

Aus dem Klinikum Stuttgart
Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Tübingen
Zentrum für Operative Medizin
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie

**Osteosyntheseversagen bei proximalen Humerusfrakturen –
der Deltoid Tuberosity Index**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Ehrhard, David-Benjamin

2021

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. C. Knop
2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. C. Konrads

Tag der Disputation: 19.07.2021

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
1.1 Vorwort.....	6
1.2 Anatomie des proximalen Humerus	8
1.3 Erhobene Parameter.....	10
1.3.1 Der Deltoid Tuberosity Index (DTI)	12
1.3.2 Schrauben-Cut-Out.....	13
1.3.3 Medial Hinge Displacement	14
1.3.4 Neck-Shaft-Angle.....	15
1.3.5 Metaphyseal Head Extension	16
1.3.6 ASA-Score.....	16
1.3.7 Repositionsergebnis.....	17
1.3.8 Humeruskopfnekrose.....	17
1.3.9 Pseudarthrose.....	18
1.4 Risikofaktoren für proximale Humerusfrakturen	18
1.5 Die Klassifikationen der proximalen Humerusfraktur	19
1.6 Die konservative Therapie der proximalen Humerusfraktur	26
1.7 Die operative Therapie der proximalen Humerusfraktur	27
1.8 Das Osteosyntheseversagen.....	29
1.9 Die Schulterendoprothese.....	29
1.10 Ziel der Studie	33
2 Material und Methoden	34
2.1 Patienten	34
2.2 Messung der Parameter	35
2.2.1 Der Deltoid Tuberosity Index (DTI)	35
2.2.2 Schrauben-Cut-Out.....	37
2.2.3 Medial Hinge Displacement	37

2.2.4 Neck-Shaft-Angle	38
2.2.5 Metaphyseal Head Extension	40
2.2.6 Repositionsergebnis.....	40
2.2.7 Humeruskopfnekrose.....	41
2.3 Statistik.....	41
3 Ergebnisse	42
3.1 Stammdaten	42
3.2 Zeitlicher Ablauf der Behandlung	44
3.3 DTI	45
3.4 Schrauben-Cut-Out.....	48
3.5 Klassifikationen	54
3.6 Medial Hinge Displacement	59
3.7 Neck-Shaft-Angle.....	59
3.7.1 Präoperativ.....	59
3.7.2 Postoperativ	60
3.8 Metaphyseal Head Extension	61
3.9 Schraubenanzahl.....	61
3.10 Humeruskopfnekrose.....	62
4 Diskussion.....	63
5 Zusammenfassung	76
6 Literaturverzeichnis	77
7 Erklärung zum Eigenanteil	81
8 Danksagung.....	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung Nr. 1: Anatomie des proximalen Humerus	9
Abbildung Nr. 2: Blutgefäßversorgung des proximalen Humerus.....	10
Abbildung Nr. 3: Neer-Klassifikation	23
Abbildung Nr. 4: AO-Klassifikation	25
Abbildung Nr. 5: AP-Röntgenaufnahme Hemiprothese.....	31
Abbildung Nr. 6: AP-Röntgenaufnahme anatomische Endoprothese	32
Abbildung Nr. 7: Biomechanische Veränderungen bei inverser Prothese	33
Abbildung Nr. 8: AP-Röntgenaufnahme mit Messung des DTI	36
Abbildung Nr. 9: AP-Röntgenaufnahme bei postoperativem Schrauben-Cut-Out	37
Abbildung Nr. 10: Schematische Darstellung des Medial Hinge Displacement.....	38
Abbildung Nr. 11: Messung der Neck-Shaft-Angle mit IMPAX.....	39
Abbildung Nr. 12: Schematische Darstellung der Metaphyseal Head Extension	40
Abbildung Nr. 13: Altersgruppenverteilung.....	42
Abbildung Nr. 14: Boxplot Patientenalter und Cut-Out.....	43
Abbildung Nr. 15: Geschlechterverteilung bei proximalen Humerusfrakturen	43
Abbildung Nr. 16: Verteilung DTI-Werte auf Patientenalter mit Trendlinie.....	45
Abbildung Nr. 17: Verteilung DTI-Werte auf Patientenalter mit und ohne Cut-Out....	46
Abbildung Nr. 18: P-Werte für Cut-Out-Risiko bei steigendem DTI.....	47
Abbildung Nr. 19: Sensitivität und Spezifität des DTI für Schrauben-Cut-Out	48
Abbildung Nr. 20: Altersgruppenverteilung mit Cut-Out Anteil	49
Abbildung Nr. 21: P-Werte für Cut-Out-Risiko bei steigendem Alter.....	50
Abbildung Nr. 22: Sensitivität und Spezifität für Korrelation zw. Alter und Cut-Out ..	51
Abbildung Nr. 23: Cut-Out-Rate in Bezug auf erhobenen ASA-Score	52
Abbildung Nr. 24: Häufigkeit des Cut-Outs in Korrelation mit Repositionsergebnis ...	53
Abbildung Nr. 25: Verteilung AO-Klassifikation im Patientenkollektiv.....	54

Abbildung Nr. 26: AO-Klassifikation der untersuchten Frakturen mit Untergruppen...	55
Abbildung Nr. 27: Verteilung Neer-Klassifikation im Patientenkollektiv.....	56
Abbildung Nr. 28: Cut-Out-Rate in Abhängigkeit der AO-Klassifizierung	56
Abbildung Nr. 29: Cut-Out-Rate in Abhängigkeit der Neer-Klassifizierung	57
Abbildung Nr. 30: Korrelation der Komplikationen mit der Frakturklassifikation	58
Abbildung Nr. 31: Schrauben-Cut-Out in Korrelation mit der postoperativen NSA.....	61

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
AP	anteroposterior
ASA	American Society of Anaesthesiologists
BMI	Body-Mass-Index
CRIF	Closed Reduction and Internal Fixation
DTI	Deltoid Tuberosity Index
ICD	International Statistical Classification of Diseases
M.	Musculus
MHD	Medial Hinge Displacement
MHE	Metaphyseal Head Extension
NSA	Neck-Shaft-Angle
ORIF	Open Reduction and Internal Fixation
pQCT	Periphere Quantitative Computer-Tomographie
Tub.	Tuberculum

1 Einleitung

1.1 Vorwort

Bei proximalen Humerusfrakturen handelt es sich um Brüche des schulternahen Oberarmknochens. Diese Art Fraktur tritt vor allem bei Patienten in fortgeschrittenem Lebensalter und mit Osteoporose auf. In einer Studie von *Chu et al.* zeigten sich 62% dieser Brüche bei Patienten in einem Alter von 65 Jahren oder älter. 74% der Patienten waren weiblich [1]. Nach dem distalen Radius, der Wirbelsäule und der Hüfte sind die proximalen Humerusfrakturen die vierthäufigsten osteoporotischen Frakturen [2]. Anatomisch bedingt zeigen sich die Frakturen meist in einem der folgenden Bereiche des proximalen Humerus: Gelenkfläche, Tuberculum majus, Tuberculum minus oder dem körpernahen Humerusschaft. Diese vier anatomischen Landmarken spielen auch bei der Klassifizierung der proximalen Humerusfrakturen nach Codman und Neer eine bedeutende Rolle [3][4]. In den meisten Fällen liegt der Fraktur ein Sturz auf den ausgestreckten Arm zugrunde [5]. In einer Kadaverstudie von *Majed et al.* zeigten sich bei Stürzen auf den ausgestreckten Arm dislozierte und mehrteilige Frakturen, während bei direkten Stürzen auf die Schulter eher undislozierte Frakturen resultierten [5]. Klinisch können sich im Falle einer Fraktur die klassischen unsicheren Frakturzeichen wie Schmerz, Schwellung, Rötung, Wärme, Functio laesa sowie Hämatombildung zeigen. Sichere Zeichen sind Achsfehlstellungen, Krepitation sowie tastbare Knochenlücken. Wichtig ist neben der radiologischen Diagnostik eine differenzierte klinische Untersuchung, bei der vor allem auf die periphere Durchblutung sowie den Nervenstatus geachtet werden muss, da Gefäß- und Nervenschäden eine seltene, aber schwere Komplikation darstellen. Offene Frakturen zeigen sich in diesem Bereich sehr selten.

Die Entscheidung zwischen operativer und konservativer Therapie wird auch in heutiger Zeit noch oft und kontrovers diskutiert. In einer prospektiven Studie konnten *Rikli et al.* zeigen, dass in einem alterierten Algorithmus mit bevorzugt konservativer Therapie bei älteren Patienten ein deutlich höheres Level an Selbstständigkeit erhalten blieb [6]. Die

operative Versorgung erlaubt dem Patienten eine frühfunktionelle Beübung des Armes und ist daher vor allem bei jungen Patienten das Mittel der Wahl in der Behandlung, um Bewegungseinschränkungen vorzubeugen. Bei der operativen Versorgung mit winkelstabiler Plattenosteosynthese zeigen sich jedoch in mehreren Studien, vor allem bei Patienten in fortgeschrittenem Lebensalter, alarmierend hohe Raten von Osteosyntheseversagen mit Protrusion der Schrauben durch die subchondrale Fläche, dem sogenannten Schrauben-Cut-Out [7][8]. In einer Studie von *Owsley et al.* erlitten Patienten mit >60 Jahren sogar in 43% der Fälle ein postoperatives Schrauben-Cut-Out [8]. Wenn man diesen Ergebnissen nun die guten Resultate der konservativen Therapie gegenüberstellt, stellt sich die berechtigte Frage nach der optimalen Therapieform. Ein einfaches und zuverlässiges Tool zur prädiktiven präoperativen Evaluierung des Risikos für Osteosyntheseversagen gab es lange Zeit nicht. Im Jahre 2015 stellten *Spross et al.* mit dem Deltoid Tuberosity Index (DTI) einen Index vor, welcher diese Anforderungen erfüllen könnte [9]. Mit einer einfachen Messung am diagnostisch durchgeführten Röntgenbild kann laut den Kollegen eine qualitative Bestimmung der Knochenqualität erfolgen.

Eine unabhängige wissenschaftliche Überprüfung der Studienergebnisse von *Spross et al.* erfolgte bislang nicht. Somit soll in dieser Dissertation der DTI als Prädiktor für postoperative Komplikationen, insbesondere das postoperative Schrauben-Cut-Out, evaluiert werden. Ein Behandlungszeitraum von 12 Jahren und ein großes Patientenkollektiv mit 306 Patienten wurden gewählt, um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen.

In einer Literaturrecherche ergaben sich weitere Parameter, die einen Einfluss auf postoperative Komplikationen nach proximalen Humerusfrakturen zu haben scheinen. Dabei handelt es sich u.a. um die Frakturklassifikationen, das postoperative Repositionsergebnis, die Neck-Shaft-Angle, das Medial Hinge Displacement und die Metaphyseal Head Extension. Eine Erfassung dieser zusätzlichen Parameter im Zuge der Dissertation erschien sinnvoll, um auch diese als Einflussfaktoren auf Behandlungskomplikationen zu überprüfen. Eine genaue Beschreibung der Parameter folgt in *Kapitel 1.3*, deren Erfassung wird in *Kapitel 2.2* erläutert.

1.2 Anatomie des proximalen Humerus

Im Bereich der oberen Extremitäten bildet der Humerus den längsten Knochen. Im proximalen Bereich weist er folgende wichtige knöcherne Strukturen auf:

- Humeruskopf
- Collum anatomicum
- Collum chirurgicum
- Tuberculum majus
- Tuberculum minus
- Sulcus intertubercularis

Der Humeruskopf bildet zusammen mit der an der Skapula gelegenen Cavitas glenoidalis die Articulatio humeri bzw. das glenohumerale Gelenk. Das Collum anatomicum ist eine Einkerbung, welche sich an der distalen Begrenzung der Gelenkfläche des Humeruskopfes befindet. Hier setzt die Gelenkkapsel des glenohumeralen Gelenkes an. Das Collum chirurgicum liegt im Bereich unterhalb der Tubercula und bildet die Verbindung zwischen Kopf und Schaft des Humerus. Lateral des Humeruskopfes bildet der Knochen das Tuberculum majus. An dessen kranialem Anteil zeigen sich drei kleine Einkerbungen für die Muskelansätze der Musculi supraspinatus, infraspinatus sowie Teres minor. Diese Muskeln bilden 3/4 der Rotatorenmanschette. In anterolateraler Ausrichtung zeigt sich das Tuberculum minus, welches als Ansatz für den Musculus subscapularis dient. Dieser Muskel bildet den übrigen Teil der Rotatorenmanschette. Zwischen den beiden Tubercula bildet der Knochen eine Rinne, der so genannte Sulcus intertubercularis. Durch das Ligamentum transversum humeri wird dieser Kanal verschlossen und bietet eine stabile Laufrinne für die lange Sehne des Musculus biceps brachii. Der Winkel zwischen der Gelenkfläche des Humerus und dem Humerusschaft wird als Neck-Shaft-Angle (NSA) bezeichnet. Als Normwerte werden in einer Studie von *Jung et al.* 120-140° genannt [10].

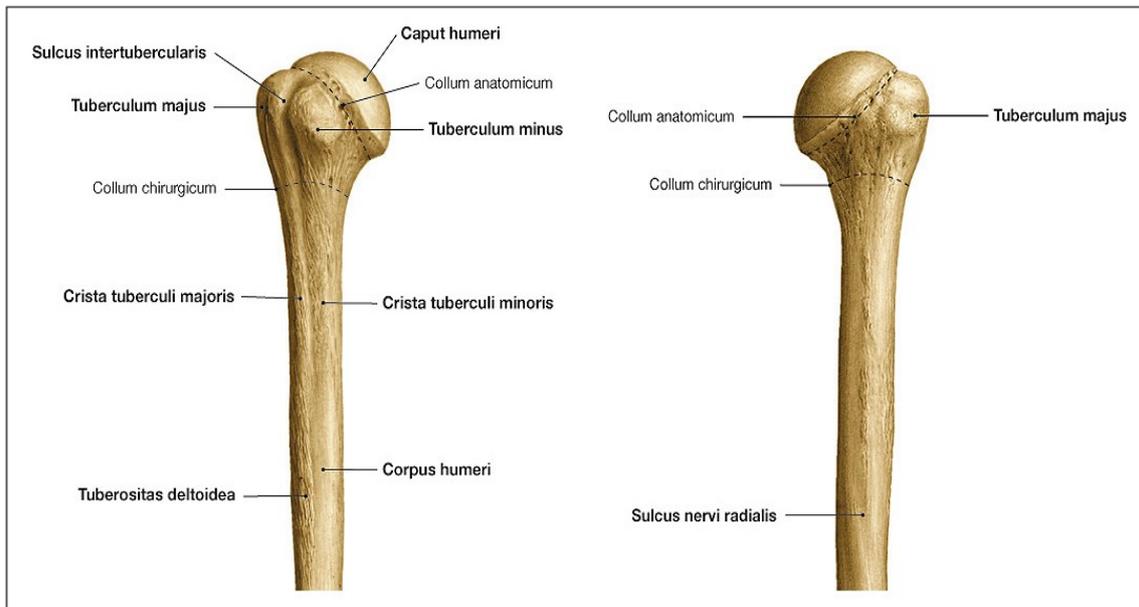


Abbildung Nr. 1: *Anatomie des proximalen Humerus (Friedrich Paulsen, Jens Waschke, Sobotta Band 1 – Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat, Elsevier GmbH München, 23. Auflage 2010, Obere Extremität, S.138-139)*

Die arterielle Versorgung des proximalen Anteils des Humerus erfolgt über die vorderen und hinteren Aa. circumflexae humeri, welche als Äste der A. axillaris entspringen. Diese Äste spannen ein enges Netz an Anastomosen im Bereich des Humeruskopfes und längs entlang der Diaphyse [11].

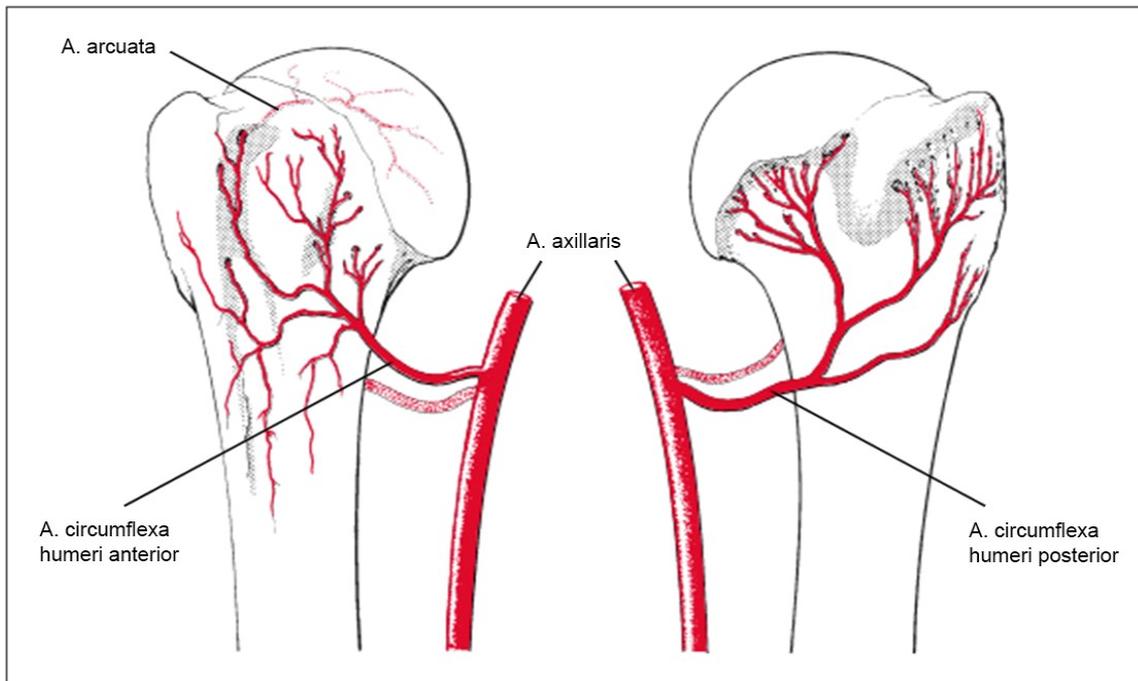


Abbildung Nr. 2: Blutgefäßversorgung des proximalen Humerus über die Aa. circumflexae humeri (Tile M. (2005) *Fractures of the Proximal Humerus. In: The Rationale of Operative Fracture Care. Springer, Berlin, Heidelberg. S.59. https://doi.org/10.1007/3-540-27708-0_4 [12])*

1.3 Erhobene Parameter

Im folgenden Kapitel wird auf die erfassten Parameter eingegangen. Die genaue Methodik der Datenerhebung bezüglich der einzelnen Parameter wird in *Kapitel 2.2* erläutert. Alle erfassten und im Verlauf von uns pseudonymisierten Parameter finden sich in folgender Auflistung.

- Stammdaten
 - Name
 - Geburtstag/Alter
 - Geschlecht
 - Größe und Gewicht
 - BMI
 - ASA-Score

- Daten des klinischen Aufenthaltes

- Aufnahmezeitpunkt
- Zeitpunkt der Operation
- Zeitraum von Aufnahme bis zur Operation
- Zeitpunkt der Entlassung

- Präoperative radiologische Daten
 - AO Frakturklassifikation
 - Neer Frakturklassifikation
 - DTI (Deltoid Tuberosity Index)
 - Medial Hinge Displacement
 - NSA (Neck-Shaft-Angle)
 - Metaphyseal Head Extension

- Postoperative radiologische Daten
 - Anzahl der verwendeten Schrauben
 - Repositionsergebnis (perfekt, akzeptabel, ungenügend)
 - NSA (Neck-Shaft-Angle)

- Allgemeines Follow-Up
 - Datum der letzten Nachuntersuchung
 - Datum der letzten Röntgenaufnahme
 - Tage des durchgeführten Follow-Ups
 - Wiederaufnahme erfolgt (ja/nein)
 - Metallentfernung durchgeführt (ja/nein)
 - Postoperative Infektion (ja/nein)

- Spezifisches Follow-Up bezüglich der Osteosynthese
 - Schrauben-Cut-Out (ja/nein)
 - Datum des Cut-Outs
 - Zeit vom Cut-Out bis zur operativen Revision
 - Humeruskopfnekrose (ja/nein)
 - Pseudarthrose (ja/nein)

- Datum einer operativen Revision
- Konvertierung in endoprothetische Versorgung (ja/nein)

1.3.1 Der Deltoid Tuberosity Index (DTI)

Der DTI wurde 2015 von *Spross et al.* entwickelt, um eine schnelle und unkomplizierte Evaluierung der Knochenqualität bzw. Knochenmineraldichte bei Patienten mit proximalen Humerusfrakturen zu erzielen und somit die Entscheidung zwischen operativer und konservativer Therapie in Bezug auf das Outcome zu vereinfachen [9].

Die Messung des DTI erfolgt auf Röntgenaufnahmen des proximalen Humerus in Innenrotation mit dem Arm auf dem Abdomen liegend. Bei Sturzereignissen mit Verdacht auf eine Fraktur gehört die benötigte Röntgenaufnahme zum Standard der durchgeführten Diagnostik.

Die Knochendichte am proximalen Humerus wurde in mehreren Studien als negativer Faktor für die Stabilität einer ORIF und als Prädiktor für Osteosyntheseversagen bei proximalen Humerusfrakturen angegeben [13][14]. In ihrer ersten Studie im Jahre 2015 verglichen *Spross et al.* den DTI mit Messungen der Knochendichte, welche mittels peripherer quantitativer Computertomographie (pQCT) ermittelt wurde [9]. Hierfür wurden Patienten ohne Fraktur ausgewählt, welche für eine elektive Schulteroperation geplant waren. Diese Patienten hatten zur OP-Vorbereitung bereits ein pQCT zur Knochendichtemessung sowie Röntgenaufnahmen des proximalen Humerus in Innenrotation erhalten. Es sollte dargestellt werden, ob ein niedriger DTI mit einer niedrigen Knochendichte korreliert. Hierbei wurde ein *Threshold*-Wert für die Diagnose einer niedrigen Knochendichte im pQCT bei $80\text{mg}/\text{cm}^3$ festgelegt. Für diesen Wert der Knochendichte konnten die Kollegen einen *Cut-Off* Wert des DTIs bei 1,44 feststellen. Hier zeigte sich die Sensitivität bei 88% und die Spezifität bei 80%. Ein DTI $<1,44$ entsprach somit in ihren Messungen einer verminderten Knochendichte. In den Ergebnissen zeigte sich eine starke Korrelation zwischen DTI und Knochendichte sowie eine moderate Korrelation zwischen dem Patientenalter und dem DTI.

Offen blieben die Fragen nach den besten Prädiktoren für eine gute Reposition und der Relevanz des DTIs in Bezug auf das postoperative Schrauben-Cut-Out [9]. Dieser Frage widmeten sich die Kollegen in einer weiteren Studie im Jahre 2017 [15]. Ziel war hierbei, den Einfluss der Knochendichte, welche mit dem DTI gemessen wurde, auf die operative Behandlung und das Outcome nach der operativen Versorgung zu untersuchen. In der Studie wurden 146 Patienten inkludiert. Darunter befanden sich 108 Frauen (mittleres Alter 69 [25-94] Jahre) und 38 Männer (mittleres Alter 58 [20-86] Jahre). Bei 33 Patienten zeigte sich im postoperativen Verlauf ein sekundäres Schrauben-Cut-Out, was ca. 23% entspricht. In den Untersuchungen zeigte ein $DTI \leq 1,34$ den höchsten prädiktiven Wert für ein Schrauben-Cut-Out. Es konnte eine Sensitivität von 67% und eine Spezifität von 77% ermittelt werden. Die Kollegen konnten zeigen, dass der DTI, das Medial Hinge Displacement und die Metaphyseal Head Extension signifikanten Einfluss auf das Repositionsergebnis hatten. Ebenso zeigte sich, dass Patienten <65 Jahren mit einem $DTI > 1,4$ die besten Chancen hatten, ein Cut-Out zu vermeiden [15]. Diese Ergebnisse und der DTI wurden seither nicht von einer unabhängigen Forschungsgruppe untersucht und überprüft.

1.3.2 Schrauben-Cut-Out

Als Schrauben-Cut-Out wird die Protrusion der eingesetzten Schrauben durch die subchondrale knöcherne Fläche des Humeruskopfes nach winkelstabiler Plattenosteosynthese bezeichnet. Diese kann durch die hervorgerufene Irritation zu deutlichen funktionellen Einschränkungen führen.

Bei der Bewertung ist es wichtig, zwischen dem primären bzw. iatrogenen/intraoperativen Schrauben-Cut-Out sowie dem postoperativen Schrauben-Cut-Out zu unterscheiden. Dies geschah mittels direkten Vergleiches von intraoperativen und postoperativen Röntgenaufnahmen. Wichtig ist auch die Unterscheidung zwischen einem primären Schrauben-Cut-Out und dem sekundären Cut-Out bei Humeruskopfnekrose.

Die betroffenen Patienten stellten sich meistens mit zunehmender Schmerzsymptomatik nach operativer Versorgung in der Sprechstunde des Katharinenhospitals vor. Die Protrusion kann je nach Ausmaß und Dauer mit einer signifikanten Zerstörung der Gelenkfläche einhergehen. Bei ausgeprägtem Beschwerdebild kann eine erneute Operation und in manchen Fällen auch die Implantation einer Endoprothese nötig sein. Die Therapiemöglichkeiten sind die Folgenden:

- Konservative Therapie mittels Physiotherapie
- Metallentfernung
- Re-Osteosynthese
- Endoprothese

Die Therapieentscheidung ist abhängig von Faktoren wie z.B. dem Patientenalter, dem Fitnesszustand, dem Alter der Verletzung oder auch dem Anspruch des Patienten. Eine konservative Therapie kann nur bei minimal fortgeschrittener Protrusion ohne erkennbare Irritation der Gelenkfläche erfolgen. In diesen Fällen handelt es sich meistens um radiologische Zufallsbefunde ohne relevante Beschwerden der Patienten. Eine Metallentfernung kann wiederum nur bei bereits radiologisch konsolidierter Fraktur angeboten werden. In manchen Fällen kann eine Re-Osteosynthese sinnvoll sein. Dies ist vor allem bei jungen Patienten mit relevantem Cut-Out und hohem Anspruch indiziert. Bei relevantem Cut-Out mit starker Beschwerdesymptomatik beim älteren Patienten kann die Implantation einer Endoprothese indiziert sein. Vor allem bei multimorbiden Patienten bietet sich eine solche Versorgung an, da diese besser geplant werden kann und nicht sofort durchgeführt werden muss. Somit können etwaige Anordnungen wie z.B. das *Bridging* von Vollantikoagulanzen problemlos präoperativ durchgeführt werden und der Patient unter größtmöglicher Sicherheit operativ versorgt werden.

1.3.3 Medial Hinge Displacement

Bei diesem Parameter handelt es sich um das Ausmaß der Verschiebung vom Humeruskopf relativ zum Humerusschaft. Das hier vorhandene starke Periost ist nach Überzeugung des aktuellen Forschungsstandes maßgeblich an der Durchblutung des

Humeruskopfes und der Frakturstabilität beteiligt [16]. Im Jahre 2004 wurde durch *Hertel et al.* in einer Studie gezeigt, dass eine Verschiebung von >2 mm am medialen Übergang vom Humeruskopf zum Schaft eine strukturelle Verletzung des Periosts verursacht [16]. Die Forscher um *Hertel et al.* konnten ebenfalls zeigen, dass die die Integrität des Medial Hinge ein relevanter Faktor für eine vaskuläre Ischämie des Humeruskopfes ist [16]. Insgesamt hatten in ihrer Studie 78% der ischämischen Humerusköpfe ein zerstörtes Medial Hinge mit >2 mm Verschiebung. Nur 20% der perfundierten Humerusköpfe zeigten ein zerstörtes Medial Hinge. Ebenso ergab sich eine Korrelation zwischen Schwierigkeit der Reposition und dem Medial Hinge Displacement. In Kadaverstudien von *Kralinger et al.* erwies sich das Medial Hinge ebenfalls als mechanisch wichtige Struktur, vor allem im Zusammenhang mit der perkutanen Reposition und Stabilisierung von proximalen Humerusfrakturen mittels Ligamentotaxis [17]. Der Begriff Ligamentotaxis steht in diesem Falle für die Reposition von Frakturfragmenten mittels einer Distraction des Kapselbandapparates. Diese war in der Studie bei intaktem Medial Hinge deutlich einfacher durchzuführen. In den Untersuchungen von *Kralinger et al.* zeigte sich eine periosteale Ruptur des Medial Hinge im Mittel ab einer Dislokation von 3 mm.

1.3.4 Neck-Shaft-Angle

Als NSA wird der Winkel zwischen Humerusschaft und der Gelenkfläche des Humeruskopfes bezeichnet. Normale Werte des NSA werden in der Literatur im Bereich zwischen 120 und 140° angegeben [10]. Eine Valgusfehlstellung ergibt sich bei einer Winkelmessung $>140^\circ$, eine Varusfehlstellung bei einem Winkel $<120^\circ$.

Bei Frakturereignissen zeigen sich vor allem bei Dislokationen deutliche Veränderungen des NSA mit Varus- oder Valgusfehlstellungen. Bei der operativen Versorgung wird eine Wiederherstellung des korrekten NSA angestrebt. In einer Studie von *Zhu* zeigten sich deutliche Unterschiede in den postoperativen klinischen Untersuchungen nach Osteosynthese [18]. Vor allem in Valgusfehlstellung verheilte Frakturen zeigten deutliche Bewegungseinschränkungen. Jedoch traten solche auch bei Varusfehlstellung auf, die im Vergleich zu gut reponierten Frakturen signifikant waren. In einer Studie von *Agudelo et*

al. zeigte sich bei postoperativem NSA von $<120^\circ$ eine signifikante Versagensrate der Osteosynthese im Vergleich zu einem postoperativem NSA von $>120^\circ$ [19].

1.3.5 Metaphyseal Head Extension

Bei proximalen Humerusfrakturen verbleibt oft ein Teil der Metaphyse am Humeruskopf. Diese liegt nach Untersuchungen von *Hertel et al.* meist posteromedial, und wird als Metaphyseal Head Extension bezeichnet [16]. Laut der Untersuchung der Kollegen verbleiben mit diesem Teil der Metaphyse auch Teile der Gefäßversorgung am Humeruskopf und verringern so das Risiko einer Humeruskopfnekrose.

Dieser Wert ist, ebenso wie das Medial Hinge Displacement, laut *Hertel et al.* ein wichtiger Prädiktor für eine Ischämie des Humeruskopfes nach Frakturereignissen. Die mittlere Länge der Metaphyseal Head Extension in den Untersuchungen von *Hertel et al.* bei Humeruskopfishämie war 2 mm [0-8], bei perfundiertem Humeruskopf 13 mm [0-50]. Der Unterschied war signifikant. Die Metaphyseal Head Extension war unter 8 mm Länge in allen untersuchten ischämischen Humerusköpfen [16]. Hieraus ergibt sich in dieser Studie ein hoher prädiktiver Wert dieses Parameters in Bezug auf eine mögliche Humeruskopfnekrose nach einer proximalen Humerusfraktur.

1.3.6 ASA-Score

Der ASA-Score ist ein von der *American Society of Anesthesiologists* und von *Saklad et al.* vorgeschlagenes Scoring-System [20]. Er dient zur präoperativen Klassifizierung von operativ zu behandelnden Patienten. Hierbei wird anhand der bekannten Vorerkrankungen ein entsprechendes Risiko für einen Eingriff und die Narkose bestimmt. Die Patienten werden wie folgt eingeteilt:

- **ASA 1:** Gesunder Patient
- **ASA 2:** Patient mit leichter Erkrankung ohne Einschränkungen
- **ASA 3:** Schwer erkrankter Patient mit deutlicher Beeinträchtigung

- **ASA 4:** Schwer erkrankter Patient mit lebensbedrohlicher Grunderkrankung
- **ASA 5:** Moribunder Patient, Überleben ohne Operation unwahrscheinlich
- **ASA 6:** Patient ist hirntot, Organspender

Der entsprechende ASA-Score wurde aus dem Patientenarchiv entnommen. Im erfassten Patientenkollektiv wurde in fünf Fällen bei der Aufnahme der Patienten kein präoperativer ASA-Score erhoben. Bei statistischen Berechnungen bezüglich des ASA-Scores wurde mit einer Patientenanzahl von n=301 gerechnet.

1.3.7 Repositionsergebnis

Als erste der drei Grundprinzipien der Frakturversorgung in der AO-Lehre wird die anatomische Reposition genannt [21]. Die optimale Frakturposition stellt somit eine zentrale Säule in der Behandlung von Knochenbrüchen aller Art dar. In dieser Studie soll auch untersucht werden, ob das Repositionsergebnis nach erfolgter operativer Versorgung bei proximalen Humerusfrakturen einen signifikanten Einfluss auf die möglichen Komplikationen hat. Dafür musste eine Einteilung der Repositionsergebnisse anhand der postoperativen Röntgenkontrollen erfolgen. Hierbei wurden die in der Datenbank erfassten Patienten und deren operativ versorgte Frakturen nach Repositionsergebnis unterteilt.

1.3.8 Humeruskopfnekrose

Die Humeruskopfnekrose ist eine der Komplikationen, welche bei der proximalen Humerusfraktur sowohl nach konservativer als auch nach operativer Therapie auftreten kann. Eines der Ziele einer operativen Therapie ist die Reduktion des Risikos einer Humeruskopfnekrose. *Campochiaro et al.* konnten in einer Studie zeigen, dass das Risiko für eine Humeruskopfnekrose bei schlechter operativer Reposition signifikant erhöht war [22]. In anderen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass eine Frakturdislokation mit einem deutlich höheren Risiko einer Humeruskopfnekrose einhergeht. Dies hängt mit der eingeschränkten Durchblutungssituation bei

Frakturdislokation zusammen [16]. Eine Nekrose des Humeruskopfes nach osteosynthetischer Versorgung geht mit einem deutlich schlechteren funktionellen Ergebnis sowie erhöhtem Risiko für Revisionseingriffe einher [23]. Bei manifester Nekrose mit Funktionseinschränkung kann im Verlauf die Implantation einer Endoprothese nötig werden.

Unter Beachtung dieser Fakten zeigt sich die Wichtigkeit der Diagnosestellung und vor allem der Unterscheidung zwischen Humeruskopfnekrosen mit sekundärem Schrauben-Cut-Out sowie dem postoperativen Schrauben-Cut-Out bei schlechter Knochenqualität. Dementsprechend wurden in dieser Studie die Patienten mit einem sekundären Schrauben-Cut-Out aufgrund einer Humeruskopfnekrose und die Patienten mit einem postoperativen Schrauben-Cut-Out klar unterschieden.

1.3.9 Pseudarthrose

Eine Pseudarthrose bezeichnet die Nichtvereinigung von Frakturrenden bzw. die ungenügende Konsolidierung einer Fraktur. In der Literatur findet sich keine einheitliche zeitliche Definition, ab wann die Diagnose einer Pseudarthrose gestellt werden muss. Zumeist wird von einer Pseudarthrose gesprochen, wenn die Frakturheilung nach 6 Monaten nicht abgeschlossen ist [24]. Dies ist für konservativ sowie operativ behandelte proximale Humerusfrakturen von Relevanz. In der Datenerhebung für diese Studie wurden die Pseudarthrosen bei Behandlung mittels PHILOS-Platte miterfasst, um zu evaluieren, ob eine Korrelation zwischen dem DTI und dem Pseudarthrose-Risiko besteht. Die Diagnosestellung erfolgte mittels Analyse der durchgeführten Röntgendiagnostik mit dem Programm IMPAX. Die Diagnose wurde gestellt, wenn 6 Monate postoperativ noch keine Konsolidierung der Fraktur vorlag.

1.4 Risikofaktoren für proximale Humerusfrakturen

In einer Studie von *Chu et al.* aus dem Jahre 2004 mit großer Patientenzahl von n=2471 konnten mehrere relevante Risikofaktoren für proximale Humerusfrakturen gefunden

werden [1]. Als Hauptfaktoren zeigten sich Fallneigung der Patienten, ein diagnostizierter Diabetes mellitus, Depression, Epilepsie, Einnahme von Antiepileptika, Nutzung von Hörgeräten sowie Linkshändigkeit. In 74% der Fälle trat die Fraktur bei Frauen auf. Ein hoher BMI zeigte ein leicht erhöhtes Risiko. Das Rauchen von Zigaretten, die Einnahme von Calcium-Nahrungsergänzungsmitteln oder Alkoholkonsum zeigten keine Verbindung mit erhöhtem Risiko. Regelmäßige sportliche Aktivität war mit einer Risikoreduktion verbunden. Gründe für die Depression als Risikofaktor einer proximalen Humerusfraktur zeigten sich durch die Ergebnisse einer Studie von *Ershler et al.* im Jahre 2000, die Depressionen mit Osteoporose in Verbindung brachte [25]. Demnach bewirken Depressionen einen Anstieg von Interleukin-6 Werten im Blut, welche wiederum Vorläufer von Osteoclasten stimulieren, was zu erhöhtem Knochenverlust und Osteoporose führen kann.

1.5 Die Klassifikationen der proximalen Humerusfraktur

Schon Codman hatte 1934 eine Klassifikation vorgestellt, welche vier wichtige Landmarken am proximalen Humerus einschloss und für viele Jahre genutzt wurde [3]. Diese vier Landmarken waren:

- Gelenkfläche
- Tuberculum majus
- Tuberculum minus
- Humerusschaft distal des Collum chirurgicum

Im Laufe der Jahre haben sich jedoch zwei andere Klassifikationen der proximalen Humerusfraktur etabliert, welche bis heute genutzt werden. Hierbei handelt es sich um die Neer-Klassifikation sowie die Frakturklassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen.

Charles Neer hatte seine Klassifikation im Jahre 1970 entwickelt [4]. Seine Idee basierte auf einer exakten Analyse von radiologischen und chirurgischen Befunden. Er sah in

seinen Untersuchungen bestimmte Eigenschaften der vier anatomischen Landmarken von Codman, wenn diese frakturiert waren.

Neer erkannte den Einfluss der einzelnen frakturierten Landmarken auf die Verschiebung bzw. Fehlstellung der Frakturen. Er sah in seinen Untersuchungen, dass die Dislokation der Frakturfragmente ebenfalls ein wichtiger prognostischer Faktor war und inkludierte diesen in seine Klassifikation. Er wollte die Frakturschemata anhand der einzelnen Knochenstrukturen erklären, die sich bei seinen Patienten im Frakturfall charakteristisch verschoben hatten. Er bemerkte, dass dies vor allem im Zusammenhang mit der Rotatorenmanschette und deren muskulären Zug auf die knöchernen Strukturen steht.

Bei der ersten Veröffentlichung der Daten im Jahre 1970 wurde Neer durch den Redakteur des herausgebenden Journals aufgefordert, genaue Werte für die Dislokation von Fragmenten anzugeben, was er in seiner initialen Veröffentlichung nicht getan hatte. Er inkludierte neue Werte für die Definition der Fragmentdislokation in seine Klassifikation, die eine Winkelfehlstellung eines Fragmentes von über 45° sowie eine Dislokation eines Fragmentes von über einem Zentimeter beschrieben. Diese Werte werden bis heute in der Klassifikation genutzt [26].

Die Neer-Klassifikation basiert auf dem 4-Teile-Modell. Sie wird definiert durch die Anzahl und die Dislokation der o.g. vier Teile. Zusätzlich wurde von Neer die Humeruskopfluxation in die Klassifikation mit einbezogen. Die Klassifikation wird in Gruppen von I bis VI aufgeteilt:

- **Neer I**
 - Keines der Segmente zeigt eine Dislokation
 - Die Fraktur kann sowohl eines als auch bis zu alle vier Segmente betreffen, solange sich keine Dislokation zeigt

- **Neer II**
 - Fraktur im Bereich des Collum anatomicum mit entsprechender Dislokation
 - 2-Teile-Fraktur

- **Neer III**
 - Fraktur im Bereich des Collum chirurgicum mit entsprechender Dislokation
 - 2-Teile-Fraktur

- **Neer IV**
 - Fraktur im Bereich des Tuberculum majus mit entsprechender Dislokation
 - Ist lediglich das Tub. majus frakturiert, handelt es sich um eine 2-Teile-Fraktur, sind jedoch weitere Segmente betroffen, kann es sich ebenfalls um eine 3- oder 4-Teile-Fraktur handeln

- **Neer V**
 - Fraktur im Bereich des Tuberculum minus mit entsprechender Dislokation
 - Es kann sich ebenfalls wie bei Neer IV um 2-, 3- oder 4-Teile-Frakturen handeln

- **Neer VI**
 - 2-, 3- oder 4-Teile-Fraktur mit vorderer oder hinterer Luxation des Humeruskopfes

Interessant ist die Fehlstellung von 3-Teile-Frakturen bei Neer IV und V [4]. Durch die Integrität zumindest eines Tuberculum wird der Humeruskopf durch die Rotatorenmanschette in eine Rotationsdeformität gezogen. 3-Teile-Frakturen bei Neer IV zeigen wie oben beschrieben eine Dislokation des Tuberculum majus. Durch den weiterhin verbleibenden Zug am Tuberculum minus durch den M. subscapularis wird der vom Schaft getrennte Humeruskopf nach innen rotiert. Bei den Neer-V-Frakturen ist das Tuberculum minus disloziert, es besteht jedoch weiterhin Zug am Tuberculum majus. Dadurch resultiert eine Fehlrotation des Humeruskopfes nach außen und in Abduktionstellung durch den M. supraspinatus.

Verschiedene Autoren scheinen die Klassifikation auf unterschiedliche Art und Weise zu nutzen. Einige Autoren verwenden die Klassifikation wie von Neer beschrieben und klassifizieren in Gruppen von I bis VI. Andere Autoren verwenden die Neer-Klassifikation auch oft als Teile-Klassifikation. *Spross et al.* nutzen in deren Veröffentlichung die Neer-Klassifikation im Sinne einer Teile-Klassifikation. Da die vorliegende Dissertation u.a. die Werte der Kollegen von *Spross et al.* überprüfen soll, wird hier die Klassifikation nach Neer ebenfalls im Sinne einer Teile-Klassifikation genutzt. Diese entspricht somit eher der Codman-Klassifikation von 1934 [15]. Hierbei werden die Frakturen bezüglich der betroffenen Landmarken klassifiziert. Die Anzahl der betroffenen dislozierten Segmente gibt die Klassifizierung wie folgt vor:

- **2-Teile-Fraktur**

- Eine der Landmarken ist mit Dislokation frakturiert

- **3-Teile-Fraktur**

- Zwei der Landmarken sind mit Dislokation frakturiert

- **4-Teile-Fraktur**

- Drei der Landmarken sind mit Dislokation frakturiert

 I Minimale Dislokation	Dislozierte Frakturen Zahl der Fragmente		
	2	3	4
II Collum anatomicum			
III Collum chirurgicum			
IV Tuberculum majus			
V Tuberculum minus			
VI Luxations- frakturen	ventral 		
	dorsal 		

Abbildung Nr. 3: Neer-Klassifikation (Heinrichs, G., Schulz, AP., Gille, J. et al. Frakturversorgung an der oberen Extremität. Trauma Berufskrankheit 11, 91–96 (2009) S.92. <https://doi.org/10.1007/s10039-0081414-9> [27])

Die AO-Klassifikation beschreibt drei Hauptgruppen (A-C) sowie drei weitere Untergruppen (1-3), und wurde im Jahre 1990 von *Müller et al.* beschrieben [28].

- **Gruppe A:** Extraartikulär, unifokal, 2-Teile, Fraktur Tuberculum majus, minus oder Collum chirurgicum
 - A1: Extraartikulär, unifokal
 - A2: Metaphysenfraktur mit Impaktierung
 - A3: Metaphysenfraktur ohne Impaktierung

- **Gruppe B:** Extraartikulär, bifokal, 3-Teile, Fraktur Tuberculum majus oder minus und Collum chirurgicum, mit oder ohne glenohumerale Dislokation
 - B1: Extraartikulär, bifokal, mit Impaktierung
 - B2: Extraartikulär, bifokal, ohne Impaktierung
 - B3: Extraartikulär, bifokal, mit Luxation im glenohumeralen Gelenk

- **Gruppe C:** Intraartikulär, bzw. Fraktur des Collum anatomicum mit Beteiligung der Gelenkfläche, zusätzliche Frakturen von Tub. majus und/oder minus möglich, 2-, 3- oder 4-Teile, mit oder ohne glenohumerale Dislokation
 - C1: Minimal disloziert
 - C2: Disloziert und impaktiert
 - C3: Disloziert mit Luxation im glenohumeralen Gelenk

Erwähnt werden muss, dass die AO-Klassifikation der proximalen Humerusfrakturen im Jahre 2018 revidiert und angepasst wurde. Da die Untersuchungen von *Spross et al.* vor

2018 veröffentlicht wurden, wurde die alte Klassifikation angewandt. Dementsprechend wurde in dieser Arbeit ebenfalls nach dem alten System klassifiziert (siehe *Abbildung Nr. 4*).

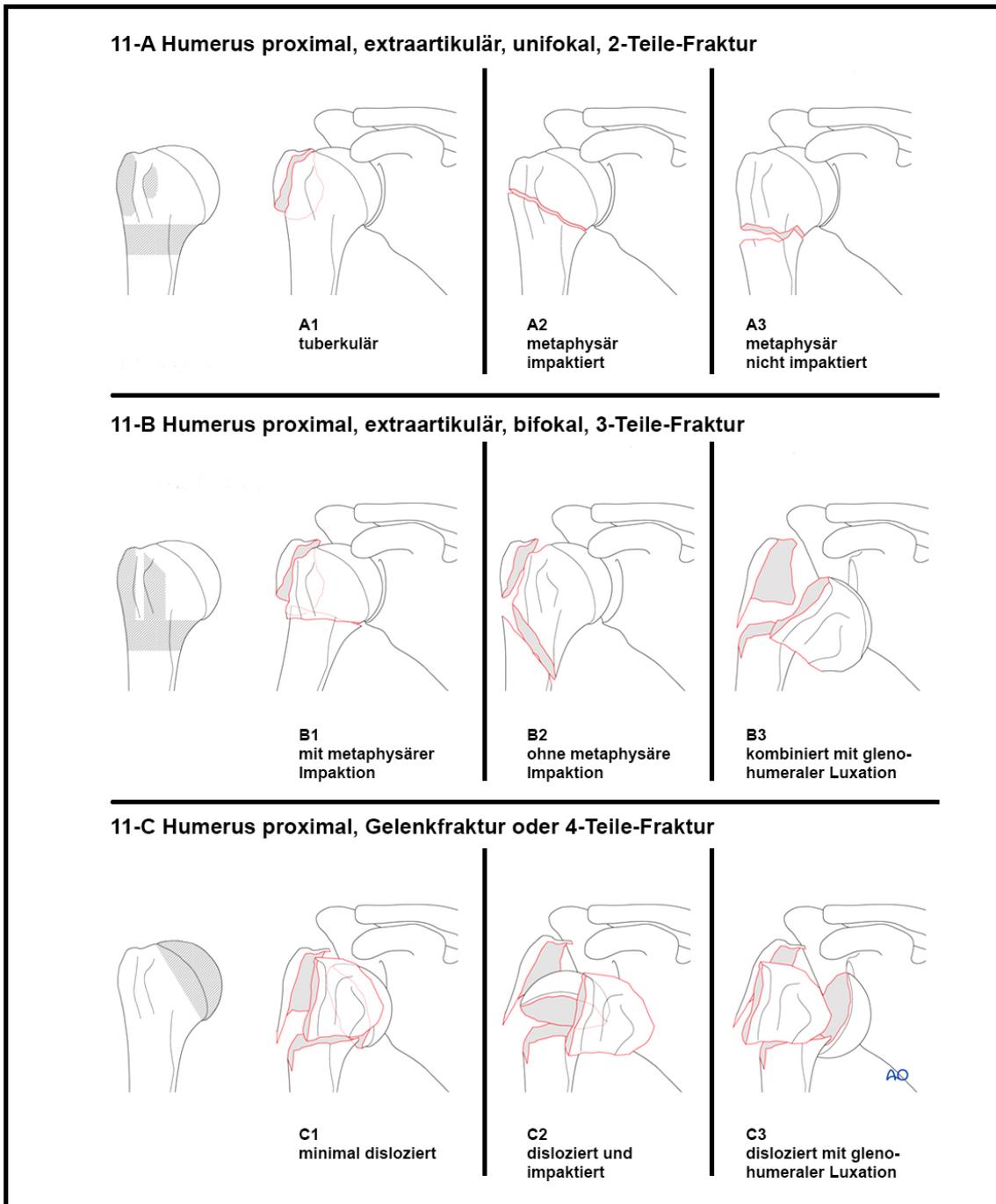


Abbildung Nr. 4: AO-Klassifikation (Quelle: AO Surgery Reference, <https://surgeryreference.aofoundation.org/>, mit freundlicher Genehmigung der AO Foundation; Copyright by AO Foundation, Switzerland)

1.6 Die konservative Therapie der proximalen Humerusfraktur

Die Unterschiede zwischen operativer und konservativer Therapie bei proximalen Humerusfrakturen sind Gegenstand zahlreicher Studien. Viele dieser Studien kommen zu dem Schluss, dass die konservative der operativen Therapie in keiner Weise nachsteht. In einer systematischen Übersichtsarbeit konnten die Kollegen um *Soler-Peiro et al.* zeigen, dass im Vergleich mehrerer Untersuchungen die konservative Therapie bei 3-Teile-Frakturen eine Konsolidierungsrate von 96% erreichen konnte. Bei 4-Teile-Frakturen zeigte sich immerhin eine Konsolidierungsrate von 90% [29]. Ebenso kamen *Caliskan et al.* in einer Studie von 2019 zu dem Ergebnis, dass vor allem bei 3- und 4-Teile-Frakturen die konservativen und operativen Therapien in den Nachuntersuchungen keinen signifikanten Unterschied in der Funktionalität des Schultergelenkes zeigten [30]. Vor allem bei Patienten mit impaktierten oder nicht dislozierten Frakturen kann oft auf eine konservative Therapie zurückgegriffen werden. Bei diesen Frakturen sind meist der Weichteilmantel, die Kapsel sowie die Rotatorenmanschette intakt und sorgen so für eine stabile Situation am und im Gelenk. Eine spätere Verschiebung der Fragmente ist unwahrscheinlich [31]. Somit können sich in solchen Fällen gute Indikationen für eine konservative Therapie ergeben. Da weiterhin keine genauen Schemata zur konservativen Behandlung der proximalen Humerusfrakturen vorliegen, bleibt dem Behandler nur die individualisierte Therapie des Patienten. Die konservative Therapie wird im Normalfall durch vorübergehende Immobilisierung durchgeführt. Nach unseren Hausstandards wird die Schulter des Patienten in einem Gilchrist-Verband für zwei Wochen ruhiggestellt. Mit Pendelübungen wird sofort und schmerzadaptiert begonnen. Passive Übungen unter physiotherapeutischer Betreuung zur Stärkung der Rotatorenmanschette werden nach zwei Wochen begonnen. Nach vier Wochen werden diese mit aktiven Übungen ergänzt. Röntgenuntersuchungen werden eine, zwei und sechs Wochen nach dem Frakturereignis durchgeführt, um eine eventuelle sekundäre Dislokation auszuschließen. In diesem Falle müssen die Therapieoptionen erneut diskutiert werden, und ggfs. eine operative Versorgung erfolgen.

1.7 Die operative Therapie der proximalen Humerusfraktur

Die operative Therapie bietet gegenüber der konservativen Therapie einige Vorteile. Diese liegen vor allem in der Nachbehandlung. Die versorgten Patienten können die betroffene obere Extremität postoperativ mit physiotherapeutischer Anleitung frühfunktionell beüben. Dadurch kann ein größtmögliches Bewegungsausmaß erreicht werden und eine schnelle Rückkehr in das gewohnte Leben erfolgen. Die heutzutage am häufigsten genutzten operativen Verfahren sind:

- ORIF (open reduction and internal fixation) mittels winkelstabiler Platte
- Anatomische Schulterprothese
- Inverse Schulterprothese
- CRIF (closed reduction and internal fixation) mittels Nagelosteosynthese

Die Entscheidung zwischen den operativen Verfahren wird anhand verschiedener Faktoren wie der Frakturklassifikation, dem Patientenalter, dem funktionellem Anspruch sowie der individuellen Erfahrung des Chirurgen getroffen. Der Hauptvorteil der osteosynthetischen Versorgung ist die Wiederherstellung der vorrangegangenen anatomischen Gegebenheiten, wobei das Glenohumeralgelenk des Patienten erhalten bleibt. Somit behält das Gelenk annähernd die optimalen Spannungsverhältnisse der Gelenkkapsel, der Rotatorenmanschette sowie des Musculus deltoideus. Laut *McMillan et al.* sind die wichtigsten Faktoren in Bezug auf die osteosynthetische Versorgung [32]:

- Knochenqualität
- Frakturklassifikation bzw. Konfiguration
- Reposition
- Chirurgische Technik
 - Wiederherstellung der medialen Säule
 - Schraubenplatzierung
 - Schraubenlänge

Frakturen im Bereich des proximalen Humerus sind bei hohem Patientenalter oft mit verringerter Knochenqualität verbunden, was die osteosynthetische Versorgung deutlich erschwert und die Komplikationsrate erhöht. Ebenso kann die Frakturklassifikation bzw. Konfiguration der Fraktur für das Verfahren der Behandlung ausschlaggebend sein. Hier zeigen 3- und 4-Teile-Frakturen deutlich höhere Komplikationsraten sowie ein schlechteres Outcome, speziell in Verbindung mit Zertrümmerung des medialen Kalkars und der Tubercula [33]. Präoperativ zeigen ein Medial Hinge Displacement >2 mm (siehe *Kapitel 1.3.3*) sowie eine kurze Metaphyseal Head Extension <8 mm (siehe *Kapitel 1.3.5*) ein hohes Risiko für eine spätere Humeruskopfnekrose [16][34]. Die drei wichtigsten Faktoren in Bezug auf die Reposition und spätere Stabilität der proximalen Humerusfraktur sind laut *Jung et al.* die Abstützung der medialen Säule, die Wiederherstellung der Neck-Shaft-Angle (siehe *Kapitel 1.3.4*) sowie die Reposition der Tubercula [35]. Die Position der Schrauben sowie die Schraubenlänge werden in einer Untersuchung von *Hall et al.* ebenfalls als wichtiges Element in der Versorgung der körpernahen Oberarmfrakturen genannt [36]. Hier wurden die trabekulären Strukturen im Humeruskopf untersucht, wobei sich eine deutliche höhere trabekuläre Knochendichte im zentralen, posterokranialen sowie posterokaudalen Anteil zeigte. In einer Studie von *Padegimas et al.* zeigte die optimale Positionierung der Kalkarschrauben im kaudalen Viertel des Humeruskopfes eine deutliche Verringerung des Risikos für Osteosyntheseversagen [37]. Der stärkste Knochenanteil im Humeruskopf zeigte sich in Untersuchungen von *Frich et al.* direkt subchondral [38]. Um einen optimalen Schraubenhalt zu gewährleisten, müssen die Schrauben in diesen Bereich eingebracht werden. Bei Patienten mit fortgeschrittener Osteoporose kann auch dieser Teil des Knochens eine schwache strukturelle Stabilität aufweisen. Die Problematik einer iatrogenen bzw. primären Perforation durch die subchondrale Fläche in das Gelenk ist bei osteoporotischem Knochen allgegenwärtig. Ein Vorschlag zur Reduzierung der iatrogenen Perforation wurde von *McMillan* und *Johnstone* gegeben [32]. Demnach soll nach der Perforation des lateralen Kortex mit dem Bohrer rückläufig weiter gebohrt werden. Dabei reduzierte sich in der Untersuchung der Kollegen das Risiko der Perforation der Gelenkfläche. In einer Kadaverstudie durch *Erhardt et al.* wurde die Stabilität der Osteosynthese mit der Schraubenanzahl verglichen [39]. Hier zeigte sich eine signifikante Reduzierung des sekundären Perforationsrisikos durch die Erhöhung der

Schraubenanzahl im Humeruskopf sowie der Nutzung einer mediokaudalen Schraube zur Unterstützung. Durch die Kollegen wurde eine Mindestanzahl von fünf Schrauben empfohlen.

1.8 Das Osteosyntheseversagen

In Zusammenhang mit der osteosynthetischen Versorgung von proximalen Humerusfrakturen fallen bei der Literaturrecherche hohe Komplikationsraten auf. Diesbezüglich werden ebenfalls hohe Re-Operationsraten genannt. Beispielsweise zeigte die osteosynthetische Versorgung mittels ORIF in einer Studie von *Gupta et al.* eine signifikant hohe Komplikationsrate von 15% sowie eine Re-Operationsrate von 12,7% [40]. Die hauptsächlich aufgetretenen Komplikationen waren der Verlust der Reposition bzw. die sekundäre Dislokation mit Korrekturverlust und die Schraubenperforation durch den Humeruskopf, bzw. das Schrauben-Cut-Out mit intraartikulärer Schraubenlage. In einer Studie von *Sproul et al.* mit 514 Patienten zeigte sich ein postoperatives Schrauben-Cut-Out bei 8% der operierten Patienten [41]. Ebenso war auch hier das Schrauben-Cut-Out der Hauptgrund für eine erneute Operation. *Thanasas et al.* kommen in einer systematischen Übersichtsarbeit von 2009 zu dem Schluss, dass es sich bei den Ursachen der postoperativen Komplikationen um vermeidbare technische Fehler der behandelnden Chirurgen handelt [7]. Hier werden unzureichende intraoperative Bildverstärker-Kontrollen mit primärer Schraubenperforation, schlechte Reposition, falsche Plattenlage am Knochen und fehlerhafte Abstützung der medialen Säule als hauptsächliche Faktoren angeführt.

1.9 Die Schulterendoprothese

Obwohl weiterhin viele der proximalen Humerusfrakturen konservativ behandelt werden, werden die operativen Versorgungsmöglichkeiten mit Hochdruck weiterentwickelt. Heutzutage werden viele Faktoren in die Indikationsstellung mit einbezogen. Die Lebensumstände der Patienten spielen hierbei z.B. eine wichtige Rolle. Eine vorsichtige

Abwägung der verschiedenen Faktoren führt letztendlich zur Indikationsstellung. Als mit der operativen Versorgung von körpernahen Oberarmfrakturen begonnen wurde, wurde die Indikationsstellung streng von der Frakturklassifikation abhängig gemacht. In den initialen Arbeiten von Neer wurde die endoprothetische Versorgung der Schulter bei 3- und 4-Teile-Frakturen empfohlen [4]. Die Rate an Humeruskopfnekrosen und Pseudarthrosen war bei dieser Frakturklassifikation sehr hoch. Dies ist dem Umstand der damaligen osteosynthetischen Versorgung zuzuschreiben. Durch Einführung der winkelstabilen und anatomisch angepassten Platten wurde dieses Risiko deutlich verringert. Dadurch verlor der Gelenkersatz bei Patienten mit akut auftretenden Frakturen vermehrt an Bedeutung. Heute wird trotz der vielen Möglichkeiten der konservativen sowie osteosynthetischen Versorgungen in Ausnahmefällen weiterhin die Indikation zur direkten endoprothetischen Versorgung gestellt. Ebenso kann eine Schulterendoprothese im Falle einer missglückten konservativen Behandlung auch im Verlauf implantiert werden. In diesem Fall muss jedoch nach längerer Immobilisation der Schulter mit einem eingeschränkten Bewegungsumfang gerechnet werden. Die Indikationsstellung zur endoprothetischen Versorgung erfolgt im Regelfall bei Patienten mit erhöhtem Risiko für eine Humeruskopfnekrose. Dieses Risiko besteht vor allem bei multifragmentären Frakturen, die osteosynthetisch oft nicht zufriedenstellend rekonstruierbar sind [42]. Es werden zwei Formen der endoprothetischen Versorgung an der Schulter angewendet:

- Anatomische Schulterprothese
- Inverse Schulterprothese

Die anatomische Prothese setzt eine intakte Rotatorenmanschette voraus. Die Totalendoprothese ersetzt beide Gelenkflächen, in diesem Falle den Humeruskopf sowie das Glenoid (siehe *Abbildung Nr. 6*). Eine Variation der anatomischen Prothese ist die Hemiprothese. Diese verzichtet auf den Gelenkersatz des Glenoids (siehe *Abbildung Nr. 5*).

Die inverse Prothese wird bei Patienten mit zusätzlich auftretender Rotatorenmanschettenpathologie implantiert. Hierbei wird das biomechanische Prinzip der Schulter umgekehrt. Anstelle des Humeruskopfes wird eine Gelenkpfanne implantiert

und das Glenoid durch eine Gelenkkugel ersetzt. Diese Konstruktion sorgt für eine Medialisierung und Kaudalisierung des Drehzentrums der Schulter (siehe *Abbildung Nr. 7*). Dadurch erhält der *Musculus deltoideus* eine höhere Vorspannung, um eine bessere Kraftentfaltung zu gewährleisten. Ebenso wird der Abstand zwischen der Muskulatur und dem Drehzentrum größer, womit sich der Hebelarm vergrößert.



Abbildung Nr. 5: AP-Röntgenaufnahme einer rechten Schulter nach Implantation einer Hemiprothese im Katharinenhospital Stuttgart (Biomed comprehensive Frakturschaft 10, zementiert, Kopf 46 mm)



Abbildung Nr. 6: AP-Röntgenaufnahme einer linken Schulter nach Implantation einer anatomischen Endoprothese im Katharinenhospital Stuttgart (Kurzschaf-Prothese Biomed Comprehensive, Mini-Schaft Größe 10, 46er-Kopf, Mediumpfanne)

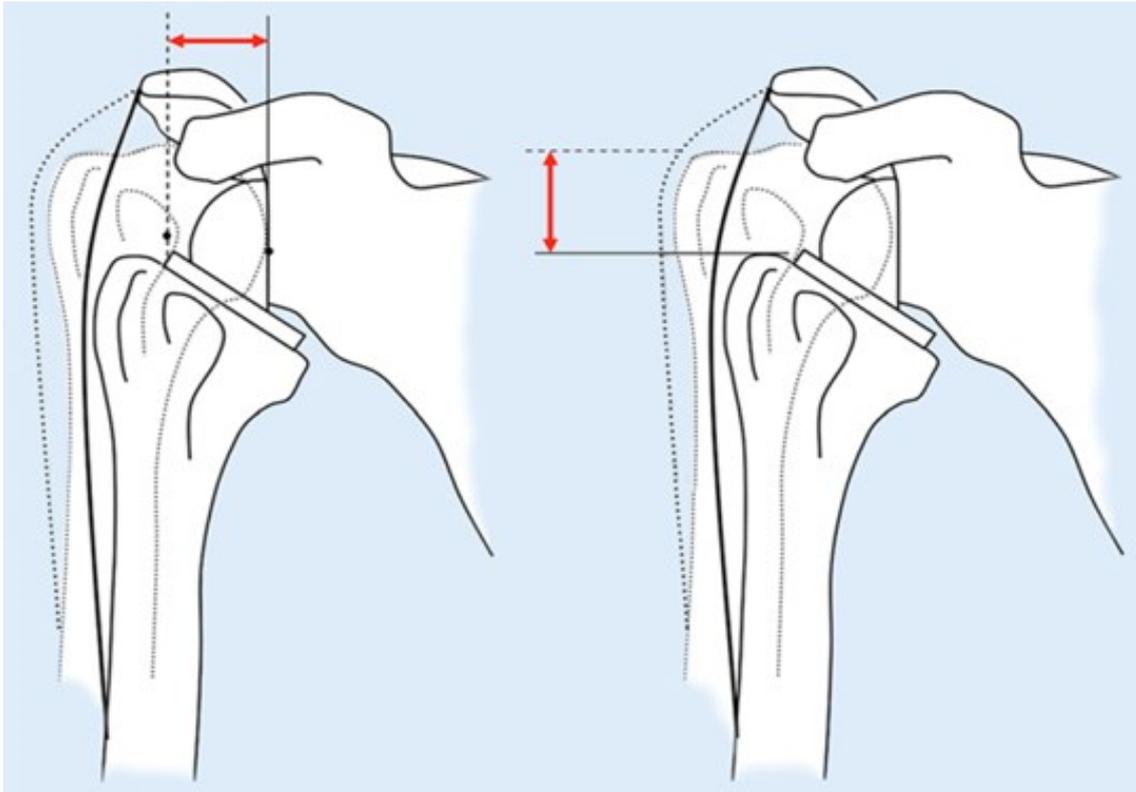


Abbildung Nr. 7: Schematische Darstellung der biomechanischen Veränderungen bei Implantation einer inversen Prothese mit Medialisierung und Kaudalisierung des Drehzentrums (Nyffeler, R. Design und Biomechanik inverser Schulterprothesen. *Obere Extremität* 9, 51–56(2014). <https://doi.org/10.1007/s11678-013-0241-1>, [43])

1.10 Ziel der Studie

Die vorliegende Dissertation ist eine retrospektive Studie, die Patienten mit proximalen Humerusfrakturen und folgender plattenosteosynthetischer Versorgung untersucht, welche im Zeitraum von 2007 bis 2018 am Katharinenhospital in Stuttgart operativ versorgt wurden. Analysiert wurden präoperative und postoperative patientenbezogene Daten. Ziel der retrospektiven Studie ist es, den Stellenwert der präoperativen Bestimmung des DTI in Bezug auf späteres Osteosyntheseversagen bei proximalen Humerusfrakturen zu überprüfen und damit wissenschaftlich zu hinterfragen. Darüber hinaus sollen durch die Erfassung zusätzlicher Parameter weitere Rückschlüsse bezüglich der adäquaten und möglicherweise verbesserungswürdigen Versorgung dieser Frakturform gezogen werden.

2 Material und Methoden

2.1 Patienten

Die vorliegende retrospektive Studie erfasst Daten von Patienten in einem Zeitraum von 12 Jahren (01.01.2007 – 31.12.2018). Nach Konzeption der Studie wurde ein Ethikvotum eingeholt, bei dem keine Bedenken gegen die Durchführung der Studie bestanden (Ethik-Kommission der medizinischen Fakultät der Universität Tübingen, Projekt-Nr.: 368/2020BO). In einem ersten Arbeitsschritt wurde mithilfe des Programmes SAP (SAP® Deutschland SE & Co. KG, Walldorf), das im Katharinenhospital Stuttgart zur Verwaltung von Patientendaten genutzt wird, für den o.g. Zeitraum die nötigen Patientendaten erfasst. Dies geschah mit Hilfe der ICD-Schlüssel für die proximale Humerusfraktur sowie der OP-Kodierung der offenen Reposition und winkelstabilen Plattenosteosynthese bei proximalen Humerusfrakturen. Somit wurde eine Datenbank von 544 Patienten, welche im Katharinenhospital in Stuttgart operativ behandelt wurden, erfasst und pseudonymisiert statistisch ausgewertet. Folgende Einschlusskriterien mussten dabei erfüllt sein:

- Isolierte proximale Humerusfraktur
- Keine vorangegangenen Schulteroperationen
- Vorhandene präoperative Röntgenbilder anteroposterior in Innenrotation sowie in lateraler Projektion
- Offene Reposition der Fraktur
- Osteosynthese mittels winkelstabiler PHILOS-Platte (© DePuy Synthes, Zuchwil, Schweiz)

Ausschlusskriterien waren:

- Pathologische Frakturen
- Iatrogene Schraubenfehlage

- Follow-Up von unter 5 Wochen.

Nachdem das geeignete Patientenkollektiv zusammengestellt war, wurden die zu erhebenden Parameter bestimmt. Die Erfassung dieser Parameter erfolgte erneut über das Programm SAP und das Archiv des Katharinenhospitals, in welchem die Daten der Patienten gespeichert sind. Für die Erfassung der radiologischen Daten wurde das Programm IMPAX™ (AGFA HealthCare Corporation, Greenville, SC, USA) genutzt, mit welchem die Begutachtung der durchgeführten Röntgenbilder im Katharinenhospital erfolgt. Hierbei wurden die im nächsten Abschnitt genannten Parameter vermessen. Bei der Datenerhebung wurden Patienten ohne die gewünschten Einschlusskriterien oder mit Ausschlusskriterium markiert und von der Studie ausgeschlossen. Nach der vollständigen Erfassung der Daten wurden diese pseudonymisiert. Die erfassten Daten wurden in einer Excel-Tabelle gespeichert und organisiert. Insgesamt konnten nach der Auswertung $n=306$ Patienten mit einem medianen Alter von 61,5 Jahren in die Studie eingeschlossen werden. Es handelt sich dabei um 183 Frauen und 123 Männer.

2.2 Messung der Parameter

2.2.1 Der Deltoid Tuberosity Index (DTI)

Direkt oberhalb der Tuberositas deltoidea werden zwei Linien zur Abstandsmessung eingezeichnet. Eine Linie misst den *Abstand A* vom Außenrand der beiden Kortizes, eine weitere Linie misst den *Abstand B* ausgehend vom Innenrand der beiden Kortizes bzw. den Durchmesser des Markraumes (siehe *Abbildung Nr. 8*). Der Index wird nun bestimmt, indem *Abstand A* durch *Abstand B* geteilt wird. Im Falle der *Abbildung Nr. 8* ergibt sich beim Patienten somit ein DTI von 1,37 (25/18,2). Da lediglich ein Index berechnet wird, ist die Längenmessung auch auf einem Röntgenbild ohne Referenzkugel unbedenklich.

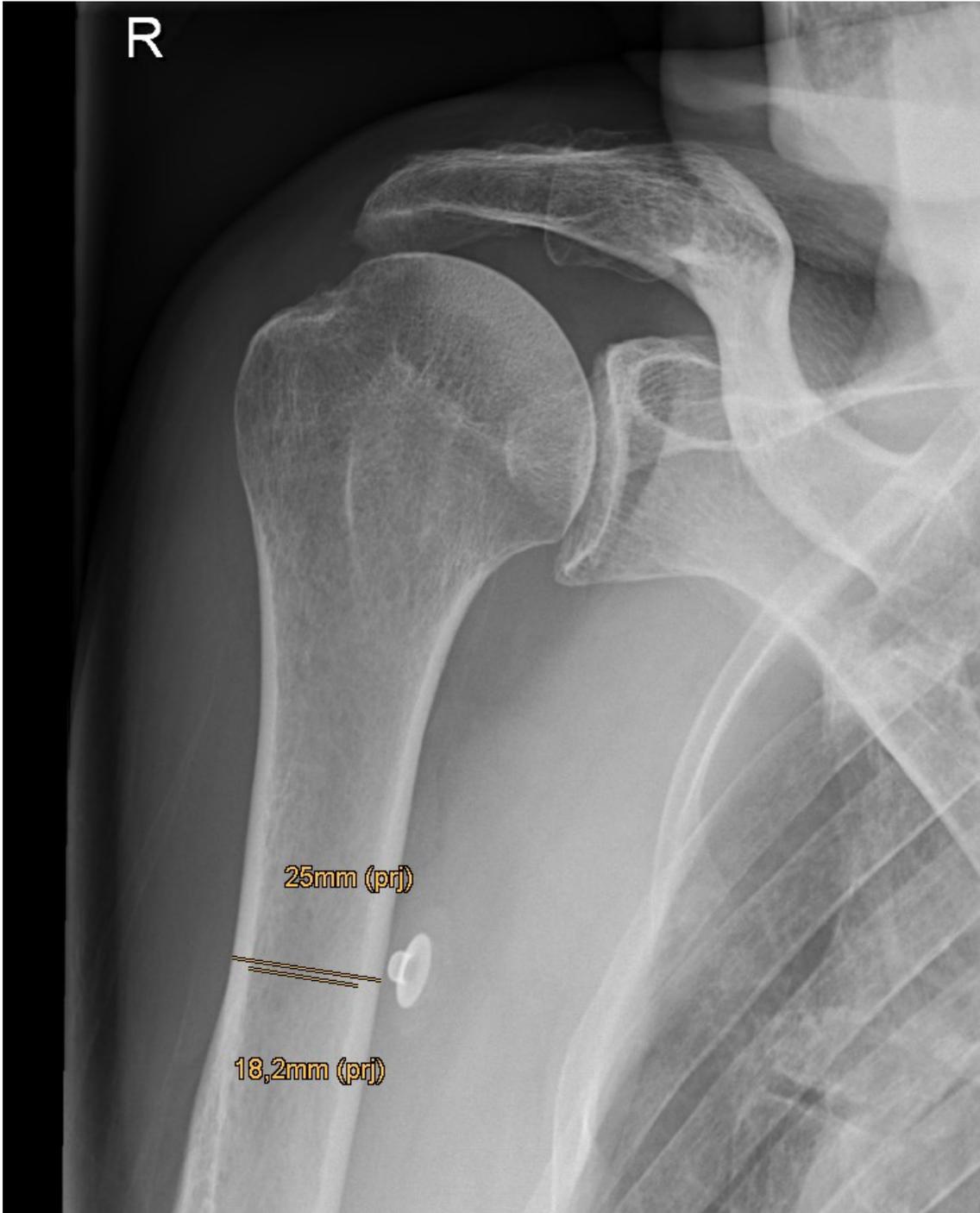


Abbildung Nr. 8: AP-Röntgenaufnahme einer rechten Schulter. Messung des DTI direkt proximal der Tuberositas deltoidea. An dieser Stelle wird das Verhältnis zwischen dem kortikalen Knochen und dem Markraum bestimmt. In diesem Falle: Abstand A: 25mm; Abstand B: 18,2mm. Somit beträgt der DTI 1,37 (25/18,2)

2.2.2 Schrauben-Cut-Out

Zur Bewertung des postoperativen Schrauben-Cut-Outs wurden die durchgeführten Röntgenaufnahmen mit dem Programm IMPAX untersucht. Bei Protrusion einer oder mehrerer Schrauben wurde ein Schrauben-Cut-Out diagnostiziert (siehe *Abbildung Nr. 9*). Der Parameter wurde entsprechend mit *ja* oder *nein* gewertet.



Abbildung Nr. 9: Röntgenbilder nach osteosynthetischer Versorgung einer proximalen Humerusfraktur mit PHILOS-Platte. Links postoperatives Röntgenbild am 2. postoperativen Tag, rechts postoperatives Röntgenbild am 16. postoperativen Tag mit manifestem Schrauben-Cut-Out.

2.2.3 Medial Hinge Displacement

Das Medial Hinge Displacement wurde auf den durchgeführten präoperativen Röntgenaufnahmen als Ausmaß der Verschiebung zwischen dem Humeruskopf und Humerusschaft mit dem Programm IMPAX ausgemessen (siehe *Abbildung Nr. 10*). Bei einer Verschiebung >2 mm wurde mit *ja* bewertet, unterhalb mit *nein*.

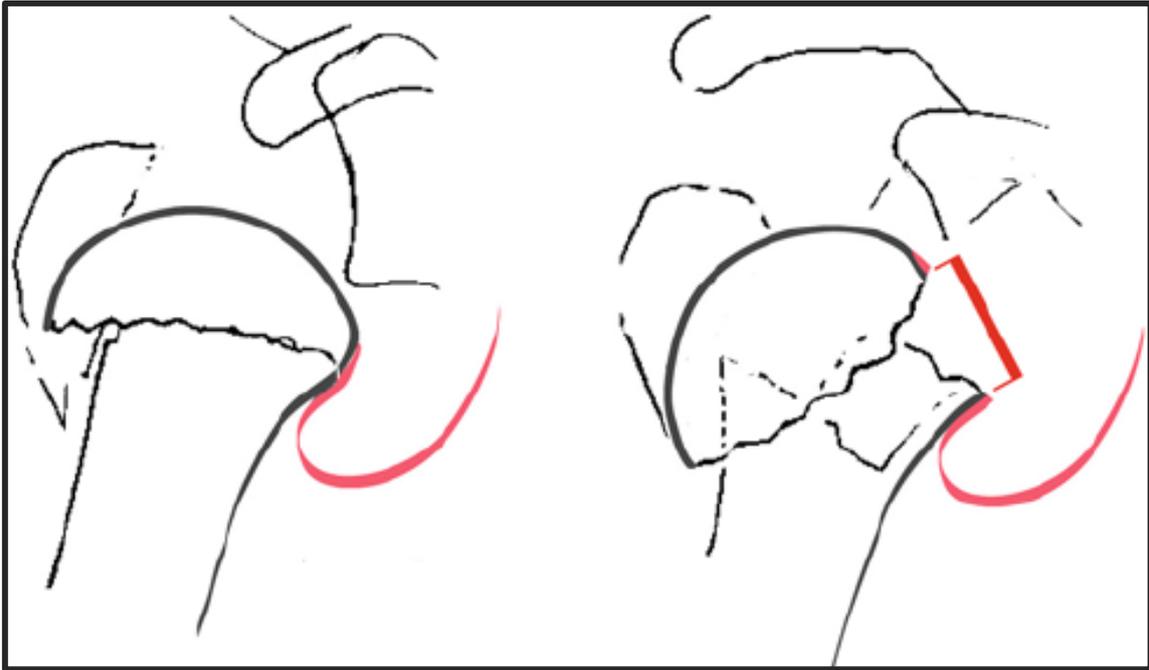


Abbildung Nr. 10: Schematische Darstellung des Medial Hinge Displacement, links ohne Verschiebung, rechts mit einer Verschiebung von >2 mm dargestellt durch die rote eckige Klammer (R. Hertel, "Fractures of the proximal humerus in osteoporotic bone," in *Osteoporosis International*, 2005, doi:10.1007/s00198-004-1714-2. [44])

2.2.4 Neck-Shaft-Angle

Die Winkelbestimmung erfolgte mit dem Programm IMPAX. Der Winkel wird auf einer *true* anteroposterior Röntgenaufnahme ausgemessen. Dabei wird eine Hilfslinie analog zum Collum anatomicum von der kranialen zur kaudalen Begrenzung der Gelenkfläche eingezeichnet, woraufhin die erste Winkellinie in 90° zu der vorherig eingezeichneten Hilfslinie angesetzt wird. Die zweite Winkellinie wird über den Humerusschaft eingezeichnet. Aus den zwei Winkellinien berechnet IMPAX die Neck-Shaft-Angle (siehe *Abbildung Nr. 11*). Winkelmessungen $>140^\circ$ wurden als *Valgusfehlstellung* gewertet, Winkel $<120^\circ$ als *Varusfehlstellung*. Ein Winkel zwischen 120 und 140° wurde als *normal* gewertet.



Abbildung Nr. 11: Messung der Neck-Shaft-Angle im Programm IMPAX, angefertigt im Katharinenhospital Stuttgart. In diesem Falle liegt der NSA bei 135°.

In der Datenerhebung der vorliegenden Dissertation konnte aufgrund von Rotationsfehlstellungen des Humeruskopfes in fünf Fällen kein präoperativer NSA-Wert bestimmt werden. Bei statistischen Berechnungen bezüglich des NSA-Wertes wurde mit einer Anzahl von n=301 Patienten gerechnet.

2.2.5 Metaphyseal Head Extension

Die Metaphyseal Head Extension wird bestimmt, indem die Länge der am Kopf verbliebenen Metaphyse auf dem Röntgenbild ausgemessen wird. Der Parameter wird in Millimetern gemessen. Bei intakter medialer Säule wurde der Parameter mit *nein* bewertet. Die Messungen für diese Studie wurden mit dem Programm IMPAX durchgeführt.



Abbildung Nr. 12: Schematische Darstellung der Metaphyseal Head Extension (R. Hertel, "Fractures of the proximal humerus in osteoporotic bone," in *Osteoporosis International*, 2005, doi:10.1007/s00198-004-1714-2. [44])

2.2.6 Repositionsergebnis

Die Messungen bezüglich des Repositionsergebnisses wurden an den postoperativen Röntgenbildern im Programm IMPAX durchgeführt. Eine Unterteilung erfolgte in drei Repositions-Kategorien:

- Perfekt
- Akzeptabel
- Ungenügend

Die Bewertung eines *perfekten* Repositionsergebnisses wurde vergeben, wenn die Fragmente postoperativ um weniger als 2 mm verschoben waren. Eine *akzeptable* Reposition wurde attestiert, wenn die Fragmente um 2-10 mm verschoben blieben. Jegliche Verschiebungen über 10 mm wurden als *ungenügend* bezeichnet. Bei mehrfragmentären Frakturen wurde die Messung an dem am weitesten verschobenen Bruchstück gemessen.

2.2.7 Humeruskopfnekrose

Die Diagnosestellung erfolgte anhand des Studiums der durchgeführten Röntgenaufnahmen im Programm IMPAX. In den entsprechenden Röntgenbildern zeigte sich im Falle einer Humeruskopfnekrose eine Sklerosierung und Entkalkung sowie eine Verkleinerung des Umfanges des Humeruskopfes. Damit einhergehend zeigte sich in den meisten Fällen auch ein sekundäres Schrauben-Cut-Out. Wurden diese Kriterien erfüllt, wurde die Komplikation als Humeruskopfnekrose gewertet. Der Parameter wurde in der Datenerfassung entsprechend mit *ja* oder *nein* erfasst.

2.3 Statistik

Alle statistischen Analysen wurden mit dem Programm JASP (0.14 / Oktober 14, 2020 – jasp.stats.org), welches von der Universität Amsterdam in Holland bereitgestellt wird, durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde bei $P \leq 0,04$ festgelegt. Die statistische Korrelation in den analysierten Gruppen wurde durch einen Chi-Square-Test für kategoriale Daten und durch einen Independent-T-Test für numerische Daten getestet. Da die meisten Variablen keine Normalverteilung zeigten, wurde der Durchschnitt mit Medianwerten dargestellt.

3 Ergebnisse

Im Zeitraum der Datenerfassung vom 01.01.2007 bis zum 31.12.2018 wurden im Katharinenhospital in Stuttgart 544 Patienten mit isolierten proximalen Humerusfrakturen operativ behandelt. In diesem Patientenkollektiv erfüllten n=306 die gesetzten Einschlusskriterien.

3.1 Stammdaten

Das mediane Alter der Studienpopulation betrug 61,5 [15-94] Jahre. Der Altersgipfel lag in zwei direkt angrenzenden Altersdekaden von 51-60 und 61-70 Jahren. In diesen zwei Dekaden zeigten sich in unserer Untersuchung 143 Patienten bei einer Gesamtanzahl von n=306. Somit machen diese zwei Altersdekaden 46,7% der Gesamtanzahl aus.

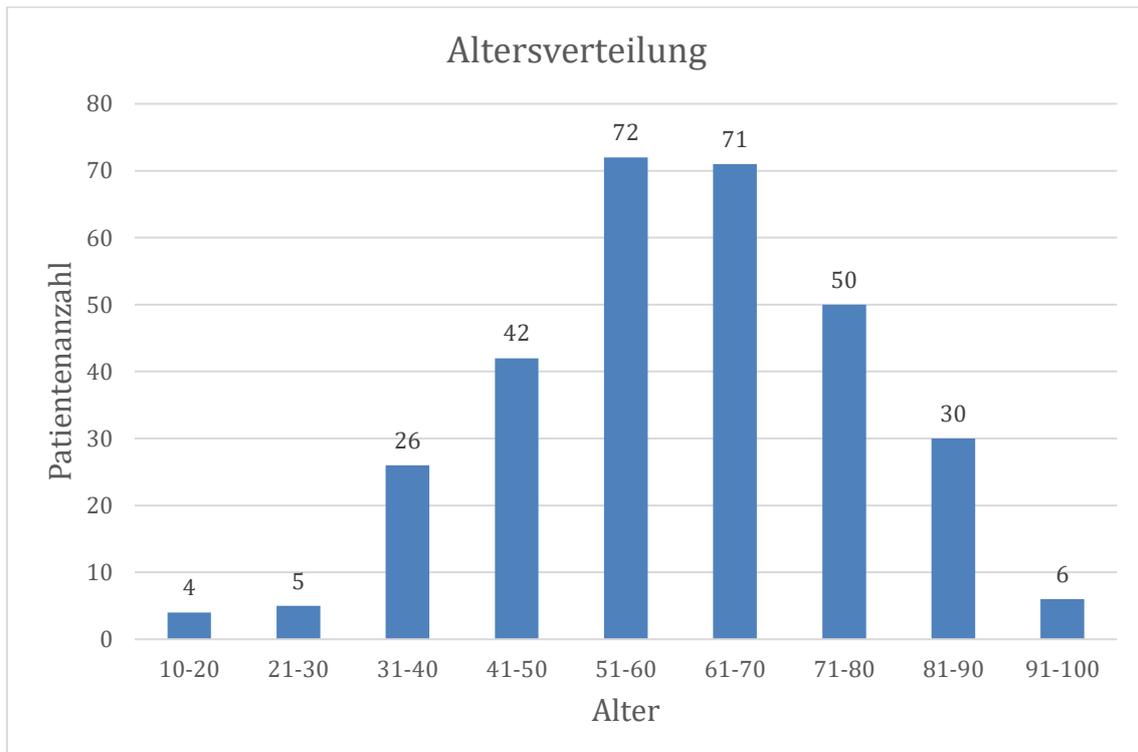


Abbildung Nr. 13: Altersgruppenverteilung der Patienten mit versorgten proximalen Humerusfrakturen im Gesamtkollektiv

Im Boxplot der Altersverteilung der Patienten mit und ohne Schrauben-Cut-Out zeigt sich in der Fünf-Punkte-Zusammenfassung eine symmetrische Darstellung der Zahlen. Es gibt wenige Ausreißer und keine Schiefe der Verteilung.

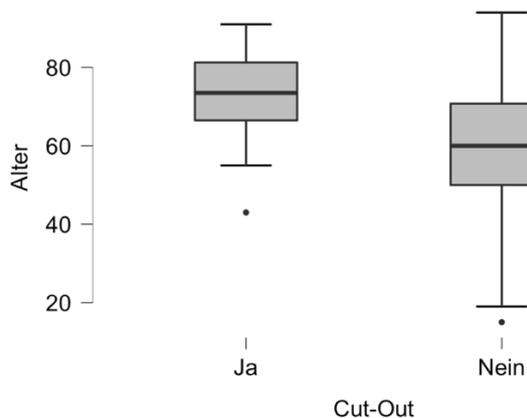


Abbildung Nr. 14: Boxplot der Korrelation zwischen Patientenalter und Cut-Out

Bezüglich des Geschlechtes waren von 306 eingeschlossenen Patienten 183 weiblich. Das entspricht einem Prozentsatz von 59,8% weiblichen und 40,2% männlichen Patienten.

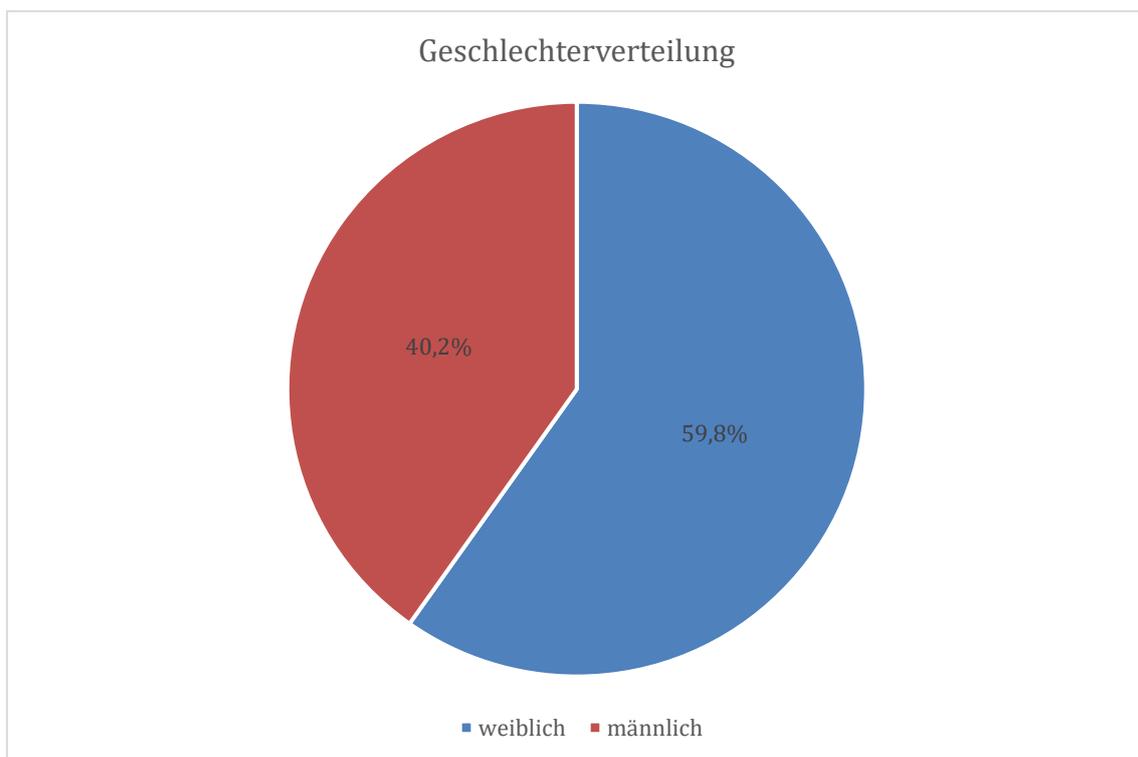


Abbildung Nr. 15: Geschlechterverteilung der Patienten mit zu versorgenden proximalen Humerusfrakturen

Im direkten Vergleich der Geschlechter bezüglich des Risikos für ein Schrauben-Cut-Out zeigte sich kein relevant höheres Risiko für eine der beiden Geschlechtergruppen.

Die mediane Größe der Patienten aus dem Kollektiv betrug 1,7m [1,45-2]. Das mediane Gewicht der untersuchten Patienten lag bei 75kg [39-150]. Der BMI lag im Median bei 25,7 [15,4-53,3]. Eine Korrelation zwischen BMI und dem Risiko für ein Schrauben-Cut-Out war nicht darstellbar. Eine Korrelation zwischen Größe und Cut-Out war ebenfalls nicht darstellbar.

3.2 Zeitlicher Ablauf der Behandlung

Die Zeit von der Aufnahme in unsere Klinik bis zur operativen Versorgung betrug im Median 24 [1-726] Stunden, bzw. 1 [0-30] Tag. Die postoperative Verweildauer der Patienten betrug im Median 5 [1-52] Tage. Somit betrug die mediane gesamte Aufenthaltszeit der Patienten in unserer Klinik 6 Tage.

Um eine Relevanz der Dauer von Aufnahme bis zur operativen Versorgung zu überprüfen, wurden die Zahlen der Patienten mit und ohne Komplikationen im postoperativen Verlauf miteinander verglichen. Die mediane Dauer bis zur operativen Versorgung bei Patienten ohne Komplikationen im Verlauf lag bei 22 [1-480] Stunden. Bei Patienten mit Komplikationen im weiteren Verlauf zeigte sich eine mediane Wartezeit bis zur operativen Versorgung von 25,5 [1-726] Stunden. In der statistischen Auswertung zeigte sich keine Signifikanz für den Zusammenhang zwischen der Wartezeit auf die operative Versorgung und dem Auftreten postoperativer Komplikationen.

Die mediane Zeit von der operativen Versorgung bis zur Entlassung der Patienten betrug 5 Tage. In Korrelation mit dem Schrauben-Cut-Out zeigte sich hier bei den 282 Patienten ohne Cut-Out eine mediane Zeit von 5 Tagen, bei den Patienten mit Cut-Out eine mediane Zeit von 6 Tagen. Hier ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied.

3.3 DTI

Zuerst wurden die Zusammenhänge zwischen dem Patientenalter und dem DTI untersucht. Gemäß den Studien von *Spross et al.* wurde von einem sinkenden DTI bei steigendem Alter ausgegangen. Ebenso wurde versucht, eine prädiktive Altersverteilung des DTIs zu errechnen. Dies ließ sich anschaulich und näherungsweise als Trendlinie in einem Schaubild darstellen. Anhand der Trendlinie (siehe *Abbildung Nr. 16*) kann man erkennen, dass die DTI-Werte mit zunehmendem Patientenalter sinken.

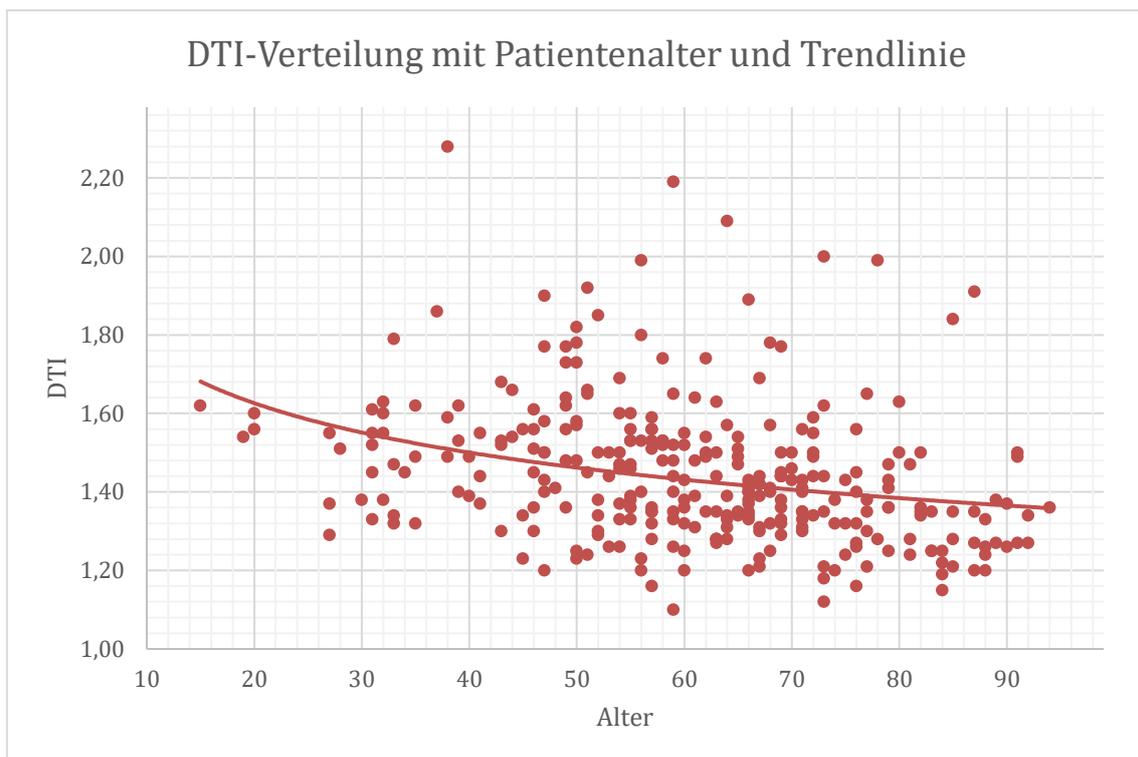


Abbildung Nr. 16: Verteilung der DTI-Werte und des Patientenalters mit berechneter Trendlinie (Potenz)

In einem weiteren Schaubild wurden die DTI-Werte erneut in ein Punktschaubild eingetragen. Hier sind jedoch die Werte mit und ohne Cut-Out farblich markiert und mit jeweils einer Trendlinie versehen. Die Trendlinien zeigen anschaulich den Größenunterschied des DTIs bei Patienten mit und ohne Cut-Out. Bei Patienten mit einem Schrauben-Cut-Out im Verlauf zeigt die rote Trendlinie einen kleineren DTI an als die grüne Trendlinie bei den Patienten ohne Cut-Out (siehe *Abbildung Nr. 17*).

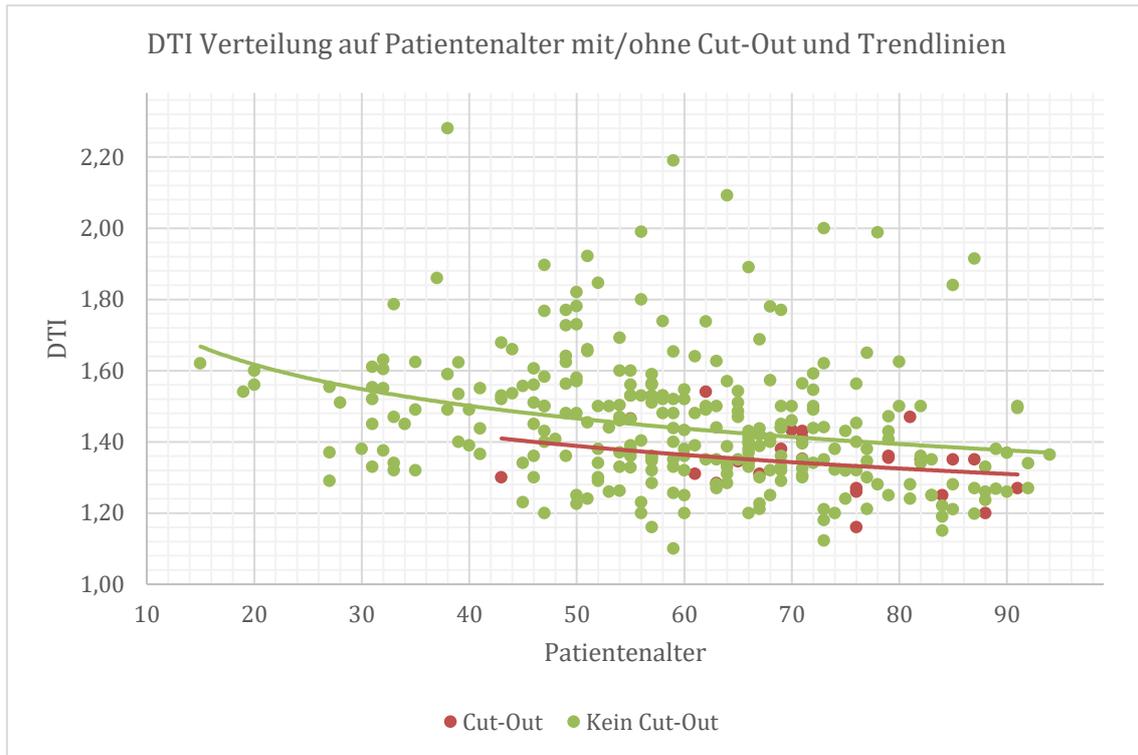


Abbildung Nr. 17: Verteilung der DTI-Werte bezüglich des Patientenalters mit und ohne Cut-Out sowie mit Trendlinien (Potenz)

Ebenso sollte der DTI als Gesamtfaktor für postoperativ aufgetretene Komplikationen untersucht werden. Der DTI bei Patienten, welche postoperativ keine Komplikationen zeigten, war im Median bei 1,44 [1,10-2,19] gemessen worden. Der DTI bei Patienten mit komplikativem Verlauf betrug im Median 1,37 [1,16-2,28]. In den Untersuchungen stellte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bei einem P-Wert von 0,034 dar. Daraus ergibt sich eine statistische Signifikanz des DTIs als prädiktiver Faktor für postoperative Komplikationen. In der Untersuchung der einzelnen Komplikationen zeigt sich das Schrauben-Cut-Out jedoch als einzige statistisch signifikante Komplikation.

Der Vergleich zwischen DTI und dem Schrauben-Cut-Out ergab folgende Ergebnisse. Im vorliegenden Gesamtkollektiv wurde ein medianer DTI von 1,42 [1,10-2,28] gemessen. In der Gruppe der Patienten ohne postoperativen Cut-Out ergab sich ein medianer DTI von 1,43 [1,10-2,28], wohingegen in der Gruppe der Patienten mit Schrauben-Cut-Out ein medianer DTI von 1,35 [1,16-1,54] gemessen wurde. Im Vergleich zeigte sich eine statistische Signifikanz mit einem P-Wert von 0,003. Der präoperativ gemessene DTI bei

Patienten mit einem postoperativen Schrauben-Cut-Out ist dementsprechend statistisch signifikant kleiner als der gemessene DTI bei Patienten ohne Schrauben-Cut-Out.

Um den Wert des DTIs zu bestimmen, ab welchem ein signifikant höheres Risiko für ein Schrauben-Cut-Out besteht, wurde der DTI mit den Cut-Out-Werten in einem Chi-Square-Test korreliert. Hier zeigte sich ab einem $DTI \leq 1,61$ eine statistisch signifikante Korrelation mit einem postoperativen Schrauben-Cut-Out.

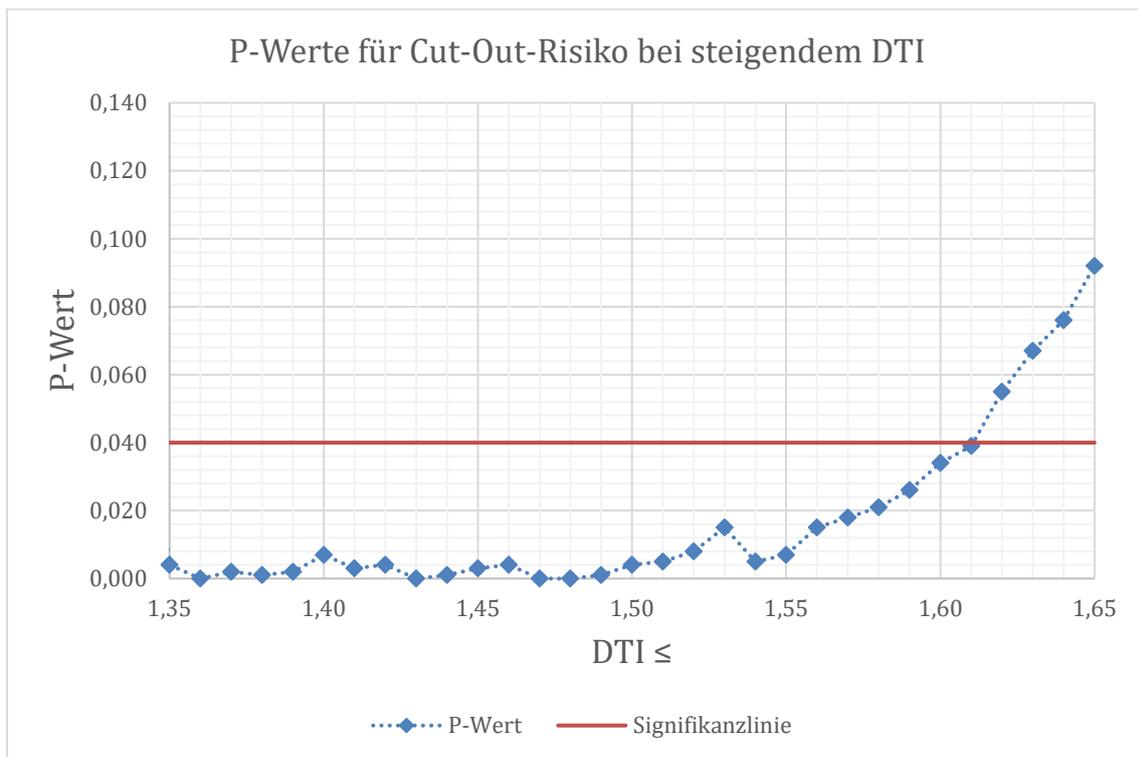


Abbildung Nr. 18: P-Werte für die Bestimmung der statistischen Signifikanz des DTIs bezogen auf ein Cut-Out mit eingetragener Signifikanzlinie ($P \leq 0,040$)

Ebenso wurde die Sensitivität und Spezifität des DTIs für ein postoperatives Schrauben-Cut-Out errechnet. Die höchsten Werte zeigten sich bei einem DTI-Wert von 1,36. Hier ergaben sich eine Sensitivität von 70,8% sowie eine Spezifität von 63,8%. Bei einem DTI-Wert $\geq 1,53$ war bei keinem unserer Patienten ein Cut-Out mehr festzustellen. Ab diesen Werten zeigte sich dementsprechend eine Sensitivität von 100%. Nach Bestimmung der Sensitivität und Spezifität liegt somit der beste prädiktive Wert für ein drohendes Schrauben-Cut-Out bei einem DTI von $\leq 1,36$ (siehe *Abbildung Nr. 19*). In unseren Daten wurde bei 117 Patienten ein DTI-Wert $\leq 1,36$ gemessen. Von diesen 117

Patienten erlitten 16 im postoperativen Verlauf ein Schrauben-Cut-Out, dies entspricht einer Versagensrate von 14% in dieser Gruppe.

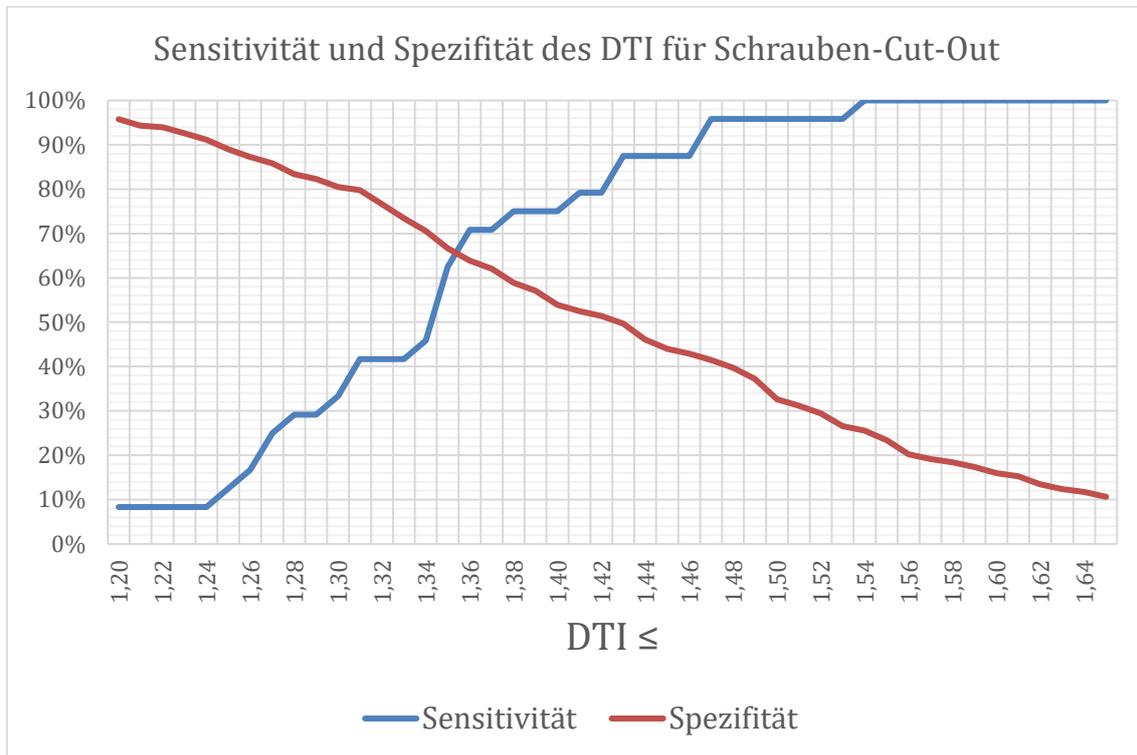


Abbildung Nr. 19: Sensitivität und Spezifität des DTI für Schrauben-Cut-Out

In einer weiteren Untersuchung sollte überprüft werden, ob eine Korrelation zwischen dem präoperativen DTI und der postoperativen Pseudarthrose besteht. Von 306 operierten Patienten entwickelten 19 im Verlauf eine Pseudarthrose, was ca. 6,2% entspricht. In Abhängigkeit von den berechneten DTI-Werten ergab sich in den statistischen Tests keine Signifikanz.

3.4 Schrauben-Cut-Out

Von 306 Patienten zeigten 24 im Verlauf nach Osteosynthese das radiologische Bild eines Schrauben-Cut-Outs. Das mediane Alter der Patienten ohne Schrauben-Cut-Out wurde bei 60 [15-94] Jahren ermittelt. Das mediane Alter von Patienten mit Schrauben-Cut-Out zeigte sich bei 73,5 [43-91] Jahren. Bei der Korrelation der Werte mit dem Independent-T-Test ergab sich eine statistische Signifikanz bei einem P-Wert von <0,001. Das

Patientenalter korreliert somit statistisch signifikant mit dem postoperativen Schrauben-Cut-Out. In *Abbildung Nr. 20* stellt sich dies mit der eingezeichneten Linie des Anteils des Schrauben-Cut-Outs an den Gesamtpatienten augenscheinlich dar. Umso älter die Patienten sind, desto höher ist der prozentuale Anteil der Patienten mit einem Schrauben-Cut-Out.

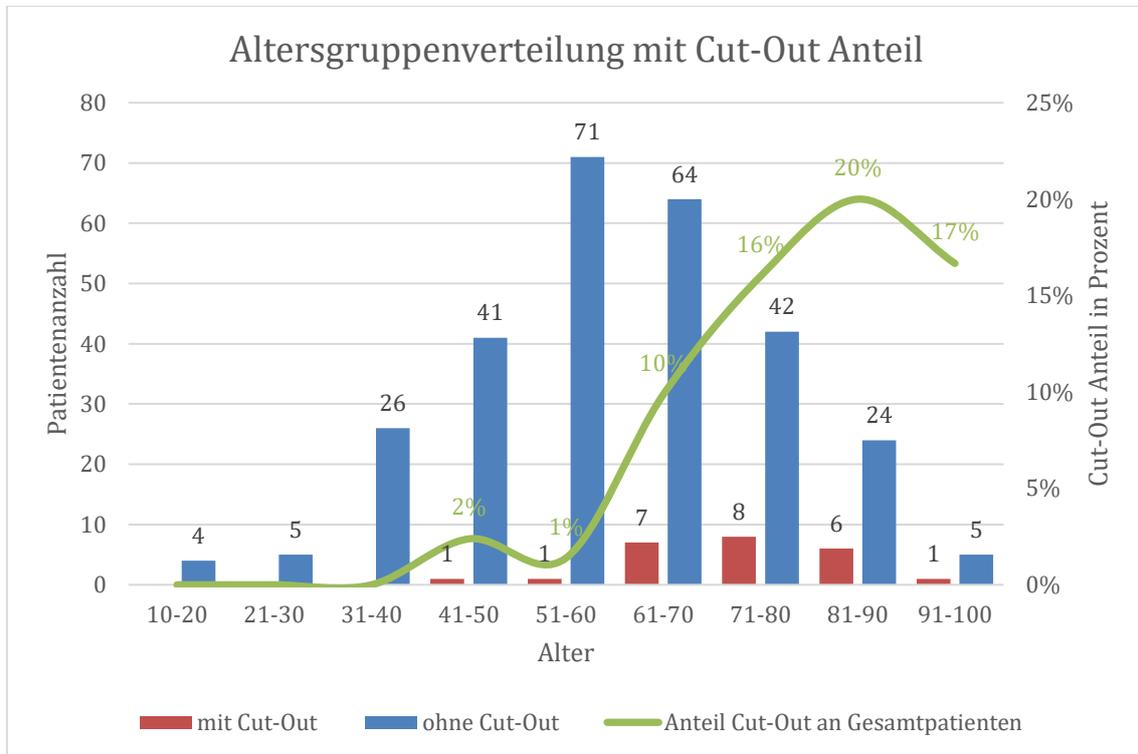


Abbildung Nr. 20: Altersgruppenverteilung Patienten mit und ohne Cut-Out sowie Linie des prozentualen Anteils der Patienten mit Cut-Out im Vergleich zur Gesamtanzahl der Patienten in der jeweiligen Altersgruppe

In weiteren Tests sollte das genaue Alter bestimmt werden, ab welchem eine signifikante Korrelation mit dem postoperativen Schrauben-Cut-Out nachgewiesen werden konnte. Hier zeigte sich ab einem Alter ≥ 50 Jahren eine statistisch signifikante Korrelation für ein Schrauben-Cut-Out bei einem P-Wert von 0,025 im Chi-Square-Test.

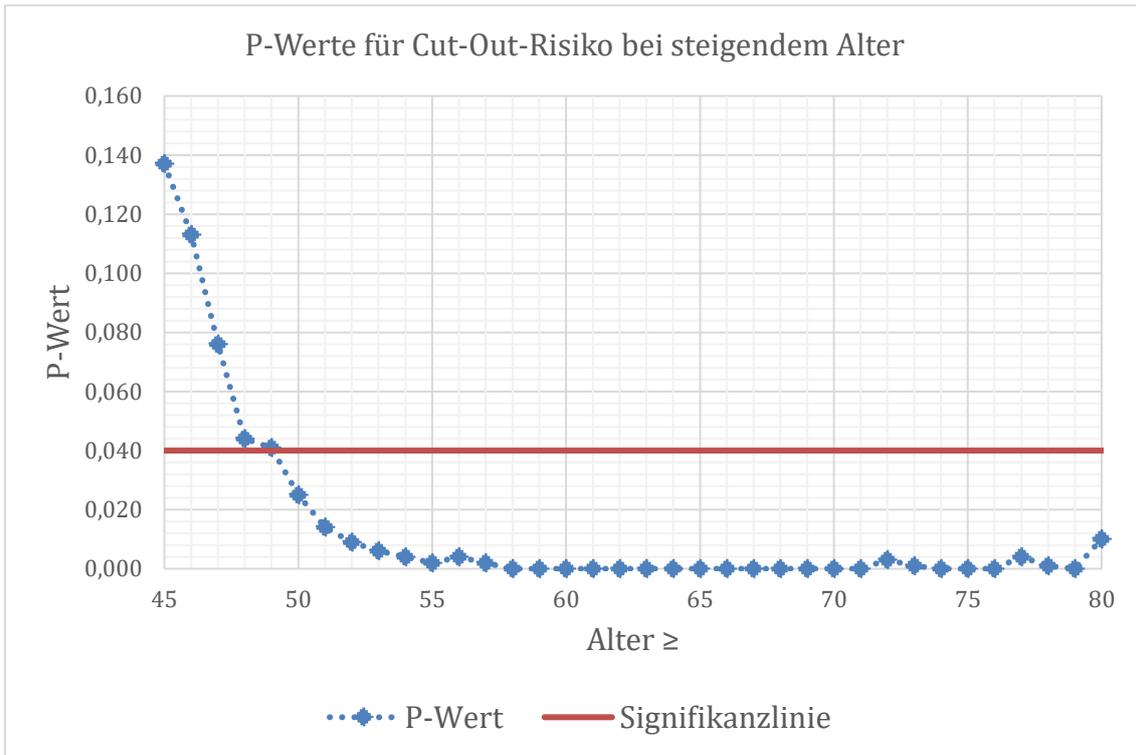


Abbildung Nr. 21: P-Werte für die Bestimmung der statistischen Signifikanz des Alters bezogen auf ein Cut-Out mit eingetragener Signifikanzlinie ($P \leq 0,040$)

In der Berechnung der Sensitivität und Spezifität des Patientenalters bezogen auf das Risiko für einen Cut-Out, zeigten die höchsten Korrelationswerte eine Sensitivität von 70,8% und eine Spezifität von 70,6% bei einem Alter von ≥ 69 Jahren. Bei einem Alter von ≥ 50 Jahren zeigte sich eine Sensitivität von 95,8%, jedoch nur eine Spezifität von 24,1%.

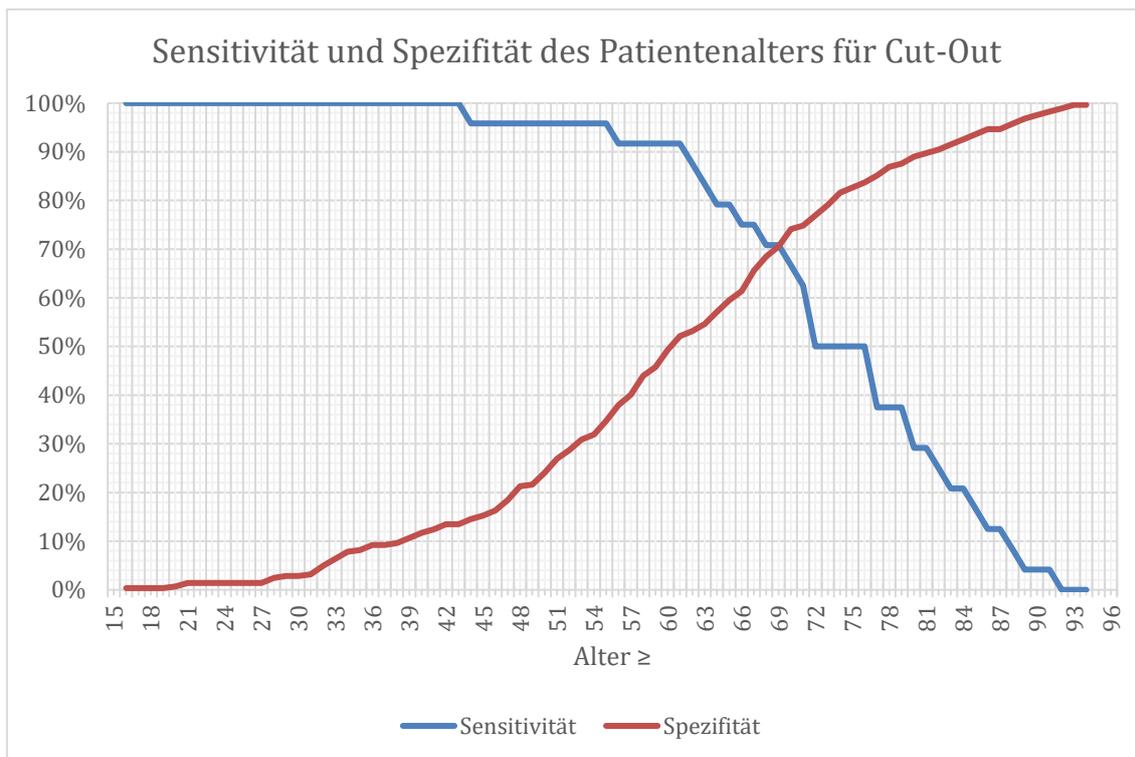


Abbildung Nr. 22: Sensitivität und Spezifität für die Korrelation zwischen Alter und Schrauben-Cut-Out

Dies bedeutet, dass ein signifikantes Risiko für ein Schrauben-Cut-Out ab einem Alter von 50 Jahren besteht. Bei diesem Alter ist die Sensitivität hoch, die Spezifität jedoch gering. Nach Bestimmung der Sensitivität und Spezifität liegt der beste prädiktive Wert für ein drohendes Schrauben-Cut-Out bei ≥ 69 Jahren (siehe *Abbildung Nr. 22*). Von unseren Studienpatienten waren 100 zum Erfassungszeitpunkt 69 Jahre oder älter. Von diesen erlitten 17 ein Schrauben-Cut-Out im Verlauf, somit ergibt sich eine Versagensrate von 17% in dieser Altersgruppe.

Eine Gegenüberstellung von ASA-Score und Schrauben-Cut-Out ergab folgende Ergebnisse. In der Auswertung der ASA-Score wurde wie zuvor erwähnt mit einer Patientenzahl von $n=301$ gerechnet. 54 Patienten wurden als ASA 1 eingestuft, 2 davon erlitten im Verlauf ein Schrauben-Cut-Out (3,7%). Der größte Anteil der Untersuchten wurde als ASA 2 eingestuft, hier konnten 170 Patienten gezählt werden, wovon 13 ein Schrauben-Cut-Out im Verlauf zu beklagen hatten (7,6%). Als ASA 3 wurden 76 Patienten eingestuft, davon hatten 8 Patienten im Verlauf ein Schrauben-Cut-Out erlitten, dies entspricht 10,5%. Lediglich 1 Patient wurde als ASA 4 eingestuft, dieser entwickelte im Verlauf ein Schrauben-Cut-Out. Eine relevante Aussage lässt sich jedoch bei nur

einem Patienten in dieser Kategorie nicht treffen. Keiner unserer Patienten wurde als ASA 5 oder 6 eingestuft. Keine der ASA Kategorien zeigte in den statistischen Untersuchungen eine signifikante Auffälligkeit. Jedoch schien die Inzidenz der Cut-Outs bei Patienten mit höherwertigem ASA-Score zuzunehmen, wie sich in folgendem Schaubild gut erkennen lässt.

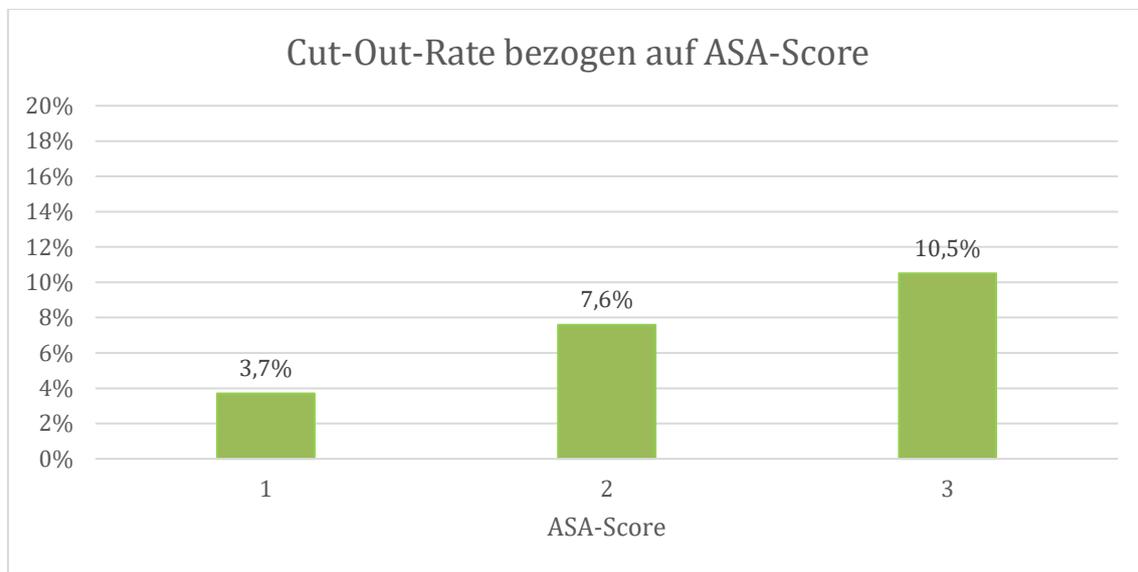


Abbildung Nr. 23: Cut-Out-Rate in Prozent in Bezug auf die erhobene ASA-Score (ASA 4 nicht abgebildet)

In der Gegenüberstellung von Schrauben-Cut-Out und Repositionsergebnis zeigten sich folgende Ergebnisse. Ein perfektes Repositionsergebnis konnte bei n=306 Patienten in 80 Fällen (26,1%) erreicht werden. In 148 Fällen (48,4%) konnte eine akzeptable Reposition erreicht werden. Leider konnte in 78 Fällen nur eine ungenügende Reposition erreicht werden. Dies entspricht 25,5% des Gesamtkollektivs.

Während sich bei perfekter Reposition in 3,7% ein Schrauben-Cut-Out zeigte, war dies bei nur akzeptabel reponierten Frakturen schon in 8,1% der Fall. Bei ungenügend reponierten Frakturen zeigte sich ein Schrauben-Cut-Out in 11,5% der Fälle. Eine statistische Signifikanz bezüglich des postoperativen Schrauben-Cut-Outs ergab sich daraus jedoch nicht. Anzumerken bleibt auch, dass die Reposition bei schlechterer Knochenqualität bzw. geringen DTI-Werten erfahrungsgemäß deutlich erschwert ist und somit hier keine eindeutige Korrelation hergestellt werden kann.

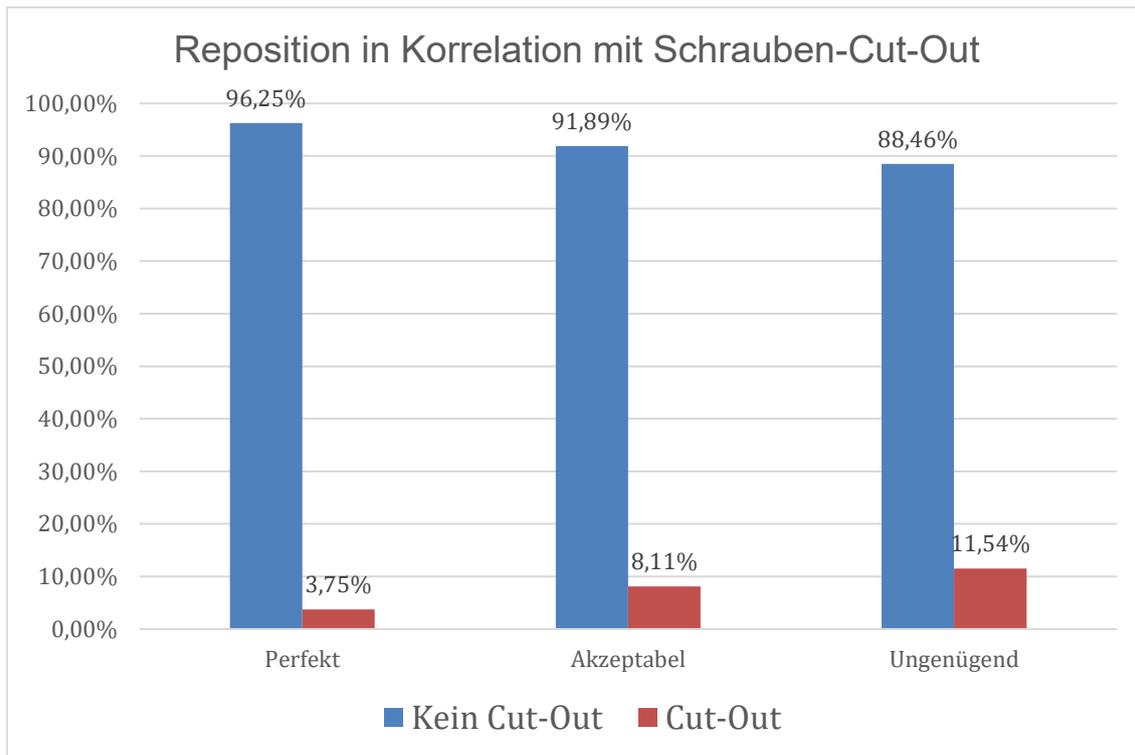


Abbildung Nr. 24: Häufigkeit des Schrauben-Cut-Outs in Korrelation mit dem intraoperativen Repositionsergebnis

Bezüglich der postoperativen Infektionen ergaben sich folgende Ergebnisse. Von 306 Patienten im Patientenkollektiv entwickelten 12 (4%) eine Infektion im Bereich des OP-Gebietes. In der Gruppe mit Schrauben-Cut-Out entwickelten 11 von 282 Patienten (4%) eine Infektion. In der Gruppe ohne Cut-Out entwickelte einer von 24 Patienten (4%) eine Infektion. In der Korrelation dieser Werte ergab sich keine statistische Signifikanz.

Patienten, welche ein Schrauben-Cut-Out im Verlauf erlitten hatten, wurden im Katharinenhospital entsprechend der Gesamtkonstellation behandelt. Ein allgemein akzeptiertes Therapieverfahren liegt in diesem Fall nicht vor, was die Erstellung individueller Therapiekonzepte nötig macht.

Von den 24 Patienten mit Schrauben-Cut-Out wurden neun Patienten (38%) konservativ mittels Physiotherapie weiterbehandelt. Diese Art der Weiterbehandlung war nur in den Fällen möglich, in denen keine relevante Funktionseinschränkung vorlag, wenige Beschwerden bestanden oder eine weitere Operation bei bestehenden Vorerkrankungen nicht indiziert werden konnte. Bei später Diagnose eines Cut-Outs und Konsolidierung der Fraktur konnte eine Metallentfernung durchgeführt werden. Dieses Verfahren wurde

in acht Fällen (33%) durchgeführt. Bei frühem postoperativem Schrauben-Cut-Out wurde die Indikation zur Re-Osteosynthese mittels PHILOS-Platte gestellt. Eine Re-Osteosynthese wurde bei drei Patienten (13%) durchgeführt. Bei relevanter Gelenkdestruktion wurde die Indikation zur Re-Operation mit Implantation einer Schulterprothese gestellt. Dies wurde in vier Fällen (17%) durchgeführt.

Die mediane Zeit von der Operation bis zum Schrauben-Cut-Out betrug bei den 24 Patienten mit Cut-Out 55 [24-726] Tage. 15 der Patienten wurden erneut von uns operiert. Dies geschah im Median 123,5 [43-398] Tage nach der initialen Operation und somit ca. 68,5 Tage nach Diagnosestellung des Cut-Outs.

3.5 Klassifikationen

Die Klassifikation der proximalen Humerusfrakturen wurde nach AO und Neer durchgeführt. Bei der AO-Klassifikation zeigten sich folgende Ergebnisse. Von den 306 untersuchten proximalen Humerusfrakturen wurden 74 bzw. 24% als A-Frakturen klassifiziert. 175 bzw. 57% wurden als B-Frakturen klassifiziert, sowie 57 bzw. 19% als C-Frakturen.

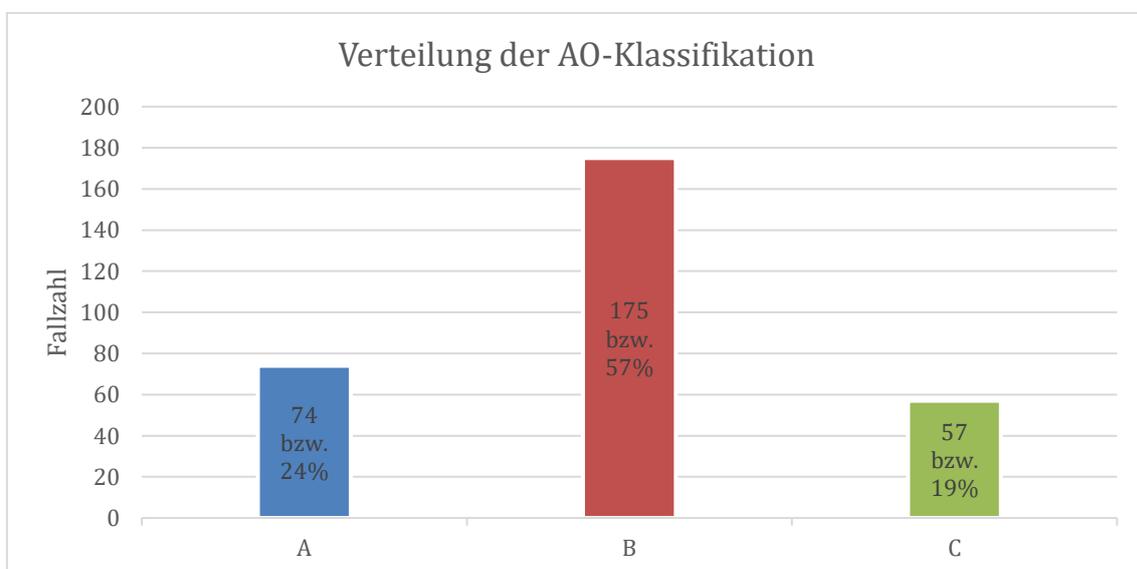


Abbildung Nr. 25: Verteilung der AO-Klassifikation in unserem Patientenkollektiv

Bei genauerer Klassifizierung in Untergruppen 1-3 zeigte sich die B1-Fraktur als am häufigsten klassifizierte Frakturform.

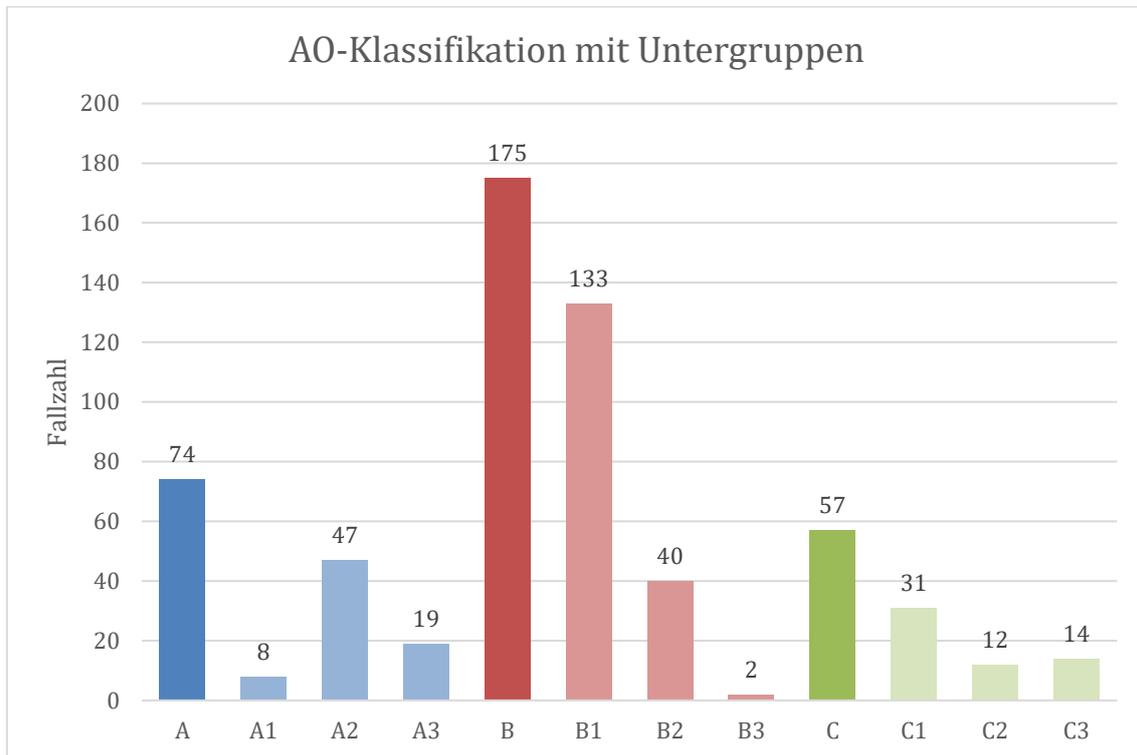


Abbildung Nr. 26: AO-Klassifikation der untersuchten Frakturen mit Untergruppen

Bei der Auswertung der Neer-Klassifikation zeigten sich folgende Ergebnisse: Von unseren 306 klassifizierten proximalen Humerusfrakturen wurde lediglich eine als Neer I klassifiziert, was einer unverschobenen Fraktur entspricht. Dies ist durch die nicht gegebene Indikation zur operativen Versorgung bei Neer-I-Frakturen zu erklären. 83 Frakturen ließen sich in 2-Teile-Frakturen klassifizieren, dies entspricht ca. 27%. Die höchsten Anteile haben 3- und 4-Teile-Frakturen. 112 Frakturen ließen sich in 3-Teile klassifizieren, dies entspricht ca. 37%. In Neer-4-Teile ließen sich 110 Frakturen, bzw. ca. 36% klassifizieren.

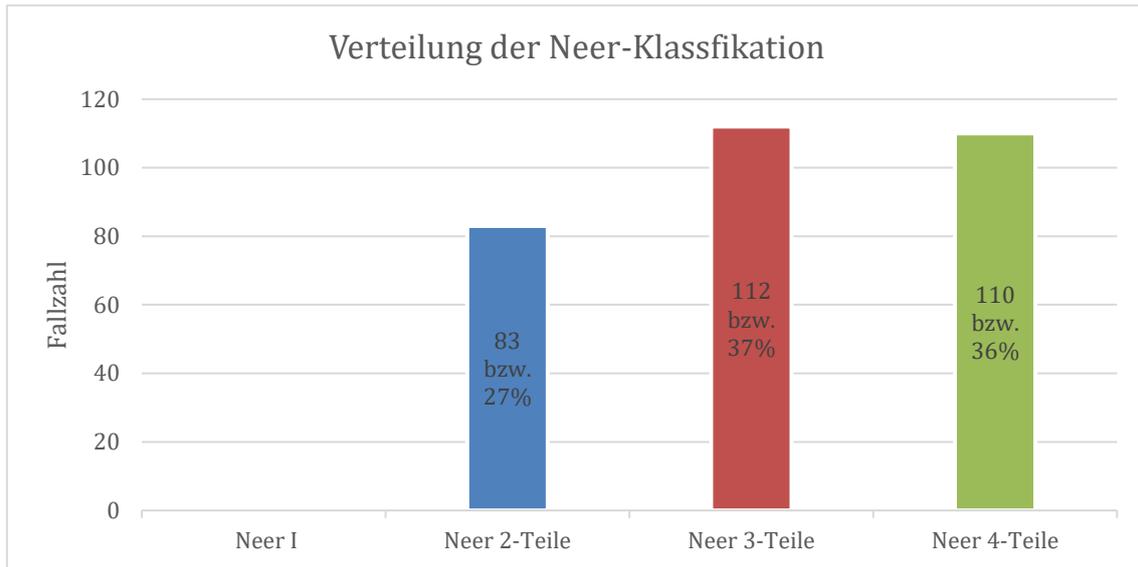


Abbildung Nr. 27: Verteilung der Neer-Klassifikation in unserem Patientenkollektiv

In den Untersuchungen ließ sich keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Frakturklassifikation und dem Risiko für ein postoperatives Schrauben-Cut-Out feststellen. Die Zahlen sollten trotzdem wegweisend genannt werden. Hier zeigte sich bei der AO-Klassifikation ein deutlicher Anstieg der Cut-Out-Raten bei höherwertig klassifizierten Frakturen. Während sich bei nach A und B klassifizierten Frakturen in 6,8% bzw. 7,4% Schrauben-Cut-Outs im postoperativen Verlauf zeigten, geschah dies bei C-Frakturen immerhin in 10,5% der Fälle.

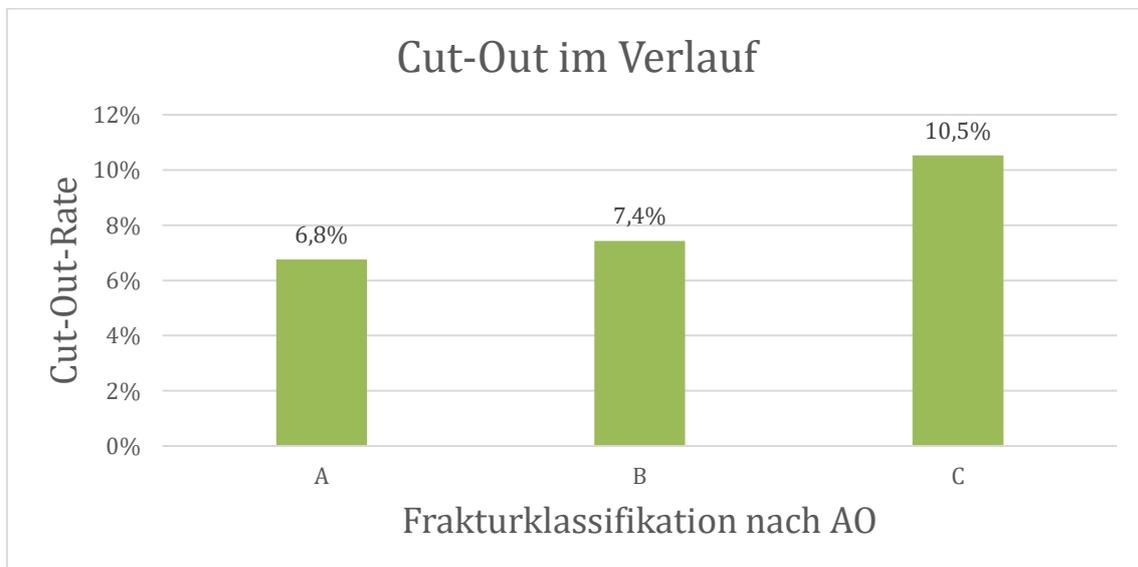


Abbildung Nr. 28: Cut-Out-Rate in Abhängigkeit von der angewandten AO-Klassifizierung

Bei der Neer-Klassifikation konnten ähnliche Werte dargestellt werden. Während sich bei 2- und 3-Teile-Frakturen in 6,0% bzw. 6,3% Schrauben-Cut-Outs im postoperativen Verlauf zeigten, geschah dies bei 4-Teile-Frakturen in 10,9% der Fälle. Bei Neer-I-Frakturen zeigte sich kein Cut-Out im Verlauf, nach diesem Frakturtyp wurde jedoch nur eine Fraktur klassifiziert.

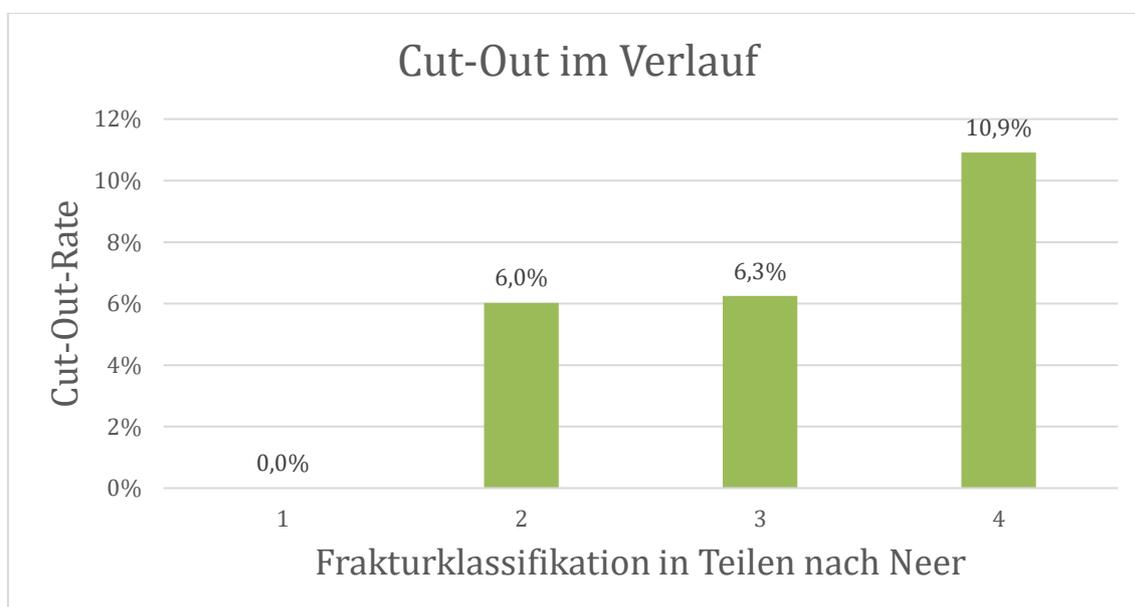


Abbildung Nr. 29: Cut-Out-Rate in Abhängigkeit der angewandten Neer-Klassifizierung

Die erfassten Daten wurden auch genutzt, um einen Vergleich zwischen der AO- und der Neer-Klassifikation durchzuführen. Hier sollte vor allem dargestellt werden ob, und wenn ja welche der Klassifikationen besser geeignet ist, um die gesamten postoperativen Komplikationen vorauszusagen.

Ein Vergleich der beiden Klassifikationen ist durchaus möglich. Dies setzt jedoch voraus, dass die Klassifikation nach Neer wie oben beschrieben im Sinne einer 2-, 3- und 4-Teile Klassifikation genutzt wird. Die nach AO klassifizierten A-Frakturen werden als unifokal beschrieben und sind demnach am ehesten mit den 2-Teile-Frakturen zu vergleichen. Die B-Frakturen werden als bifokal beschrieben und werden demnach oft ebenso in 3-Teile-Frakturen klassifiziert. Die C-Frakturen werden als artikulär beschrieben, diese sind also am wenigsten mit der Neer-Klassifikation zu vergleichen.

Aus den zugrunde liegenden Daten lassen sich interessante Ergebnisse ableiten. Bei beiden Klassifikationen steigt die Anzahl der Komplikationen mit der Höherwertigkeit der Klassifizierung an. Während bei der Neer-I-Fraktur keine Komplikationen auftraten, traten bei den 2-Teile-Frakturen in 28% der Fälle Komplikationen auf. Bei 3-Teile-Frakturen waren es 34%, während es bei 4-Teile-Frakturen sogar in 45% der Fälle zu Komplikationen kam.

Ähnliches lässt sich bezüglich der AO-Klassifikation berichten. Bei den als A-Frakturen klassifizierten Brüchen zeigten sich in 28% der Fälle Komplikationen. Bei den B-Frakturen waren es 35%. Bei den als C klassifizierten Frakturen zeigten sich in beeindruckenden 49% der Fälle Komplikationen im postoperativen Verlauf.

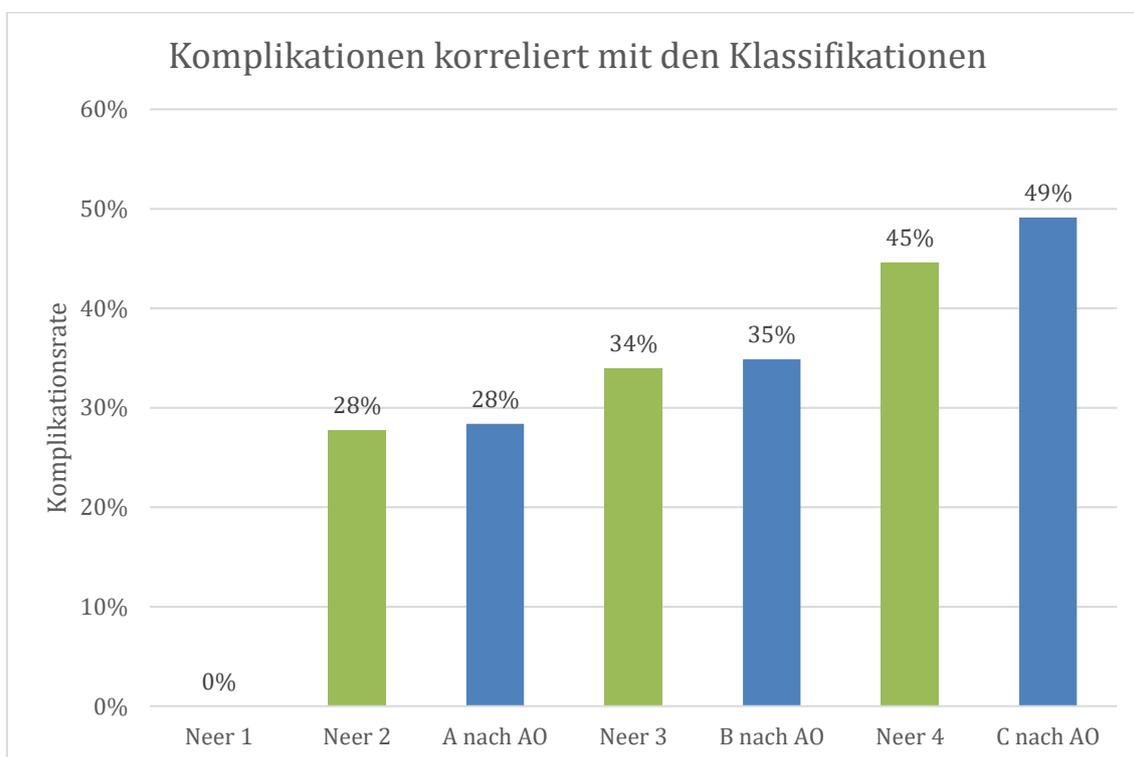


Abbildung Nr. 30: Korrelation der Komplikationen mit den Frakturklassifikationen nach AO und Neer

Wenn man nun die beiden Klassifikationen im Schaubild vergleicht, zeigen sich nahezu gleiche Komplikationsraten bei den A-Frakturen und der Neer 2-Teile-Fraktur, bei den B-Frakturen und der Neer 3-Teile-Fraktur, sowie bei den C-Frakturen und der Neer 4-Teile-Fraktur. Damit entspricht eine höherwertige Klassifikation einer höheren Komplikationsrate.

3.6 Medial Hinge Displacement

Ebenso interessant zeigte sich die Analyse des Medial Hinge Displacement in Korrelation mit dem postoperativen Schrauben-Cut-Out. Im gesamten Patientenkollektiv mit 306 Patienten zeigte sich bei 240 (78%) ein Medial Hinge Displacement von >2 mm. Es sollten nun die Patienten mit und ohne Schrauben-Cut-Out gesondert betrachtet werden. Von den 282 Patienten, bei denen sich im postoperativen Verlauf kein Schrauben-Cut-Out manifestierte, zeigten 217 Patienten (77%) präoperativ ein Medial Hinge Displacement >2 mm. Von den 24 Patienten, welche im Verlauf eine Komplikation mittels Schrauben-Cut-Out zu beklagen hatten, zeigten 23 Patienten (96%) ein Medial Hinge Displacement >2 mm. In der statistischen Korrelation zwischen den Patienten mit bzw. ohne Cut-Out und dem Medial Hinge Displacement ergab sich mittels Independent-T-Test eine signifikante Abweichung bei einem P-Wert von 0,031. Somit war in unserem Patientenkollektiv eine signifikante Korrelation zwischen Schrauben-Cut-Out und präoperativ bestehendem Medial Hinge Displacement zu beobachten.

3.7 Neck-Shaft-Angle

3.7.1 Präoperativ

Wie bereits erwähnt, konnte bei fünf Patienten die präoperative NSA bei Humeruskopf-Fehlstellung nicht berechnet werden. Somit wurden bei den Berechnungen für dieses Kapitel lediglich die Daten von 301 Patienten herangezogen. In der Analyse der präoperativen Neck-Shaft-Angle zeigten sich in den Röntgenuntersuchungen bei $n=301$ Patienten im Medianwert ein NSA von 149° [45-319] und somit eine Tendenz zur Valgusfehlstellung nach Frakturereignis. Bei den Patienten ohne postoperativen Cut-Out zeigte sich im Median ebenfalls ein NSA von 149° [45-280]. Bei den Patienten mit Cut-Out im Verlauf zeigte sich präoperativ im Median ein NSA von 143° [112-319]. Hieraus ergab sich keine statistische Signifikanz.

In der Untersuchung der einzelnen Fehlstellungen bzw. Varus- und Valgusfehlstellungen ergaben sich ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede im Chi-Square-Test. Bei n=301 Patienten zeigten 184 Patienten eine präoperative Valgusfehlstellung. Dies entspricht ca. 60% der Gesamtanzahl. Von diesen 184 Patienten erlitten 13 im Verlauf ein Cut-Out, das entspricht 7%. 73 Patienten (24%) zeigten präoperativ eine normale NSA, 7 davon erlitten im Verlauf einen Cut-Out, das entspricht 9,6%. 44 Patienten (14%) hatten präoperativ eine Varusfehlstellung vorzuweisen, 4 davon mit Cut-Out im Verlauf (9,1%). Auch auf die einzelnen Fehlstellungen angewandte statistische Tests ergaben keine statistische Signifikanz.

3.7.2 Postoperativ

In den Messungen der postoperativen NSA zeigten sich in 67% der untersuchten postoperativen Röntgenbilder ein Erreichen einer normalen NSA. In 9,8% zeigten sich postoperative Varusfehlstellungen, in 23,2% Valgusfehlstellungen. In Korrelation zeigten sich vor allem bei Varusfehlstellungen bei 4 von 30 Patienten ein postoperatives Schrauben-Cut-Out, dies entspricht 13,3%. Bei Patienten mit Valgusfehlstellung hatten 6 von 71 Untersuchten ein postoperatives Schrauben-Cut-Out zu beklagen, dies entspricht 8,4%. Bei Patienten mit normaler postoperativer NSA zeigte sich die geringste Prozentzahl an Komplikationen. Hier erlitten 14 von 205 Patienten ein Schrauben-Cut-Out, dies entspricht 6,8%. Ein signifikantes Testergebnis konnte auch hier in den statistischen Tests nicht erreicht werden. Jedoch scheint eine optimale Reposition mit Wiederherstellung des NSA zumindest eine klinische Relevanz zu haben und das Risiko für ein postoperatives Schrauben-Cut-Out zu verringern.

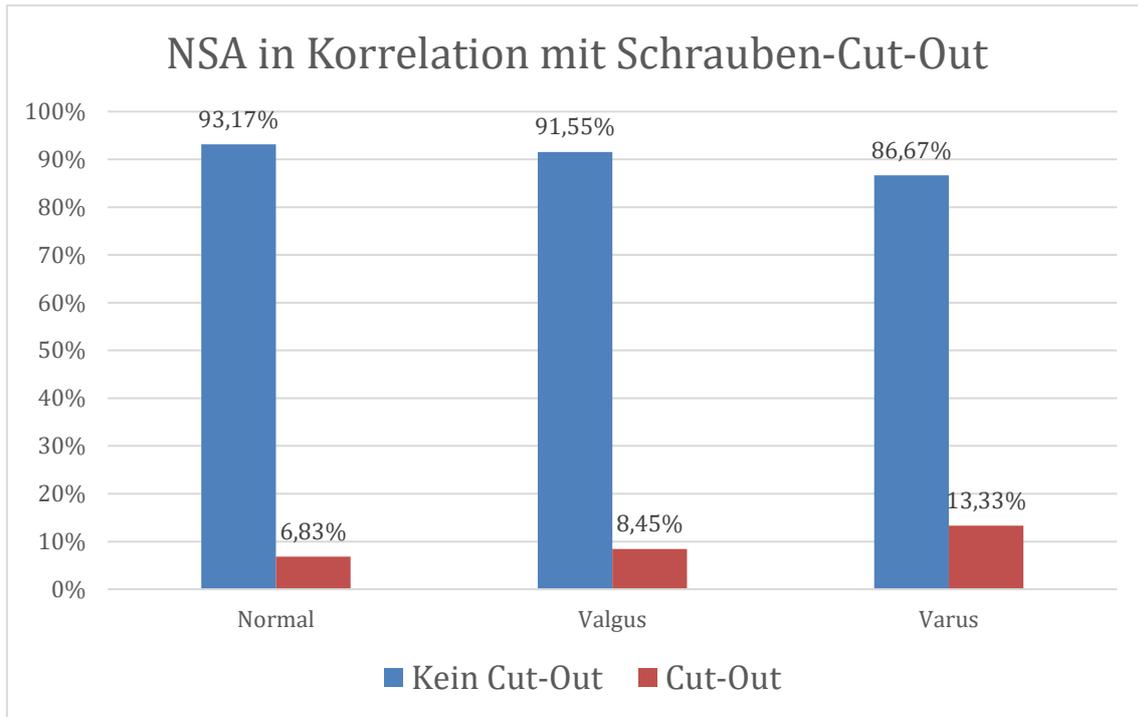


Abbildung Nr. 31: Häufigkeit des Schrauben-Cut-Outs in Korrelation mit dem intraoperativ erreichten NSA

3.8 Metaphyseal Head Extension

Bei der Auswertung zeigte sich bei Patienten mit Humeruskopfnekrose im Median eine MHE von 0 mm [0-10], bei Patienten ohne Humeruskopfnekrose eine MHE von 10 mm [0-54]. Bei der Korrelation der Patienten mit einer MHE von <8 mm und den Humeruskopfnekrosen ergab sich eine statistische Signifikanz mit einem P-Wert von <0,001. Somit hatten die Patienten mit einer MHE von <8 mm ein signifikant erhöhtes Risiko für eine Humeruskopfnekrose.

3.9 Schraubenanzahl

Ebenso erfolgte die Erfassung der Anzahl der benutzten Schrauben bei der Osteosynthese mittels PHILOS-Platte. Hier ergab sich pro Osteosynthese im Median eine Schraubenanzahl von 10 [5-16] Schrauben. Eine Signifikanz zwischen der Schraubenanzahl und den eingetretenen Komplikationen konnte in unseren statistischen Untersuchungen nicht dargestellt werden.

3.10 Humeruskopfnekrose

Von den 306 inkludierten Patienten zeigten 12 im Verlauf eine Humeruskopfnekrose, was etwa 3,9% entspricht. Korreliert wurden die Fälle der Humeruskopfnekrose mit den verschiedenen Frakturklassifikationen. Hier zeigte sich für die AO-Klassifikation bei A- und B-Frakturen keine statistische Signifikanz. Für die C-Frakturen konnte bei einem P-Wert von 0,037 im Chi-Square-Test eine statistische Signifikanz dargestellt werden. Ähnlich zeigte sich der Sachverhalt bei der Neer-Klassifikation. Bei Neer 2- und 3-Teile-Frakturen konnte keine Korrelation festgestellt werden, bei Neer 4-Teile-Frakturen zeigte sich jedoch im Chi-Square-Test ein P-Wert von 0,025 und somit eine Korrelation mit statistischer Signifikanz. In den Untersuchungen bezüglich der Humeruskopfnekrose in Korrelation mit dem DTI konnte in den statistischen Tests keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden. Somit zeigt unsere Untersuchung, dass bei osteosynthetisch versorgten proximalen Humerusfrakturen mit höherwertiger Frakturklassifikation (AO Typ C und Neer 4-Teile-Frakturen) ein höheres Risiko für eine Humeruskopfnekrose im postoperativen Verlauf besteht.

4 Diskussion

Im deutschsprachigen Raum war in einer Untersuchung aus dem Jahre 2013 bei dislozierten proximalen Oberarmfrakturen die plattenosteosynthetische Versorgung die Therapie der Wahl [45]. Im Katharinenhospital in Stuttgart wird auch weiterhin ein Großteil der Patienten auf diesem Wege behandelt. Da es sich jedoch vor allem um Verletzungen handelt, die im fortgeschrittenen Alter und bei Patienten mit Osteoporose auftreten, ist der operative Weg nicht immer das optimale Mittel der Wahl. Die verschiedenen Einflüsse auf die Therapieentscheidung und unsere Studienergebnisse sollen nun hier diskutiert werden.

In einer Studie von *Chu et al.* zeigten sich 62% der proximalen Oberarmfrakturen bei Patienten ≥ 65 Jahren [1]. In unserer Studie betrug das mediane Alter 61,5 Jahre. 46,7% des gesamten Patientenkollektives waren zum Zeitpunkt des Frakturereignisses zwischen 51-70 Jahre alt. 43% der Patienten waren beim Frakturereignis 65 Jahre oder älter. Die abweichenden Zahlen der initial benannten Studie von *Chu et al.* sind zu erklären, da in unserer Studie nur operativ behandelte Patienten erfasst wurden. In der Studie von *Chu et al.* von 2004 wurden Patienten unabhängig der Versorgung miteinbezogen, operativ sowie konservativ. Bei älteren Patienten mit steigender Inzidenz von Komorbiditäten wurde von uns in vielen Fällen die Indikation zur konservativen Therapie gestellt. Bei jüngeren Patienten mit wenig Komorbiditäten wurde oft die operative Therapie indiziert. Somit lässt sich das höhere Alter in der Studie von *Chu et al.* erklären.

Auch bezüglich der Geschlechterverteilung ergibt sich im Vergleich mit den in der Studie von *Chu et al.* genannten Zahlen eine Diskrepanz. Während in unserer Studie knapp 60% der Patienten weiblich waren, betrug der Anteil weiblicher Patienten bei den Kollegen 74%.

Das Patientenalter spielt weiterhin eine große Rolle, wenn es um die Indikationsstellung zur operativen oder konservativen Therapie geht. In unserer Studie zeigt sich ein deutlich höheres Alter bei Patienten mit Cut-Out im Vergleich zu den Patienten ohne Cut-Out.

Eine statistische Signifikanz konnte nachgewiesen werden. Das Patientenalter hat einen relevanten Einfluss auf ein postoperatives Schrauben-Cut-Out. Dies ist in Anbetracht des medianen Alters von 61,5 Jahren in unserem Patientenkollektiv mit Aufmerksamkeit zu betrachten. Indikationsstellungen zur operativen Therapie sollten häufiger hinterfragt werden. Vor allem bei Betrachtung der heutigen Studienlage kann die konservative Behandlung in einigen Fällen mehr Sinn machen. In einer Studie von 2020 haben *Rikli et al.* gezeigt, dass bei älteren Patienten mit konservativ behandelten proximalen Humerusfrakturen ein deutlich höheres Level an Selbstständigkeit erhalten werden konnte [6]. Dahingegen zeigten sich in unserer Studie bei operativ behandelten Patienten, insbesondere bei niedrigem DTI-Wert, häufig Komplikationen im postoperativen Verlauf.

Es wurde gezeigt, dass ab einem Alter von ≥ 69 Jahren mit einer Sensitivität von 70,8% und einer Spezifität von 70,3% das Risiko für ein postoperatives Schrauben-Cut-Out signifikant erhöht ist. In Anbetracht der genannten Zahlen erfasst durch die Kollegen *Chu et al.*, die funktionell guten Ergebnisse von *Rikli et al.* sowie die Zahlen unserer Studie, könnten sich neue Wege der Behandlung der proximalen Humerusfrakturen ergeben. Vor allem durch die hohen Versagensraten der Plattenosteosynthese kann ab einem Alter von 69 Jahren diskutiert werden, ob man die Indikation zur konservativen Therapie oder zur primären Implantation einer Schulterprothese der Indikation zur Plattenosteosynthese vorzieht.

McMillan et al. haben in einer Untersuchung im Jahre 2018 die wichtigsten Faktoren in Bezug auf eine osteosynthetische Versorgung bei proximalen Humerusfrakturen zusammengefasst [32]. Diese sollen nun der Reihe nach diskutiert und anhand der Ergebnisse evaluiert werden. Ebenso soll versucht werden, mit unseren Ergebnissen Korrelationen herzustellen. Als ersten Punkt nennen die Kollegen die Knochenqualität als wichtigen Faktor für die osteosynthetische Versorgung. Die Knochenqualität ist ein Wert, der unter normalen klinischen Umständen mit einer Knochendichtemessung oder anderen komplexen Untersuchungen nicht schnell und einfach messbar ist. Bei Frakturereignissen erfolgt eine Röntgenaufnahme zur Diagnosestellung, daraufhin muss die weitere Therapie festgelegt werden. Für weitere komplexe Untersuchungen wie

beispielsweise die Bestimmung der Knochendichte durch eine pQCT bleibt in der Akutsituation keine Zeit. Mit der Einführung des DTI durch *Spross et al.* hat sich dies grundlegend verändert – vorausgesetzt, der DTI wird als relevante Messung der Knochenqualität anerkannt. In unseren Untersuchungen zeigten sich statistisch signifikante Auffälligkeiten in der Messung des DTI. Vor allem in Bezug auf die postoperativen Komplikationen, insbesondere die postoperativen Schrauben-Cut-Outs, konnten statistisch signifikante Ergebnisse gezeigt werden. In unseren Untersuchungen zeigte sich ab einem DTI von $\leq 1,61$ ein statistisch signifikantes Risiko für ein postoperatives Schrauben-Cut-Out. Nach Berechnung der Sensitivität und Spezifität konnte ein DTI-Wert von $\leq 1,36$ als hoch prädiktiv für ein postoperatives Schrauben-Cut-Out bestimmt werden. Somit lässt sich die Knochenqualität als Faktor unsererseits klar bestätigen. Bei DTI-Werten $\leq 1,36$ sollte unserer Ansicht nach eine osteosynthetische Versorgung kritisch hinterfragt werden, da postoperative Komplikationen mit hoher Wahrscheinlichkeit auftreten können. Alternative Therapiemöglichkeiten wären die konservative Therapie oder eine direkte endoprothetische Versorgung.

Als nächsten wichtigen Faktor nennen die Kollegen um *McMillan et al.* die Frakturklassifikation [32]. In dieser Dissertation wurden die Neer- und die AO-Klassifikation untersucht. Hier zeigten sich keine statistisch signifikanten Auffälligkeiten in Korrelation mit dem Risiko eines postoperativen Schrauben-Cut-Outs. Jedoch lassen sich in beiden Klassifikationen bei höherwertiger Klassifizierung der Fraktur klar erhöhte Komplikationsraten zeigen, auch in Bezug auf die Cut-Out-Raten. Hier zeigte sich bei C-Frakturen nach AO eine Cut-Out-Rate von 10,5%, bei Neer 4-Teile-Frakturen sogar eine Cut-Out-Rate von 10,9%. Das deckt sich mit Untersuchungen von *Berkes et al.*, welche im Jahre 2013 deutlich höhere Komplikationsraten bei 3- und 4-Teile-Frakturen zeigen konnten. Diese wurden vor allem in Verbindung mit einer Zertrümmerung des medialen Kalkars und der Tubercula sichtbar [33]. Diese Erkenntnisse zeigen, welchen Stellenwert die Frakturklassifikation weiterhin einnimmt. Richtungsweisend kann z.B. eine höherwertige Klassifizierung die Therapieoptionen für den Arzt einschränken. Vor allem kombiniert mit einem weiteren Risikofaktor wie beispielsweise einem niedrigen DTI kann die höherwertige Klassifikation klar richtungsweisend sein und die Indikation zur osteosynthetischen Versorgung einschränken. Als alleiniger Grund sollte die

Klassifikation jedoch bei fehlender statistischer Signifikanz nicht herangezogen werden.

Statistisch signifikant zeigte sich eine Korrelation zwischen der Frakturklassifikation und der Humeruskopfnekrose. Hier konnte in unseren Untersuchungen gezeigt werden, dass bei AO Typ C und Neer 4-Teile-Frakturen eine statistisch signifikante Korrelation zur Humeruskopfnekrose im postoperativen Verlauf besteht. Es muss limitierend erwähnt werden, dass in unserer Untersuchung lediglich die Komplikation des Schrauben-Cut-Outs und die Humeruskopfnekrose mit den Klassifikationen korreliert wurde.

Die Reposition wird ebenfalls als wichtiger Faktor in Bezug auf die osteosynthetische Versorgung angegeben [32]. In unserem Patientenkollektiv wurden die Repositionen wie oben genannt in drei Kategorien eingeteilt. Hier wurde zwischen *perfekter, akzeptabler* sowie *ungenügender* Reposition unterschieden. In Bezug auf das postoperative Schrauben-Cut-Out ergab sich in unserer Untersuchung keine statistische Signifikanz. Die Kollegen um *Spross et al.* zeigten, dass mindestens 80% der Frakturen in ihrem Patientenkollektiv akzeptabel reponiert wurden [15]. Hier wurde jedoch nur in perfekte und akzeptable Repositionsergebnisse eingeteilt. In unseren Zahlen zeigte sich in 74,5% der Fälle eine mindestens akzeptable Reposition. In der genaueren Betrachtung der erhobenen Zahlen zeigte sich jedoch auch hier eine deutlich steigende Inzidenz für Schrauben-Cut-Outs bei schlechter reponierten Frakturen. Bei ungenügend reponierten Frakturen zeigte sich im postoperativen Verlauf in 11,54% der Fälle ein Schrauben-Cut-Out. Bei ungenügend reponierten Frakturen scheint die biomechanische Abstützung der einzelnen Knochensegmente zu fehlen, woraufhin die Belastung vermehrt auf die Schrauben im Humeruskopf verlagert wird. Die Belastung sollte sich bei optimaler Reposition über die gesamte Osteosynthese gleichmäßig verteilen. Hierzu sieht man im Vergleich bei perfekt reponierten Frakturen eine deutlich niedrigere Cut-Out-Rate von 3,7%. Somit kann auch hier den Kollegen um *McMillan et al.* zugestimmt werden. Da die Reposition ein Faktor der chirurgischen Technik ist, kann diese jedoch keinen Einfluss auf die präoperative Indikationsstellung nehmen. Erfahrungsgemäß ist davon auszugehen, dass bei höherwertiger Frakturklassifikation die intraoperative Reposition deutlich erschwert ist. Vor allem bei 4-Teile-Frakturen oder Frakturen mit Trümmerzone ist eine optimale Abstützung meist nicht zu erreichen.

Ebenso wird bei den Kollegen als wichtiger Faktor die Wiederherstellung der medialen Säule genannt [32]. Diese gehört unserer Ansicht nach zur Reposition der Fraktur und ist gleichbedeutend mit der Wiederherstellung der Dislokation des Medial Hinge. Wie bereits in der Einleitung beschrieben ist das hier vorhandene starke Periost maßgeblich an der Durchblutung des Humeruskopfes beteiligt [16][17]. Von unseren 24 Patienten mit nachgewiesenem Schrauben-Cut-Out wurde präoperativ bei 23 ein Medial Hinge Displacement festgestellt. Dies zeigte sich in unseren Untersuchungen als statistisch signifikanter Wert. Somit war bei unseren Patienten ein präoperatives Medial Hinge Displacement ein klarer Risikofaktor für ein postoperatives Schrauben-Cut-Out. Die Aussage von *McMillan et al.* konnte damit bestätigt werden.

Im Jahre 2013 beschrieben *Jung et al.* in einer Untersuchung die drei für sie wichtigsten Faktoren in Bezug auf die Reposition und postoperative Stabilität bei proximalen Humerusfrakturen. Die Kollegen nannten die Wiederherstellung der Neck-Shaft-Angle, die Reposition der Tubercula und ebenso wie *McMillan et al.* die Abstützung der medialen Säule als wichtigste drei Faktoren [35]. Eine dezidierte Untersuchung der Reposition des Medial Hinge ist durch uns nicht durchgeführt worden. Dies wäre ein nächster Schritt in der Untersuchung der intraoperativen Repositionen. Hier könnte die Reposition des Medial Hinge als einzelner Faktor für postoperative Komplikationen untersucht und korreliert werden. Ebenso sollte in weiteren Untersuchungen das Risiko für Humeruskopfnekrosen in Zusammenhang mit einem postoperativ verbliebenen Medial Hinge Displacement untersucht werden. Dahingehend muss selbstkritisch gesagt werden, dass eine genauere Untersuchung der Reposition in den postoperativen Röntgenbildern mehr Aufschluss über diesen Sachverhalt gegeben hätte. Die Bestimmung eines weiteren Wertes wäre sinnvoll gewesen, beispielsweise die dezidierte Reposition des Medial Hinge. Abschließend bleibt zu sagen, dass das Medial Hinge Displacement einen zentralen Faktor in der Indikationsstellung einnehmen sollte. Ebenso sollte dem Medial Hinge intraoperativ die nötige Aufmerksamkeit zuteilwerden. Eine korrekte Reposition ist unbedingt zu forcieren, um mögliche Komplikationsrisiken zu minimieren. Selbstkritisch muss erwähnt werden, dass beim Medial Hinge Displacement, bei der Metaphyseal Head Extension sowie bei der Überprüfung des

Repositionsergebnisses die Messungen an konventionellen Röntgenbildern durchgeführt wurden. Die Röntgenbilder der Schulter bei Frakturverdacht werden standardmäßig ohne Referenzkugel durchgeführt. Eine Überprüfung der gemessenen Werte an CT-Diagnostik konnte mangels durchgeführter präoperativer CTs nicht durchgeführt werden. Eine quantitative Abstandsmessung an konventionellen Röntgenbildern ohne aufgelegte Referenzkugel ist aufgrund der verschiedenen Positionierung relativ zum Röntgendetektor und individueller Körperkonstitution der einzelnen Patienten nicht mit hoher Genauigkeit durchführbar. In der Literatur finden sich keine Arbeiten bezüglich der Ungenauigkeit solcher durchgeführten Messungen. Auch in der entsprechenden Studie von *Spross et al.* aus dem Jahre 2017 wird nicht klar ersichtlich, wie die Messungen durchgeführt wurden [15]. Dahingehend ist eine Verwertung der Ergebnisse bezüglich der Reposition, der MHE und des MHD nicht ohne Vorbehalte möglich.

Der letzte wichtige Faktor von *McMillan et al.* beschreibt die Schraubenplatzierung und Schraubenlänge [32]. In Studien in den 70er Jahren konnte *Hall* bereits zeigen, dass die höchste trabekuläre Knochendichte im Bereich des zentralen, posterokranialen sowie posterokaudalen Anteil des Humeruskopfes liegt [36]. Laut einer Studie von *Padegimas et al.* befindet sich die optimale Lage der Kalkarschrauben im kaudalen Viertel des Humeruskopfes [37]. Intraoperativ ist darauf zu achten, dass die Schrauben direkt subchondral zu liegen kommen. Dies wurde von den Kollegen *Frich* und *Jensen* im Jahre 2014 in einer Studie bestätigt [38]. Eine weitere interessante Studie von *Erhardt et al.* zeigt, dass eine niedrige Schraubenanzahl im Humeruskopf ausschlaggebend für eine sekundäre Perforation ist. In der Studie wurde eine Mindestanzahl von fünf Humeruskopfschrauben angegeben, um das Risiko für ein Schrauben-Cut-Out signifikant zu vermindern [39]. In unserer Studie wurde die Schraubenanzahl der Osteosynthese erfasst. Im Median ergab sich eine Schraubenanzahl von 10 [5-16] Schrauben. Selbstkritisch muss erwähnt werden, dass eine genauere Erfassung sinnvoll gewesen wäre. Es wurden lediglich die gesamten verwendeten Schrauben gezählt, jedoch hätte zumindest eine Differenzierung der Schrauben im Humeruskopf und derer im Schaft erfolgen müssen. Eine genauere Differenzierung mit einer Bestimmung der freien Plattenlöcher oder der Anzahl bzw. Verwendung von Kalkarschrauben hätte ebenfalls erfolgen können. Außerdem hätte eine Bestimmung der Plattenlänge durchgeführt

werden müssen. Eine klare Aussage ist aufgrund der verschiedenen Plattenlängen leider nicht möglich, da sich hier jeweils eine andere biomechanische Belastung ergibt. Dies ist natürlich auch abhängig von der Frakturhöhe. Genauere Untersuchungen wären hier wünschenswert gewesen, um die Aussagen der Kollegen bestätigen zu können. Eine weitere Überlegung wäre das Ausmessen des postoperativen Abstandes zwischen den Schraubenenden und der subchondralen Fläche. Eventuell ließen sich hier weitere Aussagen bezüglich der Stabilität der Osteosynthese treffen.

Die Kollegen um *Jung et al.* nannten als einen weiteren ihrer drei wichtigsten Faktoren in Bezug auf die Reposition und postoperative Stabilität die Wiederherstellung der Neck-Shaft-Angle [35]. In der vorliegenden Dissertation wurde die NSA sowohl präoperativ als auch postoperativ erfasst und statistisch untersucht. Der präoperative Wert der NSA zeigte keine statistisch signifikanten Auswirkungen auf die postoperativen Komplikationen. Postoperativ konnte in 67% der Untersuchten eine normale NSA gezeigt werden. Vor allem bei postoperativen Varusfehlstellungen zeigte sich in 13,3% ein Schrauben-Cut-Out im Verlauf. Bei Valgusfehlstellungen zeigte sich in 8,4% der Fälle, bei Patienten mit normaler NSA in 6,8% der Fälle ein Schrauben-Cut-Out. Eine statistische Signifikanz ließ sich auch bei den postoperativen Fehlstellungen nicht darstellen. Trotzdem zeigt sich ein erhöhtes Risiko für ein Cut-Out bei postoperativ verbliebenen Fehlstellungen, vor allem bei Varusfehlstellung. Biomechanisch lässt sich dies durch die fehlende Abstützung nach kranial bei varisch abgekipptem Humeruskopf erklären. Jedoch wäre bei guter subchondraler Schraubenlage auch in Varusfehlstellung eine genügende Abstützung denkbar, vor allem mit guter Knochenqualität. Bei fehlender statistischer Signifikanz lässt sich jedoch die Aussage von *Jung et al.* von uns weder bestätigen noch widerlegen. Interessehalber kann eine Studie von *Assuncao* aus dem Jahre 2017 genannt werden [46]. Den Kollegen fiel auf, dass in mehreren Studien die Röntgenaufnahmen zur Bestimmung des NSA zwar immer in *true AP*, jedoch in unterschiedlichen Schulterrotationen durchgeführt wurden. Zurecht wurde der Vergleich zwischen den NSA-Werten dieser Studien in Frage gestellt. Um dies zu überprüfen, wurde von *Assuncao* eine Untersuchung des NSA in Innen-, Außen- und Neutralrotation der Schulter durchgeführt und ausgewertet. Hierbei fielen Abweichungen des NSA in den verschiedenen Schulterrotationen auf. Im Vergleich von Röntgenaufnahmen AP in 30°

Außenrotation und neutraler Rotation zeigten sich keine Unterschiede. In Innenrotation jedoch zeigte sich eine statistisch signifikante Abweichung der gemessenen NSA im Vergleich zu den Aufnahmen in neutraler Position und in 30° Außenrotation. Auch interessant zu erwähnen sind die hohen Differenzen zwischen den Werten der humeralen Retroversion, welche laut *Matsumura et al.* zwischen -2 und 60° variieren [47]. Durch diese deutlichen Unterschiede der humeralen Retroversion können sich ebenfalls Unterschiede in den AP-Röntgenbildern und somit des NSA ergeben. Ein Inklusionskriterium in unsere Studie waren vorhandene AP-Röntgenbilder in Innenrotation. Wenn eine solche Aufnahme nicht vorlag, wurde der Patient von der Studie ausgeschlossen. Da alle NSA-Werte von den AP-Aufnahmen in Innenrotation abgelesen wurden, ergibt sich hier kein Konflikt. Ein anatomisch bedingter und schwer untersuchbarer Faktor wie die humerale Retroversion konnte in unserer Studie nicht als Faktor berücksichtigt werden. Jedoch bleibt limitierend zu sagen, dass die Röntgenaufnahmen bei proximalen Humerusfrakturen oftmals die durchgeführte Rotation in den Röntgenbildern nicht genau abbilden können. Bei ungenügender knöcherner Verbindung zwischen Schaft und proximalem Humerus wird bei Rotationsbewegungen oft in der Fraktur rotiert. Trotz allem scheint die klinische Relevanz für den Chirurgen zu verbleiben. Eine Wiederherstellung des korrekten NSA ergibt in unseren Untersuchungen keine statistische Signifikanz, scheint jedoch prozentual das Risiko für ein Schrauben-Cut-Out im postoperativen Verlauf zu verringern.

In einer Studie aus dem Jahre 2009 zeigten *Solberg et al.* signifikant schlechtere funktionelle Ergebnisse bei Patienten mit einer präoperativen Varusfehlstellung, obwohl diese operativ ausgeglichen wurden [34]. Eine Varusfehlstellung kann anatomisch bedeuten, dass die Kalotte deutlich weiter von den anderen Frakturstücken disloziert ist. Valgus-Fehlstellungen, vor allem Valgus-Impaktierte Frakturen zeigen eine Annäherung den Knochen, somit könnte hier eine bessere Durchblutung durch den Humerusschaft gegeben sein. Das könnte sich auf das postoperative Outcome auswirken. Da es sich bei dieser Dissertation um eine retrospektive Studie handelt, kann diese Aussage leider nicht überprüft werden. Weitere prospektive Studien mit genauer Nachuntersuchung der operierten Patienten wären hier nötig.

Interessante Zahlen kann man ebenfalls einer Studie von *Zhu* aus dem Jahre 2015 entnehmen [18]. Hier zeigten vor allem in Valgusfehlstellung verheilte Frakturen deutliche funktionelle Einschränkungen. Auch in Varusfehlstellung verheilte Frakturen zeigten noch signifikant größere Einschränkungen als Frakturen, die in Normalstellung verheilt waren. In unserer Studie zeigten sich postoperativ 205 Frakturen in einen normalen NSA reponiert, dies entspricht wie oben erwähnt 67%. Bei 71 Patienten, was 23% entspricht, zeigten sich postoperative Valgusfehlstellungen. Bei 30 Patienten (10%) zeigten sich Varusfehlstellungen. Einen Einfluss auf das Schrauben-Cut-Out hatte der postoperative NSA nicht. In Anbetracht der Zahlen von *Zhu* und dem beschriebenen funktionellen Ergebnis sind das jedoch keine zufriedenstellenden Zahlen. Um dies genauer zu evaluieren, bedürfte es einer prospektiven Studie mit detaillierter klinischer Untersuchung des operierten Patientengutes.

Eine Studie von *Gupta et al.* untersuchte im Jahre 2015 das Komplikationsrisiko der osteosynthetischen Versorgung am proximalen Humerus [40]. In ihrer Studie hatten die Kollegen eine Komplikationsrate von 15% errechnet, welche ein Re-Operationsrate von 12,7% zur Folge hatte. Als Komplikationen wurden Materialversagen, Pseudarthrose, Humeruskopfnekrose, sekundäre Omarthrose, Infektion sowie Nervenschaden genannt. In unserer Studie zeigten sich bei 110 Patienten im postoperativen Verlauf Komplikationen, das entspricht einer Komplikationsrate von 36%. Hier waren jedoch auch Patienten mit Funktionseinschränkungen, Impingement, Omarthrose und Schmerzen inkludiert. Die Letztgenannten als postoperative Komplikation zu werten ist bei proximalen Oberarmfrakturen jedoch nicht unbedingt zielführend. Das Omarthrosenerisiko ist nach einer Fraktur sowieso ungemein höher und Schmerzen sind schwer nach ihrer Kausalität zu differenzieren. Eine Funktionseinschränkung ist nach einer operativen Versorgung ebenfalls oft sichtbar und bedarf weiterer Untersuchungen. Entscheidend ist hier oft der postoperative Untersuchungszeitpunkt. Für eine genauere Evaluierung müsste eine prospektive Studie durchgeführt werden, eine retrospektive Studie kann hier keinen genauen Aufschluss geben. Jedoch auch ohne Funktionseinschränkungen, Omarthrose und Schmerz als postoperative Komplikation zu

werten, ergibt das Patientengut in unserer Studie weiterhin eine hohe Komplikationsrate von 24%.

Ebenso wurden die Komplikationen mit den verschiedenen Klassifikationen korreliert, um eine prädiktive Aussage der Frakturklassifikation zu überprüfen. Hier zeigte sich bei den Neer 4-Teile-Frakturen eine Komplikationsrate von 45%, bei AO C-Frakturen sogar eine Komplikationsrate von 49%. Eine erneute Untersuchung scheint hier durchaus sinnvoll zu sein, um die hohen Komplikationsraten zu untersuchen. Weiterhin erscheint uns sinnvoll, nicht ein Gesamtpaket an Komplikationen zu untersuchen, sondern auf jede Komplikation einzeln einzugehen. Zu unterschiedlich sind die Komplikationen in ihrem Ursprung und ihrer Ausprägung. Wie sich in dieser wissenschaftlichen Arbeit mit dem postoperativen Schrauben-Cut-Out hauptsächlich auf eine bestimmte Komplikation konzentriert wurde, so sollte sich in weiteren Arbeiten auf jeweils eine der Komplikationen konzentriert werden, um die genauen Ursachen dafür herauszufinden.

Die Kollegen um *Thanasas et al.* kommen in einer Studie von 2009 zu dem Erkenntnis, dass es sich bei den einzelnen Komplikationen um vermeidbare technische Fehler der behandelnden Chirurgen handelt [7]. Der DTI-Wert ist als Faktor in Bezug auf die Knochenmineraldichte nicht vom Chirurgen beeinflussbar. Da in der vorliegenden Dissertation vor allem der DTI untersucht wurde, kann diese Aussage weder bestätigt noch entkräftet werden. Auch wenn sich keine statistische Signifikanz zeigen ließ, scheint die richtige Reposition oder die Wiederherstellung des korrekten NSAs zumindest eine klinische Relevanz zu haben. Dies sind Faktoren, die der behandelnde Arzt durchaus beeinflussen kann. Der Chirurg bleibt weiterhin ein unsicherer Faktor in der Frakturversorgung, vor allem bei Frakturen des proximalen Humerus, welcher einen Teil eines komplexen Gelenkes mit größtmöglichem Bewegungsumfang darstellt. Selbstkritisch kann man in Bezug auf die Versorgung und die Komplikationen noch hinzufügen, dass eine Erfassung der Schnitt-Naht-Zeit sinnvoll gewesen wäre, um eventuell genauere Zusammenhänge zwischen Operationszeit und den postoperativen Komplikationen zu erörtern.

In einer Studie von *Sproul et al.* wurde ebenfalls das postoperative Schrauben-Cut-Out untersucht. Hier zeigten sich bei 514 operierten Patienten mit proximalen Humerusfrakturen bei 8% ein Schrauben-Cut-Out [41]. Dies war auch der Hauptgrund für eine Re-Operation. Bei uns zeigten sich bei einem Gesamtkollektiv von n=306 Patienten bei 24 ein Schrauben-Cut-Out, was ebenso wie bei *Sproul et al.* ca. 8% entspricht. Erneut operiert wurden 15 dieser Patienten, das entspricht 63%. Auch bei den in dieser Dissertation erfassten Patienten war das Schrauben-Cut-Out der Hauptgrund für eine erneute operative Versorgung. Somit lässt sich die Aussage der Kollegen in vollem Maße bestätigen. Interessant ist, was diese Aussage für den Chirurgen im klinischen Alltag bedeutet. Die Untersuchungen von *Spross et al.* sowie die vorliegende Studie haben gezeigt, dass zwei Faktoren das Risiko für ein postoperatives Schrauben-Cut-Out statistisch signifikant erhöhen können. Hierbei handelt es sich um den DTI und das Patientenalter [15]. Beide geben Hinweise auf, bzw. beeinflussen die Knochenqualität. Das Alter lässt mit Sicherheit auch Rückschlüsse über die Compliance der Patienten zu. Wenn ein Patient koordinativ nicht in der Lage ist, eine obere Extremität zu entlasten, so steigt mit Sicherheit das Risiko eines Osteosyntheseversagens. Bei Anwendung eines DTI-Wertes $\leq 1,36$ und eines Patientenalters ≥ 69 Jahren auf das vorliegende Patientenkollektiv zeigte sich in den Berechnungen in 20% der Fälle ein postoperatives Schrauben-Cut-Out. Bei einem solch hohen Risiko sollte in dieser Wertekonstellation eine osteosynthetische Versorgung kritisch hinterfragt werden. Vor allem deshalb, da mit dem DTI nun ein statistisch verlässlicher Index vorliegt, der zur Bestimmung des Risikos eines Schrauben-Cut-Outs genutzt werden kann. Die möglichen Behandlungsalternativen sollen im nächsten Absatz diskutiert werden.

In Bezug auf die Komplikationen, welche in unserer Studie bei höherwertiger Klassifikation und folgender operativer Versorgung vermehrt auftraten, erscheint die Diskussion über die Behandlungsalternativen aktueller denn je. Dies lässt sich insbesondere in Zusammenhang mit einer Studie von *Caliskan & Dogan* aus dem Jahre 2019 zeigen, welche nachwies, dass bei 3- und 4-Teile-Frakturen die konservativen und operativen Therapien keinen Unterschied in der Funktionalität des Schultergelenkes ausmachten [30]. Eine Betrachtung dieser Fakten ist für einen Chirurgen immer erschwert, aber in Zusammenhang mit unserer Studie unerlässlich. Die

Komplikationsraten aus Fremdstudien und in unserem Kollektiv sind hoch [40][41][7]. Wie im vorangegangenen Absatz bereits erwähnt, sind ab bestimmten Werten des DTI und des Patientenalters osteosynthetische Versorgungen nur mit deutlich erhöhtem Risiko durchzuführen. Ab einem $DTI \leq 1,36$ und einem Patientenalter ≥ 69 Jahren sollte eine osteosynthetische Versorgung demnach kritisch hinterfragt werden. In diesem Falle sollten alternative Therapiemöglichkeiten in Betracht gezogen werden. Vor allem bei Neer 3- und 4-Teile-Frakturen stehen Chirurgen, beeinflusst durch das radiologisch manifeste Bild, einer konservativen Behandlung eher ablehnend gegenüber. Dennoch geben Studien wie insbesondere die von *Caliskan & Dogan* der konservativen Behandlung auch bei höherwertigen Klassifizierungen deutlichen Rückenwind [30]. Da auch weiterhin kein einheitliches Schema für eine konservative Therapie besteht, sollten sich weitere Studien damit befassen. Bei sich deutlich unterscheidenden radiologischen Bildern der Frakturen könnten die konservativen Behandlungen z.B. an die Frakturklassifikation angepasst werden. Dies bedarf neuer Untersuchungen mit großen konservativ behandelten Patientenkollektiven.

In der vorliegenden Dissertation konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die postoperativen Komplikationen, welche auf die verschiedenen Klassifikationen nach Neer und der AO aufgeteilt wurden, ähnliche Komplikationsraten bei AO A-Frakturen und Neer 2-Teile-Frakturen aufwiesen. Die gleichen Ergebnisse zeigten sich für AO B-Frakturen und Neer 3-Teile-Frakturen, sowie AO C-Frakturen und Neer 4-Teile-Frakturen. Ein direkter Vergleich der beiden Klassifikationen ist, wie im Ergebnisteil bereits beschrieben, nur möglich, wenn die Neer-Klassifikation im Sinne einer 2-, 3- und 4-Teile Klassifikation verwendet wird. Die Neer-Klassifikation zeigte in Untersuchungen eine geringe Interobserver-Variabilität, während die Intraobserver-Variabilität gering bessere Werte aufweist [48][49]. Die AO-Klassifikation zeigt ähnliche Werte [50]. Unsere Datenerfassung wurde durch drei Personen durchgeführt, wobei der Promovierende über 50% der Erfassung durchführte. Um die Auswertung genauer zu untersuchen, hätten Interobserver-Variabilität und Intraobserver-Variabilität untersucht werden müssen.

Am Beginn der Anfertigung dieser Dissertation ergaben sich Fragestellungen, welche im Verlauf beantwortet werden sollten. So war zum einen unklar, ob ein niedriger DTI mit

einem Osteosyntheseversagen korreliert. Diese Frage kann nach der Auswertung der Ergebnisse nun mit einem klaren *ja* beantwortet werden. In den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zeigte sich bei einem $DTI \leq 1,36$ eine statistisch signifikante Korrelation mit einem postoperativen Schrauben-Cut-Out. Zum anderen sollte ein Cut-Off Wert ermittelt werden. Statistische Signifikanz zeigte sich ab einem $DTI \leq 1,61$. Hier ergab sich jedoch eine geringe Sensitivität. Darum wurde nach Ermittlung der besten Werte für Sensitivität und Spezifität ein DTI-Wert von $\leq 1,36$ als Cut-Off Wert ermittelt. Ebenfalls sollte herausgefunden werden, ob eine operative Versorgung mittels Plattenosteosynthese bei einem DTI unterhalb des Cut-Off Wertes noch sinnvoll ist. Diese Frage wurde in einem vorangegangenen Absatz bereits mit einem *nein* beantwortet. Die alternativen Versorgungsmöglichkeiten wurden diskutiert. Es konnte gezeigt werden, dass bei einem Alter ≥ 69 Jahren mit hoher Sensitivität und Spezifität ein signifikant höheres Risiko für ein Schrauben-Cut-Out besteht. Ebenso konnte gezeigt werden, dass ein niedriger DTI-Wert auch unabhängig vom Patientenalter signifikante statistische Auswirkungen auf das postoperative Schrauben-Cut-Out hat. Letztlich bleibt noch die Frage, ob man den DTI im klinischen Alltag für eine konkrete Aussage zur bestmöglichen Therapie bei proximalen Humerusfrakturen verwenden kann und ob sich dadurch Komplikationen für die Patienten verhindern lassen. In Anbetracht dieser Arbeit können beide Fragen mit *ja* beantwortet werden. Der DTI erlaubt eine exaktere Indikationsstellung in Abstimmung mit den postoperativ möglichen Komplikationen. Die Hoffnung auf lange Sicht ist, damit Komplikationen zu minimieren.

5 Zusammenfassung

Eine große Herausforderung in der heutigen Versorgung von Frakturen besteht in der Entscheidungsfindung zwischen operativer und konservativer Therapie. In keinem Falle wird dies so deutlich wie im Bereich der proximalen Humerusfrakturen. Das Behandlungsspektrum reicht hier von konservativer Therapie über die Osteosynthese bis zur endoprothetischen Versorgung. Die Forschung hat gezeigt, dass die konservative Therapie vor allem bei älteren Patienten gute funktionelle Ergebnisse erzielen kann.

In dieser Studie sollte überprüft werden, ob der Deltoid Tuberosity Index als prognostischer Faktor helfen kann, die Entscheidung zwischen den verschiedenen operativen und der konservativen Therapie zu erleichtern. Nach Nutzung der Inklusions- und Exklusionskriterien konnten die Daten von 306 Patienten retrospektiv untersucht werden. Davon waren 183 weiblich und 123 männlich.

Es konnte gezeigt werden, dass für Patienten mit einem DTI $\leq 1,36$ und einem Alter von ≥ 69 Jahren eine statistisch signifikante Korrelation mit einem postoperativen Schrauben-Cut-Out besteht. Im erfassten Patientenkollektiv zeigte sich in dieser Wertekonstellation in 20% der Fälle ein postoperatives Schrauben-Cut-Out. In solchen Fällen sollte eine osteosynthetische Versorgung kritisch hinterfragt werden. Vielmehr muss diskutiert werden, ob in diesen Fällen eine konservative oder die primäre endoprothetische Versorgung erfolgen sollte.

6 Literaturverzeichnis

- [1] S. P. Chu *et al.*, “Risk factors for proximal humerus fracture,” *Am. J. Epidemiol.*, 2004, doi: 10.1093/aje/kwh224.
- [2] R. G. Cumming *et al.*, “Calcium intake and fracture risk: Results from the study of osteoporotic fractures,” *Am. J. Epidemiol.*, 1997, doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a009052.
- [3] E. Codman, “Tendinitis of the short rotators. In: The shoulder rupture of the supraspinatus tendon and other lesions in or about the subacromial bursa,” *Shoulder. Bost. Thomas Todd*, 1934.
- [4] C. S. Neer, “Displaced proximal humeral fractures. I. Classification and evaluation.,” *J. Bone Jt. Surg. - Ser. A*, 1970, doi: 10.2106/00004623-197052060-00001.
- [5] A. Majed, T. Thangarajah, D. F. L. Southgate, P. Reilly, A. Bull, and R. Emery, “The biomechanics of proximal humeral fractures: Injury mechanism and cortical morphology,” *Shoulder Elb.*, 2019, doi: 10.1177/1758573218768535.
- [6] D. Rikli *et al.*, “High rate of maintaining self-dependence and low complication rate with a new treatment algorithm for proximal humeral fractures in the elderly population,” *J. Shoulder Elb. Surg.*, 2020, doi: 10.1016/j.jse.2019.11.006.
- [7] C. Thanasas, G. Kontakis, A. Angoules, D. Limb, and P. Giannoudis, “Treatment of proximal humerus fractures with locking plates: A systematic review,” *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2009, doi: 10.1016/j.jse.2009.06.004.
- [8] K. C. Owsley and J. T. Gorczyca, “Displacement/screw cutout after open reduction and locked plate fixation of humeral fractures,” *J. Bone Jt. Surg. - Ser. A*, 2008, doi: 10.2106/JBJS.F.01351.
- [9] C. Spross *et al.*, “Deltoid Tuberosity Index: A Simple Radiographic Tool to Assess Local Bone Quality in Proximal Humerus Fractures,” *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 2015, doi: 10.1007/s11999-015-4322-x.
- [10] S. W. Jung, S. B. Shim, H. M. Kim, J. H. Lee, and H. S. Lim, “Factors that influence reduction loss in proximal humerus fracture surgery,” *J. Orthop. Trauma*, 2015, doi: 10.1097/BOT.0000000000000252.
- [11] J. Menck, A. Döbler, and J. R. Döhler, “Vaskularisation des humerus,” *Langenbecks Arch. Chir.*, 1997, doi: 10.1007/s004230050039.
- [12] M. Tile, “Fractures of the Proximal Humerus,” in *The Rationale of Operative Fracture Care*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 57–89.
- [13] F. Fankhauser *et al.*, “Cadaveric-biomechanical evaluation of bone-implant construct of proximal humerus fractures (neer type 3,” *J. Trauma*, 2003, doi: 10.1097/01.TA.0000033139.61038.EF.
- [14] D. Krappinger, N. Bizzotto, S. Riedmann, C. Kammerlander, C. Hengg, and F. S. Kralinger, “Predicting failure after surgical fixation of proximal humerus fractures,” *Injury*, 2011, doi: 10.1016/j.injury.2011.01.017.
- [15] C. Spross, R. Zeledon, V. Zdravkovic, and B. Jost, “How bone quality may influence intraoperative and early postoperative problems after angular stable open reduction–internal fixation of proximal humeral fractures,” *J. Shoulder Elb. Surg.*, 2017, doi: 10.1016/j.jse.2017.02.026.

- [16] R. Hertel, A. Hempfing, M. Stiehler, and M. Leunig, "Predictors of humeral head ischemia after intracapsular fracture of the proximal humerus," *J. Shoulder Elb. Surg.*, 2004, doi: 10.1016/j.jse.2004.01.034.
- [17] F. Kralinger, S. Unger, M. Wambacher, V. Smekal, and W. Schmoelz, "The medial periosteal hinge, a key structure in fractures of the proximal humerus: A biomechanical cadaver study of its mechanical properties," *J. Bone Jt. Surg. - Ser. B*, 2009, doi: 10.1302/0301-620X.91B7.21857.
- [18] L. Zhu, "EFFECT OF DIFFERENT NECK-SHAFT ANGLE ON EFFICACY IN TREATMENT OF PROXIMAL HUMERAL FRACTURES WITH LOCKING PLATE," *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*, 2015.
- [19] J. Agudelo *et al.*, "Analysis of efficacy and failure in proximal humerus fractures treated with locking plates," *Journal of Orthopaedic Trauma*. 2007, doi: 10.1097/BOT.0b013e31815bb09d.
- [20] M. Saklad, "GRADING OF PATIENTS FOR SURGICAL PROCEDURES," *Anesthesiology*, 1941, doi: 10.1097/00000542-194105000-00004.
- [21] T. P. Ruedi, R. E. Buckley, and C. G. Moran, "AO Principles of Fracture Management. second expanded ed," *Thieme*, 2007.
- [22] G. Campochiaro, M. Rebuzzi, P. Baudi, and F. Catani, "Complex proximal humerus fractures: Hertel's criteria reliability to predict head necrosis," *Musculoskelet. Surg.*, 2015, doi: 10.1007/s12306-015-0358-z.
- [23] S. Patel, H. B. Colaco, M. E. Elvey, and M. H. Lee, "Post-traumatic osteonecrosis of the proximal humerus," *Injury*. 2015, doi: 10.1016/j.injury.2015.06.026.
- [24] S. Breer, M. Auerswald, S. Fuchs, C. Jürgens, M. Faschingbauer, and O. Dannenberg, "Treatment of pseudarthrosis in long bones," *Trauma und Berufskrankheit*, 2015, doi: 10.1007/s10039-015-0100-y.
- [25] W. B. Ershler and E. T. Keller, "Age-Associated Increased Interleukin-6 Gene Expression, Late-Life Diseases, and Frailty," *Annu. Rev. Med.*, 2000, doi: 10.1146/annurev.med.51.1.245.
- [26] B. C. Carofino and S. S. Leopold, "Classifications in brief: The near classification for proximal humerus fractures," *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 2013, doi: 10.1007/s11999-012-2454-9.
- [27] G. Heinrichs, A. Schulz, J. Gille, C. Jürgens, and A. Paech, "Frakturversorgung an der oberen Extremität," *Trauma Berufskrankh*, 2009.
- [28] Müller; M.E.; Nazarian; S.; Koch; P.; Schatzker; J, "The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones | Maurice E. Müller | Springer," *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. 1990.
- [29] M. Soler-Peiro, L. García-Martínez, L. Aguilera, and M. Perez-Bermejo, "Conservative treatment of 3-part and 4-part proximal humeral fractures: A systematic review," *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2020, doi: 10.1186/s13018-020-01880-7.
- [30] E. Çaliskan and Ö. Doğan, "PHILOS plate versus nonoperative treatment in 2-, 3-, and 4-part proximal humeral fractures: Comparison with healthy control subjects," *J. Orthop. Surg.*, 2019, doi: 10.1177/2309499019875169.
- [31] K. J. Burkhart, S. O. Dietz, L. Bastian, U. Thelen, R. Hoffmann, and L. P. Müller, "Behandlung der proximalen Humerusfraktur des Erwachsenen," *Deutsches Arzteblatt International*. 2013, doi: 10.3238/arztebl.2013.0591.
- [32] T. E. McMillan and A. J. Johnstone, "Primary screw perforation or subsequent

- screw cut-out following proximal humerus fracture fixation using locking plates: a review of causative factors and proposed solutions,” *International Orthopaedics*. 2018, doi: 10.1007/s00264-017-3652-6.
- [33] M. B. Berkes, M. T. M. Little, and D. G. Lorich, “Open reduction internal fixation of proximal humerus fractures,” *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.*, 2013, doi: 10.1007/s12178-012-9150-y.
- [34] B. D. Solberg, C. N. Moon, D. P. Franco, and G. D. Paiement, “Surgical treatment of three and four-part proximal humeral fractures,” *J. Bone Jt. Surg. - Ser. A*, 2009, doi: 10.2106/JBJS.H.00133.
- [35] W. Bin Jung, E. S. Moon, S. K. Kim, D. Kovacevic, and M. S. Kim, “Does medial support decrease major complications of unstable proximal humerus fractures treated with locking plate?,” *BMC Musculoskelet. Disord.*, 2013, doi: 10.1186/1471-2474-14-102.
- [36] M. Hall and M. Rosser, “The Structure of the Upper End of the Humerus with Reference to Osteoporotic Changes in Senescence Leading to Fractures,” *Can Med Assoc J.*, vol. 88(, no. 6, pp. 290–294.
- [37] E. M. Padegimas, B. Zmistowski, C. Lawrence, A. Palmquist, T. A. Nicholson, and S. Namdari, “Defining optimal calcar screw positioning in proximal humerus fracture fixation,” *J. Shoulder Elb. Surg.*, 2017, doi: 10.1016/j.jse.2017.05.003.
- [38] L. H. Frich and N. C. Jensen, “Bone properties of the humeral head and resistance to screw cutout,” *Int. J. Shoulder Surg.*, 2014, doi: 10.4103/0973-6042.131851.
- [39] J. B. Erhardt, K. Stoffel, J. Kampshoff, N. Badur, P. Yates, and M. S. Kuster, “The Position and Number of Screws Influence Screw Perforation of the Humeral Head in Modern Locking Plates: A Cadaver Study,” *J. Orthop. Trauma*, 2012, doi: 10.1097/BOT.0b013e31823db922.
- [40] A. K. Gupta *et al.*, “Surgical management of complex proximal humerus fractures - A systematic review of 92 studies including 4500 patients,” *Journal of Orthopaedic Trauma*. 2015, doi: 10.1097/BOT.0000000000000229.
- [41] R. C. Sproul, J. J. Iyengar, Z. Devcic, and B. T. Feeley, “A systematic review of locking plate fixation of proximal humerus fractures,” *Injury*, 2011, doi: 10.1016/j.injury.2010.11.058.
- [42] T. Kawakami, T. Mihata, and A. Hasegawa, “Which Classification of Proximal Humerus Fractures Leads to Postoperative Avascular Necrosis of the Humeral Head?,” *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg.*, 2017, doi: 10.1016/j.arthro.2017.08.037.
- [43] R. W. Nyffeler, “Design und Biomechanik inverser Schulterprothesen,” *Obere Extremitat*. 2014, doi: 10.1007/s11678-013-0241-1.
- [44] R. Hertel, “Fractures of the proximal humerus in osteoporotic bone,” in *Osteoporosis International*, 2005, doi: 10.1007/s00198-004-1714-2.
- [45] A. Tepass, G. Blumenstock, K. Weise, B. Rolauffs, and C. Bahrs, “Current strategies for the treatment of proximal humeral fractures: An analysis of a survey carried out at 348 hospitals in Germany, Austria, and Switzerland,” *J. Shoulder Elb. Surg.*, 2013, doi: 10.1016/j.jse.2012.04.002.
- [46] J. H. Assunção, E. A. Malavolta, R. A. Beraldo, M. E. C. Gracitelli, M. Bordalo-Rodrigues, and A. A. Ferreira Neto, “Impact of shoulder rotation on neck-shaft angle: A clinical study,” *Orthop. Traumatol. Surg. Res.*, 2017, doi: 10.1016/j.otsr.2017.04.007.

- [47] N. Matsumura *et al.*, “Morphologic features of humeral head and glenoid version in the normal glenohumeral joint,” *J. Shoulder Elb. Surg.*, 2014, doi: 10.1016/j.jse.2014.02.020.
- [48] J. Bernstein, L. M. Adler, J. E. Blank, R. M. Dalsey, G. R. Williams, and J. P. Iannotti, “Evaluation of the Neer system of classification of proximal humeral fractures with computerized tomographic scans and plain radiographs,” *J. Bone Jt. Surg. - Ser. A*, 1996, doi: 10.2106/00004623-199609000-00012.
- [49] S. M.L., Z. J.D., L. T., K. K., C. F., and S. N., “The Neer classification system for proximal humeral fractures. An assessment of interobserver reliability and intraobserver reproducibility,” *J. Bone Jt. Surg. - Ser. A*, 1993.
- [50] A. Brunner, P. Honigmann, T. Treumann, and R. Babst, “The impact of stereovisualisation of three-dimensional CT datasets on the inter- and intraobserver reliability of the AO/OTA and Neer classifications in the assessment of fractures of the proximal humerus,” *J. Bone Jt. Surg. - Ser. B*, 2009, doi: 10.1302/0301-620X.91B6.22109.

7 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in Zusammenarbeit der unfallchirurgischen Klinik des Katharinenhospitals in Stuttgart und der BG-Klinik Tübingen unter Betreuung von Prof. Dr. med. C. Knop und PD Dr. med. A. Badke durchgeführt. Die Konzeption der retrospektiven Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. med. T. da Silva, Assistenzarzt in der unfallchirurgischen Klinik des Katharinenhospitals Stuttgart sowie Dr. med. T. Merkle, Oberarzt in der unfallchirurgischen Klinik des Katharinenhospitals Stuttgart.

Die Datenerfassung wurde zum Großteil durch den Promovierenden durchgeführt, ebenfalls an der Datenerfassung beteiligt waren Dr. med. T. da Silva sowie Theo Manuel Chuchuy, Assistenzärzte in der unfallchirurgischen Klinik am Katharinenhospital Stuttgart. Die statistische Auswertung erfolgte nach Anleitung durch Herrn Dr. med. T. da Silva durch mich.

Unterstützung bei der grafischen Aufarbeitung der *Abbildungen Nr. 1, 2 und 3* erhielt ich durch Herrn Alexander Grimme. Die *Abbildung Nr. 4* wurde durch Herrn Alexander Grimme und mich aus vorliegenden Illustrationen der AO Surgery Reference angefertigt und daraufhin von der AO zur Verwendung freigegeben. Die *Abbildungen Nr. 13 bis 31* wurden von mir erstellt. Für alle verwendeten Abbildungen von Fremdquellen wurden die jeweiligen Nutzungslizenzen eingeholt.

Ich versichere, diese Dissertation selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Stuttgart, den 04.02.2021

.....

(Unterschrift)

8 Danksagung

Danken möchte ich zuallererst Herrn Prof. Dr. med. Christian Knop. Hierbei gilt Ihnen mein Dank für die Unterstützung und Betreuung dieser Dissertation, vor allem aber auch für die großartige Hilfe und das Vertrauen über die letzten fünf Jahre, welche ich in Ihrer Klinik arbeiten durfte. Eine Arbeitsstelle zu haben, welche täglich größte Herausforderungen birgt und trotzdem glücklich und zufrieden macht, ist ein absolutes Privileg. Für diese Möglichkeit bin ich Ihnen zu großem Dank verpflichtet.

Ebenso möchte ich Herrn PD Dr. med. Andreas Badke aus der Berufsgenossenschaftlichen Klinik in Tübingen für die stets freundliche Unterstützung und Betreuung meiner Dissertation von ganzem Herzen danken.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Dr. med. Tomas da Silva aus der unfallchirurgischen Klinik des Katharinenhospitals Stuttgart für die Überlassung des Themas. Danke für die tatkräftige Unterstützung bei der Datenerhebung, der statistischen Auswertung und bei jeglichen Fragen bezüglich der Dissertation. Ebenso gilt mein Dank Herrn Dr. med. Tobias Merkle für die stete Unterstützung bei der Anfertigung und Korrektur dieser Arbeit.

Ein besonderer Dank gilt Frau Mara Sophie Rossberg, welche meine Launen - nicht nur während dem Schreiben dieser Arbeit - jederzeit aufzufangen vermag. Danke an meine Schwester, all meine Freunde, an meine Bandkollegen sowie das Buschradio für die immerwährende Unterstützung.

Zuletzt möchte ich meinen Eltern danken. Den Beruf ausführen zu können den ich liebe, wäre ohne Euch niemals möglich gewesen. Danke.