

# Mittelfristige klinische und radiologische Ergebnisse nach Im- plantation einer Inversen Schulterprothese

Jakob Siebler

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München  
zur Erlangung eines

Doktors der Medizin (Dr. med.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitz: apl. Prof. Dr. Stefan Thorban

Prüfer\*innen der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. Sebastian Siebenlist
2. apl. Prof. Dr. Hans W. Gollwitzer

Die Dissertation wurde am 25.10.2022 bei der Technischen Universität München eingereicht  
und durch die Fakultät für Medizin am 16.05.2023 angenommen.

---

Prof. Dr. med. Sebastian Siebenlist  
Sektion für Sportorthopädie  
Klinikum rechts der Isar  
der Technischen Universität München

Mittelfristige klinische und  
radiologische Ergebnisse nach  
Implantation einer Inversen  
Schulterprothese

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Technischen Universität München

Jakob Siebler

München

2022



---

Meinen Eltern

---

## Verzeichnis der Abkürzungen

°:	Grad
A.:	Arteria
a.p.:	anterior-posterior
Abb.:	Abbildung
ADL:	Aktivitäten des täglichen Lebens
ASES:	Amerikanische Gesellschaft für Schulter- und Ellenbogenchirurgen
BMI:	Body-Mass-Index
BWS:	Brustwirbelsäule
bzw.:	Beziehungsweise
cm:	Zentimeter
DVSE:	Deutsche Vereinigung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie
ISG:	Iliosakralgelenk
KI:	Konfidenzintervall
kg:	Kilogramm
Lig.:	Ligamentum
LWS:	Lendenwirbelsäule
(M):	Modifiziert
M.:	Musculus
m <sup>2</sup> :	Quadratmeter
mm:	Millimeter
MW:	Mittelwert
N.:	Nervus
Nr.:	Nummer
NRS:	Numerische-Rating-Skala
OP:	Operation
PACS:	Picture archiving and communication system
ROM:	Range of motion/Bewegungsumfang
SD:	Standardabweichung
Tab.:	Tabelle
V.:	Vena
VAS:	Visuell analoge Schmerzskala
vgl.:	vergleiche
vs.:	versus

---

## **Glossar**

Bias	Verzerrungseffekt.
Compliance	Bereitschaft des Patienten, sich an die Vorgaben des Arztes zu halten.
Debridement	Chirurgische Reinigung eines Infekts oder einer Wunde.
Follow-up	Zeit zwischen Operation und Nachuntersuchung.
High-impact Sportarten	Sportarten mit abrupten Bewegungen, Stoßbelastungen und Belastungsspitzen.
Pressfit-Implantation	Zementlose Implantation einer Prothese mit Verankerung durch „verklemmen“.
Radiolucent lines	Radiologische Aufhellungen zwischen Prothese und Knochen.
Return-to-sport-Rate	Prozentsatz der präoperativ sportlichen Personen, welche postoperativ ihren Sport wieder aufnehmen.
Spot Welds	Radiologische Verdichtung des Knochens zwischen Schaftkomponente und der Kortikalis des Knochens.
Scapula-Notching	Defekt im Knochen am inferioren Pol der Glenosphäre der Inversen Schulterprothese. Einteilung in vier Grade nach Sirveaux.

---

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1	Fragestellung.....	1
1.2	Anatomie und Biomechanik des Schultergelenks .....	3
1.3	Die Inverse Schulterprothese .....	6
1.3.1	Indikationen.....	6
1.3.2	Prinzip und Biomechanik.....	8
1.3.3	Operationstechnik .....	13
1.3.4	Ergebnisse nach Inverser Schulterprothese .....	15
1.4	Sport nach inverser Schulterprothese – Stand der Forschung.....	20
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODE.....</b>	<b>22</b>
2.1	Studienaufbau.....	22
2.2	Nachuntersuchung .....	24
2.2.1	Klinische Untersuchung .....	24
2.2.2	Sportfragebogen.....	26
2.2.3	Standardisierte Scores .....	27
2.2.4	Radiologische Untersuchung .....	30
2.3	Statistische Auswertung .....	35
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>36</b>
3.1	Patientenkollektiv .....	36
3.2	Ergebnisse der klinischen Untersuchung .....	40
3.3	Ergebnisse Sportfragebogen .....	43
3.4	Ergebnisse standardisierte Scores .....	46
3.5	Ergebnisse der radiologischen Untersuchung.....	49

---

3.5.1	Radiologische Ergebnisse humeral .....	49
3.5.2	Radiologische Ergebnisse glenoidal.....	52
3.6	Komplikationen .....	55
<b>4</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>76</b>
9.1	Untersuchungsprotokoll und Sportfragebogen.....	76
9.2	Standardisierte Scores.....	81
9.3	Statistische Auswertung .....	90
<b>10</b>	<b>DANKSAGUNG.....</b>	<b>102</b>
<b>11</b>	<b>CURRICULUM VITAE..... FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.</b>	

# 1 Einleitung

## 1.1 Fragestellung

Deutschlandweit stieg in den letzten Jahren die Anzahl der implantierten Inversen Schulterprothesen. Zusätzlich werden die Indikationen zur Implantation einer Inversen Schulterprothese stetig erweitert (Kettler et al., 2006; Klug et al., 2019; Westermann et al., 2015). Die von Paul Grammont 1985 eingeführte Prothese wird nicht nur häufiger implantiert, sondern überzeugt auch durch die aktuell ermittelten Standzeiten. 15 Jahre nach der Operation (OP) haben 85% der Patienten eine intakte Prothese (Ernstbrunner et al., 2019). Das ist vergleichbar mit den Zahlen der Hüftprothesen (Aldinger et al., 2009). Die langen Überlebensraten rechtfertigen zunehmend den Einsatz der Inversen Schulterprothese bei jüngeren Patienten. So profitieren heute auch Patienten unter 60 Jahren von diesem Prothesendesign und zeigen gute subjektive, sowie gute objektiv funktionelle Ergebnisse (Ek et al., 2013; Samuelsen et al., 2017). Es ist anzunehmen, dass jüngere Patienten einen höheren funktionellen Anspruch an das Gelenk haben und aktiver sind. Dementsprechend ist für diese Patientenkohorte auch die postoperative Rückkehr zu ihren üblichen sportlichen Aktivitäten von Bedeutung (Rauck et al., 2018). Allerdings wurden Patienten bis zuletzt in 45% der Fälle durch den Operateur angehalten, nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese nicht zu sportlichen Aktivitäten zurück zu kehren (Golant et al., 2012). Ob sich eine vermehrte sportliche Aktivität negativ auf das klinische und radiologische Ergebnis auswirkt, ist bisher noch nicht ausreichend untersucht.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, folgende Punkte zu untersuchen:

- Wie wirkt sich eine sportliche Betätigung auf die mittelfristigen klinischen und radiologischen Ergebnisse nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese aus?
- Wie hoch ist die Rückkehrrate zum Sport (Return-to-sport-Rate) nach OP?

Dabei wurden zwei Hypothesen aufgestellt:

1. Die Mehrheit der Patienten kehrt zum ursprünglichen Sport- und Aktivitätsniveau zurück.
2. Es zeigen sich im mittelfristigen Nachuntersuchungszeitraum in der sportlich aktiven Kohorte vermehrt radiologische Veränderungen, wie Lockerung oder Scapula-Notching.

## **1.2 Anatomie und Biomechanik des Schultergelenks**

Das Schultergelenk ist das beweglichste Gelenk des menschlichen Körpers. Dies liegt an dem Zusammenspiel einer fünf-gliedrigen Gelenkkette, einem wenig formschlüssigen Glenohumeralgelenk, welches durch das Labrum glenoidale eine „mobile“ Vergrößerung der Glenoidfläche erfährt, sowie einer funktionell gut ausgewogenen, umgebenden Muskulatur (F. Gohlke, 2000). Die fünf-gliedrige Gelenkkette besteht aus drei echten Gelenken: dem Sternoklavikulargelenk, dem Akromioklavikulargelenk und dem Glenohumeralgelenk. Das Flächenverhältnis im Glenohumeralgelenk zwischen Humeruskopf (Caput humeri) und der Gelenkfläche der Scapula (Cavitas glenoidalis) beträgt 4:1 (Putz, 1985). Da im Glenohumeralgelenk auch Translationsbewegungen auftreten, besitzt es fünf Freiheitsgrade. Ein derart flexibles Gelenk benötigt ein Maximum an Stabilität, welche durch die Rotatorenmanschette, die Gelenkkapsel, das Labrum glenoidale, einen negativen intraartikulären Druck, sowie durch die knöcherne Form gegeben ist (F. Gohlke, 2000).

### **Knöcherne und ligamentäre Strukturen des Glenohumeralgelenks**

Das Glenohumeralgelenk besteht aus dem Humeruskopf und der Gelenkfläche (Pfanne) der Scapula. In einem stabilen und kraftschlüssigen Gelenk zieht der resultierende Kraftvektor bei jeder Bewegung durch die Pfanne und der Humeruskopf behält dadurch seine zentrale Position (F. Gohlke, 2000). Der Processus coracoideus und das Acromion bilden zusammen mit dem Lig. coracacromiale das Schulterdach, die Fornix humeri (vgl. Abb. 1). Dieses sichert die Schulter gegen eine Verschiebung nach kranial, nach dorsal und auch ventral. Nach außen grenzt die Gelenkkapsel das Glenohumeralgelenk ab. Sie setzt sich unter anderem aus dem Lig. glenohumerales (superius, medium und inferius) und dem Lig. coracohumerales zusammen. Diese Li-

gamente geben der Schulter, in ihrem teils zirkulären Zusammenspiel, Stabilität und zentrieren den Humeruskopf in der Cavitas glenoidalis (Warner et al., 1992).

## Muskulatur der Schulter

In Bezug auf das Schultergelenk gibt es zwei Gruppen von Muskulatur: die gelenknahe und die gelenkferne Muskulatur (vgl. Abb. 2). Die Sehnen der meisten gelenknahe Muskeln (ventral: M. subscapularis; cranial: M. supraspinatus; dorsal: M. infraspinatus, M. teres minor) verschmelzen mit der Gelenkkapsel zu einer derben Sehnenkappe um das Schultergelenk und inserieren am Tuberculum majus und minus. Somit inserieren sie jeweils direkt am Humeruskopf und werden zusammen als Rotatorenmanschette bezeichnet. Die Intaktheit beziehungsweise (bzw.) Rekonstruktion dieser ist für die anatomische Schulterprothese von Relevanz.

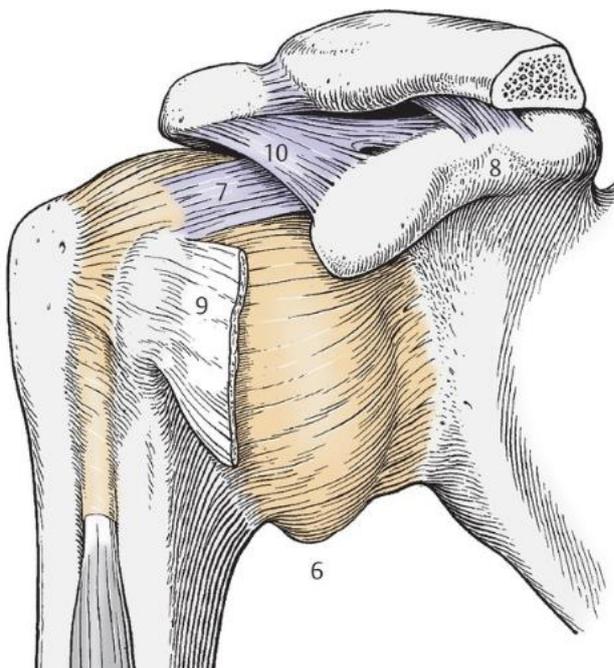


Abbildung 1: Glenohumeralgelenk von ventral

6: Recessus axillaris, 7: Lig. Coracohumerale, 8: Processus coracoideus, 9: M. subscapularis, 10: Lig. coracoacromiale. Aus : (Platzer & Shiozawa, 2018) (M)

© Georg Thieme Verlag KG, mit freundlicher Genehmigung

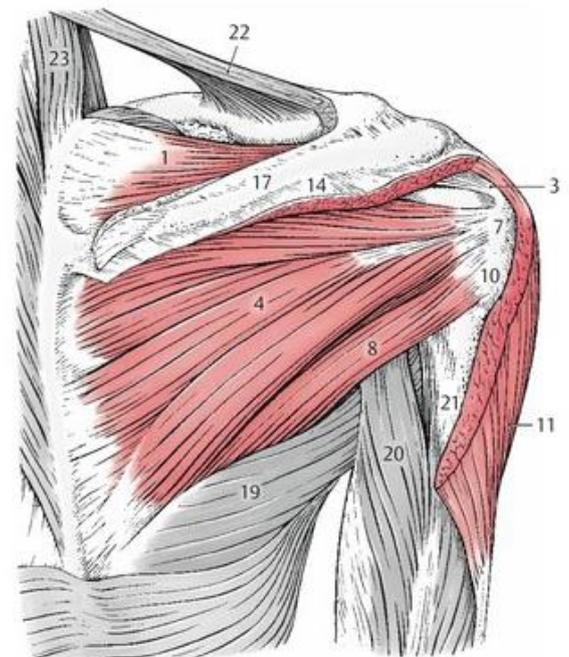


Abbildung 2: Dorsale Schultermuskeln.

1: M. Supraspinatus, 4: M. Infraspinatus, 8: M. teres minor, 11&14: M. deltoideus, 19: M. teres major, 20: M. triceps brachii, Caput longum. Aus: (Platzer & Shiozawa, 2018) (M)

© Georg Thieme Verlag KG, mit freundlicher Genehmigung

Der wichtigste Muskel für die Funktion der Inversen Schulterprothese, der M. deltoideus (Nr. 11 und 14 in Abb. 2) bildet einen direkten Muskelmantel um das Glenohumeralgelenk und den proximalen Humerus und übernimmt die Abduktionsbewegung (Putz, 1985). Eine wichtige Aufgabe der Rotatorenmanschette ist die antagonistische und haltende Wirkung gegenüber Muskeln mit langem Hebelarm, wie beispielsweise dem M. deltoideus, und somit die Zentrierung des Humeruskopfes. Der M. subscapularis und der M. infraspinatus wirken dabei gemeinsam als „force couple“. Welche Kräfte hierbei in der Schulter wirken wird deutlich, wenn man die Kompressionskraft des Humeruskopfes an der Scapula betrachtet: Bei einer Abduktion von 90° entspricht die Kompressionskraft, also die Kraft, welche größtenteils die Rotatorenmanschette aufbringt, bereits rund 50 % des Körpergewichts (Luo et al., 1998). Eine häufige Indikation der Inversen Schulterprothese ist die defekte Rotatorenmanschette mit sekundärer Kranialisierung des Humeruskopfes – die sogenannte Rotatorenmanschettendefektarthropathie.

### **Leitungsbahnen der Schulter**

Für die Funktionalität der Inversen Schulterprothese ist der N. axillaris von großer Relevanz, da dieser den M. deltoideus innerviert (Schünke et al., 2005). Diesen, sowie seine begleitenden Gefäße, gilt es intraoperativ zu schonen und seine Funktion präoperativ zu testen.

## **1.3 Die Inverse Schulterprothese**

### **1.3.1 Indikationen**

Oberstes Maß der Endoprothetik ist eine möglichst ursprüngliche Wiederherstellung der anatomischen Strukturen. Trotz dieser Annahme zeigte sich, dass die anatomische Schulterprothese nicht für alle Pathologien die ideale Lösung darstellt, da sie zum einen eine intakte Rotatorenmanschette voraussetzt und zum anderen Komplikationen, wie Glenoidlockerungen und sekundäre Rotatorenmanschetteninsuffizienz, im langfristigen Outcome zu erwarten sind (R. W. Simovitch et al., 2017). Auch Paul Grammont, der Entwickler der Inversen Schulterprothese, plädierte für eine möglichst anatomische Rekonstruktion. Für die Rotatorenmanschette gibt es allerdings keinen validen anatomischen Ersatz. Geleitet von diesen Beobachtungen und der Idee der Umkehr des Glenohumeralgelenks von Charles S. Neer aus den 1970er Jahren (Flatow & Harrison, 2011), konzipierte Grammont Mitte der 1980er-Jahre die erste Inverse Schulterprothese, die „Delta Prothese“. Diese war für ältere Patienten mit irreparabler Rotatorenmanschettenruptur gedacht (Grammont & Baulot, 1993). In Abb. 3 ist eine heutige Inverse Schulterprothese dargestellt.

Die Defektarthropathie, eine sekundäre Omarthrose als Folge einer insuffizienten Rotatorenmanschette (F Gohlke, 2009), stellt weiterhin eine häufige Indikation für die Inverse Schulterprothese dar. Heute reicht das Einsatzgebiet der Inversen Schulterprothese allerdings weiter: Heute kann beispielsweise auch die proximale mehrfragmentäre Humerusfraktur oder deren sekundären Folgen eine Indikation für die Inverse Schulterprothese darstellen. Bei Frakturen um die Insertionsstellen der Rotatorenmanschette, also die Tubercula minor et major, mit fehlender Aussicht auf Heilung bei der klassischen Osteosynthese, ist für ältere Patienten die Implantation einer Inverse Schulterprothese eine erfolgsversprechende Option. Speziell ältere Patienten

profitieren davon, nicht erst die Heilung der Tubercula, wie bei der Osteosynthese, abwarten zu müssen (Shannon et al., 2016).



*Abbildung 3: Darstellung einer Inversen Schulterprothese*

© Arthrex GmbH 2021, mit freundlicher Genehmigung

Eine weitere Indikation stellt die Revision einer anatomischen Schulterprothese dar. Ist diese nach anteriorsuperior migriert, so liegt eine Insuffizienz der Rotatorenmanschette nahe. Nachdem die Inverse Schulterprothese die Unterstützung der Rotatorenmanschette nicht benötigt, ist sie in diesem Fall eine mögliche chirurgische Lösung (Flury et al., 2011). Versagt eine anatomische Schulterprothese aufgrund der Glenoidkomponente, so ist dies mit einer anatomischen Revisionsprothese nicht immer zu adressieren. Die Inverse Prothese ist hier durch ihre besseren Fixierungsmöglichkeiten am Glenoid teils von Vorteil (Holcomb et al., 2009). Auch bei glenoidalem

Knochenverlust ohne primäre anatomische Schulterprothese stellt die Inverse Schulterprothese eine Option dar. Zusätzlich bleibt festzustellen: Zeigt sich glenoidal ein Tumor, eine inflammatorische oder rheumatoide Arthritis, so ist die Verankerung der Glenoidkomponente einer Inversen Schulterprothese besser und sicherer als die einer anatomischen Prothese (Hyun et al., 2013). Müssen bei der onkologischen Resektion auch die Tubercula reseziert werden, ermöglicht, bei fehlender Rotatorenmanschette, die Inverse Schulterprothese, als einziges Implantat, weiterhin eine stabile Schulter (Maclean et al., 2017). Als letzte Indikation bleibt die Massenruptur der Rotatorenmanschette zu nennen: In seltenen Fällen lässt sich diese konventionell nicht mehr rekonstruieren, wodurch die Inverse Schulterprothese auch hier in den Vordergrund rückt (Mulieri et al., 2010).

### **1.3.2 Prinzip und Biomechanik**

Das primäre Ziel der Schulterendoprothetik ist es Schmerz zu lindern und die Funktion zu verbessern. Dies kann sowohl durch die Rekonstruktion, aber auch durch die Neubildung der funktionellen Anatomie gelingen. Falls anatomische Strukturen fehlen oder nicht mehr vorhanden sind, wie es beispielsweise bei der Defektarthropathie mit der Rotatorenmanschette der Fall ist, ist zweiteres notwendig. Die Inverse Schulterprothese versucht nicht das verletzte Gewebe so anatomisch wie möglich zu rekonstruieren, sondern nutzt das übrige funktionelle Gewebe, vor allem den M. deltoideus, um die Schulterfunktion wieder bestmöglich herzustellen. Dabei dreht sie die native Anatomie des Schultergelenks um. So wechselt die Gelenkpfanne, also die konkave Komponente, von der scapulären Seite auf den Humerus und der Gelenkkopf, also die konvexe Komponente, entsprechend umgekehrt.

Allgemein basiert das Konzept der Inversen Schulterprothese auf folgenden vier Prinzipien:

- Das Drehzentrum der Prothese ist medialisiert.
- Das Drehzentrum ist fixiert.
- Der M. deltoideus erlangt einen besseren Hebelarm und Vorspannung.
- Der glenoidale Teil der Prothese ist deutlich größer als der Humerale und garantiert somit einen großen Bewegungsumfang (ROM, siehe Abb. 4) (Berliner et al., 2015; Rugg, Coughlan, & Lansdown, 2019).

### **Neues Drehzentrum**

Um ein Maximum an Stabilität zu erreichen, muss die Inverse Schulterprothese Scherkräfte am Glenoid minimieren und Kompressionskräfte in Richtung des Knochens maximieren. Dies gelingt vor allem mit der Änderung des Drehzentrums (vgl. Abb. 4). Nachdem die Halbkugel der glenoidale Komponente der Inversen Schulterprothese direkt auf der ursprünglichen Cavitas glenoidalis fixiert wird, medialisiert sich das Drehzentrum des neuen Gelenks und liegt direkt dem Knochen auf. Scherkräfte leitet die Prothese somit direkt in den Knochen weiter, was zu einer stärkeren Kompressionskraft (FC) und einer stabileren Fixierung führt (Kontaxis & Johnson, 2009). Die auf das Schultergelenk einwirkenden Kräfte sind bei einer Schulter mit einliegender Inverser Schulterprothese nur nahezu halb so groß wie in einem physiologischen Gelenk (David C Ackland et al., 2011). Dies verdankt man hauptsächlich dem fixierten Drehpunkt, der, im Gegensatz zu der physiologischen Situation, keine translatorischen Bewegungen mehr zulässt.

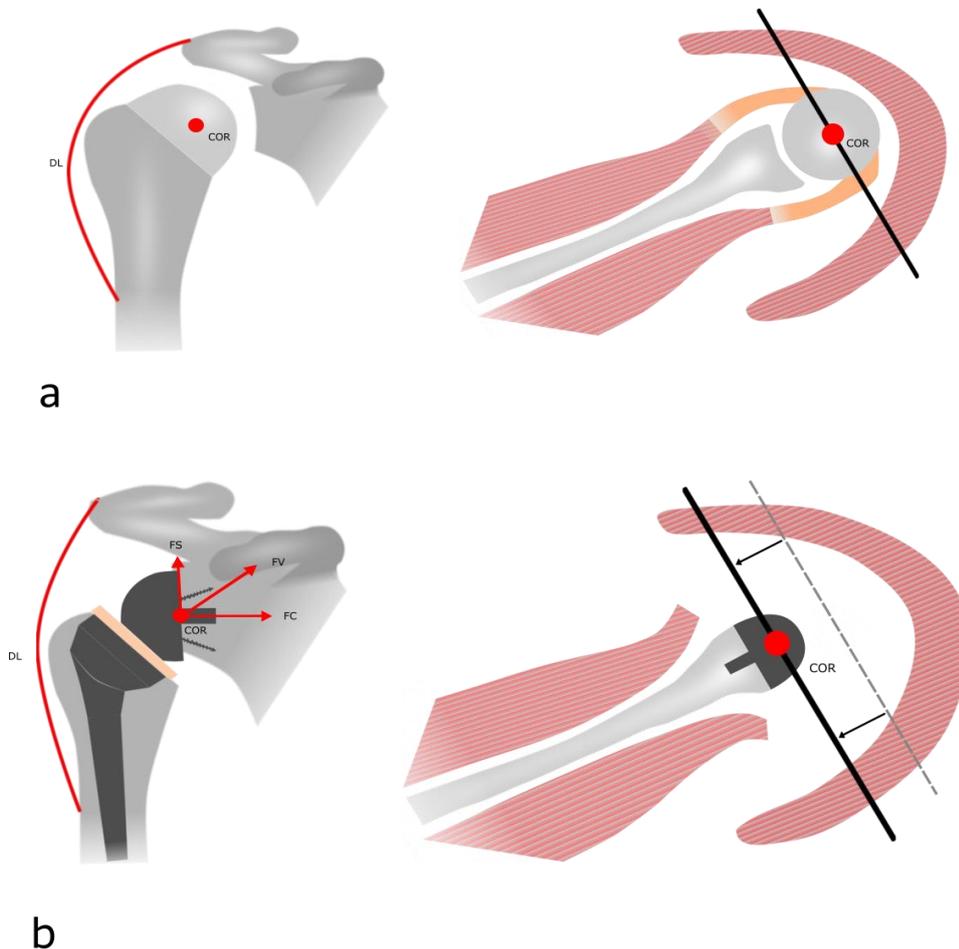


Abbildung 4: Biomechanische Eigenschaften der Inversen Schulterprothese

**a:** Physiologisches Glenohumeralgelenk mit Drehpunkt (COR) und M. deltoideus (DL), physiologisches Glenohumeralgelenk von cranial mit Drehpunkt (COR) und transversaler Rotationsachse (schwarze Linie) in Relation zum M. deltoideus (roter Halbkreis); **b:** Inverse Schulterprothese mit neuem Drehpunkt, verlängertem M. deltoideus und den Vektoren für die drei Kräfte Kompressionskraft (FC), Scherkraft (FS), resultierende Kraft (FV), Inverse Schulterprothese (d) von cranial mit Drehpunkt (COR) und medialisierter transversaler Rotationsachse (schwarze Linie) in Relation zur physiologischen Drehlinie (gestrichelte Linie). Modifiziert nach Rugg et al. (Rugg et al., 2019)

Die Medialisierung des Drehpunktes hat nicht nur für die Stabilität der Prothese Vorteile. Abbildung 4b verdeutlicht, wie sich auch der Angriffswinkel des M. deltoideus durch die Medialisierung verändert. Bei der Inversen Schulterprothese liegen mehr Fasern des Muskels lateral der Transversalachse der Schulter, sodass der M. deltoideus bei der Abduktion doppelt so viel Kraft aufbringen kann (Terrier et al., 2008). Auch wenn die Medialisierung des Drehpunktes in der Schulter mehr Muskelfasern des M. deltoideus akquiriert, verliert der Muskel einen Teil des Hebelarmes. Denn der Ansatzpunkt des M. deltoideus liegt, da der Humerus insgesamt kaudaler liegt,

tiefer. Dadurch wird zusätzlich auch der gesamte Arm des Patienten länger (Kontaxis & Johnson, 2009).

### **Glenoidkomponente**

Bei einer medialisierten Glenoidkomponente kann eine erhöhte Rate an Scapula-Notching auftreten (Permeswaran et al., 2017). Scapula-Notching bezeichnet einen Defekt im Knochen am inferioren Pol der Glenosphäre der Inversen Schulterprothese und wird nach Sirveaux in vier Schweregrade eingeteilt (Sirveaux et al., 2004). Hierzu kommt es vermutlich durch einen mechanischen Konflikt des inferioren, medialen Teils der Schaftkomponente der Inversen Schulterprothese mit dem Glenoid. Darüber hinaus wird der Einfluss des Abriebs des polyethylen Inlays für ein Scapula-Notching diskutiert (Christophe Lévine et al., 2008). Auch wenn der Zusammenhang des Scapula-Notching mit einem schlechteren klinischen Ergebnis noch nicht nachgewiesen werden konnte, liegt der Zusammenhang mit einem mechanischen Versagen bzw. einer Dislokation der Glenoidkomponente zumindest nahe (Sirveaux et al., 2004). Um die ROM, zu verbessern und ein Scapula-Notching zu verhindern, existieren lateralisierte Varianten der Glenosphäre, welche den Drehpunkt nach lateral verlagern. Alternativ kann dies auch über einen knöchernen Aufbau erreicht werden. Diese Lateralisierung verbessert die ROM signifikant im Vergleich zur ursprünglich komplett medialisierten Glenosphäre und auch ein weniger starkes Scapula-Notching kann nachgewiesen werden (Hettrich et al., 2015). Bei einer Lateralisierung des Drehzentrums treten allerdings größere rotatorische Kräfte an der Glenoidkomponente auf. Bei nicht lateralisierten Varianten sind diese rotatorischen Kräfte kleiner, da das Drehzentrum des Gelenks direkt am Übergang von Prothese und Knochen liegt (Berliner et al., 2015). Ob dadurch langfristig die Stabilität der Glenoidkompo-

nente negativ beeinflusst, konnte bis dato noch nicht mit Sicherheit gezeigt werden (Helmkamp et al., 2018).

Des Weiteren zeigte sich durch eine Kaudalisierung der Basisplatte des Glenoids eine Reduktion bzw. Verhinderung von Scapula-Notching (De Wilde et al., 2010).

### **Schaftkomponente**

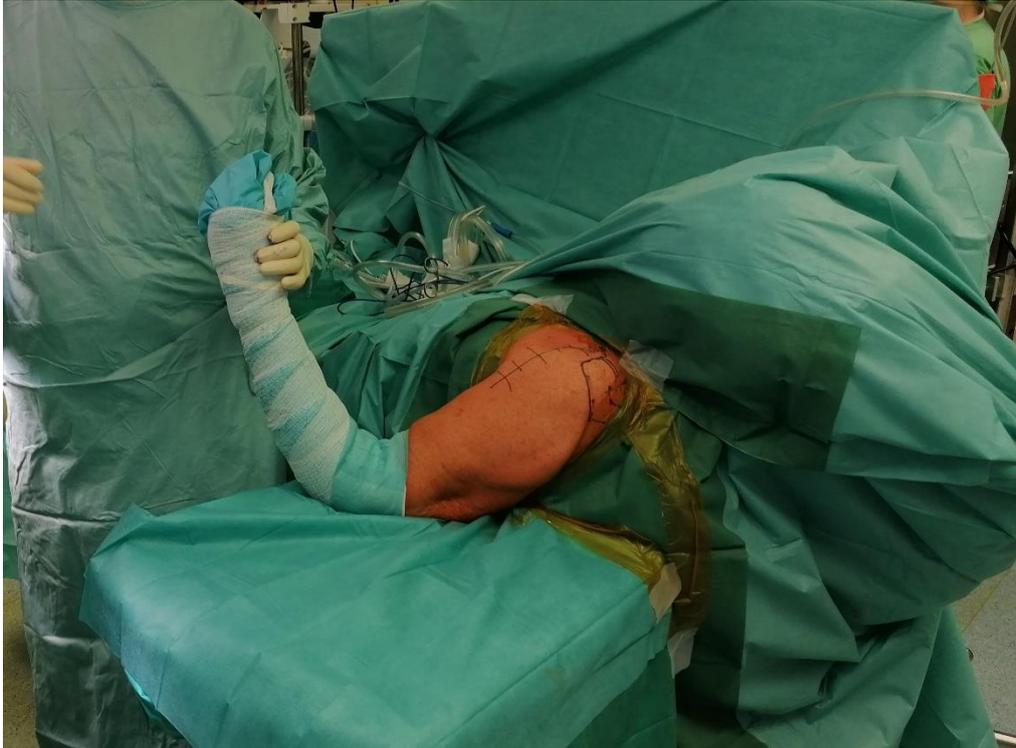
Seit der ersten Inversen Schulterprothese von Grammont, der „Delta Prothese“, hat sich auch das Design des Schaftes weiterentwickelt. Grammont postulierte einen Schaft mit einem Hals-Schaft-Winkel von  $155^\circ$ . Der Vorteil des nicht anatomischen Winkels war für Grammont eine bessere Vorspannung des M. Deltoideus, sowie, kombiniert mit der kleinen humeralen Gelenkpfanne, eine größere ROM ohne superiores Impingement (Boileau et al., 2005). Die Prothesen mit einem Hals-Schaft-Winkel von  $155^\circ$  ermöglichten jedoch nur eine reduzierte Adduktion und neigten zu Scapula-Notching. So kam die Idee auf, sich beim Schaft dem anatomischen Winkeln anzunähern. Der anatomische Winkel zwischen Oberarmkopf und Schaftachse des Humerus ist  $120\text{-}130^\circ$  (Jerosch & Heisel, 2013, S. 3). So existieren heute auch Inverse Schulterprothesen mit beispielsweise einem Schaft-Hals-Winkel von  $135^\circ$  und  $145^\circ$ . Studien haben gezeigt, dass die Überlegungen richtig waren und sich bei einem kleineren Winkel die Adduktion verbessert und das Scapula-Notching abnimmt (Gutiérrez et al., 2008; Lädermann et al., 2015). Im biomechanischen Simulationsmodell ergeben sich für die ROM maximale Werte für die Inverse Schulterprothese mit einem Hals-Schaft-Winkel von  $135^\circ$ . Die Prothesen mit einem Hals-Schaft-Winkel von  $155^\circ$  sind hierbei signifikant unterlegen (Jeon et al., 2016). Patienten mit einem Hals-Schaft-Winkel von  $145^\circ$  haben eine um  $10^\circ$  größere impingementfreie Adduktion, als Patienten mit  $155^\circ$  (De Wilde et al., 2010). Anfänglich bestand zudem die Sorge, dass Prothesen mit einem kleineren Hals-Schaft-Winkel eine höhere Luxa-

tionsrate aufweisen. Dies konnte zwar bestätigt werden, durch eine vermehrte Lateralisierung und entsprechender Deltavorspannung kann dieser Effekt jedoch reduziert werden (Erickson et al., 2015).

Erforscht werden aktuell auch schafffreie Implantate, von welchen man sich unter anderem weniger humerale Osteolysen erhofft (Krukenberg et al., 2018). Goldstandard in der Inversen Schulterendoprothetik sind bis dato aber weiterhin die Schaftprothesen, da sie sich bewährt haben und gute Langzeitergebnisse zeigen.

### **1.3.3 Operationstechnik**

Die Operation der Inversen Schulterprothese erfolgt in der Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar wie folgt: Der Patient wird, in Intubationsnarkose in der Beachchair-Position (siehe Abb. 5) gelagert. Nach Anlage eines Deltoideopectoralen Zugangs wird unter Schonung der V. cephalica die Sehne des M. pectoralis major inzidiert, die Gefäße der A. circumflexa humeri anterior dargestellt und legiert, sowie der N. axillaris dargestellt. Anschließend wird der M. subscapularis, falls er noch intakt ist, am Tuberculum minus mit einem Weichteilsteg von knapp einem Zentimeter abgesetzt. Die Sehne des M. biceps brachii, Caput longum wird aus dem Sulcus herausluxiert, am Tuberculum supraglenoidale abgetrennt und subpektoral weichteilig tenodenisiert.



*Abbildung 5: Beachchair-Lagerung eines Patienten zur Implantation einer Inversen Schulterprothese am linken Schultergelenk*

Der nächste Schritt ist das Herausluxieren des Humeruskopfes, was in Außenrotation geschieht. Mit Hilfe eines Zielinstrumentariums wird dann, mit entsprechender Inklination und Retroversion, die Kopfkalotte des Humerus reseziert. Anschließend wird das Glenoid präpariert. Hierbei wird zunächst die Kapsel, inklusive des Restlabrums, zirkulär reseziert und, vor allem caudal, mobilisiert um eine gute Sicht zu gewährleisten. Darauffolgend wird das Glenoid, mit Hilfe eines zentralen Führungsdrahtes, aufgefräst. Es folgen die übrigen Bohrungen für die Basisplatte, welche im Anschluss mit passenden Schrauben fixiert wird. Um die Glenoidkomponente abzuschließen, wird mit einer Rundfräse um die Basisplatte gefräst und die passende Glenosphäre aufgebracht.

Für den Humerusschaft wird primär schrittweise die Metaphyse bis zur passenden Schaftgröße aufgeraspelt. Die definitive Schaftkomponente wird mit der entsprechenden Metaglene für eine Pressfit-Implantation eingeschlagen. Sollte eine zemen-

tierte Verankerung des Schaftes nötig sein, muss zuvor der Zement eingebracht werden. Als nächstes folgt das Polyethyleninlay. Hier wird primär ein Probeinlay eingebracht und klinisch die Prothesenspannung getestet. Hierbei wird vor allem auf eine gute Bewegungsfreiheit, sowie eine fehlende Luxationstendenz geachtet. Nach einer radiologischen Kontrolle, muss das Gelenk erneut luxiert werden und das endgültige und passende Inlay eingebracht werden. Daraufhin wird, falls vorhanden und möglich, die Sehne des M. subscapularis wieder transossär und transtendinös vernäht. Mit einer Spülung des Situs, der Einlage einer Redondrainage, sowie einem stufenweisen Wundverschluss wird die Operation anschließend beendet.

### **1.3.4 Ergebnisse nach Inverser Schulterprothese**

Patienten profitieren von der Implantation einer Inversen Schulterprothese. Eine Metaanalyse zeigt: Selbst zehn Jahre nach der Operation ist sowohl das klinische Ergebnis, als auch die Schulter Scores signifikant besser, im Vergleich zum Zeitpunkt vor der Operation. So verbesserte sich beispielsweise der Constant Score im Schnitt von 24 Punkten präoperativ, auf 59 Punkte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (Ernstbrunner et al., 2019). Bei einem minimalen, klinisch relevanten Unterschied des Constant Scores von 8-10 Punkten (Dabija & Jain, 2019), wirkt sich diese Verbesserung des Scores auch klinisch aus. Klinisch kann nur die Außenrotation nicht signifikant verbessert werden (Ernstbrunner et al., 2019). Dies liegt vor allem an der Lateralisierung der Glenosphäre, aber auch an der fehlenden Rotatorenmanschette, vor allem dem fehlenden M. teres minor (Ernstbrunner et al., 2019).

### **Komplikationen der Glenoidkomponente**

Komplikationen der Glenoidkomponente reichen von einer Lockerung der gesamten Komponente, über Lockerungen bzw. Bruch der Schrauben, bis hin zu Scapulahals-

frakturen. Die Lockerung der Glenoidkomponente ist hierbei die häufigste Komplikation und liegt nach zwei Jahren bei rund 4,1% (Farshad & Gerber, 2010). Allgemein ist die Lockerung der Glenoidkomponente, welche ein häufiger Grund für eine Revision ist (Fevang et al., 2009), bei der Inversen Schulterprothese seltener als bei der anatomischen Schulterprothese. Sogenannte radiolucent lines (röntgenstrahlendurchlässige Bereiche direkt an der Prothese) lassen eine Lockerung diagnostizieren. Sind sie um die komplette Glenoidkomponente  $\geq 1,5\text{mm}$ , so ist eine Lockerung dieser anzunehmen. Darüber hinaus wird die Glenoidkomponente als locker betrachtet, sollte sie verkippt, gesintert, verdreht oder migriert sein (Durchholz et al., 2019; Melis et al., 2011).

### **Scapula-Notching**

Das häufigste Problem der Inversen Schulterprothesen ist das Scapula-Notching. Laut der Metaanalyse von Ernstbrunner et al. tritt zehn Jahren nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese bei 93% der Patienten ein Scapula-Notching auf. 45% davon haben allerdings nur ein Notching von Grad 1 oder 2 (Ernstbrunner et al., 2019). Die Schwere des Scapula-Notching nimmt über die Zeit zu und korreliert positiv mit der Kraft des Patienten. Bis heute konnte kein Zusammenhang zwischen Schmerz oder einem schlechteren klinischen Ergebnis und dem Scapula-Notching bewiesen werden. Zusätzlich tritt ein medialer Knochensporn am inferioren Glenoid häufiger in Zusammenhang mit einem Scapula-Notching auf (siehe Abb. 6) (Christophe Lévine et al., 2008). Melis et al. zeigten: In 75% der Schultern mit Inversen Schulterprothesen sind ein Knochensporn oder heterotope Ossifikationen zu finden (Melis et al., 2011). Nachdem diese zu mechanischen Problemen führen und die ROM einschränken können, gilt es diese, ebenso wie das Scapula-Notching, zu vermeiden (Verhofste et al., 2016).

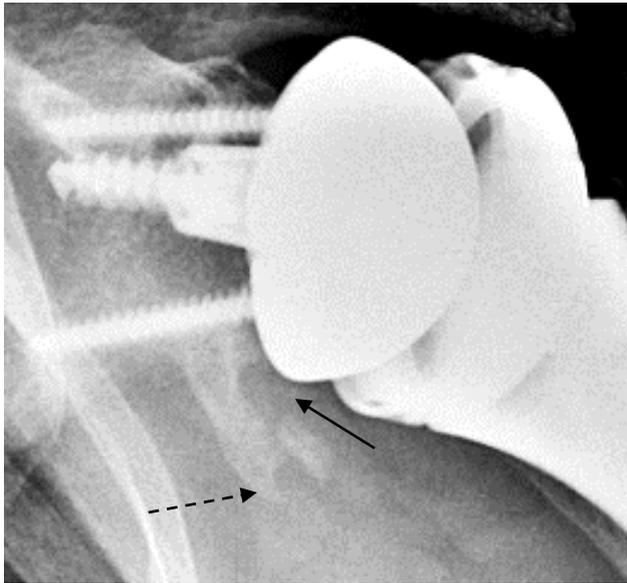


Abbildung 6: Scapula-Notching Grad 1 nach Sirveaux (Pfeil schwarz) und knöcherner Sporn am inferioren Glenoidpol (Pfeil gestrichelt)

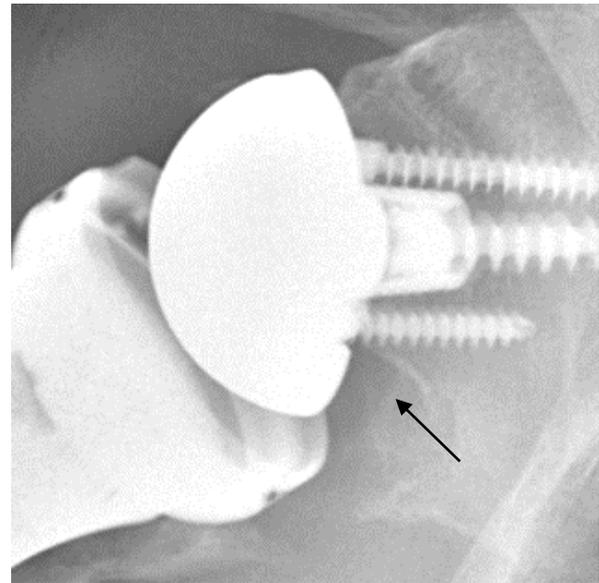


Abbildung 7: Scapula-Notching Grad 2 nach Sirveaux (Pfeil)

### **Komplikationen des Schaftes**

Auch der Schaft kann sich lockern. Ähnlich zur Glenoidkomponente wird der Schaft als locker angesehen, sollte er verkippt oder gesintert sein. Um radiolucent lines am Schaft zu klassifizieren, wird dieser für Metaphyse und Diaphyse getrennt beurteilt. Treten komplett um beide dieser Kompartimente radiolucent lines  $\geq 1,5\text{mm}$  auf, so wird die Schaftkomponente als locker bezeichnet (Durchholz et al., 2019). Eine Lockerung des Schaftes wird allerdings eher als seltene Komplikation angesehen, da sie bei einem Nachuntersuchungszeitraum von bis zu fünf Jahren nur bei 0.8% der Inversen Schulterprothesen auftritt (Grey, Rodseth, & Roche, 2018). Häufiger sind am Schaft periprothetische Frakturen zu finden. Bei einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 26 Monaten dokumentierten Groh und Groh einen prozentualen Anteil für periprothetische Frakturen von 2,6% (Groh & Groh, 2014).

Des Weiteren kann man um die Schaftkomponente knöcherne Umbauprozesse beobachten. Die Prothese nimmt dem Knochen einen großen Teil der wirkenden Last ab. So muss der Knochen nicht mehr die komplette Last tragen und auch nicht die

gesamte Kraft alleine übertragen. Dadurch wird der Knochen dünner (externes Remodeling) und poröser (internes Remodeling) (Nagels, Stokdijk, & Rozing, 2003; Wolff, 1986). Dieses Ausdünnen des Knochens wird als Osteopenie, das komplette Auflösen des Knochens als Osteolyse bezeichnet (Melis et al., 2011). Häufig findet man bei der Inversen Schulterprothese eine Osteopenie oder eine Osteolyse im Bereich des proximalen Humerus. Raiss et al. sahen nach einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 8,2 Jahren bei 43% der Patienten mit einer Inversen Schulterprothese eine partielle oder komplette Osteolyse und konnten diese mit einem schlechteren klinischen Resultat in Verbindung bringen (Raiss et al., 2014). Durch die veränderte Last auf den Knochen, kann bei der Inversen Schulterprothese ein weiteres Phänomen entstehen: die sogenannten Spot Welds. Sie bezeichnen eine radiologische Verdichtung des Knochens zwischen Schaftkomponente und der Kortikalis des Humerus. Diese Verdichtung erinnert an eine punktuelle Schweißung des Knochens an die Prothese, was auch der Ursprung der Bezeichnung ist. Spot Welds treten zwar bei erhöhter mechanischer Belastung auf, es konnte allerdings noch kein Zusammenhang mit einer Zunahme an Lockerungen gezeigt werden (Melis et al., 2011; Raiss et al., 2014).

### **Fraktur des Acromions**

Durch die Medialisierung des Drehzentrums und die Verlängerung der Armlänge erhöht sich die Spannung des M. deltoideus. Durch diese Zunahme der Spannung steigt, über den medialen Teil des M. deltoideus, auch der Zug am Acromion (Farshad & Gerber, 2010; Zumstein et al., 2011). Hierdurch können Frakturen des Acromions entstehen. Molé und Favard fanden bei einem Kollektiv von 527 Inversen Schulterprothesen 15 Acromionfrakturen, was 3% entspricht (Molé et al., 2007).

## **Infektionen**

Infektionen sind eine allgegenwärtige Komplikation chirurgischer Eingriffe. Dabei sind speziell Prothesen anfällig für Infektionen (Gallo et al., 2003). Nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese liegt die Infektionsrate zwischen 3,8 und 5,1%, was vergleichbar mit den Infektionszahlen nach der Implantation einer Knie- oder Hüftprothese ist (Farshad & Gerber, 2010; Molé et al., 2007; Zumstein et al., 2011). Besonders anfällig für Infektionen sind hierbei Revisionseingriffe. Im Allgemeinen ist das *Propionibacterium acnes*, ein langsam wachsendes grampositives und anaerobes Bakterium, der häufigste Erreger für eine Infektion der Prothese (Molé et al., 2007). Die Therapie der Infektion ist, abhängig vom nachgewiesenen Keim, eine intravenöse Antibiose, sowie ein operatives Debridement (eine chirurgische Reinigung). Je nach Art des Infekts (Früh- vs. Spätinfekt bzw. High- vs. Low-grade-Infekt) und nachgewiesenem Bakterium, muss die Prothese ausgebaut bzw. ein Spacer implantiert und das Abklingen der Infektion abgewartet werden. Im weiteren Verlauf kann erneut eine Prothese implantiert werden (Coste et al., 2004).

## **Instabilität**

Grundsätzlich entsteht eine Instabilität der Inversen Schulterprothese, wenn die Luxationskraft die Kompressionskraft übersteigt. Studien zur Instabilität der Inversen Schulterprothese sind sehr heterogen, untersuchen häufig kleine Populationen und legen eine Instabilitätsrate von 0 bis 14% dar (Farshad & Gerber, 2010). Eine groß angelegte Studie mit 527 Inversen Schulterprothesen postuliert die Rate der Instabilitäten nach durchschnittlich 52 Monaten mit 3,6% (Molé et al., 2007). Die Instabilitäten resultieren dabei meist aus technischen Fehlern, wie einer zu kleinen Glenosphäre oder Materialfehlern, wie Schraubenlockerungen und präsentieren sich somit meist im ersten Jahr nach der Implantation. Die primäre Therapie nach einer Dislo-

kation ist die geschlossene Reposition (Alikhah et al., 2017). Die geschlossene Reposition mit anschließender Immobilisierung kann in bis zu 62% der Fälle zu einer stabilen Situation führen (Teusink et al., 2015). Sollte die konservative Therapie versagen, kann durch eine Distalisierung der humeralen Komponente, die Instabilität operativ behandelt werden, was einen häufigen Grund für eine Revision der Inversen Schulterprothese darstellt (Boileau et al., 2013).

Grundsätzlich existieren nach 15 Jahren noch 83% der primär implantierten Inversen Schulterprothesen. Dabei zeigen sich gute klinische Resultate und eine Revisionsrate von rund 10% nach zwei Jahren (Ernstbrunner et al., 2019; Zumstein et al., 2011). Die Inverse Schulterprothese kann somit, trotz einiger möglicher Komplikationen, gute klinische und radiologische Ergebnisse erzielen und ist bei sorgfältiger Indikationsstellung schon lange nicht mehr nur eine Notlösung.

#### **1.4 Sport nach inverser Schulterprothese – Stand der Forschung**

Bei zunehmender Anzahl der Indikationen und Implantationen der Inversen Schulterprothese, steigt auch die Anzahl der noch sportlich aktiven Patienten in dieser Kohorte. Bei erhöhtem Aktivitätslevel und Anspruch an Funktionalität, ist für viele Patienten die postoperative Wiederaufnahme von körperlichen Aktivitäten und Sport eine wichtige Überlegung im Hinblick auf die Operation (Kolling et al., 2018; Rauck et al., 2018). Für die anatomische Schulterprothese konnte Liu et al. (Liu et al., 2018) in einer Metaanalyse sehr gute Ergebnisse für die Rückkehr zum Sport nachweisen. Für die Rückkehr zum Sport nach der Inverse Schulterprothese gibt es bisher nur wenige Studien. Diese Wissenslücke hat weitreichende Auswirkungen: Operateure erlauben ihren Patienten seltener eine Wiederaufnahme des Sports nach der Implantation einer Inversen Schulterprothesen, als nach der Implantation einer anatomischen

Schulterprothese (Golant et al., 2012). Das mittelfristige Ergebnis bei sportlichen Senioren nach der Implantation einer inversen Schulterprothese ist laut Simovitch et al. gut (Ryan W Simovitch et al., 2015). Der Vergleich mit einer nicht sportlich aktiven Kontrollgruppe fehlte in dieser Studie allerdings. Garcia et al. untersuchten 67 Patienten, welche eine Inverse Schulterprothese erhielten. Präoperativ waren alle Patienten sportlich aktiv und 85% dieser Patienten kehrten zu mindestens einer Sportart zurück. Sie verbesserten ihren präoperativen Score der Amerikanische Gesellschaft für Schulter- und Ellenbogenchirurgen (ASES (Mulieri et al., 2010)) und ihre präoperative visuell analoge Schmerzskala (VAS) deutlich. Darüber hinaus berichteten 88% der Patienten von einem exzellenten sportlichen Ergebnis (Garcia et al., 2015).

Andere wissenschaftliche Untersuchungen im Zusammenhang von Sport und der Inversen Schulterprothese untersuchen meist, wie auch Garcia et al., die Return-to-sport-Rate. Laut der Metaanalyse von Lui et al. liegt diese für die Inverse Schulterprothese zwischen 47 und 84% (Liu et al., 2018). Durch geringe Fall- und Studienzahlen ist bis heute jedoch keine genauere Aussage möglich. Darüber hinaus wurde das Aktivitätslevel und die Return-to-sport-Rate bisher postoperativ nur mit subjektiven Scores belegt. Es existiert keine Studie mit einer klinischen Nachuntersuchung und Auswertung der radiologischen Ergebnisse im Hinblick auf die Lockerungsrate, das Scapula-Notching und die Luxationsraten bei Patienten, die nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese sportlich aktiv sind, im Vergleich zu Patienten die keinen Sport machen oder machen können. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diese Lücke anhand einer retrospektiven Studie, mit einem Vergleich der mittelfristigen klinischen und radiologischen Ergebnisse von sportlich aktiven und nicht aktiven Patienten, zu füllen.

## **2 Material und Methode**

### **2.1 Studienaufbau**

Die Studienpopulation stellt sich aus Patienten zusammen, welche in der Abteilung für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar, zwischen Januar 2013 und März 2015 eine Inverse Schulterprothese (Univers Revers®, (Arthrex Inc., Naples, FL, U.S.A.)) erhalten haben. Eingeschlossen wurden Patienten, die die Inverse Schulterprothese, auf Grund einer Omarthrose, einer Defektarthropathie oder in Folge einer Oberarmfraktur erhalten hatten. Diese Operation musste mit dem sogenannten deltoideopectoralen Zugang erfolgt sein. Darüber hinaus sollte ein prä- und postoperatives Röntgen vorliegen. Es wurde ein Mindestfollow-up von 24 Monaten festgelegt. Im oben genannten Zeitraum wurden 107 Inverse Schulterprothesen implantiert. Ziel der vorliegenden Studie war es diese Patienten nachzuuntersuchen und nach ihrer sportlichen Aktivität in zwei Gruppen einzuteilen: „Gruppe Aktiv“ und „Gruppe Inaktiv“. Um als sportlich aktiv zu gelten, musste ein Patient regelmäßig mindestens einmal pro Woche Sport treiben. Die Patienten wurden mittels Operationsbüchern aus der Klinikdatenbank erfasst und die Operationsberichte gesichtet. Von der Studie ausgeschlossen wurden Patienten, welche eine andere Inverse Schulterprothese, als die Univers Revers® erhalten oder posttraumatische Luxationen oder periprothetische Frakturen erlitten hatten. Ebenfalls von der Studie ausgeschlossen wurden nicht mobile oder demente Patienten und Pflegefälle. Primär erfolgte eine postalische Kontaktaufnahme mit den Patienten, um im Anschluss mit Einverständnis der Patienten telefonisch einen Termin zur Nachuntersuchung festlegen zu können. Nach dem Ausschluss von 36 Patienten (21 waren Pflegefälle oder demente Patienten, sieben erhielten eine andere Inverse Schulterprothese, vier Patienten waren verstorben, zwei Patienten wurden ex-domo revidiert, eine sine-sine Situation, eine periprothetische Frak-

tur) blieb eine Kohorte von 71 Inversen Schulterprothesen. Im Zeitraum von August 2019 bis Juni 2020 stellten sich 59 Patienten mit 61 in der Studie eingeschlossenen Schultern zur Nachuntersuchung vor. Dies entspricht einem Follow-up von 85,9%.

Am Tag der Nachuntersuchung erfolgte zuerst eine mündliche und schriftliche Aufklärung über die Studie durch einen Arzt. Im Anschluss folgte eine klinische Untersuchung durch einen Arzt oder den Autor dieser Arbeit, sowie die Befragung per Fragebögen und die radiologische Kontrolluntersuchung (Röntgen in drei Ebenen: a.p., axial und schräg).

Vor Beginn der Studie wurde sowohl eine Einwilligung der Ethikkommission (269/19 S-SR), als auch eine Genehmigung zur studienbedingten Anwendung von ionisierender Strahlung vom Bundesamt für Strahlenschutz eingeholt (No. Z 5 - 22464/2019-121-A).

Folgende Zielkriterien wurden bestimmt:

*Tabelle 1: Zielgrößen der Studie*

Primäre Zielkriterien	Sekundäre Zielkriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Radiologische Zeichen der Prothesenlockerung in Abhängigkeit der sportlichen Aktivität</li> <li>▪ Klinisches Ergebnis anhand standardisierter und validierter Scores</li> <li>▪ Sportfähigkeit vor und nach der Operation</li> </ul>	<p>Ermittlung negativer Prädiktoren auf die Sportfähigkeit bzw. Luxations-tendenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geschlecht</li> <li>▪ Body-Mass-Index</li> <li>▪ Alter</li> <li>▪ Voroperationen</li> <li>▪ Sportart, Aktivitätslevel/Intensität, Frequenz</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Komplikationsrate inklusive Infektions-, Lockerungs-, und Luxationsrate, sowie Scapula-Notching</li><li>▪ Return-to-sport-Rate und Zeit bis zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Zeitintervall zwischen Implantation und Wiederaufnahme der sportlichen Tätigkeit</li><li>▪ Einfluss der primären Rekonstruktion des M. subscapularis</li></ul>
--	--

## 2.2 Nachuntersuchung

### 2.2.1 Klinische Untersuchung

Die Inspektion der Schulter stellte den ersten Schritt der klinischen Untersuchung dar. Besonderer Wert wurde hier auf Narbenbildung und eine mögliche Deltaatrophie gelegt. Im Anschluss wurde beidseits die schmerzfreie, aktive und passive ROM



Abbildung 8: Messung der Abduktion mittels Goniometer

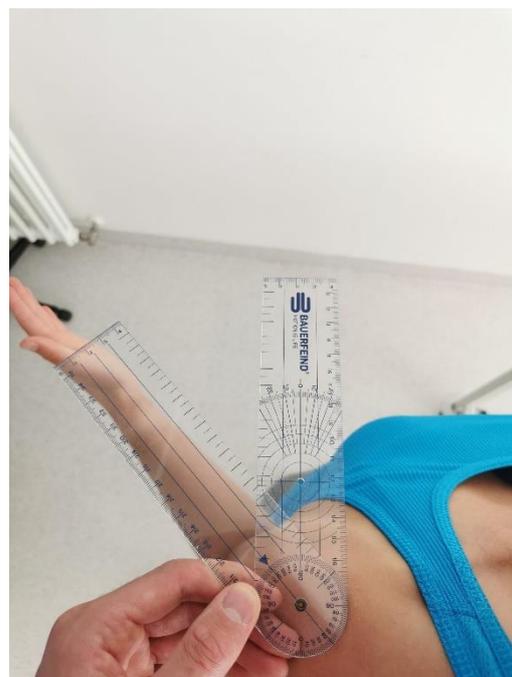
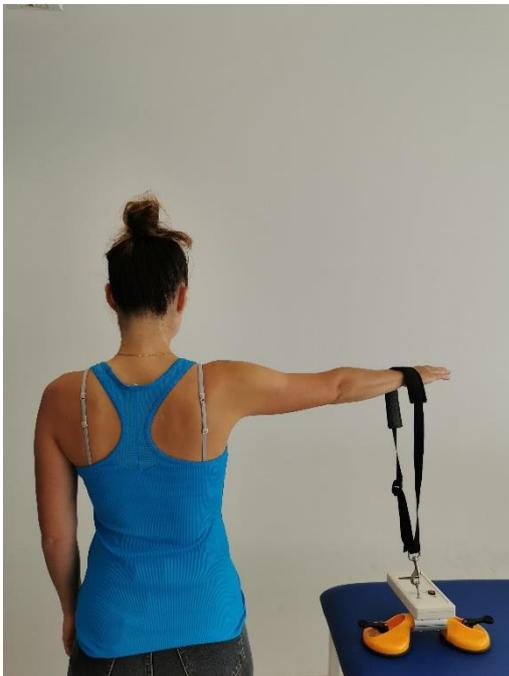


Abbildung 9: Messung der Außenrotation mittels Goniometer

mit Hilfe eines Goniometers (siehe Abb. 8 & 9) nach der Neutral-Null-Methode in Grad erhoben. Für die Bestimmung der passiven Beweglichkeit des Glenohumeralgelenks, wurde zur Fixierung der Scapula der sogenannte Codman-Griff angewandt. Die erreichte Höhe der Rückseite der Handfläche auf dem Rücken stellte die Innenrotation dar und unterteilte sich in sechs Stufen: Oberschenkel, Glutealregion, Iliosakralgelenk (ISG), Lendenwirbelsäule (LWS), untere Brustwirbelsäule (BWS) und interscapulär. Die Messung der Abduktionskraft schloss die klinische Untersuchung ab. Die Kraft wurde mittels eines isometrischen Dynamometers (IsoBex® 3.0, Pimatron AG, Bern) gemessen. Hier wurde dem Patienten der Kraftmesser am Handgelenk platziert



*Abbildung 10: Messung der Abduktionskraft mit einem Isometer*

und dieser musste in 90° Abduktion und 30° Flexion (siehe Abb. 10) isometrisch fünf Sekunden eine Kraft nach cranial aufbringen.

Konnte ein Patient diese Position nicht erreichen, so wurden für die Kraft null Punkte notiert (Fialka et al., 2005). Die Kraftmessung erfolgte standardisiert dreimal. Im Anschluss wurde aus den drei Messungen der Mittelwert gebildet.

Das Untersuchungsprotokoll der klinischen Untersuchung befindet sich im Anhang.

### **2.2.2 Sportfragebogen**

Die Befragung der Patienten zu ihren sportlichen Aktivitäten vor und nach der OP fand anhand eines eigens, in Anlehnung an Garcia et al., entworfenen Fragebogens statt (Garcia et al., 2015). Dieser Fragebogen bestand aus Fragen, mit jeweils vorgefertigten Antwortmöglichkeiten, inklusive jeweils einem offenen Antwortfeld (siehe Anhang: Sportfragebogen). Zusätzlich zu ihren sportlichen Aktivitäten wurden die Patienten zu ihrer Motivation zur Operation (Schmerzreduktion/Besserung der ROM/Arbeit/(Wieder-)Teilnahme an sportlichen Aktivitäten), ihren Komplikationen (Dislokation/Infektion/Instabilität/Nervenläsion/Fraktur/Steife/chronische Schmerzen) und ihrer Zufriedenheit mit dem operativen Eingriff (unzufrieden/eher unzufrieden/eher zufrieden/zufrieden) befragt. Bezüglich ihrer sportlichen Aktivität wurden primär die Sportarten (mehrere Auswahlmöglichkeiten plus offenem Antwortfeld) und die Häufigkeit der sportlichen Aktivität zum Zeitpunkt von drei Jahren vor der OP und nach der OP erhoben. Zusätzlich mussten die Patienten beantworten, ob sie Sportarten durchgeführt hatten, welche ihnen der Operateur untersagt hatte. Darüber hinaus wurden die Patienten zu Problemen beim Sport befragt, erörtert wie zufrieden sie mit ihrer Sportfähigkeit sind und ob diese im Vergleich zum Zeitpunkt von drei Jahren vor der OP besser, gleich oder schlechter sei. Zum Abschluss des Fragebogens mussten die Patienten angeben, ob sie wegen der Inversen Schulterprothese Sportarten aufgeben mussten und wenn ja, wieso.

### 2.2.3 Standardisierte Scores

#### Constant-Murley-Score

Der Constant-Murley- (kurz = Constant-) Score ist eine Methode der funktionellen Beurteilung der Schulter. C. R. Constant und A. H. G. Murley stellten diesen Score 1986 vor, nachdem traditionelle diagnostische Untersuchungen keine funktionellen Aussagen treffen konnten (C. R. Constant & Murley, 1987). Der Score setzt sich sowohl aus subjektiven (35%), als auch aus objektiven Parametern (65%) zusammen und ergibt in der Summe einen maximal erreichbaren Wert von 100 Punkten (siehe Anhang: Constant-Murley-Score).

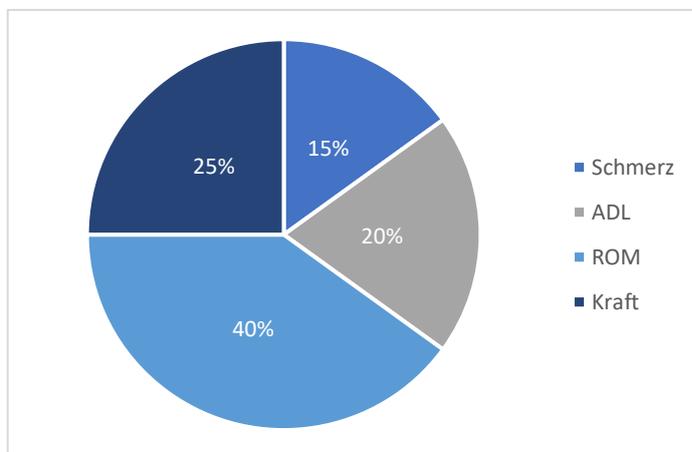


Abbildung 11: Punkteverteilung des Constant-Murley-Scores

Die 100 Punkte setzen sich aus den vier Säulen Schmerz, Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL), Bewegungsumfang (ROM), sowie Kraft zusammen. Die Punkteverteilung der einzelnen Kategorien des Constant-Scores ist in Abb. 11 dargestellt. Dabei zählt die Abwesenheit von Schmerzen bei Aktivitäten des täglichen Lebens 15 Punkte und starker Schmerz, bei denselben, null Punkte. Die Erhebung der Aktivitäten des täglichen Lebens erfolgt über eine Befragung zu Schlaf, Arbeit, Freizeitaktivitäten und Arbeitshöhe. Die maximale Punktzahl (insgesamt 20 Punkte) erhält ein Patient,

wenn er über Kopf arbeiten kann und die Schulter ihn bei den restlichen Aktivitäten nicht negativ beeinflusst (Habermeier, Magosch, & Lichtenberg, 2006).

Für die objektiven Parameter wird der schmerzfreie, aktive Bewegungsumfang der Schulter in vier Richtungen aufgeteilt (Abduktion/Elevation, Anteversion, Innenrotation (Hand auf dem Rücken), Außenrotation (Hand nach oben mit Ellenbogen abduziert)). Für jede der Richtungen erhält der Patient, sollte er die Bewegung maximal ausführen können (Elevation und Anteversion  $>150^\circ$ , Innenrotation = zwischen Schulterblätter, Außenrotation = Hand über Kopf), 10 Punkte. Der zweite objektive Parameter ist die Kraft. Die Messung dieser wird kontrovers diskutiert, da die Autoren in der Erstveröffentlichung diese nicht spezifiziert hatten (Christopher R Constant et al., 2008; C. R. Constant & Murley, 1987). Für diese Arbeit wurde die Kraft mit Hilfe des IsoBex® 3.0 Kraftmessers (Pimatron AG, Bern) gemessen. Die Zugkraft wurde in Pfund umgerechnet und für jedes Pfund erhielt der Patient einen Punkt. Für die maximale Punktzahl muss ein Patient 25 Pfund ( $\approx 11,3\text{kg}$ ) aufbringen.

Mit zunehmendem Alter nimmt nicht nur die Kraft, sondern auch die Beweglichkeit der Schulter physiologisch ab (Murgia et al., 2018). Um trotzdem eine Vergleichbarkeit des Constant-Scores zu erhalten, veröffentlichte Constant schon 1986 eine angepasste Tabelle mit alters- und geschlechtsspezifischen Werten für den Constant-Score (Christopher Robert Constant, 1986). Yian et al. wiederholten 2005 diese Untersuchung an 1620 schultergesunden Probanden und legten eine adaptierte Tabelle für die Anpassung des Constant-Scores nahe (Yian et al., 2005). Anhand dieser Tabellen ist es möglich den absoluten Constant-Score mittels des Alters und Geschlechts in einen angepassten Constant-Score umzurechnen, welcher in Prozent angegeben wird. Das Ergebnis des angepassten Scores lässt sich, nach Boehm, in „ausgezeichnet“

(>90%), „gut“ (81-90%), „befriedigend“ (71-80%), „ausreichend“ (61-70%) und „schlecht“ ( $\leq 60\%$ ) einteilen (Boehm, 2002).

### **American-Shoulder-and-Elbow-Surgeons-Score**

In den 1990er Jahren entwickelte die Amerikanische Gesellschaft für Schulter- und Ellenbogenchirurgen einen Score (ASES) um Schulterfunktionen vergleichbar zu machen (Richards et al., 1994). Dieser Score, mit einer maximalen Punktzahl von 100, setzt sich zu 50% aus der Intensität des aktuellen Schmerzes und zu 50% aus den Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL) zusammen. Der Schmerz wird auf einer Skala von Null (Kein Schmerz) bis Zehn (stärkster vorstellbarer Schmerz) angegeben. Für die ADL muss der Patient seine Fähigkeit für bestimmte Dinge, wie eine Jacke anziehen, die Haare kämmen oder gewohnte Arbeiten erledigen, einschätzen. Für die Einschätzung gibt es vier Antwortmöglichkeiten und Punkte: 0 Punkte = unfähig, 1 Punkt = fällt schwer, 2 Punkte = etwas schwierig, 3 Punkte = nicht schwer.

Der Scorewert wird im Anschluss mit Hilfe folgender Formel errechnet:

$$\text{Scorewert} = (10-S)*5 + (ADL*5/3)$$

S entspricht dabei dem Schmerz und ADL dem aufaddierten Punktwert der Aktivitäten des täglichen Lebens (Richards et al., 1994).

Der ASES-Score zeigt für die Bewertung der Schulterfunktion eine gute Reliabilität und Validität (Michener, McClure, & Sennett, 2002) (siehe Anhang: American-Shoulder-and-Elbow-Surgeons-Score).

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

Der Simple-Shoulder-Test ist ein einfacher, verlässlicher und schneller Test zur Beurteilung der subjektiven Funktionalität der Schulter (siehe Anhang: Simple-Shoulder-Test) (Godfrey et al., 2007). Er besteht aus zwölf dichotomen Fragen, die entweder

mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden müssen. Die Fragen betreffen: die Schmerzfreiheit, die Schlaffähigkeit auf der Schulter, die Fähigkeit verschiedene Dinge im Alltag zu tragen oder zu werfen, Aufgaben der Hygiene und die Arbeitsfähigkeit. Für jede Antwort mit „Ja“ erhält der Patient einen Punkt, was zu einer maximalen Punktzahl von 12 führt (Lippitt et al., 1993).

### **Numerische-Rating-Skala**

Die Numerische-Rating-Skala (NRS) ist ein eindimensionales Messinstrument zur Messung der Schmerzintensität bei Erwachsenen. Sie ist eine Abwandlung der Visuellen-Analog-Skala. Die Schmerzintensität wird hierfür in elf Stufen eingeteilt. Dabei ist „Null“ gleichbedeutend mit „kein Schmerz“ und „Zehn“ steht für den „stärksten vorstellbaren Schmerz“ (Hawker et al., 2011). Für die vorliegende Arbeit wurde die NRS im Rahmen des ASES-Score bestimmt, wo die Patienten bezüglich des Schmerzes die zutreffende Zahl zwischen „Null“ und „Zehn“ ankreuzen mussten.

#### **2.2.4 Radiologische Untersuchung**

Die radiologische Untersuchung bestand aus drei Röntgenbildern (a.p., schräg und axial), die bei der Nachuntersuchung standardisiert aufgenommen wurden. Jedes der radiologischen Bilder wurde von zwei erfahrenen Schulterchirurgen getrennt, mit Hilfe des Programms „Picture archiving and communication system“ (PACS) befundet. Bei Differenzen der Befunde wurde ein Konsens gefunden. Darüber hinaus wurde die Befundung nach einem Monat von beiden wiederholt, um die intrapersonelle Varianz zu verringern. Die Kriterien der Befundung waren:

Humere Kriterien:

- Kippen/Sintern der Schaftkomponente
- Radiolucent lines um die Schaftkomponente
- Spot Welds und Verdichtungslinien an der Spitze der Schaftkomponente
- Osteopenie des Humerus lateral/medial
- Osteolyse Calcar/Tubercula

Glenoidale Kriterien:

- Kippen/Sintern der Glenoidkomponente
- Radiolucent lines um die Glenoidkomponente
- Knöcherner Sporn am caudalen Pol der Glenoidkomponente
- Scapula-Notching
- Heterotope Ossifikationen

**Humere Kriterien**

Ein Kippen oder Sintern der Schaftkomponente wurde als vorhanden oder nicht vorhanden bezeichnet. Sollte die Schaftkomponente verkippt, gesintert, verdreht oder migriert sein, wurde sie als locker betrachtet (Melis et al., 2011).

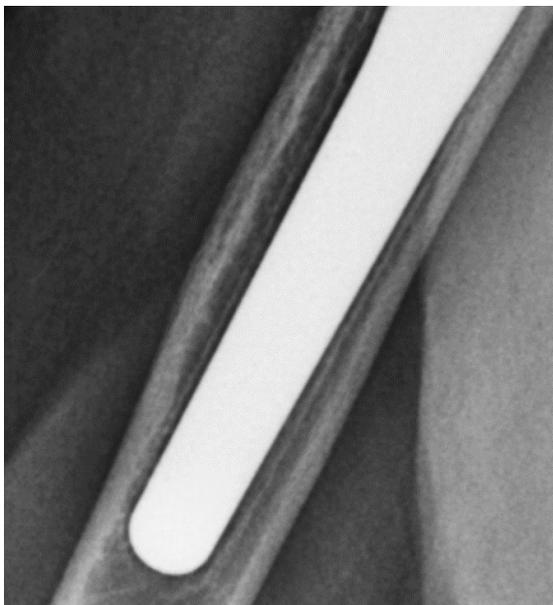


Abbildung 12: Röntgenbild eines Prothesenschaftes mit radiolucent lines

Für die radiolucent lines (siehe Abb. 12) wurde, angelehnt an einen internationalen Delphi Konsens von 2019 (Durchholz et al., 2019), der Schaft in Metaphyse und Diaphyse aufgeteilt. Hier wurden die radiolucent lines jeweils bezüglich ihres Vorhandenseins, ihrer Breite und dem Ort des Auftretens beurteilt und wie folgt eingeteilt: Grad 0 entsprach keinen radiolucent lines, Grad 1 inkompletten radiolucent lines, also radiolucent lines, aber nicht um den gesamten Prothesenabschnitt (1a: alle Linien  $<1,5\text{mm}$ ; 1b: wenigstens eine Linie  $\geq 1,5\text{mm}$ ) und mit Grad 2 wurden radiolucent lines um den gesamten Prothesenabschnitt bezeichnet (2a: weniger als  $1,5\text{mm}$  breit; 2b: über  $1,5\text{mm}$  breit). Hatte ein Schaft in Metaphyse und Diaphyse radiolucent lines Grad 2b, wurde er als locker bezeichnet.

Das Vorhandensein von Osteopenie, Spot Welds und Verdichtungslinien wurde mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet. Eine Osteolyse des Calcar (vgl. Abb. 14) oder der Tubercula (vgl. Abb. 13) in nicht vorhanden, partielle oder komplette Osteolyse eingeteilt.

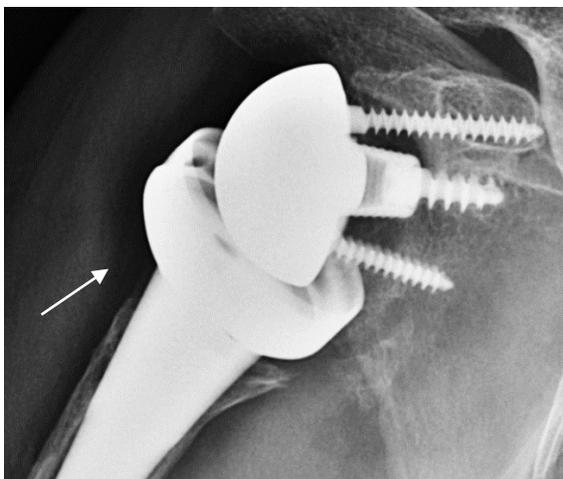


Abbildung 13: Röntgenbild einer Osteolyse der Tubercula (Pfeil)

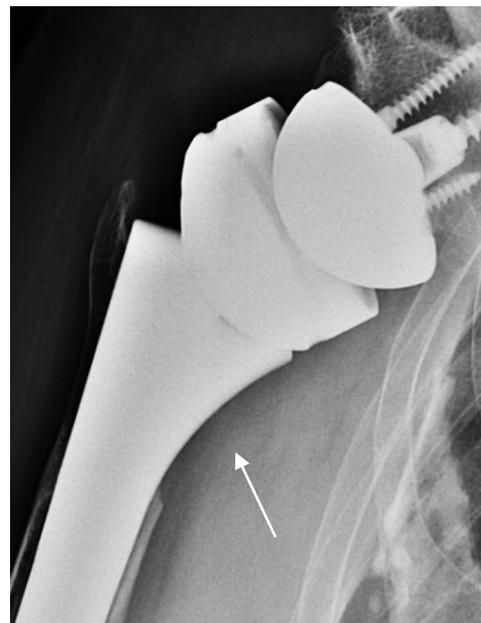


Abbildung 14: Röntgenbild einer Osteolyse des Calcar (Pfeil)

## **Glenoidale Kriterien**

Vergleichbar mit der humeralen Komponente wurde auch für die Glenoidkomponente ein Kippen oder Sintern als vorhanden oder nicht vorhanden eingeteilt. Die Glenoidkomponente wurde, als locker betrachtet, sollte sie verkippt, gesintert, verdreht oder migriert sein (Melis et al., 2011). Für die radiolucent lines wurde, ebenso angelehnt an den internationalen Delphi Konsens von 2019 (Durchholz et al., 2019), die radiolucent lines, gemäß der selben Graduierung beurteilt. Die Glenoidkomponente wurde aber nicht, wie beim Schaft, nochmals unterteilt. Die Glenoidkomponente wurde als locker bezeichnet, traten radiolucent lines Grad 2b auf.

Das Vorhandensein eines knöchernen Spornes wurde mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet. Die Klassifikation der heterotopen Ossifikation wurde nach Empfehlung des Delphi Konsens (Durchholz et al., 2019) durchgeführt. So wurde die Ossifikation, in Bezug auf die Ausfüllung des caudalen Bereichs zwischen der lateralen Grenze des Glenoids und der medialen Grenze des Humerusschaftes, falls vorhanden, in vier Grade eingeteilt: Grad 1= Ossifikation im Weichteil um die Schulter, Grad 2= die Ossifikation reduziert den Abstand zur Gegenseite auf  $>1\text{cm}$ , Grad 3= die Ossifikation reduziert den Abstand zur Gegenseite auf  $<1\text{cm}$  und Grad 4 = die Ossifikation füllt den Bereich aus und bildet eine röntgenologische Brücke.

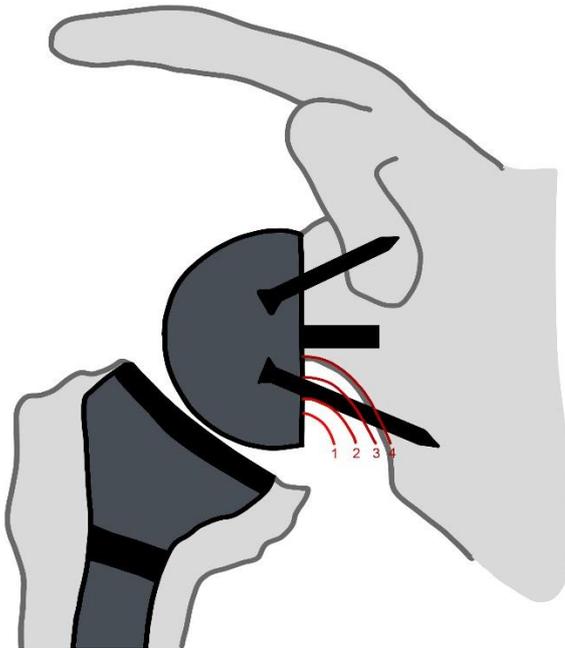


Abbildung 15: Scapula-Notching, Einteilung in 4 Grade nach Sirveaux

Modifiziert nach Sirveaux et al. (Sirveaux et al., 2004)

Das Scapula-Notching (siehe Abb. 15) wurde, falls vorhanden, nach Sirveaux in vier Grade eingeteilt: Grad 1 bezeichnet einen vorhandenen Defekt, der aber keinen Kontakt zur inferioren Schraube hat; beim Scapula-Notching Grad 2 reicht der Defekt bis an die inferiore Schraube, während er sich bei Grad 3 bis direkt über die inferiore Schraube erstreckt; ein Scapula-Notching Grad 4 nach Sirveaux bezeichnet einen Defekt, der entlang der Basisplatte, über die inferiore Schraube hinaus reicht (Sirveaux et al., 2004).

### **2.3 Statistische Auswertung**

Die Erhebung der Daten erfolgte manuell, für Daten aus der Klinikdatenbank und für die Untersuchungsergebnisse, in Microsoft Excel 2019. Die statistische Verarbeitung und Auswertung erfolgte sowohl mit Microsoft Excel 2019, als auch IBM SPSS Statistics 26. Quantitative Merkmale wurden in Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung angegeben, Qualitative Merkmale in Prozent (%). Nach statistischer Beratung wurden statistische Test (Chi-Quadrat-Test, exakter Test nach Fisher, Mann-Whitney-U-Test, *t*-Test, Kreuztabellen) ausgewählt und nach Testung der Normalverteilung entsprechend angewandt. Für sämtliche statistischen Untersuchungen wurde das Signifikanzniveau auf 0,05 festgelegt. Die ausführliche statistische Auswertung befindet sich im Anhang.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Patientenkollektiv**

#### **Demografische Daten**

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung erfüllten 61 Schultern und 59 Patienten die Einschlusskriterien. Bei einem Kollektiv von 71 operierten Schultern entspricht dies einer Follow-up-Rate von 85,9%. Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum war  $47,1 \pm 18,1$  Monate. Unter den 59 Patienten befanden sich 35 Frauen und 24 Männer und das mittlere Alter zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung betrug  $75,9 \pm 7,0$  Jahre. Zum Zeitpunkt der Operation betrug das mittlere Alter der Patienten  $72,1 \pm 6,6$  Jahre. Dabei war 39-mal die rechte und 22-mal die linke Schulter die OP-Seite. Insgesamt wurde allerdings 42-mal, also bei 68,9% der Patienten, die dominante Seite operiert. Die Einschlusskriterien für die Gruppe Aktiv erfüllten 34 (55,7%) operierte Schultern, während 27 (44,3%) operierte Schultern weniger aktiv waren und in die Gruppe Inaktiv aufgenommen wurden. Die Gruppen wurden nach Unterschieden bezüglich Alter, Geschlecht, BMI, OP-Seite, Voroperationen und Follow-up untersucht. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 dargestellt. Die Gruppen unterschieden sich für keine der Variablen signifikant.

Tabelle 2: Demografische Daten der zwei Gruppen

	Gruppe Aktiv (n=34)	Gruppe Inaktiv (n=27)	p-Wert
Alter bei OP (MW $\pm$ SD) [Jahre]	71,7 $\pm$ 5,4	72,5 $\pm$ 7,9	0,399
Geschlecht [Frau/Mann]	19/15 (55,9%/44,1%)	17/10 (63,0%/37,0%)	0,576
BMI (MW $\pm$ SD) [kg/m <sup>2</sup> ]	27,1 $\pm$ 4,0	29,4 $\pm$ 7,1	0,353
OP-Arm = dominanter Arm	23 (67,6%)	19 (70,4%)	0,820
Bereits voroperierte Schultern	16 (47,1%)	11 (40,7%)	0,622
Follow-up (MW $\pm$ SD) [Monate]	48,1 $\pm$ 18,9	45,8 $\pm$ 17,3	0,647

Bei insgesamt 27 Schultern (44,3%) war bereits eine Schulteroperation vor Implantation der Inversen Schulterprothese durchgeführt worden. Darunter waren 15 Rotatormanschetten-Rekonstruktionen, zehn Osteosynthesen (acht Osteosynthesen des Humeruskopfes und zwei Osteosynthesen des Glenoids/der Scapula), eine arthroskopische Dekompression und eine Oberflächenprothese des Humeruskopfes.

Weitere Begleiterkrankungen, abgesehen von der Schulter, und deren Einfluss auf die Sportfähigkeit, waren innerhalb der beiden Gruppen wie folgt verteilt: 19 der nicht aktiven Patienten (20 Schultern) (52,6%) und 18 der sportlich aktiven Patienten (19 Schultern) (55,9%) hatten zusätzliche Begleiterkrankungen, wie beispielsweise Herz-Kreislaufkrankungen, orthopädische Beschwerden in Knie, Hüfte und Wirbelsäule oder Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis. Diese schränkten die Sportfähigkeit von fünf Patienten (14,7%) in der Gruppe Aktiv und von fünf Patienten (18,5%) in der Gruppe Inaktiv ein.

## Auswertung Operationsberichte

Zur Implantation der Inversen Schulterprothese führten verschiedene, teils auch mehrfache, Diagnosen. So erhielten 36 Patienten (37 Schultern) (60,7%) aufgrund einer Defektarthropathie, 17 Patienten (18 Schultern) (29,5%) wegen einer fortgeschrittenen Omarthrose, sieben Patienten (11,5%) bedingt durch eine posttraumatische Omarthrose oder Defektheilung, fünf Patienten (8,2%) infolge einer posttraumatischen Humeruskopfnekrose und zwei Patienten (3,3%) aufgrund einer akuten, mehrfragmentigen Humeruskopffraktur.

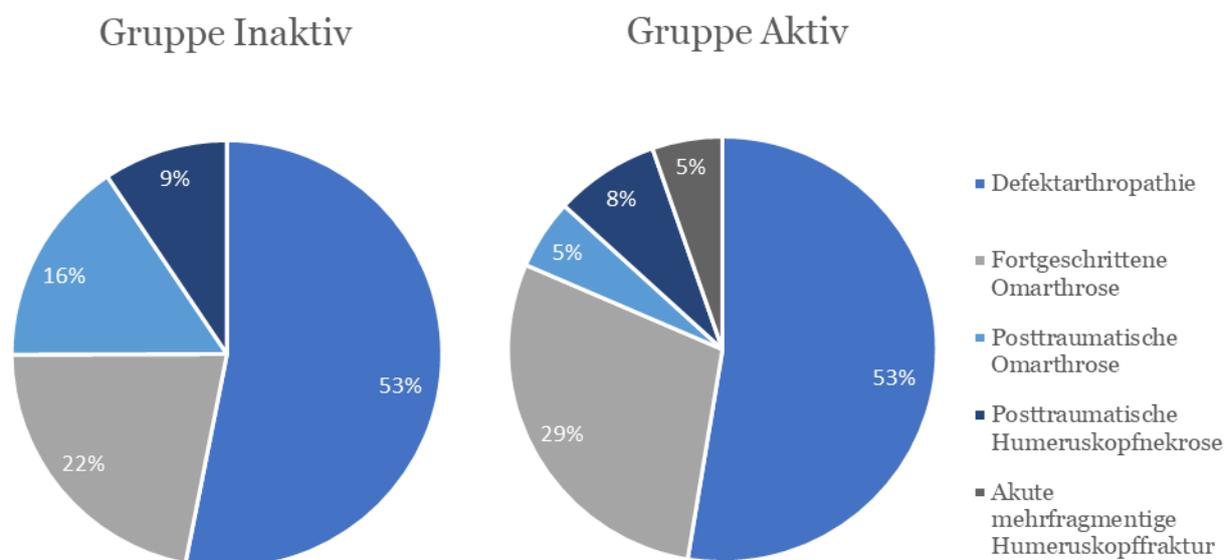


Abbildung 16: Häufigkeit der Diagnosen, welche zur Inversen Schulterprothese geführt haben, unterteilt in die beiden Gruppen „Inaktiv“ und „Aktiv“

mehrfragmentären Humeruskopffraktur eine Inverse Schulterprothese. Die genaue Zusammenstellung innerhalb der beiden Gruppen ist in Abb. 16 zu sehen.

Abhängig von radiologischen Voruntersuchungen und intraoperativen Beobachtungen implantierte man die Schaftkomponente meist press-fit. So wurden 56 Schäfte press-fit implantiert und fünf zementiert. 52 (85,2%) der Schäfte hatten dabei einen Schaft-Hals-Winkel von 135° und 9 (14,8%) einen Schaft-Hals-Winkel von 155°. Des

Weiteren war in 44 Fällen, 26-mal in der Gruppe Aktiv und 18-mal in der Gruppe Inaktiv, eine Refixation des M. subscapularis möglich.

### 3.2 Ergebnisse der klinischen Untersuchung

Bei der Inspektion der Schulter wurde als Erstes eine eventuelle Deltaatrophie (siehe Abb. 17) begutachtet. In der Gruppe Aktiv fand man drei (8,8%) und in der Gruppe Inaktiv acht (29,6%) Schultern mit Deltaatrophien. Die geringere Rate in der Gruppe Aktiv war signifikant ( $p=0,040$ ). Zwei Patienten (jeweils einer aus der Gruppe Aktiv



*Abbildung 17: Patientin mit Deltaatrophie der rechten Schulter*

und einer aus der Gruppe Inaktiv) berichteten über eine verlängerte Wundheilung. Bei einer Prothese aus der Gruppe Inaktiv kam es, fünf Monate nach der Operation, zu einer Luxation, wonach die Prothese revidiert wurde. Dieser Patient, und ein weiterer aus der Gruppe Inaktiv zeigten eine Affektion des N. axillaris. Darüber hinaus kam es in keiner der Gruppen zu einer weiteren Luxation.

Bei der Untersuchung der aktiven und passiven Beweglichkeit der operierten Schultern zeigte die Gruppe Aktiv eine signifikant bessere aktive und passive Innenrotation und aktive Außenrotation. Für die aktive Außenrotation ( $p=0,031$ ), sowie die passive

und aktive Innenrotation (aktiv:  $p=0,048$ ; passiv:  $p=0,040$ ), konnten in der Gruppe Aktiv signifikant bessere Werte erzielt werden. Der Median für die aktive Innenrotation lag in der Gruppe Aktiv auf der Höhe der LWS, während er in der Gruppe Inaktiv auf Höhe des ISG lag. Für die passive Innenrotation lag der Median bei der Gruppe Aktiv auf Höhe der unteren BWS und in der Gruppe Inaktiv auf Höhe der LWS. Die Verteilung der Innenrotation ist in Abb. 18 und 19 dargestellt. Die Ergebnisse der übrigen Beweglichkeits- und Kraftmessung sind in Tab. 3 dargestellt.

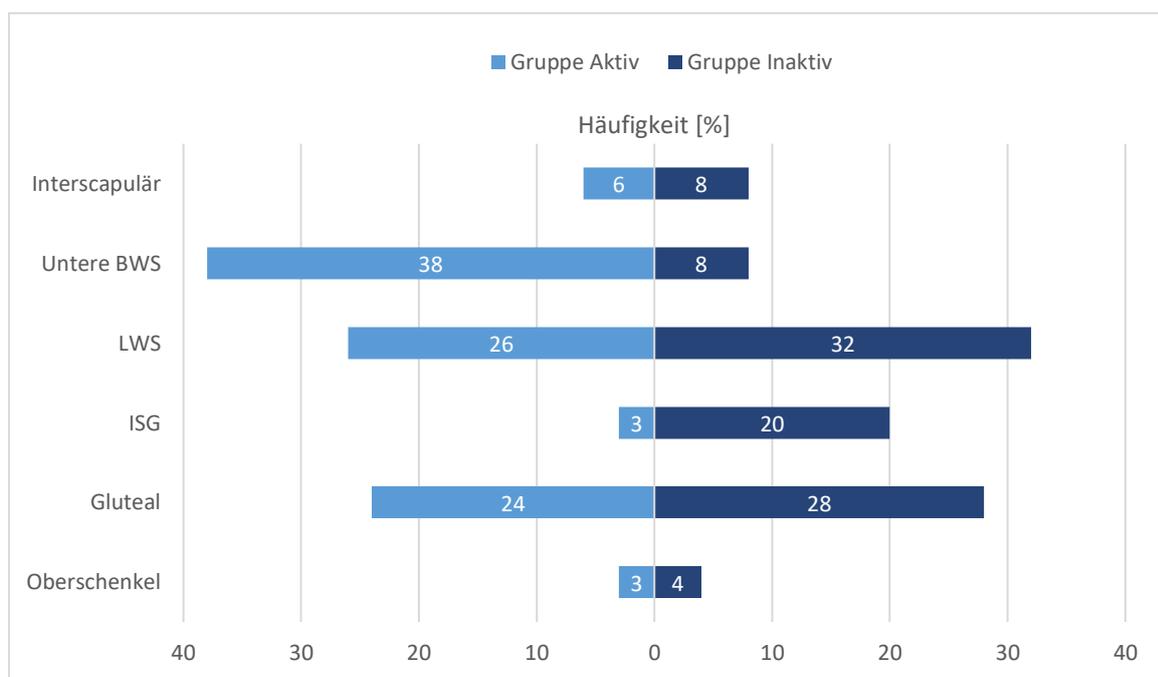


Abbildung 18: Fähigkeit zur aktiven Innenrotation im Vergleich der beiden Gruppen in Prozent

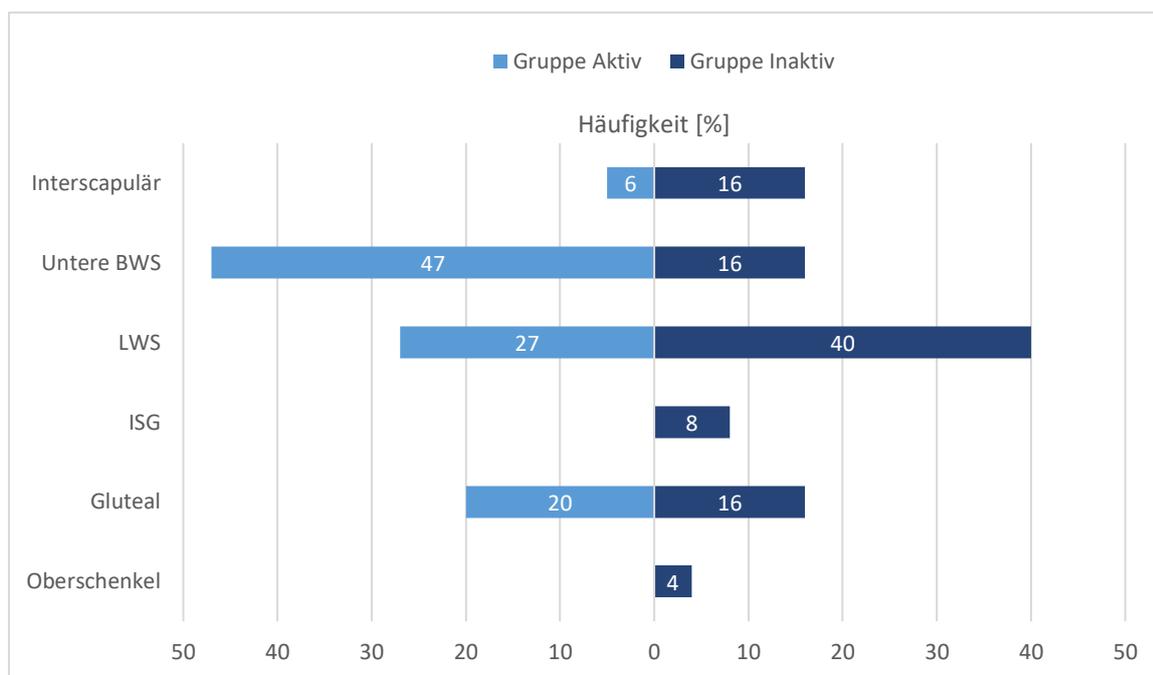


Abbildung 19: Fähigkeit zur passiven Innenrotation im Vergleich der beiden Gruppen in Prozent

Für die Abduktionskraft (gemessen mit einem IsoBex®-Kraftmesser) zeigte die Gruppe Aktiv mit im Schnitt  $3,7 \pm 2,0$  kg, im Vergleich zu  $2,3 \pm 1,1$  kg aus der Gruppe Inaktiv, signifikant bessere Ergebnisse ( $p=0,016$ ).

Tabelle 3: ROM und Kraft der Inversen Schulterprothesen im Gruppenvergleich

	Gruppe Aktiv (n=34)	Gruppe Inaktiv (n=27)	p-Wert
Aktive Abduktion/Elevation $\pm$ SD [°]	125,0 $\pm$ 22,3	116,2 $\pm$ 36,6	0,140
Aktive Anteversion $\pm$ SD [°]	134,7 $\pm$ 22,2	122,8 $\pm$ 28,5	0,076
Aktive Außenrotation $\pm$ SD [°]	29,6 $\pm$ 18,5	19,0 $\pm$ 17,6	0,031
Passive Abduktion $\pm$ SD [°]	84,7 $\pm$ 7,4	81,8 $\pm$ 13,9	0,663
Passive Anteversion $\pm$ SD [°]	87,8 $\pm$ 6,4	86,0 $\pm$ 20,9	0,386
Passive Außenrotation $\pm$ SD [°]	30,0 $\pm$ 18,0	27,4 $\pm$ 22,9	0,627
Abduktionskraft $\pm$ SD [kg]	3,7 $\pm$ 2,0	2,3 $\pm$ 1,1	0,016

### **3.3 Ergebnisse Sportfragebogen**

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung trieben 33 Patienten (34 Schultern) mindestens einmal pro Woche Sport und wurden somit als sportlich aktiv gewertet. 40 Patienten (41 Schultern) gaben an, drei Jahre vor der OP mindestens einmal pro Woche sportlich aktiv gewesen zu sein. Zwei Patienten der Gruppe Aktiv begannen erst nach der OP sportlich aktiv zu sein. Folglich waren neun Patienten nach der OP nicht mehr sportlich aktiv. Somit lag die Return-to-sport-Rate bei 78,0%. Die Patienten benötigten im Schnitt  $2,5 \pm 1,7$  Monate um teilweise und  $5,3 \pm 3,6$  Monate um komplett zum Sport zurück zu kehren. Postoperativ trieben sechs Patienten (17,7%) täglich, 19 Patienten (20 Schultern) (58,8%) zwei oder mehrmals pro Woche und acht Patienten (23,5%) einmal pro Woche Sport. Präoperativ trieben, aus der Gruppe Aktiv sechs Patienten täglich, 20 Patienten (21 Schultern) zwei oder mehrmals pro Woche und sieben Patienten einmal pro Woche Sport.

Im Vergleich zu drei Jahren präoperativ empfanden, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, 17 Patienten (18 Schultern) (52,9%) ihre Sportfähigkeit als besser, 11 Patienten (32,3%) als gleich und fünf Patienten (14,8%) als schlechter. So waren mit ihrer Sportfähigkeit 25 Patienten (73,5%) zufrieden, sieben Patienten (8 Schulter) (23,5%) eher zufrieden und ein Patienten (3,0%) eher unzufrieden. Kein Patient der Gruppe Aktiv war mit seiner Sportfähigkeit komplett unzufrieden.

Die einzelnen Sportarten und deren Häufigkeit ist in Tab. 4 dargestellt.

Tabelle 4: Häufigkeit der Sportarten in der Gruppe Aktiv prä- und postoperativ

Sportart	Häufigkeit präoperativ [% der Gruppe Aktiv]	Häufigkeit postoperativ [% der Gruppe Aktiv]
Wandern	70,6	61,8
Fahrradfahren	60,6	58,8
Schwimmen	55,9	47,1
Krafttraining	23,5	29,4
Nordic Walking	17,6	23,5
Heimtrainer	29,4	26,5
Aerobic/Tanzen	14,7	9,8
Skifahren	17,6	8,8
Pilates/Yoga	2,9	2,9
Joggen	5,9	2,9
Schießen	2,9	2,9
Tennis	14,7	0
Golf	5,9	0
Reiten	2,6	0
Klettern	2,6	0

Sowohl präoperativ, als auch postoperativ dominierten hier vor allem Sportarten wie Wandern, Fahrradfahren und Schwimmen. Sportarten, welche am häufigsten aufgrund der Inversen Schulterprothese aufgegeben wurden, waren Fahrradfahren (n=5), Tennis (n=2), Golf (n=2), Skifahren (n=2), Schlittschuhlaufen (n=2) und Schwimmen (n=2). Die Beendigung dieser Sportarten erfolgte am häufigsten auf Grund von fehlendem Vertrauen (31,6%). Weitere Gründe für die Aufgabe einer Sportart waren Angst (21,1%), die benötigte Bewegung war nicht mehr durchführbar

(21,1%), Schmerzen (15,8%) und Empfehlung des Operateurs (10,5%). Insgesamt verfolgte kein Patient eine Sportart, welche vom Operateur verboten wurde. 13 Patienten der Gruppe Aktiv (48,2%) hatten Schmerzen während des Sports. Im Mittel lagen die Schmerzen dabei bei  $1,7 \pm 0,9$  Punkten (Maximum: 4 Punkte) auf der NRS. Acht der 13 Patienten nahmen in diesem Zusammenhang Schmerz- oder entzündungshemmende Medikamente. Vor der OP vermieden 15 Patienten (44,1%) in der Gruppe Aktiv und drei Patienten (11,1%) in der Gruppe Inaktiv Sport (-arten) aufgrund der erkrankten Schulter. Vermieden wurde in jeweils 23,1% der Fälle Tennis oder Schwimmen, in 15,4% der Fälle Fahrradfahren und in jeweils 7,7% der Fälle Schlittschuhlaufen, Nordic Walking, Skifahren, Joggen, Schießen und Krafttraining. In der Gruppe Aktiv konnten neun der Patienten (60,0%) die vermiedene Sportarten nach der OP wieder aufnehmen.

Die (Wieder-) Teilnahme an sportlichen Aktivitäten war für 15 Patienten (25,0%) mindestens eine der Motivationen zur Implantation der Inversen Schulterprothese. Des Weiteren war für 51 Patienten (85,0%) eine Schmerzreduktion und für je zehn Patienten (16,7%) eine Besserung der ROM oder Wiedererlangung der Arbeitsfähigkeit eine Motivation zum operativen Eingriff. Im gesamten Kollektiv waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 50 Patienten (52 Schultern) (85,2%) mit der Inversen Schulterprothese zufrieden, sechs Patienten (9,8%) waren eher zufrieden, zwei Patienten (3,3%) eher unzufrieden und ein Patient (1,6%) unzufrieden. 95% der Patienten waren somit mindestens eher zufrieden mit der Inversen Schulterprothese.

### 3.4 Ergebnisse standardisierte Scores

#### Constant-Murley-Score

Der Constant-Murley-Score lag im gesamten Kollektiv im Mittel bei  $62,7 \pm 15,3$  Punkten. In der Gruppe Aktiv lag er bei  $68,7 \pm 10,4$  Punkten und in der Gruppe Inaktiv bei  $55,2 \pm 17,2$  Punkten. Das Ergebnis der Gruppe Aktiv war dabei signifikant besser ( $p < 0,001$ ). Die mittlere Differenz zwischen den beiden Gruppen betrug 13,5 Punkte (95% Konfidenzintervall (KI): 6,3-20,5 Punkte). Auch der angepasste Constant-Score war in der Gruppe Aktiv signifikant besser ( $p = 0,002$ ). Er lag in der Gruppe Aktiv bei  $96,4 \pm 13,6\%$  und in der Gruppe Inaktiv bei  $78,8 \pm 25,8\%$ . Die mittlere Differenz für den angepassten Constant-Score betrug somit 17,6 Punkte. Nach Boehm (Boehm, 2002) erreichten insgesamt 38 Patienten (62,3%) ein ausgezeichnetes, sieben Patienten (11,5%) ein gutes, zwei Patienten (3,3%) ein befriedigendes, fünf Patienten (8,2%) ein ausreichendes und neun Patienten (14,7%) ein schlechtes Ergebnis (siehe Abb. 20).

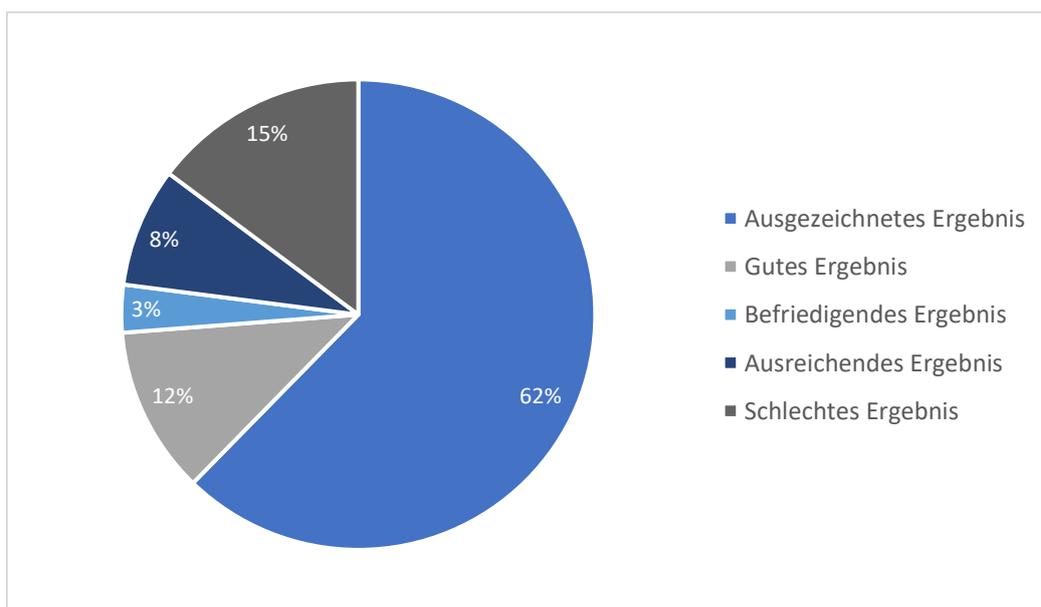


Abbildung 20: Insgesamtes Ergebnis nach Implantation der Inversen Schulterprothese anhand des angepassten Constant-Murley-Scores.

(>90%=ausgezeichnet; 81-90%=gut; 71-80%=befriedigend; 61-70%=ausreichend; ≤60%=schlecht)

### **American-Shoulder-and-Elbow-Surgeons-Score**

Im Mittel lag der American-Shoulder-and Elbow-Surgeons-Score bei  $80,1 \pm 17,8$  Punkten. Wie der Constant-Murley-Score, war auch der ASES-Score in der Gruppe Aktiv signifikant besser ( $p < 0,001$ ). Die Gruppe Aktiv hatte einen ASES-Score von  $87,0 \pm 10,4$  Punkten und die Gruppe Inaktiv von  $71,5 \pm 21,3$  Punkten. Die mittlere Differenz zwischen den beiden Gruppen lag somit bei 15,5 Punkten.

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

Beim Simple-Shoulder-Test erreichte das untersuchte Kollektiv insgesamt einen MW von  $8,1 \pm 2,7$  Punkten. Auch hier erzielte die Gruppe Aktiv ein signifikant besseres Ergebnis ( $p = 0,001$ ). Mit einem MW von  $9,1 \pm 2,0$  Punkten war sie der Gruppe Inaktiv ( $6,8 \pm 2,9$  Punkte) überlegen. Die beiden Gruppen hatten für den Simple-Shoulder-Test eine mittlere Differenz von 2,3 Punkten.

### **Numerische-Rating-Skala**

Auf der NRS für Schulterschmerzen der Patienten am Tag der Nachuntersuchung lag der MW bei  $0,6 \pm 1,7$  Punkten. Die Gruppe Aktiv hatte mit einem Schnitt von  $0,1 \pm 0,3$  Punkten signifikant weniger Schmerzen als die Gruppe Inaktiv, bei der der Schnitt bei  $1,3 \pm 2,3$  Punkten lag ( $p = 0,022$ ). Die mittlere Differenz zwischen den beiden Gruppen war hier somit 1,2 Punkte.

Ein Überblick über den Vergleich der verschiedenen Scores zwischen den beiden Gruppen bietet Abb. 21.

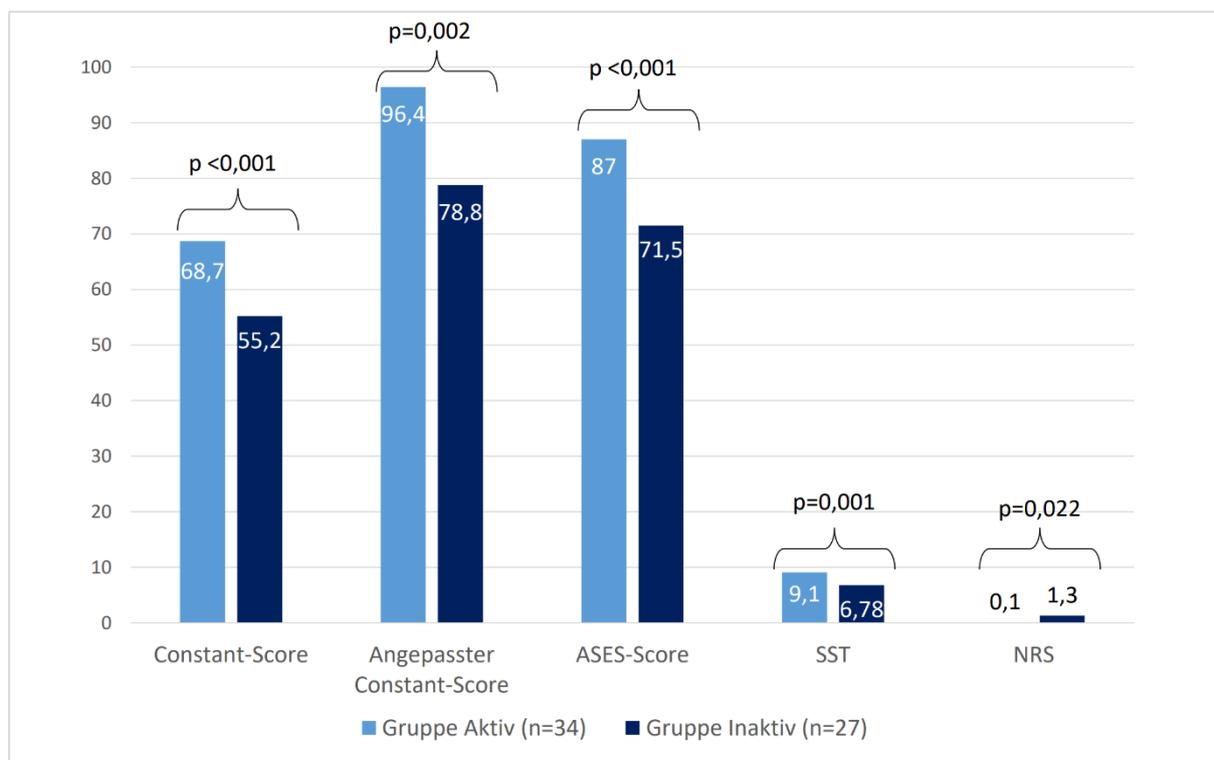


Abbildung 21: Mittelwerte der klinische Scores im Vergleich zwischen den Gruppen

### **3.5 Ergebnisse der radiologischen Untersuchung**

#### **3.5.1 Radiologische Ergebnisse humeral**

##### **Lockerung**

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, im Schnitt  $47,1 \pm 18,1$  Monate nach der Operation, wurde radiologisch eine insgesamte Lockerungsrate von 1,6% ( $n=1$ ) festgestellt. Die beobachtete Lockerung betraf die Schaftkomponente der Inversen Schulterprothese (siehe Tab. 5). Der Patient der Gruppe Inaktiv zeigte an der Schaftkomponente komplette radiolucent lines  $\geq 1,5\text{mm}$  an Metaphyse und Diaphyse und wurde somit jeweils mit Grad 2b eingestuft. Zusätzlich war die Schaftkomponente bei diesem Patienten sowohl gekippt, als auch gesintert und wurde dementsprechend ebenso als locker angesehen.

Inkomplette radiolucent lines (Grad 1a und 1b) um die Metaphyse der Schaftkomponente ließen sich bei 16 Patienten (47,1%) der Gruppe Aktiv und bei vier Patienten (14,8%) der Gruppe Inaktiv beobachten (vgl. Abb. 22). Der Größere Anteil in der Gruppe Aktiv war signifikant ( $p=0,008$ ). Auch um die Diaphyse der Schaftkomponente zeigte die Gruppe Aktiv signifikant mehr inkomplette radiolucent lines ( $p=0,01$ ). So hatten hier in der Gruppe Aktiv 12 Patienten (35,3%) und in der Gruppe Inaktiv 2 Patienten (7,4%) radiolucent lines Grad 1a oder 1b. Die Rate an radiolucent lines war für die Metaphyse der Schaftkomponente mit 37,3% des gesamten Kollektivs am höchsten.

Komplette radiolucent lines (2a und 2b) um die Metaphyse der Schaftkomponente zeigte ein Patient (2,9%) der Gruppe Aktiv und zwei Patienten (7,4%) der Gruppe Inaktiv. Dieser Unterschied war nicht signifikant ( $p=0,423$ ). Um die Diaphyse der Schaftkomponente ließen sich in der Gruppe Aktiv keine kompletten radiolucent

lines nachweisen. In der Gruppe Inaktiv hatten hier zwei Patienten (7,4%) komplette radiolucent lines. Auch dieser Unterschied war nicht signifikant ( $p=0,107$ ).

*Tabelle 5: Lockerungen, Verkippung und Sinterung für Schaft und Glenoidkomponente im Vergleich beider Gruppen*

	Gruppe Aktiv (n=34)	Gruppe Inaktiv (n=27)	p-Wert
Lockerung Schaft Diaphyse	0	2	0,192
Lockerung Schaft Metaphyse	1	2	0,579
Kippen Schaftkomponente	0	1	0,443
Sintern Schaftkomponente	0	1	0,443
Lockerung Glenoidkomponente	0	0	-
Kippen Glenoidkomponente	0	0	-
Sintern Glenoidkomponente	0	0	-

### **Spot Welds und Verdichtungslinien an der Spitze der Schaftkomponente**

Spot Welds hatten insgesamt drei Patienten (siehe Tab. 6). Ein Patient (2,9%) der Gruppe Aktiv und zwei Patienten (7,4%) der Gruppe Inaktiv zeigten diese punktuelle radiologische Verdichtung um die Schaftkomponente. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant ( $p=0,579$ ). Auch Verdichtungslinien an der Spitze der Schaftkomponente konnten bei keiner Gruppe signifikant häufiger nachgewiesen werden ( $p=0,771$ ). So hatten 25 Patienten (73,5%) der Gruppe Aktiv und 20 Patienten (21 Schultern) (75,0%) der Gruppe Inaktiv Verdichtungslinien an der Spitze der Schaftkomponente.

### **Osteopenie des Humerus lateral/medial**

In der Gruppe Aktiv trat eine Osteopenie zweimal (5,9%) humeromedial und sechsmal (17,6%) humerolateral auf und in der Gruppe Inaktiv einmal (3,7%) humeromedial und siebenmal (25,9%) humerolateral auf. Wie auch Tab. 6 zeigt, war dabei keine Gruppe signifikant häufiger vertreten (med:  $p=1,0$ ; lat:  $p=0,534$ ).

### Osteolyse Calcar/Tubercula

In der Gruppe Aktiv zeigten sich acht (23,5%) partielle und keine komplette Osteolyse des Calcars, während in der Gruppe Inaktiv zwei (7,4%) partielle und vier (14,8%) komplette Osteolysen des Calcars auftraten (siehe Tab.6). Insgesamt fanden sich somit in der Gruppe Aktiv acht und in der Gruppe Inaktiv sechs Osteolysen des Calcars, was keinen signifikanten Unterschied darstellte ( $p=0,904$ ). Die Osteolyse der Tubercula konnte man in der Gruppe Aktiv 9-mal (26,5%) partiell und 5-mal (14,7%) komplett, sowie in der Gruppe Inaktiv 8-mal (29,6%) partiell und 6-mal (22,2%) komplett beobachten. Auch hier war, im Bezug auf die Gesamtzahl der Osteolysen (Gruppe Aktiv: 14; Gruppe Inaktiv: 14) kein signifikanter Unterschied nachzuweisen ( $p=0,406$ ).

Tabelle 6: Radiologische Ergebnisse der Schaftkomponente

	Gruppe Aktiv (n=34)	Gruppe Inaktiv (n=27)	p- Wert
Osteolyse Calcar	Keine: 26 (76,5%) Partiell: 8 (23,5%) Komplett: 0	Keine: 21 (77,8%) Partiell: 2 (7,4%) Komplett: 4 (14,8%)	-
Osteolyse Tubercula	Keine: 20 (58,8%) Partiell: 9 (26,5%) Komplett: 5 (14,7%)	Keine: 13 (48,2%) Partiell: 8 (29,6%) Komplett: 6 (22,2%)	-
Osteopenie humeromedial	2 (5,9%)	1 (3,7%)	1,0
Osteopenie humerolateral	6 (17,6%)	7 (25,9%)	0,534,
Spot Welds	1 (2,9%)	2 (7,4%)	0,579
Verdichtungen an der Schaftspitze	25 (73,5%)	21 (77,8%)	0,771

### 3.5.2 Radiologische Ergebnisse glenoidal

#### Lockerung

Es zeigt sich für keinen Patienten eine Lockerung, ein Verkippen oder Sintern der Glenoidkomponente (siehe Tab. 5). Inkomplette radiolucent lines (Grad 1a und 1b) um die Glenoidkomponente ließen sich bei einem Patienten (2,9%) der Gruppe Aktiv und bei drei Patienten (11,1%) der Gruppe Inaktiv beobachten (vgl. Abb. 22). Dieser Unterschied war nicht signifikant ( $p=0,2$ ). Komplette radiolucent lines um die Glenoidkomponente zeigte kein Patient im untersuchten Kollektiv.

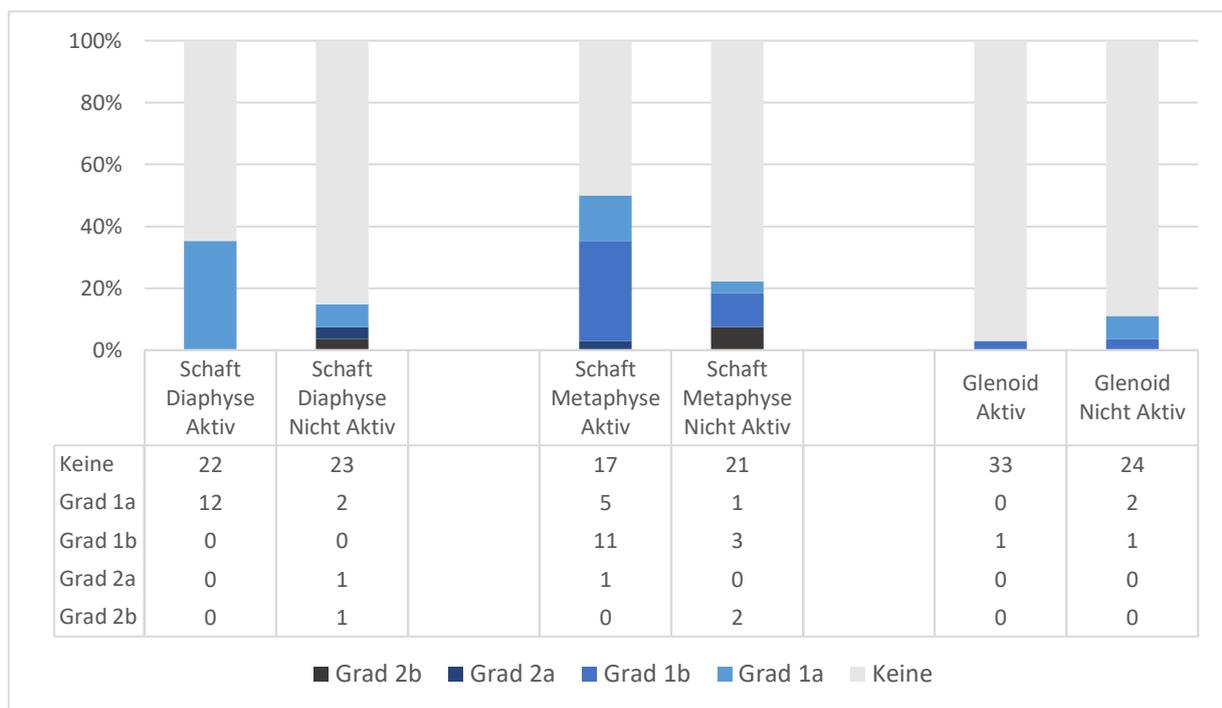


Abbildung 22: Ergebnisse der radiolucent lines für Schaft- und der Glenoidkomponente [nach Durchholz et al.]

### **Knöcherner Sporn am caudalen Pol der Glenoidkomponente**

Einen knöchernen Sporn zeigten 14 Patienten (41,2%) der Gruppe Aktiv und zwölf Patienten (44,4%) der Gruppe Inaktiv. Dabei war keine Gruppe signifikant im Vor- oder Nachteil ( $P=0,798$ ) (vgl. Tab. 7).

### **Scapula-Notching**

Insgesamt trat ein Scapula-Notching in der Gruppe Aktiv 18 -mal (52,9%) und in der Gruppe Inaktiv 12-mal (42,9%) auf. Dies stellte keinen signifikanten Unterschied dar ( $P=0,510$ ). Die genaue Aufteilung der Ergebnisse in Graden nach Sirveaux ist in Tab. 7 dargestellt.

### **Heterotope Ossifikationen**

Heterotope Ossifikationen traten bei 14 Patienten (52,9%) der Gruppe Aktiv und bei zwölf Patienten (44,4%) der Gruppe Inaktiv auf. Der Unterschied für das Vorhandensein einer Ossifikation zwischen den beiden Gruppen war dabei nicht signifikant ( $P=0,142$ ). Tab. 7 zeigt die genaue Aufteilung der Heterotopen Ossifikationen.

Tabelle 7: Radiologische Ergebnisse der Glenoidkomponente

	Gruppe Aktiv (n=34)	Gruppe Inaktiv (n=27)	p-Wert
Scapula-Notching [nach Sirveaux]	Kein: 16 (47,1%) Grad 1: 11 (32,4%) Grad 2: 6 (17,6%) Grad 3: 0 Grad 4: 1 (2,9%)	Kein: 15 (55,6%) Grad 1: 6 (22,2%) Grad 2: 6 (22,2%) Grad 3: 0 Grad 4: 0	-
Knöcherner Sporn	14 (41,2%)	12 (44,4%)	0,798
Heterotope Ossifikationen	Keine: 20 (58,8%) Grad 1: 3 (8,8%) Grad 2: 10 (29,4%) Grad 3: 1 (2,9%) Grad 4: 0	Keine: 18 (66,7%) Grad 1: 3 (11,1%) Grad 2: 5 (18,5%) Grad 3: 1 (3,7%) Grad 4: 0	-

Insgesamt zeigte die Gruppe Aktiv, im Vergleich zur Gruppe Inaktiv, signifikant mehr inkomplette radiolucent lines um die Inverse Schulterprothese ( $p=0,019$ ). Bezüglich kompletter radiolucent lines zeigte sich im untersuchten Kollektiv kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p=0,382$ ).

### **3.6 Komplikationen**

Die Komplikationsrate im untersuchten Patientengut lag bei 11,5% (n=7). Fünf dieser Komplikationen traten in der Gruppe Inaktiv und zwei in der Gruppe Aktiv auf. Zwei waren frühe Revisionen, wurden also im ersten Monat nach der Implantation revidiert. Ein Patient wurde dabei bei klinisch und radiologischem Verdacht auf Lockerung, und ein Patient mit proximaler Schaftsprennung und Schraubenausbruch, revidiert. Ein Patient wurde, nachdem er bei der primären OP intraoperativ reanimiert werden musste, bei rezidivierenden Luxationen, fünf Monate nach der primären OP revidiert. Drei der Revisionsprothesen waren späte Revisionen. Deren Reoperation fand jeweils erst nach über einem Jahr statt. Zwei Patienten (einer Gruppe Inaktiv, einer Gruppe Aktiv) mussten hierbei aufgrund eines Infektes, nachdem die ursprüngliche Prothese ausgebaut und ein Spacer eingebaut wurde, revidiert werden. Eine weiterer Patient (Gruppe Aktiv) musste wegen eines Scapula-Notching Grad 4 nach Sirveaux und ausgeprägter sekundärer Verknöcherung drei Jahre nach Implantation, revidiert werden. Zusätzlich zu diesen sechs operativen Revisionen kam es zu einer weiteren Frühkomplikation im untersuchten Patientengut: Ein Patient erlitt direkt postoperativ eine Wundrandnekrose mit Hämatom. Dafür musste er im ersten Monat nach der Implantation der Prothese dreimalig gespült werden.

## 4 Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die klinischen und radiologischen Ergebnisse nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese zwischen einer sportlich aktiven und einer sportlich nicht aktiven Gruppe im mittelfristigen Follow-up zu vergleichen. Hierfür wurden 61 Schultern in der Abteilung für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar klinisch und radiologisch nachuntersucht. Es wurde für jede operierte Schulter die ROM getestet, mehrere schulterspezifische Scores erhoben und ein Röntgenbild in drei Ebenen angefertigt.

Die wichtigste Erkenntnis der Arbeit war: Die sportlich aktive Gruppe zeigte im mittelfristigen Follow-up bessere klinische Ergebnisse ohne eine höhere Rate an radiologischen Implantatlockerungen oder Scapula-Notching aufzuweisen. Trotzdem zeigte sich eine höhere Rate an inkompletten radiolucent lines um die Inverse Schulterprothese, was das langfristige Überleben der Prothesen beeinflussen könnte. Schlussendlich konnte die Hypothese, dass die Mehrheit der Patienten zum ursprünglichen Sport- und Aktivitätsniveau zurückkehrt, angenommen werden. Die Hypothese, dass sportlich aktive Patienten eine höhere Rate an Implantatlockerung aufweisen, konnte dagegen nicht angenommen werden. Diese Erkenntnisse decken sich mit der Studie von Simovitch et al. zum postoperativen Ergebnis nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese (Ryan W Simovitch et al., 2015).

Bei 71 eingeschlossenen Schultern, entsprechen 61 nachuntersuchte Schultern einem Follow-up von 85,9%. In Anbetracht des Alters der Patienten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ( $75,9 \pm 7,0$  Jahre) und auch im Vergleich zu ähnlichen Studien ist dies ein gutes Follow-up (Garcia et al., 2015). Mit einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von  $47,1 \pm 18,1$  Monaten, entsprechen die Resultate der Arbeit einem

mittelfristigen Ergebnis. Darüber hinaus sind die Gruppen, bis auf Ihre Größe (Gruppe Aktiv: 34 Schultern; Gruppe Inaktiv: 27 Schultern), gut vergleichbar.

Nachdem verschiedene Implantatdesigns das Drehzentrum, die Gelenkbeweglichkeit und die Stabilität beeinflussen (D. C. Ackland, Patel, & Knox, 2015), wurden nur Patienten, welche mit einem bestimmten Inversen Schulterprothesen System operiert wurden, in die Studie eingeschlossen. Auch wenn diese Prothese weitverbreitet und benutzt ist, gibt es wenige klinisch und radiologische Ergebnisse. Eine Multizenterstudie legte aber eine suffiziente postoperative Verbesserung der Schulterfunktion und Verbesserung der Lebensqualität im Kurzzeit-Follow-up nahe (Schwyzer et al., 2020).

In der Gruppe Inaktiv trat signifikant häufiger ( $p=0,040$ ) eine Deltaatrophie auf (Gruppe Aktiv:  $n=3$  (8,8%), Gruppe Inaktiv:  $n=8$  (29,6%)). Nachdem eine Atrophie des M. deltoideus, bei intaktem N. axillaris, durch Aktivität verhindert werden kann, ist dieses Ergebnis erwartungsgemäß. Für die Beweglichkeit der operierten Schulter konnte zwischen den beiden Gruppen, bis auf die Innenrotation und die aktive Außenrotation, kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Dies liegt vermutlich an der mechanischen Situation, welche die Beweglichkeit determiniert. Es ist anzunehmen, dass es bei aktiven Patienten durch eine bessere Ansteuerung und Dehnbarkeit eine bessere Innen- und aktive Außenrotation erzielt werden konnte. Das insgesamt Ergebnis beider Gruppen bezüglich der ROM ist, mit im Schnitt  $129,7\pm 25,5^\circ$  für die aktive Anteversion,  $121,3\pm 29,2^\circ$  für die aktive Abduktion,  $25,1\pm 14,3^\circ$  für die aktive Außenrotation und einer durchschnittlichen aktiven Innenrotation auf Höhe des ISG, mit den Ergebnissen andere Studien vergleichbar (Ek et al., 2013; Samuelsen et al., 2017; R. W. Simovitch et al., 2017). Laut der Metaanalyse von Simo-

vitch et al. (2017) erreicht auch die anatomische Schulterprothese kaum bessere Ergebnisse.

Die Gruppe Aktiv hatte darüber hinaus eine signifikant bessere Abduktionskraft (Gruppe Aktiv:  $3,7 \pm 2,0$ kg; Gruppe Inaktiv:  $2,3 \pm 1,1$ kg;  $p=0,016$ ). Auch dieses Ergebnis lässt sich mit einer besseren (postoperativen) Beübung erklären. Eine positive Korrelation zwischen der sportlichen Aktivität und der Kraft in der Schulter wurde schon durch Wang et al. beschrieben (Wang et al., 2016). In früheren Studien betrug die Abduktionskraft zwischen 3,3-3,5kg (De Boer, van Kampen, & Huijsmans, 2016; Ernstbrunner et al., 2017), was zumindest vergleichbar mit den Ergebnissen der Gruppe Aktiv ist. Die Motivation und der Wille der sportlich aktiven Patienten wieder aktiv zu werden, führt vermeintlich zu einer besseren Compliance und postoperativen Rehabilitation, was wieder rum die besseren funktionellen Ergebnisse, im Vergleich zu der inaktiven Gruppe, erklären könnte.

Die Verteilung der Sportarten postoperativ in der Gruppe Aktiv ist mit Wandern (61,8%), Fahrradfahren (58,8%) und Schwimmen (47,1%) vergleichbar mit anderen Studien, welche beispielsweise die Return-to-sport-Rate untersuchen (Kolling et al., 2018; Liu et al., 2018). Keiner der Patienten in der Gruppe Aktiv hat postoperativ einen Überkopfsport weiter- bzw. ausgeführt. Sicherlich ist dabei die vermeintliche Belastung auf die Schulterprothese am größten. Somit bedarf es weiterer Studien, welche einzelne Sportarten analysieren oder zumindest zwischen Sportarten der oberen und der unteren Extremität differenzieren.

Die Return-to-sport-Rate betrug 78,0% und die Patienten konnten nach  $5,3 \pm 3,6$  Monaten wieder komplett zu ihrem Sport zurückkehren. Somit konnten in der vorliegenden Studie vergleichbar viele Patienten postoperativ wieder Sport treiben. In der Literatur werden bis dato Raten zwischen 47%-84% beschrieben. Die Zeit bis zur

Sportwiederaufnahme war mit 5,3 Monaten vergleichbar mit früheren Studien (Kolling et al., 2018; Liu et al., 2018). Bezüglich der Return-to-sport-Rate bleibt anzumerken: 16,4% der Patienten hatten Begleiterkrankungen, welche sie in ihrer Sportfähigkeit einschränkten. Grundsätzlich sind Patienten, welche eine Inverse Schulterprothese erhalten häufig multimorbide und eine Beendigung der sportlichen Aktivität ist selten singular auf die Schulter zurückzuführen. Ein Teil der Patienten, welche postoperativ Sport aufgegeben hatten, gaben den Sport nicht auf Grund der Inversen Schulterprothese, sondern wegen anderer Begleiterkrankungen auf. Dies verfälscht die Return-to-sport-Rate negativ.

52,9% der Patienten empfanden, im Vergleich zu drei Jahren präoperativ, ihre Sportfähigkeit als besser, während 14,8% diese als schlechter bezeichneten. Garcia et al. schildert vergleichbare Entwicklungen nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese im Hinblick auf Intensität und Dauer von sportlichen Aktivitäten postoperativ (Garcia et al., 2015).

Der Constant-Murley-Score lag im gesamten Kollektiv im Mittel bei  $62,7 \pm 15,3$  Punkten. Dies korreliert mit der Metaanalyse von Ernstbrunner et al., laut welcher der Constant-Murley-Score zehn Jahre postoperativ bei durchschnittlich 59 Punkten lag (Ernstbrunner et al., 2019). Die Gruppe Aktiv hatte einen Constant-Murley-Score von  $68,7 \pm 10,4$  Punkten und die Gruppe Inaktiv von  $55,2 \pm 17,2$  Punkten. Die mittlere Differenz zwischen den beiden Gruppen betrug 13,5 Punkte (95% KI: 6,3-20,5 Punkte). Für den angepassten Constant-Score betrug die mittlere Differenz 17,6 Punkte. Nachdem laut Dabija und Jain der minimale, klinisch relevante Unterschied 8-10 Punkte beträgt (Dabija & Jain, 2019), ist das bessere Ergebnis in der Gruppe Aktiv nicht nur signifikant besser, sondern macht auch klinisch einen Unterschied für die Patienten. Das Gleiche gilt für den ASES-Score: Auch hier liegt der minimale, klinisch

relevante Unterschied bei 8-10 Punkten (Dabija & Jain, 2019). Im Mittel lag der American-Shoulder- and Elbow-Surgeons-Score in der durchgeführten Studie bei  $80,1 \pm 17,8$  Punkten. Dies ist vergleichbar zu den Ergebnissen von Mulieri et al. (75,4 Punkte nach 52 Monaten) oder Garcia et al. (81,45 Punkte nach 32 Monaten) (Mulieri et al., 2010; Garcia et al., 2015). Die mittlere Differenz zwischen den beiden Gruppen lag bei 15,5 Punkten, was wiederum einen klinischen relevanten Unterschied darstellt.

Aus radiologischer Sicht zeigte sich eine Lockerungsrate von 1,6% ( $n=1$ ). Die Lockerung betraf einen Patienten der Gruppe Inaktiv, bei welchem sich die Schaftkomponente als locker darstellte. Die Lockerungsrate ist im Vergleich zu einer Metaanalyse von Grey, Rodseth und Roche, bei der die durchschnittliche Lockerungsrate für die Schaftkomponente nach fünf Jahren 0,8% betrug, ebenfalls gering (Grey et al., 2018). Die Glenoidkomponente hingegen lockerte sich laut einer Analyse von Farshad und Gerber in 4,1% der Fälle in den ersten zwei Jahren (Farshad & Gerber, 2010). Im untersuchten Kollektiv wurde keine Lockerung am Glenoid festgestellt.

Inkomplette radiolucent lines zeigten sich in der Gruppe aktiv signifikant häufiger um die Metaphyse und Diaphyse der Schaftkomponente ( $p=0,008$ ;  $p=0,01$ ). Aber auch im Bezug auf die gesamte Inverse Schulterprothese hatte die Gruppe Aktiv signifikant mehr inkomplette radiolucent lines ( $p=0,19$ ). Die höhere Rate an inkompletten radiolucent lines könnte langfristig das Überleben der Prothesen, vor allem in der Gruppe Aktiv, negativ beeinflussen. Insgesamt traten bei 37,3% der Patienten radiolucent lines um die Schaftkomponente auf. Dies deckt sich mit der Literatur, welche allerdings inhomogene Ergebnisse von 10% nach zwei Jahren bis zu 57% nach rund 10 Jahren (Bogle et al., 2013; Melis et al., 2011) darlegt. Bezüglich kompletter radiolucent lines unterschieden sich die Gruppen nicht. Zwei Patienten (5,9%) zeigten ra-

diolucent lines Grad 2b an der Metaphyse der Schaftkomponente (einer davon auch an der Diaphyse). Dies ist vergleichbar mit den Beobachtungen von Bacle et al. (12% nach rund 13 Jahren) und Melis et al. (5,9% nach 10 Jahren) (Bacle et al., 2017; Melis et al., 2011).

Insgesamt zeigten sich im untersuchten Kollektiv 14 (23,0%) partielle oder komplette Osteolysen des Calcars. Die Gruppe Aktiv hatte dabei keine komplette und acht (23,5%) partielle Osteolysen. Die Gruppe Inaktiv zwei (7,4%) partielle und vier (14,8%) komplette Osteolysen des Calcars. An den Tubercula traten insgesamt 28 (45,9%) partielle oder komplette Osteolysen auf. Hier war die Verteilung innerhalb der Gruppen ähnlich. Der Wert für den Calcar ist etwas niedriger als in vorangegangenen Studien, welche teils doppelt so hohe Werte nach acht Jahren fanden. Für die Tubercula finden sich vergleichbare Werte in der Literatur (Raiss et al., 2014). Die geringere Zahl an Osteolysen ist erfreulich, da Osteolysen signifikant mit einem schlechteren klinischen Resultat korrelieren (Raiss et al., 2014).

Im gesamten Kollektiv fand sich bei 30 (49,2%) Patienten ein Scapula-Notching. Der Vergleich der beiden Gruppen brachte keinen signifikanten Unterschied. Dies ist überraschend, nachdem Ernstbrunner et al. einerseits eine positive Korrelation zwischen Scapula-Notching und der Kraft postulierte und eine Rate von bis zu 93% an Scapula-Notching zehn Jahre postoperativ fand (Ernstbrunner et al., 2019). Eine andere Metaanalyse von Nicholson, Strauss und Sherman legt mit einer Rate von 44-96% jedoch eine hohe Varianz nahe (Nicholson, Strauss, & Sherman, 2011). Diese Inkongruenz könnte beispielsweise an der heutzutage verbesserten Implantationstechnik (Lateralisierung, kleinerer Hals-Schaft-Winkel, inferiore Position des Glenoids) liegen (C. Lévine et al., 2011; Nyffeler, Werner, & Gerber, 2005). Der klinische Einfluss und die Relevanz des Scapula-Notching wird allerdings kontrovers diskutiert

(C. Lévine et al., 2011; Sirveaux et al., 2004). Laut Lévine et al. steht das Scapula-Notching in engem Zusammenhang mit dem Vorhandensein eines knöchernen Sporns (Christophe Lévine et al., 2008). Dieser fand sich im untersuchten Kollektiv bei jeweils rund 40% der Patienten. Heterotope Ossifikationen traten bei 52,9% der Gruppe Aktiv und bei 44,4% der Gruppe Inaktiv auf. Wenn man laut Melis et al. davon ausgeht, dass nach zehn Jahren rund 75% der operierten Schultern einen knöchernen Sporn oder heterotope Ossifikationen aufweisen, ist dies ein erwartbares Ergebnis (Melis et al., 2011).

Allgemein sind Komplikationen für die Inverse Schulterprothese in der Literatur häufiger beschrieben, als für die anatomische Schulterprothese (Bohsali, Bois, & Wirth, 2017). Die veränderte Biomechanik, aber auch das höhere Patientenalter und die damit verbundene Multimorbidität, sind Gründe hierfür. Zusätzlich beeinflusst die Tatsache, dass die Inverse Schulterprothese früher häufig nur eine „Notlösung“ war, die Komplikationsrate negativ. Die aktuelle Literatur beschreibt eine insgesamt Komplikationsrate, für die primäre Implantation einer Inversen Schulterprothese, von 16-21%. (Bohsali et al., 2017; Zumstein et al., 2011). Die Komplikationsrate im untersuchten Patientengut dieser Arbeit lag bei 11,5% (n=7). Dabei traten in der Gruppe Aktiv nicht mehr Komplikationen auf als in der Gruppe Inaktiv. Die Revisionsrate betrug 9,8% (n=6). Mit einer Instabilität, einer Lockerung, einer Schaftsprennung mit Schraubenausbruch, einem Scapula-Notching Grad 4 nach Sirveaux und zwei Infektionen, sind sowohl die Revisionsrate, wie auch die Revisionsursachen, vergleichbar mit der Literatur (Bohsali et al., 2017; Groh & Groh, 2014; Zumstein et al., 2011).

Diese Arbeit weißt einige Limitationen auf: So war der Nachuntersuchungszeitraum, mit im Schnitt 47,1 Monaten etwas kurz. Für eine endgültige Entscheidung über den Einfluss der sportlichen Aktivität auf das funktionelle und radiologische Ergebnis

nach Implantation der Inverse Schulterprothese, bedarf es eines längeren Nachuntersuchungszeitraums. Zusätzlich war die Zahl der Patienten in den Gruppen limitiert, was keine Aussage über den Einfluss einzelner Sportarten zuließ. Zusätzlich neigten die untersuchten Patienten zu alpinen Sportarten, wie Wandern, Fahrradfahren, Nordic Walking und Schwimmen. Diese Sportarten sind weder High-impact- oder Überkopf-Sportarten, noch treten Kraftspitzen auf. Nachdem diese allerdings vermutlich den stärksten (negativen) Effekt auf die Prothese haben, benötigt es hierfür weitere Studien.

Eine weitere Limitation der Arbeit ist die Einteilung der Gruppen. Ein Patient galt als sportlich aktiv, sollte er regelmäßig, mindestens einmal pro Woche Sport treiben. Als Sport galt jede Aktivität, welche frei von einem besonderen Zweck war. So wurde ein Patient, der regelmäßig spazieren ging, als sportlich aktiv, ein Patient, der lediglich regelmäßig im eigenen landwirtschaftlichen Betrieb arbeitete, als nicht sportlich gewertet. Diese Einteilung der Gruppen entspricht der Methode von anderen sportbezogenen, medizinischen Studien (Garcia et al., 2015; Johnson et al., 2016) und auch der Definition von Sport nach Carl Diem<sup>1</sup> (Diem, 1949). Die Belastung der Schulter wird damit nicht direkt klassifiziert. Diese Arbeit kann somit nur den Einfluss von Sport auf die Inverse Schulterprothese abschätzen. Ob dies auch mit einer erhöhten mechanischen Belastung der Schulter einhergeht, kann nicht endgültig nachgewiesen werden.

Vorteile der Studie sind die große Zahl an nachuntersuchten Inversen Schulterprothesen (n=61) und das nahezu unselektierte Patientengut. Sicherlich wäre eine prospektiv randomisierte Untersuchung aussagekräftiger, doch dies ist für diese Frage-

---

<sup>1</sup> Zitat: „Sport als Leibesübung ist im Lebensbereich zweckfreien Tuns ein von Wertgefühl und Festlichkeit erfülltes, natur- und kampffrohes, verfeinert und typisiert geregeltes Vervollkommnungstreben. Der Gegner im Sport ist Freund als Träger der vergleichbaren Wettbewerbsleistung“ (Diem, 1949).

stellung wohl kaum umzusetzen. Ein Freiwilligen-Bias, also die Tatsache, dass eventuell vermehrt Patienten, welche zufrieden mit der Operation sind, bereit waren an der Studie teilzunehmen, lässt sich nicht ausschließen.

## 5 Zusammenfassung

Steigende Zahlen und Indikationen der Inversen Schulterprothese, sowie ein sinkendes Patientenalter, erhöhen den Anspruch der Operateure und auch der Patienten, an die Prothese. Jüngere Patienten und somit auch ein höheres Aktivitätslevel belasten die Prothese verstärkt. Mehrere Studien konnten zeigen: Eine Rückkehr zum Sport nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese ist möglich. Die Return-to-sports-Rate ist nahezu vergleichbar mit anderen Prothesen und anderen Gelenken. Die Auswirkungen der sportlichen Belastung auf die Prothese, war bis dato jedoch wenig erforscht.

Diese Arbeit untersuchte mit einem mittleren Follow-up von 47,1 Monaten nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese 61 Schultern klinisch und radiologisch nach. Abhängig von ihrer sportlichen Aktivität, wurden die Patienten in zwei Gruppen (Gruppe Aktiv und Gruppe Inaktiv) eingeteilt. Die Patienten waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung im Schnitt 75,9 Jahre alt und 44,3% der Patienten wurden bereits davor (nicht endoprothetisch) an der entsprechenden Schulter operiert. Die Gruppen unterschieden sich bezüglich dieser Merkmale, sowie dem BMI, dem Geschlecht und Vorerkrankungen nicht. Die Defektarthropathie, sowie die fortgeschrittene Omarthrose waren, in beiden Gruppen, die häufigsten Diagnosen, welche zur Implantation führten.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung war das klinische Ergebnis in der Gruppe Aktiv vor allem in der aktiven Außenrotation, der aktiven und passiven Innenrotation und der Abduktionskraft signifikant besser. Postoperativ betrieben die meisten Patienten der Gruppe Aktiv alpine Sportarten, wie Wandern, Fahrradfahren und Schwimmen. Die Return-to-sport-Rate lag bei 78,0%. Die Patienten benötigten dabei im Schnitt  $2,5 \pm 1,7$  Monate um teilweise und  $5,3 \pm 3,6$  Monate um komplett zum Sport

zurückkehren zu können. Die Hypothese, dass die Mehrheit der Patienten zum ursprünglichen Sport- und Aktivitätsniveau zurückkehrt, konnte somit angenommen werden. Die Gruppe Aktiv war der Gruppe Inaktiv bezüglich der klinischen Scores signifikant überlegen: Constant-Murley-Score ( $68,7 \pm 10,4$  vs.  $55,2 \pm 17,2$  Punkte), American-Shoulder-and Elbow-Surgeons-Score ( $87,0 \pm 10,4$  vs.  $71,5 \pm 21,3$  Punkte), Simple-Shoulder-Test ( $9,1 \pm 2,0$  vs.  $6,8 \pm 2,9$  Punkte) und Numerische-Rating-Skala ( $0,1 \pm 0,3$  vs.  $1,3 \pm 2,3$  Punkte).

Die Gruppe Aktiv zeigte in der radiologischen Nachuntersuchung signifikant mehr inkomplette radiolucent lines ( $p=0,019$ ). Ansonsten unterschieden sich die radiologischen Befunde innerhalb der Gruppen jedoch nicht signifikant. Die Hypothese „Die Gruppe Aktiv zeigt mehr radiologische Veränderungen, wie Lockerung oder Scapula-Notching“ konnte somit nicht angenommen werden. Die Gruppe Aktiv wies weder vermehrt Lockerungen noch vermehrt Scapula-Notching auf.

Das untersuchte Kollektiv hatte eine Komplikationsrate von 11,5% ( $n=7$ ). Dazu zählten Komplikationen, wie Infektionen ( $n=2$ ), Lockerungen ( $n=1$ ), Instabilität ( $n=1$ ), Schaftsprennung ( $n=1$ ), Scapula-Notching Grad 4 nach Sirveaux ( $n=1$ ) und Wundrandnekrose ( $n=1$ ).

Vergleichbar mit der Literatur, zeigte sich eine gute Return-to-sport-Rate nach der Implantation einer Inversen Schulterprothese. Zum Zeitpunkt des mittelfristigen Follow-up zeigte die Gruppe Aktiv, ohne eine vermehrte Rate an radiologischen Lockerungen oder Scapula-Notching, ein signifikant besseres klinisches Ergebnis. Für Aussagen über die langfristigen Folgen einer sportlichen Betätigung, sowie die Auswirkungen spezieller Sportarten der oberen Extremität auf die Inverse Schulterprothese sind weitere Studien nötig.

## 6 Literaturverzeichnis

- Ackland, D. C., Patel, M., & Knox, D. (2015). Prosthesis design and placement in reverse total shoulder arthroplasty. *J Orthop Surg Res*, 10, 101. doi:10.1186/s13018-015-0244-2
- Ackland, D. C., Roshan-Zamir, S., Richardson, M., & Pandy, M. G. (2011). Muscle and joint-contact loading at the glenohumeral joint after reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Research*, 29(12), 1850-1858.
- Aldinger, P. R., Jung, A. W., Breusch, S. J., Ewerbeck, V., & Parsch, D. (2009). Survival of the Cementless Spotorno® Stem in the Second Decade. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 467(9), 2297-2304. doi:10.1007/s11999-009-0906-7
- Alikhah, A., Krukenberg, A., Moroder, P., Gerhardt, C., & Scheibel, M. (2017). Instabilität nach inverser Schulterendoprothetik. *Obere Extremität*, 12(1), 25-31.
- Bacle, G., Nové-Josserand, L., Garaud, P., & Walch, G. (2017). Long-Term Outcomes of Reverse Total Shoulder Arthroplasty: A Follow-up of a Previous Study. *JBJS*, 99(6). Retrieved from [https://journals.lww.com/jbjsjournal/Fulltext/2017/03150/Long\\_Term\\_Outcomes\\_of\\_Reverse\\_Total\\_Shoulder.2.aspx](https://journals.lww.com/jbjsjournal/Fulltext/2017/03150/Long_Term_Outcomes_of_Reverse_Total_Shoulder.2.aspx)
- Berliner, J. L., Regalado-Magdos, A., Ma, C. B., & Feeley, B. T. (2015). Biomechanics of reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*, 24(1), 150-160. doi:10.1016/j.jse.2014.08.003
- Boehm, D. (2002). Scores. In F. Gohlke & A. Hedtmann (Eds.), *Schulter: das Standardwerk für Klinik und Praxis* (pp. 98-104). Stuttgart, New-York: Thieme.
- Bogle, A., Budge, M., Richman, A., Miller, R. J., Wiater, J. M., & Voloshin, I. (2013). Radiographic results of fully uncemented trabecular metal reverse shoulder system at 1 and 2 years' follow-up. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 22(4), e20-e25. doi:https://doi.org/10.1016/j.jse.2012.08.019
- Bohsali, K. I., Bois, A. J., & Wirth, M. A. (2017). Complications of shoulder arthroplasty. *JBJS*, 99(3), 256-269.
- Boileau, P., Melis, B., Duperron, D., Moineau, G., Rumian, A. P., & Han, Y. (2013). Revision surgery of reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 22(10), 1359-1370.
- Boileau, P., Watkinson, D. J., Hatzidakis, A. M., & Balg, F. (2005). Grammont reverse prosthesis: design, rationale, and biomechanics. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 14(1), S147-S161.
- Constant, C. R. (1986). Age related recovery of shoulder function after injury. *Thesis, University College*.
- Constant, C. R., Gerber, C., Emery, R. J., Sjøbjerg, J. O., Gohlke, F., & Boileau, P. (2008). A review of the Constant score: modifications and guidelines for its use. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 17(2), 355-361.
- Constant, C. R., & Murley, A. H. (1987). A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res*(214), 160-164.
- Coste, J., Reig, S., Trojani, C., Berg, M., Walch, G., & Boileau, P. (2004). The management of infection in arthroplasty of the shoulder. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 86(1), 65-69.

- Dabija, D. I., & Jain, N. B. (2019). Minimal Clinically Important Difference of Shoulder Outcome Measures and Diagnoses: A Systematic Review. *Am J Phys Med Rehabil*, 98(8), 671-676. doi:10.1097/phm.0000000000001169
- De Boer, F. A., van Kampen, P. M., & Huijsmans, P. E. (2016). The influence of subscapularis tendon reattachment on range of motion in reversed shoulder arthroplasty: a clinical study. *MUSCULOSKELETAL SURGERY*, 100(2), 121-126. doi:10.1007/s12306-016-0401-8
- De Wilde, L. F., Poncet, D., Middernacht, B., & Ekelund, A. (2010). Prosthetic overhang is the most effective way to prevent scapular conflict in a reverse total shoulder prosthesis. *Acta orthopaedica*, 81(6), 719-726.
- Diem, C. (1949). *Wesen und Lehre des Sports und der Leibeserziehung*. Berlin: Frankfurt/M.: Weidmannsche Verlagsbuchhandlung.
- Durchholz, H., Salomonsson, B., Moroder, P., Lambert, S., Page, R., Audigé, L., . . . Group, o. b. o. t. S. A. M. S. (2019). Core Set of Radiographic Parameters for Shoulder Arthroplasty Monitoring: Criteria Defined by an International Delphi Consensus Process. *JBJS Open Access*, 4(4), e0025. doi:10.2106/jbjs.Oa.19.00025
- Ek, E. T., Neukom, L., Catanzaro, S., & Gerber, C. (2013). Reverse total shoulder arthroplasty for massive irreparable rotator cuff tears in patients younger than 65 years old: results after five to fifteen years. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 22(9), 1199-1208.
- Erickson, B. J., Frank, R. M., Harris, J. D., Mall, N., & Romeo, A. A. (2015). The influence of humeral head inclination in reverse total shoulder arthroplasty: a systematic review. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 24(6), 988-993.
- Ernstbrunner, L., Andronic, O., Grubhofer, F., Camenzind, R. S., Wieser, K., & Gerber, C. (2019). Long-term results of reverse total shoulder arthroplasty for rotator cuff dysfunction: a systematic review of longitudinal outcomes. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 28(4), 774-781.
- Ernstbrunner, L., Suter, A., Catanzaro, S., Rahm, S., & Gerber, C. (2017). Reverse total shoulder arthroplasty for massive, irreparable rotator cuff tears before the age of 60 years: long-term results. *JBJS*, 99(20), 1721-1729.
- Farshad, M., & Gerber, C. (2010). Reverse total shoulder arthroplasty—from the most to the least common complication. *International orthopaedics*, 34(8), 1075-1082. doi:10.1007/s00264-010-1125-2
- Fevang, B.-T. S., Lie, S. A., Havelin, L. I., Skredderstuen, A., & Furnes, O. (2009). Risk factors for revision after shoulder arthroplasty: 1,825 shoulder arthroplasties from the Norwegian Arthroplasty Register. *Acta orthopaedica*, 80(1), 83-91.
- Fialka, C., Oberleitner, G., Stampfl, P., Brannath, W., Hexel, M., & Vécsei, V. (2005). Modification of the Constant–Murley shoulder score—introduction of the individual relative Constant score: Individual shoulder assessment. *Injury*, 36(10), 1159-1165.
- Flatow, E. L., & Harrison, A. K. (2011). A history of reverse total shoulder arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, 469(9), 2432-2439.
- Flury, M. P., Frey, P., Goldhahn, J., Schwyzer, H.-K., & Simmen, B. R. (2011). Reverse shoulder arthroplasty as a salvage procedure for failed conventional shoulder replacement due to cuff failure—midterm results. *International orthopaedics*, 35(1), 53-60.

- Gallo, J., Kolar, M., Novotny, R., Rihakova, P., & Tichá, V. (2003). Pathogenesis of prosthesis-related infection. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*, 147(1), 27-35.
- Garcia, G. H., Taylor, S. A., DePalma, B. J., Mahony, G. T., Grawe, B. M., Nguyen, J., . . . Craig, E. V. (2015). Patient activity levels after reverse total shoulder arthroplasty: what are patients doing? *The American journal of sports medicine*, 43(11), 2816-2821.
- Godfrey, J., Hamman, R., Lowenstein, S., Briggs, K., & Kocher, M. (2007). Reliability, validity, and responsiveness of the simple shoulder test: psychometric properties by age and injury type. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 16(3), 260-267.
- Gohlke, F. (2000). Biomechanik der Schulter. *Der Orthopäde*, 29(10), 834-844. doi:10.1007/s001320050534
- Gohlke, F. (2009). Defektarthropathie–sekundäre Omarthrose. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*, 4(02), 121-136.
- Golant, A., Christoforou, D., Zuckerman, J. D., & Kwon, Y. W. (2012). Return to sports after shoulder arthroplasty: a survey of surgeons' preferences. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 21(4), 554-560.
- Grammont, P. M., & Baulot, E. (1993). Delta shoulder prosthesis for rotator cuff rupture. *Orthopedics*, 16(1), 65-68.
- Grey, B., Rodseth, R. N., & Roche, S. J. (2018). Humeral Stem Loosening Following Reverse Shoulder Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JBJS Rev*, 6(5), e5. doi:10.2106/jbjs.Rvw.17.00129
- Groh, G. I., & Groh, G. M. (2014). Complications rates, reoperation rates, and the learning curve in reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 23(3), 388-394.
- Gutiérrez, S., Comiskey IV, C. A., Luo, Z.-P., Pupello, D. R., & Frankle, M. A. (2008). Range of impingement-free abduction and adduction deficit after reverse shoulder arthroplasty: hierarchy of surgical and implant-design-related factors. *JBJS*, 90(12), 2606-2615.
- Habermeyer, P., Magosch, P., & Lichtenberg, S. (2006). *Classifications and Scores of the Shoulder*: Springer Science & Business Media.
- Hawker, G. A., Mian, S., Kendzerska, T., & French, M. (2011). Measures of adult pain: Visual analog scale for pain (vas pain), numeric rating scale for pain (nrs pain), mcgill pain questionnaire (mpq), short-form mcgill pain questionnaire (sf-mpq), chronic pain grade scale (cpgs), short form-36 bodily pain scale (sf-36 bps), and measure of intermittent and constant osteoarthritis pain (icoap). *Arthritis care & research*, 63(S11), S240-S252.
- Helmkamp, J. K., Bullock, G. S., Amilo, N. R., Guerrero, E. M., Ledbetter, L. S., Sell, T. C., & Garrigues, G. E. (2018). The clinical and radiographic impact of center of rotation lateralization in reverse shoulder arthroplasty: a systematic review. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 27(11), 2099-2107.
- Hettrich, C. M., Permeswaran, V. N., Goetz, J. E., & Anderson, D. D. (2015). Mechanical tradeoffs associated with glenosphere lateralization in reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 24(11), 1774-1781.
- Holcomb, J. O., Cuff, D., Petersen, S. A., Pupello, D. R., & Frankle, M. A. (2009). Revision reverse shoulder arthroplasty for glenoid baseplate failure after primary reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 18(5), 717-723.

- Hyun, Y. S., Huri, G., Garbis, N. G., & McFarland, E. G. (2013). Uncommon indications for reverse total shoulder arthroplasty. *Clinics in Orthopedic Surgery*, 5(4), 243-255.
- Jeon, B.-K., Panchal, K. A., Ji, J.-H., Xin, Y.-Z., Park, S.-R., Kim, J.-H., & Yang, S.-J. (2016). Combined effect of change in humeral neck-shaft angle and retroversion on shoulder range of motion in reverse total shoulder arthroplasty—a simulation study. *Clinical Biomechanics*, 31, 12-19.
- Jerosch, J., & Heisel, J. (2013). *Schulterendoprothetik: Indikation, Implantate, OP-Technik, Nachbehandlung, Begutachtung*: Springer-Verlag.
- Johnson, C. C., Johnson, D. J., Liu, J. N., Dines, J. S., Dines, D. M., Gulotta, L. V., & Garcia, G. H. (2016). Return to sports after shoulder arthroplasty. *World journal of orthopedics*, 7(9), 519.
- Kettler, M., Biberthaler, P., Braunstein, V., Zeiler, C., Kroetz, M., & Mutschler, W. (2006). Treatment of proximal humeral fractures with the PHILOS angular stable plate. Presentation of 225 cases of dislocated fractures. *Der Unfallchirurg*, 109(12), 1032-1040.
- Klug, A., Gramlich, Y., Wincheringer, D., Schmidt-Horlohé, K., & Hoffmann, R. (2019). Trends in surgical management of proximal humeral fractures in adults: a nationwide study of records in Germany from 2007 to 2016. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 139(12), 1713-1721. doi:10.1007/s00402-019-03252-1
- Kolling, C., Borovac, M., Audigé, L., Mueller, A. M., & Schwyzer, H.-K. (2018). Return to sports after reverse shoulder arthroplasty—the Swiss perspective. *International orthopaedics*, 42(5), 1129-1135.
- Kontaxis, A., & Johnson, G. (2009). The biomechanics of reverse anatomy shoulder replacement—a modelling study. *Clinical Biomechanics*, 24(3), 254-260.
- Krukenberg, A., Imiolczyk, J.-P., Moroder, P., & Scheibel, M. (2018). Schulterendoprothetik. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 156(02), 227-238.
- Läderrmann, A., Denard, P. J., Boileau, P., Farron, A., Deransart, P., Terrier, A., . . . Walch, G. (2015). Effect of humeral stem design on humeral position and range of motion in reverse shoulder arthroplasty. *International orthopaedics*, 39(11), 2205-2213.
- Lévigne, C., Boileau, P., Favard, L., Garaud, P., Molé, D., Sirveaux, F., & Walch, G. (2008). Scapular notching in reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 17(6), 925-935.
- Lévigne, C., Garret, J., Boileau, P., Alami, G., Favard, L., & Walch, G. (2011). Scapular notching in reverse shoulder arthroplasty: is it important to avoid it and how? *Clin Orthop Relat Res*, 469(9), 2512-2520. doi:10.1007/s11999-010-1695-8
- Lippitt, S., Matsen, F., Fu, F., & Hawkins, R. (1993). A practical tool for evaluating function: the Simple Shoulder Test. *The shoulder: a balance of mobility and stability. Rosemont (IL): American Academy of Orthopaedic Surgeons*.
- Liu, J. N., Steinhaus, M. E., Garcia, G. H., Chang, B., Fields, K., Dines, D. M., . . . Gulotta, L. V. (2018). Return to sport after shoulder arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26(1), 100-112.
- Luo, Z.-P., Hsu, H.-C., Grabowski, J. J., Morrey, B. F., & An, K.-N. (1998). Mechanical environment associated with rotator cuff tears. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 7(6), 616-620.

- Maclean, S., Malik, S. S., Evans, S., Gregory, J., & Jeys, L. (2017). Reverse shoulder endoprosthesis for pathologic lesions of the proximal humerus: a minimum 3-year follow-up. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 26(11), 1990-1994.
- Melis, B., DeFranco, M., Lädermann, A., Molé, D., Favard, L., Nérot, C., . . . Walch, G. (2011). An evaluation of the radiological changes around the Grammont reverse geometry shoulder arthroplasty after eight to 12 years. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 93(9), 1240-1246.
- Michener, L. A., McClure, P. W., & Sennett, B. J. (2002). American Shoulder and Elbow Surgeons Standardized Shoulder Assessment Form, patient self-report section: reliability, validity, and responsiveness. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 11(6), 587-594.
- Molé, D., Favard, L., Audebert, S., Bacle, G., Baulot, E., Bellumore, Y., . . . Garaud, P. (2007). Omarthrose ecentrée: symposium. *Revue de Chirurgie Orthopedique et Reperatrice de l'appareil monteur*, 93(6, suppl. 1), 37-39.
- Mulieri, P., Dunning, P., Klein, S., Pupello, D., & Frankle, M. (2010). Reverse shoulder arthroplasty for the treatment of irreparable rotator cuff tear without glenohumeral arthritis. *JBJS*, 92(15), 2544-2556.
- Murgia, A., Hortobágyi, T., Wijnen, A., Bruin, L., Diercks, R., & Dekker, R. (2018). Effects of age and sex on shoulder biomechanics and relative effort during functional tasks. *Journal of biomechanics*, 81, 132-139.
- Nagels, J., Stokdijk, M., & Rozing, P. M. (2003). Stress shielding and bone resorption in shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 12(1), 35-39.
- Nicholson, G. P., Strauss, E. J., & Sherman, S. L. (2011). Scapular Notching: Recognition and Strategies to Minimize Clinical Impact. *Clinical Orthopaedics and Related Research*®, 469(9), 2521-2530. doi:10.1007/s11999-010-1720-y
- Nyffeler, R. W., Werner, C. M., & Gerber, C. (2005). Biomechanical relevance of glenoid component positioning in the reverse Delta III total shoulder prosthesis. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 14(5), 524-528.
- Permeswaran, V. N., Caceres, A., Goetz, J. E., Anderson, D. D., & Hettrich, C. M. (2017). The effect of glenoid component version and humeral polyethylene liner rotation on subluxation and impingement in reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 26(10), 1718-1725.
- Platzer, W., & Shiozawa, T. (2018). Schultermuskeln mit Ansatz am Humerus. In W. Platzer & T. Shiozawa (Eds.), *Taschenatlas Anatomie, Band 1: Bewegungsapparat* (12., aktualisierte Auflage ed.): Georg Thieme Verlag.
- Putz, R. (1985). Anatomie und Biomechanik des Schultergelenks. *Deutsche Therapiewoche*, 308-314.
- Raiss, P., Edwards, T. B., Deutsch, A., Shah, A., Bruckner, T., Loew, M., . . . Walch, G. (2014). Radiographic changes around humeral components in shoulder arthroplasty. *JBJS*, 96(7), e54.
- Rauck, R. C., Swarup, I., Chang, B., Dines, D. M., Warren, R. F., Gulotta, L. V., & Henn III, R. F. (2018). Effect of preoperative patient expectations on outcomes after reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 27(11), e323-e329.
- Richards, R. R., An, K.-N., Bigliani, L. U., Friedman, R. J., Gartsman, G. M., Gristina, A. G., . . . Zuckerman, J. D. (1994). A standardized method for the assessment of shoulder function. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 3(6), 347-352.
- Rugg, C. M., Coughlan, M. J., & Lansdown, D. A. (2019). Reverse Total Shoulder Arthroplasty: Biomechanics and Indications. *Curr Rev Musculoskelet Med*, 12(4), 542-553. doi:10.1007/s12178-019-09586-y

- Samuelsen, B. T., Wagner, E. R., Houdek, M. T., Elhassan, B. T., Sánchez-Sotelo, J., Cofield, R., & Sperling, J. W. (2017). Primary reverse shoulder arthroplasty in patients aged 65 years or younger. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 26(1), e13-e17.
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., & Wesker, K. (2005). Prometheus: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. *LernAtlas der Anatomie*. Stuttgart: Thieme.
- Schwyzler, H. K., Marzel, A., Wirth, B., Rickenbacher, D., Flury, M., Schoch, C., . . . Audigé, L. (2020). Short-term safety, function, and quality of life in patients treated with Univers Revers prosthesis: a multicenter 2-year follow-up case series. *J Shoulder Elbow Surg*, 29(11), 2282-2291. doi:10.1016/j.jse.2020.01.090
- Shannon, S. F., Wagner, E. R., Houdek, M. T., Cross III, W. W., & Sánchez-Sotelo, J. (2016). Reverse shoulder arthroplasty for proximal humeral fractures: outcomes comparing primary reverse arthroplasty for fracture versus reverse arthroplasty after failed osteosynthesis. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 25(10), 1655-1660.
- Simovitch, R. W., Friedman, R. J., Cheung, E. V., Flurin, P. H., Wright, T., Zuckerman, J. D., & Roche, C. (2017). Rate of Improvement in Clinical Outcomes with Anatomic and Reverse Total Shoulder Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*, 99(21), 1801-1811. doi:10.2106/jbjs.16.01387
- Simovitch, R. W., Gerard, B. K., Brees, J. A., Fullick, R., & Kearse, J. C. (2015). Outcomes of reverse total shoulder arthroplasty in a senior athletic population. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 24(9), 1481-1485.
- Sirveaux, F., Favard, L., Oudet, D., Huquet, D., Walch, G., & Molé, D. (2004). Grammont inverted total shoulder arthroplasty in the treatment of glenohumeral osteoarthritis with massive rupture of the cuff. Results of a multicentre study of 80 shoulders. *J Bone Joint Surg Br*, 86(3), 388-395. doi:10.1302/0301-620x.86b3.14024
- Terrier, A., Reist, A., Merlini, F., & Farron, A. (2008). Simulated joint and muscle forces in reversed and anatomic shoulder prostheses. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 90(6), 751-756.
- Teusink, M. J., Pappou, I. P., Schwartz, D. G., Cottrell, B. J., & Frankle, M. A. (2015). Results of closed management of acute dislocation after reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*, 24(4), 621-627. doi:10.1016/j.jse.2014.07.015
- Verhofste, B., Decock, T., Van Tongel, A., & De Wilde, L. (2016). Heterotopic ossification after reverse total shoulder arthroplasty. *The Bone & Joint Journal*, 98(9), 1215-1221.
- Wang, A., Doyle, T., Cunningham, G., Brutty, M., Campbell, P., Bharat, C., & Ackland, T. (2016). Isokinetic shoulder strength correlates with level of sports participation and functional activity after reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 25(9), 1464-1469.
- Warner, J. J., Deng, X.-H., Warren, R. F., & Torzilli, P. A. (1992). Static capsuloligamentous restraints to superior-inferior translation of the glenohumeral joint. *The American journal of sports medicine*, 20(6), 675-685.
- Westermann, R. W., Pugely, A. J., Martin, C. T., Gao, Y., Wolf, B. R., & Hettrich, C. M. (2015). Reverse shoulder arthroplasty in the United States: a comparison of national volume, patient demographics, complications, and surgical indications. *The Iowa orthopaedic journal*, 35, 1.

- Wolff, J. (1986). *The Law of Bone Remodelling*. In: Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Yian, E. H., Ramappa, A. J., Arneberg, O., & Gerber, C. (2005). The Constant score in normal shoulders. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, *14*(2), 128-133.
- Zumstein, M. A., Pinedo, M., Old, J., & Boileau, P. (2011). Problems, complications, reoperations, and revisions in reverse total shoulder arthroplasty: a systematic review. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, *20*(1), 146-157.

## 7 Abbildungsverzeichnis

Wurden Modifikationen am verwendeten Bildmaterial vorgenommen, so ist dies mit „(M)“ gekennzeichnet.

Abbildung 1: Glenohumeralgelenk von ventral.....	4
Abbildung 2: Dorsale Schultermuskeln. ....	4
Abbildung 3: Darstellung einer Inversen Schulterprothese .....	7
Abbildung 4: Biomechanische Eigenschaften der Inversen Schulterprothese.....	10
Abbildung 5: Beachchair-Lagerung eines Patienten zur Implantation einer Inversen Schulterprothese am linken Schultergelenk .....	14
Abbildung 6: Scapula-Notching Grad 1 nach Sirveaux (Pfeil schwarz) und knöcherner Sporn am inferioren Glenoidpol (Pfeil gestrichelt) .....	17
Abbildung 7: Scapula-Notching Grad 2 nach Sirveaux (Pfeil).....	17
Abbildung 8: Messung der Abduktion mittels Goniometer.....	24
Abbildung 9: Messung der Außenrotation mittels Goniometer .....	24
Abbildung 10: Messung der Abduktionskraft mit einem Isometer .....	25
Abbildung 11: Punkteverteilung des Constant-Murley-Scores .....	27
Abbildung 12: Röntgenbild eines Prothesenschaftes mit radiolucent lines .....	31
Abbildung 13: Röntgenbild einer Osteolyse der Tubercula (Pfeil) .....	32
Abbildung 14: Röntgenbild einer Osteolyse des Calcar (Pfeil) .....	32
Abbildung 15: Scapula-Notching, Einteilung in 4 Grade nach Sirveaux .....	34
Abbildung 16: Häufigkeit der Diagnosen, welche zur Inversen Schulterprothese geführt haben, unterteilt in die beiden Gruppen „Inaktiv“ und „Aktiv“ .....	38
Abbildung 17: Patientin mit Deltaatrophie der rechten Schulter .....	40
Abbildung 18: Fähigkeit zur aktiven Innenrotation im Vergleich der beiden Gruppen in Prozent .....	41
Abbildung 19: Fähigkeit zur passiven Innenrotation im Vergleich der beiden Gruppen in Prozent .....	42
Abbildung 20: Insgesamtes Ergebnis nach Implantation der Inversen Schulterprothese anhand des angepassten Constant-Murley-Scores.....	46
Abbildung 21: Mittelwerte der klinische Scores im Vergleich zwischen den Gruppen .....	48
Abbildung 22: Ergebnisse der radiolucent lines für Schaft- und der Glenoidkomponente [nach Durchholz et al.].....	52

## **8 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Zielgrößen der Studie.....	23
Tabelle 2: Demografische Daten der zwei Gruppen .....	37
Tabelle 3: ROM und Kraft der Inversen Schulterprothesen im Gruppenvergleich.....	42
Tabelle 4: Häufigkeit der Sportarten in der Gruppe Aktiv prä- und postoperativ .....	44
Tabelle 5: Lockerungen, Verkipfung und Sinterung für Schaft und Glenoidkomponente im Vergleich beider Gruppen .....	50
Tabelle 6: Radiologische Ergebnisse der Schaftkomponente .....	51
Tabelle 7: Radiologische Ergebnisse der Glenoidkomponente.....	54

## 9 Anhang

### 9.1 Untersuchungsprotokoll und Sportfragebogen

#### Untersuchungsprotokoll

Patienten-ID:

Patientenname:

Sport:  Ja  Nein

Op-Seite:  rechts  links

Revisionsop:  Ja

Nein Prothesenluxation:  Ja  Nein

Deltaatrophie

Nervenaffektion

verlängerte Wundheilung

#### Klinische Untersuchung

##### ROM rechts

*aktiv:*

Anteversion: \_\_\_\_\_

Abduktion: \_\_\_\_\_

ARO/IRO: \_\_\_ / \_\_\_\_\_

*passiv:*

Anteversion: \_\_\_\_\_

Abduktion: \_\_\_\_\_

ARO/IRO: \_\_\_ / \_\_\_\_\_

##### ROM links

*aktiv:*

Anteversion: \_\_\_\_\_

Abduktion: \_\_\_\_\_

ARO/IRO: \_\_\_ / \_\_\_\_\_

*passiv:*

Anteversion: \_\_\_\_\_

Abduktion: \_\_\_\_\_

ARO/IRO: \_\_\_ / \_\_\_\_\_

#### Kraftmessung

*Rechts:*

Gewicht 1: \_\_\_\_\_

Gewicht 2: \_\_\_\_\_

Gewicht 3: \_\_\_\_\_

$\bar{x}$  Gewicht = \_\_\_\_\_

*Links:*

Gewicht 1: \_\_\_\_\_

Gewicht 2: \_\_\_\_\_

Gewicht 3: \_\_\_\_\_

$\bar{x}$  Gewicht = \_\_\_\_\_

Test	NRS (10)	SST (12)	ASES (100)	Constant (100)
Punktzahl				

## Sportfragebogen

1. Probanden-ID:
  2. Alter: \_\_\_\_\_
  3. Sind Sie Links- oder Rechtshänder?                      rechts                       links
  4. Haben Sie Begleiterkrankungen oder Ähnliches, die Sie beeinträchtigen?  
Ja                       Nein   
*Falls ja, welche?* \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
  5. Beeinflussen diese Begleiterkrankungen ihre Sportfähigkeit bzw. Freizeitaktivität?  
Ja                       Nein
  6. Was war Ihre Motivation für die Implantation der inversen Schulterprothese?  
 (Wieder-)Teilnahme an sportlichen Aktivitäten  
 Schmerzreduktion  
 Besserung der ROM  
 Arbeit  
Andere: \_\_\_\_\_
  7. Hatten Sie eine erneute Operation an der Schulter mit Prothese?  
Ja                       Nein   
*Falls ja, warum, wie häufig und wann?*  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
  8. Hatten Sie nach der Operation Probleme/Komplikationen mit der inversen Schulterprothese?  
 Dislokation                       Infektion                       Instabilität  
 Nervenläsion                       Fraktur                       Steife  
 chronischer Schmerz                       Andere: \_\_\_\_\_  
 Keine
  9. Wie zufrieden sind Sie mit ihrer inversen Schulterprothese?  
 unzufrieden                       eher unzufrieden                       eher zufrieden                       zufrieden
  10. Waren Sie in den **sechs Monaten vor** der Operation sportlich aktiv?  
Ja                       Nein   
*Falls Nein:* Haben Sie **nach** der Operation angefangen Sport zu treiben oder an sportlichen Aktivitäten teilzunehmen?                      Ja                       Nein
- Falls Sie mit der Prothese keinen Sport (mehr) gemacht haben, können Sie den Fragebogen jetzt beenden.*
11. *Falls vor OP Sport:* Was für Aktivitäten haben Sie in der Zeit vor der Operation gemacht?

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> Wandern        | <input type="checkbox"/> Inliner fahren     | <input type="checkbox"/> Fußball       |
| <input type="checkbox"/> Fahrradfahren  | <input type="checkbox"/> Heimtrainer        | <input type="checkbox"/> Handball      |
| <input type="checkbox"/> Schwimmen      | <input type="checkbox"/> Schlittschuhlaufen | <input type="checkbox"/> Volleyball    |
| <input type="checkbox"/> Nordic Walking | <input type="checkbox"/> Skifahren          | <input type="checkbox"/> Basketball    |
| <input type="checkbox"/> Tanzen         | <input type="checkbox"/> Reiten             | <input type="checkbox"/> Golf          |
| <input type="checkbox"/> Joggen         | <input type="checkbox"/> Angeln             | <input type="checkbox"/> Eishockey     |
| <input type="checkbox"/> Klettern       | <input type="checkbox"/> Snowboardfahren    | <input type="checkbox"/> Wasserski     |
| <input type="checkbox"/> Aerobic        | <input type="checkbox"/> Schießen           | <input type="checkbox"/> Boxen         |
| <input type="checkbox"/> Yoga           | <input type="checkbox"/> Pilates            | <input type="checkbox"/> Krafttraining |
| <input type="checkbox"/> Tennis         |   |  |
| <input type="checkbox"/> Andere: _____  |   |  |

12. Wie häufig haben Sie diesen Sport/diese Aktivität vor der Operation getrieben?

- täglich       2 oder mehr Mal/Woche       1x/Woche       1x/Monat

13. Haben Sie vor der Operation einzelne Aktivitäten wegen der betroffenen Schulter nicht mehr ausgeübt?      Ja       Nein

*Falls ja, welche?* \_\_\_\_\_  
Und haben Sie diese nach der Operation wieder aufgenommen?  
Ja       Nein

14. Welche sportlichen Aktivitäten haben Sie nach der Operation getrieben oder treiben Sie bis heute? Evtl. auch Neue im Vergleich zu davor?

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> Wandern        | <input type="checkbox"/> Inliner fahren     | <input type="checkbox"/> Fußball       |
| <input type="checkbox"/> Fahrradfahren  | <input type="checkbox"/> Heimtrainer        | <input type="checkbox"/> Handball      |
| <input type="checkbox"/> Schwimmen      | <input type="checkbox"/> Schlittschuhlaufen | <input type="checkbox"/> Volleyball    |
| <input type="checkbox"/> Nordic Walking | <input type="checkbox"/> Skifahren          | <input type="checkbox"/> Basketball    |
| <input type="checkbox"/> Tanzen         | <input type="checkbox"/> Reiten             | <input type="checkbox"/> Golf          |
| <input type="checkbox"/> Joggen         | <input type="checkbox"/> Angeln             | <input type="checkbox"/> Eishockey     |
| <input type="checkbox"/> Klettern       | <input type="checkbox"/> Snowboardfahren    | <input type="checkbox"/> Wasserski     |
| <input type="checkbox"/> Aerobic        | <input type="checkbox"/> Schießen           | <input type="checkbox"/> Boxen         |
| <input type="checkbox"/> Yoga           | <input type="checkbox"/> Pilates            | <input type="checkbox"/> Krafttraining |
| <input type="checkbox"/> Tennis         |   |  |
| <input type="checkbox"/> Andere: _____  |   |  |

15. Nach welcher Zeit (in Monaten) konnten Sie diesen Aktivitäten voll, bzw. teilweise wieder nachgehen?

Teilweise: \_\_\_\_\_

Vollständig: \_\_\_\_\_

16. Wie häufig treiben sie heute Sport?

- täglich       2 oder mehr Mal/Woche       1x/Woche       1x/Monat

17. Wie würden Sie jeweils ihre Fähigkeit der Ausübung der sportlichen Aktivität im Vergleich zum Zeitpunkt vor der Operation beschreiben?

Besser  (Aktivität: \_\_\_\_\_)

Gleich  (Aktivität: \_\_\_\_\_)

Schlechter  (Aktivität: \_\_\_\_\_)

18. Wie zufrieden sind Sie mit ihrer Fähigkeit für sportliche Aktivitäten?

- unzufrieden       eher unzufrieden       eher zufrieden       zufrieden

19. Sind Sie Aktivitäten nachgegangen, welche der Operateur verboten hatte?

Ja       Nein

20. Falls ja, was haben Sie gemacht?

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> Wandern        | <input type="checkbox"/> Inliner fahren     | <input type="checkbox"/> Fußball       |
| <input type="checkbox"/> Fahrradfahren  | <input type="checkbox"/> Heimtrainer        | <input type="checkbox"/> Handball      |
| <input type="checkbox"/> Schwimmen      | <input type="checkbox"/> Schlittschuhlaufen | <input type="checkbox"/> Volleyball    |
| <input type="checkbox"/> Nordic Walking | <input type="checkbox"/> Skifahren          | <input type="checkbox"/> Basketball    |
| <input type="checkbox"/> Tanzen         | <input type="checkbox"/> Reiten             | <input type="checkbox"/> Golf          |
| <input type="checkbox"/> Joggen         | <input type="checkbox"/> Angeln             | <input type="checkbox"/> Eishockey     |
| <input type="checkbox"/> Klettern       | <input type="checkbox"/> Snowboardfahren    | <input type="checkbox"/> Wasserski     |
| <input type="checkbox"/> Aerobic        | <input type="checkbox"/> Schießen           | <input type="checkbox"/> Boxen         |
| <input type="checkbox"/> Yoga           | <input type="checkbox"/> Pilates            | <input type="checkbox"/> Krafttraining |
| <input type="checkbox"/> Tennis         |   |  |
| <input type="checkbox"/> Andere: _____  |   |  |

Hatten Sie Probleme dabei?    Ja       Nein

Falls ja, hatte Sie in Folge dessen eine Komplikation? Ja  Nein

Falls ja, welche?

- |  |  |                                       |
|--|--|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Dislokation         | <input type="checkbox"/> Infektion     | <input type="checkbox"/> Instabilität |
| <input type="checkbox"/> Nervenläsion        | <input type="checkbox"/> Fraktur       | <input type="checkbox"/> Steife       |
| <input type="checkbox"/> chronischer Schmerz | <input type="checkbox"/> Andere: _____ |                                       |
| <input type="checkbox"/> Keine               |  |                                       |

Falls ja, war dadurch eine erneute Operation nötig?    Ja       Nein

Falls ja, Was wurde gemacht? \_\_\_\_\_

21. Wie würden Sie die Schmerzen während sportlichen Aktivitäten einstufen?

- 1     2     3     4     5     6     7     8     9     10  
(1=kein Schmerz)      (10=stärkster vorstellbarer Schmerz)

22. Nehmen Sie Schmerz- oder entzündungshemmende Medikamente?

Nein  Ja

Falls ja, welche und wie viel/häufig? \_\_\_\_\_

23. Welche sportlichen Aktivitäten haben Sie wegen der inversen Schulterprothese aufgegeben?

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> Keine          |   |  |
| <input type="checkbox"/> Wandern        | <input type="checkbox"/> Inliner fahren     | <input type="checkbox"/> Fußball       |
| <input type="checkbox"/> Fahrradfahren  | <input type="checkbox"/> Heimtrainer        | <input type="checkbox"/> Handball      |
| <input type="checkbox"/> Schwimmen      | <input type="checkbox"/> Schlittschuhlaufen | <input type="checkbox"/> Volleyball    |
| <input type="checkbox"/> Nordic Walking | <input type="checkbox"/> Skifahren          | <input type="checkbox"/> Basketball    |
| <input type="checkbox"/> Tanzen         | <input type="checkbox"/> Reiten             | <input type="checkbox"/> Golf          |
| <input type="checkbox"/> Joggen         | <input type="checkbox"/> Angeln             | <input type="checkbox"/> Eishockey     |
| <input type="checkbox"/> Klettern       | <input type="checkbox"/> Snowboardfahren    | <input type="checkbox"/> Wasserski     |
| <input type="checkbox"/> Aerobic        | <input type="checkbox"/> Schießen           | <input type="checkbox"/> Boxen         |
| <input type="checkbox"/> Yoga           | <input type="checkbox"/> Pilates            | <input type="checkbox"/> Krafttraining |
| <input type="checkbox"/> Tennis         |   |  |
| <input type="checkbox"/> Andere: _____  |   |  |

*Falls ja, warum haben Sie diese aufgegeben?*

- Schmerzen                       fehlendes Vertrauen                       Angst  
 Empfehlung des Operateurs    benötigte Bewegung nicht ausführbar  
 Weiteres: \_\_\_\_\_

Vielen Dank für Ihre Zeit und Ihre Antworten!

## 9.2 Standardisierte Scores

### Constant-Murley-Score

#### **Schulterstudie**

**Liebe Patienten!**

Auf den folgenden Seiten finden Sie Fragen zu gesundheitlichen Einschränkungen. Wir möchten Sie bitten, für **beide Schultern** möglichst genaue Angaben zu machen.

Bitte kreuzen sie die entsprechenden Antworten an!

**Wir danken Ihnen für Ihre Mitarbeit!**

#### **Patientendaten**

Code:	Datum:
-------	--------

Bitte zutreffendes ankreuzen:

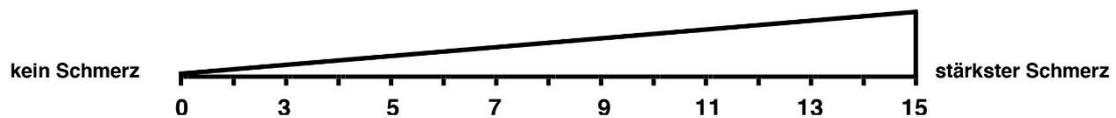
Beeinträchtigte Schulter (bzw. aktuell behandelte Schulter):  rechts  links

Sind Sie **Rechtshänder**  oder **Linkshänder** ?

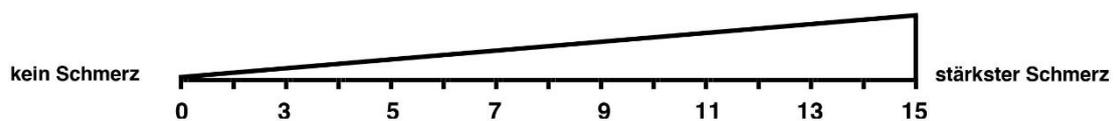
#### **I. Schmerz**

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

rechte Schulter:



linke Schulter:



**II. Beruf**

Bitte kreuzen Sie für **beide Schultern** an, ob Sie durch deren Einsetzbarkeit 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 Einsetzbarkeit 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"/>

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 - 100°	121 - 150°	>150°
<input type="checkbox"/> rechts	<input type="checkbox"/> rechts				
<input type="checkbox"/> links	<input type="checkbox"/> links				

**VII. Schmerzfreies seitliches Anheben des Armes**

					
0 - 30°	31 - 60°	61 - 90°	91 - 100°	121 - 150°	>150°
<input type="checkbox"/> rechts	<input type="checkbox"/> rechts				
<input type="checkbox"/> links	<input type="checkbox"/> links				

**VIII. Schmerzfreie Innendrehung hinter dem Körper**

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

IX. Schmerzfreie Außenrotation



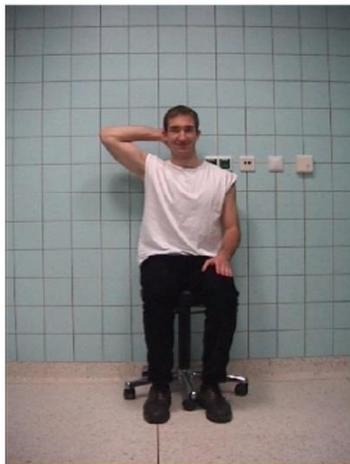
- rechts
- links

Hand im Nacken  
Ellenbogen  
vorne



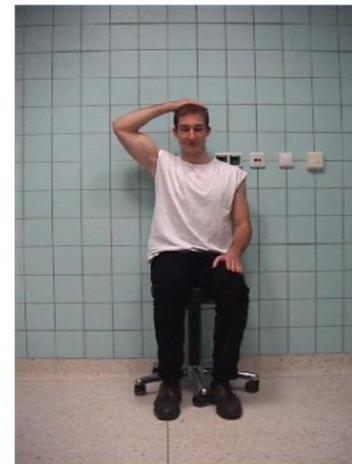
- rechts
- links

Hand auf Scheitel  
Ellenbogen  
vorne



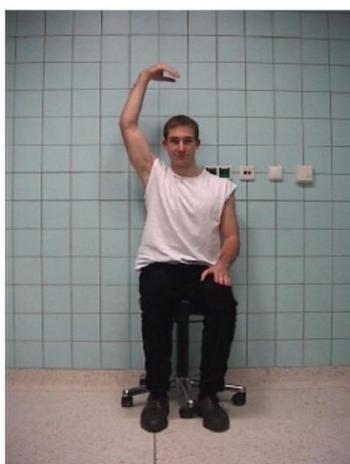
- rechts
- links

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  
abspreizen und ihn leicht **vor den**  
**Körper** halten

**rechts:**

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

**links:**

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

---

**Anmerkungen:**

**Vielen Dank!**



Kreisen Sie bitte die Nummer ein, die am besten Ihre Fähigkeit beschreibt, die folgenden Aktivitäten auszuführen:

0 = unfähig ; 1 = fällt schwer ; 2 = etwas schwierig ; 3 = nicht schwer

AKTIVITÄT	EINSCHÄTZUNG
1. Eine Jacke anziehen	0 1 2 3
2. Auf der schmerzhaften oder betroffenen Seite schlafen	0 1 2 3
3. Den Rücken waschen/ den BH am Rücken schließen	0 1 2 3
4. Intimhygiene	0 1 2 3
5. Haare kämmen	0 1 2 3
6. Ein hohes Regal erreichen	0 1 2 3
7. 4,5 kg über Schulterniveau heben	0 1 2 3
8. Einen Ball werfen (Überhand)	0 1 2 3
9. Gewohnte Arbeiten erledigen	0 1 2 3
10. Gewohnten Sport ausüben	0 1 2 3

## Simple-Shoulder-Test



Schulterfragebogen – Schulter-Funktions-Beurteilung

Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie der  
Technischen Universität München Leitung: Univ.-  
Prof. Dr. A. B. Imhoff



<b><i>SIMPLE-SHOULDER-TEST</i></b> (zutreffendes bitte ankreuzen!)	<b>JA</b>	<b>NEIN</b>
1. Ist der betroffene Arm in Ruhe schmerzfrei?		
2. Können Sie von Seiten der Schulter her problemlos schlafen?		
3. Können Sie mit dem betroffenen Arm Ihr Hemd auf dem Rücken in die Hose stecken?		
4. Können Sie Ihre Hände mit zur Seite gestreckten Ellenbogen auf den Hinterkopf legen?		
5. Können Sie den gestreckten Arm auf Schulterhöhe heben?		
6. Können Sie mit gestrecktem Arm 500 g (z.B. 2 Stück Butter) auf Schulterhöhe heben?		
7. Können Sie mit gestrecktem Arm 4 kg (z.B. 4 1l-Milchpackungen) auf Schulterhöhe heben?		
8. Können Sie seitlich am Körper mit dem betroffenen Arm 10 kg (z.B. 10 1l-Milchpackungen) tragen?		
9. Glauben Sie, dass Sie einen Tennisball mit dem betroffenen Arm seitlich vom Körper 10 m weit werfen können?		
10. Glauben Sie, dass Sie einen Tennisball mit dem betroffenen Arm über Kopf 20 m weit werfen können?		
11. Können Sie mit dem betroffenen Arm die Rückseite der Gegenschulter waschen?		
12. Sind Sie von Seiten der Schulter her im erlernten Beruf voll arbeitsfähig?		



### 9.3 Statistische Auswertung

#### Test auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Alter bei Follow up	,136	61	,007	,947	61	,010
Alter bei OP	,140	61	,004	,955	61	,024
Follow up	,143	61	,003	,907	61	<,001
BMI	,091	61	,200*	,912	61	<,001
NRS	,434	61	<,001	,435	61	<,001
SST	,130	61	,013	,951	61	,016
ASES-Score	,181	61	<,001	,842	61	<,001
Constant-Score	,105	61	,095	,957	61	,033
Angepasster Constant	,168	61	<,001	,937	61	,004

\*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Akt. Anteversion (in Grad)	,148	51	,007	,959	51	,074
Akt. Abduktion (in Grad)	,187	51	<,001	,909	51	<,001
Akt. ARO (in Grad)	,110	51	,171	,974	51	,313
Pass. Anteversion (in Grad)	,468	51	<,001	,345	51	<,001
Pass. Abduktion (in Grad)	,339	51	<,001	,725	51	<,001
Pass. ARO (in Grad)	,095	51	,200*	,963	51	,114
Isobex	,097	51	,200*	,933	51	,007

\*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

## Parametrische und nicht parametrische Tests

Pearson-Chi-Quadrat Test für Geschlecht:

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	,312 <sup>a</sup>	1	,576	,610	,384
Kontinuitätskorrektur <sup>b</sup>	,088	1	,767		
Likelihood-Quotient	,313	1	,576	,610	,384
Exakter Test nach Fisher				,610	,384
Zusammenhang linear-mit-linear	,307 <sup>c</sup>	1	,580	,610	,384
Anzahl der gültigen Fälle	61				

a. 0 Zellen (0,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 11,07.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

c. Die standardisierte Statistik ist -,554.

Pearson-Chi-Quadrat Test für Dominanter Arm

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	,052 <sup>a</sup>	1	,820	1,000	,522
Kontinuitätskorrektur <sup>b</sup>	,000	1	1,000		
Likelihood-Quotient	,052	1	,819	1,000	,522
Exakter Test nach Fisher				1,000	,522
Zusammenhang linear-mit-linear	,051 <sup>c</sup>	1	,821	1,000	,522
Anzahl der gültigen Fälle	61				

a. 0 Zellen (0,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 8,41.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

c. Die standardisierte Statistik ist -,226.

Mann-Whitney-U-Test für Alter bei Follow-up: Mann-Whitney-U-Test für Alter bei OP:

Gesamtzahl	61	Gesamtzahl	61
Mann-Whitney-U-Test	399,000	Mann-Whitney-U-Test	401,000
Wilcoxon-W	994,000	Wilcoxon-W	996,000
Teststatistik	399,000	Teststatistik	401,000
Standardfehler	68,698	Standardfehler	68,737
Standardisierte Teststatistik	-,873	Standardisierte Teststatistik	-,844
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,382	Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,399

Mann-Whitney-U-Test für Follow-up:

Gesamtzahl	61
Mann-Whitney-U-Test	490,500
Wilcoxon-W	1085,500
Teststatistik	490,500
Standardfehler	68,821
Standardisierte Teststatistik	,458
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,647

Mann-Whitney-U-Test für BMI:

Gesamtzahl	61
Mann-Whitney-U-Test	395,000
Wilcoxon-W	990,000
Teststatistik	395,000
Standardfehler	68,860
Standardisierte Teststatistik	-,929
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,353

Pearson-Chi-Quadrat Test für Deltaatrophie:

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	5,102 <sup>a</sup>	1	,024	,040	,028
Kontinuitätskorrektur <sup>b</sup>	3,688	1	,055		
Likelihood-Quotient	5,123	1	,024	,040	,028
Exakter Test nach Fisher				,040	,028
Zusammenhang linear-mit-linear	5,015 <sup>c</sup>	1	,025	,040	,028
Anzahl der gültigen Fälle	59				

a. 1 Zellen (25,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 4,66.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

c. Die standardisierte Statistik ist -2,240.

t-Test für ROM:

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die ...
		F	Sig.	T
Akt. Anteversion (in Grad)	Varianzen sind gleich	1,594	,212	-1,807
	Varianzen sind nicht gleich			-1,739
Akt. ARO (in Grad)	Varianzen sind gleich	,365	,548	-2,209
	Varianzen sind nicht gleich			-2,226
Pass. ARO (in Grad)	Varianzen sind gleich	1,847	,179	-,489
	Varianzen sind nicht gleich			-,471

		t-Test für die Mittelwertgleichheit		
		df	Signifikanz	
			Einseitiges p	Zweiseitiges p
Akt. Anteversion (in Grad)	Varianzen sind gleich	57	,038	,076
	Varianzen sind nicht gleich	43,812	,045	,089
Akt. ARO (in Grad)	Varianzen sind gleich	57	,016	,031
	Varianzen sind nicht gleich	53,268	,015	,030
Pass. ARO (in Grad)	Varianzen sind gleich	57	,313	,627
	Varianzen sind nicht gleich	44,110	,320	,640

Mann-Whitney-U-Test für akt. Abduktion:

Mann-Whitney-U-Test für pass. Anteversion:

Gesamtzahl	59
Mann-Whitney-U-Test	520,500
Wilcoxon-W	1115,500
Teststatistik	520,500
Standardfehler	64,751
Standardisierte Teststatistik	1,475
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,140

Gesamtzahl	59
Mann-Whitney-U-Test	466,000
Wilcoxon-W	1061,000
Teststatistik	466,000
Standardfehler	47,267
Standardisierte Teststatistik	,867
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,386

Mann-Whitney-U-Test für pass. Abduktion: Mann-Whitney-U-Test für IsoBex®:

Gesamtzahl	59	Gesamtzahl	51
Mann-Whitney-U-Test	451,000	Mann-Whitney-U-Test	419,500
Wilcoxon-W	1046,000	Wilcoxon-W	980,500
Teststatistik	451,000	Teststatistik	419,500
Standardfehler	59,746	Standardfehler	50,712
Standardisierte Teststatistik	,435	Standardisierte Teststatistik	2,416
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,663	Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,016

Exakter Test nach Fisher für akt. IRO:

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	9,712 <sup>a</sup>	5	,084	,072	
Likelihood-Quotient	10,673	5	,058	,095	
Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton	10,118			,048	
Zusammenhang linear-mit-linear	2,336 <sup>b</sup>	1	,126	,150	,076
Anzahl der gültigen Fälle	59				

a. 6 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,85.

b. Die standardisierte Statistik ist 1,529.

Exakter Test nach Fisher für pass. IRO:

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	10,612 <sup>a</sup>	5	,060	,038	
Likelihood-Quotient	12,051	5	,034	,045	
Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton	10,160			,040	
Zusammenhang linear-mit-linear	,397 <sup>b</sup>	1	,529	,548	,299
Anzahl der gültigen Fälle	59				

a. 7 Zellen (58,3%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,42.

b. Die standardisierte Statistik ist ,630.

t-Test für Constant-Murley-Score:

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit	
		F	Sig.	T	df
Constant-Score	Varianzen sind gleich	9,447	,003	-3,771	59
	Varianzen sind nicht gleich			-3,571	40,575

		t-Test für die Mittelwertgleichheit		
		Signifikanz		Mittlere Differenz
		Einseitiges p	Zweiseitiges p	
Constant-Score	Varianzen sind gleich	<,001	<,001	-13,425
	Varianzen sind nicht gleich	<,001	<,001	-13,425

Mann-Whitney-U-Test für weitere standardisierte Scores:

NRS:

Gesamtzahl	61
Mann-Whitney-U-Test	346,000
Wilcoxon-W	941,000
Teststatistik	346,000
Standardfehler	49,272
Standardisierte Teststatistik	-2,293
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,022

SST:

Gesamtzahl	61
Mann-Whitney-U-Test	678,000
Wilcoxon-W	1273,000
Teststatistik	678,000
Standardfehler	68,385
Standardisierte Teststatistik	3,202
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,001

ASES:

Gesamtzahl	61
Mann-Whitney-U-Test	685,500
Wilcoxon-W	1280,500
Teststatistik	685,500
Standardfehler	68,772
Standardisierte Teststatistik	3,293
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	<,001

Angepasster Constant-Murley-Score:

Gesamtzahl	61
Mann-Whitney-U-Test	673,500
Wilcoxon-W	1268,500
Teststatistik	673,500
Standardfehler	68,823
Standardisierte Teststatistik	3,117
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,002

### Statistische Auswertung der radiologischen Ergebnisse:

Pearson-Chi-Quadrat Test für inkomplette radiolucent lines Diaphyse Schaftkomponente:

	Value	df	Asymptotic Significance (2- sided)	Exact Sig. (2- sided)	Exact Sig. (1- sided)
Pearson Chi-Square	6,618 <sup>a</sup>	1	,010		
Continuity Correction <sup>b</sup>	5,135	1	,023		
Likelihood Ratio	7,311	1	,007		
Fisher's Exact Test				,014	,010
Linear-by-Linear Association	6,510	1	,011		
N of Valid Cases	61				

a. 0 cells (,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 6,20.

b. Computed only for a 2x2 table

Pearson-Chi-Quadrat Test für inkomplette radiolucent lines Metaphyse Schaftkomponente:

	Value	df	Asymptotic Significance (2- sided)	Exact Sig. (2- sided)	Exact Sig. (1- sided)
Pearson Chi-Square	7,100 <sup>a</sup>	1	,008		
Continuity Correction <sup>b</sup>	5,712	1	,017		
Likelihood Ratio	7,516	1	,006		
Fisher's Exact Test				,013	,007
Linear-by-Linear Association	6,984	1	,008		
N of Valid Cases	61				

a. 0 cells (,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 8,85.

b. Computed only for a 2x2 table

## Exakter Test nach Fisher für komplette radiolucent lines Diaphyse Schaftkomponente:

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	2,604 <sup>a</sup>	1	,107		
Continuity Correction <sup>b</sup>	,792	1	,374		
Likelihood Ratio	3,346	1	,067		
Fisher's Exact Test				,192	,192
Linear-by-Linear Association	2,561	1	,110		
N of Valid Cases	61				

a. 2 cells (50,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,89.

b. Computed only for a 2x2 table

## Exakter Test nach Fisher für komplette radiolucent lines Metaphyse Schaftkomponente:

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	,642 <sup>a</sup>	1	,423		
Continuity Correction <sup>b</sup>	,042	1	,837		
Likelihood Ratio	,642	1	,423		
Fisher's Exact Test				,579	,413
Linear-by-Linear Association	,631	1	,427		
N of Valid Cases	61				

a. 2 cells (50,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1,33.

b. Computed only for a 2x2 table

## Exakter Test nach Fisher für Kippen der Schaftkomponente:

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	1,280 <sup>a</sup>	1	,258	,443	,443
Continuity Correction <sup>b</sup>	,014	1	,907		
Likelihood Ratio	1,651	1	,199	,443	,443
Fisher's Exact Test				,443	,443
Linear-by-Linear Association	1,259 <sup>c</sup>	1	,262	,443	,443
N of Valid Cases	61				

a. 2 cells (50,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,44.

b. Computed only for a 2x2 table

c. The standardized statistic is -1,122.

## Exakter Test nach Fisher für Sintern der Schaftkomponente:

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	1,280 <sup>a</sup>	1	,258	,443	,443
Continuity Correction <sup>b</sup>	,014	1	,907		
Likelihood Ratio	1,651	1	,199	,443	,443
Fisher's Exact Test				,443	,443
Linear-by-Linear Association	1,259 <sup>c</sup>	1	,262	,443	,443
N of Valid Cases	61				

a. 2 cells (50,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,44.

b. Computed only for a 2x2 table

c. The standardized statistic is -1,122.

## Pearson-Chi-Quadrat Test für Osteolyse Tubercula:

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	,691 <sup>a</sup>	1	,406	,447	,284
Kontinuitätskorrektur <sup>b</sup>	,328	1	,567		
Likelihood-Quotient	,691	1	,406	,447	,284
Exakter Test nach Fisher				,447	,284
Zusammenhang linear-mit-linear	,679 <sup>c</sup>	1	,410	,447	,284
Anzahl der gültigen Fälle	61				

a. 0 Zellen (,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 12,39.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

c. Die standardisierte Statistik ist -,824.

## Exakter Test nach Fisher für Osteolyse Calcar:

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	,015 <sup>a</sup>	1	,904	1,000	,576
Kontinuitätskorrektur <sup>b</sup>	,000	1	1,000		
Likelihood-Quotient	,015	1	,904	1,000	,576
Exakter Test nach Fisher				1,000	,576
Zusammenhang linear-mit-linear	,014 <sup>c</sup>	1	,905	1,000	,576
Anzahl der gültigen Fälle	61				

a. 0 Zellen (,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 6,20.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

c. Die standardisierte Statistik ist ,120.

## Exakter Test nach Fisher für Osteopenie medial:

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	,153 <sup>a</sup>	1	,696	1,000	,587
Continuity Correction <sup>b</sup>	,000	1	1,000		
Likelihood Ratio	,157	1	,692	1,000	,587
Fisher's Exact Test				1,000	,587
Linear-by-Linear Association	,150 <sup>c</sup>	1	,698	1,000	,587
N of Valid Cases	61				

a. 2 cells (50,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1,33.

b. Computed only for a 2x2 table

c. The standardized statistic is ,388.

## Pearson-Chi-Quadrat Test für Osteopenie lateral:

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	,615 <sup>a</sup>	1	,433	,534	,318
Continuity Correction <sup>b</sup>	,220	1	,639		
Likelihood Ratio	,612	1	,434	,534	,318
Fisher's Exact Test				,534	,318
Linear-by-Linear Association	,605 <sup>c</sup>	1	,437	,534	,318
N of Valid Cases	61				

a. 0 cells (,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 5,75.

b. Computed only for a 2x2 table

c. The standardized statistic is -,778.

## Exakter Test nach Fisher für Spot Welds:

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	,642 <sup>a</sup>	1	,423	,579	,413
Continuity Correction <sup>b</sup>	,042	1	,837		
Likelihood Ratio	,642	1	,423	,579	,413
Fisher's Exact Test				,579	,413
Linear-by-Linear Association	,631 <sup>c</sup>	1	,427	,579	,413
N of Valid Cases	61				

a. 2 cells (50,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1,33.

b. Computed only for a 2x2 table

c. The standardized statistic is -,795.

## Pearson-Chi-Quadrat Test für Verdichtungslinien an der Spitze der Schaftkomponente:

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	,146 <sup>a</sup>	1	,702	,771	,469
Continuity Correction <sup>b</sup>	,007	1	,934		
Likelihood Ratio	,147	1	,701	,771	,469
Fisher's Exact Test				,771	,469
Linear-by-Linear Association	,144 <sup>c</sup>	1	,704	,771	,469
N of Valid Cases	61				

a. 0 cells (,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 6,64.

b. Computed only for a 2x2 table

c. The standardized statistic is -,380.

Pearson-Chi-Quadrat Test für Knöcherner Sporn:

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	,066 <sup>a</sup>	1	,798	1,000	,501
Continuity Correction <sup>b</sup>	,000	1	1,000		
Likelihood Ratio	,066	1	,798	1,000	,501
Fisher's Exact Test				1,000	,501
Linear-by-Linear Association	,065 <sup>c</sup>	1	,799	1,000	,501
N of Valid Cases	61				

a. 0 cells (,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 11,51.

b. Computed only for a 2x2 table

c. The standardized statistic is -,254.

Pearson-Chi-Quadrat Test für Heterotope Ossifikationen:

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	2,154 <sup>a</sup>	1	,142	,180	,116
Kontinuitätskorrektur <sup>b</sup>	1,431	1	,232		
Likelihood-Quotient	2,152	1	,142	,180	,116
Exakter Test nach Fisher				,180	,116
Zusammenhang linear-linear	2,118 <sup>c</sup>	1	,146	,180	,116
Anzahl der gültigen Fälle	61				

a. 0 Zellen (,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 9,30.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

c. Die standardisierte Statistik ist -1,455.

Pearson-Chi-Quadrat Test für Scapula-Notching:

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	,435 <sup>a</sup>	1	,510	,609	,344
Kontinuitätskorrektur <sup>b</sup>	,161	1	,688		
Likelihood-Quotient	,435	1	,509	,609	,344
Exakter Test nach Fisher				,609	,344
Zusammenhang linear-linear	,428 <sup>c</sup>	1	,513	,609	,344
Anzahl der gültigen Fälle	61				

a. 0 Zellen (,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 13,28.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

c. Die standardisierte Statistik ist ,654.

## **10 Danksagung**

Ich möchte mich bei Herrn Prof. Sebastian Siebenlist für die Bereitstellung des Themas dieser Arbeit, sowie für die wissenschaftliche Begleitung bedanken.

Frau Dr. med. Stephanie Geyer danke ich für die unvergleichbar gute, stets geduldige und vor allem herzliche Betreuung bei der Studienplanung, der Studiendurchführung und beim Verfassen der Dissertation.

Bei Priv.-Doz. Dr. med. Bastian Scheiderer möchte ich mich für die Betreuung bei der Studiendurchführung, der Studienauswertung und vor allem für die Unterstützung beim Verfassen der Dissertation bedanken.

Danken will ich auch dem gesamten Team der Sektion Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar, ohne die eine so reibungslose Durchführung der Studie nicht geklappt hätte.

Nicht zuletzt will ich mich bei meiner Familie und meiner Partnerin für deren Unterstützung und Motivation im Laufe der gesamten Dissertation und auch des gesamten Studiums bedanken.

Zum Schluss gilt mein Dank Ludwig, der mir beim Verfassen der Arbeit stets Halt gab.

## **11 Curriculum vitae**

Aus Gründen des Datenschutzes entfernt.