

Aus dem Institut für Anatomie I
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Prof. Dr. med. Timm J. Filler

Kurz- und mittelfristige funktionelle Ergebnisse nach
Implantation einer inversen Schulterendoprothese unter
Berücksichtigung der Patientenzufriedenheit.

Dissertation

zur

Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Patrick Joseph

2017

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Referent: Prof. Dr. med. Timm J. Filler

Koreferent: Priv.-Doz. Dr. med. Thilo Patzer

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ziele der vorliegenden Arbeit.....	2
1.2	Historischer Überblick.....	3
1.3	Biomechanisches Prinzip nach Paul Grammont.....	5
1.4	Indikationen	8
1.4.1	Defektarthropathie.....	8
1.4.2	Proximale Humerusfraktur	11
1.4.3	Verwendung als Revisionsimplantat.....	13
1.4.4	Weitere Indikationen	13
1.5	Probleme und Komplikationen.....	14
1.5.1	Scapular notching	16
2	Material und Methoden	19
2.1	Patientenkollektiv	19
2.2	Prothesensysteme.....	23
2.2.1	Delta-CTA™ / Delta Xtend™ (Depuy)	23
2.2.2	T.E.S.S.® (Biomet)	23
2.2.3	SMR (Lima Corporate)	24
2.3	Schulterscores	25
2.3.1	Constant-Murley-Score	25
2.3.2	Subjektive Parameter des Constant-Scores	25
2.3.3	Objektive Parameter des Constant-Scores	27
2.3.4	Altersadjustierung des Constant-Scores.....	29

2.3.5	American Shoulder and Elbow Surgeons Score	30
2.4	Radiologische Auswertung.....	32
2.5	Statistische Auswertung	34
3	Ergebnisse	36
3.1	Güte der verwendeten Instrumente.....	36
3.2	Normalverteilung der Daten	39
3.3	Constant-Score.....	41
3.3.1	Präoperativ- und Follow-Up-Vergleich	42
3.3.2	Subparameter des Constant-Scores	43
3.4	Altersadjustierter Constant-Score.....	46
3.5	ASES-Score	47
3.6	Follow-Up: Altersstufen	47
3.7	Follow-Up: Hauptdiagnosen.....	49
3.8	Follow-Up: Nachuntersuchungsintervall.....	52
3.9	Follow-Up: Prothesentypen.....	54
3.10	Follow-Up: Geschlechtsunterschiede	56
3.11	Follow-Up: Dominanz/ Händigkeit	57
3.12	Patientenzufriedenheit.....	59
3.13	Radiologische Ergebnisse im Gesamtkollektiv	62
3.14	Radiologische Verläufe.....	64
3.14.1	Patientenbeispiel 1.....	64
3.14.2	Patientenbeispiel 2.....	67
3.15	Radiologische Ergebnisse: Defektarthropathie.....	70
3.15.1	Klassifikation nach Hamada et al.....	71
3.15.2	Klassifikation nach Seebauer et al.	74
3.15.3	Klassifikation nach Sirveaux et al.....	77

3.15.4	Akromiohumerales Distanz (AHD).....	80
3.15.5	Laterales glenohumerales Offset (LGHO)	82
4	Diskussion	84
4.1	Klinische Schulterfunktion (Constant-/ ASES-Score)	84
4.2	Radiologische Beurteilung	89
4.3	Individuelle Patientenzufriedenheit.....	92
4.4	Grenzen der Studie	94
4.5	Ausblick.....	95
5	Literaturverzeichnis.....	97
6	Tabellenverzeichnis.....	107
7	Bildverzeichnis.....	110
8	Zusammenfassung.....	113
9	Eidesstattliche Erklärung.....	114
10	Danksagung.....	115

1 Einleitung

Der modernen Endoprothetik des Schultergelenks kommt eine kontinuierlich steigende Bedeutung in der Orthopädie und Unfallchirurgie zu (Krukemeyer 2009). Seit Einführung des Prototyps der modernen Schulterprothese durch Charles Neer in den 1950er-Jahren haben sowohl die Fallzahlen, als auch die verwendeten Prothesendesigns eine rasante Entwicklung durchlaufen. Einerseits resultiert dies aus dem stetigen Erkenntnisgewinn zu anatomischen, biomechanischen und funktionellen Aspekten des glenohumeralen Gelenks (Katz et al. 2007). Andererseits spielt der kritische Umgang mit den Operationsergebnissen, Komplikationsraten und der im Verlauf beobachteten Probleme eine wichtige Rolle. Dieser fortlaufenden Evaluation des künstlichen Schultergelenkersatzes ist auch die Einführung der inversen *Delta-Prothese* von Paul Grammont (Grammont et al. 1987) zu verdanken. Die Idee zur Umkehrung der funktionellen Gelenkpartner (Humerus und Skapula) als Gegenentwurf zu den bis dahin gängigeren anatomischen Prothesen war dagegen nicht neu (Katz et al. 2007; Flatow et al. 2011). Dennoch verhalf die, in den 1980er-Jahren erstmals vorgestellte, französische *Delta-Prothese* (Grammont 1993) dem inversen Design als solchem zu neuem Auftrieb.

Basierend auf biomechanischen Überlegungen (Baulot et al. 2011) sind es in erster Linie die beeindruckenden funktionellen Frühergebnisse in der Schulterbeweglichkeit, die sowohl aus therapeutischer und wissenschaftlicher Perspektive, aber auch auf Seite der Patienten zu positiver Resonanz führten. Gerade begleitende Insuffizienzen der Rotatorenmanschette zeichneten sich in der Vergangenheit bei anatomischen Schulterprothesen häufig für unbefriedigende Funktionsergebnisse verantwortlich. Grammonts *Delta-Prothese* wusste dieses Defizit durch eine zusätzliche Inanspruchnahme des M. deltoideus (Boileau et al. 2005) und einen veränderten Hebelarm effektiv auszugleichen. In erster Linie wurde die Prothese für die von Neer et al. (1983) erstmals beschriebene Defektarthropathie der Rotatorenmanschette entwickelt, das Indikationsspektrum dehnte sich jedoch schnell auf proximale Humerusfrakturen und rheumatoide Arthritiden oder die Verwendung als Revisionsimplantat bei gescheiterter primärer Endoprothetik aus (Habermeyer et al. 2010).

Der wissenschaftliche Diskurs indes geht über die anfängliche Begeisterung mittlerweile längst hinaus. Während in frühen Studien von hohen Komplikationsraten der inversen Prothe-

sen berichtet wurde (Rittmeister und Kerschbaumer 2001; Werner et al. 2005), bestätigten andere Untersuchungen die guten klinischen Ergebnisse und berichteten von geringeren Komplikationsraten (Boileau et al. 2006; Sirveaux et al. 2004; Grassi et al. 2009; Guery et al. 2006; John et al. 2010). Vor allem anteriore Luxationen und Lockerungen der Prothesenkomponente spielten hier als postoperative Komplikationen eine Rolle (Zumstein et al. 2011; Cheung et al. 2011; Farshad und Gerber 2010; Wierks et al. 2009). Hinzu kamen spezifische, dem Prothesendesign selbst geschuldete, Probleme nach der Implantation: Das infraglenoidale *scapular notching* (Sirveaux et al. 2004; Lévine et al. 2008) als mechanisches *Impingement* an der Glenoidkomponente wurde regelhaft beobachtet und in der Bedeutung für funktionelle Einbußen unterschiedlich bewertet (Nicholson et al. 2010). Auch die Relevanz funktioneller Ergebnisse sowie postoperativ auftretender Komplikationen für die individuelle Patientenzufriedenheit (Roy et al. 2010) bzw. den ganzheitlichen Behandlungserfolg werden unterschiedlich beurteilt und haben noch zu keinem abschließenden Konsens in der Literatur geführt.

1.1 Ziele der vorliegenden Arbeit

Im Mittelpunkt stehen die Untersuchung der funktionellen Ergebnisse in der Schulterbeweglichkeit und die Präsentation der klinischen Erfahrungen sowie therapeutischen Effekte der Implantation einer inversen Schulterendoprothese. Damit versucht die vorliegende Arbeit einen Beitrag zur Evaluation dieses Prothesentyps zu leisten und die Ergebnisse des vorliegenden Patientenkollektivs, unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Forschungsstandes, vergleichend zu diskutieren.

In dieser retrospektiven Studie werden Patienten des Johanna-Etienne-Krankenhauses (Neuss) berücksichtigt, die in den Jahren 2002 bis 2010 mit einer inversen Prothese versorgt wurden. Einerseits stehen insbesondere objektivierbare funktionelle Ergebnisse und die individuelle Patientenzufriedenheit mit der Behandlung im Fokus. Andererseits werden kurz- und mittelfristig auftretende Probleme klinisch und radiologisch dokumentiert. Darüber hinaus werden Unterschiede der postoperativen Schulterbeweglichkeit in Abhängigkeit von einer Reihe von Faktoren wie z. B. die zugrunde liegende Indikation zur Endoprothetik, das Patientenalter oder der Einfluss ungelöster Probleme wie das *scapular notching* untersucht.

1.2 Historischer Überblick

Die inverse Schulterendoprothese stellt nur eine der heutzutage vorhandenen Möglichkeiten des künstlichen Schultergelenkersatzes dar, dessen historische Ursprünge bis ins 19. Jahrhundert zurückreichen: Themistocles Gluck¹ gilt als früher Pionier der Implantation von Kunstgelenken, Jules-Émile Péan² wird der erste vollständige Einbau einer Schulterprothese (1893) zugesprochen (Bankes und Emery 1995; Lugli 1977). Der französische Chirurg Péan verwendete ein aus Platin und Gummi bestehendes Ersatzgelenk – im Gegensatz zu Gluck, der Elfenbein als Material bevorzugte (Katz et al. 2007; Flatow und Harrison 2011). Das tuberkulös infizierte Schultergelenk eines 37-jährigen französischen Bäckers ersetzte Péan durch eine Prothese, jedoch resultierte der Eingriff nach zwei Jahren aufgrund der rekurrierenden Tuberkulose-Infektion in einem frühzeitigen Ausbau derselben.

Nach diesen frühen Anfängen der Schulterendoprothetik markierten zunächst die Entwicklungen von Charles Neer einen weiteren Meilenstein und lieferten die technischen Grundlagen des modernen Schultergelenkersatzes. 1953 entwickelte Neer eine erste anatomisch geformte, kraftschlüssige³ Hemi-Prothese aus Vitallium: die Neer-I-Prothese. Diese implantierte er zwölf Patienten mit Humeruskopffrakturen und veröffentlichte die Ergebnisse 1955 (Katz et al. 2007). Während sich in der Folge das Indikationsspektrum und die Anzahl verfügbarer Prothesenmodelle im Gleichschritt erweiterten, kamen in den 1970er Jahren erste Versuche inverser Prothesendesigns (Reeves et al. 1974), mit einer Umkehrung der funktionellen Gelenkanatomie, auf den Markt.

Es dauerte jedoch weitere 20 Jahre, bis der Franzose Paul Grammont 1985 (Grammont et al. 1987; Grammont 1993) das biomechanische Prinzip (s. Kapitel 1.3) seiner sogenannten *Delta-Prothese* entwickelte und damit eine vorerst überzeugende Alternative zu einigen bis dahin unbefriedigenden Designansätzen aufzeigte. Nach Katz et al. (2007) könne man die inverse Schulterendoprothetik – aus einem historischen Blickwinkel betrachtet – in eine Ära vor (*pre-Grammont*), während und nach Grammonts Entwicklung (*post-Grammont*) einteilen, um den Stellenwert seines Prothesenkonzepts zu betonen.

¹ dt. Chirurg (*1853 - † 1942)

² frz. Chirurg (*1830 - † 1898)

³ formschlüssig = „*constrained*“; stabile mechanische Verbindung von Humeruskopf und Glenoid.
kraftschlüssig = „*non-constrained*“; keine mechanische Verbindung, Stabilität durch umgebende Weichteile.

Doch auch Grammonts Innovation stellt keineswegs das Ende der technischen Möglichkeiten oder gar eine komplikations- und problemlose Variante des Kunstgelenkersatzes an der Schulter dar. Die im Laufe der letzten 60 Jahre hinzugewonnenen Erkenntnisse zu der funktionellen Gelenkanatomie und den spezifischen Anforderungen an gültige Endoprothesensysteme, waren (und sind) der Grund für die dynamische und kontinuierliche Weiterentwicklung von Materialien, technischen Details und Implantatkonzepten. Dieser Prozess schlägt sich aktuell beispielsweise in Form der modularen Prothesensysteme der 5. *Generation* und knochenparenden Oberflächenersatzplastiken nieder (Liem et al. 2007; Jerosch und Heisel 2002, 2003; Krukemeyer 2009; Loew 2010; Wiedemann 2006; Habermeyer et al. 2010).

1.3 Biomechanisches Prinzip nach Paul Grammont

Wie bereits eingangs angedeutet datieren die ersten Entwürfe inverser Prothesendesigns bis in die 1970er Jahre zurück. Die Abkehr von einer möglichst kongruenten Imitation der *ursprünglichen* Anatomie des Schultergelenks kann sicherlich als wesentliche Veränderung in der Schulterendoprothetik bezeichnet werden. Es sind vor allem biomechanische Vorstellungen, auf denen die Idee zur Umkehr der funktionellen Gelenkpartner – Humerus und Skapula – in erster Linie basiert. Die Artikulation zwischen einer *konkaven* Humeruskomponente und einem *konvexen* Skapulaanteil sorgt demnach nicht nur für grundlegende Veränderungen in der Gelenkanatomie, sondern stellt auch erweiterte Anforderungen an mobilisierende und stabilisierende Funktionen des umgebenden Weichteilmantels (Grammont 1993; Boileau et al. 2005).

Für die Entwicklung inverser Prothesendesigns liefert die 1985 von Paul Grammont entworfene *Delta-Prothese* heutzutage das grundlegende Konzept (Grammont et al. 1987; Grammont 1993). Im Gegensatz zu früheren Ansätzen ermöglichen Grammonts biomechanische Prinzipien auf unterschiedliche Weise ein höheres Maß an Mobilität und Stabilität. Die Artikulation zwischen einer großen konvexen Hemisphäre am Glenoid mit einer kleinen konkaven Komponente am Humerus, die weniger als die Hälfte der Hemisphäre bedeckt, erlaubt eine stabile Gelenkverbindung über ein fixes Rotationszentrum sowie ein größeres Bewegungsausmaß. Die Medialisierung des Drehzentrums führt zu einem größeren Hebel für den M. deltoideus und begleitend zur vermehrten Rekrutierung anteriorer und posteriorer Muskelanteile (Ackland et al. 2010). Insbesondere für Elevations- und Abduktionsbewegungen sind dies relevante Faktoren. Andererseits reduziert die mediale Positionierung des Rotationszentrums die Kompression auf die glenoidale Hemisphäre. Die zeitgleiche Kaudalisierung des Drehzentrums erhöht zudem die Vorspannung des M. deltoideus (Grammont 1993; Boileau et al. 2005; Lam et al. 2007; s. Bild 1).

Aus dem Namen von Grammonts Prothese geht auch eine für ihre Funktionalität unverzichtbare Komponente hervor: der Delta-Muskel (M. deltoideus). Seine integrale Rolle in der inversen Gelenksituation machen die oben genannten Grundprinzipien deutlich. Darüber hinaus wird er zur Kompensation inaktiver oder zerstörter Funktionsanteile der Rotatorenmanschette

hinzugezogen. Bild 2 verdeutlicht die zusätzliche Inanspruchnahme anteriorer und posteriorer Anteile des M. deltoideus bei der inversen Prothese.

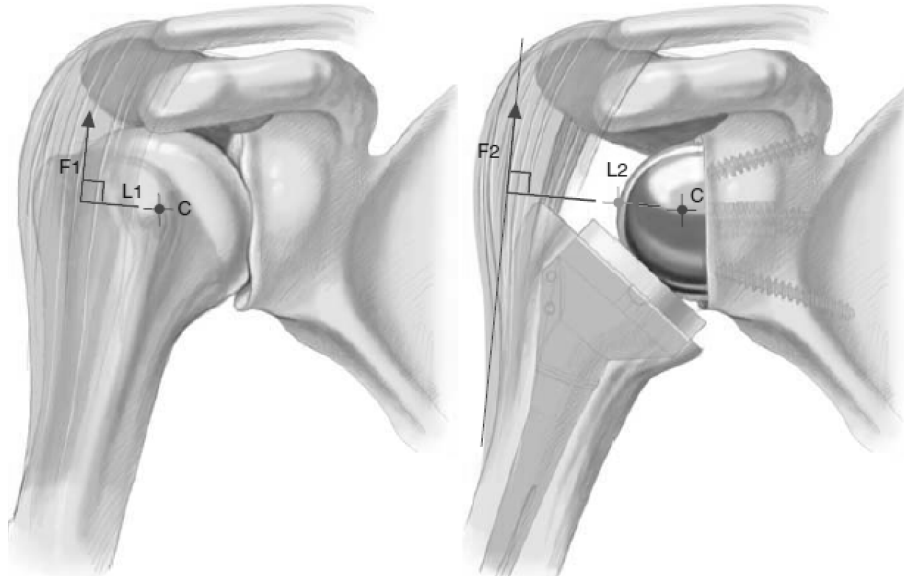


Bild 1: Vergrößerung des Hebelarmes für den Delta-Muskel durch Distalisierung und Medialisierung des Rotationszentrums. Quelle: AE-Manual Endoprothetik, Kap. Technische Konzepte der Implantate (Hrsg.: Loew 2010)]

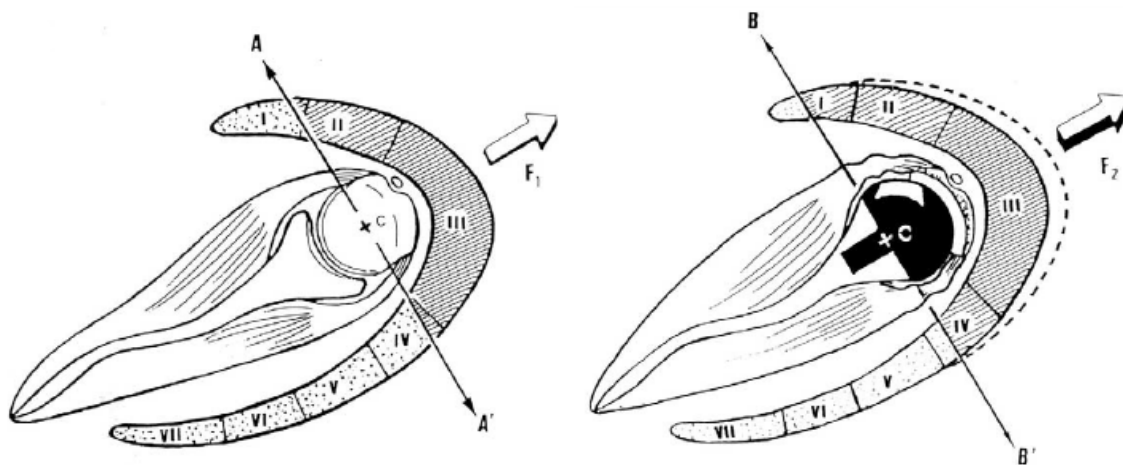


Bild 2: A) normalerweise an der Schulterbeweglichkeit beteiligte Anteile des M. deltoideus; B) Biomechanik der inversen Prothese: Rekrutierung zusätzlicher anteriorer und posteriorer Fasern des M. deltoideus für die Beweglichkeit im Schultergelenk. [Quelle: Grammont reverse prosthesis: Design, rationale and biomechanics. (Boileau et al. 2005)]

Schwartz et al. (2012) verdeutlichten die Bedeutung der anterioren Muskelanteile des M. deltoideus in einer biomechanischen Modellstudie. Dieser Untersuchung zur Folge beeinträchtigt der Verlust anteriorer Muskelfasern eine ausgewogene Abduktion und trägt somit unmittelbar zu einem minderwertigen funktionellen Resultat bei. Muskuläre Defizite anteriorer Fasern des M. deltoideus können dabei scheinbar durch kompensatorische Effekte eines intakten M. subscapularis und mittlerer Faseranteile des M. deltoideus ausgeglichen werden (Gulotta et al. 2012). Degenerative Veränderungen des Delta-Muskels im Allgemeinen tragen laut Greiner et al. (2009) zu funktionell minderwertigen Ergebnissen nach der Prothesenimplantation bei. Die integrale Rolle des M. deltoideus für die Schulterfunktion bei inverser Gelenkanatomie bleibt daher unbestritten und ist biomechanisch fundiert.

Während die publizierten Ergebnisse für Elevations- und Abduktionsbewegungen im Schultergelenk nach Implantation einer inversen Schulterendoprothese seit jeher mit gut bis sehr gut bewertet wurden, konnten die entsprechenden Rotationsbewegungen (Außen- und Innenrotation) die Erwartungen nicht in gleichem Maße erfüllen. So berichteten Boileau et al. (2006) in dem von ihnen untersuchten Patientenkollektiv über eine vergleichsweise schwache Außenrotation. Als mögliche Hauptursache wurde eine fehlende Kompensation dieser Bewegungsausmaße durch posteriore Anteile des Delta-Muskels aufgrund der Medialisierung des Rotationszentrum sowie des Humerus herangezogen. 2011 postulierten Herrmann et al. eine weitere Ursache für die reduzierte Rotationsfähigkeit. In erster Linie wurde hier die Kombination aus einem verringerten Rotationsmoment innerhalb des inversen Schultergelenks und die herabgesetzte Distanz zwischen Ansatz und Ursprung („*origin-to-insertion*“) der Muskelfasern des M. subscapularis und des M. teres minor, die in der gesunden Schulter für Außen- und Innenrotation maßgebend aktiv sind, als mögliche Ursache identifiziert.

1.4 Indikationen

1.4.1 Defektarthropathie

Bis heute gilt die Rotatorenmanschettendefektarthropathie des älteren Patienten als Hauptindikation zur Implantation einer inversen Schulterendoprothese (Boileau et al. 2005; Boileau et al. 2006; Drake et al. 2010; Smithers et al. 2011; Smith et al. 2012). Neer et al. (1983) beschrieben die Beobachtungen bei 26 Patienten und postulierten zusätzlich eine Arbeitshypothese für den zugrundeliegenden Pathomechanismus:

„A massive tear of the rotator cuff exposes a large portion of the articular cartilage of the humeral head, impairs normal movement of the glenohumeral joint, and renders the humeral head unstable. We believe that both nutritional and mechanical factors must be considered in explaining the development of cuff-tear arthropathy.” (S. 1236)

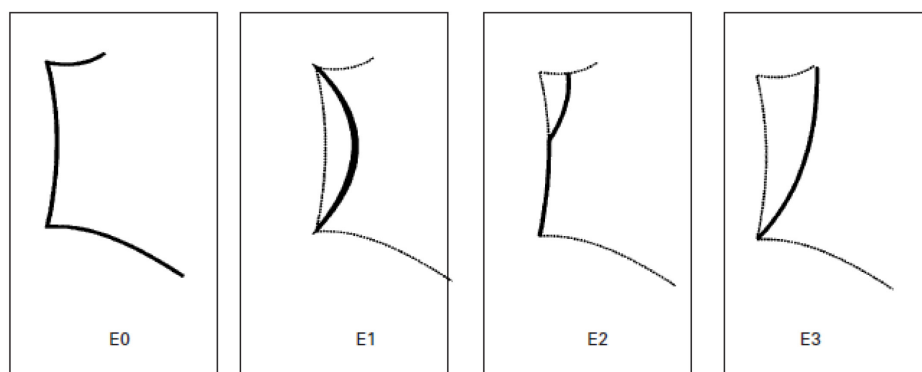
Unter dem Begriff „*cuff tear arthropathy*“ (CTA) fassen Neer et al. Erkrankungen des Schultergelenks zusammen, die sich sekundär aus einem massiven Defekt der Rotatorenmanschette und nachfolgenden, die Entstehung einer Defektarthropathie begünstigenden Faktoren, entwickeln: Inaktivität, Schonhaltung der Schulter, Verlust von Synovialflüssigkeit, kraniale Migration des Humeruskopfes und generalisierte Instabilität (Neer et al. 1983). Die gemeinsame Endstrecke dieser pathogenetischen Ereignisse bildet die Atrophie des glenohumeralen Gelenkknorpels und die osteoporotische Veränderung des Knochenmaterials am Humeruskopf. Diese Beschreibungen lassen jedoch keine abschließende Beurteilung einzelner, den Krankheitsverlauf begünstigender, Faktoren zu. Neer selbst stellte fest, dass sich beispielsweise nur bei etwa vier Prozent der Patienten mit vollständiger Ruptur der Rotatorenmanschette in der Folge eine Defektarthropathie manifestiert (Neer et al. 1983). Der genaue pathophysiologische Mechanismus – von der Ruptur zur Arthropathie – ist bis heute nicht im Detail geklärt.

Für eine Klassifikation der Defektarthropathie in verschiedene Krankheitsstadien liegen unterschiedliche Einteilungen vor. Hamada et al. (1990) beschrieben die Stadien anhand primär radiologischer Gesichtspunkte. Die Einteilung in fünf Schweregrade basiert zudem vornehmlich auf einer Beurteilung der akromiohumeralen Distanz (AHD) im antero-posterioren Röntgenbild. Tabelle 1 fasst die Klassifikation nach Hamada et al. zusammen.

Tab. 1: Klassifikation der Defektarthropathie nach Hamada et al. (1990).

Klassifikation	Charakteristik
I	AHD* > 6mm
II	AHD* < 5mm
III	AHD* < 5 mm Azetabularisierung†
IV	AHD* < 5mm Azetabularisierung† Zeichen einer glenohumeralen Arthrose
V	schwere glenohumerale Arthrose Destruktion des Humeruskopfes
Anmerkungen: * AHD = akromiohumerale Distanz †Azetabularisierung = konkave Deformität des Akromions	

Ergänzend definierten Sirveaux et al. (2004) in einer Multicenterstudie an 80 Schulterpatienten vier verschiedene Typen der Glenoiddeformierung, die sie als maßgeblich für die Wahl der chirurgischen Behandlungsstrategie und den Operationserfolg betrachten (s. Bild 3).

**Bild 3:** Klassifikation der Glenoiderosion nach Sirveaux et al. (2004) [Quelle: Grammont inverted total shoulder arthroplasty in the treatment of glenohumeral osteoarthritis with massive rupture of the cuff (Sirveaux et al. 2004)]

Seebauer et al. (2005) haben darüber hinaus eine funktionell-biomechanisch orientierte Einteilung der Defektarthropathie in vier Typen vorgenommen (s. Tab. 2). Zu den zentralen Einflussgrößen der Beurteilung gehören hier die Position des glenohumeralen Drehzentrums und die generelle Stabilität der Gelenkpartner (Visotsky et al. 2004; Seebauer et al 2005).

Tab. 2: Klassifikation der Defektarthropathie nach Seebauer et al. (2005).

Typ	Charakteristik
Ia	▪ keine superiore Migration des Drehzentrums ▪ stabiles Gelenk durch Azetabularisierung des Fornix humeri und Femoralisierung des Humeruskopfes
Ib	▪ keine superiore Migration des Drehzentrums ▪ signifikante mediale Glenoiderosion mit Medialisierung des Drehzentrums
IIa	▪ superiore Migration des Drehzentrums ▪ grenzwertige stabile Gelenksituation ▪ residuale Stabilisierung durch intakten Fornix humeri
IIb	▪ superiore Migration des Drehzentrums ▪ anterosuperior instabiles Gelenk

Knöcherne Defekte auf Seiten des Glenoids sind bei der Entscheidung zur Prothesenimplantation nicht generell als Kontraindikation zu werten (Klein et al. 2010). Eine Anpassung der chirurgischen Technik, beispielsweise durch veränderte Positionierung der Verankerungsschrauben, oder der Einsatz von *bone grafts* (Knochenmaterial) können etwaige Defizite ausgleichen (Klein et al. 2010).

In Abgrenzung zu den überwiegend am röntgenmorphologischen Korrelat orientierten Einteilungen legten Loew et al. (2007) eine symptom-basierte Klassifikation vor, in der primär das vorliegende funktionelle Defizit des Patienten berücksichtigt wird. Primär im Sinne einer übersichtlichen klinischen Anwendung konzipiert, kommt sekundär auch in dieser Klassifikation die Röntgenmorphologie zum Tragen.

Tab. 3: Symptombasierte Klassifikation der Defektarthropathie nach Loew et al. (2007).

Typ	Morphologie	Charakter	Symptomatik	Radiologische Pathologie
I	<i>arthrotisch</i>	<i>stabil</i>	▪ Bewegungs- und Belastungsschmerzen	▪ mäßiger Hochstand des Oberarmkopfes
II	<i>areaktiv</i>	<i>instabil</i>	▪ hochgradige aktive Bewegungseinschränkung ▪ evtl. rezidivierende oder permanente Luxationen	▪ Hochstand und Dezentrierung des Oberarmkopfes ▪ Gelenkspalt erhalten ▪ geringe arthrotische Deformierung ▪ Kongruenz ▪ permanente Dislokation
III	<i>nekrotisch</i>	<i>destruktiv</i>	▪ Ruheschmerz ▪ aktiver Bewegungsverlust	▪ Hochstand und Kollaps des Oberarmkopfes ▪ Glenoiderosion ▪ Inkongruenz

1.4.2 Proximale Humerusfraktur

Frakturen des proximalen Humerus bzw. des Humeruskopfes gehören zu den häufigen Verletzungen der oberen Extremität und werden in der Literatur mit einem Anteil von 4-5 % an allen Frakturen angegeben (Neer 1970a, b). Rose et al. (1982) beschreiben eine stetige Zunahme der Inzidenz im Alter, nach Palvanen et al. (2006) handelt es sich um die dritthäufigste Fraktur des höheren Lebensalters. Vor allem osteoporotische Veränderungen des Knochens sind für die Zunahme der Inzidenz und komplexere Frakturfolgen im Alter verantwortlich. Codman (1934) beschrieb eine Einteilung der Humerusfraktur in vier Hauptfragmente, zu denen (i) die Kopfkalotte, (ii) das Tuberculum minus, (iii) das Tuberculum majus und (iv) der Humerusschaft zählen. Basierend auf dieser Unterscheidung hat Neer (1970) in der aktuell gebräuchlichen Klassifikation den Dislokationsgrad als zusätzliches Element hinzugefügt. Der Begriff Dislokation ist demnach als Verschiebung der Frakturkomponenten um 1 cm oder das Verkippen derselben um 45° definiert. Die dislozierten Frakturen werden somit in Zwei-, Drei und Vierfragmentfrakturen unterteilt. Einer gesonderten Klassifikation werden die Luxationsfrakturen und die Impressions- bzw. Spaltfrakturen unterzogen. Bild 4 verdeutlicht die

einzelnen Klassifikationsrichtlinien nach Neer, sowie die Schweregrade der Luxationsfrakturen. Der therapeutische Einsatz von inversen Schulterendoprothesen bei proximalen Humerusfrakturen konnte bisher überwiegend in eher kurz- bis mittelfristig angelegten Untersuchungen überprüft werden, zeigte dort allerdings solide Resultate (Boileau et al. 2006; Bufquin et al. 2007). Cazeneuve und Cristofari (2011) stellten in einer langfristig angelegten Untersuchung mit einem 12-Jahres-Follow-Up fest, dass sich die zunächst guten funktionellen Ergebnisse mit der Zeit wieder verschlechtern.

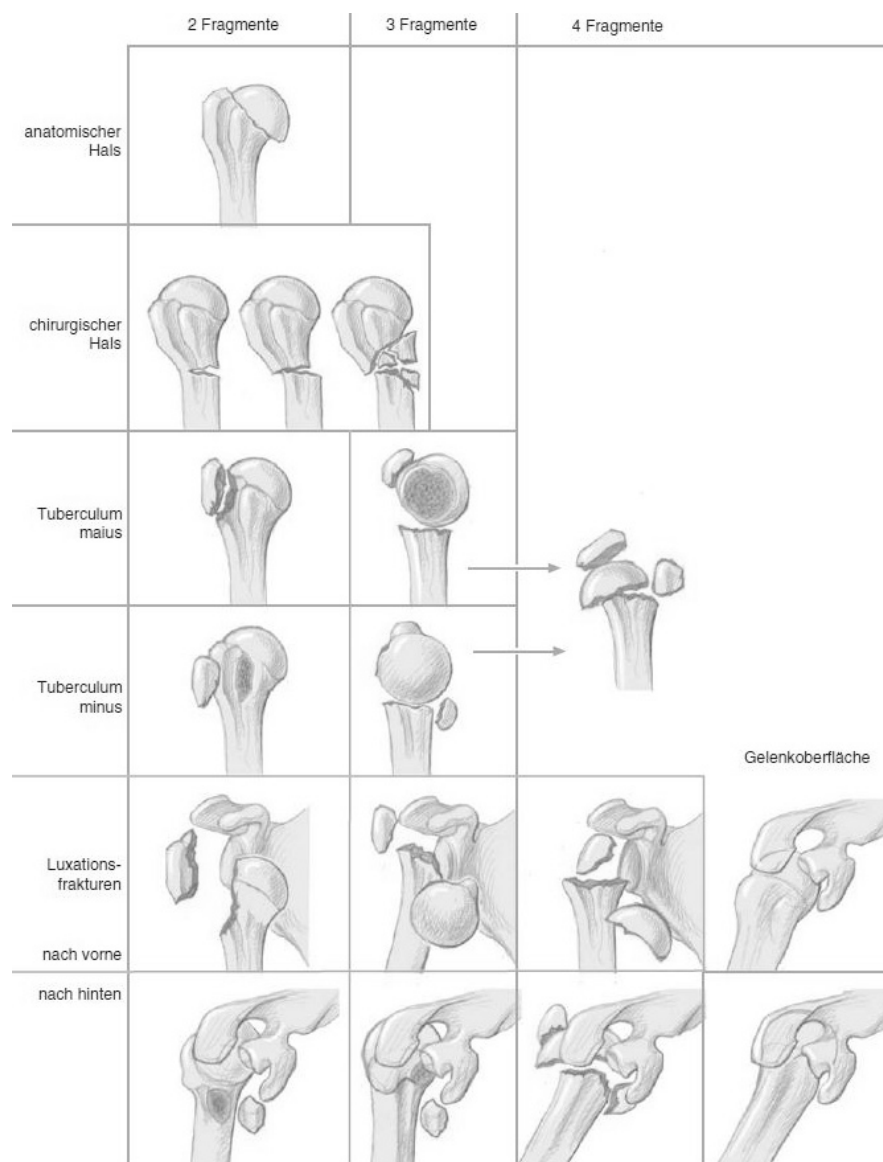


Bild 4: Neer-Klassifikation der proximalen Humerusfraktur [Quelle: AE Manual Endoprothetik, Kap. Spezielle Indikationen (Hrsg.: Loew 2010)]

1.4.3 Verwendung als Revisionsimplantat

Der Einsatz inverser Schulterendoprothesen als Revisionsimplantat ist mit zahlreichen Problemen versehen. In der Literatur werden diesbezüglich hohe Komplikationsraten und erneute Wiedereingriffe nach Einsatz der Schulterprothese berichtet (Boileau et al. 2005; Levy et al. 2007b). Häufig zählen gravierende Knochensubstanzverluste, sekundäre Knochenarrosionen und Weichteil- bzw. neurologische Defekte zu den beschriebenen Faktoren, die einen operativen Eingriff zusätzlich erschweren (Habermeyer et al. 2010; Levy et al. 2007a; Levy et al. 2007b). Insbesondere die Kombination verschiedener Krankheitsentitäten macht die Abwägung zwischen sinnvoller Behandlung sowie additiver Belastung des Patienten schwierig. Dennoch zeigen aktuelle Studienergebnisse funktionell zufriedenstellende Ergebnisse (Kelly et al. 2012), so dass Levy et al. (2007b) den Einsatz inverser Prothesen nach fehlerhafter Hemiarthroplastik mit glenoidaler Arthritis und Rotatorenmanschetteninsuffizienz als „*salvage-type solution*“ bezeichnen.

1.4.4 Weitere Indikationen

Auf eine Darstellung weiterer Schulterpathologien, für die in der Literatur eine therapeutische Indikation zur Implantation inverser Schulterendoprothesen beschrieben (rheumatoide Arthritis, primäre Omarthrose u.a.) ist, wird an dieser Stelle aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Zum anderen finden sich diese Diagnosen in dem vorliegenden Patientenkollektiv in keiner repräsentativen Anzahl wieder und haben daher für die folgenden Ausführungen keinerlei Relevanz.

1.5 Probleme und Komplikationen

Die Verwendung inverser Schulterprothesensysteme hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. In erster Linie ist dies den vielversprechenden funktionellen Ergebnissen in frühen klinischen Studien zuzuschreiben. Im Zuge dessen hat sich auch das Indikationsspektrum verändert und wurde auf weitere Schulterpathologien ausgedehnt. Primär für die Behandlung komplexer Störungsbilder wie die Defektarthropathie entwickelt, finden inverse Schulterprothesen der wissenschaftlichen Literatur zufolge inzwischen auch bei massiven Rupturen der Rotatorenmanschette, rheumatoider Arthritis und primärer Omarthrose Anwendung. Darüber hinaus werden sie regelhaft zur Erstversorgung bei Fraktur und als Revisionsimplantat nach fehlgeschlagener primärer Endoprothetik (Total-/ Hemi-Arthroplastik) oder unzureichender Stabilisierung von Frakturen eingesetzt (Sirveaux et al. 2004, Boileau et al. 2005; Loew 2010).

Zeitgleich mit der Erfassung des funktionellen *Outcome* der behandelten Patienten wurde auch das Auftreten von Komplikationen (intraoperativ, postoperativ im Verlauf) beobachtet und fortlaufend kritisch diskutiert. Aus dieser Betrachtung lassen sich einerseits Rückschlüsse auf biomechanische Schwachpunkte ziehen, zum anderen liefert sie wichtige Impulse für die Weiterentwicklung der Prothesenkonzepte. Ein relevantes, häufig dokumentiertes und kontrovers diskutiertes Problem ist das im Folgenden (s. Kapitel 1.4) näher beschriebene *scapular notching* (Sirveaux et al. 2004). Als spezifische Komplikation von Grammonts *Delta*-Prothesendesign kommt dieser radiologisch erfassbaren Veränderung am unteren Anteil des Glenoids eine besondere Bedeutung zu. Lockerungen und Luxationen vor allem im Bereich der Glenoidkomponente waren initial ein weiteres häufiges Problem (Fevang et al. 2009), das durch besondere Berücksichtigung der Position der Verankerungsschrauben angegangen wurde (Chebli et al. 2008). Zumstein et al. (2011) fassten in einer die in klinischen Studien beschriebenen Probleme und Komplikationen zusammen. Ihre Analysen umfassten die Daten von 782 implantierten inversen Prothesen bei 761 Patienten. Probleme – definiert als intraoperatives oder postoperatives Ereignis ohne Relevanz für das abschließende *Outcome* des Patienten – traten in 44 % der Fallstudien auf. Komplikationen – definiert als intraoperatives oder postoperatives Ereignis mit Einfluss auf das abschließende *Outcome* des Patienten – wurden bei 24 % der Patienten verzeichnet. Tabelle 4 zeigt die Häufigkeiten von beobachteten Problemen und Komplikationen in der Metaanalyse von Zumstein et al. (2011).

Tab. 4: Häufigkeit des Auftretens von Problemen und Komplikationen inverser Schulterendoprothesen; übernommen und modifiziert aus Zumstein et al. (2011), Metaanalyse ($N = 782$)

Probleme			
		absolute Häufigkeit	Anteil an allen untersuchten Fällen (%)
intraoperativ ($N = 2$)	sonstige	2	0.3
postoperativ ($N = 345$)	scapular notching	277	35.4
	Aufhellungslinien am Glenoid („lucent lines“)	23	2.9
	Hämatome	20	2.6
	mangelhafte akromiale Osteosynthese	7	0.9
	heterotope Ossifikation	6	0.8
	Algodystrophie + Phlebitis	4	0.5
	sonstige	8	1.0
Komplikationen			
intraoperativ ($N = 24$)	Humerusfraktur	16	2.0
	Glenoidfraktur	7	0.9
	sonstige	1	0.1
postoperativ ($N = 164$)	Instabilität	37	4.7
	Infektion	30	3.8
	aseptische Glenoidlockerung	27	3.5
	Akromion-/ Skapula-Fraktur	12	1.5
	„glenoid disassembly“	12	1.5
	„humeral disassembly“, „polyethylen dislocation“	12	1.5
	Humerusfraktur	11	1.4
	Lockerung der Humeruskomponente	10	1.3
	neurologische Irritationen	9	1.2
	sonstige	4	0.5

1.5.1 Scapular notching

Wie der Metaanalyse von Zumstein et al. (2011) zu entnehmen ist, handelt es sich beim *scapular notching* um ein sehr häufig beschriebenes Problem. Die englische Bezeichnung des inferioren oder infraglenoidalen „*scapular notching*“ bezeichnet ein direktes mechanisches Anschlagen (*Impingement*) der humeralen Komponente an den Unterrand der Skapula in unmittelbarer Nähe zur unteren Verankerungsschraube der glenoidalen Basisplatte (Habermeyer et al. 2010). Einer zweiten Metaanalyse von Cheung et al. (2011) zur Folge schwanken die Angaben in der Literatur zum Auftreten dieses Phänomens im postoperativen Verlauf zwischen 51-96% (Cheung et al. 2011). Auch wenn dies einerseits als eine offensichtliche Konsequenz der im Rahmen inverser Prothetik veränderten glenohumeralen Biomechanik gilt, scheint das *notching* andererseits Folge verschiedener Einflussfaktoren zu sein.

Hinweise auf eine Beteiligung von Polyethylenpartikeln beim fortschreitenden Knochenverlust werden ebenso erörtert wie die Positionierung der Glenosphäre (*glenoidales Offset*) oder die Bedeutung der chirurgischen Technik bzw. des Zugangsweges (anterosuperior vs. deltoideopektoral). Auch patientenbezogene Faktoren werden berücksichtigt. Vor allem zwischen der Diagnose Defektarthropathie mit reduzierter akromiohumeraler Distanz, sowie der Art der Glenoiderosion nach Sirveaux et al. (vor allem Glenoiderosion vom Typ E2) und dem Auftreten des *notching* deutet sich eine Assoziation an (Nicholson et al. 2010).

Fraglich sind darüber hinaus die Progredienz des *notching* im postoperativen Verlauf und der Einfluss dieses radiologisch detektierten Phänomens auf die Überlebenszeit der Prothese. Levigne et al. (2011) beispielsweise beschreiben das Notching als generell progredientes Geschehen. Außerdem gilt es allgemein hin als gesicherte Erkenntnis, dass es bereits früh im postoperativen Zeitraum zu mechanisch bedingten Erosionen im Bereich der Skapula kommt: Die Angaben diesbezüglich schwanken zwischen sechs Wochen und 14 Monaten (Gerber et al. 2009). Bisher lässt sich anhand der Studienlage noch kein allgemeingültiges Urteil treffen. Die Relevanz für das klinisch-funktionelle Ergebnis wird zusätzlich kontrovers diskutiert. Während einige Autoren keinen Zusammenhang zwischen der Inzidenz des *Notching* und der postoperativen Funktion herstellen konnten (Guery et al. 2006; Boileau et al. 2005; Werner et al. 2005), beschrieben beispielsweise Sirveaux et al. (2004) oder Simovitch et al. (2007) signifikant schlechtere Ergebnisse im Constant-Score bei Patienten mit auffälligen radiologischen Befunden. Der als Erstbeschreiber des *scapular notching* geltende Francois Sirveaux

(Lévigne et al. 2008) hat dieses primär radiologisch detektierbare Phänomen in einer Klassifikation mit vier Schweregraden zusammengestellt (s. Tab. 5 und Bild 5).

Tab. 5: Radiologische Klassifikation des *scapular notching* nach Sirveaux et al. (2004)

Grad 1	Skapuladefekt betrifft nur den Eckpfeiler der Basisplatte
Grad 2	Skapuladefekt hat Kontakt zur unteren Verankerungsschraube der Basisplatte
Grad 3	Skapuladefekt reicht über die untere Verankerungsschraube der Basisplatte hinaus
Grad 4	Skapuladefekt imponiert deutlich unterhalb der fixierten Basisplatte (<i>aushöhlender</i> Knochendefekt)

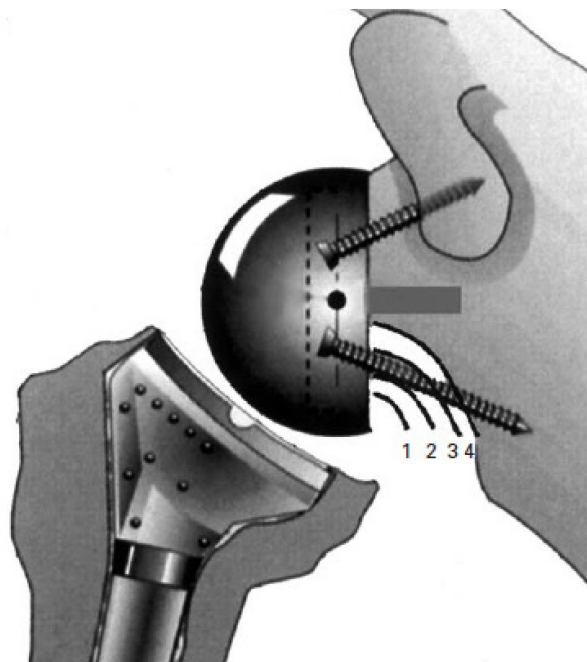


Bild 5: Radiologische Klassifikation nach Sirveaux et al. (2004) [Quelle: Grammont inverted total shoulder arthroplasty in the treatment of glenohumeral osteoarthritis with massive rupture of the cuff (Sirveaux et al. 2004)]

Das infraglenoidale *notching* ist demnach als spezielle Problematik der inversen Schulterendoprothetik hinlänglich bekannt. Aktuelle klinische Forschungsbemühungen gelten biomechanischen Ansätzen, das mechanische *Impingement* auf die Skapula zu minimieren.

Gutierrez et al. (2008a) untersuchten in einem Computermodell verschiedene Faktoren, die zu einer vergrößerten „*impingement-free range-of-motion*“ – Schulterbeweglichkeit ohne *notching* – beitragen. Hier stellte sich insbesondere ein lateralisiertes Rotationszentrum als günstige Determinante für die Abduktion heraus (Gutierrez et al. 2007), ein verkleinerter Hals-Schaft-Winkel (ca. 130°) der Humeruskomponente begünstigte eine freie Beweglichkeit bei der Adduktion (Gutierrez et al. 2008a). Auf dieser Basis prüften Kempton et al (2010) in einer klinischen Studie die entsprechenden Veränderungen im Prothesendesign auf ihre Relevanz in der klinischen Praxis. Die signifikant ($p = 0.011$) niedrigere Rate des Auftretens von *inferior notching* bei Prothesen mit 2.5 mm Offset und verkleinertem Winkel Hals-Schaft-Winkel (143°) im Verhältnis zur Vergleichsgruppe legt eine kontinuierliche Weiterentwicklung der gängigen Prothesendesigns in diese Richtung nahe. Diesbezüglich propagieren Valenti et al. (2011) eine reduzierte Medialisierung der humeralen Komponente als geeignete Modifikation zur Vermeidung des *notching*. De Wilde et al. (2010) untersuchten den Effekt verschiedener Stellgrößen der technischen Konzeption inverser Prothesen auf die Inzidenz des *scapular notching*, wobei sich der in Bild 6 unter „Punkt 6.“ beschriebene *prosthetic overhang* – eine Verlagerung des inferioren Anteils der glenoidalen Komponenten überlappend über den Rand des knöchernen Glenoids hinaus – im 2D-Computer-Modell als effektivster Präventivfaktor erwies. Inwiefern sich diese und andere theoretischen Überlegungen auf das klinische Korrelat und die verwendeten Prothesenmodelle übertragen lassen, wird Gegenstand zukünftiger Forschungsbemühungen sein.

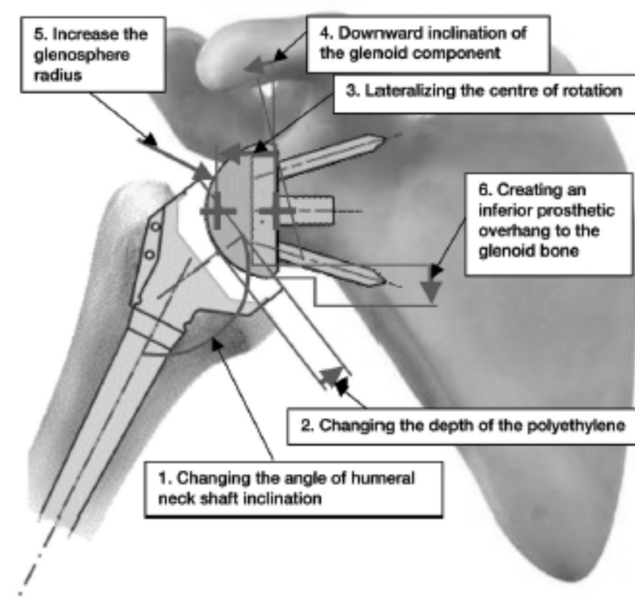


Bild 6: Technische Stellgrößen inverser Prothesen zur Vermeidung des infraglenoidalen *notching*.

[Quelle: Prosthetic overhang is the most effective way to prevent scapular conflict in a reverse shoulder arthroplasty. (De Wilde et al. 2010)] 8

2 Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum von Juni 2002 bis Mai 2010 wurden in der Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Sportmedizin des Johanna-Etienne-Krankenhauses (Neuss) insgesamt 177 Patienten⁴ an 191 Schultern mit einer inversen Schulterendoprothese versorgt. Die Implantation erfolgte in standardisierter OP-Technik und wurde vorwiegend durch *einen* Operateur durchgeführt. Alle 177 Patienten erhielten eine schriftliche Anfrage bezüglich der Nachuntersuchung ihrer operierten Schulter und der Teilnahme an dieser Studie. Dem Schreiben wurde ein Fragebogen beigelegt, der zum avisierten Nachuntersuchungstermin beantwortet mitgebracht werden sollte. 59 Patienten erschienen mit einem vollständig ausgefüllten Fragebogen zur klinischen Untersuchung, weitere 43 übersendeten den vollständig ausgefüllten Fragebogen zur Ermittlung des ASES-Scores. Die übrigen 75 Patienten konnten aus unterschiedlichen Gründen nicht in die Studie eingeschlossen werden. Somit wurden die Daten von $N = 99$ Patienten bzw. $N = 102$ Schultern für die statistische Auswertung genutzt, wobei von allen 99 Patienten der ASES-Score zum Nachuntersuchungszeitpunkt vorlag. Zusätzlich konnte von 59 dieser 99 Patienten der Constant-Score zum Nachuntersuchungszeitpunkt und ein präoperativer Constant-Score ermittelt werden.

Eine Stellungnahme der Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität ist unter der Studien-Nr. 4543 hinterlegt.

Das vorliegende Patientenkollektiv zeigte zum Zeitpunkt der Erhebung ein Alter zwischen 52 und 101 Jahren (74.65 ± 7.62 ; s. Bild 7)⁵, mit $N = 84$ Frauen und $N = 18$ Männern. Das Zeitintervall zwischen Implantation der Prothese und dem Termin zur Nachuntersuchung betrug minimal 4 und maximal 95 Monate (29.55 ± 20.78 ; s. Bild 8). 69 Prothesen wurden zum Ersatz des rechten Schultergelenkes verwendet, 33-mal erfolgte die Implantation auf der linken Seite. In $N = 66$ Fällen handelte es sich bei der operierten Schulter um die dominante Seite des Patienten im Gegensatz zu $N = 36$ Fällen auf der nicht-dominanten Seite. Insgesamt wur-

⁴ Im Folgenden wird nur die männliche Form verwendet

⁵ Mittelwerte und Standardabweichungen werden im vorliegenden Text mit $M \pm SD$ angegeben

den vier verschiedene Prothesenmodelle von drei unterschiedlichen Herstellern verwendet: *Delta*TM, *Delta Xtend*TM (DePuy), *T.E.S.S.*[®] (Biomet), *SMR*TM (Lima Corporate).

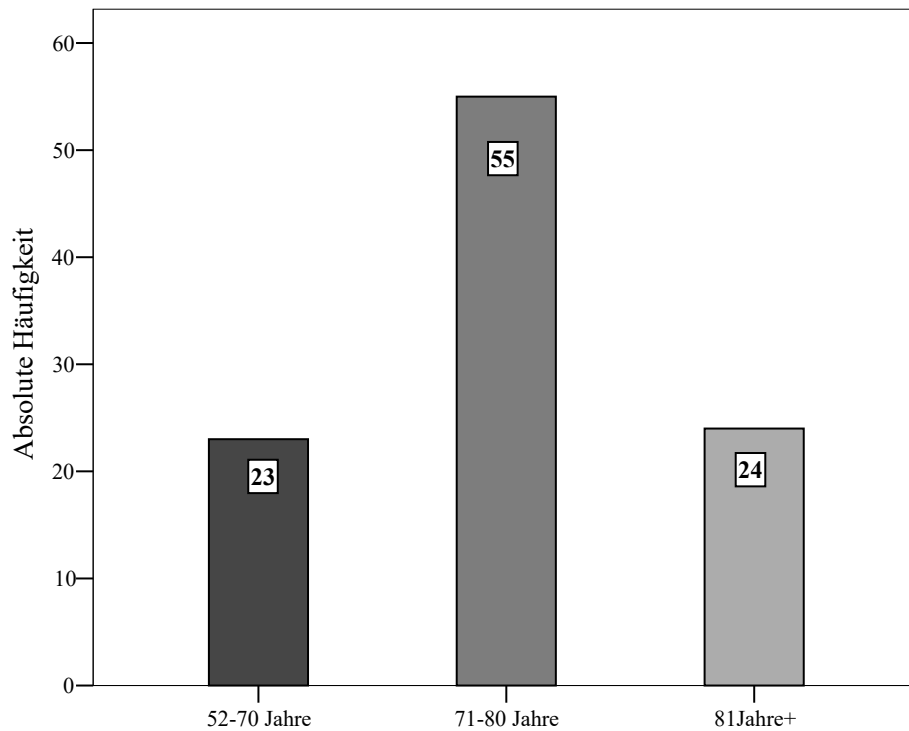


Bild 7: Verteilung der Altersstufen im Patientenkollektiv zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

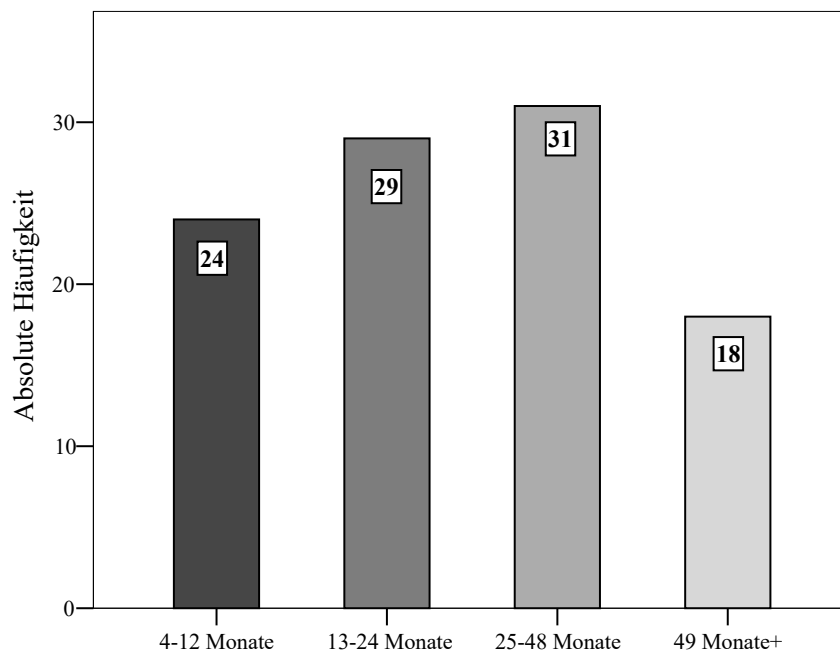


Bild 8: Verteilung des Patientenkollektivs ($N = 99$) auf die unterschiedlichen Follow-Up-Intervalle.

Die ursächliche Hauptindikation zum Einsatz der inversen Prothese ließ sich in vier Gruppen einteilen: (i) Defektarthropathie, (ii) primäre Frakturversorgung, (iii) Revisionsarthroplastik, (iv) Sonstiges (Omarthrose, Humeruskopfnekrose, rezidivierende Schulterluxation). Die klinische Untersuchung erfolgte durch einen Untersucher (Verfasser der vorliegenden Arbeit) nach einem standardisierten Schema und diente der Ermittlung des Constant-Score sowie einer orientierenden Stabilitätsprüfung. Desweiteren wurde besonderer Wert auf die subjektive Zufriedenheit des Patienten gelegt – sowohl hinsichtlich des Operationsergebnisses als auch der gegenwärtigen Schulterfunktion im Vergleich zum Zustand vor der Operation. Präoperative Untersuchungsdaten und weitere individuelle patientenbezogene Informationen wurden den Ambulanzkarten, den stationären Patientenakten sowie digitalen Patienteninformationsservern entnommen. Tabelle 6 bietet eine orientierende Übersicht über die demographischen und klinischen Eigenschaften des vorliegenden Patientenkollektivs.

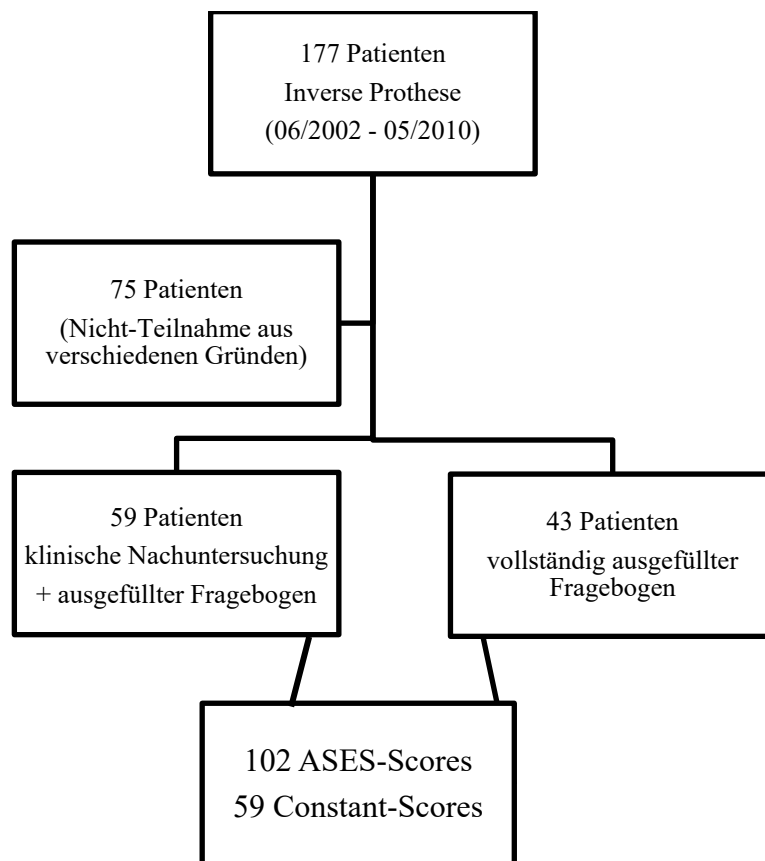


Bild 9: Flussdiagramm zur Rekrutierung des Patientenkollektivs.

Tab. 6: Deskriptive Übersicht zum Patientenkollektiv.

Patientenkollektiv (N = 99)		
operierte Schultern		102
Alter (Follow-Up)		
	<i>Minimum</i>	52
	<i>Maximum</i>	101
	<i>M ± SD</i>	74.65 ± 29.55
	<i>Median</i>	74
	<i>Modus</i>	74
Alter (OP)		
	<i>Minimum</i>	51
	<i>Maximum</i>	96
	<i>M ± SD</i>	72.18 ± 7.42
	<i>Median</i>	72
	<i>Modus</i>	71
Geschlecht		
	weiblich	84
	männlich	18
Nachuntersuchungszeitraum		
	<i>Minimum</i>	4.00
	<i>Maximum</i>	95
	<i>M ± SD</i>	29.55 ± 20.78
	<i>Median</i>	23.50
	<i>Modus</i>	5; 40
operierte Seite		
	rechts	69
	links	33
dominante Seite		
	dominant	66
	nicht-dominant	36
Hauptdiagnose /Indikation		
	Defektarthropathie	44 (43.1%)
	Fraktur	25 (24.5%)
	Revisionsarthroplastik	25 (24.5%)
	Sonstiges	8 (7.9%)
	Omarthrose	5 (4.9%)
	rezidivierende Luxation	1 (1.0%)
	Humeruskopfnekrose	2 (2.0%)
Prothesenmodell		
	Delta-CTA	54 (52.9%)
	Delta-Xtend	27 (26.5%)
	T.E.S.S. invers	18 (17.6%)
	SMR	3 (2.9%)
ASES-Score	102	
Constant-Score (präoperativ)	59	
Constant-Score (Nachuntersuchung)	59	

Anmerkungen: $M \pm SD$ = Mittelwert ± Standardabweichung

2.2 Prothesensysteme

2.2.1 Delta-CTA™ / Delta Xtend™ (Depuy)

Auf Basis der von Paul Grammont entwickelten Delta-CTA™-Prothese stellt das Modell Delta-Xtend™ eine kontinuierliche Weiterentwicklung dar. Im Folgenden wird daher das Nachfolgermodell Delta-Xtend™ mit seinen technischen Materialeigenschaften vorgestellt. Für die Humerusschaftkomponente liegen zwei verschiedene Versionen vor, die eine zementfreie und oder zementierte Implantation erlauben. Kennzeichnend für die zementfreie Version ist ein modularer Humerusschaft (Titanlegierung, Hydroxylapatit-beschichtet) zur *Press-Fit*-Verankerung von dem sich eine modulare Epiphysenkomponente abgrenzt, die als zentrierte oder exzentrische Variante eine Anpassung an die individuelle Patientenanatomie ermöglicht und in 0 bis 10° Retroversion positioniert werden kann. Die zementierte Version hingegen imponiert als Monobloc-Humerusschaft (Kobalt-Chrom-Legierung) ohne modulare Komponenten. Beide Versionen gemein ist ein Hals-/ Schaftwinkel von 155°. Zudem verfügen beide über ein Humerusinlay aus Polyethylen. Die Glenoidkomponente zeichnet sich durch eine exzentrische Glenosphäre aus. Zwei polyaxial winkelstabile und zwei nicht winkelstabile Schrauben mit verstellbarem Winkel sorgen für die Stabilität der *Metaglene*⁶, die zusätzlich über eine kleinere, innenliegende Metaglene verfügt. Ziel dieser ist ein maximierter Knochen-erhalt.

2.2.2 T.E.S.S.® (Biomet)

Gemeinhin als sogenannte fünfte Generation der Schulterprothesen bezeichnet stellt das T.E.S.S.®-Schulterssystem ein erweitertes Konzept der Schulterendoprothetik dar. Durch die modulare Ausrichtung besteht für den Operateur die Möglichkeit sich erst intraoperativ endgültig für die Verwendung eines spezifischen Prothesentyps (anatomische Total-/ Hemi-Arthroplastik oder inverses Design) entscheiden zu müssen. Auch die Versorgung mit bzw. ohne Schaftkomponente oder als zementierte bzw. zementfreie Version wird vollständig durch das T.E.S.S.®-Schulterssystem abgedeckt. Zentraler Bestandteil sowohl für die anatomi-

⁶ Basisplatte zur Verankerung der Glenoidkomponente

schen als auch für die inversen Varianten ist die sogenannte *Corolla* (Cobalt Chrom, doppelte Beschichtung aus Hydroxylapatit und porösem Ti6AL4V). Die Humerus-Invers-Corolla ist in vier Größen erhältlich und wird mit dem Humerus-Inlay (ArCom[®] Polyethylen Invers Inlay) über ein Ringloc[®]-System adaptiert. Die Glenoidkomponente ist prinzipiell als Vollpolyethylen Glenoid oder als modulares zementfreies Glenoid vorhanden, wobei die Basisplatte (Ti6AL4V⁷, doppelte Beschichtung aus Hydroxylapatit und porösem Ti6AL4V) des letzteren auch für den Inverskopf verwendet wird. Zusätzliche Anteile sind das Inlay aus ArCom[®] Polyethylen und zwei winkelstabile, bi-direktionale, um 20° einstellbare Schrauben aus Ti6AL4V. Der Glenoid-Inverskopf (Cobalt Chrom) steht in zwei Sphärengößen zur Verfügung (ø 36 mm, ø 41 mm) und wird auf die zementfreie Basisplatte aufgesetzt. Eine Feststellschraube im Inneren des Glenoidkopfes sichert zusätzlich die Anhaftung an die Glenoidbasis.

2.2.3 SMR (Lima Corporate)

Charakteristisch für die SMR-Schulterssysteme ist ebenfalls ein hohes Maß an modularen Komponenten. So stehen für die Humeruskomponente drei Varianten zur Verfügung, unter denen je nach Indikation („*elektiver Eingriff*“, „*Trauma*“, „*Revision anatomischer Prothese*“) gewählt werden kann. Auch die Länge und Art des Humerusschafts (aus CoCrMo⁸ oder Ti6AL4V; Hydroxylapatit-beschichtet) oder Implantationsart (zementfrei, zementiert) kann der Patientenanatomie individuell angepasst werden. Ein Humerus-Inlay aus UHMWPE⁹ kommt hier zusätzlich zur Anwendung. Die Glenoidkomponente der zementfreien Version für die Invers-Systeme besteht aus einer gebogenen Basisplatte (*Metal Back*; Ti6AL4V, Hydroxylapatit-beschichtet) mit zentralem Pin, der zur Press-Fit-Verankerung im Knochen dient. Zusätzlich erfolgt die Fixierung über zwei Knochenschrauben (Ti6AL4V). Die Glenosphäre ist in 36 mm (CoCrMo) oder 44 mm (UHMWPE) Durchmesser erhältlich und wird mittels eines Konus sowie einer Sicherungsschraube gleichen Materials auf der Basisplatte fixiert.

⁷ Titan, Schmiedelegierung

⁸ Kobalt-Chrom-Molybdän, Schmiedelegierung

⁹ ultra-high-molecular-weight-polyethylen

2.3 Schulterscores

2.3.1 Constant-Murley-Score

Der Constant-Murley-Score¹⁰ ermöglicht eine umfassende Beurteilung der Schulterfunktion. Entwickelt von Christopher Constant und Alan Murley ist er, seit seiner Erstveröffentlichung 1987 (Constant und Murley 1987), ein gebräuchliches und weit verbreitetes Messinstrument in der Schulterchirurgie. Die gemeinsame Erfassung subjektiver und objektiver Parameter, bei einer maximal erreichbaren Gesamtpunktzahl von 100 Punkten (je mehr Punkte erzielt werden, desto höher der Bewegungsgrad der untersuchten Schulter), erfolgt in einem Verhältnis von 35 zu 65 Punkten – der Schwerpunkt liegt demnach auf der Seite der objektivierbaren, funktionellen Aspekte.

Tab. 7: Punktzahlverteilung der Einzelkomponenten des Constant-Scores.

Untersuchungsparameter	Punkte
Schmerz	0 – 15
Alltagsaktivität	0 – 20
Bewegungsumfang	0 – 40
Kraft	0 – 25
Gesamtpunktzahl	max. 100

2.3.2 Subjektive Parameter des Constant-Scores

Zu dieser Kategorie sind die Parameter *Schmerz* und *Alltagsaktivität* (inklusive der subjektiven „*Reichweite*“) zu zählen. Im Vordergrund steht hier die individuelle Wahrnehmung des Patienten, unabhängig von der Fremdeinschätzung durch den Untersucher. Für die Schmerzerfassung wurde eine visuelle Analogskala (VAS) benutzt.

¹⁰ Im Folgenden wird die Bezeichnung Constant-Score bzw. CM-Score verwendet.

Tab. 8: Untersuchungsparameter *Schmerz*.

Befund (VAS)	Punktzahl
0 = maximaler Schmerz	0 – 15 Punkte
5 = mittlerer Schmerz	
10 = leichter Schmerz	
15 = kein Schmerz	

Tab. 9: Untersuchungsparameter *Alltagsaktivität*.

Untersuchungsparameter	Punktzahl
Arbeitsfähigkeit	0 – 4
Freizeitaktivität/Sportfähigkeit	0 – 4
Schlaf*	0 – 2
<i>Anmerkung:</i> * 2 = ungestört, 1 = gelegentlich gestört, 0 = jede Nacht gestört	

Tab. 10: Untersuchungsparameter *Reichweite*: „Bis zu welcher Höhe kann der Arm problemlos eingesetzt werden?“.

Befund	Punktzahl
unterhalb der Taille*	0
bis zur Taille	2
bis zum Xiphoid	4
bis zum Hals	6
bis zum Scheitel	8
über den Kopf hinaus	10
<i>Anmerkung:</i> *Constant et al. (2008)	

2.3.3 Objektive Parameter des Constant-Scores

Der *Bewegungsumfang* als wesentlicher Bestandteil der Schulterfunktion erhält im Constant-Score eine dementsprechend hohe Gewichtung. Unabhängig voneinander werden die *Elevation* und *Abduktion*, sowie die *Außen-* und *Innenrotation* als gleichberechtigte Anteile der vollständigen Beweglichkeit des Schultergelenks beurteilt. Darüber hinaus fließt die *Kraft* als einzelner Faktor mit einem vergleichsweise hohen Punktwert in die Berechnung der Gesamtpunktzahl ein.

Tab. 11: Untersuchungsparameter *Elevation*.

Befund	Punktzahl
0 – 30°	0
31 – 60°	2
61 – 90°	4
91 – 120°	6
121 – 150°	8
151 – 180°	10

Tab. 12: Untersuchungsparameter *Abduktion*.

Befund	Punktzahl
0 – 30°	0
31 – 60°	2
61 – 90°	4
91 – 120°	6
121 – 150°	8
151 – 180°	10

Tab. 13: Untersuchungsparameter *Außenrotation*.

Befund	Punktzahl
Hand am Hinterkopf, Ellenbogen nach vorne	2
Hand am Hinterkopf, Ellenbogen nach hinten	2
Hand auf dem Kopf, Ellenbogen nach vorne	2
Hand auf dem Kopf, Ellenbogen nach hinten	2
volle Elevation vom Scheitel ausgehend	2

Tab. 14: Untersuchungsparameter *Innenrotation*.

Befund	Punktzahl
Handrücken auf der Außenseite des Oberschenkels	0
Handrücken auf Gesäß	2
Handrücken auf lumbosakralem Übergang	4
Handrücken auf Taille (LWK 3)	6
Handrücken auf BWK 12	8
Handrücken zwischen den Schulterblättern (BWK 7)	10

Tab. 15: Untersuchungsparameter *Kraft*.

Befund	Punktzahl
$Kraft\ (kg) \times \frac{25}{12}$	0 – 25 Punkte

2.3.4 Altersadjustierung des Constant-Scores

In der Literatur wird die alters- und geschlechtsnormierte, prozentuale Angabe des Constant-Scores empfohlen, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit gesunden Kollektiven zu gewährleisten. Thomas et al. führten 2003 eine dementsprechende alters- und geschlechtsspezifische Normierung für ein deutsches Kollektiv durch. 240 gesunde Testpersonen (120 Frauen, 120 Männer) wurden in dieser Versuchsreihe untersucht und der Constant-Score in Abhängigkeit vom Kraftmesspunkt – Deltoideusansatz oder Handgelenk – ermittelt. Tabelle 16 sind die Ergebnisse für sechs Altersstufen, Tabelle 17 die Formel zur Berechnung des adjustierten Punktwerts zu entnehmen.

Tab. 16: Alters- und geschlechtsnormierter Constant-Score (nach Thomas et al., 2003).

Altersgruppe (Jahre)	Messpunkt <i>Deltoideusansatz</i>		Messpunkt <i>Handgelenk</i>	
	Frauen (N = 120)	Männer (N = 120)	Frauen (N = 120)	Männer (N = 120)
6 – 15*	89,5	89,8	80,5	80,5
16 – 30*	96,8	99,6	84,2	90,5
31 – 45*	97,6	99,8	85,1	93,9
46 – 60*	96,4	98,8	85,1	90,9
61 – 70*	87,8	96,8	80,1	87,6
71 – 90*	86,7	93,0	78,2	81,8

Anmerkungen: *N = jeweils 20 Frauen oder 20 Männer pro Altersgruppe

Tab. 17: Formel zur Berechnung des normierten Constant-Scores.

$$\frac{\text{Roh-Score}}{\text{normierter Score}} \times 100$$

2.3.5 American Shoulder and Elbow Surgeons Score

Ein weiteres anerkanntes und vielfach verwandtes Score-System zur Erfassung der Schulterfunktion stellt der 1993 durch das Research Committee of the American Shoulder and Elbow Surgeons erstmalig eingeführte American Shoulder and Elbow Surgeons Score¹¹ dar (Research Committee 1994).

Auch dieser setzt sich aus subjektiven und objektiven Untersuchungs- bzw. Befragungsparametern zusammen, wobei der klinisch-objektive Untersuchungsbogen nicht zur Berechnung der Gesamtpunktzahl beiträgt. Darüber hinaus erfolgte in der vorliegenden Studie bereits durch die Ermittlung des Constant-Scores eine objektive Evaluation der Schulterfunktion, so dass an dieser Stelle insbesondere der subjektive Anteil des ASES-Scores – ein Patientenfragebogen – von Interesse ist. Innerhalb dieses Fragebogens werden im Wesentlichen die Parameter *Aktivitäten des täglichen Lebens* und *Schmerz* erfasst und in ein Punktesystem übertragen. Die Berechnung der Gesamtpunktzahl des ASES-Scores bedient sich folgender Formel (Habermeyer 2010):

$$[(10 - \text{VAS}^{12} - \text{Schmerz} - \text{Score}) \times 5] + (5/3 \times \text{kumulativer ADL}^{13} - \text{Score})$$

„Heutiger Schulterschmerz“

(keine Schmerzen) 0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 (sehr starke Schmerzen)

Tab. 18: Schmerzerfassung im ASES-Score.

¹¹ Im Folgenden als ASES-Score bezeichnet.

¹² VAS = visuelle Analogskala.

¹³ ADL = *activities of daily living* (*Aktivitäten des täglichen Lebens*).

Tab. 19: *Aktivitäten des täglichen Lebens.*

Aktivität	rechter Arm (Punktzahl)	linker Arm (Punktzahl)
<i>Einen Mantel anziehen</i>	0 1 2 3	0 1 2 3
<i>Auf der betroffenen Seite schlafen</i>	0 1 2 3	0 1 2 3
<i>Den Rücken waschen</i>	0 1 2 3	0 1 2 3
<i>Toilettenpapier benutzen</i>	0 1 2 3	0 1 2 3
<i>Haare kämmen</i>	0 1 2 3	0 1 2 3
<i>Etwas aus einem hohen Regal nehmen</i>	0 1 2 3	0 1 2 3
<i>2,5 kg über Schulterhöhe anheben</i>	0 1 2 3	0 1 2 3
<i>Einen Ball über Kopf werfen</i>	0 1 2 3	0 1 2 3
<i>Gewohnte Arbeit verrichten</i>	0 1 2 3	0 1 2 3
<i>Gewohnten Sport treiben</i>	0 1 2 3	0 1 2 3
<i>Anmerkung:</i> 0 = nicht möglich, 1 = große Schwierigkeiten, 2 = einige Schwierigkeiten, 3 = ohne Probleme durchführbar		

2.4 Radiologische Auswertung

Anhand der vorliegenden anterior-posterior-Röntgenbilder wurden unterschiedliche radiologische Parameter innerhalb des Patientenkollektivs mit Vorliegen einer Defektarthropathie dokumentiert. Präoperativ wurden das laterale glenohumerale Offset (LGOH) – Distanz zwischen der Basis des Processus coracoideus und dem Tuberculum majus – und die akromio-humerale Distanz (AHD) – Strecke zwischen Akromion und Humeruskopf – bestimmt. Bild 10 stellt beide Parameter graphisch dar. Diese Kennwerte wurden prä-, postoperativ und im Follow-Up festgehalten. Zusätzlich fand eine Einteilung nach drei häufig verwendeten Klassifikationen statt. Namentlich sind das die Klassifikationen nach (i) Hamada et al. (1990), (ii) Sirveaux et al. (2004) und (iii) Seebauer et al. (2005) (für näherer Informationen s. Kap. 1.4.1). Kappe et al. (2010) kommen in einer Untersuchung der Reliabilität der oben genannten Systeme zu der Erkenntnis, dass die Einteilung in Schweregrade nach Hamada et al. und nach Seebauer et al. ausreichende bis gute Reliabilität gewährleisten und sich demnach für einen Einsatz in der klinischen Praxis eignen. Die Klassifikation nach Sirveaux et al. halten die Autoren für ein geeignetes Instrument zur validen Beurteilung der radiologisch sichtbaren Glenoiderosion. Auch sie liefere solide bis gute Ergebnisse hinsichtlich einer *intra-* und *inter-observer* Reliabilität. Iannotti et al. (2010) betonen in einer vergleichenden Publikation die Notwendigkeit einer Kombination radiologischer und klinischer Untersuchungsergebnisse für die folgende Therapieentscheidung. Zusätzlich schlagen sie die Implementierung eines diagnostischen Algorithmus vor, der sich in erster Instanz auf die Klassifikation nach Seebauer et al. stützt (Iannotti et al. 2010). Middernacht et al. (2011) fassen diesbezüglich in einer retrospektiven Multicenter-Studie zusammen, dass sich aus dem konventionellen a.-p.-Röntgenbild und nachfolgender Klassifikation nach Hamada et al. allein keine konkret verwertbare Vorhersage zum aktuellen klinischen Status des Patienten mit Defektarthropathie gewinnen lässt. Nové-Josserand et al. (2005) hatten dagegen noch einen starken statistischen Zusammenhang zwischen dem Funktionsergebnis im Constant-Score und dem radiologischen Befund nach Hamada et al. ermitteln können.

Auch dem *scapular notching* als spezielles Phänomen der inversen Schulterendoprothetik wurde in der Beurteilung des postoperativen Verlaufs besondere Beachtung geschenkt. Dazu wurden die vorhandenen Röntgenbilder des vorliegenden Kollektivs, unabhängig von der zu-

grundlegenden Diagnose, hinsichtlich des Auftretens eines *notching* untersucht und gemäß der bereits erwähnten Sirveaux-Klassifikation eingeteilt. Zusätzlich wurden Aufhellungslinien („*radiolucent lines*“) an der Glenoidbasis sowie im Bereich des Humerus als Hinweise auf mögliche Anzeichen für eine Lockerung der Komponenten dokumentiert. Humerale Aufhellungslinien wurden sieben Zonen zugeordnet – angelehnt an eine für die Schulter adaptierte Klassifikation von Gruen et al. (1979).

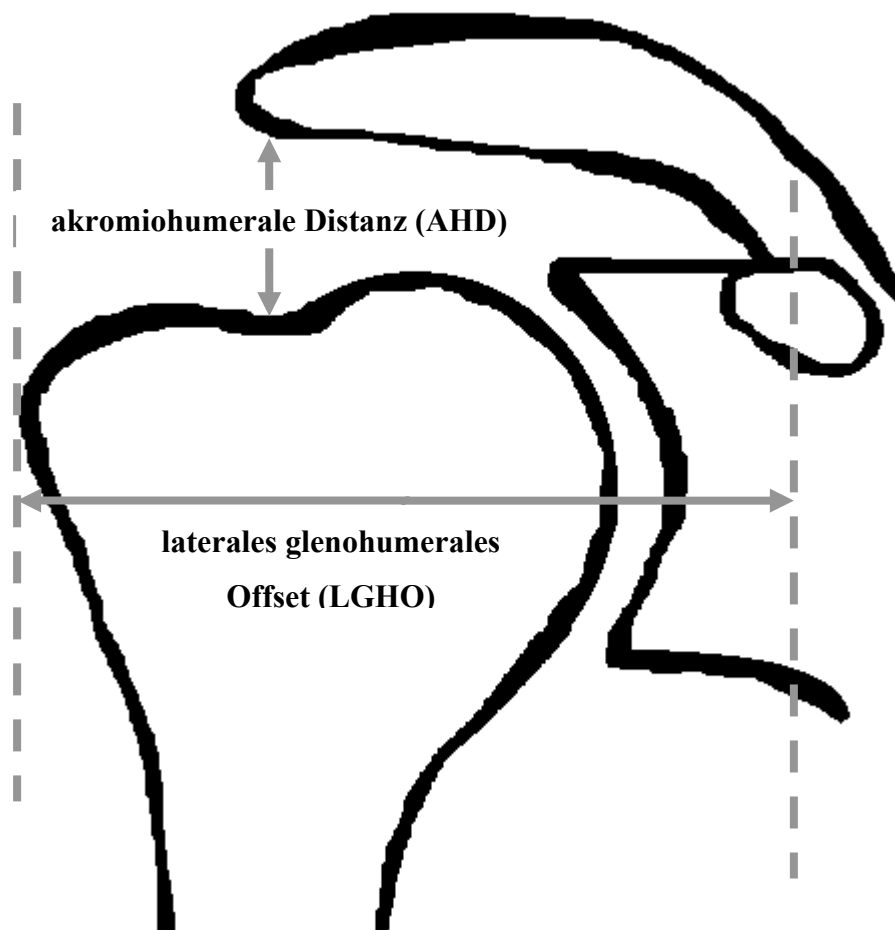


Bild 10: graphische Darstellung der radiologischen Untersuchungsgrößen.

2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Datenauswertung erfolgte mit Hilfe der Statistiksoftware Statistical Package for the Social Sciences (SPSSTM) in der Version 13.0 (2004) für Windows der Firma SPSS Inc.[®]. Zur Berechnung von Effektstärken wurde zusätzlich das Programm G*Power 3 verwendet (Faul et al. 2007).

Die jeweilige Prüfung der Daten auf Normalverteilung erfolgte durch (i) Inspektion der Histogramme, (ii) die Suche nach Diskrepanzen innerhalb der *Maße zentraler Tendenz* (arithmetischer Mittelwert, Median, Modus), (iii) einer Bestimmung von Schiefe und Exzess (Normalverteilung = Werte nahe null) und (iv) einer Prüfung auf empirische Signifikanz mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests (*keine* Signifikanz erwünscht). Mittelwerte und Standardabweichungen werden durchgehend mit $M \pm SD$ angegeben.

Die verwendeten Scores wurden hinsichtlich allgemeingültiger Testgütekriterien untersucht. Eine Prüfung auf *konvergente Validität*¹⁴ des Constant- und ASES-Scores erfolgte durch eine Korrelationsanalyse nach Pearson (Hilgers et al. 2007). Die *Reliabilität* des ASES-Scores im Sinne *interner Konsistenz* – die Präzision mit der ein Test (Fragebogen) die gewünschte Testgröße (*Schulterfunktion*) erfasst – wurde mittels Cronbachs α bestimmt ($\alpha > 0.60$ erwünscht, maximal 1; Cronbach 1951). Als weiteres Gütekriterium wurde die part-whole korrigierte Trennschärfe (r) der einzelnen Fragebogenitems ermittelt. Dies ermöglicht eine Aussage über die Fähigkeit einzelner Items zwischen Patienten mit hoher und niedriger Ausprägung der untersuchten Testgröße zu differenzieren. Für die Beurteilung der Trennschärfe r gilt: $r \geq 0.10$: wünschenswert; $r \geq 0.30$: gut; $r \geq 0.50$: sehr gut (Fisseni 2004).

Als parametrischer Test für die Analyse von Differenzen zwischen Mittelwerten zweier verbundener Stichproben wurde der t-Test für abhängige Stichproben gerechnet. Für unabhängige Stichproben fanden der nicht-parametrische Mann-Whitney-U-Test (2 Testvariablen) und der nicht-parametrische Kruskal-Wallis-Test (≥ 3 Testvariablen), jeweils bei einer Stichprobengröße von $N < 30$, Verwendung. Bei einer Stichprobengröße $N > 30$ wurde der t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Die quantitative Analyse linearer Zusammenhänge zwischen zwei kontinuierlichen Merkmalen erfolgte mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten r

¹⁴ Die Prüfung auf konvergente Validität dient zur Beantwortung der Frage, inwieweit beide Scores tatsächlich dieselbe Testgröße messen.

nach Pearson (Wertebereich: -1 bis +1). Als nicht-parametrisches Pendant fungiert an dieser Stelle der Korrelationskoeffizient ρ nach Spearman.

Das für alle verwendeten Testverfahren im Vorfeld festgelegte kritische α -Fehler-Niveau (statistisches Signifikanzniveau) liegt bei $p < 0.05$. Bei multipler statistischer Prüfung wurde dagegen eine α -Adjustierung nach Bonferroni vorgenommen, um ein korrigiertes α -kritisches Niveau zu ermitteln (Bortz 2005):

$$\frac{\text{globales empirisches } \alpha}{\# \{Test\}} = \text{lokales adjustiertes } \alpha$$

Bei Analysen, die eine wiederholte Messung derselben Zielgröße zu mehr als zwei Zeitpunkten beinhaltete, wurde eine einfaktorielle (univariate) Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA, *within-subjects*) verwendet. Falls eine der statistischen Voraussetzungen für die Varianzanalyse (Normalverteilung, Intervallskalierung, Kovarianzhomogenität der Daten) nicht gewährleistet werden konnte, wurde entweder der nicht-parametrische Friedman-Test gerechnet oder aber eine Korrektur der fehlenden Kovarianzhomogenität nach Greenhouse-Geisser durchgeführt.

Unabhängig von der Signifikanz wurden Effektstärkemaße berechnet. Diese statistische Größe ermöglicht eine Beurteilung der aus der vorliegenden Stichprobe ermittelten Effekte. So ist es zulässig bei hohen Effektstärken – trotz ausbleibender statistischer Signifikanz – von einem relevanten Effekt zu sprechen, der bei einer größeren Stichprobenpopulation womöglich auch das empirische α -Fehler-Niveau erreicht hätte (Cohen 1988).

So diene die Berechnung der Effektstärke d bei t-Tests (abhängig und unabhängig) sowie seinem nicht-parametrischen Pendant – dem Mann-Whitney-U-Test – zur Beurteilung des beobachteten Effekts. Für das Effektstärkemaß d gelten gemäß Cohen (Cohen 1988) folgende Richtlinien: $d \geq 0.20$: kleiner Effekt; $d \geq 0.50$: mittlerer Effekt; $d \geq 0.80$: großer Effekt. Beim nicht-parametrischen Kruskal-Wallis-Test sowie der einfaktoriellen Varianzanalyse kam das Effektstärkemaß η^2 zur Anwendung. Für η^2 gelten ebenfalls gemäß Cohen (Cohen 1988) folgende Richtlinien: $\eta^2 \geq 0.01$: kleiner Effekt; $\eta^2 \geq 0.06$: mittlerer Effekt; $\eta^2 \geq 0.14$: großer Effekt.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit beschrieben. Vor der Präsentation einzelner Testergebnisse erfolgt eine Betrachtung der verwendeten Scores zur Beurteilung der Schulterfunktion. Danach werden präoperative und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (Follow-Up) erhobene klinische Scores (Constant-Score, ASES-Score) inklusive einzelner Subparameter aufgeführt. Einen besonderen Stellenwert erhält die subjektive Patienteneinschätzung („*Patientenzufriedenheit*“) in Bezug auf das Operationsergebnis. Den zweiten Teil bildet die Präsentation der Ergebnisse aus den Messungen radiologischer Parameter, im Speziellen angewandt auf das Patientenkollektiv mit der Hauptdiagnose einer Defektarthrose.

3.1 Güte der verwendeten Instrumente

Vor der Beschreibung einzelner Score-Ergebnisse im Detail wurde die psychometrische Güte der verwendeten Testinstrumente – Constant-Score und ASES-Score – überprüft. In einer Korrelationsanalyse beider Scores zeigte sich ein erwarteter hoher signifikanter Zusammenhang zwischen den Indices ($r^{15} = 0.82$, $p < 0.01$). Diese hohe Korrelation liefert den Beleg für eine hohe konvergente Validität der verwendeten Scores – beide messen demnach dieselbe Zielgröße – und eignen sich somit für eine gemeinsame Betrachtung. Im Speziellen wurden auch Subparameter des Constant-Scores („*Beweglichkeit*“, „*Schmerz*“) untereinander und im Vergleich zur Gesamt-Punktzahl untersucht. Auch hier ergab die Korrelation hoch signifikante Ergebnisse: $r^{1,16} = 0.74$; $r^{1,17} = 0.94$; $r^{1,18} = 0.55$; in allen Fällen galt $p < 0.01$.

¹⁵ Der Pearsonsche Korrelationskoeffizient r ist bereits ein Effektstärkemaß, für das gemäß Cohen (1988) folgende Richtlinien gelten: $r = 0.10$: kleiner Effekt, $r = 0.30$: mittlerer Effekt, $r = 0.50$: großer Effekt.

¹⁶ Korrelation CM-Score „*Schmerz*“ mit CM-Score (Gesamt).

¹⁷ Korrelation CM-Score „*Beweglichkeit*“ mit CM-Score (Gesamt).

¹⁸ Korrelation CM-Score „*Schmerz*“ mit CM-Score „*Beweglichkeit*“.

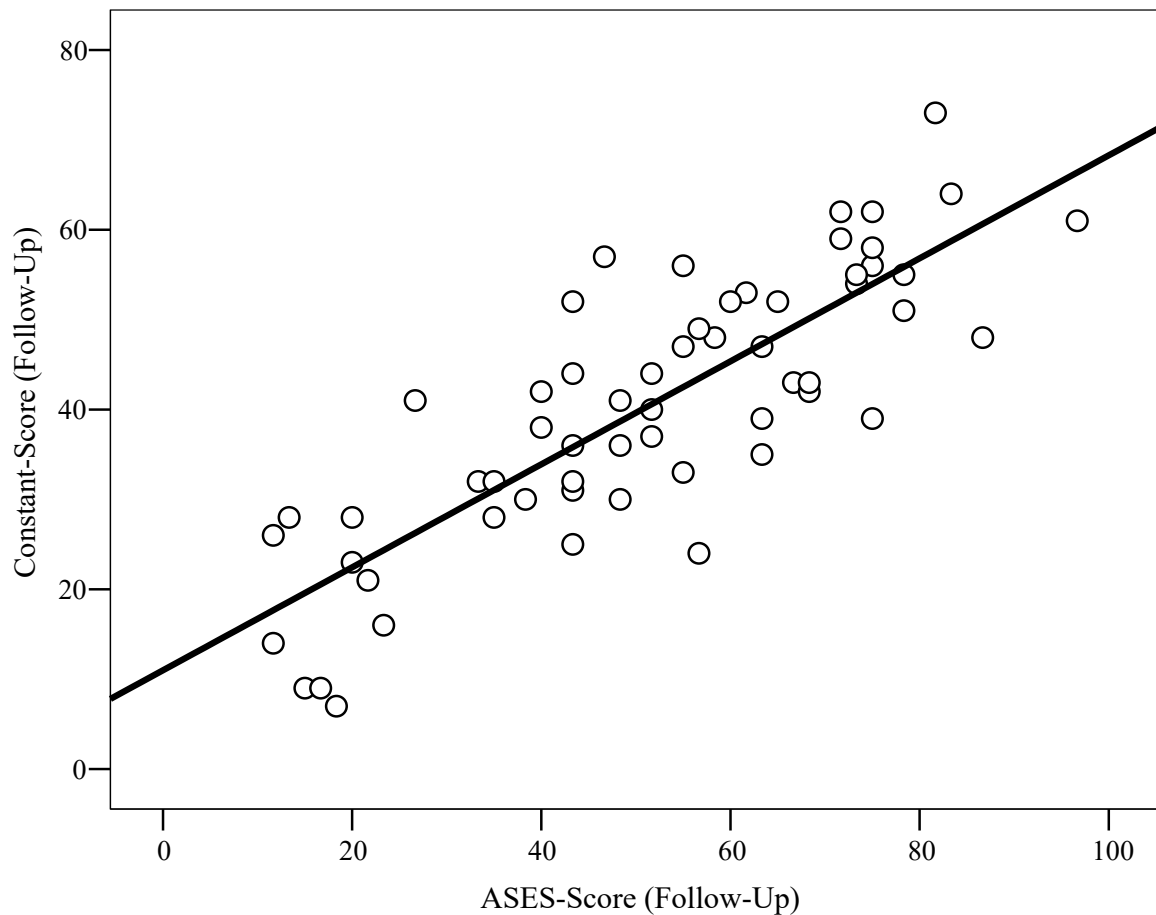


Bild 11: Streudiagramme der jeweiligen Gesamtpunktzahlen für den ASES- bzw. Constant-Score.

Der Patientenfragebogen des ASES-Score wurde zudem hinsichtlich der Reliabilität im Sinne interner Konsistenz mittels Cronbachs α (Cronbach 1951) analysiert. Zusätzlich wurde die Trennschärfe r_{it} einzelner Items des Fragebogens bestimmt. Für Cronbachs α konnte ein Wert von $\alpha = 0.88$, ein Beleg für sehr gute interne Konsistenz, ermittelt werden. Die Trennschärfe¹⁹ schwankte zwischen minimal 0.38 („Gewohnten Sport treiben“) und maximal 0.76 („Gewohnte Arbeit verrichten“) und zeigte im Mittel (0.61 ± 0.12) ebenfalls gute bis sehr gute Ergebnisse für die einzelnen Fragebogen-Items (s. Tabelle 20).

¹⁹ Für die Beurteilung der Trennschärfe r gilt: $r \geq 0.30$: akzeptabel; $r \geq 0.50$: sehr gut (s. Kap. 2.5).

Tab. 20: Trennschärfen der einzelnen Items des ASES-Score.

<i>N</i> = 102	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>Trennschärfe</i>
<i>Mantel anziehen</i>	1.62 ± 0.94	0.64
<i>Schlafen auf der Seite</i>	1.54 ± 1.10	0.49
<i>Rücken waschen</i>	0.76 ± 1.00	0.52
<i>Toilettenpapier benutzen</i>	1.33 ± 1.19	0.69
<i>Haare kämmen</i>	1.32 ± 1.10	0.73
<i>Etwas aus einem hohen Regal nehmen</i>	0.95 ± 1.07	0.70
<i>Über Schulterniveau heben</i>	0.59 ± 0.90	0.56
<i>Einen Ball über Kopf</i>	1.00 ± 1.08	0.68
<i>Gewohnte Arbeit verrichten</i>	1.31 ± 0.95	0.76
<i>Gewohnten Sport treiben</i>	0.71 ± 0.94	0.38

3.2 Normalverteilung der Daten

Die erhobenen Daten der Gesamt-Punktzahlen einzelner Scores (Constant-Score: präoperativ und Follow-Up; ASES-Score: Follow-Up) wurden auf eine Normalverteilung der Werte hin untersucht. Hier ließ sich bereits in der Inspektion der Histogramme eine normale Verteilung vermuten (s. Bild 12, 13, 14). Die Betrachtung der Maße zentraler Tendenz sowie von Schiefe und Exzess untermauerte diesen Eindruck (s. Tab. 21).

Tab. 21: Prüfung der Gesamt-Scores auf statistische Normalverteilung.

	CM-Score (prä-OP)	CM-Score (Follow-Up)	ASES-Score (Follow-Up)
	<i>N</i> = 59	<i>N</i> = 59	<i>N</i> = 102
<i>M</i> ± <i>SD</i>	25.19 ± 11.73	40.49 ± 14.91	53.27 ± 20.34
<i>Median</i>	25	41	55
<i>Modus</i>	19; 23; 25; 29; 32	28; 32, 52	43
<i>Schiefe</i>	-0.18	0.47	-0.28
<i>Exzess</i>	-0.54	0.28	-0.35
<i>p-Wert</i> *	0.87	0.95	0.94

Anmerkung: *Kolmogorov-Smirnov-Test

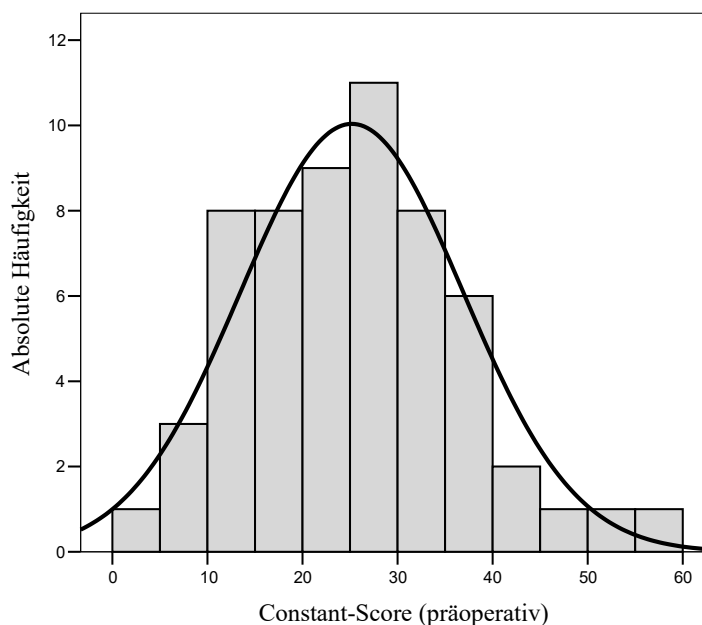


Bild 12: Verteilung der Punktwerte für den präoperativen Constant-Score.

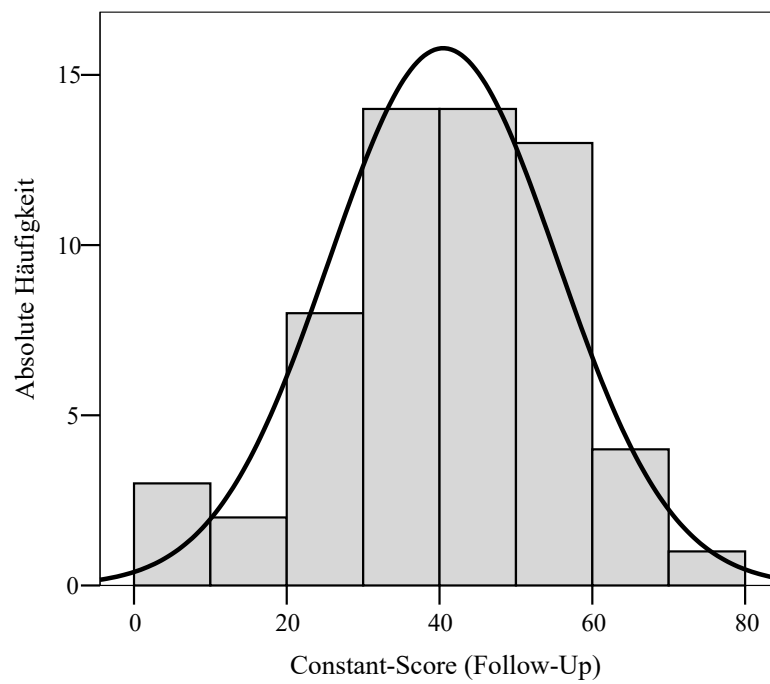


Bild 13: Verteilung der Punktwerte für den Constant-Score zum Zeitpunkt des Follow-Up.

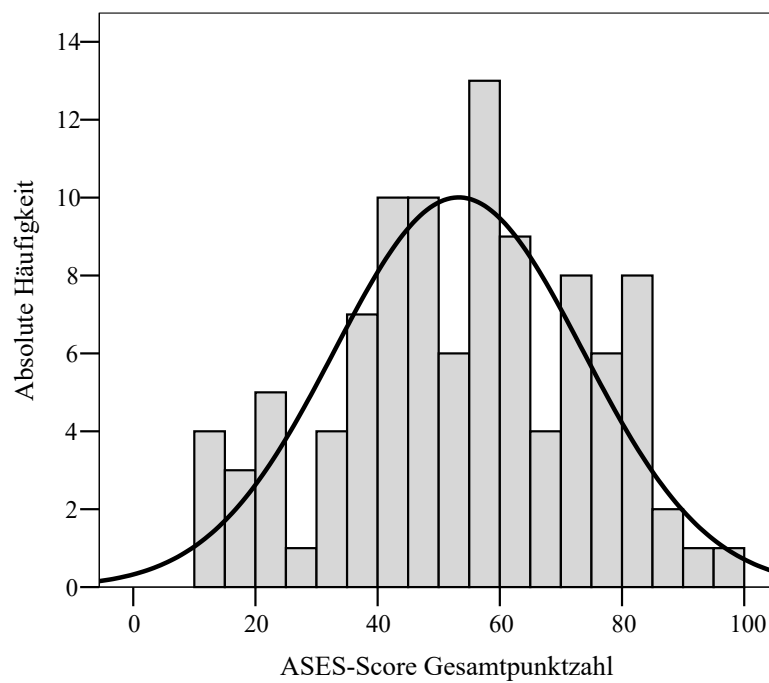


Bild 14: Verteilung der erhobenen Punktwerte für den ASES-Score.

Abschließend zeigte sich auch in der interferenzstatistischen Überprüfung der Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Test das erwünschte Ausbleiben statistischer Signifikanz: präoperativer Constant-Score ($p = 0.87$), Follow-Up-Constant-Score ($p = 0.95$) und Follow-Up-ASES-Score ($p = 0.94$).

3.3 Constant-Score

Im Folgenden werden die Gesamt-Punktzahlen der Constant-Scores im Vergleich präoperativer Werte zu Ergebnissen bei der Nachuntersuchung betrachtet. Desweiteren erfolgt ein Vergleich zwischen den Bewegungsebenen Abduktion und Elevation, sowie der Subparameter des Constant-Scores für „Schmerz“ und „Beweglichkeit“ (s. Tab. 22 und 23).

Tab. 22: Übersicht präoperativer Werte (Constant-Score, $N = 59$).

	CM-Score (Gesamt)	CM-Score „Schmerz“	CM-Score „Beweglichkeit“	Elevation (°)	Abduktion (°)
<i>M ± SD</i>	25.19 ± 11.73	4.80 ± 2.35	11.63 ± 7.38	75.34 ± 34.97	72.12 ± 35.59
<i>Minimum</i>	2	0	0	20	20
<i>Maximum</i>	58	10	32	170	180

Tab. 23: Übersicht Follow-Up-Werte (Constant-Score, $N = 59$).

	CM-Score (Gesamt)	CM-Score „Schmerz“	CM-Score „Beweglichkeit“	Elevation (°)	Abduktion (°)
<i>M ± SD</i>	40.49 ± 14.91	11.03 ± 3.82	17.49 ± 7.04	104.24 ± 28.63	83.31 ± 16.39
<i>Minimum</i>	7	2	0	25	30
<i>Maximum</i>	73	15	28	160	115

3.3.1 Präoperativ- und Follow-Up-Vergleich

Wie die Tabellen 22 und 23 verdeutlichen, zeigte sich im Mittel eine deutliche Verbesserung der Gesamtpunktzahl für den Constant-Score (sowie seiner Subparameter „Schmerz“ und „Beweglichkeit“) und der Bewegungsebenen Elevation und Abduktion im Vergleich zwischen den präoperativ und im Follow-Up erhobenen Werten (s. auch Bild 15). Dieser Unterschied war auch für alle fünf untersuchten Mittelwertspaare statistisch hoch signifikant ($p < 0.01$). Für die Effektstärken d ergaben sich ebenfalls hohe Werte. Für den Gesamt-Constant-Score betrug $d = 1.12$, auch die Subparameter „Schmerz“ ($d = 1.88$) und „Beweglichkeit“ ($d = 0.81$), sowie die Bewegungsebenen Elevation ($d = 0.90$) und Abduktion ($d = 0.36$) zeigten einen großen statistischen Effekt²⁰.

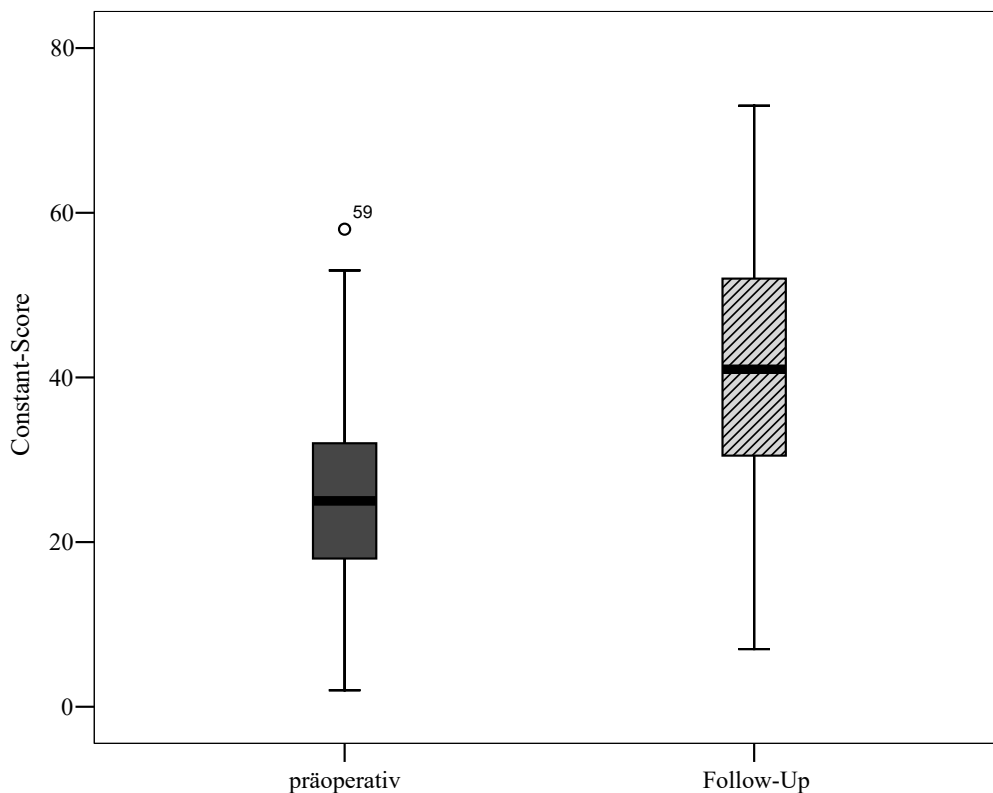


Bild 15: Constant-Score präoperativ und zum Zeitpunkt des Follow-Up.

²⁰ Für das Effektstärkemaß d gelten gemäß Cohen (1988) folgende Richtlinien: $d \geq 0.20$: kleiner Effekt; $d \geq 0.50$: mittlerer Effekt; $d \geq 0.80$: großer Effekt.

3.3.2 Subparameter des Constant-Scores

Der Subparameter „Schmerz“ stellt innerhalb Constant-Score eine wichtige Untersuchungsgröße dar. Daher erfolgte eine spezielle Betrachtung der Veränderungen dieses einzelnen Punktwertes zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten. Die bereits in den Mittelwerten zu beobachtende Verbesserung zwischen präoperativen Werten und der Situation zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (s. Tab. 22, 23) zeigte auch einen statistisch hoch signifikanten Mittelwertsunterschied ($p < 0.01$) und eine sehr große statistische Effektstärke ($d = 1.88$).

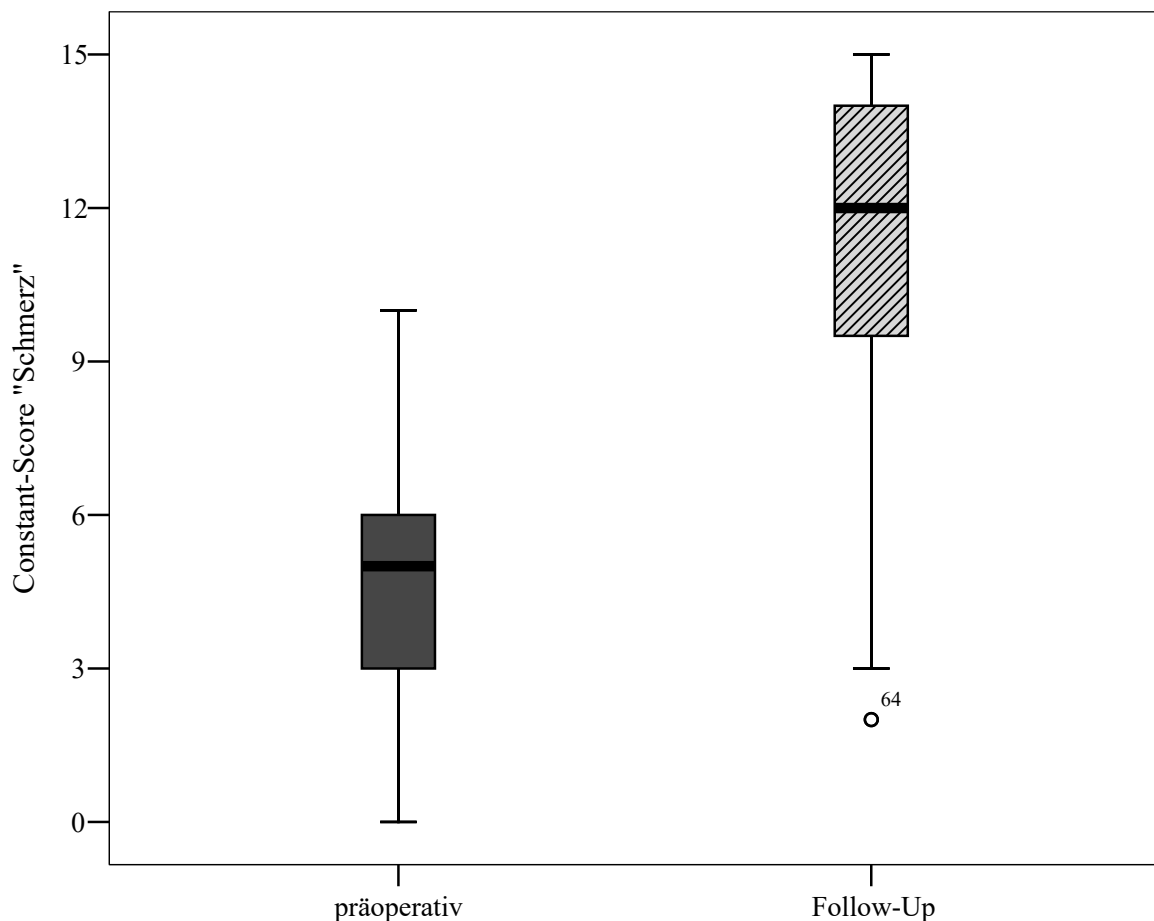


Bild 16: Constant-Score für den Subparameter „Schmerz“.

Neben der vom Patienten subjektiv empfundenen Schmerzwahrnehmung bilden die objektiv überprüfbare Beweglichkeit und Funktion des Schultergelenks wichtige Kategorien des Constant-Scores. Wie bereits beschrieben konnte für die Bewegungsebenen Elevation und Abduktion, sowie den Subparameter des Constant-Scores „*Beweglichkeit*“ eine statistisch signifikante Verbesserung in den Mittelwerten beobachtet werden (s. Tab. 22, 23). Dazu zeigte die Berechnung der Effektstärken eine deutliche Relevanz der beschriebenen Verbesserung zwischen den präoperativen Werten und denen des Follow-Up. Die folgenden Abbildungen 17 bis 19 stellen die Veränderungen im Constant-Score graphisch dar.

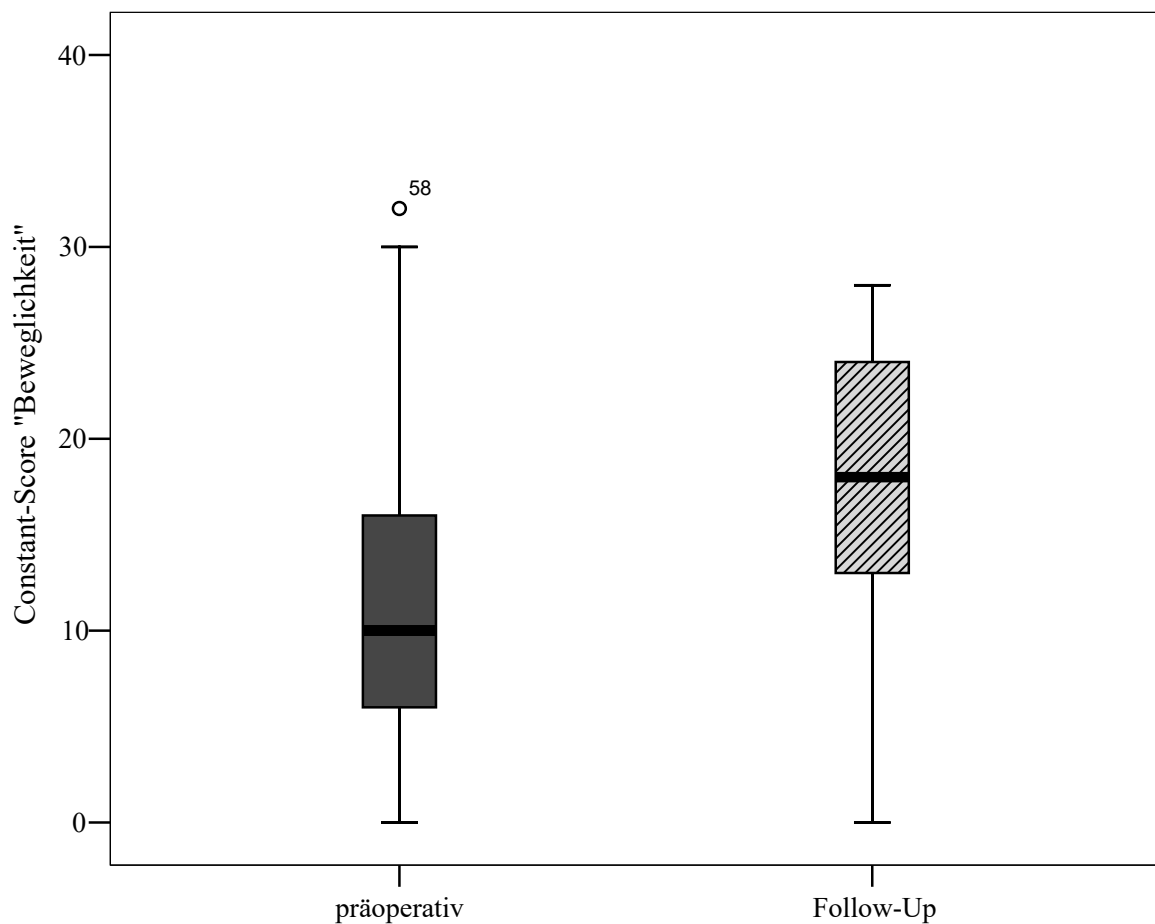


Bild 17: CM-Score für den Subparameter „*Beweglichkeit*“.

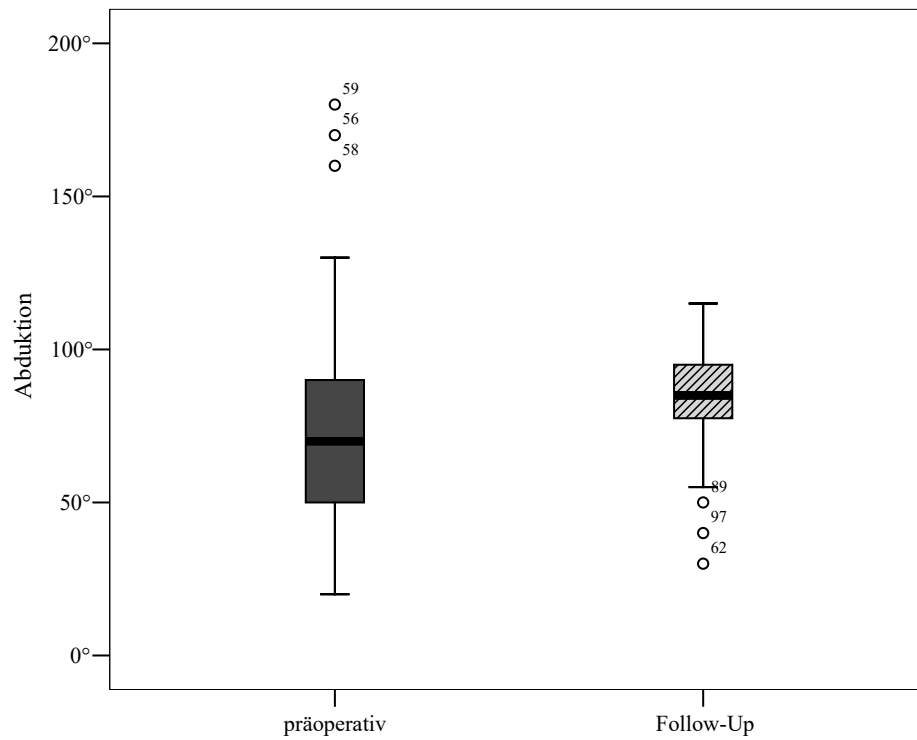


Bild 18: Bewegungsausmaß der Schulter (*Abduktion*) präoperativ und zum Zeitpunkt des Follow-Up im Vergleich.

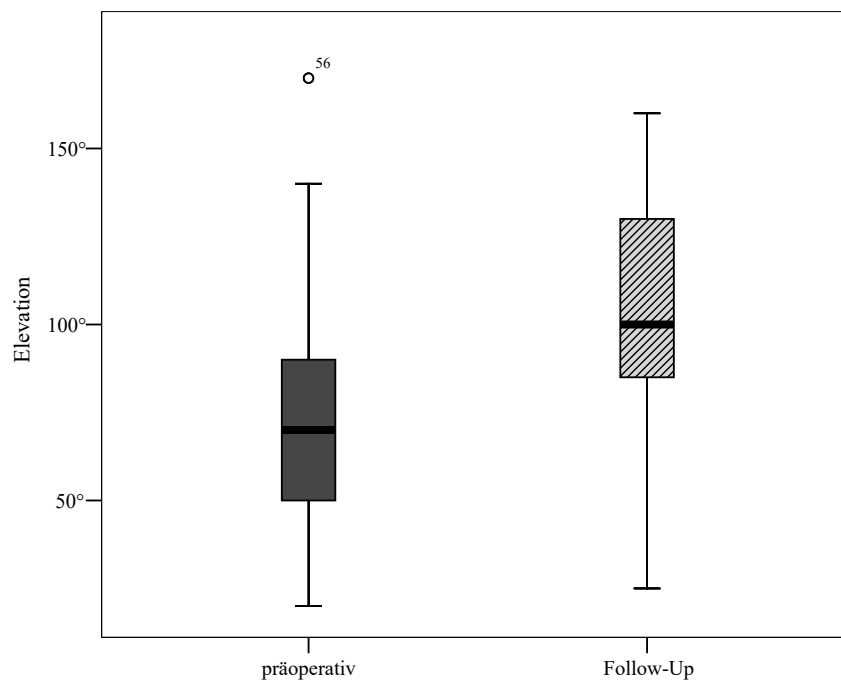


Bild 19: Bewegungsausmaß der Schulter (*Elevation*) präoperativ und zum Zeitpunkt des Follow-Up im Vergleich.

3.4 Altersadjustierter Constant-Score

Abschließend wurden die Constant-Scores des vorliegenden Patientenkollektivs an den Normwerten der deutschen Referenzbevölkerung relativiert (Thomas M et al. 2003), um die altersadjustierten Constant-Scores zu berechnen (s. Tab. 24 und Bild 20).

Tab. 24: Kennwerte des Altersadjustierten Constant-Score für das Patientenkollektiv.

	CM-Score (prä-OP)	CM-Score (Follow-Up)
	<i>N</i> = 59	<i>N</i> = 59
<i>M</i> ± <i>SD</i> (%)*	31.71 ± 14.91	50.85 ± 18.80
<i>Minimum</i> (%)*	2.56	8.74
<i>Maximum</i> (%)*	74.17	89.24

Anmerkung: * die Angabe des Altersadjustierten Constant-Scores erfolgt als Prozentwert im Vergleich zum gesunden Referenzkollektiv

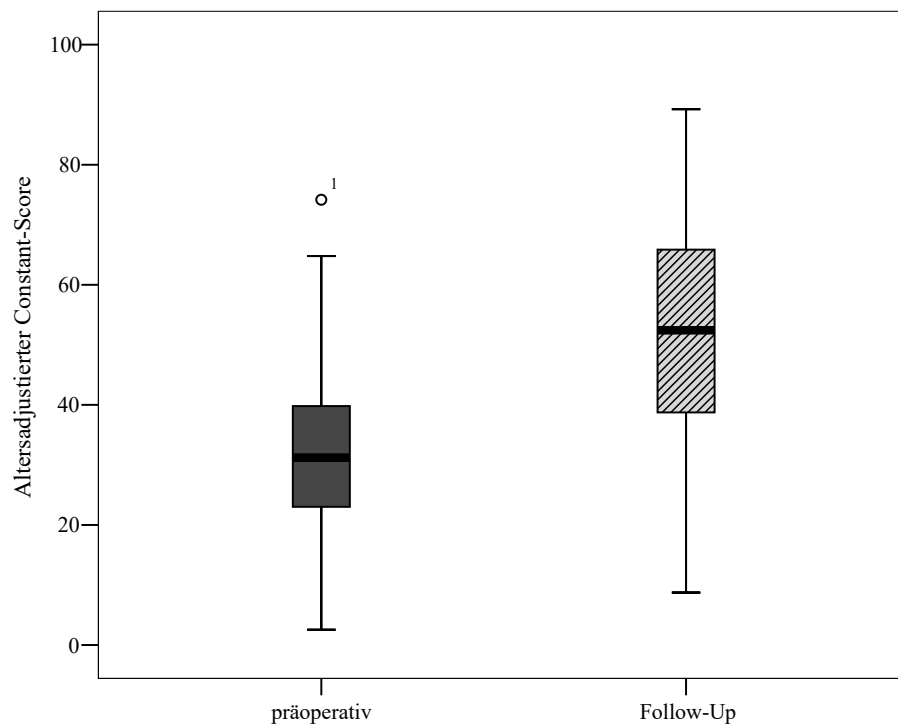


Bild 20: Altersadjustierter Constant-Score

3.5 ASES-Score

Zu Beginn der Präsentation verschiedener Ergebnisse der Nachuntersuchung im Detail folgen zunächst die Untersuchungsergebnisse des ASES-Scores im Überblick. Insgesamt 102 Patientenfragebögen konnten hierzu ausgewertet werden.

Tab. 25: Übersicht Follow-Up-ASES-Score (N = 102).

	ASES-Score (Gesamt)	ASES-Score „Aktivitäten des täglichen Lebens“	ASES-Score „Schmerz“
<i>M ± SD</i>	53.27 ± 20.34	18.56 ± 12.00	34.71 ± 11.64
<i>Minimum</i>	10	0	0
<i>Maximum</i>	97	47	50

3.6 Follow-Up: Altersstufen

Um einen möglichen Einfluss des Patientenalters auf die Schulterfunktion bei implantierter inverser Prothese zu untersuchen, wurde die Stichprobe zunächst in verschiedene Altersgruppen aufgeteilt. Tabelle 26 zeigt die Verteilung des Patientenkollektivs auf die einzelnen Kohorten. Bei Betrachtung der Mittelwerte fiel deskriptiv auf, dass die Gruppe „> 81 Jahre“ in allen untersuchten Scores im Durchschnitt den höchsten Punktwert erzielen konnte.

Tab. 26: Verteilung der durchschnittlich erzielten Punktwerte für die jeweiligen Altersgruppen.

Altersstufen		CM-Score	CM-Score „Schmerz“	CM-Score „Beweglichkeit“	ASES-Score
52-70 Jahre					
	<i>M ± SD</i>	39.40 ± 12.88	11.20 ± 3.53	16.40 ± 6.10	50.51 ± 18.12
	<i>N</i>	15	15	15	23
71-80 Jahre					
	<i>M ± SD</i>	39.71 ± 16.62	10.65 ± 4.38	17.23 ± 7.26	54.00 ± 21.85
	<i>N</i>	31	31	31	55
> 81 Jahre					
	<i>M ± SD</i>	43.62 ± 13.29	11.77 ± 2.65	19.38 ± 7.68	54.24 ± 19.26
	<i>N</i>	13	13	13	24

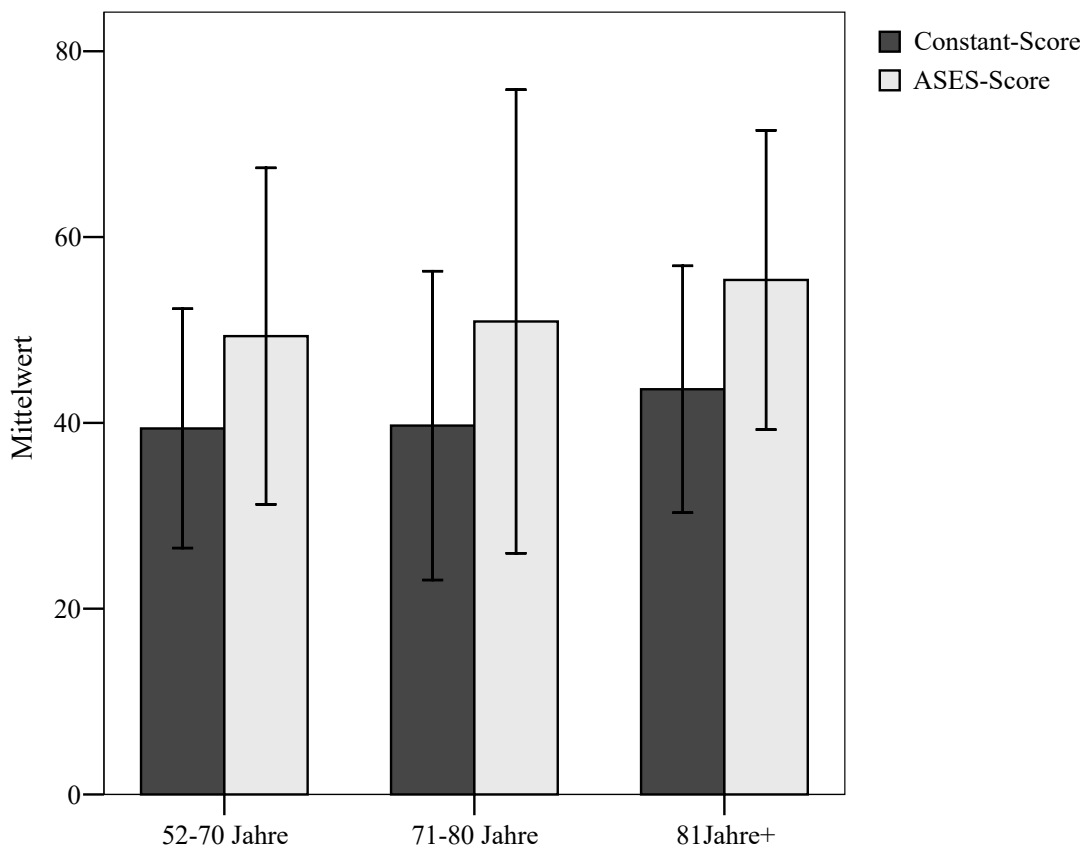


Bild 21: Gesamt-Punktzahlen für den ASES-/ CM-Score zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (Follow-Up) im Vergleich der Altersgruppen.

Im Kruskal-Wallis-Test konnte allerdings kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen festgestellt werden (alle $p > 0.05$). Auch die Untersuchung der Effektstärke²¹ ergab für den Gesamt-Constant-Score, den Subparameter „Schmerz“, sowie den ASES-Score keinen beobachtbaren Effekt (jeweils $\eta^2 < 0.02$). Lediglich für den Subparameter „Beweglichkeit“ konnte mit $\eta^2 = 0.02$ ein kleiner statistischer Effekt ausgemacht werden. Insgesamt deutete sich im vorliegenden Patientenkollektiv somit keine Auswirkung des Alters auf die Schulterfunktion bzw. Höhe der erhobenen Schulter-Scores an.

²¹ Beim Kruskal-Wallis-Test wird das Effektstärkemaß η^2 verwendet. Für η^2 gelten gemäß Cohen (1988) folgende Richtlinien: $\eta^2 \geq 0.01$: kleiner Effekt; $\eta^2 \geq 0.06$: mittlerer Effekt; $\eta^2 \geq 0.14$: großer Effekt.

3.7 Follow-Up: Hauptdiagnosen

Wie bereits in der Beschreibung des Patientenkollektivs näher dargestellt ließen sich die Hauptindikationen zur Implantation einer inversen Prothese in vier Gruppen einteilen²². Tabelle 27 zeigt die erzielten Schulter-Scores in Abhängigkeit von der zugrundeliegenden Diagnose. Die im Kruskal-Wallis-Test analysierten Unterschiede in den Mittelwerten erbrachten keine statistische Signifikanz (alle $p > 0.05$). Anschließend daran erfolgte wieder die Beurteilung des relevanten Effekts über die Effektstärke η^2 . Hier deuteten sich für den Gesamt-Constant-Score ($\eta^2 = 0.08$) und seinen Subparameter „Beweglichkeit“ ($\eta^2 = 0.09$) mittlere statistische Effekte an. Auch der Subparameter „Schmerz“ ($\eta^2 = 0.06$) und der ASES-Score ($\eta^2 = 0.06$) lieferten Hinweise auf mittlere relevante Effekte in der Stichprobe. Dementsprechend lässt sich aufgrund der ermittelten Werte für η^2 vermuten, dass Patienten mit Defektarthropathie von einer Implantation inverser Prothesen hinsichtlich ihrer Schulterfunktion stärker profitieren als Patienten, deren Hauptindikation zum prothetischen Ersatz eine Fraktur des Humerus oder ein Revisionseingriff darstellt. Aus den Werten in der vorliegenden Studienpopulation konnte allerdings für diesen deskriptiven Effekt keine statistische Signifikanz als Nachweis erreicht werden.

Tab. 27: Verteilung der durchschnittlich erzielten Punktwerte für die jeweilige Hauptdiagnose.

Hauptdiagnose		CM-Score	CM-Score „Schmerz“	CM-Score „Beweglichkeit“	ASES-Score
Defektarthropathie	$M \pm SD$	44.17 ± 14.54	11.91 ± 3.25	19.30 ± 7.02	56.44 ± 19.96
	N	23	23	23	44
Fraktur	$M \pm SD$	37.69 ± 12.58	10.63 ± 4.27	16.13 ± 6.04	54.67 ± 20.97
	N	16	16	16	25
Revisionsarthroplastik	$M \pm SD$	34.47 ± 16.50	9.60 ± 4.34	14.53 ± 7.27	44.67 ± 17.69
	N	15	15	15	25

²² Aufgrund der niedrigen Stichprobenzahl ($N = 8$) wurden bei dieser Betrachtung die unter „Sonstiges“ zusammengefassten Diagnosen nicht berücksichtigt.

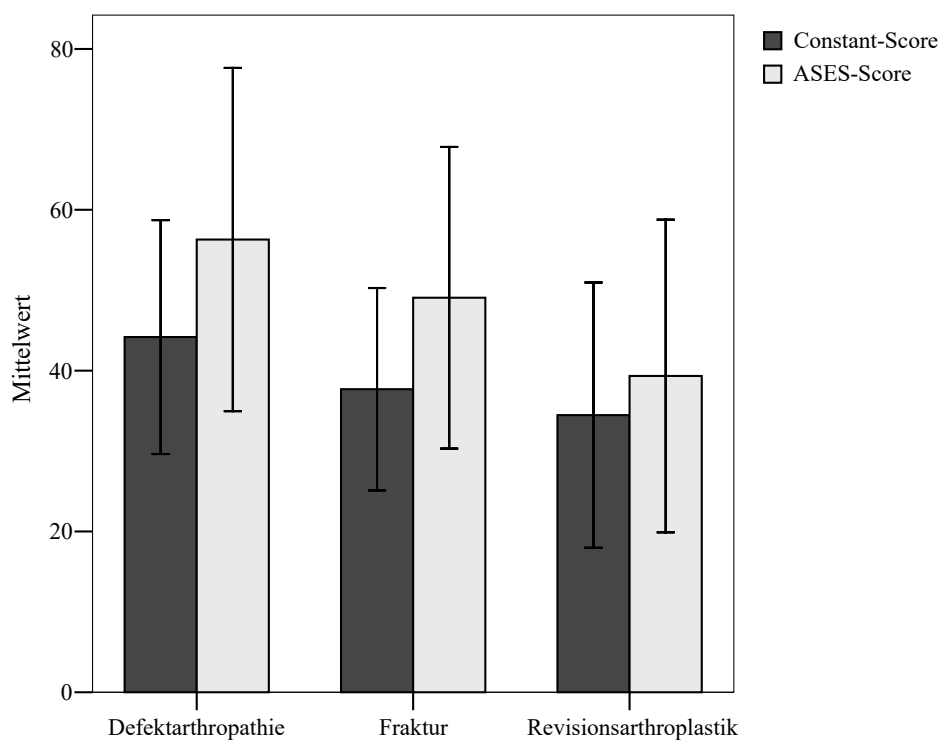


Bild 23: Gesamt-Punktzahlen für den ASES-/ Constant-Score in Abhängigkeit von der zugrundeliegenden Hauptdiagnose.

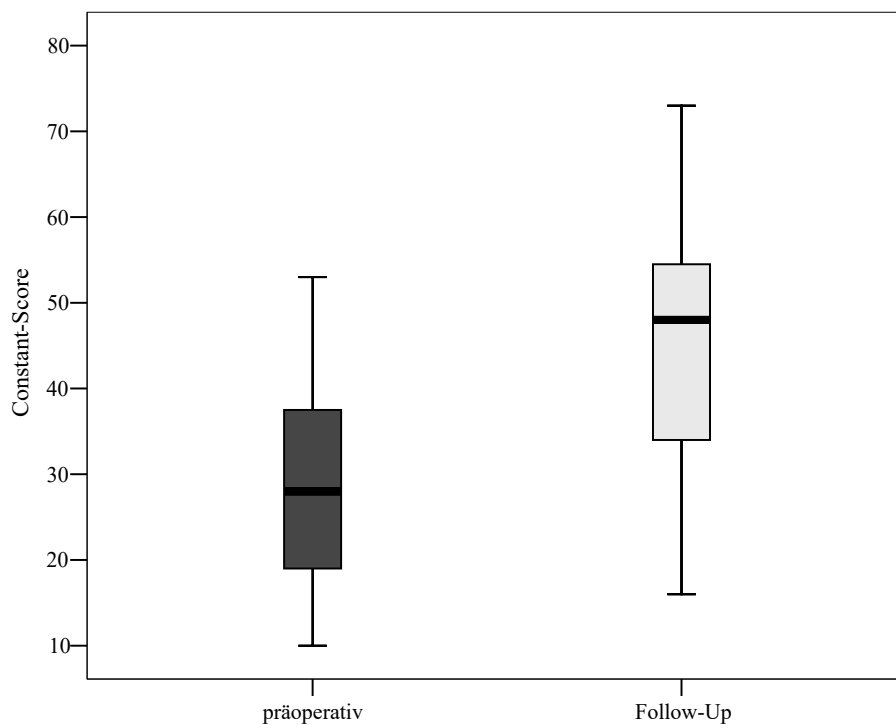


Bild 22: Ergebnisse im CM-Score bei Vorliegen einer Defektarthropathie als Hauptindikation zur Prothesenimplantation.

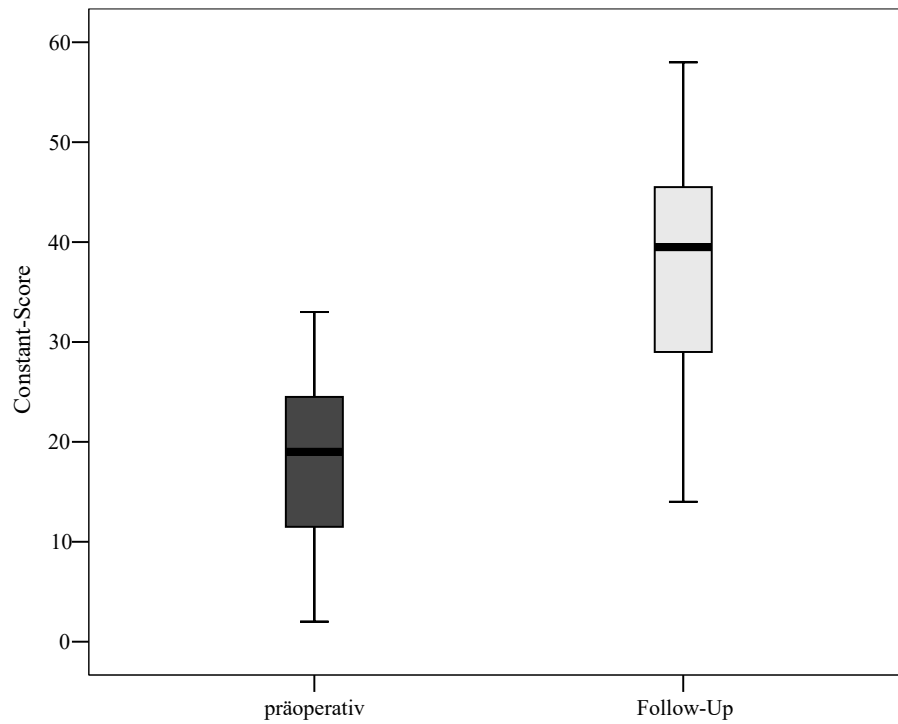


Bild 24: Ergebnisse im CM-Score bei Vorliegen einer Humerusfraktur als Hauptindikation zur Prothesenimplantation.

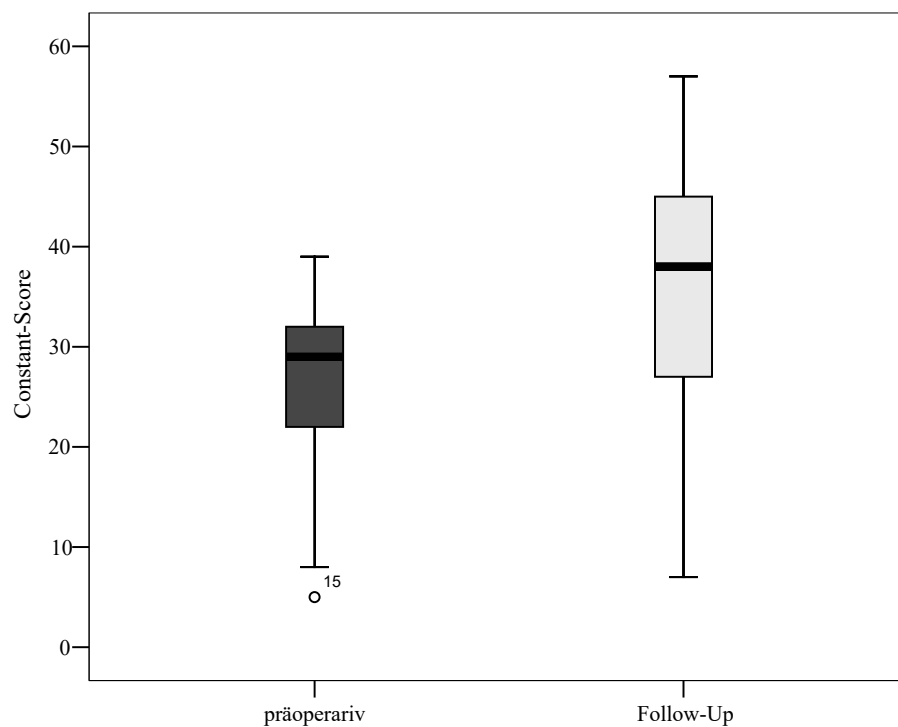


Bild 25: Ergebnisse im CM-Score bei Implantation einer inversen Schulterendoprothese als Revisionsimplantat.

3.8 Follow-Up: Nachuntersuchungsintervall

Zur übersichtlicheren Darstellung wurden die Patienten je nach Länge des Zeitraums zwischen operativer Implantation der inversen Prothese und dem Termin der Nachuntersuchung in verschiedene Gruppen eingeteilt. Tabelle 28 zeigt eine Übersicht über die quantitative Verteilung der Studienpopulation auf die einzelnen Follow-Up-Gruppen und die zugehörigen Ergebnisse in den Schulter-Scores. Ziel war auch hier die statistische Ermittlung relevanter Unterschiede zwischen den Subgruppen.

Tab. 28: Verteilung der durchschnittlich erzielten Punktwerte in Abhängigkeit vom Zeitintervall zwischen Implantation der Prothese und Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

Follow-Up-Intervall		CM-Score	CM-Score „Schmerz“	CM-Score „Beweglichkeit“	ASES-Score
4-12 Monate	$M \pm SD$	39.58 ± 12.87	12.50 ± 3.09	15.50 ± 5.79	55.28 ± 16.75
	N	12	12	12	24
13-24 Monate	$M \pm SD$	41.17 ± 11.65	10.94 ± 3.32	18.11 ± 5.76	52.47 ± 21.06
	N	18	18	18	29
25-48 Monate	$M \pm SD$	39.89 ± 13.29	10.06 ± 4.90	17.78 ± 7.76	52.31 ± 22.17
	N	18	18	18	31
49 Monate+	$M \pm SD$	41.36 ± 17.27	11.18 ± 3.19	18.18 ± 9.27	53.52 ± 21.69
	N	11	11	11	18

Im Kruskal-Wallis-Test bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen in Bezug auf die durchschnittlich erzielten Punktwerte in den Schulter-Scores. Patienten mit einem kurzen Follow-Up (4-12 Monate) erreichten im Mittel ähnlich hohe Punktzahlen wie Patienten mit längeren Nachuntersuchungsintervallen (13-24, 24-48 bzw. > 49 Monate).

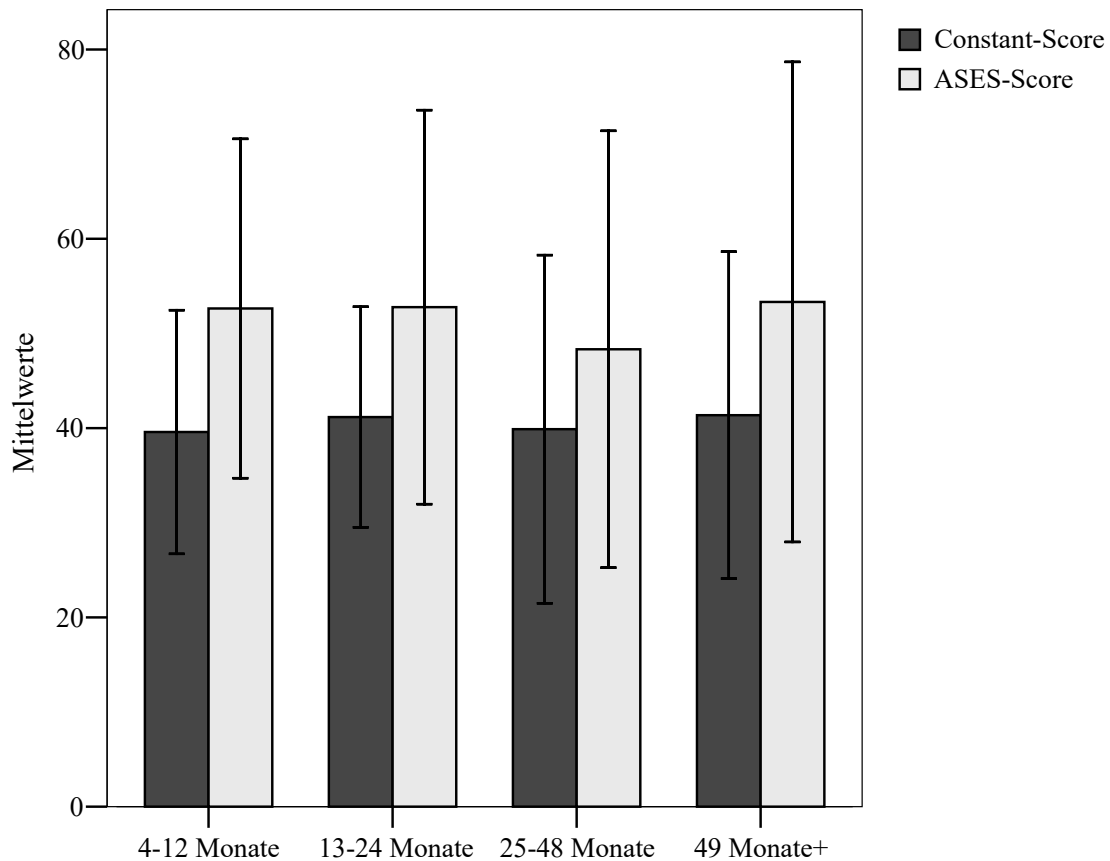


Bild 26: Ergebnisse im CM-/ ASES-Score in Abhängigkeit vom Follow-Up-Intervall.

Auch bei Betrachtung der Effektstärken konnten kaum Hinweise auf relevante Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden werden. Für den Gesamt-Constant-Score und den ASES-Score wurde überhaupt kein Effekt nachgewiesen (jeweils $\eta^2 < 0.005$). Der Subparameter „Schmerz“ deutete mit $\eta^2 = 0.05$ ebenso wie der Subparameter „Beweglichkeit“ mit $\eta^2 = 0.02$ auf einen kleinen vorhandenen Effekt hin.

3.9 Follow-Up: Prothesentypen

In der vorliegenden Stichprobe konnten diejenigen Patienten mit einer inversen Prothese des Modells T.E.S.S. invers™ (Biomet) die höchsten Punktwerte in den Schulter-Scores erzielen. Erst danach folgten Patienten, denen die Modelle Delta-CTA™ und Delta-Xtend™ (DePuy)²³ eingesetzt wurden. Statistisch signifikant war diese Beobachtung in der vorliegenden Stichprobe jedoch nicht.

Auch die einzelnen Effektstärken ergaben nur vereinzelt Hinweise auf eine relevante Bedeutung der vorhandenen Unterschiede und somit einen Einfluss eines Prothesenmodells auf die erzielte Punktzahl. Für den Gesamt Constant-Score ($\eta^2 = 0.03$) und den ASES-Score ($\eta^2 = 0.03$) wurde nur ein kleiner Effekt nachgewiesen. Ein mittlerer relevanter Effekt ergab sich für den Subparameter „Schmerz“ ($\eta^2 = 0.08$), so dass man hier bei einem größeren Stichprobenumfang womöglich auch signifikante Ergebnisse erwarten könnte. Kein relevanter Effekt war dagegen für den Subparameter „Beweglichkeit“ ($\eta^2 = 0.01$) zu verzeichnen.

Tab. 29: Verteilung der durchschnittlich erzielten Punktwerte in Abhängigkeit vom verwendeten Prothesenmodell innerhalb der Studienpopulation.

Prothesentyp		CM-Score	CM-Score „Schmerz“	CM-Score „Beweglichkeit“	ASES-Score
Delta-CTA™	<i>M ± SD</i>	40.10 ± 16.55	10.52 ± 3.94	17.74 ± 7.79	53.73 ± 21.35
	<i>N</i>	31	31	31	54
Delta-Xtend™	<i>M ± SD</i>	37.88 ± 11.98	10.81 ± 4.00	16.25 ± 5.65	48.21 ± 18.66
	<i>N</i>	16	16	16	27
T.E.S.S. invers™	<i>M ± SD</i>	45.89 ± 11.75	13.44 ± 1.24	18.22 ± 6.51	58.80 ± 18.05
	<i>N</i>	9	9	9	18

²³ Aufgrund der niedrigen Stichprobenzahl ($N = 3$) wurden bei dieser Berechnung die S.M.R.™-Prothesen (Lima Corporate) außen vor gelassen.

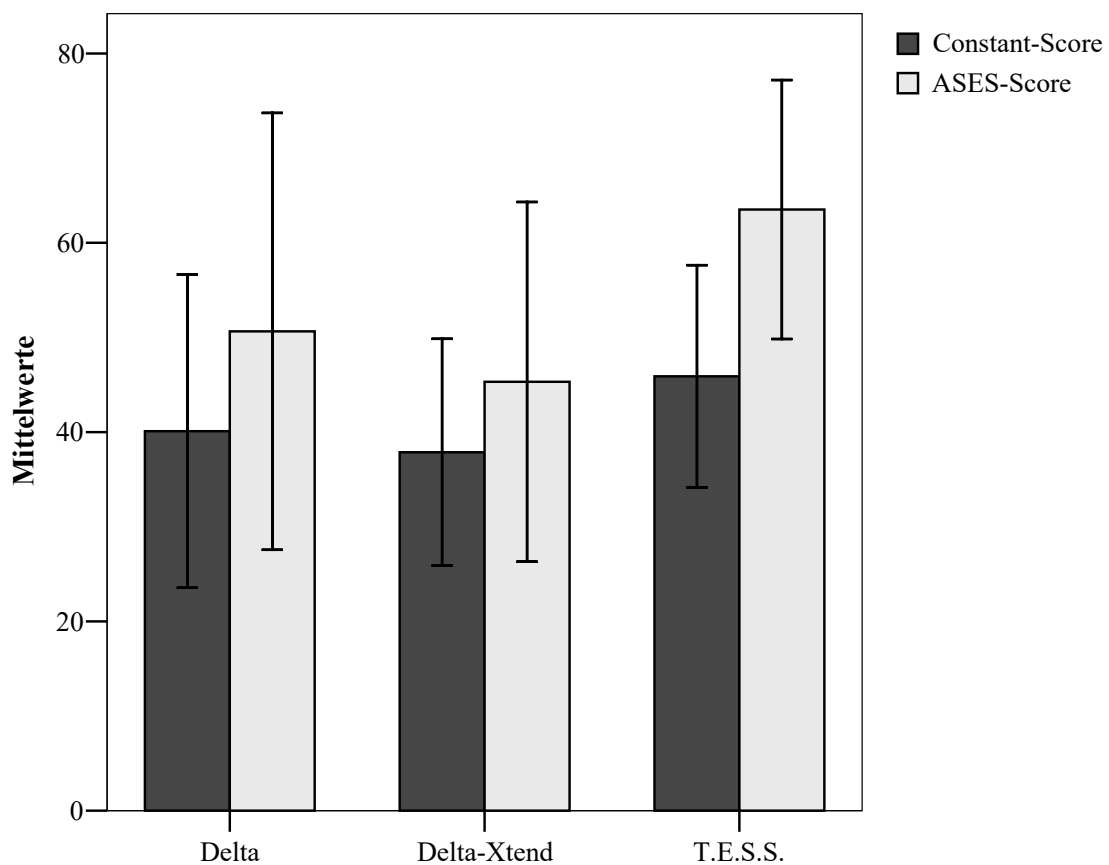


Bild 27: Gesamt-Punktzahlen für den ASES-/ CM-Score im Vergleich zwischen den einzelnen im Patientenkollektiv verwendeten Prothesenmodellen.

3.10 Follow-Up: Geschlechtsunterschiede

Weibliche und männliche Patienten zeigten im Mann-Whitney-U-Test keinen statistisch signifikanten Unterschied in den ermittelten Schulter-Scores. Auch die berechneten Effektstärken (d) boten keinen Anlass zu der Vermutung, dass bei einer größeren Stichprobenzahl eventuell doch ein vorhandener Effekt auszumachen wäre.

Tab. 30: Verteilung der durchschnittlich erzielten Punktwerte, aufgeteilt in weibliche und männliche Patienten des untersuchten Kollektivs.

Geschlecht		CM-Score	CM-Score „Schmerz“	CM-Score „Beweglichkeit“	ASES-Score
männlich					
	$M \pm SD$	43.80 ± 16.33	10.90 ± 3.96	18.20 ± 6.29	51.39 ± 20.22
	N	10	10	10	18
weiblich					
	$M \pm SD$	39.82 ± 14.69	11.06 ± 3.83	17.35 ± 7.24	53.67 ± 20.46
	N	49	49	49	84

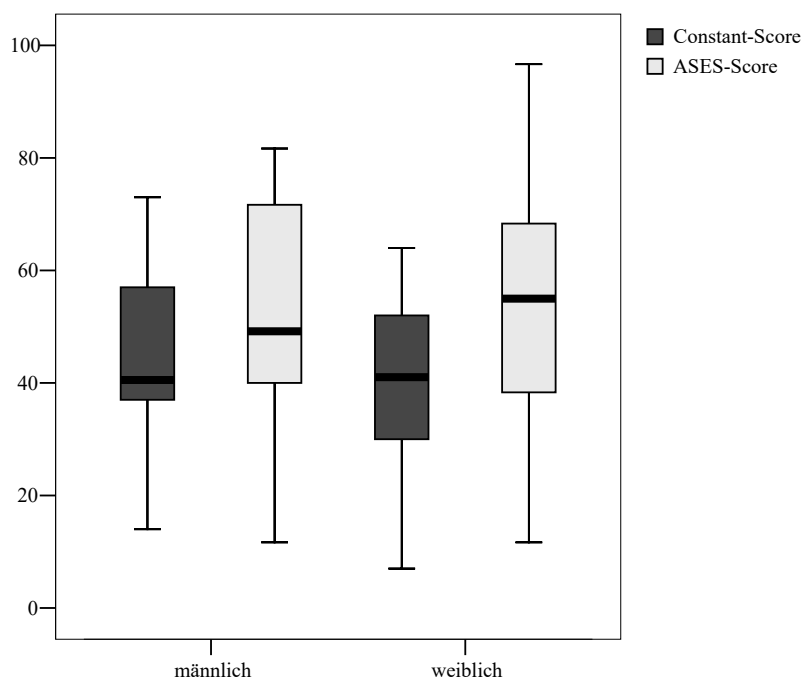


Bild 28: Gesamt-Punktzahlen für den ASES-/ CM-Score zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (Follow-Up) im Geschlechtervergleich.

3.11 Follow-Up: Dominanz/ Händigkeit

Im Vergleich zwischen der Patientengruppe, bei denen der Schulterersatz am dominanten Arm durchgeführt wurde und denen, die eine inverse Prothese am nicht-dominanten Arm erhielten, zeigte sich ein milder Unterschied zwischen den ermittelten Score-Punktzahlen. Kriterien für eine statistische Signifikanz erfüllten jedoch nur die Differenzen der Mittelwerte im ASES-Score ($p < 0.05$), für den ein t-Test für unabhängige Stichproben zur Anwendung kam. Die Patienten mit einer inversen Prothese am dominanten Arm erzielten hier einen höheren Gesamt-Punktwert.

Auch die Effektstärke ($d = 0.43$) deutete für diesen Score auf einen statistisch relevanten Effekt hin. Bei Betrachtung der Effektstärken der übrigen untersuchten Parameter konnte für den Vergleich der Gesamt-Constant-Scores ($d = 0.36$) und des Subparameters „Beweglichkeit“ beider Gruppen ebenfalls ein kleiner statistischer Effekt ($d = 0.38$) verzeichnet werden. Beim Subparameter Schmerz war dieser allerdings vernachlässigbar ($d = 0.19$).

Tab. 31: Übersichtstabelle zu den im Follow-Up erhobenen Score-Punktzahlen, aufgeteilt in die Patienten-Subgruppen „Prothese am dominanten bzw. nicht-dominanten Arm“.

Dominanz		CM-Score	CM-Score „Schmerz“	CM-Score „Beweglichkeit“	ASES-Score
dominant					
	$M \pm SD$	42.18 $\pm$ 15.12	11.28 $\pm$ 3.82	18.35 $\pm$ 7.01	56.31 $\pm$ 20.43
	N	40	40	40	66
nicht-dominant					
	$M \pm SD$	36.95 $\pm$ 14.21	10.52 $\pm$ 3.86	15.68 $\pm$ 6.94	47.69 $\pm$ 19.20
	N	19	19	19	36

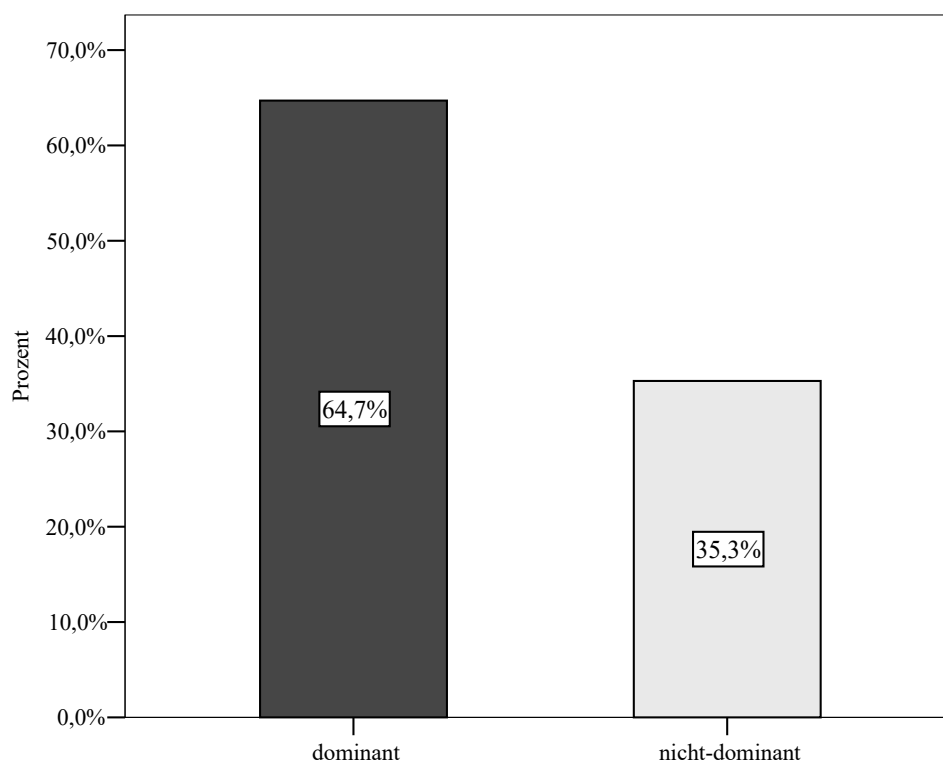


Bild 29: Prozentuale Verteilung der „Dominanz“ im Patientenkollektiv.

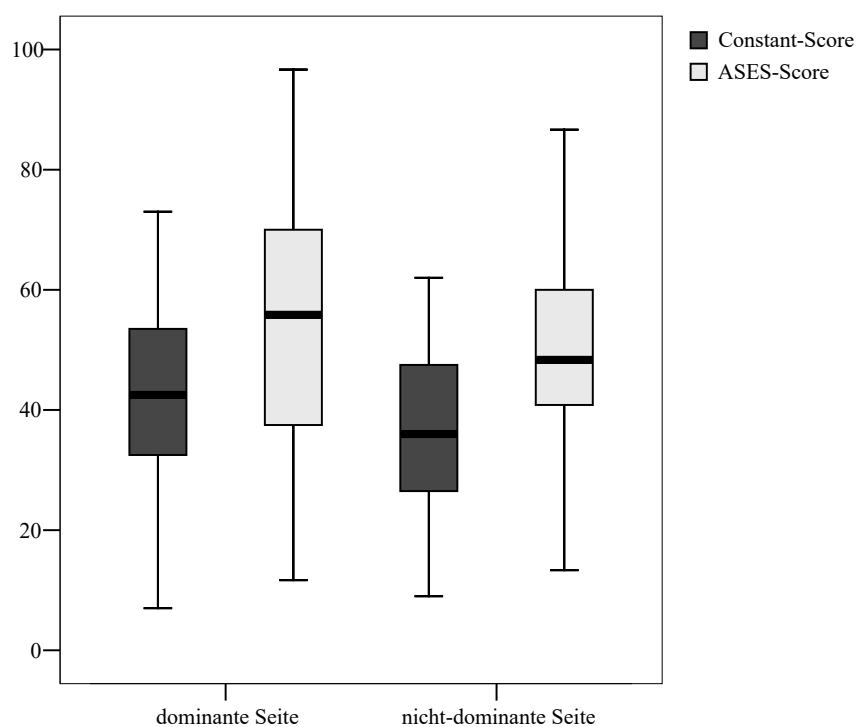


Bild 30: Gesamtpunktzahlen für den ASES-/ CM-Score zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (Follow-Up) im Vergleich zwischen den Gruppen „Prothese am dominanten oder nicht-dominanten Arm“.

3.12 Patientenzufriedenheit

Die individuelle Erfahrung der Patienten nach Implantation der inversen Prothese wurde besonders berücksichtigt. Insgesamt konnten 102 Patienten befragt und ihre Antworten hinsichtlich der gegenwärtigen Zufriedenheit mit der Prothese ausgewertet werden. Bild 31 zeigt die quantitativen Ergebnisse der Befragung, aufgeteilt in die Kategorien „nicht zufrieden“, „zufrieden“ und „sehr zufrieden“ mit dem Ergebnis der Prothesenimplantation bzw. der aktuellen Schulterfunktion.

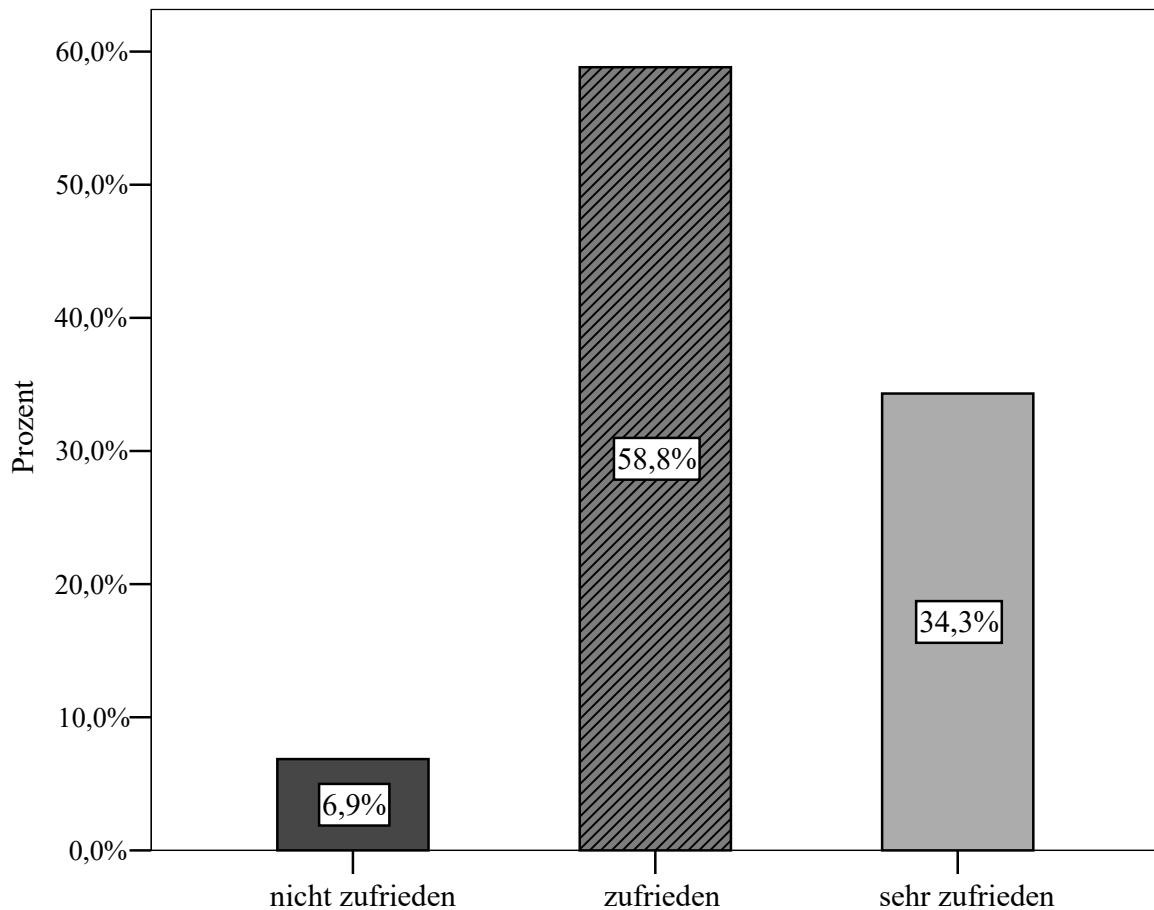


Bild 31: prozentuale Verteilung der individuellen Patienteneinschätzung bezüglich der gegenwärtigen Zufriedenheit mit dem OP-Ergebnis bzw. der Schulterfunktion.

Desweiteren erfolgte eine Betrachtung des statistischen Zusammenhangs zwischen der subjektiven Patientenzufriedenheit und einzelnen Kategorien der zum Nachuntersuchungszeitpunkt erhobenen Scores. Im Speziellen sind dies der ASES-Score und seine Subkategorien „Aktivitäten des täglichen Lebens“ und „Schmerz“, sowie der Gesamt-Constant-Score. Insbesondere dem Subparameter „Schmerz“ wurde hier eine besondere Bedeutung beigemessen. Tabelle 32 beschreibt die deskriptiven Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen bezüglich der ermittelten Punktwerte in den Schulter-Scores.

Tab. 32: Schulter-Score-Ergebnisse in Abhängigkeit von der subjektiven *Patientenzufriedenheit*.

Patientenzufriedenheit		ASES-Score „Schmerz“ [†]	ASES-Score „Aktivitäten des täglichen Lebens“ [†]	ASES-Score (Gesamt) [‡]	Constant-Score (Gesamt) [‡]
<i>nicht zufrieden</i>	<i>M ± SD</i>	27.86 ± 13.18	9.29 ± 8.65	37.14 ± 16.93	34.20 ± 12.48
	<i>N</i>	7	7	7	5
<i>zufrieden</i>	<i>M ± SD</i>	33.50 ± 10.90	16.83 ± 10.98	50.33 ± 18.76	37.52 ± 14.16
	<i>N</i>	60	60	60	33
<i>sehr zufrieden</i>	<i>M ± SD</i>	38.14 ± 11.89	23.38 ± 12.59	61.52 ± 20.70	46.67 ± 15.11
	<i>N</i>	35	35	35	21

Anmerkung: [†]maximal erreichbare Punktzahl: 50, [‡]maximal erreichbare Punktzahl: 100

Im Kruskal-Wallis-Test zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Sowohl für die ASES-Subparameter „Schmerz“ und „Aktivitäten des täglichen Lebens“, sowie die Gesamt-Punktzahlen für den ASES- und Constant-Score war $p < 0.05$. Das Effektstärkemaß η^2 entsprach für alle untersuchten Parameter den Anforderungen für mittleren statistische Effekte (Subparameter „Schmerz“: $\eta^2 = 0.06$; Subparameter „Aktivitäten des täglichen Lebens“: $\eta^2 = 0.11$, Gesamt-ASES-Score: $\eta^2 = 0.11$; Constant-Score: $\eta^2 = 0.10$).

Anschließend wurden post-hoc-Analysen unter multipler Verwendung des Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, um näher zu identifizieren zwischen welchen Gruppen (*nicht zufrieden*, *zufrieden*, *sehr zufrieden*) die Unterschiede konkret bestanden. Dazu musste zunächst das kritische α -Fehler-Niveau nach Bonferroni angepasst werden, um statistischen Konventionen bei multipler Testung entsprechend, ein korrigiertes kritisches Signifikanzniveau zu erhalten. Somit ergab sich ein adjustiertes α -Fehler-Niveau von $p < 0.017$.

Dieser Maßgabe folgend wurde für den ASES-Subparameter „Schmerz“ ($p = 0.009$), den Subparameter „Aktivitäten des täglichen Lebens“ ($p = 0.006$), den Gesamt-ASES-Score ($p = 0.003$) und den Gesamt-Constant-Score ($p = 0.011$) ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen *zufriedener* und *sehr zufriedener* Patienten ermittelt.

Bei näherer Betrachtung des Subparameters „Schmerz“ zeigte sich, dass der Unterschied zwischen den *nicht zufriedenen* und den *zufriedenen* Patienten mit $p = 0.010$ knapp signifikant wurde, der Vergleich *nicht zufriedener* und *sehr zufriedener* jedoch keine statistische Signifikanz erreichte ($p = 0.021$).

Tab. 33: Gruppenvergleiche der Punktzahlen im ASES-/ Constant-Score in Abhängigkeit von der subjektiven Zufriedenheit mit dem Ergebnis der Prothesenimplantation bzw. der Schulterfunktion.

Gruppenvergleiche	ASES-Score „Schmerz“	ASES-Score „Aktivitäten des täglichen Lebens“	ASES-Score (Gesamt)	Constant-Score (Gesamt)
	<i>p</i> -Werte [†]			
<i>nicht zufrieden</i> vs. <i>zufrieden</i>	0.010	0.031	0.047	0.357
<i>nicht zufrieden</i> vs. <i>sehr zufrieden</i>	0.021	0.005	0.004	0.034
<i>zufrieden</i> vs. <i>sehr zufrieden</i>	0.009	0.006	0.003	0.011

Anmerkung: adjustiertes kritisches α -Niveau: $p < 0.017$; [†] Mann-Whitney-U-Test

3.13 Radiologische Ergebnisse im Gesamtkollektiv

Das vorliegende Patientenkollektiv wurde hinsichtlich radiologisch erfassbarer Parameter im Verlauf beobachtet und je nach Verfügbarkeit der durchgeführten Aufnahmen ausgewertet. Hierzu konnten insgesamt 61 Patienten berücksichtigt werden, die im Mittel über einen Zeitraum von 17.11 ± 20.48 Monate (Minimum: 1 Monat, Maximum: 95 Monate) radiologisch nachverfolgt wurden. Die entsprechenden Diagnosen bzw. Indikationen zur Implantation einer inversen Schulterendoprothese verteilen sich auf die Defektarthropathie ($N = 29$), Humerusfrakturen ($N = 12$), die Verwendung als Revisionsarthroplastik ($N = 16$), sowie eine primäre Omarthrose ($N = 3$) und eine Humeruskopfnekrose ($N = 1$).

Das in der Literatur viel diskutierte infraglenoidale *scapular notching* als spezifische Komplikation inverser Schulterendoprothesensysteme steht im Folgenden im Mittelpunkt. Es zeigte sich, dass bei 45.9% ($N = 28$) der untersuchten Patienten im Verlauf ein Aushöhlen des unteren Glenoidrands festzustellen ist. Dieser Defekt betrifft das Areal im Bereich der unteren Verankerungsschraube und entspricht in der Klassifikation nach Sirveaux et al. einem Schwegrad 1 oder 2 (Grad 1: 34.4%, $N = 21$; Grad 2: 11.5%, $N = 7$). Die vorliegenden Ergebnisse beschränken sich auf dieses Defektausmaß, ein darüber hinaus bestehender Verlust an Knochensubstanz konnte nicht erkannt werden. Bei den übrigen 54.1% ($N = 33$) der Patienten des untersuchten Kollektivs konnte zu keinem Zeitpunkt der radiologisch erfassten Nachuntersuchung ein *scapular notching* festgestellt werden. Desweiteren wurden Hinweise für den Einfluss vorhandener glenoidaler Defekte – im Sinne eines *scapular notching* – auf das funktionelle Ergebnis der Schulterbeweglichkeit gesucht.

Mittels einer Spearman-Korrelation (nicht-parametrische Alternative zur Pearson-Korrelation) wurde nach einem statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den erzielten Punktzahlen in den Schulderscores und dem Auftreten des *scapular notching* gesucht. Die Überprüfung konnte allerdings weder für den Constant-Score ($\rho = 0.08$, $p = 0.64$) noch für den ASES-Score ($\rho = -0.03$, $p = 0.83$) statistische Signifikanz erbringen. Auch bei Betrachtung der Effektstärke²⁴ deutet sich kein statistisch begründbarer Zusammenhang an. Es besteht demnach im vorliegenden Kollektiv kein Hinweis für einen relevanten Zusammenhang der zuvor genannten Untersuchungsgrößen. Zusätzlich wurden die Patienten der Klassifikation nach Sirveaux et al.

²⁴ Der Spearman'sche Korrelationskoeffizient ρ ist bereits ein Effektstärkemaß, für das gemäß Cohen (1988) folgende Richtlinien gelten: $\rho = 0.10$: kleiner Effekt, $\rho = 0.30$: mittlerer Effekt, $\rho = 0.50$: großer Effekt.

entsprechend zugeordnet und im Anschluss daran Mittelwertsvergleiche der erzielten Punkte in den erhobenen Schulderscores durchgeführt. Hierbei kam der nicht-parametrische Kruskal-Wallis-Test bei Vorliegen von drei Subgruppen (kein *notching*, Grad 1, Grad 2) zur Anwendung. Zusätzlich erfolgte die Berechnung der Effektstärke η^2 . Insgesamt konnte kein Mittelwertsvergleich zwischen den einzelnen Gruppen statistisches Signifikanzniveau ($p < 0.05$) erreichen. So ergab eine Überprüfung des Gesamt-Constant-Scores ($p = 0.61$, $\eta^2 = 0.03$; $N = 36$) und seiner Subkategorien „Schmerz“ ($p = 0.92$, $\eta^2 = 0.01$) und „Beweglichkeit“ ($p = 0.48$, $\eta^2 = 0.04$), sowie der Gesamt-ASES-Score ($p = 0.64$, $\eta^2 = 0.01$; $N = 61$) und dessen Subkategorien „Schmerz“ ($p = 0.74$, $\eta^2 = 0.01$) und „Beweglichkeit“ ($p = 0.75$, $\eta^2 = 0.01$) keinen Hinweis auf einen relevanten Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen.

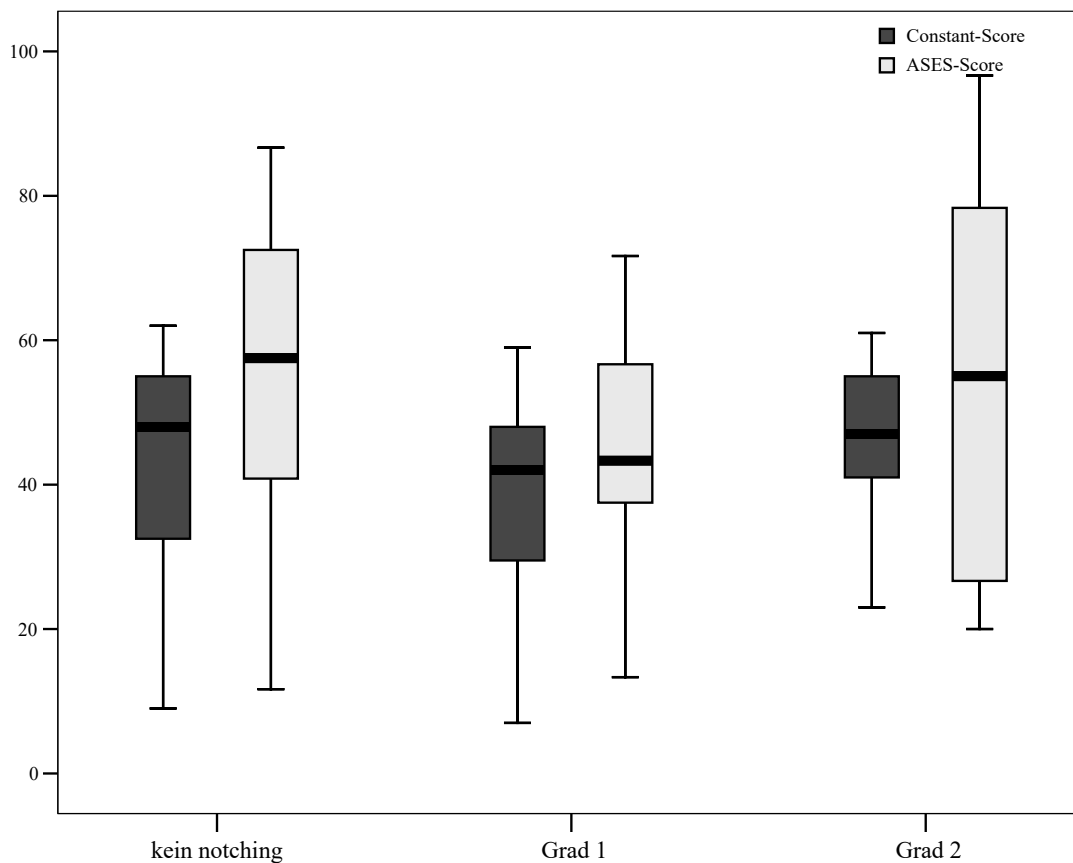


Bild 32: Mittelwertsvergleich der erzielten Punkte in den Schulterfunktionsscores in Abhängigkeit von der Inzidenz des *scapular notching* in der Klassifikation nach Sirveaux et al. (2004).

3.14 Radiologische Verläufe

3.14.1 Patientenbeispiel 1



Bild 33: präoperative Aufnahme, Defektarthropathie.



Bild 34: postoperative Aufnahme (unmittelbar nach Implantation).



Bild 36: Aufnahme im Verlauf (8 Monate postoperativ).

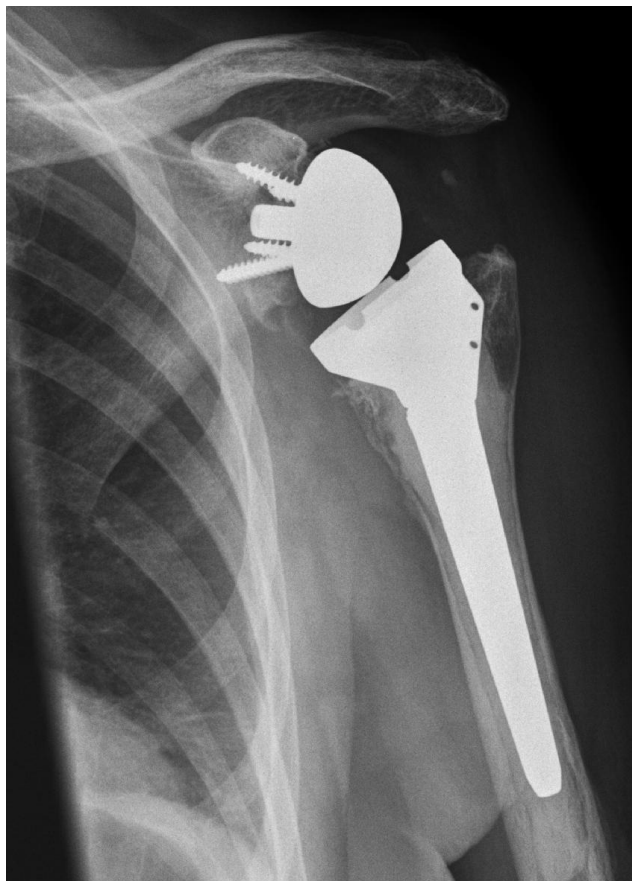


Bild 35: Aufnahme im Verlauf (35 Monate postoperativ).



Bild 37: Aufnahme im Verlauf (95 Monate postoperativ);
sichtbares *scapular notching* , Grad 2 in der Klassifikation von Sirveaux et al.

3.14.2 Patientenbeispiel 2



Bild 38: präoperative Aufnahme, vor Implantation einer Kappenprothese.

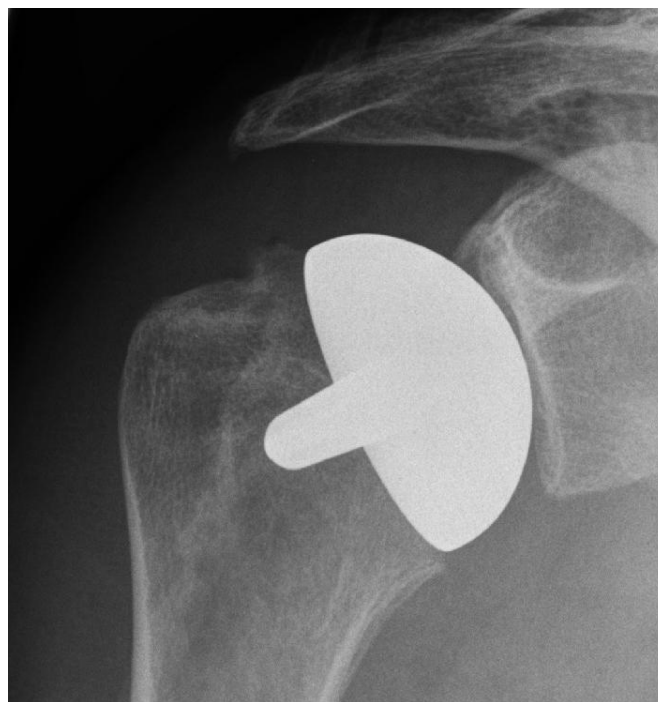


Bild 39: postoperative Aufnahme.



Bild 40: Aufnahme im Verlauf (6 Monate postoperativ);
Rotatorenmanschettenruptur mit kranialer Translation des Humeruskopfes.

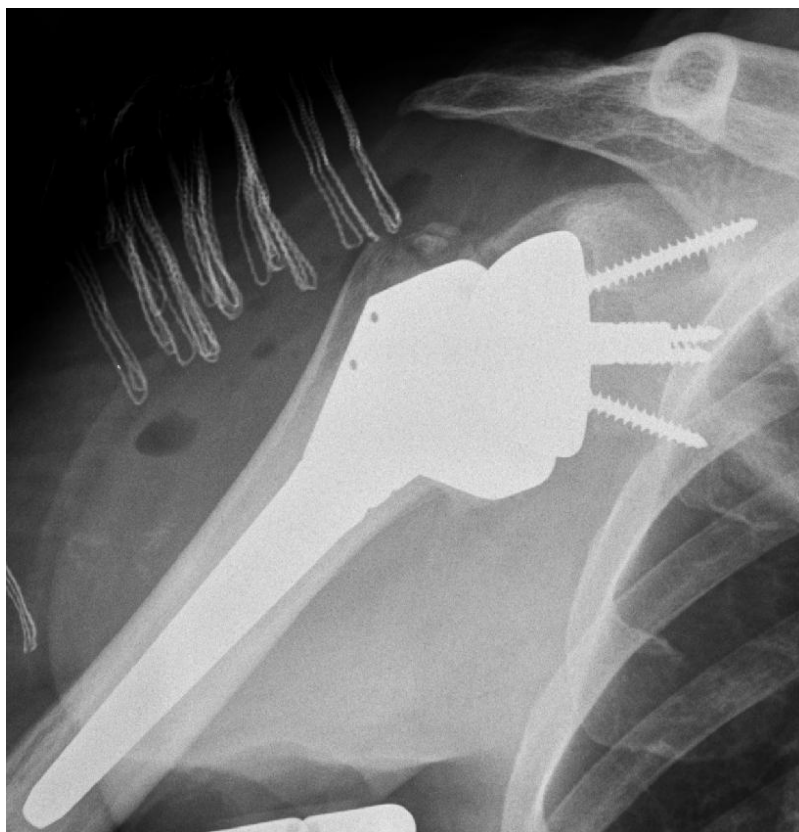


Bild 41: postoperative Aufnahme, Revision zu inverser Prothese.



Bild 42: Aufnahme im Verlauf (43 Monate postoperativ); regelrechter Prothesensitz, kein Hinweis auf *scapular notching*.

3.15 Radiologische Ergebnisse: Defektarthropathie

Im Folgenden wird das Patientenkollektiv mit der Hauptdiagnose Defektarthropathie näher betrachtet. Insbesondere die Auswertung radiologischer Parameter steht hier im Vordergrund. Die erstmals durch Charles Neer beschriebene Defektarthropathie wird in der Regel als primäre Indikation zur Implantation einer inversen Schulterendoprothese aufgeführt. Aufgrund der besonderen Ausrichtung inverser Schulterendoprothesen auf die Defektarthropathie als Form der sekundären Omarthrose wurde in der vorliegenden Untersuchung speziell diese Patientengruppe näher betrachtet.

Insgesamt zählen 44 Patienten aus der Stichprobe zu der Gruppe mit Defektarthropathie. Von diesen konnte allerdings nur 43 in der statistischen Auswertung berücksichtigt werden, da zu einem Probanden keine digitalen präoperativen a.-p.-Röntgenbilder vorlagen.

Besonderer Bedeutung wird an dieser Stelle der Darstellung funktioneller Ergebnisse in den erhobenen Schulderscores (ASES-/ Constant-Score) in Abhängigkeit von der jeweiligen präoperativen Einteilung in Schweregrade der Defektarthropathie beigemessen. Die bereits angesprochenen Klassifikationssysteme von Hamada et al., Sirveaux et al. und Seebauer et al. werden zu diesem Zweck verwendet. Zur inhaltlichen Grundlage der einzelnen Klassifikationssysteme und deren radiologische Kriterien sei hier auf die vorigen Kapitel verwiesen (s. Kapitel 1.4.1).

Darüber hinaus wurden Veränderungen der akromiohumeralen Distanz (AHD) und des lateralen glenohumeralen Offsets (LGHO) als radiologische Kenngrößen der Schulteranatomie untersucht und nach den Konventionen einer Intention-to-treat-Analyse statistisch ausgewertet.

3.15.1 Klassifikation nach Hamada et al.

Die Verteilung der Häufigkeiten innerhalb des Patientenkollektivs auf die fünf Schweregrade in dieser Klassifikation wird in Bild 43 graphisch dargestellt. In Tabelle 34 sind darüber hinaus die in den einzelnen Scores erzielten Mittelwerte in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zur Subgruppe (abhängig vom Schweregrad der Defektarthropathie) präsentiert. Mit 34.9% ($N = 15$) waren Patienten mit einem Schweregrad der Stufe 2 nach Hamada et al. am häufigsten vertreten, unmittelbar dahinter folgen die Patienten mit Grad 3 ($N = 14$, 32.6%) in dieser Stichprobe.

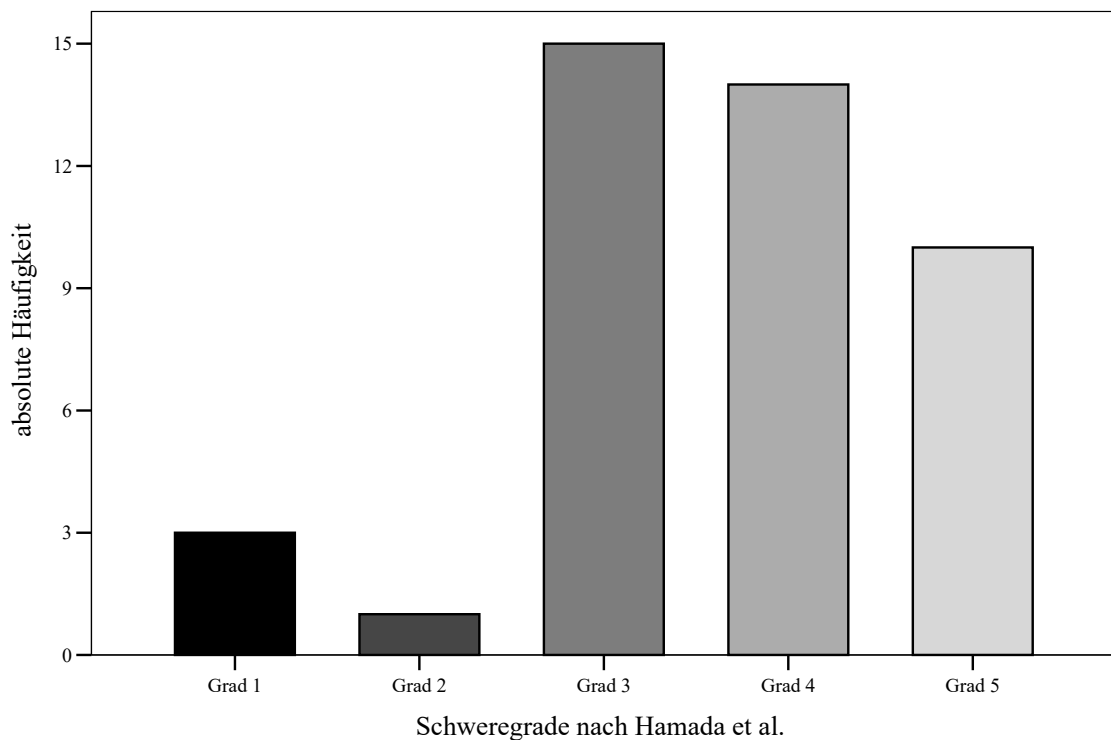


Bild 43: Verteilung des Patientenkollektivs auf die Schweregrade nach Hamada et al.

Tab. 34: Verteilung, Mittelwerte des Patientenkollektivs (Schweregrade nach Hamada et al.)

<i>N</i> = 43	Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4	Grad 5
absolute Häufigkeit (%)	3 (7.0)	1 (2.3)	15 (34.9)	14 (32.6)	10 (23.3)
Constant-Score <i>N</i> = 22					
absolute Häufigkeit	1	1	7	8	5
	<i>M</i> ± <i>SD</i>				
CM-Score (präoperativ)	37.00	44.00	25.86 ± 6.99	26.50 ± 14.52	23.60 ± 10.60
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (präoperativ)	5.00	8.00	5.00 ± 1.53	4.63 ± 1.92	4.86 ± 1.93
CM-Score (Follow-Up)	31.00	62.00	46.14 ± 12.16	44.00 ± 19.24	39.00 ± 10.56
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (Follow-Up)	12.00	15.00	12.00 ± 3.92	11.88 ± 3.72	11.20 ± 2.77
ASES <i>N</i> = 43					
absolute Häufigkeit	3	1	15	14	10
	<i>M</i> ± <i>SD</i>				
ASES (Gesamtpunktzahl)	35.56 ± 22.69	75.00	58.00 ± 19.56	56.79 ± 21.81	57.50 ± 17.71
ASES (Subkategorie „Aktivität“)	8.89 ± 9.18	25.00	21.67 ± 12.86	18.93 ± 14.27	23.50 ± 11.12
ASES (Subkategorie „Schmerz“)	26.67 ± 14.43	50.00	36.33 ± 10.43	37.86 ± 9.55	34.00 ± 11.26

Die funktionellen Ergebnisse in den präoperativ und zum Nachuntersuchungszeitpunkt erhobenen Schulterscores wurden daraufhin in Abhängigkeit von der präoperativen Röntgenmorphologie bzw. der Klassifikation von Hamada et al. untersucht. Mittelwertsvergleiche sollten an dieser Stelle Aufschluss über vorhandene statistisch relevante und möglichst signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Subgruppen (abhängig vom Klassifikationsgrad) geben. Zu diesem Zweck wurde ein Kruskal-Wallis-Test gerechnet. Die entsprechenden Werte für die einzelnen Scores sind der Tabelle 35 zu entnehmen. Keiner der untersuchten Mittelwertsvergleiche erzielte dabei statistische Signifikanz auf einem α -Fehler-Niveau von $p < 0.05$. Die im gleichen Zuge ermittelte Effektstärke η^2 zeigte für den präoperativen Constant-Score ($\eta^2 = 0.17$), dessen Subkategorie „Schmerz“ ($\eta^2 = 0.15$), sowie den Constant-Score zum Zeitpunkt des Follow-Up ($\eta^2 = 0.14$) einen großen Effekt, so dass man in diesen Fällen bei einer größeren Stichprobe auch signifikante Ergebnisse erwarten kann. Mittlere Effekte ließen sich auch für die Gesamtpunktzahl im ASES-Score ($\eta^2 = 0.10$), dessen Subkategorie „Aktivität“ ($\eta^2 = 0.08$) und die Subkategorie „Schmerz“ ($\eta^2 = 0.11$) nachweisen.

Tab. 35: statistische Kennwerte für den Kruskal-Wallis-Test. Mittelwertsvergleiche der Subgruppen in der Klassifikation nach Hamada et al.

	χ^2	df	p	η^2
<i>N</i> = 22				
CM-Score (präoperativ)	3.32	4	0.51	0.17
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (präoperativ)	2.65	4	0.62	0.15
CM-Score (Follow-Up)	4.07	4	0.40	0.14
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (Follow-Up)	2.29	4	0.68	0.05
<i>N</i> = 43				
ASES (Gesamtpunktzahl)	4.55	4	0.34	0.10
ASES (Subkategorie „Aktivität“)	3.64	4	0.46	0.08
ASES (Subkategorie „Schmerz“)	4.84	4	0.30	0.11
Anmerkungen: χ^2 = Chi-Quadrat-Kennwert, df = Freiheitsgrade, p = statistisches Signifikanzniveau (< 0.05), η^2 = Effektstärkemaß				

3.15.2 Klassifikation nach Seebauer et al.

In der Tabelle 36 ist die Verteilung der absoluten Häufigkeiten des Auftretens jedes Schweregrades innerhalb des Patientenkollektivs dargestellt. Zudem werden dort die jeweils in den Subgruppen erzielten Punktzahlen in den funktionellen Schulterscores festgehalten. Bild 44 verdeutlicht die Verteilung graphisch.

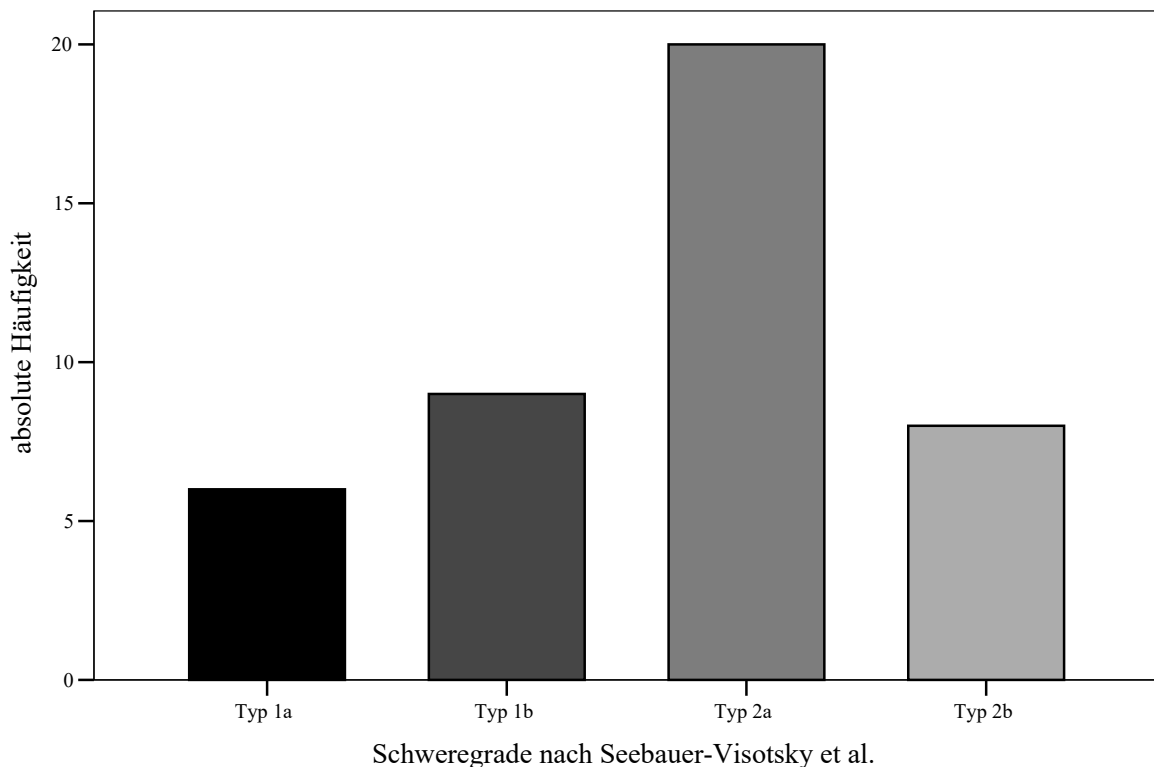


Bild 44: Verteilung des Patientenkollektivs auf die Schweregrade nach Seebauer et al.

Tab. 36: Verteilung, Mittelwerte des Patientenkollektivs (Schweregrade nach Seebauer et al.).

<i>N</i> = 43	Typ 1a	Typ 1b	Typ 2a	Typ 2b
absolute Häufigkeit (%)	6 (14.0)	9 (20.9)	20 (46.5)	8 (18.6)
Constant-Score <i>N</i> = 22				
absolute Häufigkeit	3	4	10	5
	<i>M</i> ± <i>SD</i>			
CM-Score-Gesamt (präoperativ)	35.33 ± 9.61	29.00 ± 7.79	24.60 ± 13.05	24.80 ± 10.85
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (präoperativ)	7.00 ± 1.73	4.75 ± 0.50	4.20 ± 1.32	5.00 ± 3.08
CM-Score-Gesamt (Follow-Up)	44.67 ± 15.82	42.25 ± 13.82	44.90 ± 17.67	42.20 ± 12.76
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (Follow-Up)	12.33 ± 2.52	11.75 ± 5.25	12.50 ± 3.47	10.60 ± 1.95
ASES <i>N</i> = 43				
absolute Häufigkeit	6	9	20	8
	<i>M</i> ± <i>SD</i>			
ASES (Gesamtpunktzahl)	41.39 ± 21.97	52.22 ± 14.98	63.67 ± 19.61	53.75 ± 20.58
ASES (Subkategorie „Aktivität“)	8.89 ± 8.67	19.44 ± 9.43	24.17 ± 13.75	20.63 ± 12.25
ASES (Subkategorie „Schmerz“)	32.50 ± 14.75	32.78 ± 10.34	39.50 ± 8.72	33.13 ± 11.63

Auch für die hier erhobenen Werte wurde ein Kruskal-Wallis-Test gerechnet, um signifikante Unterschiede in den funktionellen Ergebnissen in Abhängigkeit von der präoperativen Zuordnung zu einem Schweregrad der Defektarthropathie zu detektieren. Tabelle 37 ist zu entnehmen, dass keine der im Mittel erzielten Score-Punktzahlen im Vergleich zwischen den Subgruppen das geforderte Signifikanzniveau erreichte. Bei Betrachtung der Effektstärke η^2 ergaben sich jedoch auch hier relevante Effekte innerhalb des Kollektivs. So konnte für die präoperativ erhobene Subkategorie „Schmerz“ des Constant-Score ($\eta^2 = 0.23$), die ASES-Gesamtpunktzahl ($\eta^2 = 0.15$) und die Subkategorie „Aktivität“ des ASES ($\eta^2 = 0.16$) große statistische Effekte gefunden werden. Mittlere Effekte sind für den präoperativen Constant-Score ($\eta^2 = 0.11$) und die ASES-Subkategorie „Schmerz“ ($\eta^2 = 0.10$) zu verzeichnen.

Tab. 37: statistische Kennwerte für den Kruskal-Wallis-Test; Mittelwertsvergleiche der Subgruppen in der Klassifikation nach Seebauer et al.

	χ^2	df	p	η^2
$N = 22$				
CM-Score-Gesamt (präoperativ)	2.81	3	0.42	0.11
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (präoperativ)	5.31	3	0.15	0.23
CM-Score (Follow-Up)	0.29	3	0.96	0.01
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (Follow-Up)	3.15	3	0.37	0.05
$N = 43$				
ASES (Gesamtpunktzahl)	6.69	3	0.08	0.15
ASES (Subkategorie „Aktivität“)	6.75	3	0.08	0.16
ASES (Subkategorie „Schmerz“)	5.00	3	0.17	0.10
Anmerkungen: χ^2 = Chi-Quadrat-Kennwert, df = Freiheitsgrade, p = statistisches Signifikanzniveau (< 0.05), η^2 = Effektstärkemaß				

3.15.3 Klassifikation nach Sirveaux et al.

Tabelle 38 zeigt eine Übersicht zur Verteilung der Häufigkeiten innerhalb des Patientenkollektivs auf die vier Schweregrade dieser Klassifikation. Bild 45 stellt die Verteilung im Kollektiv graphisch dar. Der in diesem Klassifikationssystem vergebene Typ E0 lag bei keinem Patienten vor und wurde in den folgenden Darstellungen nicht weiter berücksichtigt.

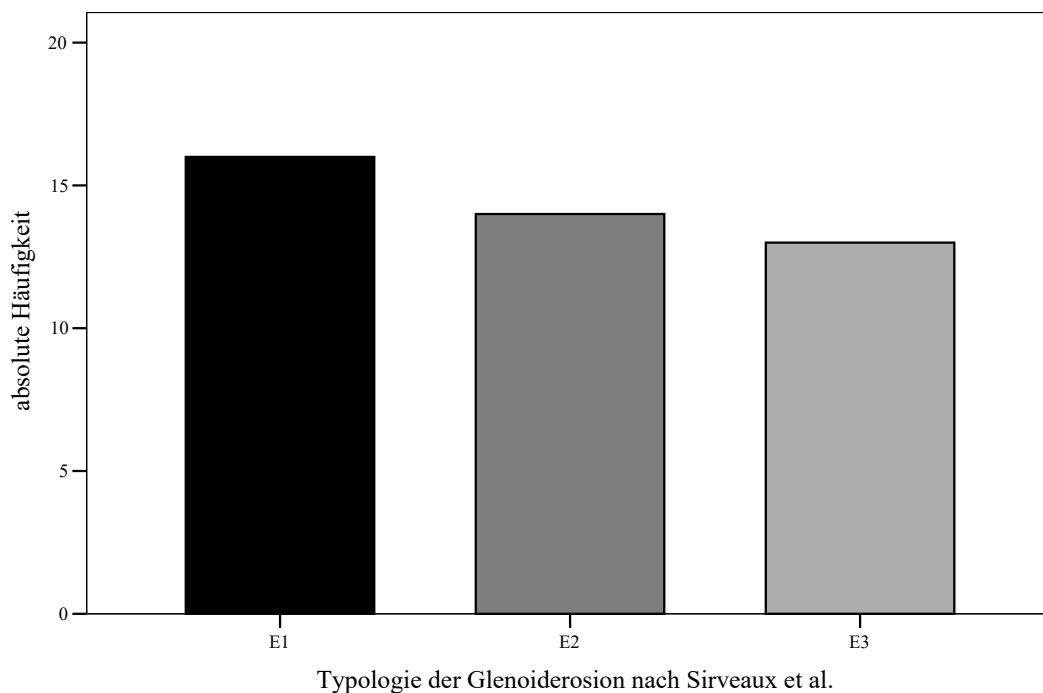


Bild 45: Einteilung des Patientenkollektivs anhand der Klassifikation von Sirveaux et al.
(Anmerkung: Typ E0 fehlt, da kein entsprechender Fall im Patientenkollektiv vorhanden.)

Wie Tabelle 39 zu entnehmen ist zeigte sich für die Klassifikation nach Sirveaux et al. in einer ersten globalen Betrachtung signifikante ($p < 0.05$) Unterschiede in zwei der erhobenen Schulter-Scores. Dies ist zum einen die Gesamtpunktzahl des ASES ($p = 0.02$) und zum anderen dessen Subkategorie „Aktivität“ ($p = 0.03$). Auch die Effektstärken η^2 waren für diese Parameter am größten (ASES-Gesamtpunktzahl: $\eta^2 = 0.16$; ASES-Subparameter „Aktivität“: $\eta^2 = 0.17$). Für die übrigen untersuchten Parameter ergab sich im Vergleich der Mittelwerte kein statistisch signifikanter Unterschied. Jedoch deuten auch hier einige der ermittelten Effektstärken auf relevante Effekte innerhalb des Patientenkollektivs hin.

Tab. 38: Verteilung, Mittelwerte des Patientenkollektivs (Schweregrade nach Sirveaux et al.).

<i>N</i> = 43	E0	E1	E2	E3
absolute Häufigkeit (%)	0 (0.0)	16 (37.2)	14 (32.6)	13 (30.2)
Constant-Score <i>N</i> = 22				
absolute Häufigkeit	0	6	7	9
	<i>M</i> ± <i>SD</i>			
CM-Score-Gesamt (präoperativ)	x	28.50 ± 6.06	27.29 ± 12.72	25.56 ± 13.64
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (präoperativ)	x	5.33 ± 1.37	4.86 ± 1.95	4.56 ± 2.35
CM-Score-Gesamt (Follow-Up)	x	37.50 ± 10.10	43.57 ± 18.27	48.11 ± 14.38
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (Follow-Up)	x	11.17 ± 4.07	11.86 ± 3.85	12.44 ± 2.60
ASES <i>N</i> = 43				
absolute Häufigkeit	0	16	14	13
	<i>M</i> ± <i>SD</i>			
ASES (Gesamtpunktzahl)	x	45.94 ± 19.51	62.14 ± 18.16	62.82 ± 19.04
ASES (Subkategorie „Aktivität“)	x	13.75 ± 12.93	24.29 ± 11.30	24.36 ± 12.74
ASES (Subkategorie „Schmerz“)	x	32.19 ± 10.95	37.86 ± 9.14	38.46 ± 11.43

Tab. 39: statistische Kennwerte für den Kruskal-Wallis-Test; Mittelwertsvergleiche der Subgruppen in der Klassifikation nach Sirveaux et al.

	χ^2	df	p	η^2
$N = 22$				
CM-Score (präoperativ)	0.72	2	0.70	0.01
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (präoperativ)	0.29	2	0.86	0.03
CM-Score (Follow-Up)	1.62	2	0.45	0.09
CM-Score Subkategorie „Schmerz“ (Follow-Up)	0.25	2	0.89	0.03
$N = 43$				
ASES (Gesamtpunktzahl)	7.84	2	0.02	0.16
ASES (Subkategorie „Aktivität“)	7.39	2	0.03	0.17
ASES (Subkategorie „Schmerz“)	4.31	2	0.12	0.08
Anmerkungen: χ^2 = Chi-Quadrat-Kennwert, df = Freiheitsgrade, p = statistisches Signifikanzniveau (< 0.05), η^2 = Effektstärkemaß				

Um posthoc aufzeigen zu können, zwischen welchen Klassifikationsgraden nach Sirveaux et al. im vorliegenden Kollektiv unterschiedliche funktionelle Ergebnisse (ASES-Gesamtpunktzahl, ASES-Subparameter „Aktivität“) erzielt wurden, kam der Mann-Whitney-U-Test zur Anwendung. Gängigen statistischen Konventionen bei multiplem Testen folgend, wurde das α -Fehler-Niveau nach Bonferroni adjustiert. Für die folgende Auswertung ergab dies ein korrigiertes Signifikanzniveau von $p < 0.017$.

In den anschließenden Mann-Whitney-U-Tests verfehlten Mittelwertsvergleiche zwischen den einzelnen Subgruppen knapp das angepasste α -Fehler-Niveau. Für die ASES-Gesamtpunktzahl und den Subparameter „Aktivität“ war $p = 0.017$ im Vergleich der Gruppen E1 mit E2. Bei Vergleich der erzielten Mittelwerte zwischen den Gruppen E1 und E3 ergaben

sich ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede (ASES-Gesamtpunktzahl: $p = 0.017$, ASES-Subparameter „Aktivität“: $p = 0.022$). Zwischen den Gruppen E2 und E3 war ebenfalls kein beachtenswerter Unterschied im Vergleich der Mittelwerte auszumachen (ASES-Gesamtpunktzahl: $p = 0.793$, ASES-Subparameter „Aktivität“: $p = 0.905$).

3.15.4 Akromiohumerale Distanz (AHD)

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messung und statistischen Auswertung radiologischer Parameter dargestellt. Tabelle 40 zeigt die deskriptiven Kennwerte des Patientenkollektivs hinsichtlich der auf dem a.-p.-Röntgenbild gemessenen akromiohumeralen Distanz.

Tab. 40: deskriptive Ergebnisse der AHD in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt.

	AHD (präoperativ)	AHD (postoperativ)	AHD (Follow-Up)
$N = 43$			
$M \pm SD^*$	1.22 ± 2.40	19.96 ± 5.90	19.74 ± 6.38
Minimum*	0.00	10.10	7.20
Maximum*	8.40	34.60	31.90
Anmerkungen: * Angabe erfolgt in mm			

Anschließend wurden die erhobenen Mittelwerte untereinander verglichen, um die deskriptiven Veränderungen in der AHD auch statistisch belegen zu können. Zu diesem Zweck wurde ein Friedman-Test²⁵ verwendet, da die präoperativen Werte der AHD (Kolmogorov-Smirnov $Z = 2.75$, $p < 0.01$) im Gegensatz zu den postoperativen Messergebnissen (Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.63$, $p = 0.82$) und Follow-Up-Werten (Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.50$, $p = 0.96$) die Kriterien einer statistischen Normalverteilung nicht erfüllten. Der Friedman-Test zeigte einen signifikanten Zuwachs der akromiohumeralen Distanz ($\chi^2(2) = 71.57$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.88$) nach Implantation der inversen Schulterendoprothese. Im post-hoc-Vergleich der einzelnen Untersuchungszeitpunkte zeigten sich signifikante Ergebnisse auf einem Bonferroni-

²⁵ nicht-parametrisches Pendant der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen (ANOVA, *within-subjects*).

korrigierten α -Fehler-Niveau von $p < 0.017$. Hier fanden multiple Wilcoxon-Tests Anwendung. Zwischen den präoperativen und postoperativen Messergebnissen für die AHD ($p < 0.017$) und im Vergleich präoperativer Messungen und Werten zum Zeitpunkt des Follow-Up ($p < 0.017$) wurden diese Differenzen deutlich. Die AHD-Messergebnisse für den Zeitpunkt des Follow-Up zeigten dagegen im Vergleich zum postoperativen Zustand keine signifikante Veränderung ($p = 0.98$).

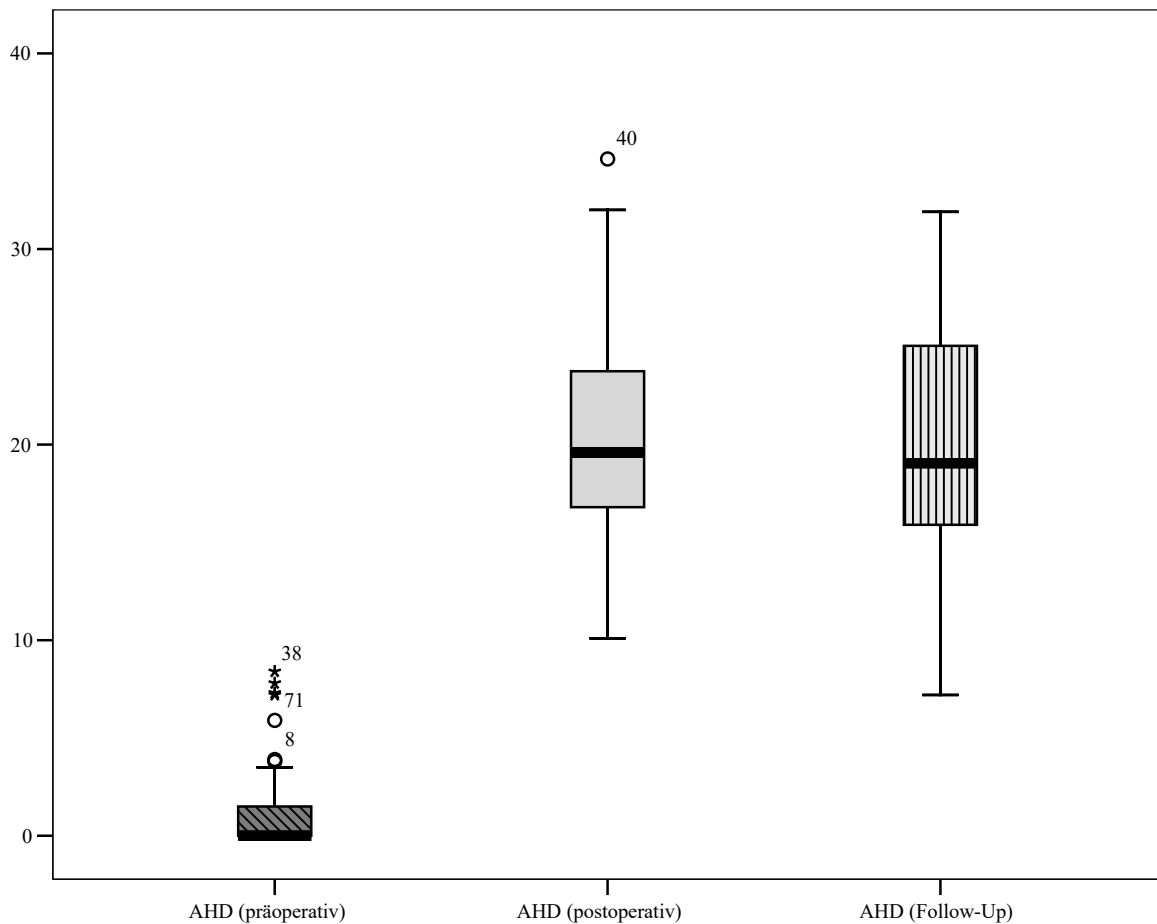


Bild 46: graphische Darstellung der Veränderungen in der AHD (Angabe auf der Y-Achse in mm).

3.15.5 Laterales glenohumerales Offset (LGHO)

Zusätzlich zur AHD wurden auch die Veränderungen im lateralen glenohumeralen Offset (LGHO) nach Implantation der inversen Schulterendoprothesen dokumentiert. Bereits bei Betrachtung der deskriptiven Werte (s. Tab. 41) für das Patientenkollektiv lassen sich relevante Differenzen der Mittelwerte vermuten.

Tab. 41: deskriptive Ergebnisse des LGHO in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt.

	LGHO (präoperativ)	LGHO (postoperativ)	LGHO (Follow-Up)
<i>N</i> = 43			
<i>M</i> ± <i>SD</i> *	63.62 ± 7.69	58.60 ± 8.80	57.44 ± 7.65
Minimum*	47.60	45.20	45.80
Maximum*	82.00	85.60	80.40
Anmerkungen:	* Angabe erfolgt in mm		

Vor der Datenanalyse sei auf die vorhandene statistische Normalverteilung der Werte zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten hingewiesen (präoperatives LGHO: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.67$, $p = 0.76$; postoperatives LGHO: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.97$, $p = 0.31$; Follow-Up-LGHO: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.73$, $p = 0.67$). Dies legitimierte die Anwendung einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen (ANOVA, *within-subjects*) zur Ermittlung von signifikanten Mittelwertsdifferenzen. Fehlende Kovarianzhomogenität der Daten wurde nach Greenhouse-Geisser korrigiert. In der daraufhin durchgeführten Varianzanalyse zeigte sich eine signifikante Reduktion des lateralen glenohumeralen Offsets ($F(1.20) = 14.37$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.26$). Post-hoc-Vergleiche auf einem Bonferroni-adjustierten α -Fehler-Niveau ergaben signifikante Unterschiede zwischen der präoperativen Messung und jeweils dem postoperativen Zustand ($p < 0.01$), bzw. der Messung zum Zeitpunkt des Follow-Up ($p < 0.001$). Von der postoperativen Messung bis zum Follow-Up zeigte sich im vorhandenen Patientenkollektiv keine statistisch signifikante Veränderung im lateralen glenohumeralen Offset.

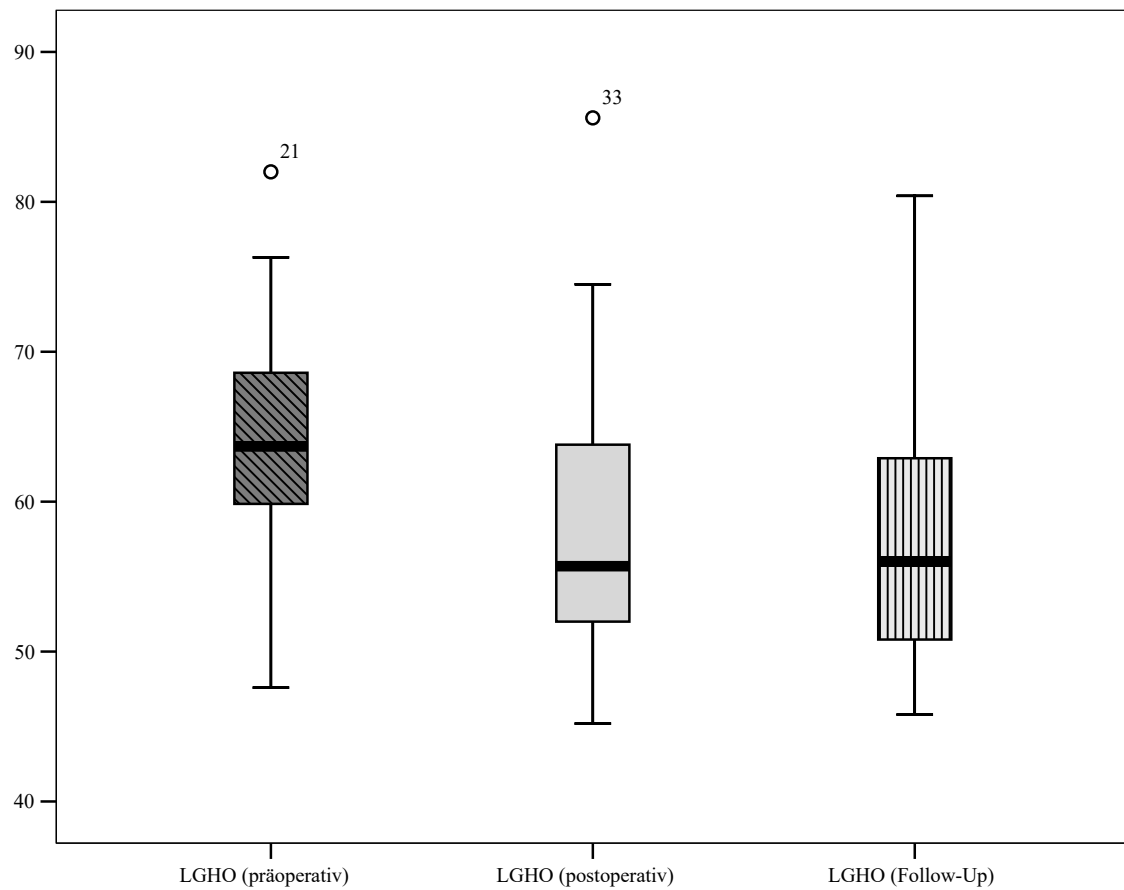


Bild 47: graphische Darstellung der Veränderungen im LGHO (Angabe auf der Y-Achse in mm).

4 Diskussion

Die vorliegende Studie präsentiert Ergebnisse in der funktionellen Schulterbeweglichkeit nach der Implantation einer inversen Schulterendoprothese. Zu diesem Zweck wurden Patienten der Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Sportmedizin des Johanna-Etienne-Krankenhauses (Neuss) aus den Jahren 2002 bis 2010 berücksichtigt, die nach standardisierten Verfahren nachuntersucht wurden. Besonderes Augenmerk wurde auf die individuelle Patientenzufriedenheit und die klinisch dokumentierbare Schulterfunktion gelegt. Im Folgenden sollen die ermittelten Ergebnisse diskutiert und im Verhältnis zu vergleichbaren Studien interpretiert werden.

4.1 Klinische Schulterfunktion (Constant-/ ASES-Score)

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ließ sich für die funktionelle Schulterbeweglichkeit ein erheblicher Zugewinn dokumentieren. Der Constant-Score verbesserte sich im Durchschnitt von präoperativ 25.19 ± 11.73 Punkte auf 40.49 ± 14.91 Punkte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Für eine Altersadjustierung des Constant-Scores entspricht letzter Punktwert 50.85 ± 18.80 % der Punktzahl einer gesunden Referenzpopulation. Die Mittelwertsdifferenz zwischen dem präoperativen Ausgangsbefund und dem Status zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung erzielte deutlich statistische Signifikanz ($p < 0.01$) und eine hohe Effektstärke ($d = 1.12$). Besonders hervorzuheben ist an dieser Stelle der Subparameter „Schmerz“, der innerhalb des Constant-Scores eine wichtige Größe darstellt und von präoperativ 4.80 ± 2.35 Punkte auf 11.03 ± 3.82 Punkte anstieg ($p < 0.01$, $d = 1.88$). Die Gesamtpunktzahl für den ASES-Score zum Nachuntersuchungszeitpunkt wurde im gesamten Patientenkollektiv mit durchschnittlich 53.27 ± 20.34 Punkten erhoben. Angesichts der relativ hohen Stichprobengröße ($N = 102$) ein erfreuliches funktionelles Resultat, das auch im Vergleich mit anderen Studien bestehen kann. Beispielhaft ermittelten Naveed et al. (2011) bei 50 Patienten mit Defekarthropathie oder primärer Omarthrose und einem Untersuchungsintervall von durchschnittlich 39 Monaten einen ASES-Score von 65 Punkten. Levy et al (2007b) verwendeten inverse Prothesen vorwiegend als Revisionsimplantat nach Humerusfraktur und präsentierten die funktionellen Resultate bei 29 Patienten. Hier rangierte der ASES-Score nach 35 Monaten bei

52.1 Punkten. In einem vergleichbaren Zeitraum (38 Monate) verwiesen Young et al. (2009) sogar auf einen mittleren ASES-Score von 70.1 Punkten bei 49 Patienten mit variierenden Diagnosen. Auch der ASES-Score zielt in beachtlichem Maße auf den Subparameter „Schmerz“ ab. In der vorliegenden Studie erreichten die 102 Patienten im Mittel einen Punktwert von 34.71 ± 11.64 Punkten für diesen einzelnen Parameter. Zum Vergleich berichteten Frankle et al. (2006) über 60 Patienten mit Omarthrose und Rotatorenmanschettenrupturen, die nach 33-monatigem Nachuntersuchungsintervall einen ASES-Score von 38.7 Punkten für den Subparameter „Schmerz“ erzielen konnten.

Der bereits in der Literatur beschriebene positive Nutzen inverser Schulterendoprothesen hinsichtlich des funktionellen Resultats, einschließlich einer deutlichen Schmerzreduktion, ließ sich somit in dem Patientenkollektiv dieser Studie bestätigen (s. auch Tabelle 42). Auf die erste Vorstellung des inversen Prothesendesigns von Paul Grammont, sowie die zugehörigen frühen Publikationen klinischer Ergebnisse folgend, wiesen Sirveaux et al. (2004) den Zugesinn an funktioneller Schulterbeweglichkeit in einer der ersten größeren klinischen Untersuchungen an 77 Patienten nach. Der Constant-Score verbesserte sich dort von präoperativ 22.6 Punkte auf 65.5 Punkte nach einem Nachuntersuchungsintervall von durchschnittlich 44.5 Monaten. Weiterhin konstatierten sie bei 96% der Patienten minimale bis nicht vorhandene Schmerzen. Die Länge des Nachuntersuchungsintervalls schien dabei ebenso keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Gesamtpunktzahl im Constant-Score zu haben wie das Alter der Patienten. Eine Beobachtung, die in der vorliegenden Studie bestätigt werden konnte. So zeigte sich, dass die Patienten aus der Gruppe *> 81 Jahre* durchschnittlich sogar höhere Punktwerte im Constant-Score (43.62 ± 13.29) und ASES-Score (54.24 ± 19.26) erzielen konnte als die jüngeren Patientengruppen (*52-70 Jahre*, *71-80 Jahre*). Dieser Vergleich erreichte jedoch weder statistisches Signifikanzniveau, noch relevante Effektstärken ($\mu^2 < 0.02$), so dass sich keine argumentative Grundlage für einen gerichteten Einfluss des Alters auf die erreichbare Schulterfunktion ergibt. Ähnlich verhielt es sich mit der Länge des Nachuntersuchungsintervalls, das im vorliegenden Patientenkollektiv keinen statistisch nachweisbaren Einfluss auf die Gesamtpunktzahl im Constant-/ oder ASES-Score hatte ($p > 0.05$, $\mu^2 < 0.005$). Dieses Ergebnis darf jedoch nicht ohne Berücksichtigung möglicher Langzeiteffekte interpretiert werden. So beobachteten Favard et al. (2011) in einer Langzeitanalyse mit 527 Patienten und einem mittleren Nachuntersuchungsintervall von 7.5 Jahren einen spürbaren Abfall der Schulterfunktion (repräsentiert durch einen Constant-Score < 30 Punkte als

Tab. 42: Vergleich mit einer Auswahl publizierter funktioneller Ergebnisse nach Implantation inverser Schulterendoprothesen.

	Indikation	N	Follow-Up (Monate)	Alter	Constant-Score		ASES-Score	
					prä-OP	Follow-Up	prä-OP	Follow-Up
Rittmeister, Kerschbaumer 2001	RA, RCT	8	54.3	60.3	17	63	-	
Woodruff et al. 2002	RA, RCT	13	87	64	-	59	-	
Sirveaux et al. 2004	OA, RCT	80	44.5	72.8	22.6	65.5	-	
Vanhove, Beugnies 2004	CTA	32	29.5	72	-	60	-	
Werner et al. 2005	CTA, RCT, REV	58	38	68	29 %†	64 %†	-	
Seebauer et al. 2005	CTA	57	18.2	70.1	-	67 ± 13	-	
Boileau et al. 2006	CTA, FR, REV	45	40	72	17	58	-	
Frankle et al. 2006	OA, CTA, RCT	60	33	71	-		34.3	68.2
Wall et al. 2007	CTA, FR, OA, POST-OA, RCT, REV, TU	191	39.9	72.7	22.8	59.7	-	
Levy et al. 2007a	REV: RCT, OA	19	44	72	-		29.1	61.2
Bufquin et al. 2007	FR	43	22	78	-	44 (66 %†)	-	
Levy et al. 2007b	REV: FR	29	35	69	-		22.3	52.1
Young et al. 2009	CTA, FR, OA, RCT	49	38	78.9	-		-	70.1
Boileau et al. 2009	RCT, failed RCS	42	50	71	25.4	55.8	-	
Grassi et al. 2009	FR, RCT, REV	26	42	75	22 (18-25*)	56 (52-60*)	-	
John et al. 2010	RA, RCT	17	24.3	67.3	-	59.5 ± 14.2	-	61.3 ± 19.8
Stechel et al. 2010	CTA, FR, REV	59	48	70	18	59	-	
Mulieri et al. 2010	CTA, OA	58	52	71			33.3	75.4
Nolan et al. 2010	CTA	71	24	74	27.5	61.8	26	76.1
Naveed et al. 2011	CTA, OA	50	39	81	-	-	19 (14-23*)	65 (48-82*)
Walker et al. 2012	REV	22	40	68			38.5	67.5
vorliegende Studie 2012	CTA, FR, OA, REV	102	29.55 ± 20.78	72.18 ± 7.42	-	-	-	53.27 ± 20.34
	CTA, FR, OA, REV	59			25.19 ± 11.73	40.49 ± 14.91	-	-
		23			27.83 ± 11.87	44.17 ± 14.54	-	-
	CTA	44						56.44 ± 19.96

Anmerkungen: † altersadjustierter Constant-Score, *95 %-Konfidenzintervall
CTA = cuff tear arthropathy, FR = fracture, OA = osteoarthritis, POST-OA = posttraumatic osteoarthritis, RA = rheumatoid arthritis, RCT = rotator cuff tear, failed RCS = failed rotator cuff surgery, REV = revision arthroplasty, , TU = Tumor

Endpunkt) nach 8 Jahren. 72% der Patienten konnten nach 10 Jahren noch einen Constant-Score > 30 Punkte erzielen. Ein ähnliches Absinken der Schulterfunktion im Constant-Score fanden Guery et al. (2006) sogar bereits nach 6 Jahren vor. Weitere Langzeitergebnisse und Überlebensanalysen sollten sich an diesen Beobachtungen orientieren.

Der Vergleich von Männern und Frauen ergab keinen Hinweis auf einen Einfluss des Geschlechts auf das funktionelle Resultat. Allerdings konnte auch in dem vorliegenden Kollektiv das häufig beobachtete Überwiegen weiblicher Patienten – bei einem Verhältnis von 4-5:1 zugunsten des weiblichen Geschlechts – konstatiert werden (vgl. dazu exemplarisch Naveed et al. 2011, Stechel et al. 2010). Dieser Tatsache liegen wiederum vielfältige Ursachen, beginnend beim hohen Durchschnittsalter der Patienten, zugrunde, die jedoch an dieser Stelle nicht näher thematisiert werden sollen.

Eine Einflussgröße der objektivierbaren Schulterfunktion ließ sich im Gegensatz zu den bisher erwähnten Punkten in der Dominanz des operierten Arms bzw. Händigkeit der Patienten finden und auch statistisch belegen. So zeigte sich, dass ein inverser Schulterersatz am dominanten Arm zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mit einem höheren Gesamtpunktwert im Constant- und ASES-Score verbunden ist. Für den ASES-Score erreichte diese Mittelwertsdifferenz sogar statistisches Signifikanzniveau ($p < 0.05$, $d = 0.43$). Nun könnte dies einerseits auf die ohnehin durch jahrelange Gewöhnung und (fein-) motorische Entwicklung besser trainierte Funktion am dominanten Arm zurückzuführen sein. Andererseits liefert dieses Ergebnis möglicherweise einen Hinweis auf eine schnellere und effektivere Wirkung rehabilitativer Maßnahmen. Fraglich ist diesbezüglich, inwiefern veränderte Anforderungen im postoperativen Rehabilitations- und Trainingsprozess, in Abhängigkeit von der vorbestehenden Händigkeit der Patienten, einen positiven Nutzen hinsichtlich des Wiedererlangens möglichst umfassender Schulterfunktion erbringen könnten. Cazeneuve und Cristofari (2011) beschrieben in einer retrospektiven Studie einen deutlichen Abfall der Schulterfunktion im langfristigen Verlauf bei implantierter inverser Schulterendoprothese. Der Verlust an Funktionalität, vor allem bei einliegender Prothese am dominanten Arm, ging mit massiven Einschränkungen in der Patientenautonomie einher. Aus dieser Beobachtung resultierte ihre Empfehlung die inverse Prothesenimplantation nach Möglichkeit auf den nicht-dominanten Arm zu beschränken.

Bereits mit Beginn der klinischen Verwendung inverser Schulterendoprothesen wurde häufig auf die eingeschränkte Indikation des Implantats bzw. eine strenge Überprüfung der Indikati-

onsstellung hingewiesen. So schlussfolgerten Sirveaux et al. (2004), dass trotz der klinisch zufriedenstellenden Resultate in der Schulterfunktion, in erster Linie ältere Patienten mit Defektarthropathie nach erfolgloser konservativer Therapie für eine inverse Prothese in Frage kommen sollten. Die inverse Schulterendoprothetik wurde als „*salvage procedure*“ bzw. „*salvage-type solution*“ gewertet, die primär für komplexe klinische Schulterpathologien bei Fehlen therapeutischer Alternativen reserviert bleiben sollte (Werner et al. 2005; Bell und Bigliani 2007). Insbesondere die hohen Komplikationsraten früher Publikationen, sowie die ungewisse Auswirkung der biomechanischen Veränderungen auf das Langzeitergebnis führten zu dieser vorsichtig optimistischen Grundhaltung. Im Laufe der klinischen Anwendung hat sich das Indikationsspektrum jedoch im Gleichschritt mit der wissenschaftlichen Erfahrung ausgedehnt. Doch auch bei näherer Betrachtung der Ergebnisse des vorliegenden Patientenkollektivs deutet sich ein nach wie vor diagnoseabhängiger Trend an. Im Mittelwert erreicht die Patientenkohorte mit Defektarthropathie die höchsten Punktwerte, sowohl im Constant- als auch ASES-Score. Dieser Effekt ließ sich zwar nicht auf statistischem Signifikanzniveau belegen, zeigte jedoch bei Berechnung der Effektstärken einen positiven Trend ($\eta^2 = 0.08$ bzw. 0.06) zugunsten dieser Gruppe. Der vermutete Zusammenhang zwischen Diagnose und Funktionalität zeichnet sich demnach auf jeden Fall ab. Auch Stechel et al. (2010) fanden in ihrem Patientenkollektiv einen Unterschied zwischen einzelnen Diagnosegruppen. Patienten mit einer Defektarthropathie zeigten hier im prä- und postoperativen Vergleich den größten Zugewinn an funktioneller Schulterbeweglichkeit. Unterstützend dazu verwiesen bereits Boileau et al. (2006) in ihrer Studie auf die eingeschränkte Vorhersagbarkeit funktioneller Ergebnisse beim Einsatz inverser Prothesen als Revisionsimplantate und berichteten darüber hinaus über höhere Komplikationsraten, verglichen mit der Defektarthropathie als grundlegende Diagnose. Die Verwendung als Revisionsarthroplastik nach gescheiterter anatomischer Totalendoprothese wird generell kontrovers diskutiert. Erheblicher Verbesserung der Schulterfunktion und Schmerzlinderung stehen höhere Komplikationsraten entgegen (Walker et al. 2012). Arthroskopische Eingriffe an der Rotatorenmanschette vor Implantation inverser Prothesen scheinen dagegen keinen negativen Einfluss auf das funktionelle Resultat zu haben (Sadoghi et al. 2011b).

Wall et al. (2007) empfahlen dagegen explizit die Verwendung inverser Schulterprothesen nicht auf die Defektarthropathie als isolierte Diagnose zu beschränken. Auch bei Patienten

mit komplexen Problemstellungen, sowie eingeschränkter Funktion der umgebenden Weichteile oder der glenoidalen Knochensubstanz sei das Implantat zu empfehlen.

Dass jedoch gerade die Defektarthropathie den Status als primäre Indikation zur Implantation einer inversen Schulterprothese über die klinische und wissenschaftliche Erfahrung mit Recht erworben hat, verdeutlicht unter anderem die Untersuchung von Nolan et al. (2011). Ein Patientenkollektiv ($N = 71$) mit ausschließlich oben genannter Diagnose wurde dort über einen Zeitraum von 24 Monaten nachuntersucht. Der objektivierbare Zuwachs an Schulterfunktionalität im Constant- (prä-OP/ Follow-Up: 27.5 Punkte/ 61.8 Punkte) und ASES-Score (prä-OP/ Follow-Up: 26 Punkte/ 76.1 Punkte) erbringt den Nachweis, dass gerade jene Patienten mit einer Dysfunktion der Rotatorenmanschette – im Sinne einer Defektarthropathie – ausgesprochen effektiv von der biomechanischen Veränderung durch das inverse Implantat profitieren können. Eine eingeschränkte Indikation und sorgfältiges Abwägen der Optionen vor Prothesenimplantation scheint demnach dem aktuellen Stand der Wissenschaft, sowie dem klinischen Konsensus zu entsprechen. Die vorliegende Untersuchung bestätigt einerseits das tendenziell bessere funktionelle Resultat der Patienten mit Defektarthropathie, kann jedoch andererseits nicht die Empfehlung zur ausschließlichen Verwendung inverser Schulterendoprothesen bei derselben Diagnosegruppe teilen. Es bleibt eine individuell abzuwägende Entscheidung, die nicht zuletzt auch in hohem Maße von der Erfahrung des behandelnden Chirurgen abhängt und von einer gezielten Patientenselektion profitiert (Walch et al. 2012).

4.2 Radiologische Beurteilung

Vor allem das *scapular notching* als relevante und häufige Komplikation inverser Schulterendoprothetik ist in der Literatur identifiziert und kontrovers diskutiert worden (Boileau et al. 2006; Farshad und Gerber 2010; Zumstein et al. 2011; Cheung et al. 2011; Melis et al. 2011). Der primäre Einfluss dieser radiologisch detektierbaren Prothesenkomplikation auf das klinische Ergebnis – in erster Linie die Schulterfunktion – konnte noch nicht abschließend geklärt werden (Guery et al. 2006; Boileau et al. 2005; Werner et al. 2005; Sirveaux et al. 2004; Simovitch et al. 2007) und ist nach wie vor Gegenstand klinischer Forschung. Sadoghi et al. (2011a) fanden in ihrem Patientengut Hinweise auf eine Beeinflussung im langfristigen Follow-Up (> 60 Monate), konnten jedoch im mittleren Nachuntersuchungsintervall (24-48 Monate) keinen Einfluss des *scapular notching* auf das klinische Ergebnis ermitteln. Ein-

schränkend verweisen die Autoren auf die geringe Patientenzahl, die diese Anforderungen erfüllt ($N = 12$) und sich dementsprechend kein abschließendes Urteil fällen lässt.

Die Ergebnisse im vorliegenden Patientenkollektiv liefern ebenfalls keinen Hinweis auf eine Beeinflussung der klinischen Schulterfunktion durch radiologisch erkennbares *notching*. Eine Korrelationsanalyse nach Spearman konnte keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen ermitteln. Ebenso ergab ein Mittelwertsvergleich der einzelnen Patientengruppen, aufgeteilt in die Klassifikationsgrade nach Sirveaux et al. (2004), keinen Hinweis auf einen statistisch signifikanten Unterschied in den erzielten Schulderscores zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. In der Diskussion über die Auswirkung des infraglenoidalen *notchings* auf das klinische Bild der Schulterfunktion zeichnet sich in diesem Patientenkollektiv kein nachweisbarer Effekt ab. Kowalsky et al. (2012) führten die Inzidenz des *notching* in ihrer Untersuchung auf unterschiedliche Designs der verwendeten Prothesen zurück. Die Empfehlung zur kritischen Überprüfung der Prothesendesigns und der chirurgischen Technik ist daher weiterhin von besonderer Bedeutung, um aushöhlende Glenoiddefekte zu vermeiden und anschließende Komplikationen zu minimieren.

Aufgrund der besonderen Ausrichtung inverser Schulterendoprothesen auf die Defektarthropathie als Form der sekundären Omarthrose wurde in der vorliegenden Untersuchung speziell diese Patientengruppe näher betrachtet. Die Zuteilung des Kollektivs erfolgte in verschiedene Untergruppen, abhängig vom präoperativen Schweregrad der Defektarthropathie. Hierbei kamen röntgenmorphologisch dominierte Klassifikationssysteme (Hamada et al. 1990, Sirveaux et al. 2004, Seebauer et al. 2005) zur Anwendung. Ein Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der zugrundeliegenden Schulterpathologie und der objektiv erfassbaren Schulterfunktion ließe Rückschlüsse auf den Prozess der Indikationsstellung oder den allgemeinen therapeutischen Effekt zu. Profitieren Patienten mit einer hochgradigen Defektarthropathie hinsichtlich der klinischen Schulterfunktion weniger als Patienten mit einer milderen oder weniger ausgeprägten röntgenmorphologischen Symptomatik?

Die zu diesem Zweck erfolgten Mittelwertsvergleiche der verschiedenen Gruppen konnten keine eindeutigen statistischen Effekte liefern. Lediglich in der Klassifikation nach Sirveaux et al. wurde für zwei Parameter (ASES-Gesamtpunktzahl, ASES-Subparameter „Aktivität“) ein signifikanter Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen gefunden. Dieser ließ in anschließend durchgeführten post-hoc-Analysen jedoch keine konkrete Aussage zu, da die entsprechenden Mann-Whitney-U-Tests das nach Bonferroni adjustierte Signifikanzniveau (p

< 0.017) nicht erreichten. Schlussfolgernd bedeutet dies, dass alle untersuchten Gruppen, unabhängig vom Schweregrad der nach Sirveaux et al. präoperativ erhobenen Defektarthropathie, ein vergleichbares klinisches Ergebnis in den Schulter-Scores vorweisen konnten. Auch die anderen Mittelwertsvergleiche, sowohl in der Klassifikation nach Hamada et al. als auch nach Seebauer et al., erreichten nicht das vorgegebene Signifikanzniveau, so dass an dieser Stelle ebenfalls nicht von statistisch relevanten Unterschieden gesprochen werden kann.

Bei näherer Betrachtung der zusätzlich berechneten Effektstärken muss dieser Eindruck jedoch ein wenig relativiert werden. In vielen der erfolgten Untersuchungen (für detaillierte Angaben siehe unter Kapitel 3.15) konnten Hinweise auf das Vorliegen eines Effekts gefunden werden. Dies deutet an, dass in einem größeren Patientenkollektiv oder einer anderen Stichprobenzusammensetzung diese möglicherweise auch Relevanz – im Sinne statistischer Signifikanz – erzielen könnten. Konkret gefasst, ließe sich vermutlich der präoperative Schweregrad der Defektarthropathie als Einflussgröße des klinischen Resultats nach Implantation einer inversen Schulterendoprothese nachweisen, auch wenn dies anhand der Daten des vorliegenden Patientenkollektivs und den konventionellen statistischen Vorgaben eines α -Fehler-Niveau von $p < 0.05$ folgend, nicht der Fall ist. Dennoch liefert die Effektstärke zu berücksichtigende Hinweise auf einen statistischen Effekt, der ohne ihre Berechnung nicht deutlich geworden wäre.

Inwiefern diese Effekte die klinische Indikationsstellung und das therapeutische Vorgehen beeinflussen könnten und beeinflussen sollten ist fraglich. Angesichts der geringen Auswahl therapeutischer Alternativen bei komplexen Schulterpathologien wie der Defektarthropathie, sind Hinweise auf marginal schlechtere funktionelle Resultate in Abhängigkeit von der präoperativen Ausgangssituation sicherlich zu vernachlässigen. Die therapeutische Entscheidung oder Indikationsstellung zur Implantation folgt anderen Maßstäben.

Der funktionelle Nutzen einer inversen Prothesenimplantation zur Behandlung der Defektarthropathie erweist sich als robust und liefert auch für hochgradige Pathologien zufriedenstellende Ergebnisse. Unterschiedliche Resultate in Abhängigkeit von der präoperativen Ausgangssituation sollten berücksichtigt und zukünftig näher untersucht werden, um gegebenenfalls die Kriterien zur Indikationsstellung zu optimieren.

4.3 Individuelle Patientenzufriedenheit

Die individuelle Zufriedenheit des Patienten mit dem Ergebnis einer medizinischen Intervention ist in aller Regel höchst subjektiv. Die inverse Schulterendoprothetik bildet dabei keine Ausnahme. Bezieht man sich auf gängige Bewertungsskalen zur Ermittlung der subjektiven Patientenzufriedenheit (*nicht zufrieden*, *zufrieden*, *sehr zufrieden*), schneidet die Prothesenimplantation überwiegend gut bis sehr gut ab. Beispielfhaft konnten Boileau et al. (2006) auf 82% *zufriedene* bzw. *sehr zufriedene* Patienten verweisen. Wall et al (2007) konstatierten in ihrer Umfrage sogar 93% *zufriedene* bis *sehr zufriedene* Patienten.

Roy et al. (2010) berichteten diesbezüglich jedoch über Hinweise für einen fehlenden Zusammenhang zwischen positiven funktionellen Ergebnissen und der Zufriedenheit einzelner Patienten. Offensichtlich zeigte sich hier die individuelle Bewertung als schwacher Indikator für eine intakte Schulterfunktion (Roy et al. 2010). Im Umkehrschluss ließe sich aus dieser Beobachtung schlussfolgern, dass nicht unbedingt die Funktion im Sinne intakter Motorik allein für Zufriedenheit sorgt.

Auch die vorliegende Untersuchung liefert zunächst eindeutige Hinweise für eine weite Akzeptanz der inversen Prothese auf der Patientenseite. 93% der befragten Patienten äußerten sich als *zufrieden* oder *sehr zufrieden* mit dem Ergebnis der Prothesenimplantation. Nach Aufteilung des Patientenkollektivs in Gruppen *nicht zufriedener* ($N = 9$), *zufriedener* ($N = 60$) und *sehr zufriedener* ($N = 35$) Patienten, wurde gezielt nach Unterschieden in einzelnen Funktionsscores gesucht, um vorhandene Zusammenhänge zu identifizieren und auch statistisch – auf einem nach Bonferroni-korrigiertem Signifikanzniveau ($p < 0.017$) – belegen zu können. In dieser Betrachtung zeigte sich für den Gesamt-Constant-Score, als globales Maß der Schulterfunktion, kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen *nicht zufriedener* und *zufriedener* bzw. *sehr zufriedener* Patienten. Als Schlussfolgerung ergibt sich daraus, dass ein *nicht zufriedener* Patient nicht zwangsläufig entscheidend schlechter im Constant-Score abschneiden muss. Im Gegensatz dazu ergab der Gesamt-ASES zumindest im Vergleich der *nicht zufriedenen* mit den *sehr zufriedenen* Patienten eine statistisch relevante Differenz ($p = 0.004$). Die Patientengruppe, die sich dagegen „nur“ als *zufrieden* mit der Situation nach Prothesenimplantation äußerte, konnte im Vergleich mit den *nicht zufriedenen* Patienten keinen statistisch nachweisbar höheren Punktwert im ASES-Score erzielen ($p = 0.031$). Nun stellt sich die Frage, ob diese Beobachtung einerseits die Erkenntnisse von Roy et

al. (2010) stützt, und somit auch in dem hier vorliegenden Kollektiv die individuelle Einschätzung der Patienten als schwacher Indikator der Schulterfunktion bezeichnet werden kann. Andererseits könnten bestehende Unterschiede in der Größe der einzelnen Patientengruppen, die jedoch in der statistischen Auswertung berücksichtigt wurden, zu diesen Ergebnissen beitragen. Eine weitere Ursache ist möglicherweise in der globalen Ausrichtung der verwendeten Scores zu finden. Vermutlich sind diese nicht in der Lage ausreichend differenziert auf relevante und für die Patienteneinschätzung entscheidende Effekte hinzuweisen.

Aus diesem Grund wurde auch gezielt nach Auffälligkeiten im Vergleich einzelner Subkategorien gesucht, insbesondere „Schmerz“ und „Beweglichkeit“. Schmerzfreiheit oder Schmerzlinderung als essentielle Grundbausteine für eine ausreichende Schulterfunktion sind dabei von besonderer Bedeutung und, wie im Vorfeld dargelegt, dementsprechend hochwertig in den hier verwendeten Funktionsscores berücksichtigt. Inwiefern jedoch eine effektive Schmerzlinderung in der subjektiven Wahrnehmung des Patienten auch funktionelle und motorische Defizite kompensieren kann ist fraglich.

Bei Betrachtung der Mittelwerte in der Subkategorie „Schmerz“ des ASES-Scores deutete sich bereits ein Unterschied an (s. Ergebnisse). Dieser Mittelwertsunterschied weist darauf hin, dass Patienten mit weniger Schmerzen (gleichbedeutend mit einer höheren Punktzahl im ASES-Score) sich eher *zufrieden* oder *sehr zufrieden* mit der Situation nach der Prothesenimplantation äußern. Patienten aus der Gruppe der *nicht zufriedenen* Befragten haben dementsprechend mehr Schmerzen (gleichbedeutend mit einer niedrigeren Punktzahl). Im direkten Vergleich zwischen *nicht zufriedenen* und *zufriedenen* Patienten ließ sich diese beobachtete Tendenz bestätigen ($p = 0.010$). Patienten mit weniger Schmerzen äußern sich eher als zufrieden mit der Prothesenimplantation. Im Vergleich *nicht zufriedener* mit *sehr zufriedenen* Patienten verfehlte dieselbe Untersuchung nur knapp statistische Signifikanz ($p = 0.021$). Die Untersuchungsvariable „Schmerz“ scheint demnach entscheidend die Patientenzufriedenheit zu beeinflussen. Im Vergleich zwischen den *nicht zufriedenen* und *zufriedenen* Patienten kristallisierte sich diese Variable in jedem Fall als primär wichtigste Untersuchungsgröße heraus, die stärker noch als die Subkategorie „Beweglichkeit“ oder das Ergebnis in den globalen Scores in der Lage ist die individuelle Patientenzufriedenheit vorher zu sagen.

Allgemein gesprochen sind die konkreten Ursachen für Patientenzufriedenheit mit einer medizinischen Intervention häufig multifaktoriell und gelegentlich unzureichend differenziert erklärbar. In der vorliegenden Untersuchung wird diese Einschätzung bestätigt. Ein *zufriede-*

ner Patient ist nicht zwangsläufig mit einem hohen Punktwert in den erhobenen Funktions-scores zu finden. Auch dient nicht die Schulterfunktion im Sinne der Beweglichkeit allein als ausschlaggebendes Maß, sondern gerade die Abwesenheit von Schmerz fungiert als zentrales Element. Angesichts des hohen Durchschnittsalters im vorliegenden Patientenkollektiv, der zum Teil massiven Einschränkungen in der Schulterbeweglichkeit, starker Schmerzen, sowie der Komplexität der Erkrankungen zum präoperativen Zeitpunkt ist der Nutzen der inversen Schulterendoprothese positiv zu bewerten. Nicht zuletzt beeinflusst die schmerzfreie Beweglichkeit im Wesentlichen die Lebensqualität und das verbleibende Aktivitätsniveau. Letzteres unterliegt dabei von Seite der Patienten mitunter ähnlichen Anforderungen wie bei vergleichbarem endoprothetischem Gelenkersatz (Lawrence et al. 2012). Hinsichtlich der Beurteilung des Implantationsergebnisses empfiehlt sich anhand der vorliegenden Ergebnisse, neben der Berücksichtigung von globalen Funktionsergebnissen, vor allem auch eine individualisierte Betrachtung der Schmerzlinderung. Gerade im Sinne der bereits angesprochenen weitläufigen Empfehlung zur Verwendung des Implantats als *salvage-type-solution*, sollte der Abnahme von Schmerzen besondere Beachtung in der Beurteilung des Operationserfolgs geschenkt werden.

4.4 Grenzen der Studie

Diese Studie weist einige Einschränkungen auf. Zunächst ist hier das durchschnittliche Nachuntersuchungsintervall von ca. 30 Monaten zu erwähnen, welches keine Aussagen zur langfristigen Haltbarkeit und Verwendung der Prothesen erlaubt. Gleichzeitig sei aber auch darauf hingewiesen, dass ca. 18% der untersuchten Patienten über mehr als 49 Monate im Follow-Up begleitet werden konnten. Weitere Langzeituntersuchungen zu Standzeiten und möglicherweise im Verlauf auftretenden Komplikationen oder Funktionseinbußen, sollten diese Aspekte näher beleuchten (siehe Guery et al. 2006, Favard et al. 2011). Darüber hinaus könnte grundsätzlich der retrospektive Charakter der Studie kritisiert werden, da prospektive Studiendesigns in ihrer wissenschaftlichen Güte und Aussagekraft sicherlich bevorzugt zu bewerten sind.

Die Gesamtgröße der Studienpopulation ist positiv hervorzuheben, dennoch liefert sie bei Aufteilung des Patientenkollektivs in weitere Subgruppen verhältnismäßig kleine Stichprobengrößen. Diesem Umstand wurde sowohl in der statistischen Analyse mittels Verwendung

angepasster nicht-parametrischer Testverfahren, als auch in der Interpretation und Diskussion der Ergebnisse Rechnung getragen. Außerdem liefert die zusätzliche Berechnung von Effektstärken ein weiteres Maß zur Beurteilung statistischer Zusammenhänge, das sich, als von der Stichprobengröße unabhängige Testgröße, für diese Untersuchung bewährt hat. Ohne diese Berechnung wären Hinweise auf statistisch relevante Effekte vollends unentdeckt geblieben. In die Datenerhebung und jeweilige statistische Analyse konnten nicht alle Patienten, die initial in die Untersuchung eingeschlossen wurden, für jede Auswertung berücksichtigt werden. Dies ist in erster Linie der Tatsache geschuldet, dass es sich um ein vergleichsweise altes Patientenkollektiv mit zum Teil langem Nachuntersuchungsintervall handelt.

Desweiteren lässt der im Vergleich mit den Resultaten anderer Studien relativ verhaltene Anstieg des Constant-Scores im prä- und postoperativen Vergleich, um durchschnittlich 15.3 Punkte, Raum für Interpretationen. Hier gilt es die Heterogenität des vorliegenden Patientenguts zu berücksichtigen, welches verschiedene Diagnosen und Indikationen zur Prothesenimplantation (Defektarthropathie, Fraktur, Revisionsarthroplastik, u.a.) umfasst. Ein konkreter Vergleich mit Ergebnissen anderer klinischer Studien sollte daher angesichts dieses gemischten Patientenkollektivs zurückhaltend geführt werden.

4.5 Ausblick

Letztendlich bleibt der funktionell nachweisbare Erfolg der inversen Schulterendoprothetik nach Grammont unbestritten und lässt sich auch in der vorliegenden Studie deutlich bestätigen. Dennoch muss die Indikation zur Implantation nach wie vor kritisch gestellt werden, da sich trotz inzwischen etablierter klinischer Anwendung unterschiedliche Resultate in Abhängigkeit von der pathologischen Konstellation ergeben. Die Defektarthropathie behält auch nach Analyse der vorliegenden Daten ihren Status als primäre Indikation zur Verwendung inverser Schulterprothesen. Patienten mit dieser Schulterpathologie und intaktem M. deltoideus scheinen am besten von der Endoprothese zu profitieren. Ob zukünftig andere Verfahren oder technische Konzepte zum Gelenkersatz ähnlich gute funktionelle Ergebnisse liefern können, bleibt abzuwarten (Pape et al. 2012). Nicht zuletzt dürfen kurz- bis mittelfristige Resultate nicht über die mögliche Gefahr bereits beschriebener langfristiger Funktionseinbußen oder das Auftreten zusätzlicher Probleme hinwegtäuschen, die sich vermutlich auch aus sekundären prothesenunabhängigen Faktoren ergeben können. Daher gilt ein nach wie vor eine

sorgfältige Prüfung der Indikation zur Prothesenimplantation mit Berücksichtigung des Patientenalters und funktioneller Anforderungen. Angesichts der guten Patientenzufriedenheit und des guten klinisch-funktionellen Resultats sollte die inverse Schulterendoprothetik weiterhin als therapeutische Option komplexer Schulterpathologien betrachtet werden. Weitere Untersuchungen, sowie langfristige kritische Beobachtung werden nötig sein, um zukünftige Erweiterungen der Prothesendesigns voranzutreiben und möglicherweise zusätzliche relevante operative Faktoren zu identifizieren.

5 Literaturverzeichnis

- Ackland, David C.; Roshan-Zamir, Sasha; Richardson, Martin; Pandey, Marcus G. (2010): Moment Arms of the Shoulder Musculature After Reverse Total Shoulder Arthroplasty. In *The Journal of Bone & Joint Surgery [Am.]* (92), pp. 1221–1230.
- Bankes MJ; Emery RJ (1995): Pioneers of shoulder replacement: Themistocles Gluck and Jules Emile Pean. In *J Shoulder Elbow Surg* 4 (4), pp. 259–262.
- Baulot, Emmanuel; Sirveaux, François; Boileau, Pascal (2011): Grammont's Idea: The Story of Paul Grammont's Functional Surgery Concept and the Development of the Reverse Principle. In *Clin. Orthop. Relat. Res.* 469 (9), pp. 2425–2431.
- Bell, John-Erik; Bigliani, Louis U. (2007): Reverse Shoulder Arthroplasty: A Role Defined. In *Seminars in Arthroplasty* 18 (1), pp. 49–54.
- Boileau, Pascal; Chuinard, Christopher; Roussane, Yannick; Bicknell, Ryan T.; Rochet, Nathalie (2008): RSA Combined with a Modified Latissimus Dorsi and Teres Major Tendon Transfer for Shoulder Pseudoparalysis Associated With Dropping Arm. In *Clinical Orthopedics and Related Research* (466), pp. 584–593.
- Boileau, Pascal; Gonzalez, Jean-Francois; Chuinard, Christopher; Bicknell, Ryan T.; Walch, Gilles (2009): Reverse total shoulder arthroplasty after failed rotator cuff surgery. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* (18), pp. 600–606.
- Boileau, Pascal; Sinnerton, R. J.; Chuinard, Christopher; Walch, Gilles (2006): Arthroplasty of the shoulder. In *The Journal of Bone and Joint Surgery [Br]* (88-B), pp. 562–575.
- Boileau, Pascal; Watkinson, Duncan J.; Hatzidakis, Armodios M.; Balg, Frederic (2005): Grammont reverse prosthesis: Design, rationale, and biomechanics. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* (14), pp. 147S–161S.
- Boileau, Pascal; Watkinson, Duncan J.; Hatzidakis, Armodios M.; Hovorka, Istvan (2006): Neer Award 2005: The Grammont reverse shoulder prosthesis: Results in cuff tear arthritis, fracture sequelae, and revision arthroplasty. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* (15), pp. 527–540.
- Bortz, Jürgen (2005): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 6. [vollständig überarbeitete und aktualisierte] Auflage. Berlin: Springer.

- Bufquin, T.; Hersan, A.; Hubert, L.; Massin, P. (2007): Reverse shoulder arthroplasty for the treatment of three- and four-part fractures of the proximal humerus in the elderly. In *The Journal of Bone and Joint Surgery [Br]* (89-B), pp. 516–520.
- Cazeneuve, J-F; Cristofari, D-J (2011): Long term functional outcome following reverse shoulder arthroplasty in the elderly. In *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*. (97), pp. 583-589
- Chebli, Caroline; Huber, Philippe; Watling, Jonathan; Bertelsen, Alexander; Bicknell, Ryan T.; Matsen, Frederick A. (2008): Factors affecting fixation of the glenoid component of a reverse total shoulder prosthesis. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 17 (2), pp. 323–327.
- Cheung, Emilie; Willis, Matthew; Walker, Matthew; Clark, Rachel; Frankle, Mark A. (2011): Complications in reverse total shoulder arthroplasty. In *J Am Acad Orthop Surg* 19 (7), pp. 439–449.
- Cohen, Jacob (1988): Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd. Hillsdale, N.J: L. Erlbaum Associates.
- Constant, C. R.; Murley, A. H. G. (1987): A Clinical Method of Functional Assessment of the Shoulder. In *Clinical Orthopedics and Related Research* (214), pp. 160–164.
- Constant, Christopher R.; Gerber, Christian; Emery, Roger J. H.; Søjbjerg, Jens Ole; Gohlke, Frank; Boileau, Pascal (2008): A review of the Constant score: Modifications and guidelines for its use. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 17 (2), pp. 355–361.
- Cronbach, Lee J. (1951): Coefficient alpha and the internal structure of tests. In *Psychometrika* 16 (3), pp. 297–334.
- Drake, Gregory N.; O'Connor, Daniel P.; Edwards, T. Bradley (2010): Indications for Reverse Total Shoulder Arthroplasty in Rotator Cuff Disease. In *Clinical Orthopedics and Related Research* (468), pp. 1526–1533.
- Ekelund, Anders; Nyberg, Ragnhild (2011): Can reverse shoulder arthroplasty be used with few complications in rheumatoid arthritis? In *Clin Orthop Relat Res* 469 (9), pp. 2483–2488.
- Farshad, Mazda; Gerber, Christian (2010): Reverse total shoulder arthroplasty—from the most to the least common complication. In *International Orthopedics* (34), pp. 1075–1082.
- Farshad, Mazda; Gerber, Christian (2010): Comment on Table 1 of Farshad and Gerber Reverse total shoulder arthroplasty - from the most to the least common complication. In *International Orthopedics*.
- Faul, Franz; Erdfelder, Edgar; Lang, Albert-Georg; Buchner, Axel (2007): G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. In *Behav Res Methods* 39 (2), pp. 175–191.

- Favard, Luc; Berhouet, J.; Colmar, M.; Boukobza, E.; Richou, J.; Sonnard, A. et al. (2009): Massive rotator cuff tears in patients younger than 65 years. What treatment options are available? In *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* (955), pp. S19-S26.
- Favard L; Levigne C; Nerot C; Gerber C; De Wilde L; Mole D (2011): Reverse Prostheses in Arthropathies With Cuff Tear: Are Survivorship and Function Maintained Over Time? In *Clinical Orthopedics and Related Research* 469(9):2469-75.
- Fevang, Bjørg-Tilde S.; Lie, Stein A.; Havelin, Leif I.; Skredderstuen, Arne; Furnes, Ove (2009): Risk factors for revision after shoulder arthroplasty. In *Acta Orthopaedica* 80 (1), pp. 83–91.
- Fisseni HJ (2004): Lehrbuch der psychologischen Diagnostik. Mit Hinweisen zur Intervention. 3. [überarbeitete und erweiterte] Auflage. Göttingen: Hogrefe.
- Flatow, Evan L.; Harrison, Alicia K. (2011): A History of Reverse Total Shoulder Arthroplasty. In *Clinical Orthopedics and Related Research* 469(9):2432-9.
- Frankle, Mark; Levy, Jonathan C.; Pupello, Derek; Siegal, Steven; Saleem, Arif; Mighell, Mark; Vasey, Matthew (2006): The Reverse Shoulder Prosthesis for Glenohumeral Arthritis Associated with Severe Rotator Cuff Deficiency. In *The Journal of Bone & Joint Surgery [Am.]* (88), pp. 178–190.
- Gerber, Christian; Pennington, Scott D.; Nyffeler, Richard W. (2009): Reverse total shoulder arthroplasty. In *J Am Acad Orthop Surg* 17 (5), pp. 284–295.
- Grammont, P. M.; Trouilloud, P.; Laffay, J. P.; Deries, X. (1987): Etude et réalisation d'une nouvelle prothèse d'épaule. In *Rhumatologie* (39), pp. 27–38.
- Grammont, Paul M. (1993): Delta shoulder prosthesis for rotator cuff rupture. In *Orthopedics* (16), pp. 65–68.
- Grassi, Federico Alberto; Murena, Luigi; Valli, Federico; Alberio, Riccardo (2009): Six-year experience with the Delta III reverse shoulder prosthesis. In *Journal of Orthopedic Surgery* 17 (2), pp. 151–156.
- Greiner, Stefan H.; Back, David A.; Herrmann, Sebastian; Perka, Carsten; Asbach, Patrick (2010): Degenerative changes of the deltoid muscle have impact on clinical outcome after reversed total shoulder arthroplasty. In *Arch Orthop Trauma Surg* (130), pp. 177–183.
- Gruen, T. A.; McNeice, G. M.; Amstutz, H. C. (1979): "Modes of failure" of cemented stem-type femoral components: a radiographic analysis of loosening. In *Clin. Orthop. Relat. Res.* (141), pp. 17–27.

- Guery, Jacques; Favard, Luc; Sirveaux, François; Oudet, Didier; Molé, Daniel; Walch, Gilles (2006): Reverse Total Shoulder Arthroplasty. Survivorship analysis of eighty replacements followed for five to ten years. In *The Journal of Bone & Joint Surgery* [Am.] (88), pp. 1742–1747.
- Gulotta, L. V.; Choi, D.; Marinello, P.; Wright, T.; Cordasco, F. A.; Craig, E. V.; Warren, R. F. (2012): Anterior deltoid deficiency in reverse total shoulder replacement: A biomechanical study with cadavers. In *J Bone Joint Surg Br* 94 (12), pp. 1666–1669.
- Gutierrez, S.; Levy, Jonathan C.; Lee, William E.; Keller, Tony S.; Maitland, Murray E. (2007): Center of Rotation Affects Abduction Range of Motion of Reverse Shoulder Arthroplasty. In *Clinical Orthopaedics and Related Research* PAP.
- Gutierrez, S.; Comiskey, C. A.; Luo, Z.-P.; Pupello, D. R.; Frankle, M. A. (2008a): Range of Impingement-Free Abduction and Adduction Deficit After Reverse Shoulder Arthroplasty. Hierarchy of Surgical and Implant-Design-Related Factors. In *The Journal of Bone and Joint Surgery* 90 (12), pp. 2606–2615.
- Gutierrez, Sergio; Keller, Tony S.; Levy, Jonathan C.; Lee, William E. 3rd; Luo, Zong-Ping (2008b): Hierarchy of stability factors in reverse shoulder arthroplasty. In *Clin Orthop Relat Res* 466 (3), pp. 670–676.
- Habermeyer, Peter; Lichtenberg, Sven; Magosch, Petra (2010): Schulterchirurgie. 4. [überarb. und erw.] Auflage. München: Elsevier, Urban & Fischer.
- Hamada, Kazutoshi; Fukuda, Hiroaki; Mikasa, Motohiko; Kobayashi, Yoshinori (1990): Roentgenographic Findings in Rotator Cuff Tears. In *Clinical Orthopedics and Related Research* (254), pp. 92–96.
- Harreld, Kevin L.; Puskas, Brian L.; Frankle, Mark (2011): Massive rotator cuff tears without arthropathy: when to consider reverse shoulder arthroplasty. In *J Bone Joint Surg Am* 93 (10), pp. 973–984.
- Herrmann, Sebastian; König, Christian; Heller, Markus; Perka, Carsten; Greiner, Stefan (2011): Reverse shoulder arthroplasty leads to significant biomechanical changes in the remaining rotator cuff. In *J Orthop Surg Res* 6, p. 42.
- Hilgers, Ralf-Dieter; Bauer, Peter; Scheiber, Viktor (2007): Einführung in die Medizinische Statistik. Berlin, Heidelberg (Statistik und ihre Anwendungen).
- Iannotti, Joseph P.; McCarron, Jesse; Raymond, Clifford J.; Ricchetti, Eric T.; Abboud, Joseph A.; Brems, John J.; Williams, Gerald R. (2010): Agreement study of radiographic classification of rotator cuff tear arthropathy. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 19 (8), pp. 1243–1249.

- Irlenbusch, U.; Fuhrmann, U.; Gebhardt, K.; Rott, O. (2008): Differenzialindikation anatomischer und inverser Schulterendoprothesen in der sekundären Frakturprothetik. In *Z Orthop Unfall* (146), pp. 478–485.
- Jazayeri R; Kwon YW (2011): Evolution of the reverse total shoulder prosthesis. In *Bull NYU Hosp Jt Dis* 69 (1), pp. 50–55.
- Jerosch, Jörg; Heisel, Jürgen (2002): Schulterendoprothetik. Indikation, Implantate, OP-Technik, Nachbehandlung, Begutachtung; 57 Tabellen. Darmstadt: Steinkopff.
- Jerosch, Jörg; Heisel, Jürgen (2003): Schulterendoprothetik: eine Standortbestimmung. In *Deutsches Ärzteblatt* 100 (37), pp. A2366-A2377.
- Jerosch, Jörg; Heisel, Jürgen (Eds.) (2010): Management der Arthrose. Innovative Therapiekonzepte ; mit 47 Tabellen ; [mit CD-ROM]. Köln: Dt. Ärzte-Verl.
- John, Michael; Pap, Géza; Angst, Felix; Flury, Matthias P.; Lieske, Sebastian; Schwyzer, Hans-Kaspar; Simmen, Beat Rene (2010): Short-term results after reversed shoulder arthroplasty. In *International Orthopedics* (34), pp. 71–77.
- Katz, D.; O'Toole, G.; Cogswell, L.; Sauzieres P.; Valenti, P. (2007): A history of the reverse shoulder prosthesis. In *Int J Shoulder Surg* (1), pp. 108–113.
- Kelly, James D. 2nd; Zhao, Jeff X.; Hobgood, E. Rhett; Norris, Tom R. (2012): Clinical results of revision shoulder arthroplasty using the reverse prosthesis. In *J Shoulder Elbow Surg* 21 (11), pp. 1516–1525.
- Kempton, Laurence B.; Balasubramaniam, Mamtha; Ankerson, Elizabeth; Wiater, J. Michael (2011): A radiographic analysis of the effects of glenosphere position on scapular notching following reverse total shoulder arthroplasty. In *J Shoulder Elbow Surg* 20 (6), pp. 968–974.
- Klein, Steven M.; Dunning, Page; Mulieri, Philip; Pupello, Derek; Downes, Katheryne; Frankle, Mark A. (2010): Effects of Acquired Glenoid Bone Defects on Surgical Technique and Clinical Outcomes in Reverse Shoulder Arthroplasty. In *The Journal of Bone & Joint Surgery [Am.]* (92), pp. 1144–1154.
- Kowalsky, Marc S.; Galatz, Leesa M.; Shia, Derek S.; Steger-May, Karen; Keener, Jay D. (2012): The relationship between scapular notching and reverse shoulder arthroplasty prosthesis design. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 21 (10), pp. 1430–1441.
- Krukemeyer, Manfred G. (2009): Endoprothetik. [45 Tabellen]. Berlin [u.a.]: De Gruyter.
- Lam, F.; Bhatia, D.N; Mostofi, S.B; van Rooyen, K.; Beer, J.F de (2007): Biomechanical considerations of the normal and rotator cuff deficient shoulders and the reverse shoulder prosthesis. In *Current Orthopaedics* 21 (1), pp. 40–46.

- Lawrence, Thomas M.; Ahmadi, Shahryar; Sanchez-Sotelo, Joaquin; Sperling, John W.; Co-field, Robert H. (2012): Patient reported activities after reverse shoulder arthroplasty: part II. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 21 (11), pp. 1464–1469.
- Lévigne, Christophe; Boileau, Pascal; Favard, Luc; Garaud, Pascal; Molé, Daniel; Sirveaux, François; Walch, Gilles (2008): Scapular notching in reverse shoulder arthroplasty. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* (17), pp. 925–935.
- Lévigne, Christophe; Garret, Jérôme; Boileau, Pascal; Alami, Ghassan; Favard, Luc; Walch, Gilles (2011): Scapular notching in reverse shoulder arthroplasty: is it important to avoid it and how? In *Clin. Orthop. Relat. Res* 469 (9), pp. 2512–2520.
- Levy, J.C; Virani, N.; Pupello, D.; Frankle, M. (2007a): Use of the reverse shoulder prosthesis for the treatment of failed hemiarthroplasty in patients with glenohumeral arthritis and rotator cuff deficiency. In *The Journal of Bone and Joint Surgery [Br]* (89-B), pp. 189–195.
- Levy, Jonathan C.; Frankle, Mark; Mighell, Mark; Pupello, Derek (2007b): The Use of the Reverse Shoulder Prosthesis for the Treatment of Failed Hemiarthroplasty for Proximal Humeral Fracture. In *The Journal of Bone & Joint Surgery [Am.]* (89), pp. 292–300.
- Liem, D.; Marquardt, B.; Witt, K. A.; Steinbeck, J. (2007): Schulterendoprothetik - Biomechanik und Design. In *Orthopäde* (36), pp. 1027–1036.
- Loew, M.; Raiss, P.; Kasten, P.; Rickert, M. (2007): Endoprothetik bei der Rotatorenmanschetten Defektarthropathie der Schulter. In *Orthopäde* (36), pp. 988–995.
- Loew, Markus (2010): AE-Manual der Endoprothetik. Schulter. Heidelberg [u.a.]: Springer.
- Lugli, T. (1977): Artificial shoulder joint by Peán (1893): the facts of an exceptional intervention and the prosthetic method. In *Clin Orthop Relat Res* (122), pp. 201–203.
- Matsen, Frederick A.; Boileau, Pascal; Walch, Gilles; Gerber, Christian; Bicknell, Ryan T. (2007): The Reverse Total Shoulder Arthroplasty. In *The Journal of Bone & Joint Surgery [Am.]* (89), pp. 660–667.
- McFarland, Edward G.; Sanguanjit, Prakasit; Tasaki, Atsushi; Keyurapan, Ekavit; Fishman, Elliot K.; Fayad, Laura M. (2006): The reverse shoulder prosthesis - a review of imaging features and complications. In *Skeletal Radiol* (35), pp. 488–496.
- Melis, B.; Defranco, M.; Lädermann, A.; Molé, D.; Favard, L.; Nérot, C. et al. (2011): An evaluation of the radiological changes around the Grammont reverse geometry shoulder arthroplasty after eight to 12 years. In *J Bone Joint Surg Br* 93 (9), pp. 1240–1246.

- Middernacht, Bart; Roo, Pieter-Jan de; van Maele, Georges; Wilde, Lieven F. de (2008): Consequences of scapular anatomy for reversed total shoulder arthroplasty. In *Clinical Orthopedics and Related Research* (466), pp. 1410–1418.
- Middernacht, Bart; Winnock Grave, Philip de; van Maele, Georges; Favard, Luc; Molé, Daniel; Wilde, Lieven F. de (2011): What do standard radiography and clinical examination tell about the shoulder with cuff tear arthropathy? In *J Orthop Surg Res* (6), p. 1.
- Mulieri, Philip; Dunning, Page; Klein, Steven; Pupello, Derek; Frankle, Mark (2010): Reverse shoulder arthroplasty for the treatment of irreparable rotator cuff tear without glenohumeral arthritis. In *J Bone Joint Surg Am* 92 (15), pp. 2544–2556.
- Nam, D.; Kepler, C. K.; Neviaser, A. S.; Jones, K. J.; Wright, T. M.; Craig, E. V.; Warren, R. F. (2010): Reverse Total Shoulder Arthroplasty: Current Concepts, Results, and Component Wear Analysis. In *The Journal of Bone & Joint Surgery [Am.]* (92), pp. 23–35.
- Naveed, M. A.; Kitson, J.; Bunker, T. D. (2011): The Delta III reverse shoulder replacement for cuff tear arthropathy. A single-centre study of 50 consecutive procedures. In *The Journal of Bone and Joint Surgery [Br]* (93-B), pp. 57–61.
- Neer, Charles S. (1970a) Displaced proximal humerus fractures, Part I. In *The Journal of Bone and Joint Surgery [A]* 52:1077–1089
- Neer, Charles S. (1970b) Displaced proximal humerus fractures, Part II. In *The Journal of Bone and Joint Surgery [A]* 52:1090–1103
- Neer CS (2002) Four-segment classification of proximal humeral fractures: purpose and reliable use. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 11:389–400
- Neer, Charles S.; Craig, Edward V.; Fukuda, Hiroaki (1983): Cuff-tear arthropathy. In *The Journal of Bone & Joint Surgery [Am.]* (65), pp. 1232–1244.
- Nicholson, Gregory P.; Strauss, Eric J.; Sherman, Seth L. (2010): Scapular Notching - recognition and strategies to minimize clinical impact. In *Clinical Orthopedics and Related Research* 469 (9), pp. 2521–2530.
- Nolan, Betsy M.; Ankerson, Elizabeth; Wiater, J. Michael (2010): Reverse Total Shoulder Arthroplasty Improves Function in Cuff Tear Arthropathy. In *Clinical Orthopedics and Related Research*. 469 (9), pp. 2476–2482.
- Nyffeler, R. W.; Werner, C. M. L.; Simmen, B. R.; Gerber, C. (2004): Analysis of a retrieved Delta III total shoulder prosthesis. In *The Journal of Bone and Joint Surgery [Br]* (86B), pp. 1187–1191.
- Pape, Guido; Bruckner, Thomas; Loew, Markus; Zeifang, Felix (2012): Treatment of severe cuff tear arthropathy with the humeral head resurfacing arthroplasty: two-year minimum follow-up. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. [Article in Press]

- Reeves, B.; Jobbins, B.; Dowson, D.; Wriarth, V. (1974): A total shoulder endoprosthesis. In *Eng Med* (1), pp. 64–67.
- Research Committee ASaES, Richards RR, An KN, Bigliani RU, Friedman RJ, Gartsman GM, Gristina AG, Iannotti JP, Mow VC, Sidles JA, Zuckerman JD (1994): A standardized method for the assessment of shoulder function. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 3:347 – 352
- Rittmeister, Markus; Kerschbaumer, Fridun (2001): Grammont reverse total shoulder arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis and nonreconstructible rotator cuff lesions. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 10 (1), pp. 17–22.
- Roberts, Catherine C.; Ekelund, Anders L.; Renfree, Kevin J.; Liu, Patrick T.; Chew, Felix S. (2007): Radiologic Assessment of Reverse Shoulder Arthroplasty. In *RadioGraphics* 27 (1), pp. 223–236.
- Rockwood, Charles A., JR. (2007): The Reverse Total Shoulder Prosthesis. The new kid on the block. In *The Journal of Bone & Joint Surgery [Am.]* (89), pp. 233–235.
- Roy, Jean-Sébastien; MacDermid, Joy C.; Goel, Danny; Faber, Kenneth J.; Athwal, George S.; Drosdoweck, Darren S. (2010): What is a successful outcome following reverse total shoulder arthroplasty? In *The Open Orthopaedics Journal* (4), pp. 157–163.
- Sadoghi, Patrick; Leithner, Andreas; Vavken, Patrick; Hölzer, Andreas; Hochreiter, Josef; Weber, Georg et al. (2011a): Infraglenoidal scapular notching in reverse total shoulder replacement: a prospective series of 60 cases and systematic review of the literature. In *BMC Musculoskelet Disord* 12 (1), p. 101.
- Sadoghi, Patrick; Vavken, Patrick; Leithner, Andreas; Hochreiter, Josef; Weber, Georg; Pietschmann, Matthias F.; Müller, Peter E. (2011b): Impact of previous rotator cuff repair on the outcome of reverse shoulder arthroplasty. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 20 (7), pp. 1138–1146.
- Sanchez-Sotelo, Joaquin (2009): Reverse total shoulder arthroplasty. In *Clinical Anatomy* (22), pp. 172–182.
- Schwartz, Daniel G.; Kang, Sang Hoon; Lynch, T. Sean; Edwards, Sara; Nuber, Gordon; Zhang, Li-Qun; Saltzman, Matthew (2012): The anterior deltoid's importance in reverse shoulder arthroplasty: a cadaveric biomechanical study. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. [Article in Press].
- Seebauer, Ludwig; Walter, Willibald; Keyl, Werner (2005): Reverse total shoulder arthroplasty for the treatment of defect arthropathy. In *Oper Orthop Traumatol* 17 (1), pp. 1–24.

- Simovitch, Ryan W.; Helmy, Naeder; Zumstein, Matthias A.; Gerber, Christian (2007): Impact of Fatty Infiltration of the Teres Minor Muscle on the Outcome of Reverse Total Shoulder Arthroplasty. In *The Journal of Bone & Joint Surgery* [Am.] (89), pp. 934–939.
- Simovitch, Ryan W.; Zumstein, Matthias A.; Lohri, Eveline; Helmy, Naeder; Gerber, Christian (2007): Predictors of Scapular Notching in Patients Managed with the Delta III Reverse Total Shoulder Replacement. In *The Journal of Bone & Joint Surgery* [Am.] (89), pp. 588–600.
- Sirveaux, François; Favard, Luc; Oudet, Didier; Huquet, D.; Walch, Gilles; Molé, Daniel (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. In *The Journal of Bone and Joint Surgery* [Br] (86-B), pp. 388–395.
- Smith, C. D.; Guyver, P.; Bunker, T. D. (2012): Indications for reverse shoulder replacement: a systematic review. In *J Bone Joint Surg Br* 94 (5), pp. 577–583.
- Smithers, Christopher J.; Young, Allan A.; Walch, Gilles (2011): Reverse shoulder arthroplasty. In *Curr Rev Musculoskelet Med* 4 (4), pp. 183–190.
- SPSS 13.0 (2004): Benutzerhandbuch. Irland.
- Stechel, Annika; Fuhrmann, Uwe; Irlenbusch, Lars; Rott, Olaf; Irlenbusch, Ulrich (2010): Reversed shoulder arthroplasty in cuff tear arthritis, fracture sequelae, and revision arthroplasty. In *Acta Orthopaedica* 81 (3), pp. 367–372.
- Thomas M; Dieball O; Busse M (2003): [Normal values of the shoulder strength in dependency on age and gender - comparison with the constant, UCLA, ASES scores and SF36 health survey]. Normalwerte der Schulterkraft in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht-Vergleich zum Constant-, UCLA-, ASES-Score und SF-36 Fragebogen. In *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 141 (2), pp. 160–170.
- Valenti, Philippe; Sauzieres, Philippe; Katz, Denis; Kalouche, Ibrahim; Kilinc, Alexandre Sahin (2011): Do less medialized reverse shoulder prostheses increase motion and reduce notching? In *Clin Orthop Relat Res* 469 (9), pp. 2550–2557.
- Vanhove, Benoit; Beugnies, Alain (2004): Grammont's reverse shoulder prosthesis for rotator cuff arthropathy. A retrospective study of 32 cases. In *Acta Orthopaedica Belg.* (70), pp. 219–225.
- Visotsky, Jeffrey L.; Basamania, Carl; Seebauer, Ludwig; Rockwood, Charles A.; Jensen, Kirk L. (2004): Cuff tear arthropathy: pathogenesis, classification, and algorithm for treatment. In *J Bone Joint Surg Am* 86-A Suppl 2, pp. 35–40.

- Walch, Gilles; Bacle, Guillaume; Ladermann, Alexandre; Nové-Josserand, Laurent; Smithers, Christopher John (2012): Do the indications, results, and complications of reverse shoulder arthroplasty change with surgeon's experience? In *J Shoulder Elbow Surg* 21 (11), pp. 1470–1477.
- Walch, Gilles; Boileau, Pascal (1999): *Shoulder arthroplasty*. Berlin - Heidelberg - New York: Springer.
- Walker, Matthew; Brooks, Jordan; Willis, Matthew; Frankle, Mark (2011): How reverse shoulder arthroplasty works. In *Clin Orthop Relat Res* 469 (9), pp. 2440–2451.
- Walker, Matthew; Willis, Matthew P.; Brooks, Jordan P.; Pupello, Derek; Mulieri, Philip J.; Frankle, Mark A. (2012): The use of the reverse shoulder arthroplasty for treatment of failed total shoulder arthroplasty. In *J Shoulder Elbow Surg* 21 (4), pp. 514–522.
- Wall, Bryan; Nové-Josserand, Laurent; O'Connor, Daniel P.; Edwards, T. Bradley; Walch, Gilles (2007): Reverse Total Shoulder Arthroplasty: A Review of Results According to Etiology. In *The Journal of Bone & Joint Surgery [Am.]* (89), pp. 1476–1485.
- Werner, C. M. L.; Steinmann P. A.; Gilbert, M.; Gerber, C. (2005): Treatment of Painful Pseudoparesis Due to Irreparable Rotator Cuff Dysfunction with the Delta III Reverse-Ball-and-Socket Total Shoulder Prosthesis. In *The Journal of Bone & Joint Surgery [Am.]* (87), pp. 1476–1486.
- Wiedemann, E. (2006): Schulterendoprothetik. In *Unfallchirurg* (109), pp. 1073–1084.
- Wierks, Carl; Skolasky, Richard L.; Ji, Jong Hun; McFarland, Edward G. (2009): Reverse Total Shoulder Replacement. Intraoperative and Early Postoperative Complications. In *Clinical Orthopedics and Related Research* (467), pp. 225–234.
- Wilde, Lieven F. de; Audenaert, E. A.; Berghs, B. M. (2004): Shoulder prostheses treating cuff tear arthropathy: A comparative biomechanical study. In *Journal of Orthopedic Research* (22), pp. 1222–1230.
- Wilde, Lieven F. de; Poncet, Didier; Middernacht, Bart; Ekelund, Anders (2010): Prosthetic overhang is the most effective way to prevent scapular conflict in a reverse total shoulder prosthesis. In *Acta Orthop* 81 (6), pp. 719–726.
- Young, Simon W.; Everts, Ngozi M.; Ball, Craig M.; Astley, Tim M.; Poon, Peter C. (2009): The SMR reverse shoulder prosthesis in the treatment of cuff-deficient shoulder conditions. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* (18), pp. 622–626.
- Zumstein, Matthias A.; Pinedo, Miguel; Old, Jason; Boileau, Pascal (2011): Problems, complications, reoperations, and revisions in reverse total shoulder arthroplasty: A systematic review. In *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* (20), pp. 146–157.

6 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Klassifikation der Defektarthrophathie nach Hamada et al. (1990).	9
Tab. 2: Klassifikation der Defektarthrophathie nach Seebauer et al. (2005).	10
Tab. 3: Symptombasierte Klassifikation der Defektarthrophathie nach Loew et al. (2007).	11
Tab. 4: Häufigkeit des Auftretens von Problemen und Komplikationen inverser Schulterendoprothesen; übernommen und modifiziert aus Zumstein et al. (2011), Metaanalyse ($N = 782$)	15
Tab. 5: Radiologische Klassifikation des <i>scapular notching</i> nach Sirveaux et al. (2004).	17
Tab. 6: Deskriptive Übersicht zum Patientenkollektiv.	22
Tab. 7: Punktzahlverteilung der Einzelkomponenten des Constant-Scores.	25
Tab. 8: Untersuchungsparameter <i>Schmerz</i>	26
Tab. 9: Untersuchungsparameter <i>Alltagsaktivität</i>	26
Tab. 10: Untersuchungsparameter <i>Reichweite</i> : „Bis zu welcher Höhe kann der Arm <i>problemlos eingesetzt werden?</i> “	26
Tab. 11: Untersuchungsparameter <i>Elevation</i>	27
Tab. 12: Untersuchungsparameter <i>Abduktion</i>	27
Tab. 13: Untersuchungsparameter <i>Außenrotation</i>	27
Tab. 14: Untersuchungsparameter <i>Innenrotation</i>	28
Tab. 15: Untersuchungsparameter <i>Kraft</i>	28
Tab. 16: Alters- und geschlechtsnormierter Constant-Score (nach Thomas et al., 2003).	29
Tab. 17: Formel zur Berechnung des normierten Constant-Scores.	29
Tab. 18: Schmerzerfassung im ASES-Score.	30
Tab. 19: <i>Aktivitäten des täglichen Lebens</i>	31
Tab. 20: Trennschärfen der einzelnen Items des ASES-Score.	38
Tab. 21: Prüfung der Gesamt-Scores auf statistische Normalverteilung.	39
Tab. 22: Übersicht präoperativer Werte (Constant-Score, $N = 59$).	41
Tab. 23: Übersicht Follow-Up-Werte (Constant-Score, $N = 59$).	41
Tab. 24: Kennwerte des Altersadjustierten Constant-Score für das Patientenkollektiv.	46

Tab. 25: Übersicht Follow-Up-ASES-Score (N = 102).	47
Tab. 26: Verteilung der durchschnittlich erzielten Punktwerte für die jeweiligen Altersgruppen.	47
Tab. 27: Verteilung der durchschnittlich erzielten Punktwerte für die jeweilige Hauptdiagnose.	49
Tab. 28: Verteilung der durchschnittlich erzielten Punktwerte in Abhängigkeit vom Zeitintervall zwischen Implantation der Prothese und Zeitpunkt der Nachuntersuchung.	52
Tab. 29: Verteilung der durchschnittlich erzielten Punktwerte in Abhängigkeit vom verwendeten Prothesenmodell innerhalb der Studienpopulation.	54
Tab. 30: Verteilung der durchschnittlich erzielten Punktwerte, aufgeteilt in weibliche und männliche Patienten des untersuchten Kollektivs.	56
Tab. 31: Übersichtstabelle zu den im Follow-Up erhobenen Score-Punktzahlen, aufgeteilt in die Patienten-Subgruppen „Prothese am dominanten bzw. nicht-dominanten Arm“.	57
Tab. 32: Schulter-Score-Ergebnisse in Abhängigkeit von der subjektiven Patientenzufriedenheit.	60
Tab. 33: Gruppenvergleiche der Punktzahlen im ASES-/ Constant-Score in Abhängigkeit von der subjektiven Zufriedenheit mit dem Ergebnis der Prothesenimplantation bzw. der Schulterfunktion.	61
Tab. 34: Verteilung, Mittelwerte des Patientenkollektivs (Schweregrade nach Hamada et al.)	72
Tab. 35: statistische Kennwerte für den Kruskal-Wallis-Test. Mittelwertsvergleiche der Subgruppen in der Klassifikation nach Hamada et al.	73
Tab. 36: Verteilung, Mittelwerte des Patientenkollektivs (Schweregrade nach Seebauer et al.)	75
Tab. 37: statistische Kennwerte für den Kruskal-Wallis-Test; Mittelwertsvergleiche der Subgruppen in der Klassifikation nach Seebauer et al.	76
Tab. 38: Verteilung, Mittelwerte des Patientenkollektivs (Schweregrade nach Sirveaux et al.)	78
Tab. 39: statistische Kennwerte für den Kruskal-Wallis-Test; Mittelwertsvergleiche der Subgruppen in der Klassifikation nach Sirveaux et al.	79
Tab. 40: deskriptive Ergebnisse der AHD in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt.	80
Tab. 41: deskriptive Ergebnisse des LGHO in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt.	82

Tab. 42: Vergleich mit einer Auswahl publizierter funktioneller Ergebnisse nach Implantation inverser Schulterendoprothesen.	86
--	----

7 Bildverzeichnis

Bild 1: Vergrößerung des Hebelarmes für den Delta-Muskel durch Distalisierung und Medialisierung des Rotationszentrums. Quelle: AE-Manual Endoprothetik, Kap. Technische Konzepte der Implantate (Hrsg.: Loew 2010)]	6
Bild 2: A) normalerweise an der Schulterbeweglichkeit beteiligte Anteile des M. deltoideus; B) Biomechanik der inversen Prothese: Rekrutierung zusätzlicher anteriorer und posteriorer Fasern des M. deltoideus für die Beweglichkeit im Schultergelenk. [Quelle: Grammont reverse prosthesis: Design, rationale and biomechanics. (Boileau et al. 2005)].....	6
Bild 3: Klassifikation der Glenoiderosion nach Sirveaux et al. (2004) [Quelle: Grammont inverted total shoulder arthroplasty in the treatment of glenohumeral osteoarthritis with massive rupture of the cuff (Sirveaux et al. 2004)]	9
Bild 4: Neer-Klassifikation der proximalen Humerusfraktur [Quelle: AE Manual Endoprothetik, Kap. Spezielle Indikationen (Hrsg.: Loew 2010)]	12
Bild 5: Radiologische Klassifikation nach Sirveaux et al. (2004) [Quelle: Grammont inverted total shoulder arthroplasty in the treatment of glenohumeral osteoarthritis with massive rupture of the cuff (Sirveaux et al. 2004)].....	17
Bild 6: Technische Stellgrößen inverser Prothesen zur Vermeidung des infraglenoidalen <i>notching</i> . [Quelle: Prosthetic overhang is the most effective way to prevent scapular conflict in a reverse shoulder arthroplasty. (De Wilde et al. 2010)]	18
Bild 7: Verteilung der Altersstufen im Patientenkollektiv zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.....	20
Bild 8: Verteilung des Patientenkollektivs ($N = 99$) auf die unterschiedlichen Follow-Up-Intervalle.....	20
Bild 9: Flussdiagramm zur Rekrutierung des Patientenkollektivs.	21
Bild 10: graphische Darstellung der radiologischen Untersuchungsgrößen.	33
Bild 11: Streudiagramme der jeweiligen Gesamtpunktzahlen für den ASES- bzw. Constant-Score.....	37
Bild 12: Verteilung der Punktwerte für den präoperativen Constant-Score.	39
Bild 13: Verteilung der Punktwerte für den Constant-Score zum Zeitpunkt des Follow-Up..	40
Bild 14: Verteilung der erhobenen Punktwerte für den ASES-Score.	40

Bild 15: Constant-Score präoperativ und zum Zeitpunkt des Follow-Up.....	42
Bild 16: Constant-Score für den Subparameter „Schmerz“.	43
Bild 17: CM-Score für den Subparameter „Beweglichkeit“.....	44
Bild 18: Bewegungsausmaß der Schulter (<i>Abduktion</i>) präoperativ und zum Zeitpunkt des Follow-Up im Vergleich.	45
Bild 19: Bewegungsausmaß der Schulter (<i>Elevation</i>) präoperativ und zum Zeitpunkt des Follow-Up im Vergleich.	45
Bild 20: Altersadjustierter Constant-Score	46
Bild 21: Gesamt-Punktzahlen für den ASES-/ CM-Score zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (Follow-Up) im Vergleich der Altersgruppen.....	48
Bild 22: Ergebnisse im CM-Score bei Vorliegen einer Defektarthropathie als Hauptindikation zur Prothesenimplantation.....	50
Bild 23: Gesamt-Punktzahlen für den ASES-/ Constant-Score in Abhängigkeit von der zugrundeliegenden Hauptdiagnose.	50
Bild 24: Ergebnisse im CM-Score bei Vorliegen einer Humerusfraktur als Hauptindikation zur Prothesenimplantation.....	51
Bild 25: Ergebnisse im CM-Score bei Implantation einer inversen Schulterendoprothese als Revisionsimplantat.	51
Bild 26: Ergebnisse im CM-/ ASES-Score in Abhängigkeit vom Follow-Up-Intervall.....	53
Bild 27: Gesamt-Punktzahlen für den ASES-/ CM-Score im Vergleich zwischen den einzelnen im Patientenkollektiv verwendeten Prothesenmodellen.	55
Bild 28: Gesamt-Punktzahlen für den ASES-/ CM-Score zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (Follow-Up) im Geschlechtervergleich.....	56
Bild 29: Prozentuale Verteilung der „Dominanz“ im Patientenkollektiv.	58
Bild 30: Gesamt-Punktzahlen für den ASES-/ CM-Score zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (Follow-Up) im Vergleich zwischen den Gruppen „Prothese am dominanten oder nicht-dominanten Arm“.....	58
Bild 31: prozentuale Verteilung der individuellen Patienteneinschätzung bezüglich der gegenwärtigen Zufriedenheit mit dem OP-Ergebnis bzw. der Schulterfunktion.	59
Bild 32: Mittelwertsvergleich der erzielten Punkte in den Schulterfunktionsscores in Abhängigkeit von der Inzidenz des <i>scapular notching</i> in der Klassifikation nach Sirveaux et al. (2004).	63

Bild 33: präoperative Aufnahme, Defektarthropathie.....	64
Bild 34: postoperative Aufnahme (unmittelbar nach Implantation).	64
Bild 35: Aufnahme im Verlauf (35 Monate postoperativ).....	65
Bild 36: Aufnahme im Verlauf (8 Monate postoperativ).....	65
Bild 37: Aufnahme im Verlauf (95 Monate postoperativ);.....	66
Bild 38: präoperative Aufnahme, vor Implantation einer Kappenprothese.	67
Bild 39: postoperative Aufnahme.	67
Bild 40: Aufnahme im Verlauf (6 Monate postoperativ);.....	68
Bild 41: postoperative Aufnahme, Revision zu inverser Prothese.....	68
Bild 42: Aufnahme im Verlauf (43 Monate postoperativ);.....	69
Bild 43: Verteilung des Patientenkollektivs auf die Schweregrade nach Hamada et al.	71
Bild 44: Verteilung des Patientenkollektivs auf die Schweregrade nach Seebauer et al.	74
Bild 45: Einteilung des Patientenkollektivs anhand der Klassifikation von Sirveaux et al.	77
Bild 46: graphische Darstellung der Veränderungen in der AHD (Angabe auf der Y-Achse in mm).	81
Bild 47: graphische Darstellung der Veränderungen im LGHO (Angabe auf der Y-Achse in mm).	83

8 Zusammenfassung

Hintergrund: Im Mittelpunkt stehen die Untersuchung der funktionellen Ergebnisse in der Schulterbeweglichkeit und die Präsentation der klinischen Erfahrungen sowie therapeutischen Effekte der Implantation einer inversen Schulterendoprothese. Damit versucht die vorliegende Arbeit einen Beitrag zur Evaluation dieses Prothesentyps zu leisten und die Ergebnisse des vorliegenden Patientenkollektivs, unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Forschungsstandes, vergleichend zu diskutieren.

Methodik: In dieser retrospektiven Studie werden Patienten des Johanna-Etienne-Krankenhauses (Neuss) berücksichtigt, die in den Jahren 2002 bis 2010 mit einer inversen Prothese versorgt wurden. Im Fokus stehen objektivierbare funktionelle Ergebnisse und die individuelle Patientenzufriedenheit mit der Behandlung. Darüber hinaus werden Unterschiede der postoperativen Schulterbeweglichkeit in Abhängigkeit verschiedener Faktoren wie z. B. die zugrunde liegende Indikation zur Endoprothetik, das Patientenalter oder der Einfluss ungelöster Probleme wie das *scapular notching* untersucht.

Ergebnisse: Der Constant-Score verbesserte sich im Durchschnitt von präoperativ 25.19 ± 11.73 Punkte auf 40.49 ± 14.91 Punkte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Besonders hervorzuheben ist an dieser Stelle der Subparameter „Schmerz“, der innerhalb des Constant-Scores eine wichtige Größe darstellt und von präoperativ 4.80 ± 2.35 Punkte auf 11.03 ± 3.82 Punkte anstieg ($p < 0.01$, $d = 1.88$). Die Gesamtpunktzahl für den ASES-Score zum Nachuntersuchungszeitpunkt wurde im gesamten Patientenkollektiv mit durchschnittlich 53.27 ± 20.34 Punkten erhoben. 93% der befragten Patienten äußerten sich als *zufrieden* oder *sehr zufrieden* mit dem Ergebnis der Prothesenimplantation. Bezüglich der radiologischen Komplikation des „*scapular notching*“ liefern die Ergebnisse des vorliegenden Patientenkollektivs keinen Hinweis auf eine Beeinflussung der klinischen Schulterfunktion durch diese radiologisch detektierbare Komplikation.

Schlussfolgerung: Der funktionelle Nutzen einer inversen Prothesenimplantation zur Behandlung destruierender Schultererkrankungen erweist sich als robust und liefert auch für hochgradige Pathologien zufriedenstellende Ergebnisse. Vor allem aber scheint die effektive subjektive Schmerzreduktion im Vergleich zum präoperativen Status die individuelle Patientenzufriedenheit mit der Prothesenimplantation maßgeblich zu beeinflussen.

9 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen Medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

Neuss, den 05.11.2015

Patrick Joseph

10 Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Dr. h.c. Jörg Jerosch danke ich für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit zur selbstständigen Durchführung der Untersuchungen in der Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Sportmedizin des Johanna-Etienne-Krankenhaus in Neuss. Außerdem danke ich Monika Stickelbruck für die Unterstützung bei der Archivarbeit und Terminierung der Nachuntersuchungen.

Bei Herrn Prof. Dr. med. Timm J. Filler bedanke ich mich für die unkomplizierte Betreuung und die Übernahme der Erstgutachtertätigkeit.

Für die Übernahme des Zweitgutachtens danke ich Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Thilo Patzer.

Ein besonderer Dank gilt Dr. rer. nat. Dr. med. Martin Ostapczuk für die vielen Hinweise zum wissenschaftlichen Arbeiten, die Begeisterung für statistische Auswertungen sowie die Motivation zur Fertigstellung dieser Arbeit. Zudem danke ich für das Korrekturlesen und die Verbesserungsvorschläge, ein Dank gilt diesbezüglich auch Robin Joseph.

Meinen Eltern und Geschwistern, denen ich diese Arbeit widmen möchte, und nicht zuletzt meiner Frau Laura gebührt größter Dank für die fortwährende Unterstützung und Hilfsbereitschaft während des Studiums und in allen Lebenslagen. Ohne euch wäre nichts von all dem möglich gewesen.