

AUS DER ABTEILUNG FÜR PLASTISCHE, HAND- UND
WIEDERHERSTELLUNGSSCHIRURGIE
PROF. DR. LUKAS PRANTL
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

SCAPHOLUNÄRE ACHSEN METHODE (SLAM) ZUR REKONSTRUKTION VON
DYNAMISCHEN SL-BANDLÄSIONEN AM HANDGELENK IM VERGLEICH ZU
BISHERIGEN STANDARDVERFAHREN
– EINE KLINISCHE STUDIE AN 27 PATIENTEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Katja Zimny

2019

AUS DER ABTEILUNG FÜR PLASTISCHE, HAND- UND
WIEDERHERSTELLUNGSSCHIRURGIE
PROF. DR. LUKAS PRANTL

DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

SCAPHOLUNÄRE ACHSEN METHODE (SLAM) ZUR REKONSTRUKTION VON
DYNAMISCHEN SL-BANDLÄSIONEN AM HANDGELENK IM VERGLEICH ZU
BISHERIGEN STANDARDVERFAHREN

– EINE KLINISCHE STUDIE AN 27 PATIENTEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Katja Zimny

2019

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert
1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Jürgen H. Dolderer
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Stephan Schreml
Tag der mündlichen Prüfung: 13.12.2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Anatomische Grundlagen.....	5
1.1.1	Das Handgelenk	5
1.1.2	Karpale Instabilitäten	7
1.2	Ruptur des scapholunären Bands	8
1.2.1	SL-Bandstabilität und -beschaffenheit	10
1.2.2	Entstehung von scapholunärer Instabilität	11
1.2.3	Langfristige Folgeschäden – SLAC-Wrist	12
1.2.4	Diagnostik von Verletzungen des Bandapparates.....	13
1.2.5	SL-Band-Rupturen	14
1.2.5.1	Grad I	14
1.2.5.2	Grad II	14
1.2.5.3	Grad III	15
1.3	Herkömmliche Operationsmethoden.....	16
1.3.1	Bandnaht und transossäre Fixierung	16
1.3.2	Dorsale Kapsulodese	16
1.3.3	Knochen-Ligament-Knochen-Rekonstruktion.....	17
1.3.4	SL-Band-Rekonstruktionen	19
1.3.4.1	Brunelli-Methode	20
1.3.4.2	Modifizierte Brunelli-Methode nach K.L.S. van den Abeele..	21
1.3.4.3	Drei-Ligament-Tenodese nach M. Garcia-Elias	21
1.3.5	Rettungsoperationen.....	22
2	Ziele der SLAM-Studie	25
3	Material und Methoden	25
3.1	Design und Methoden der scapholunären Achsenmethode (SLAM)	25
3.1.1	Studiendesign SLAM.....	25
3.1.2	Patientenkollektiv	26
3.1.3	Einschlusskriterien	29
3.1.4	Ausschlusskriterien	29
3.1.5	Studienprotokoll	29
3.1.5.1	Anamnese	29
3.1.5.2	Klinische Untersuchung.....	30
3.1.5.3	Bildgebung	30

	3.1.5.4 DASH-Score und Mayo-Wrist-Score	30
	3.1.5.5 Follow Up	31
	3.1.6 Operationstechnik der scapholunären Achsenmethode (SLAM).....	32
4	Ergebnisse	37
	4.1. Beweglichkeit	37
	4.2 Kraft	38
	4.3 Schmerz	40
	4.3.1 Ruheschmerz	40
	4.3.2 Schmerz bei Belastung	42
	4.4 DASH-Score	44
	4.5 Mayo-Wrist-Score	45
	4.6 Patientenzufriedenheit	46
	4.7 SL-Winkel.....	47
	4.8 Komplikationen	50
5	Diskussion.....	51
6	Zusammenfassung	61
7	Tabellenverzeichnis	64
8	Abbildungsverzeichnis	65
9	Literaturverzeichnis	70

Anhang:	Erklärung
	Danksagung
	Lebenslauf

1 Einleitung

Die Verletzung des scapholunären Bandes führt unbehandelt zum karpalen Kollaps. Durch anatomische Verschiebungen und Veränderungen des Kraftgefüges kommt es zur Ausbildung von Arthrose, die später Versteifungsoperationen erfordert.

Es existieren zahlreiche Operationsmethoden zur Behandlung der scapholunären Bandruptur. Die scapholunäre Achsenmethode (SLAM) versucht, durch Wiederherstellung der anatomischen Verhältnisse das Handgelenk in seinen physiologischen Zustand zurückzuführen und so dem karpalen Kollaps entgegen zu wirken.

Durch die SLAM-Studie soll anhand eines Patientenkollektivs von 27 Patienten und deren Vor- und Nachuntersuchungsergebnissen geprüft werden, ob die SLAM-Technik das Handgelenk in ausreichender Form stabilisieren kann.

Im Rahmen dieser Dissertation erfolgt zunächst die Vorstellung des Handgelenks und des Krankheitsbilds der karpalen Instabilität, die sich aus der Ruptur des SL-Bands ergibt. Daraufhin folgt die Erläuterung herkömmlicher Operationsmethoden der scapholunären Bandruptur und schließlich die Präsentation der Ergebnisse der SLAM-Studie. Diese werden anschließend interpretiert und im Vergleich zu ausgewählten bisherigen Operationsmethoden diskutiert.

1.1 Anatomische Grundlagen

1.1.1 Das Handgelenk

Das Handgelenk ermöglicht eine Kraftübertragung mit großem Bewegungsumfang in vielen verschiedenen Positionen. Bestehend aus einer Vielzahl von Strukturen, deren Anatomie genauestens aufeinander abgestimmt ist, ist die Handwurzel (Karpus) eine äußerst komplexe Konstruktion. Es handelt sich hierbei um 15 miteinander kommunizierende Knochen: Speiche (Radius) und Elle (Ulna), acht

Handwurzelknochen und fünf Mittelhandknochen. Der Karpus wurde nach Lichtman 1997 als ein unter Spannung stehender Ring betrachtet, für dessen Stabilität ein komplexer Bandapparat, bestehend aus extrinsischen und intrinsischen Ligamenten, sorgt.¹ Dieser erhält die Spannung aufrecht, indem er die Knochen stabilisiert, sie in ihrer Bewegung führt, jedoch gleichzeitig deren Bewegungsausmaß beschränkt. Die Gelenkgeometrie sowie die Integrität des karpalen Bandapparates sind für die reibungslose Artikulation der vielen kleinen Gelenkflächen verantwortlich.

Es ist vieles über die Funktion des Handgelenks und seiner einzelnen Strukturen bekannt. Auf dem Weg zum Verständnis dieses komplexen Gefüges und seiner Komponenten wurden zahlreiche Vermutungen angestellt, die später widerlegt wurden. Hierzu zählt die frühere Annahme, das Kahnbein (Scaphoid) sei der Schlüssel zur karpalen Stabilität.² Man erkannte die Tendenz des Mondbeins (Lunatum) zu extendieren sowie die des Kopfbeins (Capitatum), sich nach dorsal und proximal zu verschieben. Dies wurde 1968 von Geoffrey Fisk als *Concertina Effekt* bezeichnet.² Das Scaphoid, das sich zwischen den beiden Knochen befindet und sowohl mit dem dorsalen Pol des Lunatums als auch dem palmaren Bereich des Capitatums in Beziehung steht, stellt somit eine Stütze dieser beiden Knochen dar, die deren natürliche Bewegungstendenz limitiert.² So entstand der Gedanke, das Scaphoid allein fungiere als stabilisierende Brücke zwischen den karpalen Reihen. In den frühen Achzigerjahren erkannten Forscher, dass auch die scapholunären Ligamente eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen. Unter axialer Belastung flektiert das Scaphoid, während das Lunatum extendiert. Das scapholunäre Band hält diese Bewegungsrichtungen in Schach.² Dies erklärt, weshalb SL-Band-Rupturen zu scapholunären Dissoziationen und Rotationsfehlstellungen von Scaphoid und Lunatum sowie zu karpaler Instabilität führen. Eine Diskontinuität der proximalen Handwurzelreihe bezeichnet man als SL-Dissoziation.¹

Die genauen Pathomechanismen der Entstehung anderer Arten von karpaler Instabilität blieben jedoch weiterhin ungeklärt. 1983 kam die *self stabilizing spring theory* auf.² Diese besagt, dass das Scaphoid unter axialer Belastung flektiert, während das Dreiecksbein (Triquetrum) extendiert, unterstützt durch intakte Ligamente. So entsteht Stabilität in der proximalen Handwurzelreihe.² Garcia-Elias und Kobayashi widerlegten diese These mit einem Kadaversversuch. Unter axialer Belastung flektieren beide Knochen, wobei die Flexionsbewegung des Scaphoids der

des Triquetrum überlegen ist. Vielmehr fanden sie heraus, dass die Handwurzelknochen in einem komplexen Zusammenspiel von Ligamenten geführt und stabilisiert werden.² Das sogenannte *oval ring concept*, das erstmals von David Lichtman beschrieben wurde, erschien plausibler.² Gleichzeitig begann man zu verstehen, dass Bänder alleine nicht genügen, um den Kräften des karpalen Gefüges dauerhaft standzuhalten. 2006 bis 2009 gelang es Hagert und Mitarb. und Lin und Mitarb., aus Proben karpaler Bänder Mechanorezeptoren zu isolieren und darzustellen.³⁻⁵ Im Laufe ihrer Forschungsversuche wurde offenkundig, dass ligamento-muskuläre Reflexe existieren und das Handgelenk zusätzlich zum Bandapparat durch Muskelkraft stabilisiert wird. Welche Muskeln genau hierbei eine Rolle spielen und in welcher Funktionsweise sie funktionieren, ist noch nicht eindeutig geklärt. Sicher ist, dass für ein stabiles Handgelenk die anatomischen Verhältnisse intakt sein müssen und zusätzlich Ligamente und neuromuskuläre Vorgänge eine wichtige Rolle spielen.²

Die Komplexität der Anatomie und Physiologie führt dazu, dass ein Trauma, bei dem es zu Veränderungen des karpalen Gefüges kommt, schwerwiegende, langfristige Auswirkungen auf Funktion und Stabilität des Handgelenks hat. Bereits leichte Inkongruenzen der Gelenkflächen können zu großen Beschwerden führen.¹

1.1.2 Karpale Instabilitäten

Ein stabiles Gelenk zeichnet sich durch die Fähigkeit aus, unter normaler Belastung die physiologische Lagebeziehung zwischen den artikulierenden Gelenkflächen aufrechtzuerhalten. Im instabilen Gelenk ist dieser Vorgang gestört und es kommt zur Dysfunktion. Diese beinhaltet unnatürliche Beweglichkeit (Dyskinematik) und Druckverhältnisse (Dyskinetik), die sowohl Gelenkschäden als auch Gelenkbeschwerden nach sich ziehen.

Der Bandapparat des Handgelenks stellt eine wichtige Voraussetzung für die karpale Stabilität und reibungslose Artikulation dar. Es handelt sich um straffe, flächenförmige Verbindungen zwischen den einzelnen Knochen, die ein einheitliches, unter Spannung stehendes Gefüge bilden. Der Bandapparat wird in extrinsische und intrinsische Bänder aufgeteilt. Die extrinsischen Bänder befinden sich extraartikulär und sind mit

der Gelenkkapsel verwachsen, während die intrinsischen Bänder intraartikulär direkt zwischen den Handwurzelknochen liegen. Diese besitzen eine kürzere Faserlänge als die extrinsischen Bänder. Zwei wichtige Beispiele für intrinsische Bänder sind das LT-Band, das zwischen Os lunatum und Os triquetrum liegt, sowie das SL-Band zwischen Os scaphoideum und Os lunatum.

Karpale Instabilität wird in vier Formen eingeteilt: Dissoziative karpale Instabilität (CID), nicht dissoziative karpale Instabilität (CIND), komplexe karpale Instabilität (CIC) und adaptive karpale Instabilität (CIA).⁶ Dynamische Instabilität tritt nur unter Belastung auf, eine statische Instabilität zeigt sich bereits in Ruhe. Diagnostisch können karpale Instabilitäten neben der Schmerzsymptomatik in Form von Klick- oder Schnapp-Phänomenen, die bei spezifischen klinischen Tests auftreten, nachgewiesen werden.¹

Von CID spricht man bei Dysfunktion zwischen Knochen derselben Handwurzelreihe, zum Beispiel durch Fraktur oder Bänderriss. Betroffene Bänder sind das Ligamentum scapholunatum und das Ligamentum lunotriquetrum. Mit CIND bezeichnet man die Dysfunktion zwischen den Handwurzelreihen, die betroffenenen Bänder sind länger und lassen mehr Bewegung zu. Bei einer nicht dissoziativen Instabilität kommt es zu einer Fehlartikulation der proximalen gegenüber der distalen Handwurzelreihe und einer Subluxationstendenz im Radiokarpalgelenk. Dies entsteht meist durch Schäden des Ligamentums triquetrocipitatum, Ligamentums radiolunatum oder Ligamentums radiocapitatum.⁶

Sowohl CID als auch CIND lassen sich weiter unterteilen. CIC und CIND können nebeneinander vorliegen, diesen Zustand bezeichnet man als CIC. CIA entsteht durch Ursachen, die auf Pathologien außerhalb des Handgelenks beruhen. Im Rahmen einer schlecht verheilten distalen Radiusfraktur kann als Anpassungsmechanismus die karpale Instabilität folgen.⁶

1.2 Ruptur des scapholunären Bandes

Das Ligamentum scapholunatum verbindet die Handwurzelknochen Scaphoid und Lunatum und wird mitunter im Rahmen von Radiusfrakturen oder anderen Arten von

Sturzverletzungen auf Arm und Handgelenk verletzt. Die weltweit häufigste Fraktur des menschlichen Skeletts ist die distale Radiusfraktur. Hierbei kann es zu Begleitverletzungen wie zum Beispiel Bandschäden, insbesondere des SL-Bandes, kommen. Diese sind nicht leicht zu diagnostizieren und werden demzufolge oft übersehen. Bei Traumata der Extremitäten werden als primäres Mittel der Diagnostik Röntgenaufnahmen angefertigt. Ein vorliegender Bandschaden ist so jedoch schwer erfassbar. Bei chronischem unbehandeltem Verlauf sind neben rekonstruktiven Maßnahmen oftmals nur noch sogenannte Rettungsoperationen möglich. Deshalb sind sowohl eine frühzeitige gute Diagnostik als auch ein schneller Therapiebeginn unabdingbar. Die SL-Band-Ruptur ist, da sie zunächst keine stärkeren Beschwerden verursacht, eine Verletzung, die oft erst durch ihre sekundären Folgen in Erscheinung tritt und umso ernsthafter ist, da dies für den Patienten mit starken Schmerzen und einer Funktionsminimierung verbunden ist. Die langfristige Prognose für die Unversehrtheit des Handgelenks ist ungünstig. Durch die SL-Bandruptur wird das stabile karpale Ringsystem aus seinem Zug- und Druckgleichgewicht gerissen, sodass die natürlichen Bewegungstendenzen der Handwurzelknochen vermehrt zum Tragen kommen. Scaphoid und Lunatum werden nicht mehr in ihrer physiologischen Position gehalten und wandern in pathologische Stellungen ab: das Scaphoid wird nach dorsal verschoben, zusätzlich flektiert es in Richtung palmar und schiebt sich schließlich in einer Rotations- und Subluxationsstellung über die Radiuslippe, während das Lunatum in Richtung palmar aus dem Karpus gleitet sowie nach dorsal extendiert und rotiert. Die Extensionsstellung des Lunatums im Verhältnis zur Längsachse des Radius bezeichnet man als DISI-Position, eine aus dem Englischen stammende Abkürzung für *dorsal intercalated segment instability*.¹ Es kommt also zu einer Palmarverkipfung des Scaphoids, einer Dorsalextension des Lunatums sowie zu einer Vergrößerung des Spaltes zwischen diesen beiden Handwurzelknochen.



Abbildung 1: Im Röntgenbild wird das Auseinanderweichen von Scaphoid und Lunatum (blau markiert) sichtbar. Gelenkflächen sind rot markiert.

Diese Fehlstellungen führen innerhalb von Monaten bis wenigen Jahren zu arthrotischen Veränderungen im Handgelenk. Im weiteren Verlauf können diese im karpalen Kollaps und einer irreversiblen statischen Fehlposition enden.

1.2.1 SL-Bandstabilität und -beschaffenheit

Die distale Handwurzelreihe lässt kaum Bewegungen zu, die proximale hingegen ist in allen Ebenen frei beweglich und benötigt einen stabilen Bandapparat, um Bewegungen zu koordinieren und optimale Kraft zu gewährleisten. Als biomechanische Verbindung zwischen Scaphoid und Lunatum erfüllt das SL-Band zahlreiche Funktionen sowohl im Bereich der Stabilisierung als auch der Tiefensensibilität des Handgelenkes. Es wird wie die Ligamenta capitatohamatum, trapezoideocapitatum und lunotriquetrum zu den intrinsischen Bandstrukturen gezählt und verbindet die Knochen der proximalen Handwurzelreihe zu einer funktionellen Einheit zwischen Radius und ulnokarpalem Bandkomplex sowie der distalen Handwurzelreihe. Das SL-Band wird hierbei durch das LT-Band und den extrinsischen Bandapparat unterstützt. Das SL-Band ist ein schmales, meist C-förmiges Band mit einer Länge von ca. 9 mm und einer Dicke von ca. 4-5 mm.⁷ Es besteht aus dorsalen,

palmaren und dazwischen liegenden membranösen Anteilen. Der palmare, ca. 1 mm dicke, sowie der ca. 3 mm dicke dorsale Anteil weisen im Vergleich zum mittleren membranösen Anteil einen höheren Prozentsatz an dichtem, kollagenem Bindegewebe Typ III auf.⁸ Dadurch können eine hohe Elastizität, Stabilität und Beweglichkeit gewährleistet werden.⁹ Bei ungünstigen Bewegungen des Handgelenks, die einen pathologischen Zug auf das SL-Band ausüben und von dessen Sensoren wahrgenommen werden, senden diese Impulse aus. So können reflektorische Handbewegungen initiiert oder ungünstige Bewegungen inhibiert und so eine Verletzung vermieden werden. Eine Beispielbewegung hierfür ist die Ulnarduktion, während der sich das SL-Band in maximaler Dehnung befindet. Da sich bei zusätzlicher Extension des Handgelenks das Verletzungsrisiko des Ligaments erhöht, wird durch propriozeptive Reflexbahnen der M. extensor carpi ulnaris gehemmt. Das SL-Band spielt hier also eine selbstprotektive Rolle.¹⁰

In Untersuchungen von Berger und Mitarb. zur Kraftkapazität der isolierten Komponenten des SL-Bandes wurde gezeigt, dass der dorsale Teil den höchsten Kräften standhalten kann (260.3 N; N = Newton). Der palmare Bandanteil (117.9 N) und der proximale membranöse Anteil (62.7 N) weisen eine geringere Stabilität auf.¹¹ Da durch die SLAM-Operation vor allem Stabilität, Beweglichkeit und Kraft wiederhergestellt werden sollen und der dorsale Teil den stärksten und wichtigsten Anteil für die mechanische Funktion des Bandes darstellt, wird bei einem Riss des scapholunären Bandes nur der dorsale Teil rekonstruiert.¹²

1.2.2 Entstehung von scapholunärer Instabilität

Scapholunäre Instabilität entsteht am häufigsten als Folge der Ruptur des SL-Bandes im Rahmen eines Sturzes auf die extendierte Hand. Ebenso kann es im höheren Alter zur degenerativen SL-Band-Ruptur kommen. Die Entstehung von scapholunärer Instabilität ist auch im Zusammenhang mit anderen pathologischen Vorgängen möglich. Beispiele hierfür sind rheumatoide Erkrankungen, die Kienböck-Krankheit sowie Erkrankungen, die zum Ausfällen von Calciumphosphatkristallen führen, wie ein Hyperparathyreoidismus oder eine renale-tubuläre Azidose.¹³

1.2.3 Langfristige Folgeschäden – SLAC-Wrist

Der Krankheitsverlauf nach SL-Band-Ruptur ist vorhersehbar und führt unbehandelt zu bleibenden Schäden im Handgelenk. Karpale Instabilität, gefolgt von degenerativer Osteoarthrose des Handgelenks, ist ohne adäquate Behandlung nicht zu vermeiden.¹⁴ Diese spezielle Form der Arthrose wird als SLAC (Scapho-Luno Advanced Collaps)-Wrist bezeichnet. Arthrotische Veränderungen können bereits drei Monate nach Erstmanifestation einer Instabilität nachgewiesen werden.¹ Weitere mögliche Folgen sind der Verlust der karpalen Höhe durch das Tiefertreten des Capitatums ab Grad II der SL-Band-Ruptur, eine gestörte Kraftübertragung wegen der Gelenkinkongruenz und einer progredienten Arthrose.

Man unterscheidet vier Grade des SLAC-Wrists:

Grad I beginnt mit arthrotischen Veränderungen des Processus styloideus radii. Sobald sich die Arthrose in das radio-scaphoidale Gelenk ausweitet, spricht man von Grad II. Durch weitere Belastung der inkongruenten Gelenkflächen kommt es im Verlauf zu Arthrose im Mediokarpalgelenk (Grad III).¹⁵ Der Endpunkt, der aus den chronischen Fehlstellungen entstehenden degenerativen Veränderungen (Grad IV), führt zum kompletten Kollaps des karpalen Gefüges. Die Entwicklung von der Handgelenksverletzung bis hin zum SLAC-Wrist Grad III verläuft über mehrere Jahre. Eine Behandlung von Grad III bis IV^o ist lediglich begrenzt möglich. Rettungsoperationen sind dafür nötig. Hierzu zählen Teilarthrodesen, proximale Karpektomie und die komplette Handgelenkversteifung. Zusätzlich kann zur Schmerzlinderung eine Denervierung erfolgen.^{16,17}



Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung von der unbehandelten SL-Bandruptur zum SLAC-Wrist

1.2.4 Diagnostik von Verletzungen des Bandapparates

Klinisch macht sich eine SL-Band-Ruptur oft als Kombination diffuser Beschwerden bemerkbar. Hierzu zählen Schwellung, Kraftminderung und Schmerzen im gesamten Handgelenk. Schmerzen auf Höhe des SL-Spalts sind häufig, diagnostisch jedoch nicht wegweisend, da sie auch im Rahmen eines gewöhnlichen radiokarpalen Distorsionstraumas auftreten können. Zunächst werden konventionelle Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen durchgeführt, sowohl der erkrankten als auch der gesunden Hand in Ruhe sowie unter axialer Belastung (zum Beispiel Halten eines Balles) oder in Ulnardeviation. Der Goldstandard zur Diagnosesicherung ist die Arthroskopie. Über einen mediokarpalen Zugang kann mittels Testhakens die Stabilität des Gelenkspaltes geprüft werden.¹ Unterstützend können Kinematographie, MRT beziehungsweise MRT-Arthrographie sowie Computertomographie von Nutzen sein.



Abbildung 3: Arthroskopischer Befund einer scapholunären Ruptur: oben Capitatum, links Scaphoid, rechts Lunatum

1.2.5 SL-Band-Rupturen

Die scapholunäre Bandruptur wird in zwei Kategorien eingeteilt: Schweregrad der Ruptur sowie zeitliche Differenzierung in die akute, subakute und chronische Verletzung.

1.2.5.1 Grad I

Es handelt sich um eine Teilruptur des SL-Bandes. Meist ist hierbei kein karpales Instabilitätsmuster nachweisbar. Die Patienten beklagen diffuse radiokarpale Schmerzen, im Röntgenbild zeigen sich keine Auffälligkeiten.

1.2.5.2 Grad II

Grad II bezeichnet eine Komplettruptur des SL-Bandes mit dynamischer Instabilität. Diese kann durch den Watson-Test überprüft werden. Im Röntgenbild kann sich das sogenannte Siegelringzeichen des Scaphoids zeigen, dessen distaler Pol sich wegen der Flexion nach palmar kreisförmig abzeichnet. Weiterhin ist ein bis über 3 mm erweiterter scapholunärer Gelenkspalt möglich. Das Capitatum schiebt sich im

Rahmen des axialen Kraftflusses nach radial, proximal zwischen Scaphoid und Lunatum und drängt die beiden Knochen auseinander. Das Lunatum extendiert und weicht nach dorsal ab, es wird also aus seiner Längsachse herausgedrängt und in die DISI-Stellung rotiert (*dorsal intercalated segment instability*), während das Scaphoid flektiert und sich nach palmar beugt. Der SL-Winkel kann mit Werten über 60° vergrößert sein (Normalwert: $30\text{--}60^\circ$). Hierbei kann es zur Verkantung des proximalen Scaphoid-Pols gegen die dorsale Radiuslippe und zu vorzeitigem Knorpelabrieb kommen. Im Laufe dieser Vorgänge entstehen eine zunehmende Instabilität und Fehlstellung von Scaphoid (Rotationssubluxation) und Lunatum (DISI-Position). Die Handwurzelknochen sind reponibel.

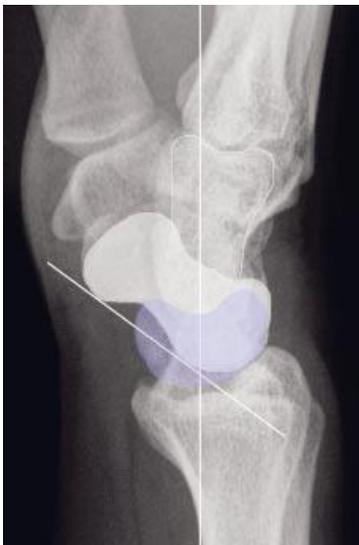


Abbildung 5: Normaler SL-Winkel im seitlichen Röntgenbild ($30\text{--}60^\circ$)



Abbildung 4: DISI-Position im seitlichen Röntgenbild (SL-Winkel $> 60^\circ$)

1.2.5.3 Grad III

Bei Grad III handelt es sich um eine Komplettruptur, die zusätzlich mit Verletzungen des extrinsischen Bandapparates einhergeht.¹

1.3 Herkömmliche Operationsmethoden

Es existieren zahlreiche operative Verfahren zur Therapie der SL-Band-Ruptur. Je nach Art des Traumas, der vorliegenden Gelenkverhältnisse und Beschwerden des Patienten sowie dessen Vorstellung bezüglich des Ausmaßes an Wiederherstellung von Kraft, Beweglichkeit und Funktionalität werden unterschiedliche Therapiemöglichkeiten ausgewählt.

1.3.1 Bandnaht und transossäre Fixierung

Indikation für eine Bandnaht sind akute und subakute Teil- und Totalrupturen.¹ Ziel ist die Wiederherstellung des Bandes und der physiologischen Verhältnisse des Handgelenks. Bei einer akuten kompletten SL-Bandruptur mit dynamischer Instabilität (Grad II) erfolgt ein arthroskopisches Débridement der abgerissenen Bandanteile und die Enden des SL-Bandes werden miteinander vernäht. Die Naht wird durch perkutane Transfixation mittels Kirschner-Drähten gesichert. Die Dauer der postoperativen Immobilisation beträgt sechs bis acht Wochen. Zusätzlich kann eine dorsale Kapsulodese zu mehr Stabilität verhelfen.

1.3.2 Dorsale Kapsulodese

Indikation für die dorsale Kapsulodese ist eine scapholunäre Bandverletzung, die mehr als sechs Monate zurückliegt. Laut Busse und Mitarb. wird die Indikation zur dorsalen Kapsulodese dann gestellt, wenn eine alte zweitgradige Verletzung – also eine Komplettruptur des SL-Bandes – vorliegt, da hier eine Rekonstruktion des SL-Bandes wegen der bereits stattgefundenen resorptiven Vorgänge nicht mehr möglich und kein nahtfähiges Bandmaterial mehr vorhanden ist.¹⁸ Es liegen also bereits irreversible Veränderungen des intrinsischen Bandapparates vor. Ziel der Operation ist die

Stärkung des Handgelenks durch Schaffung einer stabilen dorsalen Unterstützung der Handwurzelknochen. Durch einen dorsalen Zugang wird das Ligamentum intercarpale in scaphoidaler Längsachse auf dem Radius positioniert und dort verankert. Das Scaphoid wird aufgerichtet. Dies soll verhindern, dass es in seiner Flexionsbewegung über die Kante des Radius gleitet und sich mit dieser verkeilt. Drittgradige Verletzungen können auch mit dorsaler Kapsulodese versorgt werden, hier wird zunächst anatomiegerecht reponiert. Zusätzlich werden Kirschner-Drähte eingebracht, schließlich erfolgt die Umlagerung des Bandapparates.¹⁸

Der extrinsische Bandapparat ist deutlich bedeutender für die Unterstützung der karpalen Stabilität als bisher angenommen. Eine Verletzung des intrinsischen Bandapparates ist bei Mitbeteiligung des extrinsischen mit weitaus schwerwiegenderen Folgen verbunden als ohne dessen Mitbeteiligung. Die dorsale Kapsulodese geht mit einem Verlust an Beweglichkeit einher.¹¹

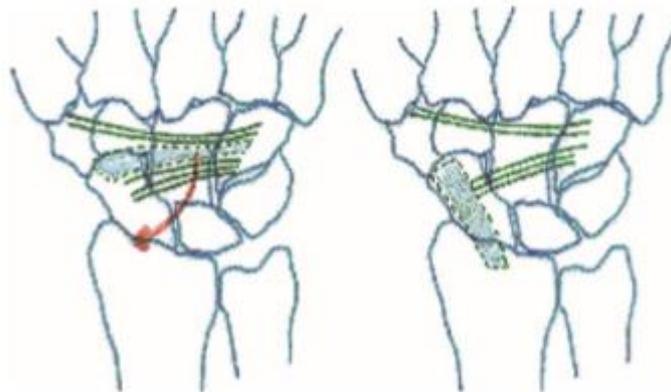


Abbildung 6: Das Ligamentum intercarpale dorsale wird umgelagert.

1.3.3 Knochen-Ligament-Knochen-Rekonstruktion

Die Indikation einer Knochen-Ligament-Knochen-Rekonstruktion wird sowohl bei akuter als auch chronischer scapholunärer Instabilität nach kompletter SL-Band-Ruptur gestellt. Die Instabilität sollte dynamisch, also die Knochen in ihre physiologische Position rückführbar sein. Das biomechanische Ziel eines Knochen-Ligament-Knochen-Transplantats besteht im Ersatz des gesamten scapholunären Intervalls. Der scapholunäre Spalt, sichtbar in Abb. 7, wird reduziert, Scaphoid und

Lunatum werden mittels Kirschner-Drähten in ihre ursprüngliche Position geführt. Eine Vertiefung in Scaphoid und Lunatum wird hergestellt (siehe Abb. 8), in die folglich das auf jeder Seite der Verbindung ca. 10 x 5 x 5 mm messende Transplantat eingefügt und mit Schrauben befestigt wird (siehe Abb. 9). Abbildung 10 zeigt das Röntgenbild postoperativ. Abbildung 11 zeigt den Zustand zwei Jahre postoperativ sowie die korrekte Lage der Schrauben ohne Zunahme von Arthrose.¹¹

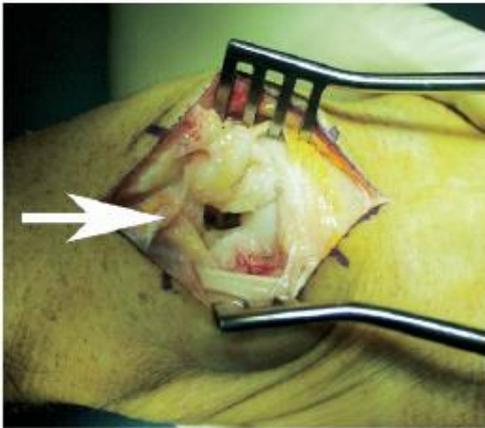


Abbildung 8: Einsehbarer SL-Spalt



Abbildung 7: Reposition von Scaphoid und Lunatum, Knochen werden mittels K-Drähten in Position gehalten. Löcher in Scaphoid (schwarzer Pfeil) und Lunatum (weißer Pfeil)



Abbildung 10: Einsetzen des Transplantats und Fixierung mit zwei Schrauben

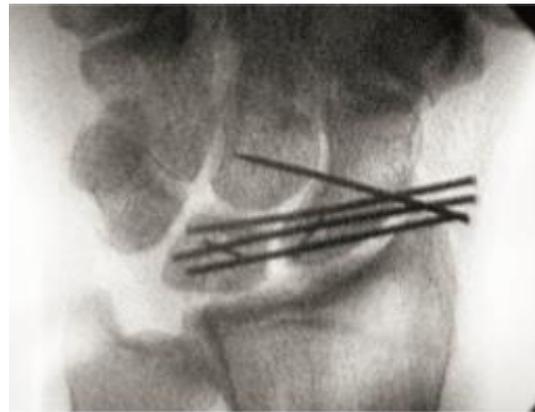


Abbildung 9: Temporäre K-Draht-Fixierung. Die eingebrachten Schrauben sind in korrekter Position zu sehen.



Abbildung 11: Röntgenbilder zwei Jahre postoperativ

Das Hauptaugenmerk bei einer Knochen-Ligament-Knochen-Rekonstruktion wird auf die Verfügbarkeit eines Transplantats gelegt, das hinsichtlich Kraft und Formsteifigkeit an die Eigenschaften des SL-Bandes herankommt.

Seit 1996 werden Eigentransplantate aus dem Fuß verwendet. Svoboda und Mitarb. isolierten SL-Bänder sowie drei unterschiedliche Knochen-Sehnen-Knochen-Komplexe und unterzogen sie servohydraulischen Tests, um sie auf Steifheit und Stärke zu prüfen.¹⁹ Die Analysen ergaben, dass das tarsometatarsale Ligament dem SL-Band hinsichtlich seiner Konsistenz ähnlich ist, jedoch erzielten alle drei Bänder der untersuchten Komplexe hinsichtlich der Stärke signifikant geringere Werte als das SL-Band. Davis und Mitarb. untersuchten 1998 ein weiteres Band des Fußes, das den Eigenschaften des SL-Bands eher entsprach.²⁰ Der dorsal-mediale Anteil des Bands zwischen Os naviculare und dem ersten Os cuneiforme war in Tests zwar schwächer als das SL-Band, erwies sich aber dennoch als gute klinische Option für Transplantationsoperationen. Van Kampen benutzte 2015 ein Capitato-hamatum-Transplantat und erzielte damit keine besseren Ergebnisse als weniger aufwendige Methoden.²¹

1.3.4 SL-Band-Rekonstruktionen

Die operative SL-Band-Rekonstruktion dient der Wiederherstellung der natürlichen Verhältnisse des Handgelenks und versucht damit, maximalen Gewinn an Funktion, Kraft, Bewegungsausmaß und Schmerzfreiheit der Hand zu erzielen. Das Ergebnis

soll dem physiologischen Zustand nahe kommen. Indikation für eine SL-Band-Rekonstruktion ist die ältere (> sechs Wochen) dynamische scapholunäre Dissoziation nach traumatischer SL-Band-Ruptur, bei der die karpalen Knochen reponibel sind und keinen karpalen Kollaps oder arthritische Veränderungen aufweisen. Der dorsale Anteil des SL-Bandes besitzt im Vergleich zur palmaren und proximalen Komponente die höchste Kraftkapazität und spielt die wichtigste Rolle in der Aufrechterhaltung der karpalen Stabilität. Der Fokus der SL-Band-Rekonstruktion liegt deshalb auf dem dorsalen Anteil.

Rekonstruktionsoperationen bergen allerdings ein nicht unerhebliches Komplikationsrisiko. Es kann zu Tunnelfrakturen kommen. Auch degenerative Knorpelveränderungen, postoperative knöcherne Verschiebungen und avaskuläre Nekrose des Lunatums und des proximalen Scaphoidpols sind möglich.²²

Im Folgenden werden drei Standardmethoden der SL-Band-Rekonstruktion aufgezeigt.

1.3.4.1 Brunelli-Methode

Bei der Brunelli-Methode handelt es sich um eine der ersten durchgeführten Operationstechniken zur Rekonstruktion des SL-Bands. Sie wurde wegen ihrer vielversprechenden Ergebnisse zahlreiche Male variiert und dann als *modifizierte Brunelli-Methode* (MBT) bezeichnet. Die Brunelli-Methode soll die Flexion und Dissoziation des Scaphoids aufheben. Ein Sehnenstransplantat richtet das Scaphoid auf.¹⁴ Es wird ein Teil der Flexor-carpi-radialis-(FCR)-Sehne entnommen. Diese wird dann von palmar nach dorsal durch einen Tunnel im distalen Pol des Scaphoids parallel zur distalen Gelenkfläche geführt. Indem die Sehne nach dorsal gezogen wird, wird das Scaphoid gesenkt und sowohl die Subluxation des proximalen Pols als auch die SL-Dissoziation korrigiert. Das abgesenkte Scaphoid wird in dieser Position temporär durch einen Kirschner-Draht fixiert. Das Sehnenstück wird mit fibrösem Gewebe im Bereich des dorsoulnaren Radius vernäht. Postoperativ wird das Handgelenk vier Wochen lang immobilisiert, danach wird der Draht entfernt.²³

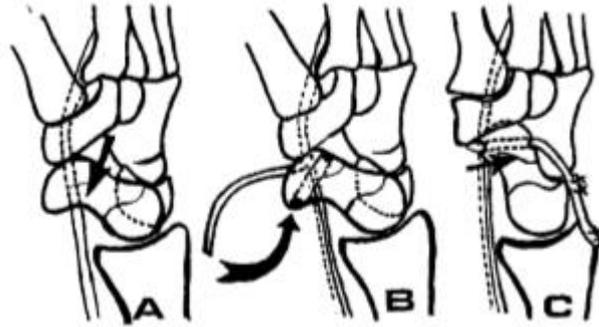


Abbildung 12: Operation nach Brunelli: Flexionsstellung des Scaphoids (A), Reposition von Scaphoid und Lunatum, FCR-Sehnenzug durch den distalen Pol des Scaphoids von palmar nach dorsal (B), Fixieren der FCR-Sehne (C)

Wie in der Abbildung 12 ersichtlich, wird bei der Brunelli-Methode der radiokarpale Gelenkspalt überquert. Dies schränkt die Flexionsbewegung des Handgelenkes ein. Um das zu vermeiden, modifizierten van den Abeele und Garcia-Elias die Brunelli-Methode und konnten so den radiokarpalen Gelenkspalts schonen.

1.3.4.2 Modifizierte Brunelli-Methode nach van den Abeele

Es erfolgt die Entnahme eines Drittels der FCR-Sehne, daraufhin wird eine dorsale transversale Inzision auf Höhe des scapholunären Gelenks durchgeführt. Die DISI-Fehlstellung wird korrigiert. Es wird ein Kirschner-Draht durch das Scaphoid vom Tuberkel nach dorsal gebohrt. Anschließend wird die Sehne durch den Tunnel gezogen und entweder am Lunatum befestigt oder mit ausreichender Spannung mit sich selbst vernäht. Das Handgelenk wird sechs Wochen lang ruhiggestellt, bevor eine Schiene angelegt und zunächst mit sanften Bewegungsübungen sowie nach weiteren sechs Wochen mit Kräftigungsübungen begonnen wird.²⁴

1.3.4.3 Drei-Ligament-Tenodese nach Garcia-Elias

In das Scaphoid wird ein Tunnel gebohrt. Dieser folgt der longitudinalen Achse des Scaphoids in Richtung der palmaren Tuberosität. Ein transversaler Schnitt ermöglicht

den Zugang zur FCR-Sehne. Die Sehnenscheide wird eröffnet und ein Streifen der Sehne entnommen. Der Sehnenstreifen wird mittels einer Fadenschleife (*Wire Loop*) durch den Scaphoidtunnel gezogen und mit einem Knochenanker im Lunatum befestigt. Das distale Ende des dorsalen radiotriquetralen-Ligaments wird lokalisiert und die FCR-Sehne durch das radiotriquetrale-Ligament gezogen. Das Ligament wird später als Flaschenzug benutzt, um den Bandstreifen zu spannen. Scaphoid, Lunatum und Capitatum werden korrekt positioniert und mit Kirschner-Drähten über dem SL- und SC-Gelenk stabilisiert. Das Sehnentransplantat wird gespannt und mit sich selbst vernäht. Der Arm wird geschient und nach sechs Wochen werden die Drähte entfernt.²⁵

1.3.5 Rettungsoperationen der Handwurzel

Ab einem gewissen Grad der Vorschädigungen kann kein rekonstruktives Verfahren mehr die physiologischen Verhältnisse wiederherstellen. Mit steigendem Verlust des physiologischen Spannungs-, Druck- und Zuggleichgewichts im karpalen Ringsystem verstärken sich die Fehlstellungen der Handwurzelknochen und die Möglichkeit der Reposition sinkt.¹ Dies ist der Fall bei chronischen, lange zurückliegenden Verletzungen, die unbehandelt blieben. Wenn im Rahmen von statischer karpaler Instabilität bereits fixierte Fehlstellungen bestehen, ist eine anatomische Reposition nicht mehr möglich. Patienten leiden vor allem unter Schmerzen, die durch arthrotische Prozesse und Reizzustände verursacht werden.

Es gilt, das Auftreten schwererer Schäden mittels sogenannter Rettungsoperationen, auch ablativ Verfahren genannt, zu verhindern. Eine Möglichkeit ist die Versteifung. Sie macht die physiologische Flexionsbewegung der proximalen Handwurzelreihe unmöglich. Dies wirkt dem karpalen Kollaps entgegen, da die Knochen und Bänder dauerhaft fixiert werden. Die Gelenke werden ruhiggestellt und die beteiligten Strukturen weniger gereizt. Fusionen führen zum Verlust der ursprünglichen Kinematik. Die Entstehung einer mediokarpalen Arthrose wird hinausgezögert und es kann eine Verminderung der Beschwerden erreicht werden. Es gibt verschiedene Arten von Handgelenksversteifungen.

Im Rahmen einer Vierecken-Arthrodese, auch als mediokarpale Arthrodese bezeichnet, werden Os capitatum, Os hamatum, Os lunatum und Os triquetrum miteinander verschraubt.²⁶

Die komplette Entfernung der proximalen Handwurzelreihe ist ein weiteres ablatives Verfahren. Sie wird als proximale Karpektomie bezeichnet und kann unter der Voraussetzung von gesunden Knorpelverhältnissen der Fossa lunata und intakter Gelenkfläche des Capitatumköpfchens durchgeführt werden. Der Erhalt einer Restbeweglichkeit wird angestrebt. Es wird ein neues Gelenk zwischen Radius und Capitatum geschaffen.²⁷



Abbildung 13: Zustand nach Entfernung der proximalen Handwurzelreihe



Abbildung 14: STT-Arthrose



Abbildung 15: STT-Fusion



Abbildung 16: Sieben Jahre postoperativ nach STT-Fusion

2 Ziele der SLAM-Studie

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der scapholunären Achsenmethode zur sekundären Rekonstruktion des SL-Bandes. Diese Arbeit soll einen Einblick in die OP-Technik, den postoperativen Verlauf sowie erste postoperative Ergebnisse liefern.

Folgende Hypothesen wurden aufgestellt:

1. Die SLAM-Technik ermöglicht bessere Ergebnisse bezüglich Beweglichkeit, Kraft und Schmerz als herkömmliche Operationsmethoden.
2. Durch die SLAM-Technik kann eine Wiederherstellung stabiler physiologischer Gelenkverhältnisse erzielt werden, indem eine achsgerechte Fixierung von Scaphoid und Lunatum erfolgt. Dies impliziert die Korrektur des SL-Winkels. Das OP-Ergebnis ist von langfristiger Dauer.
3. Objektive und subjektive Ergebnisse (DASH- und Mayo-Wrist-Scores) stimmen überein.

3 Material und Methoden

3.1 Design und Methoden der scapholunären Achsenmethode (SLAM)

3.1.1 Studiendesign SLAM

Das Ziel dieser Studie ist die Evaluation des Outcomes nach einer SLAM-Operation.

Es handelt sich hierbei um eine einarmige, monozentrische Beobachtungsstudie, die zum Vergleich bisherige Standardmethoden wie die von Brunelli, van den Abeele und Garcias-Elias im Sinne von historischen Kontrollen anhand a priori definierter Benchmarks heranzieht. Ein- sowie Ausschlusskriterien sind definiert.

Die Studienpatientenzahl beträgt insgesamt 27.

Diese Studie untersucht eine neue Technik zur sekundären Versorgung der dynamischen SL-Dissoziation im Handgelenk. Dabei wird ein Palmaris-longus-Sehnentransplantat im Lunatum verankert und durch eine Biotenodeseschraube am Scaphoid sowie die Sehnenschenkel am Lunatum und Capitatum fixiert. Nach 6 Wochen Ruhigstellung wird mit krankengymnastischer Therapie begonnen. Durch die achsengerechte Rekonstruktion soll ein möglichst gutes funktionelles Ergebnis erreicht werden. Nachuntersuchungszeitpunkte sind 3, 6, 12 und 24 Monate.

Der primäre Endpunkt umfasst das Bewegungsausmaß. Sekundäre Endpunkte umfassen Schmerzen, Kraft sowie DASH- und Mayo-Wrist-Scores.

Die Auswertung der DASH- und Mayo-Wrist-Scores erfolgt anhand der vorgegebenen Auswertungsroutinen. Die Studienergebnisse werden deskriptiv mittels Counts beziehungsweise Listings, Prozentangaben, Mittelwerten und Standardabweichungen, Medianen, Minimum-Maximum und Histogrammen dargestellt. Die Signifikanz wird mittels des P-Wertes $< 0,05$ angegeben. Der Zeitplan beträgt patientenbezogen ab Studieneinschluss 24 Monate. Das Prüfzentrum dieser Studie ist das Universitätsklinikum Regensburg.

3.1.2 Patientenkollektiv

Die SLAM-Operationen wurden im Zeitraum März 2013 bis Februar 2017 am Universitätsklinikum Regensburg in der Abteilung für Plastische, Hand- und Wiederherstellungschirurgie an 27 Patienten durchgeführt. Ein Patient wurde an beiden Händen operiert und deshalb als zwei individuelle Patienten gewertet. Die Patienten befanden sich jeweils bereits einige Monate im Voraus und während einer festgelegten Nachuntersuchungszeit in unserer handchirurgischen Behandlung.

Die Patienten wurden vor der Durchführung der Operation über die Studie informiert und wurden gebeten, je ein Informations- und Einverständnisdokument zu unterschreiben, um an der Studie teilnehmen zu können. Von den 27 operierten Patienten zeigten 4 Patienten postoperativ mangelhaftes Interesse an Nachuntersuchungen,

sodass deren Daten unvollständig erfasst wurden. Insgesamt war es möglich, von 21 Patienten ein 12-Monate-Follow Up sowie von 13 Patienten ein 24-Monate-Follow Up zu erheben. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Ergebnisauswertung des 12-Monate-Follow Ups. Insgesamt wurden mehr Männer als Frauen operiert. Der Anteil der weiblichen Patienten am Patientenkollektiv beträgt 11,1 %.

	Häufigkeit	Prozent
Weiblich	3	11,1
Männlich	24	88,9
Gesamt	27	100,0

Tabelle 1

Es handelt sich um ein Krankheitsbild des mittleren Alters. Im Mittel ergibt sich in unserem Patientenkollektiv ein Altersdurchschnitt von ca. 47 Jahren. Der jüngste Patient war zum Zeitpunkt der Operation 26, der älteste Patient 64 Jahre alt.

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Alter des Patienten	26	64	46,93	10,007

Tabelle 2

17 Patienten wurden an der linken Hand operiert, davon waren 13 Rechtshänder und 4 Linkshänder. 9 Patienten wurden an der rechten Hand operiert, davon waren 8 Rechtshänder und einer Linkshänder. 1 Patient wurde an beiden Händen operiert.

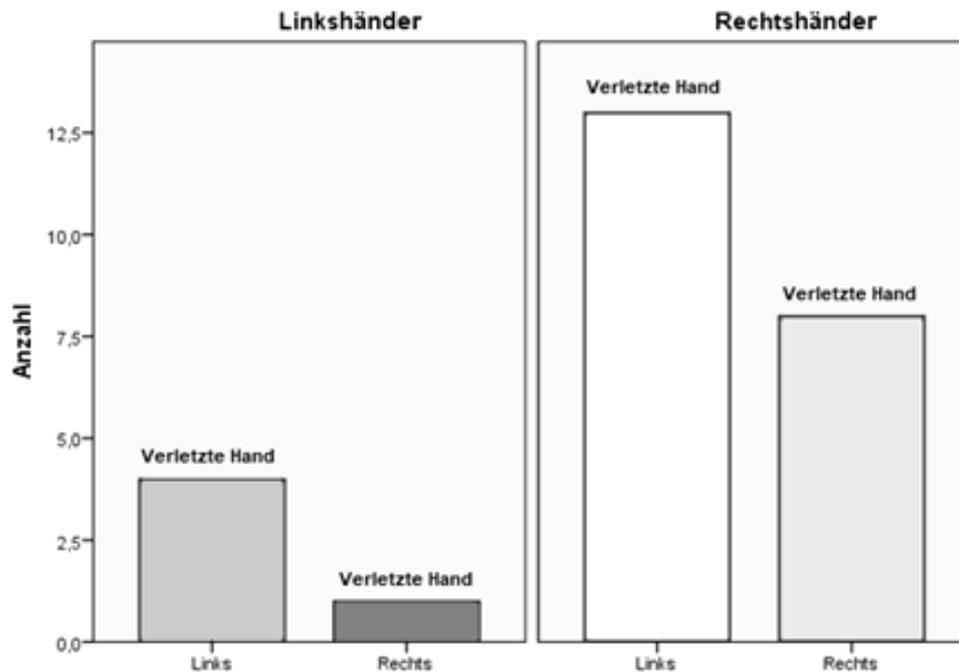


Abbildung 17: Verteilung der dominanten Seite und Interventionsseite des Patientenkollektivs

Die Patienten wurden anhand der Belastung der Hand durch den Beruf in drei Gruppen eingeteilt. Die meisten Patienten (44,4 %) führten eine Tätigkeit mit mittelschweren Handgelenksbelastungen aus. 18,5 % arbeiteten in Tätigkeiten mit leichter sowie 37,0 % in einem Beruf mit schwerer Handgelenksbelastung.

	Häufigkeit	Prozent
Leichte Belastung des Handgelenks	5	18,5
Mittlere Belastung des Handgelenks	12	44,4
Schwere Belastung des Handgelenks	10	37,0
Gesamt	27	100,0

Tabelle 3

Bei 44,4 % der Patienten handelte es sich um einen berufsgenossenschaftlichen Versicherungsfall, da die Verletzung im Arbeitsumfeld auftrat.

3.1.3 Einschlusskriterien

- Ältere (> 6 Wochen) dynamische scapholunäre Dissoziation
- Reponibilität der karpalen Knochen¹⁴
- Bereitschaft zur Teilnahme an der Studie (schriftliche Einverständniserklärung)
- Alter \geq 18 Jahre

3.1.4 Ausschlusskriterien

- Frische (< 6 Wochen) scapholunäre Dissoziation
- Statische scapholunäre Dissoziation
- Reposition der Karpalknochen nicht möglich
- Kleines Scaphoid/Lunatum (Frakturrisiko)
- Bereits stattgefundene scapholunäre Reparationsoperationen (Komplikationsrisiko)
- Mangelnde Compliance
- Sprachliches Unvermögen
- Alter < 18 Jahre

3.1.5 Studienprotokoll

Die Patienten wurden präoperativ gemäß eines einheitlichen Protokolls befragt und untersucht.

3.1.5.1 Anamnese

Erfragt wurden ein erinnerliches Trauma und die Erstbehandlung, bereits stattgefundene Operationen an betroffener Hand, die Art der Beschwerden, zum Beispiel Schnappen, Klicken oder Kraftverlust, sowie die Qualität der Schmerzen,

angegeben auf einer numerischen Ratingskala (NRS: 0-10); 0 bedeutet hierbei „kein Schmerz“, 10 bedeutet „unerträglicher Schmerz“.

3.1.5.2 Klinische Untersuchung

Hierbei wurden die Bewegungsausmaße des Handgelenks nach der Neutral-Null-Methode gemessen. Die Messung von Extension/Flexion, Radial-/Ulnardeviation und Supination/ Pronation fand im Sitzen statt. Die Kraftmessung erfolgte mittels eines Jamar-Dynamometers, jeweils dreimal im Seitenvergleich. Auch die Messung der Kraft fand im Sitzen statt. Bei manchen Patienten wurde zusätzlich der Watson-Test durchgeführt.

3.1.5.3 Bildgebung

Das Hauptaugenmerk wurde bei der Bildgebung auf Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen gelegt. Anhand des seitlichen Röntgenbildes wurde der SL-Winkel bestimmt, gemessen durch die Tangentialmethode. Bei manchen Patienten erfolgte zusätzlich eine Handgelenksarthroskopie.

3.1.5.4 DASH-Score und Mayo-Wrist-Score

Die Fragebögen ergänzten die objektive Datenerhebung und ermittelten die subjektive Situationsempfindung des Patienten hinsichtlich Bewegung, Kraft, Schmerz, Ausführung bestimmter Tätigkeiten, Einschränkung und Belastung im täglichen Leben.

Der DASH-Score ist ein Fragebogen für Patienten mit Funktionsstörungen der oberen Extremität.²⁸ Hierbei steht die Fähigkeit, mit der betroffenen Extremität eine bestimmte Tätigkeit auszuführen, im Fokus. Der DASH-Score fällt umso besser aus, je geringer

die Gesamtpunktzahl ist. Der Höchstwert beträgt 120 Punkte. Eine Abweichung von 10-15 Punkten gilt als klinisch relevant.²⁹

Der Mayo-Wrist-Score erfragt Schmerz, Zufriedenheit, Bewegungsumfang und Griffstärke des Patienten.³⁰ Hierbei fällt der Score umso besser aus, je höher das Ergebnis ist. Der Höchstwert beträgt 100 Punkte. Folgende Tabelle zeigt die Bewertung der Punktergebnisse:

Endergebnis Mayo-Wrist-Score	Befund
90-100	Sehr gut
80-89	Gut
65-79	Befriedigend
< 65	Schlecht

Tabelle 4

Die Auswertung der Fragebögen erfolgte gemäß Auswertungsmanual.

3.1.5.5 Follow Up

Postoperativ erfolgten in Abständen von 2 bis 6 Wochen postoperativ sowie nach 3, 6, 12 und 24 Monaten klinische Nachuntersuchungen. Hierbei wurden Bewegungsausmaße und Kraft im Seitenvergleich geprüft sowie die Schmerzqualität erfragt. Bei allen Terminen wurden konventionelle Röntgenbilder in 2 Ebenen aufgenommen. Zum Zeitpunkt der 6-, 12- und 24-Monats-Termine füllten die Patienten Fragebögen des DASH und Mayo-Wrist-Scores aus, sodass die Entwicklung der Symptome und Beschwerden aus subjektiver Sicht der Patienten erfasst und ein Vergleich mit den objektiv messbaren Ergebnissen gezogen werden konnte. Bei der 12-Monats-Kontrolle wurde zusätzlich eine Magnetresonanztomographie durchgeführt. Alle Untersuchungen fanden im Universitätsklinikum Regensburg in der Abteilung für Plastische, Hand- und Wiederherstellungschirurgie statt.

3.1.6 Operationstechnik der scapholunären Achsenmethode (SLAM)

Die SLAM-Operation erzielt eine mehrdimensionale Rekonstruktion des SL-Bandes mit Hilfe eines Sehnentransplantats, das entlang der zentralen Rotationsachse durch das Scaphoid und Lunatum gezogen wird. Eine SL-Band-Rekonstruktion sollte folgende Ziele erreichen können: Der dorsale Anteil des SL-Bands, der für die Stabilität und Funktion des Handgelenks eine Rolle spielt, wird wiederhergestellt. Die Knochen werden in ihre natürliche anatomische Position zurückgeführt, dabei stört keine eingebrachte Struktur die regelrechte Artikulation. Das Transplantat hat eine hohe Widerstandskraft. Optimale Bewegungsabläufe werden gewährleistet. Arthrotischen Veränderungen wird vorgebeugt.¹⁴

Die Operation erfolgt in Rückenlagerung und mit optischer Lupenbrillenvergrößerung. Der betroffene Arm wird auf einen Armtisch ausgelagert und eine Oberarmblutsperr angelegt. Die Entnahme der Palmaris-longus-Sehne (PL-Sehne) erfolgt vor Anlegen der Blutdruckmanschette, um die Blutsperrzeit von zwei Stunden nicht zu überschreiten. Im Bereich der palmaren Handgelenks-Racetta wird über der PL-Sehne eine ca. 5 mm lange Inzision durchgeführt. Die PL-Sehne wird dargestellt, mobilisiert und mit Hilfe eines Sehnen-Strippers minimal-invasiv entnommen. Alternativ können 30-50 % der Flexor-carpi-radialis-Sehne entnommen werden. Es ist darauf zu achten, eine Transplantatlänge von ca. 15 cm zu generieren.

Anschließend erfolgt das Auswickeln der Extremität mit der Esmarch-Binde und das Anlegen der Blutdruckmanschette auf 270 mmHg. Der Zugang zum Handgelenk erfolgt über eine geschwungene Hautinzision. Die Spaltung des Extensorenretinakulums erfolgt entlang der Extensor-pollicis-longus-Sehne über dem dritten Strecksehnenfach. Das Handgelenk wird über einen radial gestielten Kapsel-Lappen nach Berger-Bishop eröffnet. Die Gelenkkapsel wird eröffnet und der SL-Spalt dargestellt. Narbengewebe wird aus dem SL-Spalt entfernt, um ein Interponieren und eine damit verbundene insuffiziente Reposition zu vermeiden. Eine potentielle DISI-Fehlstellung und die SL-Dissoziation werden über zwei 1,2 mm durchmessende Kirscher-Drähte im Scaphoid und Lunatum korrigiert und die Reposition mit einer Krimmer-Zange aufrechterhalten.



Abbildung 18: Darstellung der SL-Dissoziation.

Der Zugang zur Platzierung des Zielbügels erfolgt über die Tabatière. Nach der Hautinzision wird unter Schonung des Ramus superficialis des Nervi radialis und der Arteria radialis in die Tiefe präpariert und die Kapsel über dem Scaphoid eröffnet. Die Platzierung des Zielbügels ist der entscheidende Schritt der Operation.

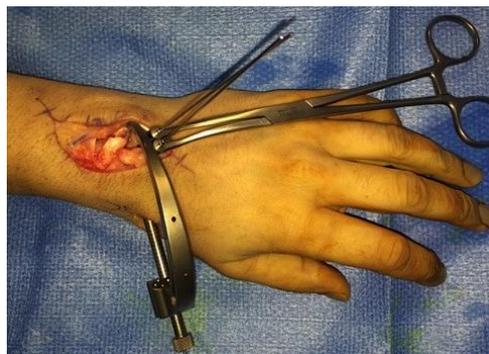


Abbildung 19: Nach anatomischer Reposition Stabilisierung durch Krimmerzange und Einführung des C-Zielbogens für die Bohrung

Der Eintrittspunkt ist mittig im Scaphoid am Übergang der knorpeltragenden zur nichtknorpeltragenden Fläche lokalisiert. Der korrespondierende Austrittspunkt am Lunatum ist am proximalen ulnaren Anteil lokalisiert. Flexion und Ulnarduktion des Handgelenkes erleichtert das Einhängen des Zielbügels am Lunatum und das Platzieren des K-Drahtes im Scaphoid und Lunatum. Es ist auf eine korrekte Platzierung zu achten, um ein Ausbrechen der Tenodeseschraube und eine Fehlbohrung nach mediokarpal zu vermeiden. Nach radiologischer Kontrolle erfolgt das Einbringen eines 1,6 mm durchmessenden Kirschner-Drahtes und das

Überbohren mit dem kanülierten Stufenbohrer. Das Sehnenransplantat wird in den Sehnenbulletanker (*graft anchor*) (Fa. Arthrex, Naples USA) eingeführt und mit einem Hammer in den Bohrkanal eingebracht.



Abbildung 20: Nach Bohrung entlang der SL-Achse Einbringen des Bullet-Ankers mit dem Sehnenransplantat.

Das Transplantat wird im Scaphoid durch eine *PEEK* Tenodese-Schraube gesichert (Fa. Arthrex, Naples USA).

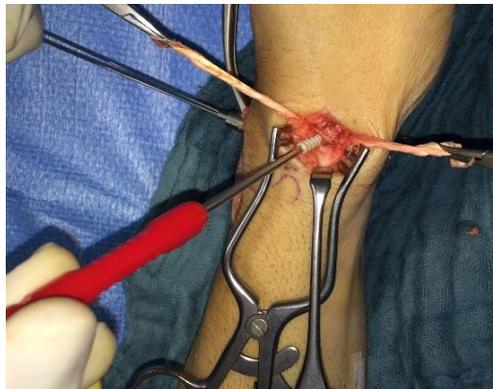


Abbildung 21: Einbringen der PEEK-Interferenz-Schraube am Scaphoid zur inneren Fixierung des Sehnenransplantates

Nach entsprechender Rekonstruktion erfolgen eine scapholunäre und scaphocapitale Transfixation mittels 1,4 bis 1,6 mm durchmessenden Kirschner-Drähten. Die Transplantatenden werden mit zwei Knochenankern in Lunatum und Capitatium fixiert. Somit wird einerseits einer SL-Dissoziation und andererseits einer Palmarverkipfung des Scaphoids entgegengewirkt.



Abbildung 22: Nach Fixierung in Lunatum und Scaphoid (innere Fixierung) werden die Sehnenenden an Lunatum und Capitatium mit einem Fadenanker fixiert (äußere Fixierung)

Der Wundverschluss erfolgt schrittweise mit Rekonstruktion der Gelenkkapsel und des Extensorenretinakulums.

Eine 6-wöchige postoperative Ruhigstellung in einem Daumen-umgreifenden Gipsverband ist erforderlich, um das Rekonstruktionsergebnis zu sichern. Danach werden die Kirschner-Drähte entfernt, nach weiteren 2 Wochen wird eine Physiotherapie begonnen. Im weiteren Verlauf können die Patienten in zügigen Schritten wieder ins Arbeitsleben eingegliedert werden.

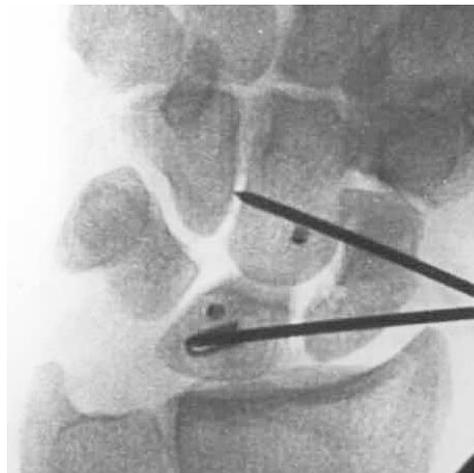


Abbildung 23: Röntgenbild ap postoperativ mit Transfixierung



Abbildung 24: Röntgenbild seitlich postoperativ

Die Verwendung von nicht resorbierbarem Nahtmaterial oder Tapes (*Fibre-loop*, *Suture Tape*) verbessert die Primärstabilität der Rekonstruktion. Dadurch kann dem Repositionsverlust entgegengewirkt werden. Somit werden langfristig gute Ergebnisse gewährleistet.

4 Ergebnisse

Alle Studienteilnehmer wurden mit der SLAM-Technik operiert. Unsere Studie präsentiert sich als Vorher-Nachher-Vergleich.

4.1. Beweglichkeit

Folgende Tabellen zeigen die Bewegungsausmaße des Handgelenks nach der Neutral-0-Methode in 3 Ebenen zu den Zeitpunkten präoperativ, 3, 6 und 12 Monate postoperativ, jeweils mit Mittelwert, Standardabweichung, 25. Perzentile, 50. Perzentile (= Median) und 75. Perzentile. Die Werte sind in Grad angegeben.

Bewegungsausmaße in drei Ebenen präoperativ

	Mittelwert	Standardabweichung	Perzentile		
			25	50	75
Extension	54,07	16,76	40,00	60,00	70,00
Flexion	51,11	19,82	40,00	50,00	65,00
Radialduktion	16,48	7,57	10,00	15,00	25,00
Ulnarduktion	31,30	12,76	20,00	30,00	40,00
Supination	80,19	17,07	75,00	90,00	90,00
Pronation	87,59	8,01	90,00	90,00	90,00

Tabelle 5

Bewegungsausmaße in 3 Ebenen 3 Monate postoperativ

	Mittelwert	Standardabweichung	Perzentile		
			25	50	75
Extension	36,00	12,667	25,00	40,00	42,50
Flexion	32,60	12,17	22,50	30,00	40,00
Radialduktion	17,00	12,08	10,00	10,00	20,00
Ulnarduktion	23,00	6,61	20,00	20,00	30,00
Supination	80,00	14,89	70,00	90,00	90,00
Pronation	88,96	4,17	90,00	90,00	90,00

Tabelle 6

Bewegungsausmaße in 3 Ebenen 6 Monate postoperativ

	Mittelwert	Standardabweichung	Perzentile		
			25	50	75
Extension	47,29	11,98	36,25	47,50	58,75
Flexion	43,33	13,49	30,00	40,00	50,00
Radialduktion	16,25	7,11	10,00	15,00	20,00
Ulnarduktion	29,38	8,64	25,00	30,00	38,75
Supination	81,25	13,45	70,00	90,00	90,00
Pronation	89,79	1,02	90,00	90,00	90,00

Tabelle 7

Bewegungsausmaße in 3 Ebenen 12 Monate postoperativ

	Mittelwert	Standardabweichung	Perzentile		
			25	50	75
Extension	52,73	12,22	40,00	50,00	61,25
Flexion	47,95	13,06	38,75	50,00	56,25
Radialduktion	18,18	7,80	10,00	20,00	20,00
Ulnarduktion	32,27	8,96	28,75	30,00	40,00
Supination	87,05	6,67	90,00	90,00	90,00
Pronation	89,77	1,07	90,00	90,00	90,00

Tabelle 8

Die Verminderung von Extension ($Z = -0,153$, $p = 0,878$) und Flexion ($Z = -0,044$, $p = 0,965$) sind gemäß Wilcoxon-Test nicht statistisch signifikant. Die Steigerung von Radialduktion ($Z = -1,06$, $p = 0,287$), Ulnarduktion ($Z = -1,02$, $p = 0,310$), Supination ($Z = -1,34$, $p = 0,181$) und Pronation ($Z = -1,63$, $p = 0,102$) sind gemäß Wilcoxon-Test ebenfalls nicht statistisch signifikant.

4.2 Kraft

Folgende Tabelle zeigt die Griffstärke des Handgelenks im Vergleich zur gesunden Gegenseite zum Zeitpunkt präoperativ, 3, 6, und 12 Monate postoperativ, jeweils mit Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum, 25. Perzentile, 50. Perzentile (= Median) und 75. Perzentile. Die Werte sind in Prozent angegeben.

Griffstärke im Vergleich zur Gegenseite

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
					25	50	75
Griffstärke präop	56,62	27,12	,38	100,00	46,50	57,00	76,50
Griffstärke 3 Mo	39,09	26,20	4	100	20,00	33,00	57,00
Griffstärke 6 Mo	62,58	26,67	15	118	50,00	63,00	76,75
Griffstärke 12 Mo	71,00	44,81	20	200	41,50	67,00	84,50

Tabelle 9

Die Griffstärke beträgt präoperativ gerundet durchschnittlich 57 % im Vergleich zur gesunden Gegenseite. 12 Monate postoperativ beträgt sie 71 %. Die Verbesserung der Griffstärke ist gemäß Wilcoxon-Test nicht statistisch signifikant ($Z = -1,70$, $p = 0,088$).

Griffstärke im Vergleich zur Gegenseite präoperativ

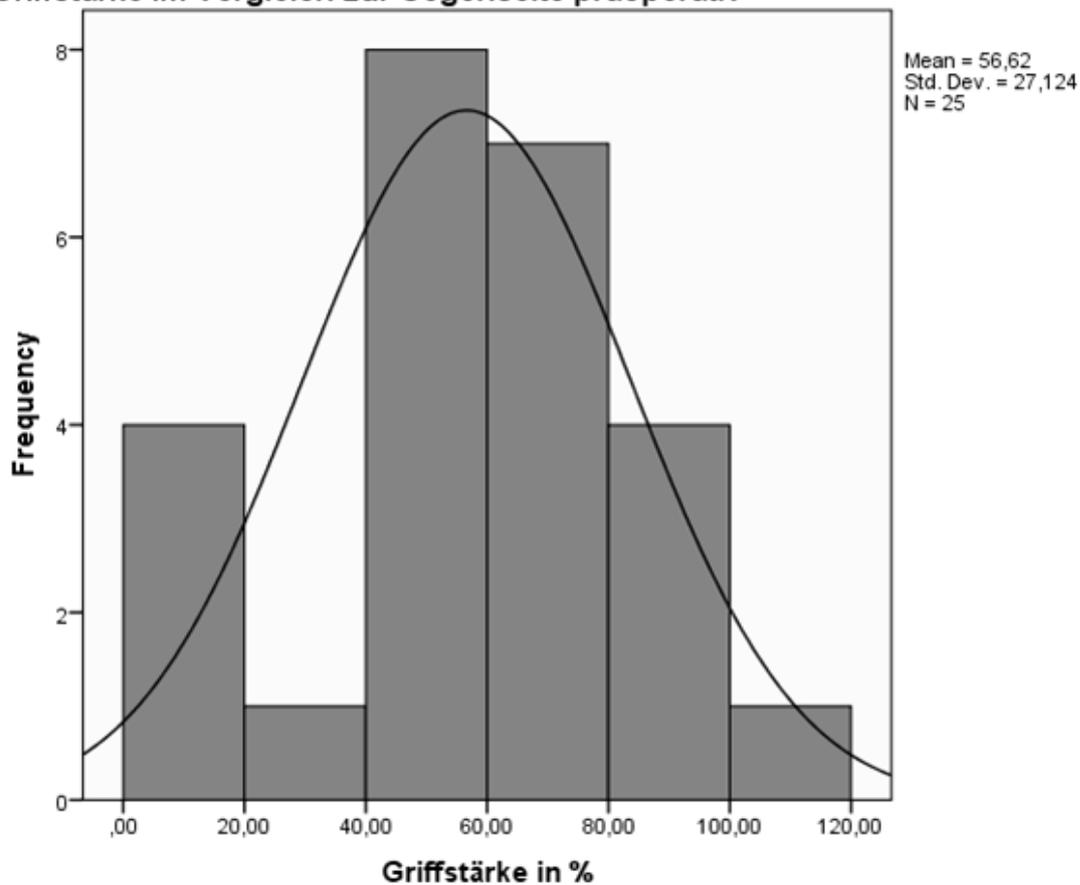


Abbildung 25: Verteilung der Griffstärke präoperativ

Griffstärke im Vergleich zur Gegenseite 12 Mo postoperativ

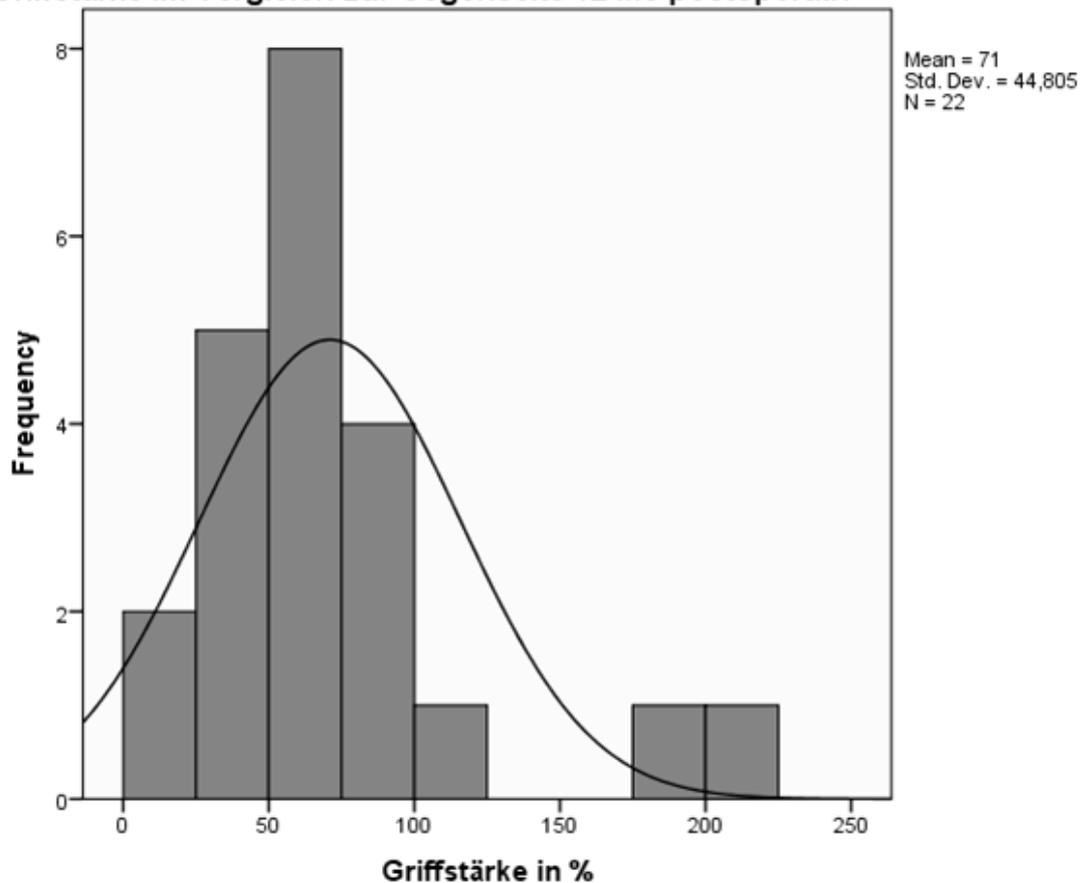


Abbildung 26: Verteilung der Griffstärke 12 Monate postoperativ

4.3 Schmerz

4.3.1 Ruheschmerz

Präoperativ geben 54,2 % der Patienten einen Wert von 0 auf der VAS an, 4,2 % den Wert 1, jeweils 16,7 % den Wert 3 und 4 sowie 8,3 % den Wert 8. Der Mittelwert beträgt 1,92 Punktwerte. 12 Monate postoperativ geben 81,8 % einen Wert von 0 an, jeweils 4,5 % den Wert 2, 3, 4 und 5. Der Mittelwert beträgt 0,64 Punktwerte.

Folgende Tabelle zeigt den Ruheschmerz zum Zeitpunkt präoperativ und 12 Monate postoperativ, je mit Mittelwert, Standardabweichung, 25. Perzentile, 50. Perzentile (= Median) und 75. Perzentile. Die Werte sind Punktwerte ohne Einheit und entsprechen den Punktwerten auf der visuellen Analogskala von 0-10.

Ruhschmerz

	Mittelwert	Standardabweichung	Perzentile		
			25	50	75
Schmerz präop	1,92	2,50	,00	,00	3,75
Schmerz 3 Mo	1,00	2,04	,00	,00	1,00
Schmerz 6 Mo	,96	1,76	,00	,00	1,75
Schmerz 12 Mo	,64	1,47	,00	,00	,00

Tabelle 10

Die Senkung des Ruhschmerzes ist gemäß Wilcoxon-Test statistisch signifikant ($Z = -2,89$, $p = 0,004$).

Ruhschmerz präoperativ

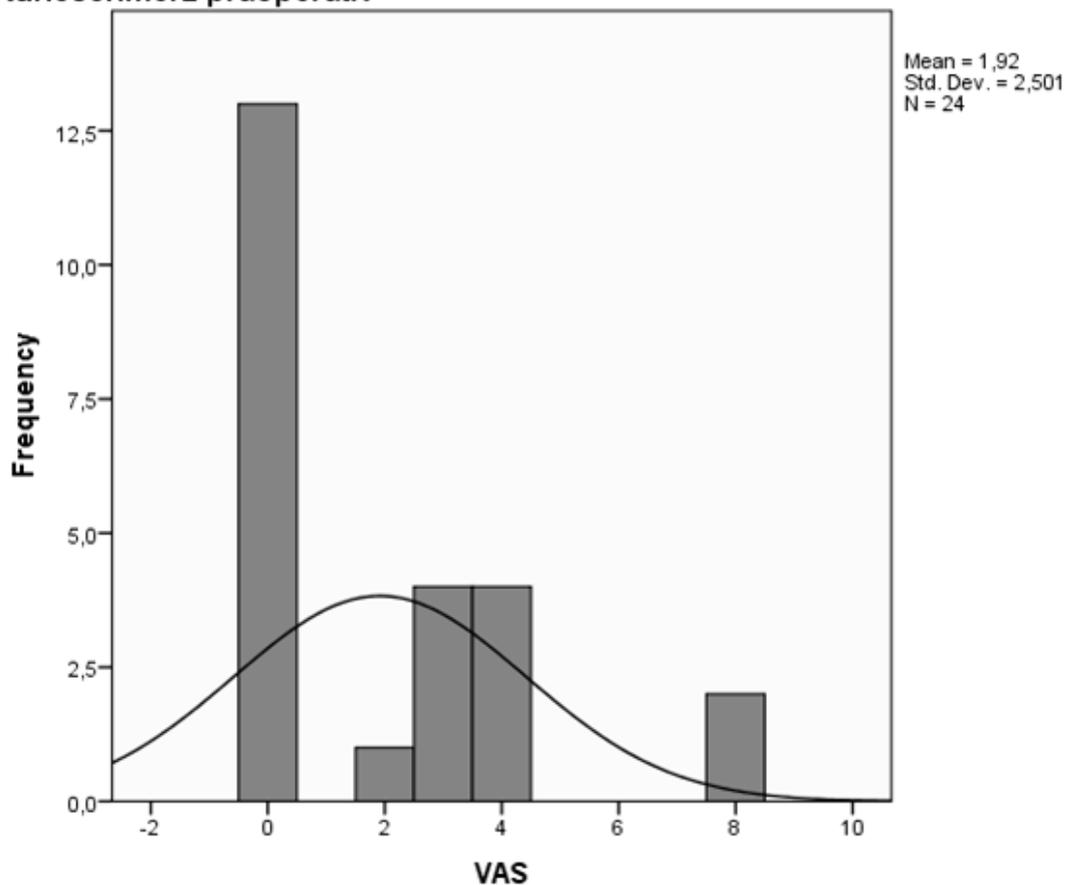


Abbildung 27: Verteilung des Ruhschmerzes präoperativ

Ruheschmerz zwölf Monate postoperativ

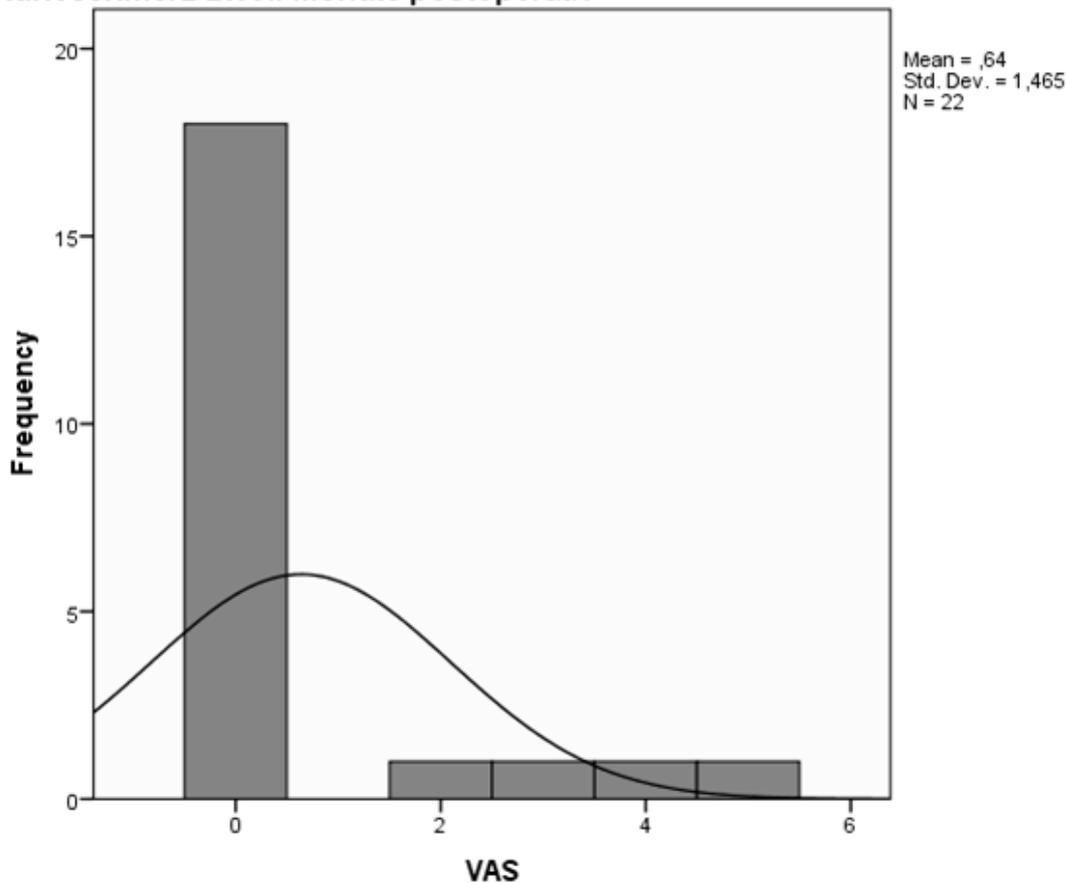


Abbildung 28: Verteilung des Ruheschmerzes 12 Monate postoperativ

4.3.2 Schmerz bei Belastung

Präoperativ geben 8,3 % der Patienten einen Wert von 0 auf der VAS an, jeweils 4,2 % die Werte 1 und 2, 12,5 % den Wert 3, 8,3 % den Wert 4, jeweils 20,8 % die Werte 6 und 8, 12,5 % den Wert 7 und jeweils 4,2 % den Wert 9 und 10. Der Mittelwert beträgt $5,42 \pm 2,858$. 12 Monate postoperativ geben 22,7 % den Wert 0 an, jeweils 18,2 % die Werte 1 und 2, 13,6 % den Wert 3 und jeweils 9,1 % die Werte 4, 6 und 8. Der Mittelwert beträgt $2,59 \pm 2,501$.

Folgende Tabelle zeigt den Belastungsschmerz zum Zeitpunkt präoperativ und 12 Monate postoperativ, jeweils mit Mittelwert, Standardabweichung, 25. Perzentile, 50. Perzentile (= Median) und 75. Perzentile. Die Werte sind Punktwerte ohne Einheit.

Belastungsschmerz

	Mittelwert	Standardabweichung	Perzentile		
			25	50	75
Schmerz präop	5,42	2,86	3,00	6,00	8,00
Schmerz 3 Mo	3,83	2,93	1,25	3,00	7,00
Schmerz 6 Mo	3,46	2,30	2,00	3,00	5,00
Schmerz 12 Mo	2,59	2,50	,75	2,00	4,00

Tabelle 11

Die Senkung des Belastungsschmerzes ist gemäß Wilcoxon-Test statistisch signifikant ($Z = -3,59$, $p = 0,000$).

Schmerz bei Belastung präoperativ

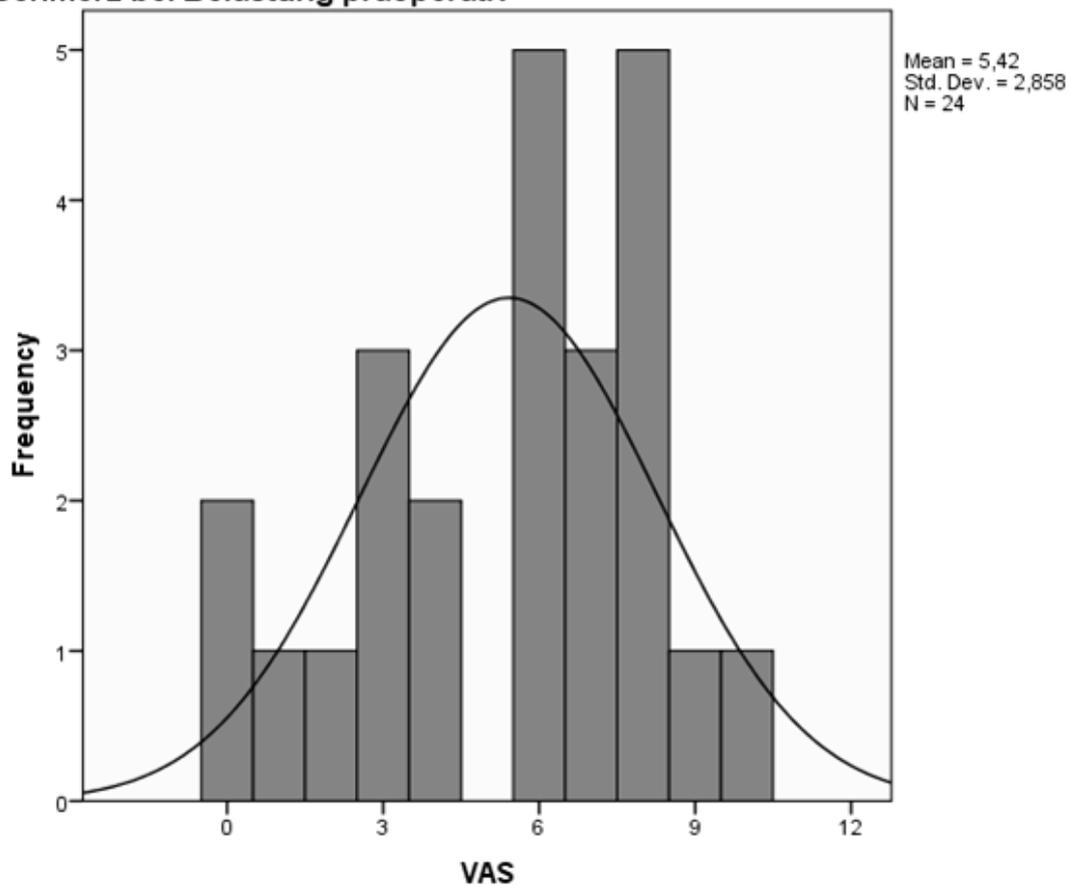


Abbildung 29: Verteilung des Belastungsschmerzes präoperativ

Schmerz bei Belastung 12 Mo postoperativ

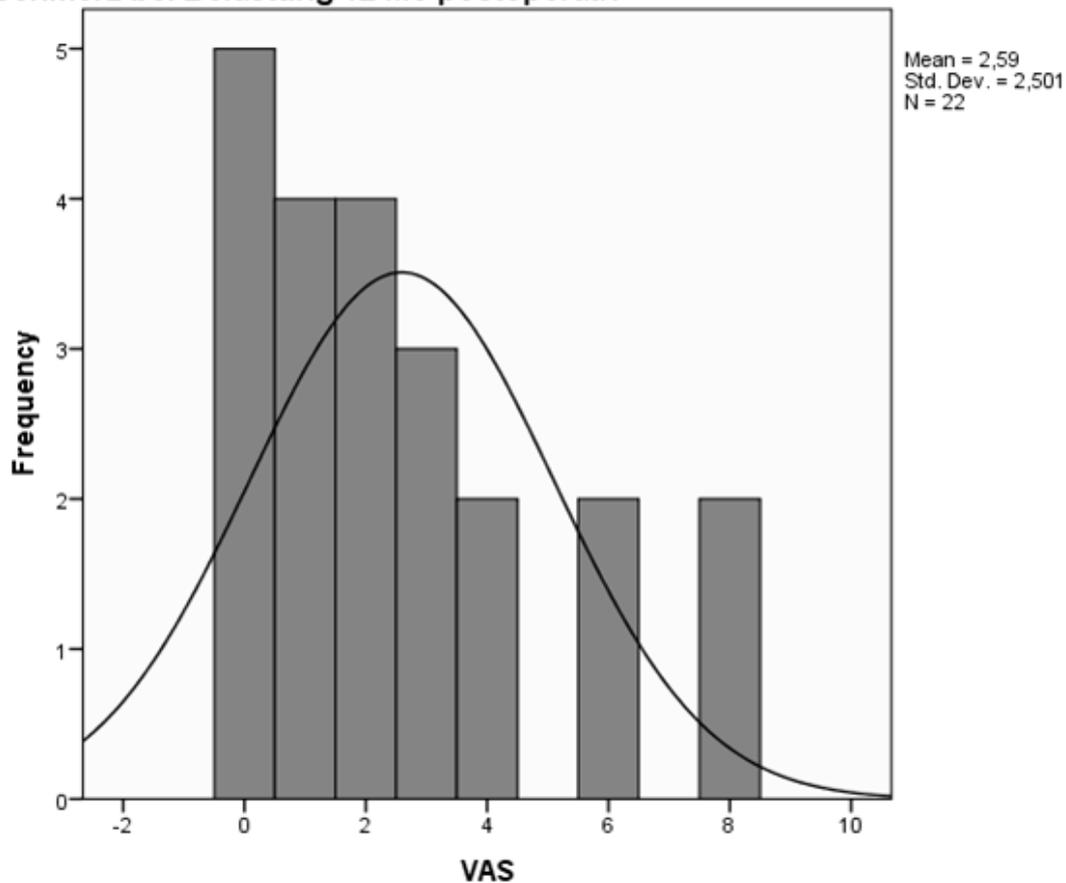


Abbildung 30: Verteilung des Belastungsschmerzes 12 Monate postoperativ

4.4 DASH-Score

Das Ergebnis des DASH-Scores konnte von durchschnittlich 75,00 präoperativ auf 48,91 zwölf Monate postoperativ gesenkt werden. Folgende Tabelle zeigt den DASH-Score zum Zeitpunkt präoperativ, 6 und 12 Monate postoperativ, jeweils mit Mittelwert, Standardabweichung, 25. Perzentile, 50. Perzentile (= Median) und 75. Perzentile. Die Werte sind Punktwerte ohne Einheit.

DASH-Score

	Mittelwert	Standardabweichung	Perzentile		
			25.	50.	75.
DASH präop	75,00	20,40	54,50	78,50	90,50
DASH 6 Mo	58,50	18,54	41,25	57,00	75,50
DASH 12 Mo	48,91	19,85	31,75	45,50	68,75

Tabelle 12

Die Senkung des DASH-Scores ist gemäß Wilcoxon-Test statistisch signifikant ($Z = -3,784$, $p = 0,000$).

4.5 Mayo-Wrist-Score

Der Mayo-Wrist-Score konnte von 36,54 präoperativ auf 62,73 12 Monate postoperativ gehoben werden. Folgende Tabelle zeigt den Mayo-Wrist-Score zu den Zeitpunkten präoperativ sowie 6 und 12 Monate postoperativ, jeweils mit Mittelwert, Standardabweichung, 25. Perzentile, 50. Perzentile (= Median) und 75. Perzentile. Die Werte sind einfache Punktwerte ohne Einheit.

Mayo-Wrist-Score

	Mittelwert	Standardabweichung	Perzentile		
			25.	50.	75.
Mayo präop	36,54	21,25	20,00	35,00	46,25
Mayo 6 Mo	62,71	17,94	55,00	62,50	75,00
Mayo 12 Mo	62,73	16,60	48,75	67,50	75,00

Tabelle 13

Die Steigerung des Mayo-Wrist-Scores ist gemäß Wilcoxon-Test statistisch signifikant ($Z = -3,749$, $p = 0,000$).

4.6 Patientenzufriedenheit

Die Patienten wurden zum Zeitpunkt 12 Monate postoperativ befragt, ob sie sich im Bewusstsein der Behandlungserfahrung noch einmal operieren lassen würden.

Des Weiteren sollten Sie die Verbesserung ihrer Gesundheit im Vergleich zu präoperativ einschätzen. Antwortmöglichkeiten waren: „schlechter als vorher“, „Verbesserung“, „gute Verbesserung“ und „sehr gute Verbesserung“.

Würde sich Patient nochmal operieren lassen? Zeitpunkt 12 Mo postoperativ

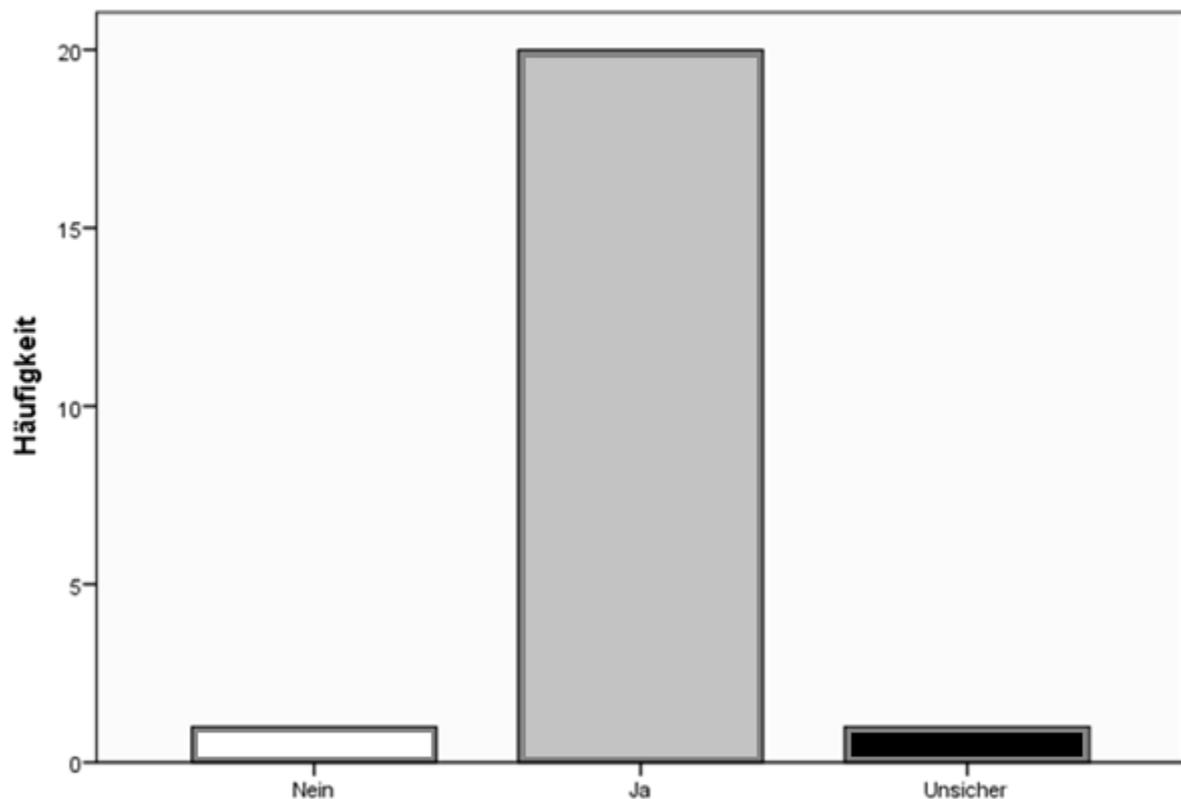


Abbildung 31: Verteilung der Bereitschaft zu erneuter Operation

Verbesserung der Gesundheit 12 Mo postoperativ

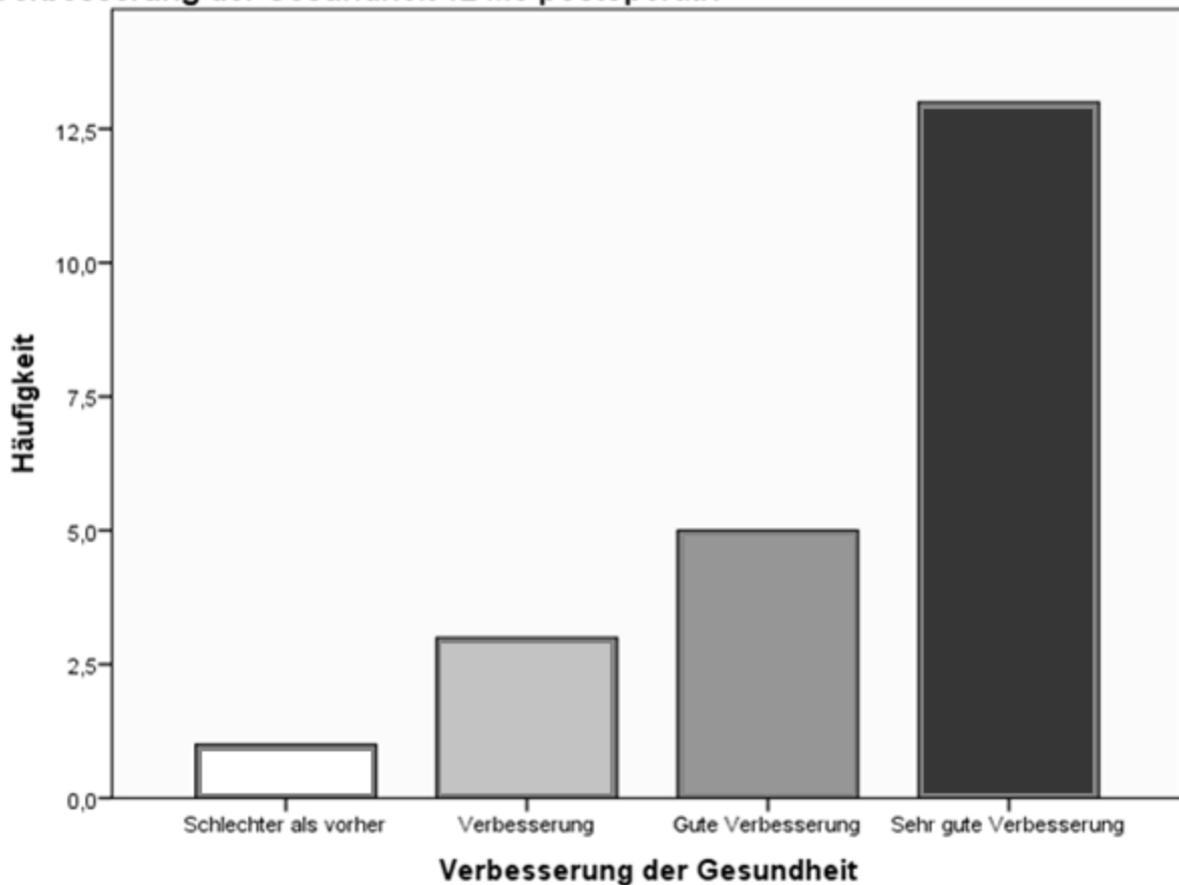


Abbildung 32: Verteilung der subjektiven Verbesserung des Gesundheitszustands

4.7 Scapholunärer Winkel (SL-Winkel)

Der SL-Winkel beträgt präoperativ durchschnittlich $77,4^\circ$. Postoperativ ist er mit $69,6^\circ$ vermindert. 12 Monate postoperativ zeigt sich der Mittelwert mit $75,9^\circ$ wieder vergrößert.

Folgende Tabelle zeigt den SL-Winkel zu den Zeitpunkten präoperativ sowie postoperativ und 12 Monate postoperativ, jeweils mit Mittelwert, Standardabweichung, 25. Perzentile, 50. Perzentile (= Median) und 75. Perzentile. Die Werte sind in Grad angegeben.

SL-Winkel

	Mittelwert	Standardabweichung	Perzentile		
			25.	50.	75.
SL-Winkel präoperativ	77,43	16,69	62,00	84,00	90,00
SL-Winkel postoperativ	69,60	29,41	52,00	71,00	85,50
SL-Winkel 12 Mo postoperativ	75,88	20,46	59,25	79,00	91,00

Tabelle 14

Die Ergebnisse des SL-Winkels sind gemäß Friedman-Test statistisch signifikant (Chi-Quadrat = 6,189 , $p = 0,045$).

SL-Winkel präoperativ

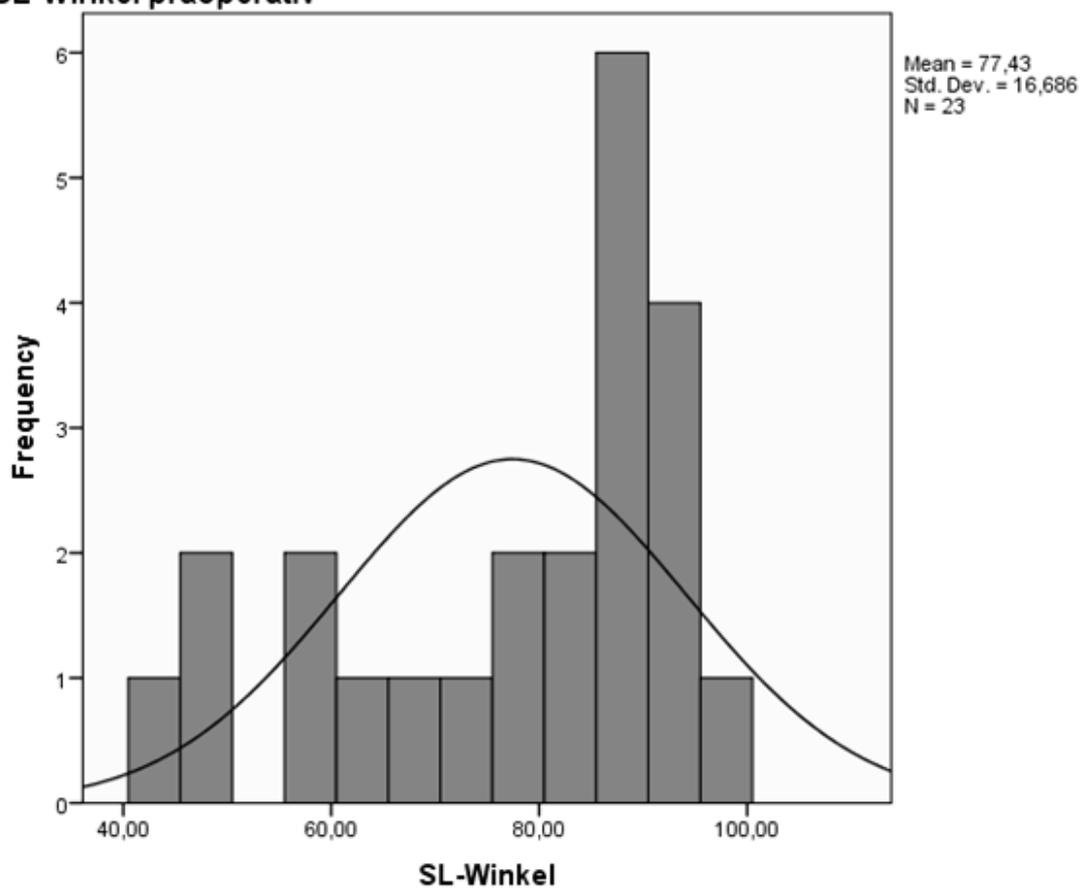


Abbildung 33: Verteilung des SL-Winkels präoperativ

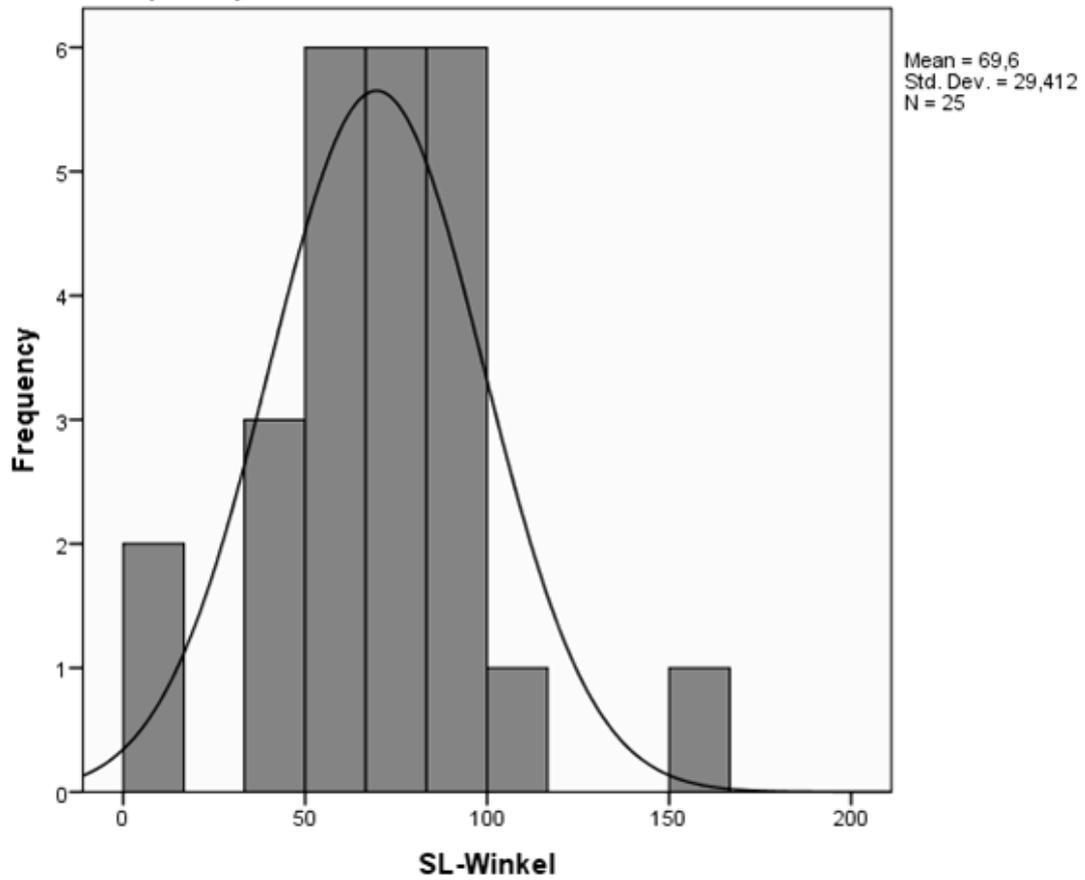
SL-Winkel postoperativ

Abbildung 34: Verteilung des SL-Winkels postoperativ

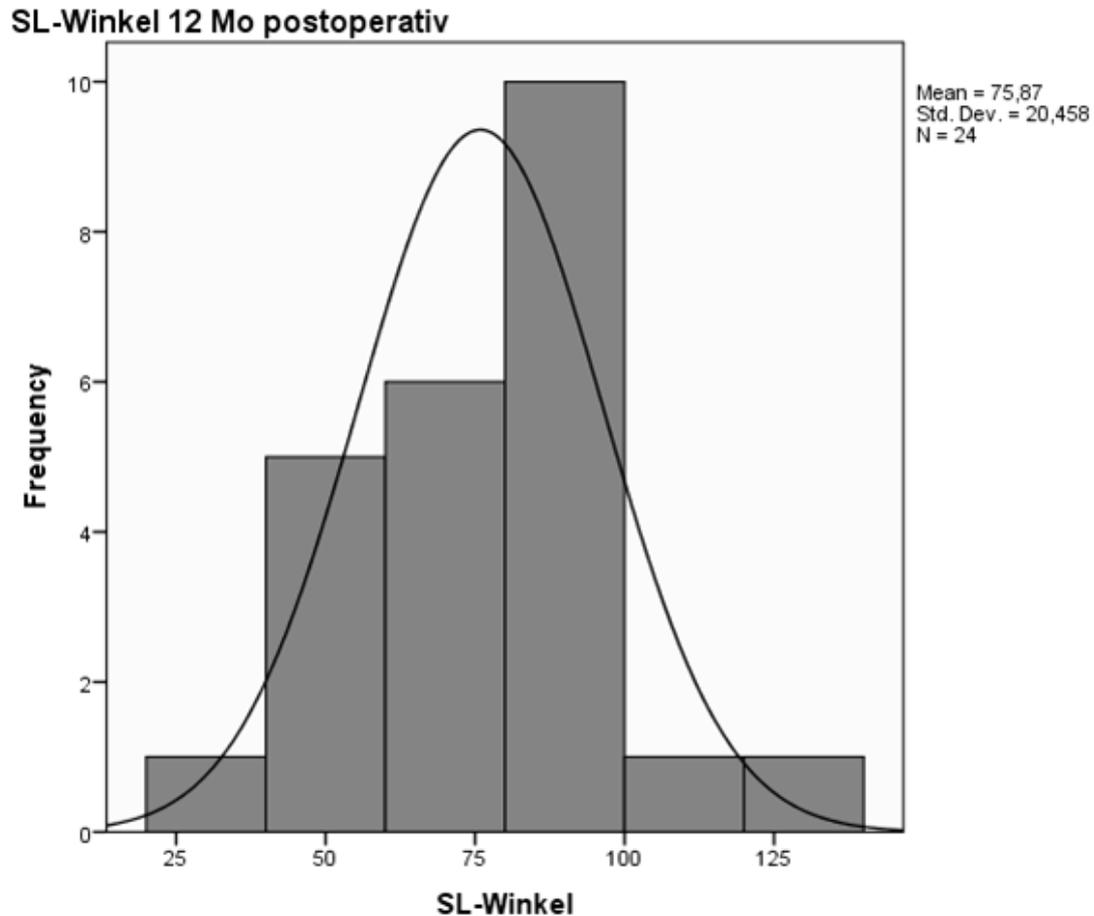


Abbildung 35: Verteilung des SL-Winkels 12 Monate postoperativ

4.8 Komplikationen

Weder intraoperativ noch postoperativ traten Komplikationen auf. Drei Monate postoperativ klagte ein Patient (3,7 %) über gelegentliche Schwellung im Bereich des Handgelenks, vier Patienten (14,8 %) über ein noch vorhandenes Taubheitsgefühl. Wundheilungsstörungen traten bei keinem Patienten auf.

5 Diskussion

Die scapholunäre Bandläsion ist die häufigste karpale Bandverletzung und führt unbehandelt zu schwerwiegenden arthrotischen Veränderungen. Im Rahmen des initialen Traumas wird die Verletzung oftmals übersehen, sodass den sekundären Rekonstruktionsverfahren ein hoher Stellenwert eingeräumt werden muss. Die bisher praktizierten sekundären Rekonstruktionsverfahren gewährleisten jedoch Schmerzfreiheit und Stabilität nur auf Kosten der Beweglichkeit und Kraft.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein neues Verfahren zur sekundären SL-Band-Rekonstruktion zu prüfen, das eine möglichst anatomische Rekonstruktion der Bandverhältnisse ermöglicht.

Der innovative Charakter der SL-Band-Rekonstruktion mit der SLAM-Technik besteht in der mehrdimensionalen und anatomischen SL-Band-Rekonstruktion. Im Rahmen dieses Rekonstruktionsverfahrens wird die Palmaris-longus-Sehne mittig durch das Scaphoid gezogen und im Lunatum verblockt. So wird eine achsengerechte Fixierung der beiden Handwurzelknochen erreicht und zusätzlich am Lunatum und am Capitatum mit einem kleinen Knochenanker fixiert. Durch diese mehrdimensionale Rekonstruktion wird ein palmares Aufklappen des Lunatums und des Scaphoids vermieden, wie es bei den rein dorsalen Rekonstruktionsverfahren auftritt. Zusätzlich wird eine Destabilisierung des Handgelenks, wie sie bei anderen Verfahren durch Schwächung der FCR-Sehne vorkommt, vermieden. Die Fixierung eines Sehnentransplantates am Capitatum wirkt zusätzlich der Palmarverkipfung des Scaphoids entgegen und stellt somit eine Neuerung im Vergleich zur Technik nach Yao dar.¹⁴ Die Rekonstruktion ermöglicht einerseits die Wiederherstellung der anatomischen Verhältnisse der Handwurzelknochen und stellt andererseits durch die Verankerung auf dem dorsalen Lunatum den für die Funktion des SL-Bands wichtigsten dorsalen Anteil wieder her. Durch diese doppelte Verbindung werden Scaphoid und Lunatum bei deren natürlichen Bewegungen unterstützt, gleichzeitig die biologische Funktion des SL-Bandes erfüllt und das Scaphoid vor dorsaler Subluxation, Flexion und Pronation bewahrt.

Die Ergebnisse der SLAM-Studie zeigen eine Verbesserung von Radial- und Ulnarduktion, Supination und Pronation sowie eine minimale Verschlechterung von

Extension und Flexion. Diese Ergebnisse sind nicht statistisch signifikant. Eine Verbesserung des präoperativen Zustands konnte teilweise erzielt werden. Bei der Beurteilung der Bewegungsausmaße müssen minimale Messfehler aufgrund der Untersuchervarianz berücksichtigt werden.

Laut Wyrick und Mitarb. waren mit der Kapsulodese die Bewegungsausmaße postoperativ unzureichend mit 60 % im Vergleich zur gesunden Hand.³¹ In der 2002 von F. Busse und Mitarb. veröffentlichten Studie zur dorsalen Kapsulodese wurde ermittelt, dass die Beweglichkeit starke Einbußen von 32 % in Extension und Flexion und 19 % in Radial- und Ulnarduktion machte. Insgesamt war die Flexion mit 13° postoperativ mehr eingeschränkt als die Extension mit 6°.¹⁸ Auch Moran und Mitarb. konnten 2005 postoperativ eingeschränkte Bewegungsausmaße bezüglich Extension/Flexion mit nur 60-70 % im Vergleich zur Gegenseite feststellen.³² Moran und Mitarb. veröffentlichten 2006 eine weitere Studie, deren Ziel es war, die dorsale Kapsulodese mit der Drei-Ligament-Tenodese von Garcia-Elias zu vergleichen.³³ Die postoperative Beweglichkeit des Handgelenks wurde in der Gruppe der Kapsulodese mit 64 % im Vergleich zur Gegenseite angegeben, in der Gruppe der Tenodese mit 63 %. Die SLAM präsentiert sich im Vergleich zu diesen Studien mit besseren Ergebnissen.

Weiss und Mitarb. veröffentlichten 1998 eine Studie über 14 Patienten mit statischer SL-Instabilität von Grad I-V.³⁴ Die Nachuntersuchungszeit betrug 43 Monate. Die Beweglichkeit war postoperativ bei allen Patienten geringfügig reduziert, die Extension lag im Schnitt bei 52°, die Flexion bei 76°, Radialduktion bei 9° und Ulnarduktion bei 19°. Van Kampen und Mitarb. führten eine Studie über das Capitato-Hamatum-Transplantat als Ersatz für den scapholunären Komplex durch, allerdings nur mit einer Patientenzahl von 12.²¹ Die Ergebnisse wurden 2015 veröffentlicht. Hierbei zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen prä- und postoperativer Extension/Flexion und Radial-/Ulnarduktion. Die SLAM-Technik erzielt im Vergleich zu diesen Studien abgesehen von der Flexion insgesamt bessere Ergebnisse.

Brunelli veröffentlichte 1995 eine Studie mit 13 Patienten über seine Rekonstruktionstechnik des SL-Bandes.²³ Die Nachuntersuchungszeit betrug 6 bis 24 Monate. Hierbei präsentierten sie eine postoperative Flexion zwischen 30 % und 60 % im Vergleich zur gesunden Gegenseite. Van den Abeele und Garcia-Elias modifizierten die Brunelli-Methode, um einen Flexionsverlust zu vermeiden.^{24,25}

Garcia-Elias und Mitarb. zeigten in ihrer 2006 publizierten Studie über die sogenannte Drei-Ligament-Tenodese die Ergebnisse ihrer Operationsmethode anhand von 38 Patienten auf.²⁵ Das durchschnittliche Follow Up betrug 46 Monate. Postoperativ zeigte sich eine durchschnittliche Extension von 77 %, Flexion von 74 %, Radialduktion 78 % von und Ulnarduktion von 92 % im Vergleich zur Gegenseite. Talwalkar und Mitarb. veröffentlichten eine Studie mit 162 Patienten, an denen die Drei-Ligament-Tenodese durchgeführt wurde.³⁵ Hierbei betrug die Extension im Vergleich zur Gegenseite 80 %, die Flexion 69 %. Die Ergebnisse sind somit grob vergleichbar mit denen von Garcia-Elias. Auch die modifizierte Brunelli-Methode (MBT) von van den Abeele und Mitarb. vermeidet ein Überqueren des radiokarpalen Gelenkspalts.²⁴ Van den Abeele und Mitarb. veröffentlichten 1998 eine Studie dazu. Die Patientenzahl betrug 22 und das durchschnittliche Follow Up dauerte 9 Monate. Präoperativ lag die Extension im Schnitt bei 61°, die Flexion bei 51°, die Radialduktion bei 26° und die Ulnarduktion bei 20°. Postoperativ lag die Extension im Schnitt bei 49°, die Flexion bei 42°, die Radialduktion bei 30° und die Ulnarduktion bei 19°. Die SLAM erzielt eine Verbesserung von Supination, Pronation, Radial- und Ulnarduktion sowie eine deutlich geringere Reduktion von Extension und Flexion. Auch insgesamt erreicht die SLAM bessere Endergebnisse als der Methode von van den Abeele.

Chabas und Mitarb. beobachteten zur modifizierten Brunelli-Methode ein Patientenkollektiv über den Zeitraum von drei Jahren und berichteten 2008 über das Erreichen von 75 % Extension und 73 % Flexion im Vergleich zur Gegenseite.³⁶ Nienstedt führte eine Studie zur modifizierten Brunelli-Methode durch und veröffentlichte 2013 die Ergebnisse von 8 Patienten während einer durchschnittlichen Follow Up-Periode von 13,8 Jahren.³⁷ Die durchschnittliche Beweglichkeit betrug postoperativ insgesamt 85 % im Vergleich zur Gegenseite.

Allen Tenodese-Verfahren gemeinsam ist eine deutliche Reduktion der Beweglichkeit. Im Vergleich dazu zeigt sich bei der SLAM-Technik eine Verbesserung von Supination, Pronation, Radial- und Ulnarduktion sowie eine minimale Reduktion von Extension und Flexion, die im Vergleich zu anderen Studien deutlich geringer ausfällt. Die SLAM erhält die Funktionalität des Handgelenks demnach besser als herkömmliche Tenodese-Techniken.

Meier und Mitarb. veröffentlichten 2002 eine Studie über 111 Patienten mit STT-Fusion (Scaphoid, Trapezium, Trapezoideum).³⁸ Extension und Flexion betrug im Schnitt

81 % im Vergleich zum präoperativen Wert, Radial- und Ulnarduktion 68 %. Koehler und Mitarb. publizierten 2017 die Ergebnisse ihrer Studie über 40 Patienten mit mediokarpaler Arthrodese.²⁶ Extension und Flexion betragen 87,5 % im Vergleich zu präoperativ, Radial- und Ulnarduktion mit 120 % sogar mehr als präoperativ. Baumeister und Mitarb. veröffentlichten 2004 Ergebnisse von 38 Patienten mit proximaler Karpektomie. Extension und Flexion betragen postoperativ im Schnitt 57 % im Vergleich zur gesunden Gegenseite, Radial- und Ulnarduktion 52 %.³⁹ Es handelt sich hierbei jeweils um ablative Verfahren, die mit einem Verlust der Funktionalität einhergehen. Die SLAM erzielt auch hier bessere Ergebnisse hinsichtlich der Beweglichkeit.

Zusammenfassend führt die dorsale Kapsulodese in vier Studien zu nicht akzeptablen Einschränkungen der Beweglichkeit, insbesondere der Extension und Flexion. Die Knochen-Ligament-Knochen-Rekonstruktion hingegen vermerkt in zwei Studien eine geringfügige beziehungsweise keine Verschlechterung der Beweglichkeit. Die Brunelli-Methode birgt eine deutliche Flexionsminderung, die modifizierte Brunelli-Methode zeigt in fünf Publikationen der Kapsulodese überlegene Ergebnisse hinsichtlich der Beweglichkeit, jedoch insgesamt eine Verschlechterung der Beweglichkeit. Arthrodosen führen, da sie eine Versteifung herbeiführen, zu Bewegungseinschränkungen. Diese zeigen sich vor allem bei der proximalen Karpektomie, ansonsten sind die Einschränkungen für ablative Verfahren durchaus akzeptabel.

Die meisten Studien präsentieren die Ergebnisse der Bewegungsausmaße im Vergleich zur gesunden Gegenseite. Da im Rahmen der SLAM-Studie ausschließlich ein Vorher-Nachher-Vergleich ohne Einbezug der Gegenseite durchgeführt wurde, sind die Werte der SLAM begrenzt mit den beschriebenen OP-Methoden vergleichbar.

Insgesamt zeigt sich jedoch, dass die SLAM hinsichtlich Erhalt der Beweglichkeit bessere Ergebnisse erreicht als die dorsale Kapsulodese, herkömmliche Tenodese-Techniken sowie Arthrodese-Verfahren, die allesamt Einbußen der Funktionalität vermerken. Die SLAM erzielt eine Verbesserung von Radialduktion, Ulnarduktion, Supination und Pronation sowie eine minimale Verschlechterung von Extension und Flexion, die deutlich geringer ausfällt als bei anderen Studien.

Die Kraft konnte im Vergleich zum präoperativen Zustand deutlich gesteigert werden. Das Ergebnis ist nicht statistisch signifikant. Dennoch ist eine positive Tendenz

erkennbar. Dieser Effekt ist besonders hervorzuheben, da die Beurteilung der Kraft am Dynamometer eine äußerst objektive Variable darstellt und auch indirekt Rückschlüsse auf die Schmerzen der Hand zulässt. Die Kraftentfaltung ist drei Monate postoperativ zwar zunächst schwächer als präoperativ, verbessert sich aber in den folgenden neun Monaten stetig. Die primäre Verschlechterung kann auf postoperative Schmerzen und Immobilisation sowie daraus folgende Schonhaltung sowie Muskelatrophie zurückgeführt werden. Die Kraftsteigerung im Verlauf kann als Folge von Physio- und Ergotherapie sowie Muskeltraining gesehen werden. Der sekundäre Endpunkt der SLAM-Studie wurde bewusst auf den Zeitpunkt zwölf Monate postoperativ gelegt, um von Schmerz und Immobilisation negativ beeinflusste Werte im Endergebnis zu vermeiden.

Busse und Mitarb. zeigten in ihrer Studie von 2002 über die dorsale Kapsulodese keinen Unterschied zwischen der prä- und postoperativen Kraft.¹⁸ In dem 2006 von Moran und Mitarb. publizierten Vergleich zwischen der Kapsulodese und der Drei-Ligament-Tenodese von Garcia-Elias wurde gezeigt, dass die Kraft nach der Kapsulodese 91 % im Vergleich zur Gegenseite betrug, nach der Tenodese 87 %.³³ Die SLAM erzielt also deutlich bessere Ergebnisse als die Kapsulodese.

In der von Weiss und Mitarb. zur Knochen-Ligament-Knochen-Rekonstruktion veröffentlichten Studie verbesserte sich die Kraft bei den schmerzfreien Patienten postoperativ um 46 %, bei den nicht schmerzfreien um 30 %.³⁴ Van Kampen und Mitarb. konnten in ihrer Studie über das Capitato-hamatum-Transplanat als Ersatz für den scapholunären Komplex 2015 keinen Unterschied zwischen der prä- und postoperativen Griffstärke zeigen.²¹ Die SLAM erreicht etwas niedrigere Werte als Weiss, jedoch deutlich bessere Werte als Van Kampen und Mitarb.

In der Tenodese-Technik nach Brunelli betrug die Griffstärke postoperativ zwar 35 % weniger als die der anderen Hand, verbesserte sich durchschnittlich jedoch um 50 % im Vergleich zum präoperativen Wert.²³ Talwalkar und Mitarb. berichteten in ihrer Studie zur Drei-Ligament-Tenodese von einer postoperativen Griffstärke von 80 % im Vergleich zur gesunden Gegenseite.³⁵ Van den Abeele und Mitarb. zeigten mit ihrer modifizierten Brunelli-Methode gleichbleibende Ergebnisse der Kraft mit sowohl prä- als auch postoperativ durchschnittlich 58 % im Vergleich zur Gegenseite.²⁴ Garcia-Elias und Mitarb. erreichten eine postoperative Kraft von im Schnitt 65 % im Vergleich zur Gegenseite.²⁵ Chabas und Mitarb. berichteten in ihrer Studie zur MBT 2008 von

einer postoperativen Griffstärke von 78 % im Vergleich zur Gegenseite.³⁶ Nienstedt konnte in seiner Studie zur modifizierten Brunelli-Methode eine durchschnittliche postoperative Kraft von 85 % im Vergleich zur Gegenseite zeigen.³⁷ Insgesamt sind die Ergebnisse der Tenodese-Techniken sehr heterogen.

Nach einer STT-Arthrodese betrug die Griffstärke in der Studie von Meier und Mitarb. 65 % der gesunden Gegenseite.³⁸ Baumeister und Mitarb. veröffentlichten 2004 in ihrer Studie zur proximaler Karpektomie eine durchschnittliche postoperative Griffstärke von 50 % im Vergleich zur Gegenseite.³⁹

Zusammenfassend kann die Kapsulodese akzeptable Ergebnisse hinsichtlich der Griffstärke erzielen. In einer Studie wurde keine, in einer anderen eine geringfügige Verschlechterung der Kraft gezeigt. Die Knochen-Ligament-Knochen-Rekonstruktion erzielte in zwei Studien gute Ergebnisse hinsichtlich der Kraft. In einer Studie verbesserte sich die Kraft, in der anderen blieb sie gleich. Es kam zu keiner Verminderung. Die Tenodese-Verfahren ergaben insgesamt heterogene Ergebnisse. Eine Studie konnte eine Verbesserung der Griffstärke erzielen, eine weitere Studie vermerkte keinen Unterschied zwischen präoperativer und postoperativer Kraft, in fünf Studien lag die Griffstärke postoperativ zwischen 58 % und 85 % im Vergleich zur Gegenseite. Schließlich zeigen die Rettungsoperationen einen deutlich größeren Kraftverlust als Rekonstruktionsverfahren. In zwei Studien lag die postoperative Kraft im Vergleich zur Gegenseite zwischen 50 % und 65 %.

Die SLAM führt zu zufriedenstellenden Ergebnissen hinsichtlich der Kraft. Sie erzielt eine Verbesserung der Griffstärke im Vergleich zum präoperativen Zeitpunkt und somit bessere Ergebnisse als die dorsale Kapsulodese und Arthrodese-Verfahren. Unsere Ergebnisse von 71 % im Vergleich zur gesunden Gegenseite zum Zeitpunkt 12 Monate postoperativ liegen zwischen den Ergebnissen von Garcia-Elias und Mitarb. (65 %) und Chabas und Mitarb. (78 %).

Die Schmerzen in Ruhe sowie bei Belastung konnten statistisch signifikant gesenkt werden. Ruheschmerzen lagen 12 Monate postoperativ im Mittel unter dem Punktwert 1 (NRS 0-10), Schmerzen bei Belastung konnten um mehr als 50 % reduziert werden und lagen 12 Monate postoperativ bei einem durchschnittlichen Punktwert von 2,59.

Laut Wyrick und Mitarb. klagten nach Kapsulodese 60 % der Patienten über Schmerzen bei Alltagstätigkeiten.³¹ In der 2002 von Busse und Mitarb. veröffentlichten

Studie zur dorsalen Kapsulodese waren die postoperativen Schmerzen im Schnitt um 30 % reduziert.¹⁸

In der von Weiss und Mitarb. zur Knochen-Ligament-Knochen-Rekonstruktion veröffentlichten Studie waren postoperativ 12 der 14 Patienten sowohl in Ruhe als auch bei Belastung schmerzfrei.³⁴

Bei Brunelli litten postoperativ 15 % der Patienten unter Schmerzen.²³ Garcia-Elias und Mitarb. berichteten von 26 % mit noch vorhandenem Schmerz.²⁵ Van den Abeele und Mitarb. vermerkten präoperative Schmerzen von 7,1 Punktwerten.²⁴ Postoperativ lagen die durchschnittlichen Schmerzen bei 3 Punktwerten. Van den Abeele und Mitarb. erzielten hinsichtlich postoperativem Schmerz ähnliche Werte wie die SLAM, wobei sie nicht zwischen Schmerz in Ruhe und unter Belastung unterschieden. Nienstedt berichtete in der Studie zur MBT von 6 schmerzfreien Patienten, einem Patient mit gelegentlichen Schmerzen sowie einem mit chronischen Schmerzen.³⁷

Die SLAM erreicht eine statistisch signifikante, deutliche Senkung des Schmerzes in Ruhe und bei Belastung. Der Ruheschmerz von 0,64 zum Zeitpunkt 12 Monate postoperativ ist ein hervorragendes Ergebnis. Der noch vorhandene Belastungsschmerz von 2,59 ist mit den Tenodese-Verfahren vergleichbar.

Koehler und Mitarb. zeigten in ihrer Studie zur mediokarpalen Arthrodese einen Rückgang des Schmerzleidens von durchschnittlich 85 Punkten des Schmerzscore des Michigan Hand Outcomes Questionnaire auf postoperativ 33,3 Punkte.²⁶ Meier und Mitarb. konnten in der Studie zur STT-Fusion die Schmerzen in Ruhe um 76 % und die unter Belastung um 55 % reduzieren.³⁸ Baumeister und Mitarb. zeigten in ihrer Studie zur proximalen Karpektomie 2004 eine Reduktion der Ruheschmerzen um 77 % und der Belastungsschmerzen um 40 %.³⁹

Zusammenfassend kann mit der Kapsulodese keine suffiziente Schmerzlinderung erzielt werden. In beiden beschriebenen Studien wurde eine postoperativ anhaltende deutliche Schmerzsymptomatik beschrieben. Die Knochen-Ligament-Knochen-Rekonstruktion hingegen erreicht gute Ergebnisse mit Schmerzfreiheit bei 12 von 14 Patienten. Die Tenodese-Verfahren führen zwar zu einer Schmerzlinderung, jedoch ist fast kein Patient postoperativ schmerzfrei. Die beschriebenen Rettungsoperationen erreichen gute Ergebnisse zur effektiven Schmerzlinderung. In zwei Studien kam es zur Reduktion der Ruheschmerzen um 76 % beziehungsweise 77 % und der Belastungsschmerzen um 40 % beziehungsweise 55 %. Dies sind zufriedenstellende

Ergebnisse. Allerdings muss bedacht werden, dass Versteifungsverfahren mit einem deutlichen Funktionsverlust einhergehen.

Die Schmerzen in Ruhe sowie bei Belastung konnten mit der SLAM statistisch signifikant gesenkt werden. Insgesamt ist sie hinsichtlich der Schmerzreduktion mit den Tenodese-Verfahren vergleichbar.

Der DASH-Score hat sich im Laufe der einjährigen Nachuntersuchungszeit der SLAM-Studie deutlich verringert. Der Mittelwert liegt 12 Monate postoperativ bei 48,91. Die Ergebnisse sind statistisch signifikant. Für den DASH-Score gibt es keine Cut-off-Werte, die das Ergebnis in „schlecht“, „moderat“, „gut“ oder „sehr gut“ einteilen, ein niedriger Wert steht jedoch für ein besseres Ergebnis. Hunsaker und Mitarb. veröffentlichten 2002 die Ergebnisse einer normativen Datensammlung des DASH-Scores.⁴⁰ Sie berichteten, dass die Normalbevölkerung einen Punktwert von 10,1 mit einer Standardabweichung von 14,68 erreichte. Der Wert der SLAM-Studie liegt deutlich darüber und spricht somit für eine Beschwerdepersistenz. Der DASH-Score spiegelt also die objektiv messbaren Ergebnisse hinsichtlich Beweglichkeit, Kraft und Schmerz wider. Franchignoni und Mitarb. bezeichneten eine Reduktion des DASH Scores um 10 – 15 Punkte als klinisch relevant.²⁹ Im Rahmen der SLAM-Studie konnte eine durchschnittliche Reduktion des DASH-Scores um 26,09 Punkte erzielt werden.

Zum Vergleich wird die Studie von Nienstedt zur MBT 2013 herangezogen.³⁷ Er erreichte bei 8 Patienten postoperativ einen durchschnittlichen DASH-Score von 9. Das ist ein hervorragendes Ergebnis. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die Aussagekraft ob der Patientenzahl von 10 begrenzt ist. Zusammenfassend erzielt die SLAM eine erfreuliche, klinisch relevante Reduktion des DASH-Scores.

Der Mayo-Wrist-Score erzielte innerhalb der postoperativen 12 Monate der SLAM-Studie fast eine Verdopplung. Der Mittelwert lag 12 Monate postoperativ bei 62,73. Dies ist laut Auswertungs-Manual kein befriedigendes Ergebnis. Angesichts der hohen Steigungskurve ist dies dennoch ein großer Fortschritt im Vergleich zum direkt postoperativen Zustand. Die Ergebnisse sind statistisch signifikant. Langfristige Ergebnisse werden erforderlich sein, um eine weiter ansteigende Kurve zu bestätigen. Zum Vergleich wird die Studie von Nienstedt zur MBT 2013 herangezogen.³⁷ Er erreichte bei 8 Patienten, an denen er die MBT durchführte, postoperativ einen durchschnittlichen Mayo-Wrist-Score von 83.³⁷ Das ist ein sehr gutes Ergebnis. Da die

Patientenzahl seiner Studie allerdings gering ist, ist die Aussagekraft des Ergebnisses, wie beim DASH-Score bereits erwähnt, begrenzt.

Zusammenfassend lässt sich der Erfolg der SLAM mit einem Anstieg des Mayo-Wrist-Scores ablesen. Die Beweglichkeit verbessert sich zum Teil, Extension und Flexion verschlechtern sich geringfügig, die Kraft verbessert sich etwas und Schmerzen werden deutlich gemindert, sind zum Teil aber noch vorhanden. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Ergebnisse des DASH und Mayo-Wrist-Scores die objektiv gemessenen Werten ungefähr widerspiegeln. Hierbei muss beachtet werden, dass ein Vergleich zwischen objektiven und subjektiven Ergebnissen angesichts fehlender exakter Vergleichslogarithmen mit Fehlern behaftet sein kann.

Die Patientenzufriedenheit ist hoch. Nach 12 Monaten sagt eine deutliche Mehrheit, dass sie sich wieder operieren lassen würde und dass die Verbesserung ihres Gesundheitszustands gut beziehungsweise sehr gut sei. Dies spricht klinisch für die SLAM-Methode.

Ein normaler SL-Winkel beträgt 30° bis 60° . Bei größeren Werten befinden sich Scaphoid und Lunatum in einer pathologischen Position, die langfristig zur Arthrose führt. Ziel der SLAM ist es, den erweiterten SL-Winkel zu reduzieren und langfristig zu stabilisieren, um normale Gelenkverhältnisse herzustellen.

Die Ergebnisse zeigen zwar, dass der präoperativ im Schnitt deutlich vergrößerte SL-Winkel durch die OP verkleinert wird. Im Laufe der 12-monatigen Nachuntersuchungszeit fand jedoch durchschnittlich eine erneute Aufweitung des Winkels statt. Dies lässt vermuten, dass die SLAM nicht imstande ist, Scaphoid und Lunatum dauerhaft in der postoperativ verbesserten Position zu stabilisieren.

Wyrick und Mitarb. fanden heraus, dass der SL-Winkel durch die Kapsulodese zwar reduziert wurde, dies jedoch über einen Zeitraum von 30 Monaten nicht beibehalten werden konnte, sondern die Werte sich im Laufe der Nachuntersuchungszeit wieder in Richtung des schlechteren Ausgangswertes veränderten.³¹ Auch bei Moran und Mitarb. konnte mit der Kapsulodese der SL-Winkel nicht langfristig reduziert werden.³² Pollock und Mitarb. konnten 2010 in ihrem Vergleich der dorsalen Kapsulodese mit der modifizierten Brunelli-Methode zeigen, dass die Brunelli-Methode effektiver hinsichtlich der Reduzierung des SL-Winkels ist.⁴¹ Van den Abeele und Mitarb. fanden sowohl prä- als auch postoperativ einen durchschnittlichen SL-Winkel von 50° vor.²⁴

Chabas und Mitarb. zeigten in ihrer Studie zur modifizierten Brunelli-Methode im Jahre 2008, dass der SL-Winkel durch die Operation primär korrigiert werden konnte, sich im weiteren Verlauf jedoch minimal mehr als auf das ursprüngliche Maß erweitert fand (präoperativ: 61°, direkt postoperativ: 53°, 12 Monate postoperativ: 62°).³⁶ Dieser Wert befindet sich leicht über der Grenze, ist also noch akzeptabel. Nienstedt konnte den präoperativen SL-Winkel von 72° auf 46° postoperativ und schließlich 63° beim letzten Untersuchungstermin reduzieren.³⁷ Hier fand also im Laufe der Jahre eine erneute Aufweitung statt, allerdings wie bei Chabas und Mitarb. in einem annehmbaren Rahmen. Lee und Mitarb. veröffentlichten 2014 die Ergebnisse ihrer Studie, in der sie die Kapsulodese mit der modifizierten Brunelli-Methode und der SLAM verglichen. Hierbei zeigte sich, dass die SLAM den SL-Winkel besser reduzieren konnte als die Kapsulodese oder modifizierten Brunelli-Methode.⁴²

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass die alleinige Rekonstruktion der extrinsischen Bänder im Rahmen der Kapsulodese im Vergleich zu anderen Methoden nicht ausreicht, um das SL-Band in seiner Funktion zu ersetzen und Scaphoid und Lunatum langfristig in ihrer korrekten Position zu stabilisieren. Durch Tenodese ist eine primäre Reduktion des Winkels möglich, allerdings ohne langfristigen Erfolg. Die spätere Aufweitung des SL-Winkels erfolgt hingegen in einem akzeptablen Ausmaß. Die SLAM schneidet in der Vergleichsstudie von Lee und Mitarb. 2014 hinsichtlich Reduktion des SL-Winkels besser ab als die modifizierten Brunelli-Methode.⁴²

Die Ergebnisse der SLAM-Studie zeigen statistisch signifikant, dass der SL-Winkel primär nicht in gewünschtem Ausmaß korrigiert wird und während der einjährigen Nachuntersuchungszeit nicht beibehalten werden kann.

Die geringe Häufigkeit postoperativer Komplikationen, und hierbei nur vorübergehende wie Schwellungen oder Parästhesien, spricht für die SLAM-Operationstechnik der scapholunären Achsenmethode.

6 Zusammenfassung

Die SL-Band-Ruptur ist eine Verletzung, die häufig unerkannt bleibt und unbehandelt zur Entstehung degenerativer Veränderungen führt. Sie resultiert meist aus einem Sturz auf die extendierte Hand, kann aber auch in geringem Ausmaß durch Stoffwechselerkrankungen hervorgerufen werden. Das SL-Band zählt zum intrinsischen Bandapparat des Handgelenks und besteht aus einem palmaren, mittleren und einem dorsalen Anteil. Letzterer nimmt die wichtigste Position in der Gewährleistung der Handgelenksstabilität ein. Ohne intaktes SL-Band folgen Scaphoid und Lunatum ihren natürlichen Bewegungstendenzen. Das Scaphoid verkippt nach palmar, das Lunatum extendiert nach dorsal, der Spalt zwischen den beiden Knochen wird größer und die Kinematik des Handgelenks ist gestört. Es kommt zu scapholunärer Instabilität und SL-Dissoziation. Dies führt im Verlauf unweigerlich zu Arthrose.

Ziel einer rekonstruktiven Behandlung der SL-Band-Verletzung ist es, Scaphoid und Lunatum in ihre natürliche Position zurückzuführen, sie zu stabilisieren und so der Entstehung degenerativer Veränderungen entgegen zu wirken.

Herkömmliche OP-Methoden zur Rekonstruktion der SL-Band-Läsion sind Kapsulodese, Knochen-Ligament-Knochen-Rekonstruktion, diverse Tenodese-Techniken und ablativ Verfahren. Die Ergebnisse der Studien, die zu diesen Operationen veröffentlicht wurden, sind insgesamt sehr heterogen. Ein Vergleich der Studien ist insofern eine Herausforderung, als keine einheitlichen Variablen sowie Messzeitpunkte verwendet wurden, die bedenkenlos miteinander verglichen werden können. Im Review von Bloom und Mitarb. wurden 2003 englischsprachige Studien von 1965 bis 2000 unter anderem zu folgenden OP-Methoden untersucht: Dorsale Kapsulodese, Knochen-Ligament-Knochen-Transplantation, Tenodese-Techniken sowie vier ablativ Verfahren. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die Evidenz der eingeschlossenen Studien unzureichend und die Studien zu heterogen seien, um einen Vergleich ziehen zu können.⁴³

Die SLAM ist eine neue und innovative Operationsmethode, die eine mehrdimensionale und anatomische SL-Band-Rekonstruktion ermöglicht und eine Neuerung im Vergleich zu den herkömmlichen Tenodese-Techniken darstellt. Die

SLAM-Studie zeigt, dass diese Operation bessere Ergebnisse im Vergleich zu anderen Tenodese-Techniken erzielt.

Zusammenfassend sind die Ergebnisse der SLAM-Studie nochmals aufgelistet:

Ruhe- und Belastungsschmerzen werden statistisch signifikant reduziert, was für die Lebensqualität der Patienten von essentieller Bedeutung ist. Ruheschmerzen liegen 12 Monate postoperativ im Mittel unter dem Punktwert 1 auf der numerischen Ratingskala, Schmerzen bei Belastung können um mehr als 50 % reduziert werden und liegen 12 Monate postoperativ bei einem durchschnittlichen Punktwert von 2,59. Dieser Wert ist mit herkömmlichen Tenodese-Verfahren vergleichbar.

Die SLAM-Technik erzielt im Vergleich zwischen prä- und postoperativem Zeitpunkt eine mittlere Verbesserung von Radialduktion, Ulnarduktion, Supination und Pronation, allerdings nicht bei allen Patientin in allen Ebenen. Eine minimale Verschlechterung von Extension und Flexion wird verzeichnet, diese fällt jedoch deutlich geringer aus als bei anderen Studien.

Die Kraft wird gesteigert und liegt 12 Monate postoperativ bei 71% im Vergleich zum präoperativen Zeitpunkt.

Der SL-Winkel verschlechtert sich über einen postoperativen Zeitraum von 12 Monaten im Mittel geringfügig. Lediglich bei zwei Patienten wird eine Verbesserung verzeichnet.

Die Ergebnisse der DASH- und Mayo-Fragebögen zeigen eine klinisch relevante Verbesserung des Gesundheitszustands der Patienten an und sind statistisch signifikant.

Zusammenfassend kann mit der modifizierten SLAM-Technik eine Schmerzreduktion und eine Verbesserung der Grobkraft sowie des DASH- und Mayo Wrist Scores erzielt werden, jedoch weder eine mittelfristige Verbesserung des scapholunären Winkels noch eine Verbesserung der Handgelenksbeweglichkeit in allen Ebenen bei allen Patienten.

Die Patientenzahl der SLAM-Studie ist mit insgesamt 27 Patienten sowie schließlich 21 Patienten mit komplettem 12-Monate-Follow Up im Vergleich zu einigen anderen Studien höher und hat damit eine größere Aussagekraft. Diese Arbeit präsentiert die Ergebnisse eines Untersuchungszeitraums von 12 Monaten. Dies ist ein günstiger Zeitraum, um erste Tendenzen darzustellen.

Eine Fortführung der Studie zur Erlangung höherer Fallzahlen und längerer Beobachtungszeiträumen ist erforderlich, um diese ersten positiven Ergebnisse zu bestätigen und zu zeigen, dass eine langfristige Stabilisierung von Scaphoid und Lunatum sowie eine Schmerzreduktion und Kraftsteigerung ohne relevante Einbußen der Handgelenksbeweglichkeit möglich sind.

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Geschlecht	27
Tabelle 2: Alter.....	27
Tabelle 3: Berufliche Belastung des Handgelenks.....	28
Tabelle 4: Auswertung des Mayo-Wrist-Score.....	31
Tabelle 5: Bewegungsausmaße präoperativ.....	37
Tabelle 6: Bewegungsausmaße 3 Monate postoperativ	37
Tabelle 7: Bewegungsausmaße 6 Monate postoperativ	38
Tabelle 8: Bewegungsausmaße 12 Monate postoperativ	38
Tabelle 9: Griffstärke	39
Tabelle 10: Ruheschmerz	41
Tabelle 11: Belastungsschmerz.....	43
Tabelle 12: DASH-Score	45
Tabelle 13: Mayo Score	45
Tabelle 14: SL-Winkel.....	48

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:

Röntgenbild ap, sichtbar wird das Auseinanderweichen von Scaphoid und Lunatum (blau markiert). Gelenkflächen rot markiert.10
modifiziert nach: T. O. Engelhardt, H. Krimmer. Dissoziative Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe. In: Plastische Chirurgie. 2006; 5: 1-22.

Abbildung 2:

Zeitliche Entwicklung von der unbehandelten SL-Bandruptur zum SLAC-Wrist.13
modifiziert nach: T. O. Engelhardt, H. Krimmer. Dissoziative Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe. In: Plastische Chirurgie. 2006; 5: 1-22.

Abbildung 3:

Arthroskopischer Befund einer scapholunären Ruptur. Oben Capitatum, links Scaphoid, rechts Lunatum.14
modifiziert nach: T. O. Engelhardt, H. Krimmer. Dissoziative Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe. In: Plastische Chirurgie. 2006; 5: 1-22.

Abbildung 4:

Normaler SL-Winkel im seitlichen Röntgenbild (30-60°).15
modifiziert nach: T. O. Engelhardt, H. Krimmer. Dissoziative Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe. In: Plastische Chirurgie. 2006; 5: 1-22.

Abbildung 5:

DISI-Position im seitlichen Röntgenbild (SL-Winkel > 60°).15
modifiziert nach: T. O. Engelhardt, H. Krimmer. Dissoziative Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe. In: Plastische Chirurgie. 2006; 5: 1-22.

Abbildung 6:

Das Ligamentum intercarpale dorsale wird umgelagert.17
modifiziert nach: F. Busse, J. Felderhoff, H. Krimmer, U. Lanz. Die skapholunäre Bandverletzung. Therapie durch dorsale Kapsulodese. In: Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie. 2002; 34: 173-181.

Abbildung 7:

Einsehbarer SL-Spalt.....18

modifiziert nach: E. J. Harvey, R. A. Berger, A. L. Osterman, D. L. Fernandez, A.-P. Weiss. Bone-Tissue-Bone Repairs for Scapholunate Dissociation. In: Journal of Hand Surgery. 2007; 32A: 256-264.

Abbildung 8:

Reposition von Scaphoid und Lunatum, Knochen werden mittels K-Drähten in Position gehalten, Löcher in Scaphoid (schwarzer Pfeil) und Lunatum (weißer Pfeil).....18

modifiziert nach: E. J. Harvey, R. A. Berger, A. L. Osterman, D. L. Fernandez, A.-P. Weiss. Bone-Tissue-Bone Repairs for Scapholunate Dissociation. In: Journal of Hand Surgery. 2007; 32A: 256-264.

Abbildung 9:

Einsetzen des Transplantats und Fixierung mit zwei Schrauben.....18

modifiziert nach: E. J. Harvey, R. A. Berger, A. L. Osterman, D. L. Fernandez, A.-P. Weiss. Bone-Tissue-Bone Repairs for Scapholunate Dissociation. In: Journal of Hand Surgery. 2007; 32A: 256-264.

Abbildung 10:

Temporäre K-Draht-Fixierung. Die eingebrachten Schrauben sind in korrekter Position zu sehen.....19

modifiziert nach: E. J. Harvey, R. A. Berger, A. L. Osterman, D. L. Fernandez, A.-P. Weiss. Bone-Tissue-Bone Repairs for Scapholunate Dissociation. In: Journal of Hand Surgery. 2007; 32A: 256-264.

Abbildung 11:

Röntgenbilder zwei Jahre postoperativ.....19

modifiziert nach: E. J. Harvey, R. A. Berger, A. L. Osterman, D. L. Fernandez, A.-P. Weiss. Bone-Tissue-Bone Repairs for Scapholunate Dissociation. In: Journal of Hand Surgery. 2007; 32A: 256-264.

Abbildung 12:

Operation nach Brunelli: Flexionsstellung des Scaphoids (A), Reposition von Scaphoid und Lunatum, FCR-Sehnenzug durch den distalen Pol des Scaphoids von palmar nach dorsal (B), Fixieren der FCR-Sehne (C).....21

modifiziert nach: G. A. Brunelli, G. R. Brunelli. A New Technique to Correct Carpal Instability With Scaphoid Rotary Subluxation: A Preliminary Report. In: Journal of Hand Surgery. 1995; 20A: 82-85.

Abbildung 13:

Zustand nach Entfernung der proximalen Handwurzelreihe.23

modifiziert nach: T. O. Engelhardt, H. Krimmer. Dissoziative Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe. In: Plastische Chirurgie. 2006; 5: 1-22.

Abbildung 14:

STT-Arthrose24

modifiziert nach: R. Meier, K.-J. Prommersberger, H. Krimmer. Teilarthrodesen von Skaphoid, Trapezium und Trapezoideum (STT-Fusion). In: Handchir Mikrochir Plast Chir. 2003; 35: 323-327.

Abbildung 15:

STT-Fusion.24

modifiziert nach: R. Meier, K.-J. Prommersberger, H. Krimmer. Teilarthrodesen von Skaphoid, Trapezium und Trapezoideum (STT-Fusion). In: Handchir Mikrochir Plast Chir. 2003; 35: 323-327.

Abbildung 16:

Sieben Jahre postoperativ nach STT-Fusion.24

modifiziert nach: R. Meier, K.-J. Prommersberger, H. Krimmer. Teilarthrodesen von Skaphoid, Trapezium und Trapezoideum (STT-Fusion). In: Handchir Mikrochir Plast Chir. 2003; 35: 323-327.

Abbildung 17:

Verteilung der dominanten Seite und Interventionsseite des Patientenkollektivs28

Abbildung 18:

Darstellung der SL-Dissoziation33

Abbildung 19:

Nach anatomischer Reposition Stabilisierung durch Krimmerzange und Einführung des C-Zielbogens für die Bohrung.33

Abbildung 20:

Nach Bohrung entlang der SL-Achse Einbringen des Bullet-Ankers mit dem Sehnentransplantat.34

Abbildung 21:

Einbringen der PEEK-Interference-Schraube am Scaphoid zur inneren Fixierung des Sehnentransplantates.34

Abbildung 22:

Nach Fixierung im Lunatum und Scaphoid (innere Fixierung) werden die Sehnenenden am Lunatum und Capitatium mit einem Fadenanker fixiert (äußere Fixierung).35

Abbildung 23:

Röntgenbild ap postoperativ mit Transfixierung36

Abbildung 24:

Röntgenbild postoperativ 36

Abbildung 25:

Verteilung der Griffstärke präoperativ; Mean = Mittelwert, Std. Dev. = Standardabweichung, N = Anzahl39

Abbildung 26:

Verteilung der Griffstärke 12 Monate postoperativ; Mean = Mittelwert, Std. Dev. = Standardabweichung, N = Anzahl40

Abbildung 27:

Verteilung des Ruheschmerzes präoperativ; Mean = Mittelwert, Std. Dev. = Standardabweichung, N = Anzahl41

Abbildung 28:

Verteilung des Ruheschmerzes 12 Monate postoperativ; Mean = Mittelwert,
Std. Dev. = Standardabweichung, N = Anzahl42

Abbildung 29:

Verteilung des Belastungsschmerzes präoperativ; Mean = Mittelwert,
Std. Dev. = Standardabweichung, N = Anzahl43

Abbildung 30:

Verteilung des Belastungsschmerzes 12 Monate postoperativ44

Abbildung 31:

Verteilung der Bereitschaft zu erneuter Operation46

Abbildung 32:

Verteilung der subjektiven Verbesserung des Gesundheitszustands47

Abbildung 33:

Verteilung des SL-Winkels präoperativ; Mean = Mittelwert,
Std. Dev. = Standardabweichung, N = Anzahl48

Abbildung 34:

Verteilung des SL-Winkels postoperativ; Mean = Mittelwert,
Std. Dev. = Standardabweichung, N = Anzahl49

Abbildung 35:

Verteilung des SL-Winkels 12 Monate postoperativ; Mean = Mittelwert,
Std. Dev. = Standardabweichung, N = Anzahl50

9 Literaturverzeichnis

- 1 T. O. Engelhardt, H. Krimmer. Dissoziative Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe. In: *Plastische Chirurgie*. 2006; 5: 1-22.
- 2 M. Garcia-Elias. Understanding Wrist Mechanics: A Long and Winding Road. In: *Journal of Wrist Surgery*. 2013; 2: 5-11.
- 3 E. Hagert, J. K. Persson, M. Werner, B. O. Ljung. Evidence of wrist proprioceptive reflexes elicited after stimulation of the scapholunate interosseous ligament. In: *Journal of Hand Surgery*. 34(4): 642-651.
- 4 E. Hagert, M. Garcia-Elias, S. Forsgren, B.-O. Ljung. Immunohistochemical Analysis of Wrist Ligament Innervation in Relation to Their Structural Composition. In: *Journal of Hand Surgery*. 2007; 32(1): 30-36.
- 5 Y.-T. Lin, R. A. Berger, E. J. Berger, K. Tomita, J. Y. Jew, C. Yang, K.-N. An. Nerve Endings of the Wrist Joint: A Preliminary Report of the Dorsal Radiocarpal Ligament. In: *Journal of Orthopaedic Research*: 2006; 24(6): 1225-1230.
- 6 M. Garcia-Elias. The treatment of wrist instability. In: *The Journal of bone and joint surgery*. 1997; 79: 684-690.
- 7 S. M. S. Totterman, R. Miller, B. Wasserman, J. S. Blebea, D. J. Rubens. Intrinsic and Extrinsic Carpal Ligaments: Evaluation by Three-dimensional Fourier Transform MR Imaging. In: *AJR AM J Roentgenol*. 1993; 160(1): 117-123.
- 8 R. A. Berger. The Gross and Histologic Anatomy of the Scapholunate Interosseous Ligament. In: *Journal of Hand Surgery*. 1996; 21A: 170-178.
- 9 B. Moriggl, R. V. Putz. Der Carpus im Konflikt zwischen Stabilität und Mobilität. In: *Der Orthopäde*. 1999; 28: 822-832.

- 10 G. Salva-Coll, M. Garcia-Elias, E. Hagert. Scapholunate Instability: Proprioception and Neuromuscular Control. In: *Journal of Wrist Surgery*. 2013; 2: 136–140.
- 11 E. J. Harvey, R. A. Berger, A. L. Osterman, D. L. Fernandez, A.-P. Weiss. Bone-Tissue-Bone Repairs for Scapholunate Dissociation. In: *Journal of Hand Surgery*. 2007; 32A: 256-264.
- 12 F. Corella, M. Del Cerro, R. Larrainzar-Garijo, T. Vázquez. Arthroscopic ligamentoplasty (bone-tendon-tenodesis). A new surgical technique for scapholunate instability: preliminary cadaver study. In: *Journal of Hand Surgery*. 2011; 36: 682-689.
- 13 K. K. Kani, H. Mulcahy, J. Porrino, A. Daluiski, F. S. Chew. Update on operative treatment of scapholunate (SL) instability for radiologists: part 1-SL ligament repair, dorsal capsulodesis and SL ligament reconstruction. In: *Skeletal Radiol*. 2017; 46(12): 1615-1623
- 14 J. Yao, D. A. Zlotolow, S. K. Lee. ScaphoLunate Axis Method. In: *Journal of Wrist Surgery*. 2016; 5: 59-66.
- 15 H. Krimmer UL. Der posttraumatische karpale Kollaps: Verlauf und Therapiekonzept. In: *Unfallchirurg*. 2000; 103: 260-266.
- 16 J. van Schoonhoven, K.-J. Prommersberger, H. Krimmer, U. Lanz. Läsionen der skapholunären Bandverbindung. In: *Trauma Berufskrankheit*. 1991; 1: 173-181.
- 17 K.-J. Prommersberger, M. Mühldorfer-Fodor, K. Kalb, R. Schmitt, J. van Schoonhoven. Die skapholunäre Bandverletzung. In: *Der Unfallchirurg*. 2014; 8: 723-773.

- 18** F. Busse, J. Felderhoff, H. Krimmer, U. Lanz. Die skapholunäre Bandverletzung. Therapie durch dorsale Kapsulodese. In: *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie*. 2002; 34: 173-181.
- 19** S. Svoboda, W. Eglseder, S. Belkoff. Autografts from the foot for reconstruction of the scapholunate interosseous ligament. In: *Journal of Hand Surgery*. 1995; 20A: 980-985.
- 20** C. Davis, R. Culp, E. Hume, A. Osterman. Reconstruction of the scapholunate ligament in a cadaver model using a bone-ligament-bone autograft from the foot. In: *Journal of Hand Surgery*. 1998; 23A: 884–892.
- 21** R. J. van Kampen, C. O. Bayne, S. L. Moran, R. a. Berger. Outcomes of Capitohamate Bone-Ligament-Bone Grafts for Scapholunate Injury. In: *Journal of Wrist Surgery*. 2015; 4: 230-238.
- 22** I. P. Pappou, J. Basel, D. N. Deal. Scapholunate ligament injuries: a review of current concepts. [American Association for Hand Surgery]. In: *HAND*. 2013; 8: 146-156.
- 23** G. A. Brunelli, G. R. Brunelli. A New Technique to Correct Carpal Instability With Scaphoid Rotary Subluxation: A Preliminary Report. In: *Journal of Hand Surgery*. 1995; 20A: 82-85.
- 24** K. L. S. van den Abeele, Y. C. Loh, J. K. Stanley, I. A. Trail. Early Results of a modified Brunelli Procedure for scapholunate instability. In: *Journal of Hand Surgery*. 1998; 23B: 258-261.
- 25** M. Garcia-Elias, A. L. Lluch, J. K. Stanley. Three-Ligament Tenodesis for the Treatment of Scapholunate Dissociation: Indications and Surgical Technique. In: *Journal of Hand Surgery*. 2006; 31A: 125-134.
- 26** S. M. Koehler, C. P. Melone. Four-corner arthrodesis employing the native scaphoid as the principal donor graft for advanced collapse deformity of the wrist: technique and outcomes. In: *Journal of Hand Surgery*. 2016; 42E(3): 246-252.

- 27** A. Rahmanian-Schwarz. Ligamentäre Verletzungen der Handwurzel und deren Folgen. In: *Trauma Berufskrankheit*. 2010; 12: 303-307.
- 28** K. Dragowsky. DASH-Score (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand). [http://traumascores.com/index.php/scores2/20-schulter/48 %E2 %80 %9347](http://traumascores.com/index.php/scores2/20-schulter/48%E2%80%9347).
- 29** F. Franchignoni, S. Vercelli, A. Giordano. Minimal clinically important difference of the disabilities of the arm, shoulder and hand outcome measure (DASH) and its shortened version (QuickDASH). In: *J Orthop Sports Phys Ther*. 2014; 44: 30-39.
- 30** K. Dragowsky. Mayo-Wrist-Score. <http://www.traumascores.com/index.php/scores2/27-handgelenk-und-hand/198-196>.
- 31** J. D. Wyrick, B. D. Youse, T. R. Kiefhaber. Scapholunate ligament repair and capsulodesis for the treatment of static scapholunate dissociation. In: *Journal of Hand Surgery*. 1998; 23: 776-780.
- 32** S. L. Moran, W. P. Cooney, R. A. Berger, und Mitarb. Capsulodesis for the treatment of chronic scapholunate instability. In: *Journal of Hand Surgery*. 2005; 30: 16-23.
- 33** S. L. Moran, K. S. Ford, C. A. Wulf, W. P. Cooney. Outcomes of dorsal capsulodesis and tenodesis for treatment of scapholunate instability. In: *Journal of Hand Surgery*. 2006; 31(9): 1438-1446.
- 34** A.-P. C. Weiss. Scapholunate Ligament Reconstruction Using a Bone-Retinaculum-Bone Autograft. In: *Journal of Hand Surgery*. 1998; Vol. 23(2): 205-215

- 35** S. C. Talwalkar, A. T. Edwards, M. J. Hayton, und Mitarb. Results of triligament tenodesis: a modified Brunelli procedure in the management of scapholunate instability. In: *Journal of Hand Surgery*. 2006; 31: 110-117.
- 36** J-F. Chabas, A. Gay, D. Valenti, D. Guinard, R. Legre. Results of the Modified Brunelli Tenodesis for Treatment of Scapholunate Instability: A Retrospective Study of 19 Patients. In: *Journal of Hand Surgery*. 2008; 33(9): 1469-1477 .
- 37** F. Nienstedt. Treatment of Static Scapholunate Instability With Modified Brunelli Tenodesis: Results Over 10 Years. In: *Journal of Hand Surgery*. 2013; 38(5): 887-892.
- 38** R. Meier, K.-J. Prommersberger, H. Krimmer. Teilarthrodesen von Skaphoid, Trapezium und Trapezoideum (STT-Fusion). In: *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2003; 35: 323-327.
- 39** S. Baumeister, G. Germann, A. Dragu, M. Tränkle, M. Sauerbier. Funktionelle Ergebnisse nach Entfernung der proximalen Handwurzelreihe bei SNAC- und SLAC-Wrist Stadium II. In: *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2005; 37: 106-112.
- 40** F. G. Hunsaker, D. A. Cioffi, P. C. Amadio, J. G. Wright, B. Caughlin. The American academy of orthopaedic surgeons outcomes instruments: normative values from the general population. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2002; 84(2): 202-215.
- 41** P. J. Pollock, R. N. Sieg, M. F. Baechler, D. Scher. Radiographic Evaluation of the Modified Brunelli Technique Versus the Blatt Capsulodesis for Scapholunate Dissociation in a Cadaver Model. In: *Journal of Hand Surgery*. 2010; 35A: 1589-1597.
- 42** S. K. Lee, D. A. Zlotolow, A. Sapienza, R. Karia, J. Yao. Biomechanical Comparison of 3 Methods of Scapholunate Ligament Reconstruction. In: *Journal of Hand Surgery*. 2014; 39(4): 643-650

- 43** H. T. Bloom, A. E. Freeland, V. Bowen, L. Mrkonjic. The treatment of chronic scapholunate dissociation: an evidence-based assessment of the literature. In: *Orthopedics*. 2003; 26(2): 195-203

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- beziehungsweise Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen.

Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Regensburg, Dezember 2019

Katja Zimny

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei allen Personen bedanken, die diese Arbeit ermöglicht und mich dabei unterstützt haben.

Herrn Prof. Dr. Lukas Prantl danke ich für die Möglichkeit, diese Dissertation in seiner Abteilung anfertigen zu dürfen, sowie für seine äußerst freundliche Unterstützung.

Herrn Priv.-Doz. Dr. Jürgen Dolderer danke ich für die Überlassung des Themas dieser Dissertation, für unsere tolle Zusammenarbeit, die Erfahrung, wissenschaftlich arbeiten zu dürfen, sowie für seine immerwährende Unterstützung und die langjährige großartige Betreuung.

Herrn Priv.-Doz. Dr. Sebastian Geis danke ich für seine große Unterstützung beim Verfassen der Doktorarbeit und dafür, dass er mir bei allen Fragen ein aufmerksamer und sehr hilfsbereiter Ansprechpartner war. Herzlichen Dank für die konstruktive und harmonische Zusammenarbeit.

Herrn Prof. Michael Koller danke ich für seine freundliche Hilfe und Geduld bei der Datenauswertung.

Frau Ipfelkofer und Frau Lerchenberger danke ich für ihre Mühen und Fürsorge bei der Organisation.

Auch meinen Geschwistern und meiner Freundin Laura möchte ich von Herzen für ihre Unterstützung und immerwährende Treue danken.

Mein größter Dank gilt meinen lieben Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben, mich in all meinen persönlichen und beruflichen Vorhaben auf liebevolle Weise unterstützen und mich immer wieder auf's Neue motivieren. Mein Dank ihnen gegenüber ist nicht in Worte zu fassen.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Katja Zimny
Geburtsdatum	08.03.1991
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Familienstand	Ledig
Konfession	Evangelisch-lutherisch
Anschrift	Wöhrdstr. 1, 93059 Regensburg
E-Mail	katja.zimny@gmx.de
Mobil	0176 622 544 26
Eltern	Dr. P. ter Meer-Zimny, Ärztin Dr. M. Zimny, Chirurg
Geschwister	Dr. M. Zimny, Assistenzarzt S. Zimny, Studentin

Akademische Laufbahn

Seit 06/2018	Assistenzärztin am Krankenhaus Barmherzige Brüder Regensburg, Ausbildung zum Allgemeinen Internisten
07/2017	Approbation als Ärztin
05/2017	Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
04/2016	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
09/2012	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
10/2010 bis 05/2017	Studium der Humanmedizin an der Universität Regensburg

Wissenschaftliche Tätigkeit

<u>Promotion:</u>	<i>Scapholunäre Achsenmethode (SLAM) zur</i>
Seit 2014	<i>Rekonstruktion von dynamischen SL-Bandläsionen am</i>
Betreuer: Priv.-Doz. Dr.	<i>Handgelenk im Vergleich zu bisherigen</i>
Jürgen Dolderer	<i>Standardverfahren – eine klinische Studie an 27</i>
	<i>Patienten</i>

Praktische Erfahrungen

Praktisches Jahr

12/2016 bis 04/2017	Drittes Tertial des Praktischen Jahres in der Klinik für Chirurgie, Universitätsklinikum Regensburg (Prof. Dr. Schlitt)
09/2016 bis 12/2016	Zweites Tertial des Praktischen Jahres in der Klinik für Plastische, ästhetische und Wiederherstellungschirurgie, Hôpital Saint Louis, Paris (Prof. Revol)
05/2016 bis 09/2016	Erstes Tertial des Praktischen Jahres in der Klinik für Allgemeine Innere Medizin, Spital Rorschach, Rorschach (Dr. Henz)

Famulaturen

03/2015	Allgemeinarztpraxis Dr. Heusinger, Straubing
01/2014 bis 02/2014	Klinik für Augenheilkunde, Hôpital Saint Roch, Nizza (Prof. Gastaud)
11/2013 bis 12/2013	Klinik für Dermatologie, Hôpital L'Archet, Nizza (Prof. Lacour)
09/2013 bis 10/2013	Klinik für Traumatologie/Orthopädie, Hôpital Saint Roch, Nizza (Prof. de Peretti)
02/2013 bis 03/2013	Klinik für Herz-Thorax-Chirurgie, Universitätsklinikum, Regensburg (Prof. Dr. Schmidt)

Weitere Praktika

2010 bis 2011	Krankenpflegepraktika am Klinikum St. Elisabeth, Straubing
06/2007	Praxis für Physiotherapie Manuela Bell, Straubing
06/2009	Zahnarztpraxis Dr. Holger Klinge, Straubing

Schulische Laufbahn

07/2010	Abitur
09/2001 bis 07/2010	Johannes-Turmair-Gymnasium, Straubing
09/1997 bis 07/2001	Johann-Stadler-Schule, Parkstetten

Nebentätigkeiten

02/2018 bis 05/2018	Kellnerin in Cafébar <i>Vincent</i> , Regensburg
10/2014 bis 11/2015	Kellnerin in Cafébar <i>Pauls Boutique</i> , Regensburg
09/2009 bis 09/2010	Nachhilfelehrerin in <i>Lerntherapeutische Praxis Stefanie Auerswald</i> , Straubing
06/2008 bis 09/2010	Kellnerin in Restaurant <i>Zum Goldenen Rad</i> , Straubing

Auslandserfahrungen

05/2016 bis 12/2016	Auslandsaufenthalte in Rorschach, Schweiz, sowie Paris, Frankreich, im Rahmen des ersten und zweiten PJ-Tertials
09/2013 bis 03/2014	Auslandssemester in Nizza, Frankreich

Sprachkenntnisse

Deutsch: Muttersprache
Englisch: fließend in Sprache und Text
Französisch: sehr gute Kenntnisse
Spanisch: Grundkenntnisse
Latein: großes Latinum