

Aus der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen  
Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie  
an der Universität Tübingen

**Die CFR-PEEK-Plattenosteosynthese zur Behandlung  
der proximalen Humerusfraktur: Eine prospektive  
Studie zum Vergleich mit einer konventionellen  
winkelstabilen Plattenosteosynthese**

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

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

**vorgelegt von**

**Maier, Sven**

**2019**

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. F. M. Stuby
2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. U. K. Hofmann

Tag der Disputation: 09.12.2019

Für meine Familie

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Die proximale Humerusfraktur.....	1
1.2	Fragestellung .....	2
1.3	Anatomie von Humerus und Schulter.....	3
1.3.1	Der Humerus .....	3
1.3.2	Knöcherne und ligamentäre Strukturen der Schulter .....	4
1.3.3	Muskelapparat .....	6
1.3.4	Gefäß- und Leitungsbahnen .....	7
1.4	Diagnostik proximaler Humerusfrakturen .....	8
1.4.1	Klinik und körperliche Untersuchung .....	9
1.4.2	Röntgen .....	9
1.4.3	Computertomographie .....	12
1.5	Frakturklassifikation.....	13
1.5.1	Die Neer-Klassifikation .....	13
1.5.2	Die AO-Klassifikation .....	14
1.6	Behandlung proximaler Humerusfrakturen.....	15
1.6.1	Konservative Therapie.....	16
1.6.2	Operative Therapieverfahren.....	17
1.6.2.1	Plattenosteosynthese.....	18
1.6.2.2	Marknagelung .....	19
1.6.2.3	Fixierung mittels Kirschner-Drähten .....	20
1.6.2.4	Schraubenosteosynthese.....	20
1.6.2.5	Zuggurtungsosteosynthese.....	21
1.6.2.6	Endoprothetische Versorgung.....	21

<b>2</b>	<b>Patienten und Methoden.....</b>	<b>23</b>
2.1	Patientenkollektiv .....	23
2.2	Therapie .....	24
2.2.1	Chirurgische Technik der operativen Plattenversorgung .....	24
2.2.2	Konventionelle winkelstabile Plattenosteosynthese .....	25
2.2.3	Karbonfaser Plattenosteosynthese .....	26
2.2.4	Postoperative und frühfunktionelle Nachbehandlung.....	28
2.3	Nachuntersuchung .....	28
2.3.1	Constant-Murley-Score .....	29
2.3.2	DASH-Score .....	32
2.3.3	Simple-Shoulder-Test.....	32
2.3.4	Oxford-Shoulder-Score .....	33
2.4	Radiologische Kontrolle.....	34
2.5	Statistische Auswertung .....	34
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>36</b>
3.1	Erläuterung der Kollektive .....	36
3.1.1	Gesamtkollektiv .....	36
3.1.2	Lost to Follow Up.....	36
3.1.3	Studienkollektiv.....	37
3.2	Deskriptive Statistik.....	37
3.2.1	Deskriptive Statistik des Gesamtkollektivs.....	37
3.2.1.1	Verteilung Plattenversorgung Gesamtkollektiv .....	38
3.2.1.2	Altersverteilung Gesamtkollektiv .....	38
3.2.1.3	Geschlechterverhältnis Gesamtkollektiv .....	39
3.2.1.4	Unfallart Gesamtkollektiv.....	40
3.2.1.5	ASA-Klassifikation Gesamtkollektiv.....	41

3.2.1.6	BMI Gesamtkollektiv .....	42
3.2.1.7	Frakturklassifikation nach Neer im Gesamtkollektiv .....	43
3.2.1.8	Frakturklassifikation nach AO im Gesamtkollektiv .....	44
3.2.1.9	Betroffene Seite Gesamtkollektiv .....	45
3.2.1.10	OP-Dauer Gesamtkollektiv .....	46
3.2.1.11	Liegedauer Gesamtkollektiv .....	47
3.2.2	Deskriptive Statistik des Studienkollektivs .....	48
3.2.2.1	Verteilung Plattenversorgung Studienkollektiv .....	48
3.2.2.2	Altersverteilung Studienkollektiv.....	49
3.2.2.3	Geschlechterverhältnis Studienkollektiv .....	50
3.2.2.4	Unfallart Studienkollektiv .....	51
3.2.2.5	ASA-Klassifikation Studienkollektiv .....	52
3.2.2.6	BMI Studienkollektiv .....	53
3.2.2.7	Frakturklassifikation nach Neer im Studienkollektiv .....	54
3.2.2.8	Frakturklassifikation nach AO im Studienkollektiv .....	55
3.2.2.9	Betroffene Seite Studienkollektiv.....	55
3.2.2.10	Betroffene Seite in Bezug auf Händigkeit Studienkollektiv ....	56
3.2.2.11	OP-Dauer Studienkollektiv .....	57
3.2.2.12	Liegedauer Studienkollektiv.....	58
3.2.3	Analyse der deskriptiven Statistik .....	59
3.3	Statistische Auswertung der erhobenen Scores.....	60
3.3.1	Auswertung des Constant-Murley-Scores .....	61
3.3.1.1	Constant-Murley-Score bei CFR-PEEK-Plattenversorgung ...	61
3.3.1.2	Constant-Murley-Score bei Titan-Plattenversorgung .....	62
3.3.1.3	Klassifizierung des Constant-Murley-Scores.....	63
3.3.1.4	Varianzanalyse des Constant-Murley-Scores .....	63

3.3.2	Auswertung des DASH-Scores.....	64
3.3.2.1	DASH-Score bei CFR-PEEK-Plattenversorgung.....	64
3.3.2.2	DASH-Score bei Titan-Plattenversorgung.....	65
3.3.2.3	Varianzanalyse des DASH-Scores.....	66
3.3.3	Auswertung des Simple Shoulder Tests.....	67
3.3.3.1	Simple-Shoulder-Test bei CFR-PEEK-Plattenversorgung.....	67
3.3.3.2	Simple-Shoulder-Test bei Titan-Plattenversorgung.....	68
3.3.3.3	Varianzanalyse des Simple Shoulder Tests.....	69
3.3.4	Auswertung des Oxford Shoulder Score.....	69
3.3.4.1	Oxford Shoulder Score bei CFR-PEEK-Plattenversorgung....	70
3.3.4.2	Oxford Shoulder Score bei Titan-Plattenversorgung.....	70
3.3.4.3	Klassifizierung des Oxford Shoulder Scores.....	71
3.3.4.4	Varianzanalyse des Oxford Shoulder Scores.....	72
3.3.5	Zusammenfassung der Varianzanalyse.....	72
3.4	Radiologische Begutachtung des Studienkollektivs.....	73
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>74</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>86</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>88</b>
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>93</b>
7.1	Fragebögen.....	93
7.1.1	Constant-Murley-Score.....	93
7.1.2	DASH-Score.....	98
7.1.3	Simple Shoulder Test.....	101
7.1.4	Oxford-Shoulder-Score.....	103
<b>8</b>	<b>Erklärung zum Eigenanteil.....</b>	<b>106</b>
<b>9</b>	<b>Veröffentlichung.....</b>	<b>107</b>

<b>10</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>108</b>
-----------	-------------------------	------------

## Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
ANOVA	Analysis of Variance
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
ASA	American Society of Anesthesiologists
BMI	Body-Mass-Index
CFR	carbon fiber reinforced
CS	Constant-Murley-Score
CT	Computertomographie
DASH	Disabilities of Arm, Shoulder and Hand
Fa.	Firma
K-Draht	Kirschner-Draht
kg	Kilogramm
Lig.	Ligamentum
m	Meter
mm	Millimeter
M.	Musculus
Mm.	Musculus
N.	Nervus
OP	Operation
OSS	Oxford Shoulder Score

PEEK	Polyetheretherketon
PHILOS	Proximal Humerus Internal Locking System
SST	Simple Shoulder Test
USA	United States of America
vgl.	vergleiche

# 1 Einleitung

## 1.1 Die proximale Humerusfraktur

Proximale Humerusfrakturen sind häufige Verletzungen und machen rund 4-5% aller Frakturen des Menschen aus [1, 2]. Sie stellen nach Frakturen des Femurs und des Handgelenks die dritthäufigste Fraktur bei älteren Menschen dar und nehmen in der Altersgruppe über 65 Jahren einen Anteil von rund 10% aller Frakturen ein [3-5].

Bei Patienten fortgeschrittenen Alters findet sich in der Frakturanamnese oft ein Sturz aus dem Stand oder aus geringer Höhe auf den ausgestreckten Arm. Entgegen diesen Niedrigrasanztraumata werden bei jüngeren Patienten oftmals Hochrasanztraumata wie Unfälle im Straßenverkehr oder beim Sport als Ursache für die Verletzung angegeben. [1, 3]

In den letzten Jahren wird eine Steigerung der Inzidenz an proximalen Humerusfrakturen beobachtet. So analysierten Palvanen et al. [4] das finnische Traumaregister hinsichtlich der Inzidenz von proximalen Humerusfrakturen und stellten fest, dass diese sich zwischen 1970 und 2002 von 32/100000 auf 105/100000 mehr als verdreifacht hat. Auch der Altersdurchschnitt der Patienten hob sich in diesem Zeitraum von 72 auf 77 Jahre an.

Insgesamt sind mehr als 70% aller Patienten mit proximaler Humerusfraktur 60 Jahre und älter. Davon sind rund 80% Frauen [4, 6]. Lind et al. [7] beschreiben, dass das Risiko eine solche Fraktur zu erleiden, vor allem bei Frauen ab der fünften Lebensdekade exponentiell ansteigt. Diese Beobachtung bestätigen Court-Brown et al. [1] in ihrer Studie von 2001. Die altersspezifische Inzidenz erreicht demnach in der neunten Lebensdekade ihr Maximum.

Im Rahmen des demographischen Wandels und der weiter steigenden Lebenserwartung, wird die optimale Behandlung von proximalen Humerusfrakturen daher weiter an Bedeutung gewinnen.

### 1.2 Fragestellung

Die winkelstabile Plattenosteosynthese stellt im deutschsprachigen Raum die am häufigsten durchgeführte operative Versorgung von proximalen Humerusfrakturen dar [8].

Diese Operationstechnik ist trotz ihrer weiten Verbreitung häufig mit Komplikationen verbunden. So berichten Südkamp et al. [9] von einer Komplikationsrate von bis zu 34% bei Behandlung der proximalen Humerusfraktur mit einer konventionellen winkelstabilen Plattenosteosynthese aus Titanlegierung. Hierbei seien rund 40% auf intraoperative Anwenderfehler zurückzuführen. Die primäre Schraubenperforation macht den Hauptanteil dieser Anwenderfehler aus. Aber auch sekundäre Schraubenperforationen nehmen im Komplikationsspektrum einen hohen Anteil ein. Thanasas et al. [10] führen die sehr hohe Rigidität des internen Fixateurs aus Titanplatte und Titanschrauben im osteoporotischen Knochen als Hauptgrund für sekundäre Schraubenperforationen an. Mit Blick auf sekundäre Schraubenperforationen wird an verschiedenen Lösungen für das Herabsetzen der Steifigkeit bei internen Fixateuren geforscht. So sollen zementaugmentierte Schrauben, dynamische Schrauben oder kohlefaserverstärkte Polyetheretherketon-Implantate die Rigidität des Platten-Schrauben-Konstrukts an den humanen Knochen anpassen und so zu weniger sekundären Schraubenperforationen führen. Des Weiteren erlauben diese Methoden Mikrobewegungen im Frakturspalt, welche zu einer schnelleren knöchernen Konsolidierung führen sollen. [11]

Die neuartigen, kohlefaserverstärkten Polyetheretherketon-Implantate zeichnen sich aber nicht nur durch eine an den Knochen angepasste Steifigkeit aus. Sie sind zusätzlich durchlässig für Röntgenstrahlung, wodurch der Chirurg sowohl intraoperativ, als auch bei Verlaufskontrollen die Frakturkomponenten ohne Überlagerungen beurteilen kann. Besonders intraoperativ kann sich dies als Vorteil erweisen, um die anatomische Reposition nachzuweisen. Des Weiteren ist die Gefahr der Kaltverschweißung im Gegensatz zu konventionellen winkelstabilen Platten bei Polyetheretherketon-Implantaten nicht gegeben, da Platte und Schrauben aus unterschiedlichen Materialien bestehen [12].

## Einleitung

Ziel dieser Studie ist es, zu untersuchen, ob sich der Einsatz neuartiger, winkelstabiler Karbonfaser-Platten gegenüber konventionellen winkelstabilen Titan-Platten vorteilhaft auf das funktionelle Ergebnis auswirkt.

In dieser Arbeit wird die PEEKPower Humeral Fracture Plate der Firma Arthrex (Naples, Florida, USA) aus Karbonfaser-Verbundstoff mit der PHILOS-Platte der Firma DePuy Synthes (West Chester, Pennsylvania, USA) als konventionelles Implantat hinsichtlich der oben genannten Fragestellung verglichen.

### **1.3 Anatomie von Humerus und Schulter**

#### **1.3.1 Der Humerus**

Der Humerus kann von proximal nach distal in verschiedene Abschnitte untergliedert werden. Das am proximalen Ende gelegene Caput humeri bildet den halbkugelförmigen humeralen Anteil des Glenohumeralgelenks. Das Caput humeri und der Humerusschaft bilden einen Collum-Diaphysen-Winkel von 135°. In Bezug zur Epikondylenachse ist das Caput um ca. 14-20° retrovertiert. Nach distal wird die Gelenkfläche durch eine Einziehung, das Collum anatomicum, begrenzt. Es schließen sich zwei Apophysen, das Tuberculum majus und Tuberculum minus, an, welche der Rotatorenmanschette als Ansatzpunkte dienen. Das Tuberculum majus ist nach lateral gerichtet und dient den Mm. supraspinatus, infraspinatus und teres minor als Insertion. Der M. subscapularis setzt am nach ventral gerichteten Tuberculum minus an. Zwischen den Tubercula liegt der Sulcus intertubercularis in dem die lange Bizepssehne verläuft. Distal der Tubercula befindet sich das Collum chirurgicum, welches als Prädilektionsstelle für Frakturen gilt. Lateral dient der Humerusschaft als Insertion des M. deltoideus. Außerdem weist er den Sulcus nervi radialis auf. Am distalen Ende des Oberarmknochens befindet sich als humerale Gelenkfläche des Ellenbogengelenks die Trochlea humeri und die laterale sowie mediale Epikondyle als Ursprung der Unterarmmuskulatur. [13]

# Einleitung

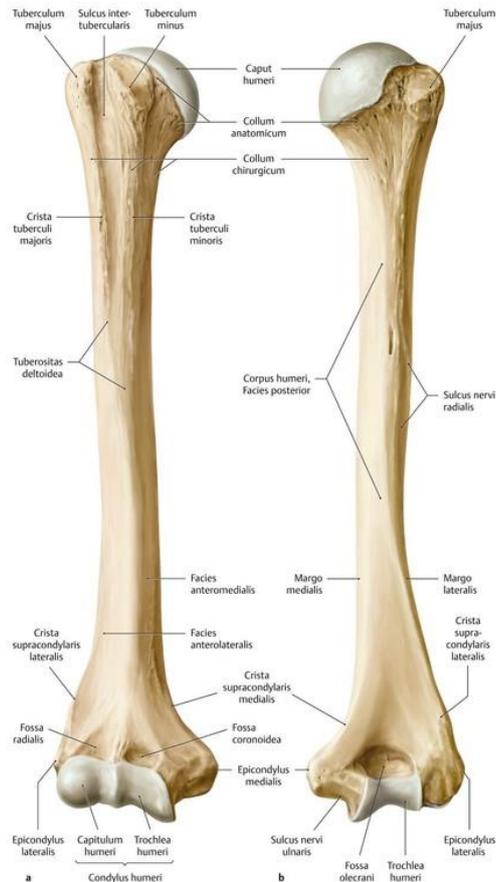


Abbildung 1-1: Rechter Humerus. a Ansicht von ventral. b Ansicht von dorsal (aus Prometheus Lernatlas der Anatomie, 2011 [14])

## 1.3.2 Knöcherne und ligamentäre Strukturen der Schulter

Das Schultergelenk stellt das Gelenk mit dem größten Bewegungsausmaß am menschlichen Körper dar. Dies ist auf verschiedene Eigenschaften zurückzuführen. Zum einen besteht in der Articulatio glenohumeralis als Kugelgelenk eine hohe Beweglichkeit aufgrund des knöchernen Verhältnisses von Humeruskopf zu Gelenkpfanne. Die Cavitas glenoidalis macht nur 25-30% der Gelenkfläche des Humeruskopfes aus und ist von geringer Tiefe. Eine aus Faserknorpel bestehende Gelenkklippe, das Labrum glenoidale, vergrößert die glenohumerale Stabilität durch eine Erweiterung der Kontaktfläche und Zentrierung des Humeruskopfes. Die weite, schlaaffe Gelenkkapsel schränkt die Beweglichkeit in diesem Gelenk nicht ein. Zum anderen ist die Cavitas glenoidalis über die Scapulaverschieblichkeit gegenüber dem Thorax beweglich. Die Teilgelenke des Schultergürtels, Articulatio sternoclavicularis und Articulatio acromioclavicularis, unterstützen diese Mobilität und sorgen über die Clavicula

## Einleitung

für die knöcherne Anbindung des Schultergelenks an den Rumpf (vgl. Abbildung 1-2). [13, 15]

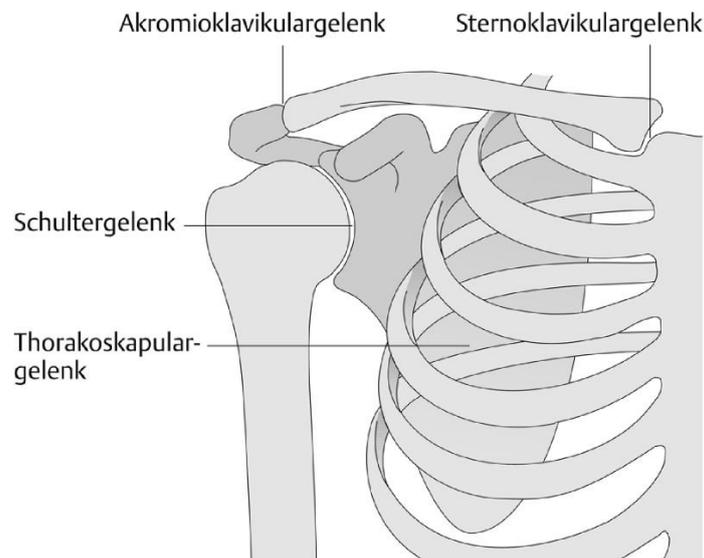


Abbildung 1-2: Die vier Gelenke der Schulter (aus OP-Journal 3/2002 [15])

Die Gesamtbeweglichkeit des Schultergelenks ist daher ein Zusammenspiel von vier Gelenken wobei die Articulatio glenohumeralis den größten Anteil an der Beweglichkeit trägt. Bei Anteversions- und Abduktionsbewegungen entfallen rund 90° auf dieses Gelenk. Durch das Zusammenspiel der drei anderen Gelenke wird die Beweglichkeit beispielsweise bei Abduktion auf 160° erweitert (vgl. Tabelle 1-1) [13]. Außerdem erfolgt bereits ab einer Abduktion von 30° eine Mitrotation der Scapula [15].

Tabelle 1-1: Beweglichkeit des Schultergelenks nach Neutral-Null-Methode (modifiziert aus "Duale Reihe Anatomie", 2014 [13])

	Articulatio glenohumeralis	Articulatio glenohumeralis mit Schultergürtel
<b>Ante-/Retroversion</b>	90/0/30°	170/0/40°
<b>Adduktion/Abduktion</b>	90/0/90°	40/0/160°
<b>Innen-/Außenrotation</b>	70/0/60°	100/0/80°

Die knöchernen Gegebenheiten des Schultergelenks führen zu einer hohen Beweglichkeit, jedoch bieten diese kaum Stabilität. Zur Stabilisierung des knöchernen sehr flexiblen Gelenkapparats dienen zusätzlich ligamentäre

Strukturen. Neben den Bändern zur Stabilisierung der einzelnen Teilgelenke bildet das Lig. coracoclaviculare mit seinen zwei Anteilen, dem Lig. trapezoideum und dem Lig. conoideum, eine Art Aufhängung der Scapula an der Clavicula [15]. Die beiden Fortsätze der Scapula, das Acromion und der Processus coracoideus, sind durch das Lig. coracoacromiale miteinander verbunden und bilden so ein Dach über dem Humeruskopf aus, die sogenannte Fornix humeri [13].

### 1.3.3 Muskelapparat

Das eigentliche Schultergelenk, die Articulatio glenohumeralis, besitzt aufgrund der oben beschriebenen Dysbalance zwischen Humeruskopf und Gelenkpfanne, nur eine geringe Knochenführung. Auch die Bandsicherung ist in diesem Gelenk wenig ausgeprägt, so dass das Schultergelenk hauptsächlich durch die umliegende Muskulatur gesichert ist.

Als wichtiger Stabilisator der Articulatio glenohumeralis dient die Rotatorenmaschette, die den Humeruskopf an der richtigen Stelle hält und in der Gelenkpfanne zentriert [15]. Die Rotatorenmanschette besteht aus dem M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor und dem M. subscapularis. Neben der Stabilisation und Zentrierung haben diese Muskeln auch verschiedene Bewegungsfunktionen. Hierbei handelt es sich vor allem um Rotationsbewegungen, außerdem kommt dem M. supraspinatus beim Starten von Abduktionsbewegungen eine hohe Bedeutung zu.

Von der Vielzahl der auf das Schultergelenk wirkenden Muskeln ist der M. deltoideus der kräftigste Muskel. Er fächert sich in mehrere Anteile auf, sodass der Muskel unterschiedliche Bewegungsfunktionen übernehmen und dabei in sich antagonistisch arbeiten kann. Besonders zu erwähnen ist, dass der M. deltoideus mit seiner Pars acromialis aufgrund des günstigen Hebelarms der wirksamste Abduktor ist. Er bestimmt außerdem durch seine Ausprägung die äußere Schulterkontur. [13]

Als weitere relevante Muskeln für das Schultergelenk sind ventral der M. coracobrachialis, M. pectoralis major und M. biceps brachii zu nennen. Dorsal liegen der M. latissimus dorsi, M. teres major und M. triceps brachii. Die Funktionen der einzelnen Muskeln sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

## Einleitung

Tabelle 1-2: Muskeln des Schultergelenks (modifiziert aus "Duale Reihe Anatomie", 2014 [13])

<u>Muskel</u>	<u>Funktion</u>
<b>Muskeln der Rotatorenmanschette</b>	
<b>M. teres minor</b>	Adduktion, <b>Außenrotation</b>
<b>M. infraspinatus</b>	Adduktion, <b>Außenrotation</b>
<b>M. supraspinatus</b>	<b>Abduktion</b>
<b>M. subscapularis</b>	<b>Innenrotation</b> , Adduktion
<b>Muskeln vom Schultergürtel bzw. Rumpf zum Oberarm</b>	
<b>M. deltoideus</b>	
- Pars clavicularis	Anteversion, Innenrotation, Adduktion
- Pars acromialis	<b>Abduktion</b>
- Pars spinalis	Retroversion, Außenrotation, Adduktion
<b>M. coracobrachialis</b>	Adduktion, Innenrotation, Anteversion
<b>M. pectoralis major</b>	
- Pars clavicularis	<b>Adduktion</b> , Innenrotation, Anteversion
- Pars sternocostalis	<b>Adduktion</b> , Innenrotation, Anteversion
- Pars abdominalis	<b>Adduktion</b> , Innenrotation, Anteversion
<b>M. latissimus dorsi</b>	<b>Adduktion</b> , Innenrotation, Retroversion
<b>M. teres major</b>	Adduktion, Innenrotation, Retroversion
<b>Muskeln vom Schultergürtel zum Unterarm</b>	
<b>M. biceps brachii</b>	
- Caput longum	Abduktion, Anteversion
- Caput breve	Adduktion
<b>M. trizeps brachii</b>	
- Caput longum	Adduktion, Retroversion

### 1.3.4 Gefäß- und Leitungsbahnen

Bei proximalen Humerusfrakturen ist die vaskuläre Versorgung des Humeruskopfes von großer Bedeutung. Ist diese nicht mehr gegeben so besteht die Gefahr einer Humeruskopfnekrose. Für die Durchblutung sind hauptsächlich die A. circumflexa humeri anterior und die A. circumflexa humeri posterior verantwortlich [16]. Beide Arterien sind Äste der A. axillaris. Sie umziehen den Oberarmknochen auf Höhe des Collum chirurgicum und bilden einen Gefäßkranz um den Knochen. Die A. circumflexa humeri anterior gibt im Bereich des Sulcus intertubercularis einen Ramus intertubercularis ab. Dieser verläuft im Sulcus nach kranial und tritt auf Höhe der ehemaligen Epiphysenfuge in das Caput humeri ein. Aufgrund des bogenförmigen, intraossären Verlaufs nach posteromedial wird sie als A. arcuata bezeichnet. Die A. circumflexa humeri

## Einleitung

posterior gibt im Verlauf mehrere Äste ab, die an der Knorpel-Knochen-Grenze in den Humeruskopf eintreten. Obwohl bisher keine direkten intraossären Anastomosen gefunden wurden [16], kann die vaskuläre Versorgung bei isolierten Verletzungen der A. circumflexa humeri anterior in einer Vielzahl der Fälle aufrechterhalten werden [17].

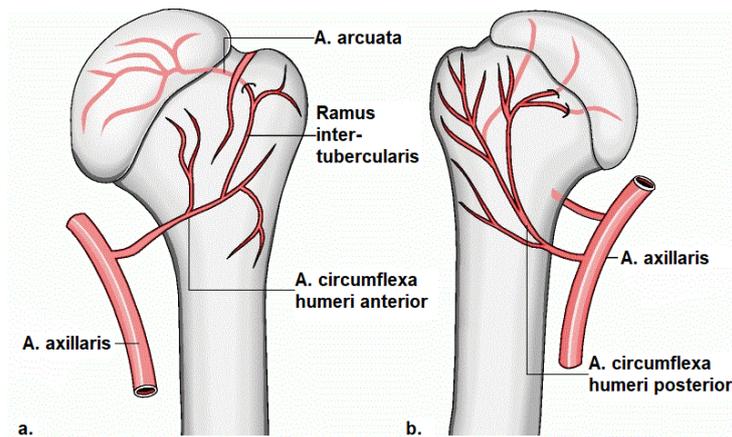


Abbildung 1-3: Durchblutung linker Humeruskopf. a Ansicht von ventral. b Ansicht von dorsal (modifiziert aus OP-Journal 3/2002 [15])

Als besonders gefährdete nervale Struktur bei proximalen Humerusfrakturen gilt der N. axillaris aufgrund seiner topographischen Nähe zu häufigen Frakturstellen. Zusammen mit der A. circumflexa humeri posterior zieht der Nerv durch die laterale Achsellücke und verläuft dorsal am Humerus auf Höhe des Collum chirurgicum. Er zweigt sich unterhalb des M. deltoideus auf und innerviert diesen motorisch, weshalb er eine außerordentliche Wichtigkeit für den Erhalt der motorischen Schulterfunktion besitzt. Zusätzlich innerviert er den M. teres minor und das Hautareal über dem M. deltoideus sensorisch [15]. Frakturverläufe im Collum chirurgicum sind besonders gefährlich für den N. axillaris. Repositionsmaßnahmen, Schnittführung und das Einbringen von Osteosynthesematerial bei operativen Eingriffen sind also so zu wählen, dass die gewählte Maßnahme den Nerv möglichst nicht gefährdet.

### 1.4 Diagnostik proximaler Humerusfrakturen

Patienten, die mit proximalen Humerusfrakturen vorstellig werden, zeigen meist typische klinische Symptome und werden in einem standardisierten Verfahren

untersucht. Die klinische Untersuchung sowie die Bildgebung werden im Folgenden kurz erläutert.

### **1.4.1 Klinik und körperliche Untersuchung**

In der Anamnese proximaler Humerusfrakturen sind Sturzereignisse in allen Altersgruppen über 18 Jahren als Hauptursache zu finden [7]. Nur ein geringer Teil der Frakturen ist auf direkte Anpralltraumata, wie Verkehrs- oder Sportunfälle, zurückzuführen. In ihrer Studie verweisen Lind et al. [7] darauf, dass vor allem häusliche Sturzereignisse mit fortschreitendem Alter zunehmen.

Bei der Inspektion zeigt sich oftmals eine Schwellung im Schulterbereich mit teilweise vorliegender Hämatomverfärbung. Diese kann sich nach einigen Tagen auf Ellenbogenbereich und Thoraxwand ausdehnen. Des Weiteren kann man bei den meisten Patienten eine Schonhaltung beobachten. Hierbei ist der Arm innenrotiert und im Ellenbogengelenk 90° flektiert. Bei der Palpation zeigt sich die Schulter meist sehr druckschmerzhaft. Außerdem sind sowohl passive, als auch aktive Bewegungen schmerzhaft eingeschränkt. Krepitationen im Schulterbereich können zusätzlich vorhanden sein. Um Gefäßverletzungen auszuschließen, sollte unbedingt die periphere Durchblutung überprüft werden. Verletzungen der Nerven sollten durch eine spezifische sensomotorische Untersuchung überprüft werden.

Zur Verifizierung der klinischen Untersuchung und genauen Frakturlokalisierung, sowie Einschätzung des Verletzungsmusters wird im Anschluss in der Regel eine Bildgebung angeordnet.

### **1.4.2 Röntgen**

Die konventionelle Röntgenaufnahme gilt noch immer als initiales Standardverfahren zur Frakturdiagnostik. Wie bei anderen Frakturen üblich, sind mindestens Aufnahmen in zwei Ebenen anzufertigen, um mögliche Frakturen oder Luxationen sicher beurteilen zu können. Hermichen et al. [18] weisen darauf hin, dass beim Anfertigen von Röntgenbildern auf das routinemäßige Anwenden von Standardaufnahmen geachtet werden sollte. So lassen sich beim Untersucher Erfahrungswerte aufbauen, die zur Vermeidung von Fehlern dienen. Bei proximalen Humerusfrakturen hat sich die aus drei Ebenen bestehende

## Einleitung

Traumaserie durchgesetzt. Hierbei wird eine a.-p.-Aufnahme mit anterior-posteriorem Strahlengang, eine axiale Aufnahme und eine sogenannte Y-Projektion angefertigt.

Die a.-p.-Aufnahme erfolgt üblicherweise im Liegen und wird vom Patienten meist gut toleriert, da der Arm am Körper anliegend gehalten werden kann. Um Humeruskopf und Glenoid überlappungsfrei und mit freiem Blick in den Gelenkspalt darzustellen, empfehlen Ellwein et al. [19] den Oberkörper des Patienten um 30° zur Frakturseite hin zu verkippen. Die Autoren sprechen in diesem Fall von einer true-a.-p.-Aufnahme. Sollte in dieser Projektion eine Überlappung auftreten, so spricht dies für eine Luxation. Ellwein et al. [19] beschreiben zudem, dass aufgrund der Übereinanderprojektion der Pfannenränder, Kantenfrakturen des Glenoids gut zu detektieren seien.

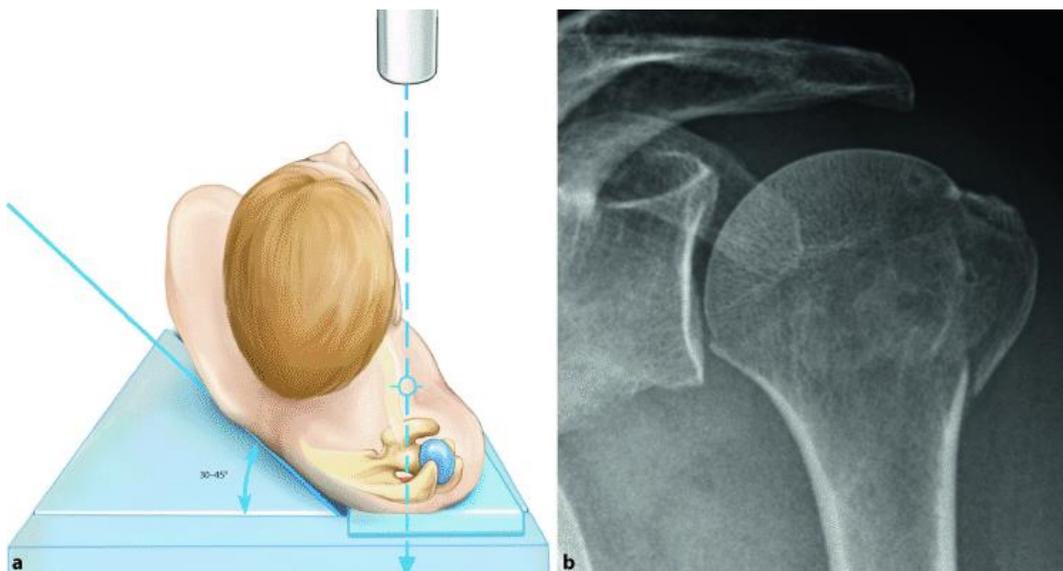


Abbildung 1-4: True-a.-p.-Aufnahme mit überlappungsfreier Darstellung von Humeruskopf und Glenoid und freiem Blick in den Gelenkspalt. a Schema zur Durchführung einer true-a.-p.-Aufnahme, b True-a.-p.-Aufnahme bei einer proximalen Humerusfraktur (aus „Die proximale Humerusfraktur“, 2014 [19])

Als senkrechte Aufnahme zur true-a.-p.-Projektion gilt die Y-Aufnahme. Die Durchführung wird in Abbildung 1-5 visualisiert. Ihren Namen hat die Aufnahme aufgrund markanter Knochenstrukturen erhalten. Ventral durch den Processus coracoideus, dorsal durch die Spina scapulae und kaudal durch das Corpus scapulae zeichnet sich ein imaginäres Y ab. Physiologisch sollte der

## Einleitung

Humeruskopf im Zentrum des Y stehen. In dieser Projektion lassen sich besonders gut glenohumerale Dislokationen und frakturbedingte Abkipfung der Kalotte darstellen. Ellwein et al. [19] weisen darauf hin, dass sich die Y-Aufnahme zur Detektion von dorsalen Luxationen eignet, welche in der a.-p.-Aufnahme in bis zu 60% der Fälle übersehen würden .

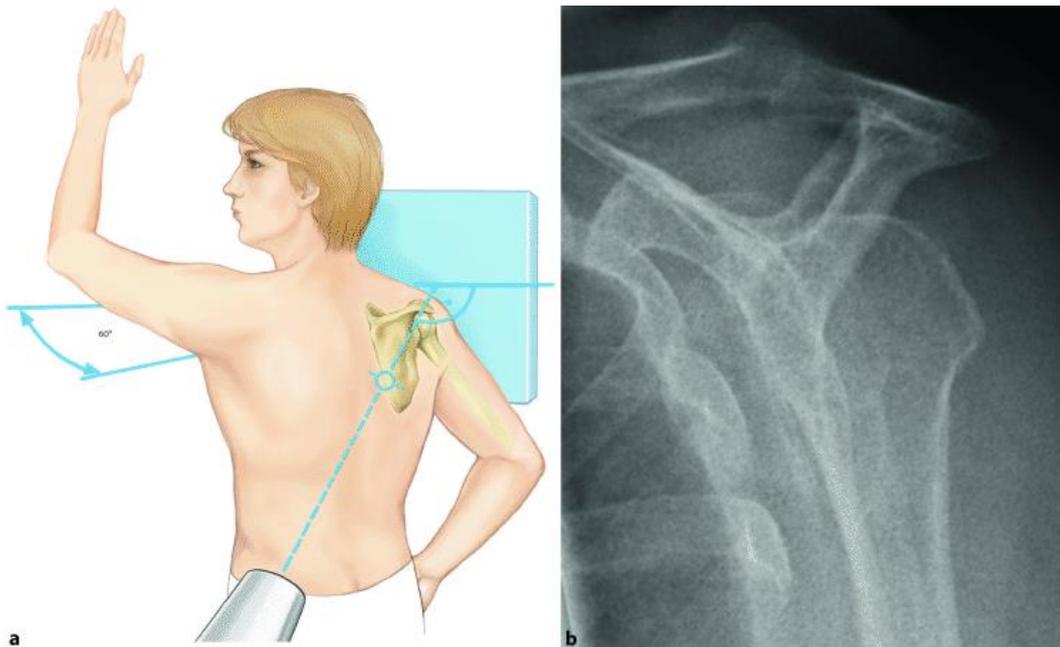


Abbildung 1-5: Y-Aufnahme. a Schema zur Durchführung einer y-Aufnahme, b y-Aufnahme einer 4-Segment-Fraktur mit Head Split (aus „Die proximale Humerusfraktur“, 2014 [19])

Um die axiale Aufnahme, als dritte Aufnahme der Traumaserie, anfertigen zu können, muss der Arm in 60° bis 90°-Abduktionsstellung gehalten werden. Dies stellt in der Praxis oft ein Problem dar, da Patienten diese Position schmerzbedingt nicht einnehmen können. Nach Babst und Brunner [17] reichen qualitativ gut angefertigte a.-p.- und Y-Aufnahmen in den meisten Fällen zur Diagnosestellung aus. Bahrs et al. [20] geben jedoch zu bedenken, dass zur Beurteilung aller relevanten Strukturen eine möglichst geringe Überlappung knöcherner Strukturen gegeben sein sollte. In ihrer Studie zeigen die Autoren, dass in der axialen Aufnahme im Vergleich zur Y-Aufnahme 15% weniger Überlappung herrscht. Da in der Y-Aufnahme Aussagen über Position des Humeruskopfes und dessen Stellung zum Schaft gemacht werden können, jedoch relevante Strukturen wie das Glenoid und Tuberculum minus sowie die

knöchernen Beurteilung des Humeruskopfs eingeschränkt sind, empfehlen Bahrs et al. [20] die Anfertigung einer axialen Aufnahme. Sie geben zu bedenken, dass diese erst ab einer Abduktion von 60° qualitativ gut zu beurteilen ist. Sofern der Patient eine Abduktion von mindestens 60° nicht toleriert, sollte nach ihrer Empfehlung Abstand von axialen Aufnahmen genommen werden.

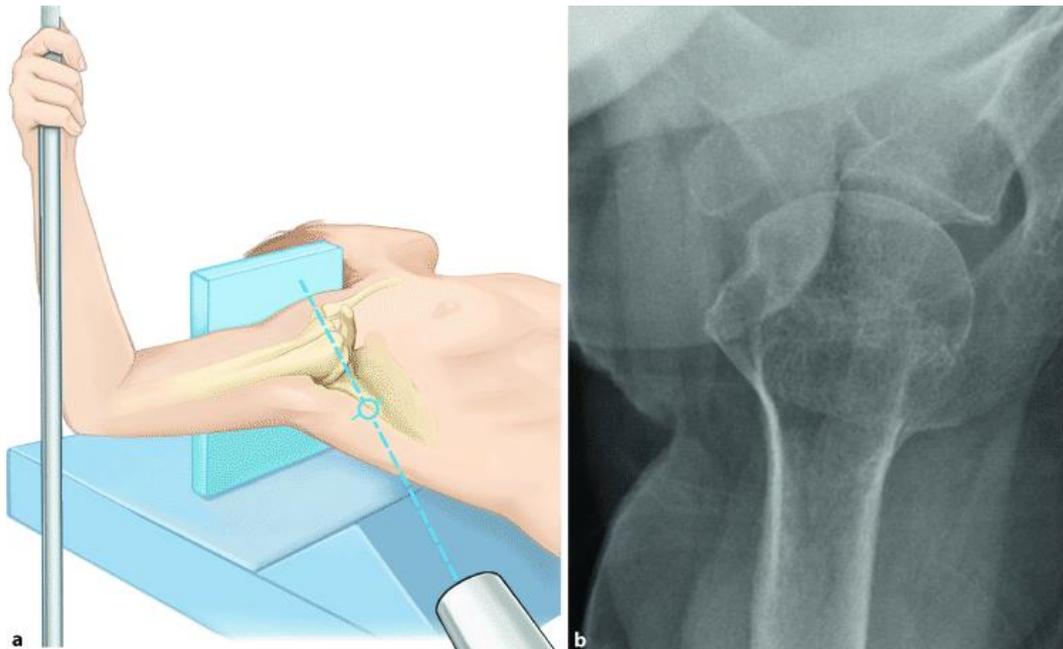


Abbildung 1-6: Axiale Aufnahme. a Schema zur Durchführung einer axialen Aufnahme im Liegen, b axiale Aufnahme einer 3-Segment-Fraktur (aus „Die proximale Humerusfraktur“, 2014 [19])

Um die Beurteilung der vorliegenden Fraktur zu vervollständigen, weisen Ellwein et al. [19] darauf hin, dass unabhängig von der Traumaserie Röntgenaufnahmen in Außen- beziehungsweise Innenrotation angefertigt werden können, um das Tuberculum majus beziehungsweise das Tuberculum minus zu beurteilen.

### 1.4.3 Computertomographie

Zusätzlich zum konventionellen Röntgen spielt die CT-Diagnostik bei proximalen Humerusfrakturen eine wichtige Rolle. In der Literatur herrscht, trotz fehlenden eindeutigen Indikationsleitlinien, Einigkeit darüber, dass bei höhergradigen Frakturen die CT obligat ist. Bahrs et al. [20] berichten, dass bereits bei Zwei-Part-Frakturen nach Neer relevante knöchernen Strukturen mittels CT-Scan besser zu beurteilen sind, da eine komplett überlappungsfreie Darstellung

möglich ist. Die multiplanare Darstellung bringt nach Ellwein et al. [19] weitere wichtige Erkenntnisse. Head-Split-Frakturen können demzufolge häufig erst mittels CT detektiert werden. Auch lassen sich genauere Aussagen über Fragmentanzahl, -form und -größe ableiten. Als zusätzlicher Aspekt kann die Knochenmorphologie beurteilt werden. Zusammen mit der exakten Frakturdarstellung können Therapiekonzepte demnach besser abgewogen werden. So kann beispielsweise anhand der Fraktur eine Aussage über die Durchblutungssituation des Caput humeri erfolgen, welche bei eventueller kopferhaltender Therapie eine übergeordnete Rolle spielt [18, 19]. Die Möglichkeit der dreidimensionalen Darstellung erleichtert dem Chirurgen außerdem die räumliche Orientierung und dadurch die weitere Planung des benötigten operativen Eingriffs [17].

### **1.5 Frakturklassifikation**

Nachdem die Diagnostik mittels bildgebender Verfahren vervollständigt wurde, wird die proximale Humerusfraktur mittels international anerkannter Klassifikationen genauer eingestuft. Die zwei wichtigsten Verfahren werden im nachfolgenden Abschnitt kurz zusammengefasst und erläutert.

#### **1.5.1 Die Neer-Klassifikation**

Die 1970 von Charles Neer erstmals veröffentlichte Klassifikation zur Einteilung von proximalen Humerusfrakturen orientiert sich vor allem an den vier Hauptfragmenten und deren gegebenenfalls vorliegenden Dislokation. Die vier Hauptfragmente ergeben sich aus den typischerweise verlaufenden Frakturlinien am Collum anatomicum, Collum chirurgicum, Tuberculum majus und Tuberculum minus. Als Dislokationsgrenzwerte definierte Neer eine Fragmentverschiebung größer als 1cm oder eine Fragmentabkipfung größer als 45°. [16]

Alle Frakturen, unabhängig von Fragmentanzahl, die sich nur minimal disloziert zeigen fallen in dieser Klassifikation in die Gruppe I. Zwei-Part-Frakturen deren Frakturlinie durch das Collum anatomicum geht und größer 1cm bzw. 45° disloziert sind werden als Gruppe II definiert. Ebenso verhält es sich mit Gruppe III, nur dass in diesem Fall die Frakturlinie durch das Collum chirurgicum verläuft. Gruppe IV der Neer-Klassifikation beinhaltet Zwei- und Drei-Part-Frakturen mit

## Einleitung

Beteiligung des Tuberculum majus und vorliegender Dislokation größer als 1cm. In Gruppe V werden Zwei- und Drei-Part-Frakturen mit Beteiligung des Tuberculum minus und vorliegender Dislokation größer 1cm zusammengefasst. Dislozierte Vier-Part-Frakturen können sowohl der Gruppe IV, als auch der Gruppe V zugeordnet werden. Unter Gruppe VI fallen jegliche Arten von Luxationsfrakturen. [16, 21, 22]

In Abbildung 1-7 wird die Klassifikation in Gruppe I-VI nochmals veranschaulicht.

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

Abbildung 1-7: Die Neer-Klassifikation von proximalen Humerusfrakturen (aus „Der Unfallchirurg“ 10/1997 [23])

### 1.5.2 Die AO-Klassifikation

Die Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese (AO) hat eine Klassifikation für Frakturen der großen Röhrenknochen definiert, deren Code hierarchisch aus Zahlen und Buchstaben aufgebaut ist. Die ersten beiden Zahlen beschreiben dabei die Frakturlokalisation, der folgende Buchstabe und zwei weitere Zahlen die Art und Weise wie der Knochen frakturiert ist.

## Einleitung

Die erste Nummer steht hierbei für den Knochen (1=Humerus, 2=Radius/Ulna, 3=Femur, 4=Tibia/Fibula), die zweite dafür ob der Knochen am proximalen Ende (1), am Schaft (2) oder am distalen Ende (3) frakturiert ist. Somit ergibt sich für proximale Humerusfrakturen der Zahlencode 11.

Zur Einordnung der Schwere der Fraktur werden die Buchstaben A, B und C verwendet. Bei Frakturen des Typs A am proximalen Humerus handelt es sich um unifokale, extraartikuläre Frakturen mit Erhalt der Durchblutungssituation. Bifokale, extraartikuläre Brüche werden Frakturtyp B zugeordnet, wobei die Durchblutungssituation beeinträchtigt sein kann. Typ C umfasst alle intraartikulären Frakturen, welche aufgrund von Unterbrechung der Blutversorgung ein erhöhtes Risiko einer posttraumatischen Nekrose mit sich bringen. Weiter werden die Frakturtypen numerisch in zwei Untergruppen jeweils mit Zahlen von 1-3 kategorisiert. Die erste Untergruppe beschreibt hierbei das Frakturmuster, die zweite Untergruppe die Trümmerzone. Je höher der Code in Buchstaben und Zahl, desto höher der Schweregrad der Verletzung bezogen auf die Fraktur. In dieser Klassifikation ergeben sich somit 27 Möglichkeiten proximale Humerusfrakturen einzuteilen. [16, 24]

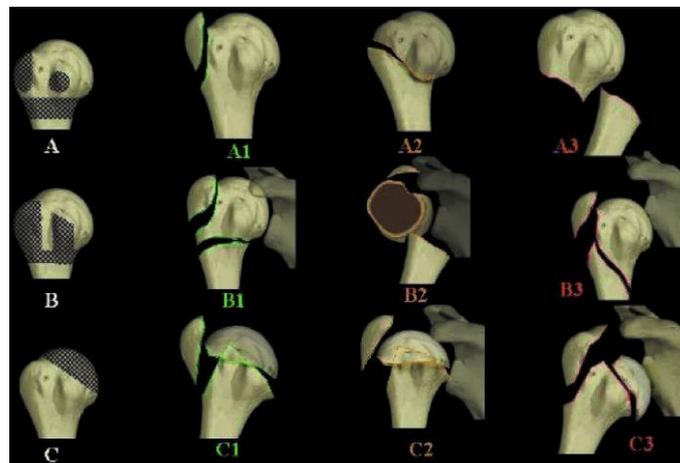


Abbildung 1-8: AO-Klassifikation von proximalen Humerusfrakturen (aus „Die proximale Humerusfraktur“, 2014 [16])

### 1.6 Behandlung proximaler Humerusfrakturen

Zur Behandlung der proximalen Humerusfraktur stehen neben der konservativen Therapie eine Vielzahl an operativen Verfahren zur Verfügung. Neben

Dislokationsgrad der Fraktur nehmen vor allem die individuelle Situation und die individuellen Ansprüche an die Schulterfunktion des Patienten großen Einfluss auf die Therapiewahl.

Proximale Humerusfrakturen, die nicht oder nur gering disloziert sind, stellen eine Indikation zur konservativen Therapie dar [25]. Die Grenzwerte bezüglich der Dislokation von proximalen Humerusfrakturen wurden innerhalb der letzten Jahre zusehends enger gefasst. Die ursprünglich von Neer gesetzten Grenzwerte zur operativen Intervention betragen größer 1cm Verschiebung der Fragmente oder eine Abkipfung um größer 45° [16]. Lill und Voigt [26] sprechen hingegen bereits ab einer Kalottendislokation größer 5mm oder einer Kalottenabkipfung größer 20° von einer dislozierten Fraktur. In deren Bewertung fließt zusätzlich die Dislokation der Tubercula mit ein. Hier liegt der von Lill und Voigt [26] definierte Grenzwert bei 2mm. In der international vorliegenden Literatur besteht nach wie vor kein Konsens hinsichtlich der Grenzwerte. Dies führt dazu, dass Franke und Ambacher [25] empfehlen, zusätzlich zur Frakturmorphologie die individuelle Situation der Patienten bei der Therapieentscheidung miteinzubeziehen. So wird sich im klinischen Alltag bei älteren Patienten häufiger an den Grenzwerten von Neer, bei jüngeren Patienten hingegen häufiger an den Werten von Lill und Voigt [3] orientiert.

### **1.6.1 Konservative Therapie**

Zunächst muss festgestellt werden, dass derzeit kein allgemeingültiges Therapiekonzept zur konservativen Therapie bei proximalen Humerusfrakturen vorliegt [3, 27]. Man orientiert sich zwar an den oben genannten Grenzwerten, jedoch werden diese kontrovers diskutiert. Zudem fließen individuelle Faktoren, wie die häusliche Situation oder der Bewegungsanspruch des Patienten an das Schultergelenk nach Therapie mit in die Therapiewahl ein. Legt man die Frakturreinteilung nach Neer zugrunde, so entfällt ein Großteil (49-85%) der Patienten auf die Gruppe mit nicht oder nur gering dislozierten Frakturen [1, 16]. Dies zeigt, dass die konservative Therapie eine erhebliche Rolle im Behandlungskonzept spielt.

Generell gehen die gängigen konservativen Therapiekonzepte mit einer analgetischen Therapie und einer Ruhigstellung des Schultergelenks für eine bestimmte Zeit einher. Die Ruhigstellung erfolgt meist im Gilchrist- oder Desaultverband und kann in einer Zeitspanne von wenigen Tagen bis zu drei Wochen indiziert sein. Um eine Einsteifung des Gelenkes zu verhindern, wird früh mit einer schmerzadaptierten passiven Mobilisation bis 90° Flexion und Abduktion begonnen. Regelmäßige radiologische Kontrollen werden empfohlen, um eine mögliche sekundäre Dislokation frühzeitig zu erkennen. Aufgrund fehlender Leitlinien weichen die Behandlungskonzepte einzelner Zentren aber voneinander ab.

Laut Burkhart et al. [3] führen konservative Behandlungskonzepte bei nicht oder gering dislozierten Frakturen zu einer zufriedenstellenden Schmerzsituation und zu einer posttraumatischen Schulterbeweglichkeit, die rund 85% des Bewegungsausmaßes der Gegenseite erreicht.

Neben diesen positiven Aspekten geben Murray et al. [28] allerdings zu bedenken, dass sich im Gegensatz zu vielen chirurgischen Verfahren bei der konservativen Therapie häufiger Pseudarthrosen und knöcherne Fehlstellungen ausbilden, die wiederum zu schmerzhaften Bewegungseinschränkungen sowie Humeruskopfnekrosen führen können.

### **1.6.2 Operative Therapieverfahren**

Aufgrund der hohen Inzidenz und Relevanz des Verletzungsmusters sind entsprechend viele Verfahren zur operativen Versorgung von proximalen Humerusfrakturen bekannt. Da keine Leitlinien definiert sind, werden die einzelnen Verfahren kontrovers diskutiert und eindeutige Indikationen für ein jeweiliges Verfahren sind nicht vorhanden [29].

Tepass et al. [8] veröffentlichten 2013 eine Studie in der die Autoren 348 Krankenhäuser im deutschsprachigen Raum (Deutschland, Österreich, Schweiz) befragten, welche operativen Therapieverfahren diese vorhalten würden. Fast alle Krankenhäuser (97,7%) konnten die Therapie mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese anbieten. 88,8% verfügten zusätzlich über die Therapiemöglichkeit der Frakturotoprothese, gefolgt von der intramedullären

Nagelung (73,9%) und der K-Draht- oder Schraubenosteosynthese (38,2%). Bei der K-Draht- oder Schraubenosteosynthese ist auch die Kombination beider Verfahren eingeschlossen. Die nicht winkelstabile Plattenosteosynthese wurde dagegen nur noch von 4,3% der Häuser angeboten. Alternative chirurgische Verfahren machten einen Anteil von 8,3% aus.

Die Autoren beschreiben in ihrer Veröffentlichung auch die Verfahren, die zur Frakturversorgung letzten Endes angewendet wurden. Bei der Wahl der Verfahren konnten nur bei der winkelstabilen Plattenosteosynthese und der Versorgung mittels K-Draht oder Schrauben signifikante Unterschiede zwischen den drei Ländern ermittelt werden. So wurden in der Schweiz 79,0% der proximalen Humerusfrakturen mit einer winkelstabilen Platte versorgt. In Deutschland fand dieses Verfahren in 62,5% der Fälle und in Österreich in 51,8% der Fälle Anwendung. Die K-Draht- oder Schraubenosteosynthese wurde mit 16,1% in Österreich relativ häufig durchgeführt, wohingegen dieses Verfahren in der Schweiz (9,1%) und in Deutschland (8,1%) signifikant seltener verwendet wurde. [8]

Im Folgenden werden die häufigsten operativen Verfahren zur Behandlung von proximalen Humerusfrakturen erläutert.

### **1.6.2.1 Plattenosteosynthese**

Die winkelstabile Plattenosteosynthese stellt unter den operativen Verfahren das am häufigsten Angewendete dar [8]. Primäres Ziel dieser Technik ist es, unter offener anatomischer Reposition eine gute Stabilität zu erreichen und somit eine frühe funktionelle Nachbehandlung zu ermöglichen [11].

Durch ein zusätzliches Gewinde am Schraubenkopf, welches einen anderen Durchmesser als der Schraubenkörper besitzt, kann die Schraube fest mit der Platte verriegelt werden. Die Platte besitzt dazu in ihren Löchern ein entsprechend passendes Gewinde. Der Gewindeanteil am Schraubenkörper wird in den Knochen eingebracht. Somit kann im Vergleich zu nicht winkelstabilen Platten ein stabiles Platten-Schrauben-Konstrukt geschaffen werden, ohne dabei die Platte fest an den Knochen anpressen zu müssen. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem internen Fixateur. Durch den geringeren

Anpressdruck der Platte am Knochen, wird laut Broos und Sermon [30] eine bessere periostale Durchblutung der Frakturfragmente gewährleistet. Dies führt laut den Autoren zu einer schnelleren Knochenkonsolidierung und einer niedrigeren Infektrate.

Siffri et al. [31] und Foruria et al. [32] konnten in biomechanischen Studien zeigen, dass winkelstabile Platten eine vergleichbare Biegesteifigkeit und eine bessere Torsionssteifigkeit gegenüber anderen operativen Verfahren aufweisen .

### **1.6.2.2 Marknagelung**

Wie die winkelstabile Plattenosteosynthese soll die Marknagelung eine anatomische Reposition gewährleisten und zu einer ausreichenden Stabilität führen, um die frühfunktionelle Nachbehandlung zu ermöglichen. Durch einen minimalinvasiven Zugang ist der Blutverlust bei diesem Verfahren gering, außerdem wird der Weichteilmantel des Glenohumeralgelenks geschont. Des Weiteren liegt kein Osteosynthesematerial auf dem Knochen auf, welches das Periost komprimieren und die dortige Blutversorgung beeinträchtigen könnte. [11]

Der operative Zugang zur Einbringung des Nagels birgt das Risiko einer Verletzung der Supraspinatussehne, welche in der Literatur als eine der Hauptkomplikationen dieser Operationsmethode genannt wird [11, 28]. Die Verletzung kann primär beim Einbringen des Nagels erfolgen oder sekundär durch überstehendes Osteosynthesematerial. In letzterem Fall reibt das überstehende Material an der Sehne und diese kann in Folge Schaden nehmen. Aus diesem Grund findet der Marknagel bei älteren Patienten mit geringeren funktionellen Ansprüchen öfters Anwendung als bei jüngeren Patienten. Die Indikationsstellung zur Osteosynthese mittels Marknagel ist generell eng zu stellen. So beschreiben Katthagen et al. [33] subkapitale 2-Part-Frakturen beim älteren Patienten als die eindeutigste Indikation. Weitere Anwendung findet die Methode bei subkapitalen 3-Part-Frakturen mit metaphysärer oder subkapitaler Trümmerzone oder in den Schaft reichende Spiralfrakturen [11]. Das Implantat bietet eine gute Biege- und Torsionssteifigkeit. Bei unerwartet hohen Torsionskräften ist der Marknagel der winkelstabilen Platte jedoch unterlegen [32].

### **1.6.2.3 Fixierung mittels Kirschner-Drähten**

Bei dieser Operationstechnik werden die Frakturfragmente geschlossen reponiert und anschließend mittels Kirschner-Drähten (K-Drähte) fixiert. Durch die geschlossene Reposition und das perkutane Einbringen werden die Weichteile geschont. Des Weiteren bleiben eventuell noch bestehende Periost-Brücken erhalten. Die Durchblutung der Fragmente wird dadurch nicht zusätzlich beeinträchtigt, so dass einer avaskulären Nekrose des Humeruskopfes vorgebeugt wird [11, 34]. Da die Fixierung mittels K-Drähten nicht so stabil ist, wie mittels Platte oder Nagel, erfordert diese Methode eine postoperative Ruhigstellung des Gelenkes. Eine frühfunktionelle Beübung kann daher nicht erfolgen, was das Risiko von Bewegungseinschränkungen durch Immobilität erhöht.

Calvo et al. [29] sehen in diesem Verfahren vor allem eine gute Therapiealternative bei älteren Patienten mit geringeren funktionellen Ansprüchen, wobei besonders Patienten mit 2-Part-Frakturen profitieren würden.

Werth et al. [11] führen an, mit dem sogenannten Humerusblock eine zusätzliche Stabilisierung der K-Drähte zu erreichen. Dieser wird durch Schrauben am Humerusschaft fixiert. Die Drähte werden durch Vorrichtungen am Block geführt und mittels Madenschrauben arretiert. Dies führt zu zusätzlicher Stabilität, weshalb die Autoren die Indikationsstellung für die K-Draht-Osteosynthese in Verbindung mit dem Humerusblock als relativ breit ansehen.

### **1.6.2.4 Schraubenosteosynthese**

Bei der Schraubenosteosynthese werden die dislozierten Fragmente meist geschlossen reponiert. Die Reposition kann hierbei direkt oder indirekt mittels Gewinde-Kirschner-Drähten für kanülierte Schrauben erfolgen [17]. Durch die geschlossene Reposition werden die Weichteile geschont und die Durchblutung des Humeruskopfes wird nicht zusätzlich beeinträchtigt. Nach erfolgter Reposition werden die Schrauben perkutan eingebracht.

Das Verfahren bietet sich besonders zur Fixierung einzelner Fragmente mittels Zugschrauben an, wie beispielsweise isolierte Tuberculum-majus-Frakturen [17]. Aber auch in Kombination mit anderen Operationstechniken lässt sich die

Schraubenosteosynthese zur Fixierung von Fragmenten gut anwenden [11]. Resch et al. [35] beschreiben, dass die Behandlung von Drei- und Vier-Part-Frakturen mittels Schraubenosteosynthese vor allem bei jüngeren Patienten einen Vorteil bietet.

### **1.6.2.5 Zuggurtungsosteosynthese**

Bei diesem Verfahren werden die Frakturfragmente mit Draht- oder Fadencerclagen fixiert. Zugkräfte, die auf den Frakturspalt wirken, werden in Kompressionskräfte umgewandelt und die Fragmente somit aneinandergespreßt.

Die Indikation für die Zuggurtungsosteosynthese wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Unbestritten ist jedoch, dass sie sich zur Behandlung isolierter Frakturen des Tuberculum majus [17, 36] und zur Kombination mit anderen Verfahren eignet [37, 38]. Babst und Brunner [17] sehen in diesem Verfahren eine gute Möglichkeit Drei- und Vier-Part-Frakturen bei vorausgesetzt guter Knochenqualität zu behandeln, merken jedoch kritisch an, dass häufig eine exakte anatomische Reposition nicht möglich und eine Frühmobilisation nicht gegeben ist.

### **1.6.2.6 Endoprothetische Versorgung**

Die klassische Endoprothese nach proximaler Humerusfraktur ist eine Hemiendoprothese. Hierbei wird der Prothesenschaft in den Oberarmknochen implantiert, anschließend die Tubercula in anatomisch korrekter Position fixiert und ein Prothesenkopf auf den Schaft aufgesetzt. Die anatomisch korrekte Reposition der Tubercula ist von herausragender Bedeutung für das funktionelle Ergebnis nach Implantation [39-42].

Verschiedene Studien zeigen, dass eine hohe Zufriedenheit in Bezug auf die Schmerzreduktion besteht, jedoch im Vergleich zu kopferhaltenden Maßnahmen sich die Beweglichkeit häufig eingeschränkt zeigt [3, 39, 40]. Die Indikation zur Versorgung mittels Endoprothese sollte daher sehr eng gestellt werden und primär vor allem bei Frakturen Anwendung finden, welche einem erhöhten Risiko der Humeruskopfnekrose unterliegen [42, 43]. Außerdem können Frakturen bei welchen die primäre Versorgung mittels kopferhaltender Osteosynthese

## Einleitung

fehlgeschlagen ist, mit einer sekundären Endoprothesenimplantation versorgt werden [3, 42].

Krackhardt und Weise [42] geben zusätzlich zu bedenken, dass Frakturendoprothesen in ihrem Outcome nicht mit Endoprothesen nach primärer Arthrose vergleichbar sind. Sowohl hinsichtlich Schmerzfreiheit als auch unter funktionellen Gesichtspunkten zeigt sich die Prothesenimplantation nach Frakturen deutlich unterlegen.

Neuere Studien konnten zeigen, dass insbesondere bei älteren Menschen mit mehrfragmentären proximalen Humerusfrakturen die inverse Totalendoprothese der klassischen Frakturendoprothese überlegen ist [3, 44, 45]. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit zunehmendem Alter häufig Defekte im Bereich der Rotatorenmanschette vorliegen [46]. Da für die Frakturendoprothese eine intakte Funktion der Rotatorenmanschette von großer Bedeutung ist, ergibt sich daraus der Vorteil für die inverse Totalendoprothese bei dieser Patientengruppe [3, 45]. Für die Implantation einer inversen Prothese ist eine intakte Funktion des M. deltoideus Voraussetzung.

## 2 Patienten und Methoden

### 2.1 Patientenkollektiv

In die Studie eingeschlossen wurden alle Patienten, die zwischen Oktober 2016 und Juni 2018 mit einer proximalen Humerusfraktur in der Notaufnahme der BG Unfallklinik Tübingen vorstellig wurden, der freiwilligen Teilnahme an der Studie zustimmten und die Einschlusskriterien erfüllten. Des Weiteren musste gewährleistet werden, dass die Operation von einem der beiden festgelegten Chirurgen ausgeführt wurde. War dies aus organisatorischen Gründen nicht möglich, so wurde der betreffende Patient nicht in die Studie eingeschlossen.

Als Einschlusskriterium wurde ein Mindestalter von 18 Jahren festgelegt. Es wurden alle Zwei-, Drei- und Vier-Part-Frakturen nach Neer eingeschlossen, die einer operativen Versorgung bedurften.

Patienten, die das Mindestalter von 18 Jahren nicht erreichten, wurden nicht in die Studie eingeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien waren bilaterale oder vorherige Humerusfrakturen, Head-Split- sowie Impressionsfrakturen des Humeruskopfes. Patienten mit Cuff-Arthropathien, sowohl ipsi- als auch kontralateral, wurden nicht zur Studienteilnahme zugelassen. Nerven- oder Gefäßverletzungen stellten ebenso wie vorbestehende Thrombophilien, schwere Herz- oder Lungenerkrankungen ein Ausschlusskriterium dar. Lag eine schwere Systemerkrankung der ASA-Klassifikation  $\geq 4$  oder eine medizinisch nicht behandelte Erkrankung nach ASA-Klassifikation 3 vor, führte dies auch zum Ausschluss. Sofern intraoperativ festgestellt wurde, dass aus medizinischen Gründen ein anderes Implantat indiziert war, wurde dieses implantiert und der Patient nachträglich von der Studie ausgeschlossen. Als weitere Ausschlusskriterien wurden ein vorangegangener oder bestehender Drogenabusus und die Teilnahme an anderen klinischen Studien, die die Ergebnisse der vorliegenden Studie beeinflussen könnten, definiert.

Die Teilnahme beruhte auf Freiwilligkeit. Jedem Patienten wurde das Recht eingeräumt, die Einwilligung ohne Angabe von Gründen jederzeit zu widerrufen.

Anhand einer Randomisierungsliste erfolgte die Zuteilung der Patienten in zwei Gruppen. Entsprechend dieser Zuteilung wurden bei einer Gruppe karbonfaserverstärkte Polyetheretherketon-Platten (PEEKPower Humeral Fracture Plate) und bei der anderen Gruppe konventionelle Titan-Platten (PHILOS) implantiert.

### **2.2 Therapie**

Alle operativen Eingriffe im Rahmen der Studie wurden ausschließlich von zwei erfahrenen Operateuren mit der Facharztbezeichnung für Orthopädie und Unfallchirurgie sowie der Schwerpunktbezeichnung für spezielle Unfallchirurgie durchgeführt.

#### **2.2.1 Chirurgische Technik der operativen Plattenversorgung**

Das chirurgische Vorgehen und die Technik der Osteosynthese unterschieden sich bei Verwendung der CFR-PEEK- und der PHILOS-Platte nicht.

Die Lagerung der Patienten erfolgte bei Intubationsnarkose in Beach-Chair-Position. Als Zugang wurde der anterolaterale Zugang nach McKenzie gewählt, für welchen der Hautschnitt beginnend am Coracoid parallel zur Achselfalte laufend und das anschließende stumpfe Durchtrennen in Faserrichtung des M. deltoideus charakteristisch ist.

Unter Sicht auf die Fraktur wurden zunächst Tuberculum majus und minus mittels nicht-resorbierbaren Haltefäden (FibreWire, Fa. Arthrex, Naples, Florida, USA) angeschlungen. Anschließend wurden die Frakturfragmente anatomisch reponiert und mittels K-Drähten provisorisch fixiert. Das Anbringen der Plattenosteosynthese erfolgte jeweils fünf bis acht Millimeter distal der Spitze des Tuberculum majus und direkt lateral des Sulcus bicipitalis. Die Fixierung der jeweiligen Platte erfolgte im Humerusschaft immer mittels einer Kortikalisschraube und zwei winkelstabilen Schrauben. Im Bereich des Humeruskopfes fanden nur winkelstabile Schrauben Anwendung. Die Zahl dieser war jedoch variabel und individuell nach Fraktur gewählt. Die FibreWire (Fa. Arthrex, Naples, Florida, USA) wurden an der jeweiligen Platte in den dafür vorgesehenen Löchern standardmäßig fixiert. Die anatomische Reposition und die korrekte Implantatlage wurden intraoperativ mittels Bildwandler kontrolliert.

Abschließend erfolgte die Einlage einer Redon-Drainage und der schichtweise Wundverschluss.

### **2.2.2 Konventionelle winkelstabile Plattenosteosynthese**

Sofern Patienten dieser Studie dem konventionellen Arm zugeteilt wurden und folglich eine winkelstabile Plattenosteosynthese in Titanlegierung erhalten sollten, bekamen sie eine PHILOS-Platte der Firma DePuy Synthes implantiert. PHILOS steht hierbei für Proximal Humerus Internal Locking System.

Zur Behandlung der proximalen Humerusfraktur sind winkelstabile Plattensysteme seit Anfang des 21. Jahrhunderts im Einsatz. Diese, an die Anatomie des proximalen Humerus, angepassten Platten bestehen zumeist aus Titanlegierungen. Die Firma DePuy Synthes brachte als eine der ersten Firmen ein solches Produkt auf den Markt. Dieses unterlag im Laufe der Jahre einer stetigen Weiterentwicklung. Die PHILOS-Platte verfügt proximal, im Humeruskopf stabilisierenden Bereich, über neun Schraubenlöcher. Die Schrauben können in verschiedenen Richtungen eingebracht werden, sodass diese in Summe parallel, konvergierend und divergierend stehen, was einer optimalen Stabilität dienen soll. Die winkelstabilen Titan-Schrauben haben beim PHILOS-System einen Kerndurchmesser von 3,5mm. Der distale Anteil der Platte dient der Stabilisierung des Schaftfragments und verfügt über mindestens drei Schraubenlöcher. Die Platte ist in verschiedenen Größen erhältlich, wobei sich der distale Anteil in der Länge unterscheidet und somit eine flexible Anzahl an Schrauben aufnehmen kann. Durch das Schraubenkopfgewinde ist bei winkelstabilen Plattensystemen die Richtung der Schraubeneinbringung vorgegeben. Außerdem bieten die modernen Plattensysteme Löcher zum Anbringen von Fadencerclagen. Sie dienen zur zusätzlichen Fixierung beispielsweise der Tubercula. Somit kann Sekundärdisklokationen zusätzlich vorgebeugt werden. [11]

Durch die Verwendung der PHILOS-Platte wurde sichergestellt, dass ein bewährtes, häufig angewendetes und modernes Implantat als Vergleich zur neuartigen Methode der Karbonfaserplattensysteme herangezogen wird.



Abbildung 2-1: PHILOS-Platte (Firma DePuy Synthes, West Chester, Pennsylvania, USA) (modifiziert aus „Die proximale Humerusfraktur“, 2014 [11])



Abbildung 2-2: True-a.-p.-Aufnahme (links) und Y-Aufnahme (rechts) nach Osteosynthese mit PHILOS-Platte

### 2.2.3 Karbonfaser Plattenosteosynthese

Als Vertreter der neuartigen Karbonfaser-Platten, bekamen Patienten im Rahmen dieser Studie die CFR-PEEKPower Humeral Fracture Plate der Firma Arthrex implantiert.

Die aus kohlefaserverstärktem (CFR=carbon fiber reinforced) Polyetheretherketon (PEEK) bestehenden Implantate zeichnen sich durch eine an den humanen Knochen angepasste Steifigkeit aus. Die CFR-PEEK-Platte besteht zu 55-60% aus Karbonfasern. Diese verfolgen keine Ordnung, sondern sind willkürlich innerhalb der Platte angeordnet, was unter anderem zu den in der Einleitung beschriebenen, an den Knochen angepassten, biomechanischen

Eigenschaften beiträgt. Die restlichen 40-45% macht Polyetheretherketon aus. [47]

Durch das neuartige Material werden zum einen interfragmentäre Mikrobewegungen zugelassen [48], welche eine schnellere Kallusbildung begünstigen sollen. Zum anderen ist das Material durchlässig für Röntgenstrahlung, wodurch laut Schliemann et al. [49] die Gefahr von primären, intraoperativ unbemerkten Schraubenperforationen gesenkt werden kann. Des Weiteren wird laut Katthagen et al. [47], durch die an den Knochen angepasste Steifigkeit des Implantats, auch die Rate an sekundären Schraubenperforationen gesenkt. Ähnlich der PHILOS-Platte ist die CFR-PEEK-Platte an die anatomische Form des proximalen Humerus angepasst. Im proximalen Anteil der Platte sind sieben Schraubenlöcher vorhanden, um Schrauben polyaxial einbringen zu können. Es stehen zwei Varianten an Platten zur Verfügung, die sich in der Länge des Anteils zur Stabilisierung des Schaftfragments unterscheiden. Bei der kürzeren Variante können drei Schrauben in den Schaft eingebracht werden, bei der längeren bis zu fünf Schrauben. Für das CFR-PEEK-Plattensystem werden Titan-Schrauben verwendet, welche im Kopfbereich einen Kerndurchmesser von 4,0mm und im Schaftbereich einen Kerndurchmesser von 3,5mm aufweisen. Die CFR-PEEK-Platte bietet dem Operateur die Möglichkeit das Einbringen der winkelstabilen Schrauben in einer Winkelabweichung von bis zu 12° zu variieren. Dies erlaubt ein individuell an die anatomischen Gegebenheiten angepasstes Platzieren der Schrauben. Wie bei anderen modernen Plattensystemen sind Löcher für das Anbringen von Fadencerclagen zur zusätzlichen Fragmentstabilisierung vorhanden.



Abbildung 2-3: CFR-PEEK Power Humeral Fracture Plate (Firma Arthrex, Naples, Florida, USA)



Abbildung 2-4: True-a.-p.-Aufnahme (links) und Y-Aufnahme (rechts) nach Osteosynthese mit CFR-PEEKPower Humeral Fracture Plate

#### **2.2.4 Postoperative und frühfunktionelle Nachbehandlung**

Für 7-10 Tage erhielten alle Patienten einen Gilchrist-Verband, welcher dauerhaft getragen werden musste. Kurzzeitiges Ablegen für Pendelbewegungen war erlaubt. In den darauffolgenden zwei Wochen wurde das Bewegungsausmaß des Schultergelenks auf maximal 60° Anteversion und Abduktion gesteigert. Außenrotationsbewegungen sowie Retroversion waren nicht freigegeben. Anschließend wurden für weitere zwei Wochen Anteversion und Abduktion auf 90° sowie Außenrotation und Retroversion auf 20° limitiert. Nach dieser Zeit erfolgte die Freigabe des glenohumeralen Gelenks in vollem Bewegungsumfang. Bezüglich der Belastung war eine Gewichtslimitation von 15kg für die ersten sechs Wochen vorgegeben.

#### **2.3 Nachuntersuchung**

Zur Messung und Beurteilung des postoperativen funktionellen Ergebnisses von proximalen Humerusfrakturen wurden in dieser Studie vier Fragebögen angewendet. Die jeweilige Erhebung dieser Fragebögen erfolgte zu den drei definierten Nachuntersuchungszeitpunkten von sechs Wochen, zwölf Wochen und einem halben Jahr nach der operativen Versorgung. Alle vier Fragebögen

(Constant-Murley-Score, DASH-Score, Simple-Shoulder-Test, Oxford-Shoulder-Score) sind im Bereich von Schulter- und Oberarmverletzungen häufig eingesetzte und in der Wissenschaft etablierte Mittel. Nachfolgend werden diese vier Scores kurz erläutert.

### 2.3.1 Constant-Murley-Score

Der Constant-Murley-Score bietet die Möglichkeit, Patienten mit Schulterbeschwerden anhand eines Punktesystems mit maximal 100 erreichbaren Punkten zu bewerten. Hierbei entfallen 35 Punkte auf subjektive Parameter und 65 Punkte auf objektive Parameter. Bei den subjektiven Parametern fließen Schmerzen mit 15 Punkten und Aktivitäten des alltäglichen Lebens mit 20 Punkten ein. Die objektiven Parameter umfassen Kraft und Beweglichkeit. Die Kraftkomponente fließt mit 25 Punkten, die Beweglichkeitskomponente mit 40 Punkten in den Score ein. [50, 51]

Die Erhebung des Schmerz-Scores wird anhand einer visuellen Analogskala von 0 (keine Schmerzen) bis 15 (größtmögliche Schmerzen) vorgenommen. Die Auswertung erfolgt gegenläufig der Analogskala. Gibt der Patient keine Schmerzen an, erhält er die Höchstpunktzahl von 15 Punkten. Werden unerträgliche, größtmögliche Schmerzen angegeben, so fließt dies mit 0 Punkten in den Score ein.

Zur Beurteilung der Aktivitäten des alltäglichen Lebens werden die Arbeitsfähigkeit, die Ausübung von Freizeitaktivitäten und das ungestörte Schlafen als Parameter herangezogen. Des Weiteren fließen standardisierte, alltagsübliche Bewegungsmuster mit ein, welche schmerzfrei ausgeführt werden sollen. Die Punkteverteilung für die Aktivitäten des alltäglichen Lebens werden in Tabelle 2-1 veranschaulicht.

Tabelle 2-1: Punkteverteilung für die Aktivitäten des alltäglichen Lebens

<b>Arbeitsfähigkeit/Leistungsfähigkeit im Alltag</b>	<b>Punkte</b>
Arbeitsunfähig/nicht möglich den Alltag zu bewältigen	0
starke Einschränkung (ca. 25% der max. Leistungsfähigkeit)	1
mäßige Einschränkung (ca. 50% der max. Leistungsfähigkeit)	2
leichte Einschränkung (ca. 75% der max. Leistungsfähigkeit)	3
keine Einschränkungen	4

## Patienten und Methoden

<b>Sport- und Freizeitaktivitäten</b>	<b>Punkte</b>
gar nicht möglich	0
nur stark eingeschränkt möglich	1
mit mäßigen Einschränkungen möglich	2
mit leichten Einschränkungen möglich	3
keine Einschränkungen	4
<b>Schlaf</b>	<b>Punkte</b>
Starke Schlafprobleme (Schlaf- oder Schmerzmedikation nötig)	0
Erwachen mit wieder Einschlafen	1
Ungestörter Schlaf möglich	2
<b>Tätigkeiten mit dem Arm sind schmerzfrei möglich bis</b>	<b>Punkte</b>
zur Gürtellinie	2
zum unteren Brustkorb	4
zum Hals	6
zum Scheitel	8
über den Kopf	10

Die definierte Position zur Erhebung der Kraftkomponente ist der gestreckte Arm in Skapulaebene (Schultergelenk in 90° Anteversion und 30° Abduktion). Der Angriffspunkt der Kraft erfolgt direkt unter dem Handgelenk. Zur Erhebung des Kraftwerts werden die Patienten aufgefordert, eine Tüte mit möglichst vielen 1-Liter-Tetrapacks in der beschriebenen Position für 5 Sekunden zu halten [52]. In seiner Originalpublikation von 1987 vergibt Constant pro Pfund (0,4536kg) gemessener Kraft einen Punkt, bei der maximal erreichbaren Punktzahl von 25 Punkten [51]. In der vorliegenden Arbeit wird das Umrechnungsmodell von Boehm et al. [52] (vgl. Tabelle 2-2) angewendet.

Tabelle 2-2: Punkteverteilung für den Krafttest mit Tetra-Paks (aus "Der Unfallchirurg", 5/2004 [52])

<b>Tetra-Paks (l)</b>	<b>Kraftpunkte im Constant-Murley-Score</b>	<b>Tetra-Paks (l)</b>	<b>Kraftpunkte im Constant-Murley-Score</b>
0	0	7	15
1	2	8	18
2	4	9	20
3	7	10	22
4	9	11	24
5	11	12	25
6	13	>12	25

Die 40 Punkte des objektiven Parameters Beweglichkeit werden auf die Anteversion, Abduktion, Innen- und Außenrotation verteilt. Für jede der genannten Bewegungen können 10 Punkte erreicht werden. Gemessen wird jeweils der größtmöglich schmerzfreie, aktiv ausgeführte Bewegungsumfang (vgl. Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3: Punkteverteilung für die Testung der Beweglichkeit

<b>Anteversion bzw. Abduktion</b>	<b>Punkte</b>
0-30°	0
31-60°	2
61-90°	4
91-120°	6
121-150°	8
>150°	10
<b>Außenrotation</b>	<b>Punkte</b>
Hand im Nacken, Ellenbogen vorne	2
Hand im Nacken, Ellenbogen seitlich	2
Hand auf dem Scheitel, Ellenbogen vorne	2
Hand auf dem Scheitel, Ellenbogen seitlich	2
Hand über dem Kopf, Ellenbogen seitlich	2
Gesamtpunktzahl Außenrotation	max. 10
<b>Innenrotation</b>	<b>Punkte</b>
Handrücken auf Außenseite des Oberschenkels	0
Handrücken auf Gesäßhöhe	2
Handrücken auf Höhe des lumbosakralen Übergangs	4
Handrücken auf Höhe der Gürtellinie	6
Handrücken auf Höhe Th12	8
Handrücken zwischen den Schulterblättern	10

Aus Sicht der Europäischen Gesellschaft für Schulter- und Ellenbogenchirurgie (SECEC) und der Deutschen Gesellschaft für Schulter- und Ellenbogenchirurgie (DVSE), gilt der Constant-Murley-Score als das empfohlene Standardinstrument zur Beurteilung der Schulterfunktion in Europa [52].

Bahrs et al. [53] nehmen in ihrer Arbeit von 2010 zusätzlich eine Kategorisierung des Constant-Murley-Scores vor. Sie beschreiben erreichte Punktzahlen von 86 bis 100 als sehr gutes Ergebnis, von 71 bis 85 als gutes Ergebnis und 56 bis 70 als befriedigendes Ergebnis. Werte von 55 und kleiner werden als unbefriedigend angesehen.

### **2.3.2 DASH-Score**

Der 1994 von der American Society of Orthopedic Surgeons, dem Council of Musculoskeletal Speciality Societies und dem Institute of Work and Health (Toronto) entwickelte DASH-Score (Disabilities of Arm, Shoulder and Hand) besteht aus 30 Fragen, mit Hilfe derer man die subjektive Wahrnehmung der Patienten bezüglich des aktuellen Zustandes der oberen Extremität erfassen kann [54]. Untergliedern lassen sich die Items in 21 funktionsspezifische, sechs symptombezogene und drei weitere Fragen, die auf soziale Beeinträchtigungen der Patienten aufgrund der Einschränkung an der oberen Extremität eingehen. Für jede der Fragen stehen fünf Antwortmöglichkeiten zur Auswahl, wobei 1 ein sehr gutes und 5 ein sehr schlechtes Ergebnis darstellt.

Zur Berechnung des DASH-Scores wird die Minimalpunktzahl von der erreichten Punktzahl subtrahiert und anschließend durch die Bandbreite 1,20 dividiert. Daraus ergibt sich ein Score von 0-100 Punkten, wobei 0 das bestmögliche und 100 das schlechtmögliche Ergebnis darstellt. [55, 56]

Der DASH-Score gilt als valides und reliables Instrument, um bei Untersuchungen zu Funktionseinschränkungen bei Schulterpatienten herangezogen zu werden [56]. Es zeigt sich eine gute Korrelation mit dem Constant-Murley-Score [57, 58].

### **2.3.3 Simple-Shoulder-Test**

Der aus zwölf Fragen bestehende Simple Shoulder Test erfasst funktionelle Einschränkungen der Schulter [59]. Zwei der Items entfallen dabei auf Einschränkungen in Bezug auf Schmerzen, sieben auf funktionelle und kraftbezogene Einschränkungen und drei auf die gegebenenfalls eingeschränkte Beweglichkeit [58]. Bei dem dichotom aufgebauten Fragebogen können als Antwortmöglichkeiten nur „ja“ oder „nein“ angekreuzt werden. Beim Simple Shoulder Test können Werte zwischen 0 und 100 erreicht werden, wobei 0 das schlechteste Ergebnis und 100 das beste Ergebnis darstellt. Berechnet wird der Score anhand des prozentualen Anteils an Fragen, die die Patienten mit „ja“ beantwortet haben [60].

Der Simple Shoulder Test stellt ein praktikables, valides und reliables Instrument dar, um das funktionelle Ergebnis nach Eingriffen im Schulterbereich, sowie den Verlauf nach genannten Eingriffen zu beurteilen [61-63]. Es zeigt sich eine gute Korrelation zu weiteren Scores, die zur Beurteilung des funktionellen Ergebnisses im Schulterbereich herangezogen werden. In ihrer Übersichtsarbeit konnten Angst et al. [58] zeigen, dass der Simple Shoulder Test eine Korrelation mit dem Constant-Murley-Score und dem DASH-Score von 0,70 und 0,72 aufweist.

### **2.3.4 Oxford-Shoulder-Score**

Der Oxford-Shoulder-Score besteht aus zwölf Fragen, wovon sich zwei direkt auf Schmerzen beziehen, zwei den Einfluss von Schmerzen auf das alltägliche Leben sowie das Schlafen erörtern und acht weitere die funktionellen Einschränkungen der Schulter erheben [64]. Jede Frage bietet fünf Antwortmöglichkeiten. Bei der Auswertung der Fragen können, wie von Dawson et al. [65] beschrieben, Zahlenwerte zwischen 0 und 4 erreicht werden. Hierbei stellt 0 ein sehr schlechtes und 4 ein sehr gutes Ergebnis dar. Zur Berechnung des Oxford-Shoulder-Scores werden die Punktzahlen addiert. Es ergeben sich somit mögliche Werte zwischen 0 und 48 Punkten, wobei 0 das schlechteste Ergebnis und 48 das beste Ergebnis darstellt. [64, 65]

Es konnte gezeigt werden, dass der Oxford-Shoulder-Score ein valides, reliables und reproduzierbares Instrument darstellt, um funktionelle Einschränkungen des muskuloskelettalen Systems der Schulter innerhalb kurzer Zeit zu untersuchen [58, 66]. Des Weiteren weist der Score eine gute Sensitivität in Bezug auf Veränderungen der Schulterfunktion im Heilungsverlauf auf [64]. Laut dem Review von Angst et al. [58] zeigt der Oxford-Shoulder-Score in Bezug auf den Constant-Murley- und den DASH-Score eine gute Korrelation von bis zu 0,87 beziehungsweise 0,79.

Ähnlich dem Constant-Murley-Score kann beim Oxford-Shoulder-Score eine zusätzliche Kategorisierung vorgenommen werden. Werte zwischen 0 und 19 stellen ein unbefriedigendes, zwischen 20 und 29 ein befriedigendes und

zwischen 30 und 39 ein gutes Ergebnis der Schulterfunktion dar. Sehr gute Ergebnisse werden für Zahlenwerte zwischen 40 und 48 erreicht. [58]

### **2.4 Radiologische Kontrolle**

Zur Beurteilung der knöchernen Konsolidierung wurden bei allen Patienten zwölf Wochen postoperativ Röntgenkontrollen durchgeführt. Die Kontrollen erfolgten jeweils anhand einer True-a.-p.-Aufnahme und einer Y-Aufnahme.

### **2.5 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung der Studienergebnisse erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms „IBM SPSS Statistics“. Das Festlegen der Methode zur Auswertung der Daten erfolgte in Zusammenarbeit mit Frau Inka Rösel und Herrn Dr. Gunnar Blumenstock vom Institut für klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

Zu Beginn wurde im Studiendesign eine Mindestfallzahl von  $n=60$  Patienten festgelegt, wobei jeweils die Hälfte mit einer CFR-PEEK- beziehungsweise mit einer Titan-Platte versorgt werden sollten.

Bei allen durchgeführten statistischen Tests wurde ein Wert von  $p < 0,05$  als statistisch signifikant definiert.

Zur Auswertung von Constant-Murley-Score, DASH-Score, Simple Shoulder Test und Oxford Shoulder Score wurde jeweils eine gemischte Varianzanalyse (two-way mixed ANOVA) durchgeführt. Als Innersubjektvariable wurde hierbei die Zeit definiert. Die Untersuchungen sollten zeigen, ob signifikante Unterschiede zwischen den jeweiligen drei Nachuntersuchungszeitpunkten vorhanden waren. Bei der Betrachtung der Innersubjektvariable erfolgte die Analyse für jede Platte separat. Eventuell vorliegende Unterschiede beim funktionellen Ergebnis, welche sich aufgrund der zwei unterschiedlichen Plattenversorgungen darstellten, wurden in einem zweiten Schritt herausgearbeitet. Die Plattenversorgung galt in der angewendeten Varianzanalyse als Zwischensubjektfaktor, wobei gegebenenfalls signifikant auftretende Unterschiede über den gesamten zeitlichen Verlauf zwischen der Verwendung von CFR-PEEK- und Philos-Platten betrachtet wurden.

## Patienten und Methoden

Die Auswertung der deskriptiv erhobenen Daten erfolgte in Abhängigkeit des Skalenniveaus. Nominal erhobene Daten wurden in absoluter und relativer Häufigkeit dargestellt. Im Gegensatz dazu wurden metrisch erhobene Daten mittels des Mittelwertes, der Standardabweichung, dem Maximal- und Minimalwert sowie dem Medianwert abgebildet und verglichen. Eventuell vorliegende signifikante Unterschiede zwischen den Kollektiven wurden für das Durchschnittsalter, den Body-Mass-Index, die Operationszeit und die Liegedauer mittels t-Test berechnet. Die Testung für das Geschlechterverhältnis, die betroffene Seite, die Unfallart sowie die Frakturklassifikation nach Neer erfolgte mit dem Chi-Quadrat-Test. Der Exakt Test nach Fisher wurde für die Berechnung der Frakturklassifikation nach AO und für die Berechnung der ASA-Klassifikation herangezogen.

### 3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die gewonnenen Ergebnisse detailliert dargestellt. Als erstes erfolgt die Darstellung der deskriptiven Daten, wobei zunächst alle primär eingeschlossenen Patienten als Gesamtkollektiv untersucht werden. Anschließend wird das eigentliche Studienkollektiv (Gesamtkollektiv abzüglich „Lost to Follow Up“) bezüglich der deskriptiven Daten dargestellt und mit dem Gesamtkollektiv verglichen. Dieser Schritt erfolgt, um zu gewährleisten, dass nachträglich von der Studie ausgeschlossene Patienten keinen Einfluss auf die durchschnittliche Zusammensetzung des Studienkollektivs hatten. Bei Vergleichbarkeit der Kollektive kann angenommen werden, dass die ausgeschlossenen Patienten keinen Einfluss auf die späteren Ergebnisse haben.

In einem zweiten Schritt erfolgt die Auswertung der erhobenen Scores, um das Studienkollektiv bezüglich der Plattenversorgung zu vergleichen. Hierbei sollen mögliche Unterschiede hinsichtlich des funktionellen Ergebnisses bei Osteosynthese mittels CFR-PEEK- und Titan-Implantaten herausgearbeitet werden.

#### 3.1 Erläuterung der Kollektive

##### 3.1.1 Gesamtkollektiv

Insgesamt erklärten sich zwischen Oktober 2016 und Juni 2018 76 Patienten bereit an der Studie teilzunehmen. Von diesem Gesamtkollektiv wurden 37 Patienten mit einer CFR-PEEK-Platte und 39 Patienten mit einer Titan-Platte osteosynthetisch versorgt.

##### 3.1.2 Lost to Follow Up

Im Studienverlauf wurden 13 Patienten als „Lost to Follow Up“ gewertet. Hierbei gab es unterschiedliche Begründungen. Bei zwei Patienten wurde intraoperativ eine Head-Split Komponente festgestellt, was per Definition zum Ausschluss der Studienteilnahme führte. Zwei weitere Patienten erlitten während des Nachbeobachtungszeitraums ein erneutes Trauma, welches jeweils operativ versorgt werden musste und sie körperlich in dem Maße einschränkte, dass eine Teilnahme ohne Beeinflussung der zu erfassenden Daten nicht möglich war. Die

## Ergebnisse

restlichen neun Patienten, die als „Lost to Follow Up“ gewertet wurden, zogen ihre Einwilligung zur Studienteilnahme im Verlauf zurück.

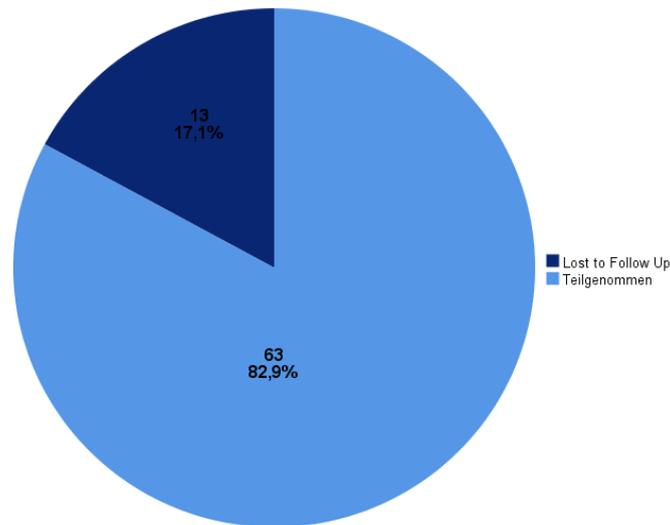


Abbildung 3-1: Anteil an „Lost to Follow Up“ des Gesamtkollektivs

### 3.1.3 Studienkollektiv

Abzüglich der 13 Patienten, die als „Lost to Follow Up“ gewertet werden mussten, wurde ein Studienkollektiv von 63 Patienten eingeschlossen. Hierbei entfiel ein Anteil von 32 Patienten auf die CFR-PEEK Platte und ein Anteil von 31 Patienten auf die Titan-Platte.

## 3.2 Deskriptive Statistik

Um später die aus den Fragebögen gewonnenen Ergebnisse einordnen zu können und die Vergleichbarkeit der Gruppen darzustellen, wurde die deskriptive Statistik zunächst für das primär eingeschlossene Gesamtkollektiv und anschließend für das definitive Studienkollektiv erhoben.

### 3.2.1 Deskriptive Statistik des Gesamtkollektivs

Das Gesamtkollektiv wurde bezüglich der einzelnen erhobenen Aspekte primär als Ganzes und anschließend getrennt nach der Plattenversorgung ausgewertet.

Als deskriptive Größen wurden für dieses Kollektiv die Art der Plattenversorgung, die Altersverteilung, das Geschlechterverhältnis, die ASA-Klassifikation sowie der Body-Mass-Index erhoben. Außerdem konnten die Frakturen nach der AO-

## Ergebnisse

und der Neer-Klassifikation eingeteilt werden. Des Weiteren erfolgte die Erfassung von Operationszeit und Dauer des stationären Aufenthalts.

### 3.2.1.1 Verteilung Plattenversorgung Gesamtkollektiv

Von den insgesamt 76 winkelstabilen Osteosynthesen wurden 37 (48,7%) mit einer CFR-PEEK- und 39 (51,3%) mit einer Titan-Platte durchgeführt.

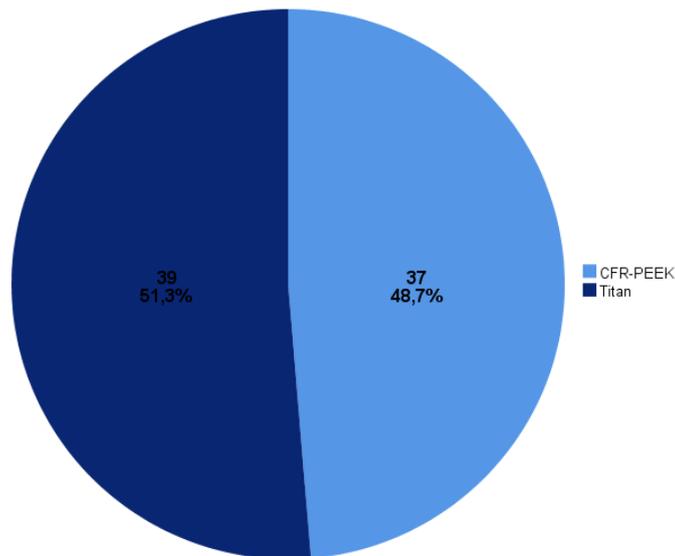


Abbildung 3-2: Verhältnis der Plattenversorgung im Gesamtkollektiv

### 3.2.1.2 Altersverteilung Gesamtkollektiv

Im Mittel waren die Studienteilnehmer beim Unfallzeitpunkt  $60,68 \pm 12,74$  Jahre alt. Der Median des Gesamtkollektivs lag bei 60,50 Jahren. Das Alter des jüngsten Patienten der Studie betrug 29, das des ältesten Teilnehmers 83 Jahre.

Betrachtet man die Altersverteilung der jeweiligen Plattenversorgung, so wurden Patienten mit einem mittleren Alter von 61,32 Jahren bei einer Standardabweichung von 12,33 Jahren mit einer CFR-PEEK-Platte versorgt. Der errechnete Medianwert betrug hierbei 60 Jahre. Der jüngste Patient war 35, der älteste 83 Jahre alt.

Die etwas geringere Altersspanne bei Patienten mit Titan-Implantat lag zwischen 29 und 79 Jahren bei einem Median von 61. Das Durchschnittsalter dieser Gruppe lag bei  $60,08 \pm 13,25$  Jahren.

## Ergebnisse

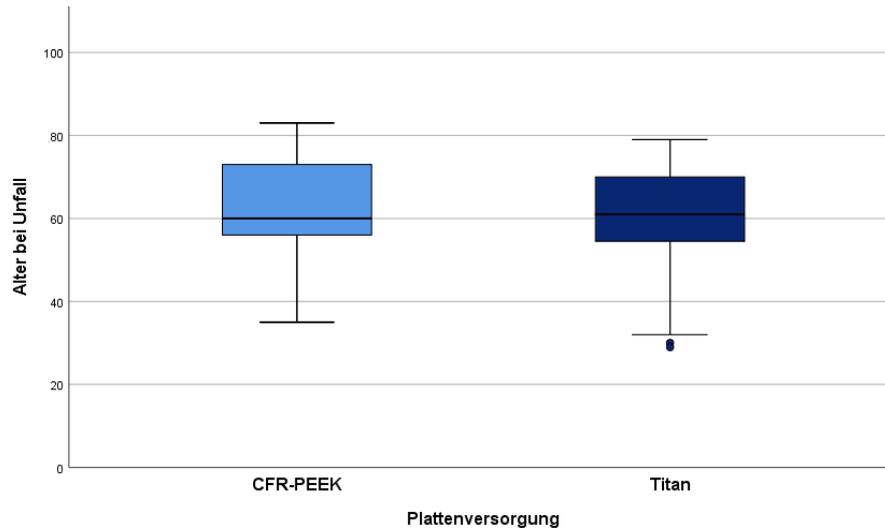


Abbildung 3-3: Altersverteilung im Gesamtkollektiv getrennt nach Plattenversorgung

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Patientenkollektiven ( $p=0,673$ ).

### 3.2.1.3 Geschlechterverhältnis Gesamtkollektiv

Mit einer Anzahl von 60 der 76 Patienten war ein Anteil von 78,9% des Gesamtkollektivs weiblich. Entsprechend machten die männlichen Teilnehmer bei einer absoluten Anzahl von 16 einen prozentualen Anteil von 19,1% aus.

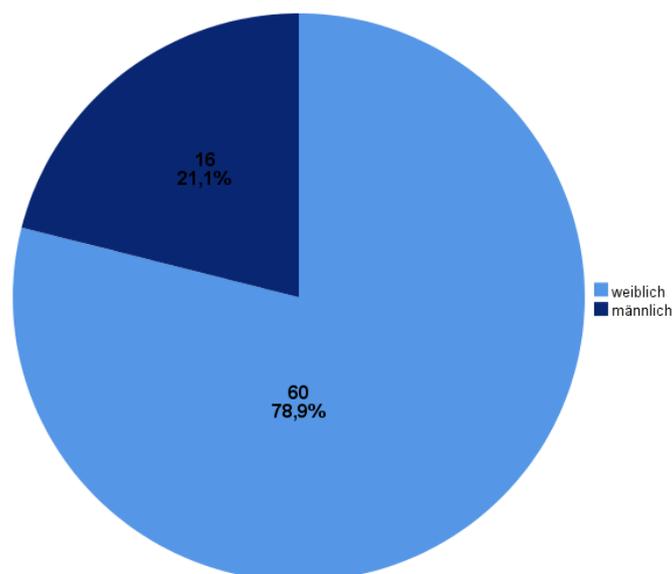


Abbildung 3-4: Geschlechterverhältnis im Gesamtkollektiv

## Ergebnisse

In die Subgruppe von 37 Patienten mit Karbonplatte wurden 29 Frauen (78,4%) und acht Männer (21,4%) eingeschlossen. Bei der PHILOS-Platte ergab sich ein Geschlechterverhältnis von 31 weiblichen (79,5%) und acht männlichen (20,5%) Patienten.

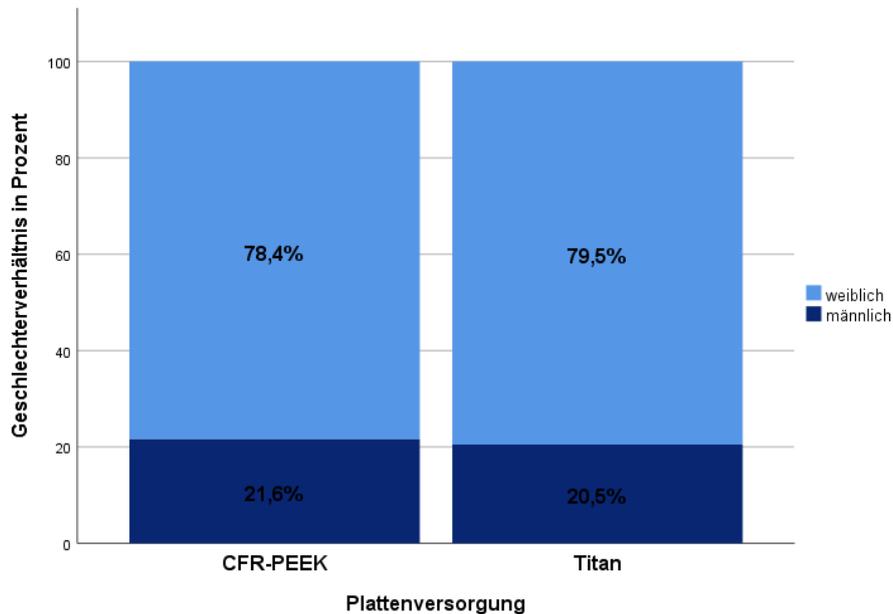


Abbildung 3-5: Geschlechterverhältnis im Gesamtkollektiv getrennt nach Plattenversorgung

In Bezug auf das Geschlechterverhältnis konnte im Gesamtkollektiv kein signifikanter Unterschied zwischen CFR-PEEK- und Titan-Gruppe festgestellt werden ( $p=0,906$ ).

### 3.2.1.4 Unfallart Gesamtkollektiv

Aufgrund der Traumata, die zur jeweiligen Fraktur des proximalen Humerus geführt hatten, erfolgte eine Einteilung in Hochrasanztrauma und Niedrigrasanztrauma als Verletzungsursache. Hierbei entfielen auf ersteres 19 (25,0%) und auf zweiteres 57 (75,0%) der Unfallhergänge im Gesamtkollektiv.

Ein Niedrigrasanztrauma war bei 29 CFR-PEEK-Patienten (78,4%) und bei 28 Titan-Patienten (71,8%) die Ursache für die Oberarmfraktur. Bei acht Teilnehmern (21,6%), welche eine Karbonplatte implantiert bekamen, konnte ein Hochrasanztrauma als Unfallursache ausgemacht werden. Bei Patienten mit

## Ergebnisse

einer konventionellen winkelstabilen Platte war dieser Anteil bei elf Studienteilnehmern (28,2%).

Bei der Signifikanzprüfung wurde ein p-Wert von 0,508 berechnet. Somit waren die Unterschiede zwischen Karbon- und Titan-Kollektiv als nicht signifikant zu werten.

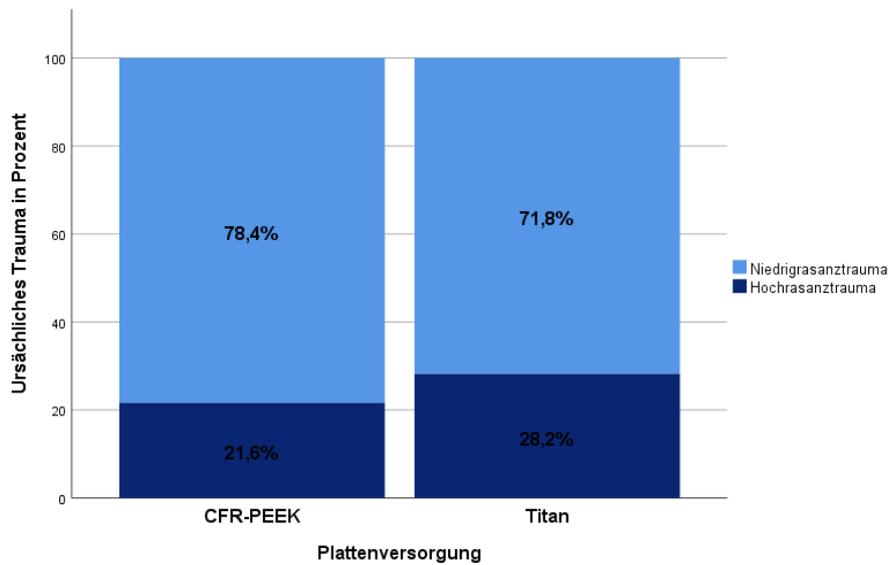


Abbildung 3-6: Ursächliches Trauma im Gesamtkollektiv getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.1.5 ASA-Klassifikation Gesamtkollektiv

Der überwiegende Anteil von 65 Patienten (85,5%) wurden präoperativ anhand der ASA-Klassifikation in die Kategorie 2 eingeordnet. Sieben Patienten (9,2%) wurden als ASA 1 gewertet. Vier Teilnehmer (5,3%) erfüllten die Kriterien, um als ASA 3 eingestuft zu werden.

Bei dieser Klassifikation konnten von den CFR-PEEK-Teilnehmern drei (8,1%) als ASA1, 32 als ASA 2 (86,5%) und zwei als ASA 3 (5,4%) klassifiziert werden.

Auch in der Titan-Subgruppe wurde ein Großteil als ASA 2 bewertet (33 Patienten, 84,6%). Die kleineren Anteile entfielen mit vier Patienten (10,3%) auf ASA 1 beziehungsweise mit zwei Patienten (5,1%) auf ASA 3.

## Ergebnisse

Bei der ASA-Klassifikation ergab sich keine Signifikanz zwischen den Patientenkollektiven ( $p=1,000$ ).

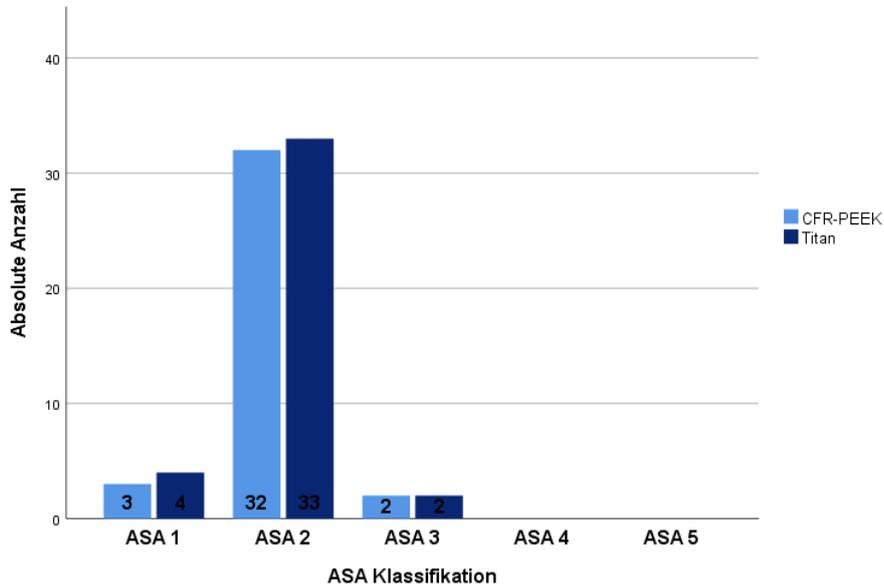


Abbildung 3-7: Verteilung der ASA-Klassifikation im Gesamtkollektiv getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.1.6 BMI Gesamtkollektiv

Bei einem Minimalwert von  $13,5 \text{ kg/m}^2$  und einem Maximalwert von  $38,1 \text{ kg/m}^2$  ergab sich ein durchschnittlicher Body-Mass-Index von  $26,53 \pm 5,07 \text{ kg/m}^2$ . Der Median im Gesamtkollektiv lag bei  $26,3 \text{ kg/m}^2$ .

Betrachtet man den Body-Mass-Index getrennt nach der Plattenversorgung des Gesamtkollektivs, so konnte für den durchschnittlichen BMI in der Gruppe mit CFR-PEEK-Implantat ein Wert von  $26,75 \pm 5,47 \text{ kg/m}^2$  berechnet werden. Der minimal erhobene Index lag bei  $13,5 \text{ kg/m}^2$ , der maximale bei  $38,1 \text{ kg/m}^2$ . Es ergab sich ein Median von  $26,4 \text{ kg/m}^2$ .

Die Spannweite war bei den Patienten mit Titan-Implantaten mit einem Minimalwert von  $18,4 \text{ kg/m}^2$  und einem Maximalwert von  $35,7 \text{ kg/m}^2$  etwas geringer. Der Medianwert war mit  $26,3 \text{ kg/m}^2$  annähernd gleich. Auch die mittlere Verteilung war mit  $26,32 \pm 4,71 \text{ kg/m}^2$  vergleichbar groß.

## Ergebnisse

Der durchgeführte t-Test ergab einen p-Wert von 0,709. Die Unterschiede zwischen den Subgruppen konnten daher als nicht signifikant angesehen werden.

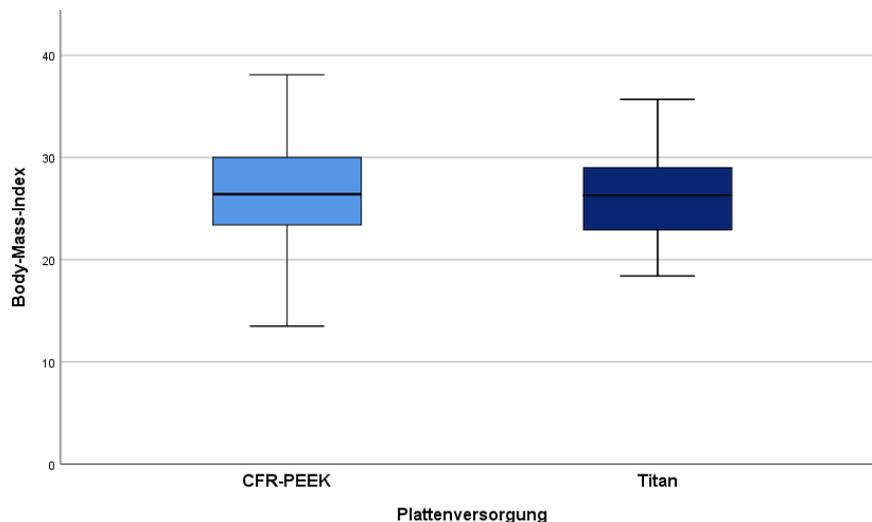


Abbildung 3-8: Body-Mass-Index des Gesamtkollektivs getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.1.7 Frakturklassifikation nach Neer im Gesamtkollektiv

Mit 39 Frakturen (51,3%) entfiel der überwiegende Anteil auf 3-Part-Frakturen. 15 Frakturen (19,7%) konnten als 2-Part-Fraktur klassifiziert werden. Ein Anteil von 22 proximalen Humerusfrakturen (28,9%) entfiel auf die 4-Part-Fraktur nach Neer.

Getrennt nach Patientenkollektiven betrachtet wurden in der der CFR-PEEK-Gruppe sechs 2-Part-Frakturen (16,2%) und sieben 4-Part-Frakturen (18,9%) eingeschlossen. Mit 24 3-Part-Frakturen (64,9%) waren diese der häufigste festgestellte Frakturtyp.

Auch in der Titan-Gruppe machten die 2-Part-Frakturen mit einer Anzahl von neun (23,08%) den geringsten Anteil aus. Jeweils 15 Frakturen (38,46%) wurden als 3-Part- beziehungsweise 4-Part-Frakturen klassifiziert.

## Ergebnisse

Der durchgeführte Chi-Quadrat-Test ergab einen Wert von  $p=0,063$ . Die Unterschiede bei der Frakturklassifikation nach Neer waren im Gesamtkollektiv somit als nicht signifikant zu werten.

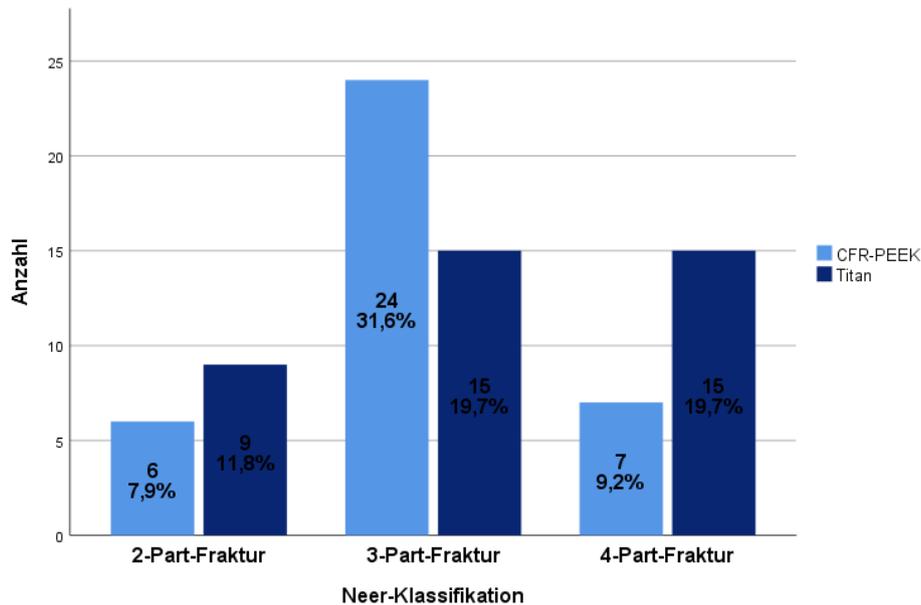


Abbildung 3-9: Frakturklassifikation nach Neer des Gesamtkollektivs getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.1.8 Frakturklassifikation nach AO im Gesamtkollektiv

Insgesamt wurden nach der AO-Klassifikation 20 Typ-A- (26,3%), 50 Typ-B- (65,8%) und sechs Typ-C-Frakturen (7,9%) in die Studie eingeschlossen.

Bei Betrachtung getrennt nach Plattenversorgung wurde bei neun Typ-A- (24,3%), 26 Typ-B- (70,3%) und zwei Typ-C-Frakturen (5,4%) eine CFR-PEEK-Platte implantiert.

Ein Titan-Implantat wurde bei elf Typ-A- (28,2%), 24 Typ-B- (61,5%) und vier Typ-C-Frakturen (10,3%) angewandt.

Die Testung auf Signifikanz erfolgte mittels Fischer-Exakt-Test. Dieser ergab einen p-Wert von 0,764. Die Unterschiede zwischen Karbon- und Titan-Kollektiv waren somit bei der AO-Klassifikation nicht signifikant.

## Ergebnisse

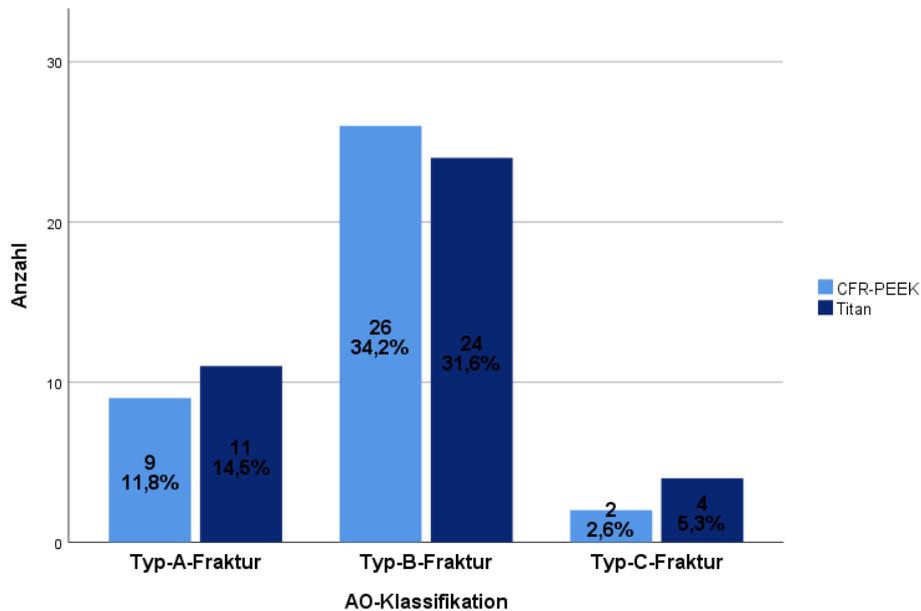


Abbildung 3-10: Frakturklassifikation nach AO des Gesamtkollektivs getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.1.9 Betroffene Seite Gesamtkollektiv

Von den 76 Frakturen im Gesamtkollektiv entfielen 39 (51,3%) auf den linken Oberarm und 37 (48,7%) auf den rechten Oberarm.

Von den 37 Patienten, welche ein CFR-PEEK-Implantat erhielten, hatten 18 (48,6%) den linken proximalen Humerus gebrochen. Entsprechend entfielen in dieser Subgruppe 19 Oberarmbrüche (51,4%) auf rechts.

Beim Titan-Kollektiv war die linke Seite mit 21 Frakturen (53,8%) in Relation zur rechten Seite mit 18 Frakturen (46,2%) ebenfalls häufiger betroffen.

Der mittels Chi-Quadrat-Test berechnete p-Wert betrug 0,650. Somit konnte bei diesem Parameter zwischen Patienten mit CFR-PEEK- und Patienten mit Titan-Implantat kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

## Ergebnisse

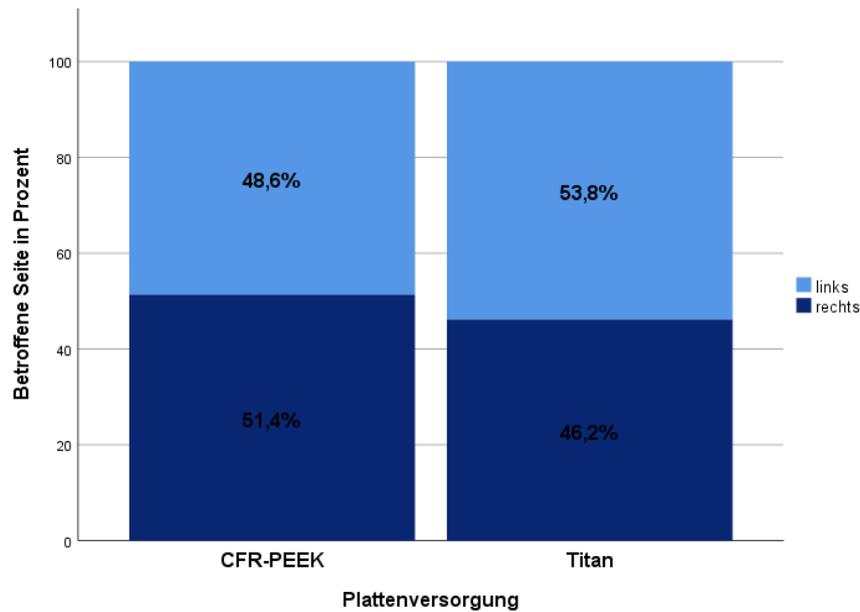


Abbildung 3-11: Betroffene Seite im Gesamtkollektiv getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.1.10 OP-Dauer Gesamtkollektiv

Als OP-Dauer wurde die Schnitt-Naht-Zeit festgelegt. Im Gesamtkollektiv betrug diese im Durchschnitt  $51,39 \pm 15,13$  Minuten. Die mediane Schnitt-Naht-Zeit lag bei 49 Minuten. Die kürzeste Operation dauerte 27 Minuten, die längste 96 Minuten.

Die durchschnittliche Operationsdauer bei der Plattenversorgung mittels CFR-PEEK lag bei  $44,03 \pm 11,31$  Minuten. Es ergab sich eine Spannweite von 51 Minuten (Minimalwert 27 Minuten, Maximalwert 78 Minuten, Median 42 Minuten).

Bei Verwendung von konventionellen winkelstabilen Implantaten wurde eine mittlere Schnitt-Naht-Zeit von 58,38 Minuten gemessen. Die Standardabweichung betrug 15,09 Minuten. Die kürzeste Operation dauerte in dieser Gruppe 32 Minuten, die längste 96. Somit ergab sich eine etwas höhere Spannweite und ein Median von 55 Minuten.

Die Unterschiede bei den Mittelwerten ergaben einen Signifikanzwert p von 0,000013. Die Operationsdauer war bei Implantation einer CFR-PEEK-Platte daher signifikant kürzer als bei Implantation einer Titan-Platte.

## Ergebnisse

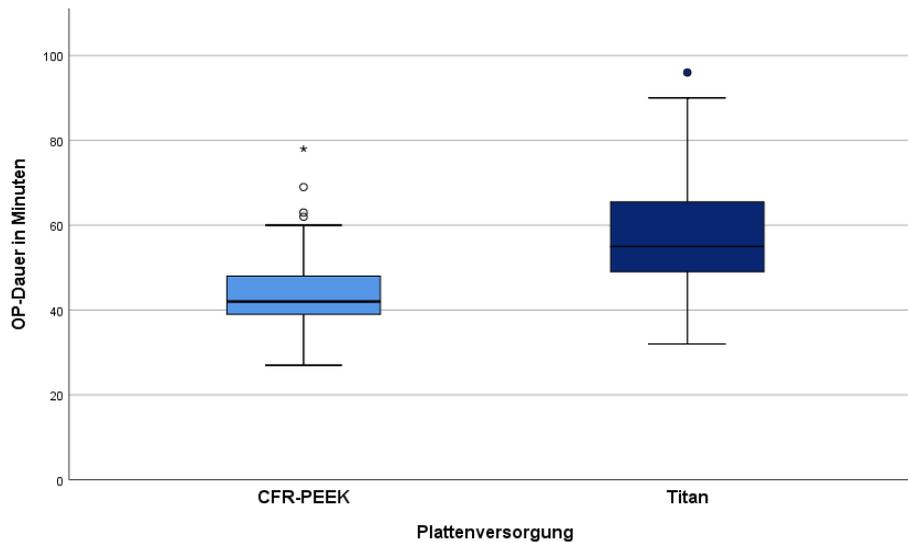


Abbildung 3-12: OP-Dauer des Gesamtkollektivs getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.1.11 Liegedauer Gesamtkollektiv

Durchschnittlich lagen die Patienten 5,86 Tage in der BG Klinik Tübingen. Die Standardabweichung betrug hierbei 2,13 Tage. Der kürzeste stationäre Aufenthalt war drei Tage und der längste 15 Tage lang.

Mit 5,81 Tagen war die Liegedauer in der CFR-PEEK-Gruppe geringfügig kürzer als im PHILOS-Kollektiv (5,90 Tage). Die Standardabweichung lag bei 2,20 beziehungsweise bei 2,09 Tagen. Der längste Aufenthalt war in beiden Subgruppen 15 Tage, der kürzeste im CFR-PEEK-Kollektiv lag bei drei Tagen. In der Titan-Gruppe lag der Minimalwert bei vier Tagen. Der Median von fünf Tagen war bei beiden Gruppen identisch.

In Bezug auf die Liegedauer konnten mittels t-Test keine signifikanten Unterschiede bei den Subgruppen herausgearbeitet werden. Es wurde ein p-Wert von 0,861 berechnet.

## Ergebnisse

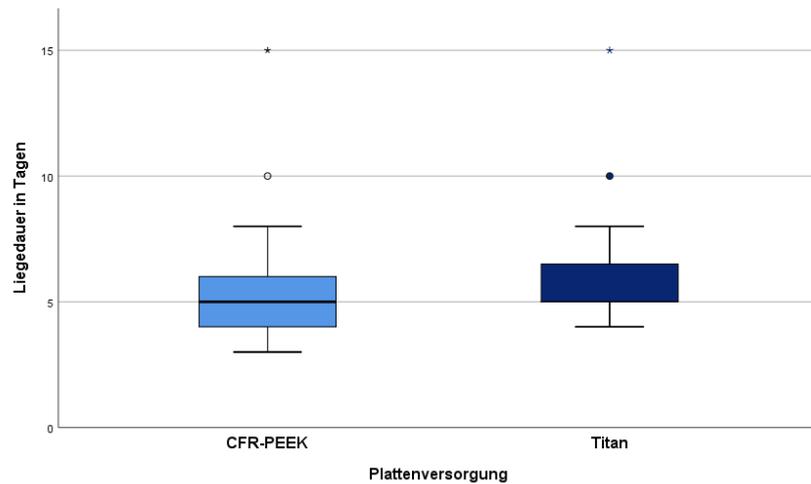


Abbildung 3-13: Liegedauer des Gesamtkollektivs getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.2 Deskriptive Statistik des Studienkollektivs

Die deskriptive Statistik des Studienkollektivs erfolgte nach den gleichen Aspekten wie die des Gesamtkollektivs. Zusätzlich wurde im Studienkollektiv noch untersucht, ob die betroffene Seite auch die dominante Seite der Patienten darstellte.

#### 3.2.2.1 Verteilung Plattenversorgung Studienkollektiv

Von den 63 Patienten mit proximaler Humerusfraktur, welche als Studienkollektiv gewertet wurden, erhielten 32 (50,8%) eine CFR-PEEK- und 31 (49,2%) eine Titan-Platte implantiert.

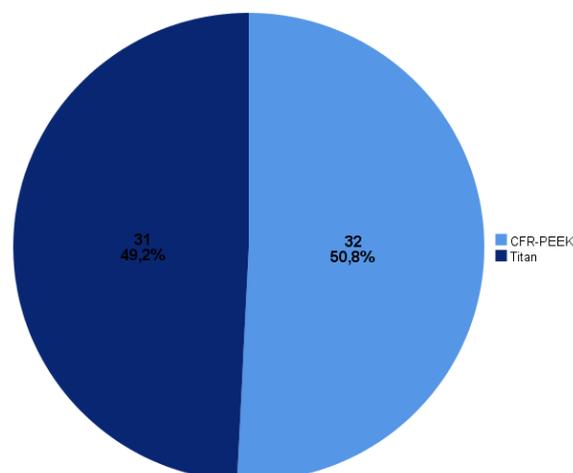


Abbildung 3-14: Verhältnis der Plattenversorgung im Studienkollektiv

## Ergebnisse

Diese Patienten wurden auf die entsprechenden Aspekte, folgend dem Vorgehen beim Gesamtkollektiv, zunächst als Kohorte und anschließend getrennt nach Plattenversorgung untersucht.

### 3.2.2.2 Altersverteilung Studienkollektiv

Das durchschnittliche Alter des Studienkollektivs lag bei  $61,40 \pm 12,32$  Jahren. Der Median betrug 61,00 Jahre. Da sowohl der jüngste als auch der älteste Teilnehmer nicht als „Lost to Follow Up“ gewertet werden mussten, entspricht die Altersspanne des Studienkollektivs der des Gesamtkollektivs mit einem minimalen Alter von 29 und einem maximalen Alter von 83 Jahren zum Unfallzeitpunkt.

Bei den Patienten, welche mit einer CFR-PEEK-Platte versorgt wurden, lag das Durchschnittsalter bei  $61,84 \pm 12,38$  Jahren. Der Median war hierbei 60,50 Jahre. Insgesamt wurden in dieser Untergruppe Patienten im Alter zwischen 35 und 83 Jahren operiert.

Die Berechnung des mittleren Alters bei Teilnehmern, die eine Titan-Platte implantiert bekommen hatten, belief sich auf  $60,94 \pm 12,45$  Jahre. Es ergab sich eine Altersspanne von 29 bis 83 Jahre sowie ein Median von 61 Jahren.

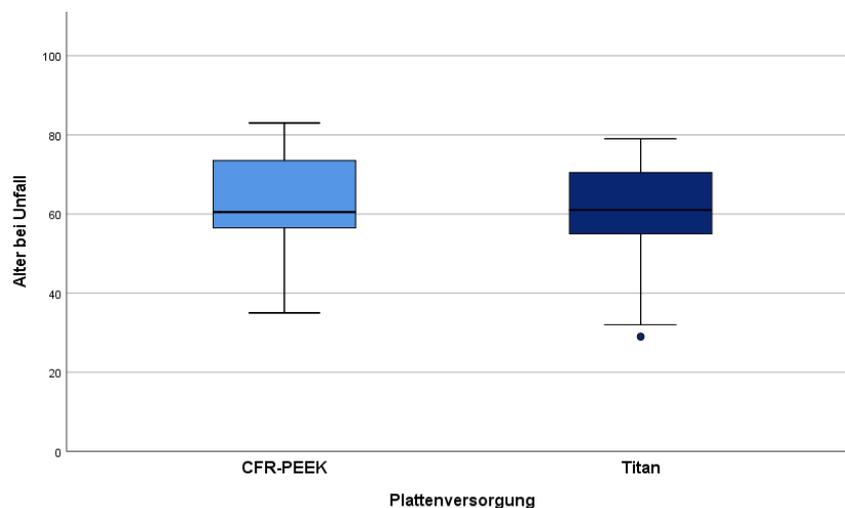


Abbildung 3-15: Altersverteilung im Studienkollektiv getrennt nach Plattenversorgung

Die Altersverteilung wies zwischen CFR-PEEK- und Titan-Kollektiv keine Signifikanz auf ( $p=0,773$ ).

## Ergebnisse

### 3.2.2.3 Geschlechterverhältnis Studienkollektiv

Die 50 Patientinnen dieses Kollektivs machten im Geschlechterverhältnis einen prozentualen Anteil von 79,4 % aus. Entsprechend entfiel auf die 13 männlichen Teilnehmer einen Anteil von 20,6%.

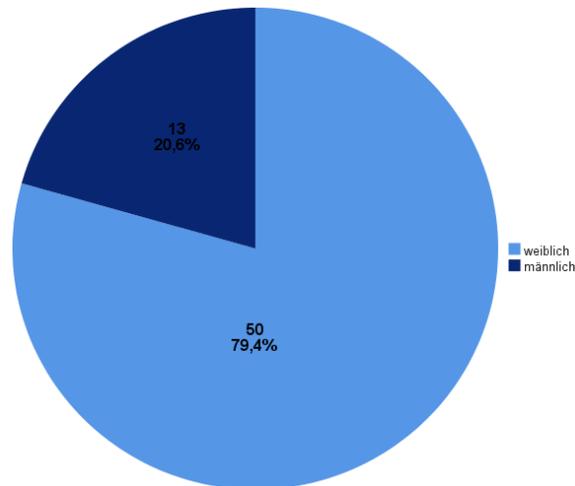


Abbildung 3-16: Geschlechterverhältnis im Studienkollektiv

Betrachtet man die Geschlechterverteilung getrennt nach Plattenversorgung so wurden anteilig 26 Frauen (81,3%) und sechs Männer (18,8%) mit einer CFR-PEEK-Platte versorgt. 27 Patientinnen (77,4%) und sieben Patienten (22,6%) erhielten eine konventionelle winkelstabile Platte.

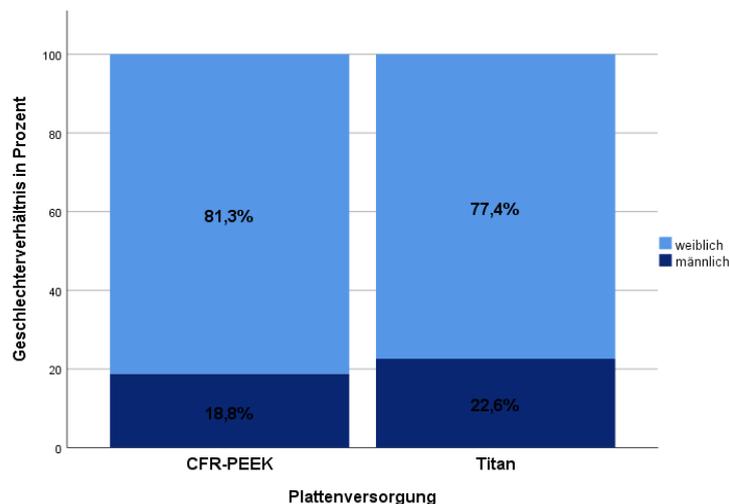


Abbildung 3-17: Geschlechterverhältnis im Studienkollektiv getrennt nach Plattenversorgung

## Ergebnisse

Wie im Gesamtkollektiv konnten auch im Studienkollektiv keine signifikanten Unterschiede beim Geschlechterverhältnis aufgezeigt werden ( $p=0,707$ ).

### 3.2.2.4 Unfallart Studienkollektiv

Beim Betrachten des Unfallhergangs konnte im Studienkollektiv bei 47 Patienten (74,6%) ein Niedrigrasanztrauma und bei 16 Patienten (25,4%) ein Hochrasanztrauma als Ursache der Fraktur festgestellt werden.

25 Teilnehmer (78,1%) zogen sich aufgrund eines Niedrigrasanztraumas eine proximale Humerusfraktur zu und wurden in Folge mit einer Karbon-Platte osteosynthetisch versorgt. In dieser Untergruppe entfielen sieben Frakturen (21,9%) auf ein Hochrasanztrauma.

Im Titan-Kollektiv erlitten 22 Patienten (71,0%) ein Niedrigrasanztrauma und neun Patienten (29,0%) ein Hochrasanztrauma.

Auf mögliche Unterschiede zwischen den Subgruppen in Bezug auf die Unfallart wurde mittels Chi-Quadrat-Test untersucht. Hierbei ergab sich ein p-Wert von 0,514. Dieser war als nicht signifikant anzusehen.

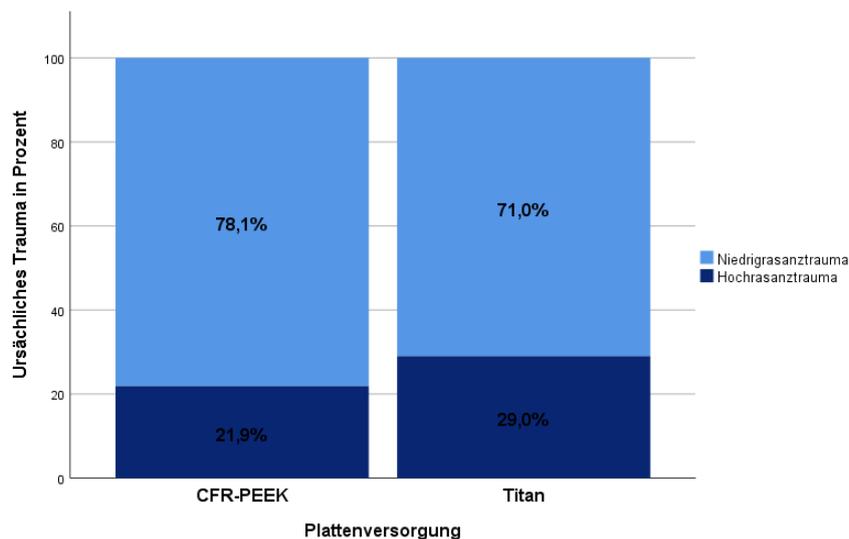


Abbildung 3-18: Ursächliches Trauma im Studienkollektiv getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.2.5 ASA-Klassifikation Studienkollektiv

Die Mehrheit von 54 Patienten (85,7%) des Studienkollektivs erfüllte die Kriterien der ASA-Klassifikation 2. Entsprechend der Kriterien konnten fünf Patienten (7,9%) der Kategorie 1 und vier Patienten (6,3%) der Kategorie 3 zugeordnet werden.

In der CFR-PEEK-Gruppe wurden 28 Patienten als ASA 2 (87,5%) klassifiziert, jeweils zwei Patienten (6,3%) erfüllten die Kriterien für ASA 1 beziehungsweise ASA 3.

Auch im Titan-Kollektiv entfiel der Großteil der ASA-Einteilungen auf die Kategorie 2. Hier wurden 26 Patienten (83,87%) eingruppiert. Die restlichen fünf Patienten teilten sich im Anteil von drei Patienten (9,68%) in ASA 1 und zwei Patienten (6,45%) in ASA 3 auf.

Die Unterschiede bei der ASA-Klassifikation zwischen CFR-PEEK- und Titan-Patienten waren bei einem p-Wert von 0,873 als nicht signifikant zu werten.

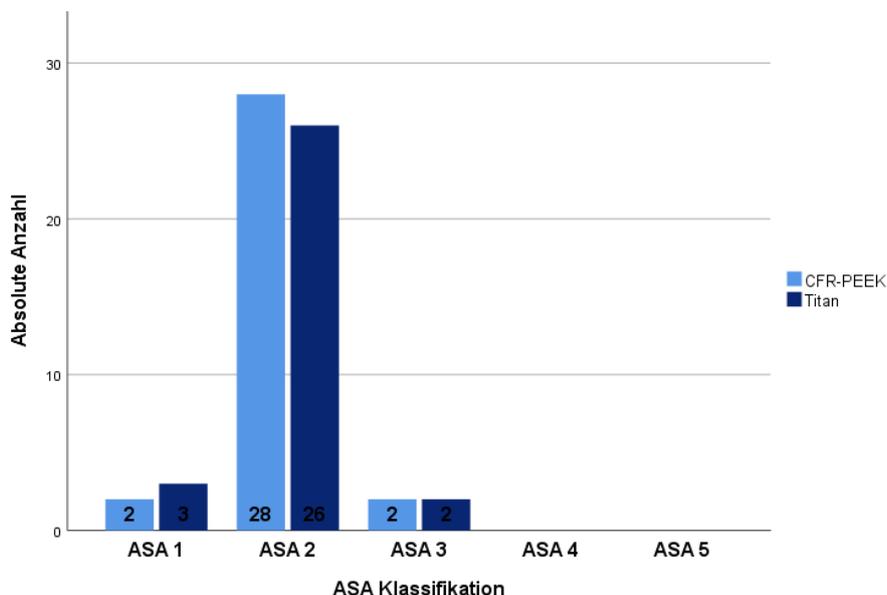


Abbildung 3-19: Verteilung der ASA-Klassifikation im Studienkollektiv getrennt nach Plattenversorgung

## Ergebnisse

### 3.2.2.6 BMI Studienkollektiv

Die Spannweite des Body-Mass-Index entsprach der des Gesamtkollektivs mit einem Minimalwert von  $13,5 \text{ kg/m}^2$  und einem Maximalwert von  $38,1 \text{ kg/m}^2$ . Hierbei wurde für das Studienkollektiv ein Mittelwert von  $26,32 \pm 5,21 \text{ kg/m}^2$  errechnet. Der Median betrug  $25,70 \text{ kg/m}^2$ .

Getrennt nach Platten belief sich der Body-Mass-Index der CFR-PEEK-Gruppe im Mittel auf  $26,39 \pm 5,71 \text{ kg/m}^2$ . Der minimale BMI wurde mit  $13,5 \text{ kg/m}^2$  und der maximale mit  $38,1 \text{ kg/m}^2$  gemessen. Als Median-Wert ergab sich  $25,6 \text{ kg/m}^2$ .

Bei den Patienten, welche mit einer Titan-Platte versorgt wurden, konnte ein Mittelwert von  $26,25 \pm 4,73 \text{ kg/m}^2$  errechnet werden. Der Minimalwert dieser Subgruppe war mit  $18,4 \text{ kg/m}^2$  etwas höher, der Maximalwert  $35,7 \text{ kg/m}^2$  etwas geringer als die jeweiligen Vergleichsparameter der Patienten mit CFR-PEEK-Plattenversorgung. Der Median lag bei  $26,3 \text{ kg/m}^2$ .

Der durchgeführte t-Test zur Herausstellung möglicher Unterschiede beim Body-Mass-Index ergab einen Wert von  $p=0,911$ .

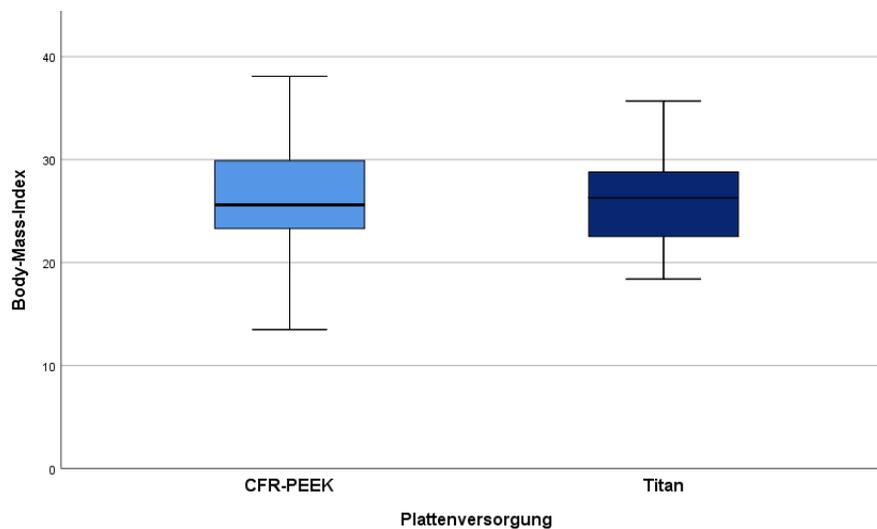


Abbildung 3-20: Body-Mass-Index des Gesamtkollektivs getrennt nach Plattenversorgung

## 3.2.2.7 Frakturklassifikation nach Neer im Studienkollektiv

Abzüglich der als „Lost to Follow Up“ gewerteten Patienten, wurden noch elf 2-Part- (17,5%), 35 3-Part- (55,6%) und 17 4-Part-Frakturen (27,0%) im Studienkollektiv gewertet.

Vom Studienkollektiv erhielten 32 Patienten eine CFR-PEEK-Platte implantiert. Von diesen 32 Frakturen konnten 6 als 2-Part- (18,8%), 22 als 3-Part- (68,8%) und vier als 4-Part-Fraktur (12,5%) klassifiziert werden.

Bei den 31 Patienten, welche ein Titan-Implantat erhalten hatten, verteilten sich die Frakturen klassifiziert nach Neer auf fünf 2-Part- (16,1%) sowie jeweils 13 3-Part- (41,9%) beziehungsweise 4-Part-Frakturen (41,9%).

Mittels Chi-Quadrat-Test konnte bei der Neer-Klassifikation ein signifikanter Unterschied zwischen Patienten, welche eine CFR-PEEK-Platte erhalten hatten, und Patienten, welche eine PHILOS-Platte erhalten hatten, aufgezeigt werden ( $p=0,028$ ).

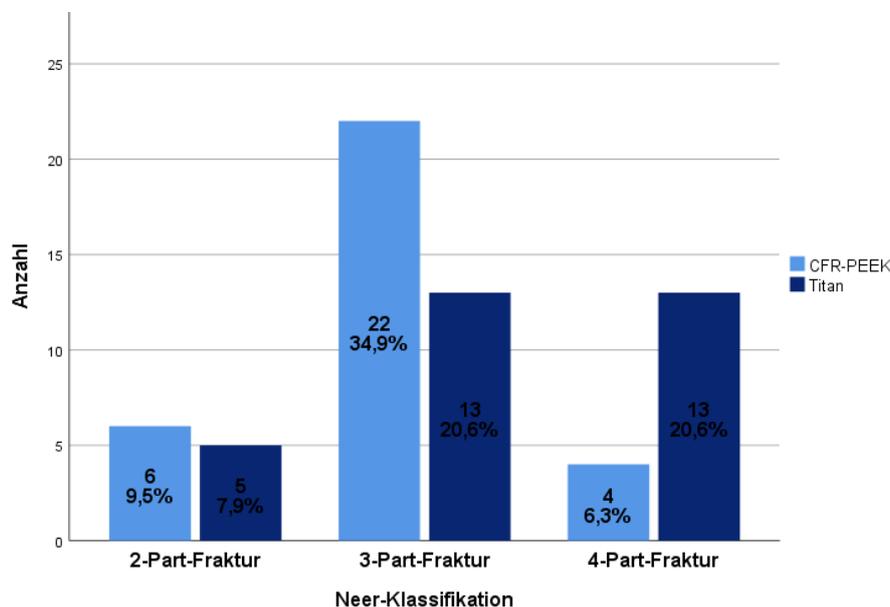


Abbildung 3-21: Frakturklassifikation nach Neer des Studienkollektivs getrennt nach Plattenversorgung

## Ergebnisse

### 3.2.2.8 Frakturklassifikation nach AO im Studienkollektiv

Im Studienkollektiv wurden nach der AO-Klassifikation 15 Typ-A- (23,8%), 44 Typ-B- (69,8%) und vier Typ-C-Frakturen (6,4%) festgestellt.

Der Anteil dieses Kollektivs, welcher mit Karbon-Implantaten osteosynthetisch versorgt wurde, wies neun Typ-A- (28,1%), 22 Typ-B- (68,8%) und eine Typ-C-Fraktur (3,1%) auf.

Im Titan-Patientenkollektiv entfielen 6 Oberarmfrakturen (19,4%) auf eine Typ-A-Fraktur. Mit 22 Frakturen (71,0%) war die Typ-B-Fraktur am häufigsten vertreten. Den geringsten Anteil machten die Typ-C-Frakturen mit drei (9,7%) aus.

Bei der AO-Klassifikation zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Patientengruppen ( $p=0,481$ ).

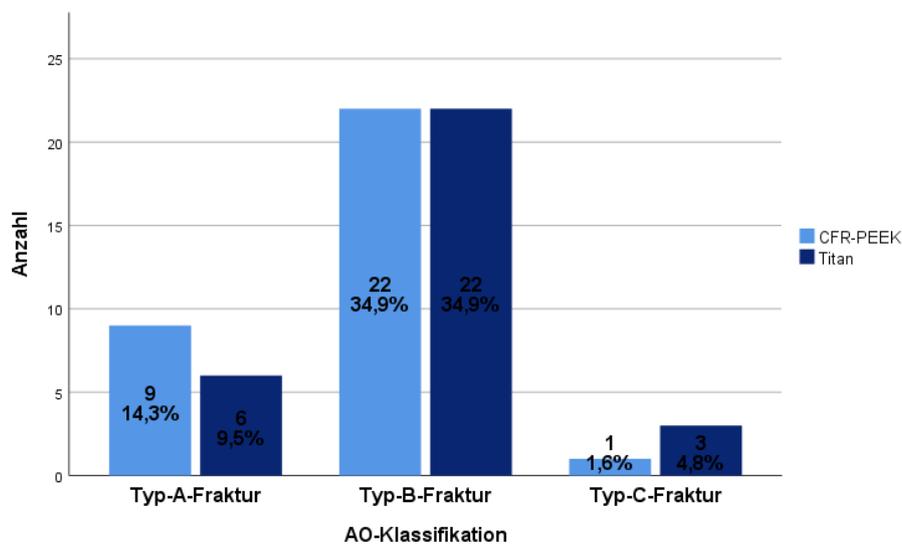


Abbildung 3-22: Frakturklassifikation nach AO des Studienkollektivs getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.2.9 Betroffene Seite Studienkollektiv

Im Studienkollektiv entfielen 35 Frakturen (55,6%) auf den linken Oberarm. Der rechte Humerus war 28 Mal (44,4%) frakturiert.

## Ergebnisse

Aufgesplittet nach Implantat wurde der linke Arm 16 Mal mittels CFR-PEEK-Platte versorgt. Rechts wurde diese ebenfalls 16 Mal implantiert. Gemessen an der Gesamtzahl von 32 CFR-PEEK-Platten im Studienkollektiv ergab sich eine prozentuale Verteilung von jeweils 50,0%.

Die 31 Osteosynthesen mittels Titan-Platte erfolgten bei 19 Frakturen (61,3%) auf der linken und bei zwölf Frakturen (38,7%) auf der rechten Seite.

Die Unterschiede zwischen Karbon- und Titan-Kollektiv waren als nicht signifikant zu werten ( $p=0,367$ ).

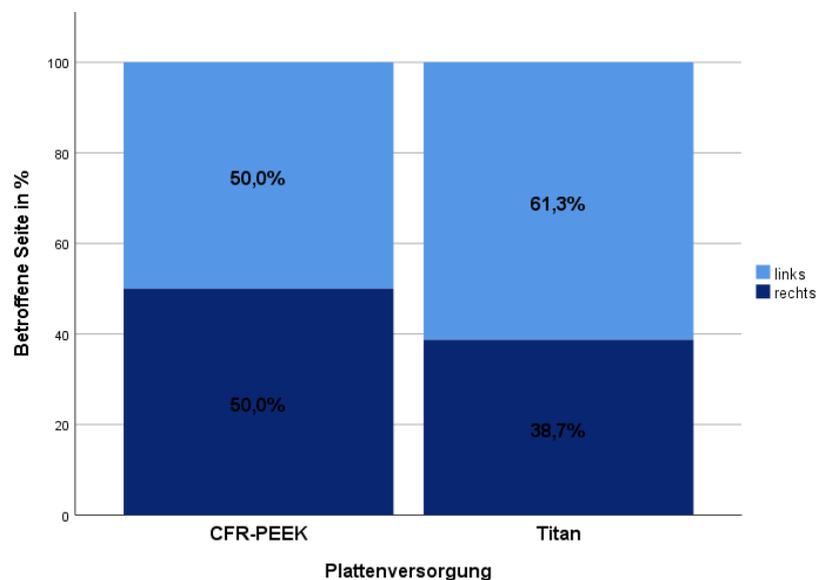


Abbildung 3-23: Frakturierte Seite im Studienkollektiv getrennt nach Plattenversorgung

### 3.2.2.10 Betroffene Seite in Bezug auf Händigkeit Studienkollektiv

Von den untersuchten Patienten gaben 57 (90,5%) die rechte Seite als dominante Seite an, vier Patienten (6,3%) waren Linkshänder und zwei (3,2%) gaben an, beidhändig zu sein.

Untersucht wurde außerdem, ob betroffene und dominante Seite übereinstimmte. Dies war bei 29 Patienten (46,0%) der Fall.

## Ergebnisse

In der CFR-PEEK-Subgruppe war ein Anteil von 28 Teilnehmern (87,5%) Rechtshänder. Zwei (6,3%) gaben links als dominante Hand an und weitere zwei Patienten (6,3%) bezeichneten sich als beidhändig.

Im Titan-Patientenkollektiv waren 29 Rechtshänder (93,5%) und zwei Linkshänder (6,5%) vertreten. Hier gab kein Patient an, beidhändig zu sein.

Betrachtet man nun, ob die dominante Seite betroffen war, so kommt man zum Ergebnis, dass dies bei 15 Patienten (46,9%) des Subkollektivs mit Karbon-Plattenversorgung der Fall war. Bei Patienten mit Implantation einer konventionellen winkelstabilen Platte lag die Zahl derer, bei welchen frakturierte und dominante Seite übereinstimmten bei 14. Dies entspricht einem Prozentwert von 45,2%.

Bei diesem Parameter konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden ( $p=0,891$ ).

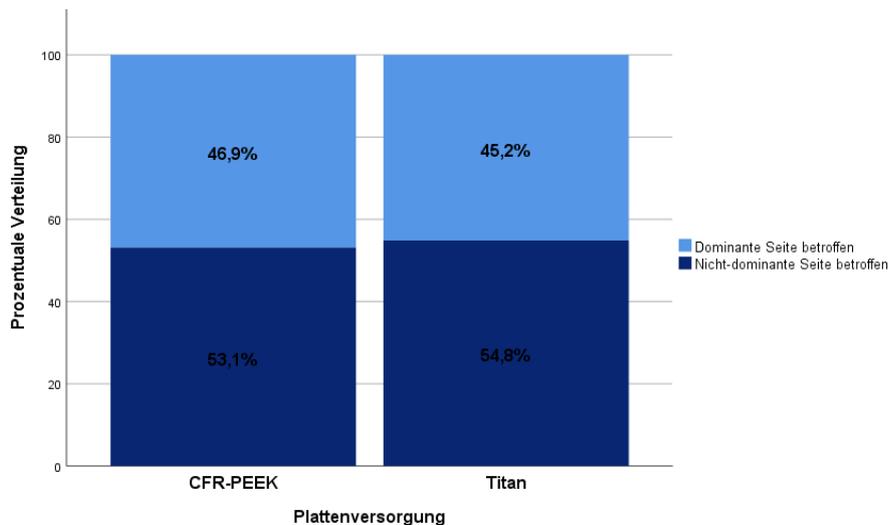


Abbildung 3-24: Analyse des Studienkollektivs, ob dominante Seite der frakturierten Seite entspricht

### 3.2.2.11 OP-Dauer Studienkollektiv

Die durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit von den 63 Patienten, die ihre Teilnahme an der Studie nicht widerrufen hatten, lag bei  $49,75 \pm 13,66$  Minuten. Die minimal

## Ergebnisse

gemessene Operationsdauer lag in dieser Gruppe bei 27 Minuten. Maximal wurden 90 Minuten gemessen. Es ergab sich ein Median von 49 Minuten.

Aufgeteilt in CFR-PEEK- und Titan-Gruppe im Studienkollektiv ergab sich für erstere eine durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit von  $42,97 \pm 10,28$  und für zweitere von  $56,74 \pm 13,31$  Minuten.

Die Implantationen der Karbon-Platten wurden in einer minimalen Operationszeit von 27 und einer maximalen Operationszeit von 69 Minuten durchgeführt. Bei den Titan-Implantaten lagen diese Zeiten bei 32 beziehungsweise 90 Minuten. Der jeweilige Medianwert wurde bei CFR-PEEK-Operationen mit 42 Minuten und bei Titan-Operationen mit 55 Minuten errechnet.

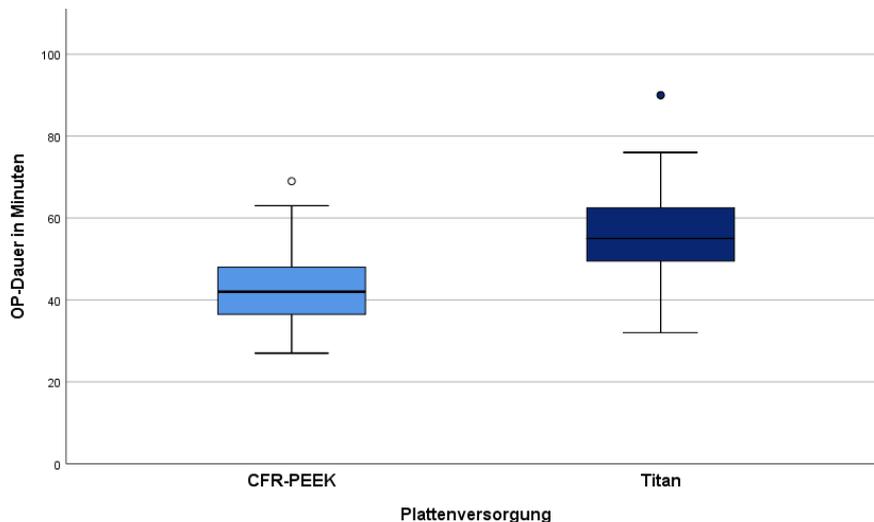


Abbildung 3-25: OP-Dauer des Studienkollektivs getrennt nach Plattenversorgung

Äquivalent zum Gesamtkollektiv waren im Studienkollektiv die Operationszeiten bei Implantation einer CFR-PEEK-Platte signifikant kürzer gegenüber den Zeiten bei Implantation einer PHILOS-Platte. Der durchgeführte t-Test ergab einen p-Wert von 0,000021.

### 3.2.2.12 Liegedauer Studienkollektiv

Im Studienkollektiv lag die kürzeste Liegedauer bei drei Tagen. Der längste Aufenthalt dauerte 15 Tage. Im Mittel blieben die Patienten 5,87 Tage stationär,

## Ergebnisse

bei einer Standardabweichung von 2,20 und einem errechneten Median von fünf Tagen.

Die 32 Patienten, die eine CFR-PEEK-Plattenversorgung erhalten haben und nicht als „Lost to Follow Up“ gewertet wurden, lagen im Schnitt  $5,88 \pm 2,30$  Tage stationär in der BG Klinik Tübingen, bei einer minimalen Liegedauer von drei und einer maximalen Liegedauer von 15 Tagen.

Bei den Patienten des Studienkollektivs, welche mittels PHILOS-Platte operativ versorgt wurden, war der kürzeste Aufenthalt vier und der längste 15 Tage lang. Es ergab sich eine durchschnittliche Aufenthaltsdauer von 5,87 Tagen bei einer errechneten Standardabweichung von 2,14 Tagen.

Der jeweilige Median entsprach mit fünf Tagen dem des Studienkollektivs.

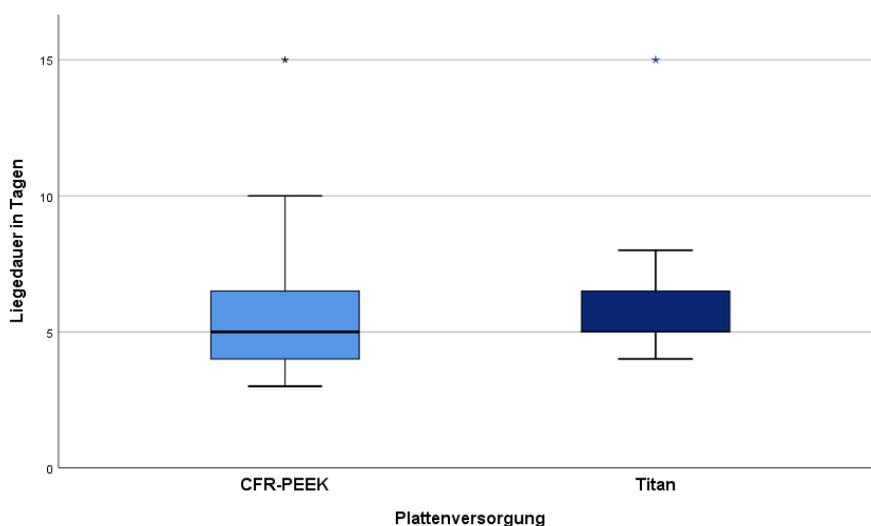


Abbildung 3-26: Liegedauer des Studienkollektivs getrennt nach Plattenversorgung

Bei der Liegedauer konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Subgruppen beobachtet werden ( $p=994$ ).

### 3.2.3 Analyse der deskriptiven Statistik

In den oben beschriebenen Unterpunkten wurden bei Alter, Geschlecht, Unfallart, ASA-Klassifikation, Body-Mass-Index, AO-Klassifikation, betroffene Seite und Liegedauer weder im Gesamt- noch im Studienkollektiv signifikante Unterschiede festgestellt. In beiden Kollektiven zeigte sich bei Osteosynthese mittels

## Ergebnisse

karbonfaserverstärkter Polyetheretherketon-Platte eine signifikant kürzere Operationsdauer. Des Weiteren lag im Studienkollektiv eine signifikant unterschiedliche Frakturklassifikation nach Neer vor. Hier wies die CFR-PEEK-Subgruppe ein schwereres Verletzungsmuster als die Titan-Subgruppe auf. Die Testung, ob die betroffene Seite auch die dominante Seite ist, konnte aufgrund der erhobenen Daten nur im Studienkollektiv erfolgen. Auch hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 3-1 gibt eine Übersicht über die p-Werte bei den einzelnen durchgeführten statistischen Tests zur Analyse der deskriptiven Statistik.

Tabelle 3-1: Analyse der deskriptiven Statistik

	CFR-PEEK- vs. Titan- Implantat im Gesamtkollektiv	CFR-PEEK- vs. Titan- Implantat im Studienkollektiv
<b>Altersverteilung</b>	0,673 <sup>1</sup>	0,773 <sup>1</sup>
<b>Geschlechterverhältnis</b>	0,906 <sup>2</sup>	0,707 <sup>2</sup>
<b>Unfallart</b>	0,508 <sup>2</sup>	0,514 <sup>2</sup>
<b>ASA-Klassifikation</b>	1,000 <sup>3</sup>	0,873 <sup>3</sup>
<b>Body-Mass-Index</b>	0,709 <sup>1</sup>	0,911 <sup>1</sup>
<b>Neer-Klassifikation</b>	0,063 <sup>2</sup>	0,028 <sup>2</sup>
<b>AO-Klassifikation</b>	0,764 <sup>3</sup>	0,481 <sup>3</sup>
<b>Betroffene Seite</b>	0,650 <sup>2</sup>	0,367 <sup>2</sup>
<b>Dominante Seite betroffen</b>	-*	0,891 <sup>2</sup>
<b>OP-Dauer</b>	0,000013 <sup>1</sup>	0,000021 <sup>1</sup>
<b>Liegedauer</b>	0,861 <sup>1</sup>	0,994 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> t-Test als Testverfahren

<sup>2</sup> Chi-Quadrat-Test als Testverfahren

<sup>3</sup> Fisher Exakt Test als Testverfahren

\* Wert konnte aufgrund „Lost to Follow Up“ im Gesamtkollektiv nicht erhoben werden

### 3.3 Statistische Auswertung der erhobenen Scores

In diesem Kapitel erfolgt die statistische Auswertung von Constant-Murley-Score, DASH-Score, Simple Shoulder Test und Oxford Shoulder Score, welche jeweils zu den drei definierten Nachuntersuchungszeitpunkten erhoben wurden.

Diese erfolgte mit den erhobenen Daten der 32 Patienten, welche mittels CFR-PEEK-Platte osteosynthetisch versorgt wurden und anhand der Daten der 31 Patienten, welche eine PHILOS-Platte implantiert bekommen haben. Zu

## Ergebnisse

einzelnen Zeitpunkten war die Höchstanzahl an nicht beantworteten Items in den Fragebögen teilweise überschritten. Entsprechend wurden diese zu den jeweiligen Zeitpunkten nicht gewertet. Es handelte sich aber maximal um einen Fragebogen pro Patientengruppe und Untersuchung, sodass in jede Auswertung immer mindestens 30 Patientendaten mit Titan- und 31 Patientendaten mit Karbon-Implantaten einfließen.

Im Folgenden werden die Auswertungen zu den genannten Scores getrennt nach Versorgung aufgeführt. Begonnen wird jeweils mit der CFR-PEEK-Plattenversorgung, anschließend werden die Ergebnisse der Titan-Plattenversorgung zu den Nachuntersuchungszeitpunkten von sechs Wochen, zwölf Wochen und sechs Monaten postoperativ dargestellt.

### **3.3.1 Auswertung des Constant-Murley-Scores**

Zunächst wurde das funktionelle Ergebnis anhand des Constant-Murley-Scores analysiert. Dieser Score kann Zahlenwerte von 0 bis 100 einnehmen, wobei höhere Zahlenwerte auf ein besseres Ergebnis schließen lassen.

#### **3.3.1.1 Constant-Murley-Score bei CFR-PEEK-Plattenversorgung**

Bei Patienten mit CFR-PEEK-Plattenversorgung wurde sechs Wochen nach der Operation ein durchschnittlicher Constant-Murley-Score von 31,59 Punkten ermittelt. Die Standardabweichung betrug hierbei 14,95 Punkte. Im Median erreichten Patienten mit Karbon-Implantat zu diesem Zeitpunkt einen Wert von 30. Der minimal erhobene Score lag bei sieben, der maximal erhobene Score bei 62 Punkten.

Zwölf Wochen postoperativ betrug der Mittelwert  $49,75 \pm 16,57$  Punkte. Der Medianwert stieg in diesem Zeitraum auf 46 Punkte an. Die minimale Punktzahl der zweiten Untersuchung lag bei 27, die maximale bei 82 Punkten.

Zum dritten Untersuchungszeitpunkt ein halbes Jahr nach der Operation belief sich der durchschnittliche Constant-Murley-Score auf  $59,13 \pm 14,58$  Punkte. Der Medianwert hatte sich im Vergleich zur ersten Untersuchung auf 60 Punkte verdoppelt. Der Minimalwert stieg im Vergleich zu den vorherigen

## Ergebnisse

Untersuchungen auf 34 Punkte an. Der maximal erhobene Wert war mit 82 Punkten entsprechend der Untersuchung zwölf Wochen postoperativ.

In Tabelle 3-2 wird das Ergebnis nochmals veranschaulicht.

Tabelle 3-2: Kenngrößen des Constant-Murley-Scores bei CFR-PEEK-Plattenversorgung

	6 Wochen	12 Wochen	6 Monate
<b>Mittelwert</b>	31,59	49,00	59,13
<b>Standardabweichung</b>	14,95	15,37	14,58
<b>Minimum</b>	7	27	34
<b>Maximum</b>	62	82	82
<b>Median</b>	30,00	46,00	60,00

### 3.3.1.2 Constant-Murley-Score bei Titan-Plattenversorgung

Das Patientenkollektiv mit Titan-Implantat erreichte zum ersten Untersuchungszeitpunkt einen durchschnittlichen Constant-Murley-Score von 32,37 Punkten bei einer Standardabweichung von 12,13. Es wurde ein Minimum von 19 und ein Maximum von 62 Punkten erhoben sowie ein Medianwert von 27,5.

In den folgenden sechs Wochen stieg der Mittelwert auf  $48,19 \pm 12,99$  Punkte zum Zeitpunkt der zweiten Nachuntersuchung an. Der Median entsprach mit 46 Punkten, genau dem Wert der zu diesem Zeitpunkt im Karbon-Kollektiv ermittelt wurde. Minimal belief sich dieser Score zwölf Wochen nach der Operation auf 20 Punkte. Maximal wurden 72 erreicht.

Ein halbes Jahr nach der Frakturversorgung mittels konventioneller winkelstabiler Plattenosteosynthese erreichten die Patienten einen mittleren Score von 59,55 und eine Standardabweichung von 13,70. Ebenso wie nach zwölf Wochen stimmte der Median zu diesem Zeitpunkt mit dem des CFR-PEEK-Kollektivs überein und lag demnach bei 60. Im Vergleich zu der Karbon-Subgruppe wurde der Minimalwert mit 27 Punkten etwas geringer, der Maximalwert mit 88 Punkten etwas höher gemessen.

## Ergebnisse

Tabelle 3-3: Kenngrößen des Constant-Murley-Scores bei Titan-Plattenversorgung

	6 Wochen	12 Wochen	6 Monate
Mittelwert	32,37	48,19	59,55
Standardabweichung	12,13	12,99	13,70
Minimum	19	20	27
Maximum	62	72	88
Median	27,50	46,00	60,00

### 3.3.1.3 Klassifizierung des Constant-Murley-Scores

Wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben können die Ergebnisse des Constant-Murley-Scores noch in die Kategorien „sehr gut“, „gut“, „befriedigend“ und „unbefriedigend“ eingeteilt werden. Die Mittelwerte der Untersuchungen nach sechs und zwölf Wochen mussten in beiden Patientenkollektiven als unbefriedigend gewertet werden. Nach einem halben Jahr stellte sich für beide Implantate eine befriedigende Schulterfunktion ein.

In Tabelle 3-4 ist die Verteilung hinsichtlich der Kategorien zu den jeweiligen Zeitpunkten veranschaulicht.

Tabelle 3-4: Kategorisierung des Constant-Murley-Scores getrennt nach Plattenversorgung

		unbefriedigend	befriedigend	gut	sehr gut
6 Wochen	CFR-PEEK	30	2	0	0
	Titan	27	3	0	0
12 Wochen	CFR-PEEK	22	6	4	0
	Titan	21	8	2	0
6 Monate	CFR-PEEK	13	10	9	0
	Titan	12	13	5	1

### 3.3.1.4 Varianzanalyse des Constant-Murley-Scores

Wie in Kapitel 2.4 beschrieben, erfolgte zunächst die Auswertung über die Zeit als Innersubjektvariable. Hierbei wurde für jedes der beiden Implantate separat geprüft, ob sich der Constant-Murley-Score zwischen den einzelnen Nachuntersuchungszeitpunkten signifikant unterscheidet. Dies war mit einer Signifikanz von  $p < 0,0001$  zu jedem der Zeitpunkte und bei beiden Patientenkollektiven gegeben.

## Ergebnisse

Im zweiten Teil der Varianzanalyse sollten Unterschiede im Vergleich der Verwendung eines CFR-PEEK- beziehungsweise eines Titan-Implantats herausgearbeitet werden. Es zeigten sich jedoch zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede bei Anwendung eines bestimmten Implantats. Über die drei Nachuntersuchungszeitpunkte ergab sich ein p-Wert von  $p=0,9967$  in Bezug auf die Plattenversorgung als Zwischensubjektvariable.

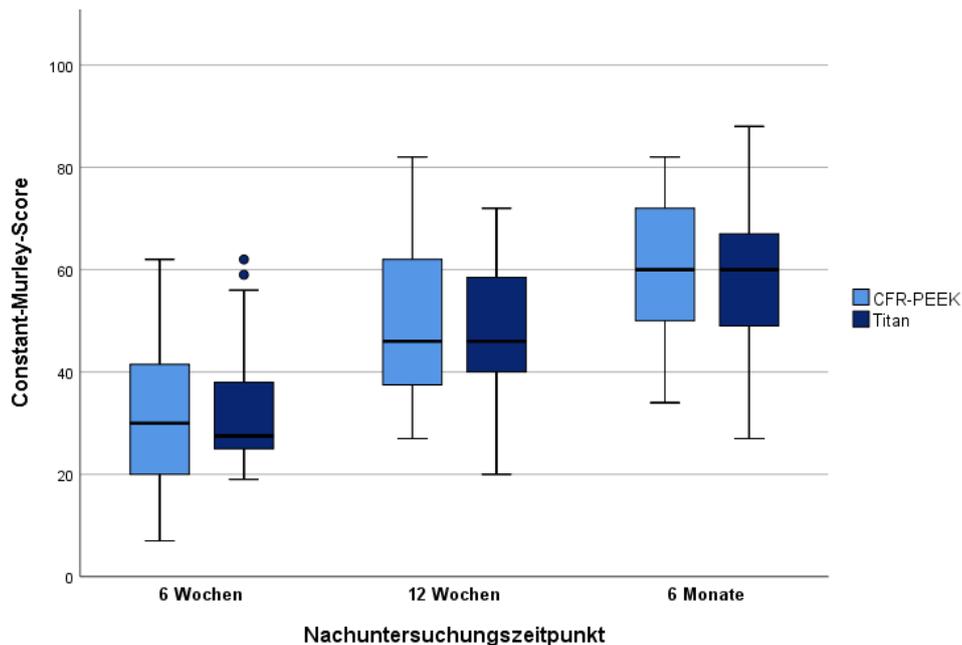


Abbildung 3-27: Entwicklung des Constant-Murley-Scores über die Zeit getrennt nach Plattenversorgung

### 3.3.2 Auswertung des DASH-Scores

Wie der Constant-Murley-Score bewegt sich die Punktzahl des DASH-Scores zwischen 0 und 100. Entgegen dem oben analysierten Score entsprechen beim DASH-Score niedere Zahlenwerte einem guten Ergebnis.

#### 3.3.2.1 DASH-Score bei CFR-PEEK-Plattenversorgung

Das Subkollektiv mit Karbon-Implantat erreichte sechs Wochen nach der Operation einen durchschnittlichen DASH-Score von 56,45 Punkten, bei einer Standardabweichung von 19,33. Der beste Wert wurde mit 20,70 errechnet. Der Maximalwert und damit das schlechteste Ergebnis dieser Erhebung waren 88,89 Punkte. Der Median lag zu diesem Zeitpunkt bei 56,90 Punkten.

## Ergebnisse

Zwölf Wochen nach Frakturversorgung konnte bereits ein durchschnittlicher DASH von  $38,36 \pm 21,36$  Punkten ermittelt werden. Sowohl Minimal- als auch Maximalwert nahmen ab und beliefen sich auf 1,72 beziehungsweise 79,31 Punkte. Der Median lag bei 35,11.

Bei der dritten Erhebung reduzierte sich der mittlere DASH-Score weiter auf 27,48 Punkte. Die Standardabweichung lag bei 20,45 Punkten. Der Medianwert (22,41) und der Minimalwert (1,04) fielen im Vergleich zu den Vormessungen ebenso geringer aus. Mit 81,48 Punkten wurde ein geringfügig schlechterer Maximalwert als zwölf Wochen postoperativ erhoben.

Tabelle 3-5: Kenngrößen des DASH-Scores bei CFR-PEEK-Plattenversorgung

	6 Wochen	12 Wochen	6 Monate
<b>Mittelwert</b>	56,45	38,36	27,48
<b>Standardabweichung</b>	19,33	21,36	22,41
<b>Minimum</b>	20,69	1,72	1,04
<b>Maximum</b>	88,89	79,31	81,48
<b>Median</b>	56,90	35,11	22,41

### 3.3.2.2 DASH-Score bei Titan-Plattenversorgung

Der durchschnittliche DASH-Score bei Patienten mit konventioneller winkelstabiler Plattenosteosynthese belief sich zum ersten Untersuchungszeitpunkt auf  $59,77 \pm 15,56$  Punkte. Der niedrigste erhobene Wert, und damit das beste Ergebnis war mit 19,83 Punkten etwas geringer als der Vergleichswert im CFR-PEEK-Kollektiv. Ebenso verhält es sich mit dem maximalen Wert, der bei dieser Messung 85,34 Punkte betrug. Der Median lag bei 62,50.

Der Mittelwert zum zweiten Messzeitpunkt wurde mit  $37,73 \pm 16,25$  Punkten berechnet. Hierbei lag der Median bei 35,78. Im Vergleich zur Karbon-Gruppe konnte zu diesem Zeitpunkt ein Minimalwert von 5,17 Punkten erreicht werden und fiel somit knapp vier Punkte höher und damit schlechter aus. Im Gegensatz dazu war der Maximalwert bei Titan-Plattenversorgung (73,28) um rund sechs Punkte geringer und in Relation besser.

## Ergebnisse

Ein halbes Jahr nach der Titan-Osteosynthese konnte ein mittlerer DASH-Score von 28,55 bei einer Standardabweichung von 17,91 ermittelt werden. Das beste Ergebnis wurde mit 1,72 Punkten und das schlechteste Ergebnis mit 69,83 Punkten gemessen. Wie zum zweiten Untersuchungszeitpunkt fiel der minimale Wert im Vergleich zur CFR-PEEK-Gruppe höher und der maximale Wert geringer aus. Der Median des DASH-Scores betrug bei Titan-Plattenversorgung sechs Monate nach der Operation 27,59.

Tabelle 3-6: Kenngrößen des DASH-Scores bei Titan-Plattenversorgung

	6 Wochen	12 Wochen	6 Monate
<b>Mittelwert</b>	59,77	37,73	28,55
<b>Standardabweichung</b>	15,56	16,25	17,91
<b>Minimum</b>	19,83	5,17	1,72
<b>Maximum</b>	85,34	73,28	69,83
<b>Median</b>	62,50	35,78	27,59

### 3.3.2.3 Varianzanalyse des DASH-Scores

Betrachtet man zunächst den zeitlichen Verlauf der Ergebnisse des DASH-Scores, so wurden sowohl im CFR-PEEK- als auch im Titan-Kollektiv, wie in Abbildung 3-28 veranschaulicht, von Nachuntersuchung zu Nachuntersuchung bessere Ergebnisse erzielt. Diese Verbesserung über die Zeit war mit einem p-Wert von jeweils  $p < 0,0001$  als signifikant zu werten.

Der anschließende Vergleich der Patientenkollektive als Zwischensubjektfaktoren, konnte zu den einzelnen Zeitpunkten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Plattenversorgung aufzeigen. Die Varianzanalyse ergab bezüglich der Zwischensubjektfaktoren einen Wert von  $p = 0,7227$ .

## Ergebnisse

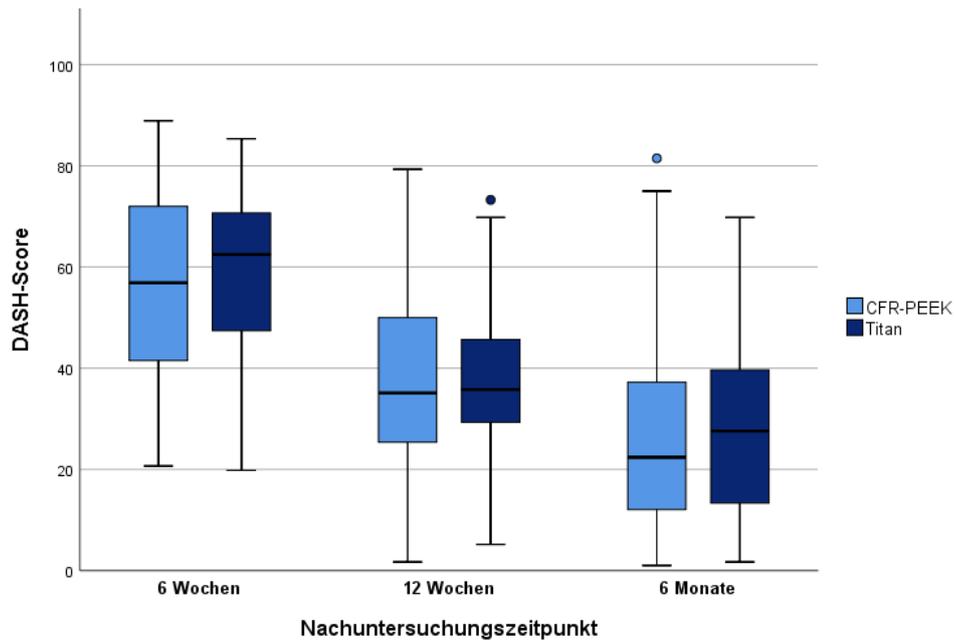


Abbildung 3-28: Entwicklung des DASH-Scores über die Zeit getrennt nach Plattenversorgung

### 3.3.3 Auswertung des Simple Shoulder Tests

Wie in Kapitel 2.3.3 beschrieben, ist der Simple Shoulder Test dichotom aufgebaut und besteht aus zwölf Fragen, welche jeweils mit „ja“ beziehungsweise mit „nein“ beantwortet werden konnten. Zur Auswertung wurden die mit „ja“ beantworteten Fragen prozentual aufgetragen und mit Punktzahlen belegt. Entsprechend war ein gutes Ergebnis mit einer hohen Punktzahl verbunden.

#### 3.3.3.1 Simple-Shoulder-Test bei CFR-PEEK-Plattenversorgung

Von den 32 Studienteilnehmern mit CFR-PEEK-Plattenversorgung wurden nach sechs Wochen im Mittel  $30,05 \pm 20,77$  Punkte erreicht. Die Werte reichten hierbei von 0 bis 75,00. Der Medianwert lag bei 29,17.

Nach zwölf Wochen lag der Mittelwert bei 54,92 Punkten, bei einer Standardabweichung von 24,81. Der geringste Wert wurde mit 8,33 angegeben, der höchste Wert erreichte 91,67. Es ergab sich ein Median von 54,17.

Bei der letzten Nachuntersuchung betrug der Mittelwert  $62,50 \pm 22,28$  Punkte. Der Minimalwert wurde hierbei mit 18,18 errechnet. Maximal wurde ein Wert von

## Ergebnisse

100 erreicht, was bedeutet, dass alle Fragen mit „ja“ beantwortet wurden. Der Medianwert lag bei 61,82.

Tabelle 3-7: Kenngrößen des Simple Shoulder Tests bei CFR-PEEK-Plattenversorgung

	6 Wochen	12 Wochen	6 Monate
<b>Mittelwert</b>	30,05	54,92	62,50
<b>Standardabweichung</b>	20,77	24,81	22,28
<b>Minimum</b>	0,00	8,33	18,18
<b>Maximum</b>	75,00	91,67	100,00
<b>Median</b>	29,17	54,17	61,82

### 3.3.3.2 Simple-Shoulder-Test bei Titan-Plattenversorgung

Im Titan-Studienkollektiv konnten nach sechs Wochen mittlere Werte von 29,44 Punkten bei einer Standardabweichung von 18,92 Punkten erreicht werden. Der Medianwert lag zu diesem Zeitpunkt bei 25,00 Punkten. Wie im CFR-PEEK-Kollektiv wurde sechs Wochen postoperativ eine Spanne von minimal 0 und maximal 75,00 Punkten angegeben.

Im Vergleich zum vorherigen Untersuchungszeitpunkt stieg der Mittelwert nach zwölf Wochen auf  $51,47 \pm 16,48$  Punkte an. Der Median lag mit 50,00 etwas unter dem errechneten Mittel. Es ergab sich zu diesem Zeitpunkt eine Spanne zwischen Werten von 16,67 bis 83,33 Punkten.

Nach einem halben Jahr konnten in dieser Subgruppe ein Mittelwert von 65,03 Punkten errechnet werden, bei einer Standardabweichung von 20,14. Der Minimalwert lag wie nach sechs Monaten bei 16,67 Punkten. Wie in der Karbon-Gruppe konnte zu diesem Nachuntersuchungszeitpunkt der Maximalwert von 100 erreicht werden. Der Medianwert lag bei 58,33.

Tabelle 3-8: Kenngrößen des Simple Shoulder Tests bei Titan-Plattenversorgung

	6 Wochen	12 Wochen	6 Monate
<b>Mittelwert</b>	29,44	51,47	65,03
<b>Standardabweichung</b>	18,92	16,48	20,14
<b>Minimum</b>	0	16,67	16,67
<b>Maximum</b>	75,00	83,33	100,00
<b>Median</b>	25,00	50,00	58,33

### 3.3.3.3 Varianzanalyse des Simple Shoulder Tests

Wie bei den vorherigen Tests wurde als Innersubjektvariable die Zeit für jedes Patientenkollektiv getrennt definiert. Hierbei zeigten sich sowohl bei Verwendung von Karbon- als auch bei Titan- Implantaten eine signifikante Verbesserung über die drei Nachuntersuchungszeitpunkte. Der p-Wert für diesen Teil der Varianzanalyse lag bei  $p < 0,0001$ .

Es konnten somit jeweils signifikant verbesserte Werte für den Simple Shoulder Test über die Zeit aufgezeigt werden. Jedoch konnte für keine der Gruppen zu einem der Zeitpunkte eine signifikant bessere Funktion gegenüber der anderen Gruppe dargestellt werden. Somit ergab sich für den Test der Zwischensubjektvariable ein nicht signifikanter Wert von  $p = 0,9000$ .

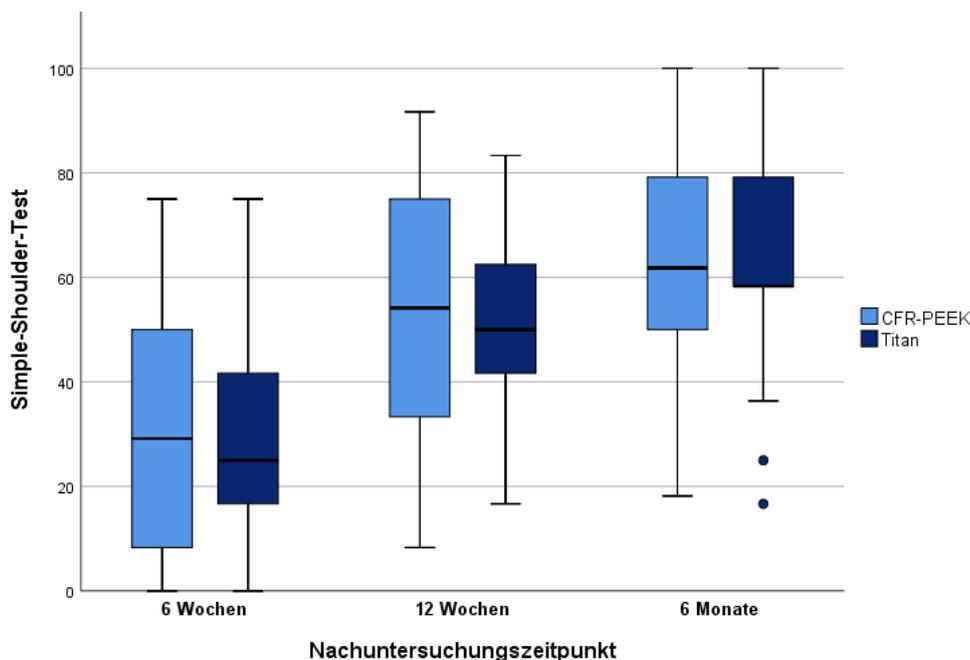


Abbildung 3-29: Entwicklung des Simple Shoulder Tests über die Zeit getrennt nach Plattenversorgung

### 3.3.4 Auswertung des Oxford Shoulder Score

Wie beim Constant-Murley-Score und beim Simple Shoulder Test entsprechen beim Oxford Shoulder Score (OSS) hohe Punktzahlen einem guten Ergebnis. Die Maximalpunktzahl ist bei diesem Fragebogen 48 Punkte.

### 3.3.4.1 Oxford Shoulder Score bei CFR-PEEK-Plattenversorgung

Sechs Wochen postoperativ nach Implantation einer winkelstabilen Karbon-Platte konnte ein mittlerer Oxford Shoulder Score von 20,34 Punkten ermittelt werden. Die Standardabweichung betrug 9,75 Punkte. Minimal wurde ein Ergebnis von drei Punkten erhoben. Das maximale Ergebnis betrug bei der ersten Untersuchung 40 Punkte. Es ergab sich ein Median von 20,50 Punkten.

Zum zweiten Untersuchungszeitpunkt belief sich der mittlere Score auf  $33,75 \pm 10,03$  Punkte. Der Minimalwert stieg im Vergleich zur Voruntersuchung um 8 Punkte auf 11 Punkte an. Mit 47 Punkten lag der Maximalwert nur einen Punkt unter der maximal erreichbaren Punktzahl. Der Medianwert betrug 35,50 Punkte.

Bei der dritten Erhebung des Scores konnte ein Mittelwert von  $37,66 \pm 8,83$  Punkten erhoben werden. Sowohl Median (40,00) als auch Minimalwert (15) und Maximalwert (48) zeigten im Vergleich zur letzten Untersuchung verbesserte Werte. Die Maximalpunktzahl des Scores wurde somit bei dieser Messung erreicht.

Tabelle 3-9: Kenngrößen des Oxford Shoulder Scores bei CFR-PEEK-Plattenversorgung

	6 Wochen	12 Wochen	6 Monate
<b>Mittelwert</b>	20,34	33,75	37,66
<b>Standardabweichung</b>	9,75	10,03	8,83
<b>Minimum</b>	3	11	15
<b>Maximum</b>	40	47	48
<b>Median</b>	20,50	35,50	40,00

### 3.3.4.2 Oxford Shoulder Score bei Titan-Plattenversorgung

Patienten mit Titan-Osteosynthese erreichten sechs Wochen nach der Operation durchschnittlich einen Oxford Shoulder Score von  $20,37 \pm 8,54$  Punkten. Der Minimalwert entsprach mit 3 Punkten dem Vergleichswert im CFR-PEEK-Kollektiv. Der Maximalwert lag mit 39 Punkten einen Zähler darunter, der Median mit 21,50 einen Zähler darüber.

Auch die Titan-Gruppe zeigte sich zwölf Wochen postoperativ im Vergleich zur ersten Untersuchung deutlich verbessert, bei einem mittleren OSS von 33,29 und einer Standardabweichung von 6,53 Punkten. Der Minimalwert lag mit 17

## Ergebnisse

Punkten sechs Punkte über dem Minimalwert der Karbon-Gruppe zum gleichen Zeitpunkt. Es konnte bereits zwölf Wochen postoperativ der maximal mögliche Oxford Shoulder Score von 48 erreicht werden. Der Median betrug zu diesem Untersuchungszeitpunkt 34,00.

Bei der dritten Erhebung konnte in der Titan-Gruppe ein mittlerer OSS von 38,58  $\pm$  6,77 errechnet werden. Weiterhin lag der Minimalwert in dieser Gruppe mit 19 Punkten etwas höher als der Wert im CFR-PEEK-Kollektiv. Der Maximalwert belief sich auf die Höchstpunktzahl von 48. Der Median fiel mit 39,00 Punkten einen Punkt geringer aus, als in der Gruppe mit Karbon-Implantat.

Tabelle 3-10: Kenngrößen des Oxford Shoulder Scores bei Titan-Plattenversorgung

	6 Wochen	12 Wochen	6 Monate
<b>Mittelwert</b>	20,37	33,29	38,58
<b>Standardabweichung</b>	8,54	6,53	6,77
<b>Minimum</b>	3	17	19
<b>Maximum</b>	39	48	48
<b>Median</b>	21,50	34,00	39,00

### 3.3.4.3 Klassifizierung des Oxford Shoulder Scores

Ähnlich der Einteilung des Constant-Murley-Scores, kann auch beim Oxford Shoulder Score eine zusätzliche Einteilung in Kategorien erfolgen. Hier wurde nach sechs Wochen sowohl für die Karbon-Platte als auch für die Titan-Platte ein befriedigendes Ergebnis erreicht, da ab einem Wert von 20 Punkten von einem solchen gesprochen werden kann. Die durchschnittlichen Punktzahlen der beiden folgenden Nachuntersuchungszeitpunkte erreichten in beiden Patientenkollektiven ein gutes Ergebnis.

Tabelle 3-11: Kategorisierung des Oxford Shoulder Scores getrennt nach Plattenversorgung

		unbefriedigend	befriedigend	gut	sehr gut
<b>6 Wochen</b>	CFR-PEEK	14	14	3	1
	Titan	13	14	3	0
<b>12 Wochen</b>	CFR-PEEK	4	6	11	11
	Titan	1	7	19	4
<b>6 Monate</b>	CFR-PEEK	2	5	8	17
	Titan	1	2	13	15

### 3.3.4.4 Varianzanalyse des Oxford Shoulder Scores

Zunächst wurde bei der gemischten Varianzanalyse untersucht, ob bezüglich der Innersubjektvariable Zeit eine signifikante Verbesserung des Oxford Shoulder Scores vorlag. Hierbei konnte getrennt nach Patientenkollektiven eine jeweils signifikante Verbesserung über den gemessenen Zeitraum von einem halben Jahr aufgezeigt werden ( $p < 0,0001$ ).

Wie bei den vorherigen drei Scores konnte auch beim Oxford Shoulder Score kein signifikanter Unterschied in Bezug auf das sich unterscheidende Implantat festgestellt werden. Die gemischte Varianzanalyse ergab für die Zwischensubjektvariable einen p-Wert von  $p = 0,9523$ . In Abbildung 3-30 sind die Werte für diesen Score getrennt nach CFR-PEEK- beziehungsweise Titan-Plattenversorgung zu den jeweiligen Zeitpunkten nochmals veranschaulicht.

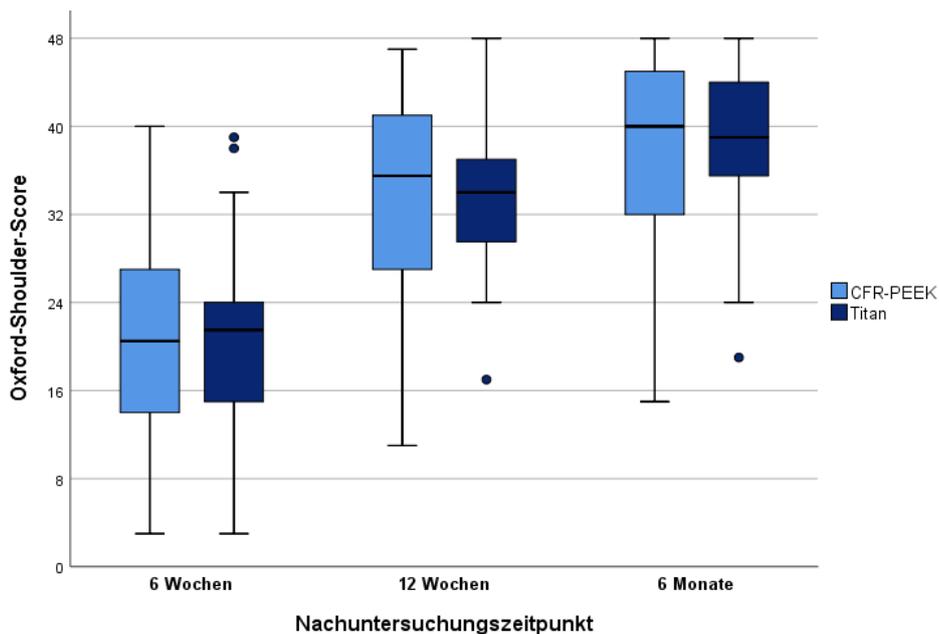


Abbildung 3-30: Entwicklung des Oxford Shoulder Scores über die Zeit getrennt nach Plattenversorgung

### 3.3.5 Zusammenfassung der Varianzanalyse

Die durchgeführte Varianzanalyse zeigte bei allen vier angewandten Testverfahren für jede der beiden Osteosynthesematerialien eine signifikante Verbesserung der Funktion über die Zeit. Keiner der erhobenen Scores konnte

## Ergebnisse

einen Unterschied bezüglich des funktionellen Ergebnisses zwischen CFR-PEEK- und Titan-Implantat zu den jeweils gemessenen Zeitpunkten aufzeigen. In Tabelle 3-12 sind die p-Werte der jeweiligen Varianzanalysen bezüglich Unterschiede der funktionellen Ergebnisse zwischen den beiden Implantaten übersichtlich dargestellt. Tabelle 3-13 zeigt die paarweisen Vergleiche im Rahmen der ANOVA in Bezug auf die Plattenversorgung zu den jeweiligen Testzeitpunkten.

Tabelle 3-12: Ergebnisse der Varianzanalyse in Bezug auf Unterschiede bei der Plattenversorgung

Testverfahren	Varianzanalyse CFR-PEEK- vs. Titan-Platte
CS	0,997
DASH	0,723
SST	0,900
OSS	0,952

Tabelle 3-13: Paarweise Vergleiche von CFR-PEEK- vs. Titan-Implantat zu den einzelnen Testzeitpunkten

	CFR-PEEK- vs. Titan-Implantat nach 6 Wochen	CFR-PEEK- vs. Titan-Implantat nach 12 Wochen	CFR-PEEK- vs. Titan-Implantat nach 6 Monate
CS	0,906	0,812	0,913
DASH	0,490	0,978	0,828
SST	0,883	0,487	0,647
OSS	0,959	0,820	0,662

### 3.4 Radiologische Begutachtung des Studienkollektivs

Im Rahmen der jeweiligen Nachuntersuchung wurden standardmäßig zu den entsprechenden Zeitpunkten Röntgenuntersuchungen in zwei Ebenen (True-a.-p.- und Y-Aufnahme) des proximalen Oberarmes durchgeführt. Hierbei wurden neben der knöchernen Konsolidierung ebenso mögliche Komplikationen begutachtet. Im Studienkollektiv konnten hierbei aus radiologischer Sicht weder im Karbon- noch im Titan-Kollektiv Komplikationen nachgewiesen werden.

## 4 Diskussion

Mit rund 4-5% stellt die proximale Humerusfraktur einen großen Anteil der Frakturen des Menschen dar [1, 2]. Bei der Gruppe der über 65-jährigen Patienten steigt der relative Anteil auf rund 10% an [3-5]. Aufgrund des demographischen Wandels zeigt sich bereits heute eine zunehmende Inzidenz der proximalen Humerusfraktur, welche in den nächsten Jahren noch an Bedeutung gewinnen wird [4]. Entsprechend hoch ist die Wichtigkeit einer optimalen Therapie dieser Frakturen. Es liegen, wie in Kapitel 1 beschrieben, zahlreiche Verfahren zur operativen Versorgung proximaler Humerusfrakturen vor, wobei im deutschsprachigen Raum die operative Therapie meist mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese erfolgt [8]. Trotz der hohen Anzahl an Frakturen und entsprechender Erfahrungen in der operativen Versorgung, sind nach wie vor sehr hohe Komplikationsraten von teilweise über 30% zu beklagen [9, 49]. Hierbei zeigt sich ein sehr breites Spektrum. So sind anwenderbezogene Komplikationen wie primäre Schraubenperforationen oder subacromiales Impingement als auch implantatbezogene Komplikationen wie Schraubenlockerung oder Implantatversagen zu nennen [9]. Als weitere Komplikationen bei winkelstabilen Plattenosteosynthesen am proximalen Humerus können Repositionsverlust, Humeruskopfnekrose, sekundäre Schraubenperforation und Pseudarthrosenbildung auftreten [9]. Südkamp et al. [9] geben in ihrer Studie zusätzlich zu bedenken, dass neben der hohen Komplikationsrate auch die funktionellen Ergebnisse häufig deutlich entfernt von der Funktionalität des Schultergelenks vor dem Trauma sind.

Aufgrund der oben beschriebenen großen Bedeutung der Versorgung proximaler Humerusfrakturen und der hohen Komplikationsrate, beziehungsweise der nicht zufriedenstellenden funktionellen Ergebnisse, gibt es viele Neuentwicklungen zur verbesserten Osteosynthese von gelenknahen Oberarmfrakturen. Eine dieser Neuerungen stellen karbonfaserverstärkte Polyetheretherketon-Platten dar. Entgegen der üblich verwendeten Titan-Implantate zeichnen sich die karbonverstärkten Implantate, durch eine an den Knochen angepasste Steifigkeit aus, die Mikrobewegungen im Frakturspalt zulassen und dadurch eine schnellere knöchernen Konsolidierung induzieren sollen [47, 48]. Außerdem ist das Material

durchlässig für Röntgenstrahlung, was sowohl die intraoperative als auch die postoperative Beurteilung von Fraktur und Implantatlage erleichtern kann [12]. Laut Schliemann et al. [49] können hierdurch eventuelle Schraubenperforationen bereits während der Operation leichter erkannt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen Vergleich von konventionellen Titan-Implantaten und karbonfaserverstärkten Polyetheretherketon-Implantaten bei proximalen Humerusfrakturen bezüglich des funktionellen Ergebnisses aufzustellen. Hierbei wurde zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten das funktionelle Ergebnis anhand von vier etablierten Scores erhoben. Dies diente dazu, mögliche Unterschiede in Bezug auf die Dynamik der eintretenden Heilung herauszuarbeiten, da bei CFR-PEEK-Platten aufgrund ihrer biomechanischen Eigenschaften die knöcherne Konsolidierung früher eintreten und zusätzlich aufgrund der Transparenz bezüglich Röntgenstrahlung eine geringere Rate an Komplikationen erreicht werden soll, welche das funktionelle Ergebnis negativ beeinflussen würden [47, 49]. Bisherige Studien konnten zeigen, dass Karbon-Implantate im funktionellen Langzeitergebnis den Werten von Titan-Implantaten entsprechen [47, 49, 67]. In keiner der vorliegenden Studien wurde jedoch eine dynamische Entwicklung innerhalb des ersten halben Jahres nach der Operation über mehrere Zeitpunkte erfasst. Da die Eigenschaften der CFR-PEEK-Implantate jedoch zu einem schnelleren Erreichen von funktionell befriedigenden Ergebnissen führen könnten, wurde dies bei dieser Studie untersucht.

Primär wurden 76 Patienten, welche über die Notaufnahme der BG Unfallklinik Tübingen mit einer proximalen Humerusfraktur vorstellig wurden und die Einschlusskriterien erfüllten, in die Studie eingeschlossen. Das durchschnittliche Alter der Patienten lag bei  $60,68 \pm 12,74$  Jahren. Dieses liegt unter dem von Palvanen et al. [4] beschriebenen Durchschnittsalter für proximale Humerusfrakturen. Südkamp et al. [9] und Fankhauser et al. [68] beschrieben in ihren jeweiligen Studien den zeitlichen Verlauf in Bezug auf das funktionelle Ergebnis bei Titan-Plattenversorgung und hatten dabei zu der vorliegenden Studie vergleichbare Altersschnitte aufzuweisen. Mit 78,9% weiblichen und 21,1% männlichen Patienten entsprach die Geschlechterverteilung den in der Literatur vorhandenen Werten [4, 6]. Von den 76 primär eingeschlossenen

## Diskussion

Studienteilnehmern mussten im Verlauf der Studie 13 als „Lost to Follow Up“ gewertet werden. Es ergab sich ein Studienkollektiv von 63 Patienten mit einem Durchschnittsalter von  $61,40 \pm 12,32$  Jahren und einer Geschlechterverteilung von 79,4% Frauen und 20,6% Männern. Mit einem Anteil von 75,0% im Gesamtkollektiv beziehungsweise 74,6% im Studienkollektiv entfiel jeweils ein Großteil der Frakturursachen auf Niedrigrasanztraumata. Dies entspricht den Literaturwerten, wobei nach Lind et al. [7], wie in der vorliegenden Studie, vor allem Frauen ab der fünften Lebensdekade von der Verletzung betroffen sind. Als weitere Kenngrößen wurden die ASA-Klassifikation, der Body-Mass-Index, die betroffene Seite, die Operationsdauer und die Dauer des stationären Aufenthaltes erhoben. Außerdem erfolgte zur Erhebung der Komplexität der Frakturen die Bestimmung von AO-Klassifikation und der Frakturklassifikation nach Neer bei proximalen Humerusfrakturen.

Zunächst wurde untersucht, ob bezüglich der angeführten Aspekte im Gesamtkollektiv Unterschiede zwischen Karbon- und Titan-Gruppe vorlagen. Hierbei konnten bis auf bei der Operationsdauer keine signifikanten Unterschiede herausgearbeitet werden.

In einem zweiten Schritt wurde das Studienkollektiv bezüglich der Implantatversorgung aufgeteilt und entsprechend getrennt nach den bereits genannten Kenngrößen untersucht. Dies diente dazu, eventuell signifikante Unterschiede herauszufiltern, die auf die später erhobenen Scores Einfluss haben könnten. Von den 63 Patienten des Studienkollektivs erhielten 32 Patienten (50,8%) ein CFR-PEEK- und 31 Patienten (49,2%) ein Titan-Implantat. Im Karbon-Kollektiv wurde ein durchschnittliches Alter von  $61,84 \pm 12,38$  Jahren erreicht. Bei Patienten mit Titan-Implantat lag dieses bei  $60,94 \pm 12,45$  Jahren. Der Unterschied von 0,9 Jahren war nicht als signifikant zu werten. Ebenso verhielt es sich bei der Geschlechterverteilung mit einem relativen Anteil an weiblichen Studienteilnehmern von 81,3% bei CFR-PEEK- und 77,4% bei PHILOS-Plattenversorgung. Die weiteren Vergleichsparameter ASA-Klassifikation, Body-Mass-Index, betroffene Seite und Dauer des stationären Aufenthaltes wiesen ebenso keine signifikanten Unterschiede auf. Im Bereich der Frakturklassifikationen konnte für die Klassifikation nach AO kein signifikanter

## Diskussion

Unterschied zwischen den Kollektiven herausgearbeitet werden. Bei Betrachtung der Neer-Klassifikation wurde jedoch ein signifikanter Unterschied zwischen Karbon- und Titan-Kollektiv festgestellt ( $p=0,028$ ). Von den 31 Patienten, welche ein Titan-Implantat erhalten hatten, wiesen jeweils 13 Patienten (41,9%) eine 4-Part- beziehungsweise 3-Part-Fraktur auf. Fünf Patienten (16,1%) hatten eine 2-Part-Fraktur nach Neer. Im Vergleich mit dem CFR-PEEK-Kollektiv zeigte sich dort mit vier 4-Part-Frakturen (12,5%), 22 3-Part-Frakturen (68,8%) und sechs 2-Part-Frakturen (18,8%) eine geringere durchschnittliche Schwere der Frakturen auf. Als zusätzlicher Kennwert wurde erhoben, ob die betroffene Seite auch die dominante Seite der Patienten darstellte, da bei Unterschieden eine Auswirkung auf die gewerteten Scores befürchtet wurde. Im CFR-PEEK-Kollektiv war dies bei 46,9% der Teilnehmer der Fall, im Philos-Kollektiv bei 45,2%. Auch hier ergab sich kein signifikanter Unterschied.

Bei Betrachtung der Operationszeiten lagen diese im Rahmen der Studie bei Implantation einer CFR-PEEK-Platte signifikant unter denen einer konventionellen winkelstabilen Titan-Platte ( $p=0,000021$ ). Die durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit der Karbon-Implantate lag im Studienkollektiv mit  $42,97 \pm 10,28$  Minuten rund 14 Minuten unter der der Titan-Implantate ( $56,74 \pm 13,31$ ). Auch im Gesamtkollektiv konnte diese Beobachtung gemacht werden ( $p=0,000013$ ). Da die vorliegende Studie zur Erhebung des funktionellen Ergebnisses ausgelegt war und die Operationszeit als deskriptive Größe erhoben wurde, konnten die Ursachen für die signifikant unterschiedlichen Schnitt-Naht-Zeiten mit dem angewandten Studiendesign nicht herausgearbeitet werden. Da in vergleichbaren Studien die Operationszeit als beschreibende Kenngröße nicht berücksichtigt wurde, konnte eine Einordnung anhand der Literatur im Vergleich von Karbon- und Titan-Implantat nicht erfolgen. Rotini et al. [12] beschreiben in ihrer Studie, dass bei Verwendung von karbonfaserverstärkten Polyetheretherketon-Implantaten intraoperativ eine bessere Visualisierung der Fraktur möglich sei. Möglicherweise ergibt sich aus diesem Aspekt eine einfachere Reposition und die dadurch verkürzte Operationszeit. Um diese Hypothese genauer zu untersuchen beziehungsweise verifizieren zu können,

## Diskussion

werden allerdings weitere Untersuchungen mit Fokussierung auf die Operationszeit und einem entsprechend angepasstem Studiendesign nötig sein.

In der Literatur wird bei CFR-PEEK-Implantationen eine geringere Komplikationsrate beschrieben [12, 47, 49]. Hierbei würden vor allem geringere Schraubenperforationsraten, welche als Hauptkomplikation bei dieser Art der Frakturversorgung gelten, auftreten. Innerhalb des Patientenkollektivs dieser Studie wurden weder primäre noch sekundäre Schraubenperforationen beobachtet. Dies kann mit der hohen Erfahrung der beiden ausgewählten Operateure auf dem Gebiet der Versorgung proximaler Humerusfrakturen erklärt werden. Sekundäre Schraubenperforationen können auch deutlich nach dem beobachteten Zeitraum von sechs Monaten auftreten, sodass diese Komplikationsform betreffend noch keine endgültige Aussage gemacht werden kann.

Der Fokus der vorliegenden Arbeit lag wie beschrieben in der Erhebung des funktionellen Ergebnisses getrennt nach Plattenversorgung. Dies erfolgte anhand von Constant-Murley-Score, DASH-Score, Simple Shoulder Test und Oxford Shoulder Score zu drei definierten Zeitpunkten. Diese wurden auf sechs Wochen, zwölf Wochen und ein halbes Jahr nach der Operation festgelegt.

Beim Constant-Murley-Score ergab sich beim CFR-PEEK-Kollektiv nach sechs Wochen ein Wert von  $31,59 \pm 14,95$  Punkten. Nach zwölf Wochen stieg dieser im Schnitt auf  $49,75 \pm 16,57$  Punkte an. Nach einem halben Jahr wurde ein Durchschnittswert von  $59,13 \pm 14,58$  gemessen. Es konnte gezeigt werden, dass innerhalb der Subgruppe mit Karbon-Implantat eine signifikante Verbesserung der Werte über die Zeit eintrat. Bei Titan-Implantaten konnte nach sechs Wochen ein Constant-Murley-Score von  $32,37 \pm 12,13$  erreicht werden. Zum zweiten Untersuchungszeitpunkt stieg der Wert auf  $48,19 \pm 12,99$  Punkte an. Ein halbes Jahr nach der Operation wurde ein Score von  $59,55 \pm 13,70$  erhoben. Auch innerhalb dieses Kollektivs ergab sich eine Signifikanz in Bezug auf die Besserung über die Zeit. Betrachtet man die Unterschiede in der Anwendung der Implantate, so konnte bei der Varianzanalyse kein signifikanter Unterschied zwischen Verwendung von CFR-PEEK- und Titan-Platten festgestellt werden

( $p=0,9967$ ). Katthagen et al. [47] wählten 2017 ein ähnliches Vorgehen um das funktionelle Ergebnis nach CFR-PEEK-Plattenversorgung zu erheben. Sie erhielten drei Monate nach der Operation einen Constant-Murley-Score von  $57,5 \pm 15,8$  Punkten bei Patienten mit Karbon-Osteosynthese. Als Vergleichsgruppe diente ein bereits aus früheren Studien bestehendes Kollektiv, welches mit PHILOS-Implantaten versorgt wurde. In dieser Gruppe wurde ein Score von  $52,4 \pm 15,5$  Punkten beschrieben. Die Ergebnisse waren in Bezug auf das unterschiedliche Osteosynthesematerial, ebenso wie in der vorliegenden Studie, als nicht signifikant anzusehen ( $p=0,31$ ) [47]. Fankhauser et al. [68] haben Patienten, welche mit einem Titan-Implantat versorgt wurden, mittels dem Constant-Murley-Score nachuntersucht. Sie kamen nach sechs Wochen auf einen durchschnittlichen Score von 40,2. Die Durchschnittspunktzahl bei Fankhauser et al. [68] lag drei Monate postoperativ bei 54,4 und nach einem halben Jahr bei 61,2. Die Werte der vorliegenden Studie bei Titan-Plattenversorgung nach drei und sechs Monaten bewegen sich in den Bereichen von Fankhauser et al. [68] und einer weiteren Studie von Plath et al. [69]. Nach sechs Wochen fallen die Ergebnisse für Titan-Implantate sowohl im Vergleich mit Fankhauser et al. [68] als auch mit Katthagen et al. [47] etwas schlechter aus. Dies ist auch in der CFR-PEEK-Gruppe im Vergleich mit den Ergebnissen von Katthagen et al. [47] der Fall. Allerdings gibt es weder bei Katthagen et al. [47] noch in der vorliegenden Studie signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Implantaten im Constant-Murley-Score.

Als weiterer Parameter zum Messen des funktionellen Ergebnisses diente bei dieser Untersuchung der DASH-Score. Bei diesem Score stellt 0 das beste und 100 das schlechteste Ergebnis dar. Für das Karbon-Patientenkollektiv konnte nach sechs Wochen ein Durchschnittswert von  $56,45 \pm 19,33$  gemessen werden. Die Punktzahl dieser Gruppe lag nach zwölf Wochen bei  $38,36 \pm 21,36$  und nach einem halben Jahr bei einem Wert von  $27,48 \pm 20,45$ . Innerhalb der Subgruppe mit Karbon-Implantat konnte eine signifikante Besserung über die Zeit nachgewiesen werden. Patienten, die ein Titan-Implantat erhalten hatten, konnten nach sechs Wochen einen DASH-Score von  $59,77 \pm 15,56$  Punkten erreichen. In den folgenden sechs Wochen verbesserte sich dieser auf  $37,73 \pm$

## Diskussion

16,25 Punkte. Nach einem halben Jahr belief sich der Score dieser Gruppe auf  $28,55 \pm 17,91$ . Ebenso wie in der Karbon-Gruppe wurde auch für Titan-Osteosynthesen eine signifikante Verbesserung über den Zeitraum der Nachuntersuchungen gemessen. Das Hauptaugenmerk lag jedoch auf Herausstellung möglicher Unterschiede zwischen der Anwendung von CFR-PEEK- und Titan-Implantaten. Hier konnte bei einem p-Wert von  $p=0,7227$  kein Unterschied festgestellt werden. Verglichen mit einer Studie von Plath et al. [69], bezüglich der Anwendung von Titan-Platten, fielen die erhobenen Werte für den DASH-Score bei der vorliegenden Studie besser aus. Die Patienten der Studie von Plath et al. [69] erreichten nach drei Monaten einen DASH-Score von  $52 \pm 17,8$ . Nach einem halben Jahr lag dieser bei  $45 \pm 16,0$  Punkten. Es muss jedoch kritisch angemerkt werden, dass das Patientenkollektiv von Plath et al. [69] mit 77,1 Jahren deutlich älter als das Patientenkollektiv der vorliegenden Studie war. Ansonsten findet der DASH-Score häufig Anwendung für längere Nachbeobachtungszeiträume [9, 70], entsprechend konnten in der Literatur keine weiteren Vergleichswerte zur Einordnung der erhobenen Daten gefunden werden.

Der dichotom aufgebaute Simple Shoulder Test erlaubt bei den Antwortmöglichkeiten keine Abstufung und enthält im Vergleich zu den vorigen Scores mit zwölf Items vergleichsweise wenige Fragen. Er erfährt jedoch häufige Anwendung bei Messungen zur Erhebung der Schulterfunktion. Entsprechend wurde dieser Test mit in diese Studie aufgenommen. Nach sechs Wochen konnte ein durchschnittlicher Simple Shoulder Test von  $30,05 \pm 20,77$  Punkten in der Karbon-Patientengruppe erreicht werden. Innerhalb der folgenden sechs Wochen stieg dieser auf  $54,92 \pm 24,81$  an. Ein halbes Jahr nach der Operation wurden  $62,50 \pm 22,28$  Punkte gemessen. Mit einem durchschnittlichen Simple Shoulder Test von  $29,44 \pm 18,92$  nach sechs Wochen war das Ergebnis in der Titan-Gruppe minimal schlechter. Ein ebenfalls nicht signifikant geringeres Ergebnis wurde bei der zweiten Messung mit  $51,47 \pm 16,48$  Punkten erhoben. Nach einem halben Jahr zeigten die Titan-Osteosynthesen mit  $65,03 \pm 20,14$  Punkten ein leicht besseres Ergebnis als karbonverstärkte Osteosynthesen. Insgesamt konnte in beiden Kollektiven jeweils eine signifikante Besserung über die Zeit beobachtet werden. Bei der Varianzanalyse zum Vergleich der

## Diskussion

Implantate konnte wie bereits beim Constant-Murley-Score und beim DASH-Score kein signifikanter Unterschied herausgearbeitet werden ( $p=0,9000$ ). In einer im August 2015 von Schliemann et al. [49] veröffentlichten Studie wurden Patienten mittels CFR-PEEK-Implantaten bei proximalen Humerusfrakturen versorgt und anschließend bezüglich des funktionellen Ergebnisses nachuntersucht. Der Simple Shoulder Test wurde bei Schliemann et al. [49] sechs Wochen postoperativ sowie nach einem halben Jahr erhoben. Hierbei ergaben sich bei karbonverstärkter Plattenversorgung Werte von 36,6 beziehungsweise 46,9. Wie bereits im Constant-Murley-Score, ergibt sich im Vergleich zur Literatur ein etwas schlechterer Wert zum ersten Untersuchungszeitpunkt. Voigt et al. [70] erhoben in ihrer Studie den Simple Shoulder Test bei PHILOS-Plattenversorgungen. Es ergab sich ein durchschnittlicher Testwert von 57,5 nach drei Monaten und 66,7 nach sechs Monaten.

In der bereits beim Constant-Murley-Score erwähnten Studie von Katthagen et al. [47] wurden Patienten mit CFR-PEEK-Implantat retrospektiv mit einem Patientenkollektiv mit Titan-Osteosynthese verglichen. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass anhand des Simple Shoulder Test kein signifikanter Unterschied bezüglich der Plattenversorgung auszumachen war. Diese Beobachtung deckt sich mit der vorliegenden Studie.

Als letzter Parameter zur Erhebung des funktionellen Ergebnisses wurde der Oxford Shoulder Score erhoben. Für das Patientenkollektiv mit karbonfaserverstärkter Polyethetherketon-Platte konnte nach sechs Wochen ein OSS von  $20,34 \pm 9,75$  gemessen werden. Dieser stieg in den folgenden sechs Wochen auf  $33,75 \pm 10,03$  Punkte an. Nach einem halben Jahr zeigten die Patienten eine weitere Verbesserung auf  $37,66 \pm 8,83$  Punkte. In der Titan-Patientengruppe wurde zum ersten Nachuntersuchungszeitpunkt ein Score von  $20,37 \pm 8,54$  gemessen. Im Laufe der Nachuntersuchungen stieg der Wert nach zwölf Wochen auf  $33,29 \pm 6,53$  und nach sechs Monaten auf  $38,54 \pm 6,77$  sukzessive an. Wie bei allen bisher ermittelten Scores verbesserten sich die Werte getrennt nach Plattenkollektiven signifikant über die Zeit. Es gab jedoch keine signifikanten Unterschiede in der Anwendung einer bestimmten Plattenart

( $p=0,9523$ ). Die bereits beim Simple Shoulder Test erwähnte Studie von Schliemann et al. [49] erhob bei proximalen Humerusfrakturen und Versorgung mit CFR-PEEK-Implantaten ebenso den OSS für die Zeitpunkte sechs Wochen und sechs Monate postoperativ. Sechs Wochen postoperativ konnten Schliemann et al. [49] mit einem OSS von 19,4 vergleichbare Werte zur vorliegenden Studie erzielen. Nach einem halben Jahr zeigten sich im Vergleich bei Schliemann et al. [49] jedoch schlechtere Werte bezüglich des Oxford Shoulder Scores (25,2). Die Einordnung der gewonnenen Ergebnisse des OSS anhand der Literatur gestaltete sich schwierig, da für Studien zur winkelstabilen Plattenosteosynthese am Oberarm aufgrund der langen Heilungsdauer häufig längere Nachbeobachtungszeiträume veranschlagt wurden [71, 72]. Auch Schliemann et al. [49] setzten ihre gewonnenen Ergebnisse bezüglich des funktionellen Ergebnisses bei CFR-PEEK-Plattenversorgung erst zum Zeitpunkt von 24 Monaten postoperativ in Kontext zur Titan-Osteosynthese.

Bei Betrachtung aller vier Scores ergaben sich korrelierende Ergebnisse. Die Patienten der jeweiligen Studiengruppen konnten über den erfassten Zeitraum eine signifikante Besserung bezüglich des funktionellen Ergebnisses über die Zeit erzielen. Unterschiede bei Anwendung eines bestimmten Plattentyps konnten in keinem der angewandten Testverfahren beobachtet werden. Insgesamt fiel bei jedem der Tests eine hohe Spannweite der Ergebnisse auf. Diese resultiert zum einen daraus, dass Patienten unterschiedliche funktionelle Ansprüche haben und entsprechend, bei den subjektiven Teilen der Fragebögen, Differenzen beim Beantworten der Fragen aufweisen, obwohl sie möglicherweise im objektiven Teil annähernd identische Ergebnisse erreichen. Zum anderen resultiert die große Spannweite aus den Designs der einzelnen Scores. So fließt beim Constant-Murley-Score die Kraftkomponente mit einem Anteil von 25% der Maximalpunktzahl in das Gesamtergebnis mit ein. Entsprechend hoch ist der Einfluss dieser auf das Ergebnis dieses Scores. Dieser Einfluss der Kraftkomponente könnte auch erklären, warum in der vorliegenden Studie beim Constant-Murley-Score für die ersten beiden Nachuntersuchungszeitpunkte im Durchschnitt nur befriedigende Ergebnisse erzielt wurden und beim Oxford Shoulder Score bereits nach zwölf Wochen gute Werte erfasst wurden. In den

Oxford Shoulder Score fließen Kraftkomponenten nur indirekt, durch Ausführen bestimmter Tätigkeiten, und nicht in dem großen Ausmaß wie beim Constant-Murley-Score mit ein. Der OSS hat vor allem eine hohe Subjektivitätskomponente, da er zu einem Großteil bestimmte Tätigkeiten abfragt. Durch diesen hohen Anteil an subjektiven Items könnte die, auch bei diesem Score beobachtete, hohe Spannweite erklärt werden. Außerdem könnte die relativ geringe Anzahl an zwölf abgefragten Items zu einer großen Streuung der Ergebnisse geführt haben. Dies gilt auch für den Simple Shoulder Test. Dessen dichotomes Design lässt keine Abstufung bei Beantwortung der einzelnen Items zu. Die geringe Fragenanzahl und das spezielle Design des Fragebogens könnten hier als Hauptursachen zu der großen Spannweite der Ergebnisse geführt haben. Diese wurde allerdings auch beim DASH-Score beobachtet. Dieser ist mit 30 Fragen der längste der bei dieser Studie angewandten Fragebögen. Bei jeder Frage kann, wie bei Constant-Murley- und Oxford-Shoulder-Score, eine präzise Differenzierung aufgrund mehrerer Antwortmöglichkeiten erfolgen. Allerdings liegt auch bei diesem Score eine nicht unerhebliche Subjektivitätskomponente vor, welche zu der auch hier vorliegenden hohen Spannweite der Ergebnisse geführt haben könnte.

Über alle beobachteten Zeiträume fiel jedoch die Korrelation der einzelnen Scores auf. Diese zeigt sich auch in der Literatur. So konnten Angst et al. [58] in ihrer Metaanalyse bezüglich der Erhebung von Schulterfunktion bei Erwachsenen eine hohe Validität zwischen den in dieser Studie verwendeten Testverfahren nachweisen. Es lässt sich daraus schließen, dass die Tests trotz ihrer unterschiedlichen Designs geeignet waren das funktionelle Ergebnis nach operativer Versorgung von proximalen Humerusfrakturen zu erheben. Da es keinen einzelnen Test als Goldstandard zur Erhebung der Schulterfunktion gibt, sollten daher wie in dieser Studie erfolgt, mehrere Testverfahren zum Einsatz kommen und in der Zusammenschau betrachtet werden. So wurden auch in früheren Studien Kombinationen an Testverfahren zur Messung des funktionellen Ergebnisses nach Plattenosteosynthese bei proximalen Humerusfrakturen angewandt [47, 49, 69, 70]. Auch in diesen Studien zeigten sich hohe Spannweiten bei den Auswertungen der einzelnen Scores.

## Diskussion

Ein weiterer Grund für die hohe individuelle Variabilität der Ergebnisse könnte die anatomische Komplexität des Schultergelenks sein. Bereits nach kurzen Phasen der Ruhigstellung und Inaktivität verkürzen sich die Gelenkkapsel sowie der stabilisierende Muskel- und Sehnenapparat. Dies führt zu einer deutlichen Bewegungseinschränkung und einer aufwendigen Rehabilitationsphase. Im Rahmen der Studie erhielten alle Patienten während des stationären Aufenthalts postoperativ die gleiche, standardisierte frühfunktionelle Nachbehandlung und die stufenweise Freigabe der Beweglichkeit innerhalb der ersten sechs Wochen erfolgte nach einem festen Schema. Da interindividuell Unterschiede in Bezug auf Motivation und Konsequenz vor allem bei der länger andauernden Durchführung der funktionellen Nachbeübung bestanden haben könnten, könnte dies zu der hohen Spannweite der Ergebnisse beigetragen haben.

Zusätzlich zu den funktionellen Tests wurden zur Beurteilung der knöchernen Konsolidierung bei allen Patienten des Studienkollektivs nach zwölf Wochen postoperativ Röntgenkontrollen durchgeführt. Hierbei zeigte sich durchgehend, Implantat-unabhängig eine adäquate Frakturheilung.

Vergleicht man abschließend die gewonnenen Erkenntnisse dieser Studie und setzt sie in Kontext zu bestehender Literatur, so lässt sich bezüglich des funktionellen Ergebnisses feststellen, dass sich im gemessenen Zeitraum von sechs Monaten zu allen drei Untersuchungszeitpunkten kein Implantat als signifikant besser erwiesen hat. Die Studien von Katthagen et al. [47], Rotini et al. [12] und Padolino et al. [67] konnten auch im Langzeitergebnis keine funktionellen Unterschiede zwischen CFR-PEEK- und Titan-Patienten aufzeigen. Lediglich Schliemann et al. [49] stellten in ihrer Studie im 2-Jahres-Follow-Up ein signifikant besseres Abschneiden der karbonfaserverstärkten Plattenosteosynthese fest. Die Zusammenschau von Literatur und der hier gewonnenen Ergebnisse lässt darauf schließen, dass karbonfaserverstärkte Polyetheretherketon-Implantate in Bezug auf das funktionelle Ergebnis eine gleichwertige Alternative zur konventionellen winkelstabilen Plattenosteosynthese darstellen. Außerdem zeigten sich in den angefertigten Röntgenkontrollen keine Unterschiede in Bezug auf die knöchernen Konsolidierung. Es gibt jedoch Hinweise, dass Karbon-Implantate bei proximalen

## Diskussion

Humerusfrakturen andere Vorteile gegenüber Titan-Implantaten bieten. Rotini et al. [12] weisen auf eine bessere Visualisierung der Fraktur während der Operation hin. Außerdem verweisen Rotini et al. [12] auf eine leichtere Entfernung der Implantate, da die Gefahr von Kaltverschweißungen zwischen Implantat und Schrauben nicht gegeben sei. Laut Werth et al. [11] soll das Material der CFR-PEEK-Implantate besonders inert sein, sodass keine Weichteiladhäsionen oder knöcherne Verwachsungen auftreten sollen. Dieser Aspekt würde ebenfalls zu einer leichteren Implantatentfernung beitragen. Des Weiteren gibt es bereits in mehreren Studien Hinweise darauf, dass die implantatbezogene Komplikationsrate bei Implantation von CFR-PEEK-Platten geringer ausfällt [12, 47, 49]. Sollten sich die zuletzt angesprochenen Aspekte in weiteren Studien bestätigen, so würden karbonfaserversätkte Polyetheretherketon-Implantate bei proximalen Humerusfrakturen, trotz gleichwertiger funktioneller Ergebnisse, Vorteile gegenüber der konventionellen winkelstabilen Titan-Osteosynthese bieten.

## 5 Zusammenfassung

Proximale Humerusfrakturen stellen bereits heute einen relevanten Anteil aller Frakturen des Menschen dar. Es handelt sich um eine typische osteoporotische Fraktur, weshalb zu erwarten ist, dass aufgrund der alternden Gesellschaft der Anteil dieses Frakturtyps weiter zunehmen wird.

Im deutschsprachigen Raum stellt die winkelstabile Plattenosteosynthese mit Titan-Implantaten den Goldstandard zur operativen Versorgung von proximalen Humerusfrakturen dar. Trotz der häufigen Anwendung dieser Implantate, ist das Verfahren sehr komplikationsbehaftet. Des Weiteren sind die Patienten postoperativ häufig über lange Zeiträume deutlich in ihrer Schulterfunktion eingeschränkt.

Aufgrund der steigenden Relevanz dieses Frakturtyps und der angesprochenen Probleme mit der bisherigen operativen Versorgung, gibt es aktuell sehr viele Neuentwicklungen in Bezug auf das Osteosynthesematerial. Eine dieser Neuentwicklungen stellen karbonfaserverstärkte Polyetheretherketon-Implantate dar.

Ziel dieser Studie war es, das funktionelle Ergebnis nach Plattenosteosynthese mittels karbonfaserverstärkten Polyetheretherketon- und konventionellen winkelstabilen Titan-Implantaten innerhalb des ersten halben Jahres zu vergleichen. Hierzu wurden 76 Patienten mit Operationsindikation bei proximalen Humerusfrakturen der BG Klinik Tübingen in die Studie eingeschlossen. Es erfolgte eine randomisierte Zuteilung in ein Karbon- und ein Titan-Kollektiv. Aufgrund 13 Patienten, die als „Lost to Follow Up“ gewertet werden mussten, ergab sich ein Studienkollektiv von 63 Patienten. Von diesen erhielten 32 eine CFR-PEEK- und 31 eine Titan-Platte.

Die Erfassung des funktionellen Ergebnisses erfolgte zu drei verschiedenen Zeitpunkten anhand vier etablierter Scores zur Beurteilung der Schulterfunktion. Die angewandten Testverfahren waren der Constant-Murley-, der DASH- und der Oxford Shoulder Score sowie der Simple Shoulder Test.

## Zusammenfassung

Bei der Auswertung mittels gemischter Varianzanalyse wurde zunächst jedes Patientenkollektiv einzeln betrachtet. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sich bei beiden Patientengruppen in allen Testverfahren eine signifikante Verbesserung der Funktion über die drei erhobenen Zeitpunkte einstellte. Im zweiten Schritt der Varianzanalyse erfolgte die Auswertung bezüglich der sich unterscheidenden Implantatversorgung. Anhand der vier erhobenen Scores konnte kein signifikanter Benefit für eines der beiden angewandten Implantate in Bezug auf das funktionelle Ergebnis herausgestellt werden.

Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass karbonfaserverstärkte Polyetheretherketon-Implantate bei proximalen Humerusfrakturen bezüglich des funktionellen Ergebnisses innerhalb des ersten halben Jahres eine gleichwertige Alternative zur konventionellen winkelstabilen Titan-Plattenosteosynthese darstellen. Bereits bestehende Studien haben nachgewiesen, dass die Schulterfunktion bei osteosynthetischer Versorgung gelenknaher Oberarmfrakturen mit Karbon-Implantaten im Langzeitergebnis äquivalent zu Titan-Implantaten ausfällt. Weitere Studien konnten zeigen, dass aufgrund der radiologischen Eigenschaften der karbonfaserverstärkten Polyetheretherketon-Implantate intraoperativ eine bessere Beurteilung der Fraktur gelingt und die Komplikationsrate teilweise gesenkt werden kann. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden signifikant kürzere Operationszeiten bei Karbon-Implantaten beobachtet. Da das Studiendesign die Operationsdauer nur als beschreibenden Parameter berücksichtigte, sind weitere Studien nötig, um hinsichtlich der Operationsdauer mögliche Vorteile der Karbon-Platte herauszuarbeiten. Des Weiteren gibt es in bereits vorhandenen Studien Hinweise darauf, dass sich die Entfernung des Osteosynthese-Materials als weniger komplikationsbehaftet zeigt.

In Zusammenschau mit dem in dieser Studie gewonnenen Ergebnis, dass Karbon-Implantate am proximalen Humerus bezüglich des funktionellen Ergebnisses als gleichwertig zu betrachten sind, könnte dieser Art der Frakturversorgung in der Zukunft, aufgrund möglicher anderer sich bietender Vorteile, größere Bedeutung zukommen.

## 6 Literaturverzeichnis

1. **Court-Brown, C.M., A. Garg, and M.M. McQueen**, *The epidemiology of proximal humeral fractures*. Acta Orthopaedica Scandinavica, 2001. 72(4): p. 365-371.
2. **Bell, J.-E., et al.**, *Trends and Variation in Incidence, Surgical Treatment, and Repeat Surgery of Proximal Humeral Fractures in the Elderly*. The Journal of Bone and Joint Surgery. American volume., 2011. 93(2): p. 121-131.
3. **Burkhart, K.J., et al.**, *Behandlung der proximalen Humerusfraktur des Erwachsenen*. Dtsch Arztebl International, 2013. 110(35-36): p. 591-597.
4. **Palvanen, M., et al.**, *Update in the Epidemiology of Proximal Humeral Fractures* Clin Orthop Relat Res, 2006. January 2006(442): p. 87-92.
5. **Baron, J.A., et al.**, *Basic epidemiology of fractures of the upper and lower limb among Americans over 65 years of age*. Epidemiology, 1996. 7(6): p. 612-8.
6. **Horak, J. and B. Nilsson**, *Epidemiology of fracture of the upper end of the humerus*. Clin Orthop Relat Res., 1975. 1975 Oct(112): p. 250-253.
7. **Lind, T., K. Krøner, and J. Jensen**, *The epidemiology of fractures of the proximal humerus*. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 1989. 108(5): p. 285-287.
8. **Tepass, A., et al.**, *Current strategies for the treatment of proximal humeral fractures: an analysis of a survey carried out at 348 hospitals in Germany, Austria, and Switzerland*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2013. 22(1): p. e8-e14.
9. **Sudkamp, N., et al.**, *Open reduction and internal fixation of proximal humeral fractures with use of the locking proximal humerus plate. Results of a prospective, multicenter, observational study*. J Bone Joint Surg Am, 2009. 91(6): p. 1320-8.
10. **Thanasas, C., et al.**, *Treatment of proximal humerus fractures with locking plates: A systematic review*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2009. 18(6): p. 837-844.
11. **Werth, M., et al.**, *Osteosynthesen: Wann und wie?*, in *Die proximale Humerusfraktur*, H. Lill, M. Scheibel, and C. Voigt, Editors. 2014, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 45-104.
12. **Rotini, R., et al.**, *Proximal humeral fracture fixation: multicenter study with carbon fiber peek plate*. MUSCULOSKELETAL SURGERY, 2015. 99(1): p. 1-8.
13. **Wurzinger, L.J.**, *Anatomie*, G. Aumüller, et al., Editors. 2014, Georg Thieme Verlag: Stuttgart, New York. p. 437-455.
14. **Schünke, M., et al.**, *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 3rd ed. 2011, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
15. **Rumschik, U. and B. Wittner**, *Topographie und funktionelle Anatomie des Schultergelenks*. OP-JOURNAL, 2002. 18(03): p. 184-189.
16. **Tauber, M. and H. Resch**, *Frakturbiologie und -morphologie*, in *Die proximale Humerusfraktur*, H. Lill, M. Scheibel, and C. Voigt, Editors. 2014, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 1-17.

17. **Babst, R. and F. Brunner**, *Proximale Humerusfrakturen*. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date, 2006. 1(06): p. 521-548.
18. **Hermichen, H.G., R. Köster, and L. Mansfeld**, *Die Wertigkeit der bildgebenden Verfahren an Schulter und Oberarm*. OP-JOURNAL, 2002. 18(03): p. 190-193.
19. **Ellwein, A., H. Lill, and C. Voigt**, *Prä-/intra- und postoperative Diagnostik*, in *Die proximale Humerusfraktur*, H. Lill, M. Scheibel, and C. Voigt, Editors. 2014, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 19-27.
20. **Bahrs, C., et al.**, *Indications for computed tomography (CT-) diagnostics in proximal humeral fractures: a comparative study of plain radiography and computed tomography*. BMC Musculoskeletal Disorders, 2009. 10(1): p. 33.
21. **Carofino, B.C. and S.S. Leopold**, *Classifications in Brief: The Neer Classification for Proximal Humerus Fractures*. Clinical Orthopaedics and Related Research®, 2013. 471(1): p. 39-43.
22. **Vachtsevanos, L., et al.**, *Management of proximal humerus fractures in adults*. World Journal of Orthopedics, 2014. 5(5): p. 685-693.
23. **Habermeyer, P.**, *Die Humeruskopffraktur*. Der Unfallchirurg, 1997. 100(10): p. 820-837.
24. **Müller, M.E., et al.**, *The Comprehensive Classification fo Fractures of Long Bones*. 1st ed. 1990, Berlin: Springer. 46-47.
25. **Franke, S. and T. Ambacher**, *Die proximale Humerusfraktur. Konservativ vs. operativ: wann und wie?* Obere Extremität, 2012. 7(3): p. 137-143.
26. **Lill, H. and C. Voigt**, „*Proximale Humerusfraktur*“. Obere Extremität, 2012. 7(3): p. 116-116.
27. **Wolke, J. and M. Scheibel**, *Konservative Therapie: Wer und wie?*, in *Die proximale Humerusfraktur*, H. Lill, M. Scheibel, and C. Voigt, Editors. 2014, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 29-36.
28. **Murray, I.R., et al.**, *Proximal humeral fractures. Current concepts in classification, treatment and outcomes*. The Bone and Joint Journal, 2011. 93-B(1): p. 1-11.
29. **Calvo, E., et al.**, *Percutaneous fixation of displaced proximal humeral fractures: Indications based on the correlation between clinical and radiographic results*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2007. 16(6): p. 774-781.
30. **Broos, P.L. and A. Sermon**, *From unstable internal fixation to biological osteosynthesis. A historical overview of operative fracture treatment*. Acta Chir Belg, 2004. 104(4): p. 396-400.
31. **Siffri, P.C., et al.**, *Biomechanical analysis of blade plate versus locking plate fixation for a proximal humerus fracture: comparison using cadaveric and synthetic humeri*. J Orthop Trauma, 2006. 20(8): p. 547-54.
32. **Foruria, A.M., et al.**, *Proximal humerus fracture rotational stability after fixation using a locking plate or a fixed-angle locked nail: The role of implant stiffness*. Clinical Biomechanics, 2010. 25(4): p. 307-311.
33. **Katthagen, J.C., et al.**, *Nagelosteosynthese proximaler Humerusfrakturen*. Obere Extremität, 2012. 7(3): p. 128-136.

34. **Bogner, R., et al.**, *Minimally-invasive treatment of three- and four-part fractures of the proximal humerus in elderly patients*. Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume, 2008. 90-B(12): p. 1602-1607.
35. **Resch, H., et al.**, *PERCUTANEOUS FIXATION OF THREE- AND FOUR-PART FRACTURES OF THE PROXIMAL HUMERUS*. Journal of Bone; Joint Surgery, British Volume, 1997. 79-B(2): p. 295-300.
36. **Ruchholtz, S. and D. Nast-Kolb**, *Die Oberarmkopffraktur*. Der Unfallchirurg, 2003. 106(6): p. 498-513.
37. **Tingart, M., et al.**, *Die dislozierte proximale Humerusfraktur: Gibt es gesicherte Therapiekonzepte?* Der Chirurg, 2001. 72(11): p. 1284-1291.
38. **Kohler, H. and A. Wentzensen**, *Oberarmkopffrakturen*. OP-JOURNAL, 2002. 18(03): p. 230-236.
39. **Besch, L., et al.**, *Hemiarthroplasty of the shoulder after four-part fracture of the humeral head: a long-term analysis of 34 cases*. J Trauma, 2009. 66(1): p. 211-4.
40. **Dietrich, M., et al.**, *Komplexe proximale Humerusfraktur beim alten Menschen*. Der Chirurg, 2008. 79(3): p. 231-240.
41. **Kralinger, F., et al.**, *Outcome after primary hemiarthroplasty for fracture of the head of the humerus. A RETROSPECTIVE MULTICENTRE STUDY OF 167 PATIENTS*, 2004. 86-B(2): p. 217-219.
42. **Krackhardt, T. and K. Weise**, *Oberarmkopffrakturen*. OP-JOURNAL, 2002. 18(03): p. 238-243.
43. **Brunner, U.H.**, *Primäre Prothetik: Wann und welche?*, in *Die proximale Humerusfraktur*, H. Lill, M. Scheibel, and C. Voigt, Editors. 2014, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 133-155.
44. **Erdle, B., et al.**, *Primäre Frakturprothese und inverse Schulterprothese bei komplexer Humeruskopffraktur*. Der Orthopäde, 2018. 47(5): p. 410-419.
45. **Scheibel, M., et al.**, *Head-split fractures of the proximal humerus*. Obere Extremität, 2019. 14(2): p. 93-102.
46. **Milgrom, C., et al.**, *Rotator-cuff changes in asymptomatic adults. The effect of age, hand dominance and gender*. The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume, 1995. 77-B(2): p. 296-298.
47. **Katthagen, J.C., et al.**, *Outcomes of proximal humeral fracture fixation with locked CFR-PEEK plating*. European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology, 2017. 27(3): p. 351-358.
48. **Schliemann, B., et al.**, *PEEK versus titanium locking plates for proximal humerus fracture fixation: a comparative biomechanical study in two- and three-part fractures*. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2017. 137(1): p. 63-71.
49. **Schliemann, B., et al.**, *Treatment of proximal humerus fractures with a CFR-PEEK plate: 2-year results of a prospective study and comparison to fixation with a conventional locking plate*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2015. 24(8): p. 1282-1288.
50. **Constant, C.R., et al.**, *A review of the Constant score: Modifications and guidelines for its use*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2008. 17(2): p. 355-361.

51. **Constant, C.R. and A.H. Murley**, *A clinical method of functional assessment of the shoulder*. Clin Orthop Relat Res, 1987. 1987(214): p. 160-164.
52. **Boehm, D., et al.**, *Entwicklung eines Fragebogens basierend auf dem Constant-Murely-Score zur Selbstevaluation der Schulterfunktion durch den Patienten*. Der Unfallchirurg, 2004. 107(5): p. 397-402.
53. **Bahrs, C., et al.**, *Long-term results after non-plate head-preserving fixation of proximal humeral fractures*. International Orthopaedics, 2010. 34(6): p. 883-889.
54. **Hudak, P.L., et al.**, *Development of an upper extremity outcome measure: The DASH (disabilities of the arm, shoulder, and hand)*. American Journal of Industrial Medicine, 1996. 29(6): p. 602-608.
55. **Germann, G., et al.**, *Standardisierung und Validierung der deutschen Version 2.0 des "Disability of Arm, Shoulder, Hand" (DASH)-Fragebogens zur Outcome-Messung an der oberen Extremität*. Der Unfallchirurg, 2003. 106(1): p. 13-19.
56. **Offenbächer, M., et al.**, *Validation of a German version of the 'Disabilities of Arm, Shoulder and Hand' questionnaire (DASH-G)*. Zeitschrift für Rheumatologie, 2003. 62(2): p. 168-177.
57. **Angst, F., et al.**, *Comprehensive assessment of clinical outcome and quality of life after total shoulder arthroplasty: Usefulness and validity of subjective outcome measures*. Arthritis Care & Research, 2004. 51(5): p. 819-828.
58. **Angst, F., et al.**, *Measures of adult shoulder function: Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Questionnaire (DASH) and Its Short Version (QuickDASH), Shoulder Pain and Disability Index (SPADI), American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) Society Standardized Shoulder Assessment Form, Constant (Murley) Score (CS), Simple Shoulder Test (SST), Oxford Shoulder Score (OSS), Shoulder Disability Questionnaire (SDQ), and Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI)*. Arthritis Care & Research, 2011. 63(S11): p. S174-S188.
59. **Lippitt, S.B., D.T. Harryman, and F.A. Matsen**, *A PRACTICAL TOOL FOR EVALUATING FUNCTION - THE SIMPLE SHOULDER TEST*. Shoulder : A Balance of Mobility and Stability, ed. R.A. Matsen, F.H. Fu, and R.J. Hawkins. 1993, Rosemont: Amer Acad Orthopaedic Surgeons. 501-518.
60. **Roy, J.-S., J.C. MacDermid, and L.J. Woodhouse**, *Measuring shoulder function: A systematic review of four questionnaires*. Arthritis Care & Research, 2009. 61(5): p. 623-632.
61. **Godfrey, J., et al.**, *Reliability, validity, and responsiveness of the simple shoulder test: Psychometric properties by age and injury type*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2007. 16(3): p. 260-267.
62. **Hsu, J.E., et al.**, *Is the Simple Shoulder Test a valid outcome instrument for shoulder arthroplasty?* Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2017.
63. **Beaton, D. and R.R. Richards**, *Assessing the reliability and responsiveness of 5 shoulder questionnaires*. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 1998. 7(6): p. 565-572.

64. **Dawson, J., R. Fitzpatrick, and A. Carr**, *QUESTIONNAIRE ON THE PERCEPTIONS OF PATIENTS ABOUT SHOULDER SURGERY*. Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume, 1996. 78-B(4): p. 593-600.
65. **Dawson, J., et al.**, *The Oxford shoulder score revisited*. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2009. 129(1): p. 119-123.
66. **Huber, W., et al.**, *The German version of the Oxford shoulder score—cross-cultural adaptation and validation*. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2004. 124(8): p. 531-536.
67. **Padolino, A., et al.**, *Comparison of CFR-PEEK and conventional titanium locking plates for proximal humeral fractures: a retrospective controlled study of patient outcomes*. MUSCULOSKELETAL SURGERY, 2018. 102(1): p. 49-56.
68. **Fankhauser, F., et al.**, *A New Locking Plate for Unstable Fractures of the Proximal Humerus*. Clinical Orthopaedics and Related Research®, 2005. 430: p. 176-181.
69. **Plath, J.E., et al.**, *Locking nail versus locking plate for proximal humeral fracture fixation in an elderly population: a prospective randomised controlled trial*. BMC Musculoskeletal Disorders, 2019. 20(1): p. 20.
70. **Voigt, C., et al.**, *Are Polyaxially Locked Screws Advantageous in the Plate Osteosynthesis of Proximal Humeral Fractures in the Elderly? A Prospective Randomized Clinical Observational Study*. Journal of Orthopaedic Trauma, 2011. 25(10): p. 596-602.
71. **Yang, T.-C., Y.-P. Su, and M.-C. Chang**, *The elderly have similar outcomes compared to younger patients after ORIF with locking plate for comminuted proximal humerus fracture*. Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica, 2019. 53(1): p. 1-5.
72. **Quadlbauer, S., et al.**, *Open reduction and fixation with a locking plate without bone grafting is a reasonable and safe option for treating proximal humerus nonunion*. International Orthopaedics, 2018. 42(9): p. 2199-2209.

## 7 Anhang

### 7.1 Fragebögen

#### 7.1.1 Constant-Murley-Score

### Patientenfragebogen: Schulter-Funktions-Beurteilung - modifizierter Constant Score

Name: \_\_\_\_\_

Untersuchungsdatum: \_\_\_\_\_

Auf welcher Seite sind die **aktuellen** Schulter-Beschwerden:  rechts  links

Dies ist ein Fragebogen zur Erfassung Ihrer Schulterbeschwerden.

Bitte achten Sie darauf jede Frage so exakt wie möglich zu beantworten und **keine Frage unbeantwortet** zu lassen. Um etwaige Beschwerden in der nicht aktuell betroffenen Schulter zu berücksichtigen bitten wir Sie Angaben immer zu beiden Seiten zu machen.

#### I. Schmerz

Bitte kreuzen Sie für **beide Schultern** die durchschnittliche Stärke Ihrer Schmerzen während der letzten Woche an:

rechte Schulter:



linke Schulter:



## Anhang

### II. Beruf

Bitte kreuzen Sie für **beide Schultern** an, ob Sie durch deren Einsatzbarkeit bzw. Schmerzen bei den Tätigkeiten in Ihrem **Beruf** eingeschränkt sind. (Sollten Sie nicht berufstätig sein, dann treffen Sie bitte die Angaben entsprechend der Haupttätigkeiten Ihres Alltags)

	rechte Schulter	linke Schulter
a. nicht eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. weniger als zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. mehr als zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. vollständig eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### III. Freizeit

Bitte kreuzen Sie für **beide Schultern** an, ob Sie durch deren Einsatzbarkeit bzw. Schmerzen bei den Aktivitäten in Ihrer **Freizeit** (Hobby, Sport, Garten etc.) eingeschränkt sind.

	rechte Schulter	linke Schulter
a. nicht eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. weniger als zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. mehr als zur Hälfte eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. vollständig eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### IV. Arbeitshöhe

Kreuzen Sie bitte an, bis zu welcher **Höhe** Sie Tätigkeiten verrichten können, ohne eingeschränkt zu sein oder Schmerzen zu empfinden.  
Tätigkeiten (wie z.B. Wäsche auf die Leine zu hängen) sind möglich bis einschließlich...

	rechte Schulter	linke Schulter
a. Gürtelhöhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Brusthöhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Nackenhöhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Scheitelhöhe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. über den Kopf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### V. Schlaf

Kreuzen Sie bitte an, ob Sie in Ihrem **Schlaf** durch Schmerzen in der Schulter gestört sind.

	rechte Schulter	linke Schulter
a. nicht gestört	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. gelegentliches Aufwachen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. regelmäßiges Aufwachen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# Anhang

Kreuzen sie bitte bei **jedem Bild** und für **beide Schultern** an, ob Sie die Bewegung schmerzfrei ausführen können

## VI. Schmerzfreies Heben des Armes nach vorne



- |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 0 - 30°                         | 31 - 60°                        | 61 - 90°                        | 91 - 120°                       | 121 - 150°                      | >150°                           |
| <input type="checkbox"/> rechts |
| <input type="checkbox"/> links  |

## VII. Schmerzfreies seitliches Anheben des Armes



- |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 0 - 30°                         | 31 - 60°                        | 61 - 90°                        | 91 - 120°                       | 121 - 150°                      | >150°                           |
| <input type="checkbox"/> rechts |
| <input type="checkbox"/> links  |

## VIII. Schmerzfreie Innendrehung hinter dem Körper



- |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                                 | bis Taschen-<br>beginn          | bis unter<br>Gürtel             | Gürtel                          | über Gürtel                     | zwischen<br>Schulterblätter     |
| <input type="checkbox"/> rechts |
| <input type="checkbox"/> links  |

### IX. Schmerzfreie Außenrotation



- rechts
- links

Hand im Nacken  
Ellenbogen  
vorne



- rechts
- links

Hand auf Scheitel  
Ellenbogen  
vorne



- rechts
- links

Hand im Nacken  
Ellenbogen  
seitlich



- rechts
- links

Hand auf Scheitel  
Ellenbogen  
seitlich



- rechts
- links

Hand über  
Kopf

Keine der Bewegungen ist  
schmerzfrei möglich!

- rechts
- links

### X. Kraftmessung

Zur Kraftmessung füllen Sie bitte eine **Tasche mit Gewichten** z.B. 1 Liter Tetra-Pak-Tüten (Milch/Saft) 1 Liter Plastikflaschen ,1 kg Zucker oder Mehl und halten Sie diese in der unten abgebildeten Stellung für **5 Sekunden**. Geben Sie dann an wie viel kg sie halten können



Arm im **rechten Winkel** vom Körper abspitzen und ihn leicht **vor den Körper** halten

**rechts:**

**Gewicht: \_\_\_\_ kg**

**links:**

**Gewicht: \_\_\_\_ kg**

## 7.1.2 DASH-Score

**Klinischer Untersuchungs-Score****DASH Score**  
**(Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand)****Name:****Untersuchungsdatum:**

<b>Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeit ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.</b>	<b>Keine Schwierigkeit</b>	<b>Geringe Schwierigkeit</b>	<b>Mäßige Schwierigkeit</b>	<b>Erhebliche Schwierigkeit</b>	<b>Nicht möglich</b>
Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
Schreiben	1	2	3	4	5
Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
Betten machen	1	2	3	4	5
Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
Einen schweren Gegenstand tragen (über 5kg)	1	2	3	4	5
Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	1	2	3	4	5
Ihre Haare waschen oder föhnen	1	2	3	4	5
Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z. B. Karten spielen, Stricken, usw.)	1	2	3	4	5

## Anhang

Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (z. B. Badminton, Frisbee)	1	2	3	4	5
Mit Fortbewegungsmitteln zurechtzukommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5
<b>In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)</b>	<b>Überhaupt nicht</b>	<b>Ein wenig</b>	<b>Mäßig</b>	<b>Ziemlich</b>	<b>Sehr</b>
	1	2	3	4	5
<b>Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)</b>	<b>Überhaupt nicht eingeschränkt</b>	<b>Ein wenig eingeschränkt</b>	<b>Mäßig eingeschränkt</b>	<b>Ziemlich eingeschränkt</b>	<b>Sehr eingeschränkt</b>
	1	2	3	4	5
<b>Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Beschwerden während der letzten Woche ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)</b>	<b>Keine</b>	<b>Leichte</b>	<b>Mäßige</b>	<b>Starke</b>	<b>Sehr Starke</b>
Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand bei der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit	1	2	3	4	5
Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
Steifheit in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
<b>Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von</b>	<b>Keine Schwierigkeit</b>	<b>Geringe Schwierigkeit</b>	<b>Mäßige Schwierigkeit</b>	<b>Erhebliche Schwierigkeit</b>	<b>Nicht möglich</b>

## Anhang

<b>Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)</b>					
	1	2	3	4	5
<b>Aufgrund meiner Probleme im Schulter-, Arm- oder Handbereich empfinde ich meine Fähigkeiten als eingeschränkt, ich habe weniger Selbstvertrauen oder ich fühle, dass ich mich weniger nützlich machen kann. (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)</b>	<b>Stimme überhaupt nicht zu</b>	<b>Stimme nicht zu</b>	<b>Weder Zustimmung noch Ablehnung</b>	<b>Stimme zu</b>	<b>Stimme sehr zu</b>
	1	2	3	4	5
<b>Resultat</b>					

**7.1.3 Simple Shoulder Test**

**Simple Shoulder Test**

Name: \_\_\_\_\_

Untersuchungsdatum: \_\_\_\_\_

Rechtshänder

Linkshänder

Beidhändig

Untersuchte Schulter:

rechts

links

<b>Aktuelle Problematik</b>		
	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>
1. Fühlt es sich angenehm an, wenn Sie Ihren Arm am Körper angelegt halten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ist es in der aktuellen Situation möglich, erholsam zu schlafen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Können Sie Ihren unteren Rücken/Lendenwirbelsäule erreichen, um sich ein T-Shirt/Hemd in die Hose zu stecken?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Können Sie Ihre Hand bei zur Seite gestrecktem Ellenbogen hinter den Kopf führen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Können Sie eine Münze in ein Regal legen, das sich auf Höhe Ihrer Schulter befindet ohne dabei den Ellenbogen zu beugen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Können Sie ein Gewicht von ca. 500g (z.B. Trinkflasche) mit gestrecktem Arm auf Schulterniveau anheben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Können Sie ein Gewicht von ca. 4kg mit gestrecktem Arm auf Schulterniveau anheben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Anhang

8. Ist es Ihnen möglich ein Gewicht von ca. 10kg (z.B. Einkaufstüte) mit dem betroffenen Arm zu tragen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Denken Sie, dass es Ihnen gelingt einen Softball ca. 10m weit mit dem betroffenen Arm zu werfen? (Hierbei werfen Sie den Ball von unten)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Denken Sie, dass es Ihnen gelingt einen Softball ca. 20m weit mit dem betroffenen Arm zu werfen? (Hierbei werfen Sie den Ball von oben)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Können Sie die Rückseite der nichtbetroffenen Schulter mit dem betroffenen Arm waschen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Wäre es mit dem aktuellen Zustand Ihrer Schulter möglich, in Ihrem regulären Beruf in Vollzeit zu arbeiten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### 7.1.4 Oxford-Shoulder-Score

### Oxford Shoulder Score (OSS)

Name: \_\_\_\_\_ Untersuchungsdatum: \_\_\_\_\_

Bitte beantworten Sie die folgenden 12 Multiple-Choice-Fragen:

Die Fragen beziehen sich hierbei ausdrücklich auf die letzten vier Wochen.

**Während der letzten vier Wochen....**

**1. Wie würden Sie die schlimmsten Schmerzen bezogen auf Ihre Schulter beschreiben?**

- a. Keine Schmerzen
- b. Geringe Schmerzen
- c. Mäßige/moderate Schmerzen
- d. Heftige Schmerzen
- e. Unerträgliche Schmerzen

**2. Hatten Sie Einschränkungen sich anzukleiden, die von Ihrer Schulter ausgingen?**

- a. Keine Einschränkungen
- b. Geringe Einschränkungen
- c. Mäßige/moderate Einschränkungen
- d. Extreme Einschränkungen
- e. Unmöglich sich selbst anzukleiden

**3. Hatten sie Einschränkungen beim Ein- oder Aussteigen ins Auto oder beim Benutzen von öffentlichen Verkehrsmitteln, die von Ihrer Schulter ausgingen?**

- a. Keine Einschränkungen
- b. Geringe Einschränkungen
- c. Mäßige/moderate Einschränkungen
- d. Extreme Einschränkungen
- e. Unmöglich diese Aktivitäten auszuführen

## Anhang

- 4. War es möglich Messer und Gabel gleichzeitig zu benutzen?**
- a. Ja, sehr einfach
  - b. Mit leichten Schwierigkeiten
  - c. Mit mäßigen/moderaten Schwierigkeiten
  - d. Mit extremen Schwierigkeiten
  - e. Nein, unmöglich
- 5. Konnten Sie die Haushaltseinkäufe selbständig erledigen?**
- a. Ja, sehr einfach
  - b. Mit leichten Schwierigkeiten
  - c. Mit mäßigen/moderaten Schwierigkeiten
  - d. Mit extremen Schwierigkeiten
  - e. Nein, unmöglich
- 6. Konnten Sie ein Tablett mit einem vollen Teller durch einen Raum tragen?**
- a. Ja, sehr einfach
  - b. Mit leichten Schwierigkeiten
  - c. Mit mäßigen/moderaten Schwierigkeiten
  - d. Mit extremen Schwierigkeiten
  - e. Nein, unmöglich
- 7. Konnten Sie Ihre Haare mit dem betroffenen Arm waschen oder kämmen?**
- a. Ja, sehr einfach
  - b. Mit leichten Schwierigkeiten
  - c. Mit mäßigen/moderaten Schwierigkeiten
  - d. Mit extremen Schwierigkeiten
  - e. Nein, unmöglich
- 8. Wie würden Sie die Schmerzen beschreiben, die üblicherweise von Ihrer Schulter ausgingen?**
- a. Keine Schmerzen
  - b. Sehr geringe Schmerzen
  - c. Geringe Schmerzen
  - d. Mäßige/moderate Schmerzen
  - e. Heftige Schmerzen

**9. War es Ihnen möglich, Ihre Kleidung/Jacke/Mantel mit dem betroffenen Arm an einer Garderobe aufzuhängen?**

- a. Ja, sehr einfach
- b. Mit leichten Schwierigkeiten
- c. Mit mäßigen/moderaten Schwierigkeiten
- d. Mit extremen Schwierigkeiten
- e. Nein, unmöglich

**10. War es Ihnen möglich, sich unter beiden Achseln zu waschen und abzutrocknen?**

- a. Ja, sehr einfach
- b. Mit leichten Schwierigkeiten
- c. Mit mäßigen/moderaten Schwierigkeiten
- d. Mit extremen Schwierigkeiten
- e. Nein, unmöglich

**11. Wie sehr haben Schmerzen ausgehend von Ihrer Schulter Ihre normale Arbeit (Hausarbeit eingeschlossen) beeinträchtigt?**

- a. Gar keine Beeinträchtigung
- b. Ein wenig Beeinträchtigung
- c. Mäßige/moderate Beeinträchtigung
- d. Sehr starke Beeinträchtigung
- e. Komplette Beeinträchtigung

**12. Wurden Sie nachts im Bett von Schmerzen in Ihrer Schulter heimgesucht?**

- a. Nein
- b. In 1-2 Nächten
- c. In wenigen Nächten
- d. In den meisten Nächten
- e. In jeder Nacht

## **8 Erklärung zum Eigenanteil**

Die Arbeit wurde in der BG Unfallklinik Tübingen unter Betreuung von Herrn Privatdozent Dr. med. F. Stuby durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch Herrn Privatdozent Dr. med. F. Stuby, Herrn Dr. med. M. Gühring und Herrn Dr. med. P. Ziegler.

Sämtliche in dieser Arbeit verwendete Daten wurden eigenständig von mir erhoben.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch das Institut für Biometrie der Universität Tübingen durch mich.

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

Tübingen, den 26.08.2019

Sven Maier

## 9 Veröffentlichung

Teilergebnisse, der in der vorliegenden Arbeit erhobenen Daten, flossen in folgende Publikation mit ein:

**Ziegler, P., Maier, S., Stöckle, U., Gühring, M., Stuby, FM.,** *Therapie der proximalen Humerusfraktur mit winkelstabiler Plattenosteosynthese.* Dtsch Arztebl International, 2019. 116(45): p. 757-763.

## **10 Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Herrn Privatdozent Dr. med. Fabian M. Stuby für die Übernahme der Betreuung dieser Arbeit. Ich danke Ihnen für den reibungslosen Ablauf sowie die unterstützenden Anregungen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Vielen Dank an Herrn Dr. med. Markus Gühring und Herrn Dr. med. Patrick Ziegler, dass ich mich stets auf Ihre Unterstützung und Hilfestellung bei aufkommenden Fragen verlassen konnte.

Dem Institut für klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen, hier besonders Frau Inka Rösel, danke ich für die Beratung bei der Auswertung der erhobenen Daten.

Ich danke Frau Corinna Di Mauro und Frau Tina Weihing aus dem Oberarztsekretariat der BG Klinik Tübingen für die Unterstützung bei administrativen Aufgaben und die Organisation der Nachuntersuchungen.

Ein großer Dank gilt meiner Frau Annika sowie meinen Eltern Ute und Reiner, die mich stets unterstützt und mir mit wertvollen Ratschlägen zur Seite gestanden haben.