nähe zum Tub. majus, eine geringere Gleitfläche zwischen Humeruskopf und Fossa glenoidea sowie einen resultierenden kleineren Hebelarm des M. supraspinatus an. Nachuntersuchungen zur initialen Varusdislokation zeigen auf, dass diese im Vergleich zur initialen Valgusdislokation mit einem signifikant höheren Risiko für Komplikationen, basierend auf Schrauben-Cutout und sekundärer Varusdislokation, sowie für Revisionseingriffe einhergehen [138]. Kongruent zur erhöhten Komplikationsrate verhält sich das funktionelle Outcome, welches bei der initialen Varusdislokation entsprechend schlechter ausfällt als bei der initialen Valgusdislokation [32]. Zusammenfassend wird als bedeutendste präoperative Variable die Frakturmorphologie hinsichtlich Varus- und Valgusstellung und als bedeutendster intraoperativer Faktor die adäquate Humeruskopf-Reposition deklariert [132]. Die anatomische Reposition scheint eine entscheidende Einflussgröße sowohl für das funktionelle Outcome als

auch für die Komplikationsmanifestation zu sein [128]. Einerseits scheint die mediale Abstützung für eine adäquate Frakturposition ausschlaggebend [92]. Andererseits ist die Reposition des Humeruskopf-Schaft-Winkels auf  $>130^\circ$  essentiell für die optimale Positionierung der Kalkarschrauben [139]. In dieser Arbeit konnten mit einer Varusdislokation von  $15,6^\circ \pm 6,1^\circ$  und  $16,3^\circ \pm 3,9^\circ$  für die Komplikationstypen 1 und 2a zufriedenstellende Ergebnisse erreicht werden. Hingegen war mit  $27,4^\circ \pm 4,6^\circ$  Varusabkipfung des Komplikationstyps 2c nur noch ein funktionell schlechtes Ergebnis möglich. Die nicht-anatomische Varusfehlstellung korreliert folglich mit schlechteren funktionellen Ergebnissen, was die Relevanz einer anatomischer Reposition [92, 128] befürworten kann.

### 4.3.2 Komplikationszeitpunkt

Die zeitliche Manifestation der Komplikationstypen 1 bis 3 stellte sich, ausschließlich Typ 2c, relativ ähnlich im Bereich von 2-4 Monaten dar. Diese Komplikationstypen sind mit der Frakturheilung assoziiert. Der Zeitpunkt ist biologisch mit einer normalen Frakturheilung von 1-2 Monaten für die proximale Humerusfraktur erklärbar [140]. Da eine Dislokation bei den aufgeführten Komplikationstypen auftritt, kann folglich eine vollständige Frakturheilung nicht eingetreten sein. So entstehen diese Typen kurz nach dem zeitlichen Intervall einer regelrechten Frakturheilung. Die Ursachen für eine gestörte Knochenheilung können vielfältig und multifaktoriell sein. In Bezug auf das Versagen der winkelstabilen Plattenosteosynthese bei diesen Komplikationstypen könnten vor allem ein mangelnder Fragmentkontakt und eine Instabilität durch verzögerte Knochenheilung ursächlich sein [141]. Komplikationstyp 1 und 2a führen letztlich trotz einer gewissen Dislokation zur stabilen Situation mit finaler Abstützung und knöcherner Ausheilung. Das frühere Eintreten von Komplikationstyp 2c nach etwa einem Monat könnte damit erklärt werden, dass die beobachtete, progressive Osteosynthese-Instabilität ein zu großes Missverhältnis von Frakturheilung und Instabilität aufweist. Die Folge ist eine unmittelbare, starke Varusdislokation des Humeruskopfes. Der Nekrosetyp 4 zeigte mit 8-10 Monaten hingegen ein deutlich späteres Auftreten. Dieser Typ entsteht folglich nach dem Zeitraum der Frakturheilung und ist von dieser losgelöst. Die zeitliche Entstehung des AVN-Typs 4 unterschied sich als einzige statistisch signifikant zu der aller anderen, dislokationsbezogenen Komplikationstypen ( $p < 0,001$ ). Solberg et al. (2009) [32] bestätigten diese zeitliche Manifestation der AVN mit 75% innerhalb von 9 Monaten (2 Patienten zwischen 10 und 18 Monaten sowie ein Patient nach 22 Monaten). Ein Auftreten der AVN im Langzeitverlauf zeigt sich auch in der Arbeit von Greiner et al. (2009) [133], die eine Verdopplung der AVN-Rate im Follow-up Vergleich von 12 und 45 Monaten nachweisen konnten. So gilt es die radiologischen Routinekontrollen von Tag 1, 6 Wochen, 3, 6 und 12 Monaten zu überdenken, da das zeitliche Fenster von 8-10 Monaten für das Auftreten des AVN-Typs 4 nicht erfasst wird. Kann der Typ

4a nicht rechtzeitig detektiert werden, wird ein Übergang in den Typ 4b mit zusätzlicher Glenoid-Schädigung ermöglicht. Darauf basierend sollte eine Kontrolle zusätzlich nach 9 Monaten (und ggf. 4 Monaten) erfolgen. Weitere Kontrollen nach 18 und 24 Monaten könnten einzelne AVN-Entstehungen im Langzeitverlauf abdecken.

### 4.3.3 Revisionsabhängige Unterschiede für das funktionelle Outcome

Es steht zur Diskussion, inwiefern eine Revisionsbedürftigkeit im Komplikationsfall besteht und welche Auswirkung je nach Art der Revision diese mit sich zieht. Die Analyse der Revisionseingriffe von Komplikationstyp 1 und 2a stützt die Aussage, dass diese beiden Typen, trotz Komplikationsklassifikation, ein zufriedenstellendes Outcome für den Patienten erreichen. So wurde für den Typ 1 lediglich in 11,1% der Fälle ein frühzeitiger Revisionseingriff verzeichnet, der insbesondere auf einer Früh-ME (<9 Monate) basierte. Dagegen bestand in 72,2% der Fälle keine Revisionsnotwendigkeit und mit 16,7% wurde eine Spät-ME durchgeführt, was in diesem Kontext sicherlich einem elektiven Charakter gleichkam. Während hier folglich das Ausbleiben einer Revision dominierte, so waren für Typ 2a aufgrund der zusätzlichen Cutout-Komponente der Schraubenwechsel/die Schraubenentfernung und die Früh-ME als typische Revisionseingriffe beobachtbar. Dennoch wurde bei 41,5% der Patienten kein erneuter operativer Eingriff durchgeführt. Charakteristisch und essentielle Gemeinsamkeit dieser beiden Typen war, im Kontrast zu allen anderen Komplikationstypen, die Absenz einer Reosteosynthese oder eines Verfahrenswechsels auf eine Prothese innerhalb des Revisionsprozesses (siehe Tab. 15). Dieses Merkmal bestärkt sie in deren Rolle als osteosynthese-stabilen, nicht progredienten Komplikationstypus mit funktionell zufriedenstellendem Ergebnis, trotz Varusdislokation und möglichem Schrauben-Cutout. Beispielhaft gegensätzlich zeigt sich der Komplikationstyp 2c. Der Verfahrenswechsel auf eine Prothese (inverse Prothese>Hemiprothese) und die Reosteosynthese stellten die häufigsten Revisionsverfahren dar, was dessen Charakteristik als progredienten, osteosynthese-instabilen Komplikationstyp bestätigt. Das Ausbleiben einer Revisionsoperation war entsprechend selten vorzufinden. Für die weiteren Komplikationstypen (2b, 3, 4) waren ebenso verstärkt der Wechsel auf die Prothese und die Reosteosynthese (sowie bei Typ 4 die ME) typische Revisionsverfahren (siehe Tab. 15). Alle diese Komplikationstypen (2b, 2c, 3, 4) führten letztendlich zu einer schlechten Schulterfunktion. Der Zusammenhang von Revisionsdurchführung und Komplikationstypen konnte statistisch signifikant nachgewiesen werden ( $p < 0,001$ ). Zusammenfassend wurde eine Revisionsrate von 15% für das radiologisch-analytierte Gesamtkollektiv ( $n=787$ ) und 61% für das Komplikationskollektiv erreicht. Basierend auf den Komplikationstypen erreichten die Typen 2b bis 4 sehr hohe Revisionsraten von über 60-100%. Bei Typ 1 und 2a beschränkte sich das Komplikationsmanagement auf eine symptomatische Therapie („skillful neglect“). Die von uns beobachtete Revisionsrate ist somit

vergleichbar oder geringer als in anderen Studien zu dieser Thematik [64, 93, 101, 102, 107]. Die in anderen Arbeiten beobachtete Mehrheit für die Teil-ME (Schraubenwechsel/-entfernung) und ME als Revisionseingriff kann in der Arbeit bestätigt werden [64, 106, 107].

Da der CS 5 Jahre postoperativ signifikant negativ mit der Durchführung einer ungeplanten zweiten Operation korreliert, kommt der Primärversorgung und der adäquaten Indikationsstellung eine besondere Rolle zu [99]. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sollen diese allgemeine Aussage durch die Betrachtung von definierten Komplikationstypen etwas detaillierter erweitern. So ist zur Verifizierung der Aussage die Art der Komplikation, die Art des Revisionsverfahrens („skillful neglect“) und die Einschätzung bezüglich absoluter Notwendigkeit eines Revisionseingriffs von Relevanz. Dies stellte der Typ 2a mit zufriedenstellenden Ergebnissen trotz durchgeführten Zweitoperationen (Früh-ME, Schraubenwechsel/-entfernung) und der Typ 1 mit mehrheitlich keinen Revisionseingriffen unter Beweis. Jost et al. (2013) [106] beschreiben eine hohe Rate an Revisionseingriffen für Komplikationen nach winkelstabiler Plattenosteosynthese und berichten trotz funktioneller Verbesserung von einer resultierenden Einschränkung der Schulterfunktion nach Revisionseingriffen. Nowak et al. (2019) [142] geben signifikant höhere Revisionseingriffe nach sekundärer Prothesen-Implantation gegenüber der primären Prothesenwahl an. Solberg et al. (2009) [132] gaben nach Fixationsverlust der initialen Plattenosteosynthese und sekundärer Hemiprothesen-Implantation einen CS von  $47,5 \pm 3,5$  P. an, während ein Vergleichskollektiv mit primärer Hemiprothesen-Implantation einen CS von  $60,6 \pm 5,9$  P. erreichte. Die gleiche Arbeitsgruppe spricht sich bei Patienten mit einer Varusdislokation von  $>20^\circ$  postoperativ für eine frühe Revision auf eine Hemiprothese aus [32]. Eine Revisionsprüfung bei  $>20^\circ$  Varusabkippung wird in der Literatur bestätigt, auch wenn es unsicher bleibt, inwiefern eine Verbesserung des funktionellen Ergebnisses zu erreichen ist [136].

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen diesen kritischen Wert und die Tatsache, dass die Komplikationstypen, die eine Reosteosynthese oder einen Verfahrenswechsel auf eine Prothese indizieren, zu schlechten funktionellen Ergebnissen führen. Die Komplikationstypen 2b bis 4 zeigten mit der Tendenz zur Prothesen-Implantation und zur Reosteosynthese beispielhaft diese schlechten Funktionswerte. Idealerweise gilt es natürlich die in eine solche Komplikation mündenden Fälle bereits präoperativ zu detektieren, da eine primäre Prothesenimplantation als die bessere Wahl erscheint. Die vorgestellten Komplikationstypen könnten als Ratgeber dienen, ob und welcher Revisionseingriff durchgeführt wurde. Dennoch bleibt die adäquate Primärversorgung das Ziel [99, 142].

#### 4.4 Assoziation von Frakturtyp mit funktionellem Ergebnis und Komplikation

Die frakturmorphologische Verteilung von 1047 Frakturen der vorliegenden Arbeit, wie in Abb. 7, 8 dargestellt, ist insgesamt vergleichbar mit anderen Arbeiten [93, 98, 101, 104]. Während in der Literatur für die 2- und 3-Fragment-Fraktur gute funktionelle Ergebnisse mit dem winkelstabilen Plattensystem erzielt werden, resultiert für die 4-Fragment-Fraktur (CS 67,7 P. und 67,6 P.) nur noch ein mäßiges Ergebnis [101, 102]. In dieser Arbeit konnte ein vergleichbarer Funktionswert (CS 64,6 P., nCS 75,8 P., %CS 77,6%) für die winkelstabile Plattenosteosynthese nach einer solchen Fraktur angegeben werden. Kettler et al. (2006) [104] untersuchten zusätzlich das funktionelle Outcome der winkelstabilen Plattenosteosynthese nach einer Luxationsfraktur und Head-Split-Fraktur, während das der 4-Fragment-Fraktur (CS 66,3 P.) komparabel war. Die Head-Split-Fraktur konnte postoperativ lediglich einen CS von 51,8 P. erreichen. Sie war dabei der einzige Frakturtyp, welcher sich signifikant von allen restlichen Frakturtypen unterschied. Hingegen wurde nach einer Luxationsfraktur ein gutes funktionelles Ergebnis (CS 72,3 P.) erzielt [104]. Hente et al. (2004) [103] zeigten bei 3- und 4-Fragment-Frakturen mit einer Luxationskomponente einen signifikant schlechteren CS gegenüber denen ohne eine Luxationskomponente ( $55 \pm 18$  P. versus  $76 \pm 18$  P.). Nach unseren Daten zeigte sich für die Head-Split-Fraktur ein vergleichbarer CS von 56,2 P. und für die Luxationsfraktur ein CS von 62,3 P. Letztgenannte kann sich folglich zwischen den beiden aufgeführten Werten [103, 104] einordnen. In der Literatur wird häufig die Abhängigkeit von funktionellem Ergebnis und Frakturtyp dargestellt [64, 100-102].

Darüber hinaus soll die vorliegende Arbeit die Relation von Frakturtyp und Komplikation näher analysieren. Die 193 Frakturen, welche in einen der definierten Komplikationstypen mündeten, verteilten sich auf 38% 3-Fragment-Frakturen, 26% 4-Fragment-Frakturen, 20% 2-Fragment-Frakturen, 9% Head-Split-Frakturen und 7% Luxationsfrakturen (siehe Abb. 26) bzw. auf 43% Typ B-Frakturen, 36% Typ C-Frakturen und 21% Typ A-Frakturen (siehe Abb. 27). In der Arbeit von Jost et al. (2013) [106] konnte die 4-Fragment-Fraktur mit über 50% die initiale Frakturmorphologie darstellen; deutlich häufiger als in unserer Arbeit. Die Komponente aus Head-Split und Luxation wurde dabei jedoch gesondert aufgeführt und nicht direkt inkludiert. Eine fehlende anatomische Reposition in über 50% der Fälle und eine fehlende metaphysäre Verbindung von fast 80% konnte bei den Komplikationsfällen aufgeführt werden [106]. Interessant ist vor allem die Darstellung der Komplikationsrate, also die Wahrscheinlichkeit eine Komplikation in Abhängigkeit des jeweiligen Frakturtyps zu entwickeln. Diese lag in unserer Arbeit bei der Head-Split-Fraktur mit 51,5% am höchsten, gefolgt von der 4-Fragment-Fraktur mit 35,8% (siehe Tab. 16). Damit kann bestätigt werden, dass komplexere Frakturtypen eine stärkere Tendenz zur Komplikationsentstehung haben. Es konnte statistisch signifikant

nachgewiesen werden, dass die Frakturtypen nach Neer und AO sowohl mit der Manifestation einer Komplikation ( $p < 0,001$ ), als auch mit der Notwendigkeit einer Revision (Neer  $p < 0,001$ , AO  $p = 0,007$ ) in Zusammenhang standen. Verantwortlich für diesen Zusammenhang waren die 4-Fragment-Fraktur, die Head-Split-Fraktur und die Typ C-Fraktur. Dabei können einzelne Verteilungsmuster beobachtet werden (siehe Tab. 17). So wurden der Komplikationstyp 1 und 2a ähnlich und am häufigsten durch eine 3-Fragment-Fraktur repräsentiert. Der Komplikationstyp 2b entstand zumeist aus einer 4-Fragment-Fraktur bzw. einer Typ C-Fraktur. Der Komplikationstyp 2c zeigte uns interessanterweise ein gehäuftes Auftreten der 2- und 3-Fragment-Fraktur; die 4-Fragment-Fraktur und die Typ C-Fraktur waren seltener als initiale Fraktur darstellbar. Eine Erklärung für diese Häufigkeiten könnte eine inadäquate mediale Abstützung und anatomische Reposition sein, die folglich trotz milder Frakturkomplexität zum Fixationsverlust mit starker Varusdislokation geführt haben. Agudelo et al. (2007) [135] untersuchten bereits die Assoziationen des Fixationsverlusts und konnten keinen Zusammenhang mit dem Frakturtyp feststellen. Stattdessen machten sie eine Fehlreposition in Varusstellung  $< 120^\circ$  als signifikanten Faktor verantwortlich. Owsley et al. (2008) [107] wiesen ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang von Varusdislokation und Schrauben-Cutout mit dem Frakturtyp nach. Der Komplikationstyp 3 wurde vorrangig durch eine 2- und 3-Fragment-Fraktur repräsentiert. Diese Verteilung könnte bestätigen, dass es sich bei diesem Typ vor allem um eine Komplikation im Bereich des Übergangs Humeruskopf-Schaft handelt. Gemeinsam hatten die Typen 1 bis 3, dass die Luxationsfraktur und insbesondere die Head-Split-Fraktur sehr selten das initiale Frakturmuster darstellten ( $\leq 11\%$ ). Gegensätzlich zeigte uns der AVN-Typ 4, dass er vor allem aus einer 4-Fragment-Fraktur, einer Head-Split-Fraktur bzw. einer Typ C-Fraktur hervorging. Diese Prädispositionen sind anatomisch nachvollziehbar [26]. Eine Kalkarlänge  $< 8\text{mm}$  kann typisch sein [106]. Hente et al. (2004) [103] geben an, dass in deren Arbeit alle AVN-Fälle aus einer Typ C-Fraktur bzw. 4-Fragment-Fraktur (80% mit zusätzlicher Luxationskomponente) entstanden. Der von Brunner et al. (2009) [93] aufgeführte Wert von 61,5% für die C2- und C3-Fraktur im Nekrosefall ist nach unserer Auswertung nachvollziehbar. Beim Blick auf das frakturspezifische Gesamtkollektiv entwickelten in der vorliegenden Arbeit 30,3% der Head-Split-Frakturen, 13,7% der Typ C-Frakturen und 12,4% der 4-Fragment-Frakturen eine AVN. Der von Thanasis et al. (2009) [102] aufgeführte Wert von 14,5%, für die Entwicklung einer AVN aus einer 4-Fragment-Fraktur, fällt geringfügig höher aus.

Basierend auf den komplexen Frakturmustern muss zusammenfassend konstatiert werden, dass 51,5% der Head-Split-Frakturen, 35,8% der 4-Fragment-Frakturen und 32,5% der Luxationsfrakturen eine Komplikation entwickelten. Bei Exklusion der Komplikationstypen 1 und 2a (als funktionell zufriedenstellende Typen) würde diese Komplikationsrate auf 39,4% für die Head-Split-Fraktur, 20,4% für die 4-Fragment-Fraktur und 17,5% für die Luxationsfraktur sinken. Eine Verbindung von schlechter Schulterfunktion und Frakturkomplexität scheint

verständlich, da parallel eine Kongruenz von Frakturkomplexität und schwereren Komplikationen besteht. Wenngleich mit der winkelstabilen Plattenosteosynthese für die 4-Fragment-Fraktur suffiziente Ergebnisse erzielt werden können, wird die adäquate Therapie dieser Frakturmorphologie in der Literatur ausführlich diskutiert [32, 107, 132]. Bei einer Wahrscheinlichkeit von 20,4% eine klinisch relevante Komplikation mit schlechter Schulterfunktion zu entwickeln, erscheint dies nachvollziehbar. Es sollte eine individuelle Anpassung an die Bedürfnisse des Patienten und die anatomischen Gegebenheiten erfolgen. Die bereits aufgeführte Möglichkeit einer zufriedenstellenden Therapie mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese gilt es dennoch zu berücksichtigen. Der Behandlungsalgorithmus nach Jost/Spross [78] schlägt eine solche Trennung von winkelstabiler Plattenosteosynthese und Prothese für komplexe 3- und 4-Fragment-Frakturen vor und zeigt gleichzeitig auf, dass mehrere Aspekte zur Therapiewahl herangezogen werden müssen. Bei der Head-Split-Komponente konnte durch einen Matched-Pair-Vergleich [105] aufgezeigt werden, dass bei 3- und 4-Fragment-Frakturen mit assoziierter Head-Split-Komponente oder intraoperativ nachgewiesener RM-Ruptur  $\geq$  Grad II nach Bateman [143] das funktionelle Ergebnis ein Jahr postoperativ nach inverser Prothesen-Implantation (CS  $62,4 \pm 14,5$  P.) nicht signifikant schlechter ausfiel als nach winkelstabiler Plattenosteosynthese (CS  $64,3 \pm 13,3$  P.). Bei einer Komplikationsrate von  $>50\%$  für die Head-Split-Fraktur (39,4% für eine funktionell schlechte Komplikation) nach winkelstabiler Plattenosteosynthese muss jedoch zukünftig die Richtigkeit der Therapiewahl hinterfragt werden. Resümierend kann die inverse Prothese für komplexe proximale Humerusfrakturen mit Head-Split-Komponente und begleitenden Pathologien der RM als adäquates Therapieverfahren beim älteren Patienten eruiert werden; insbesondere unter dem Gesichtspunkt einer niedrigeren Komplikationsrate und eines besser prognostizierbaren klinischen Ergebnisses. Dennoch konnte das Plattensystem ein marginal besseres funktionelles Ergebnis erreichen [105]. Die von Bahrs et al. (2010) [144] nachgewiesene steigende Rate an RM-Rupturen bei komplexen Frakturen, mit der höchsten Rate bei 4-Fragment-Frakturen, befürwortet diese Aussage und die Individualisierung des Therapiekonzepts bei komplexeren Frakturmorphologien. Außerdem nimmt die Prävalenz von RM-Rupturen mit steigendem Lebensalter zu [145]. Diesem Aspekt muss bei der proximalen Humerusfraktur, als typische Fraktur des alternden Patienten, sicherlich Beachtung eingeräumt werden [4, 5]. Anatomische Reposition [128], Stützung der inferomedialen Region [92], Kalkarlänge und Hinge-Integrität [26] sind essentiell zur Vermeidung einer Komplikationsentstehung und für die Rechtfertigung des Plattensystems als erste Therapiewahl; gleichzeitig sind diese Aspekte bei höhergradigen Frakturen schwieriger zu erfüllen [100, 106]. Insgesamt ist zu vermuten, dass komplexe Frakturen, insbesondere bei fraglicher anatomischer Reposition, beim älteren Patienten zukünftig eher zur Prothesenimplantation führen werden [78].

#### 4.5 Therapiemodalitäten und Therapieausblick

Für die 2- und 3-Fragment-Fraktur des proximalen Humerus besteht Einigkeit darüber, dass die winkelstabile Plattenosteosynthese mit CS-Werten von durchschnittlich 76,9 P. für die 2-Fragment- und 75,8 P. für die 3-Fragment-Komponente ein sehr geeignetes Verfahren repräsentiert [102]. Auch die Komplikationsraten in unserer Arbeit von 17,4% (7,8% bei Exklusion von Typ 1 und 2a) für die 2-Fragment-Fraktur und 20,6% (8,5% bei Exklusion von Typ 1 und 2a) für die 3-Fragment-Fraktur zeigten zur Erlangung eines guten funktionellen Ergebnisses ein relativ risikoarmes Verfahren auf und bestätigen die Korrektheit der Indikation. Treten Aspekte gegen ein operatives Procedere auf, so kann die Behandlung von 2- und 3-Fragment-Frakturen mittels konservativem Vorgehen adäquat sein. Es darf mit CS-Werten von 55 P. bis 78 P. gerechnet werden [69, 70, 146]. Der posttraumatischen Immobilisation für den Patienten muss dabei jedoch Rechnung getragen werden [25]. Hohe Patientenzufriedenheit und geringes Schmerzniveau kennzeichnen das konservative Behandlungskonzept [69, 147]. Für die 4-Fragment-Fraktur erscheint der konservative Ansatz dagegen nicht adäquat (CS von durchschnittlich 33,7 P. nach 2 Jahren) [69]. Ebenso zeigt sich bei dieser Konstellation ein sehr hohes Risiko einer AVN [70]. Court-Brown et al. (2002) [148] untersuchten gesondert die valgisch-impaktierte B1.1-Fraktur und deren funktionelles Ergebnis nach konservativer Therapie. Darauf basierend sprechen sie sich bei dieser Frakturmorphologie für ein rein konservatives Vorgehen aus. Auch dislozierte 2-Fragment-Frakturen zeigten nach konservativer versus operativer Therapie (winkelstabile Plattenosteosynthese) keinen funktionell signifikanten Unterschied [149]. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, inwiefern Kontakt an den Frakturrenden trotz Dislokation besteht und damit eine konservative Behandlungsform klar eine potenziell erfolgversprechendere Auswirkung erfährt [150]. Für die dislozierte Fraktur des Tub. majus wird die Empfehlung einer operativen Behandlung großzügig ausgesprochen [151, 152]. Zyto et al. (1998) [147] ermittelten die funktionellen Langzeitergebnisse von zehn Jahren nach konservativer Therapie der 3- und 4-Fragment-Fraktur und gaben einen CS von 59 P. und 47 P. an. Die Zehnjahresergebnisse nach winkelstabiler Plattenosteosynthese ergaben einen CS von 77,9 P. für die 3-Fragment-Fraktur und 63,0 P. für die 4-Fragment-Fraktur [97]. Im Vergleich stößt die konservative Therapie bei dislozierten Mehrfragment-Frakturen folglich funktionell an ihre Grenzen. Die hohe Patientenzufriedenheit und das geringe Schmerzniveau können jedoch bei der Entscheidung für das konservative Behandlungskonzept beim multimorbiden, älteren Patienten tragende Argumente sein [69, 147].

Eine weitere Therapiemodalität stellt die Nagelosteosynthese dar. Ihre klassische Indikation ist die dislozierte 2-Fragment-Fraktur [57]. Weitere Indikationen wie eine 3-Fragment-Fraktur mit monofragmentärer Beteiligung von Tub. majus oder minus [153, 154], eine assoziierte Schaftfraktur [154, 155] und eine meta-/diaphysäre intermuskuläre Fraktur zwischen M.

deltoideus- und M. latissimus dorsi-Ansatz [155] können folgen. Intention der Nagelosteosynthese ist ein minimal-invasives, weichteilschonendes Verfahren unter Vermeidung großer operativer Zugänge. Für Patienten <60 Jahren gilt aufgrund der simultanen Schädigung der Supraspinatussehne eine relative Kontraindikation für die Nagelosteosynthese, sodass diese Therapiewahl nur älteren Patienten vorbehalten bleibt [155]. Wesentliches Kriterium für das funktionelle Outcome bei dieser Verfahrenswahl ist der Nageleintrittspunkt, basierend auf der Möglichkeit der sekundären Dislokation und dem Verlust der jeweiligen Kortikaliskontaktflächen [155, 156]. Eine arthroskopische Technik kann dieser Imponderabilität entgegen [157]. Weiterführend gilt es, die Lage von proximalem Nagelende (subchondral) und Schrauben richtig zu adjustieren [155]. Beim Vergleich von gekrümmten und geraden Humerusnagel zeigt der gerade Nagel durch die Medialisierung des Eintrittspunktes (biomechanische) Vorteile [158, 159]: Reduktion varuswirkender Kräfte durch mehr Knochensubstanz lateral des Nagelrandes („lateral bony bridge“) und mittels weiterem Verankerungspunkt durch die Lage der Nagelspitze innerhalb der dichten subchondralen Zone [28] neben den Verankerungspunkten durch die Schraubenspitzen, Schonung der Supraspinatussehne (Mindestabstand von 8 mm zum kritischen Punkt [159]).

Zur relativen Indikationsstellung einer endoprothetischen Versorgung statt einer Osteosynthese können Prognosefaktoren bezüglich der Fraktur-Rekonstruierbarkeit dienen [26, 73, 74]. Ferner beschrieben Krappinger et al. (2011) [75] Faktoren für das Versagen einer Osteosynthese. Darüber hinaus kann der Behandlungsalgorithmus nach Jost/Spross [78] als Therapie-Leitfaden fungieren. Für Patienten  $\geq 70$  Jahre mit 3- und 4-Segment-Frakturen zeigt die winkelstabile Plattenosteosynthese im Vergleich zur Hemiarthroplastik eine bessere Funktionalität auf; dieser positive Aspekt geht jedoch mit einer erhöhten Komplikations- und Revisionsrate einher [160]. So bleibt es kritisch zu evaluieren, inwieweit im fortgeschrittenen Patientenalter eine bessere Funktionalität über das erhöhte Risiko von Komplikationen und Revisionseingriffen gestellt werden soll; insbesondere dem Faktum geschuldet, dass die Hemiarthroplastik mit einer guten Patientenzufriedenheit einhergeht [161]. Beim anspruchsvollen Patienten hingegen soll die Präferenz für die kopferhaltende Therapie gelten [160]. Gallinet et al. (2009) [162] untersuchten retrospektiv das Outcome von Hemiprothese und inverser Prothese nach 3- und 4-Fragment-Frakturen und erklären einen funktionellen Vorteil (CS 53 P. versus 39 P.) sowie eine schnellere Rehabilitation und bessere postoperative Schmerzsituation für die inverse Prothese; jedoch mit eingeschränkter Rotationsfähigkeit, was mit der fehlenden Refixierung der Tubb. erklärbar sein könnte. Zur Beantwortung dieses Aspekts zeigt selbige Arbeitsgruppe in einem Vergleich mit und ohne anatomische Tubb. Reposition den klaren Vorteil für die Einheilung der Tubb. auf (CS 65 P. versus 50 P.); insbesondere die Außenrotationskomponente scheint hiervon zu profitieren [163]. Eine Arbeit von Sebastiá-Forcada et al. (2014) [164] führt ebenfalls eine funktionelle und schmerzbasiertere Überlegenheit der inversen Prothese gegenüber der Hemiarthroplastik in der

Versorgung komplexer Frakturen bei Patienten  $\geq 70$  Jahre auf. Dabei bezog man sich insbesondere auf die signifikante Überlegenheit hinsichtlich Anteversion, Abduktion und Außenrotation. Für die Innenrotationskomponente zeigte sich kein signifikanter Unterschied [164]. Zwei Metaanalysen zu dieser Vergleichsthematik [165, 166] bestätigen diesen funktionellen Vorteil. In einer anderen Arbeit zur inversen Prothese [105] wurde ebenso stets die Refixation der Tubb. durchgeführt und die Schaftkomponente in  $10^\circ$  Retroversion implantiert. Beides könnte als stabilisierender Faktor zur Vermeidung einer Prothesenluxation angesehen werden. Ein signifikanter Unterschied des CS zwischen radiologisch nachgewiesener Tuberculaesorption/-dislokation und vollständig eingeheliten Tubb. ergab sich jedoch nicht [105]. Ein solcher signifikanter Unterschied wurde hingegen in einer weiteren Arbeit zu dieser Thematik nachgewiesen [167]. Zusammenfassend muss die funktionelle Überlegenheit einer primären, anatomischen Reposition der Tubb. sowohl für die Hemiprothese [168-170] als auch für die inverse Prothese [163, 167] konstatiert werden; wenngleich ein Misslingen bei der Hemiprothese eine größere Funktionseinbuße darstellt [163]. Entscheidendes Kriterium für die Funktionalität der inversen Prothese ist die Funktion des M. deltoideus [49]. Darüber hinaus ist mit der Wahl zur inversen Prothese eine geringere Komplikationsrate [165] und eine bessere Einheilung der Tubb. [165, 166] zu erwarten. Dennoch müssen als Komplikationen das „scapular notching“ und die Dislokation benannt werden [171]. Vergleichbarkeit kann für subjektive Zufriedenheit und Revisionsoperationen bestehen [165]. Funktionell wurden für die Hemiprothese nach komplexen Frakturmustern, 3- und 4-Fragment-Frakturen, in der Literatur CS-Werte von 55 P. (mittleres Follow-up 29 Monate) und 56 P. (mittleres Follow-up 27 Monate) angegeben [169, 170]. Klein et al. (2008) [172] konnten für die inverse Prothese einen CS von 68 P. (mittleres Follow-up 33 Monate) bestimmen. Zusammenfassend kann die primäre Therapie mittels inverser Prothese bei komplexen Mehrfragment-Frakturen, insbesondere in Begleitung von RM-Verletzungen, in Betracht gezogen werden. Der Aspekt eines sicheren, prognostizierbaren und funktionell ausreichenden Verfahrens kann durch den Einsatz der inversen Prothese bei der Kombination von hohem Lebensalter und komplexer Frakturmorphologie erfüllt werden [105].

Im Vergleich zur konventionellen Titanplatte mittels PHILOS® zeigt die PEEK-Platte am proximalen Humerus in einer biomechanischen Arbeit eine höhere Elastizität auf, sodass mehr Bewegung im Frakturspalt ermöglicht wird [173]. Diese reduzierte Steifigkeit könnte zu einer verbesserten Frakturheilung und einer verringerten Schraubenperforation führen. Hinsichtlich der Maximallast ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen PEEK und PHILOS® [173]. Lill et al. (2003) [90] konkludierten in deren Arbeit „Proximal humeral fractures: how stiff should an implant be?“, dass weniger steife Implantate die Belastungsspitzen am Knochen-Implantat-Interface minimieren. Die Reduktion einer sekundären Schraubenperforation mit nachfolgender Revisionsnotwendigkeit und einer sekundären Varusdislokation konnte klinisch bestätigt werden [174, 175]. Während Katthagen et al. (2017) [174] nach 12 Monaten Follow-up funktionell für

die PEEK einen CS von 73,8 P. und für die PHILOS® einen CS von 69,4 P., ohne signifikanten Unterschied, ermittelten, so konnten Schliemann et al. (2015) [175] nach 2 Jahren Follow-up einen signifikanten Unterschied hinsichtlich CS zwischen den beiden Gruppen (CS 71,3 P. für PEEK versus 59,2 P. für PHILOS®) festmachen. Ein aktuellerer Ansatz in der Therapie der proximalen Humerusfraktur, insbesondere der osteoporotischen Fraktur, stellt die Plattenosteosynthese mit Zementaugmentation dar [176]. Biomechanische Arbeiten weisen im Vergleich von alleiniger winkelstabiler Plattenosteosynthese und zusätzlicher Zementaugmentation eine signifikante Reduktion der Varusneigung und der Frakturbewegung bis 500 Zyklen für das instabile Frakturmodell [177] und eine signifikant erhöhte Primärstabilität nach [178]. Die Bewegung an der Implantat-Knochen-Grenzfläche kann signifikant reduziert werden [179]. Dies konnte klinisch durch eine reduzierte Rate von Fixationsverlust und Schrauben-Cutout bestätigt werden [180, 181]. Katthagen et al. (2018) [181] konnten funktionell nach 12 Monaten keinen signifikanten Unterschied zwischen augmentiertem und konventionellem Verfahren ausmachen (CS  $72,9 \pm 17,7$  P. versus  $73,0 \pm 12,8$  P.). Eine retrospektive Arbeit [180] hierzu konnte nach einem Follow-up von 2 Jahren ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Verfahren feststellen (CS  $63,7 \pm 18,5$  P. versus  $62,6 \pm 17,4$  P.). Als kritisch wird die mögliche Induktion einer AVN, insbesondere um die augmentierten Schrauben, durch die Zementaugmentation erachtet; trotz der Verneinung in einer In-vitro-Arbeit [182]. Zur vollständigen Klärung sind sicherlich klinische Arbeiten mit längerem Follow-up und größeren Fallzahlen erstrebenswert. Insgesamt kann die zementaugmentierte Plattenosteosynthese als ergänzende therapeutische Modalität für die osteoporotische Fraktur des proximalen Humerus eingestuft werden. Eine adäquate Patientenauswahl sowie die Risikostratifizierung von Zementleckage in das Gelenk, Erhöhung des intraossären Drucks und exothermer Reaktion sind jedoch obligat [176].

Trotz der vielfältigen Therapieoptionen für die Mehrfragment-Fraktur des proximalen Humerus stellt das winkelstabile Plattensystem ein zentrales therapeutisches Instrumentarium dar. Mit der vorliegenden Arbeit wird, neben einer Klassifikation osteosynthese-assoziiierter Komplikationen und der Komplikationstypen-Definition, die Möglichkeit geboten einen klinischen Ratgeber zu erhalten, im Sinne einer komplikationsbezogenen Übersicht zu funktionellem Outcome, Revisionsaufkommen und zeitlicher Manifestation.

#### 4.6 Limitationen der Arbeit

Vorrangig ist sicherlich das retrospektive Studiendesign (Fallserie, Evidenzklasse III) als Limitation zu nennen. Als weitere Limitation der vorliegenden Arbeit wird die klinische Nachuntersuchungsrate von knapp über 50% angesehen. Die radiologische Analyserate erreichte 75,2%. Aufgrund des hohen Patientenalters zum Zeitpunkt der Erstversorgung, der Multimorbidität der Patienten sowie erschwerten Kontaktmöglichkeiten durch Umzug, Auslandswohntort und Pflegeheimbetreuung war eine höhere Nachuntersuchungsrate trotz intensiver Bemühungen nicht möglich. Dies zeigt sich jedoch ähnlich zu Arbeiten, die sich ebenfalls mit Frakturen des geriatrischen Patienten befassen. Des Weiteren muss sicherlich die Variabilität der Follow-up Zeitpunkte (klinisch und radiologisch) aufgeführt werden, sodass die Angabe mittels MW und SD erfolgte. Dies kann jedoch durch die bereits bekannte, signifikante Korrelation von funktionellen Langzeitergebnissen mit denen nach einem Jahr postoperativ geschmälert werden [97]. Außerdem ergaben sich unterschiedliche Anzahlen für CS, nCS, %CS, DASH und SF-36. Insgesamt soll hierbei schützend die bedeutende Größe des vorliegenden Gesamtkollektivs von 1047 Frakturen erwähnt sein. Aufgrund der Größe des Kollektivs ergab sich auch eine größere Variabilität hinsichtlich der behandelnden Chirurgen. Deshalb ist eine Heterogenität in der Operationstechnik nicht zu vermeiden. Limitierend wird auch das Vorliegen von ausschließlich endgültigen Funktionswerten erachtet. Es wurde folglich nicht zwischen Funktionswerten vor und nach einer Revision bei den jeweiligen Komplikationstypen unterschieden. Eine Studie, die eine solche Differenzierung inkludiert, würde die hier vorliegende Arbeit ideal komplettieren.

## 5. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die funktionellen Ergebnisse der winkelstabilen Plattenosteosynthese nach proximaler Humerusfraktur in einem großen Gesamtkollektiv zu ermitteln und dabei speziell den Fokus auf osteosynthese-assoziierte Komplikationen zu richten. Hierfür wurde von einem Kollektiv von 1047 Frakturen (Zeitraum Februar 2002 bis Dezember 2014) eine radiologische Verlaufsanalyse von 787 Frakturen erzielt. Es resultierten 193 dieser osteosynthese-assoziierten Komplikationen (24,5%). Für das funktionelle Outcome wurden der Constant-Score (einschließlich normiert und prozentual zur Gegenseite) sowie die gesundheitsbezogene Lebensqualität (DASH, SF-36) erfasst.

Für das Gesamtkollektiv betrug der Constant-Score  $68,4 \pm 20,3$  Punkte und normiert  $80,4 \pm 23,8$  Punkte. Das reine Komplikationskollektiv konnte sich signifikant vom Kollektiv ohne Komplikationen abgrenzen (CS  $54,5 \pm 19,0$  versus  $72,1 \pm 19,0$ ,  $p < 0,001$ ; nCS  $64,5 \pm 22,9$  versus  $84,7 \pm 21,9$ ,  $p < 0,001$ ). Während die jeweiligen sekundären Komplikationen der winkelstabilen Plattenosteosynthese nach Fraktur des proximalen Humerus bereits bekannt sind, so stellt diese Arbeit eine Definition einzelner Komplikationstypen vor und nimmt deren Analyse und anatomische Deskription detailhaft vor. Nachfolgende Revisionseingriffe und Verbindungen zum Frakturtyp wurden ebenfalls integriert. Folglich entstehen die Komplikationstypen 1 bis 4.

Der Komplikationstyp 1 ist definiert durch eine milde Varusdislokation des Humeruskopfes. Die mittlere Varusdislokation betrug  $15,6^\circ$ . Er ergibt trotz Komplikationsdeklaration eine stabile Osteosynthese mit primärer Frakturheilung ohne Progression, weshalb aus ihm, bis auf eine elektive ME, in der Regel kein weiteres Revisionsvorhaben resultierte und eine abwartende, beobachtende Haltung eingenommen werden könnte. Der Komplikationstyp 2 wird in drei Subgruppen untergliedert. Der Typ 2a ist definiert durch eine Varusdislokation des Humeruskopfes, die mit einem zusätzlichen Schrauben-Cutout durch die Humeruskopf-Kortikalis einhergeht. Die mittlere Varusdislokation betrug  $16,3^\circ$ . Die Kopfsinterung kann als stabil und nicht progredient angesehen werden. Aufgrund des Schrauben-Cutouts wurde zumeist eine Revision nötig, was vor allem die Entfernung der betroffenen Schrauben oder eine Früh-ME bedeutete. Der Typ 2b beschränkt sich auf die Dislokation des Tub. majus, Tub. minus oder beider Tubb. Es folgt eine Dislokation mit RM-Insuffizienz. Die Revisionsart dieses Typs mündete vor allem in eine Reosteosynthese oder in den Wechsel auf eine Prothese. Der Typ 2c ist definiert durch eine schwere Varusdislokation des Humeruskopfes, die kongruent zu Typ 2a mit einem Schrauben-Cutout an der Humeruskopf-Kortikalis einhergeht. Die mittlere Varusdislokation betrug  $27,4^\circ$ . In Kontrast zu Typ 2a ist diese Dislokation jedoch durch eine instabile Osteosynthese, Progression und die fehlende Tendenz einer primären Frakturheilung gekennzeichnet. So war für diesen Komplikationstyp die Notwendigkeit einer Revision die

Konsequenz, was eine Reosteosynthese oder verstärkt eine Prothesen-Implantation erforderlich machte. Der Zusammenhang von Funktionalität und Varusdislokationsgrad wurde mittels linearer Regression und Korrelation in inverser Richtung signifikant nachgewiesen. Die Einteilung unterschiedlicher, varusdislokationsbezogener Gruppen ( $<10^\circ$ ,  $10-22^\circ$ ,  $>22^\circ$ ) zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen allen drei Gruppen auf, sodass eine Varusdislokation von  $22^\circ$  als signifikante, kritische Schwelle für ein Plattenversagen und ein schlechtes funktionelles Outcome konstatiert werden konnte. Der Komplikationstyp 3 beschreibt eine Dislokation der winkelstabilen Platte im Humerusschaftbereich mit assoziiertem Schraubenausbruch, während die Stellung des Humeruskopfes intakt bleibt. Die Folge war zumeist eine Reosteosynthese (lange Platte) als Revisionsverfahren. Der Komplikationstyp 4 ist durch das Auftreten einer Humeruskopfnekrose charakterisiert. Im Gegensatz zu den vorherigen Typen ist er nicht die Folge einer sekundären Dislokation. Er ist in zwei Subgruppen untergliedert, die sich in einer Schädigung der glenoidalen Gelenkfläche durch das Schrauben-Cutout unterscheiden. Als revisionspflichtiger Komplikationstyp wurde zumeist für Typ 4a eine (Früh-)ME sowie der Wechsel auf eine Prothese und für Typ 4b der Wechsel auf eine inverse Prothese durchgeführt.

Funktionell erreichten alle Komplikationstypen einen signifikant schlechteren Wert für den CS und nCS als das Kollektiv ohne Komplikationen, sodass sie ihrer Komplikationsdefinition gerecht werden. Im einzelnen Komplikationstypenvergleich grenzten sich nur Typ 1 und 2a signifikant zu weiteren Typen ab, was die Schlussfolgerung bestärkt, ein funktionell zufriedenstellendes Ergebnis für diese beiden Typen (Typ 1 > Typ 2a) erreichen zu können. Die obligatorische Korrespondenz von Komplikation und schlechtem Outcome kann durch sie verneint werden. Die weiteren Typen zeigten jedoch schlechte Funktionsergebnisse.

Des Weiteren kann geschlussfolgert werden, dass die zeitlichen Manifestationen der Komplikationstypen einem zeitlichen Muster folgen. Typisch waren die Zeiträume 2-4 Monate für die dislokationsbezogenen Typen 1-3 (mit der Frakturheilung assoziiert) sowie 8-10 Monate für den AVN-Typ 4 (von der Frakturheilung unabhängig). Die zeitliche Entstehung des AVN-Typs 4 unterschied sich als einzige signifikant zu der aller anderen, dislokationsbezogenen Komplikationstypen. Darauf basierend sollten die radiologischen Routinekontrollen von Tag 1, 6 Wochen, 3, 6 und 12 Monaten durch weitere Kontrollen nach 9 Monaten (und ggf. 4 Monaten) ergänzt werden.

Es konnte bestätigt werden, dass komplexere Frakturtypen häufiger Komplikationen nach sich ziehen. Diesbezüglich konnte die Arbeit signifikant nachweisen, dass die Frakturtypen (Neer, AO) sowohl mit der Manifestation einer Komplikation, als auch mit der Notwendigkeit einer Revision in Zusammenhang standen. Verantwortlich für diesen Zusammenhang waren die komplexen Frakturmuster (4-Fragment-Fraktur, Head-Split-Fraktur, Typ C-Fraktur). Die Komplikationsraten waren für die 4-Fragment-Fraktur mit 35,8% und für die Head-Split-Fraktur

mit 51,5% nachvollziehbar hoch. Auch der Zusammenhang von Revisionsdurchführung mit den Komplikationstypen konnte signifikant nachgewiesen werden. Je nach Versagensmuster ergaben sich typische Revisionsverfahren hinsichtlich des Komplikationsmanagements. Die Revisionsraten von Typ 2b bis 4 waren mit 60-100% entsprechend sehr hoch. Bei Typ 1 und 2a beschränkte sich das Komplikationsmanagement auf eine symptomatische Therapie („skillful neglect“).

Insgesamt ist davon auszugehen, dass komplexe Frakturen des proximalen Humerus, die nachgewiesenermaßen die Wahrscheinlichkeit einer klinisch relevanten Komplikation nach winkelstabiler Plattenosteosynthese erhöhen, beim älteren Patienten zukünftig im Sinne der Komplikationsminimierung eher zur Prothesenimplantation führen werden. Entscheidend ist die richtige Indikationsstellung. Mit der vorliegenden Arbeit wird, neben der Möglichkeit der Komplikationsklassifizierung, eine komplikationsbasierte Übersicht für das winkelstabile Plattensystem am proximalen Humerus dargeboten, die Hilfestellung in der klinischen Praxis leisten kann.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Lauritzen, J.B., et al., *Changing incidence and residual lifetime risk of common osteoporosis-related fractures*. Osteoporosis international, 1993. **3**(3): p. 127-132.
2. Baron, J.A., et al., *Basic epidemiology of fractures of the upper and lower limb among Americans over 65 years of age*. Epidemiology, 1996: p. 612-618.
3. Rose, S.H., et al., *Epidemiologic features of humeral fractures*. Clinical orthopaedics and related research, 1982. **168**: p. 24-30.
4. Lind, T., K. Krøner, and J. Jensen, *The epidemiology of fractures of the proximal humerus*. Archives of orthopaedic and trauma surgery, 1989. **108**(5): p. 285-287.
5. Court-Brown, C.M., A. Garg, and M.M. McQueen, *The epidemiology of proximal humeral fractures*. Acta orthopaedica Scandinavica, 2001. **72**(4): p. 365-371.
6. Palvanen, M., et al., *Update in the epidemiology of proximal humeral fractures*. Clin Orthop Relat Res, 2006. **442**: p. 87-92.
7. Kim, S.H., R.M. Szabo, and R.A. Marder, *Epidemiology of humerus fractures in the United States: nationwide emergency department sample, 2008*. Arthritis Care Res (Hoboken), 2012. **64**(3): p. 407-414.
8. Kannus, P., et al., *Rate of proximal humeral fractures in older Finnish women between 1970 and 2007*. Bone, 2009. **44**(4): p. 656-659.
9. Launonen, A.P., et al., *Epidemiology of proximal humerus fractures*. Arch Osteoporos, 2015. **10**: p. 209.
10. Bell, J.-E., et al., *Trends and variation in incidence, surgical treatment, and repeat surgery of proximal humeral fractures in the elderly*. The Journal of Bone and Joint Surgery. American volume., 2011. **93**(2): p. 121.
11. Tepass, A., et al., *Current strategies for the treatment of proximal humeral fractures: an analysis of a survey carried out at 348 hospitals in Germany, Austria, and Switzerland*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2013. **22**(1): p. e8-e14.
12. Habermeyer, P., *Die humeruskopffraktur*. Der Unfallchirurg, 1997. **100**(10): p. 820-837.
13. Szyszkowitz, R. and G. Schippinger, *Fractures of the proximal humerus*. Der Unfallchirurg, 1999. **102**(6): p. 422-428.
14. Lee, S.H., P. Dargent-Molina, and G. Bréart, *Risk factors for fractures of the proximal humerus: results from the EPIDOS prospective study*. Journal of Bone and Mineral research, 2002. **17**(5): p. 817-825.
15. Kelsey, J.L., et al., *Risk factors for fractures of the distal forearm and proximal humerus*. American Journal of Epidemiology, 1992. **135**(5): p. 477-489.
16. Lill, H., et al. *Alters- und geschlechtsabhängige Knochenmineraldichteverteilung und mechanische Eigenschaften des proximalen Humerus*. in *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2002. © Georg Thieme Verlag Stuttgart· New York. **174**(12): p. 1544-1550.
17. Chu, S.P., et al., *Risk factors for proximal humerus fracture*. American journal of epidemiology, 2004. **160**(4): p. 360-367.
18. Schwartz, A.V., et al., *Older women with diabetes have an increased risk of fracture: a prospective study*. The Journal of clinical endocrinology & metabolism, 2001. **86**(1): p. 32-38.
19. Nguyen, T.V., et al., *Risk factors for proximal humerus, forearm, and wrist fractures in elderly men and women the dubbo osteoporosis epidemiology study*. American Journal of Epidemiology, 2001. **153**(6): p. 587-595.
20. Culham, E. and M. Peat, *Functional anatomy of the shoulder complex*. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 1993. **18**(1): p. 342-350.
21. Itoi, E., H.-C. Hsu, and K.-N. An, *Biomechanical investigation of the glenohumeral joint*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 1996. **5**(5): p. 407-424.
22. Codman, E.A., *The shoulder; rupture of the supraspinatus tendon and other lesions in or about the subacromial bursa*. 1934.
23. Resch, H., *Die Humeruskopffraktur*. Der Unfallchirurg, 2003. **106**(8): p. 602-617.

24. Resch, H., et al., *Closed reduction and fixation of articular fractures of the humeral head*. Techniques in Shoulder & Elbow Surgery, 2000. **1**(3): p. 154-162.
25. Lill, H., et al., *Osteoporotische Frakturen am proximalen Humerus*. Der Chirurg, 2012. **83**(10): p. 858-865.
26. Hertel, R., et al., *Predictors of humeral head ischemia after intracapsular fracture of the proximal humerus*. J Shoulder Elbow Surg, 2004. **13**(4): p. 427-433.
27. Resch, H., et al., *Percutaneous fixation of three-and four-part fractures of the proximal humerus*. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 1997. **79**(2): p. 295-300.
28. Hepp, P., et al., *Where should implants be anchored in the humeral head?* Clinical Orthopaedics and Related Research®, 2003. **415**: p. 139-147.
29. Tingart, M.J., et al., *Proximal humeral fractures: regional differences in bone mineral density of the humeral head affect the fixation strength of cancellous screws*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2006. **15**(5): p. 620-624.
30. Hirzinger, C., M. Tauber, and H. Resch, *Die Fraktur des proximalen Humerus*. Der Unfallchirurg, 2011. **114**(12): p. 1051-1058.
31. Hardeman, F., et al., *Predictive factors for functional outcome and failure in angular stable osteosynthesis of the proximal humerus*. Injury, 2012. **43**(2): p. 153-158.
32. Solberg, B.D., et al., *Locked plating of 3-and 4-part proximal humerus fractures in older patients: the effect of initial fracture pattern on outcome*. Journal of orthopaedic trauma, 2009. **23**(2): p. 113-119.
33. Jaeger, M., et al., *Grenzen der Rekonstruktion–Prothesen*. Der Unfallchirurg, 2011. **114**(12): p. 1068-1074.
34. Gerber, C., A. Schneeberger, and T. Vinh, *The arterial vascularization of the humeral head. An anatomical study*. J Bone Joint Surg Am, 1990. **72**(10): p. 1486-1494.
35. Duparc, F., J.-M. Muller, and P. Frçger, *Arterial blood supply of the proximal humeral epiphysis*. Surgical and Radiologic Anatomy, 2001. **23**(3): p. 185-190.
36. Menck, J., A. Döbler, and J. Döhler, *Vaskularisation des Humerus*. Langenbecks Archiv für Chirurgie, 1997. **382**(3): p. 123-127.
37. Laing, P., *The arterial supply of the adult humerus*. JBJS, 1956. **38**(5): p. 1105-1116.
38. Brooks, C., W. Revell, and F. Heatley, *Vascularity of the humeral head after proximal humeral fractures. An anatomical cadaver study*. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 1993. **75**(1): p. 132-136.
39. Hettrich, C.M., et al., *Quantitative assessment of the vascularity of the proximal part of the humerus*. JBJS, 2010. **92**(4): p. 943-948.
40. Meyer, C., et al., *The arteries of the humeral head and their relevance in fracture treatment*. Surgical and radiologic anatomy, 2005. **27**(3): p. 232-237.
41. De La Garza, O., W. Lierse, and D. Steiner, *Anatomical study of the blood supply in the human shoulder region*. Cells Tissues Organs, 1992. **145**(4): p. 412-415.
42. Andary, J.L. and S.A. Petersen, *The vascular anatomy of the glenohumeral capsule and ligaments: an anatomic study*. JBJS, 2002. **84**(12): p. 2258-2265.
43. Jakob, R.P., et al., *Four-part valgus impacted fractures of the proximal humerus*. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 1991. **73**(2): p. 295-298.
44. Resch, H., E. Beck, and I. Bayley, *Reconstruction of the valgus-impacted humeral head fracture*. Journal of shoulder and elbow surgery, 1995. **4**(2): p. 73-80.
45. Kralinger, F., et al., *The medial periosteal hinge, a key structure in fractures of the proximal humerus: a biomechanical cadaver study of its mechanical properties*. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 2009. **91**(7): p. 973-976.
46. Jaeger, M., et al., *Frakturen des Humeruskopfes*. Der Chirurg, 2012. **83**(3): p. 285-296.
47. Gruson, K.I. and Y.W. Kwon, *Atraumatic osteonecrosis of the humeral head*. Bulletin of the NYU hospital for joint diseases, 2009. **67**(1): p. 6.
48. Hattrup, S.J. and R.H. Cofield, *Osteonecrosis of the humeral head: relationship of disease stage, extent, and cause to natural history*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 1999. **8**(6): p. 559-564.
49. Imrecke, J., et al., *Frakturen des Humeruskopfs*. Trauma und Berufskrankheit, 2014. **16**(2): p. 152-160.

50. Krettek, C. and W.U.P. Humerusfraktur, *Ist die winkelstabile Plattenosteosynthese der konservativen Behandlung überlegen*. Unfallchirurg, 2011. **114**(12): p. 1059-1067.
51. Franke, S. and T. Ambacher, *Die proximale Humerusfraktur*. Obere Extremität, 2012. **7**(3): p. 137-143.
52. Nho, S.J., et al., *Innovations in the management of displaced proximal humerus fractures*. JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2007. **15**(1): p. 12-26.
53. Gaebler, C., M. McQueen, and C. Court-Brown, *Minimally displaced proximal humeral fractures Epidemiology and outcome in 507 cases*. Acta orthopaedica Scandinavica, 2003. **74**(5): p. 580-585.
54. Lill, H. and C. Josten, *Konservative oder operative Versorgung der Humeruskopffraktur beim alten Menschen?* Der Chirurg, 2001. **72**(11): p. 1224-1234.
55. Brunner, U., et al., *Orif of 3+ 4 part fractures of the proximal humerus. Prognostic factors for management*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 1995. **4**: p. S63.
56. Bondi, R., et al., *Shoulder arthroplasty for complex proximal humeral fractures*. Journal of Orthopaedics and Traumatology, 2005. **6**(1): p. 57-60.
57. Lanting, B., et al., *Proximal humeral fractures: a systematic review of treatment modalities*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2008. **17**(1): p. 42-54.
58. Siebenrock, K.A. and C. Gerber, *The reproducibility of classification of fractures of the proximal end of the humerus*. JBJS, 1993. **75**(12): p. 1751-1755.
59. Sidor, M.L., et al., *The Neer classification system for proximal humeral fractures. An assessment of interobserver reliability and intraobserver reproducibility*. JBJS, 1993. **75**(12): p. 1745-1750.
60. Majed, A., et al., *Proximal humeral fracture classification systems revisited*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2011. **20**(7): p. 1125-1132.
61. Boons, H.W., et al., *Hemiarthroplasty for humeral four-part fractures for patients 65 years and older: a randomized controlled trial*. Clinical Orthopaedics and Related Research®, 2012. **470**(12): p. 3483-3491.
62. Fjalestad, T., et al., *Surgical treatment with an angular stable plate for complex displaced proximal humeral fractures in elderly patients: a randomized controlled trial*. Journal of orthopaedic trauma, 2012. **26**(2): p. 98-106.
63. Olerud, P., et al., *Hemiarthroplasty versus nonoperative treatment of displaced 4-part proximal humeral fractures in elderly patients: a randomized controlled trial*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2011. **20**(7): p. 1025-1033.
64. Südkamp, N., et al., *Open reduction and internal fixation of proximal humeral fractures with use of the locking proximal humerus plate: results of a prospective, multicenter, observational study*. JBJS, 2009. **91**(6): p. 1320-1328.
65. Olerud, P., et al., *Internal fixation versus nonoperative treatment of displaced 3-part proximal humeral fractures in elderly patients: a randomized controlled trial*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2011. **20**(5): p. 747-755.
66. Hanson, B., et al., *Functional outcomes after nonoperative management of fractures of the proximal humerus*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2009. **18**(4): p. 612-621.
67. Handoll, H., et al., *Five-year follow-up results of the PROFHER trial comparing operative and non-operative treatment of adults with a displaced fracture of the proximal humerus*. The bone & joint journal, 2017. **99**(3): p. 383-392.
68. Rangan, A., et al., *Surgical vs nonsurgical treatment of adults with displaced fractures of the proximal humerus: the PROFHER randomized clinical trial*. Jama, 2015. **313**(10): p. 1037-1047.
69. Torrens, C., et al., *Functional and quality-of-life results of displaced and nondisplaced proximal humeral fractures treated conservatively*. Journal of orthopaedic trauma, 2011. **25**(10): p. 581-587.
70. Lill, H., et al., *Conservative treatment of dislocated proximal humeral fractures*. Zentralblatt für Chirurgie, 2001. **126**(3): p. 205-210.
71. Lill, H. and C. Voigt, *Proximale Humerusfraktur*. Obere Extremität, 2012. **7**(3): p. 116.

72. Neer, C., *Displaced proximal humeral fractures. Part I. Classification and evaluation.* J Bone Joint Surg, A, 1970. **52**: p. 1077-1089.
73. Werth, M., et al., *Osteosynthesen: Wann und wie?*, in *Die proximale Humerusfraktur.* 2014, Springer. p. 45-104.
74. Warnhoff, M., et al., *Proximale Humerusfraktur—was sagt die aktuelle Literatur?* Obere Extremität, 2019. **14**(1): p. 9-17.
75. Krappinger, D., et al., *Predicting failure after surgical fixation of proximal humerus fractures.* Injury, 2011. **42**(11): p. 1283-1288.
76. Bastian, J.D. and R. Hertel, *Initial post-fracture humeral head ischemia does not predict development of necrosis.* Journal of shoulder and elbow surgery, 2008. **17**(1): p. 2-8.
77. Bosch, U., et al., *Outcome after primary and secondary hemiarthroplasty in elderly patients with fractures of the proximal humerus.* Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 1998. **7**(5): p. 479-484.
78. Spross, C., et al., *Evidence-based algorithm to treat patients with proximal humerus fractures—a prospective study with early clinical and overall performance results.* Journal of shoulder and elbow surgery, 2019. **28**(6): p. 1022-1032.
79. BOSWORTH, D.M., *BLADE PLATE FIXATION: Technic Suitable for Fractures of the Surgical Neck of the Humerus and Similar Lesions Chairman's Address.* Journal of the American Medical Association, 1949. **141**(16): p. 1111-1113.
80. Wagner, M., *General principles for the clinical use of the LCP.* Injury, 2003. **34**: p. B31-42.
81. Köstler, W., P. Strohm, and N. Südkamp, *Entwicklung und aktueller Stand winkelstabiler Plattensysteme.* Trauma und Berufskrankheit, 2005. **7**(1): p. S5-S9.
82. Broos, P. and A. Sermon, *From unstable internal fixation to biological osteosynthesis a historical overview of operative fracture treatment.* Acta chirurgica Belgica, 2004. **104**(4): p. 396-400.
83. Goodship, A. and J. Kenwright, *The influence of induced micromovement upon the healing of experimental tibial fractures.* The Journal of bone and joint surgery. British volume, 1985. **67**(4): p. 650-655.
84. Claes, L., et al., *Effect of dynamization on gap healing of diaphyseal fractures under external fixation.* Clinical Biomechanics, 1995. **10**(5): p. 227-234.
85. Illert, T., R. Grass, and H. Zwipp, *Winkelstabile Plattenosteosynthese für proximale Humerusfrakturen.* Trauma und Berufskrankheit, 2008. **10**(1): p. 39-46.
86. Claes, L., *Das Prinzip der Winkelstabilität in der Osteosynthese.* OP-JOURNAL, 2004. **20**(01): p. 4-7.
87. Walsh, S., et al., *Biomechanical comparison of a unique locking plate versus a standard plate for internal fixation of proximal humerus fractures in a cadaveric model.* Clinical Biomechanics, 2006. **21**(10): p. 1027-1031.
88. Seide, K., et al., *Locked vs. unlocked plate osteosynthesis of the proximal humerus—a biomechanical study.* Clinical Biomechanics, 2007. **22**(2): p. 176-182.
89. Röderer, G., et al., *Biomechanical in vitro assessment of fixed angle plating using a new concept of locking for the treatment of osteoporotic proximal humerus fractures.* International orthopaedics, 2011. **35**(4): p. 535-541.
90. Lill, H., et al., *Proximal humeral fractures: how stiff should an implant be?* Archives of orthopaedic and trauma surgery, 2003. **123**(2-3): p. 74-81.
91. Liew, A.S., et al., *Effect of screw placement on fixation in the humeral head.* Journal of shoulder and elbow surgery, 2000. **9**(5): p. 423-426.
92. Gardner, M.J., et al., *The importance of medial support in locked plating of proximal humerus fractures.* Journal of orthopaedic trauma, 2007. **21**(3): p. 185-191.
93. Brunner, F., et al., *Open reduction and internal fixation of proximal humerus fractures using a proximal humeral locked plate: a prospective multicenter analysis.* Journal of orthopaedic trauma, 2009. **23**(3): p. 163-172.
94. Sinatra, P.M., et al., *No contribution of tension-reducing rotator cuff sutures on locking plate fixation in a 2-part proximal humerus fracture model.* Journal of orthopaedic trauma, 2014. **28**(8): p. 458-463.

95. Arvesen, J.E., et al., *Biomechanical contribution of tension-reducing rotator cuff sutures in 3-part proximal humerus fractures*. Journal of orthopaedic trauma, 2016. **30**(8): p. e262-e266.
96. Zettl, R., et al., *Monoaxial versus polyaxial locking systems: a biomechanical analysis of different locking systems for the fixation of proximal humeral fractures*. International orthopaedics, 2011. **35**(8): p. 1245-1250.
97. Ockert, B., et al., *Long-term functional outcomes (median 10 years) after locked plating for displaced fractures of the proximal humerus*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2014. **23**(8): p. 1223-1231.
98. Acklin, Y.P., K. Stoffel, and C. Sommer, *A prospective analysis of the functional and radiological outcomes of minimally invasive plating in proximal humerus fractures*. Injury, 2013. **44**(4): p. 456-460.
99. Siebenbürger, G., et al., *Klinisches Outcome (Median 5 Jahre) nach winkelstabiler Plattenosteosynthese von 228 Patienten mit dislozierter proximaler Humerusfraktur*. Obere Extremität, 2014. **9**(3): p. 215-221.
100. Königshausen, M., et al., *Clinical outcome and complications using a polyaxial locking plate in the treatment of displaced proximal humerus fractures. A reliable system?* Injury, 2012. **43**(2): p. 223-231.
101. Sproul, R.C., et al., *A systematic review of locking plate fixation of proximal humerus fractures*. Injury, 2011. **42**(4): p. 408-413.
102. Thanasas, C., et al., *Treatment of proximal humerus fractures with locking plates: a systematic review*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2009. **18**(6): p. 837-844.
103. Hente, R., et al., *Treatment of dislocated 3-and 4-part fractures of the proximal humerus with an angle-stabilizing fixation plate*. Der Unfallchirurg, 2004. **107**(9): p. 769-782.
104. Kettler, M., et al., *Treatment of proximal humeral fractures with the PHILOS angular stable plate. Presentation of 225 cases of dislocated fractures*. Der Unfallchirurg, 2006. **109**(12): p. 1032-1040.
105. Ockert, B., et al., *Reverse shoulder arthroplasty for primary fracture treatment. Displaced three and four part fractures of the proximal humerus in the elderly patient*. Der Unfallchirurg, 2013. **116**(8): p. 684-690.
106. Jost, B., et al., *Locking plate fixation of fractures of the proximal humerus: analysis of complications, revision strategies and outcome*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2013. **22**(4): p. 542-549.
107. Owsley, K.C. and J.T. Gorczyca, *Displacement/screw cutout after open reduction and locked plate fixation of humeral fractures*. JBJS, 2008. **90**(2): p. 233-240.
108. Haasters, F., et al., *Complications of locked plating for proximal humeral fractures— are we getting any better?* Journal of shoulder and elbow surgery, 2016. **25**(10): p. e295-e303.
109. Voigt, C., et al., *How does a varus deformity of the humeral head affect elevation forces and shoulder function? A biomechanical study with human shoulder specimens*. Journal of orthopaedic trauma, 2011. **25**(7): p. 399-405.
110. Neer, C.S., 2nd, *Displaced proximal humeral fractures. II. Treatment of three-part and four-part displacement*. J Bone Joint Surg Am, 1970. **52**(6): p. 1090-1103.
111. Constant, C. and A. Murley, *A clinical method of functional assessment of the shoulder*. Clinical orthopaedics and related research, 1987. **214**: p. 160-164.
112. Björkenheim, 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 Orthopaedica Scandinavica, 2004. **75**(6): p. 741-745.
113. Katolik, L.I., et al., *Normalization of the Constant score*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2005. **14**(3): p. 279-285.
114. Hudak, P.L., et al., *Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand)*. American journal of industrial medicine, 1996. **29**(6): p. 602-608.

115. Germann, G., G. Wind, and A. Harth, *Der DASH-Fragebogen-Ein neues Instrument zur Beurteilung von Behandlungsergebnissen an der oberen Extremität*. Handchirurgie- Mikrochirurgie- Plastische Chirurgie, 1999. **31**(03): p. 149-152.
116. Germann, G., et al., *Standardisierung und validierung der deutschen version 2.0 des "Disability of Arm, Shoulder, Hand"(DASH)-fragebogens zur outcome-messung an der oberen extremität*. Der Unfallchirurg, 2003. **106**(1): p. 13-19.
117. Ware Jr, J.E. and C.D. Sherbourne, *The MOS 36-item short-form health survey (SF-36): I. Conceptual framework and item selection*. Medical care, 1992. **30**: p. 473-483.
118. McHorney, C.A., et al., *The MOS 36-item Short-Form Health Survey (SF-36): III. Tests of data quality, scaling assumptions, and reliability across diverse patient groups*. Medical care, 1994. **32**: p. 40-66.
119. McHorney, C.A., J.E. Ware, and A.E. Raczek, *The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36): II. Psychometric and clinical tests of validity in measuring physical and mental health constructs*. Medical care, 1993. **31**: p. 247-263.
120. Ware, J.E., *Scoring the SF-36*. SF-36. Health Survey: Manual and Interpretation Guide, 1993.
121. Bullinger, M., I. Kirchberger, and J. Ware, *Der deutsche SF-36 Health Survey Übersetzung und psychometrische Testung eines krankheitsübergreifenden Instruments zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität*. Zeitschrift für Gesundheitswissenschaften= Journal of public health, 1995. **3**(1): p. 21.
122. Marquass B, H.P., Voigt C, *Grundlagen*. Lill H (Hsg.) Die proximale Humerusfraktur. New York: Thieme Stuttgart, 2006: p. 1-14.
123. Neer, C.S., *Four-segment classification of proximal humeral fractures: purpose and reliable use*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2002. **11**(4): p. 389-400.
124. Müller, M., et al., *The comprehensive classification of fractures of long bones*. 1990. Berlin: SpringerVerlag.
125. Sjöden, G.O., et al., *Poor reproducibility of classification of proximal humeral fractures: additional CT of minor value*. Acta orthopaedica Scandinavica, 1997. **68**(3): p. 239-242.
126. Jeong, J., J. Bryan, and J.P. Iannotti, *Effect of a variable prosthetic neck-shaft angle and the surgical technique on replication of normal humeral anatomy*. JBJS, 2009. **91**(8): p. 1932-1941.
127. Agel, J., et al., *Treatment of proximal humeral fractures with Polarus nail fixation*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2004. **13**(2): p. 191-195.
128. Schnetzke, M., et al., *Quality of reduction influences outcome after locked-plate fixation of proximal humeral type-C fractures*. JBJS, 2016. **98**(21): p. 1777-1785.
129. Elliott, A.C. and W.A. Woodward, *Statistical analysis quick reference guidebook: With SPSS examples*. 2007: Sage. p. 47.
130. Kralinger, F., et al., *The influence of local bone density on the outcome of one hundred and fifty proximal humeral fractures treated with a locking plate*. JBJS, 2014. **96**(12): p. 1026-1032.
131. Boileau, P., et al., *Proximal humerus fracture sequelae: impact of a new radiographic classification on arthroplasty*. Clinical Orthopaedics and Related Research®, 2006. **442**: p. 121-130.
132. Solberg, B.D., et al., *Surgical treatment of three and four-part proximal humeral fractures*. JBJS, 2009. **91**(7): p. 1689-1697.
133. Greiner, S., et al., *Humeral head necrosis rate at mid-term follow-up after open reduction and angular stable plate fixation for proximal humeral fractures*. Injury, 2009. **40**(2): p. 186-191.
134. Egol, K.A., et al., *Early complications in proximal humerus fractures (OTA Types II) treated with locked plates*. Journal of orthopaedic trauma, 2008. **22**(3): p. 159-164.
135. Agudelo, J., et al., *Analysis of efficacy and failure in proximal humerus fractures treated with locking plates*. Journal of orthopaedic trauma, 2007. **21**(10): p. 676-681.
136. Fleischhacker, E., et al., *Varus malposition relates to functional outcomes following open reduction and internal fixation for proximal humeral fractures: A retrospective*

- comparative cohort study with minimum 2 years follow-up.* Injury, 2020. **52**(3): p. 506-510.
137. Benegas, E., et al., *Surgical treatment of varus malunion of the proximal humerus with valgus osteotomy.* Journal of shoulder and elbow surgery, 2007. **16**(1): p. 55-59.
138. Chandrappa, M.H., S. Hajibandeh, and S. Hajibandeh, *Postoperative outcomes of initial varus versus initial valgus proximal humerus fracture: A systematic review and meta-analysis.* Journal of clinical orthopaedics and trauma, 2017. **8**(1): p. 14-20.
139. Wang, Q., et al., *The neck-shaft angle is the key factor for the positioning of calcar screw when treating proximal humeral fractures with a locking plate.* The Bone & Joint Journal, 2020. **102**(12): p. 1629-1635.
140. Koehler, A. and M. Galanski, *Frakturheilung*, in *Kompendium der traumatologischen Röntgendiagnostik.* 1999, Springer. p. 49-56.
141. Stürmer, K., *Pathophysiologie der gestörten Knochenheilung.* Der Orthopäde, 1996. **25**(5): p. 386-393.
142. Nowak, L.L., et al., *A higher reoperation rate following arthroplasty for failed fixation versus primary arthroplasty for the treatment of proximal humeral fractures: a retrospective population-based study.* The Bone & Joint Journal, 2019. **101**(10): p. 1272-1279.
143. Bateman, J.E., *The diagnosis and treatment of ruptures of the rotator cuff.* Surgical Clinics of North America, 1963. **43**(6): p. 1523-1530.
144. Bahrs, C., et al., *Effect of proximal humeral fractures on the age-specific prevalence of rotator cuff tears.* Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 2010. **69**(4): p. 901-906.
145. Milgrom, C., et al., *Rotator-cuff changes in asymptomatic adults. The effect of age, hand dominance and gender.* The Journal of bone and joint surgery. British volume, 1995. **77**(2): p. 296-298.
146. Zyto, K., et al., *Treatment of displaced proximal humeral fractures in elderly patients.* The Journal of bone and joint surgery. British volume, 1997. **79**(3): p. 412-417.
147. Zyto, K., *Non-operative treatment of comminuted fractures of the proximal humerus in elderly patients.* Injury, 1998. **29**(5): p. 349-352.
148. Court-Brown, C., H. Cattermole, and M. McQueen, *Impacted valgus fractures (BI. 1) of the proximal humerus: the results of non-operative treatment.* The Journal of bone and joint surgery. British volume, 2002. **84**(4): p. 504-508.
149. Launonen, A.P., et al., *Operative versus non-operative treatment for 2-part proximal humerus fracture: A multicenter randomized controlled trial.* PLoS medicine, 2019. **16**(7): p. e1002855.
150. Mutschler, W., *Die operative Behandlung von dislozierten Zweifragmentfrakturen des proximalen Humerus bei älteren Menschen ist der nichtoperativen Behandlung nicht überlegen Ergebnisse einer prospektiven randomisierten multizentrischen Studie.* Unfallchirurg, 2020: p. 501-504.
151. Platzer, P., et al., *Displaced fractures of the greater tuberosity: a comparison of operative and nonoperative treatment.* Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 2008. **65**(4): p. 843-848.
152. George, M.S., *Fractures of the greater tuberosity of the humerus.* JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2007. **15**(10): p. 607-613.
153. Gradl, G., et al., *Is locking nailing of humeral head fractures superior to locking plate fixation?* Clinical Orthopaedics and Related Research®, 2009. **467**(11): p. 2986.
154. Mittlmeier, T.W., et al., *Stabilization of proximal humeral fractures with an angular and sliding stable antegrade locking nail (Targon PH).* JBJS, 2003. **85**(Suppl. 4): p. 136-146.
155. Katthagen, J., et al., *Nagelosteosynthese proximaler Humerusfrakturen.* Obere Extremität, 2012. **7**(3): p. 128-136.
156. Noda, M., Y. Saegusa, and T. Maeda, *Does the location of the entry point affect the reduction of proximal humeral fractures? A cadaveric study.* Injury, 2011. **42**: p. S35-S38.

157. Lill, H., et al., *All-arthroscopic intramedullary nailing of 2-and 3-part proximal humeral fractures: a new arthroscopic technique and preliminary results*. Archives of orthopaedic and trauma surgery, 2012. **132**(5): p. 641-647.
158. Euler, S.A., et al., *Biomechanical evaluation of straight antegrade nailing in proximal humeral fractures: the rationale of the "proximal anchoring point"*. International Orthopaedics, 2017. **41**(9): p. 1715-1721.
159. Euler, S., et al., *Lack of fifth anchoring point and violation of the insertion of the rotator cuff during antegrade humeral nailing: pitfalls in straight antegrade humeral nailing*. The Bone & Joint Journal, 2014. **96**(2): p. 249-253.
160. Dietrich, M., et al., *Complex fracture of the proximal humerus in the elderly. Locking plate osteosynthesis vs hemiarthroplasty*. Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin, 2008. **79**(3): p. 231-240.
161. Falborg, B., et al., *Outcome of cemented Neer II hemiarthroplasty in displaced humeral head fractures*. Acta Orthopædica Belgica, 2008. **74**(1): p. 7.
162. Gallinet, D., et al., *Three or four parts complex proximal humerus fractures: hemiarthroplasty versus reverse prosthesis: a comparative study of 40 cases*. Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research, 2009. **95**(1): p. 48-55.
163. Gallinet, D., et al., *Improvement in shoulder rotation in complex shoulder fractures treated by reverse shoulder arthroplasty*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2013. **22**(1): p. 38-44.
164. Sebastiá-Forcada, E., et al., *Reverse shoulder arthroplasty versus hemiarthroplasty for acute proximal humeral fractures. A blinded, randomized, controlled, prospective study*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2014. **23**(10): p. 1419-1426.
165. Wang, J., et al., *Meta-analysis suggests that reverse shoulder arthroplasty in proximal humerus fractures is a better option than hemiarthroplasty in the elderly*. International orthopaedics, 2016. **40**(3): p. 531-539.
166. Shukla, D.R., et al., *Hemiarthroplasty versus reverse shoulder arthroplasty for treatment of proximal humeral fractures: a meta-analysis*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2016. **25**(2): p. 330-340.
167. Grubhofer, F., et al., *Reverse total shoulder arthroplasty for acute head-splitting, 3-and 4-part fractures of the proximal humerus in the elderly*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2016. **25**(10): p. 1690-1698.
168. Cuff, D.J. and D.R. Pupello, *Comparison of hemiarthroplasty and reverse shoulder arthroplasty for the treatment of proximal humeral fractures in elderly patients*. JBJS, 2013. **95**(22): p. 2050-2055.
169. Kralinger, F., et al., *Outcome after primary hemiarthroplasty for fracture of the head of the humerus: a retrospective multicentre study of 167 patients*. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 2004. **86**(2): p. 217-219.
170. Boileau, P., et al., *Tuberosity malposition and migration: reasons for poor outcomes after hemiarthroplasty for displaced fractures of the proximal humerus*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2002. **11**(5): p. 401-412.
171. Zumstein, M.A., et al., *Problems, complications, reoperations, and revisions in reverse total shoulder arthroplasty: a systematic review*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2011. **20**(1): p. 146-157.
172. Klein, M., et al., *Treatment of comminuted fractures of the proximal humerus in elderly patients with the Delta III reverse shoulder prosthesis*. Journal of orthopaedic trauma, 2008. **22**(10): p. 698-704.
173. Katthagen, J.C., et al., *Influence of plate material and screw design on stiffness and ultimate load of locked plating in osteoporotic proximal humeral fractures*. Injury, 2016. **47**(3): p. 617-624.
174. Katthagen, J.C., et al., *Outcomes of proximal humeral fracture fixation with locked CFR-PEEK plating*. European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology, 2017. **27**(3): p. 351-358.
175. Schliemann, B., et al., *Treatment of proximal humerus fractures with a CFR-PEEK plate: 2-year results of a prospective study and comparison to fixation with a*

- conventional locking plate*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2015. **24**(8): p. 1282-1288.
176. Windolf, M., *Biomechanik der Implantataugmentation*. Der Unfallchirurg, 2015. **118**(9): p. 765-771.
177. Kathrein, S., et al., *Biomechanical comparison of an angular stable plate with augmented and non-augmented screws in a newly developed shoulder test bench*. Clinical Biomechanics, 2013. **28**(3): p. 273-277.
178. Röderer, G., et al., *Biomechanical in vitro assessment of screw augmentation in locked plating of proximal humerus fractures*. Injury, 2013. **44**(10): p. 1327-1332.
179. Schliemann, B., et al., *Screw augmentation reduces motion at the bone-implant interface: a biomechanical study of locking plate fixation of proximal humeral fractures*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2015. **24**(12): p. 1968-1973.
180. Siebenbürger, G., et al., *Screw-tip augmentation versus standard locked plating of displaced proximal humeral fractures: a retrospective comparative cohort study*. Journal of shoulder and elbow surgery, 2019. **28**(7): p. 1326-1333.
181. Katthagen, J.C., et al., *Cement augmentation of humeral head screws reduces early implant-related complications after locked plating of proximal humeral fractures*. Obere Extremität, 2018. **13**(2): p. 123-129.
182. Blazejak, M., et al., *In vitro temperature evaluation during cement augmentation of proximal humerus plate screw tips*. Injury, 2013. **44**(10): p. 1321-1326.

## 7. Anhang

### 7.1 Abkürzungsverzeichnis

%CS	Constant-Score prozentual zur Gegenseite
A.	Arteria
a.p.	anterior-posterior
Aa.	Arteriae
AAOS	American Academy of Orthopedic Surgeons
Abb.	Abbildung
ACA	Arteria circumflexa humeri anterior
ANOVA	Analysis of variance
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
AVN	Avaskuläre Nekrose
CCD	Centrum/Caput-Collum-Diaphyse
CI	Konfidenzintervall
COMSS	Council of Musculoskeletal Specialty Societies
CS	Constant-Score
DASH	Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand
DTI	Deltoid Tuberosity Index
GK	Gesamtkollektiv
IQOLA	International Quality of Life Assessment
IQR	Interquartilsabstand
ISP	Musculus infraspinatus
KK	Komplikationskollektiv
KOK	Kollektiv ohne Komplikationen
M.	Musculus
ME	Materialentfernung
MOS	Medical Outcome Study
MW	Mittelwert/Arithmetisches Mittel
n	Anzahl
NCB®-PH	Non-Contact Bridging for the Proximal Humerus
nCS	Normierter Constant-Score
ORIF	Open Reduction Internal Fixation
P.	Punkte
PCA	Arteria circumflexa humeri posterior
PEEK	Polyetheretherketon
PHF	Proximale Humerusfraktur
PHILOS®	Proximal Humerus Interlocking System
PROFHER	Proximal Fracture of the Humerus Evaluation by Randomization
Q-Q	Quantil-Quantil
RM	Rotatorenmanschette
SD	Standardabweichung
SF-36	Short-Form Health Survey
SSC	Musculus subscapularis

SSP	Musculus supraspinatus
Tab.	Tabelle
Tub.	Tuberculum
Tubb.	Tubercula
V.	Vena

## 7.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Modifizierte Klassifikation nach Codman [22]; übernommen aus [25].	4
Abb. 2: Links: Zwei Abbildungen hinsichtlich der metaphysären Kopfextension (medialer Kalkar). Je länger der Kalkar, desto wahrscheinlicher ist die Erhaltung der Humeruskopfperfusion [26]. Rechts: Zwei Abbildungen hinsichtlich des medialen Hinge. Erstere zeigt eine vorhandene Hinge-Integrität auf, während letztere eine fehlende Hinge-Integrität darstellt; Abbildungen übernommen aus [26].	5
Abb. 3: Musterbild einer PHILOS®-Plattenosteosynthese (mit freundlicher Genehmigung der Synthes DePuy GmbH, Oberdorf, Schweiz).	12
Abb. 4: Flow-Chart der mittels CS (sowie nCS) klinisch nachuntersuchten Frakturfälle. PHF Proximale Humerusfraktur. Follow-up=53,2% (n=557/1047), MW 4,0 Jahre, Median 3,3 Jahre.	21
Abb. 5: Schematische Darstellung der Neer-Klassifikation; übernommen aus [122]. Additiv zu vorangegangener Beschreibung kann die 2-Fragment-Fraktur durch das Collum chirurgicum (III) frakturmorphologisch als impaktierte Fraktur, Fraktur mit seitlicher Dislokation und Fraktur mit Trümmerzone dargestellt werden [123].	22
Abb. 6: Schematische Darstellung der AO-Klassifikation; übernommen aus [122]. Abgebildet sind die drei Haupttypen (A, B, C) mit den entsprechenden drei Gruppen (1, 2, 3). Auf die weitere Subgruppierung, zur Komplettierung der 27 Frakturmorphologien, wird zur verbesserten Übersichtsdarstellung verzichtet. In der vorliegenden Arbeit erfolgt die Klassifizierung der Frakturen nach AO gemäß der neun abgebildeten Frakturgruppen.	23
Abb. 7: Absolute Frakturverteilung des Gesamtkollektivs, basierend auf der Neer-Klassifikation, Gesamtzahl n=1047 (X-Achse: Neer-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl).	25
Abb. 8: Absolute Frakturverteilung des Gesamtkollektivs, basierend auf der AO-Klassifikation, Gesamtzahl n=1047 (X-Achse: AO-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl).	25
Abb. 9: Berechnung des Humeruskopf-Schaft-Winkels im a.p.-Strahlengang durch die Zeichnung dreier Linien und dem Schnittpunkt der Linie entlang der Längsachse des Humerusschafts mit der Senkrechten zur Linie von inferiorer + superiorer Gelenkfläche [127, 128].	26
Abb. 10: Vergleich CS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationskollektiv/Gruppe B (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).	32
Abb. 11: Vergleich nCS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationskollektiv/Gruppe B (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).	33
Abb. 12: Vergleich %CS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationskollektiv/Gruppe B (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer).	33

- Abb. 13: Vergleich DASH von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationskollektiv/Gruppe B (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer). ..... 34
- Abb. 14: Komplikationstyp 1. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der linken Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese illustriert eine milde Varusdislokation des Humeruskopfes. Die Humeruskopf-Kortikalis bleibt intakt, sodass kein Schrauben-Cutout vorliegt. Mitte: Messung der Varusdislokation bei einer a.p.-Röntgenaufnahme einer rechten Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese. Die Varusdislokation beträgt  $16^\circ$  relativ zum anatomischen CCD Winkel von  $135^\circ$ . Es resultiert kein Schrauben-Cutout. Rechts: Musterbild. Die milde Varusdislokation des Humeruskopfes nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten Zeichnung (initial korrekte Humeruskopfstellung) in die prominent schwarze Zeichnung dargestellt. .... 36
- Abb. 15: Komplikationstyp 2a. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der rechten Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese zeigt eine mittelgradige Varusdislokation des Humeruskopfes. Die kranialste Schraube durchbricht die Humeruskopf-Kortikalis (Schrauben-Cutout). Mitte: CCD-relative Varusdislokation von  $19^\circ$ . Rechts: Musterbild. Die mittelgradige Varusdislokation des Humeruskopfes nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten (initial korrekte Humeruskopfstellung) in die prominent schwarze Zeichnung mit Schrauben-Cutout (zweifach) illustriert. .... 37
- Abb. 16: Komplikationstyp 2b. Links: Die Y-View-Röntgenaufnahme der linken Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese veranschaulicht eine Dislokation des Tub. majus. Rechts: Musterbild. Bei Z.n. winkelstabiler Plattenosteosynthese wird die Dislokation des Tub. majus durch die Trennung der prominent schwarzen Zeichnung von der gezackten Zeichnung (initial regelrechte Stellung) abgebildet. .... 37
- Abb. 17: Komplikationstyp 2c. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der rechten Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese zeigt eine schwere Varusdislokation des Humeruskopfes. Die kranialsten Schrauben durchbrechen die Humeruskopf-Kortikalis, sodass ein Schrauben-Cutout vorliegt. Die Humeruskopfsinterung erscheint instabil. Mitte: Messung der Varusdislokation bei einer a.p.-Röntgenaufnahme einer linken Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese mit gleichsinniger Komplikation. Die kranialen Schrauben durchbrechen die Kortikalis. Die Varusdislokation beträgt  $27^\circ$  relativ zum anatomischen CCD Winkel von  $135^\circ$ . Rechts: Musterbild. Die schwere Varusdislokation und Instabilität des Humeruskopfes nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten Zeichnung (initial korrekte Humeruskopfstellung) in die prominent schwarze Zeichnung dargestellt. Es folgt ein Cutout von vier Schrauben. .... 38
- Abb. 18: Komplikationstyp 3. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der rechten Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese bildet eine Dislokation des Humerusschaftbereichs ab, sodass eine Fixierung der Plattenosteosynthese in diesem Loco nicht mehr gewährleistet ist. Die Humeruskopfstellung hingegen ist regelrecht. Rechts: Musterbild. Die Dislokation des Humerusschafts nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten Zeichnung (initial korrekte Humerusschaftstellung) in die prominent schwarze Zeichnung aufgezeigt. .... 39
- Abb. 19: Komplikationstyp 4a. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der rechten Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese stellt eine Nekrose des Humeruskopfes dar. Die

	glenoidale Gelenkfläche ist noch intakt. Rechts: Musterbild. Die Humeruskopfnekrose nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten Zeichnung (regelrechte Humeruskopfanatomie) in die inhomogene, prominent schwarze Zeichnung abgebildet. Es resultiert ein Cutout der kranialsten Schraube, die jedoch keine Schädigung der glenoidalen Gelenkfläche bewirkt. ....	40
Abb. 20:	Komplikationstyp 4b. Links: Die a.p.-Röntgenaufnahme der linken Schulter nach winkelstabiler Plattenosteosynthese illustriert eine Nekrose des Humeruskopfes, die ein Cutout mehrfacher Schrauben impliziert. Dies hat eine Arrosion der glenoidalen Gelenkfläche zur Folge. Rechts: Musterbild. Die Humeruskopfnekrose nach winkelstabiler Plattenosteosynthese wird durch den Übergang der gestrichelten Zeichnung (regelrechte Humeruskopfanatomie) in die inhomogene, prominent schwarze Zeichnung abgebildet. Es resultiert ein mehrfaches Schrauben-Cutout. Die darauf basierende Schädigung der glenoidalen Gelenkfläche wird durch die Sternsymbole an der Cavitas glenoidalis markiert. ....	40
Abb. 21:	Vergleich CS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationstypen (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer). .	46
Abb. 22:	Vergleich nCS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationstypen (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer). ....	46
Abb. 23:	Vergleich %CS von Kollektiv ohne Komplikationen/Gruppe A und Komplikationstypen (X-Achse: Untersuchungskollektiv, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer). ....	47
Abb. 24:	Lineare Regression von Varusdislokation und Constant-Score, Funktion der Regressionsgerade: $CS=71,943-0,608 \times \text{Varusdislokation}$ (X-Achse: Varusdislokation des Humeruskopfes in Grad, Y-Achse: Constant-Score). ....	49
Abb. 25:	CS in Abhängigkeit der Varusdislokation des Humeruskopfes von $<10^\circ$ , $10-22^\circ$ , $>22^\circ$ (X-Achse: Gruppen entsprechender Varusdislokation des Humeruskopfes, Y-Achse: Median, IQR, Extremwerte, Ausreißer). ....	50
Abb. 26:	Verteilung der Komplikationen auf Grundlage des jeweiligen Frakturtyps der Neer-Klassifikation, Gesamtzahl n=193 (X-Achse: Neer-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl). ...	52
Abb. 27:	Verteilung der Komplikationen auf Grundlage des jeweiligen Frakturtyps der AO-Klassifikation, Gesamtzahl n=193 (X-Achse: AO-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl). ....	52
Abb. 28:	Gegenüberstellung der Anzahl mit Komplikationen (dunkel) und ohne Komplikationen (hell) in Bezug des jeweiligen Frakturtyps, basierend auf der Neer-Klassifikation (X-Achse: Neer-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl). ....	53
Abb. 29:	Gegenüberstellung der Anzahl mit Komplikationen (dunkel) und ohne Komplikationen (hell) in Bezug des jeweiligen Frakturtyps, basierend auf der AO-Klassifikation (X-Achse: AO-Klassifikation, Y-Achse: Anzahl). ....	53

### 7.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Zusammensetzung des Constant-Score aus den jeweiligen vier Parametern (Schmerz, Alltagsaktivitäten, Bewegungsumfang, Kraft) mit entsprechender Punkteverteilung. In der Summe können als Bestwert 100 Punkte errechnet werden [111]. ....	17
---------	---	----

Tab. 2: Parameter Schmerz des Constant-Score. Aufgeführt sind die jeweiligen Abstufungen mit entsprechender Punkteverteilung. Der Bestwert stellt sich mit 15 Punkten dar [111].	17
Tab. 3: Parameter Alltagsaktivitäten des Constant-Score. Aufgeführt sind die Teilaspekte des Aktivitätslevels und die Positionen der schmerzfreien Handreichweite mit entsprechender Punkteverteilung. Bestmöglich können 20 Punkte errechnet werden [111].	17
Tab. 4: Parameter aktiver, schmerzfreier Bewegungsumfang des Constant-Score hinsichtlich Flexion und Abduktion. Aufgeführt sind die jeweiligen Positionen in Grad mit entsprechender Punkteverteilung. Die höchstmögliche Punktzahl stellt sich für beide Bewegungsachsen mit jeweils 10 Punkten dar [111].	18
Tab. 5: Parameter aktiver, schmerzfreier Bewegungsumfang des Constant-Score hinsichtlich Außenrotation. Aufgeführt sind die jeweiligen Positionen mit entsprechender Punkteverteilung. Die maximal zu erreichende Punktzahl summiert sich aus den angegebenen Teilstufen und ergibt 10 Punkte [111].	18
Tab. 6: Parameter aktiver, schmerzfreier Bewegungsumfang des Constant-Score hinsichtlich Innenrotation. Aufgeführt sind die jeweiligen Positionen mit entsprechender Punkteverteilung. Die maximal zu erreichende Punktzahl liegt durch Erreichen der letzten Position bei 10 Punkten [111].	18
Tab. 7: Alters- und geschlechtsadaptierte Normal-Werte für den Constant-Score nach Katolik et al. zur Berechnung des normierten Constant-Score [113].	19
Tab. 8: Zusammenfassende Darstellung und Interpretation der Neer-Klassifikation.	22
Tab. 9: Vergleichsdarstellung der funktionellen Ergebnisse mittels Mittelwert und Standardabweichung von CS, nCS, %CS des Gesamtkollektivs, Gruppe A und Gruppe B. Zusätzliche Auflistung der Geschlechterverteilung und des mittleren Alters; aufgeteilt jeweils in obere Zeile für CS/nCS und untere Zeile für %CS.	31
Tab. 10: Ergebnisse der subjektiven Lebensqualität nach Untergruppen des Short-Form Health Surveys (SF-36) mittels Mittelwert und Standardabweichung sowie des <i>p</i> -Werts für den Gruppenvergleich von Gruppe A und B. GK mit n=379, MW 4,6 Jahre, Median 4,0 Jahre, SD 2,5 Jahre. Gruppe A mit n=307, MW 4,7 Jahre, Median 4,1 Jahre, SD 2,5 Jahre. Gruppe B mit n=72, MW 4,0 Jahre, Median 3,7 Jahre, SD 2,3 Jahre.	35
Tab. 11: Deskriptive Verteilung der Komplikationstypen.	41
Tab. 12: Funktionelle Ergebnisse mittels Mittelwert und Standardabweichung von CS, nCS, %CS der Komplikationstypen und Gruppe B sowie das jeweilige Follow-up der Funktionsscores in Jahren (Mittelwert, Standardabweichung und Median).	42
Tab. 13: Zeitliche Manifestation der einzelnen Komplikationstypen und von Gruppe B, in Monaten mittels Mittelwert und Standardabweichung.	47
Tab. 14: Varusdislokationsgraduierung des Humeruskopfes in Grad von Komplikationstyp 1, 2a und 2c mittels Mittelwert, Standardabweichung und Minimal-/Maximalwert.	48
Tab. 15: Revisionsnotwendigkeit und Verteilung der durchgeführten Revisionen in Abhängigkeit des Komplikationstyps. Je nach Komplikationstyp sind die dominierenden Verfahren dunkel hinterlegt.	51
Tab. 16: Prozentuale Häufigkeiten der Komplikationsentwicklung in Assoziation des Frakturtyps der Neer-Klassifikation.	53
Tab. 17: Verteilung der Komplikationstypen auf die einzelnen Frakturtypen der Neer-Klassifikation und AO-Klassifikation. Die dunkel hinterlegten Felder spiegeln die dominierende(n) Frakturgruppe(n) der jeweiligen Komplikationstypen (mit zugehörigem Prozentwert).	54

## 7.4 Publikationsverzeichnis

Haasters F., Siebenbürger G., Helfen T., **Daferner M.**, Böcker W., & Ockert B. (2016). Complications of locked plating for proximal humeral fractures-are we getting any better?. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 25(10), e295-e303.

G. Siebenbürger, **M. Daferner**, E. Fleischhacker, J. Gleich, E. Böhm, T. Helfen, W. Böcker, B. Ockert: Versagensmuster der winkelstabilen Plattenosteosynthese nach Versorgung dislozierter proximaler Humerusfrakturen - Definition, zeitliches Auftreten und Komplikationsmanagement. Deutsche Vereinigung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie (DVSE) Science Days, Nov. 2021.

G. Siebenbürger, **M. Daferner**, E. Fleischhacker, J. Gleich, E. Böhm, T. Helfen, W. Böcker, B. Ockert: Funktionelles Outcome nach winkelstabiler Plattenosteosynthese proximaler Humerusfrakturen - eine Auswertung von 557 Fällen nach einem mittleren Follow-Up Zeitraum von 4 Jahren. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU), Okt. 2021, Berlin.

G. Siebenbürger, **M. Daferner**, E. Fleischhacker, J. Gleich, E. Böhm, T. Helfen, W. Böcker, B. Ockert: Versagensmuster der winkelstabilen Plattenosteosynthese nach Versorgung dislozierter proximaler Humerusfrakturen - Definition, zeitliches Auftreten und Komplikationsmanagement. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU), Okt. 2021, Berlin.

Siebenbürger G., **Daferner M.**, Biermann N., Fleischhacker E., Helfen T., Böcker W., Ockert B. Die sekundäre Varusdislokation nach winkelstabiler Plattenosteosynthese der proximalen Humerusfraktur - zwangsläufig ein schlechtes Outcome? Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU), Okt. 2018, Berlin.

Siebenbürger G., **Daferner M.**, Fleischhacker E., Biermann N., Helfen T., Ockert B. Sekundäre Varusdislokation nach winkelstabiler Plattenosteosynthese - Immer ein schlechtes Outcome? Deutsche Vereinigung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie (DVSE), Juni 2018, Regensburg.

Ben Ockert, **Mark Daferner**, Niklas Biermann, Georg Siebenbürger, Mirjam Lange, Tobias Helfen, Wolfgang Böcker: Locked Plating For Displaced Proximal Humeral Fractures - Outcome And Complications In 1104 Consecutive Cases. European Society for Surgery of the Shoulder and the Ellbow (SECEC), Sept. 2017, Berlin.

Ben Ockert, **Mark Daferner**, Mirjam Lange, Niklas Biermann, Tobias Helfen, Wolfgang Böcker, Georg Siebenbürger. Synthetically Augmented Locking Plate Osteosynthesis Of Displaced Proximal Humeral Fractures - Outcomes And "Matched Pair" Analysis In Comparison To Primary Reversed Shoulder Arthroplasty. European Society for Surgery of the Shoulder and the Ellbow (SECEC), Sept. 2017, Berlin.

Siebenbürger G, Helfen T, **Daferner M.**, Biermann N, Böcker W, Euler E, Ockert B.: Konservative versus operative Behandlung der Skapulafraktur mit Beteiligung der Fossa glenoidalis (Euler u. Rüedi Typ D2) - klinische und radiologische Langzeitergebnisse mit einem minimalen Follow-up von 10 Jahren. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU), Okt. 2016, Berlin.

## 8. Danksagung

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, *Herrn Prof. Dr. med. Ben Ockert*, für die Bereitstellung des Promotionsthemas, die Unterstützung während der Studie sowie die Integration unter seiner Leitung in das Team der Schulter- und Ellenbogenchirurgie an der Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität München. Darüber hinaus möchte ich dem gesamten Team der Schulter- und Ellenbogenchirurgie für die angenehme Zusammenarbeit danken.

Ein großer Dank geht an *Herrn Dr. med. Georg Siebenbürger* für die Betreuung und Hilfestellung bei der Ausarbeitung des Promotionsthemas.

Ebenso möchte ich *Dipl.-Ing. (FH) Herrn Hans-Werner Weiss*, Freier Architekt und Sachverständiger, für dessen Kooperation bei der Gestaltung und Ausarbeitung der bildlichen Darstellung der Komplikationstypen sowie die hierfür notwendig gewesene Geduld danken.

Der Dank gebührt meinen Großeltern, *Kristina* und *Konrad Brücker*. Sie zeigten mir mit ihrer Erziehung bereits zu Kindheitstagen, worin die wahre Bedeutung von Hingabe und Menschenstärke liegt. Dass Zielstrebigkeit die essentielle Tugend des Erfolgs ist. Gleichartig herzlicher Dank gilt meinen Eltern, *Elke* und *Helmut Daferner*, für die endlose Unterstützung, Güte, Wertschätzung und das vollste Vertrauen in mich.

Ein letzter Dank gilt meiner Freundin *Anna-Maria Goppelsröder* für ihre Liebe, Gutherzigkeit und Loyalität. Mit Stolz kann ich sie stets an meiner Seite wissen.