

Aus der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus

Lehrstuhl für Orthopädie der Universität Würzburg

Direktor: Prof. Dr. med. M. Rudert

Zweizeitige Implantation reverser Schulterendoprothesen bei Infektionen des Glenohumeralgelenks

- Diagnostik und Ergebnisse -

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Laura Elisa Streck

aus Oberkirch

Würzburg, August 2020

Referent: Univ.-Prof. Dr. med. Maximilian Rudert
Korreferent: apl. Prof. Dr. rer. nat. Dr. med. Christoph Schoen
Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 21.01.2021

Die Promovendin ist Ärztin.

Anmerkung

Die vorliegende Arbeit wurde in der männlichen Sprachform geschrieben. Dies geschah aus Gründen der besseren Lesbarkeit. Es sollen sich jedoch alle Geschlechter gleichermaßen angesprochen fühlen.

Nicht zuletzt liegt dem auch die Hoffnung zu Grunde, dass sprachlichen Floskeln zukünftig keine derartige Bedeutung mehr beigemessen werden muss, weil die Gleichstellung der Geschlechter der alltäglichen Realität entspricht.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund der vorliegenden Arbeit	1
1.2	Anatomische Besonderheiten des Schultergelenks	1
1.3	Instabilität und Defektarthropathie	3
1.4	Geschichte der Schulterendoprothetik	5
1.4.1	Entwicklung anatomischer Schulterendoprothesen	5
1.4.2	Limitationen der anatomischen Schulterendoprothese	6
1.4.3	Die reverse Schulterendoprothese	10
1.5	Komplikationen der Schulterendoprothetik und Herausforderungen bei reversen Prothesen	15
1.5.1	Lockerung und Dislokation von Prothesenkomponenten	15
1.5.2	Glenoidale Verankerung bei reversen Prothesen.....	16
1.5.3	Instabilität der Prothese	18
1.5.4	Periprothetische Frakturen.....	19
1.5.5	Notching	21
1.5.6	Nervenschädigung	22
1.6	Die Periprothetische Infektion	23
1.6.1	Relevanz	23
1.6.2	Risikofaktoren	24
1.6.3	Einteilung und Symptomatik	26
1.6.4	Definition der periprothetischen Infektion	28
1.6.5	Diagnostik	32
1.6.6	Erregerspektrum	38
1.6.7	Therapie	40
1.7	Primär- und Sekundärinfektionen	44
1.8	Ziel der Arbeit	46
2	Material und Methoden	49
2.1	Studiendesign	49
2.1.1	Genehmigung	49
2.1.2	Studienmerkmale	49
2.1.3	Patientenauswahl.....	49
2.1.4	Datenerhebung	50
2.2	Durchgeführte Diagnostik	52
2.2.1	Punktion des Schultergelenks.....	52
2.2.2	Intraoperative Probengewinnung	52

2.2.3	Mikrobiologische Untersuchung.....	52
2.2.4	Histologische Diagnostik.....	54
2.2.5	Diagnosescores	55
2.3	Chirurgische Versorgung.....	56
2.3.1	Operative Versorgung mit zweizeitigem Wechsel	56
2.3.2	Implantierte Prothesen.....	61
2.3.3	Postoperative Nachbehandlung.....	62
2.4	Klinisch- radiologische Nachuntersuchung.....	62
2.4.1	Überleben.....	62
2.4.2	Erfassung objektiver klinischer Daten.....	62
2.4.3	Erfassung von Daten mit subjektiver Komponente	63
2.4.4	Bildgebung	65
2.5	Statistische Methoden	67
2.5.1	Software	67
2.5.2	Test auf Normalverteilung.....	68
2.5.3	Test auf ungleiche Varianzen	70
2.5.4	T-Test für nicht-gepaarte Stichproben	71
2.5.5	T-Test für gepaarte Stichproben.....	71
2.5.6	Wilcoxon-Test	72
2.5.7	Mann-Whitney-U-Test.....	72
2.5.8	Chi ² -Test	72
2.5.9	Exakter Fisher-Test.....	72
2.5.10	Korrelationsanalyse	73
3	Ergebnisse.....	75
3.1	Patientenkollektiv und Demographie.....	75
3.1.1	Indexoperation	75
3.1.2	Patientenalter	76
3.1.3	Risikofaktoren	76
3.1.4	Ablauf therapeutischer Schritte.....	80
3.2	Diagnostik.....	82
3.2.1	Entzündungsparameter im peripheren Blut	82
3.2.2	Synoviaanalyse	85
3.2.3	Mikrobiologische Untersuchung.....	87
3.2.4	Morawietz-Klassifikation	93
3.2.5	Diagnosescores	94
3.3	Bildgebung.....	99
3.3.1	Notching.....	99

3.3.2 Radiolucent-Lines	100
3.3.3 Komponentendislokation.....	101
3.4 Klinische Nachuntersuchung	102
3.4.1 Schmerzen.....	102
3.4.2 Beweglichkeit.....	102
3.4.3 Kraft.....	105
3.4.4 Constant Score	105
3.4.5 QuickDASH.....	106
3.4.6 Zusammenhänge von funktionellen Ergebnissen, Risikofaktoren und Diagnosescores	107
3.5 Überleben und Komplikationen	108
3.5.1 Überleben.....	108
3.5.2 Komplikationen	109
4 Diskussion.....	111
4.1 Diagnostik.....	111
4.1.1 Schulterspezifisches Keimspektrum	111
4.1.2 Präoperative Punktion.....	111
4.1.3 Punktion bei einliegendem Spacer	113
4.1.4 Mischinfektionen und Kontaminationen	114
4.1.5 Laborparameter	115
4.1.6 Histologie	116
4.1.7 Diagnosekriterien	117
4.1.8 Diagnostik bei Primärinfektionen	118
4.1.9 Diagnostik bei Sekundärinfektionen	120
4.2 Postoperative Ergebnisse	120
4.2.1 Infektionseradikation	120
4.2.2 Infektionsfreies Überleben	121
4.2.3 Klinische Ergebnisse.....	122
4.2.4 Vergleich verschiedener Therapieoptionen	124
4.2.5 Einschluss von Patienten mit Primär- und Sekundärinfektion	129
5 Zusammenfassung	132
6 Literatur	134
7 Appendix	I

1 Einleitung

1.1 Hintergrund der vorliegenden Arbeit

Infektionen des Schultergelenks – unabhängig davon, ob ohne vorausgehende Operation, bei bereits einliegender Prothese oder nach Operationen wie bspw. Osteosynthesen – stellen ein Krankheitsbild mit hoher Morbidität und Mortalität dar. Die klinische Präsentation ist dabei äußerst vielfältig und auch unter voller Ausschöpfung diagnostischer Methoden sind häufig weder die abschließende Diagnosestellung noch der Ausschluss einer Infektion sicher möglich. Dennoch müssen rasche Therapieentscheidungen getroffen werden, um potenziell lebensbedrohliche Verläufe zu verhindern. Die Therapieoptionen sind dabei mannigfaltig und werden kontrovers diskutiert. Bei insgesamt niedrigen Fallzahlen und damit einhergehend eingeschränkter Datenlage basiert das Vorgehen bei Schultergelenksinfektionen häufig auf Erfahrungen aus der Hüft- und Kniechirurgie. Das Schultergelenk weist jedoch aus (patho-) anatomischer wie auch infektiologischer Sicht zahlreiche Besonderheiten auf, welche die Notwendigkeit einer spezifischen Anpassung von Diagnose- und Therapiealgorithmen nahelegen.

1.2 Anatomische Besonderheiten des Schultergelenks

Das Schultergelenk, korrekt bezeichnet als *Articulatio humeri*, zwischen Humeruskopf und *Cavitas glenoidalis* (Glenoid) ist ein Kugelgelenk und das beweglichste Gelenk des menschlichen Körpers. Dies wird durch einige biomechanische Besonderheiten erreicht: Zum einen ist die Oberfläche des Glenoids 3- bis 4-mal kleiner als die des Humeruskopfes, zum anderen wird der Bewegungsumfang durch Mitbewegung des Schultergürtels mit Sternoclavicular- und Acromioclaviculargelenk noch erweitert. Gleichzeitig ist das Glenohumeralgelenk auch das Gelenk mit der geringsten Bandhemmung [10,103]. So wird, gemessen nach Neutral-Null-Methode (NNM), ein physiologischer Bewegungsumfang von 180-0-40° für Abduktion/Adduktion um die Sagittalachse, 170-0-40° Ante-/Retroversion um die Transversalachse und 90-0-100° Außen-/Innenrotation um die Longitudinalachse erreicht.

Mehrere Strukturen wirken stabilisierend auf das Schultergelenk: Das superiore glenohumerale Ligament (SGHL) verläuft vom oberen Pfannenrand zum Oberrand der Subscapularissehne und zum Eingang des *Sulcus intertubercularis*, wo es auch die lange Bicepssehne stabilisiert [87]. Gemeinsam mit dem coracohumeralen Ligament verhindert es in Flexions- und Abduktionsstellung die dorsale Translation des Humeruskopfes. Das mediale glenohumerale Ligament (MGHL) begrenzt in mittlerer Abduktionsstellung die vordere Translation. Das inferiore glenohumerale Ligament (IGHL) besteht aus zwei Anteilen. Der anteriore Teil (AIGHL) stellt eine Fortsetzung des anterioinferioren Labrums dar und limitiert die ventrale Luxation, insbesondere bei Wurfbewegungen. Der posteriore Anteil (PIGHL) stabilisiert dorsal bei Adduktions-/ Innenrotationsbewegungen. Gemeinsam begrenzen sie die inferiore Translation des Humeruskopfes [67]. Auch das *Labrum glenoidale* selbst und der in der Gelenkkapsel herrschende negative Druck, welcher durch die Differenz der Radien von Glenoid und Labrum einerseits sowie Humeruskopf andererseits entsteht, wirken stabilisierend auf das Glenohumeralgelenk [103].

Besondere Bedeutung, sowohl für Stabilität als auch Funktionalität der Schulter, kommt den Muskeln der Rotatorenmanschette (RM) zu. Zur RM zählen der *M. supraspinatus* (SSP), welcher primär die Abduktion initiiert, der *M. infraspinatus* (ISP) als starker Außenrotator, der *M. subscapularis* (SSC) als wichtigster Innenrotator und der *M. teres minor* (TMI), welcher adduziert und außenrotiert. In der Frontalebene bilden der SSP und der *M. deltoideus* (DEL) als Elevatoren mit den kaudalen Rotatoren als Depressoren stabilisierende Gegenspieler. In der Horizontalebene stehen sich der SSC auf ventralseitig sowie ISP und TMI dorsalseitig gegenüber. Bei Anspannung der gesamten Muskulatur wird das Glenohumeralgelenk somit in kraniokaudaler und ventrodorsaler Richtung stabilisiert [103]. Die Sehnen der RM verstärken zudem allesamt die Gelenkkapsel. Sie gewährleisten so eine variable Spannung der kapsuloligamentären Strukturen und sorgen bei Kontraktion für eine Kompression der Gelenkflächen. So werden durch aktive und passive Mechanismen übermäßige Translationsbewegungen des Humerus eingeschränkt. Auch der *M. biceps brachii*, insbesondere dessen lange Sehne,

kann abhängig von der Position des Armes dazu beitragen, die Translation in anteriorer bzw. posteriorer Richtung limitieren [131].

1.3 Instabilität und Defektarthropathie

Bei dem komplexen anatomischen Zusammenspiel des Schultergelenks ist es nicht verwunderlich, dass Defekte der Muskeln bzw. ihrer Sehnen zu gravierenden Problemen führen können. Der DEL bewirkt bei der Abduktionsbewegung eine Kranialisierung des Humeruskopfes, welche durch die Muskeln der RM kompensiert wird. Bei ausgeprägten Schädigungen der RM kommt es zu Dysbalancen und schließlich zum Erkrankungsbild der Defektarthropathie. Die entsprechende Stadieneinteilung erfolgt nach Hamada und ist in *Abbildung 2* dargestellt [68]. Eine Störung des Kräftegleichgewichts führt zur zunehmenden Instabilität des Glenohumeralgelenks. Es kommt zum Verlust der Zentrierung des Humeruskopfes mit progredienter anterosuperiorer Migration desselben. Aktive und passive Beweglichkeit nehmen ab, der Verschleiß und Verlust des Gelenkknorpels nehmen zu. Mit der Zeit entsteht eine Acetabularisierung des Acromions (siehe *Abbildung 1*). Das Krankheitsbild kann bis zur vollständigen Luxation des Glenohumeralgelenks fortschreiten. Im finalen Stadium kommt es zum Aufbruch der Glenoidfläche und zum Kollaps des Humeruskopfes [67,138]. Über diese Mechanismen kann insbesondere mit zunehmendem Alter als Folge eines massiven RM-Schadens eine schmerzhafteste Pseudoparalyse der Schulter auftreten, welche eine massive Einschränkung der Lebensqualität bedeutet [67,66,138].



Abbildung 1: Röntgen rechte Schulter a.-p. Es zeigt sich das Bild einer Defektarthropathie mit Humeruskopfhochstand, Deformierung des Humeruskopfes und Acetabularisierung des Acromions. Copyright: Orthopädische Klinik König-Ludwig-Haus.

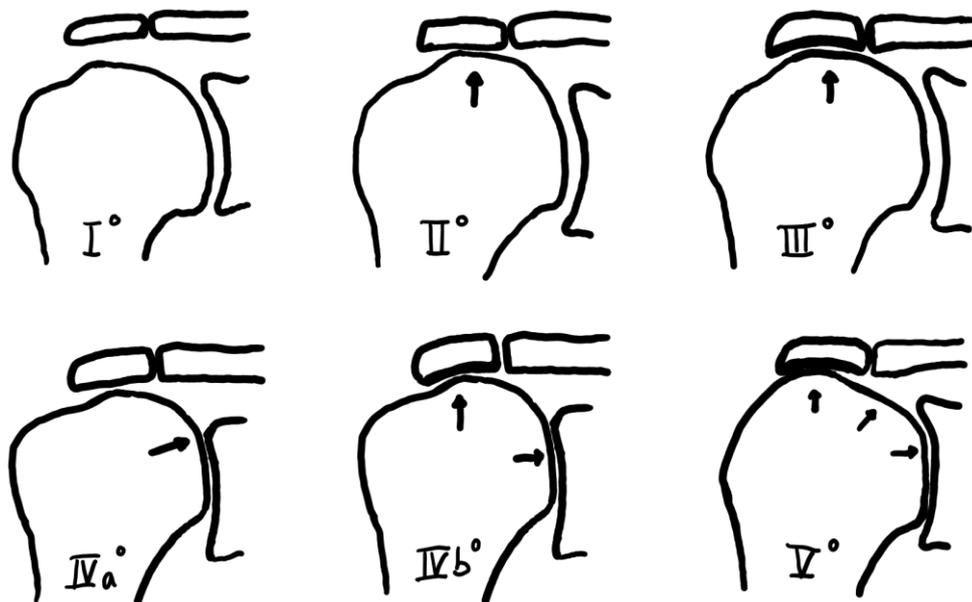


Abbildung 2: Einteilung der Defektarthropathie nach Hamada. I° Akromiohumerales Intervall (AHI) $\geq 6\text{mm}$, II° AHI $\leq 5\text{mm}$, III° zusätzlich Acetabularisierung, IV°a Glenohumeralarthrose ohne Acetabularisierung, IV°b Glenohumeralarthrose und Acetabularisierung, V° Kollaps des Humeruskopfes.

1.4 Geschichte der Schulterendoprothetik

1.4.1 Entwicklung anatomischer Schulterendoprothesen

Als Ende des 19. Jahrhunderts erste Chirurgen begannen, sich mit der Möglichkeit eines künstlichen Gelenkersatzes zu beschäftigen, war die Indikation meist Knochentuberkulose. Diese betraf auch das Kniegelenk einer 17-jährigen Patienten, der der deutsche Arzt Themistocles Gluck 1890 die erste beschriebene Endoprothese – hergestellt aus Elfenbein - implantierte.

Drei Jahre später sah sich der französische Chirurg Jules-Émile Péan dem Bäcker Jules Pedoux gegenüber, der trotz einer schwerwiegenden Infektion seiner Schulter eine Amputation seines Armes ablehnte. Der Zahnarzt J. Porter Michaels entwickelte daraufhin eine Konstruktion bestehend aus einem Hartgummiball, welcher von zwei Platinringen umgriffen wurden, von denen einer mit der *Fossa glenoidalis* verbunden wurde, während der andere die Verbindung zu einem Platinschaft im Humerus darstellte. Nachdem Péan ein gründliches Débridement vorgenommen hatte wurde schließlich einige Tage später, am 11. März 1893, erstmals eine Schulterprothese implantiert. Zunächst erholte sich der Patient rasch, der Erfolg währte allerdings nur zwei Jahre, dann musste Péan das Material auf Grund einer erneuten eitrigen Entzündung entfernen [174].

Noch lange Zeit danach blieb die Schulterendoprothetik auf Einzelfälle beschränkt, bei denen mit zahlreichen Materialien experimentiert wurde. In den 1950er Jahren wurden verschiedenste Modelle entwickelt, von denen allerdings nur ein Humerusersatz aus Vitallium von Charles Neer sich bis zur seriellen Herstellung durchsetzen konnte [103,119]. 1970 entwarf Mathys eine Prothese aus Polyazetalharz, die zwar bis in die 1990er Jahre verwendet wurde, allerdings wegen fehlender Refixationsmöglichkeiten der RM nur unzufriedenstellende funktionelle Resultate brachte. Neer erkannte schließlich die entscheidende Bedeutung der RM und der anatomischen Rekonstruktion für Funktion und Stabilität von Prothese und Schultergelenk. Er war es auch, der die Indikationen für einen Schultergelenkersatz um die Omarthrose erweiterte [120]. Das Neer-II-Modell von 1973 mit einer Monoblockprothese des Humerus und einer optionalen Glenoidkomponente aus PE war lange Zeit der am häufigsten

verwendete Ersatz des Schultergelenks [103]. Darauf aufbauend wurde die zweite Generation der Schulterprothesen entwickelt, die durch modularen Aufbau mit verschiedenen kombinierbaren Schaft- und Kopfgrößen mehr Spielraum bot und Revisionseingriffe mit isoliertem Austausch einzelner Komponenten ermöglichte [103].

Auch die ersten modularen Modelle konnten allerdings nach Implantation keine zufriedenstellende Motilität herstellen. Mit dem Ziel, eine Prothese zu entwickeln, welche bessere funktionelle Resultate liefert, wurden unter Walch und Boileau seit den 1980er Jahren Kadaverstudien zum besseren anatomischen Verständnis durchgeführt. Die Arbeit mündete schließlich Ende der 1990er Jahre in der Entwicklung der Aequalis® Prothese (Tornier/ Wright N. V., Staines-upon-Thames, UK), einer modularen Schulterendoprothese, bei der der Inklinationswinkel und die Position des Kopfes auf dem Schaft variabel sind. So wurde es möglich, die Prothese an die gegebene Anatomie des Patienten anzupassen und nicht umgekehrt [177].

Inzwischen sind zahlreiche Möglichkeiten von zahlreichen Herstellern für den Schultergelenkersatz verfügbar. Neben bipolaren Humeruskopfprothesen gibt es Varianten mit dreidimensional einstellbarer Inklination und Reklination. Die Möglichkeit zum reinen Oberflächenersatz ist ebenso vorhanden wie spezielle Trauma- und Tumorprothesen.

1.4.2 Limitationen der anatomischen Schulterendoprothese

Für die Funktionalität einer anatomischen Prothese ist eine intakte Rotatorenmanschette unerlässlich. Ist dies nicht gegeben, besteht neben funktionellen Einschränkungen auch ein erhebliches Risiko für die Lockerung oder gar Dislokation der Prothese. Neben bereits initial vorliegenden Schäden kann es auch bei primär intakter RM im Verlauf durch Traumata oder degenerative Prozesse zu Schädigungen der RM kommen.

Defekte der Rotatorenmanschette bedingen verschiedene Komplikationen. Eine zentrale Problematik besteht in Lockerungen der Glenoidkomponente. So werden für anatomische Prothesen Lockerungsraten von bis zu 45 % nach 10 Jahren und 65 % nach 15 Jahren beschrieben [187].

Bei unbalancierten RM-Defekten kommt es zur exzentrischen Krafteinwirkung auf die Glenoidkomponente und zu vermehrten Translationsbewegungen in der Frontalebene. Es entsteht ein Mechanismus, welcher von Franklin et al. als *Rocking-Horse-Phänomen* beschrieben wurde und mit der Zeit zur Lockerung der Glenoidkomponente führt [49]. Siehe *Abbildung 3*.

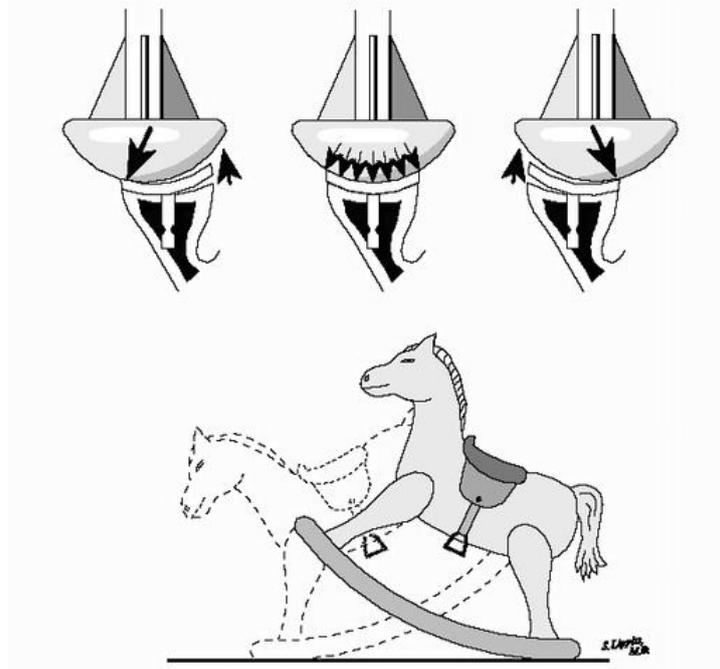


Abbildung 3: Mechanismus des Rocking-Horse Phänomens. Lockerung der Glenoidkomponente über exzentrische Krafteinwirkung und vermehrte Translationsbewegungen in der Frontalebene. Abbildung modifiziert nach Familiari, Rojas et al. S. 63 [41]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.

Neben der Funktion der Rotatorenmanschette spielt auch die primäre Form des knöchernen Glenoids eine wichtige Rolle. Walch beschrieb verschiedene Glenoidtypen bei primärer Glenohumeralarthrose [176]. Diese sind in *Abbildung 4* dargestellt. Insbesondere bei Typ B und C Glenoiden, welche mit einer posterioren Subluxation des Kopfes einhergehen, besteht die Gefahr, dass bei Prothesenimplantation keine adäquate Repositionierung von Kopf und Pfanne zueinander erfolgen kann. In diesen Fällen kann sich analog zum oben beschriebenen *Rocking-Horse-Effekt* in der Frontalebene ein *Rocking-Horse-Effekt*

in der Horizontalebene entwickeln. Siehe hierzu auch *Abbildung 5*. Dies kann ebenfalls zur Glenoidlockerung führen [176].

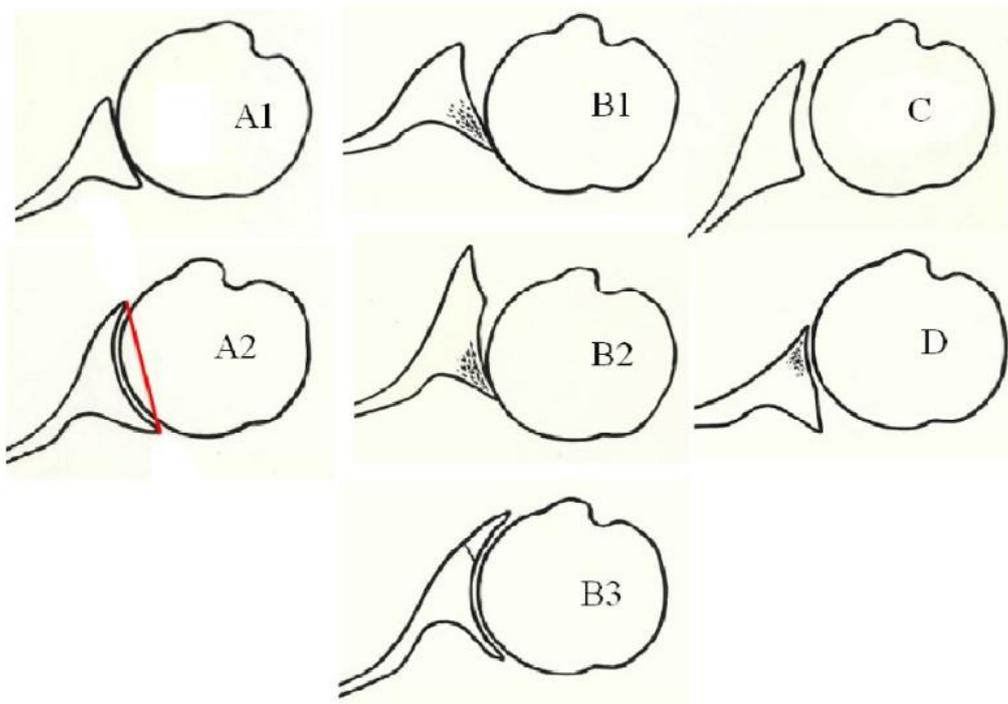


Abbildung 4: Klassifikation der Glenoidtypen modifiziert nach Walch. A: Zentrierter Humeruskopf mit zentraler Erosion. Die Verbindungslinie von anteriorer zu posteriorer Glenoidkante schneidet (nicht) den Humeruskopf (A1 bzw. A2). B: Posteriore Subluxation des Kopfes mit Verengung des posterioren Gelenkspalts und Osteophyten (B1) bzw. bikonkaver Form mit starker Retroversion (B2) bzw. monokonkav mit $> 15^\circ$ Retroversion und $> 70^\circ$ posteriorer Subluxation des Kopfes (B3). C: Retroversion $\geq 25^\circ$ im Rahmen einer Dysplasie. D: Anteriore Erosion bzw. (Sub-)Luxation des Kopfes nach anterior. Abbildung aus Bercik et al. S. 2 [11]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.

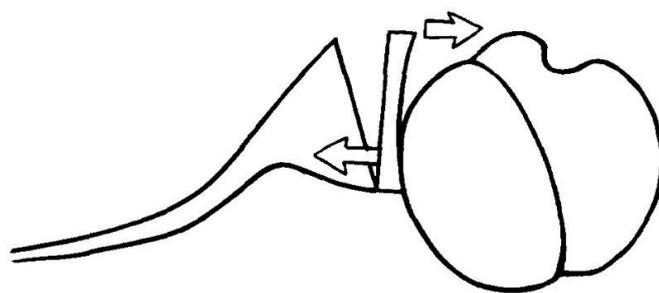


Abbildung 5: Mechanismus der Glenoidlockerung durch den Rocking-Horse-Effekt in der Horizontalebene bei dezentraler Positionierung des Humeruskopfes. Abbildung aus Familiari et al. [176]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.

Eine fehlerhafte Positionierung der Glenoidkomponente spielt wiederum auch für die Entwicklung bzw. Aggravation von Rotatorenmanschettenläsionen bei

einliegender Prothese und konsekutiver Entwicklung eines Humeruskopfhochstandes eine Rolle. Hughes et al. gehen davon aus, dass bei vermehrter Pfanneninklination verstärkt kraniale Zugkräfte auf den Humerus wirken und gleichzeitig eine vermehrte Kompression des SSP im Subacromialraum entsteht. Über eine entsprechende Schädigung der RM käme es so zur weiteren Verstärkung eines Humeruskopfhochstandes [79]. Eine biomechanische Arbeit von Wong et al. bestätigte, dass es mit zunehmender Pfanneninklination zur leichteren superioren Migration des Humeruskopfes kommt [181]. Auch Flieg et al. konnten am 3D-Modell einen Zusammenhang zwischen vermehrter Inklination und erhöhtem Risiko eines Humeruskopfhochstandes zeigen [45].

Primäre wie sekundäre Defekte der Rotatorenmanschette, die knöcherne Situation des primären Glenoids und die Positionierung bzw. Fixation der Glenoidkomponente beeinflussen sich auf komplexe Weise gegenseitig. So ergeben sich verschiedene Konstellationen, welche die Indikationen zur Implantation anatomischer Schulterendoprothesen limitieren.

Ausgeprägte Asymmetrie des Glenoids und auch eine unzureichende Knochensubstanz können einen limitierenden Faktor für die korrekte Positionierung bzw. die ausreichende Befestigung der Glenoidkomponente darstellen und sind damit ggf. eine Kontraindikation für die Implantation einer anatomischen Prothese [2,103,179]. Ebenso kann eine vorliegende Schädigung der RM, insbesondere bei bereits bestehender Defektarthropathie (siehe *1.3 Instabilität und Defektarthropathie*), eine Kontraindikation für die Implantation einer anatomischen Prothese darstellen. Eine vergleichbare Problematik entsteht auch in Situationen, in denen bei Prothesenimplantation keine ausreichende Refixation der RM erreicht wird. Dies kann bspw. dann der Fall sein, wenn nach Drei- oder Vier-Fragment-Frakturen des proximalen Humerus mit gleichzeitig schlechter Knochenqualität die Tubercula nicht adäquat einheilen [2,103].

Hemiprothesen vermeiden zwar Komplikationen, welche die Verankerung und Positionierung der Glenoidkomponente betreffen, allerdings werden bereits im mittleren postoperativen Verlauf Glenoiderosionen mit erheblichen

Substanzverlusten und eingeschränkter Funktionalität der Prothese beschrieben. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn eine suboptimale Positionierung der Prothese mit entsprechend asymmetrischer Belastung besteht [44,57].

Es gibt somit einige Situationen, bei denen zwar ein Gelenkersatz indiziert ist, anatomische- und Hemiprothesen aber keine suffiziente Versorgung bieten können. In solchen Fällen ist die Implantation einer reversen Schulterendoprothese häufig die Therapie der Wahl.

1.4.3 Die reverse Schulterendoprothese

1.4.3.1 Entwicklung, Aufbau und Funktionsweise

„The patient who has lost a function doesn't care about the design of the prosthesis that will be implanted but only about its effectiveness in restoring the lost function. It is useless to search for an anatomic solution, as this very anatomic system led to failure.“

(Paul Grammont) [6]

Vor dem Hintergrund dieses Gedankens entwickelte Grammont 1980 die *Ovoide* Prothese (Medinov[®], Roanne, Frankreich). Diese entsprach zwar noch einer anatomischen Bauweise, eine Medialisierung des Drehzentrums sorgte jedoch dafür, dass der Hebelarm des DEL vergrößert wurde und der Muskel auf diese Weise - als Kompensation für den defekten SSP – verbesserte Abduktionseigenschaften besaß. Gleichzeitig hatte der DEL nun weniger kranialisierenden Effekt auf den Humerus selbst. Eine wesentliche Problematik dieses Modells bestand aber in der persistierenden Instabilität [6]. Vor allem um die Fixation der Glenoidkomponente an der Scapula zu erleichtern, entstanden in den 1970er Jahren auch Modelle, bei denen das Prinzip von Kopf und Pfanne topographisch umgekehrt wurde. Eines der ersten war 1971 die reverse Prothese von Kölbl und Friebold, die Motilität der Schulter war hier allerdings stark limitiert [91,103]. Eine 1973 von Kessel vorgestellte Prothese erbrachte ebenfalls nur mäßige funktionelle Ergebnisse, zudem kam es gehäuft zu Komponentenlockerungen [103,184]. Auch andere (teil-) gekoppelte Prothesen, die in den 1970er Jahren zunehmend entwickelt wurden, lieferten bei einer hohen

Rate aseptischer Lockerungen und mechanischer Komplikationen keine zufriedenstellenden Ergebnisse [56].

Grammont kombinierte schließlich beide Ansätze – reverser Aufbau und Medialisierung des Drehzentrums. Als erste Version erschien 1985 die *Trompette* Prothese (Medinov®, Roanne, Frankreich). Dieses Design bewirkte allerdings gleichzeitig eine Kranialisierung des Drehzentrums, was dem Effekt der Medialisierung entgegenstand. Nach verschiedenen Verbesserungen entstand 1991 die modulare *Delta-III* Prothese (zunächst Medinov, später DePuy, Raynham, Massachusetts, USA) [6]. Die Prothese ist in *Abbildung 6* gezeigt.

Ihr Aufbau stellt bis heute das Grundprinzip der verfügbaren Implantate dar. Er besteht aus:

1. Einer glenoidseitigen Basisplatte (Metaglène), welche über einen Kiel und vier Schrauben zementfrei verankert wird.
2. Einer Glenosphäre aus Chrom-Cobalt.
3. Einem humeralseitigen PE-Inlay, verfügbar in verschiedenen Höhen und Durchmessern.
4. Einem Schaft in verschiedenen Längen sowie Ausführungen für zementierte oder zementfreie Implantation.
5. Einem humeralen Halsteil (Metaphyse), das auf den Schaft aufgeschraubt wird und eine Finne zur Rotationskontrolle und Refixation der Tubercula enthält [66].



Abbildung 6: Delta-III Prothese (Medinov®, Roanne, Frankreich). Abbildung aus Boileau et al. [18]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.

Basierend auf diesem Grundprinzip gibt es heute zahlreiche Abwandlungen von Gleitpaarungen, Fixationsmöglichkeiten und Komponentendesigns wie Kombinationen aus PE-Glenoid und Keramik-Inlay [142]. Auch schafftfreie Prothesen wie bspw. die *SMR® Stemless* Prothese (LimaCorporate, Udine, Italien) sind verfügbar.

Zusammenfassend wird über den reversen Aufbau durch eine Kaudalisierung des Humerus und den somit vergrößerten acromiohumeralen Abstand die Vorspannung des DEL erhöht und sein Hebelarm vergrößert, was die Funktionalität verbessert. Vor allem die aktive Abduktion kann dadurch deutlich gesteigert werden. Zudem verringert sich das Drehmoment auf die Glenoidkomponente – bei Abduktion kommt es zur verstärkten Kompression und damit zu einer Ausrichtung der Kraftvektoren in Richtung der Verankerung des Glenoids, was die Gefahr der Lockerung dieser Komponente reduzieren soll [103].

1.4.3.2 Indikationen

Insgesamt stellen Defektarthropathie bzw. Pseudoparalyse die häufigsten Indikationen zur Implantation einer reversen Schulterendoprothese (RSA) dar

[66,138,179]. Dementsprechend sind RSA auch dann zu präferieren, wenn die Refixation der Rotatorenmanschette, bspw. nach einer Fraktur mit Abriss der Tubercula, nicht suffizient möglich ist. Gleiches gilt, sofern die Glenoidkomponente nicht suffizient befestigt bzw. nicht in akzeptablem Winkel eingebracht werden kann. [2,103,179]. Ebenso sollte bei einer instabilen Gelenksituation in der Regel die RSA präferiert werden [49,67]. Siehe hierzu auch *1.4.2 Limitationen der anatomischen Schulterendoprothese*.

1.4.3.3 Kontraindikationen

Als Kontraindikation gelten Schädigungen des *N. axillaris* mit Parese des DEL, da diese sowohl die Funktionslosigkeit als auch ein hohes Risiko für eine Instabilität des Implantates zur Folge hätten. Ebenso sollten Faktoren wie Instabilitäten im AC-Gelenk, Muskeldystrophien und funktionelle Insuffizienzen, welche die Stabilität der Scapula beeinträchtigen, mit berücksichtigt werden, da auch hier – abhängig vom Ausmaß der Schädigung – kann die Funktionalität der RSA beeinträchtigt sein [66].

1.4.3.4 Ergebnisse bei Primärimplantation

Wall et al. untersuchten 227 Patienten nach Implantation einer RSA. 93 % gaben an, mit dem Ergebnis zufrieden oder sehr zufrieden zu sein [179]. In einer Übersichtsarbeit von Singhal et al. zeigten sich in allen einbezogenen Studien postoperativ deutliche Verbesserungen im Constant Score im Vergleich zur präoperativen Situation, die Steigerung betrug im Mittel 41 Punkte [162]. Die Ergebnisse nach Implantation einer RSA scheinen dabei in Abhängigkeit von der Ätiologie auf Grund derer die Prothesenimplantation erfolgte, zu variieren [162,179]. Die besten Ergebnisse wurden bei Patienten mit implantierter RSA auf Grund einer Defektarthropathie beschrieben [56]. Favard et al. berichten in einer Arbeit mit 484 Patienten über 90 % (sehr) zufriedene Patienten mehr als 4 Jahre nach RSA-Implantation auf Grund einer Defektarthropathie. Auch hier zeigte sich eine deutliche Verbesserung von Schmerzen, Beweglichkeit und Constant Score [43]. Bei Implantation einer reversen Prothese auf Grund von Glenohumeralarthrose mit massiven RM-Schaden konnten Sirveaux et al. signifikante Verbesserungen für Flexion, Außenrotation und Abduktion zeigen.

Auch die Werte im Constant Score verbesserten sich in der Nachuntersuchung deutlich gegenüber der präoperativen Situation [163]. Bei Defektarthropathien zeigten sich für die RSA auch im Vergleich zur Hemiprothese signifikant bessere Ergebnisse bei vergleichbaren Komplikationsraten [56]. Die Integrität des TMI sowie des DEL scheinen hierbei eine bedeutende Rolle zu spielen [56,163].

1.4.3.5 Wechseloperationen – anatomische auf reverse Prothese

Es gibt verschiedene Gründe, die den Wechsel einer anatomischen Schulterprothese auf eine RSA notwendig machen können. Hierzu zählen fehlgeschlagene Versorgungen mit Hemi- oder Totalendoprothesen. Zu diesen kommt es bspw. bei unzureichender Konsolidierung der Tubercula nach Implantation in einer Fraktursituation oder bei sekundär aufgetretenen RM-Schäden. Weitere Indikationen zur Wechseloperation stellen die Instabilität des Implantats bzw. die Instabilität des Schultergelenks dar [114]. Von 84 Revisionen auf eine reverse Prothese, die von 2000-2005 am König-Ludwig-Haus (KLH) in Würzburg durchgeführt wurden, waren fehlgeschlagene Frakturprothesen mit 40 % die häufigste Indikation, bei 14 Wechseln lag eine fehlgeschlagene prothetische Versorgung bei massivem RM-Defekt vor, 7 Wechsel wurden zweizeitig bei periprothetischer Infektion durchgeführt [55]. Für Wechseloperationen zeigten sich in mehreren Arbeiten im Vergleich zu primär implantierten RSA niedrigere Werte im Constant Score sowie schlechtere Ergebnisse für die Elevation wie auch für die subjektive Patientenzufriedenheit. Verglichen mit der präoperativen Situation konnten jedoch auch hier deutliche Verbesserungen erzielt werden [3,179]. Gohlke et al. beschrieben nach Wechsel von anatomischer auf reverse Prothese eine signifikante Verbesserung der Elevation, so dass diese im Durchschnitt bei 125° lag. 88 % der Patienten waren zudem zufrieden bis sehr zufrieden mit dem Ergebnis [55]. Auch Levy et al. berichten signifikante Verbesserungen von Schmerzen und Funktionalität, so konnte bspw. die Abduktion im Mittel um 35° gesteigert werden [99].

1.5 Komplikationen der Schulterendoprothetik und Herausforderungen bei reversen Prothesen

Zu den Komplikationen, die nach Implantation einer Schulterendoprothese auftreten können, zählen neben den Problemen, die der gesamten Endoprothetik gemein sind, wie Instabilität des Gelenks, Lockerung der Prothese, heterotope Ossifikation oder Nervenschäden, auch schulterpezifische Komplikationen wie scapuläres *Notching* oder acromiale und scapuläre Ermüdungsfrakturen. Insgesamt werden für reverse Prothesen höhere Komplikationsrate als für anatomischen Schulterprothesen beschrieben, diese Zahlen variieren jedoch in der Literatur stark und liegen im Mittel bei ca. 5-20 % [4,17,56,162]. Hier gilt auch zu bedenken, dass die Indikation zur RSA meist eine komplexere Ausgangssituation beinhaltet als die anatomische Prothese und die Patientenkollektive nur eingeschränkt vergleichbar sind. Revisionsoperationen zeigen, ähnlich wie in der Knie- und Hüftendoprothetik, höhere Komplikationsraten als nach Primärimplantation einer RSA [178].

1.5.1 Lockerung und Dislokation von Prothesenkomponenten

Auch wenn die Schulter zunächst nicht offensichtlich als gewichttragendes Gelenk – wie bspw. das Knie – erscheinen mag, beträgt das bei aktiver Abduktion über das Glenohumeralgelenk übertragene Gewicht ca. 90 % des Körpergewichts. Bei bestimmten Bewegungen und Belastungen kann das übertragene Gewicht das Körpergewicht sogar übersteigen. Diese großen Kräfte können bei Abweichungen von der physiologischen Gelenkmechanik zu hohen Scherkräften und schließlich zur Komponentenlockerung führen [54]. Diese wird als häufigste Komplikation in der Schulterendoprothetik beschrieben [17]. Die Bandbreite reicht dabei von im Röntgenbild sichtbaren, schmalen *Radiolucent-Lines* (RLL, Aufhellungslinien) bis zur vollständigen Dislokation der Prothesenkomponenten.

Bacle et al. beschrieben für reverse Prothesen eine radiologische Lockerungsrate unter 6 %, wobei diese in mehr als der Hälfte der Fälle zur Revision führte, was somit nach periprothetischen Infektionen der zweithäufigste Revisionsgrund war [3]. Eine Arbeit von Bohsali et al. beschreibt nach 5 Jahren

in über 6 % der Fälle radiologische Lockerungszeichen, nach 10 Jahren wurden in über 80 % der Fälle *Radiolucent-Lines* festgestellt. Am häufigsten war dabei die Glenoidkomponente betroffen [17]. Eine Glenoidlockerung muss jedoch nicht zwingend zur Revision führen. So beschrieben Gazielly et al. zwar 8,5 Jahre nach Implantation Lockerungszeichen bei 15,5 % der anatomischen Prothesen, die diesbezügliche Revisionsrate lag jedoch lediglich bei 2,5 % [50]. Die Problematik der Glenoidlockerung wird insbesondere für die anatomische Prothese beschrieben. Siehe 1.4.2 *Limitationen der anatomischen Schulterendoprothese*. Aber auch bei reversen Prothesen kommen Glenoidlockerungen vor [3,42,163,168]. Als hauptsächliche Ursachen für die Lockerung der Glenoidkomponente bei reversen Prothesen werden Weichteilinterposition zwischen Basisplatte und Glenosphäre, unvollständiges Fräsen des Glenoidrandes sowie die unzureichende Verankerung der Basisplatte angenommen. Hier spielen wiederum knöcherne Defekte und eine schlechte Knochenqualität am Glenoid eine wichtige Rolle [67].

Die Schaftkomponente kann ebenfalls von einer Lockerung betroffen sein. So beschrieben Boileau et al. hier nach einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 40 Monaten in 76 % der Fälle *Radiolucent-Lines* [19]. Tatsächliche Lockerungen werden jedoch deutlich seltener beschrieben, so berichten Bohsali et al. in einer Übersichtsarbeit mit über 2500 Schultertotalendoprothesen von Schaftlockerungen in 1 % der Fälle [17]. Gonzales et al. berichten in einer Arbeit mit über 4000 anatomischen Prothesen zwar von 6 % Schaftlockerungen, eine Revision war hier jedoch auch nur in 1 % der Fälle erforderlich [58].

1.5.2 Glenoidale Verankerung bei reversen Prothesen

Um Lockerungen der Glenoidkomponente zu vermeiden, kommt der ausreichenden Verankerung der Basisplatte im Knochen besondere Bedeutung zu. Um diese zu erzielen sind derzeit zahlreiche Modelle mit verschiedensten Techniken auf dem Markt. Sie variieren in der Lage der Drehzentren, den Oberflächeneigenschaften der Basisplatte, Verankerungsarten und Schraubendurchmessern und haben verschiedene *Offset-* bzw. *Lateralisations-*

Möglichkeiten. Die *BIO-RSA™* Prothese (Tornier/ Wright N. V., Staines-upon-Thames, UK) arbeitet bspw. mit autologem kortikospongiösem Span aus dem Humeruskopf. Es herrscht dabei keine Einigkeit über die beste Verankerungsmethode.

Grundlegende Beobachtungen veröffentlichten Stroud et al. in einer Arbeit, die die Verankerung 6 verschiedener Prothesendesigns in Knochenersatzblöcken mit hoher und niedriger Dichte untersuchte. Sie stellten fest, dass ein lateralisiertes Drehzentrum tendenziell mit vermehrter Lockerung einhergeht. So zeigten sich bspw. bei der *BIO-RSA™* Technik signifikant schlechtere Ergebnisse im Vergleich zur *Delta-III* Prothese (DePuy, Raynham, Massachusetts, USA), die ohne Lateralisierung des Drehzentrums auskommt. Dennoch wies die *Equinox* Prothese (Exatech Inc., Gainesville, Florida, USA) mit lateralem *Offset* (und somit lateralisiertem Drehzentrum) eine bessere Verankerung auf als das Modell ohne Lateralisierung. Es wird daher davon ausgegangen, dass auch Abweichungen des Drehzentrums in superiore bzw. inferiore Richtung eine Rolle spielen. Die höchste Versagensrate zeigte ein Prothesenmodell, dessen Metaglène zusätzlich zum zentralen Kiel nur über 2 Schrauben (im Vergleich zu 4 -5 bei anderen Modellen) fixiert wurde. Bei einem Modell erfolgte die zentrale Verankerung über eine Schraube (entgegen Press-Fit-Technik bei anderen Modellen). Hier kam es im Test wie auch in publizierten Fallberichten zum Schraubenbruch. Die Autoren nahmen an, dass dies vor allem der kleineren Querschnittsfläche dieser Verankerungstechnik geschuldet ist. Auch in Bezug auf die Fläche der Basisplatte wurde festgestellt, dass die Prothesen mit der größten Querschnittsfläche die geringsten Dislokationsraten aufwiesen [168].

Bei starkem und/ oder asymmetrischem Substanzverlust am Glenoid, der insbesondere bei Revisionsoperationen vorkommt, wird die Fixation über ein *3-Säulen-Konzept*, beschrieben durch Gohlke et al., als erfolgversprechend beschrieben. Die Verankerung erfolgt dabei über den Verbund von Basisplatte, winkelstabilen Schrauben und „*Concavity Compression*“ eines eingebrachten Knochenblockes [57]. Die Verankerungsmethode ist in *Abbildung 7* dargestellt. Die zum Glenoidaufbau notwendigen Knochentransplantate können so meist adäquat einheilen [20,73,123,122].

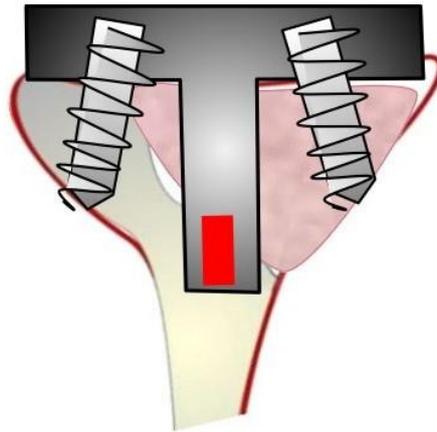


Abbildung 7: Drei-Säulen-Modell der Glenoidverankerung nach Gohlke. Zentraler, in press-fit-Technik eingebrachter, Zapfen und winkelstabile Schrauben. Glenoidrekonstruktion mit Ersatzknochen. Abbildung aus Gohlke, Werner et al. S. 1 [57]. Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature.

1.5.3 Instabilität der Prothese

Die Instabilität der Prothese stellt eine häufige Komplikation dar. Eine Übersichtsarbeit von Bohsali et. al. mit über 2500 anatomischen Schulterprothesen zeigte eine Instabilität in 4,9 % der Fälle. Bei reversen Prothesen wird die Rate mit 3-9 % angegeben [4,17]. Eine symptomatische Instabilität kann direkt postoperativ bestehen oder erst im Verlauf entstehen. Die Bandbreite einer Instabilität reicht dabei von leichten Subluxationen bis hin zu fixierten Dislokationen [54]. Als Ursache kommen neben nicht optimaler Größe und/oder Platzierung der Komponenten vor allem auch RM-Defekte in Frage. Letztere werden bei über 1 % der Patienten nach Implantation einer anatomischen Prothese beschrieben [17]. Siehe hierzu auch *1.4.2 Limitationen der anatomischen Schulterendoprothese*. Von besonderer Bedeutung für die Stabilität der Prothese ist die Vorspannung des DEL. Ist diese unzureichend, kann die Instabilität bis hin zur Luxation der Prothese resultieren. Andererseits besteht bei zu großer Vorspannung die Gefahr, dass es zu Ermüdungsfrakturen von Acromion und/oder *Spina scapulae* kommt, ebenso kann die Adduktionsfähigkeit stark beeinträchtigt sein [55]. Die Vorspannung des DEL wird dabei wiederum maßgeblich über die Implantationshöhe der humeralen Komponente beeinflusst.

1.5.4 Periprothetische Frakturen

1.5.4.1 Humerusfrakturen

Periprothetische Humerusfrakturen können intra- oder postoperativ auftreten und werden bei ca. 2 % der Prothesenimplantationen beschrieben [17,111]. Insgesamt schwanken die Angaben zur Frakturhäufigkeit in der Literatur dedoch stark zwischen 1,2-19,4 % [17,46]. Als Risikofaktoren für eine intraoperative Fraktur gelten weibliches Geschlecht, Verankerung der Humeruskomponente in *press-fit* Technik, posttraumatische Arthrose und Revisionsoperationen. Postoperative Frakturen entstehen meist beim Sturz auf den ausgestreckten Arm und in Bereichen mit bestehenden Osteolysen [46]. Eine gebräuchliche Einteilung der periprothetischen Humerusfrakturen ist die Klassifikation nach Worland (siehe *Abbildung 8*) [183]. Intraoperative Frakturen werden meist direkt mit Wechsel auf einen längeren Schaft und/ oder Cerclagen versorgt. Postoperative Frakturen mit weiterhin stabil verankerter Prothese und ohne höhergradige Dislokation können in aller Regel konservativ versorgt werden [46]. Dennoch werden für die konservative Therapie Versagensraten von 14-50 % beschrieben [22,93,186]. Vor allem die an der Spitze lokalisierten Frakturen (Typ B2) machen gehäuft eine operative Versorgung notwendig [186]. Bei gelockerter Prothese ist die Revision meist obligat [4]. Bei gelockertem Schaft wird dieser in der Regel auf einen längeren Schaft gewechselt. Des Weiteren besteht die Möglichkeit zur Osteosynthese mittels ORIF mit Platten- und Schrauben-Kombinationen oder Cerclagen [46]. Abhängig von der Lokalisation werden längerfristig auch negative Auswirkungen auf die postoperative Motilität beschrieben [4].

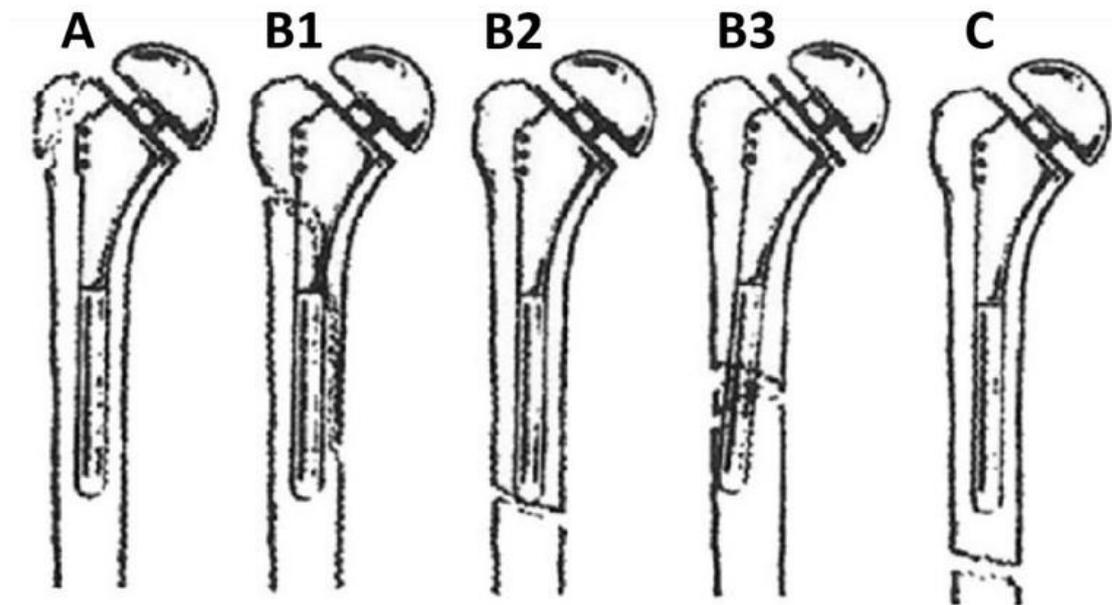


Abbildung 8: Einteilung periprothetischer Humerusfrakturen nach Worland [183]. A: Fraktur der Tubercula, B1: Spiralfraktur mit stabilem Prothesenschaft, B2: quer- oder kurze Schrägfraktur mit stabilem Prothesenschaft, B3: Fraktur mit instabilem Prothesenschaft, C: Fraktur distal der Schaftspitze. Abbildung modifiziert nach Ochs et al. S. 113 [127]. Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature.

1.5.4.2 Scapula- und Acromionfrakturen

Nach Einbau reverser Prothesen kann es durch die verstärkte Vorspannung des DEL vermehrt zu Ermüdungsfrakturen von *Spina scapulae* oder Acromion kommen. Diese kommen vor allem bei Patienten mit rheumatischer oder osteoporotischer Vorerkrankung vor [56,130]. Klinisch treten meist bei zunächst komplikationslosem Verlauf nach Beginn der aktiven Beübung oder nach stärkerer Kraftanstrengung plötzlich Schmerzen und/ oder Funktionsverlust auf. [29,56]. Seltener führt auch ein Trauma zu Frakturen von *Spina scapulae* bzw. Acromion [124]. Insgesamt werden diese Komplikationen bei ca. 4 % der Patienten nach RSA-Implantation beschrieben [29,88]. Erfolgt frühzeitig eine konservative Therapie mit 6-wöchiger Ruhigstellung im Abduktionskissen kann möglicherweise ein Abkippen des Acromions nach kaudal verhindert werden [16,56]. Häufig gelingt dies jedoch nicht, so dass es zur Verschmälerung des Subacromialraumes kommt [124,130]. Problematisch sind dann ein Anschlagen des Tuberculum majus am Acromion sowie Funktionseinbußen des DEL durch die Verminderte Vorspannung, wodurch es zu Instabilität und Funktionseinbußen der Prothese kommen kann. Eine ähnliche Problematik tritt auch gehäuft nach

basisnahen Frakturen auf. Hier kommt es durch den erhöhten Zug des DEL vermehrt zur unzureichenden Konsolidierung der Fraktur und Funktionseinbußen des DEL, was ebenfalls zu Instabilität und Funktionseinbußen der Prothese führt [67,152]. Sowohl die konservative als auch die operative Versorgung der Acromionfraktur zeigen relativ hohe Pseudarthrosraten. Bei konservativer Therapie wird eine mangelnde Konsolidierung in ca. 57 % der Fälle beschrieben [29,124]. Rouleau et al. beschrieben bei 7 mittels ORIF versorgten Frakturen 1 Pseudarthrose, 2 notwendige erneute Fixationen, 1 notwendige Entfernung des Osteosynthesematerials [152]. Cho et al. sahen in einer Metaanalyse von 14 Schultern bei 87 % der Patienten eine regelrechte Konsolidierung. Unabhängig von der gewählten Therapie zeigten die meisten Patienten mit Acromionfraktur im Vergleich zu Patienten ohne Acromionfraktur schlechtere Ergebnisse sowohl in verschiedenen Funktionsscores als auch in Bezug auf die Beweglichkeit und die subjektive Zufriedenheit. Dennoch bestand im Vergleich zur Situation vor Prothesenimplantation eine deutliche Funktionsverbesserung [137].

1.5.5 Notching

Unter scapulärem bzw. inferiorem *Notching* wird ein *Impingement*, also ein Anschlagen bzw. Einklemmen der humeralen Komponente am inferioren Scapulahals verstanden. Hierdurch kann es zu Knochenverlusten am inferioren Glenoid kommen. Es entsteht eine spezifische Einkerbung (*Notch*) [66]. Siehe auch 2.4.4.3 *Notching*. Da die Defektgröße oft nicht alleine durch den mechanischen Abrieb erklärbar ist, wird davon ausgegangen, dass – wie von Endoprothesen anderer Gelenke bekannt – die durch PE-Abrieb entstehenden Partikel zu progredienten Osteolysen führen [56]. Die Häufigkeitsangaben variieren in verschiedenen Studien stark. So wird *Notching* nach Wechseloperationen auf reverse Prothesen in knapp 12 % der Fälle beschrieben, in einigen Arbeiten aber auch in über der Hälfte der Fälle [55,160,163]. Die Korrelation zwischen radiologisch nachgewiesenem *Notching* und klinischen Ergebnissen wird dabei kontrovers diskutiert [42]. So sehen Levigne et al. keinen Zusammenhang zwischen *Notching* und Beweglichkeit oder Constant Score [98]. Auch Brunner et al. konnten keine Korrelation zwischen *Notching* und schlechteren Ergebnissen im Sinne von verminderter Funktion und vermehrten

Schmerzen zeigen [26] Dagegen beschreiben Sirveaux et al. eine signifikant negative Auswirkung auf die Ergebnisse des Constant Scores [163]. Simovitch et al. beschrieben bei 324 Patienten mit einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 71 Monaten *Notching* in 47 Fällen, hier zeigten sich für diese Patienten schlechtere Ergebnisse für Abduktion, Flexion, Kraft und Constant Score sowie häufigere Komplikationen und Revisionen [160]. Die tatsächlichen klinischen Auswirkungen des *Notchings* bleiben also Gegenstand der Diskussion.

Um das Auftreten von *Notching* möglichst zu verhindern, wird bei Prothesenimplantation auf verschiedene Techniken zurückgegriffen [150]. Wesentliche Aspekte sind die Positionierung der Metaglène und die humerale Inklination. So konnten Nyffeler et al. zeigen, dass sich bei inferiorer Positionierung der Metaglène der Bereich der Ab- und Adduktion, in welchem kein Anschlagen der Metaglène am Glenoid erfolgt, signifikant verbessert [126]. Dass die inferiore Positionierung inferiores *Notching* signifikant reduziert, wurde auch von Simovitch et al. bestätigt [161]. Erickson et al. beschrieben in einer Übersichtsarbeit mit 2222 Schultern, dass *Notching* signifikant häufiger bei Prothesen mit 155° Inklination der humeralen Komponente gegenüber Prothesen mit 135° Inklination auftrat [39]. Auch Brunner et al. empfehlen, die humerale Inklination zu verringern um *Notching* zu reduzieren und gleichzeitig die Funktion zu verbessern [26]. In unserer Klinik wird zudem darauf geachtet, die kaudale Schraube mit geringerer Angulation nach kaudal einzubringen, um bei Auftreten von *Notching* das Risiko eines frühzeitigen Anschlages des Humerus an der Schraube – mit entsprechenden Folgen wie Schraubenlockerung oder Metallose - zu reduzieren.

1.5.6 Nervenschädigung

Nervenschäden werden insgesamt bei weniger als 1 % der Schulterendoprothesenimplantationen beschrieben, wobei die weite Mehrzahl der Fälle den *N. axillaris* betrifft. Selten gibt es eine Beteiligung des Plexus brachialis [17,54]. Zahlreiche Ursachen kommen in Betracht. Neben direkter intraoperativer Verletzung können auch Kompression bzw. Traktion durch

intraoperativ gesetzte Haken oder ausgeprägte postoperative Hämatome Nervenschädigungen bedingen, auch Schäden durch Zementaustritt sind möglich [95,159]. Eine Arbeit von Laderman et al. zeigte ein häufigeres Vorkommen von Nervenläsionen bei RSA als bei anatomischen Prothesen. Dies wurde von den Autoren auf die veränderte Anatomie mit Zunahme der Armlänge um im Mittel 2,7 cm zurückgeführt. Im EMG 3,7 Wochen postoperativ nach RSA-Implantation zeigten sich zwar Nervenläsionen in 47 % der Fälle, diese waren aber in 88 % der Fälle nach 6 Monaten vollständig regredient [95]. Es wird davon ausgegangen, dass ca. 75 % der postoperativ bestehenden Nervenläsionen im Verlauf ausheilen [17,54].

1.6 Die Periprothetische Infektion

1.6.1 Relevanz

Das Risiko, nach Implantation einer Schulterendoprothese eine periprothetische Infektion zu erleiden, beträgt ca. 0,7 %, wird in einigen Arbeiten mit bis zu 6 % aber auch deutlich höher angegeben [17,145,165,188]. Zwar stellen die Infektionen gemessen an der Gesamthäufigkeit aller Komplikationen nach Prothesenimplantation mit anteilig weniger als 5 % einen verhältnismäßig kleinen Anteil dar, sind jedoch auf Grund der oft gravierenden Folgen von großer Relevanz [17]. Dies wird auch in Arbeiten mit hoher Fallzahl aus der Hüft- und Knieendoprothetik deutlich. In einer 2017 erschienenen Arbeit von Gundtoft et al., in der die Ergebnisse von über 68 000 implantierten Hüftprothesen beobachtet wurden, wurde festgestellt, dass von den Patienten, welche innerhalb des ersten Jahres auf Grund einer periprothetischen Infektion revidiert wurden, 8 % starben. Im Vergleich dazu lag die Mortalität der Patienten, die aus anderen Gründen revidiert wurden, bei 5 % [64]. Zmistowski et al. ermittelten bei einer Untersuchung von knapp 3000 Patienten mit Revision einer Hüft- oder Knieendoprothese eine 5-Jahres Mortalität von 26 % für septische Revisionen gegenüber 13 % für aseptische Revisionen [190].

1.6.2 Risikofaktoren

1.6.2.1 Nikotinabusus

Die Relevanz der Auswirkungen von Nikotinabusus wird kontrovers diskutiert. Einige Arbeiten zeigten für Raucher signifikante Nachteile gegenüber Nichtrauchern, sowohl was die Rate des komplikationsfreien Überlebens als auch die des infektionsfreien Überlebens nach Implantation einer Schulterprothese betraf [72]. In einer – allerdings nicht schulterpezifischen - Metaanalyse von Otto-Lambertz et al. wurde für Raucher ein relatives Risiko für das Auftreten einer periprothetischen Infektion von 1,83 im Vergleich zu Nichtrauchern festgestellt [129].

1.6.2.2 Traumata und Voroperationen

Vorbestehende Verletzungen/ Erkrankungen des Schultergelenks und insbesondere damit einhergehende Operationen führen nicht selten zu Beeinträchtigungen im Bereich von Muskulatur, Sehnen und Bindegewebe. Dies führt mitunter zu einer dauerhaften Einschränkung der Funktionalität des Gelenks. Zudem können Vernarbungen und eine veränderte Anatomie die Operation erschweren und die Operationsdauer verlängern. Mehrere Arbeiten konnten auf einen Zusammenhang zwischen Voroperationen und postoperativer Infektion hinweisen [9]. So werden für Revisionseingriffe teils deutlich höhere postoperative Infektionsraten als bei Primärversorgung angegeben, bspw. bei Sperling et al mit 0,8 % im Vergleich zu 3,2 % [165]. Auch Prothesenimplantationen auf Grund traumatischer Ursache haben ein knapp 3-fach höheres Risiko für eine Infektion als elektiv implantierte Schulterprothesen [148]. Auch ein Zusammenhang zwischen der Anzahl an Voroperationen und einem schlechteren postoperativen Resultat wird angenommen [55].

1.6.2.3 Rheumatoide Arthritis

In verschiedenen Arbeiten konnte ein Zusammenhang zwischen rheumatoider Arthritis (RA) und einer erhöhten Infektionsrate nach Prothesenimplantation nachgewiesen werden [82,145]. Salt et al. beschrieben nach Versorgung eines großen Gelenks mit einer Totalendoprothese bei Patienten mit RA 47 % häufiger eine postoperative Infektion als bei Patienten mit primärer Arthrose. Bei

ausschließlicher Betrachtung der nicht medikamentös behandelten Patienten, waren diese 130 % häufiger betroffen. Gleichzeitig fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen Patienten mit primärer Arthrose und RA, wenn letztere medikamentös entsprechend gut eingestellt waren. Dies legt den Schluss nahe, dass in erster Linie die RA einen Risikofaktor für eine periprothetische Infektion darstellt und nicht die immunmodulatorische bzw. -suppressive Therapie [156].

1.6.2.4 Diabetes Mellitus

Mehrere Studien stellten eine signifikante Assoziation zwischen dem Vorliegen eines Diabetes Mellitus und dem gehäuften Auftreten periprothetischer Infektionen fest [38,117]. So lag die Wahrscheinlichkeit eine solche zu erleiden in einer Arbeit von Salt et al. bei an Diabetes Mellitus erkrankten Patienten 38 % höher als bei nicht erkrankten Patienten [156]. Auch Otto-Lamberts et al. beschrieben ein relatives Risiko einer periprothetischen Infektion von 1,74 für Diabetiker im Vergleich zu Nicht-Diabetikern [129].

1.6.2.5 Body-Mass-Index

Der Body-Mass-Index (BMI) berechnet sich aus dem Körpergewicht in kg geteilt durch die Körpergröße in Metern zum Quadrat. Starkes Eine Adipositas II°/III°, entsprechend einem BMI > 35 bzw. 40 kg/m², stellt einen signifikanten Risikofaktor für das Auftreten einer periprothetischen Infektion nach Implantation einer Endoprothese dar [38,117,140,145]. In einer 2017 veröffentlichten Metaanalyse ergab sich für Patienten mit BMI > 40 kg/m² im Vergleich zu Patienten mit BMI < 40 kg/m² ein relatives Risiko von 3,68 für das Auftreten einer periprothetischen Infektion, womit ein BMI > 40 kg/m² unter allen in der Arbeit untersuchten Aspekten der stärkste Einflussfaktor war [129].

1.6.2.6 ASA-Klassifikation

Die Klassifikation der *American Association of Anesthesiologists* (ASA) dient der Einstufung des physischen Status eines Patienten. Sie reicht von ASA 1 = gesunder Patient über ASA 2 = leichte Systemerkrankung, ASA 3 = schwere Systemerkrankung und Leistungseinschränkung, ASA 4 = schwer beeinträchtigende, lebensbedrohliche Erkrankung bis ASA 5 = moribunder Patient, dessen Lebenserwartung ohne Behandlung unter 24h liegt [167]. Bei der

Implantation von Hüft- und Kniegelenksprothesen zeigte sich eine signifikant höhere Rate tiefer postoperativer Infektionen bei Patienten mit ASA ≥ 3 im Vergleich zur Gruppe mit ASA ≤ 2 [117,140].

1.6.3 Einteilung und Symptomatik

Die Klassifikation der periprothetischen Infektionen wird in der Literatur wie auch im klinischen Alltag nicht einheitlich gehandhabt. Gebräuchlich ist eine Unterteilung in Früh- und Spätinfektion. Allerdings gibt es bisher keine eindeutige Datenlage, zu welchem Zeitpunkt die genaue Unterscheidung in früh bzw. spät erfolgen sollte. Als Grenze werden meist ca. 4 bis 6 Wochen nach Protheseneinbau angegeben [158,173]. Bei den Spätinfektionen ist wiederum eine Unterscheidung in einerseits chronische Infektionen – die möglicherweise schon direkt postoperativ bestehen, allerdings erst später symptomatisch werden - und andererseits akute hämatogene Spätinfektionen sinnvoll [2]. Diese Unterscheidung verschiedener Arten der Infektion ist insofern von Bedeutung, als dass sich Ätiologie, klinische Präsentation und schließlich auch die sich anbietenden Therapiestrategien deutlich unterscheiden.

1.6.3.1 Akute Infektion

Akute Infektionen werden vor allem durch hoch-virulente Keime verursacht und zeigen eine ausgeprägte klinische Symptomatik mit Schmerzen und häufig auch Allgemeinsymptomen.

Frühinfektion

Bei einer frühen Infektion können klinisch starke Ruheschmerzen imponieren, welche postoperativ auch nach mehreren Tagen bestehen, möglicherweise begleitet von (sub-) febrilen Temperaturen, Schüttelfrost und Nachtschweiß. Erhöhungen von CRP und BSG sowie eine Leukozytose mit Granulozytose sind zwar unspezifisch, können jedoch auch hinweisgebend sein. Die Keimbesiedelung geht in der Regel von den periartikulären Weichteilen aus. Sonographisch ist häufig vermehrte periprothetische Flüssigkeit zu erkennen [103]. Prothesenfunktion und Allgemeinzustand verschlechtern sich oft rapide. Häufig sind hoch-virulente Keime Verursacher dieser akuten Infektionen [71].

Akut auftretende Spätinfektion

Bei einer hämatogenen Infektion treten typischerweise bei zunächst unauffälligem postoperativem Verlauf mit Verzögerung akute Beschwerden, wie oben beschrieben, auf. Der initiale Infektionsherd liegt hierbei nicht im endoprothetisch versorgten Gelenk selbst. Vielmehr kommt es von einem peripher gelegenen Fokus aus zur hämatogenen Keimbesiedelung der Prothese. Infektionsherde können bspw. Harnwegsinfektionen, Pneumonien oder infizierte Blasenkateter sein. Vor allem wenn die Symptome erst lange Zeit nach der Indexoperation auftreten liegt nicht selten eine transiente Bakteriämie durch invasive Eingriffe wie bspw. Zahnextraktionen zu Grunde [2].

1.6.3.2 Chronische Infektion

Bei einer chronischen Infektion handelt es sich meist um eine *low-grade* Infektion durch niedrig-virulente Bakterien. Diese bilden einen Biofilm, eine Hülle aus bakterieneigenen Proteinen und Matrix, welche für die meisten Antibiotika praktisch undurchdringbar ist und sich auch chirurgisch kaum entfernen lässt [67]. Im Gegensatz zu akuten Infektionen verläuft die chronische Infektion zunächst oft symptomarm, die Beschwerden beginnen meist schleichend. Typischerweise manifestiert sich die chronische Infektion als permanenter Schmerz, der sich im postoperativen Verlauf nicht bessert bzw. erst nach einer gewissen Latenzphase auftritt und insbesondere auch in der Nacht und in Ruhe therapieresistent besteht. Neben der schmerzhaft eingeschränkten

Beweglichkeit können lokale Druck-, Klopf- oder Stauchungsschmerzen imponieren. Allgemeine Symptome wie Fieber oder Krankheitsgefühl fehlen meist und auch die Entzündungsparameter im Blut sind regelhaft allenfalls leicht erhöht [71,70,103].

1.6.4 Definition der periprothetischen Infektion

In einer 2017 im *Deutschen Ärzteblatt* erschienen Arbeit von Otto-Lambertz et al. wird die periprothetische Infektion als „Infektion des periimplantären Gewebes eines in den Körper eingebrachten Kunstgelenks“ definiert. „Dabei können potenziell alle Kunstgelenke [...] betroffen sein.“ [129]. Bezüglich der Kriterien, welche dabei eine solche Infektion definieren, besteht allerdings kein Konsens. Einige Klassifikationssysteme haben sich jedoch weitgehend etabliert.

1.6.4.1 MSIS-Kriterien

Eine Arbeitsgruppe der US-amerikanischen *Musculoskeletal Infection Society* (MSIS) verständigte sich 2011 auf eine – inzwischen weithin als Goldstandard geltende - gemeinsame Definition von Kriterien anhand derer die Diagnose einer periprothetischen Infektion gestellt werden kann [133]. Auch wenn sich diese Definition primär auf Prothesen der unteren Extremität bezieht, wird sie, mangels schulterpezifischer Daten, ebenso auf entsprechende Infektionen der Schulter angewandt.

Um gemäß MSIS die Diagnose einer periprothetischen Infektionen stellen zu können, muss eines der folgenden Kriterien erfüllt sein:

1. Mit der Prothese in Kontakt stehende Fistel.
2. Mindestens 2 positive Kulturen von verschiedenen Geweben/ Flüssigkeiten des betroffenen Gelenkes.
3. Zutreffen von mindestens 4 der 6 nachfolgend genannten Kriterien:
 - a. CRP > 10 mg/l oder BSG > 30 mm/h.
 - b. Erhöhte synoviale Leukozytenzahl.
 - c. Erhöhter Prozentsatz neutrophiler Lymphozyten der Synovia.
 - d. Eiter im betroffenen Gelenk.
 - e. Isolation eines Mikroorganismus aus periprothetischem Gewebe oder Flüssigkeit.
 - f. > 5 Neutrophile/ HGF in 5 HGF bei 400-facher Vergrößerung im periprothetischen Gewebe [133].

Es gibt in der Literatur keinen Konsens über einen Grenzwert, ab dem eine Erhöhung der synovialen Leukozytenzahl als infektionsverdächtig zu werten ist. Mangels schulterpezifischer Daten muss auf Referenzwerte aus der Hüft- und Knieendoprothetik zurückgegriffen werden. In der Knieendoprothetik sind für chronische Infektionen Werte zwischen 1100 und 4000 Zellen/ μ l beschrieben, für akute Infektionen liegen die Zahlen mit durchschnittlich 20000 Zellen/ μ l deutlich höher [133]. Dineen et al. berechneten in einer Studie mit Hüft- und Knieprothesen für ein optimales Verhältnis von Sensitivität und Spezifität einen Grenzwert von 1590 Leukozyten/ μ l im Synoviapunktat [37].

1.6.4.2 IDSA-Kriterien

Die *Infectious Diseases Society of America* (IDSA) veröffentlichte 2012 Richtlinien für Diagnose und Management periprothetischer Gelenkinfektionen. Die teils unzureichende Datenlage machte in vielen Bereichen das Zurückgreifen

auf Expertenmeinungen notwendig. Es handelt sich bei den IDSA-Kriterien um den Konsens der Fachgesellschaft, der spezifische klinische Fragen beantwortet.

Um gemäß IDSA die Diagnose einer periprothetischen Infektion stellen zu können, muss mindestens eines der folgenden Kriterien erfüllt sein:

1. Mit der Prothese in Kontakt stehende Fistel.
2. Eine in der histopathologischen Untersuchung von intraoperativ gewonnenem Gewebe nachgewiesene akute Entzündung.
3. Vorhandensein von Eiter um die Prothese herum, der nicht anderweitig erklärbar ist.
4. Mindestens 2 intraoperative Kulturen bzw. 1 präoperative Punktion und 1 intraoperative Kultur mit Wachstum der gleichen Bakterien.
5. Wachstum eines hochvirulenten Mikroorganismus wie bspw. *S. aureus* in einer Gewebeprobe oder Synoviaanalyse.

Die IDSA weist darauf hin, dass das Vorliegen einer Gelenkinfektion auch ohne Zutreffen dieser Kriterien möglich sein kann und schlussendlich die klinische Beurteilung in Zusammenschau aller Befunde ausschlaggebend für die Diagnosestellung ist [128].

1.6.4.3 ICM-Kriterien

Da sich MSIS- und IDSA-Kriterien primär auf periprothetische Infektionen der unteren Extremität beziehen, wurden im Rahmen des *International Consensus Meeting on Prosthetic Joint Infection (ICM) 2018* Diagnosekriterien speziell für die Schulter festgelegt. Diese orientieren sich an den MSIS-Kriterien. Sie sollen jedoch schulterpezifischen Besonderheiten Rechnung tragen. Hierzu zählen insbesondere auch Fälle, in denen weder eine eindeutige Diagnosestellung noch der Ausschluss einer Infektion möglich sind. Diese werden mittels eines Punktesystems nach ihrer Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer periprothetischen Infektion nochmals unterteilt [81].

Eine periprothetische Infektion gilt als erwiesen, wenn mindestens eines der folgenden definitiven Kriterien vorliegt:

1. Fistel, welche mit der Prothese in Kontakt steht.
2. Massiv intraartikulärer Eiter.
3. 2 positive Kulturen mit phänotypisch identischen virulenten Organismen.

Liegen diese Kriterien nicht vor, wird anhand eines Punktesystems unterschieden in:

1. Wahrscheinliche Infektion bei ≥ 6 Punkte und erfolgter Erregeridentifikation.
2. Mögliche Infektion bei
 - a. ≥ 6 Punkten ohne Erregeridentifikation.
 - b. < 6 Punkten mit Nachweis eines virulenten Erregers in 1 Probe.
 - c. < 6 Punkten mit Nachweis eines niedrig-virulenten Erregers in 2 Proben.
3. Infektion unwahrscheinlich bei < 6 Punkten und Nachweis eines niedrig-virulenten Erregers in nur 1 Kultur.

Die entsprechenden Punktzahlen werden anhand der in *Tabelle 1* aufgeführten Kriterien ermittelt.

Tabelle 1: Punktesystem für Diagnosekriterien der ICM Klassifikation [81].

Kriterium	Punktzahl
Unerwartete Wundsekretion	4
Einzelne positive Gewebeskultur (virulenter Organismus)	3
Einzelne positive Gewebeskultur (niedrig-virulenter Organismus)	1
Zweite positive Gewebeskultur (identischer niedrig-virulenter Organismus)	3
Humeralseitige Lockerung	3
Positiver Gefrierschnitt (5 Granulozyten in mind. 5 HGF)	3
Positive präoperative Punktion	3
Erhöhter Anteil Neutrophiler Granulozyten (> 80 %) in der Synovia (mind. 6 Wochen postoperativ)	2
Erhöhte synoviale Leukozytenzahl (> 3000 Zellen/ µl)	2
BSG > 30 mm/ h	2
CRP > 10mg/ l	2
Erhöhtes synoviales alpha-Defensin	2
Wolkige Flüssigkeit	2

1.6.5 Diagnostik

Als Goldstandard zur definitiven Diagnose einer periprothetischen Infektion gilt der mehrfache Erregernachweis in intraoperativ gewonnenen, mikrobiologischen Kulturen [128,133]. Gleichzeitig wird die Rate kulturnegativer periprothetischer Infektionen mit bis zu 25% angegeben [132]. Auch MSIS-, IDSA- und ICM-Kriterien beinhalten Aspekte, welche präoperativ nicht verfügbar sind. Die sichere Diagnose kann somit häufig – wenn überhaupt – erst postoperativ gestellt werden. Gleichzeitig ist die initiale Abgrenzung zu anderen Beschwerdeursachen essentiell, da dass sich das therapeutische Vorgehen bei Vorliegen einer Infektion entscheidend von der Therapie anderer Erkrankungen abhebt (siehe 1.6.7 Therapie). Dies gilt nicht nur bei einliegender Prothese, sondern auch bei sekundären Infektionen nach Operationen wie bspw. einer osteosynthetischen Versorgung oder bei primären Infektionen, insbesondere bei gleichzeitig vorliegenden Erkrankungen oder Verletzungen wie bspw. einer Defektarthropathie.

1.6.5.1 Anamnese

Neben der Krankheitsanamnese mit Erhebung von Vorerkrankungen und Risikofaktoren wie Immundefizienz, Voroperationen oder stattgehabten invasiven zahnmedizinischen Eingriffen und der Frage nach einliegendem Fremdmaterial ist auch die Sozialanamnese bezüglich der familiären Situation oder zurückliegender Auslandsaufenthalte von Bedeutung. Impfstatus, möglicher Drogenkonsum und rezidivierende Infektionen wie Harnwegs-, Haut- oder Atemwegsinfektionen sollten ebenfalls abgefragt werden [67].

1.6.5.2 Klinische Untersuchung

Es ist auf allgemeine Symptome einer Infektion zu achten. Diese können in der Ausprägung sehr unterschiedlich sein. Neben der Maximalvariante einer Sepsis können auch lediglich ein unspezifisches Krankheitsgefühl oder sub-/febrile Temperaturen imponieren. Beschwerden anderer Körperregionen - insbesondere bei einliegendem Fremdmaterial wie bspw. einem Blasenkatheter - können diagnostische Hinweise liefern [67]. Einerseits können bspw. Harnwegsinfektionen oder Pneumonien Fokus einer Spätinfektion sein, andererseits spricht postoperativ persistierendes Fieber bzw. ein späterer Temperaturanstieg ohne einen erkennbaren peripheren Infektionsfokus dafür, dass die Infektion vom Gelenk herrührt. Auch postoperativ persistierende Schmerzen oder Schmerzen nach freiem Intervall sind verdächtig auf eine Infektion. Lokal treten oft die typischen Zeichen einer Infektion – *Rubor, Dolor, Calor* und *Functio laesa* – auf, allerdings kann der mehrschichtige Muskelmantel im Bereich des Schultergürtels diese auch kaschieren [67]. Verdächtig auf eine Infektion ist auch die persistierende Wundsekretion [155]. Des Weiteren ist auf das Vorhandensein von Wunden oder anderen sekundären Eintrittspforten sowie Fisteln zu achten, welche insbesondere bei chronischen Infektionen auftreten können [67].

1.6.5.3 Laborchemische Untersuchung

Bei Infektionsverdacht ist die laborchemische Untersuchung obligat. Allgemeine Entzündungsparameter im venösen Blut sind BSG, CRP und Leukozytenzahl [67]. Allerdings ist deren Aussagekraft umstritten. So kamen Mook et al. in einer

Übersichtsarbeit zu dem Schluss, dass negative Entzündungsparameter nicht zum Ausschluss einer Infektion dienen, gleichzeitig gibt es, zahlreiche nicht-infektiöse Ursachen, welche einer Erhöhung zu Grunde liegen können [109]. Bei Fieber, Verdacht auf Bakteriämie oder sogar Sepsis sollten vor Beginn einer Antibiotikatherapie Blutkulturen abgenommen werden. Gegebenenfalls können spezifische Tests zum Ausschluss von rheumatischen Erkrankungen, Borreliose, Gicht oder Viruserkrankungen notwendig sein [67].

1.6.5.4 Präoperative Punktion

Über die Bedeutung der Punktion für die Infektionsdiagnostik herrscht in der Literatur Uneinigkeit. Möglich sind die makroskopische Beurteilung des Punktats, die Bestimmung synovialer Zellzahlen und die Gewinnung von Proben zur mikrobiologischen Diagnostik.

Bereits das makroskopische Aussehen der aspirierten Flüssigkeit kann diagnostische Hinweise liefern. So sind bei Infektionen Viskosität und Transparenz des Punktats meist gering. Allerdings kann bei eitrigem Punktat die Viskosität auch erhöht sein kann [67]. Zudem war in einer Arbeit von Pottinger et. al. wolkiger Aspekt des Punktats mit einem 12-fach höheren Risiko für *C. acnes* positive Kulturen assoziiert [144].

Eine erhöhte synoviale Leukozytenzahl ist Hinweis auf das Vorliegen einer Infektion. Ein wesentlicher Vorteil besteht in der raschen Verfügbarkeit, so dass die Zellzahl frühzeitig diagnostische Hinweise liefern kann [139]. Es bestehen jedoch keine ausreichend großen und belastbaren Studien, um einen exakten Grenzwert für synoviale Leukozytenzahlen festzulegen zu können [109]. Siehe hierzu auch *1.6.4.1 MSIS-Kriterien*. Verdächtig auf eine Infektion sind außerdem auch ein relativer Granulozytenanteil von >70 % und ein niedriger Glukosegehalt des Punktats im Vergleich zum Blutglukosegehalt [67].

Ein mikrobiologischer Erregernachweis wird in der Regel über die Bebrütung in aeroben und anaeroben Blutkulturflaschen angestrebt. Jacquot et al. berichten hier eine Sensitivität von 85 % [85]. Auch Ince et al. beschreiben eine Nachweisrate von über 80 % und sehen die präoperative Punktion als unabdingbar für die Erstellung eines Antibiogramms und eine entsprechend

gezielte lokale und systemische Antibiotikatherapie an, wobei diese wiederum als entscheidender Bestandteil des gesamten Therapieerfolgs gewertet wird [83]. Es gibt jedoch auch Autoren, die von einer deutlich geringeren Sensitivität mit einer erhöhten Rate falsch negativer Ergebnisse ausgehen, so wird diese bei Strickland et al. mit 34 % angegeben [166]. Zudem ergab eine Studie von Bölch et al., durchgeführt an Hüftgelenken, deutliche Hinweise darauf, dass insbesondere biofilmbildende, niedrig-virulente Erreger – wie sie insbesondere an der Schulter gehäuft vorkommen – vermehrt zu falsch negativen Ergebnissen führen [14]. Wird zudem vor der Punktion keine 2-wöchige Antibiotikakarenz eingehalten, ist mit abnehmender Sensitivität zu rechnen [71]. Darüber hinaus gibt es Hinweise darauf, dass der diagnostische Erfolg einer Gelenkpunktion von der Bebrütungsdauer abhängt. Es wird angenommen, dass für den Erregernachweis – insbesondere für *C. acnes* - eine längere Bebrütungsdauer von 7 bis über 21 Tagen erforderlich ist [21,143]. Pottinger et al. beobachteten Kulturen über 28 Tage. Von den insgesamt *C. acnes* positiven Kulturen waren nach 2 Wochen erst 86 % positiv [144]. Gleichzeitig gibt es jedoch auch Arbeiten, welche vor vermehrt falsch positiven Kulturen bei verlängerter Bebrütungszeit warnen [48,139].

Zunehmend wird auch die Rolle von α -Defensin in der Infektionsdiagnostik diskutiert. Dieses antimikrobielle Peptid entsteht in der Synovia im Rahmen der Immunantwort bei Vorhandensein von Pathogenen wie bspw. Bakterien. Inzwischen sind auch Schnelltests verfügbar, wobei in Studien aus der Hüft- und Knieendoprothetik Sensitivitäten von 100 % und Spezifitäten von über 98 % angegeben werden [67]. Auch eine schulterspezifische Studie von Frangiamore et al. stellt signifikante Unterschiede im α -Defensin Spiegel zwischen infizierten und nicht-infizierten Gelenken fest. Die Autoren schlussfolgerten, dass der Nachweis von α -Defensin für den Nachweis periprothetischer Infektionen effektiver sei als andere diagnostische Methoden [47].

1.6.5.5 Intraoperative Probengewinnung

Als Goldstandard in der Diagnostik der Gelenkinfektion gilt der mikrobiologische Nachweis von Erregern in intraoperativ gewonnenen Gewebeprobe. Diese werden

in der Regel zunächst in Nährbouillons angereichert und auf Agar-Platten ausgestrichen. Insgesamt wird jedoch die Rate der kultur-negativen periprothetischen Infektionen für die Hüft- und Knieendoprothetik mit 5-25 % angegeben [132]. Als problematisch gilt insbesondere die Detektion biofilmproduzierender Bakterien [172]. Eben diese Erreger stellen den Großteil der Pathogene bei Schultergelenksinfektionen dar. Siehe hierzu auch 1.6.6 *Erregerspektrum*. Es ist daher möglich, dass die Rate falsch negativer Proben bei Schultergelenksinfektionen nochmals höher liegt als bei Infektionen anderer Gelenke. Einen Ansatz, die Sensitivität der Diagnostik zu erhöhen, publizierten Trampuz et al. 2007 im *New England Journal of Medicine*. Sie zeigten, dass durch Ultraschallbehandlung der bei Infektionsverdacht explantierten Hüft- und Knieprothesen bei konstanter Spezifität die Sensitivität gegenüber herkömmlichen Gewebekulturen von 61 % auf 79 % anstieg. Für Patienten, welche innerhalb von 14 Tagen präoperativ noch Antibiotika erhalten hatten, stieg die Sensitivität von 45 % auf 75 %. Der Grundgedanke dieser Technik beruht darauf, dass der Biofilm sich direkt auf der Prothese befindet und entsprechende Bakterien durch die Ultraschallbehandlung gelöst- und so detektiert werden können [172]. Eine entsprechende schulterspezifische Untersuchung konnte jedoch keinen Vorteil für Ultraschallverfahren gegenüber der herkömmlichen Gewebekultur zeigen [62]. Peel et al. beschrieben für die Bebrütung in Blutkulturflaschen eine 47 % höhere Sensitivität gegenüber konventionellem Agar-Ausstrich und ein signifikant schnelleres Vorliegen der Ergebnisse (im Mittel 21/ 23 Stunden für aerobe/ anaerobe Proben) bei gleicher Spezifität [141]. Neben der Problematik falsch negativer Ergebnisse steht auch zur Diskussion, in welchem Maß es sich bei positiven Ergebnissen, insbesondere bei Nachweis von Cutibakterien, um Kontaminationen handelt [110]. Insgesamt bietet die intraoperative Gewebekultur jedoch eine höhere Sensitivität als die präoperative Punktion und schafft bei erfolgreicher Erregeranzucht die Möglichkeit zur antibiogrammgerechten und damit spezifisch zielgerichteten Therapie.

1.6.5.6 Bildgebende Diagnostik

Sonographie

Die Sonographie stellt ein schnelles, kostengünstiges und risikoarmes Diagnostikum dar, um Veränderungen im Bereich des Subacromialraums, der *Bursa subacromialis* sowie von RM-Sehnen und langer Bicepssehne zu erkennen. Zudem lassen sich intra- und periartikuläre Gelenkergüsse detektieren [67].

Konventionelles Röntgen

Röntgenbilder in mindestens 2 Ebenen sind in der Diagnostik obligat und dienen nicht zuletzt dazu, eine Beteiligung ossärer Strukturen abzugrenzen [67]. Radiologisch verdächtig auf eine chronische Spätinfektion bzw. einen länger währenden Prozess sind Osteolysen. Diese können als *Radiolucencent-Lines* auftreten aber auch als größeren Osteolysen bis hin zu massiven knöchernen Defekten. Verdächtig auf ein infektiöses Geschehen sind diese Osteolysen insbesondere dann, wenn eine rasche Progredienz zu verzeichnen ist [103]. So stellten Pottinger et al. bei Vorliegen einer Lockerung der Glenoidkomponente ein 3-fach höheres Risiko für den Nachweis von *C. acnes* fest, zudem konnten Osteolysen mit einem 10-fach höheren Risiko für *C. acnes* positive Kulturen assoziiert werden [144].

MRT

Die Magnetresonanztomographie (MRT) – vor allem bei Durchführung mit Kontrastmittel - liefert die genaueste Abgrenzung der Infektionslokalisation und Ausdehnung. Neben der weichteiligen Ausdehnung kann auch eine ossäre Beteiligung erfasst werden, was nicht zuletzt für die Planung des chirurgischen Vorgehens eine entscheidende Rolle spielen kann [67].

CT

Die Computertomographie (CT) kann insbesondere bei komplexen anatomischen Verhältnissen und einliegendem Metall zur Infektionsdiagnostik herangezogen werden. Auch eine Beurteilung der Weichteilbeteiligung ist möglich [155]. Zudem legen Studien aus der Hüft- und Knieendoprothetik nahe,

dass die CT zur Differenzierung zwischen septischer und aseptischer Prothesenlockerung beitragen kann, wobei eine periostale Reaktion oder eine an eine Osteolyse angrenzende Anhäufung von Weichgewebe hoch verdächtig auf ein infektiöses Geschehen sind [102]. Zur Darstellung der knöchernen Defektsituation vor Wiedereinbau einer definitiven Prothese ist die CT häufig der Goldstandard.

PET-CT und Szintigraphie

Als nuklearmedizinisches Verfahren steht die PET (Positronenemissionstomographie) zur Verfügung. Diese ist zwar sensitiv, hat gleichzeitig aber einen sehr niedrigen positiv prädiktiven Wert und ist daher weniger zur Diagnosestellung als vielmehr zum Ausschluss einer Infektion oder zur Identifikation von möglichen weiteren Infektionslokalisationen geeignet [70]. Ähnliches gilt auch für die Drei-Phasen-Skelettszintigraphie, die ebenfalls eine hohe Sensitivität und einen hohen negativ prädiktiven Wert bei niedriger Spezifität aufweist. Der Einsatz dieser beiden Verfahren wird zudem im ersten Jahr nach Prothesenimplantation auf Grund physiologischer postoperativer Veränderungen nicht empfohlen [71].

1.6.6 Erregerspektrum

Der bei Infektionen der Schulter am häufigsten isolierte Erreger ist das, insbesondere in der Haut der Axilla vorkommende, Cutibakterium *acnes* (*C. acnes*, vormals: *Propionibakterium acnes*) [2,27,170]. Gefolgt von *Staphylococcus epidermidis* (*S. epidermidis*) und *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) sowie anderen koagulasenegativen Staphylokokken (KNS). Seltener sind auch Streptokokken, Corynebakterien, Pseudomonaden, Cutibakterium *granulosum* (*C. granulosum*) und Enterokokken zu finden [27,121,154,170,170]. Das typische Erregerspektrum, welches bei Infektionen des Schultergelenkes nachgewiesen wird, unterscheidet sich somit vom Erregerspektrum bei infizierten Knie- oder Hüftendoprothesen. Es kommen vermehrt niedrig-virulente, Bakterien vor, welche vermehrt Biofilme bilden und chronische Infektionen verursachen.

C. acnes, welches der häufigste Erreger der Schultergelenksinfektion darstellt, weist einige Besonderheiten auf, welche Einfluss auf Diagnostik und Therapie

haben. Es handelt sich bei *C. acnes* um ein grampositives, anaerobes Bakterium, welches auch fakultativ aerob in der Haut leben kann. *C. acnes* ist ein langsamwachsener und biofilmbildender Erreger, der hauptsächlich für *low-grade* Infektionen verantwortlich ist [2,21,75]. Auf Grund dieser Eigenschaften ist die Detektion von Cutibakterien-Infektionen erschwert, da diese im Vergleich zu Erregern höherer Virulenz gehäuft mit weniger ausgeprägter klinischer Symptomatik und nur geringfügig erhöhten Laborparametern einhergehen [23,71,70,125]. Zudem ist die mikrobiologische Diagnostik, insbesondere die Anzüchtung des Erregers aus Punktaten, erschwert [15,14,144]. Der Anteil von *C. acnes* an periprothetischen Infektionen der Schulter wird mit ca. 40 % angegeben [121]. Inwiefern diese Zahl durch falsch positive Ergebnisse durch Kontaminationen oder umgekehrt falsch negative Ergebnisse durch erschwerte Diagnostik beeinflusst ist, wird kontrovers diskutiert [48,110,139,144]. Einigkeit herrscht jedoch darüber, dass *C. acnes* bei Schultergeleksinfektionen eine besondere Rolle spielt.

Patel et al. untersuchten das Vorkommen von *C. acnes* im Vergleich verschiedener Körperregionen und in Abhängigkeit des Geschlechts. Sie stellten fest, dass im Bereich des anterioren und posterioren Acromions sowie der Axilla das Vorkommen deutlich höher ist als im Bereich von Hüfte oder Knie. Dies liefert einen Erklärungsansatz, warum dieses Bakterium für Endoprotheseninfektionen außerhalb der Schulter eine wesentlich geringere Rolle spielt. Zudem wurde ein signifikant höheres Vorkommen bei Männern im Vergleich zu Frauen beschrieben, wobei der Grad an Behaarung und Perspiration bei Männern ebenfalls höher lag, was wiederum als prädiktiver Faktor für das Vorkommen von *C. acnes* gewertet wurde. Auch die Bakterienlast war bei Männern höher als bei Frauen und in der Axilla signifikant höher als im Bereich von Hüfte oder Knie [135]. Zudem wird angenommen, dass *C. acnes* auch noch nach chirurgischer Desinfektion auf der Haut zu finden ist [21]. So beschreiben Lee et al. *C. acnes* positive Hautbiopsien nach chirurgischer Desinfektion mit ChloraPrep™ (CareFusion, Leawood, USA) bei 70 % der Probanden und unterstützen somit die These, dass sich das Bakterium in Talgdrüsen und Haarfollikeln befindet und

hier durch chirurgische Hautdesinfektion keine ausreichende Eradikation erreicht werden kann [97].

1.6.7 Therapie

Für die Behandlung einer Infektion der Schulter -insbesondere bei periprothetischen Infektionen- gibt es kein universelles Therapiekonzept. Viele Vorgehensweisen sind, mangels schulterpezifischer Datenlage, aus der Knie- und Hüftendoprothetik übernommen worden [121]. Es wird davon ausgegangen, dass bei einer Frühinfektion oder akuter hämatogener Spätinfektion möglicherweise eine Antibiotikatherapie in Verbindung mit Débridement und Spülung, idealerweise mit Austausch der beweglichen Teile oder zumindest Desinfektion derselben ex situ, ausreichend sein kann. Dagegen ist ein radikales Débridement mit vollständigem Prothesenausbau bei chronischer Infektion in der Regel unvermeidbar [2,158,173].

1.6.7.1 Antibiotische Therapie

Eine alleinige antibiotische Behandlung der periprothetischen Infektion zeigt schlechte Erfolgsraten in Bezug auf die Erregereradikation und kommt somit nur in Einzelfällen, bspw. für inoperable Patienten bzw. Patienten, die eine Operation ablehnen, in Frage [35,121].

1.6.7.2 Spülung und Débridement

Spülung und Débridement stellen die am wenigsten invasive chirurgische Therapie dar. Eine Kombination mit Wechsel der beweglichen Teile ist möglich, die Prothese bleibt erhalten. Dabei müssen fibröse Membranen, Fistelgänge und avitales Gewebe radikal und vollständig exzidiert sowie das Wundhämatom ausgeräumt werden. Ein offenes Vorgehen wird dabei im Allgemeinen empfohlen, da durch ein rein arthroskopisches Vorgehen möglicherweise nicht alle Wundschichten erreicht werden [67]. Die Rate der persistierenden Infektionen wird für arthroskopische wie offene Verfahren zwischen 12 und 50 % Prozent angegeben und liegt damit signifikant höher als bei Verfahren mit Prothesenexplantation [35,105,105,121,165]. Bei über der Hälfte der auf diese Weise versorgten Patienten werden Revisionseingriffe notwendig [35]. Ein auf Spülung und Débridement begrenztes chirurgisches Vorgehen kann am ehesten

bei Vorliegen einer Frühinfektion mit grampositiven Erregern in Betracht gezogen werden [2]. Bei Infektionsrezidiv oder chronischen Infektionen ist die Prothesenexplantation in der Regel unvermeidbar [67].

1.6.7.3 Resektionsarthroplastik

Für die Resektionsarthroplastik, also eine Entfernung einliegender Implantate mit ggf. zusätzlicher Resektion des Humeruskopfes, werden Reinfektionsraten zwischen 0 % und 30 % angegeben [24,35,121,175]. Die funktionellen Ergebnisse sind jedoch stark limitiert. Nelson et al. ermittelten in einer Übersichtsarbeit einen mittleren Constant Score von 34 Punkten und eine Flexionsfähigkeit von 32° [121]. Eine Patientenbefragung durch Rispoli et al. ergab zudem, dass der Großteil der Patienten mit dem postoperativen Ergebnis nicht zufrieden ist [85,149]. Vereinzelt werden die Ergebnisse der Resektionsarthroplastik positiver bewertet. So gaben Verhelst et al. an, dass trotz objektiv geringer Funktionalität eine gute Patientenzufriedenheit festgestellt werden kann. Dies wurde auf den – nach teils langjährig bestehenden infektionsbedingten Schmerzen und Einschränkungen - geringen Anspruch des Patientenkollektivs zurück geführt [175]. Die Resektionsarthroplastik wird v.a. für Patienten mit Schultergelenksinfektion und geringen funktionellen Ansprüchen sowie dem Wunsch, eine weitere Operation möglichst sicher zu vermeiden, empfohlen [109]. Ob die Vermeidung von Folgeoperationen tatsächlich erreicht werden kann, ist jedoch Gegenstand der Diskussion. So beschrieben Braman et al. bei Patienten mit Resektionsarthroplastik im Therapieverlauf durchschnittlich 2,2 weitere Débridements [24].

1.6.7.4 Definitiver Spacer

Die Implantation von Platzhaltern aus Knochenzement (*Spacer*) findet hauptsächlich im Rahmen zweizeitiger Prothesenwechsel statt. Siehe auch *1.6.7.5 Prothesenwechsel*. Für Patienten, bei denen ein sehr hohes Operationsrisiko besteht oder die nach der Spacerimplantation keine weitere Operation wünschen, besteht die Möglichkeit, den *Spacer* als definitive Versorgung zu belassen. Für dieses Vorgehen beschrieben Coffey et al. eine deutliche Verbesserung von Schmerzen, Beweglichkeit und Constant Score im

Vergleich zum präoperativen Befund [31]. Dennoch bleibt insgesamt die Funktionalität stark limitiert. Verhelst et al. sahen im Vergleich zur reinen Resektionsarthroplastik nur eine geringfügig bessere postoperative klinische Funktion, welche nicht als statistisch relevant gewertet werden konnte [175]. Der erreichte mittlere Constant Score blieb mit 30-33 Punkten deutlich hinter den Ergebnissen von Verfahren mit Prothesenerhalt bzw. -wiedereinbau zurück [86,105,121]. Allerdings stellten Levy et al. eine signifikante Verbesserung der Kraft gegenüber der präoperativen Situation sowie eine hohe subjektive Patientenzufriedenheit fest [100]. Bezüglich des Erfolgs im Sinne der Erregereradikation herrscht in der Literatur Uneinigkeit. Während in einigen Arbeiten bei allen Patienten mit dieser Versorgung Infektionsfreiheit erzielt wurde, gehen andere Arbeiten von einer höheren Rate an persistierenden Infektionen bzw. Reinfektionen aus [31,100,104]. So konnten Torrens et al. in Gewebeproben von Patienten bei Spacerexplantation im Rahmen eines zweizeitigen Wechsels noch in 14 % der Fälle noch Erreger nachweisen [171].

1.6.7.5 Prothesenwechsel

Als Verfahren, das, im Kompromiss zwischen Infektionssanierung und Wiederherstellung der Funktionalität des Schultergelenks, den größten Erfolg verspricht, hat sich die Entfernung des einliegenden Materials mit anschließendem Einbau einer neuen Prothese etabliert. Dieser Wechsel kann ein- oder mehrzeitig erfolgen. Die diesbezüglich vorliegende Literatur ist allerdings limitiert und muss stets vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass es sich um retrospektive Arbeiten mit hoher Stichprobenverzerrung handelt. Dies erschwert insbesondere einen direkten Vergleich zwischen den Ergebnissen ein- und mehrzeitiger Verfahren [81].

Einzeitige Wechseloperation

Bei der Durchführung eines einzeitigen Prothesenwechsels wird in einer einzigen Operation das einliegende Material entfernt und nach Débridement und Spülung eine neue Prothese implantiert. Diese Fixierung erfolgt meist mittels PMMA-Zement mit Antibiotikabeimengung. Für eine spezifische Antibiotikaauswahl ist jedoch die präoperative Kenntnis des zu Grunde liegenden Erregers notwendig.

Im Rahmen des *International Consensus Meeting on Prosthetic Joint Infection*, welches 2018 in Philadelphia stattfand (ICM), wurde eine Literaturübersicht zum Thema erstellt. Gemäß dieser ergab sich für den einzeitigen Schulterprothesenwechsel eine Reinfektionsrate von 5,6 % [81]. Für den postoperativen Constant Score wurden in einigen Studien deutlich höhere Punktzahlen sowohl im Vergleich zum präoperativen Befund als auch zu den oben beschriebenen Vorgehensweisen beschrieben. Dennoch stellen Werte von 48-53 Punkten eine deutliche Einschränkung der Funktionalität gegenüber der gesunden Schulter dar [81,85,121]

Zweizeitige Wechseloperation

Bei zweizeitigen Prothesenwechseln wird zunächst das einliegende Material entfernt und ein Zementplatzhalter (*Spacer*) eingebracht, der mit Antibiotika versetzt ist. Solange kein Antibiogramm vorhanden ist, handelt es sich dabei meist um eine empirische Antibiotikatherapie mit Vancomycin und/ oder Gentamicin. In einer zweiten Operation wird der *Spacer* dann explantiert und die Schulter nach erneutem Débridement mit einer neuen Endoprothese versorgt.

Besteht nach der ersten Spacerimplantation bzw. intraoperativ bei geplanter Prothesenimplantation der Verdacht auf eine Persistenz der Infektion, kann ein zwischenzeitlicher Spacerwechsel erfolgen. Das Procedere verläuft somit mehrzeitig. Zhang et al. führten den Prothesenwechsel im Rahmen einer 2015 veröffentlichten Arbeit mehrschrittig durch. Nach Einbau eines *Spacers* mit Vanco- und Tobramycin sowie 6-wöchiger spezifischer Antibiotikatherapie wurden offene Biopsien entnommen. Nur wenn diese nach 1- bis 2-wöchiger Bebrütung negativ waren erfolgte die Prothesenimplantation. Andernfalls folgten erneut Débridement und Spülung mit anschließender 6-wöchiger Antibiotikatherapie. In 22 % der Fälle wurden die Schritte entsprechend des Algorithmus mehrfach durchgeführt. Die Autoren gingen daher davon aus, dass selbst im Rahmen eines zweizeitigen Wechsels noch mit einer erheblichen Anzahl persistierender Infektionen zu rechnen sei. In einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 24 Monaten nach mehrzeitigem Vorgehen zeigten sich alle Patienten infektionsfrei [189]. Ein Spacerwechsel kann auch von

Vorteil sein, wenn bei zunächst empirischer Antibiotikatherapie zwischenzeitlich ein Antibiogramm vorliegt und dem neuen *Spacer* somit spezifische Antibiotika beigemischt werden können. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die sich die Materialeigenschaften des verwendeten Zements in Abhängigkeit der beigefügten Antibiotika (-dosis) verändern [13].

Die Infektionseradikationsrate wird für den zwei- bzw. mehrzeitigen Wechsel in einer Metaanalyse von Nelson et al. mit 93,8 % angegeben und zeigte sich damit überlegen gegenüber anderen Therapieoptionen [121]. Es werden für dieses Verfahren eine deutliche postoperative Schmerzreduktion sowie eine signifikante Verbesserung der Beweglichkeit im Vergleich zum präoperativen Befund beschrieben [27,154]. Gemäß der Übersichtarbeit im Rahmen des ICM 2018 lag der durchschnittliche Constant Score nach zweizeitigem Wechsel bei 51 Punkten [81].

Wahl des Implantats

Bei Revisionsoperationen scheint die Auswahl des Implantats entscheidenden Einfluss auf die postoperative Funktionalität zu haben. Zur Verfügung steht prinzipiell das gesamte Spektrum der Schulterendoprothetik von Hemiprothesen über anatomische und reverse Modelle. Bei Revisionsoperationen besteht durch Voroperationen, degenerative Veränderungen und das notwendige aggressive Débridement vermehrt eine eingeschränkte Funktionalität der RM bzw. ein deutlicher Weichteilschaden. Hier werden nach Wechsel auf Hemi- und anatomische Prothesen gehäuft rezidivierende Luxationen beschrieben, welche Revisionen notwendig machen können. Auch eine kraniale Migration des Humeruskopfes trat nach Wechsel auf eine Hemiprothese gehäuft auf [84,89]. Mehrere Autoren sahen bei Wechseloperationen die RSA in der postoperativen Funktionalität gegenüber Hemi- und anatomischen Prothesen überlegen [89,136]. Siehe hierzu auch *1.4.2 Limitationen der anatomischen Schulterendoprothese*.

1.7 Primär- und Sekundärinfektionen

Infektionen des Schultergelenks treten nicht nur als periprothetische Infektionen auf. Sie können auch als Primärinfektion das native, nicht-voroperierte Gelenk

betreffen oder als Sekundärinfektion nach Operationen, welche nicht mit einer Prothesenimplantation einhergehen, auftreten.

Wie auch bei der periprothetischen Infektion kommen sowohl akute Früh- und Spätinfektionen wie auch chronische Infektionen mit dem entsprechenden klinischen Bild vor [115]. Es herrscht Einigkeit darüber, dass auch bei Primär- und Sekundärinfektionen die zur Verfügung stehenden diagnostischen Methoden umfangreich angewandt werden sollten [106,115,151]. Gleichzeitig sollte die Diagnostik nicht zur Therapieverzögerung führen, da sonst gravierende septische Komplikationen drohen [115,151].

Das Erregerspektrum beinhaltet auch bei Primärinfektionen vornehmlich Cutibakterien und KNS [59]. Biofilme, welche von diesen und anderen Bakterien gebildet werden, stellen einen wesentlichen Aspekt der chronischen Infektionen dar und sind bei periprothetischen Infektionen seit langem bekannt. Auch bei anderen periimplantären Infektionen wird die Besiedelung mit Biofilmen als ein massives Problem beschrieben [147]. Selbst bei asymptomatischen Patienten wurden zeigte sich auf explantierten Platten hohe Besiedelungsraten. So wiesen Knabl et al. bei 56 % der explantierten Osteosynthesen Keime nach. In 67 % der Fälle konnten elektronenmikroskopisch Biofilmstrukturen auf den Platten dargestellt werden [90]. Die Bildung eines Biofilms kann jedoch nicht nur auf Fremdmaterial, sondern auch auf nekrotischem Knochen stattfinden und betrifft damit ebenso Primärinfektionen [116].

Im Rahmen der Therapie – insbesondere bei *low-grade* Infektionen bzw. Biofilmen – sind eine aggressive Synovektomie und gründliches Débridement essentiell [115]. Bei Primärinfektionen kann auch ein initialer Therapieversuch mittels arthroskopischer Spülung unternommen werden. Im Gegensatz zum Kniegelenk sind hier an der Schulter jedoch geringe Erfolgsraten beschrieben. So führte dieses Vorgehen in einer Arbeit von Gramlich et al. an der Schulter in keinem der Fälle zum Erfolg. Schließlich wurden alle Patienten im Verlauf mit offenem Débridement und Spülung therapiert. Dennoch betrug die Mortalität 10 % und bei 46 % der verbliebenen Patienten blieben massive Funktionseinschränkungen der Schulter bestehen [59].

Eine Vergleichbarkeit mit den periprothetischen Infektionen besteht nicht nur seitens der oft verheerenden Folgen für den Patienten. Auch die weichteilige Situation ist bei Primär- und Sekundärinfektionen häufig ebenso prekär wie bei periprothetischen Infektionen. Bei Primärinfektionen werden bereits nach wenigen Tagen starke Knorpelschäden bis hin zu deutlichen Gelenkdestruktionen beschrieben. Bei Sekundärinfektionen bestanden häufig bereits Verletzungen wie Rotatorenmanschettenrupturen oder Humeruskopffrakturen. Durch die Initialoperation und nicht zuletzt auch durch das oben beschriebene, notwendige Débridement kann die weichteilige- und knöcherne Situation nochmals negativ beeinflusst werden. [106,115,151].

1.8 Ziel der Arbeit

Eine Infektion des Schultergelenks stellt eine schwere und bisweilen sogar lebensbedrohliche Erkrankung dar. Das betroffene Patientenkollektiv ist heterogen, häufig bereits vorerkrankt und multipel voroperiert. Die Infektionswege sind vielfältig, ebenso die klinische Präsentation.

Die vorhandene schulter spezifische Datenlage zu Gelenkinfektionen ist insgesamt unzureichend und einzelne Arbeiten weisen meist nur geringe Fallzahlen auf. Bis heute gibt es keine einheitlichen, evidenzbasierten Empfehlungen zur Therapie. Verschiedenste Therapieoptionen stehen zur Verfügung, deren Bedeutung kontrovers diskutiert wird. Gleiches gilt auch für die präoperative Diagnostik. Die verfügbaren Diagnostika leiden oft an niedriger Sensitivität und/oder Spezifität. Ein sicherer Goldstandard als valider Referenzpunkt zur Diagnose einer Infektion fehlt. So obliegt die Entscheidung über das Vorgehen zu großen Teilen der Erfahrung des Chirurgen bzw. Erfahrungen aus der Hüft- und Knieendoprothetik, anstatt schulter spezifischer, evidenzbasierter Richtlinien.

Die vorliegende Arbeit sollte die am *König-Ludwig-Haus* (KLH) durchgeführte Diagnostik bei hochgradigem Verdacht auf eine Infektion des Schultergelenks evaluieren. Diese beinhaltet laborchemische Untersuchungen, die präoperative Gelenkpunktion, intraoperative histologische und mikrobiologische Proben sowie die Gelenkpunktion bei einliegendem *Spacer*. Zudem sollen bekannte

Diagnosekriterien wie MSIS, IDSA und ICM auf unser schulter spezifisches Patientenkollektiv übertragen und überprüft werden.

Ferner galt es, das schulter spezifische Keimspektrum zu beschreiben. Besonderheiten, welche sich an der Schulter im Vergleich zu anderen Gelenken ergaben, sollten herausgearbeitet werden, um diesen in der Beurteilung und Bewertung verschiedener diagnostischer Mittel entsprechend Rechnung tragen zu können. Gleiches gilt für Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen Primärinfektionen ohne vorangegangene Operationen, Sekundärinfektionen am voroperierten Gelenk im Allgemeinen und periprothetischen Infektionen im Speziellen.

Der zweite wesentliche Aspekt dieser Arbeit war die Überprüfung der Annahme, dass die zweizeitige Implantation einer reversen Schulterendoprothese ein adäquates Therapieregime zur Behandlung der Schultergelenksinfektion darstellt. Der therapeutische Anspruch besteht hierbei darin, dass neben der Erregereradikation auch eine möglichst gute Funktionalität des Gelenks erzielt wird. Es sollten die Erregereradikation, das postoperative infektionsfreie Überleben sowie die Funktionalität der Schulter evaluiert werden. Zur Beurteilung der letzteren wurden die aktive Beweglichkeit, Kraftmessungen, Constant Score und QuickDASH herangezogen. Die Nachuntersuchungen beinhalteten zudem Röntgenaufnahmen zur Beurteilung des Prothesensitzes und möglicher Komplikationen wie *Notching* oder Frakturen.

Auf Grund limitierter Fallzahlen und des retrospektiven Studiendesigns kann die vorliegende Arbeit zu einer komplexen und äußerst vielschichtigen Thematik nicht den Anspruch erheben, Fragen zur Qualität einzelner Diagnostika vollumfänglich und abschließend zu beantworten. Gleiches gilt, insbesondere bei fehlender Kontrollgruppe, auch für die Therapie. Diese Arbeit hatte vielmehr zum Ziel, einen Überblick über die Vor- und Nachteile der angewandten Diagnostik und Therapie zu schaffen, Vorteile wie auch Mängel in unserem Prozedere zu erkennen und schulter spezifische Herausforderungen offen zu legen, sodass das Vorgehen zukünftig dahingehend angepasst werden kann. Diese Arbeit sollte zudem den Weg bereiten für nachfolgende Studien, welche dann spezifisch

einzelne der herausgearbeiteten Aspekte behandeln, so dass längerfristig evidenzbasierte Diagnose- und Behandlungsstrategien zur Therapie der Schultergelenksinfektion etabliert werden können.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

2.1.1 Genehmigung

Ein Antrag auf Zulassung der Studie wurde unter dem Titel „*Strukturierte Nachsorge nach zweizeitigem Wechsel einer Schulter-Prothese bei hochgradigem Verdacht oder Nachweis einer Protheseninfektion*“ bei der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Universität Würzburg gestellt und am 04.07.2017 bewilligt (Zeichen 235/16-mk).

2.1.2 Studienmerkmale

Es handelt sich um eine retrospektive Studie mit zusätzlich prospektiver Datenerfassung im Sinne einer klinischen Untersuchung sowie der Selbsteinschätzung des Patienten anhand verschiedener Fragebögen. Eine Kontrollgruppe wurde nicht rekrutiert. Die Studie wurde ohne Verblindung durchgeführt. Es handelt sich um eine therapeutische Studie, Level III.

2.1.3 Patientenauswahl

Von 2007 bis 2015 erhielten in der Orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus (KLH) 41 Patienten einen mehrzeitigen Einbau einer Schultertotalendoprothese mit zwischenzeitlicher Spacerimplantation bei hochgradigem Verdacht auf eine Infektion des Schultergelenks.

Die (Verdachts-)Diagnose wurde dabei in Zusammenschau von klinischer Symptomatik, radiologischer Untersuchung, Laborparametern, mikrobiologischen und histologischen Ergebnissen gestellt. Der Infektionsverdacht konnte über den gesamten Diagnose- und Behandlungszeitraum sowie bei retrospektiver Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit bei keinem der Patienten ausgeräumt werden, sodass diesbezüglich kein Patient aus der Studie ausgeschlossen wurde.

Ausschlusskriterien waren eine Demenzerkrankung (0 Patienten) und Alter unter 18 Jahren (0 Patienten). Für den klinisch-radiologischen Teil der Studie wurden 2 Patienten mit Implantation einer anatomischen Prothese ausgeschlossen. Für

Ergebnisse von Nachuntersuchungen im Seitvergleich wurden 2 Patienten mit beidseitigem Einliegen einer Schulterendoprothese ausgeschlossen. Zum Diagnose-, Behandlungs- und Studienablauf sowie den einzelnen Fallzahlen siehe auch Flussdiagramm *Abbildung 9*.

Bei insgesamt niedriger Inzidenz der untersuchten Erkrankung bzw. Therapie wurde für diese Arbeit die größtmögliche uns zur Verfügung stehende Fallzahl herangezogen. Auf eine zusätzliche Fallzahlkalkulation vor Studienbeginn wurde daher verzichtet.

2.1.4 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte im Rahmen der Schultersprechstunde der Poliklinik des KLH und zusätzlich durch telefonische Rücksprachen sowie Recherche in den klinikinternen Datenbanken/ Archiven. Die chirurgische Versorgung der Patienten mit *Spacer* bzw. RSA erfolgte durch 3 auf Schulterchirurgie spezialisierte Fachärzte für Orthopädie und Unfallchirurgie des KLH.

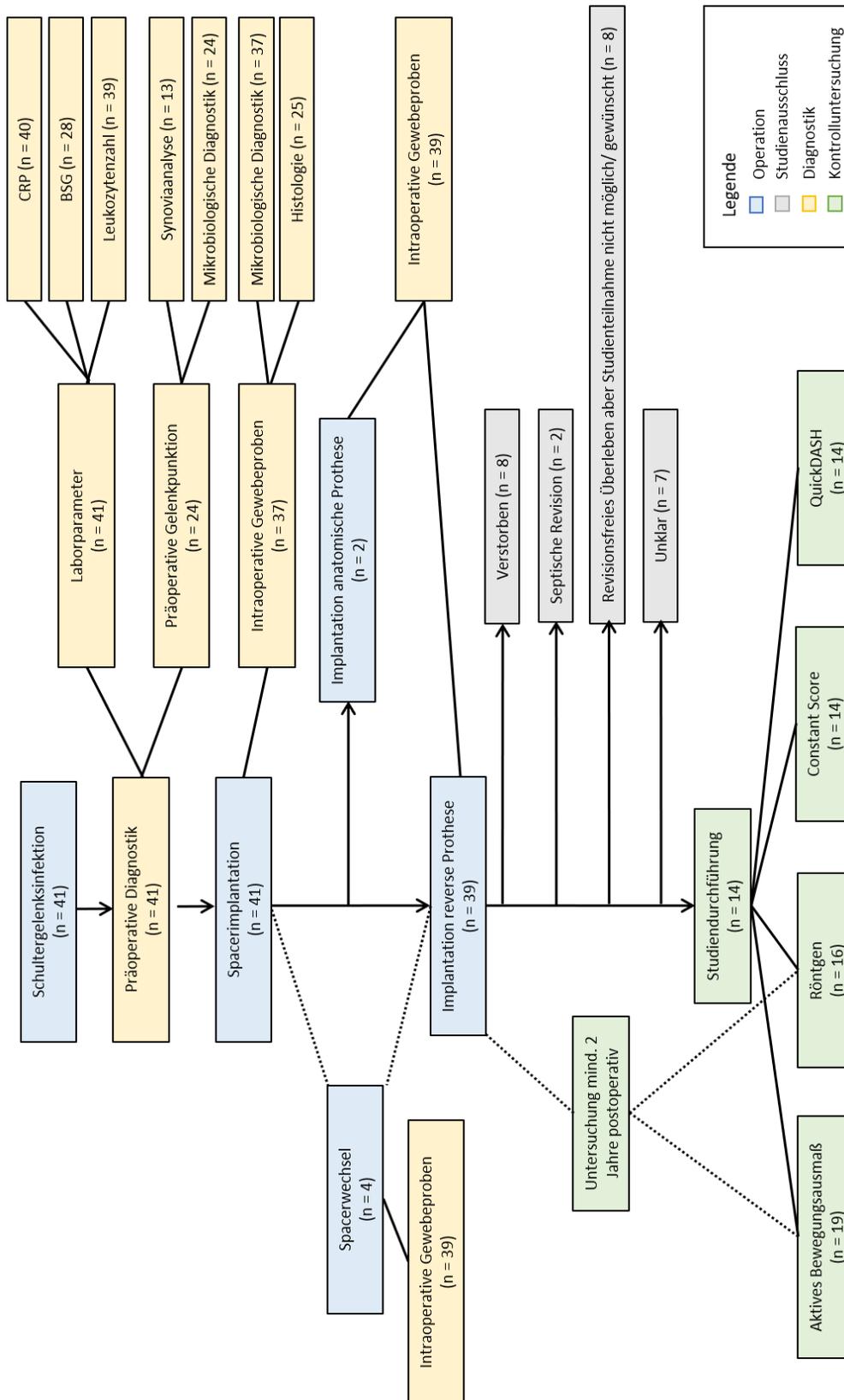


Abbildung 9: Flussdiagramm zu Behandlungs- und Studienablauf. Abgebildet sind Operationsschritte, durchgeführte Diagnostik, Aspekte der Nachuntersuchung und Ursachen für den Ausschluss von Patienten aus der Studie. Die für die einzelnen Aspekte eingeschlossenen Fallzahlen n stehen in Klammern.

2.2 Durchgeführte Diagnostik

2.2.1 Punktion des Schultergelenks

Zunächst erfolgte das mehrfache Abwaschen des entsprechenden Hautbereichs mit alkoholhaltigem Hautdesinfektionsmittel. Anschließend wurde mit einem sterilen Loch Tuch abgedeckt. Bei der Punktion von dorsal lag die Punktionsstelle je ca. 1,5 cm distal und medial der dorsolateralen Acromionecke. Mit einer Kanüle wurden Haut, ISP und die Gelenkkapsel durchstoßen und Gelenkflüssigkeit in eine sterile Spritze aspiriert. Alternativ erfolgte die Punktion von ventral. Die Kanüle wurde dabei lateral des *Processus coracoideus* durch das RM-Intervall eingebracht. Abschließend erfolgte die Anlage eines sterilen Wundverbands. Bei ausreichender Menge des Punktats wurde ein Teil für die Synoviaanalyse herangezogen und weitere Teile jeweils in eine Blutkulturflasche für aerobe bzw. anaerobe Anzucht überführt. Bei nicht ausreichender Punktatmenge war eine Verdünnung mit steriler Natriumchloridlösung erforderlich, in diesen Fällen war die Durchführung einer Synoviaanalyse nicht möglich.

2.2.2 Intraoperative Probengewinnung

Bei intraoperativer Eröffnung der Gelenkkapsel – und somit unter sterilen Kautelen - wurde zunächst Gelenkflüssigkeit abpunktiert und in Blutkulturflaschen überführt bzw. in sterile Gefäße asserviert. Zudem wurden im Laufe der Operation Gewebeproben periprothetischer Membranen sowie teilweise auch ganzer Knochenresektate oder anderer suspekter Weichgewebe entnommen und für die histologische Diagnostik in Formalin eingelegt bzw. für die mikrobiologische Diagnostik als Nativpräparat in einem sterilen, verschließbaren Behälter, ggf. mit Zugabe von steriler isotonischer Kochsalzlösung, versandt. Die Materialgewinnung erfolgte in aller Regel vor der perioperativen Antibiotikagabe.

2.2.3 Mikrobiologische Untersuchung

2.2.3.1 Kulturelle Anlage und Analytik

Die Proben wurden im Institut für Hygiene und Mikrobiologie der Universität Würzburg untersucht. Die kulturelle Anlage erfolgte am Tag der Probenentnahme.

Gewebe

Die Probengefäße wurden unter einem *Laminar-Flow* geöffnet und mit steriler Pinzette, Schere und Mörser fraktioniert. Mit der Materialanlage wurde ein Grampräparat zur mikroskopischen Untersuchung hergestellt. Die kulturelle Anlage von Geweben erfolgte als Anreicherung in BHI-Bouillon (Brain-Heart-Infusion-Bouillon) und Thioglykolat-Bouillon und durch Ausplattieren auf Candida-Chrom-Agar-Platte (Hefen), Columbia-Blut-Agar-Platte (Universal), Kochblut-Agar-Platte (Universal, anspruchsvolle Erreger), MacConkey-Agar-Platte (Gramnegative Erreger) und Schaedler-Agar-Platte (Anaerobier).

Punktat nativ

Klare Punktate und Synovialflüssigkeiten mit einem von Volumen von > 2,5 ml wurden durch Zentrifugation angereichert. Das Punktat bzw. Sediment wurde zunächst mit einer sterilen Pasteurpipette in die Tiefe der Thioglykolat- und BHI-Bouillon geben. Danach erfolgte eine Ausplattierung analog zum Vorgehen bei Geweben.

Punktat in Blutkulturflaschen

Die beimpften Blutkulturflaschen (BactAlert®, bioMérieux, Marcie-L`Étoile, Frankreich) wurden bei Raumtemperatur gelagert und transportiert und nach Ankunft im Labor in das entsprechende automatisierte Detektionsgerät (BactAlert® 3D, bioMérieux, Marcie-L`Étoile, Frankreich) eingestellt. Bei Positivmeldung erfolgte die Herstellung eines Grampräparats und die Ausplattierung auf eine Columbia-Blut-Agar-Platte und Kochblut-Agar-Platte.

Die Bebrütung von Geweben und Punktaten erfolgte jeweils über insgesamt 14 Tage und die Probe wurde bei negativem Befund nach Ablauf dieser Zeit als negativ gewertet.

2.2.3.2 Speziesdifferenzierung und Empfindlichkeitstestung

Nach Anzucht der Erreger auf Agarplatten erfolgte die Speziesdifferenzierung durch Massenspektrometrie (Vitek MS, bioMérieux, Marcie-L`Étoile, Frankreich) und eine Empfindlichkeitstestung (Vitek 2, bioMérieux, Marcie-L`Étoile,

Frankreich). In einigen Fällen erfolgte die Resistenzbestimmung durch Gradiententest (Etest®, bioMérieux, Marcie-L'Étoile, Frankreich).

2.2.4 Histologische Diagnostik

Die histologische Diagnostik erfolgte durch das Pathologische Institut der Universität Würzburg.

Intraoperativ gewonnenes Gewebe wurde zunächst in Formalin eingelegt. Bei nicht komplett einzubettenden Präparaten erfolgte zunächst der Zuschnitt relevanter Gewebsanteile. Die zu untersuchenden Präparate wurden in Einbettungskassetten eingekapselt und über Nacht in Entwässerungsautomaten in der aufsteigenden Alkoholreihe entwässert. Anschließend erfolgte das Ausgießen in Paraffin, es wurden dann ca. 3µm dicke Schnitte erstellt, welche auf Objektträger aufgebracht wurden. Hier wurden dann eine Übersichtsfärbung mit Hämatoxylin-Eosin und/ oder eine Eisenfärbung mit Berliner-Blau durchgeführt und die Präparate anschließend beurteilt. Die Beurteilung hinsichtlich des Vorhandenseins doppelbrechenden Fremdmaterials erfolgte polarisationsoptisch.

2.2.4.1 Morawietz-Klassifikation

Die Implantation einer Totalendoprothese geht in der Regel mit einer partiellen Synovektomie und Kapsulotomie einher. Nach dem Eingriff beginnt der Körper daraufhin mit der Ausbildung eines Neosynoviums. Hierbei wird unterschieden zwischen der periprothetischen Membran einerseits, welche sich zwischen Prothese und Knochen/ Zement bildet und andererseits der Neokapsel, welche lediglich Kontakt zur Prothese besitzt, nicht aber zu Knochen/ Zement. Da man davon ausgehen kann, dass die histologischen Veränderungen beider Gewebe bei einem Patienten sehr ähnlich sind, bezieht sich die Einteilung der histologischen Veränderungen auf beide gleichermaßen [92,112]. So werden nach der Morawietz-Klassifikation 4 Typen unterschieden.

Typ I = abriebinduzierter Typ

Dieser Typ ist gekennzeichnet durch die Infiltration von Makrophagen und mehrkernigen Riesenzellen, welche gemeinsam über 20 % der

Membranoberfläche einnehmen können. Das Vorkommen von Lymphozyten ist möglich. In den Zellen finden sich Abriebpartikel des Prothesenmaterials [92].

Typ II = infektiöser Typ

Das Neosynovium vom infektiösen Typ zeichnet sich vor allem durch eine hohe Anzahl neutrophiler Granulozyten aus. Für eine *low-grade* Infektion wurde die Grenze bei 23 neutrophilen Granulozyten in 10 HGF festgelegt [92,113]. Eine *low-grade* Infektion zeichnet sich ebenfalls durch eine chronisch granulierende Entzündung mit Fibroblasten, Kapillarproliferation, Ödemen und entzündlichen Infiltrate aus [112]. Bei *high-grade* Infektionen liegt die Anzahl der neutrophilen Granulozyten nochmals deutlich höher, allerdings wurden hierfür bisher keine Grenzwerte festgelegt [92].

Typ III = kombinierter Typ (Mischtyp)

Der kombinierte Typ ist gekennzeichnet durch das gleichzeitige Vorliegen der unter Typ I und II beschriebenen Kriterien.

Typ IV = indifferenter Typ

Beim Indifferenztyp findet sich Bindegewebe mit hohem Kollagenanteil, welches synoviaähnlich begrenzt ist. Charakteristika von Typ I oder II finden sich, wenn überhaupt, nur in sehr geringem Umfang.

2.2.5 Diagnosescores

Für die Diagnosestellung einer periprothetischen Infektion stehen mehrere Diagnosescores zur Verfügung, welche die Ergebnisse der verschiedenen Diagnostika kombinieren. In dieser Arbeit wurden die MSIS-, IDSA- und ICM-Kriterien angewandt. Für eine ausführliche Beschreibung dieser Diagnosescores siehe *1.6.4 Definition der periprothetischen Infektion*.

Die MSIS-Kriterien legen keinen Grenzwert fest, ab dem die synoviale Leukozytenzahl als erhöht zu werden ist. Der von Dineen et al. empfohlene Grenzwert von 1590 Leukozyten/ μ l im Synoviapunktat wurde als Grundlage für die hier vorliegende Arbeit herangezogen [37]. Der Anteil neutrophiler Lymphozyten in der Synovia wurde bei den in diese Arbeit eingeschlossenen

Patienten nicht bestimmt, aufgrund des retrospektiven Studiendesigns ließ sich hierzu folglich keine Aussage treffen. Ebenso lagen keine Daten zur exakten Anzahl der Neutrophilen Lymphozyten im periprothetischen Gewebe vor.

Die nicht erhobenen Daten zur Anzahl neutrophiler Granulozyten betreffen auch die ICM-Kriterien. Hier gelten zudem erhöhtes synoviales alpha-Defensin und die Granulozytenzahl im Gefrierschnitt als Kriterien. Diesbezüglich Daten wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit ebenfalls nicht erhoben.

2.3 Chirurgische Versorgung

2.3.1 Operative Versorgung mit zweizeitigem Wechsel

2.3.1.1 Vorbereitung

Der Patient erhielt präoperativ einen interskalenären Block und befand sich in Vollnarkose. Die Lagerung erfolgte in *Beach-Chair-Position*. Es erfolgte die standardmäßige Hautdesinfektion für mindestens 3 Minuten. Nachfolgend wurde mit sterilen Tüchern abgedeckt und eine iodierete Klebefolie auf den Operationsbereich aufgebracht.

Die perioperative Antibiotikatherapie wurde als *Single-shot* mit Unacid[®] 3g (1g Sulbactam + 2g Ampicillin, Pfizer Pharma, Berlin) intravenös über 30 min gegeben. Bei vorbekanntem Keim mit entsprechend vorliegender Resistenztestung wurde ggf. nach Rücksprache mit den Kollegen des Mikrobiologischen Institutes der Universität Würzburg ggf. eine entsprechend abweichende Antibiotikatherapie gegeben. Die initiale Gabe erfolgte erst nach Entnahme der mikrobiologischen Proben. Bei entsprechender Dauer der Operation wurde die Gabe der Antibiotikatherapie in gleicher Dosis nach 2 Stunden wiederholt.

2.3.1.2 Operativer Zugangsweg

Für den operativen Zugang zur Implantation einer Schulterendoprothese haben sich in erster Linie der deltoideopektorale Zugangsweg sowie der „*Deltasplit*“ etabliert. Letzterer ist in verschiedenen Versionen beschrieben. Eine Möglichkeit bietet der 1993 von MacKenzie beschriebene, anterosuperiore Zugangsweg. Hierbei wird die Inzision auf Höhe des AC-Gelenks begonnen und in Richtung

des proximalen Oberarms geführt. Die Fasern des DEL werden längs gespalten und der Muskel bei gleichzeitiger Durchtrennung des *Lig. acromioclaviculare* vom Acromion abgelöst. Als Komplikationen können eine postoperative Schwäche des DEL oder eine Hernie desselben auftreten [67]. Da die Funktion des DEL für die Funktion der reversen Schulterprothese essentiell ist, wird am KLH im Regelfall der deltoideopektorale Zugang gewählt. Im Gegensatz zum anterosuperioren Zugang muss der DEL hier nicht abgelöst und reinseriert werden, zudem ist die Gefahr einer Verletzung von Ästen des *N. axillaris* geringer [56,103].

Deltoideopektoraler Zugang

Der Hautschnitt wird beginnend am Coracoid ca. 6-10 cm lang leicht lateral zum Verlauf des deltoideopektoralen Intervalls in Richtung Ansatz des DEL gesetzt. Es folgt die subcutane Präparation und Identifikation des *M. pectoralis major* sowie des DEL. Letzterer wird zusammen mit der *V. cephalica* nach lateral gehalten. Darunter wird die *Fascia clavipectoralis* sichtbar, der *Processus coracoideus* kann nun ebenfalls identifiziert werden. Hieran setzen die Sehnen von *M. coracobrachialis*, *M. pectoralis minor* und die kurze Bicepssehne an. Lateral dieser sogenannten *Conjoined Tendons* wird die Faszie inzidiert. Es erfolgt die weichteilige Tenodese der langen Bicepssehne und die Fadenligatur der *Vasa circumflexa humeri anteriores* am Unterrand des SSC. Die Sehne des SSC wird mit Vicryl-Haltefäden armiert. Nach tastender Identifikation des *N. axillaris*, welcher sich in der Regel am Unterrand des SSC befindet, wird der Muskel medial vom *Sulcus intertubercularis* subperiostal vom *Tuberculum minus* abgelöst. Bei außenrotiertem Arm wird ein zirkuläres Kapselrelease vorgenommen. Bei adäquatem Release kann der Humerus dann unter Abduktion, Außenrotation und Extension in das deltoideopektorale Intervall luxiert werden [103,185].

Kritik am Deltoideopektoralen Zugang und Modifikationen

Ein Kritikpunkt an diesem Zugangsweg stellt die Ablösung des SSC dar. Dies kann zu fettiger Degeneration des Muskels führen und ggf. die postoperative Mobilisation verzögern [67,96]. Savoie et al. beschrieben den *Subscapularis-*

Sparing Approach, bei dem nur 30 - 50 % der SSC-Sehne abgelöst werden und stellten nach einem Nachuntersuchungszeitraum von 2 Jahren bei allen Patienten einen intakten SSC fest [157]. In einer Arbeit von Ding et al. zeigten sich für diesen Zugang allerdings signifikant mehr verbliebene Osteophyten im Vergleich zum konventionellen Zugang sowie in 23 % der Fälle eine nicht-anatomische Kalottengröße [36]. Lafosse et al. beschrieben den deltoideopektoralen Zugang für primäre Endoprothetik auch in einer modifizierten Weise ganz ohne Ablösung der SSC- oder SSP-Sehnen und ohne Dislokation der Schulter. In 35 % der Fälle zeigte sich dabei allerdings eine Fehlpositionierung der humeralen Komponente, in 47 % der Fälle konnten inferiore Osteophyten nicht entfernt werden [96].

2.3.1.3 Spacereinbau

Nachdem ein Zugang zum Gelenk geschaffen wurde, wurde zunächst durch Aspiration Gelenkflüssigkeit und Kapselgewebe zur mikrobiologischen und histologischen Untersuchung gewonnen. Einliegendes Fremdmaterial wurde, soweit möglich, entfernt. Im Falle einer einliegenden Prothese gibt es zur Entfernung des Schafts zwei Möglichkeiten. Wenn möglich wurde der Schaft nach kranial ausgeschlagen bzw. bei ausreichender Lockerung manuell entfernt (18 von 24 Operationen). Saß der Schaft so fest, dass dies nicht möglich war, wurde ein Osteotomiefenster im Humerus angelegt, so dass sich der Prothesenschaft hierdurch entfernen ließ (6 von 24 Operationen). Anschließend erfolgte ein sorgfältiges Débridement. Es wurden erneut Proben zu Diagnosezwecken entnommen. Im Falle der vorherigen Anlage eines Osteotomiefensters wurde eine nachfolgende Stabilisierung des Humerus mittels Cerclagen durchgeführt. In jedem Fall erfolgte eine mehrfache pulsatile Lavage mit Lavasept® (B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland) bzw. ab April 2011 Lavanid® (SeragWiessner, Naila, Deutschland) und nachfolgend isotoner Kochsalzlösung.

Die Herstellung des *Spacers* erfolgte manuell. In 3 Fällen wurde gentamicinhaltiger Knochenzement (Palacos®, Hereaeus, Hanau, Deutschland) verwendet. In 35 Fällen wurde diesem zusätzlich Vancomycin beigemischt. In 1

Fall wurde clindamycin- und gentamicinhaltiger Zement (Copal® G+C; Heraeus medical, Hanau, Deutschland) verwendet.

Der Schaft des *Spacers* wurde um einen gebogenen Steinmann-Nagel geformt und über weiteren Zement mit dem ebenfalls manuell geformten Kopfteil verbunden und nach Aushärtung in den Humerusschaft eingebracht. Auf einen artikulierenden Platzhalter mit Verankerung im Glenoid wurde verzichtet und so eine der Hemiprothese entsprechende Situation geschaffen. Anschließend erfolgte – soweit möglich - die zweireihige Refixation des SSC an das *Tuberculum minus*, medial mit einer Matratzennaht aus nicht resorbierbarem, teflonverstärktem Fadenmaterial (FiberWire®, Arthrex, Naples, Florida, USA), lateral über die U-förmig gestochenen Vicryl-Haltefäden. Abschließend wurde ein schichtweiser Wundverschluss mit Rekonstruktion des deltoideopektoralen Intervalls, Subcutannaht und entweder Donati- oder intrakutan-fortlaufender Hautnaht vorgenommen.

Bei 1 Patientin erfolgte zusätzlich bei bekannter *Vanishing Bone Disease* und bestehender Fraktur der *Spina scapulae* die Osteosynthese derselben.

2.3.1.4 Procedere bei einliegendem Spacer

Nach der Spacerimplantation wurde das betroffene Gelenk zunächst für 6 Wochen im Gilchristverband ruhiggestellt. Zudem erfolgte eine 2-wöchige, nach Möglichkeit antibiogrammgerechte, intravenöse Antibiotikatherapie mit anschließend oraler Fortführung. Nach 6 Wochen erfolgte in der Regel eine 2-wöchige Pausierung der Antibiotikaeinnahme und anschließend nochmals eine Gelenkpunktion mit entsprechender mikrobiologischer Diagnostik. In Zusammenschau von klinischer Präsentation, laborchemischen Parametern und ggf. vorliegendem Ergebnis der Punktion wurde über das weitere Vorgehen entschieden. War nicht mehr von einer persistierenden Infektion auszugehen erfolgte die Explantation des *Spacers* und Implantation der Endoprothese. Bei Verdacht auf eine persistierende Infektion erfolgte der Austausch des *Spacers*.

2.3.1.5 Spacerwechsel

Über den bei Spacerimplantation verwendeten Zugangsweg wurde der einliegende *Spacer* entfernt und nach Débridement und pulsatiler Lavage ein

neuer *Spacer* implantiert. Dieser bestand aus gentamicinhaltigem Palacos® (Hereaeus medical, Hanau, Deutschland) mit Beimischung von Vancomycin in 3 Fällen und mit Beimischung von Meropenem in 1 Fall.

2.3.1.6 Prothesenimplantation

Im Folgenden wird die grundlegende Operationstechnik bei Implantation einer reversen Prothese erläutert. Diese wurde im Einzelfall gegebenenfalls den patientenspezifischen Verhältnissen entsprechend modifiziert (siehe unten).

Der Zugang zum Gelenk erfolgte über den auch zuvor verwendeten deltoideopektoralen Zugangsweg. Es erfolgt die intraoperative Zellzahlbestimmung und erneute Probenentnahme zur mikrobiologischen/histologischen Diagnostik. Einliegendes Fremdmaterial wird entfernt. Es erfolgen Débridement und Spülung mit Lavanid® (SeragWiessner, Naila, Deutschland) sowie Kochsalzlösung. Die Resektionslehre wird eingebracht und damit auch die Retroversion der Prothese eingestellt. Bei der hauptsächlich verwendeten *Tornier Aequalis™ reversed II* (Wright N. V., Middlesex, UK) sind hier zwischen 0 und 20° empfohlen. Einer anatomischen Position würden ca. 10° Retroversion entsprechen. Eine gute Innenrotationsfähigkeit wird eher bei neutraler Stellung erreicht. Die Wahl der Retroversion geschieht als Kompromiss zwischen maximal möglicher Innen- und Außenrotation des Armes unter Wahrung der Stabilität des Gelenkes. Der Humeruskopf bzw. verbliebene Anteile werden dann mit einer oszillierenden Säge reseziert.

Mittels eines Raspatoriums werden die Weichteile am Glenoidhals subperiostal abgelöst und schrittweise ein periglenoidales Release durchgeführt, eventuell noch bestehende Labrumanteile werden dabei entfernt, Osteophyten ebenfalls. Schließlich wird das Glenoid zirkumferent dargestellt. Um späteres inferiores *Notching* zu vermeiden, erfolgt die Ausrichtung der Basisplatte an der kaudalen Glenoidkurvatur. Mit Hilfe eines Führungsinstruments wird die Position des zentralen Bohrlochs festgelegt und der Knochen entsprechend aufgebohrt. Die Glenoidoberfläche wird mit Fräsen abgeflacht, um später eine sichere Fixation der Basisplatte zu ermöglichen. Diese wird nun positioniert und der zentrale

Zapfen in das Bohrloch eingebracht. Die Fixation erfolgt dann über 4 Schrauben. Anterior und posterior werden Kompressionsschrauben verwendet, kranial und kaudal multidirektional winkelstabile Schrauben. Die kraniale Schraube wird bevorzugt in die Basis des *Processus coracoideus* gesetzt, um eine möglichst suffiziente knöcherne Verankerung zu erzielen. Auf die Basisplatte wird nun die eigentliche Glenosphäre zunächst impaktiert und dann mit der Basisplatte verschraubt.

Nun wird die Präparation des Schaftes fortgesetzt. Die Metaphyse wird entsprechend der zuvor bestimmten Implantatgröße aufgefräst, die Diaphyse wird mit Fräsen aufsteigender Größe erweitert bis Kontakt zur Kortikalis besteht. Es erfolgt die Größentestung mittels Probeimplantat. Nach nochmaliger Spülung wird ein Zementstopper in den distalen Markraum des Humerus eingebracht und der Schaft mit Knochenzement gefüllt. Anschließend wird das definitive Implantat in den Humerusschaft eingesetzt. Das Aushärten des Zements wird ohne Reposition abgewartet, um eine sekundäre Dislokation der Prothese zu vermeiden. Dann wird mittels Proberepositionen das Polyethyleninlay gewählt, mit welchem eine balancierte Weichteilspannung und möglichst stabile Verhältnisse bei gleichzeitig freiem Gelenkspiel mit großem, impingementfreiem Bewegungsausmaß erreicht werden. Das Inlay wird dann auf der metaphysären Komponente fixiert. Die vordere Gelenkkapsel und verbliebene Anteile des SSC werden über transossär vorgelegte Fäden auf dem *Tuberculum minus* refixiert. Noch vorhandene Anteile der RM werden nach Möglichkeit ebenfalls refixiert. Abschließend folgt der schichtweise Wundverschluss [56,103,185].

Abhängig von den durch die Erkrankung und etwaige Voroperationen veränderten anatomischen Verhältnissen, variiert das exakte Vorgehen patientenspezifisch. Bei 7 Patienten wurde vor Fixation der Basisplatte ein Aufbau des Glenoids mittels autologem corticospongiösem Span vom Beckenkamm vorgenommen.

2.3.2 Implantierte Prothesen

Bei 37 Patienten wurde eine *Aequalis™ reversed II* implantiert. Eine reverse *Aequalis™ ascend flex*, eine anatomische *Aequalis™ ascend flex*, eine

anatomische Aequalis™ und eine nickelfreie *Aequalis™ reversed FX* wurden jeweils bei 1 Patienten implantiert. Alle Prothesen sind Produkte der Firma Tornier (Wright N. V., Middlesex, UK). Alle Prothesen wurden mit gentamicinhaltigem Knochenzement (Palacos® R+G; Heraeus medical, Hanau, Deutschland) verankert.

2.3.3 Postoperative Nachbehandlung

Für die ersten 6 Wochen postoperativ wurde die Schulter, abhängig von der Spannung des DEL und der individuellen intraoperativen Situation, entweder im Glichristverband oder Armabduktionskissen gelagert. Während der ersten 2 Wochen erfolgte täglich die passive Mobilisation in Abduktion, Elevation und Innenrotation sowie Mobilisation des Ellbogengelenks. Nachfolgend wurden sukzessive auch aktive Flexion und Abduktion aufgebaut. Ab der 7. Woche erfolgte zunehmend die freie Mobilisation und aktive Beübung. Der Fadenzug erfolgte um den 12. postoperativen Tag.

2.4 Klinisch- radiologische Nachuntersuchung

2.4.1 Überleben

Zum Zeitpunkt der Studiendurchführung waren 21 von 39 Patienten erreichbar. Für Patienten mit unklarem Verbleib bzw. unklarem Todesdatum wurde aus klinikinternen Akten sowie Rücksprachen mit externen behandelnden Ärzten der letzte bekannte Zeitpunkt einer ärztlichen Vorstellung eruiert. Der Zeitraum zwischen Protheseneinbau und diesem Zeitpunkt wurde als „Mindestüberleben“ nach Protheseneinbau gewertet.

2.4.2 Erfassung objektiver klinischer Daten

2.4.2.1 Bewegungsausmaß

Es wurde das schmerzfreie, aktive Bewegungsmaß in Bezug auf Flexion und Extension, Außen- und Innenrotation sowie Ab- und Adduktion ermittelt. Die Bestimmung erfolgte mittels eines Goniometers gemäß der Neutral-Null-Methode, wobei die Rotation bei 90° flektiertem Ellbogen und 0° Abduktion im Schultergelenk bestimmt wurde.

2.4.2.2 Kraft

Die Kraft wurde mittels eines IsoBex[®] Muskelkraft-Analysegeräts (MDS Medical Device Solutions AG, Oberburg, Schweiz) ermittelt. Die Messung erfolgte in 90° Abduktion und 30° Anteversion. Die Messung erfolgt über einen Zeitraum von 5 Sekunden, während dessen wird 10 Mal pro Sekunde die Kraft gemessen. Nachfolgend werden die Werte integriert um die Auswirkung von Artefakten, wie bspw. Kraftspitzen, einzudämmen. Das Ergebnis wird in kg angezeigt [107].

2.4.3 Erfassung von Daten mit subjektiver Komponente

2.4.3.1 VAS-Schmerzskala

Die numerische visuelle Analogskala (VAS) ist eine gut validierte Methode zur Messung der subjektiv empfundenen Schmerzintensität [80]. Auf einer in 10 gleich große Abschnitte eingeteilten Linie, deren Anfangspunkt mit 0 = „kein Schmerz“ und deren Endpunkt mit 10 = „stärkster vorstellbarer Schmerz“ markiert sind, markierte der Patient die Stelle, die der Intensität des empfundenen Schmerzes innerhalb der letzten 4 Wochen entsprach. Das Ergebnis wurde in ganzen Zahlen von 0-10 angegeben.

2.4.3.2 Constant Score

Der von Constant erstmals 1987 vorgestellte Score wurde bereits 1991 auch in deutscher Sprache publiziert. Wenige Jahre später forderte bereits die *European Society for Surgery of the Shoulder and the Elbow* (SECEC), ihn als allgemein anzuerkennender Schulterscore zu etablieren, um eine internationale Vergleichbarkeit von Behandlungsergebnissen möglich zu machen [28]. Der Constant Score ist inzwischen eine Standardmethode zur Überprüfung der Schulterfunktionalität und wurde vielfach mit guten Ergebnissen validiert [34,33]. Beschrieben sind eine geringe Intra- wie auch Interobservervariabilität, eine hohe Reliabilität und Sensitivität sowie eine geringe Anfälligkeit für Störfaktoren [7,16,25,32].

Insgesamt können bei den verschiedenen Fragen und Tests, aus denen sich der Constant Score zusammensetzt, maximal 100 Punkte erreicht werden. Dies würde einer völligen Schmerzfreiheit bei maximaler Funktionalität entsprechen. Die Endsumme ist dabei der Schulterfunktion direkt proportional. 35 % der

Punkte werden durch subjektive Komponenten bestimmt. Diese beinhalten eine Schmerzskala (15 %) sowie die Einschränkung bei Alltagsaktivitäten wie Arbeitsfähigkeit, Freizeit-/Sportfähigkeit, Schlaffähigkeit und Handreichweite (20 %). Weitere 65 % der Punkte werden über objektive Kriterien bestimmt. Dies sind aktive Motilität (40 %) und Kraft in Abduktion (25 %). Constant legte hier auch altersabhängige Abstufungen der Normwerte für Männer und Frauen vor. Das Ausmaß der Schulterfunktionseinschränkung kann in Abhängigkeit von der Aktivität des Untersuchten entsprechend des Punktdefizits in 4 Kategorien von leicht bis vollständig eingeteilt werden [28,34,40].

Verschiedene Autoren beschäftigten sich in den letzten Jahrzehnten mit der Weiterentwicklung des Constant Scores. Ein Ansatzpunkt hierbei war die Problematik, dass in der ursprünglich vorgestellten Version die klinische Untersuchung zwingend erforderlich war [164]. Böhm et al. veröffentlichten dann 2004 eine auf Validität und Reliabilität geprüfte und inzwischen auch von der *Deutschen Vereinigung für Schulter- und Ellbogenchirurgie (DVSE)* empfohlene Version des Constant Scores, welche auf einem Fragebogen beruht, der vom Patienten eigenständig ausgefüllt werden kann [12]. Für die Motilitätsprüfung erhält der Patient hier eine Reihe von Fotos zum Abgleich mit der eigenen Beweglichkeit und gibt für jedes Bild an, ob er die dargestellte Bewegung aktiv und schmerzfrei ausführen kann. So wird das individuell mögliche Bewegungsausmaß erfasst. Die abgefragten Bewegungen sind dabei analog zur Originalversion. Dies gilt auch in Bezug auf die Umrechnung zwischen erreichter Motilität und Wert im Score der ursprünglichen Variante, wodurch die Vergleichbarkeit in der Auswertung gewährleistet wird [12]. Dieses Verfahren setzt neben Compliance auch ausreichende Kenntnisse der deutschen Sprache voraus. Sofern diese aber vorhanden sind, können nun auch Patienten mit in die Datenerhebung eingeschlossen werden, welche für eine Nachuntersuchung in der Klinik nicht zur Verfügung stehen. Für eben diese Patientengruppe wurde auch in der hier beschriebenen Arbeit der Constant Score in der Version von Böhm verwendet.

2.4.3.3 QuickDASH

Seit einigen Jahren steigt zunehmend das Bewusstsein dafür, dass rein objektive Daten zur Beurteilung bestehender Einschränkungen der oberen Extremität nicht ausreichen, sondern die Ermittlung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität des Patienten eine wichtige Rolle spielt. Um diesem Aspekt Rechnung zu tragen, dient der QuickDASH als patientenorientiertes Messinstrument [1].

Die Grundlage für die in dieser Studie verwendete Version des *Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Fragebogens* (DASH), wurde 1996 in einer gemeinschaftlichen Arbeit der *American Academy of Orthopedic Surgeons* (AAOS), des *Council of Musculoskeletal Specialty Societies* und des *Institute for Work and Health* gelegt [77]. Hudak et al. beschrieben eine Reihe von 78 plus 5 optionalen *Items*. Diese hatte zum Ziel, ein Messinstrument für klinische Ergebnisse zu entwickeln, welches die gesamte obere Extremität als funktionelle Einheit sieht und somit für alle Leiden eben dieser angewendet werden kann [77]. Der inzwischen verwendete DASH umfasst 30 Fragen zu Funktionalität und Symptomen. Eine für den deutschen Sprachraum geeignete, auf Validität und Reliabilität geprüfte und von der AAOS anerkannte Version wurde erstmals 1999 von Germann et al. publiziert [53,52,180]. Mit dem Ziel, einen deutlich kürzeren, jedoch ebenso reliablen und validen Fragebogen zu entwickeln, entstand dann 2005 die Kurzform des DASH, der QuickDASH. Dieser enthält neben 10 Fragen zu Alltags-, Freizeit- und sozialen Aktivitäten sowie der Symptomatik auch ein optionales Modul zur Sport- und Musik- sowie zur Arbeits- und Berufsfähigkeit [8].

In der hier vorliegenden Arbeit wurde der QuickDASH in deutscher Sprache verwendet, die optionalen Bestandteile wurden hierbei nicht berücksichtigt.

2.4.4 Bildgebung

Es wurden Röntgenaufnahmen der Schulter in axialer- sowie anteroposteriorer (a.- p.)-Projektion angefertigt. Sofern dies zur vollständigen Einsicht des Prothesenschaftes nötig war, wurden auch Bilder des Oberarmes in 2 Ebenen angefertigt. Die Röntgendiagnostik diente der Überprüfung des Prothesensitzes

sowie der Detektion möglicher Komplikationen, welche im Folgenden aufgeführt sind.

2.4.4.1 Komponentendislokation

Als Dislokation wurde eine von der ursprünglichen Implantatlage abweichende Lage von Prothesenkomponenten gewertet. Zur Evaluation des Aspekts wurden auch Voraufnahmen herangezogen.

2.4.4.2 Radiolcent-Lines

Radiolucent-Lines (RLL) sind saumartige Aufhellungen im periprothetischen Knochen entsprechend Bereichen mit geminderten Knochendichte und somit erhöhter Röntgendurchlässigkeit. Die Einteilung erfolgte zum einen nach der Breite des Saumes in < 2 mm oder > 2 mm und zum anderen nach der Lokalisation. In Anlehnung an eine Arbeit von Boileau et al. wurde der Schaftbereich in 7 Zonen unterteilt. Diese sind in *Abbildung 10* dargestellt. Am Glenoid wurden 4 Bereiche unterschieden: kraniale Basisplatte, kaudale Basisplatte, zentrale Verankerung und Schrauben [19].

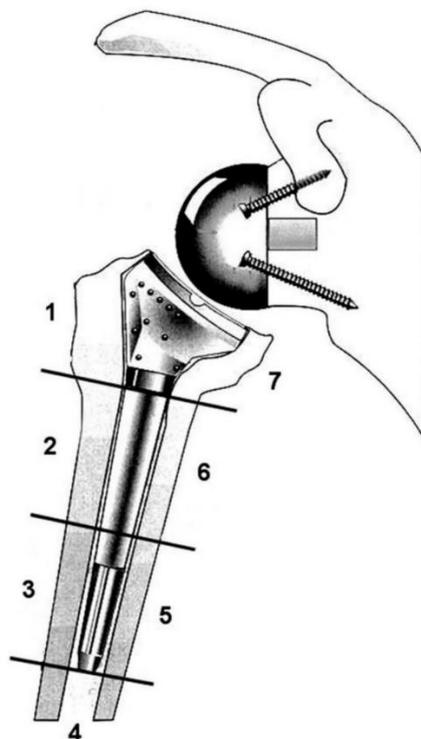


Abbildung 10: Klassifikation der RLL nach Position im Röntgenbild. Einteilung in 7 humeralseitige Zonen. Aus: Boileau, Watkinson et. al. S. 530 [19]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.

2.4.4.3 Notching

Zur Begriffserläuterung siehe 1.5.5 *Notching*. Die Einteilung des Schweregrades erfolgte nach Sirveaux et al. [163]. Sieh hierzu *Abbildung 11*. Diese nimmt eine Gliederung in 4 Schweregrade vor: Bei Grad I bleibt der Defekt auf den Scapulahals beschränkt, bei Grad II reicht er an die untere Schraube heran, bei Grad III reicht er bis oberhalb der unteren Schraube, bei Grad IV bis weit unter die Basisplatte.

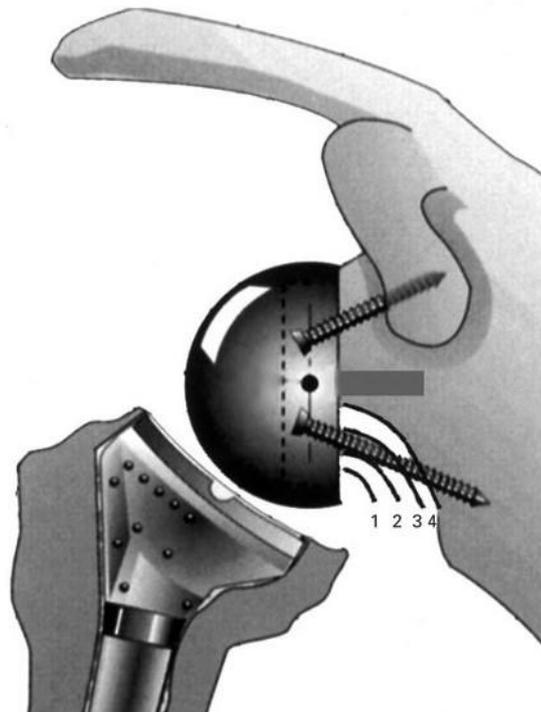


Abbildung 11: Schweregrade des Skapulären Notchings. Aus: Sirveau, Favard et al, S. 391 [163]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.

2.5 Statistische Methoden

2.5.1 Software

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS Statistics® Version 24.0 (IBM, New York, USA) und Microsoft Excel® Version 1908 (Microsoft, Washington, USA).

2.5.2 Test auf Normalverteilung

Durchgeführt wurde ein Shapiro-Wilk-Test. Die Annahme der Nullhypothese erfolgte sofern $p > 0,100$ ($\alpha = 0,100$). War dies der Fall, wurde eine Normalverteilung des Probenumfangs angenommen. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 2* dargestellt.

Tabelle 2: Ergebnisse des Saphiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung für verschiedene Proben.

Probe	p-Wert	Normalverteilung
Leukozytenzahl im präoperativen Punktat bei Patienten		
a) mit Keimnachweis	0,002	Nein
b) ohne Keimnachweis	0,001	Nein
c) mit Primärinfektion	0,000	Nein
d) mit periprothetischer Infektion	0,007	Nein
CRP bei Patienten mit		
a) Keimnachweis	0,010	Nein
b) Alleinigem Nachweis von Cutibakterien	0,003	Nein
c) Nachweis anderer Keime/ Mischinfektionen	0,001	Nein
d) Primärinfektion	0,146	Ja
e) Sekundärinfektion	0,001	Nein
f) Periprothetischer Infektion	0,001	Nein
BSG bei Patienten mit		
a) Keimnachweis	0,331	Ja
b) Alleinigem Nachweis von Cutibakterien	0,117	Ja
c) Nachweis anderer Keime/ Mischinfektionen	0,444	Ja
d) Primärinfektion	0,329	Ja
e) Sekundärinfektion	0,326	Ja
f) Periprothetischer Infektion	0,226	Ja
Leukozyten bei Patienten mit		
a) Keimnachweis	0,746	Ja
b) Alleinigem Nachweis von Cutibakterien	0,248	Ja
c) Nachweis anderer Keime/ Mischinfektionen	0,978	Ja
d) Primärinfektion	0,163	Ja
e) Sekundärinfektion	0,003	Nein
f) Periprothetischer Infektion	0,355	Ja
Aktive Flexion		
a) Betroffene Seite	0,287	Ja

b) Nicht-betroffene Seite	0,002	Nein
Aktive Extension		
a) Betroffene Seite	0,129	Ja
b) Nicht-betroffene Seite	0,001	Nein
Aktive Abduktion		
a) Betroffene Seite	0,108	Ja
b) Nicht-betroffene Seite	0,001	Nein
Aktive Innenrotation		
a) Betroffene Seite	0,015	Nein
b) Nicht-betroffene Seite	0,021	Nein
Aktive Außenrotation		
a) Betroffene Seite	0,001	Nein
b) Nicht-betroffene Seite	0,059	Nein
Constant Score (bei Patienten)		
a) Betroffene Seite	0,610	Ja
b) Nicht-betroffene Seite	0,167	Ja
c) Mit röntgenologisch sichtbaren RLL	0,516	Ja
d) Ohne röntgenologisch sichtbare RLL	0,771	Ja
e) Mit röntgenologisch sichtbarem Notching	0,996	Ja
f) Ohne röntgenologisch sichtbares Notching	0,356	Ja
Bewegungsmaß gemäß Constant Score bei Patienten		
a) Mit röntgenologisch sichtbaren RLL	0,554	Ja
b) Ohne röntgenologisch sichtbare RLL	0,173	Ja
c) Mit röntgenologisch sichtbarem Notching	0,523	Ja
d) Ohne röntgenologisch sichtbares Notching	0,997	Ja
Schmerzen gemäß VAS bei Patienten		
a) Mit röntgenologisch sichtbaren RLL	0,139	Ja
b) Ohne röntgenologisch sichtbare RLL	0,923	Ja
c) Mit röntgenologisch sichtbarem Notching	0,017	Nein
d) Ohne röntgenologisch sichtbares Notching	0,112	Ja
QuickDASH bei Patienten		
a) Mit röntgenologisch sichtbaren RLL	0,469	Ja
b) Ohne röntgenologisch sichtbare RLL	0,246	Ja
c) Mit röntgenologisch sichtbarem Notching	0,126	Ja
d) Ohne röntgenologisch sichtbares Notching	0,327	Ja

Bei Ablehnung der Nullhypothese im Shapiro-Wilk-Test wurde zudem eine graphische Beurteilung hinsichtlich einer möglichen Normalverteilung mittels eines QQ-Plots durchgeführt. Für alle betroffenen o. g. Aspekte ergab sich auch hier keine Normalverteilung.

2.5.3 Test auf ungleiche Varianzen

Der Levene-Test wurde bei unabhängigen, normalverteilten Stichproben zur Testung auf Vorliegen gleicher bzw. ungleicher Varianzen durchgeführt. Die Nullhypothese und somit eine Gleichheit der Varianzen wurde angenommen sofern $p > 0,050$ ($\alpha = 0,050$).

Der Test wurde angewandt für: BSG und Leukozytenzahlen im peripheren Blut in Abhängigkeit der nachgewiesenen Keime. BSG und Leukozytenzahlen im peripheren Blut in Abhängigkeit des Infektionstyps. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 3* dargestellt.

Es ergaben sich $p > 0,050$ und somit gleiche Varianzen für alle getesteten Gruppen.

Tabelle 3: Ergebnisse des Levene-Tests für BSG und Leukozyten im Vergleich verschiedener Gruppen. Gleiche Varianzen in den Gruppen werden angenommen sofern $p > 0,050$.

Gruppen im Vergleich		p-Wert	
		BSG	Leukozyten
Primärinfektion	Periprothetische Infektion	0,057	0,295
Primärinfektion	Sekundärinfektion	0,578	0,838
Sekundärinfektion	Periprothetische Infektion	0,975	0,262
Keimnachweis	Kein Keimnachweis	0,443	0,212
Cutibakterien	Kein Keimnachweis	0,729	0,218
Cutibakterien	Andere-/Mischinfektionen	0,152	0,742

Der F-Test wurde bei unabhängigen, normalverteilten Stichproben mit Stichprobengröße $n < 5$ zur Testung auf Vorliegen gleicher bzw. ungleicher Varianzen durchgeführt. Die Nullhypothese und somit eine Gleichheit der Varianzen wurde angenommen sofern $p > 0,050$ ($\alpha = 0,050$).

Der Test wurde angewandt für: Constant Score, Schmerzen (nach VAS), Beweglichkeit (nach Constant Score) und QuickDASH mit Patienten mit bzw. ohne RLL und mit bzw. ohne Notching. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 4* dargestellt.

*Tabelle 4: Ergebnisse des F-Tests für Constant Score, Schmerzen, Bewegungsausmaß und QuickDASH in Abhängigkeit der radiologischen Befunde (RLL ja/ nein, Notching ja/nein). Gleiche Varianzen (mit * markiert) werden angenommen sofern $p > 0,050$.*

Gruppen	p-Wert			
	Constant Score	Schmerzen	Bewegungsausmaß	QuickDASH
Notching ja/ nein	0,012	0,040	0,368*	0,014
RLL ja/ nein	0,012	0,040	0,248*	0,014

2.5.4 T-Test für nicht-gepaarte Stichproben

Durchführung bei nicht verbundenen, normalverteilten Stichproben. In Abhängigkeit der Ergebnisse der Varianzanalyse als Version für gleiche Varianzen bzw. verschiedene Varianzen. Die Nullhypothese (kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen) wurde abgelehnt sofern $p < 0,05$ ($\alpha = 0,05$).

Der Test wurde angewandt für: BSG und Leukozytenzahlen im peripheren Blut in Abhängigkeit der nachgewiesenen Keime, BSG und Leukozytenzahlen im peripheren Blut in Abhängigkeit des Infektionstyps. Beweglichkeit (nach Constant Score), QuickDASH, Schmerz (nach VAS) und Constant Score in Abhängigkeit der radiologischen Befunde (RLL bzw. Notching ja/ nein). Hierbei einseitige Testung mit der Frage nach schlechteren Ergebnissen bei Vorliegen von RLL bzw. Notching.

2.5.5 T-Test für gepaarte Stichproben

Durchführung bei verbundenen, normalverteilten Stichproben gleicher Varianzen. Die Nullhypothese (kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen) wurde abgelehnt sofern $p < 0,05$ ($\alpha = 0,05$).

Der Test wurde angewandt für: Kraft im Seitvergleich.

2.5.6 Wilcoxon-Test

Durchführung bei verbundenen, nicht normalverteilten Stichproben. Annahme der Alternativhypothese, entsprechend signifikantem Unterschied der Gruppen, sofern $p < 0,05$ ($\alpha = 0,05$).

Der Test wurde angewandt für: Beweglichkeit im Seitvergleich, Constant Score im Seitvergleich.

2.5.7 Mann-Whitney-U-Test

Durchführung bei nicht verbundenen, nicht normalverteilten Stichproben. Ein Mindeststichprobenumfang von $n = 5$ war erforderlich. Die Nullhypothese (kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen) wurde abgelehnt sofern $p < 0,05$ ($\alpha = 0,05$).

Der Test wurde angewandt für: CRP in Abhängigkeit nachgewiesener Keime.

Die Anwendung bezüglich der synovialen Leukozytenzahl in der präoperativen Punktion in Abhängigkeit des Infektionstyps bzw. in Abhängigkeit nachgewiesener Keime war bei einer Fallzahl $n = 3$ nicht möglich.

2.5.8 Chi²-Test

Der Chi² -Test wurde angewandt zum Vergleich von Häufigkeiten zwischen nominal skalierten Parametern. Ein signifikanter Unterschied wurde angenommen sofern $p < 0,05$ ($\alpha = 0,05$).

Der Test wurde angewandt für: Vergleich der Häufigkeit positiver Ergebnisse in den Diagnosescores (MSIS, IDSA, ICM).

2.5.9 Exakter Fisher-Test

Der Test wurde angewandt zum Vergleich von Häufigkeiten bzw. zur Bestimmung von Korrelationen zwischen nominal und ordinal skalierten Parametern, wenn die erwarteten Häufigkeiten in > 20 % der Fälle < 5 waren. Die Nullhypothese (Unabhängigkeit) wurde abgelehnt sofern $p < 0,05$ ($\alpha = 0,05$).

Der Test wurde angewandt für: Korrelationen der Ergebnisse von Diagnosescores (MSIS, IDSA, ICM) mit funktionellen Ergebnissen (Constant Score, QuickDASH, Beweglichkeit, Schmerzen).

2.5.10 Korrelationsanalyse

2.5.10.1 Pearson-Korrelationsanalyse

Die Pearson-Korrelationsanalyse erfolgte zur Bestimmung von Korrelationen zwischen zwei metrisch skalierten Parametern. Eine signifikante Korrelation wurde angenommen sofern $p < 0,05$ ($\alpha = 0,05$).

Die Analyse wurde angewandt für: Korrelationen zwischen Risikofaktoren (BMI, Zeit mit einliegendem *Spacer*, Alter bei RSA-Implantation, Voroperationen vor Spacerimplantation) und postoperativer Kraft. Die Fragestellung bezog sich darauf, ob Risikofaktoren mit schlechteren funktionellen Ergebnissen assoziiert sind (1-seitige Testung).

2.5.10.2 Spearman-Korrelationsanalyse

Die Spearman-Korrelationsanalyse erfolgte zur Bestimmung von Korrelationen zwischen zwei ordinal skalierten Parametern bzw. zwischen ordinal und metrisch skalierten Parametern. Eine signifikante Korrelation wurde angenommen sofern $p < 0,05$ ($\alpha = 0,05$).

Die Analyse wurde angewandt für: Korrelationen zwischen Ergebnissen von Constant Score und QuickDASH bzw. Schmerzen (2-seitige Testung). Korrelationen zwischen Risikofaktoren (BMI, Zeit mit einliegendem *Spacer*, Alter bei RSA-Implantation, Voroperationen vor Spacerimplantation) und funktionellen Ergebnissen (Constant Score, QuickDASH, Beweglichkeit, Schmerzen). Die Fragestellung bezog sich darauf, ob Risikofaktoren mit schlechteren funktionellen Ergebnissen assoziiert sind (1-seitige Testung).

2.5.10.3 Phi-Assoziationskoeffizient

Der Phi-Assoziationskoeffizient wurde zur Quantifizierung des Zusammenhangs zweier nominal skaliertes Merkmale genutzt.

Der Koeffizient wurde angewandt für: Stärke der Zusammenhänge der Ergebnisse der Diagnosescores (MSIS, IDSA, ICM) untereinander. Zusammenhänge zwischen Risikofaktoren (Übergewicht, Nikotinabusus, Diabetes mellitus, Rheumatoide Arthritis, schwere Allgemeinerkrankung) und Infektionstypen (Primärinfektion, Sekundärinfektion, Periprothetische Infektion).

Korrelation der Ergebnisse von Diagnosescores (MSIS, IDSA und ICM) mit den Infektionstypen (Primärinfektion, Sekundärinfektion, periprothetische Infektion).

3 Ergebnisse

3.1 Patientenkollektiv und Demographie

Die Gesamtzahl der Patienten betrug 41. Davon waren 28 weiblich (68,3 %) und 13 männlich (31,7 %).

3.1.1 Indexoperation

Als Indexoperation wurde in dieser Studie die letzte vor Auftreten des Infektionsverdachts erfolgte Operation der betroffenen Schulter betrachtet. In 24 Fällen (58,5 %) war dies die Implantation einer Schulterendoprothese. In 6 Fällen (14,6 %) war primär eine Osteosynthese bei proximaler Humerusfraktur erfolgt. Bei 2 Patienten (4,8 %) war die Rotatorenmanschette rekonstruiert worden, davon in 1 Fall einschließlich eines Latissimus-dorsi-Transfers. Bei 9 Patienten (22,0 %) war die Infektion primär, also ohne vorherigen chirurgischen Eingriff, aufgetreten. In 1 dieser Fälle war zuvor eine intraartikuläre Cortisoninjektion erfolgt. Die Zusammensetzung in unserem Patientenkollektiv ist in *Abbildung 12* dargestellt.

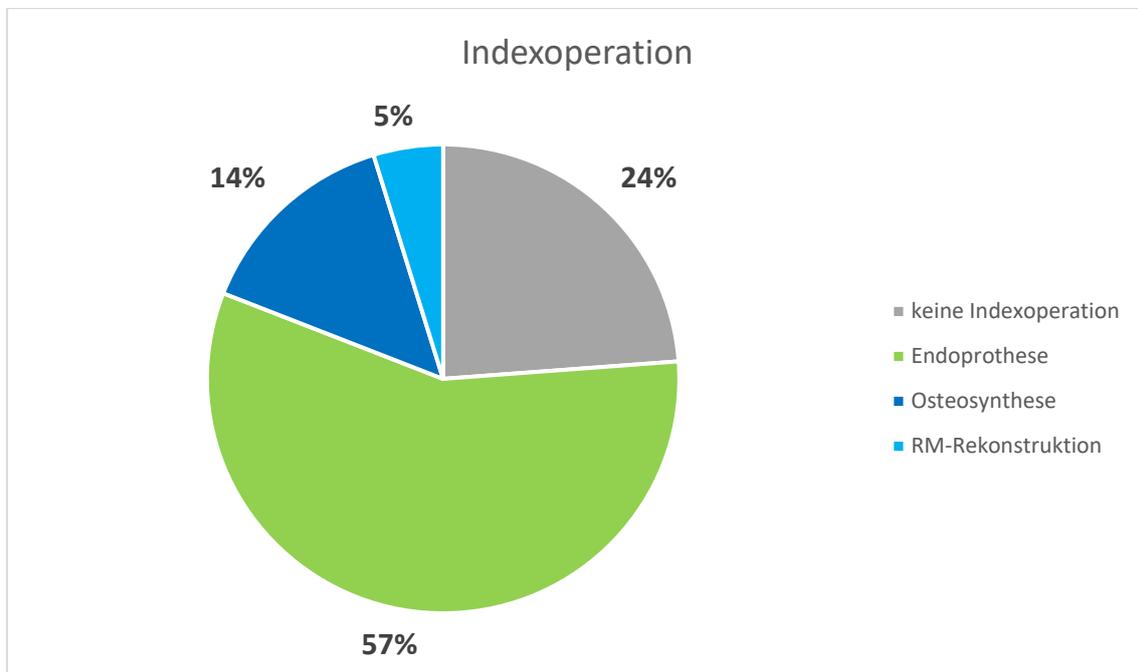


Abbildung 12: Prozentuale Zusammensetzung des Patientenkollektivs in Bezug auf die erfolgte Indexoperation. RM = Rotatorenmanschette.

Die Zeitspanne zwischen Indexoperation und Spacerimplantation lag bei 31 Monaten (Bereich 9 Tage - 155 Monate, SD 39, n = 32). Bei Patienten mit periprothetischer Infektion (n = 24) betrug die Zeitspanne 33 Monate (Bereich 9 Tage – 155 Monate, SD 38 Monate). Bei Patienten mit sekundärer Infektion (n = 8) betrug die Zeitspanne 25 Monate (Bereich 2 - 127, SD 40). *Abbildung 13* zeigt die Zeitspannen zwischen Indexoperation und Spacerimplantation.

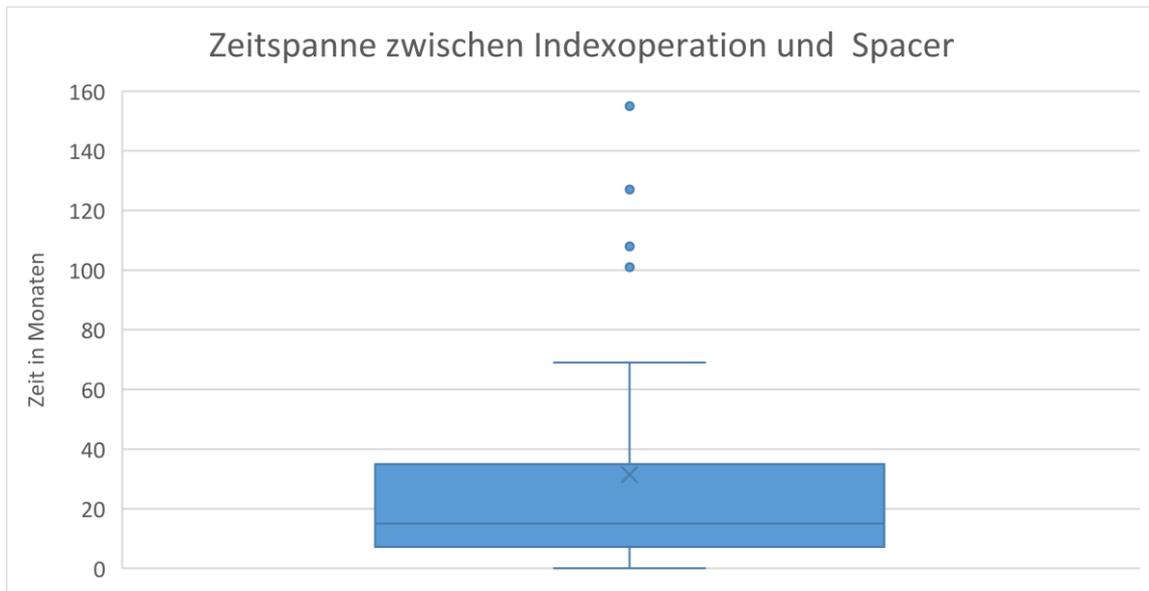


Abbildung 13: Zeitspanne zwischen Indexoperation und Spacerimplantation im Patientenkollektiv.

3.1.2 Patientenalter

Das mittlere Alter bei Indexoperation (n = 32) betrug 66 Jahre (Bereich 40 – 85, SD 12). Das mittlere Alter bei Spacerimplantation betrug 72 Jahre (Bereich 45 – 85, SD 10).

3.1.3 Risikofaktoren

3.1.3.1 Vorerkrankungen

Tabelle 5 zeigt die Häufigkeit des Vorkommens verschiedener Grunderkrankungen im Patientenkollektiv.

Tabelle 5: Vorkommen einzelner Grunderkrankungen im Patientenkollektiv in [%].

	Diabetes Mellitus	Rheumatoide Arthritis	Nikotinabusus	Adipositas (BMI $\geq 30\text{kg/m}^2$)
Anzahl	8	3	5	12
[%]	19,5	7,3	12,2	29,3

Körpergewicht

Der mittlere BMI bei RSA-Implantation lag bei $27,9\text{ kg/m}^2$ (Bereich $18,3 - 47,5$, SD $5,8$). 1 Patient war untergewichtig (BMI $18,3\text{ kg/m}^2$), 11 Patienten hatten Normalgewicht (BMI $18,5 - 24,9\text{ kg/m}^2$). 14 Patienten waren präadipös (BMI $25 - 29,9\text{ kg/m}^2$). 12 Patienten waren adipös. Davon 8 mit Adipositas I° (BMI $30 - 34,9\text{ kg/m}^2$), 3 mit Adipositas II° (BMI $35 - 39,9\text{ kg/m}^2$), 1 mit Adipositas III° (BMI $47,5\text{ kg/m}^2$). *Abbildung 14* zeigt die Prozentualen Anteile der Gewichtsverteilung gemäß BMI im Patientenkollektiv.

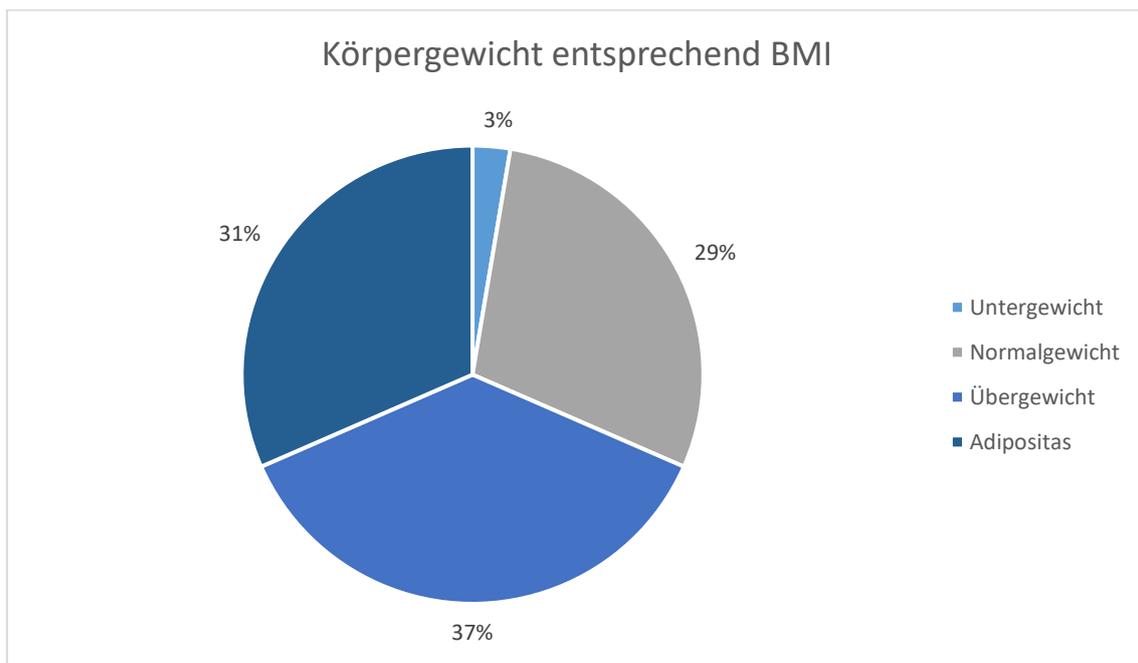


Abbildung 14: Prozentuale Verteilung der Gewichtsklassen gemäß Body-Mass-Index im Patientenkollektiv.

ASA-Klassifikation

Die Einstufung nach ASA zum Zeitpunkt der Prothesenimplantation erfolgte in einem Fall als ASA 1, in 16 Fällen als ASA 2 und in 24 Fällen als ASA 3.

Abbildung 15 zeigt die prozentuale Verteilung des Gesundheitszustands nach ASA-Einteilung im Patientenkollektiv.periprot

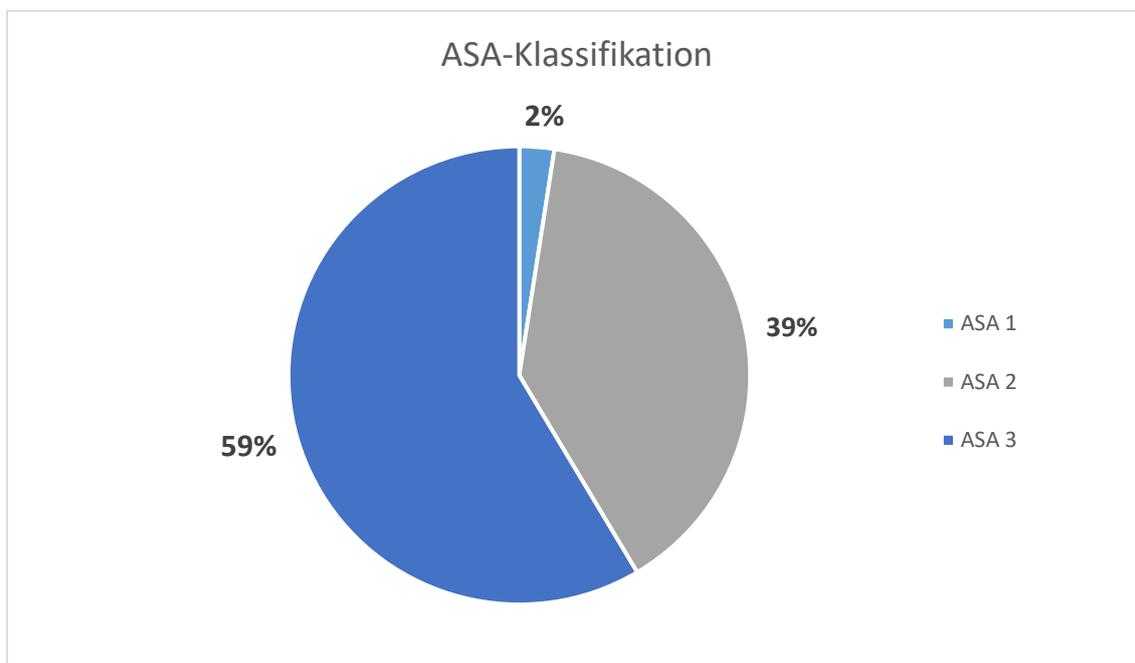


Abbildung 15: Prozentuale Verteilung der vorliegenden ASA-Klassifikation im Patientenkollektiv.

Risikofaktoren und Indexoperation

Die Korrelation von Risikofaktoren mit dem Infektionstyp (Primärinfektion, Sekundärinfektion oder periprothetische Infektion) wird in *Tabelle 6* dargestellt. Es zeigten sich keine Unterschiede für BMI, Nikotinabusus, Diabetes Mellitus und Rheumatoide Arthritis. Der Anteil an Patienten mit $ASA \geq 3$ war unter den Patienten mit Primärinfektion signifikant höher als bei Sekundär- bzw. periprothetischen Infektionen.

Tabelle 6: Anteil der Patienten mit entsprechenden Risikofaktoren bei Patienten mit Primär-, Sekundär- und periprothetischer Infektion. Stärke der Zusammenhänge entsprechend Phi-Koeffizient, Signifikanz p. Signifikante Unterschiede im Vorkommen von Risikofaktoren zwischen den Gruppen wurden angenommen sofern $p < 0,050$ (markiert mit*).

	Primär- infektion [%]	Sekundär- infektion [%]	Periprothetische Infektion [%]	Φ- Koeffizient	p
BMI ≥ 30	12,5	57,1	30,4	0,227	0,203
Nikotinabusus	0,0	12,5	16,7	0,803	0,803
Diabetes Mellitus	12,5	25,0	20,8	0,102	1,000
Rheumatoide Arthritis	12,5	0,0	8,0	0,153	1,000
ASA ≥ 3	100,0	50,0	48,0	0,415	0,031*

3.1.3.2 Voroperationen

3 Patienten wurden vor Spacerimplantation nicht voroperiert. Die Diskrepanz zur Anzahl an Patienten mit Primärinfektion rührt daher, dass Operationen zwischen Diagnosestellung einer Primärinfektion und Spacerimplantation durchgeführt wurden. *Abbildung 16* zeigt die prozentuale Verteilung der Anzahl an Voroperationen (inklusive Primäroperation) im Patientenkollektiv. 15 Patienten waren 1 Mal voroperiert (= Indexoperation), 10 Patienten waren 2 Mal voroperiert, je 3 Patienten waren 3 bzw. 4 Mal voroperiert, 2 Patienten waren 5 Mal voroperiert, je 1 Patient war 6,7 bzw. 10 Mal voroperiert.

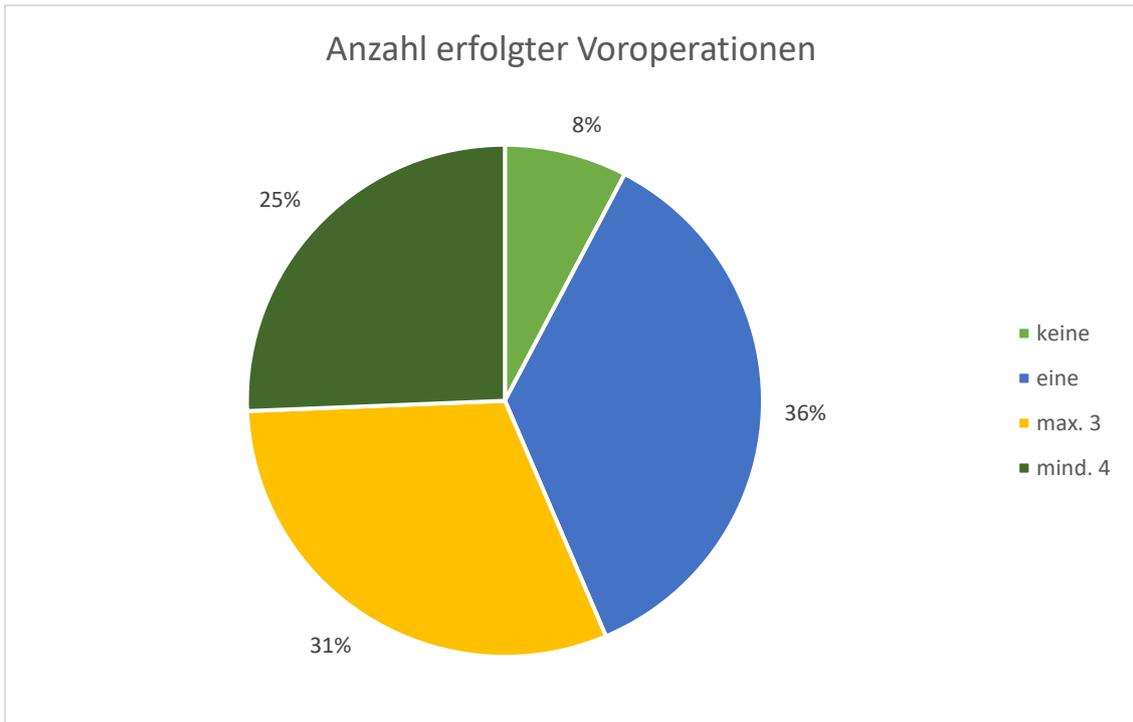


Abbildung 16: Prozentuale Verteilung der Anzahl an Voroperationen (inklusive Indexoperation) vor Spacerimplantation im Patientenkollektiv.

3.1.4 Ablauf therapeutischer Schritte

3.1.4.1 Zeit zwischen Spacerimplantation und RSA-Implantation

Die Zeitspanne zwischen erstem Spacereinbau und Implantation der RSA betrug 14 Wochen (Bereich 4 – 55, SD 10, n = 39). *Abbildung 17* zeigt die Verteilung der Zeitspanne zwischen Spacerimplantation und RSA-Implantation.

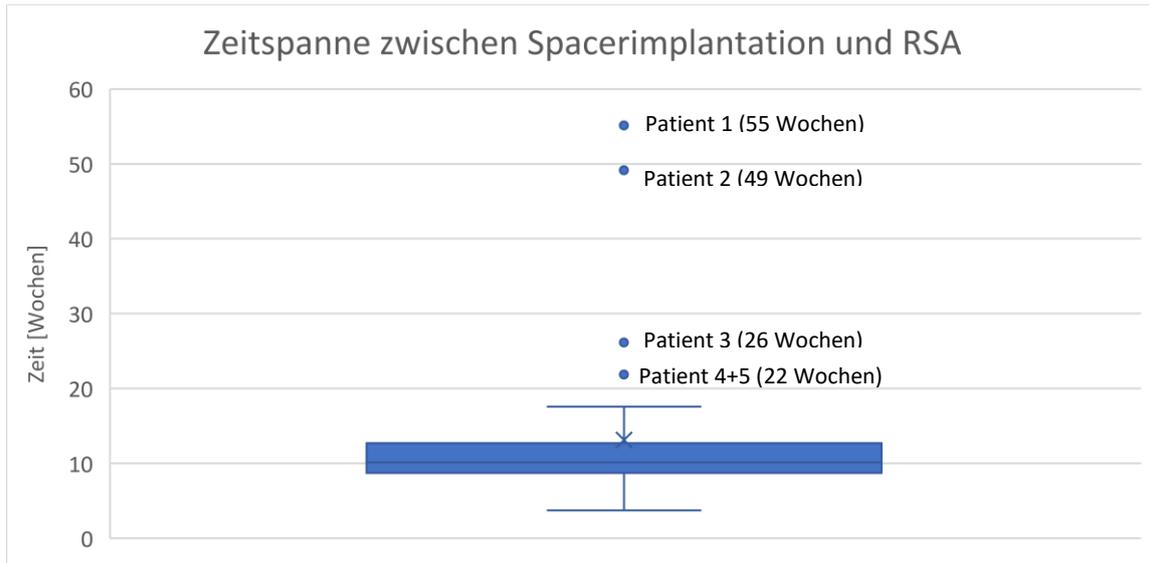


Abbildung 17: Zeitspanne zwischen erster Spacerimplantation und RSA-Implantation in Wochen. Bei 5 Patienten betrug die Zeitspanne > 20 Wochen. Gründe hierfür waren neurologische Auffälligkeiten und Pneumonie (Patient 1), zwischenzeitliche Implantation eines Herzschrittmachers (Patient 2), temporäre Läsion des N. axillaris (Patient 3), Humerusfraktur bei einliegendem Spacer mit konsekutivem Spacerwechsel und Osteosynthese (Patient 4), dermatologische Abklärung multipler unklarer Allergien (Patient 5). Details hierzu siehe Fließtext.

Bei 87 % der Patienten (34 von 39) lag die Zeitspanne unter 20 Wochen. Bei Ausschluss der Ausreißer (n = 5) betrug die mittlere Zeitspanne 10 Wochen (Bereich 4 - 18, SD 3, n = 36). Die Ursachen für die verzögerte Implantation bei den „Ausreißern“ sind im Folgenden beschrieben.

1. Bei Sprachstörungen und Vigilanzminderung war eine neurologische Abklärung erforderlich, zudem kam es zu einer beatmungspflichtigen Pneumonie. Die RSA-Implantation erfolgte 55 Wochen nach Spacerimplantation.
2. Zwischen Spacer- und RSA-Implantation war zunächst die Implantation eines Herzschrittmachers sowie eine Herzklappenoperation erforderlich. Die Zeitspanne bis zur RSA-Implantation betrug 49 Wochen.
3. Im Rahmen der Indexoperation, einer Osteosynthese bei Humeruskopffraktur, war eine Läsion des Plexus brachialis mit Beeinträchtigung der Innervation des DEL aufgetreten. Die RSA-Implantation erfolgte nach Rückkehr einer ausreichenden Funktionalität des DEL nach 26 Wochen.

4. Eine Humerusschaftfraktur einschließlich Fraktur des distalen Spacers (Worland B3) machte den Spaceraustausch mit temporärer Osteosynthese mittels Cerclagen notwendig. Die RSA-Implantation erfolgte 22 Wochen nach der ersten Spacerimplantation.
5. Bei unklaren Allergien gegen verschiedene Metalle und Bestandteile von Knochenzementen erfolgte zunächst eine dermatologische Abklärung. Die RSA-Implantation erfolgte nach 22 Wochen.

3.1.4.2 Spacerwechsel

In 4 Fällen wurde zwischen Spacerimplantation und RSA-Implantation ein Austausch des Spacers vorgenommen. Das chirurgische Procedere erfolgte somit dreizeitig.

In 1 Fall kam es zur Fraktur von Humerusschaft und Spacer, was den Wechsel des Spacers mit Stabilisierung der Fraktur erforderte. In 1 Fall wurden in einer Blutkultur *E. coli* und *P. mirabilis* nachgewiesen. In 2 Fällen erfolgte der Wechsel auf Grund persistierend erhöhter CRP-Werte unklarer Ursache.

3.2 Diagnostik

3.2.1 Entzündungsparameter im peripheren Blut

Tabelle 7 und *Abbildung 18* stellen die Verteilung der präoperativ bestimmten Werte von CRP, BSG und Leukozytenzahl in Abhängigkeit des detektierten Keimspektrums dar. Als Normwert galt für das CRP < 0,8 mg/ dl, für die BSG < 25mm/ h und für die Leukozytenzahl < 10 000/ mm³. Es zeigt sich die Tendenz, dass der Anteil an Patienten mit erhöhten Laborparametern wie auch die mittleren absoluten Werte der Laborparameter bei alleinigem Nachweis von Cutibakterien niedriger sind als bei Nachweis anderer Keime/ Nachweis von Mischinfektionen. Es zeigt sich jedoch keine statistische Signifikanz für Unterschiede bezüglich CRP, BSG und Leukozyten in Abhängigkeit nachgewiesener Keime. *Tabelle 9* zeigt die einzelnen Unterschiede (Signifikanzen mit p-Wert).

Tabelle 7: Mittelwert (Bereich) von CRP, BSG und Leukozytenzahl in Abhängigkeit des nachgewiesenen Keimspektrums. Patienten mit Keimnachweis sind nochmals separat für Cutibakterien und andere bzw. Mischinfektionen aufgeführt. n = Anzahl der Patienten. ↑ = Anteil der Patienten mit Werten über der Norm [%].

	CRP			BSG			Leukozyten		
	n	↑ [%]	[mg/ dl]	n	↑ [%]	[mm/h]	n	↑ [%]	[10 ³ / mm ³]
Gesamt	40	75	3,9 (0 - 30,4)	28	67	38 (6 – 106)	39	26	8,3 (4,4 – 13,8)
Mit Keimnachweis	28	76	4,5 (0 - 30,4)	20	48	45 (6 -106)	28	31	9,0 (4,4– 13,8)
Cutibakterien	7	57	2,4 (0 – 2,6)	5	43	33 (6 – 64)	7	29	8,3 (5,4 – 11,7)
Andere/ Mischinfektionen	21	82	4,8 (0,1 – 30,4)	15	50	39 (1 – 82)	21	32	9,3 (4,4 – 21,8)
Ohne Keimnachweis	12	75	2,1 (0 - 7,1)	8	25	27 (6 – 40)	11	17	7,8 (5,6 – 10,3)

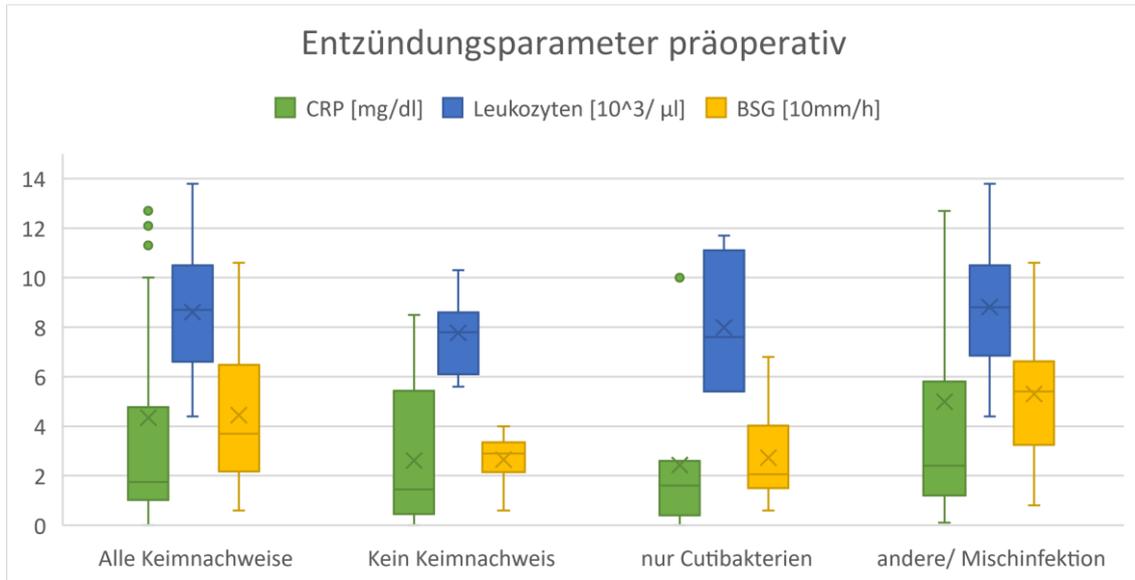


Abbildung 18: Entzündungsparameter in Abhängigkeit der nachgewiesenen Keime. Nicht eingezeichnet sind ein „Ausreißer“ mit CRP 30,4 mg/ dl unter „sonstige Keime“ bzw. „andere/ Mischinfektion“.

Tabelle 8 stellt die Ergebnisse der Laborwerte von Patienten mit Primärinfektion, Sekundärinfektion und periprothetischer Infektion dar. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede innerhalb dieser Gruppen. Der deutlichste Unterschied zeigte sich bezüglich der Leukozytenzahl, welche bei Patienten mit periprothetischer Infektion tendenziell höher lag als bei Primärinfektion ($p = 0.055$). **Tabelle 9** zeigt die einzelnen Unterschiede (Signifikanzen mit p-Wert).

Tabelle 8: Mittelwert (Bereich) von CRP, BSG und Leukozytenzahl bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion. N = Anzahl der Patienten. ↑ = Anteil der Patienten mit Werten über der Norm.

	CRP			BSG			Leukozyten		
	n	↑ [%]	[mg/dl]	n	↑ [%]	[mm/h]	n	↑ [%]	[10 ³ /mm ³]
Primärinfektion	9	78	2,8 (0-7,1)	5	80	39 (8-67)	9	22	7,4 (6,0-10,5)
Periprothetische Infektion	23	78	5,0 (0,1-30,4)	17	52	33 (1-82)	22	32	9,4 (4,4-30,4)
Sekundärinfektion	8	88	2,5 (0-10,6)	6	88	44 (18-85)	7	29	7,9 (5,4-10,6)

Tabelle 9: Signifikanzniveaus für Unterschiede bei CRP, BSG und Leukozytenzahl im Vergleich verschiedener Gruppen. Die Alternativhypothese (signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen) wurde angenommen, sofern $p < 0,050$.

Gruppen im Vergleich		p-Wert		
		CRP	BSG	Leukozyten
Primärinfektion	Periprothetische Infektion	0,772	0,626	0,055
Primärinfektion	Sekundärinfektion	0,719	0,796	0,670
Sekundärinfektion	Periprothetische Infektion	0,484	0,394	0,185
Keimnachweis	Kein Keimnachweis	0,667	0,201	0,203
Cutibakterien	Kein Keimnachweis	0,749	0,419	0,560
Cutibakterien	Andere-/Mischinfektionen	0,976	0,601	0,445

3.2.2 Synoviaanalyse

Die Ergebnisse der synovialen Leukozytenzahl in der präoperativen Punktion sind in *Tabelle 10* in Abhängigkeit des Keimspektrums aufgeführt und in *Abbildung 19* dargestellt. Es zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen Patienten ohne Keimnachweis gegenüber Patienten mit Keimnachweis. Auf Grund der kleinen Fallzahl war die Berechnung eines entsprechenden Signifikanzniveaus nicht möglich.

Tabelle 10: Mittelwert (Bereich) der synovialen Leukozytenzahl in Abhängigkeit des Keimspektrums. Patienten mit Keimnachweis wurden nochmals separat für Cutibakterien und andere-/Mischinfektionen aufgeführt.

	Gesamt	Ohne Keimnachweis	Mit Keimnachweis	Nur Cutibakterien	Andere-/Mischinfektionen
Patienten [Anzahl n]	12	3	9	6	3
Leukozyten [n/ mm ³]	27 800 (400 - 96 300)	1400 (400 – 2600)	35 800 (400 - 96 300)	40 700 (400 - 76 800)	35 600 (400 - 96 300)

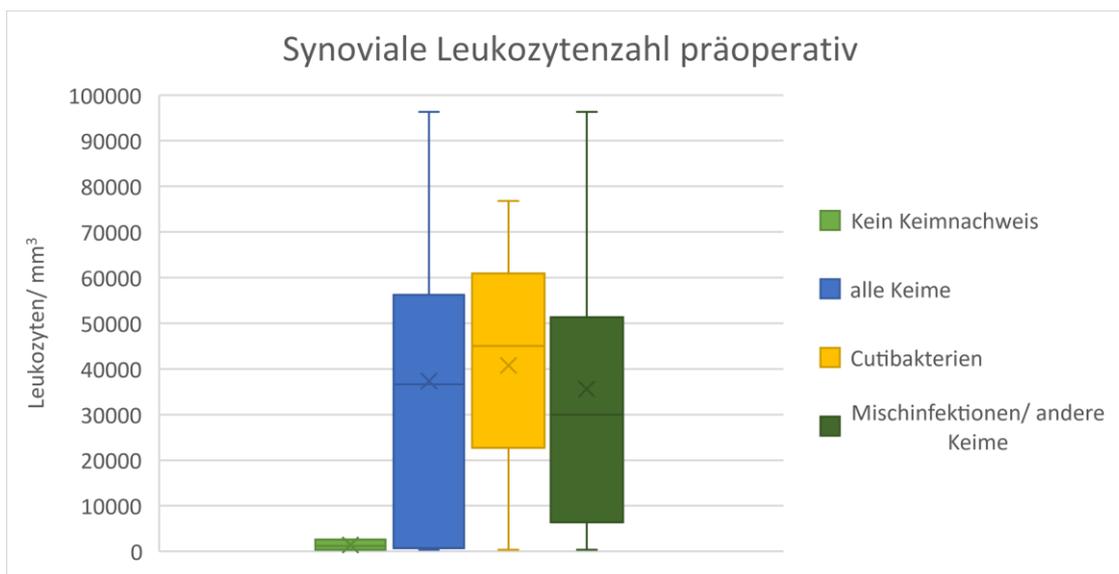


Abbildung 19: Leukozytenzahl in der Synoviaanalyse des präoperativen Punkts in Abhängigkeit der nachgewiesenen Keime.

Die Ergebnisse der synovialen Leukozytenzahl in der präoperativen Punktion im Vergleich zwischen Patienten mit Primärinfektion und periprothetischer Infektion sind in *Tabelle 11* dargestellt (für Patienten mit Sekundärinfektion sind keine Daten vorhanden). Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Auf Grund der kleinen Fallzahl war die Berechnung eines entsprechenden Signifikanzniveaus nicht möglich.

Tabelle 11: Mittelwert (Bereich) der synovialen Leukozytenzahl bei Patienten mit Primärinfektion und Patienten mit periprothetischer Infektion.

	Gesamt	Primärinfektion	Periprothetische Infektion
Patienten [Anzahl n]	12	3	9
Leukozyten [n/ mm ³]	27 800 (400 – 96 300)	1400 (400 – 2600)	37 300 (400 – 96 300)

3.2.3 Mikrobiologische Untersuchung

3.2.3.1 Keimspektrum

Für eine detaillierte Auflistung der Keimnachweise in Abhängigkeit des Entnahmezeitpunkts siehe *Tabelle 12*.

Über alle Punktionen und Gewebeproben wurde bei insgesamt bei 71 % der Patienten (29 von 41) ein Keimnachweis erbracht. Bei 12 % (5 Patienten) wurden 2 bzw. 3 Keime nachgewiesen.

Die Haupterreger stellten mit 44,8 % (13 von 29 Patienten) koagulasenegative Staphylokokken (KNS) dar. Dabei waren 31,0 % *S. epidermidis* und 10,3 % andere KNS. Die zweitgrößte Gruppe stellten Cutibakterien mit 37,9 % (11 Patienten). Corynebakterien und *S. aureus* wurden jeweils bei 2 Patienten (6,9 %) nachgewiesen. Weitere Keime wurden jeweils bei 1 Patienten nachgewiesen. Die mikrobiologischen Ergebnisse sind in *Abbildung 20* dargestellt.

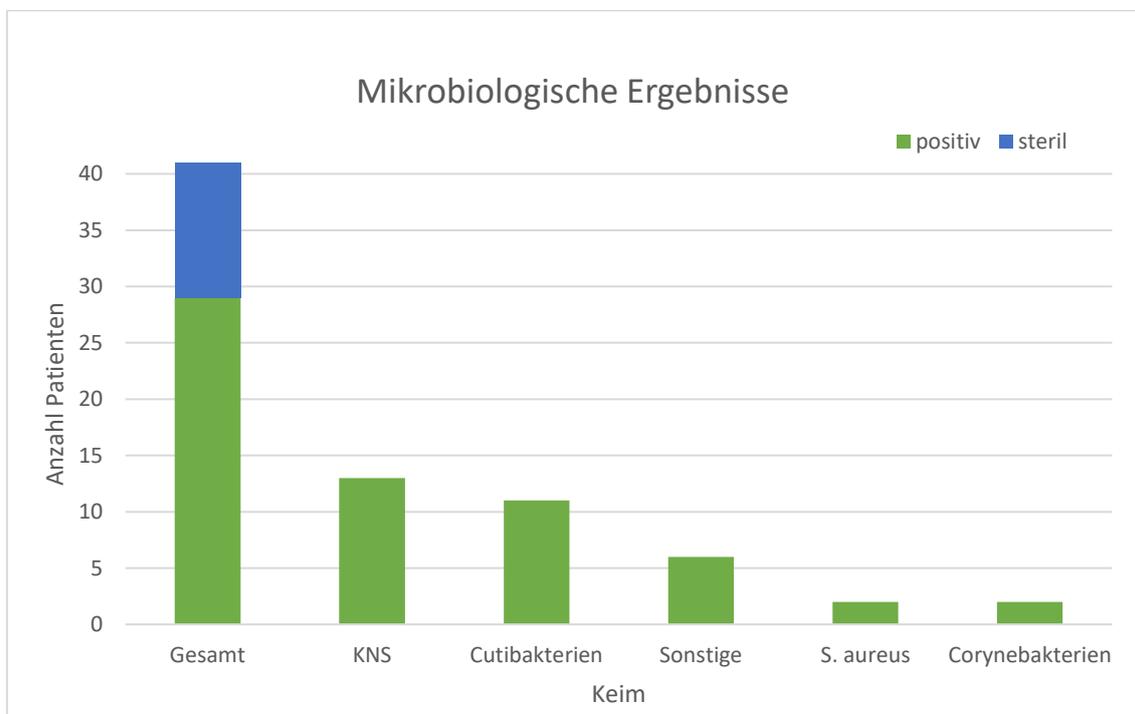


Abbildung 20: Mikrobiologische Ergebnisse von 41 Patienten mit Schultergelenksinfektion. KNS = Koagulase negative Staphylokokken.

Tabelle 12: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von Punktaten/ Gewebeproben von verschiedenen Entnahmezeitpunkten. Pat. = Patient, leeres Feld = keine Informationen vorhanden.

Pat.	Punktion präoperativ	Spacer	PES	Wechsel	Protheseneinbau
2		KNS	Steril		
3		S. epidermidis	Steril		Steril
4	Steril		Steril		Steril
5	Steril	C. spp.	Steril		Steril
6		S. epidermidis	Steril	Steril	Steril
7	E. faecalis		Punktio sicca		Steril
8	Corynebakterien spp.		Steril	Steril	Steril
9	Anerobier	F. magna	Paracoccus spp.		Steril
11		Steril			K. varians
12		S. epidermidis	Steril		Steril
13	Steril	S. aureus	Steril		Steril
14		Steril			Steril
15		Steril			Steril
16		Steril	Steril		
17	Steril	Steril	Steril		Steril
18					C. acnes
19		C. spp.	Steril		Steril
20		S. epidermidis + C. acnes	Steril		Steril
21	E. coli	Steril	Steril		Steril
22	Steril	S. epidermidis	Steril		Steril
24	Steril	Steril	Steril		C. acnes
25	Steril	C. acnes	Paenibacillus spp.		Steril
26		C. acnes	Steril	S. warneri	Steril
27	Corynebakterien spp.	C. avidum	S. epidermidis		Steril
28		Gramneg. Stäbchen	Steril	Steril	Steril
29	C. acnes	C. acnes	Steril		Steril
30	S. aureus	S. aureus	Steril		Steril
31	S. viridans	S. viridans	Steril		Steril
33	Steril	Steril	Steril		Steril
34	Steril	S. xylosum	Steril		Steril
35		Steril	Steril		Steril
36	Steril	Steril	Steril		Steril
37	Steril	Steril	Punktio sicca		S. epidermidis
38	Steril	Steril	Steril		Steril
39	Steril	Steril			Steril
40		S. epidermidis	Steril		Steril
41	C. avidum	C. avidum	Steril		Steril
42	C. acnes	C. acnes			Steril
43		Steril			Steril
44		Steril			
46	Steril	Steril	Punktio sicca		S. epidermidis

3.2.3.2 Präoperative Punktion und Gewebeproben bei Spacerimplantation

Eine präoperative Gelenkpunktion wurde bei 24 Patienten durchgeführt. Ein Keimnachweis erfolgte in 42 % der Fälle (10 von 24). Von den positiven Proben enthielten 30 % Cutibakterien und 8 % Corynebakterien *spp.*, KNS wurden nicht nachgewiesen. *Abbildung 21* stellt die Keimverteilung graphisch dar.

Mikrobiologische Ergebnisse von im Rahmen des Spacereinbaus entnommenen Gewebeproben lagen von 37 Patienten vor. Ein Keimnachweis konnte in 57% der Fälle erfolgen (21 von 37). In 1 Fall wurden 2 Keime nachgewiesen (*C. acnes* und *S. epidermidis*).

43 % der Keimnachweise enthielten Cutibakterien (5 Mal *C. acnes*, je 2 Mal *C. avidum* und nicht näher spezifizierte Cutibakterien). 33 % der Keimnachweise enthielten KNS (7 von 21, davon 6 *S. epidermidis*, 1 *S. xylosus*). *S. auerus* wurde bei 5 % nachgewiesen (2 von 21). Weitere Keime wurden bei jeweils 1 Patienten detektiert. *Abbildung 22* stellt die Keimverteilung graphisch dar.

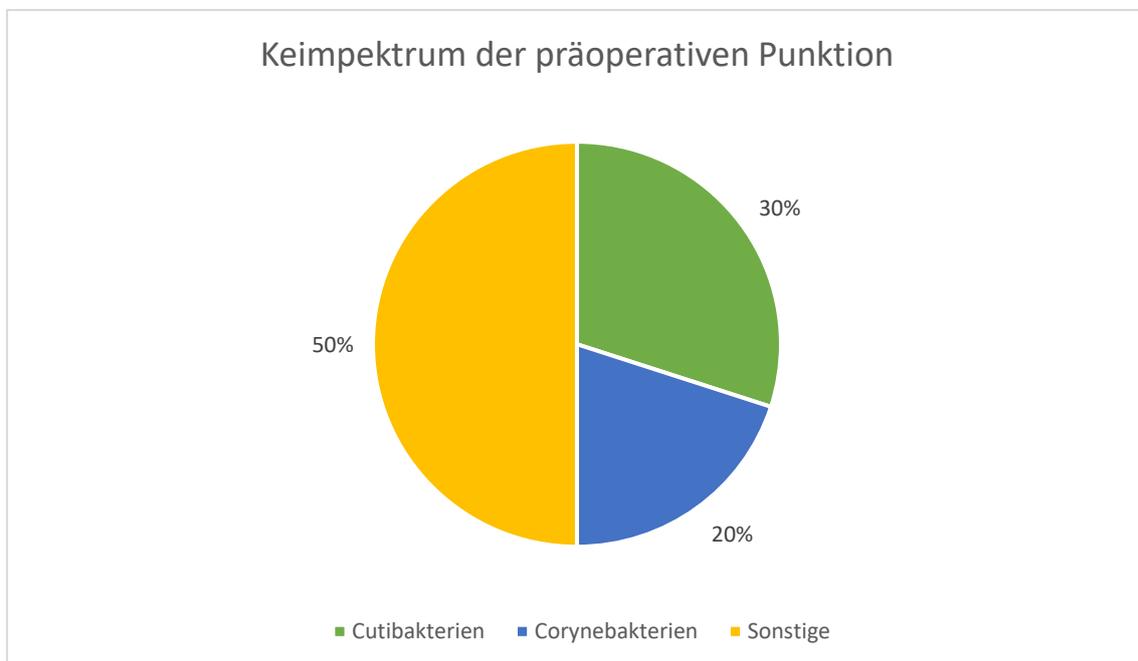


Abbildung 21: Prozentuale Verteilung der jeweiligen Erreger an allen positiven präoperativen Punktaten im Patientenkollektiv.

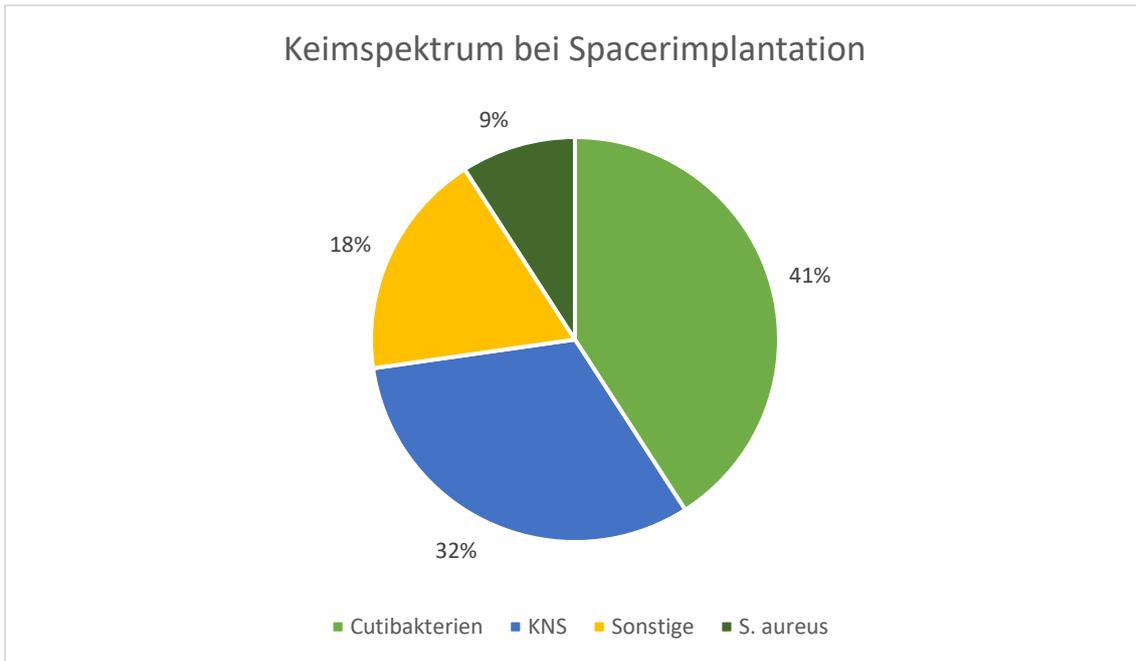


Abbildung 22: Prozentualer Anteil der jeweiligen Erreger an allen positiven Fällen vom Zeitpunkt der Spacerimplantation. Eine doppelt positive Probe (*S. epidermidis* + *C. acnes*) wurde zur besseren Darstellbarkeit als 2 Proben mit je 1 Keim gewertet.

Als richtig positiv wurde die präoperative Punktion gewertet, sofern auch die intraoperative Gewebekultur vom Zeitpunkt der Spacerimplantation positiv war. Somit ergaben sich eine Sensitivität von 58,3 % (7 von 12), eine Spezifität von 88,9 % (8 von 9), ein negativ prädiktiver Wert von 64,3 und ein positiv prädiktiver Wert von 87,5.

3.2.3.3 Punktion bei einliegendem Spacer

Informationen zur Punktion bei einliegendem Spacer (PES) waren von 33 Patienten vorhanden. 9 % der Fälle (3 von 33) erbrachten eine *Punctio sicca*. 82 % (27 von 30) blieben ohne Keimnachweis, in 9 % der Fälle (3 von 33) wurden Keime nachgewiesen. Die Ergebnisse der Punktion sind in *Abbildung 23* dargestellt. Die nachgewiesenen Keime waren je 1 Mal *Paenibacillus spp.*, *Paracoccus spp.* und *S. epidermidis*. Bei allen Patienten mit Keimnachweis in der PES waren auch zuvor Keime nachgewiesen worden. Es handelte sich dabei jeweils um andere Keime als die bei der PES nachgewiesenen.

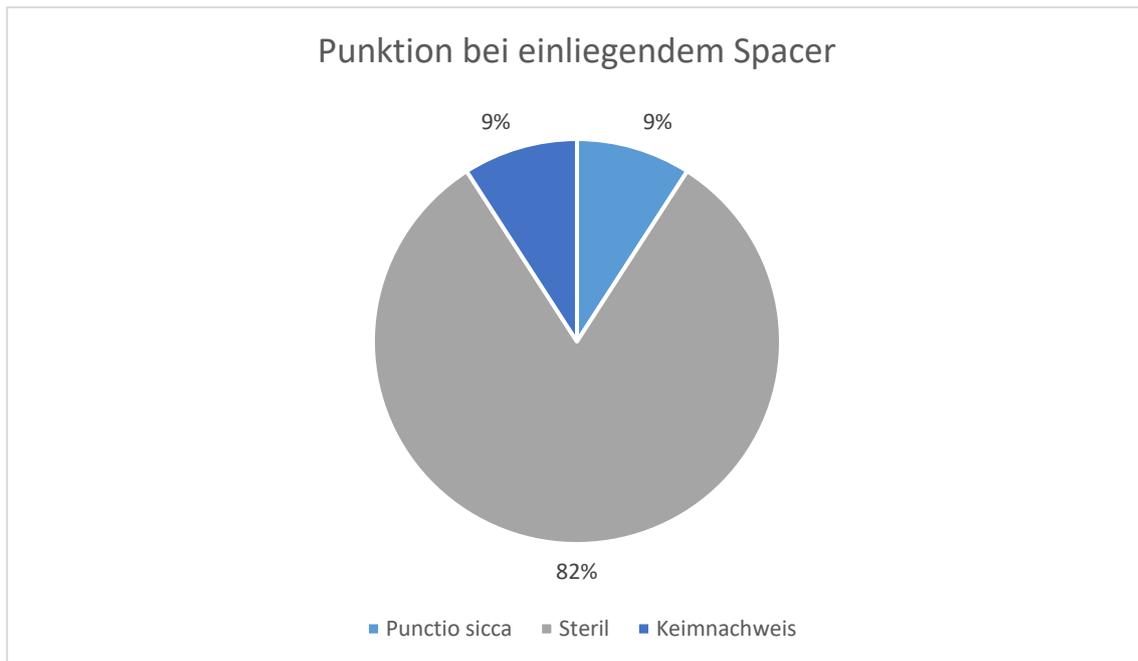


Abbildung 23: Prozentuale Verteilung der Ergebnisse der mikrobiologischen Kulturen der Punktion bei einliegendem Spacer.

Als richtig negativ wurde die PES gewertet, sofern auch die Proben von Protheseneinbau bzw. Spacerwechsel steril blieben. Die Spezifität betrug 88,5 % (23 von 26), die Sensitivität 0,0 % (0 von 2), der positiv prädiktive Wert der PES 0,0 % (0 von 3) und der negativ prädiktive Wert 92,0 % (23 von 25).

3.2.3.4 Spacerwechsel

Ein Keimnachweis erfolgte in 1 von 4 Fällen (*S. warneri*). Der Spacerwechsel war auf Grund einer Fraktur von Humerusschaft und Spacer erfolgt. Zuvor war bei Spacereinbau *C. acnes* nachgewiesen worden. Die bei Prothesenimplantation entnommenen Proben blieben bei allen Patienten mit erfolgtem Wechsel steril (n = 4).

3.2.3.5 Prothesenimplantation

Abbildung 24 stellt die Ergebnisse der mikrobiologischen Proben vom Zeitpunkt der Prothesenimplantation dar. Entsprechende Daten waren von 38 Patienten vorhanden. Die Infektionseradikationsrate betrug 87 % (33 von 38), bei 5 Patienten (13 %) wurden Keime nachgewiesen.

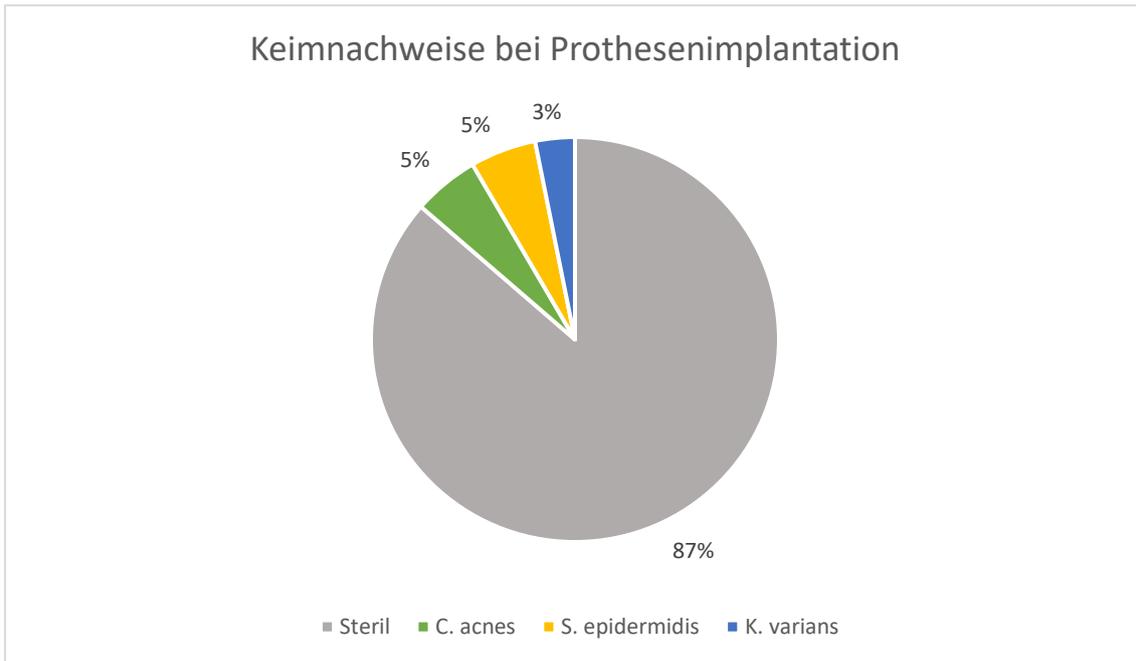


Abbildung 24: Prozentuale Verteilung der Ergebnisse der mikrobiologischen Kulturen vom Zeitpunkt der Prothesenimplantation.

1 Patientin mit Nachweis von *S. epidermidis* wurde 44 Monate postoperativ bei septischer Lockerung revidiert. Die weiteren 4 Patienten überlebten revisionsfrei mit einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 50 Monaten (Bereich 4 – 99).

3.2.3.6 Bakterienshift und Mischinfektion

Eine Mischinfektion im Sinne des Nachweises mehrerer Keime zu einem Zeitpunkt bei einem Patienten kam in 1 Fall vor (*S. epidermidis* und *C. acnes* bei Spacerimplantation).

Unter *Bakterienshift* wurde der Nachweis verschiedener Keime zu verschiedenen Zeitpunkten bei einem Patienten verstanden. Dies kam in 10,3 % der Fälle (4 von 39) vor. In 3 Fällen kam es zwischen Spacerimplantation und PES zum Bakterienshift (2 Mal Cutibakterien zu KNS, 1 Mal *C. acnes* zu Paenibacillen), in 1 Fall zwischen Spacerimplantation und -wechsel (*C. acnes* zu *S. warneri*).

3.2.3.7 Keimspektren bei Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion

Tabelle 13 stellt das über alle Proben hinweg detektierte Keimspektrum bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion bzw. Sekundärinfektion dar.

Tabelle 13: Prozentualer Anteil nachgewiesener Keime bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion. Angabe in [%]. Anzahl der Patienten in (). > 100 % auf Grund von Mehrfachnachweisen möglich.

	Primärinfektion (n=9)	Periprothetische Infektion (n=24)	Sekundärinfektion (n=8)
Steril	77,8 (7)	12,5 (3)	25,0 (2)
Cutibakterien	11,1 (1)	33,3 (8)	12,5 (1)
KNS	11,1 (1)	25,0 (6)	50,0 (4)
S. aureus	0	8,3 (2)	0
andere	0	25,0 (6)	12,5 (1)

3.2.4 Morawietz-Klassifikation

Von 25 Patienten lag eine Einteilung nach der Morawietz-Klassifikation von Gewebeproben vom Zeitpunkt der Spacerimplantation vor. Es zeigten sich ein abriebinduzierter Typ in 28,0 % (7) der Fälle. Infektiöser-, kombinierter- und Indifferenztyp in je 24,0 % der Fälle (jeweils 6). Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse der Einteilung nach Morawietz bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion bzw. Sekundärinfektion.

Tabelle 14: Histopathologische Ergebnisse nach Morawietz bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion in [%] (Anzahl n der Patienten).

	Primärinfektion	Periprothetische Infektion	Sekundärinfektion
Anzahl Patienten	7	12	6
Abriebinduziert	0,0	50,0 (6)	16,7 (1)
Infektiös	28,6 (2)	8,3 (1)	50,0 (3)
Kombiniert	0,0	33,3 (4)	33,3 (2)
Indifferent	71,4 (5)	8,3 (1)	0,0

Im Vergleich zu den mikrobiologischen Ergebnissen vom Zeitpunkt des Spacereinbaus ergab sich eine Sensitivität von 72,7 % (8 von 11) und eine

Spezifität von 66,7 % (8 von 12). Bei Patienten mit periprothetischer Infektion ergab sich eine Sensitivität von 57,1 % (4 von 7) und eine Spezifität von 80,0 % (4 von 5). Bei Patienten mit Primärinfektion ergab sich eine Sensitivität von 100 % (1 von 1) und eine Spezifität von 80,0 % (4 von 5). Bei Patienten mit Sekundärinfektion ergab sich eine Sensitivität von 100 % (3 von 3) und eine Spezifität von 0% (0 von 2).

3.2.5 Diagnosescores

3.2.5.1 MSIS- und IDSA-Kriterien

Bei 17 von 41 Patienten (41,5 %) waren die MSIS-Kriterien erfüllt. *Abbildung 25* zeigt den Anteil positiver und negativer Ergebnisse im MSIS-Score bei Patienten mit Primär-, Sekundär- bzw. periprothetischer Infektion. Bei 22 von 41 Patienten (53,7 %) waren die IDSA-Kriterien erfüllt. *Abbildung 26* zeigt den Anteil positiver und negativer Ergebnisse im IDSA-Score bei Patienten mit Primär-, Sekundär- bzw. periprothetischer Infektion.

Sowohl für die MSIS wie auch für die IDSA-Kriterien zeigten sich tendenziell weniger positiver Ergebnisse bei Patienten mit Primärinfektion gegenüber Patienten mit Sekundär- oder periprothetischer Infektion. Die Ergebnisse zeigten keine statistische Signifikanz. Siehe hierzu auch *Tabelle 15*.

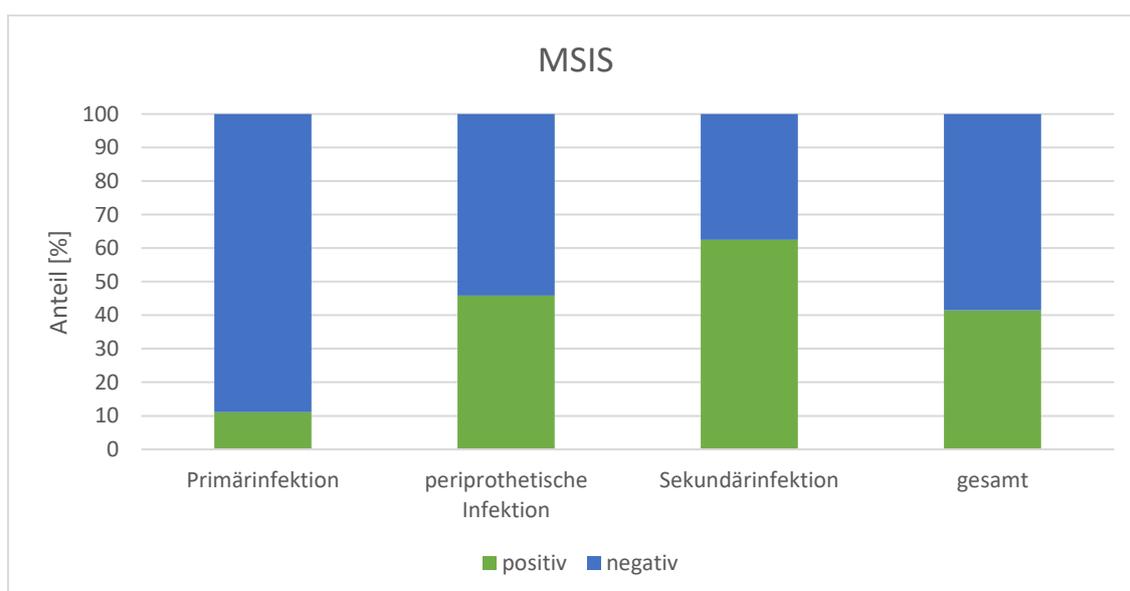


Abbildung 25: Anteil der Patienten mit positiven bzw. negativen MSIS-Kriterien bei Primärinfektionen, periprothetischen Infektionen und Sekundärinfektionen.

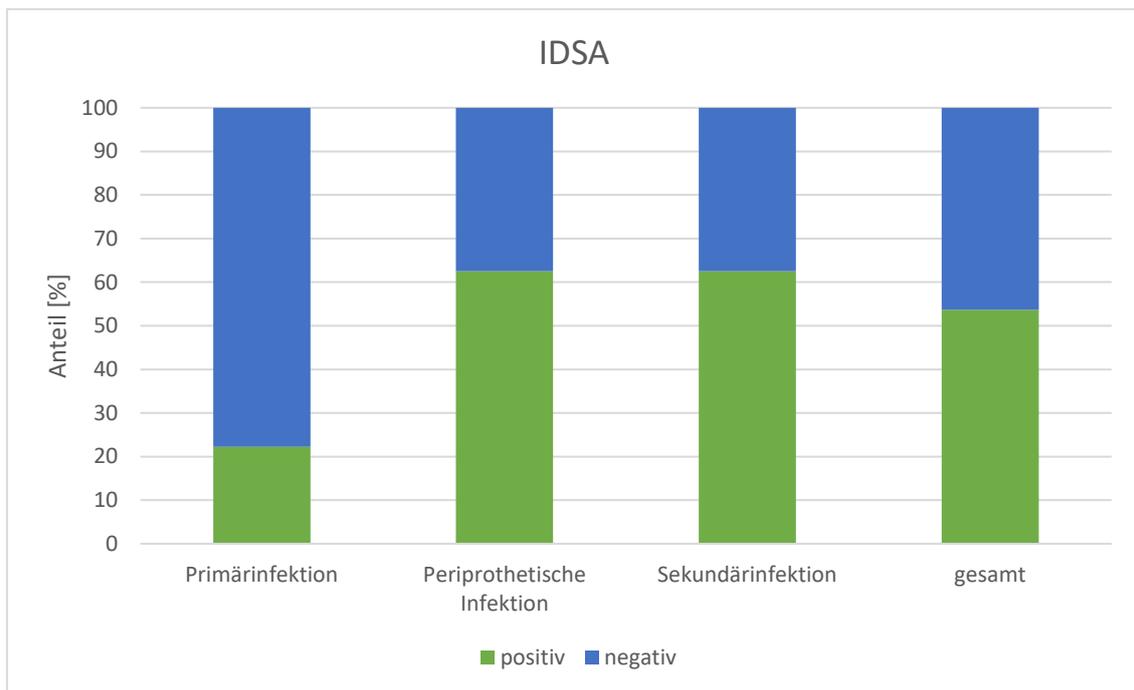


Abbildung 26: Anteil der Patienten mit positiven bzw. negativen IDSA-Kriterien bei Primär-, periprothetischen- und Sekundärinfektionen.

Tabelle 15: Anteil positiver Ergebnisse im jeweiligen Diagnosescore in Abhängigkeit des Infektionstyps (Primär-, Sekundär-, periprothetische Infektion) in [%] und Stärke der Korrelation (Phi-Koeffizient) sowie Signifikanz p . Signifikante Unterschiede zwischen den Infektionstypen wurden angenommen, sofern $p < 0,050$ (markiert mit *).

	Primärinfektion [%]	Sekundärinfektion [%]	Periprothetische Infektion [%]	Phi-Koeffizient	p-Wert
MSIS	12,5	62,5	44,0	0,323	0,146
IDSA	28,6	60,0	75,0	0,294	0,208
ICM	25,0	87,5	64,0	0,408	0,042*

3.2.5.2 ICM -Kriterien

ICM und Indexoperation

Bei 60,9 % der Patienten (25 von 41) lag gemäß ICM-Kriterien eine Infektion vor bzw. wurde diese als wahrscheinliche erachtet. *Tabelle 16* und *Abbildung 27* zeigen die Einteilung gemäß ICM-Klassifikation bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion. Für den Anteil positiver Ergebnisse (entsprechend „Infektion“ bzw. „wahrscheinliche Infektion“) ergaben

sich signifikante Unterschiede für Primärinfektionen im Vergleich zu Sekundär- bzw. periprothetischen Infektionen. Siehe hierzu *Tabelle 15*.

Tabelle 16: Prozentuale Verteilung der Ergebnisse nach ICM-Kriterien bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion (n = Anzahl).

	n	Infektion [% (n)]	Infektion wahrscheinlich [% (n)]	Infektion möglich [% (n)]	Infektion unwahrscheinlich [% (n)]
Primärinfektion	9	22,2 (2)			77,8 (7)
Periprothetische Infektion	24	41,7 (10)	25,0 (6)	8,3 (2)	25,0 (6)
Sekundärinfektion	8	62,5 (5)	25,0 (2)		12,5 (1)
Gesamt	41	41,5 (17)	19,5 (8)	4,9 (2)	34,4 (14)

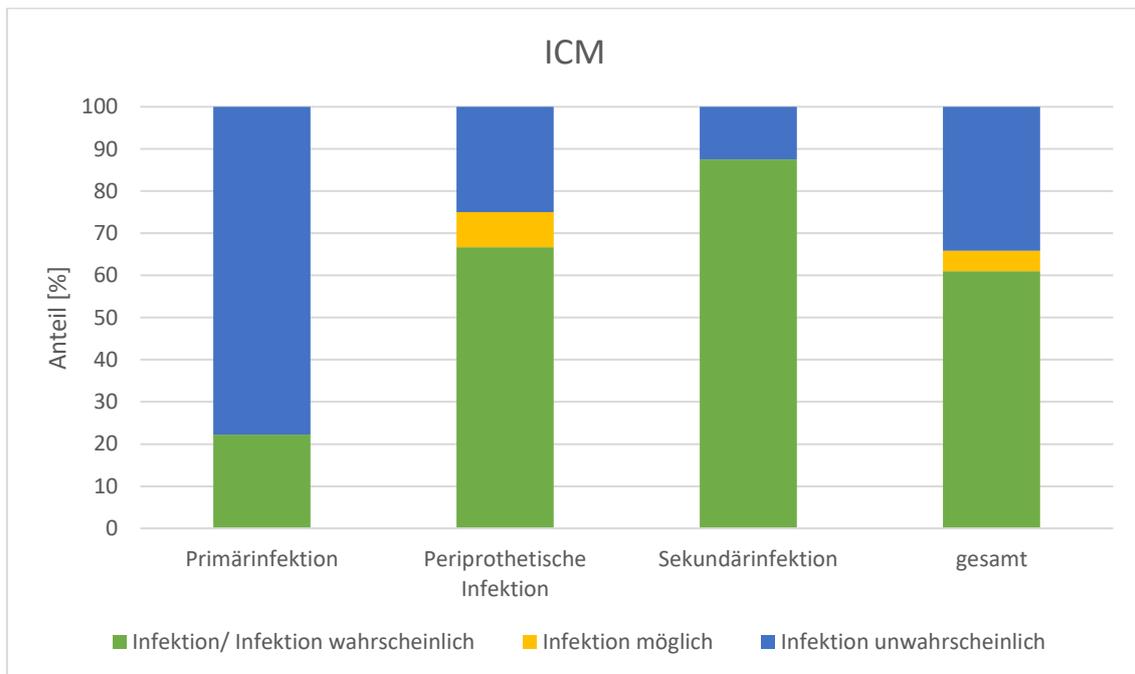


Abbildung 27: Verteilung der Infektionswahrscheinlichkeit nach ICM-Kriterien bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion.

ICM und nachgewiesene Keime

42,9 % der Patienten mit Nachweis von Cutibakterien wurden entsprechend ICM als „Infektion unwahrscheinlich“ eingestuft, gegenüber 9,1 % der Patienten mit Nachweis anderer Keime. *Tabelle 17* stellt die Einteilung nach ICM in Abhängigkeit der nachgewiesenen Keime dar.

Tabelle 17: Einteilung nach ICM in Abhängigkeit der nachgewiesenen Keime in % der Patienten mit entsprechendem Keim (n = Anzahl).

	n	Infektion [% (n)]	Infektion wahrscheinlich [% (n)]	Infektion möglich [% (n)]	Infektion unwahrscheinlich [% (n)]
Kein Keimnachweis	12	25,0 (3)	0,0 (0)	0,0 (0)	75,0 % (9)
Cutibakterien	7	42,9 (3)	14,3 (1)	0,0 (0)	42,9 (3)
Andere	22	50,0 (11)	31,8 (7)	9,1 (2)	9,1 (2)

3.2.5.3 Vergleich von ICM, MSIS und IDSA

Als negativ entsprechend ICM-Kriterien wurde „Infektion unwahrscheinlich“ definiert, andere als ICM positiv.

Abbildung 28 zeigt den Anteil positiver und negativer Ergebnisse in den verschiedenen Scores. Im Chi²-Test zeigten sich signifikante Korrelation der positiven Ergebnisse zwischen den Scores. Detaillierte Ergebnisse der Korrelationsanalyse sind in *Tabelle 18* dargestellt.

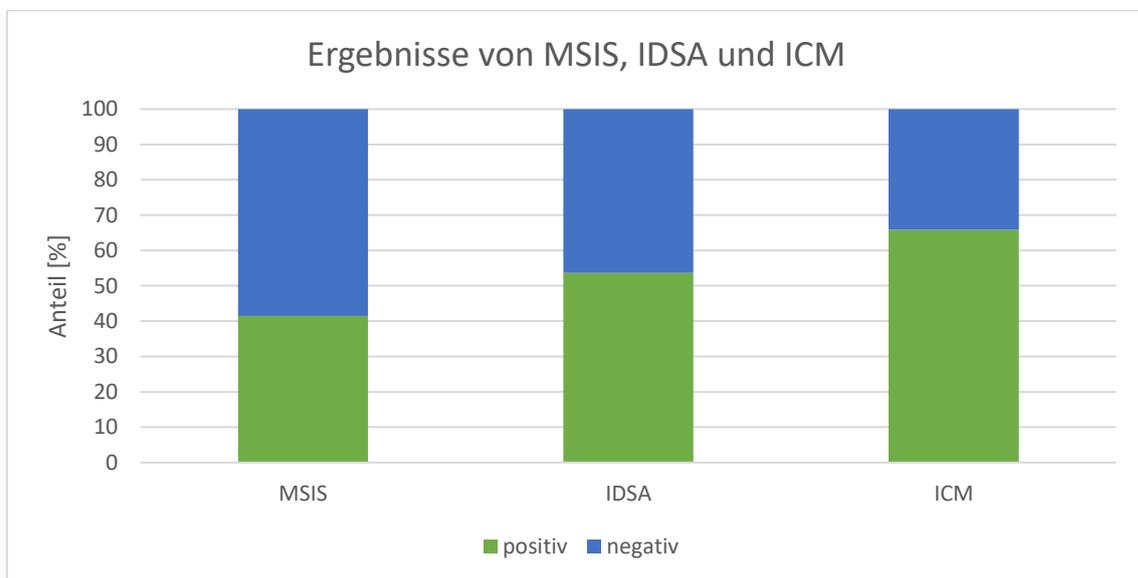


Abbildung 28: Anteil positiver bzw. negativer Ergebnisse [%] in den verschiedenen Diagnosescores. Der ICM Score wurde als negativ gewertet sofern „Infektion unwahrscheinlich“, andernfalls als positiv.

Tabelle 18: Korrelation positiver Ergebnisse der Diagnosescores (MSIS, IDSA und ICM) untereinander. ICM wurde als positiv gewertet, sofern nicht „Infektion unwahrscheinlich“. Die Berechnung erfolgte mit Chi²-Test (p-Wert) und Phi-Koeffizient. Signifikante Unterschiede wurden angenommen sofern $p < 0,050$ (markiert mit *).

		MSIS	IDSA	ICM
MSIS	p-Wert		0,000*	0,000*
	Phi-Koeffizient		0,545	0,606
IDSA	p-Wert			0,000*
	Phi-Koeffizient			0,710

ICM- und IDSA-Kriterien stimmten im Ergebnis in 85,4 % der Fälle überein (35 von 41). ICM- und MSIS-Kriterien stimmten im Ergebnis in 75,6 % der Fälle überein (31 von 41). Einen Vergleich von ICM und IDSA bzw. ICM und MSIS stellen *Abbildung 29* bzw. *Tabelle 18* dar. *Tabelle 18*

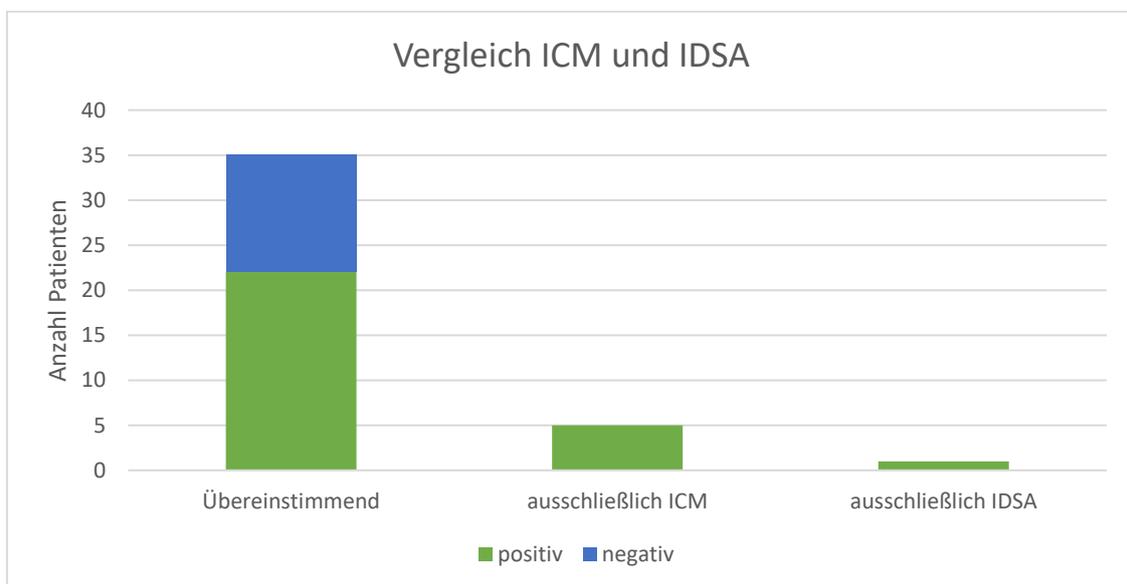


Abbildung 29: Vergleich der Ergebnisse von ICM- und IDSA. 22 Patienten zeigten positiv übereinstimmende Ergebnisse, 13 Patienten zeigten negativ übereinstimmende Ergebnisse. 5 Patienten waren nach ICM positiv und nach IDSA negativ. 1 Patient war nach IDSA positiv und nach ICM negativ.

3.2.5.4 Übereinstimmung der Scores mit mikrobiologischen Ergebnissen

Als positiv im Sinne der Mikrobiologie wurden alle Patienten mit einem erbrachten Keimnachweis gewertet. Als ICM positiv wurden alle Patienten außer "Infektion unwahrscheinlich" gewertet. Eine Übereinstimmung zwischen mikrobiologischem Ergebnis und Score lag für die ICM-Kriterien in 8 Fällen (19,5 %) vor, für die MSIS-Kriterien in 16 Fällen (39,0 %) und für die IDSA-Kriterien in 14 Fällen

(34,1 %). Die Ergebnisse von MSIS, ICM und IDSA im Vergleich zum mikrobiologischen Ergebnis sind in *Tabelle 19* dargestellt.

Tabelle 19: Übereinstimmung der Ergebnisse von ICM-, MSIS- und IDSA-Kriterien mit den mikrobiologischen Ergebnissen in [%] (n = Anzahl Patienten).

	ICM pos. [% (n)]	ICM neg. [% (n)]	MSIS pos. [% (n)]	MSIS neg. [% (n)]	IDSA pos. [% (n)]	IDSA neg. [% (n)]
Mikrobiologie steril	7,3 (3)	22,0 (9)	4,9 (2)	24,4 (10)	9,8 (4)	19,5 (8)
Mikrobiologie positiv	58,5 (24)	12,2 (5)	36,6 (15)	34,1 (14)	46,3 (19)	24,4 (10)

3.3 Bildgebung

Daten zur Bildgebung waren von 16 Patienten mit einem Nachuntersuchungszeitraum von 63 Monaten (Bereich 30 - 109) vorhanden.

3.3.1 Notching

Scapuläres *Notching* zeigte sich in 25,0 % der Fälle (4 von 16). Alle betroffenen Patienten hatten dabei einen Nachuntersuchungszeitraum von über 5 Jahren. In 3 Fällen lag *Notching* I° vor, in 1 Fall *Notching* II°. Das entsprechende Röntgenbild zeigt *Abbildung 30*. Hinweise auf höhergradiges *Notching* zeigten sich bei keinem der untersuchten Patienten.



Abbildung 30: Röntgen linke Schulter a.p. Es zeigt sich scapuläres Notching II° 7 Jahre postoperativ nach RSA-Implantation. Copyright: Orthopädische Klinik König-Ludwig-Haus.

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Funktionalität der Schulter (Schmerzen, Constant Score, Beweglichkeit, QuickDASH) zwischen Patienten mit und ohne *Notching*. Die detaillierten Testergebnisse sind in *Tabelle 20* dargestellt.

3.3.2 Radiolucent-Lines

RLL zeigten sich 56,3 % der Fälle (9 von 16). In 1 Fall waren die RLL > 2mm breit. In 1 Fall blieben die RLL auf eine Zone begrenzt, in 8 Fällen erstreckten sie sich über mehrere Zonen. Die Verteilung der Lokalisation der RLL ist in *Abbildung 31* dargestellt.

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Funktionalität der Schulter (Schmerzen, Constant Score, Beweglichkeit, QuickDASH) zwischen Patienten mit und ohne RLL. Für die einzelnen Ergebnisse siehe *Tabelle 20*.

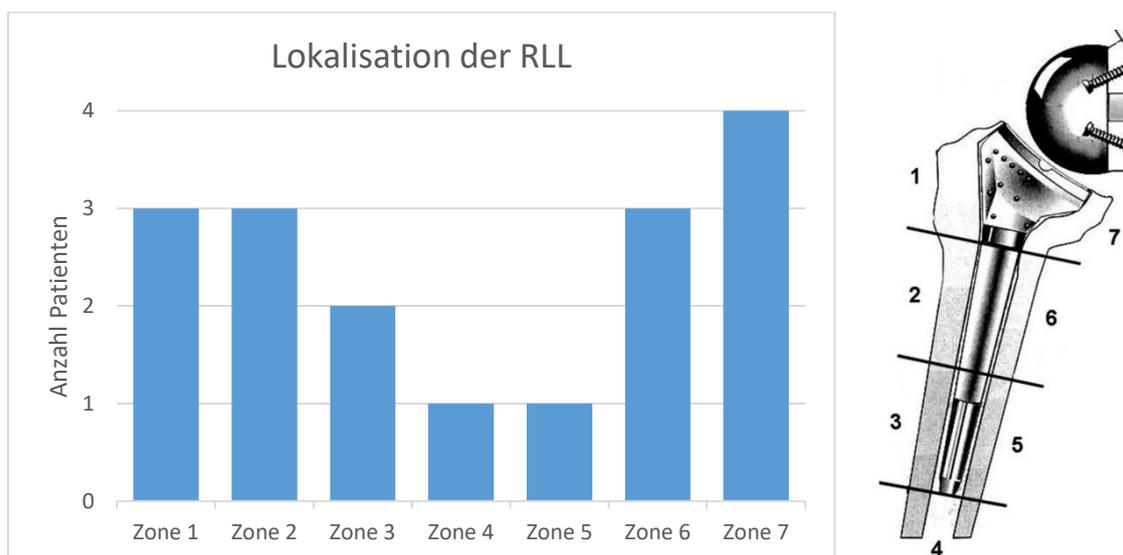


Abbildung 31: Links: Häufigkeit des Vorkommens von RLL im Patientenkollektiv aufgeteilt nach Zonen gemäß Boileau et al. [19]. Rechts: Klassifikation der RLL nach Position im Röntgenbild. Einteilung in 7 humeraleseitige Zonen. Aus: Boileau, Watkinson et. al. S. 530 [19]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier. Vgl. auch 2.4.4.2 Radiolcent-Lines.

Tabelle 20: Ergebnisse des einseitigen t-Test für Unterschiede in Beweglichkeit (gemäß Constant Score), QuickDASH, Schmerzen (gemäß VAS), Constant Score im Vergleich zwischen Patienten mit bzw. ohne Notching und mit bzw. ohne Radiolcent-Lines (RLL). Signifikante Unterschiede wurden angenommen sofern $p < 0,050$, es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede.

Gruppen	p-Wert			
	Beweglichkeit	QuickDASH	Schmerzen	Constant Score
Notching ja/ nein	0,283	0,454	0,288	0,470
RLL ja/ nein	0,368	0,411	0,250	0,431

3.3.3 Komponentendislokation

Es ergaben sich in der radiologischen Untersuchung bei keinem Patienten Hinweise auf eine Komponentendislokation.

3.4 Klinische Nachuntersuchung

Eingeschlossen wurden nur Patienten mit RSA. Zum Zeitpunkt der Studiendurchführung waren 2 Patienten bereits revidiert worden, 8 Patienten waren verstorben, 7 Patienten waren erreichbar, standen für eine klinisch-radiologische Kontrolle aber nicht zur Verfügung, aktuelle Informationen zu 7 Patienten waren nicht verfügbar. 14 Patienten wurden klinisch nachuntersucht, der Nachuntersuchungszeitraum betrug 76 Monate (Bereich 31 – 128).

Zur Flexions- und Abduktionsfähigkeit waren weitere Daten verfügbar. Diesen Aspekten lag somit eine Fallzahl von 19 zu Grunde. Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum betrug 67 Monate (Bereich 30 - 128). Siehe hierzu auch Flussdiagramm *Abbildung 9*.

Berechnungen im Seitvergleich erfolgten unter Ausschluss zweier Patienten mit beidseitig einliegender Endoprothese.

3.4.1 Schmerzen

Die mittlere Schmerzintensität gemäß der VAS betrug 1,6 (Bereich 0 – 7). Jeweils 43 % der Patienten hatten dabei keine (VAS 0) bzw. leichte Schmerzen (max. VAS 2).

3.4.2 Beweglichkeit

3.4.2.1 Aktives Bewegungsausmaß

Tabelle 21 und *Abbildung 32* stellen das aktive Bewegungsausmaß mindestens 2 Jahre postoperativ nach RSA-Implantation dar.

Tabelle 21: Aktive Beweglichkeit mind. 2 Jahre postoperativ nach RSA-Implantation [°].

	Flexion	Extension	Abduktion	Innenrotation	Außenrotation
Mittelwert [°] (Bereich)	113 (20-180)	20 (0-60)	64 (30-170)	56 (10-90)	12 (0-40)

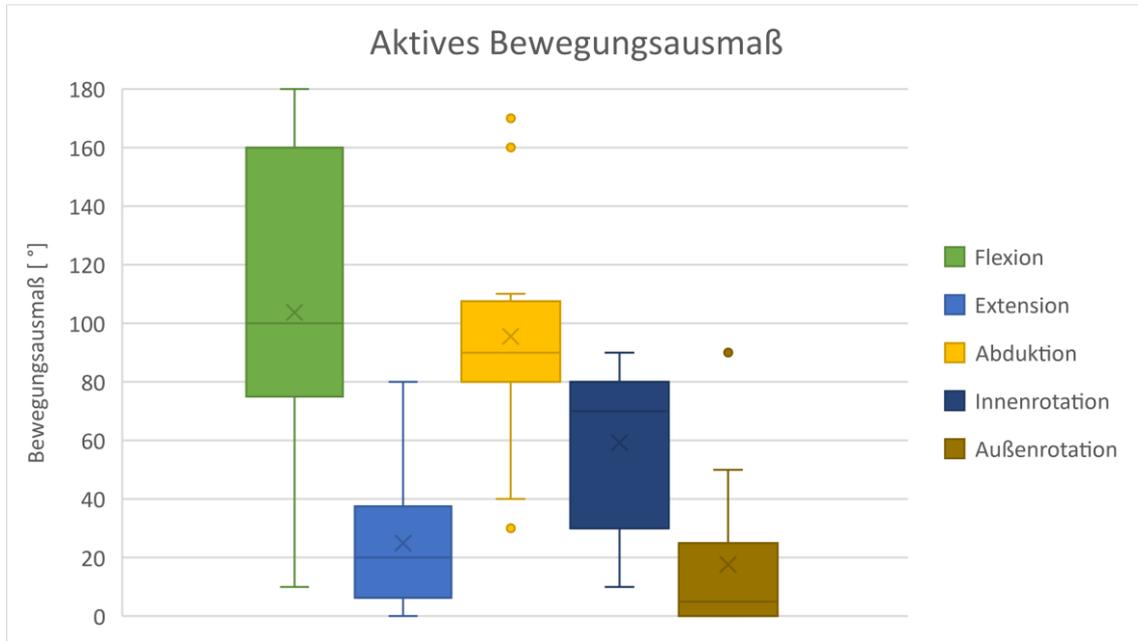


Abbildung 32: Aktives Bewegungsausmaß [°] mind. 2 Jahre nach RSA-Implantation.

3.4.2.2 Beweglichkeit im Seitvergleich

Table 22 and Abbildung 33 show the active mobility in comparison to the opposite side. It showed, with the exception of internal rotation, a significantly poorer mobility of the affected side.

Table 22: Active mobility in % of the opposite side. n = number of patients. Values marked with * were statistically significant (p < 0,050).

	Flexion	Extension	Abduktion	Innenrotation	Außenrotation
n	10	9	10	8	9
% der Gegenseite	73	56	72	164	31
p-Wert	0,007*	0,049*	0,005*	0,586	0,018*

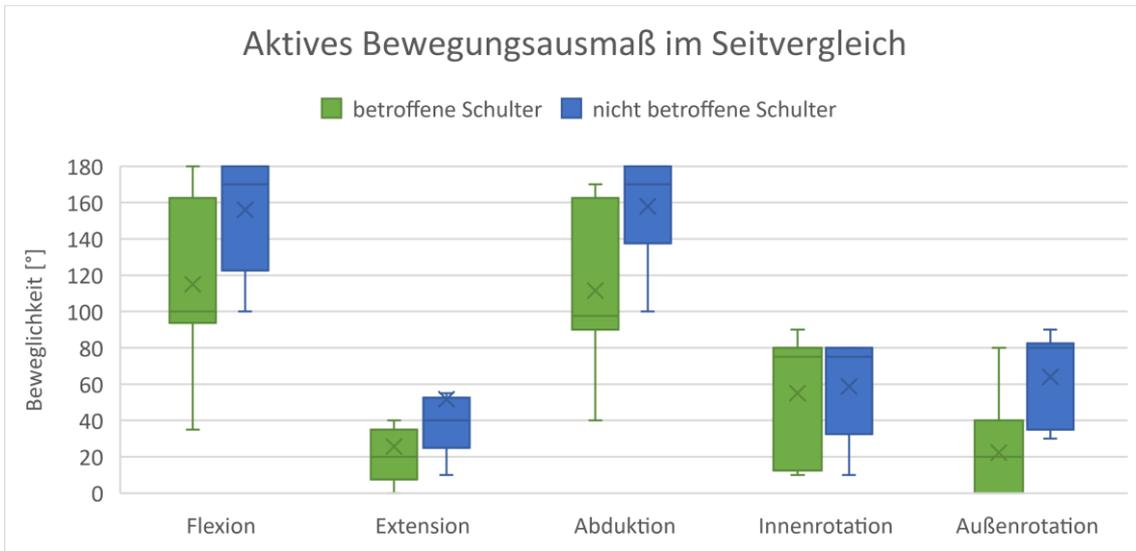


Abbildung 33: Aktive Beweglichkeit [%] im Vergleich von betroffener und nicht betroffener Seite.

3.4.3 Kraft

Die Kraft in Abduktion betrug 2,6 kg (Bereich 0,0 – 5,9). Daten zum Vergleich von betroffener und nicht betroffener Seite waren von 10 Patienten verfügbar. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied ($p = 0,142$) zwischen der betroffenen Seite mit 2,8 kg (Bereich 1,0 - 5,9) und der nicht betroffenen Seite mit 3,3 kg (Bereich 1,3 – 7,1). *Abbildung 34* stellt die Kraft im Seitvergleich dar.

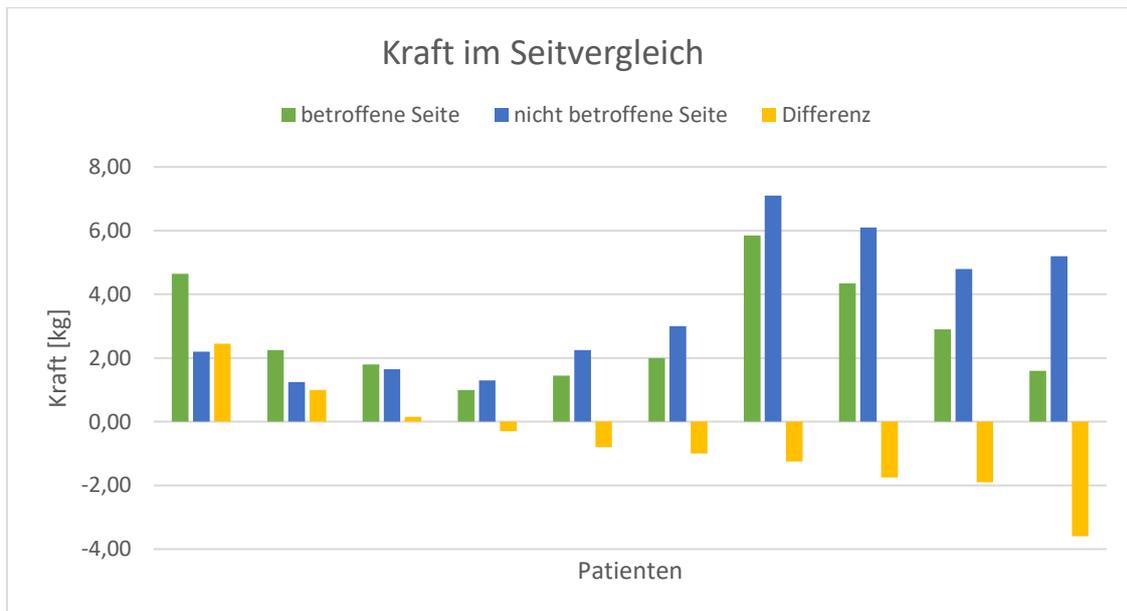


Abbildung 34: Kraft in Abduktion im Seitvergleich. Eine negative Differenz entspricht einer größeren Kraft auf der nicht betroffenen Seite.

3.4.4 Constant Score

Der Constant Score lag im Mittel bei 48 Punkten (Bereich 7 – 85). Bei dem Patienten, welcher nur 7 Punkte erreichte war keine Kraftmessung möglich, der Wert hierfür wurde gleich Null gesetzt. Nach Ausschluss von 2 Patienten mit beidseits einliegender Schulterendoprothese lagen von 10 Patienten Ergebnisse des Constant Scores im Seitvergleich vor. Diese sind in *Abbildung 35* dargestellt. Die Ergebnisse der nicht betroffenen Schulter waren signifikant besser ($p = 0,005$).

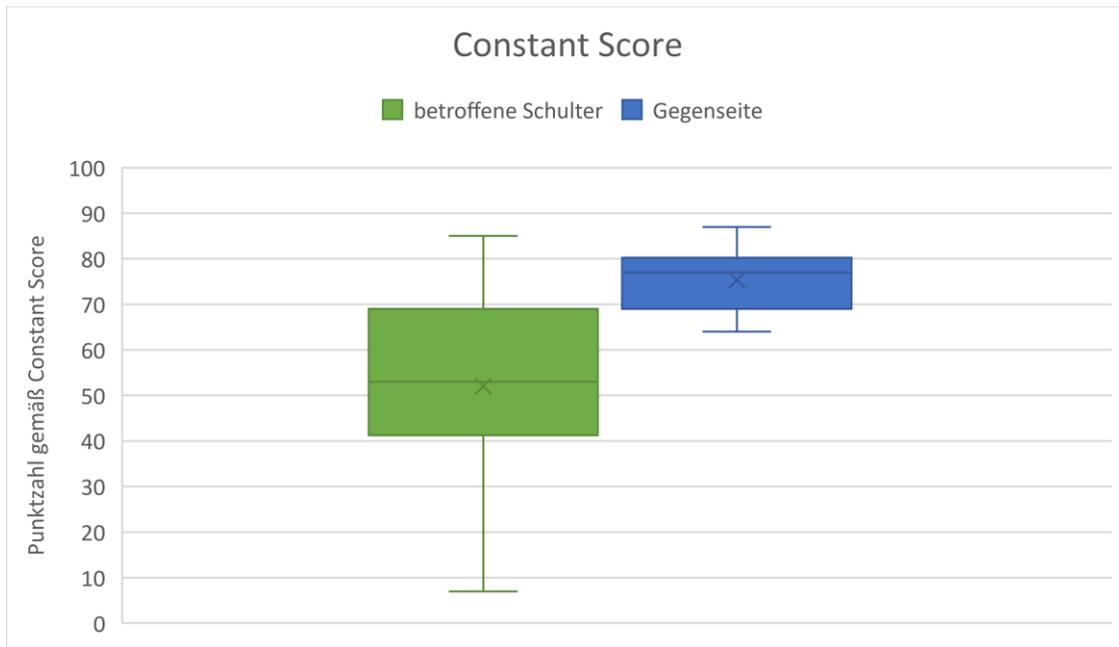


Abbildung 35: Ergebnisse im Constant Score mind. 2 Jahre nach RSA-Implantation und Constant Score der Gegenseite zum gleichen Zeitpunkt.

3.4.5 QuickDASH

Die Ergebnisse im QuickDASH betragen im Mittel 40 Punkte (Bereich 11 – 93).

3.4.5.1 Ergebnisvergleich von Constant Score und QuickDASH

Es zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen Constant Score und QuickDASH ($r = -0,710$, $p = 0,004$, $n = 14$, die negative Korrelation ($r < 0$) bezieht sich darauf, dass im Constant Score 100 Punkte dem besten Ergebnis entsprechen im Gegensatz zu 0 Punkten im QuickDASH). *Abbildung 36* zeigt die Ergebnisse von Constant Score und QuickDASH sowie die Differenz. Bei 71 % der Patienten zeigten sich bessere Ergebnisse für den QuickDASH als für den Constant Score.

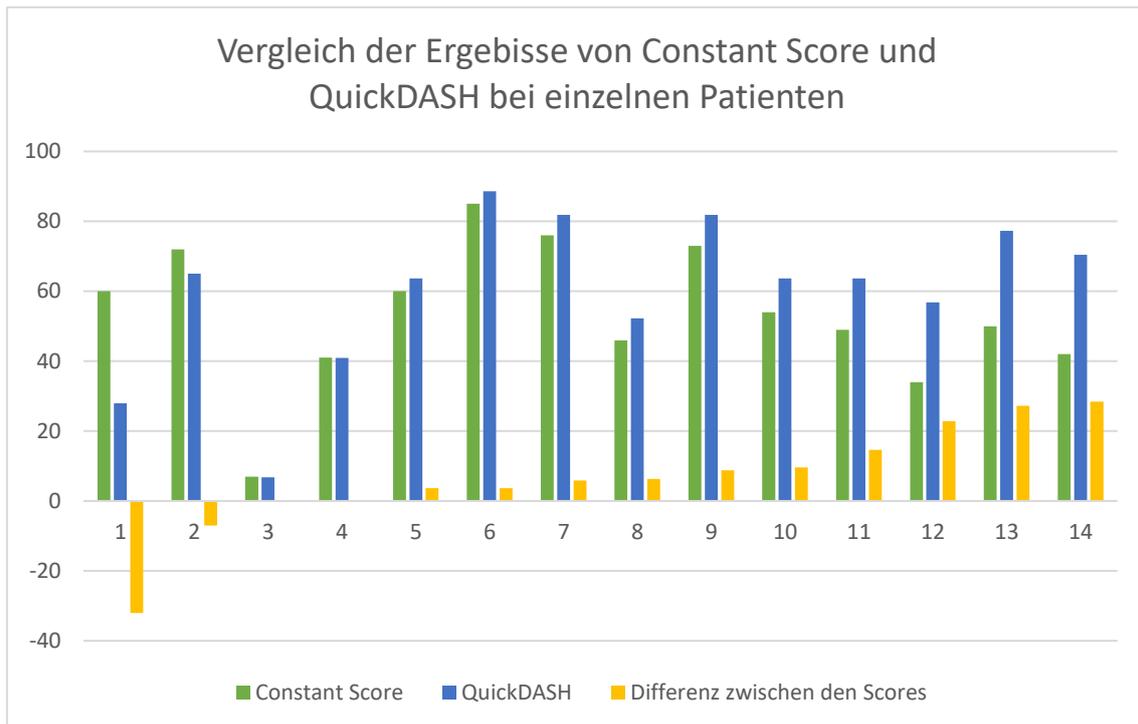


Abbildung 36: Ergebnisse von Constant Score und QuickDASH in [%] des bestmöglichen Ergebnisses bei den jeweiligen Patienten sowie Differenz zwischen den Ergebnissen von Constant Score und QuickDASH. Eine negative Differenz entspricht einem besseren Constant Score, eine positive Differenz einem besseren QuickDASH.

3.4.6 Zusammenhänge von funktionellen Ergebnissen, Risikofaktoren und Diagnosescores

Als Maß für die Beweglichkeit wurde die Punktzahl der Beweglichkeits-Testung im Constant Score herangezogen. Patienten mit höherem Alter bei RSA-Implantation hatten signifikant weniger Kraft. Eine höhere Anzahl an Voroperationen korrelierte signifikant mit vermehrten Schmerzen. Eine höhere Anzahl an Voroperationen ging auch mit tendenziell schlechteren Ergebnissen in QuickDASH und Constant Score einher, wenngleich diese ohne statistische Signifikanz blieben. Die einzelnen Ergebnisse sind in *Tabelle 23* aufgeführt.

Es zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen positiven Ergebnissen in den einzelnen Diagnosescores (MSIS, IDSA, ICM) und den funktionellen Ergebnissen nach RSA Implantation. Die einzelnen Ergebnisse sind in *Tabelle 24* aufgeführt.

Tabelle 23: Korrelation zwischen Risikofaktoren und funktionellen Ergebnissen gemäß Spearman-Korrelationsanalyse (QuickDASH, Constant Score, Beweglichkeit, Schmerz) bzw. Pearson-Korrelationsanalyse (Kraft). r = Korrelationskoeffizient, p = p -Wert, n = Probengröße. Mit * gekennzeichnete Ergebnisse wurden als statistisch signifikant ($p < 0,050$) gewertet.

Risikofaktor		QuickDASH	Constant Score	Beweglichkeit	Schmerz	Kraft
Alter bei RSA Implantation	r	0,352	-0,029	-0,082	-0,066	-0,643
	p	0,452	0,461	0,394	0,412	0,009*
	n	14	14	13	14	13
BMI	r	-0,100	0,060	0,028	-0,256	0,445
	p	0,373	0,422	0,466	0,199	0,064
	n	13	13	12	13	13
Voroperationen	r	0,452	-0,327	-0,374	0,578	-0,020
	p	0,052	0,127	0,104	0,015*	0,474
	n	14	14	13	14	13
Zeitspanne mit einliegendem Spacer	r	-0,206	-0,083	0,047	-0,174	0,259
	p	0,240	0,389	0,440	0,276	0,196
	n	14	14	13	14	13

Tabelle 24: Zusammenhänge zwischen positiven Ergebnissen in den Diagnosescores (ICM als positiv gewertet, sofern „Infektion“ bzw. „Infektion wahrscheinlich“) und funktionellen Ergebnissen. Angegeben sind die p -Werte des Exakten Fisher-Tests. Statistische Signifikanz wurde angenommen, sofern $p < 0,050$. Es zeigten sich somit keine signifikanten Zusammenhänge.

	QuickDASH	Constant Score	Beweglichkeit	Schmerz
MSIS positiv	0,580	1,000	1,000	0,284
IDSA positiv	0,640	0,505	1,000	0,061
ICM positiv	0,730	1,000	1,000	0,805

3.5 Überleben und Komplikationen

3.5.1 Überleben

Abbildung 37 stellt das infektionsfreie Überleben nach RSA-Implantation dar. Der mittlere Nachverfolgungszeitraum betrug 46 Monate (Bereich 0-128). Das mittlere kumulative infektionsfreie Überleben betrug 91 %. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen mehrzeitiger RSA Implantation bei Primär-, Sekundär- und periprothetischen Infektionen.

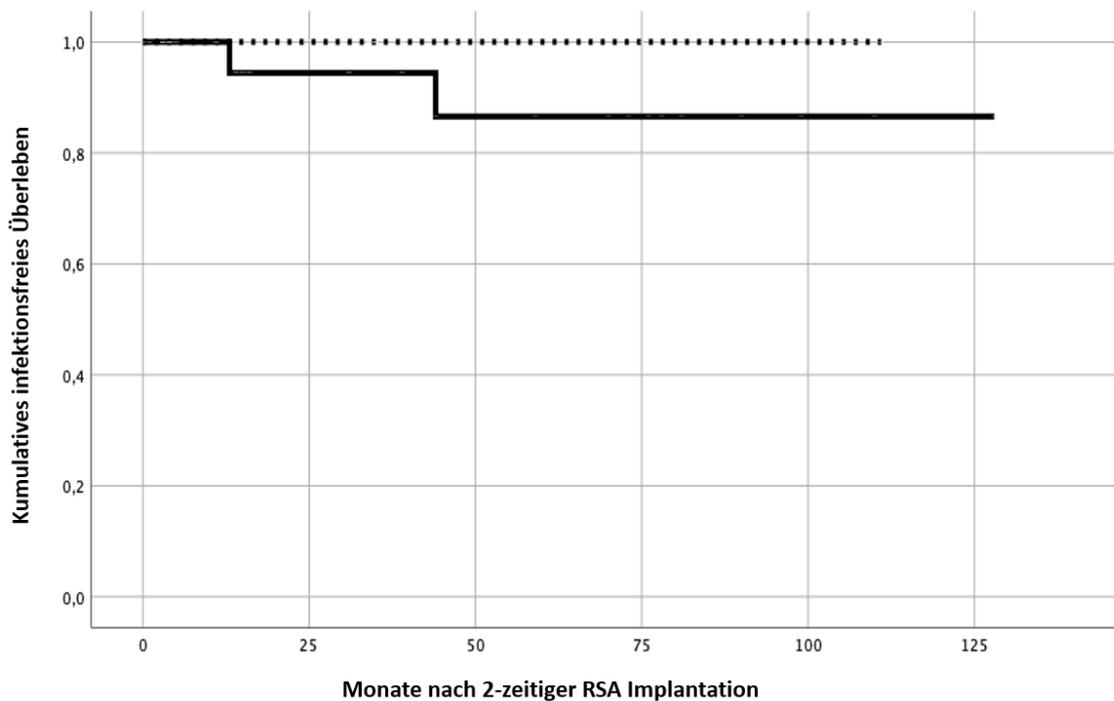


Abbildung 37: Kaplan-Meier Kurve für das revisionsfreie Überleben nach RSA Implantation. Die gepunktete Linie stellt das Überleben nach Primär- bzw. Sekundärinfektion dar, die durchgängige Linie das Überleben nach Periprothetischer Infektion.

3.5.2 Komplikationen

3.5.2.1 Septische Revisionen

Eine Revision erfolgte 13 Monate nach RSA-Implantation bei akuter septischer Lockerung mit eitriger Punktion und beginnend generalisiert septischem Krankheitsbild. Beim vorigen Spacereinbau war *S. viridans* nachgewiesen worden, bei RSA-Implantation waren die Proben steril geblieben. Bei Revision wurde erneut *S. viridans* mit übereinstimmendem Antibiogramm (jetzt mit zusätzlicher Clindamycin-Resistenz) nachgewiesen. Die Revision erfolgte im Sinne einer Spacerimplantation und Osteosynthese mittels Cerclagen bei intraoperativ aufgetretener Humerusschaftfraktur. Postoperativ bestand eine Parese des *N. radialis*. Nach negativer PES erfolgte 2 Monate postoperativ die RSA-Implantation und *N. suralis*-Transplantation mit intraoperativem Nachweis von *S. epidermidis*. Der Nachuntersuchungszeitraum betrug 5 Monate, während dieser Zeit blieb der Patient revisionsfrei.

Eine weitere Revision erfolgte 44 Monate nach RSA-Implantation bei septischer Lockerung mit putriden Sekretion im Bereich der Operationsnarbe. Intraoperativ erfolgte der Nachweis von *S. epidermidis*. Dieser war auch im Rahmen von Zahnextraktionen und oralen Abszessspaltungen 14 Tage vor Revision nachgewiesen worden sowie bereits bei RSA-Implantation. Die Antibiogramme stimmten stets überein. Die Revision erfolgte im Sinne einer Prothesenexplantation und Spacerimplantation. Aufgrund der bislang nicht gegebenen Operabilität der multimorbiden Patientin war im Nachverfolgungszeitraum von 16 Monaten keine Reimplantation einer RSA erfolgt.

3.5.2.2 Frakturen

In einem Fall kam es 3 Monate postoperativ ohne erinnerliches Trauma zur Acromionfraktur. Diese zeigte sich nach 6-wöchiger konservativer Therapie im Thoraxabduktionskissen regelrecht konsolidiert.

In einem Fall kam es 4 Jahre nach RSA-Implantation zur traumatischen periprothetischen Humerusfraktur. Diese wurde offen reponiert und mittels Plattenosteosynthese und Cerclagen versorgt. Eine Revision der RSA erfolgte nicht.

In einem Fall kam es 8 Wochen nach Spacerimplantation zur Humerusschaft-Querfrakturfraktur distal des *Spacers*. Bei unzureichender Konsolidierung des bei Spacerimplantation gefensterter Humerus sowie insgesamt fraglicher Stabilität der Kortikalis und unklarer Infektionssituation erfolgte der Wechsel auf einen längeren *Spacer*.

In einem Fall kam es 8 Tage nach Spacerimplantation zur Beckenkammfraktur. Hier war in der Operation ein corticospongiöser Span zum Glenoidaufbau entnommen worden. Die Fraktur konsolidierte unter konservativer Therapie.

4 Diskussion

4.1 Diagnostik

4.1.1 Schulterspezifisches Keimspektrum

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass Cutibakterien (38%) vor *S. epidermidis* (31 %) und anderen koagulasenegativen Staphylokokken (10 %) die Haupterreger bei Schulterinfektionen darstellen. Dies deckt sich mit Ergebnissen anderer Arbeiten, welche die gleichen Pathogene als häufigste Erreger beschreiben [85,121,154,170].

Gleichzeitig lag die Rate kultur-negativer Infektionen mit 29 % geringfügig über der in der Literatur beschriebenen Rate von 5-25 % [132]. Mögliche Ursachen für den hohen Anteil mikrobiologisch nicht nachweisbarer Infektionen werden im Verlauf der Diskussion besprochen.

Cutibakterien und KNS sollten im Rahmen einer kalkulierten Antibiotikatherapie stets berücksichtigt werden. Auch in Fällen, in denen trotz scheinbar antibiogrammgerechter Therapie kein ausreichender Erkrankungsrückgang festzustellen ist, besteht die Möglichkeit einer Co-Infektion mit Cutibakterien oder KNS, sodass eine entsprechende Erweiterung der Antibiotikatherapie auf dieses Spektrum in einer solchen Situation empfehlenswert scheint.

4.1.2 Präoperative Punktion

Die Gelenkpunktion zur Infektionsdiagnostik ist gut etabliert und fester Bestandteil von Diagnosescores wie MSIS oder IDSA. Dennoch ist ihre Aussagekraft nicht unumstritten. Angaben für die Sensitivität bei Schulterinfektionen schwanken zwischen 34-85 % [83,85,166]. Topolski et al. konnten nur bei 1 von 11 Patienten mit intraoperativem Keimnachweis auch präoperativ einen Keim nachweisen [170]. In unserer Arbeit ergab sich für die präoperative Punktion eine mäßige Sensitivität von 58 %. Die Detektionsrate lag deutlich unter der von intraoperativen Proben. Auffällig hierbei waren der geringe Anteil nachgewiesener Cutibakterien und das Fehlen von KNS. Ein Grund hierfür könnte in der Tatsache liegen, dass es sich bei beiden Erregern um typisch langsam-wachsende und häufig biofilmproduzierende Bakterien handelt, welche

im Gelenkpunktat erschwert zu detektieren sind [75]. Eine unzureichende Bebrütungsdauer wird dabei als wesentlicher Einflussfaktor diskutiert. Die Kulturen in unserer Arbeit wurden 14 Tage bebrütet. Pottinger et al. berichteten, dass nur 86 % der mit *C. acnes* belasteten Kulturen aus präoperativen Punktionen innerhalb dieser Zeit positiv wurden [144]. Auch Nodzo et al. sahen eine Bebrütungsdauer von mindestens 14 Tagen als notwendig an [125]. Allerdings beschrieben Frangiamore et al. im Gegensatz dazu, dass richtig positive *C. acnes* Proben bereits innerhalb von 4-6 Tagen Keimwachstum zeigten [48,139]. Die Frage nach einer optimalen Bebrütungsdauer bleibt somit unklar. In jedem Fall sollte, sofern ein begründeter Verdacht auf eine Infektion besteht, das chirurgische Vorgehen nicht durch verlängerte mikrobiologische Diagnostik verzögert werden. Zumal die frühzeitige Verfügbarkeit intraoperativer Gewebeproben, auf Grund der höheren Detektionsraten, die Chance auf einen Keimnachweis im Vergleich zur präoperativen Punktion deutlich erhöht.

In unserer Arbeit zeigte sich für die präoperative Punktion eine hohe Spezifität von 89 %. Trotz der beschriebenen Limitationen bietet die Punktion die Chance, frühzeitig eine gezielte Antibiotikatherapie beginnen zu können. Gleichzeitig darf eine negative Punktion bei unzureichender Sensitivität keineswegs alleinig zum Infektionsausschluss dienen.

Neben der mikrobiologischen Diagnostik bietet die präoperative Punktion die Möglichkeit zur Bestimmung der synovialen Leukozytenzahl. Voraussetzung hierfür ist die Gewinnung ausreichender Mengen an Punktat, was insbesondere bei Infektionen mit Cutibakterien ein limitierender Faktor sein kann [108]. Zudem besteht nach wie vor keine Einigkeit über feste Grenzwerte [37,133]. In unserer Arbeit lag die mittlere detektierte Leukozytenzahl bei 27 800/ mm³ und somit im deutlich pathologischen Bereich. Jedoch zeigten auch Proben von Patienten mit erbrachtem Keimnachweis teilweise deutlich niedrigere Werte. Wenn eine entsprechende klinische Symptomatik und Risikofaktoren bestehen, sollten daher bereits Werte ab 500/ mm³ als infektionssuspekt gewertet werden [81]. In unserer Studie ergaben sich zudem bei Cutibakterieninfektionen tendenziell noch höhere Leukozytenzahlen als bei Infektionen mit anderen Keimen. Somit kann die synoviale Leukozytenzahl auch ein wichtiges Instrument in der Detektion

dieser mikrobiologisch erschwert nachweisbaren Erreger darstellen. Ein weiterer Vorteil ist die rasche Verfügbarkeit der Zellzahlbestimmung.

Insgesamt ist die Punktion trotz ihrer Limitationen als relevanter Aspekt in der präoperativen Diagnostik zu sehen und sollte bei Patienten mit Verdacht auf eine Schultergelenksinfektion frühzeitig durchgeführt werden.

4.1.3 Punktion bei einliegendem Spacer

Im Vergleich mit intraoperativen Proben vom Zeitpunkt des Spacerwechsels bzw. der Prothesenimplantation zeigte sich eine Sensitivität der PES von 0 %. Dieses Problem ist auch aus der Hüft- und Knieendoprothetik bekannt. In Arbeiten von Bölich et al. wird eine Sensitivität der Punktion von 4,6 % bzw. 0 % im Vergleich zu mikrobiologischen Ergebnissen angegeben [15,14]. Gleichzeitig wurde eine Verschiebung von negativen präoperativen Kulturen hin zu niedrig-virulenten, biofilmproduzierenden Bakterien in intraoperativen Kulturen beschrieben [14]. Es liegt nahe, dass dieser Effekt an der Schulter insofern verstärkt zu tragen kommt, als dass Cutibakterien und KNS die größte Erregergruppe darstellen und beide Pathogene typisch langsam-wachsende, biofilmproduzierende Bakterien sind [75]. In unserer Arbeit bestätigte sich dies dahingehend, dass beide falsch negativen Proben diese Erreger enthielten. Außerdem hatten beide Fälle mit intraoperativem Nachweis von *S. epidermidis* zuvor eine *Punctio sicca* erbracht.

Unsere Arbeit zeigte zwar eine gute Spezifität der PES von 88 %, dennoch ist es fraglich, inwiefern die PES bei einer Sensitivität von 0 % einen diagnostischen Mehrwert erbringt. Eine routinemäßige Durchführung scheint vor diesem Hintergrund nicht generell empfehlenswert. Für das Erreichen einer möglichst hohen Validität der Ergebnisse sollte zudem die Antibiotikaeinnahme pausiert werden [5]. Die früher häufig durchgeführte zweiwöchige Antibiotikakarenz geht jedoch mit einem erhöhten Risiko für eine Persistenz der Infektion und die Entwicklung von antibiotikaresistenten Bakterienstämmen einher. Gleichzeitig besteht keine ausreichende Evidenz bezüglich möglicher Vorteile [69]. In unserer Klinik ist dieses Procedere daher weitgehend verlassen worden. Es kann davon ausgegangen werden, dass der konstanten Fortführung der

Antibiotikatherapie ein größerer Nutzen zukommt als der Punktion, welche keine ausreichende Sensitivität zum Infektionsausschluss bietet.

4.1.4 Mischinfektionen und Kontaminationen

In unserer Arbeit kam es in 10% der Fälle dazu, dass in verschiedenen Proben des gleichen Patienten unterschiedliche Keime nachgewiesen wurden. Dies kann einerseits die Frage nach einer möglichen Kontamination aufwerfen, gleichzeitig auch als Indiz für eine mangelnde Sensitivität der bakteriellen Kultur gesehen werden.

Im klinischen Alltag stellt sich immer wieder die Frage, inwiefern es sich bei Keimnachweisen auch um Kontaminationen handeln kann. Bei Gelenkinfektionen stellt die notwendigerweise aggressive Therapie – insbesondere vor dem Hintergrund eines meist multimorbiden Patientenkollektivs – stets einen Kompromiss von Risiko und Nutzen dar. Hier tragen Erregernachweise wesentlich zu Therapieentscheidungen bei. Die richtige Einordnung mikrobiologischer Ergebnisse ist folglich von besonderer Relevanz. Gegenstand der Diskussion um mögliche falsch positive Ergebnisse sind dabei insbesondere Cutibakterien. Mook et al. gehen davon aus, dass hier hohe Kontaminationsraten bestehen und beschreiben falsch positive Kulturen in 13 % der Kontrollgruppen [110]. Cutibakterien – und auch andere niedrig-virulente Erreger - gehen jedoch gehäuft mit blander Klinik einher. Zudem ist ihre Detektion erschwert. Dies zeigt sich unter anderem darin, dass in unserer Arbeit 43 % der Patienten mit nachgewiesenen Cutibakterien nach ICM als „Infektion unwahrscheinlich“ eingestuft wurden. Im Gegensatz dazu war dies nur bei 9 % der Patienten mit Nachweis anderer/ mehrerer Erreger der Fall. Es scheint möglich, dass diese Erreger – insbesondere wenn sie nur in einer geringen Anzahl an Proben nachgewiesen werden - oft fälschlicherweise als Kontaminationen eingestuft werden [108]. So beschreiben Millett et al., dass *C. acnes* Infektionen gehäuft Ursache unklarer postoperativer Schulterschmerzen sind [108].

Positiven Proben sollte folglich entsprechende Beachtung geschenkt werden, selbst wenn es sich bei den nachgewiesenen Erregern um typische Hautkeime

handelt und alle zuvor durchgeführte mikrobiologische Diagnostik negative Ergebnisse erbracht hatte. Auch Situationen, in denen in verschiedenen Proben verschiedene Keime nachgewiesen werden, sollten im Zweifel als Mischinfektionen gewertet und entsprechend therapiert werden. Die potentiell negativen Auswirkungen einer erweiterten Antibiotikatherapie relativieren sich dabei vor dem Hintergrund der drastischen Auswirkungen einer bei unzureichender Therapie wahrscheinlichen Infektionspersistenz.

4.1.5 Laborparameter

CRP, BSG und Leukozytenzahl sind weit verbreitete, serologische Entzündungsparameter, welche standardmäßig in der Infektionsdiagnostik verwendet werden. In unserer Arbeit zeigten sich die Werte im Mittel deutlich über der Norm. Dennoch waren die Werte bei weitem nicht bei allen Patienten die Werte erhöht. Der sensitivste Parameter in unserer Arbeit war das CRP mit einer Erhöhung bei 75 % der Patienten. Die Leukozytenzahl war dagegen bei nur 26 % erhöht. Dies steht in Einklang mit Ergebnissen anderer Arbeiten, welche eine niedrige Sensitivität und negativ prädiktive Werte bei Schultergelenksinfektionen beschrieben [121]. Eine Metaanalyse von Nelson et al. ergab, dass in 7 % der Fälle die Leukozytenzahl erhöht war, in 38 % der Fälle die BSG und in 62 % der Fälle das CRP [121]. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen zeigte sich in unserer Arbeit für die BSG eine deutlich bessere Detektionsrate von 67 %, sie sollte daher ergänzend zum CRP abgenommen werden.

Eine mögliche Erklärung für unauffällige oder nur mäßig erhöhte Entzündungsparameter trotz Infektion liefert das schulterpezifische Keimspektrum mit einer hohen Anzahl niedrig-virulenter Keime. In unserer Arbeit zeigten alle Entzündungsparameter sowohl niedrigere absolute Werte als auch niedrigere Detektionsraten bei Patienten mit Cutibakterieninfektion im Vergleich zu anderen Infektionen. Bei Patienten, welche trotz Keimnachweis eine normwertige BSG aufwiesen, waren die Pathogene zu 60 % Cutibakterien und zu 40 % KNS. Insgesamt scheinen Infektionen mit diesen Keimen also eine geringere Immunreaktion auszulösen. Diese Ergebnisse decken sich mit anderen

Arbeiten, in denen geringere Immunreaktionen für Cutibakterien als für andere Erreger beschrieben werden [125,144]. Gleichzeitig stellt diese Betrachtung aber auch eine gewisse Vereinfachung dar. Es bestehen zahlreiche Untergruppen des Erregers und Boyle et al. beschrieben, dass es in erster Linie die nicht-hämolysierenden Cutibakterien sind, welche mit niedrigen laborchemischen Entzündungsparametern einhergehen [23]. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass diese Erreger insgesamt erschwert zu detektieren sind. Nodzo et al. beobachteten zudem bei *C. acnes* Infektionen der Schulter nochmals niedrigere BSG- und CRP-Werte als bei Knien und Hüften, wenngleich die zugrunde liegenden Pathomechanismen bislang nicht eruiert werden konnten [125]. Neben der Möglichkeit unauffälliger Entzündungsparameter trotz Infektion gilt es auch zu bedenken, dass ein erheblicher Anteil der Patienten unter Grunderkrankungen, bspw. rheumatologischer Genese, leidet, welche ebenfalls für erhöhte Werte verantwortlich sein können. Sofern hier frühere Werte zum Vergleich vorliegen, sollten diese unbedingt in die Beurteilung mit einbezogen werden. Insgesamt bringen serologische Parameter eine mäßige Sensitivität und Spezifität mit sich, dieses Problem scheint bei Schulterinfektionen im Vergleich zu anderen Gelenken nochmals verstärkt zu sein. Die Entzündungsparameter sind jedoch einfach, schnell und kostengünstig zu bestimmen und haben ihren Wert insbesondere als Verlaufsparemeter.

4.1.6 Histologie

Es ist Gegenstand der Diskussion, wie aussagekräftig die histologische Diagnostik bei Schultergelenksinfektionen ist. Topolski et al. untersuchten 75 Schultern mit intraoperativem Keimnachweis auch histologisch, in 92 % der Fälle waren diese Untersuchungen negativ [170]. Grosso et al. geben dagegen eine gute Sensitivität von 72 % und eine Spezifität von 100 % für periprothetische Infektionen der Schulter an. Hierbei wurde eine Anzahl von 10 neutrophilen Granulozyten in 5 HGF als Grenzwert herangezogen [61]. Die Morawietz-Klassifikation wurde zwar für periprothetische Infektionen von Hüfte und Knie beschrieben, orientiert sich für *low-grade* Infektionen aber an einem ähnlichen Grenzwert von 23 neutrophilen Granulozyten in 10 HGF [92,112]. In unserer Arbeit ergab sich für die Morawietz-Klassifikation im Vergleich zu

intraoperativen Kulturen eine Sensitivität von 72,7 % und eine Spezifität von 66,7 %. Dabei bleibt unklar, inwiefern falsch positive histologische Ergebnisse auch einer mangelnden Sensitivität der mikrobiologischen Diagnostik geschuldet sind. Wir erachten es als sinnvoll, intraoperativ auch histologische Proben zu gewinnen. Die Morawietz-Klassifikation kann dabei auch für Schulterinfektionen herangezogen werden. Insgesamt sollten die Ergebnisse jedoch nicht als singuläres Kriterium gewertet werden, sondern bedürfen – wie alle Diagnostika – bei mangelnder Sensitivität und Spezifität stets der kritischen Einordnung in das Gesamtbild.

4.1.7 Diagnosekriterien

Einzelnen betrachtet mangelt es allen verfügbaren Methoden zu Infektionsdiagnostik an Sensitivität und/ oder Spezifität. Eine kombinierte Betrachtung der Ergebnisse ist daher essentiell, um eine möglichst valide Diagnose stellen zu können. Wie Einzelergebnisse vor dem Hintergrund zahlreicher potenzieller Einflussfaktoren zu werten sind, ist für nahezu jeden Aspekt Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion. Es ist folglich nicht verwunderlich, dass die Definitionen einer Gelenkinfektion regelmäßig überarbeitet und verändert werden [134]. Für die Hüft- und Knieendoprothetik kann dabei auf eine wesentlich bessere Datenlage zurückgegriffen werden, als in der Schulterendoprothetik. So sind auch die gebräuchlichsten Definitionen, die MSIS- und IDSA-Kriterien nur für periprothetische Infektionen von Hüfte und Knie beschrieben und es ist fraglich, inwiefern sie auf die Schulter übertragbar sind. Die ICM-Kriterien hingegen wurden 2018 eigens dafür entwickelt, der schulter-spezifischen Situation Rechnung zu tragen [109,125]. Hinweise auf einen Vorteil der gelenkspezifischen Modifikation ergaben sich auch in unserer Arbeit. In unseren Ergebnissen zeigten die ICM-Kriterien mit 61 % eine höhere Detektionsrate als MSIS- oder IDSA-Kriterien (42 bzw. 54 %).

Der mikrobiologische Keimnachweis gilt als diagnostischer Goldstandard. Gemessen an den Ergebnissen der Mikrobiologie zeigten die MSIS-Kriterien die höchste Rate falsch negativer Ergebnisse (34 %), wohingegen die ICM-Kriterien die niedrigste Rate falsch negativer Ergebnisse (17 %) zeigten, gleichzeitig aber

die höchste Rate falsch positiver Ergebnisse (17 %). Zwar gilt die mikrobiologische Untersuchung als Goldstandard, doch kultur-negative Infektionen sind ein häufig beschriebenes Problem. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwiefern positive Diagnosescores bei negativer Mikrobiologie als falsch positiv gewertet sollten. Die Diagnosescores ziehen vielfältige Aspekte mit ein, was eine Verbesserung der Sensitivität im Vergleich zur reinen Betrachtung der Mikrobiologie naheliegend erscheinen lässt.

Die Ergebnisse unserer Arbeit sollten daher eher im Sinne einer Steigerung der Sensitivität der ICM-Kriterien gegenüber der reinen mikrobiologischen Diagnostik gewertet werden. Insgesamt lag die Rate der gemäß ICM als „Infektion“ bzw. „Infektion wahrscheinlich“ eingestuftten Patienten zwar geringfügig unter der Detektionsrate der Mikrobiologie. Dies sollte allerdings vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass auf Grund des retrospektiven Studiendesigns nicht alle Einzelaspekte der Diagnosekriterien berücksichtigt werden konnten. Die Bestimmung des synovialen α -Defensins oder der synovialen Neutrophilenzahl sind bspw. bei keinem Patienten erfolgt, zudem fehlten bei einigen Patienten weitere Angaben. Es scheint wahrscheinlich, dass dieser Mangel an Informationen zu vermehrt falsch negativen Ergebnisse der ICM-Kriterien geführt hat. Auch Kontaminationen mikrobiologische Proben können nicht sicher ausgeschlossen werden. Dies wurde auch unter *4.1.4 Mischinfektionen und Kontaminationen* diskutiert. Letztlich sollten diagnostische Methoden – und insbesondere die Diagnosescores - in zukünftigen prospektiven Studien mit entsprechend umfangreicher Datenerhebung weiter evaluiert werden. Diese Arbeit bestätigt jedoch unsere Annahme, dass die ICM-Kriterien bei Schulterinfektionen den MSIS- und IDSA-Kriterien überlegen zu sein scheinen und als schulterpezifischer Diagnosestandard etabliert werden sollten.

4.1.8 Diagnostik bei Primärinfektionen

Primärinfektionen spielen unter den Schultergelenksinfektionen eine nicht unerhebliche Rolle. Dies wird trotz der Diskussionen um falsch positive mikrobiologische Ergebnisse in mehreren Arbeiten hervorgehoben. Bspw. fanden Wong et al. 50 % positive mikrobiologische Kulturen bei primärer

Prothesenimplantation ohne vorherigen Infektionsverdacht [182]. Ebenfalls bei Primärinfektionen ohne vorherigen Infektionsverdacht wurde alleine der Anteil an *C. acnes* positiven Kulturen von Levy et al. mit > 40 % angegeben [101]. Hudek et al. beschrieben bei Operationen am nativen Schultergelenk *C. acnes* positive Proben in 36 % der Fälle [78]. Dies verdeutlicht, dass Cutibakterieninfektionen und dabei insbesondere auch primäre Gelenkinfektionen mit Cutibakterien gehäuft mit diskreter und unspezifischer Symptomatik einhergehen. Auch Mathews et al. beschrieben, dass primäre Gelenkinfektionen nicht regelhaft eine generalisierte Symptomatik zeigen [106]. Dies kann das Erkennen einer Primärinfektion als solche stark erschweren.

In unserer Arbeit zeigte sich der Anteil ICM positiver Patienten mit Primärinfektion signifikant geringer als der entsprechende Anteil bei Patienten mit Sekundär- bzw. periprothetischer Infektion. Die ICM-Kriterien wurden jedoch auf Grundlage von Daten periprothetischer Infektionen entwickelt. Es ist nicht geklärt, inwiefern bei Primärinfektionen andere Diagnosekriterien angewendet werden sollten. Unsere Ergebnisse legen jedoch nahe, dass eine direkte Übertragung der ICM-Kriterien auf Primärinfektionen nicht ausreichend ist. Gleiches gilt auch für die histologischen Morawietz-Kriterien, welche in unserer Arbeit einen hohen Anteil indifferenter Ergebnisse erbrachten. Siehe hierzu auch *4.1.6 Histologie* und *4.1.7 Diagnosekriterien*. Diagnosekriterien, speziell für primäre Gelenkinfektionen, wurden von Newan et al. 1976 etabliert. Ihre Zuverlässigkeit ist jedoch stark limitiert und eine Aktualisierung der Kriterien ist bis heute nicht erfolgt [151]. Die in unserer Arbeit mikrobiologisch bei Primärinfektionen nachgewiesenen Erreger waren KNS und Cutibakterien, was sich auch mit den Ergebnissen anderer Arbeiten deckt [59]. Neben dem Keimspektrum zeigten in unserer Arbeit auch die laborchemischen Entzündungsparameter keine signifikanten Unterschiede zwischen Primärinfektionen und periprothetischen- bzw. Sekundärinfektionen. Auf Grund der unspezifischen Klinik und des Fehlens spezifischer Diagnosekriterien scheint die Detektion von Primärinfektionen tendenziell nochmals schwieriger zu sein als bei periprothetischen- oder Sekundärinfektionen. Auffälligkeiten am nativen Gelenk vorschnell als aseptische Entzündungen einzustufen bzw. Keimnachweise als Kontaminationen

einzuordnen, erscheint vor diesem Hintergrund nicht gerechtfertigt. Gupta et al. untersuchten Primärinfektionen mit und ohne Keimnachweis und stellten fest, dass beide Gruppen bezüglich klinischer Präsentation, Ergebnis und Mortalität keine Unterschiede zeigten [65]. Die zur Verfügung stehenden diagnostischen Methoden sollten also ebenso umfangreich angewandt werden wie bei Infektionen voroperierter Patienten [106,115,151]. Gleichzeitig sollte auch bei Primärinfektionen die Diagnostik nicht zur Therapieverzögerung führen [115,151]. Weitere Studien sind notwendig, um bestehende Diagnosekriterien und Algorithmen entsprechend auf Besonderheiten der Primärinfektion abzustimmen.

4.1.9 Diagnostik bei Sekundärinfektionen

In unserer Arbeit zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Sekundärinfektionen und periprothetischen Infektionen, sowohl die laborchemischen Entzündungsparameter als auch die Anzahl positiver Fälle in den Diagnosescores betreffend. Für die ICM-Kriterien war die Detektionsrate bei Implantat-assoziierten Infektionen sogar höher als für periprothetische Infektionen. Die Verwendung der ICM-Kriterien scheint also auch bei Sekundärinfektionen sinnvoll. Bezüglich der histologischen Beurteilung mittels Morawietz-Klassifikation liegt dieser Arbeit eine sehr kleine Fallzahl zugrunde. Da das Vorkommen des abriebinduzierten Typs nach Operationen ohne Implantation von Fremdmaterial nahezu auszuschließen ist, scheint in diesen Fällen lediglich die Anwendung der Kriterien für *high-/low-grade* Infektionen zielführend. Für Patienten mit Osteosynthese lag die Rate der detektierten Infektionen mit 80 % sogar deutlich höher als für Patienten mit periprothetischer Infektion (42 %). Es scheint somit empfehlenswert, die Morawietz-Kriterien auch bei Infektionen nach Osteosynthese anzuwenden.

4.2 Postoperative Ergebnisse

4.2.1 Infektionseradikation

Basierend auf den Ergebnissen der mikrobiologischen Untersuchung bei RSA-Implantation ergaben unsere Daten eine hohe Infektionseradikationsrate von 90 %. Betrachtet man allein die Patienten, bei welchen vor abschließender

RSA-Implantation bereits ein Erregernachweis erfolgt war, betrug die Infektionseradikationsrate sogar 100 %. Diese guten Ergebnisse entsprechen auch anderen Arbeiten, welche für den zweizeitigen Wechsel Eradikationsraten von bis zu 93 % beschrieben [121].

In allen Fällen der in unserer Arbeit erfolgten Keimnachweise bei RSA-Implantation - und somit angenommener nicht-eradizierter Infektion – waren zuvor keine Keime nachgewiesen worden. Vor diesem Hintergrund kann diskutiert werden, inwiefern diese Keimnachweise mögliche Kontaminationen darstellen. Gleichzeitig ist es nach wie vor Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen, inwieweit der zu Beginn der Operation einliegende, antibiotikaträgende *Spacer* die Sensitivität der mikrobiologischen Kulturen negativ beeinflusst. Zur Diskussion um die Aussagekraft mikrobiologischer Untersuchungen siehe auch *4.1 Diagnostik*.

Unabhängig davon legen jedoch Daten aus der Hüft- und Knierevisionsendoprothetik nahe, dass andere Kriterien als Marker für eine persistierende Infektion noch kritischer zu betrachten sind als die intraoperativen mikrobiologischen Proben [14,74]. Kusuma et al. beschrieben für den zweizeitigen Knieprothesenwechsel niedrigere Werte von CRP und BSG bei persistierenden Infektionen als bei Fällen mit erfolgter Infektionseradikation [94]. Auch Bölch et al. beschrieben einen niedrigen diagnostischen Wert von CRP und BSG für die Beurteilung der Infektionseradikation während Wechseloperationen von Hüftendoprothesen [14]. Deutliche Limitationen von Sensitivität und Spezifität werden ebenso für histopathologische Beurteilungen beschrieben [14,30,94].

Ausschlaggebend zur Beurteilung des Behandlungserfolgs nach zweizeitiger RSA-Implantation sind im Endeffekt weniger die mikrobiologischen, histologischen und laborchemischen Ergebnisse bei RSA-Implantation, sondern vielmehr das infektionsfreie Überleben postoperativ.

4.2.2 Infektionsfreies Überleben

Im gesamten Beobachtungszeitraum wurden in unserem Patientenkollektiv 2 septische Revisionen erforderlich. Bei 1 Patienten kam es zur akuten Infektion

mit Nachweis des gleichen Keims, der auch während der Spacerimplantation nachgewiesen worden war. Eine rezidivierende Infektion scheint daher in diesem Fall sehr wahrscheinlich. Im 2. Fall wurde bei Revision der gleiche Keim wie bei RSA-Implantation nachgewiesen. Auch hier ist eine persistierende Infektion daher nicht ausgeschlossen. Jedoch erfolgte 14 Tage vor Revision ein zahnmedizinischer Eingriff bei dem ebenfalls der gleiche Keim nachgewiesen wurde. Eine hämatogene Infektion auf Grund dessen kommt somit ebenfalls als ursächlich in Betracht.

Insgesamt zeigte unsere Arbeit bei einem langen kumulativen Nachuntersuchungszeitraum von nahezu 11 Jahren eine hohe kumulative Rate des revisionsfreien Überlebens von über 90 %. Allerdings bestehen hier Limitationen insofern, als dass nur 79 % der Patienten einen Nachuntersuchungszeitraum von über 1 Jahr und nur 64 % einen Nachuntersuchungszeitraum von mehr als 2 Jahren hatte. Der vorliegenden Arbeit liegt jedoch mit 39 Patienten, im Vergleich zu den wenigen anderen verfügbaren Studien, welche das Überleben nach zweizeitiger RSA-Implantation beschreiben, eine hohe Fallzahl zugrunde. Jacquot et al. veröffentlichten eine Arbeit über 14 Patienten mit einem infektionsfreien Überleben von 64 % nach einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 36 Monaten [85]. Sabesan et al. untersuchten die Ergebnisse von 17 Patienten und beschrieben ein infektionsfreies Überleben von 94 % nach einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 46 Monaten [154].

4.2.3 Klinische Ergebnisse

Der mittlere Constant Score betrug in unserem Patientenkollektiv 48 Punkte, die Beweglichkeit blieb dabei signifikant hinter der Gegenseite zurück. Es gibt nur eine geringe Anzahl anderer Arbeiten, die explizit die zweizeitige RSA-Implantation bei Infektion beschreiben. Auch diese beschrieben deutliche Einschränkungen der funktionellen Ergebnisse, so gaben Jacquot et al. einen mittleren Constant Score von 44 Punkten an, Grubhofer et al. von 51 Punkten. Allerdings verbesserte sich in diesen Arbeiten der Constant Score im Vergleich zur präoperativen Situation signifikant [63,85]. Aufgrund des retrospektiven

Studiendesigns war bei fehlenden präoperativen Daten der Vergleich von prä- und postoperativer Funktionalität in der vorliegenden Arbeit nicht möglich.

Obwohl bei einem Großteil der Patienten in unserer Studie deutliche Funktionseinschränkungen der betroffenen Schulter bestehen blieben, konnte in den meisten Fällen die Funktionalität in ausreichendem Maße wiederhergestellt werden, um zumindest die Durchführbarkeit von Alltagsaktivitäten zu ermöglichen. In einem Fall konnte sogar eine nahezu physiologische Beweglichkeit erreicht werden.

Während der Constant Score viele objektive Parameter wie Bewegungsausmaß und Kraftmessung beinhaltet, stellt der QuickDASH ein Messinstrument dar, welches die Funktionalität subjektiv aus Patientensicht wiedergibt. Hier zeigte sich bei den meisten Patienten in unserer Studie, dass die Funktionalität objektiv im Constant Score tendenziell schlechter beurteilt wird als subjektiv im QuickDASH. Zudem gaben 86 % unserer Patienten keine bzw. nur sehr geringe Schmerzen an. Diese Diskrepanz zwischen objektiv bestehenden Funktionseinschränkungen und der subjektiv tendenziell besseren Bewertung der Situation unterstreicht die Relevanz der präoperativen Patientenaufklärung. Es scheint von großer Bedeutung zu sein, offen über die zu erwartenden Ergebnisse aufzuklären und so eine realistische Erwartungshaltung zu schaffen. Bei allem Bemühen um möglichst gute funktionelle Ergebnisse bleibt das primäre Ziel einer mehrzeitigen RSA-Implantation die Erregereradikation und damit das Verhindern generalisiert septischer, lebensbedrohlicher Verläufe.

4.2.3.1 Interindividuelle Schwankungen und Risikofaktoren

Auffällig waren starke Schwankungen der Ergebnisse innerhalb des Patientenkollektivs. Die Werte für die Flexion schwankten zwischen 20-180°, für die Extension zwischen 0-60°, der Constant Score zwischen 7 und 85 Punkten. Ähnliche Schwankungsbereiche sind auch anderen Arbeiten zu entnehmen, so bspw. bei Klatte et al. mit Ergebnissen im Constant Score zwischen 7 und 90 Punkten nach Prothesenwechsel auf eine RSA [89]. Eine statistische Signifikanz zeigte sich in unserer Arbeit für die Korrelation zwischen höherem Patientenalter bei Prothesenimplantation und niedrigerer Kraft sowie zwischen einer höheren

Anzahl an Voroperationen und vermehrten Schmerzen. Tendenziell ging eine höhere Anzahl an Voroperationen auch mit schlechteren Ergebnissen in QuickDASH und Constant Score einher, wenngleich dies bei kleinen Fallzahlen ohne statistische Signifikanz blieb. Entsprechende Beobachtungen beschreiben auch Gohlke et al. nach RSA-Implantation bei fehlgeschlagener Frakturprothese [55].

Auffällig war in unserem Patientenkollektiv zudem, dass der Patient, welcher für alle getesteten Bereiche die schlechtesten Ergebnisse zeigte bei Prothesenimplantation 75 Jahre alt war, als ASA 3 eingeordnet wurde, zudem rauchte, an Diabetes mellitus litt und vierfach voroperiert war. Gleichzeitig war der Patient mit den besten klinischen Ergebnissen und nahezu physiologischer Beweglichkeit bei Prothesenimplantation 61 Jahre alt, als ASA 2 klassifiziert und weder Raucher noch Diabetiker. Aufgrund der für die Betrachtung der Einzelaspekte niedrigen Fallzahlen kann die vorliegende Arbeit lediglich Tendenzen aufzeigen. Solche Beobachtungen können keinesfalls Kausalzusammenhänge belegen. Diese Arbeit veranschaulicht jedoch, dass es sich bei Patienten mit Schulterinfektionen insgesamt um ein sehr komplexes Kollektiv mit multiplen Risikofaktoren und Vorerkrankungen handelt, wobei insbesondere Übergewicht und schwere Allgemeinerkrankungen (ASA 3) gehäuft beobachtet wurden. Es scheint wahrscheinlich, dass das postoperative Ergebnis nicht zuletzt von der gesundheitlichen Allgemeinsituation abhängt. Auch die präoperativ bestehende Funktionalität scheint einen erheblichen Einfluss auf die postoperativen Ergebnisse zu haben [9,51].

4.2.4 Vergleich verschiedener Therapieoptionen

Die Ergebnisse von Funktionalität und Erregereradikation nach zweizeitiger RSA-Implantation sollten auch im Vergleich zu alternativen Behandlungsoptionen betrachtet werden.

Spülung und Débridement ohne bzw. mit inkomplettem Implantatwechsel sind unter den chirurgischen Therapieoptionen die am wenigsten invasive Möglichkeit und gehen mit einer relativ kurzer Operationsdauer einher. Allerdings werden für diese Option niedrige Infektionseradikationsraten von 50-70 % angegeben.

Jacquot et al. beschrieben hier tendenziell bessere Eradikationsraten bei akuten Infektionen (70 %) gegenüber chronischen Infektionen (50 %) [85]. Auch die funktionellen Ergebnisse werden als nicht zufriedenstellend gewertet [85,105,121,165]. So wurde der Constant Score mit 27 bis 38 Punkten angegeben [35,121]. Dieses Verfahren hat seinen Stellenwert somit eher als initialer Therapieversuch bei Hochrisikopatienten mit akut auftretenden Infektionen.

Für die Resektionsarthroplastik werden zwar Eradikationsraten von ca. 90 % berichtet, doch sind die Angaben schwankend und die Funktionalität der Schulter blieb in den Arbeiten massiv eingeschränkt [35,105,121,165]. So beschrieben Marcheggiani et al. einen mittleren Constant Score von 29 Punkten [105]. In einer Übersichtsarbeit von Nelson et al. wird die Flexion mit 32° und die Abduktion mit 47° angegeben [121]. Auch dieses operative Verfahren ist somit eher als Kompromiss bei schwerkranken Patienten mit hohem Operationsrisiko zu empfehlen.

Bei *Spacern* als dauerhafte Therapieoption werden ähnliche Eradikationsraten (82 – 94 %) und etwas bessere funktionelle Ergebnisse als für die Resektionsarthroplastik beschrieben. Die Funktionalität der Schulter blieb mit 49-75° Abduktion und einem mittleren Constant Score von 33 Punkten jedoch deutlich limitiert [86,100,105,110,121,136]. Ein dauerhafter *Spacer* ist also vor allem dann Therapie der Wahl, wenn der Patienten bei bereits einliegendem *Spacer* eine weitere Operation ablehnt oder aufgrund von Begleiterkrankungen inoperabel bezüglich einer Prothesenimplantation ist.

In unserer Arbeit zeigte sich die Funktion der Schulter mit einem Constant Score von 48 Punkten und einer Flexion von 113° zwar ebenfalls limitiert, stellt jedoch im Vergleich zu anderen beschriebenen, weniger invasiven chirurgischen Optionen eine deutliche Verbesserung dar. Insbesondere vor dem Hintergrund der für andere Verfahren unzureichenden Ergebnisse – von niedrigen Eradikationsraten über massiv eingeschränkte Gelenkfunktion – scheint es wahrscheinlich, dass in der Mehrzahl der Fälle der Endoprothesenwechsel die beste Therapieoption für Patienten mit Infektionen der Schulter darstellt.

4.2.4.1 Ein- versus zweizeitiger Wechsel

Der zweizeitige Wechsel stellt die am häufigsten durchgeführte Behandlungsmethode der periprothetischen Schulterinfektion dar [121,139]. Es gibt jedoch einige Autoren, welche die Vorteile eines einzeitigen Vorgehens herausheben. Als solche werden die Vermeidung einer zusätzlichen Operation, die verkürzte Antibiotikaeinnahme sowie eine Kostenersparnis angeführt [9,76,84,89]. Bezüglich der Funktionalität zeigten sich ähnliche Ergebnisse für das ein- bzw. zweizeitige Vorgehen [121]. Auch für einzeitige Wechsel werden Eradikationsraten über 90 % beschrieben [76,89]. In einer Metaanalyse von Nelson et al. wurde die Heilungsrate mit 90,1 % für den einzeitigen Wechsel nur geringfügig niedriger als für den für den zweizeitigen Wechsel (93,8 %) angegeben [9,76,121]. In der im Rahmen des ICM 2018 verfassten Übersicht wird die Reinfektionsrate für den einzeitigen Wechsel mit 5,6 % sogar niedriger angegeben als für den zweizeitigen Wechsel (11,4 %). Ein Faktor, welcher jedoch in der Einordnung dieser Ergebnisse nicht außer Acht gelassen werden sollte, ist ein gewisser Auswahlereffekt [60]. Es ist davon auszugehen, dass bei prekärer Weichteilsituation und besonders kritischen Patienten zunächst eher ein *Spacer* implantiert werden wird. Für einen einzeitigen Wechsel kommen dagegen vor allem Patienten in Frage, bei welchen eine akute Infektion mit bekanntem Keim besteht. In diesen Fällen mag eine Therapie mit einzeitigem Wechsel berechtigt sein. Limitationen in der Aussagekraft der Studien bestehen zudem in kleinen Fallzahlen und kurzen Nachuntersuchungszeiträumen. Insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Anzahl an niedrig-virulenten Keimen mit entsprechend spätem Auftreten von Reinfektionen sind hier die Ergebnisse langfristig angelegter Beobachtungen abzuwarten. Kritisch zu sehen ist die erfolgreiche Eradikation bei einzeitigen Wechsels auch vor dem Hintergrund einer Arbeit von Zhang et al., in welcher zwischen *Spacer*- und Prothesenimplantation offene Biopsien entnommen wurden. Dabei fanden sich insgesamt 22 % persistierende Infektionen und unter den *C. acnes* positiven Patienten 38 % persistierende Infektionen [189]. Auch in unserer Arbeit wurden 11 % der Fälle (4 von 35 vorliegenden) Keime bei Punktionen bzw. Wechsel nach *Spacer*implantation nachgewiesen. Es scheint somit fraglich, ob ein einzeitiger

Wechsel tatsächlich eine suffiziente Erregereradikation erzielen kann oder ob nicht doch im langfristigen Verlauf mit gehäuften Rezidiven zu rechnen ist.

4.2.4.2 Anatomische versus reverse Prothese

In unserem Patientenkollektiv war ein großer Teil der von Schulterinfektionen betroffenen Patienten bereits mehrfach voroperiert. Auch vorbestehende traumatische Verletzungen von Knochen (insbesondere Humeruskopffrakturen) oder Rotatorenmanschette waren keine Seltenheit. Die gleiche Beobachtung beschrieben auch Patrick et al. [136]. Mit zunehmendem Alter treten vermehrt degenerative Veränderungen der Rotatorenmanschette auf [153]. Wurde bereits vor der Infektion eine Prothese implantiert oder liegen unzureichend konsolidierte Frakturen oder eine massive Arthrose vor, kann zudem eine limitierte knöcherne Grundlage bestehen. Gleichzeitig stellt in der chirurgischen Therapie der Knochen-/ Gelenkinfektion ein gründliches Débridement einen essentiellen Therapieaspekt dar [118,154,154]. Der ohnehin oft fragile Zustand von Rotatorenmanschette und knöcherner Situation verschlechtert sich hierdurch jedoch häufig noch weiter. Vor diesem Hintergrund ist die Indikation zur Implantation von Hemiprothesen bzw. anatomischen Prothesen im Rahmen von Wechseloperationen besonders kritisch zu hinterfragen. Nach einzeitigem Wechsel auf Hemi- bzw. anatomische Prothesen wurden vermehrt Revisionen auf Grund rezidivierender Luxationen beschrieben [84,89]. Bei Klante et al. zeigten zusätzlich 4 von 19 Patienten mit Hemiprothese postoperativ eine kraniale Migration des Humeruskopfes. Der mittlere Constant Score lag für Hemiprothesen bei 43 Punkten gegenüber 61 Punkten bei implantierter RSA [89]. In einer Arbeit von Ince et al. kam es bei 3 von 8 Patienten mit Hemiprothese zur chronischen kranialen Subluxationen mit vermehrten Schmerzen und schlechter Funktion. Die Betroffenen empfanden das postoperative Ergebnis schlechter als die präoperative Situation. Die mittlere Abduktionsfähigkeit im gesamten Studienkollektiv lag bei 52°, wobei sich das Ergebnis der RSA mit 110° deutlich überlegen gegenüber dem Durchschnitt zeigte [84,83]. Auch Patrick et al. beschrieben für die RSA signifikant bessere funktionelle Ergebnisse bezüglich Beweglichkeit und Constant Score im Vergleich zu Hemi- bzw. anatomischen Prothesen [136]. Unsere Arbeit zeigte zwar auch eine eingeschränkte

Funktionalität, die Flexionsfähigkeit war mit 113° jedoch zufriedenstellend und die postoperative Komplikationsrate äußerst niedrig. Letztlich hängt die Wahl des Prothesentyps wie auch in der Primärendoprothetik von der knöchernen und muskulären Situation ab und muss nach gründlicher präoperativer Untersuchung festgelegt werden. In der Revisionsendoprothetik sollte die Implantation einer reversen Prothese jedoch frühzeitig in Betracht gezogen werden wohingegen bei hohen Versagensraten anatomische- oder Hemiprothesen eher Einzelfällen vorbehalten bleiben sollten.

4.2.4.3 Zeitlicher Behandlungsablauf

Wie nicht zuletzt im diagnostischen Teil dieser Arbeit deutlich wurde, stellt die Detektion von Schultergelenksinfektionen eine Herausforderung dar. Insbesondere bei chronischen bzw. *low-grade* Infektionen ist die Gefahr groß, dass eine adäquate Therapie erst verzögert begonnen wird. Eine verzögerter Behandlungsbeginn wird allerdings mit höheren Raten persistierender Infektionen und schlechteren funktionellen Ergebnissen in Zusammenhang gebracht [35]. Die endgültige chirurgische Therapie sollte nicht durch alleinige Antibiotikatherapie oder eine Vielzahl weniger invasiver chirurgischer Therapieversuche verzögert werden, da dies geringe Erfolgsaussichten birgt und sich zeitliche Verzögerungen sowie wiederholte, erfolglose Débridements aller Wahrscheinlichkeit nach negativ auf die langfristigen Ergebnisse auswirken [121].

Keine negativen Auswirkungen zeigten sich in unserer Arbeit bei Patienten mit verlängertem Zeitraum zwischen Spacerimplantation und Prothesenimplantation. Auch Zhang et al. sahen keine Nachteile bei Patienten, welche vor Protheseneinbau vermehrt offenen Biopsien und Spacerwechsel erhielten [189]. In unklaren Fällen sollte ein Spacerwechsel und somit die verlängerte lokale und systemische Antibiotikatherapie in Betracht gezogen werden, um persistierende Infektionen zu verhindern auch wenn sich dadurch die abschließende Prothesenimplantation verzögert.

4.2.5 Einschluss von Patienten mit Primär- und Sekundärinfektion

In diese Arbeit wurden neben Patienten mit periprothetischen Infektionen auch Patienten mit Primär- und Sekundärinfektionen eingeschlossen. Vor dem Hintergrund der, im Unterschied zur Hüft- und Knieendoprothetik, relativ niedrigen Fallzahlen, bietet dies zunächst den praktischen Vorteil, dass sich durch den Zusammenschluss die Fallzahlen erhöhen und eine verbesserte statistische Auswertung möglich wird. Im Allgemeinen wäre ein Zusammenschluss verschiedener Patientenkollektive, einzig mit dem Ziel, die Fallzahl zu erhöhen, der Aussagekraft der Arbeit abträglich. Bei der hier vorliegenden Arbeit im Speziellen sprechen jedoch zahlreiche inhaltliche Aspekte für den Zusammenschluss von Primär-, Sekundär- und periprothetischen Infektionen.

Zunächst bietet ein Vergleich der Untergruppen die Chance, mögliche Unterschiede und Gemeinsamkeiten herauszuarbeiten, insbesondere auch die Infektionsdiagnostik betreffend (vergleiche auch *4.1.8 Diagnostik bei Primärinfektionen* und *4.1.9 Diagnostik bei Sekundärinfektionen*). Entsprechende Erkenntnisse können relevanten Einfluss auf die Bewertung und Einordnung vorhandener Befunde im klinischen Einzelfall liefern und so nicht zuletzt auch die Therapieentscheidung in erheblichem Maße beeinflussen.

In Bezug auf die Demographie zeigten sich in dieser Arbeit keine Unterschiede zwischen den Untergruppen des Patientenkollektivs. Die einzige Ausnahme bestand in einem signifikant höheren Anteil an Patienten mit ASA 3 Status bei Primärinfektionen (100 %) gegenüber Sekundär- oder periprothetischen Infektionen (50 %).

Einen essentiellen Aspekt in der Diagnostik- und Therapie von Infektionen stellen die verursachenden Keime dar. Bezüglich des Keimspektrums zeigten sich in unserer Arbeit Cutibakterien und KNS als Haupterreger nicht nur für periprothetische-, sondern auch für Sekundär- und Primärinfektionen. Vergleichbare Ergebnisse bezüglich des Keimspektrums wurden ebenfalls bspw. durch Gramlich et al. beschrieben [59]. Dies ist auch insofern relevant, als dass

beide Pathogene niedrig-virulente Erreger sind, daher auch vermehrt chronische Infektionen verursachen und typischerweise mit der Bildung von Biofilmen einhergehen [21,75]. Dass eine Besiedelung mit Biofilmen auf Prothesen stattfinden kann, ist weithin bekannt. Die Besiedelung mit einem Biofilm betrifft jedoch nicht nur Prothesen, sondern wird auch bei anderen periimplantären Infektionen als massives Problem beschrieben [147]. Knabl et al. wiesen selbst bei asymptomatischen Patienten auf explantierten Platten in 67 % der Fälle elektronenmikroskopisch Biofilmstrukturen nach [90]. Aber auch Primärinfektionen sind nicht von Biofilmbesiedelung ausgenommen. So konnten Muthukrishnan et al. zeigen, dass sich dieser nicht nur auf Fremdmaterial, sondern auch auf nekrotischem Knochen bildet [116].

Nicht zuletzt vor diesem Hintergrund bestehen für Primär-, Sekundär- und periprothetische Infektionen wesentliche Gemeinsamkeiten bezüglich der Therapie. Die Entfernung des Biofilms ist essentiell für die erfolgreiche Behandlung. Verbliebenes Fremdmaterial stellt daher einen Risikofaktor für persistierende- bzw. Reinfektionen dar. Bei periimplantären Infektionen empfiehlt daher auch die *Pro-Implant-Foundation* (mit wenigen, sehr spezifischen Ausnahmen) immer die Implantatentfernung [146]. Bei Primärinfektionen sind eine aggressive Synovektomie und gründliches Débridement essentiell [115]. Dies zeigt sich zum einen in der hohen Versagensrate arthroskopischer Therapieversuche bei primären Schultergelenksinfektionen, welche von Gramlich et al. mit 100 % beschrieben wird, und zum anderen in der hohen Mortalität von 10 % trotz offenem Débridement [59]. Zudem zeigen Patienten mit Zustand nach Primärinfektion eines Gelenks ein erhöhtes Risiko für eine Infektion nach Prothesenimplantation, was auf eine im Vorfeld häufig unzureichende Erregereradikation hindeutet [169].

Ein wesentlicher Aspekt, welcher zum einen erheblichen Einfluss auf das therapeutische Vorgehen hat und gleichzeitig durch die Therapie mitbedingt wird, ist die knöcherner- und insbesondere auch Weichteilsituation am Schultergelenk. Diese ist bei Primär- und Sekundärinfektionen oft mindestens genauso prekär wie bei periprothetischen Infektionen. Seitens der knöchernen Situation besteht bei einliegender Prothese offensichtlich bereits ein gewisser Substanzverlust. Bei

vorbestehender Humeruskopffraktur mit ggf. unzureichender Konsolidierung oder nach Entfernung von Osteosynthesematerial bestehen ebenfalls knöcherne Defekte. Doch selbst bei reinen Primärinfektionen werden bereits nach wenigen Tagen Knorpelschäden bis hin zu deutlichen Gelenkdestruktionen beschrieben [106,115,151]. Auch die Funktion der Rotatorenmanschette ist häufig bereits vor Auftreten einer Infektion deutlich geschädigt. Dies kann bspw. in Zusammenhang mit unzureichend eingeeilten Tubercula nach Fraktur bestehen, vor allem aber bei degenerativen oder traumatischen Verletzungen der Sehnen selbst. Die Prävalenz bei Personen zwischen 70 und 79 Jahren liegt hier bereits in der Normalbevölkerung bei ca. 70 % [153]. Im selektiven Kollektiv von Patienten mit bereits erfolgter Operation am Schultergelenk ist von einer nochmals höheren Prävalenz auszugehen. Unabhängig von der initialen Situation ist dabei allen Infektionstypen gemein, dass durch die Infektion und damit einhergehende lokale Entzündungen und destruktive Prozesse Gewebe geschädigt wird, was sich durch das unvermeidbare Débridement im Rahmen der Therapie noch weiter aggraviert.

Vor diesem Hintergrund erachten wir den zweizeitigen Endoprotheseneinbau nicht nur bei periprothetischen, sondern auch bei komplizierteren periimplantären und primären Infektion mit gleichzeitig bestehender Arthrose, Knorpelschäden und RM-Defekten als adäquate Therapie.

In dieser Arbeit bestanden seitens der initialen knöchernen- und Weichteilsituation ggf. Unterschiede zwischen den Patientengruppen. Es wurde jedoch bei allen Patienten zunächst ein Débridement des humeralen Markraums vorgenommen und anschließend ein *Spacer* mit Schaft implantiert. Die technischen Voraussetzungen bezüglich der RSA-Implantation können daher bei allen Patienten als vergleichbar erachtet werden. Die Vergleichbarkeit innerhalb der Patientengruppen bestätigte sich nicht zuletzt im für die Patienten schlussendlich wichtigsten Aspekt - dem infektionsfreien Überleben. Hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

5 Zusammenfassung

Infektionen des Schultergelenks – unabhängig ob am nativen, voroperierten oder endoprothetisch versorgten Gelenk – betreffen gehäuft ein multimorbides, komplexes Patientenklientel.

Die Haupterreger sind Cutibakterien und KNS. Diese sollten sowohl im Rahmen einer kalkulierten Antibiotikatherapie als auch in Fällen, in denen eine scheinbar antibiogrammgerechte Therapie nur unzureichenden Erfolg zeigt, berücksichtigt werden.

Präoperativ verfügbare Diagnosemethoden wie Laborparameter oder die Gelenkpunktion bieten meist keine ausreichende Sensitivität, um eine eindeutige Diagnose stellen zu können und keine ausreichende Spezifität, um den Ausschluss einer Infektion zu ermöglichen. Auch intraoperative Diagnosemethoden wie Histologie und mikrobiologische Kulturen zeigen für sich genommen eine unzureichende Sensitivität und Spezifität. Eine höhere Validität lässt sich mit Diagnosescores erzielen. Hier zeigt sich bei Schultergelenksinfektionen der spezifische ICM-Score überlegen gegenüber IDSA- oder MSIS-Kriterien und sollte daher standardmäßig etabliert werden. Während die präoperative Punktion trotz mangelnder mikrobiologischer Sensitivität beibehalten werden sollte, sollte eine PES nicht routinemäßig durchgeführt werden und ist nur in Einzelfällen zu empfehlen.

Es zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede in den Ergebnissen diagnostischer Tests bei Sekundär- und periprothetischen Infektionen. Es scheint daher möglich, Bewertungskriterien bzw. den ICM-Score auch bei Sekundärinfektionen anzuwenden. Bei Primärinfektionen sollte zwar eine ebenso umfangreiche Diagnostik durchgeführt werden, die Anwendbarkeit von Kriterien der periprothetischen Infektion scheint jedoch fraglich. An dieser Stelle sind weitere Studien notwendig, um spezifische Diagnosekriterien für die Primärinfektionen zu etablieren bzw. vorhandenen Kriterien adäquat anzupassen und weiterzuentwickeln.

Die zweizeitige Implantation einer RSA bei Schultergelenksinfektion scheint sowohl für Primär-, Sekundär- als auch periprothetische Infektionen ein adäquates Therapieregime. Die erreichte Infektionseradikation bzw. das infektionsfreie Überleben waren in der vorliegenden Arbeit sehr gut. Die erwartbaren funktionellen Ergebnisse zeigten sich dagegen limitiert. Auffällig ist hierbei die im Vergleich zu den objektiven Daten tendenziell bessere subjektive Bewertung durch die Patienten. Es scheint essentiell, präoperativ realistische Erwartungen zu schaffen und ausführlich darüber aufzuklären, dass bei einer Infektion des Schultergelenks die Gefahr eines generalisierten Infektionsgeschehens mit Entwicklung lebensbedrohlicher Situationen besteht. Folglich bleibt es das Hauptziel der Therapie, die Infektionseradikation zu erzielen. Trotz der meist eingeschränkten Funktionalität nach RSA-Implantation stellen die zu erwartenden Ergebnisse im Vergleich zu anderen Therapieoptionen eine Verbesserung dar.

Letztlich ist das klinische Ergebnis auch von zahlreichen Begleitfaktoren abhängig, deren genauere Untersuchung weiterer Studien bedarf.

Im Kompromiss zwischen der Vermeidung dramatischer Verläufe, dem Erreichen einer Infektionseradikation und dem Erhalt bzw. der Wiederherstellung einer guten Funktionalität scheint die zweizeitige RSA-Implantation in den meisten Fällen von Schultergelenksinfektionen die geeignetste Therapieoption zu sein.

6 Literatur

1. Amadio PC (1997) Outcomes assessment in hand surgery. What's new? *Clin Plast Surg* 24(1): 191–194
2. Azar FM, Canale ST, Beaty JH et al. (2017) *Campbell's operative orthopaedics*. Elsevier, Philadelphia, PA
3. Bacle G, Nove-Josserand L, Garaud P et al. (2017) Long-Term Outcomes of Reverse Total Shoulder Arthroplasty: A Follow-up of a Previous Study. *J Bone Joint Surg Am* 99(6): 454–461
4. Barco R, Savvidou OD, Sperling JW et al. (2016) Complications in reverse shoulder arthroplasty. *EFORT Open Rev* 1(3): 72–80
5. Barrack RL, Jennings RW, Wolfe MW et al. (1997) The Coventry Award. The value of preoperative aspiration before total knee revision. *Clin Orthop Relat Res* (345): 8–16
6. Baulot E, Sirveaux F, Boileau P (2011) Grammont's idea: The story of Paul Grammont's functional surgery concept and the development of the reverse principle. *Clin Orthop Relat Res* 469(9): 2425–2431
7. Beaton D, Richards RR (1998) Assessing the reliability and responsiveness of 5 shoulder questionnaires. *J Shoulder Elbow Surg* 7(6): 565–572
8. Beaton DE, Wright JG, Katz JN (2005) Development of the QuickDASH: comparison of three item-reduction approaches. *J Bone Joint Surg Am* 87(5): 1038–1046
9. Beekman PDA, Katusic D, Berghs BM et al. (2010) One-stage revision for patients with a chronically infected reverse total shoulder replacement. *J Bone Joint Surg Br* 92(6): 817–822
10. Benninghoff A, Drenckhahn D, Waschke J et al., Hrsg. *Taschenbuch Anatomie*. Elsevier Urban & Fischer, München
11. Bercik MJ, Kruse K2, Yalozis M et al. (2016) A modification to the Walch classification of the glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis using three-dimensional imaging. *J Shoulder Elbow Surg* 25(10): 1601–1606
12. Boehm D, Wollmerstedt N, Doesch M et al. (2004) Development of a questionnaire based on the Constant-Murley-Score for self-evaluation of shoulder function by patients. *Unfallchirurg* 107(5): 397–402
13. Boelch SP, Rueckl K, Fuchs C et al. (2018) Comparison of Elution Characteristics and Compressive Strength of Biantibiotic-Loaded PMMA Bone Cement for Spacers. *Biomed Res Int* 2018: 4323518
14. Boelch SP, Weissenberger M, Spohn F et al. (2018) Insufficient sensitivity of joint aspiration during the two-stage exchange of the hip with spacers. *J Orthop Surg Res* 13(1): 7
15. Boelch SP, Roth M, Arnholdt J et al. (2018) Synovial Fluid Aspiration Should Not Be Routinely Performed during the Two-Stage Exchange of the Knee. *Biomed Res Int* 2018: 6720712
16. Böhm DJ, Müller T., Rehwald C et al. (1997) Age and sex related Constant-Murley-Score. *J Shoulder Elbow Surg* (6): 194
17. Bohsali KI, Wirth MA, Rockwood CA, JR (2006) Complications of total shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 88(10): 2279–2292
18. Boileau P, Watkinson DJ, Hatzidakis AM et al. (2005) Grammont reverse prosthesis: design, rationale, and biomechanics. *J Shoulder Elbow Surg* 14(1 Suppl S): 147S-161S
19. Boileau P, Watkinson D, Hatzidakis AM et al. (2006) Neer Award 2005. *J Shoulder Elbow Surg* 15(5): 527–540
20. Boileau P, Morin-Salvo N, Gauci M-O et al. (2017) Angled BIO-RSA (bony-increased offset-reverse shoulder arthroplasty). *J Shoulder Elbow Surg* 26(12): 2133–2142
21. Bonneville N, Dauzères F, Toulemonde J et al. (2017) Periprosthetic shoulder infection: an overview. *EFORT Open Rev* 2(4): 104–109

22. Boyd AD, JR, Thornhill TS, Barnes CL (1992) Fractures adjacent to humeral prostheses. *J Bone Joint Surg Am* 74(10): 1498–1504
23. Boyle KK, Nodzo SR, Wright TE et al. (2019) Hemolysis Is a Diagnostic Adjuvant for Propionibacterium acnes Orthopaedic Shoulder Infections. *J Am Acad Orthop Surg* 27(4): 136–144
24. Braman JP, Sprague M, Bishop J et al. (2006) The outcome of resection shoulder arthroplasty for recalcitrant shoulder infections. *J Shoulder Elbow Surg* 15(5): 549–553
25. Brinker MR, Cuomo JS, Popham GJ et al. (2002) An examination of bias in shoulder scoring instruments among healthy collegiate and recreational athletes. *J Shoulder Elbow Surg* 11(5): 463–469
26. Brunner U, Ruckl K, Fruth M (2013) Cuff tear arthropathy - long-term results of reverse total shoulder arthroplasty. *Orthopade* 42(7): 522–530
27. Buchalter DB, Mahure SA, Mollon B et al. (2016) Two-stage revision for infected shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*
28. Casser, H.-R., Paus, R. (1996) Problematik der Schulter scores. In: Eulert J, Hedtmann A (Hrsg.) *Das Impingement-Syndrom der Schulter*. Thieme, Stuttgart u. a., S. 90–96
29. Cho C-H, Jung J-W, Na S-S et al. (2019) Is Acromial Fracture after Reverse Total Shoulder Arthroplasty a Negligible Complication? *Clin Orthop Surg* 11(4): 427–435
30. Cho W-S, Byun S-E, Cho W-J et al. (2013) Polymorphonuclear cell count on frozen section is not an absolute index of reimplantation in infected total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 28(10): 1874–1877
31. Coffey MJ, Ely EE, Crosby LA (2010) Treatment of glenohumeral sepsis with a commercially produced antibiotic-impregnated cement spacer. *J Shoulder Elbow Surg* 19(6): 868–873
32. Conboy VB, Morris RW, Kiss J et al. (1996) An evaluation of the Constant-Murley shoulder assessment. *J Bone Joint Surg Br* 78(2): 229–232
33. Constant CR, Murley AH (1987) A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res* (214): 160–164
34. Constant CR (1991) Assessment of shoulder function. *Orthopade* 20(5): 289–294
35. Coste JS, Reig S, Trojani C et al. (2004) The management of infection in arthroplasty of the shoulder. *J Bone Joint Surg Br* 86(1): 65–69
36. Ding DY, Mahure SA, Akuoko JA et al. (2015) Total shoulder arthroplasty using a subscapularis-sparing approach. *J Shoulder Elbow Surg* 24(6): 831–837
37. Dinneen A, Guyot A, Clements J et al. (2013) Synovial fluid white cell and differential count in the diagnosis or exclusion of prosthetic joint infection. *Bone Joint J* 95-B(4): 554–557
38. Dowsey MM, Choong PFM (2009) Obese diabetic patients are at substantial risk for deep infection after primary TKA. *Clin Orthop Relat Res* 467(6): 1577–1581
39. Erickson BJ, Frank RM, Harris JD et al. The influence of humeral head inclination in reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 6
40. Eulert J, Hedtmann A, Hrsg. *Das Impingement-Syndrom der Schulter*. Thieme, Stuttgart u. a.
41. Familiari F, Huri G, McFarland EG (2014) Supraspinatus tears after total shoulder arthroplasty. *Seminars in Arthroplasty* 25(1): 64–70
42. Familiari F, Rojas J, Nedim Doral M et al. (2018) Reverse total shoulder arthroplasty. *EFORT Open Rev* 3(2): 58–69
43. Favard L, Levigne C, Nerot C et al. (2011) Reverse prostheses in arthropathies with cuff tear. *Clin Orthop Relat Res* 469(9): 2469–2475
44. Favard L, Berhouet J, Walch G et al. (2017) Superior glenoid inclination and glenoid bone loss. *Orthopade* 46(12): 1015–1021
45. Flieg NG, Gatti CJ, Doro LC et al. (2008) A stochastic analysis of glenoid inclination angle and superior migration of the humeral head. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 23(5): 554–561
46. Fram B, Elder A, Namdari S (2019) Periprosthetic Humeral Fractures in Shoulder Arthroplasty. *JBJS Rev* 7(11): e6

47. Frangiamore SJ, Saleh A, Grosso MJ et al. (2015) alpha-Defensin as a predictor of periprosthetic shoulder infection. *J Shoulder Elbow Surg* 24(7): 1021–1027
48. Frangiamore SJ, Saleh A, Grosso MJ et al. (2015) Early Versus Late Culture Growth of *Propionibacterium acnes* in Revision Shoulder Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 97(14): 1149–1158
49. Franklin JL, Barrett WP, Jackins SE et al. (1988) Glenoid loosening in total shoulder arthroplasty. Association with rotator cuff deficiency. *J Arthroplasty* 3(1): 39–46
50. Gazielly DF, Scarlat MM, Verborgt O (2015) Long-term survival of the glenoid components in total shoulder replacement for arthritis. *Int Orthop* 39(2): 285–289
51. George DA, Volpin A, Scarponi S et al. (2016 Feb 1) Does exchange arthroplasty of an infected shoulder prosthesis provide better eradication rate and better functional outcome, compared to a permanent spacer or resection arthroplasty? a systematic review, England
52. Germann G, Wind G, Harth A (1999) The DASH(Disability of Arm-Shoulder-Hand) Questionnaire--a new instrument for evaluating upper extremity treatment outcome. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 31(3): 149–152
53. Germann G, Harth A, Wind G et al. (2003) Standardisation and validation of the German version 2.0 of the Disability of Arm, Shoulder, Hand (DASH) questionnaire. *Unfallchirurg* 106(1): 13–19
54. Gill TJ, Hawkins RJ (2005) *Complications of Shoulder Surgery*. Wolters Kluwer Health, Philadelphia
55. Gohlke F, Rolf O (2007) Revision of failed fracture hemiarthroplasties to reverse total shoulder prosthesis through the transhumeral approach. *Oper Orthop Traumatol* 19(2): 185–208
56. Gohlke F (2009) Defektarthropathie – sekundäre Omarthrose. *Orthopädie und Unfallchirurgie update* 4(02): 121–136
57. Gohlke F, Werner B, Wiese I (2019) Glenoid reconstruction in revision shoulder arthroplasty. *Oper Orthop Traumatol* 31(2): 98–114
58. Gonzalez J-F, Alami GB, Baque F et al. (2011) Complications of unconstrained shoulder prostheses. *J Shoulder Elbow Surg* 20(4): 666–682
59. Gramlich Y, Klug A, Walter G et al. (2019) Septic Arthritis of Native Shoulder and Knee Joint. *Surg Infect (Larchmt)*
60. Grant E, Garrigues, Carlos Torrens, Jaap Willems, Elshaday S. Belay, Leila Ledbetter (2018) What are the indications for one- versus two-stage exchange arthroplasty in the management of acute shoulder periprosthetic joint infection (PJI)? ICM Philadelphia Shoulder Q&A
61. Grosso MJ, Frangiamore SJ, Ricchetti ET et al. (2014) Sensitivity of frozen section histology for identifying *Propionibacterium acnes* infections in revision shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 96(6): 442–447
62. Grosso MJ, Frangiamore SJ, Yakubek G et al. (2018) Performance of implant sonication culture for the diagnosis of periprosthetic shoulder infection. *J Shoulder Elbow Surg* 27(2): 211–216
63. Grubhofer F, Imam MA, Wieser K et al. (2018) Staged Revision With Antibiotic Spacers for Shoulder Prosthetic Joint Infections Yields High Infection Control. *Clin Orthop Relat Res* 476(1): 146–152
64. Gundtoft PH, Pedersen AB, Varnum C et al. (2017) Increased Mortality After Prosthetic Joint Infection in Primary THA. *Clin Orthop Relat Res* 475(11): 2623–2631
65. Gupta MN, Sturrock RD, Field M (2003) Prospective comparative study of patients with culture proven and high suspicion of adult onset septic arthritis. *Ann Rheum Dis* 62(4): 327–331
66. Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P (2011) *Schulterchirurgie*, 4. Aufl. Urban Fischer Verlag - Fachbücher, s.l.
67. Habermeyer P, Lichtenberg S, Loew M et al., Hrsg. *Schulterchirurgie*, 5. Aufl. Elsevier, Deutschland

68. Hamada K, Yamanaka K, Uchiyama Y et al. (2011) A radiographic classification of massive rotator cuff tear arthritis. *Clin Orthop Relat Res* 469(9): 2452–2460
69. Hangama Fayaz, Carlos A. Higuera, Igor Shubnyakov (2018) What is the importance of two-week antibiotic holiday prior to reimplantation? International Consensus Meeting on Periprosthetic Joint Infection - Hip and Knee - Q&A: S. 383-385
70. Harrasser N, Lenze U, Pohlig F (2012) Die periprosthetische Gelenkinfektion: Diagnostik und Therapie. *OUP - Zeitschrift für die orthopädische und unfallchirurgische Praxis* 1(1)
71. Harrasser N, Eisenhart-Rothe R, Biberthaler P (2016) *Facharztwissen Orthopädie Unfallchirurgie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
72. Hatta T, Werthel J-D, Wagner ER et al. (2016) Effect of smoking on complications following primary shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*
73. Hill JM, Norris TR (2001) Long-term results of total shoulder arthroplasty following bone-grafting of the glenoid. *J Bone Joint Surg Am* 83(6): 877–883
74. Hoell S, Moeller A, Gosheger G et al. (2016) Two-stage revision arthroplasty for periprosthetic joint infections. *Arch Orthop Trauma Surg* 136(4): 447–452
75. Holmberg A, Lood R, Morgelin M et al. (2009) Biofilm formation by *Propionibacterium acnes* is a characteristic of invasive isolates. *Clin Microbiol Infect* 15(8): 787–795
76. Hsu JE, Gorbaty JD, Whitney IJ et al. (2016) Single-Stage Revision Is Effective for Failed Shoulder Arthroplasty with Positive Cultures for *Propionibacterium*. *J Bone Joint Surg Am* 98(24): 2047–2051
77. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C (1996) Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) corrected. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med* 29(6): 602–608
78. Hudek R, Sommer F, Kerwat M et al. (2014) *Propionibacterium acnes* in shoulder surgery. *J Shoulder Elbow Surg* 23(12): 1763–1771
79. Hughes RE, Bryant CR, Hall JM et al. (2003) Glenoid inclination is associated with full-thickness rotator cuff tears. *Clin Orthop Relat Res* (407): 86–91
80. Huskisson EC (1974) Measurement of pain. *Lancet* 2(7889): 1127–1131
81. ICM Philly, Hrsg. *Shoulder Q&A*, Philadelphia
82. Inacio MCS, Pratt NL, Roughead EE et al. (2015) Predicting Infections After Total Joint Arthroplasty Using a Prescription Based Comorbidity Measure. *J Arthroplasty* 30(10): 1692–1698
83. Ince A, Seemann K, Frommelt L et al. (2004) One-stage revision of shoulder arthroplasty in the case of periprosthetic infection. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 142(5): 611–617
84. Ince A, Seemann K, Frommelt L et al. (2005) One-stage exchange shoulder arthroplasty for peri-prosthetic infection. *J Bone Joint Surg Br* 87(6): 814–818
85. Jacquot A, Sirveaux F, Roche O et al. (2015) Surgical management of the infected reversed shoulder arthroplasty: a French multicenter study of reoperation in 32 patients. *J Shoulder Elbow Surg* 24(11): 1713–1722
86. Jawa A, Shi L, O'Brien T et al. (2011) Prosthesis of antibiotic-loaded acrylic cement (PROSTALAC) use for the treatment of infection after shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 93(21): 2001–2009
87. Jensen K-U (2004) *Die Arthroskopie der Schulter: Diagnostik und Operationsverfahren*. Arthroskopie aktuell (17)
88. King JJ, Dalton SS, Gulotta LV et al. (2019 Jun) How common are acromial and scapular spine fractures after reverse shoulder arthroplasty?, England
89. Klatte TO, Junghans K, Al-Khateeb H et al. (2013) Single-stage revision for peri-prosthetic shoulder infection: outcomes and results. *Bone Joint J* 95-B(3): 391–395
90. Knabl L, Kuppelwieser B, Mayr A et al. (2019) High percentage of microbial colonization of osteosynthesis material in clinically unremarkable patients. *Microbiologyopen* 8(3): e00658
91. Kolbel R, Rohlmann A, Bergmann G et al. (1977) Shoulder joint replacement-using the Kolbel-Friedebold method. *Aktuelle Probl Chir Orthop* 1: 50–63
92. Krenn V, Morawietz L, Perino G et al. (2014) Revised histopathological consensus classification of joint implant related pathology. *Pathol Res Pract* 210(12): 779–786

93. Kumar S, Sperling JW, Haidukewych GH et al. (2004) Periprosthetic humeral fractures after shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 86(4): 680–689
94. Kusuma SK, Ward J, Jacofsky M et al. (2011) What is the role of serological testing between stages of two-stage reconstruction of the infected prosthetic knee? *Clin Orthop Relat Res* 469(4): 1002–1008
95. Ladermann A, Lubbeke A, Melis B et al. (2011) Prevalence of neurologic lesions after total shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 93(14): 1288–1293
96. Lafosse L, Schnaser E, Haag M et al. (2009) Primary total shoulder arthroplasty performed entirely thru the rotator interval. *J Shoulder Elbow Surg* 18(6): 864–873
97. Lee MJ, Pottinger PS, Butler-Wu S et al. (2014) Propionibacterium persists in the skin despite standard surgical preparation. *J Bone Joint Surg Am* 96(17): 1447–1450
98. Levigne C, Boileau P, Favard L et al. (2008) Scapular notching in reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 17(6): 925–935
99. Levy JC, Virani N, Pupello D et al. (2007) Use of the reverse shoulder prosthesis for the treatment of failed hemiarthroplasty in patients with glenohumeral arthritis and rotator cuff deficiency. *J Bone Joint Surg Br* 89(2): 189–195
100. Levy JC, Triplet J, Everding N (2015) Use of a Functional Antibiotic Spacer in Treating Infected Shoulder Arthroplasty. *Orthopedics* 38(6): e512-9
101. Levy O, Iyer S, Atoun E et al. (2013) Propionibacterium acnes. *J Shoulder Elbow Surg* 22(4): 505–511
102. Lima ALL, Oliveira PR, Carvalho VC et al. (2013) Periprosthetic joint infections. *Interdiscip Perspect Infect Dis* 2013: 542796
103. Loew M (2010) *AE-Manual der Endoprothetik*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
104. Mahure SA, Mollon B, Yu S et al. (2016) Definitive Treatment of Infected Shoulder Arthroplasty With a Cement Spacer. *Orthopedics* 39(5): e924-30
105. Marcheggiani Muccioli GM, Huri G, Grassi A et al. (2017) Surgical treatment of infected shoulder arthroplasty. A systematic review. *Int Orthop* 41(4): 823–830
106. Mathews CJ, Weston VC, Jones A et al. (2010) Bacterial septic arthritis in adults. *Lancet* 375(9717): 846–855
107. MDS Medical Device Solutions AG (2007) IsoBex. <http://www.isoforcecontrol.ch/de/produkt8.asp>. Zugriff am 4.7.2019
108. Millett PJ, Yen Y-M, Price CS et al. (2011) Propionibacterium acnes infection as an occult cause of postoperative shoulder pain. *Clin Orthop Relat Res* 469(10): 2824–2830
109. Mook WR, Garrigues GE (2014) Diagnosis and Management of Periprosthetic Shoulder Infections. *J Bone Joint Surg Am* 96(11): 956–965
110. Mook WR, Klement MR, Green CL et al. (2015) The Incidence of Propionibacterium acnes in Open Shoulder Surgery. *J Bone Joint Surg Am* 97(12): 957–963
111. Moore D, Forsthoefel C, Macknet D (01.10.2019) Shoulder Periprosthetic Fracture. <https://www.orthobullets.com/shoulder-and-elbow/422742/shoulder-periprosthetic-fracture>. Zugriff am 17.3.2020
112. Morawietz L, Gehrke T, Classen R-A et al. (2004) Proposal for the classification of the periprosthetic membrane from loosened hip and knee endoprostheses. *Pathologe* 25(5): 375–384
113. Morawietz L, Tiddens O, Mueller M et al. (2009) Twenty-three neutrophil granulocytes in 10 high-power fields is the best histopathological threshold to differentiate between aseptic and septic endoprosthesis loosening. *Histopathology* 54(7): 847–853
114. Morrey BF, An K-N, Sperling JW (2010) *Joint Replacement Arthroplasty*, 4. Aufl. Wolters Kluwer Health, Philadelphia
115. Muhlhofer HML, Feihl S, Banke IJ et al. (2020) Native joint infections. *Orthopade* 49(2): 191–200
116. Muthukrishnan G, Masters EA, Daiss JL et al. (2019) Mechanisms of Immune Evasion and Bone Tissue Colonization That Make Staphylococcus aureus the Primary Pathogen in Osteomyelitis. *Curr Osteoporos Rep* 17(6): 395–404

117. Namba RS, Inacio MCS, Paxton EW (2013) Risk factors associated with deep surgical site infections after primary total knee arthroplasty: an analysis of 56,216 knees. *J Bone Joint Surg Am* 95(9): 775–782
118. Nast-Kolb D, Schweiberer L (1994) Treatment concept in infected bone and soft-tissue defects. *Orthopade* 23(6): 430–436
119. Neer CS (2011) The classic: Articular replacement for the humeral head. 1955. *Clin Orthop Relat Res* 469(9): 2409–2421
120. Neer CS2 (1974) Replacement arthroplasty for glenohumeral osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am* 56(1): 1–13
121. Nelson GN, Davis DE, Namdari S (2016) Outcomes in the treatment of periprosthetic joint infection after shoulder arthroplasty: a systematic review. *J Shoulder Elbow Surg* 25(8): 1337–1345
122. Neyton L, Walch G, Nove-Josserand L et al. (2006) Glenoid corticocancellous bone grafting after glenoid component removal in the treatment of glenoid loosening. *J Shoulder Elbow Surg* 15(2): 173–179
123. Neyton L, Boileau P, Nove-Josserand L et al. (2007) Glenoid bone grafting with a reverse design prosthesis. *J Shoulder Elbow Surg* 16(3 Suppl): S71-8
124. Neyton L, Erickson J, Ascione F et al. (2019) Grammont Award 2018. *J Shoulder Elbow Surg* 28(2): 260–267
125. Nodzo SR, Boyle KK, Bhimani S et al. (2017) Propionibacterium acnes Host Inflammatory Response During Periprosthetic Infection Is Joint Specific. *HSS J* 13(2): 159–164
126. Nyffeler RW, Werner CML, Gerber C (2005) Biomechanical relevance of glenoid component positioning in the reverse Delta III total shoulder prosthesis. *J Shoulder Elbow Surg* 14(5): 524–528
127. Ochs BG, Stöckle U, Candrian C (2013) Fractures around shoulder and elbow arthroplasty—rare but difficult. *European Orthopaedics and Traumatology* 4(2): 111–116
128. Osmon DR, Berbari EF, Berendt AR et al. (2013) Diagnosis and management of prosthetic joint infection. *Clin Infect Dis* 56(1): e1-e25
129. Otto-Lambertz C, Yagdiran A, Wallscheid F et al. (2017) Periprosthetic Infection in Joint Replacement. *Dtsch Arztebl Int* 114(20): 347–353
130. Otto RJ, Virani NA, Levy JC et al. (2013) Scapular fractures after reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 22(11): 1514–1521
131. Pagnani MJ, Warren RF (1994) Stabilizers of the glenohumeral joint. *J Shoulder Elbow Surg* 3(3): 173–190
132. Palan J, Nolan C, Sarantos K et al. (2019) Culture-negative periprosthetic joint infections. *EFORT Open Rev* 4(10): 585–594
133. Parvizi J, Zmistowski B, Berbari EF et al. (2011) New definition for periprosthetic joint infection. *Clin Orthop Relat Res* 469(11): 2992–2994
134. Parvizi J, Gehrke T, Chen AF (2013) Proceedings of the International Consensus on Periprosthetic Joint Infection. *Bone Joint J* 95-B(11): 1450–1452
135. Patel A, Calfee RP, Plante M et al. (2009) Propionibacterium acnes colonization of the human shoulder. *J Shoulder Elbow Surg* 18(6): 897–902
136. Patrick M, Vincent HK, Farmer KW et al. (2019) Management of infected shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 28(9): 1658–1665
137. Patterson DC, Chi D, Parsons BO et al. (2019 Apr) Acromial spine fracture after reverse total shoulder arthroplasty, United States
138. Patzer T (2018) Reversed total shoulder arthroplasty in rotator cuff defect arthropathy. *Orthopade* 47(5): 390–397
139. Paxton ES, Green A, van Krueger S (2019) Periprosthetic Infections of the Shoulder. *J Am Acad Orthop Surg*
140. Peel TN, Dowsey MM, Daffy JR et al. (2011) Risk factors for prosthetic hip and knee infections according to arthroplasty site. *J Hosp Infect* 79(2): 129–133

141. Peel TN, Dylla BL, Hughes JG et al. (2016) Improved Diagnosis of Prosthetic Joint Infection by Culturing Periprosthetic Tissue Specimens in Blood Culture Bottles. *mBio* 7(1): e01776-15
142. Petzer T (2013) Das Lima-SMR-Schulter-Endoprothesen-System. *OUP - Zeitschrift für die orthopädische und unfallchirurgische Praxis* 2(2)
143. Pinder EM, Ong JC, Bale RS et al. (2016) Ten questions on prosthetic shoulder infection. *Shoulder Elbow* 8(3): 151–157
144. Pottinger P, Butler-Wu S, Neradilek MB et al. (2012) Prognostic factors for bacterial cultures positive for *Propionibacterium acnes* and other organisms in a large series of revision shoulder arthroplasties performed for stiffness, pain, or loosening. *J Bone Joint Surg Am* 94(22): 2075–2083
145. Pulido L, Ghanem E, Joshi A et al. (2008) Periprosthetic joint infection: the incidence, timing, and predisposing factors. *Clin Orthop Relat Res* 466(7): 1710–1715
146. Renz, N., Trampuz, A. Pocket Guide zur Diagnostik und Behandlung von Implantat-assoziierten Infektionen nach Frakturversorgung, 3. Aufl. PRO-IMPLANT Foundation
147. Renz N, Feihl S, Dlaska CE et al. (2017) Osteosynthesis-associated infections. *Unfallchirurg* 120(6): 454–460
148. Richards J, Inacio MCS, Beckett M et al. (2014) Patient and procedure-specific risk factors for deep infection after primary shoulder arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 472(9): 2809–2815
149. Rispoli DM, Sperling JW, Athwal GS et al. (2007) Pain relief and functional results after resection arthroplasty of the shoulder. *J Bone Joint Surg Br* 89(9): 1184–1187
150. Roche C, Flurin P-H, Wright T et al. (2009) An evaluation of the relationships between reverse shoulder design parameters and range of motion, impingement, and stability. *J Shoulder Elbow Surg* 18(5): 734–741
151. Roerdink RL, Huijbregts HJTAM, van Lieshout AWT et al. (2019) The difference between native septic arthritis and prosthetic joint infections. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 27(2): 2309499019860468
152. Rouleau DM, Gaudelli C (2013) Successful treatment of fractures of the base of the acromion after reverse shoulder arthroplasty. *Int J Shoulder Surg* 7(4): 149–152
153. Ruchholtz S, Wirtz DC (2019) Orthopädie und Unfallchirurgie essentials. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
154. Sabesan VJ, Ho JC, Kovacevic D et al. (2011) Two-stage reimplantation for treating prosthetic shoulder infections. *Clin Orthop Relat Res* 469(9): 2538–2543
155. Sabo D, Mau H, Clarius M et al., Hrsg. *Klinikleitfaden Orthopädie Unfallchirurgie*, 8. Aufl. Elsevier, München
156. Salt E, Wiggins AT, Rayens MK et al. (2017) Moderating effects of immunosuppressive medications and risk factors for post-operative joint infection following total joint arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis or osteoarthritis. *Semin Arthritis Rheum* 46(4): 423–429
157. Savoie FH3, O'Brien MJ (2015) The Subscapularis-Sparing Approach in Humeral Head Replacement. *Bull Hosp Jt Dis* (2013) 73 Suppl 1: S148-53
158. Schwyzer HK, Simmen BR, Gschwend N (1995) Infection following shoulder and elbow arthroplasty. Diagnosis and therapy. *Orthopade* 24(4): 367–375
159. Sherfey MC, Edwards TB (2009) Cement extrusion causing radial nerve palsy after shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 18(3): e21-4
160. Simovitch R, Flurin P-H, Wright TW et al. (2019) Impact of scapular notching on reverse total shoulder arthroplasty midterm outcomes. *J Shoulder Elbow Surg* 28(12): 2301–2307
161. Simovitch RW, Zumstein MA, Lohri E et al. (2007) Predictors of scapular notching in patients managed with the Delta III reverse total shoulder replacement. *J Bone Joint Surg Am* 89(3): 588–600
162. Singhal K, Rammohan R (2018) Going forward with reverse shoulder arthroplasty. *J Clin Orthop Trauma* 9(1): 87–93

163. Sirveaux F, Favard L, Oudet D et al. (2004) Grammont inverted total shoulder arthroplasty in the treatment of glenohumeral osteoarthritis with massive rupture of the cuff. *J Bone Joint Surg (Br)* 86(3): 388–395
164. Skutek M, Fremerey RW, Zeichen J et al. (2000) Outcome analysis following open rotator cuff repair. Early effectiveness validated using four different shoulder assessment scales. *Arch Orthop Trauma Surg* 120(7-8): 432–436
165. Sperling JW, Kozak TK, Hanssen AD et al. (2001) Infection after shoulder arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* (382): 206–216
166. Strickland JP, Sperling JW, Cofield RH (2008) The results of two-stage re-implantation for infected shoulder replacement. *J Bone Joint Surg Br* 90(4): 460–465
167. Striebel HW (2017) *Anästhesie - Intensivmedizin - Notfallmedizin*, 9. Aufl. Schattauer Verlag, s.l.
168. Stroud N, DiPaola MJ, Flurin P-H et al. (2013) Reverse shoulder glenoid loosening. *Bull Hosp Jt Dis* (2013) 71 Suppl 2: S12-7
169. Sultan AA, Mahmood B, Samuel LT et al. (2019) Patients with a History of Treated Septic Arthritis are at High Risk of Periprosthetic Joint Infection after Total Joint Arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 477(7): 1605–1612
170. Topolski MS, Chin PYK, Sperling JW et al. (2006) Revision shoulder arthroplasty with positive intraoperative cultures: the value of preoperative studies and intraoperative histology. *J Shoulder Elbow Surg* 15(4): 402–406
171. Torrens C, Santana F, Puig L et al. (2018) Results of cement spacer sonication in the second stage of two-stage treatment of shoulder arthroplasty infection. *J Orthop Surg Res* 13(1): 58
172. Trampuz A, Piper KE, Jacobson MJ et al. (2007) Sonication of removed hip and knee prostheses for diagnosis of infection. *N Engl J Med* 357(7): 654–663
173. Tsukayama DT, Estrada R, Gustilo RB (1996) Infection after total hip arthroplasty. A study of the treatment of one hundred and six infections. *J Bone Joint Surg Am* 78(4): 512–523
174. van de Laar A (2016) *Schnitt! Droemer Taschenbuch*, München
175. Verhelst L, Stuyck J, Bellemans J et al. (2011) Resection arthroplasty of the shoulder as a salvage procedure for deep shoulder infection: does the use of a cement spacer improve outcome? *J Shoulder Elbow Surg* 20(8): 1224–1233
176. Walch G, Badet R, Boulahia A et al. (1999) Morphologic study of the glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis. *J Arthroplasty* 14(6): 756–760
177. Walch G, Boileau P (1999) Prosthetic adaptability: a new concept for shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 8(5): 443–451
178. Wall B, Walch G (2007) Reverse shoulder arthroplasty for the treatment of proximal humeral fractures. *Hand Clin* 23(4): 425-30, v-vi
179. Wall B, Nove-Josserand L, O'Connor DP et al. (2007) Reverse total shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 89(7): 1476–1485
180. Westphal T (2007) Reliability and responsiveness of the German version of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand questionnaire (DASH). *Unfallchirurg* 110(6): 548–552
181. Wong AS, Gallo L, Kuhn JE et al. (2003) The effect of glenoid inclination on superior humeral head migration. *J Shoulder Elbow Surg* 12(4): 360–364
182. Wong JC, Schoch BS, Lee BK et al. (2018) Culture positivity in primary total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 27(8): 1422–1428
183. Worland RL, Kim DY, Arredondo J (1999) Periprosthetic humeral fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 8(6): 590–594
184. Wretenberg PF, Wallensten R (1999) The Kessel total shoulder arthroplasty. A 13- to 16-year retrospective followup. *Clin Orthop Relat Res* (365): 100–103
185. WRIGHT N.V. Tornier(TM) - Aequalis Reversed II Shoulder System
186. Wright TW, Cofield RH (1995) Humeral fractures after shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 77(9): 1340–1346

187. Young A, Walch G, Boileau P et al. (2011) A multicentre study of the long-term results of using a flat-back polyethylene glenoid component in shoulder replacement for primary osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Br* 93(2): 210–216
188. Zavala JA, Clark JC, Kissenberth MJ et al. (2012) Management of deep infection after reverse total shoulder arthroplasty: a case series. *J Shoulder Elbow Surg* 21(10): 1310–1315
189. Zhang AL, Feeley BT, Schwartz BS et al. (2015) Management of deep postoperative shoulder infections. *J Shoulder Elbow Surg* 24(1): e15-20
190. Zmistowski B, Karam JA, Durinka JB et al. (2013) Periprosthetic joint infection increases the risk of one-year mortality. *J Bone Joint Surg Am* 95(24): 2177–2184

7 Appendix

I Abkürzungen

a.-p.	<i>anteroposterior</i>
AAOS	<i>American Academy of Orthopedic Surgeons</i>
ACG/ AC-Gelenk	<i>Acromioclaviculargelenk</i>
AIGHL	<i>Anteriores Inferiores Glenohumerales Ligament</i>
Art.	<i>Articulatio, Gelenk</i>
ASA	<i>American Association of Anesthesiologists</i>
BMI	<i>Body-Mass-Index</i>
BSG	<i>Blutsenkungsgeschwindigkeit</i>
C. granulosum	<i>Cutibakterium granulosum</i>
CRP	<i>C-reaktives Protein</i>
CT	<i>Computertomographie</i>
DASH	<i>Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand-Fragebogen</i>
DVSE	<i>Deutsche Vereinigung für Schulter- und Ellbogenchirurgie</i>
EMG	<i>Elektromyogramm</i>
h	<i>Stunde/n</i>
HGF	<i>Hauptgesichtsfeld</i>
ICM	<i>International Consensus Meeting on Prosthetic Joint Infection. Philadelphia 2018</i>
IDSA	<i>Infectious Diseases Society of America</i>
IGHL	<i>Inferiores Glenohumerales Ligament</i>
ISP	<i>M. infraspinatus</i>
kg	<i>Kilogramm</i>
KLH	<i>Orthopädische Klinik König-Luwig-Haus, Würzburg</i>
KNS	<i>Koagulasenegative Staphylokokken</i>
M., Mm.	<i>Musculus, Musculi</i>
max.	<i>maximal</i>
MGHL	<i>Mediales Glenohumerales Ligament</i>
min	<i>Minuten</i>
MRT	<i>Magnetresonanztomographie</i>
MSIS	<i>Musculoskeletal Infection Society</i>
n	<i>Anzahl</i>
N.	<i>Nervus</i>
NNM	<i>Neutral-Null-Methode</i>

o. g.	<i>oben genannt/e/n</i>
ORIF	<i>Open Reduction and Internal Fixation</i>
PE	<i>Polyethylen</i>
PES	<i>Punktion bei einliegendem Spacer</i>
PET	<i>Positronenemissionstomographie</i>
PIGHL	<i>Posteriores Inferiores Glenohumerales Ligament</i>
PMMA	<i>Polymeres Methyl-Methacrylat</i>
quickDASH	<i>Kurzform des DASH; siehe auch dort</i>
RA	<i>rheumatoide Arthritis</i>
RM	<i>Rotatorenmanschette</i>
RSA	<i>Reverse Shoulder Arthroplasty, reverse Schulterendoprothese</i>
<i>S. warneri</i>	<i>Staphylococcus warneri</i>
SD	<i>Standardabweichung</i>
SECEC	<i>European Society for Surgery of the Shoulder and the Elbow</i>
SGHL	<i>Superiores Glenohumerales Ligament</i>
SSC	<i>M. subscapularis</i>
SSP	<i>M. supraspinatus</i>
TMI	<i>M. teres minor</i>
UK	<i>United Kingdom, Großbritannien</i>
V.	<i>Vena</i>
v.a.	<i>vor allem</i>
VAS	<i>visuelle Analogskala</i>

II Abbildungen

Abbildung 1: Röntgen rechte Schulter a.-p. Es zeigt sich das Bild einer Defektarthropathie mit Humeruskopfhochstand, Deformierung des Humeruskopfes und Acetabularisierung des Acromions. Copyright: Orthopädische Klinik König-Ludwig-Haus.	4
Abbildung 2: Einteilung der Defektarthropathie nach Hamada. I° Akromiohumerales Intervall (AHI) ≥ 6 mm, II° AHI ≤ 5 mm, III° zusätzlich Acetabularisierung, IV°a Glenohumeralarthrose ohne Acetabularisierung, IV°b Glenohumeralarthrose und Acetabularisierung, V° Kollaps des Humeruskopfes.	4
Abbildung 3: Mechanismus des Rocking-Horse Phänomens. Lockerung der Glenoidkomponente über exzentrische Krafteinwirkung und vermehrte Translationsbewegungen in der Frontalebene. Abbildung modifiziert nach Familiari, Rojas et al. S. 63 [41]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.	7
Abbildung 4: Klassifikation der Glenoidtypen modifiziert nach Walch. A: Zentrierter Humeruskopf mit zentraler Erosion. Die Verbindungslinie von anteriorer zu posterior Glenoidkante schneidet (nicht) den Humeruskopf (A1 bzw. A2). B: Posteriore Subluxation des Kopfes mit Verengung des posterioren Gelenkspalts und Osteophyten (B1) bzw. bikonkaver Form mit starker Retroversion (B2) bzw. monokonkav mit $> 15^\circ$ Retroversion und $> 70^\circ$ posteriorer Subluxation des Kopfes (B3). C: Retroversion $\geq 25^\circ$ im Rahmen einer Dysplasie. D: Anteriore Erosion bzw. (Sub-)Luxation des Kopfes nach anterior. Abbildung aus Bercik et al. S. 2 [11]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.	8
Abbildung 5: Mechanismus der Glenoidlockerung durch den Rocking-Horse-Effekt in der Horizontalebene bei dezentraler Positionierung des Humeruskopfes. Abbildung aus Familiari et al. [176]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.	8
Abbildung 6: Delta-III Prothese (Medinov®, Roanne, Frankreich). Abbildung aus Boileau et al. [18]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.	12
Abbildung 7: Drei-Säulen-Modell der Glenoidverankerung nach Gohlke. Zentraler, in press-fit-Technik eingebrachter, Zapfen und winkelstabile Schrauben. Glenoidrekonstruktion mit Ersatzknochen. Abbildung aus Gohlke, Werner et al. S. 1 [57]. Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature.	18
Abbildung 8: Einteilung periprothetischer Humerusfrakturen nach Worland [183]. A: Fraktur der Tubercula, B1: Spiralfaktur mit stabilem Prothesenschaft, B2: quer- oder kurze Schrägfraktur mit stabilem Prothesenschaft, B3: Fraktur mit instabilem Prothesenschaft, C: Fraktur distal der Schaftspitze. Abbildung modifiziert nach Ochs et al. S. 113 [127]. Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature.	20
Abbildung 9: Flussdiagramm zu Behandlungs- und Studienablauf. Abgebildet sind Operationsschritte, durchgeführte Diagnostik, Aspekte der Nachuntersuchung und Ursachen für den Ausschluss von Patienten aus der Studie. Die für die einzelnen Aspekte eingeschlossenen Fallzahlen n stehen in Klammern.	51
Abbildung 10: Klassifikation der RLL nach Position im Röntgenbild. Einteilung in 7 humeralseitige Zonen. Aus: Boileau, Watkinson et. al. S. 530 [19]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.	66
Abbildung 11: Schweregrade des Skapulären Notchings. Aus: Sirveau, Favard et al, S. 391 [163]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier.	67
Abbildung 12: Prozentuale Zusammensetzung des Patientenkollektivs in Bezug auf die erfolgte Indexoperation. RM = Rotatorenmanschette.	75

Abbildung 13: Zeitspanne zwischen Indexoperation und Spacerimplantation im Patientenkollektiv.	76
Abbildung 14: Prozentuale Verteilung der Gewichtsklassen gemäß Body-Mass-Index im Patientenkollektiv.	77
Abbildung 15: Prozentuale Verteilung der vorliegenden ASA-Klassifikation im Patientenkollektiv.	78
Abbildung 16: Prozentuale Verteilung der Anzahl an Voroperationen (inklusive Indexoperation) vor Spacerimplantation im Patientenkollektiv.	80
Abbildung 17: Zeitspanne zwischen erster Spacerimplantation und RSA-Implantation in Wochen. Bei 5 Patienten betrug die Zeitspanne > 20 Wochen. Gründe hierfür waren neurologische Auffälligkeiten und Pneumonie (Patient 1), zwischenzeitliche Implantation eines Herzschrittmachers (Patient 2), temporäre Läsion des N. axillaris (Patient 3), Humerusfraktur bei einliegendem Spacer mit konsekutivem Spacerwechsel und Osteosynthese (Patient 4), dermatologische Abklärung multipler unklarer Allergien (Patient 5). Details hierzu siehe Fließtext.	81
Abbildung 18: Entzündungsparameter in Abhängigkeit der nachgewiesenen Keime. Nicht eingezeichnet sind ein „Ausreißer“ mit CRP 30,4 mg/ dl unter „sonstige Keime“ bzw. „andere/ Mischinfektion“	84
Abbildung 19: Leukozytenzahl in der Synoviaanalyse des präoperativen Punktats in Abhängigkeit der nachgewiesenen Keime.	86
Abbildung 20: Mikrobiologische Ergebnisse von 41 Patienten mit Schultergelenksinfektion. KNS = Koagulase negative Staphylokokken.	87
Abbildung 21: Prozentuale Verteilung der jeweiligen Erreger an allen positiven präoperativen Punktaten im Patientenkollektiv.	89
Abbildung 22: Prozentualer Anteil der jeweiligen Erreger an allen positiven Fällen vom Zeitpunkt der Spacerimplantation. Eine doppelt positive Probe (S. epidermidis + C. acnes) wurde zur besseren Darstellbarkeit als 2 Proben mit je 1 Keim gewertet.	90
Abbildung 23: Prozentuale Verteilung der Ergebnisse der mikrobiologischen Kulturen der Punktion bei einliegendem Spacer.	91
Abbildung 24: Prozentuale Verteilung der Ergebnisse der mikrobiologischen Kulturen vom Zeitpunkt der Prothesenimplantation.	92
Abbildung 25: Anteil der Patienten mit positiven bzw. negativen MSIS-Kriterien bei Primärinfektionen, periprothetischen Infektionen und Sekundärinfektionen.	94
Abbildung 26: Anteil der Patienten mit positiven bzw. negativen IDSA-Kriterien bei Primär-, periprothetischen- und Sekundärinfektionen.	95
Abbildung 27: Verteilung der Infektionswahrscheinlichkeit nach ICM-Kriterien bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion.	96
Abbildung 28: Anteil positiver bzw. negativer Ergebnisse [%] in den verschiedenen Diagnosescores. Der ICM Score wurde als negativ gewertet sofern „Infektion unwahrscheinlich“, andernfalls als positiv.	97
Abbildung 29: Vergleich der Ergebnisse von ICM- und IDSA. 22 Patienten zeigten positiv übereinstimmende Ergebnisse, 13 Patienten zeigten negativ übereinstimmende Ergebnisse. 5 Patienten waren nach ICM positiv und nach IDSA negativ. 1 Patient war nach IDSA positiv und nach ICM negativ.	98
Abbildung 30: Röntgen linke Schulter a.p. Es zeigt sich scapuläres Notching II° 7 Jahre postoperativ nach RSA-Implantation. Copyright: Orthopädische Klinik König-Ludwig-Haus. ..	100
Abbildung 31: Links: Häufigkeit des Vorkommens von RLL im Patientenkollektiv aufgeteilt nach Zonen gemäß Boileau et al. [19]. Rechts: Klassifikation der RLL nach Position im	

Röntgenbild. Einteilung in 7 humeralseitige Zonen. Aus: Boileau, Watkinson et. al. S. 530 [19]. Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier. Vgl. auch 2.4.4.2 Radiolcent-Lines.	101
Abbildung 32: Aktives Bewegungsausmaß [°] mind. 2 Jahre nach RSA-Implantation.	103
Abbildung 33: Aktive Beweglichkeit [%] im Vergleich von betroffener und nicht betroffener Seite.	104
Abbildung 34: Kraft in Abduktion im Seitvergleich. Eine negative Differenz entspricht einer größeren Kraft auf der nicht betroffenen Seite.	105
Abbildung 35: Ergebnisse im Constant Score mind. 2 Jahre nach RSA-Implantation und Constant Score der Gegenseite zum gleichen Zeitpunkt.	106
Abbildung 36: Ergebnisse von Constant Score und QuickDASH in [%] des bestmöglichen Ergebnisses bei den jeweiligen Patienten sowie Differenz zwischen den Ergebnissen von Constant Score und QuickDASH. Eine negative Differenz entspricht einem besseren Constant Score, eine positive Differenz einem besseren QuickDASH.	107
Abbildung 37: Kaplan-Meier Kurve für das revisionsfreie Überleben nach RSA Implantation. Die gepunktete Linie stellt das Überleben nach Primär- bzw. Sekundärinfektion dar, die durchgängige Linie das Überleben nach Periprothetischer Infektion.	109

III Tabellen

Tabelle 1: Punktesystem für Diagnosekriterien der ICM Klassifikation [81].	32
Tabelle 2: Ergebnisse des Saphiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung für verschiedene Proben.	68
Tabelle 3: Ergebnisse des Levene-Tests für BSG und Leukozyten im Vergleich verschiedener Gruppen. Gleiche Varianzen in den Gruppen werden angenommen sofern $p > 0,050$.	70
Tabelle 4: Ergebnisse des f-Tests für Constant Score, Schmerzen, Bewegungsausmaß und QuickDASH in Abhängigkeit der radiologischen Befunde (RLL ja/ nein, Notching ja/nein). Gleiche Varianzen (mit * markiert) werden angenommen sofern $p > 0,050$.	71
Tabelle 5: Vorkommen einzelner Grunderkrankungen im Patientenkollektiv in [%].	77
Tabelle 6: Anteil der Patienten mit entsprechenden Risikofaktoren bei Patienten mit Primär-, Sekundär- und periprothetischer Infektion. Stärke der Zusammenhänge entsprechend Phi-Koeffizient, Signifikanz p. Signifikante Unterschiede im Vorkommen von Risikofaktoren zwischen den Gruppen wurden angenommen sofern $p < 0,050$ (markiert mit*)	79
Tabelle 7: Mittelwert (Bereich) von CRP, BSG und Leukozytenzahl in Abhängigkeit des nachgewiesenen Keimspektrums. Patienten mit Keimnachweis sind nochmals separat für Cutibakterien und andere bzw. Mischinfektionen aufgeführt. n = Anzahl der Patienten. \uparrow = Anteil der Patienten mit Werten über der Norm [%].	83
Tabelle 8: Mittelwert (Bereich) von CRP, BSG und Leukozytenzahl bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion. N = Anzahl der Patienten. \uparrow = Anteil der Patienten mit Werten über der Norm.	85
Tabelle 9: Signifikanzniveaus für Unterschiede bei CRP, BSG und Leukozytenzahl im Vergleich verschiedener Gruppen. Die Alternativhypothese (signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen) wurde angenommen, sofern $p < 0,050$.	85
Tabelle 10: Mittelwert (Bereich) der synovialen Leukozytenzahl in Abhängigkeit des Keimspektrums. Patienten mit Keimnachweis wurden nochmals separat für Cutibakterien und andere-/Mischinfektionen aufgeführt.	86
Tabelle 11: Mittelwert (Bereich) der synovialen Leukozytenzahl bei Patienten mit Primärinfektion und Patienten mit periprothetischer Infektion.	86
Tabelle 12: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von Punktaten/ Gewebeproben von verschiedenen Entnahmezeitpunkten. Pat. = Patient, leeres Feld = keine Informationen vorhanden.	88
Tabelle 13: Prozentualer Anteil nachgewiesener Keime bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion. Anzahl der Patienten in (). $> 100\%$ auf Grund von Mehrfachnachweisen möglich.	93
Tabelle 14: Histopathologische Ergebnisse nach Morawietz bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion in [%] (Anzahl n der Patienten).	93
Tabelle 15: Anteil positiver Ergebnisse im jeweiligen Diagnosescore in Abhängigkeit des Infektionstyps (Primär-, Sekundär-, periprothetische Infektion) in [%] und Stärke der Korrelation (Phi-Koeffizient) sowie Signifikanz p. Signifikante Unterschiede zwischen den Infektionstypen wurden angenommen, sofern $p < 0,050$ (markiert mit *).	95
Tabelle 16: Prozentuale Verteilung der Ergebnisse nach ICM-Kriterien bei Patienten mit Primärinfektion, periprothetischer Infektion und Sekundärinfektion (n = Anzahl).	96
Tabelle 17: Einteilung nach ICM in Abhängigkeit der nachgewiesenen Keime in % der Patienten mit entsprechendem Keim (n = Anzahl).	97

Tabelle 18: Korrelation positiver Ergebnisse der Diagnosescores (MSIS, IDSA und ICM) untereinander. ICM wurde als positiv gewertet, sofern nicht „Infektion unwahrscheinlich“. Die Berechnung erfolgte mit Chi ² -Test (p-Wert) und Phi-Koeffizient. Signifikante Unterschiede wurden angenommen sofern $p < 0,050$ (markiert mit *).	98
Tabelle 19: Übereinstimmung der Ergebnisse von ICM-, MSIS- und IDSA-Kriterien mit den mikrobiologischen Ergebnissen in [%] (n = Anzahl Patienten).	99
Tabelle 20: Ergebnisse des einseitigen t-Test für Unterschiede in Beweglichkeit (gemäß Constant Score), QuickDASH, Schmerzen (gemäß VAS), Constant Score im Vergleich zwischen Patienten mit bzw. ohne Notching und mit bzw. ohne Radiolucent-Lines (RLL). Signifikante Unterschiede wurden angenommen sofern $p < 0,050$, es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede.	101
Tabelle 21: Aktive Beweglichkeit mind. 2 Jahre postoperativ nach RSA-Implantation [°].	102
Tabelle 22: Aktive Beweglichkeit in % der Gegenseite. n = Anzahl Patienten. Mit * gekennzeichnete Werte wurden als statistisch signifikant gewertet ($p < 0,050$).	103
Tabelle 23: Korrelation zwischen Risikofaktoren und funktionellen Ergebnissen gemäß Spearman-Korrelationsanalyse (QuickDASH, Constant Score, Beweglichkeit, Schmerz) bzw. Pearson-Korrelationsanalyse (Kraft). r = Korrelationskoeffizient, p = p-Wert, n = Probengröße. Mit * gekennzeichnete Ergebnisse wurden als statistisch signifikant ($p < 0,050$) gewertet.	108
Tabelle 24: Zusammenhänge zwischen positiven Ergebnissen in den Diagnosescores (ICM als positiv gewertet, sofern „Infektion“ bzw. „Infektion wahrscheinlich“) und funktionellen Ergebnissen. Angegeben sind die p-Werte des Exakten Fisher-Tests. Statistische Signifikanz wurde angenommen, sofern $p < 0,050$. Es zeigten sich somit keine signifikanten Zusammenhänge.	108

IV Fragebögen

VAS Schmerzskala

Schmerzskala

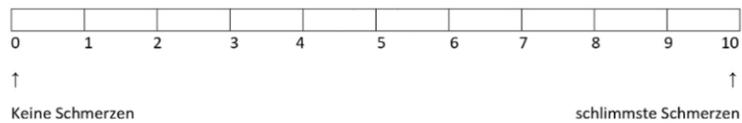
Bitte geben an, wie stark die Schmerzen in Ihrer Schulter während der letzten 4 Wochen maximal waren.

Nutzen Sie hierfür die untenstehende Leiste.

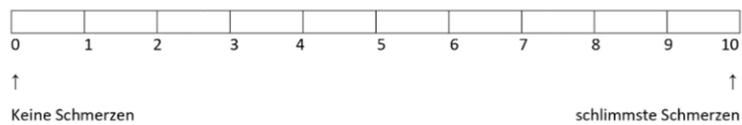
0 bedeutet dabei Schmerzfreiheit. 10 entspricht dem stärksten, vorstellbaren Schmerz.

Markieren Sie die zutreffende Stelle mit einem Kreuz.

Rechte Schulter



Linke Schulter



Constant Score

Schulterstudie

Liebe Patienten!

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

Bitte kreuzen sie die entsprechenden Antworten an!

Wir danken Ihnen für Ihre Mitarbeit!

Patientendaten

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

Bitte zutreffendes ankreuzen:

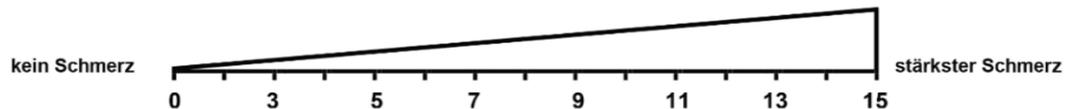
Beeinträchtigte Schulter (bzw. aktuell behandelte Schulter): rechts links

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

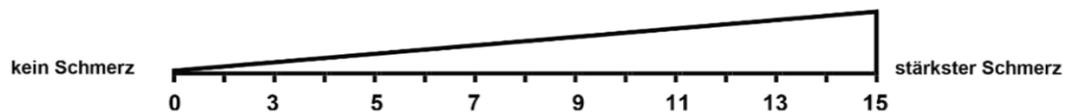
I. Schmerz

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

rechte Schulter:



linke Schulter:



II. Beruf

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

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

III. Freizeit

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

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

IV. Arbeitshöhe

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

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

V. Schlaf

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

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

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

VI. Schmerzfreies Heben des Armes nach vorne

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

VII. Schmerzfreies seitliches Anheben des Armes

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

VIII. Schmerzfreie Innendrehung hinter dem Körper

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

IX. Schmerzfreie Außenrotation



- rechts
- links

Hand im Nacken
Ellenbogen
vorne



- rechts
- links

Hand auf Scheitel
Ellenbogen
vorne



- rechts
- links

Hand im Nacken
Ellenbogen
seitlich



- rechts
- links

Hand auf Scheitel
Ellenbogen
seitlich



- rechts
- links

Hand über
Kopf

Keine der Bewegungen ist
schmerzfrei möglich!

- rechts
- links

X. Kraftmessung

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



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

rechts:

Gewicht: ____ kg

links:

Gewicht: ____ kg

Anmerkungen:

Vielen Dank!

Veröffentlichungen

Diese Arbeit wurde in Teilen angenommen/veröffentlicht:

Rückl K., **Streck L.**, Bölch S., Konrads Ch., Rudert M., Gohlke F., Plumhoff P.

„Zweizeitige Implantation reverser Schulterendoprothesen bei periimplantären Infektionen der Schulter“

26. Jahreskongress der DVSE, St. Gallen, Mai 2019 (Vortrag)

Rückl K., **Streck L.**, Bölch S., Reichel T., Konrads Ch., Rudert M., Gohlke F., Plumhoff P.

„Zweizeitige Implantation reverser Schulterprothesen bei periimplantären Infektionen der Schulter“

Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie, Berlin, Oktober 2019 (Vortrag)

Streck L., Plumhoff P., Konrads Ch., Reichel T., Gohlke F., Rückl K.

„Mittelfristige Ergebnisse nach mehrzeitiger Implantation einer reversen Prothese bei Infektion des Schultergelenks“

68. Jahrestagung der Vereinigung Süddeutscher Orthopäden und Unfallchirurgen e.V., Baden-Baden, Mai 2020 (Vortrag)

Streck L., Bölch S., Reichel T., Gohlke F., Rudert M., Rückl K.

„Diagnostik bei Infektionen des Schultergelenks“

68. Jahrestagung der Vereinigung Süddeutscher Orthopäden und Unfallchirurgen e.V., Baden-Baden, Mai 2020 (Poster/Kurzvortrag)

Boelch S. P.* , **Streck L. E.***, Plumhoff P., Konrads Ch, Gohlke F., Rueckl K.

(*Diese Autoren/-innen haben in gleichem Maße als Erstautoren/-innen zu diesem Artikel beigetragen)

“Infection control and outcome of staged reverse shoulder arthroplasty for the management of shoulder infections”

JSES Int. 2020 Oct 8;4(4):959-963 (Originalarbeit)

Danksagung

Ich danke Prof. Dr. Maximilian Rudert dafür, dass ich diese Arbeit an seinem Lehrstuhl durchführen konnte sowie für die Übernahme des Hauptreferates.

Prof. Dr. Dr. Christoph Schoen danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Mein Dank gilt auch Dr. Johannes Forster für seine Beratung bei Fragen zur mikrobiologischen Diagnostik.

Mein herzlicher Dank gilt Piet Plumhoff, der insbesondere zu Beginn der Arbeit ein wichtiger Ansprechpartner war.

Besonders möchte ich mich bei Dr. Kilian Rückl für die Betreuung der Arbeit, seine Diskussionsbereitschaft und die stete Unterstützung bedanken.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meinen Eltern, Geschwistern und Freunden für ihren bedingungslosen Rückhalt, der die Erstellung dieser Arbeit erst ermöglicht hat.