

Aus dem Funktionsbereich für Hand- und funktionelle Mikrochirurgie  
(Leiter Univ.-Prof. Dr. med. A. Eisenschenk)  
der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Wiederherstellungschirurgie und Rehabilitative  
Medizin  
(Direktor Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. A. Ekkernkamp)  
der Universitätsmedizin Greifswald

## Follow-up von Patienten mit Rekonstruktion des palmaren und dorsalen skapho-lunären Bandapparates nach Henry

Inaugural - Dissertation  
zur  
Erlangung des akademischen  
Grades  
Doktor der Medizin  
(Dr. med.)  
der  
Universitätsmedizin Greifswald  
2023

vorgelegt von  
Frank Eichenauer  
geb. am 06.02.1973  
in Bad Nauheim

Dekan: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Andreas Eisenschenk, Berlin / Greifswald

2. Gutachter: Prof. Dr. med. Martin Franz Langer, Münster

Ort: Greifswald

Tag der Disputation: 14.06.2023

## Abkürzungsverzeichnis

3-LT	Tri – Ligament – Tenodese (OP-Technik)
Abb.	Abbildung
BRB	Bone-retinaculum-bone
CIC	Carpal instability complex
CID	Carpal instability dissociative
CIND	Carpal instability non-dissociative
CL	Kapito-lunär
CRPS	Complex regional pain syndrome
CT	Computertomografie
DASH	Disability of the Arm, Hand and Shoulder (Score)
DISI	Dorsiflexed intercalated segment instability
DTM	Dart-Throwers-Motion
ECRB	Extensor carpi radialis brevis
ECRL	Extensor carpi radialis longus
EQ-5D	EuroQol 5 dimensional (Score)
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
GUV	Gesetzliche Unfallversicherung
ME	Materialentfernung / Entfernung der Transfixation
MRT	Magnetresonanztomografie
MWS	Mayo-Wrist-Score (Score)
NRS	Nummerische Rating Skala
OP	Operation
PACS	Picture Archiving and Communication System
PISI / VISI	Palmarflexed (volarflexed) intercalated segment instability
PRWHE	Patient-rated wrist and hand evaluation (Score)
RASL	Reduktion-Assoziation des skapho-lunären Gelenks (OP-Technik)

RL	Radio-lunär
ROM	Range of Motion
RS	Radius-Skaphoid
RSC	Radius-Skaphoid-Kapitatum
SC	Skapho-kapital
SL	Skapho-lunär
SLAC	Scapho-lunate advanced collapse
SLAM	Scapho-lunate axis method
SLD	Skapho-lunäre Dissoziation
SLITT	Scapho-lunate ligament internal brace 360-degree tenodesis
STT	Skaphoid-Trapezium-Trapezoideum
Tab.	Tabelle
TFCC	Triangulär fibro-kartilaginärer Komplex
TTO	Time-trade-off
VAS	Visuelle Analog Skala

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis \_\_\_\_\_ I

Inhaltsverzeichnis \_\_\_\_\_ III

1	Einleitung	1
1.1.	Anatomische Einführung	1
1.2.	Biomechanische Aspekte	3
1.3.	Karpale Instabilität	4
1.4.	Perilunäre Destabilisierung als Folge karpaler Bandverletzungen	5
1.5.	Die skapho-lunäre Dissoziation im Kontext der karpalen Instabilitäten	6
1.6.	Diagnostik der SL-Bandverletzung	8
1.6.1.	Klinische Untersuchung	9
1.6.2.	Bildgebende Untersuchungsverfahren	9
1.7.	Therapie der SL-Bandruptur	10
1.7.1.	Therapeutischer Entscheidungsalgorithmus	11
1.7.2.	Therapie der frischen SL-Bandruptur	14
1.7.3.	Therapie der chronischen SL-Bandruptur	14
1.7.3.1.	Kapsulodesen	15
1.7.3.2.	Bone-Retinaculum-Bone (BRB) Transplantationen	15
1.7.3.3.	Sehnentransplantate / Tenodesen	16
1.7.3.3.1.	<i>Flexor carpi radialis, gestielt</i>	16
1.7.3.3.2.	<i>Palmar und dorsale Bandplastik</i>	18
1.7.3.3.3.	<i>Extensor carpi radialis, gestielt</i>	19
1.7.3.3.4.	<i>Palmaris longus, frei</i>	20
1.7.3.3.5.	<i>Reduktion-Assoziation des SL-Gelenks RASL, scapho-lunate axis method (SLAM), all dorsal internal brace® und dorsal palmar reconstruction 360° internal brace® (SLITT)</i>	20
1.7.4.	Bandplastiken im Unfallkrankenhaus Berlin	21

1.8.	Ziel der vorliegenden Studie.....	22
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>23</b>
2.1	Aufbau der Studie .....	23
2.2	Erfassung der Studiengruppe.....	23
2.3	Operationstechnik.....	24
2.4	Ablauf der Studie.....	25
2.5	Messparameter .....	26
2.5.1	Epidemiologische Daten .....	26
2.5.2	Messung der Beweglichkeit der Gelenke und Kraft der Hand .....	27
2.5.3	Fragebögen und Scores .....	28
2.5.3.1	DASH-Score (Disability of the Arm, Hand and Shoulder) .....	28
2.5.3.2	PRWHE-Score (Patient-rated wrist / hand evaluation).....	28
2.5.3.3	EQ-5D (EuroQol 5 dimensional).....	29
2.5.3.4	Schmerzevaluation NRS 0 – 10.....	30
2.5.3.5	Mayo-Wrist-Score (MWS) .....	31
2.6	Radiologische Auswertung .....	31
2.6.1	Konventionelle Röntgenaufnahmen.....	31
2.6.2	Kinematografie .....	33
2.6.3	MRT.....	34
2.7	Arthroskopie.....	34
2.8	Komplikationen.....	35
2.9	Statistische Analyse .....	35
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>37</b>
3.1	Darstellung des Patientenkollektivs .....	37
3.1.1	Demografische Daten und Zeiträume .....	38
3.1.2	Verletzungsmuster, Begleitverletzungen und postoperative Komplikationen.....	41
3.2	Analyse der klinischen Funktionsparameter .....	42

3.2.1	Handgelenksbeweglichkeit.....	42
3.2.1.1	Unterarmdrehbeweglichkeit.....	43
3.2.1.2	Extension und Flexion.....	43
3.2.1.3	Radial- und Ulnarabduktion.....	46
3.2.1.4	Globalbeweglichkeit des Handgelenks – ROM (Range of Motion).....	48
3.2.2	Handkraft.....	48
3.2.2.1	Grobe Kraft.....	48
3.2.2.2	Feine Kraft.....	49
3.3	Analyse der subjektiven Parameter und Scores.....	50
3.3.1	Schmerz.....	51
3.3.2	Disabilities of Arm, Shoulder and Hand (DASH).....	52
3.3.3	EQ-5D.....	54
3.3.4	Patient related wrist / hand evaluation (PRWHE).....	54
3.3.5	Mayo Wrist Score (MWS).....	55
3.3.6	Korrelation der subjektiven Scores.....	55
3.4	Analyse der radiologischen Messwerte.....	56
3.4.1	Skapho-lunäre Distanz / Weite des SL-Gelenkspaltes.....	56
3.4.2	Skapho-lunärer Winkel (SL).....	56
3.4.3	Radio-lunärer Winkel (RL) und kapito-lunärer Winkel (CL).....	57
3.5	Analyse der anderen präoperativen radiologischen (Kinematografie und MRT).....	58
3.5.1	Kinematografie.....	58
3.5.2	MRT.....	58
<b>3.6</b>	<b>Ergebnisse der Fälle mit Revisionsbandplastiken.....</b>	<b>59</b>
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>62</b>
4.1	Allgemeine Überlegungen zur SL-Bandrekonstruktion.....	62
4.2	Überblick zum Studiendesign.....	63
4.2.1	Bewertung des subjektiven Outcomes.....	64
4.2.2	Bewertung des objektiven Outcomes.....	64
4.2.2.1	Beweglichkeit.....	64
4.2.2.2	Kraft.....	65

4.2.3	Bewertung der Misch-Scores MWS und PRWHE.....	66
4.2.3.1	PRWHE.....	66
4.2.3.2	MWS.....	66
4.2.4	Bewertung der bildgebenden Untersuchungsergebnisse.....	67
4.2.4.1	Röntgen.....	67
4.2.4.2	Kinematografie, MRT und Arthroskopie.....	68
4.2.5	Behandlungszeiten und Arbeitsunfähigkeit.....	69
4.3	Vergleich mit Ergebnissen anderer Veröffentlichungen.....	69
4.3.1	Epidemiologische Angaben.....	70
4.3.2	Zeiträume.....	71
4.3.3	Subjektive Ergebnisse, Scores und Arbeitsfähigkeit.....	72
4.3.3.1	Schmerz.....	72
4.3.3.2	Scores.....	73
4.3.3.3	Arbeitsfähigkeit.....	73
4.3.4	Objektiv funktionelle Ergebnisse.....	74
4.3.4.1	Beweglichkeit.....	74
4.3.4.2	Kraft.....	75
4.3.5	Röntgenergebnisse.....	75
4.3.5.1	SL-Distanz.....	75
4.3.5.2	SL-Winkel und DISI-Konfiguration.....	76
4.3.6	Komplikationen.....	77
4.4	Kritik an der vorliegenden Studie.....	79
4.5	Ausblick.....	80
5	Zusammenfassung.....	82
6	Abbildungsverzeichnis.....	84
7	Tabellenverzeichnis.....	86
8	Anhang.....	89



9	Literaturverzeichnis	102
10	Eidesstattliche Erklärung	117

# 1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit wertet die Ergebnisse einer Serie von 36 Operationen am Bandapparat der Handwurzel bei Verletzungen des skapho-lunären Bandes (SL-Band) aus einem Zeitraum vom Januar 2017 bis Oktober 2018 im Unfallkrankenhaus Berlin aus. Es lagen überwiegend chronische Verletzungen mit einem Verletzungsalter von größer gleich 6 Wochen vor oder solche, die einen Zerstörungsgrad aufwiesen, bei dem eine primäre Bandheilung nicht zu erwarten war. Untersuchungsgegenstand ist die Operationsmethode, die 2013 von *Mark Henry, MD des Hand and Wrist Center of Houston, Texas, Vereinigte Staaten von Amerika* beschrieben wurde und deren Ziel sowohl die streck- als auch beugeseitige Stabilisation (Rekonstruktion) des SL-Bandapparates ist (77).

## 1.1. Anatomische Einführung

Der skapho-lunäre Bandapparat gehört zum intrinsischen Bandsystem der Handwurzel (111). Er spielt eine zentrale Rolle in der Stabilisierung und Aufrichtung des Skaphoids (Kahnbein) und trägt maßgeblich zur Stabilität der Handwurzel bei (99; 165). Zusammen mit dem lunotriquetralen Bandapparat bildet er das transversale interkarpale Bandsystem der proximalen Handwurzelreihe bestehend aus Skaphoid, Lunatum (Mondbein) und Triquetrum (Dreiecksbein) (111). Der Bandapparat des skapho-lunären Gelenks besteht aus

- dem **dorsalen** und biomechanisch stärksten Bandanteil, der die dorsal-distale Ecke des Skaphoids mit dem Hinterhorn des Lunatums verbindet,
- dem weniger starken und weitaus mehr interkarpale Mobilität gewährenden **palmaren** Bandanteil und
- einem schwachen, der Kontur der sich gegenüberliegenden karpalen Knochen angepassten, fibro-kartilaginären **proximalen** Bandanteil (16; 112; 186).

Im Sagittalschnitt stellt sich der Bandapparat C-förmig dar. Seine Konvexität liegt auf der korrespondierenden Radiusgelenkfläche, während die konkave Öffnung des C nach distal zum Mediokarpalgelenk weist (Abb. 1). Arthroskopisch kann bei intaktem SL-Bandapparat das SL-Gelenk bzw. dessen Eingang lediglich bei der Inspektion des Mediokarpalgelenks gesehen und seine Stabilität beurteilt werden. Bei der Arthroskopie des Radiokarpalgelenks lässt ein unversehrter proximaler Bandanteil keine Sicht in das Gelenk zu (64).

Zum intrinsischen Bandsystem gehören weiterhin die transversalen interkarpalen Bänder der distalen Handwurzelreihe, die das Mediokarpalgelenk stabilisierenden Bänder zwischen den Handwurzelknochen beider Reihen und das dorsal schräg verlaufende interkarpale Band zwischen Triquetrum und STT-Bandsystem (Skaphoid-Trapezium-Trapezoideum) (111).

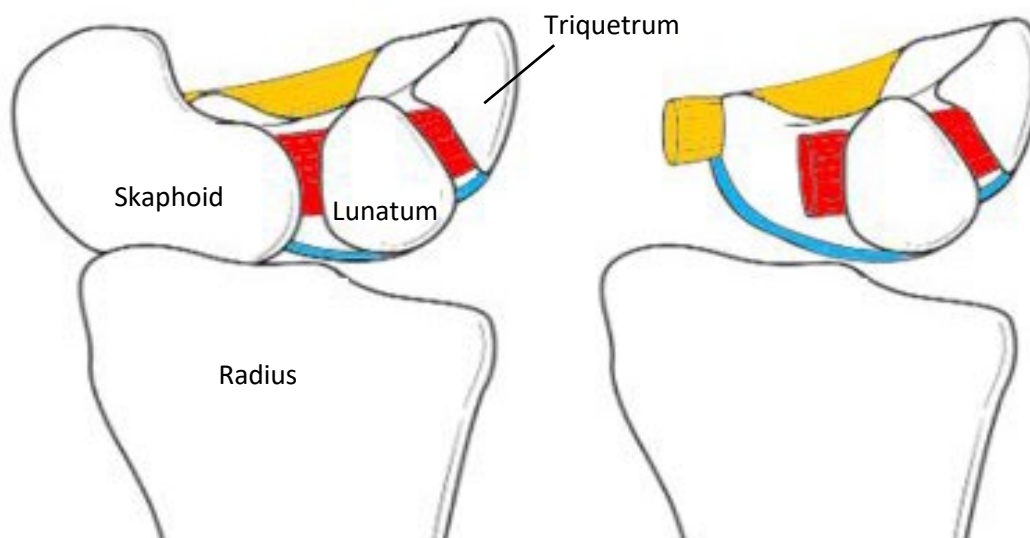


Abbildung 1: Schematische Darstellungen der skapho-lunären (SL) und luno-triquetralen Bandkomplexe. Eine proximale fibro-kartilaginäre Membran (blau) und zwei transversale interkarpale Ligamente: palmar (gelb) und dorsal (rot). Aus Wolfe, Scott W.; Hotchkiss, Green's Operative Hand Surgery S.422 Fig. 13.4 [9]

Das extrinsische Bandsystem verbindet die Unterarmknochen mit der Handwurzel. Hierzu gehören palmar vier radio-karpale (Radius-Skaphoid, Radius-Skaphoid-Kapitatum sowie kurzes und langes Radius-Lunatum) und drei ulno-karpale Bänder. Dorsal liegt ein schräg verlaufendes Band zwischen Radius und Triquetrum (111; 183). Zwischen Ulna und Handwurzel wird eine Stabilisation über den triangulär fibro-kartilaginären Komplex (TFCC) gewährleistet (132). Das von *Testut* (Jean Léo Testut, Anatom, 1849-1925) beschriebene und nach ihm bezeichnete Band zwischen Radius, Skaphoid und Lunatum wird nicht mehr als echtes Band gewertet (98). Es ist vielmehr eine dem SL-Band nahegelegene Schleimhautfalte aus lockerem Bindegewebe und enthält nutritive Gefäße sowie Nervenfasern für den proximalen Pol des Skaphoids und des palmaren SL-Bandes (98). Zu den palmaren ulno-karpalen Bändern gehören die oberflächliche Verbindung zwischen Ulna und Kapitatum – welche gemeinsam mit dem radio-skapho-kapitalen Band das sogenannte „distale V-Band“ bildet – sowie die tiefer gelegene Verbindungen zwischen Ulna, Lunatum und Triquetrum, die ihren Ursprung am palmaren Rand des TFCC haben (16; 17; 116; 137).

## 1.2. Biomechanische Aspekte

Das Handgelenk ist ein zusammengesetztes und hochmobiles Gelenk zwischen Unterarm und Mittelhand, das sich aus dem Radiokarpal- und dem Mediokarpalgelenk zusammensetzt (91). Die Mobilität dieser beiden Gelenke wird maßgeblich von der Bewegungsfähigkeit und Stabilität der Gelenke innerhalb beider, im Besonderen innerhalb der proximalen karpalen Reihe beeinflusst (123). Die Bewegungen werden passiv durch von außen einwirkende Kräfte, oder aktiv, durch Muskeln, deren Sehnen das Handgelenk überschreiten, ausgelöst (39). Eine Besonderheit der proximalen Reihe – im Englischen als „intercalated segment“ (= eingeschobenes Segment) bezeichnet – ist, dass an allen beteiligten Knochen der Reihe keine Sehne ansetzt und somit ihre Bewegungen lediglich passiv jenen der distalen Reihe folgen (38; 39; 123). Grundsätzlich weist das Handgelenk in der sagittalen und der koronaren Ebene die Möglichkeit zur Beugung nach palmar (Flexion), Streckung nach dorsal (Extension) sowie Abduktion nach radial und ulnar auf (99). Aufgrund der anatomischen Form und des umgebenden Bandsystems rotiert dabei das Skaphoid deutlich stärker als das Lunatum um die Transversalachse sowohl in der sagittalen als auch der koronaren Bewegungsebene (99; 112). Da die Bewegungen des Handgelenks im Alltag nur selten der Zweidimensionalität der genannten Bewegungsebenen entspricht und in der Regel kombinierte Bewegungen aus Streckung oder Beugung sowie Abduktion in einer Richtung vollzogen werden, hat Fisk das Modell der sogenannten „Dart-Throwers-Motion“ (DTM) beschrieben (52). Vereinfacht stellt dieses Bewegungsmuster den Übergang des Handgelenks von einer Extension-Radialabduktion in eine Flexion-Ulnarabduktion und umgekehrt dar, wie sie bei einem Dart-Spieler zu beobachten ist (37; 52; 106). Dieser Bewegungsablauf findet im Wesentlichen im Mediokarpalgelenk statt. Skaphoid und Lunatum verbleiben in ihren Neutralpositionen, da sich ihre jeweiligen Ausrichtungen durch die Kombination der Bewegungsachsen (Extension-Radialabduktion versus Flexion-Ulnarabduktion) neutralisieren (52). Die Umkehrung der Kombination der Bewegung, also Extension-Ulnarabduktion zu Flexion-Radialabduktion, wird als „Reversed DTM“ bezeichnet und findet im Wesentlichen im Radiokarpalgelenk, ebenfalls unter Minimalbewegung von Skaphoid und Lunatum, statt (52; 99). Die vereinfachende Darstellung der DTM ermöglicht ein Verständnis der anatomischen und biomechanischen Notwendigkeiten zum Erhalt der Stabilität sowie Gewährung von Bewegungen innerhalb der Handwurzel. Im Besonderen gilt dies für Bewegungen innerhalb der proximalen Reihe und des mit ihr verbundenen intrinsischen Bandsystems (51; 99; 112; 125; 182; 186).

### 1.3. Karpale Instabilität

Aus mechanischer Sicht kann Stabilität als die Fähigkeit eines Gelenks definiert werden, Subluxationen oder Verrenkungen unter physiologischen Belastungen in allen Handgelenkspositionen zu vermeiden (43). Stabilität bedeutet zum einen die Fähigkeit, Belastungen ohne Nachgeben zu übertragen und zum anderen gleichmäßige Bewegungen ohne unerwartete Veränderungen der Knochenposition zu gewährleisten (43). Die Instabilität der Handwurzel ist ein multifaktorielles Geschehen, das mit einer Veränderung des karpalen Gefüges einhergehen kann, aber nicht muss (43). Adaptive Vorgänge können langfristig zu einer Anpassung der Stabilität an veränderte oder abnorme Verhältnisse führen. Das Vorhandensein von Symptomen und eine karpale Instabilität sind nicht gleichbedeutend. Asymptomatische Instabilitäten treten häufig auf. Viele davon sind nicht behandlungsbedürftig (43; 81; 193; 198). Um die karpale Instabilität klinisch zu erfassen und eine strukturierte Interpretation des zugrundeliegenden Verletzungsmusters zu erlauben, wurde von *Larsen* ein Schema entwickelt, das eine Charakterisierung der Verletzung unter Berücksichtigung der Faktoren *Alter der Verletzung, Schweregrad bzw. Ausmaß der Gelenkinstabilität, Ursache, Gelenkregion und Fehlstellung* erlaubt (Tab. 1) (100). Die häufigste Fehlstellung ist die DISI (*dorsiflexed intercalated segment instability*) Konfiguration (7; 100). Sie ist meist die Folge einer Ruptur des SL-Bandes (81). Sehr viel seltener werden die, häufig mit einer Läsion des LT-Bandes vergesellschaftete PISI (*palmarflexed intercalated segment instability*, im Amerikanischen VISI *volarflexed intercalated segment instability*) Konfiguration oder die radiale und ulnare Translokation beobachtet (43; 59; 97; 193).

Tabelle 1: Aus dem Englischen übersetzte Kategorisierung karpaler Bandverletzungen nach dem International Wrist Investigators' Workshop (IWIW), Terminology Committee (201)

<b>Kategorie I:</b> Chronizität	<b>Kategorie II:</b> Konstanz	<b>Kategorie III:</b> Ursache	<b>Kategorie IV:</b> Lokalisierung	<b>Kategorie V:</b> Richtung
Akut: < 1 Woche (maximale Heilungspotenz)	Okkult	Kongenital	Radio-karpal	PISI <sup>1</sup> Rotation
	Dynamisch	Traumatisch	Proximal interkarpal	DISI <sup>2</sup> Rotation
Subakut: 1 – 6 Wochen (mäßige, abnehmende Heilungspotenz)	Statisch, reponibel	Entzündlich	Mediokarpal	Ulnare Translokation
	Statisch, irreponibel	Neoplastisch	Distal interkarpal	Dorsale Translokation
Chronisch: > 6 Wochen (geringe Heilungspotenz)		Iatrogen	Karpo-metakarpal	
		Andere	Knochen/Gelenkspezifisch	Andere

<sup>1</sup>PISI = palmarflexed (oder volar) intercalated segment instability      <sup>2</sup>DISI = dorsiflexed intercalated segment instability

Man unterscheidet drei Klassen karpaler Instabilitäten: CID (*carpal instability dissociative*), CIND (*carpal instability non-dissociative*) und CIC (*carpal instability complex*) (59). Die Gruppe der CID umfasst Fehlstellungen zwischen benachbarten Knochen der gleichen karpalen, meist der proximalen, Reihe. Die Gruppe der CIND schließt die Instabilitäten zwischen den karpalen Reihen, also radiokarpal – oder selten auch *und* – mediokarpal ein. Zur Gruppe der CIC gehören die kombinierten Instabilitäten, die sowohl innerhalb als auch zwischen den karpalen Reihen bestehen (43; 59; 100).

#### **1.4. Perilunäre Destabilisierung als Folge karpaler Bandverletzungen**

Die karpale Instabilität ist oft Folge eines direkten oder indirekten Traumas (197). Beim direkten Trauma wirkt die Kraft direkt auf eine karpale Struktur und führt zu einer Ausrenkung oder dem Bruch eines Knochens oder auch zur Durchtrennung eines Bandes. Beim indirekten Trauma wirkt die Kraft auf einen von der Handwurzel entfernten Teil des Armes oder der Hand und benötigt aufgrund einer Verstärkung durch die Hebelwirkung unter Umständen deutlich weniger Kraft, um eine Verletzung herbeizuführen. Die notwendige Kraft und die daraus resultierende Art der Verletzung hängt dabei von der Richtung der Kraft und der Position des Handgelenks sowie individuellen Faktoren wie z.B. der Gewebequalität ab (117; 146). Zum Verständnis der Pathomechanik der traumatischen karpalen Instabilität hat *Mayfield* ein 4-stufiges Modell der perilunären Luxation (*progressive perilunäre Destabilisierung*) beschrieben, dass die am häufigsten auftretenden traumatischen Verletzungen der Handwurzel – die Skaphoidfraktur und die SL-Bandruptur – einschließt (117). Dabei stellt die SL-Bandruptur oder -Dissoziation als Resultat einer gewaltsamen Extension des Handgelenks und gleichzeitiger intrakarpaler Supination mit ansteigendem und auf das im STT-Gelenk fixierte Skaphoid wirkende Drehmoment das erste Stadium nach *Mayfield* dar. In Stadium II führt eine anhaltende Kraftwirkung zur dorsalen Luxation des Kapitatums mit Ruptur des RSC-Bandapparates. Stadium III schließt die Ruptur des LT-Bandes oder alternativ die Fraktur des Triquetrums ein. Im Stadium IV wird das Lunatum nach palmar aus dem Karpus gedrückt (117). Die Umkehrung des perilunären Destabilisierungsmusters ist möglich, so dass alternative Verletzungsmuster mit Beginn im Bereich des LT-Bandapparates resultieren (8; 78; 126).

### 1.5. Die skapho-lunäre Dissoziation im Kontext der karpalen Instabilitäten

Der bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts bekannte Zustand der SL-Dissoziation ist die häufigste karpale Instabilität (46; 93; 151). Die klinischen Merkmale wurden allerdings erst 1972 von Lindscheid beschrieben (110). Sie tritt sowohl als isolierte Verletzung als auch in Kombination mit weiteren Verletzungen der Handgelenksregion (z.B. bei distalen Radiusfrakturen) auf (76).

Bisherige biomechanische Untersuchungen erarbeiteten grundsätzliche Kenntnisse zur Tragkraft der Anteile (palmar, proximal und dorsal) des karpalen Bandapparates (Abb. 2) und der zur Destabilisierung der Handwurzel erforderlichen Voraussetzungen (16; 150).

So konnte unter anderem gezeigt werden, dass Teilverletzungen vor allem des schwachen

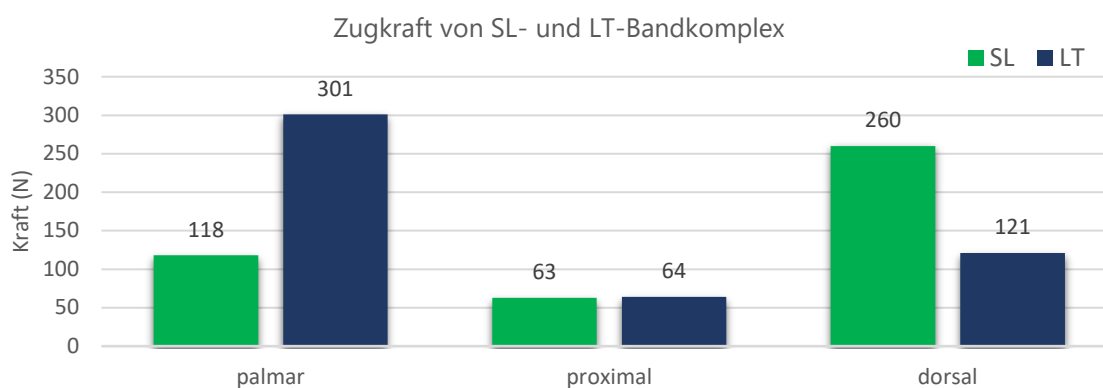


Abbildung 2: Durchschnittliche Zugkraft der interkarpalen Bandkomplexe SL (grün) und LT (blau) in Newton (N) (Berger, 1997; Ritt et al., 1998) [7, 56]

proximalen und des palmaren SL-Bandanteils nicht umgehend zu relevanten Veränderungen der karpalen Kinematik führen. Eine vollständige Durchtrennung des dorsalen Aspektes des Bandapparates oder eine isolierte Durchtrennung des SL-Bandanteils führt zwar zu einem gestörten Ablauf der karpalen Kinematik, jedoch nicht zu einer sofort erkennbaren Destabilisierung der karpalen Architektur (58; 130; 194). In der radiologischen Diagnostik werden sogenannte *statische* von *prä-dynamischen* und *dynamischen* Störungen abgegrenzt (142; 188). Erst die gleichzeitige Ruptur sogenannter sekundärer Stabilisatoren, nämlich der palmaren radialen Bändern RSC, SC und des Bandapparates des STT Gelenks, führen zur umgehenden und im *statischen* Röntgenbild nachweisbaren Destabilisierung des Karpus (186; 193). Sind die sekundären Stabilisatoren intakt und verbleibt die Ruptur des SL-Bandes unerkannt und / oder unbehandelt, führt die veränderte Kinematik und verminderte Stabilität über einen bisher nicht näher definierten, individuell sehr variablen Zeitraum zu einer

kontinuierlichen Schwächung des Bandapparates und einer damit verbundenen Destabilisierung (193). Einflussfaktoren sind neben dem Ausmaß der zugrundeliegenden Verletzung des Bandapparates von außen einwirkende repetitive Kräfte (berufliche Tätigkeit, Freizeitaktivität etc.) und das Alter des Betroffenen (198). Die Destabilisierung äußert sich in einer zunehmenden Distanzierung (Dissoziation) von Skaphoid und Lunatum, einer Flexion und Pronation des Skaphoids um das durch die palmare Konvexität des Skaphoids verlaufende RSC-Band sowie einer Rotation des Lunatum-/Triquetrum- Komplexes nach dorsal. Die Fehlrotation und Dissoziation der proximalen Reihe verursacht eine Pronation und Proximalisierung bei gleichzeitiger dorsaler Subluxation (DISI-Fehlstellung) der distalen Reihe (Abb. 3) (188; 192).

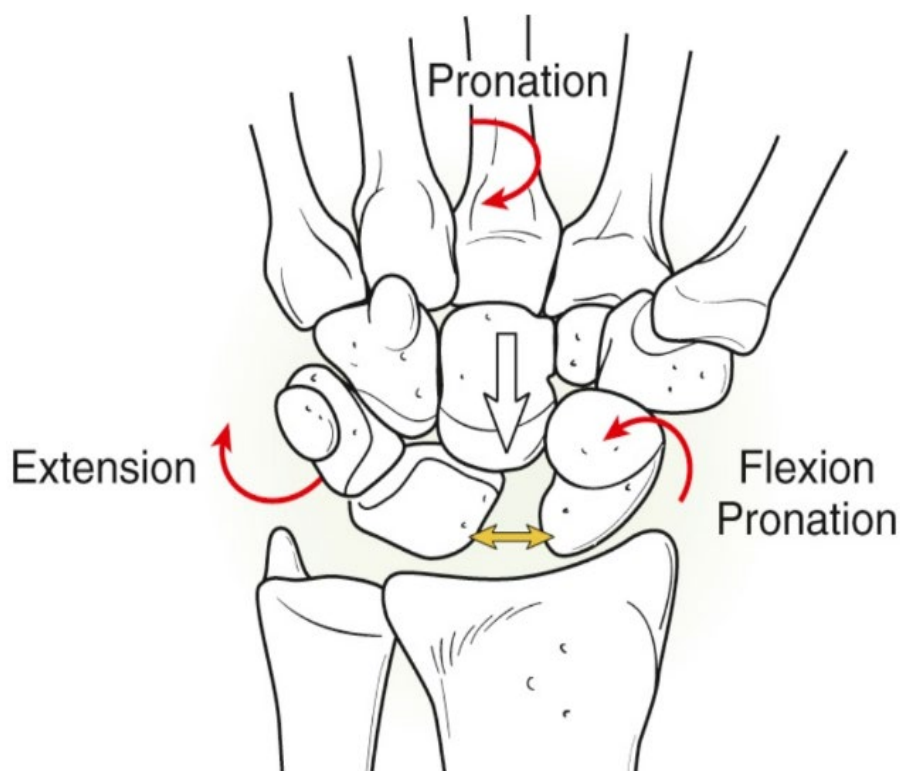


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung der häufigsten Verschiebungen (rote gekrümmte Pfeile) bei einer statischen SL-Dissoziation unter axialer Belastung (weißer Pfeil): Das Kahnbein neigt dazu, in Beugung und leichte Pronation zu rotieren; das unbelastete Triquetrum und Lunatum drehen sich in dem Skaphoid entgegengesetzter Richtung (DISI Muster der Fehlausrichtung); die distale Karpalreihe proniert sich und es entsteht eine Lücke zwischen Kahnbein und Lunatum (gelber Doppelpfeil). Aus Wolfe, Scott W.; Hotchkiss, Green's Operative Hand Surgery S.435 Fig. 13.19 [9]

Momentaufnahmen der Entwicklung werden im Röntgenbild als DISI-Konfiguration beschrieben und münden im sogenannten karpalen Kollaps. Aufgrund der fortschreitenden Fehlstellung kommt es zu einer unnatürlichen Druckverteilung in den verschiedenen Gelenkbereichen von Handwurzel und Handgelenk mit stadienhafter Degeneration der Gelenkanteile.



Es entsteht das von *Watson* et al. beschriebene und durch *Lluch* in Stadien eingeteilte SLAC-wrist (scapho-lunate advanced collapse). Die Stadien beschreiben die Progression der eintretenden Arthrose (110; 188; 189):

- Stadium I: radio-skaphoidal
- Stadium II: Stad. I und skapho-kapital
- Stadium III: Stad. II und luno-kapital
- Stadium IV: Stad. III und triquetro-hamatal
- Stadium V: Stad. IV und radio-lunär

### **1.6. Diagnostik der SL-Bandverletzung**

Die frische SL-Bandverletzung wird häufig initial nicht erkannt (10; 93). Ein grundsätzliches Problem der Diagnostik karpaler Bandverletzungen ist die Überschneidung der Symptomatik und die somit fehlende, eindeutige Abgrenzbarkeit zu anderen Verletzungen des Bewegungsapparates (93). Die klinischen Zeichen mit Schwellung, Schmerz und Bewegungseinschränkungen sind unspezifisch. Nicht selten stehen andere, radiologisch auffälligere Befunde wie Frakturen von Radius oder Skaphoid im Vordergrund und maskieren die Bandverletzung (63; 93). Einfache, standardisierte und rasch durchzuführende Untersuchungen wie das native Röntgenbild oder die Ultraschalldiagnostik zeigen nur in seltenen Fällen einen sicher pathologischen Befund (142). Die Praxis zeigt, dass selbst zeitnah zum Unfallereignis eingeleitete, oft mit höherem Aufwand verbundene radiologische Untersuchungen wie MRT, Kinematografie oder Arthrografie nicht eindeutig sind und diagnostische Lücken offenbaren (1; 142). Einzig die invasive Arthroskopie erlaubt dem erfahrenen Operateur eine Einschätzung der Schäden und der Stabilität der Gelenke der Handwurzel. Aber auch hier gibt eine nicht unerhebliche Spannbreite an Merkmalen und deren Ausprägung, die eine sichere Bewertung beeinträchtigen (1; 107). Werden zum Zeitpunkt des Unfallereignisses therapeutische Maßnahmen wie Immobilisation, Schmerztherapie und physikalische Therapie (Kühlung etc.) eingeleitet, kommt es selbst bei vollständigen Rupturen meist zu einem Rückgang der Symptomatik, nicht selten auch über lange Zeiträume sogar zu Beschwerdefreiheit. Erst unter fortgesetzter Belastung treten in Folge der bestehenden oder progredienten Instabilität pathologische Bewegungsmuster und Fehlbelastungen der Gelenke auf. Sie verursachen schmerzhafte, entzündliche Veränderungen (Synovialitis) und langfristig eine Degeneration des Gelenkknorpels (1; 134). Die Diagnostik der chronischen SL-Bandruptur

(älter als 6 Wochen) entspricht weitestgehend der frischen Ruptur. Während klinische Tests der frischen Verletzung oft schmerz- und schwellungsbedingt kaum durchführbar oder sehr unsicher sind, werden die aufwändigeren radiologischen Untersuchungen erst im späteren Verlauf eingeleitet, wenn sich die Verletzung bereits im subakuten oder gar chronischen Stadium befindet und anhaltende oder zunehmende Beschwerden bestehen (59).

### **1.6.1. Klinische Untersuchung**

Zur klinischen Untersuchung stehen neben der Beschreibung und Palpation der äußerlich sichtbaren Gelenkregion wenige Tests zur Verfügung (197). Beim sog. *Watson*-Test wird vom Untersucher im Seitenvergleich das Skaphoid während der Ulnarabduktion des Handgelenks durch palmaren Druck auf den distalen Pol aufgerichtet, dabei reponiert und fixiert (187). Anschließend wird das Handgelenk bei fixiertem Skaphoid nach radial gewinkelt (radialduziert). Bei instabilem SL-Gelenk tritt dabei eine, meist schmerzhaft, Subluxation/Luxation des proximalen Skaphoidpoles an der dorsalen Radiuskante auf. Bei Nachlassen des Drucks auf den palmaren Skaphoidpol kommt es zur Reposition, die sich in einem Schnappen äußert. Der Test ist sensitiv jedoch wenig spezifisch und hängt stark von der Erfahrung des Untersuchers ab (187). Weitere sensitive und wenig spezifische Tests sind die Prüfung des sogenannten SL-Ballements, bei dem eine Verschiebbarkeit (dorso-palmare Translation) mit oder ohne Schmerzauslösung des Skaphoids gegenüber dem Lunatum geprüft wird. Des Weiteren ein Test, bei dem Zeige- und Mittelfinger gegen Widerstand bei leicht gebeugtem Handgelenk gestreckt und Schmerzen im SL-Gelenkbereich auf Grund einer hier vorliegenden Synovialitis ausgelöst werden (19; 148).

### **1.6.2. Bildgebende Untersuchungsverfahren**

Zu den radiologischen Untersuchungen gehört das native und standardisiert aufgenommene Röntgenbild im dorso-palmaren und seitlichen Strahlengang, wobei der Zentralstrahl auf die Handwurzel/radiokarpaler Gelenkspalt gerichtet sein muss, um reproduzierbare Messungen der Distanzen und Winkel zu erlauben. Stressaufnahmen z.B. unter Faustschluss und Ulnarabduktion bieten trotz statischer Bilder Einblicke in die Dynamik der Handwurzel (119; 142; 187; 199). Oft auffälligstes Merkmal ist der erweiterte SL-Gelenkspalt, aufgrund der markanten Zahnücke des britischen Filmkomikers als „*Terry Thomas Zeichen*“ benannt. Es wird die Distanz zwischen Skaphoid und Lunatum auf Höhe der Mitte der ulnaren Facette des

Skaphoids gemessen. Einseitig nach Trauma auftretende Distanzen größer 3 mm gelten als auffällig, während bei über 5 mm und fehlender konkurrierender Ursachen, z.B. konstitutioneller Hyperlaxizität oder, seltener, ursächliche degenerative Erkrankungen, die Ruptur nahezu sicher ist (46; 93; 142). Durch eine Flexionsfehlstellung des Skaphoids resultiert neben einer verkürzten Erscheinung in der dorso-palmaren Projektion auch eine Verdichtung des distalen Anteils des bohnenförmigen Knochens in Form eines Ringes. Im deutschen Sprachraum wird dieses Phänomen als Siegelring- oder Ringzeichen angegeben (162). Durch die Rotation des Lunatums nach dorsal erhält dieser Knochen in der dorso-palmaren Projektion die Form einer Pyramide. Beide Auffälligkeiten im Röntgenbild sind unspezifisch für die SL-Bandruptur und stark abhängig von regulären anatomischen Gegebenheiten sowie korrekter Positionierung und Haltung während der Aufnahme (142; 160; 161). In der seitlichen Projektion des statischen Röntgenbildes lassen sich verschiedene Winkel der Achsen der Handwurzelknochen zueinander bestimmen, von denen der sogenannte SL-Winkel die höchste Aussagekraft in Bezug auf den SL-Bandapparat trägt (161). Der Normalwert liegt zwischen 45 und 60°. Höhere Werte sprechen für die Ruptur des SL-Bandes (81; 101; 119; 142). Zur erweiterten radiologischen Bildgebung gehören die Magnetresonanztomografie mit und ohne Kontrastmittel, MR- und CT-Arthrografien mit intraartikulär applizierten Kontrastmitteln und Kinematografien zur dynamischen Bildgebung. Die Ultraschalldiagnostik bietet bisher noch zahlreiche Unsicherheiten in der Diagnostik (28; 142; 147; 174; 175). Die Arthroskopie bietet durch die direkte Visualisierung des Gelenks die höchste diagnostische Aussagekraft. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es sich um eine invasive, operative Maßnahme handelt, erlaubt die Arthroskopie, Aussagen über das Schädigungsausmaß des intrinsischen Bandapparates, dessen Stabilität und den Zustand des Gelenks (Knorpelbeschaffenheit, entzündliche Veränderungen etc.) zu treffen (36; 44; 63; 166; 185).

### **1.7. Therapie der SL-Bandruptur**

Unter dem Aspekt der Heilungspotenz verletzter Bandstrukturen, die nach Larsen et al. in der ersten Woche nach dem Trauma am größten ist und im Verlauf rasch abfällt, so dass sechs Wochen nach dem Unfallereignis kaum noch Chancen für eine Heilung des Bandapparates ohne interventionelle Maßnahmen zu erwarten sind, fällt ein großer Teil der Verletzungen des karpalen Bandapparates zu Beginn der therapeutischen Maßnahmen bereits in die chronische Phase (100). Eine frühzeitige Diagnose gelingt in der Regel lediglich bei vollständiger Ruptur,

die bereits initial im Röntgenbild erkannt wird oder bei anderen – zunächst oft im Vordergrund stehenden – Verletzungen, wie der Fraktur des distalen Radius, die eine erweiterte Diagnostik und frühzeitige operative Behandlung nach sich ziehen. Allerdings sind sich die meisten Autoren darüber einig, dass selbst die frühzeitige Diagnose und zeitnahe Behandlung keine Garantie dafür gibt, dass der Bandapparat mit einer ausreichenden Stabilität und einem guten funktionellen Ergebnis ausheilt (93; 124; 151; 168; 171; 179). Im Laufe der Zeit führen die gestörte Kinematik und degenerative Veränderungen der zerstörten Bandanteile (narbige Umwandlung, Schrumpfung), der Knorpelflächen (posttraumatische Arthrose) und angrenzender, initial intakter, Bandstrukturen (Überdehnung, Schrumpfung) der betroffenen Gelenke zu einer zunehmend schlechteren Prognose etwaiger Wiederherstellungsversuche (93; 151; 168; 169).

### 1.7.1. Therapeutischer Entscheidungsalgorithmus

*Garcia-Elias* führte einen therapeutischen Algorithmus ein, der eine Hilfestellung im Rahmen der Indikationsstellung zur operativen oder konservativen Therapie gibt (57; 61). Er orientiert sich dabei am Ausmaß der Bandverletzung, nachweisbarer Instabilität und Repositionsfähigkeit des Gelenks sowie Knorpelstatus. Es resultieren 7 Stadien (Tab. 2).

Tabelle 2: Klassifikation der SL-Bandläsion modifiziert nach Garcia-Elias (61)

<b>Stadium</b> <b>Befund</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>
Teilläsion	ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Reparabel	ja	ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Regulärer RS <sup>1</sup> -Winkel	ja	ja	ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Regulärer RL <sup>2</sup> -Winkel	ja	ja	ja	ja	Nein	Nein	Nein
Fehlstellung reponierbar	ja	ja	ja	ja	ja	Nein	Nein
Intakter Knorpel	ja	ja	ja	ja	ja	ja	Nein

<sup>1</sup>RS = radio-skaphoidal    <sup>2</sup>RL = radio-lunär

Stadium I und II können im Wesentlichen der frischen Verletzung mit erhaltenen Bandanteilen und deren Behandlung zugerechnet werden. Stadium III, IV und V zeigen neben erheblicher Zerstörung der Bandstrukturen regelhaft deren sekundäre Degeneration und auffällige Zeichen der karpalen Instabilität. Sie bedürfen aufwändiger rekonstruktiver Verfahren (meist durch eine Ligamentoplastie) (61). Stadium VI und VII sind in der Regel einem rekonstruktiven Verfahren nicht mehr zugänglich und münden in verschiedenen symptomorientierten, bei Versagen der konservativen Therapiemöglichkeiten, oft operativen Verfahren, die Denervierungen, Teilarthrosen („Rettungsoperationen“) und vollständige Versteifungen des Handgelenks umfassen (139; 144; 145; 159). Zur arthroskopischen Bewertung der Gelenkstabilität wurde von *Geissler* 1996 eine Klassifizierung (Tab. 3) vorgeschlagen (63; 64).

Tabelle 3: Einteilung der Instabilität der Gelenke der proximalen Reihe und therapeutischer Algorithmus nach *Geissler* (63)

<b>Grad</b>	Beschreibung	Versorgung
<b>I</b>	Reduktion der Spannung oder Einblutung des interossären Ligaments aus radiokarpaler Sicht. Keine Inkongruenz bzw. harmonische Gelenkübergänge im Mediokarpalraum.	Immobilisation z.B. im Gipsverband
<b>II</b>	Dämpfung der Spannung / Elongation oder Einblutung des interossären Ligaments aus radiokarpaler Sicht. Inkongruenz und / oder Erweiterung des SL-Gelenks aus mediokarpaler Sicht. Es kann ein leichter Spalt (geringer als die Breite der Sonde – 2 mm) zwischen den Handwurzelknochen vorhanden sein.	Temporäre Transfixation
<b>III</b>	Inkongruenz und / oder Stufenbildung sowohl radiokarpal als auch mediokarpal. Die Sonde kann durch den Spalt zwischen den Handwurzelknochen geführt werden.	Temporäre Transfixation / offene Rekonstruktion
<b>IV</b>	Inkongruenz und / oder Stufenbildung sowohl radiokarpal als auch mediokarpal. Es besteht eine grobe Instabilität bei der Manipulation. Ein 2,7-mm-Arthroskop kann den Spalt zwischen den Handwurzelknochen passieren = „drive-through“.	offene Rekonstruktion

*Andersson und Garcia-Elias* beschrieben 2013 Formen der Verletzungen des dorsalen SL-Bandes (Abb. 4) (6; 7).

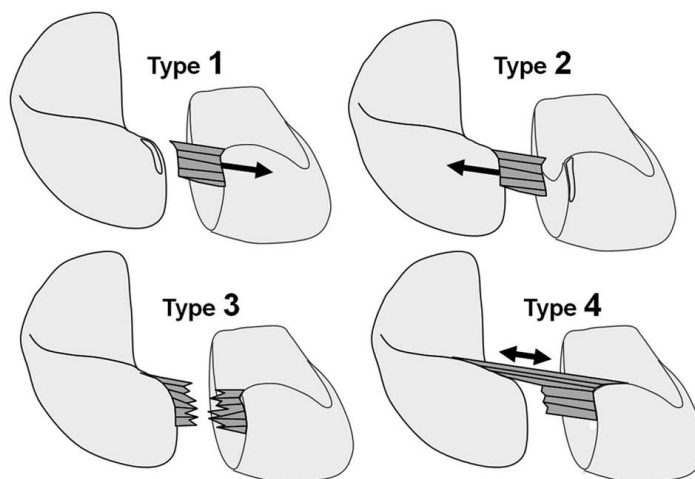


Abbildung 4: Klassifikation der dorsalen skapho-lunären Bandverletzung nach *Andersson und Garcia-Elias*. Typ 1: skaphoidale Avulsion (42 % aller SL-Verletzungen); Typ 2: lunäre Avulsion (16 %); Typ 3: mittlere Substanzruptur (20 %); Typ 4: Teilruptur plus Dehnung (22 %). Aus *Andersson und Garcia-Elias*, 2013, "Dorsal scapholunate ligament injury" [35]

*Messina* et al. schlugen 2013 eine erweiterte Klassifikation (Tab. 4) vor (7; 63; 122). Sie berücksichtigt neben dem radiologischen auch den arthroskopischen Befund und modifiziert den von *Garcia-Elias* vorgeschlagenen Algorithmus durch eine Spezifizierung der therapeutischen Möglichkeiten (7; 63; 64; 122).

Tabelle 4: Arthroskopische EWAS (European Wrist Arthroscopy Society) Klassifikation der SL-Bandruptur modifiziert durch *Messina* et al. (122)

Grad	Beschreibung	Arthroskopische Prüfung des SL-Gelenks über das radiale Portal zum Mediokarpalgelenk
<b>I</b>	Elongation	Kein Einführen des Tasthakens möglich
<b>II</b>	Ruptur der proximalen SL-Membran	Einführen des Tasthakens möglich, keine Erweiterbarkeit des Gelenks
<b>III A</b>	II + Ruptur des palmaren SL-Bandes	Palmare Erweiterbarkeit des Gelenks
<b>III B</b>	II + Ruptur des dorsalen SL-Bandes	Dorsale Erweiterbarkeit des Gelenks
<b>III C</b>	II + Ruptur des dorsalen und palmaren SL-Bandes	Erweiterbarkeit des gesamten Gelenks mit spontaner Reposition bei Entfernung des Tasthakens
<b>IV</b>	III C + Erweiterung des SL Gelenks (ohne Fehlstellung der proximalen Reihe)	Erweiterung des SL-Gelenks <b>ohne</b> radiologisch erkennbare Fehlstellung der proximalen Reihe, das Arthroskop kann das Gelenk passieren.
<b>V</b>	IV + mit Fehlstellung der proximalen Reihe	Erweiterung des SL-Gelenks <b>mit</b> radiologisch erkennbarer Fehlstellung der proximalen Reihe

### **1.7.2. Therapie der frischen SL-Bandruptur**

Zu den primären therapeutischen Möglichkeiten, im Wesentlichen auf die Stadien I und II nach *Garcia-Elias* und eher frische Verletzungen bezogen, gehören die geschlossene Reposition und temporäre Transfixation des Karpus mit Kirschnerdrähten ggf. unter arthroskopischer Kontrolle des Gelenks, alternativ die offene Bandnaht oder die knöcherne Refixation des Bandapparates mittels transossärer Nähte oder Knochenanker. Einige Autoren empfehlen auch sog. Kapsulodesen (71; 93; 121; 151; 176). Teilrupturen oder schwere Zerrungen können bei fehlender Dislokation der karpalen Knochen konservativ mit konsequenter Immobilisation und sogenanntem Propriozeptionstraining erfolgreich behandelt werden (72; 149; 156; 157). Arthroskopische Maßnahmen wie Debridement und elektrothermische Bandschrumpfung kommen ebenfalls in diesen Stadien zum Einsatz (63; 104; 166). Jüngere Veröffentlichungen zeigen auch bei vollständiger Ruptur des Bandapparates vielversprechende arthroskopische Techniken zur Bandreparatur (44; 185).

### **1.7.3. Therapie der chronischen SL-Bandruptur**

Da sich die vorliegende Arbeit mit den Ergebnissen der von *Mark Henry* (77) beschriebenen Ligamentoplastik und Verletzungen des SL-Bandes im Stadium III bis V nach *Garcia-Elias* beschäftigt, werden die diesbezüglichen therapeutischen Möglichkeiten erst im Anschluss an die Behandlung der Stadien VI und VII dargestellt. Letztgenannte Stadien definieren sich durch eine abnormale karpale Konfiguration, die nicht ohne größeren Kraftaufwand oder erweiterte Präparation zur Mobilisation fixierter karpaler Knochen reponiert werden kann und im Stadium VII Schäden der Knorpelflächen aufweisen (57; 58; 188). Ursächlich für die Fixation sind fibrotische Veränderungen und Kapselschrumpfungen im Bereich subluxierender karpaler Knochen. Die mechanische Lösung und Mobilisation führen in der Regel rasch zu erneuten Verwachsungen, so dass rekonstruktive Eingriffe in diesen Fällen einer schlechten Prognose unterliegen (59; 93). Empfohlen werden bei symptombelasteten Fällen die bereits oben angesprochenen Eingriffe zur Schmerzreduktion in der Hoffnung des Erhaltens einer Restbeweglichkeit des Handgelenks („Rettungsoperation“), in schwerwiegenden Fällen auch die vollständige Versteifung des Handgelenks (60; 87). Die Endoprothetik des Handgelenks hat, da der Großteil der betroffenen Patienten jüngeren Alters mit hoher funktioneller und mechanischer Beanspruchung sind, bisher keine Relevanz im Behandlungsalgorithmus der SL-Bandruptur (93; 145).

Ein Großteil der zu behandelnden Bandrupturen fällt in die chronische Phase, die einer primären Bandheilung nicht mehr zugänglich ist (Tab. 1, S.4). Das von *Garcia-Elias* eingeführte Schema zur Bewertung und Klassifizierung insbesondere der Stadien III bis V (Tab. 2, S.11) grenzt das chronische Stadium zeitlich nicht weiter ein und bezieht die therapeutischen Möglichkeiten zur Rekonstruktion auf den eingeschätzten klinischen sowie operativen / arthroskopischen Befund. Damit dehnt sich dieser rekonstruktive Zeitraum erheblich aus, so dass entsprechende Therapien auch noch viele Monate nach primärem Unfallereignis, ähnlich den Bandplastiken der großen Gelenke Knie und Schulter, durchgeführt werden (96; 135; 158).

#### 1.7.3.1. Kapsulodesen

Die Entwicklung und Anwendung von Bandplastiken zur Stabilisation des SL-Gelenks – meist als Rekonstruktion bezeichnet – begann bereits in den 1970er Jahren. Auf Grundlage der bis dahin noch verhältnismäßig rudimentären Erkenntnisse zur Kinematik, weniger maßgeblich auch der Anatomie des Handgelenks und der Handwurzel, sowie negativer Erfahrungen der ersten Techniken für Bandplastiken durch Sehnen transplantation standen zunächst sogenannte Kapsulodesen im Vordergrund: Korrekturoperationen im Bereich der Gelenkkapsel und der Bänder, durch die die krankhaft vermehrte Beweglichkeit vermindert wird (46; 117; 179). Akzeptable Ergebnisse konnten im Wesentlichen nur für dynamische Instabilitäten (Stadium III) beschrieben werden (26; 56; 118; 124; 178). Die so bezeichnete „dorsale Kapsulodese“ hat zum Ziel, der bei Ruptur des SL-Bandes einsetzenden palmaren Rotationsbewegung und dorsaler Subluxation des Skaphoids entgegenzuwirken. Die von 1987 durch *Blatt* beschriebene Form der Kapsulodese gehört zu den am häufigsten eingesetzten Varianten und beinhaltet die Verlagerung eines proximal, am radial dorsalen Radius gestielten Kapsellappens, dessen ulnares Ende nach distal radial verlagert und am reponierten Skaphoid fixiert wird. Modifikationen wurden 1992 von *Linscheid und Dobyns* sowie 2002 von *Szabo* beschrieben. Neuere Veröffentlichungen berichten von guten Ergebnissen bei Verlagerung eines Teiles des am Triquetrum gestielten Ligamentum intercarpale dorsale, dessen radialer Ansatz gelöst und zur Verstärkung und Rekonstruktion des SL-Bandes an dessen dorsalen, skaphoidalen Ansatz fixiert wird (20; 56; 113; 124; 127; 177; 200).

#### 1.7.3.2. Bone-Retinaculum-Bone (BRB) Transplantationen

In den späten 1990er Jahren wurden verschiedene Knochen-Band-Knochen Transplantate zum Ersatz des dorsalen Bandapparates des SL-Gelenks vorgeschlagen. Grundlage waren die zu dieser Zeit eingeführten Bone-Tendon-Bone-Plastiken im Bereich des Kniegelenks. Die



beschreibenden Autoren *Weiss* 1998, *Cuenod* 1999 und *Harvey* 2007 verwendeten verschiedene Spenderareale der Handgelenks- bzw. Handwurzelregion, um entsprechende Transplantate zu gewinnen und fügten sie in passend geschaffene Knochenlager von Skaphoid und Lunatum unter Verwendung verschiedener Osteosynthesetechniken ein. Anfangs positive Ergebnisse bei dynamischen Instabilitäten wiesen langfristig eine unzureichende Stabilität im Sinne des Transplantatversagens auf. Gehäuft zeigten sich Pseudarthrosen im schlecht vaskularisierten proximalen Skaphoid. Bei statischen Veränderungen (> Stadium III) fanden sich vornehmlich schlechte Ergebnisse, so dass diese Techniken weitestgehend aufgegeben wurden (40; 41; 74; 171; 190).

### 1.7.3.3. Sehnen transplantate / Tenodesen

Die bereits zu Beginn der 1970er Jahre beschriebenen, ersten Bandplastiken des SL-Gelenks unter Verwendung von Sehnen transplantaten waren durch Komplikationen wie Knochenbrüche und Zerstörung der Gelenkflächen infolge großer Bohrlöcher in schlecht vaskularisierten Bereichen von Skaphoid und Lunatum gekennzeichnet. Die Technik der bereits beschriebenen Kapsulodesen und die Anfang der 1980er Jahre mit guten Ergebnissen in den Vordergrund rückenden Teilarthrodesen der Handwurzel führten zur Aufgabe der im Prinzip auf eine Rekonstruktion des zerstörten Bandapparates gerichteten Techniken (46; 110; 173; 179).

#### 1.7.3.3.1. *Flexor carpi radialis, gestielt*

Eine Renaissance erlebten die SL-Bandplastiken in den 1990er Jahren. Ausschlaggebend war vor allem eine Veröffentlichung von *Brunelli und Brunelli* 1995 (24). Ziel der beschriebenen Technik war – ähnlich dem der Kapsulodesen – die Rotations-Subluxations-Instabilität des Skaphoids aufzuheben und das Skaphoid in Reposition zu festigen, indem seine stabilisierenden Verbindungen zum Radius restauriert und verstärkt wurden. Ein distal gestielter Streifen der Sehne des Flexor carpi radialis (FCR) wurde durch einen im distalen Drittel des reponierten Skaphoids dorso-palmar senkrecht angelegten Bohrkanal nach dorsal geführt und im Ansatzareal des radio-triquetralen Bandes unter Spannung am Radius fixiert. Zahlreiche Veröffentlichungen präsentieren Ergebnisse dieser Technik und Vergleiche zu anderen Techniken. Neben der Förderung einer radio-skaphoidalen Arthrose verminderte die Technik die Beugefähigkeit des Handgelenks erheblich (23–25; 46; 82; 93; 108; 124; 170). 1998 schlugen *van den Abbeele et al.* zwei Modifikationen der *Brunelli*-Technik vor, die die statische Komponente der Tenodese in eine dynamische Form der Bandplastik überführten (181). Zum

einen wurde der von *Brunelli* im distalen Skaphoid senkrecht angelegte Bohrkanal in einen schräg von palmar distal radial nach dorsal proximal ulnar (entspricht dem skaphoidalen Ansatzareal des SL-Bandes) überführt. Zum anderen wurde der durch den Kanal geführte Sehnenstreifen auf dem dorsalen Karpus nicht mehr zum Radius – und damit die Handgelenksbeugung behindernd – sondern um bzw. durch das schräg verlaufende radio-triquetrale Band gezogen, umgeschlagen und unter Spannung mit sich selbst vernäht. Somit verbleibt die Bandplastik auf Ebene des Karpus und stabilisiert sowohl die Aufrichtung des Skaphoids als auch das dorsale SL-Gelenk. Weitere Modifikationen dieser Methode, mit Anpassung der Richtung des trans-skaphoidalen Kanals und die Bildung einer dorsalen knöchernen Rinne im Lunatum, in der der Sehnenstreifen additiv mittels Schraubanker oder ähnlichem fixiert wird, mündeten in der Bezeichnung der „Tri-Ligament-Tenodese“. Allerdings wird noch immer häufig die von *van den Abbeele* – vor allem zur Ehrung des Initiators – verwendete, aber eher missverständliche Bezeichnung des „*modifizierten Brunelli*“ benutzt. Die 2006 von *Marc Garcia-Elias* vorgeschlagene Tri-Ligament-Tenodese mit letztgenannten Modifikationen hat ihren Autor zu einer international zentralen Figur bezüglich des karpalen Bandkomplexes und der Bandplastiken erhoben (61). Die Veröffentlichung bietet eine größere Nachuntersuchungsreihe (n=38) mit einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 46 Monaten und empfiehlt einen Algorithmus zur Entscheidungsfindung bezüglich der Bandplastik am Karpus (Tab. 2, S.11). Durchwachsene langfristige Ergebnisse auch anderer Nachuntersuchungen der Technik und eine kritische Bewertung von diagnostischen Erkenntnissen und verfügbaren therapeutischen Fähigkeiten bei karpalen Bandverletzungen bedingen eine konsequente Beachtung der Voraussetzungen zur Durchführung der Bandplastik. So stellen die schlecht reponierbare Subluxation des Skaphoids, die fixierte Translokation des Lunatums oder eben die vorbestehende oder bereits einsetzende Arthrose der karpalen Gelenkflächen eine Kontraindikation für Bandplastiken dar und engen das therapeutische Zeitfenster entsprechend ein. Die Methode fand viele Nachahmer und wird in zahlreichen Veröffentlichungen dargestellt und verglichen (23; 48; 48; 49; 61; 108; 129; 136; 169; 172; 180; 181; 185).

2012 beschreiben *Chee et al.* eine „Spiral-Tenodese“ im Sinne einer Erweiterung der Tri-Ligament-Tenodese, bei der neben dem SL-Segment im Zuge der Behandlung komplexerer karpaler, respektive perilunärer Bandverletzungen das LT-Segment stabilisiert wird (31). Durch einen zweiten, transtriquetralen Bohrkanal wird das nicht mit sich selbst vernähte

Sehnentransplantat wieder zur Beugeseite des Handgelenks geführt und am Radius fixiert. Die entsprechend der karpalen Kinematik bei axialer Belastung übermäßige Pronationsbewegung der distalen Reihe, Flexion und Pronation des Skaphoids und eine ulnare Translokation werden unterbunden. Bei lediglich einem Patienten wird diese „Antipronations“-Technik mit günstigem Verlauf beschrieben. Größere Untersuchungsgruppen und langfristige Ergebnisse stehen aus (31). 2013 modifizierten *Ross et al.* die Tri-Ligament-Tenodese um einen knöchernen Tunnel vom dorso-radialen Lunatum zum ulnaren Triquetrum, durch den der Sehnenstreifen gezogen wird, um wiederum dorsal am Eintrittspunkt in den lunären Kanal mit sich selbst vernäht zu werden (155). Im Triquetrum wird eine von ulnar eingebrachte Interferenzschraube genutzt, um das Konstrukt zusätzlich zu stabilisieren. Die prospektiv angelegte Studie mit 40 Patienten und einem mittleren Follow-up Zeitraum von 14 Monaten zeigte positive Ergebnisse. Weitere Nachuntersuchungen und Studien von Nachahmern der Technik existieren bisher nicht (155). *Bain et al.* veröffentlichten 2013 eine weitere Modifikation, bei der das durch das Skaphoid geführte FCR-Transplantat mittels Knochenanker sowohl am Skaphoid als auch am Lunatum fixiert und nach Durchzug durch das radio-triquetrale Band über das Kapitatium zurück zum dorsal, distalen Skaphoid geleitet und fixiert wird. In einer prospektiven Nachuntersuchung wurde 8 Patienten über 2 Jahre mit günstigen Ergebnissen verfolgt (13).

#### 1.7.3.3.2. *Palmar und dorsale Bandplastik*

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der 2013 von *Mark Henry* veröffentlichten Bandplastik (77). Während die bisher beschriebenen Techniken der Bandplastiken mit FCR-Sehne lediglich den dorsalen Aspekt des SL-Bandes adressierten, stellt die Bandplastik eine Form der Rekonstruktion bzw. präziser Stabilisation des SL-Gelenks sowohl von dorsal als auch von palmar dar. Die Veröffentlichung lässt einen größeren Patientenfundus vermissen und beschreibt lediglich einen Patienten mit einer zeitlichen Distanz zwischen Unfallereignis und Operation von etwa 9 Monaten und einem Nachuntersuchungszeitraum von 8 Jahren mit exzellentem Ergebnis. Das Konzept der beidseitigen – also dorsalen und palmar – Stabilisation des SL-Gelenks unter Nutzung der bisherigen Erkenntnisse der Tri-Ligament-Tenodese, ihrer Restriktionen, aber vor allem die Retention eines aufgerichteten Skaphoids durch die verwendete FCR-Sehne spricht jedoch für das Verfahren. Nachdem *Corella* bereits 2011 eine Kadaverstudie zur arthroskopisch gestützten, beidseitigen Stabilisation des SL-Gelenks beschrieb, schlug er zeitgleich zu *Henry* 2013 sein Verfahren nach klinischer Anwendung vor (34–36). Auch diese technische Beschreibung beinhaltet lediglich eine

Patientin 12 Monate nach Trauma und das funktionelle Behandlungsergebnis 6 Monate postoperativ (36).

#### 1.7.3.3.3. *Extensor carpi radialis, gestielt*

Auch für die beiden radialen Handgelenkstrecker Extensor carpi radialis brevis (ECRB) und longus (ECRL) gibt es verschiedene Beschreibungen für Rekonstruktion und Stabilisation des dorsalen SL-Bandapparates. Ihr Verlauf und die Lage der Sehnen erlaubt, wie auch im Fall der FCR-Sehne, die Aufhebung der Rotation-Subluxation des Skaphoids (4; 21; 27; 133; 138; 164). Beschreibungen zur Rekonstruktion des palmaren Aspekts des SL-Bandes existieren nicht. *Almquist* et al. beschrieben 1991 eine Bandplastik unter Verwendung der distal gestielten Sehne des Extensor carpi radialis brevis (ECRB), die durch knöchernen Kanäle in der Reihenfolge Kapitatum, Lunatum und Skaphoid gezogen und auf dem dorsalen Radius fixiert wurde (4). Einen etwas anderen Verlauf nimmt die distal gestielte Sehne bei der 1992 von *Linscheid und Dobyms* vorgeschlagenen Technik. Sie führt von ulnar nach radial durch das distale dorsale Skaphoid, wird anschließend zurück nach ulnar geführt, um nach Durchzug durch das dorsale radio-triquetrale Band (ähnlich wie bei der *Brunelli*-Modifikation von *van den Abbele*) auf der Streckseite des Karpus mit sich selbst vernäht zu werden (109). *Papadogeorgou und Mathoulin* schlugen 2010 vor, die Sehne ohne Nutzung eines knöchernen Kanals zunächst durch das dorsale radio-triquetrale Band zu ziehen, um sie anschließend dorsal am distalen Skaphoid zu fixieren (133). 2004 wurde von *Seradge* die sogenannte „Dynadese“ vorgeschlagen (164). Sie beschreibt einen transskaphoidalen Teiltransfer der Sehne des Extensor carpi radialis longus (ECRL). Ziel ist dabei weniger die Rekonstruktion des Bandapparates des SL-Gelenks, sondern eher eine Reposition und Stabilisation des Skaphoids. Technisch wird knapp die Hälfte der Extensor carpi radialis longus Sehne (ECRL) an ihrem Ansatz abgelöst, durch einen Bohrkanal des reponierten distalen Skaphoiddrittels nach palmar geführt und hier an der am Skaphoid entlangziehenden Sehne des Flexor carpi radialis (FCR) fixiert. Es entsteht damit ein dynamischer ECRL-Sehnentransfer auf das distale Kahnbein mit palmarer Tenodese der FCR-Sehne. Hierfür werden, sowohl objektiv funktionell als auch subjektiv patientenseitig, sehr positive Ergebnisse angegeben. Da die Studie ausschließlich prä-dynamische und dynamische Instabilitäten präsentiert, wird sie in der Diskussion der hiesigen Untersuchung nicht einbezogen (164). *Bleuler* et al. schlugen 2008 die Fixation der Sehne des ECRL am dorsalen distalen Skaphoid mittels einer Spongiaschraube in reponierter Position des Skaphoids vor, wobei die Sehne an ihrem Ansatz fixiert bleibt (21). *Peterson* et al. lösten den distalen

Sehnenansatz und führten die Sehne, ähnlich dem von *Seradge* beschriebenen Verfahren, durch den distalen Skaphoidpol nach palmar. Die Sehne wurde beugeseitig an der Kapsel des Handgelenks fixiert (140). 2011 veröffentlichten *de Carli* et al. eine Variation, bei der ein Sehnenstreifen der ECRL distal gestielt gehoben und nach Fixation am dorsalen Skaphoid quer über das Lunatum zum Triquetrum geführt und sowohl an beiden Knochen als auch am dorsalen radio-triquetralen Band fixiert wird (27).

#### 1.7.3.3.4. *Palmaris longus, frei*

*Elsaftawy* et al. prüften, neben einer weiteren Modifikation der dorsalen Tenodese mit FCR, 2014 im Rahmen einer Kadaverstudie die Verwendung eines freien Palmaris longus (PL) Transplantates, das ringförmig das SL-Gelenk stabilisiert. Auf die Reposition des Skaphoids wurde dabei verzichtet (50). *Pauchard und Dautel* schlugen 2017 die Verwendung eines freien PL-Transplantates vor, das dorsal mittels Tenodeseschrauben in blind endenden Bohrlöchern des distalen und proximalen Skaphoids sowie dem radial dorsalen Lunatum und dem Triquetrum fixiert wurde („Skapho-lunäre und interkarpale Ligamentoplastik“, SLICL). 2019 veröffentlichte *Athlani* et al. eine Vergleichsstudie bei der 26 Patienten der SLICL-Versorgung aus den Jahren 2013 bis 2016 weiteren 20 Patienten mit einer 3-LT Versorgung aus den Jahren 2006 bis 2008 gegenübergestellt wurden. Die SLICL-Gruppe zeigte insgesamt bessere funktionelle, subjektive und radiologische Ergebnisse (9; 11).

#### 1.7.3.3.5. *Reduktion-Assoziation des SL-Gelenks RASL, scapho-lunate axis method (SLAM), all dorsal internal brace® und dorsal palmar reconstruction 360° internal brace® (SLITT)*

1997 beschrieben *Rosenwasser* et al. die sogenannte Reduktions-Assoziations-Plastik des SL-Gelenks, deren Technik mehrfach modifiziert wurde (153). Ausgehend vom Behandlungsversuch der isolierten Arthrodesse des SL-Gelenks, bei dem das Versagen der Arthrodesse sowohl objektiv funktionell als auch subjektiv zu einem besseren Ergebnis führten als die erfolgreiche Arthrodesse mit verschmelzenden Knochen, entwickelte sich die Idee einer straffen Pseudarthrose des SL-Gelenks als Therapieziel. Hierzu wurden, entsprechend der ursprünglichen Technik, die sich gegenüberliegenden Gelenkflächen von Skaphoid und Lunatum entfernt und der subchondrale Knochen auf beiden Seiten freigelegt. Im Anschluss an die Reposition der Knochen wurde eine Herbertschraube in der Achse des SL-Gelenks eingebracht, um sowohl Reposition als auch Weite des SL-Gelenks zu erhalten. Die ursprüngliche Version verzichtete auf eine Bandrekonstruktion und Materialentfernung. Zur

Anpassung an beobachtete Komplikationen und Mängel der Methode führten die Modifikationen lokale Bandplastiken ähnlich den Kapsulodesen und im Weiteren auch Bandplastiken mit dorsalen Sehnentransplantaten ein. Weiterhin, wie im Falle der sogenannten SLAM-Technik (SLAM = scapho-lunate axis method) und der SLITT-Technik (scapholunate ligament internal brace 360-degree tenodesis), wurden im Laufe der Zeit Kombinationen aus Fremdimplantaten und Sehnentransplantat (in der Regel Palmaris longus) mit und ohne Schrauben-Arthrodesen verwendet. Wenn auch initial ermutigende Resultate berichtet wurden, zeigten sich häufig vor allem Implantat assoziierte Komplikationen. Sowohl unter diesem als auch unter dem Aspekt der biomechanischen Voraussetzungen und aktuellen Kenntnisse der karpalen Kinematik werden diese Verfahren eher kritisch betrachtet. Neuere Verfahren nutzen Kombinationen aus freien Sehnentransplantaten und künstlichen Bändern (Fiberwire® u.a.) und verschiedene resorbierbare und nicht resorbierbare Schrauben, speziell zur Fixation in den karpalen Knochen. Langfristige Untersuchungen stehen aus (2; 12; 30; 32; 47; 88; 95; 102; 105; 153; 195; 202).

#### **1.7.4. Bandplastiken im Unfallkrankenhaus Berlin**

Im Unfallkrankenhaus Berlin wurden in der Zeit von 2014 bis 2016 dreiundfünfzig Tri-Ligament-Tenodesen bei chronischen SL-Bandverletzungen der Stadien III bis V in der Technik nach *Garcia-Elias* durchgeführt. Im Rahmen der klinischen Nachuntersuchung von 31 Patienten bei standardisierter Nachbehandlung konnten ähnlich durchwachsene Ergebnisse wie in verschiedenen Veröffentlichungen zuvor beobachtet werden (9; 29; 48; 61; 89; 129; 136; 168; 180). Die Ergebnisse dieser Nachuntersuchung wurden 2020 in der Dissertation von Frau *Wiebke Mensing* aufgearbeitet (196). In der Hoffnung bessere funktionelle Ergebnisse zu erreichen, entschieden sich die Mitarbeiter der Abteilung für Hand-, Replantations- und Mikrochirurgie des Unfallkrankenhaus Berlin ab 2017 für eine neuere Operationsmethode, die neben dem dorsalen auch den palmaren Aspekt des SL-Bandapparates berücksichtigt. Die von *Henry* (77) beschriebene Technik wurde gegenüber der von *Corella* vorgezogen, um den Aspekt der Vergleichbarkeit der Kohorten „OP nach *Henry*“ und „3LT-OP“ bei ähnlichem Zugangstrauma, sprich streckseitiger Eröffnung der Handgelenkscapsel, zu verbessern und den höheren apparativ-technischen Aufwand der von *Corella* (35) beschriebenen arthroskopischen Technik zu umgehen.

### 1.8. Ziel der vorliegenden Studie

Ziel der vorliegenden Studie ist, die Kohorte der im Unfallkrankenhaus Berlin in der Technik nach *Henry* operativ versorgten SL-Bandverletzungen in Bezug auf objektive und subjektive Outcome-Parameter zu untersuchen. Damit soll, neben der Feststellung des Behandlungsergebnisses der betroffenen Fälle nach einem postoperativen Zeitraum von wenigstens 12 Monaten, sowohl eine Vergleichskohorte für Untersuchungen verschiedener Techniken anderer Forschungsgruppen hergestellt als auch ein Vergleich zur vorangegangenen Kohorte der Tri-Ligament-Tenodesen ermöglicht werden.

Folgende Fragen ergeben sich und sollen mit der vorliegenden Untersuchung der 2017 im Unfallkrankenhaus Berlin eingeführten Operationsmethode nach *Henry* (77) zur Behandlung der chronischen SL-Bandruptur bearbeitet werden:

- Wie sind die funktionellen und radiologischen Ergebnisse?
- Sind die funktionellen und radiologischen Ergebnisse mit der vorangegangenen Versorgung (3-LT Methode modifiziert nach *Garcia-Elias* (61; 196)) vergleichbar?
- Wie lassen sich die funktionellen und radiologischen Ergebnisse im Vergleich zu anderen Veröffentlichungen zum Thema therapeutischer Verfahren chronischer SL-Bandrupturen einordnen?

Die primäre Hypothese ist, dass die neu eingeführte Methode nach *Henry* (77) der ehemals durchgeführten 3-LT Methode in Bezug auf objektivierbare Funktion und radiologisches Bild mindestens 12 Monate nach Versorgung überlegen ist.

Als sekundäre Hypothese wird postuliert, dass im subjektiven Outcome keine relevanten Differenzen bestehen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Aufbau der Studie

In einer retrospektiven Datenanalyse wurden alle Patienten mit nachgewiesener skapho-lunärer Bandverletzung und operativer Therapie in der Technik nach *Henry* (77) erfasst, die im Unfallkrankenhaus Berlin zwischen Januar 2017 und Oktober 2018 operiert wurden. Alle erhobenen Daten wurden unter Berücksichtigung des Datenschutzes pseudonymisiert. Das demografische Profil wurde auf Alter und Geschlecht beschränkt.

Die Zustimmung zur Durchführung dieser Untersuchung wurde durch die Ethikkommission in der Universitätsmedizin Greifswald unter dem Aktenzeichen BB 151/19 mit dem Titel „*Follow-up von Patienten mit SL-Bandrekonstruktion nach Henry und Vergleich mit den Untersuchungsdaten der Patienten aus der Follow-up-Studie zur Tri-Ligament Tenodese (BB118/18)*“ gegeben.

### 2.2 Erfassung der Studiengruppe

Im Zeitraum zwischen 1. Januar 2017 und 31. Oktober 2018 wurden im Unfallkrankenhaus Berlin 87 Patienten mit Bandverletzungen des Karpus operativ behandelt. Dabei handelte es sich bei

- 43 Fällen um subakute bis chronische Verletzungen des skapho-lunären Bandapparates mehr als 6 Wochen nach ursächlichem Unfall,
- 31 Fällen um akute bis subakute Verletzungen des skapho-lunären Bandapparates weniger als 6 Wochen nach ursächlichem Unfall, davon 12 Fälle mit knöchern und ligamentären Kombinationsverletzungen,
- 11 Fällen einer perilunären Luxationsverletzung und
- 2 Fällen einer komplexen Bandverletzung unter Beteiligung des mediokarpalen Bandapparates.

40 Patienten wurden mit der OP-Technik nach *Henry* (77) operiert. 37 davon wiesen ein Verletzungsalter von über 6 Wochen, 3 ein Verletzungsalter von unter 6 Wochen, jedoch mit einer nicht rekonstruktionsfähigen Zerstörung des Bandapparates auf.



Es wurden folgende Ein- bzw. Ausschlusskriterien für die Aufnahme in das Analysekollektiv festgelegt:

Einschlusskriterien:

- Volljährigkeit und Einwilligungsfähigkeit
- Einwilligung zur Teilnahme an der Studie
- Vollständige radiologische Dokumentation des prä- und postoperativen Verlaufes mit präoperativem Verdacht auf eine Ruptur des SL-Bandes.
- Mindestzeitraum von 12 Monaten zwischen Operation und Nachuntersuchung.

Ausschlusskriterien:

- Patienten mit anderen Operationsverfahren bei skapho-lunärer Bandverletzung.
- Unzureichende Möglichkeit einer verbalen oder non-verbalen Kommunikation beziehungsweise fehlende Kooperation durch den Patienten.
- Unvollständigkeit der klinischen und / oder radiologischen Dokumentation.

### **2.3 Operationstechnik**

Die im Unfallkrankenhaus Berlin angewendete Operationstechnik entsprach weitestgehend der von *Mark Henry* 2013 beschriebenen Technik mit Verwendung eines Streifens der Sehne des *M. flexor carpi radialis* (Abb. 5) (77). Um die Gelenkverhältnisse und die Voraussetzungen für eine Bandplastik zu prüfen, wurde stets zu Beginn der Operation eine Arthroskopie des Handgelenks durchgeführt. Bei günstigen Voraussetzungen wurde anschließend der Arm zum erweiterten Eingriff auf einen Handtisch umgelagert. Zur Hebung des Sehnenstreifens wurde beugeseitig ein radialer Zugang zum Skaphoid angelegt. Die Sehne wurde mittels Sehnenstripper entnommen und blieb distal an ihrem Ansatz gestielt. Dorsal wurde ein zentraler Hautschnitt über dem Handgelenk angelegt. Das Retinakulum extensorum wurde im Bereich des dritten bis fünften Strecksehnenfachs stufenförmig gespalten und die darunter befindliche Gelenkkapsel entlang des radio-triquetralen Bandes inzidiert, um Sicht auf die proximale Handwurzelreihe zu erhalten. Unter Röntgenkontrolle wurden nun Kanäle durch das Skaphoid und das Lunatum gebohrt. Anschließend wurde durch den Kanal des Skaphoids der Sehnenstreifen zunächst zur Streckseite und danach durch den Kanal des Lunatums wieder zur Beugeseite gezogen. Hier wurde er mit seinem Ursprung vernäht.

Abschließend wurden Skaphoid und Lunatum sowie Skaphoid und Kapitatum mit Kirschnerdrähten transfixiert. Eine detaillierte Darstellung der Operation findet sich im Anhang.

Postoperativ wurde das Handgelenk für 8 Wochen immobilisiert, wobei nach 14 Tagen eine auf 30° Beugung und 30° Streckung limitierte Übungsbehandlung eingeleitet wurde. Die Transfixation wurde nach 6 Wochen durch eine zweite Operation mit Entfernung der Drähte aufgehoben. Danach folgte ein stufenweiser Bewegungs- und Belastungsaufbau.

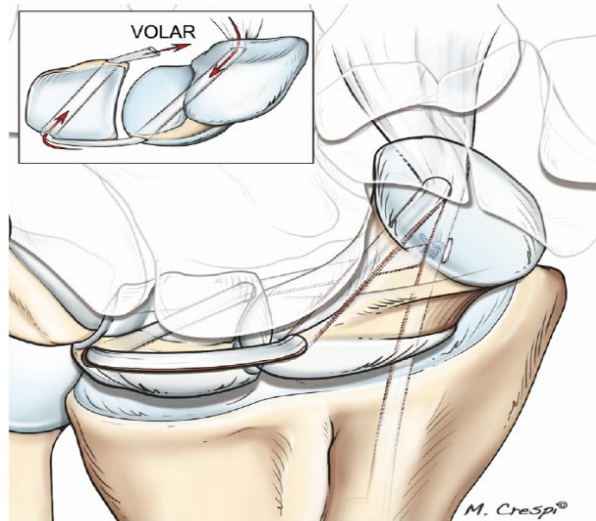


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Verlaufs des Sehnentransplantates durch den skaphoidalen und den lunären Kanal. Aus: Henry 2013, *Reconstruction of both volar and dorsal limbs of the scapholunate interosseous ligament* [1]

## 2.4 Ablauf der Studie

Als Untersuchungszeitpunkte zur Bewertung des Outcomes wurden der Zustand vor der Operation sprich präoperativ (T0) und der postoperative Zustand mindestens 12 Monate nach Entfernung der Transfixation (T2) definiert. Für die Analyse der radiologischen Messwerte wurde zusätzlich der intermediäre Zeitpunkt der Materialentfernung (T1) als Untersuchungszeitpunkt definiert. Entsprechende Angaben mit den Präfixen *präoperativ* (T0), *intermediär* (T1) und *postoperativ* (T2) finden sich sowohl im Fließtext als auch in Diagrammen und Tabellen.

Nach Auswahl des Analysekollektivs wurden die Patienten auf postalischem Weg gebeten, Kontakt zur Abteilung für Hand-, Replantations- und Mikrochirurgie aufzunehmen, um Termine zur klinischen Nachuntersuchung zu erhalten. Die Patienten wurden gebeten, im Verlauf angefertigte Röntgenaufnahmen des Handgelenks mitzubringen, wenn diese nicht in den Sprechstunden des Unfallkrankenhauses Berlin selbst angefertigt wurden.

Mit Vorstellung des Patienten wurden mitgebrachte Röntgenaufnahmen in das PACS (Picture Archiving and Communication System) der Klinik digital eingeleitet und folgende Parameter erfasst:

- Fragebögen zum selbstständigen Ausfüllen durch den Patienten: DASH-Score, PRWHE, EQ-5D, EQ-5D/VAS.
- Erfassung der Schmerzintensität mittels NRS (numerische Ratingskala: 0 = kein Schmerz, 10 = maximal vorstellbarer Schmerz).
- Ermittlung des Mayo-Wrist-Scores.
- Körperliche Untersuchung mit Erfassung
  - der Bewegungsumfänge der oberen Extremitäten nach Neutral-Null-Methode entsprechend den Messblättern für die obere Extremität mittels Goniometer,
  - Kraftmessung zur Bestimmung der groben Griffkraft und der feinen Griffkraft (Spitzgriff, Schlüsselgriff) der Hände.

Mit der Einwilligung zur Teilnahme an der Studie wurden im Weiteren die in der Patientenakte und PACS präoperativ und intermediär (den Zeitpunkten T0 und T1 entsprechend) bezüglich der Verletzung des Handgelenks vorliegenden Daten erfasst und in die Auswertung einbezogen.

## **2.5 Messparameter**

### **2.5.1 Epidemiologische Daten**

Folgende epidemiologische Daten wurden im Rahmen der Nachuntersuchung und Auswertung der vorhandenen Behandlungsunterlagen erfasst:

- Geschlecht
- Operationszeitpunkt
- Alter zum Operationszeitpunkt
- Anzahl der Operationen
- Unfallzeitpunkt
- Unfallhergang
- Alter zum Unfallzeitpunkt
- Arbeitsfähigkeit, Dauer der Arbeitsunfähigkeit
- Ggf. notwendige Umschulung bzw. Berentung
- Zeitpunkt der Nachuntersuchung
- Zeitpunkt der letzten Röntgenuntersuchung

### **2.5.2 Messung der Beweglichkeit der Gelenke und Kraft der Hand**

Die Handgelenksbeweglichkeit einschließlich der Drehbewegung des Unterarms stellt einen zentralen Maßstab der Handgelenksverletzung dar und ist wesentlicher Parameter des Outcomes nach operativen Maßnahmen. Die klinischen Messwerte, bis auf die Unterarmdrehbeweglichkeit und die feine Kraft (i.e. Spitzgriff und Schlüsselgriff), wurden bei allen nachuntersuchten Patienten auch präoperativ sowohl am operierten als auch am kontralateralen Handgelenk erfasst.

Zur Messung der Bewegungsumfänge der Gelenke der oberen Extremitäten und der Handkraft wurden folgende industriell gefertigte und geeichte Geräte verwendet:

- Goniometer (Medizintechnik KaWe, Asperg, Deutschland),
- Jamar-Hand-Dynamometer (Sammons Preston Inc., Bolingbrook, IL, U.S.A.) für die grobe Handkraft,
- Pinchmeter (Saehan Corp., Masan, Korea) für die feine Handkraft.

Zur Dokumentation der Bewegungsumfänge der oberen Extremitäten und der Finger nach der Neutral-Null-Methode wurden die standardisierten Messbögen für die obere Extremität F4222 0117 der gesetzlichen Unfallversicherung verwendet (45).

Aus der Summe der Messwerte aller Bewegungsebenen eines Handgelenks (Beugung/Streckung, speichen-/ellenwärtige Bewegung sowie der Unterarmdrehbewegung) wurde der „Range of Motion“ (ROM) sowohl für die erkrankte als auch für die gesunde Seite ermittelt.

Die Messung der groben Handkraft erfolgte mit einem analogen Hand-Dynamometer unter Dokumentation eines Mittelwertes aus drei hintereinander durchgeführten Messungen und der jeweils erreichten Kraft in Kilogramm Force (kgf).

Die Messung der feinen Kraft erfolgte mit einem analogen Pinchmeter unter Dokumentation eines Mittelwertes aus drei hintereinander durchgeführten Messungen und der jeweils erreichten Kraft in kgf.

Sowohl bei der Ermittlung des ROM als auch bei der Kraftmessung wurde der prozentuale Anteil der erreichten Werte der erkrankten Seite bezogen auf die gesunde Seite dokumentiert (68(45; 167; 184).

### 2.5.3 Fragebögen und Scores

#### 2.5.3.1 DASH-Score (Disability of the Arm, Hand and Shoulder)

Der DASH-Score wurde von der American Academy of Orthopedic Surgeons (AAOS), dem Council of Musculoskeletal Specialty Societies (COMSS) und dem Institute Work and Health, Toronto, entwickelt und ist ein international anerkannter Score zur Beurteilung der Funktionalität der oberen Extremität als Einheit (83). Der vom Betroffenen selbst auszufüllende Fragebogen dient der Erfassung des subjektiven Erlebens einer Behinderung der oberen Extremitäten und der verursachten Beschwerden aufgrund einer Verletzungsfolge oder Erkrankung sowie der Veränderung dieser Wahrnehmung im Laufe der Zeit (84; 85). Der DASH-Score ist nicht auf einzelne Krankheitsbilder im Bereich des Armes oder der Hand spezialisiert. Er ermöglicht die Erfassung und Vergleichbarkeit unterschiedlichster Einflüsse durch traumatische, operative oder auch akut respektive chronisch degenerative Veränderungen und deren kurz- oder langfristigen Verlauf (14; 70; 73).

In der vorliegenden Studie wurde die deutsche Fassung des DASH-Scores in der von *Germann et al.* verfassten und vom Institute for Work & Health 2006 herausgegebenen Version verwendet (65). Von den drei Abschnitten A bis C wurden lediglich A und B ausgewertet. Während der erste Abschnitt (A) 30 Fragen (Items) bezüglich der allgemeinen Funktion und Symptomatik enthält, beziehen die beiden anderen Abschnitte mit je vier Fragen auf die Leistungsfähigkeit bei Arbeit und Beruf (B) sowie Sport und Musik (C).

Jedes Item muss mit einer Abstufung von 1 – 5 beantwortet werden. Die Berechnung des DASH-Scores erfolgt nach der Formel

$$\left[ \frac{(\text{Summe der } n \text{ Antwortpunkte})}{n} - 1 \right] \times 25 = \text{DASH-Score}$$

Ein Score von Null beschreibt keine Einschränkung der Gebrauchsfähigkeit der oberen Extremität. Der Wert 100 hingegen beschreibt die maximale Beeinträchtigung im Alltag (54). Zur Übersicht wurden die Ergebnisse des DASH und seines Berufsmoduls in vier Ergebnisgruppen von gut (0 – 25), befriedigend (26 – 50), schlecht (51 – 75) und sehr schlecht (76 – 100) eingeteilt (65; 73).

#### 2.5.3.2 PRWHE-Score (Patient-rated wrist / hand evaluation)

Der PRWE-Score (Patient-rated wrist evaluation) wurde ursprünglich 1998 von *MacDermid et al.* beschrieben (115). Es handelt sich um einen vom Betroffenen selbst auszufüllenden Fragebogen, der ein zuverlässiges Instrument zur Quantifizierung von Schmerzen und

Behinderungen als Folge traumatischer, atraumatischer oder postoperativer Zustände im Bereich des körperfernen Unterarms, des Handgelenks und der Hand ist (94; 114; 120). In der vorliegenden Untersuchung wurde die ins Deutsche übertragene und validierte Version verwendet (PRWHE-G) (75; 86). Der Score besteht aus den zwei gleichwertigen Bereichen Schmerz und Funktion. Der Patient wird angewiesen alle Fragen bezüglich ihrer durchschnittlichen Schmerzen und Funktion in der letzten Woche auf einer 11-Punkte-Skala von 0 bis 10 zu beantworten. Zum Schmerz werden 5 Fragen gestellt, die die Häufigkeit und Intensität unter verschiedenen Gegebenheiten (Ruhe, leichte Arbeit und schwere Arbeit) abfragen. Zur Funktion werden 10 Fragen gestellt, die unterschiedliche handwerkliche Tätigkeiten und verschiedene Alltagssituationen abfragen. Nicht ausgeführte Tätigkeiten sollen eingeschätzt werden.

Es werden Subskalen-Scores in Bezug auf Schmerz und Funktion ermittelt. Die Schmerz-Subskala-Score kann als Summe der Antworten auf die fünf Schmerzelemente eine Punktzahl von 0 (keine Schmerzen) bis 50 (anhaltende, starke Schmerzen) ergeben. Die Funktionssubskala kann durch Addition der Antworten auf die 10 funktionalen Elemente und anschließende Division durch 2 ebenfalls eine Punktzahl von 0 (keine Schwierigkeiten bei der Ausführung von Tätigkeiten) bis 50 (nicht in der Lage, bestimmte oder übliche Tätigkeiten auszuführen) ergeben. Die Addition der Subskalenwerte für Schmerz und Funktion ergibt die PRWHE-Gesamtpunktzahl, wobei 0 den besten (keine Schmerzen oder Schwierigkeiten bei der Ausübung von Aktivitäten) und 100 den schlechtesten (starke, anhaltende Schmerzen und Unfähigkeit zur Ausübung von Aktivitäten) erreichbaren Wert darstellen (114; 115). Zur Übersicht wurden die Ergebnisse in Gruppen von sehr gut (0 bis 25 Punkte), gut (26 bis 50 Punkte), mäßig (51 bis 75 Punkte) und schlecht (76 bis 100 Punkte) eingeteilt (86).

#### 2.5.3.3 EQ-5D (EuroQol 5 dimensional)

Der EQ-5D ist ein nicht krankheitsgebundener Fragebogen zur Einschätzung und Bewertung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Der Fragebogen wurde 1987 durch die EuroQol Group, die sich mit der Beurteilung von Lebensqualität auseinandersetzt, entwickelt (69). In der vorliegenden Untersuchung wurde die 1998 validierte, deutsche Fassung der Version 3L der EQ-5D verwendet (Version 1.1 März 2019, <https://euroqol.org/eq-5d-instruments/eq-5d-3l-about/> Stand Januar 2022) (69; 79). Sie umfasst zwei Teile und wird selbstständig durch die betroffene Person ausgefüllt.

Der erste Teil enthält Fragen, die den aktuellen Gesundheitszustand über fünf Dimensionen des Alltags (Beweglichkeit und Mobilität, Selbstversorgung, alltägliche Tätigkeiten, Schmerzen und körperliche Beschwerden sowie Angst und Niedergeschlagenheit) ausdrücken. Es werden jeweils drei Antwortmöglichkeiten (keine, mäßige und extreme Probleme) geboten. Es resultieren 243 ( $=5^3$ ) Gesundheitszustände in Form fünfstelliger Zifferncodes von 11111 bis 33333. Diese deskriptiven Informationen werden in einen eindimensionalen Indexwert zwischen 0 (entspricht Tod) und 1 (entspricht bestmöglichem Gesundheitszustand) zur Beschreibung der Lebensqualität überführt, der sich mit regionalen Indexwerten vergleichen lässt. Im zweiten Teil des EQ-5D wird der momentane Gesundheitszustand auf einer visuellen Analogskala (VAS) von 0 bis 100 durch den Patienten eingeschätzt. 0 stellt dabei den Extremzustand Tod und 100 das optimale Wohlbefinden dar. Damit soll eine vom präferenzbasierten Fragebogen unabhängige, allgemeine Einschätzung des aktuellen Gesundheitszustands ermöglicht werden (69; 79).

#### 2.5.3.4 Schmerzevaluation NRS 0 – 10

Zur Evaluation des Schmerzes wurde die Numerische Rating-Skala (NRS) verwendet. Die NRS ist eine eindimensionale Skala, mit deren Hilfe der Untersuchte die Intensität und das Ausmaß vorhandener Schmerzen anhand einer Zahlenfolge von 0 (keine Schmerzen) bis üblicherweise 10 (stärkster vorstellbarer Schmerz) subjektiv einschätzen können (Abb. 6) (80; 115)

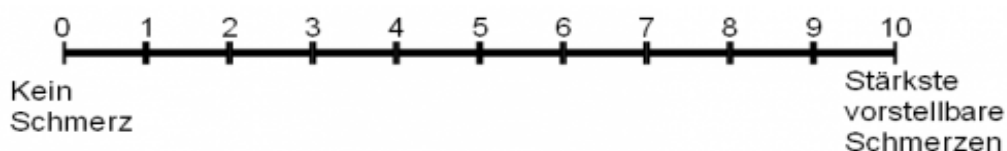


Abbildung 6: Numerische Rating-Skala NRS 0 bis 10 für Schmerz

Die Schmerzqualität kann dabei nicht erfasst werden. Der angegebene Wert der Schmerzeinschätzung dient der Darstellung des aktuellen Status und ermöglicht eine Kontrolle und Beurteilung des Verlaufes eines Schmerzbildes sowie der Effektivität therapeutischer Maßnahmen und deren Anpassung an die Bedürfnisse des Betroffenen. Die Erfassung von Schmerzen durch eindimensionale Schmerzintensitätsskalen wie NRS, VAS (visuelle Analogskala) oder VRS (visuelle Rating-Skala) entspricht aktuellen Empfehlungen der Schmerztherapie und zeigt ein hohes Maß an Übereinstimmung (22; 80; 103). Bei der Abfrage der Schmerzintensität wurden der unbelastete Ruhezustand (Lesen, Fernsehen, einfachste Tätigkeiten im Haushalt usw.) und die alltägliche bzw. durchschnittliche Belastung

während kraftaufwendiger Tätigkeiten im Haushalt oder der Arbeit getrennt erfasst. Dabei zeigte sich, dass viele Patienten angaben, im Allgemeinen – also bei durchschnittlicher Belastung – kaum oder keine Schmerzen zu haben, jedoch in konkreten Situationen bzw. bei unerwarteten oder sehr großen Belastungen das Schmerzlevel höher liegt (53; 152). Aus diesem Grund wurde bei der Abfrage des Schmerzes neben dem Ruhezustand und der alltäglichen bzw. durchschnittlichen Belastung ein sogenannter Maximalschmerz abgefragt. Um die Übersicht der Schmerzintensität zu vereinfachen, wurden in Anlehnung an das WHO-Stufenschema zur Schmerztherapie vier Gruppen von schmerzfrei (NRS 0), leicht (NRS 1 bis 3), mittel (NRS 4 bis 6) und stark (NRS > 6) eingeteilt (18).

#### 2.5.3.5 Mayo-Wrist-Score (MWS)

Der Mayo-Wrist-Score ist ein 1987 von *Cooney et. al* entwickeltes Instrument zur Bewertung eines verletzten Handgelenks mittels objektiver und subjektiver Parameter (33). Es werden vier Items ermittelt: Schmerz, Zufriedenheit, Bewegungsumfang und Kraft. Während Schmerz und Zufriedenheit subjektive Angaben durch den Untersuchten sind, werden Bewegungsumfang und Kraft vom Untersucher ermittelt. Für die gleichwertigen Komponenten können Werte von 0 – 25 erreicht werden.

Die Gesamtpunktzahl ergibt sich aus der Summe der Einzelwerte. Ein Wert zwischen 90 und 100 entspricht einer sehr guten Funktion ohne wesentliche Beeinträchtigung. Werte zwischen 80 und 89 werden als gut, zwischen 65 und 79 als befriedigend und unter 65 als schlecht bezeichnet. Zur Darstellung werden die Gruppen entsprechend des Scores in "sehr gutes Ergebnis" (90 bis 100 Punkte), „gutes Ergebnis“ (80 bis 89 Punkte), "befriedigendes Ergebnis" (65 bis 79 Punkte) und "schlechtes Ergebnis" (<65 Punkte) eingeteilt (33; 167).

## 2.6 Radiologische Auswertung

### 2.6.1 Konventionelle Röntgenaufnahmen

Die Röntgenuntersuchung ist bisher für jedwede Form der rekonstruktiven oder stabilisierenden Eingriffe im System der Handwurzel das einzig standardisierte, nicht invasive Verfahren zur Bewertung des Operationsziels (68; 197). Auch wenn die konventionell röntgenologische Aufnahme des Handgelenks in 2 Ebenen standardisiert ist, führen eine geringe Fehlpositionierung des Handgelenks in den Raumebenen sowie individuell anatomische Variationen der Handwurzelkonfiguration und untersucherabhängige Ungenauigkeiten zu Abweichungen der Messwerte zwischen verschiedenen Untersuchern (90;



142). Die Auswertung der am Röntgenbild ermittelten Messwerte erfolgte bei der vorliegenden Untersuchung durch zwei unabhängige, in der Röntgendiagnostik des Handgelenks erfahrene Untersucher. Die erhaltenen Messwerte wurden anschließend gemittelt.

Es wurden digitale, in der Klinik sowie auswärtig angefertigte und in das PACS der Klinik digital eingeleseene Röntgenaufnahmen des Handgelenks in Neutralposition im dorso-palmaren und seitlichen Strahlengang zu den definierten Zeitpunkten T0, T1 und T2 bezüglich folgender Parameter ausgewertet:

- Distanz zwischen Skaphoid und Lunatum im SL Gelenk

Sie wird im dorso-palmaren Bild zwischen den sich gegenüberliegenden Facetten auf mittlerer Höhe der Knochen gemessen und in Millimetern angegeben (55). Ein Abstand größer als 3 mm gilt als Hinweis auf eine skapho-lunäre Dissoziation (SLD) (55; 66; 92; 161; 163).

- Winkel zwischen Skaphoid und Lunatum (SL-Winkel), zwischen Radius und Lunatum (RL-Winkel) sowie Lunatum und Kapitatum (CL-Winkel)

Die Bestimmung der karpalen Winkel erfolgte im seitlichen Röntgenbild. Für den SL-Winkel wird eine beugeseitige Verbindungslinie vom proximalen zum distalen Skaphoidpol angelegt und der Winkel zur Achse der Ebene, die das Lunatum halbiert, bestimmt (Abb. 7). Die Normwerte liegen zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$ . Werte über  $60^\circ$  werden als verdächtig auf das Vorliegen einer DISI betrachtet (46; 68; 101). Ebenfalls in der seitlichen Aufnahme wurden die Winkel zwischen Radius und Lunatum sowie Lunatum und Kapitatum bestimmt. Dabei kommen die Längsachse des Radius, die bereits erwähnte Achse des Lunatums sowie die als Achse des Kapitatoms zum Einsatz. Letztere stellt die Verbindungslinie der Mitte des Kapitatumkopfes zur Mitte der karmo-metakarpalen Gelenkfläche des Kapitatoms dar (68; 101). Die Normwerte des radio-lunären Winkels (RL) liegen zwischen  $-15^\circ$  und  $15^\circ$  (101). Werte über  $15^\circ$  gelten als Zeichen der SLD (58; 68; 101). Der kapito-lunärer Winkel (CL) ist stark abhängig von der Position des Handgelenks. Die Normwerte liegen zwischen  $0^\circ$  und  $30^\circ$  (101). Er kann zur Bewertung adaptiver Vorgänge bei instabiler Handwurzel und in Kombination mit den übrigen Winkeln zur Bewertung einer DISI- (CL-Winkel  $> 30^\circ$ ) oder PISI- (CL-Winkel  $< 0^\circ$ ) Konfiguration herangezogen werden (67; 68; 101; 187).

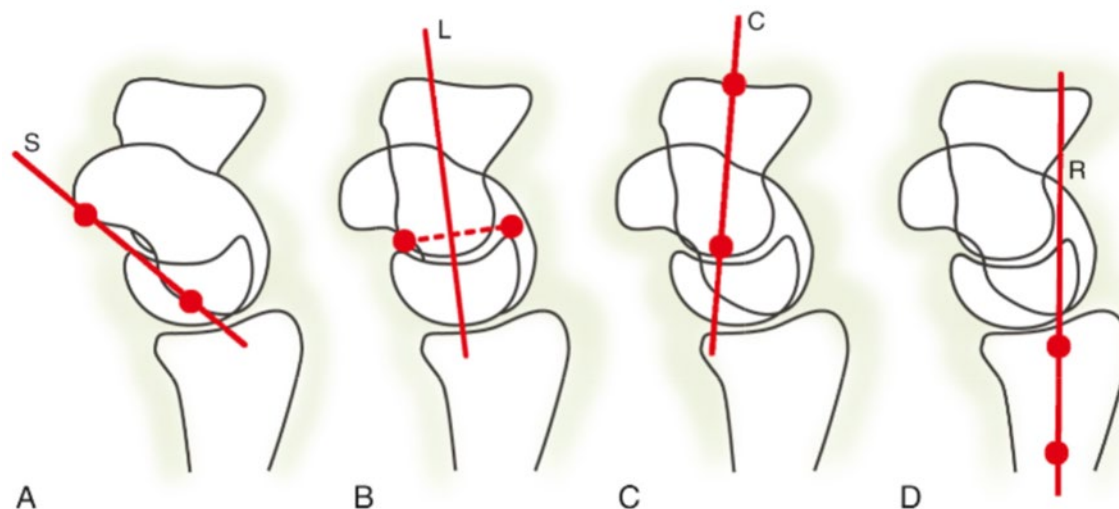


Abbildung 7: Achsen der karpalen Knochen und des Radius im seitlichen Röntgenbild zur Bestimmung der karpalen Winkel: A= Skaphoid, B= Lunatum, C= Kapitatum und D= Radius [41]

### 2.6.2 Kinematografie

Im Unfallkrankenhaus Berlin wird zur Diagnostik karpaler Bandverletzungen stets eine Kinematografie des betroffenen Handgelenks, in unklaren Fällen auch der Gegenseite zum Vergleich, angefertigt. Die dynamische Darstellung des karpalen Gefüges erhöht die Diagnosesicherheit einer karpalen Instabilität und kann nützliche operationstaktische Hinweise für die Mobilität oder Rigidität der karpalen Knochen liefern (42; 142; 191). Die Untersuchung erfolgt durch einen Radiologen an einem flexiblen, biplanen Röntgensystem (Philips Allura Xper FD20/20) mit einer Bildfrequenz von 15 Bildern pro Sekunde, während der Patient vor der Apparatur sitzt und der Unterarm im Strahlengang positioniert wird. Die Auswertung erfolgt im sogenannten CINE-Mode. Zur Bewertung der karpalen Kinematik wird in beiden Strahlengängen die Synchronizität der Bewegungsmuster der einzelnen karpalen Knochen und ihre eventuelle Entkopplung bewertet. Der dorso-palmare Strahlengang ermöglicht zudem die Bewertung der maximalen Weite des skapho-lunären Gelenkspalts in Radial- und Ulnardeviation, dynamischer Inkongruenzen der karpalen Bögen nach *Gilula* (66) und Parallelität der gegenüberliegenden Gelenkfacetten von Skaphoid und Lunatum im SL-Gelenk (3; 42; 128; 191). Für die vorliegende Untersuchung wurden die im schriftlichen Befund angegebenen Grade der Dissoziation 0 bis 3 (0 = keine Dissoziation bzw. Verletzung, 1 = prä-dynamisch, 2 = dynamisch, 3 = statisch) ausgewertet.

### 2.6.3 MRT

Die Auswertung der vorliegenden MRT Untersuchungen erfolgte anhand des schriftlichen Befundes. Die aus verschiedenen Einrichtungen stammenden MRT Befunde wiesen unterschiedlichste Aufnahmemodalitäten und nicht durchgehend vergleichbare Beschreibungen der untersuchten Handgelenke auf, so dass lediglich eine Einordnung in MRT-morphologisch *auffällig* oder *unauffällig* möglich war. Als auffällige Beschreibung wurden folgende Angaben gewertet:

- Nachweis einer Ruptur des SL-Bandapparates,
- Nachweis eines Ergusses im SL-Gelenkspalt,
- Beschreibung einer statischen pathologischen Konfiguration des Karpus (DISI).

Weiterhin wurden folgende Befunde erfasst:

- Nachweis einer bereits präoperativ nachweisbaren Degeneration des Handgelenks bzw. der Handwurzel im Sinne einer Arthrose,
- Nachweis weiterer pathologischer Veränderungen des Handgelenks und der Handwurzel, z.B. Läsion des TFCC.

## 2.7 Arthroskopie

Bei allen Patienten wurde vor der Bandplastik eine standardisierte Arthroskopie des Handgelenks zur Bewertung der Gelenkflächen, des Ausmaßes des Bandschadens, der Mobilität und Repositionsmöglichkeit des Karpus, von Begleitverletzungen und zusammenfassend eine Prüfung der Indikation zur Bandplastik durchgeführt. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Angaben aus den Operationsberichten erfasst. Hierzu zählen die Lokalisation und das Ausmaß der Bandruptur, die Stabilität des SL-Gelenks, der Zustand des Gelenkknorpels und die Begleitschäden der Gelenkräume. Die Beschreibung der Lokalisation und des Schadensausmaßes des dorsalen Aspekts des SL-Bandes richtet sich dabei nach der Beschreibung durch *Andersson und Garcia-Elias* (Tab. 2, S. 11, Abb. 4, S.13) (7). Die Stabilität des SL-Gelenks wurde nach *Geissler* in die Grade 0 – 4 eingeteilt (Tab. 3, S. 12) (64).

Der Zustand bzw. die Qualität des Gelenkknorpels wurde in der Klassifikation nach *Outerbridge* in die Grade 0 - 4 angegeben (131):

- Grad 0: (normal) Gesunder Knorpel
- Grad 1: Der Knorpel hat eine weiche Stelle oder Blasen
- Grad 2: Kleinere Risse im Knorpel sichtbar

- Grad 3: Schädigungen (Läsionen) haben tiefe Spalten oder Unebenheiten hinterlassen (über 50 % der Knorpelschicht)
- Grad 4: Der Knorpelriss zeigt den darunter liegenden (subchondralen) Knochen („Knorpelglätze“)

Die Erfassung eventueller Begleitschäden der karpalen Binnenräume wurde im Rahmen der Auswertung als Läsionen des Radius infolge einer Fraktur mit oder ohne operative Versorgung und des TFCC in der Klassifikation nach *Palmer* erfasst (63; 107; 141).

## 2.8 Komplikationen

Als Komplikationen wurden unerwünschte Ereignisse oder Störungen infolge der operativen Verfahren (Arthroskopie, Bandplastik, Materialentfernung) dokumentiert, die kurz nach einer der Operationen und / oder innerhalb des Nachbehandlungszeitraumes von sechs Monaten auftraten. Hierzu gehörten die Wundinfektion, das Karpaltunnelsyndrom, die Verletzung oberflächlicher Hautnerven und das frühzeitige Versagen der Bandplastik.

## 2.9 Statistische Analyse

Die Daten wurden pseudonymisiert in Tabellen des Programmes Microsoft® Office Excel 2016 erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm IBM SPSS Statistics 25 (IBM, Armonk, USA).

In den Übersichtstabellen werden die untersuchten objektiven und subjektiven Parameter sowie die Werte der Auswertungen der Röntgenaufnahmen als Mittelwerte mit zugehörigen Standardabweichungen, Medianen und minimalen und maximalen Werten angegeben.

Im Falle der Boxplot-Darstellung entspricht die Box dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Die Whisker zeigen die Extremwerte, die außerhalb der Box liegen. Die horizontale Linie zeigt den Median. Der Asterisk (\*) in den Abbildungen weist auf einen signifikanten Unterschied hin. Aufgrund der kleinen Stichprobe wurden nicht-parametrische Tests verwendet.

Der *Wilcoxon*-Vorzeichenrangtest bei verbundenen Stichproben wurde zur Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen durchgeführt. Ein statistisch signifikanter Unterschied wurde bei  $p \leq 0,05$  angenommen.

### Röntgenologische Parameter

Zur statistischen Auswertung der röntgenologischen Messwerte wurde mittels des Friedman-Tests innerhalb der Gruppe eines Parameters geprüft, ob die Verteilung identisch ist.

Mittels post-hoc-Analyse mit dem Wilcoxon-Test wurden die Unterschiede zwischen T0 und T1, T1 und T2 sowie T2 und T0 nach Anpassung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni geprüft.

#### Korrelation

Zur Evaluation eines Zusammenhangs zwischen erhobenen Parametern und Zeitraum zwischen Verletzung und Operation wurde der Spearman-Korrelationskoeffizient  $r$  erhoben.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Darstellung des Patientenkollektivs

Im Zeitraum vom 1. Januar 2017 bis 31. Oktober 2018 wurden im Unfallkrankenhaus Berlin 88 Patienten mit Verletzungen des skapho-lunären Bandapparates einer operativen Therapie unterzogen. Abbildung 8 stellt die Verteilung als Flow-Chart grafisch dar.

Vierzig Patienten mit SL-Bandrupturen erhielten eine Bandplastik in der Technik nach *Henry* (77). Bei 39 Patienten lag eine subakute bis chronische Verletzung, also älter als 6 Wochen nach ursprünglichem Unfall, vor. Ein Patient wies eine Verletzung jüngeren Datums auf, deren Schädigungsausmaß jedoch eine Stabilisation mittels Bandplastik erforderte. Zwei schlossen eine Wiedervorstellung aufgrund anderweitig schwerer Erkrankungen aus, eine Patientin konnte nicht kontaktiert werden und eine Patientin hatte eine vollständige Versteifung des Handgelenks bei anhaltenden und unerträglichen Beschwerden durchführen lassen. Zwei der verbleibenden 36 Patienten wurden bei frühzeitigem Versagen der ersten Bandplastik nach *Henry* einige Monate später mittels einer weiteren Bandplastik operativ versorgt. Diese Revisionsoperationen wurden mit dem Befund angepassten Techniken zur Bandrekonstruktion durchgeführt.

Von den eingeschlossenen 36 Patienten konnten vollständige Datensätze nach mindestens 16 Monaten (Median 25 Monate) nach Operation durch Befragung und körperliche Untersuchung einschließlich Auswertung präoperativer Befunde sowie aktueller Röntgenaufnahmen erhoben werden. Neben der geforderten Röntgendiagnostik lagen bei allen eingeschlossenen Patienten Informationen einer präoperativen Kinematografie und bei einem Großteil eine präoperative Magnetresonanztomografie (32 Patienten) vor, deren Ergebnisse in die Auswertung einbezogen wurden. Alle zur Nachuntersuchung erschienenen Patienten gaben nach entsprechender Aufklärung und Beratung ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme an der Nachuntersuchung sowie zur Auswertung vorhandener und bereits erhobener Daten.

In den folgenden Abschnitten werden die erhobenen Daten der Patienten, die in der Technik nach *Henry* operiert wurden, getrennt von den beiden Patienten mit Revisionsbandplastik dargestellt und analysiert. Sie werden im Folgenden *Henry*-Gruppe genannt. Die Daten der beiden Patienten mit dem zweiten Eingriff im Folgenden Revisionsbandplastik werden am Ende gesondert dargestellt.

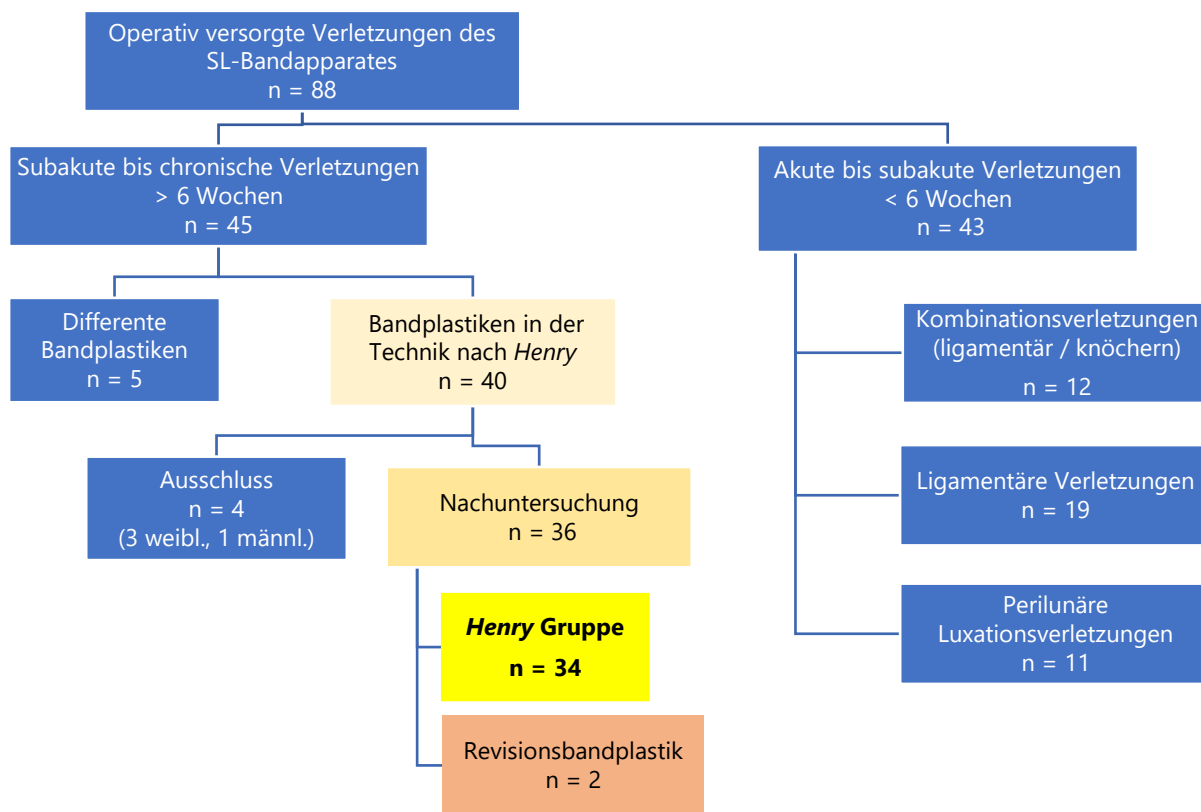


Abbildung 8: Flow Chart der Studiengruppe (gelb/braun)

### 3.1.1 Demografische Daten und Zeiträume

Folgende demografischen Daten wurden erfasst und sind in Tabelle 5 dargestellt, unterteilt in die beiden Gruppen *Henry* und *Revisionsbandplastik*: Geschlecht; Alter zum Zeitpunkt des Unfalles, der OP und der Nachuntersuchung; Seitendominanz (Händigkeit) und vom Unfall betroffene Seite; Unfallmechanismus; Wiederaufnahme einer Berufstätigkeit; Leistungsträger der Behandlung; die Zeiträume zwischen Unfall, OP und Eintritt der Arbeitsfähigkeit, sofern letztere erreicht wurde sowie der Zeitraum zwischen OP und Nachuntersuchung. Bei kleiner Patientenzahl mit Revisionsbandplastik wurde auf eine statistische Testung verzichtet.

Tabelle 5: Übersicht der grundlegenden Daten der nachuntersuchten Patienten (n=36)

	<b>Henry</b> <b>n = 34</b>			Revisionsbandplastik <b>n = 2</b>	
<b>Geschlecht</b>					
weiblich	8			1	
männlich	26			1	
<b>Alter in Jahren</b>					
	Mittelwert	Min	Max	Min	Max
zum Zeitpunkt des Unfalls	44,9 +/- 11,4	22,2	65,1	34	46
zum Zeitpunkt der OP	45,3 +/- 11,4	22,6	65,3	34	46
zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung	47,5 +/- 11,4	25,2	67,2	36	48
<b>Händigkeit</b>					
Rechtshänder	34			2	
Linkshänder	0			0	
<b>Verletzte Seite</b>					
rechts	21			1	
links	13			1	
<b>Verletzungsmechanismus</b>					
Sturz-/Anprall- /Hyperextensionstrauma	21			0	
Verdreh-/Distorsionstrauma	12			2	
Unklares Ereignis	1			0	
<b>Zeitraum zwischen Unfall und OP in Tagen</b>					
	Median	Min	Max	Min	Max
	122,5	50	621	70	68
<b>Zeitraum zwischen OP und Nachuntersuchung in Tagen</b>					
	Median	Min	Max	Min	Max
	779	477	1106	686	911



Fortsetzung Tabelle 5:

**Arbeitsfähigkeit zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung**

im ursprünglichen Beruf	26	1
Wechsel des Berufs	5	1
nicht eingetreten (erwerbslos)	2	0
Altersrentner	1	0

**Leistungsträger**

Gesetzliche Unfallversicherung (GUV)	22	2
davon Berufswechsel	4	1
davon erwerbslos	2	
Gesetzliche Krankenversicherung (GKV)	10	0
davon Berufswechsel	1	
davon erwerbslos	0	
Private Krankenversicherung (PV)	2	0

**Zeitraum zwischen OP und Eintritt der Arbeitsfähigkeit in Tagen**

	n = 31			n = 2	
	Median	Min	Max	Min	Max
Alle Versicherungen	199	9	627	402	467
nur GUV (n = 20)	218	9	627		
nur GKV (n = 9)	106	36	488		
nur PV (n = 2)		49	56		

### 3.1.2 Verletzungsmuster, Begleitverletzungen und postoperative Komplikationen

Tabelle 6 fasst das dem Bericht der Arthroskopie entnommene Verletzungsmuster des SL-Bandes, Begleitverletzungen und postoperative Komplikationen tabellarisch zusammen.

Tabelle 6: Übersicht der Verletzungsmuster, Begleitverletzungen und Komplikationen des Kollektivs der nachuntersuchten Patienten

	<b>Henry n = 34</b>	Revisions- bandplastik n = 2
<b>Typ der SL-Bandverletzung</b> entsprechend der Klassifikation nach Andersson/Garcia-Elias <sup>1</sup>		
Typ 1 skaphoidale Avulsion	21	1
Typ 2 lunäre Avulsion	6	1
Typ 3 Ruptur innerhalb des Bandes	7	0
Typ 4 Teilruptur mit Elongation	0	0
<b>Instabilität des SL-Gelenks</b>		
nach Geissler <sup>2</sup> Grad IV	34	2
<b>Begleitverletzungen</b>		
Fraktur distaler Radius,	7	0
<i>davon</i> Zustand nach offener Reposition, palmare Platte	4	
<i>davon</i> Zustand nach konservativer Therapie	3	
Läsionen des TFCC	3	0
nach Palmer <sup>3</sup> Typ 1B	2	
nach Palmer Typ 1D (inkomplett)	1	
<b>Komplikationen postoperativ</b>		
Karpaltunnelsyndrom, akut	2	0
Wundinfektion	1	0
Neuropathie oberflächlicher Hautast des N. medianus	1	0
frühzeitiges Versagen der Bandplastik	0	2
n = Patientenzahl		
TFCC = Triangulärer fibro-kartilaginärer Komplex		
<sup>1</sup> Klassifikation nach <i>Andersson/Garcia-Elias</i> (7)		
<sup>2</sup> Klassifikation nach <i>Geissler</i> (63)		
<sup>3</sup> Klassifikation nach <i>Palmer</i> (132)		

In sieben Fällen lag eine Fraktur des distalen Radius vor, deren Behandlung vor Erkenntnis des Vorliegens und Einleitung einer Behandlung des SL-Bandkomplexes abgeschlossen war. Bei sechs der 7 Frakturen lag eine Beteiligung der Gelenkfläche des distalen Radius vor. Vier der 7 Frakturen, alle mit Beteiligung der Gelenkfläche des Radius, wurden zuvor mittels offener Reposition und palmarer, winkelstabiler Plattenosteosynthese behandelt. Drei der 7 Frakturen, davon eine extraartikuläre, wurden konservativ mittels Immobilisation behandelt. Alle Frakturen waren zum Zeitpunkt der Arthroskopie bzw. der sich anschließenden Bandplastik knöchern konsolidiert. Relevante Gelenkinkongruenzen wurden arthroskopisch nicht festgestellt und wären ein Ausschlusskriterium für die Bandplastik gewesen. Bei drei Fällen mit Verletzung des fibro-kartilaginären Komplexes (TFCC) wurde diesbezüglich im Rahmen der Bandplastik keine spezifische Therapie durchgeführt. Die Symptomatik des in beiden Fällen am ersten postoperativen Tag nach Bandplastik aufgetretenen Karpaltunnelsyndroms verschwand jeweils durch eine am gleichen Tag durchgeführte operative Spaltung des Karpaldaches. Der Wundinfekt konnte durch operative Therapie saniert werden, ohne dass die Bandplastik beeinträchtigt wurde. Die Neuropathie des oberflächlichen Astes des N. medianus verblieb bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, eine funktionelle Einschränkung ergab sich nicht. Die lokale Anwendung Lidocain-haltiger Salben und Narbentherapie verminderten die Beschwerden durch die Überempfindlichkeit des Nervenastes. In zwei Fällen zeigte sich im Rahmen der regelmäßigen Nachuntersuchungen und unter Aufnahme der funktionellen Therapie zum Belastungsaufbau zwischen der 12. und 16. postoperativen eine Insuffizienz der Bandplastik. Unter der eingeleiteten Belastung kam es zu Schmerzen und Instabilitätsgefühl des Handgelenks. Im Röntgenbild zeigte sich in beiden Fällen eine im Vergleich zu den postoperativen Aufnahmen auffällige Erweiterung des SL-Gelenks. In beiden Fällen erfolgte eine Revisionsoperation mit erneuter, modifizierter Bandplastik.

## **3.2 Analyse der klinischen Funktionsparameter**

In den folgenden Abschnitten werden die klinischen Funktionsparameter der Patienten der *Henry-Gruppe* dargestellt.

### **3.2.1 Handgelenksbeweglichkeit**

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse von Unterarmrotation, Extension und Flexion, Radialabduktion und Ulnarabduktion dargestellt.

### 3.2.1.1 Unterarmdrehbeweglichkeit

Tabelle 7 stellt die Ergebnisse der im Rahmen der Nachuntersuchung ermittelten Drehbeweglichkeit des Unterarmes im radio-ulnaren Gelenk im Seitenvergleich dar.

Tabelle 7: Postoperative Unterarmdrehbeweglichkeit des Unterarmes bezüglich Pronation und Supination der operierten und der kontralateralen Seite, Wilcoxon-Test

<b>Postoperativ, n = 34</b>		Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	p
Supination (°)	operiert	79,4	7,8	60	90	0,005
	kontralateral	82,2	4,8	75	90	
Pronation (°)	operiert	82,1	6,2	70	90	0,044
	kontralateral	83,2	4,4	80	90	
ROM (°)	operiert	161,5	12,4	130	180	0,006
	kontralateral	165,4	7,7	155	180	
ROM, Prozent der kontralateralen Seite		97,54 %	4,96 %	81,25 %	100 %	

### 3.2.1.2 Extension und Flexion

Tabelle 8 stellt die Ergebnisse der präoperativ ermittelten Werte bezüglich Extension und Flexion jeweils der betroffenen Seite und der kontralateralen Seite im Handgelenk dar.

Tabelle 8: Präoperative Beweglichkeit des Handgelenks bezüglich Extension und Flexion der operierten und der kontralateralen Seite, Wilcoxon-Test

<b>Präoperativ, n = 34</b>		Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	P
Extension (°)	operiert	55,2	14,9	20	80	< 0,001
	kontralateral	70,0	10,3	45	80	
Flexion (°)	operiert	51,6	18,9	20	80	< 0,001
	kontralateral	68,8	10,8	45	90	
Ex/Flex ROM (°)	operiert	106,8	32,0	40	160	< 0,001
	kontralateral	138,8	18,4	90	170	
ROM, Prozent der kontralateralen Seite		76,64 %	19,38 %	28,57 %	100 %	

Tabelle 9 stellt die Ergebnisse der postoperativ im Rahmen der Nachuntersuchung ermittelten Werte bezüglich Extension und Flexion jeweils der betroffenen Seite und der kontralateralen Seite im Handgelenk dar.

Tabelle 9: Postoperative Beweglichkeit des Handgelenks bezüglich Extension und Flexion der operierten und der kontralateralen Seite, Wilcoxon-Test

Postoperativ, n = 34		Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	p
Extension (°)	operiert	58,5	17,6	20	80	< 0,001
	kontralateral	70,9	11,8	50	85	
Flexion (°)	operiert	46,6	15,9	10	70	< 0,001
	kontralateral	67,5	10,0	45	85	
Ex/Flex ROM (°)	operiert	105,1	31,3	30	150	< 0,001
	kontralateral	138,4	18,3	95	165	
ROM, Prozent der kontralateralen Seite		75,48 %	18,29 %	23,08 %	100 %	

Abbildung 9 stellt den Bewegungsumfang der Extension und Flexion jeweils prä- und postoperativ im Seitenvergleich dar.

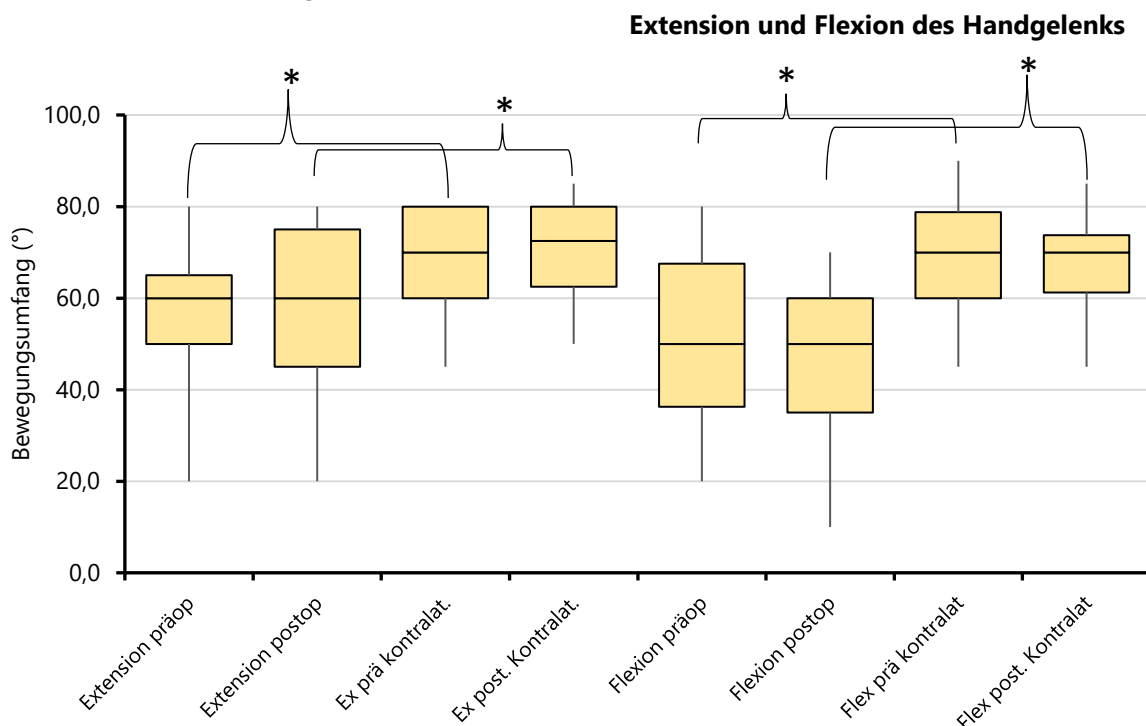


Abbildung 9: Darstellung der Bewegungsausmaße der Handgelenksbeweglichkeit bezüglich Extension und Flexion prä- und postoperativ vs. kontralateral, n = 34, p < 0,001, Wilcoxon-Test

Die ROM für Extension und Flexion der Handgelenke wird in Abbildung 10 dargestellt. Es zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen operierter und gesunder Seite sowohl prä- als auch postoperativ, mit reduzierter Beweglichkeit der operierten Seite. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den prä- und postoperativen Werten der operierten Seite.

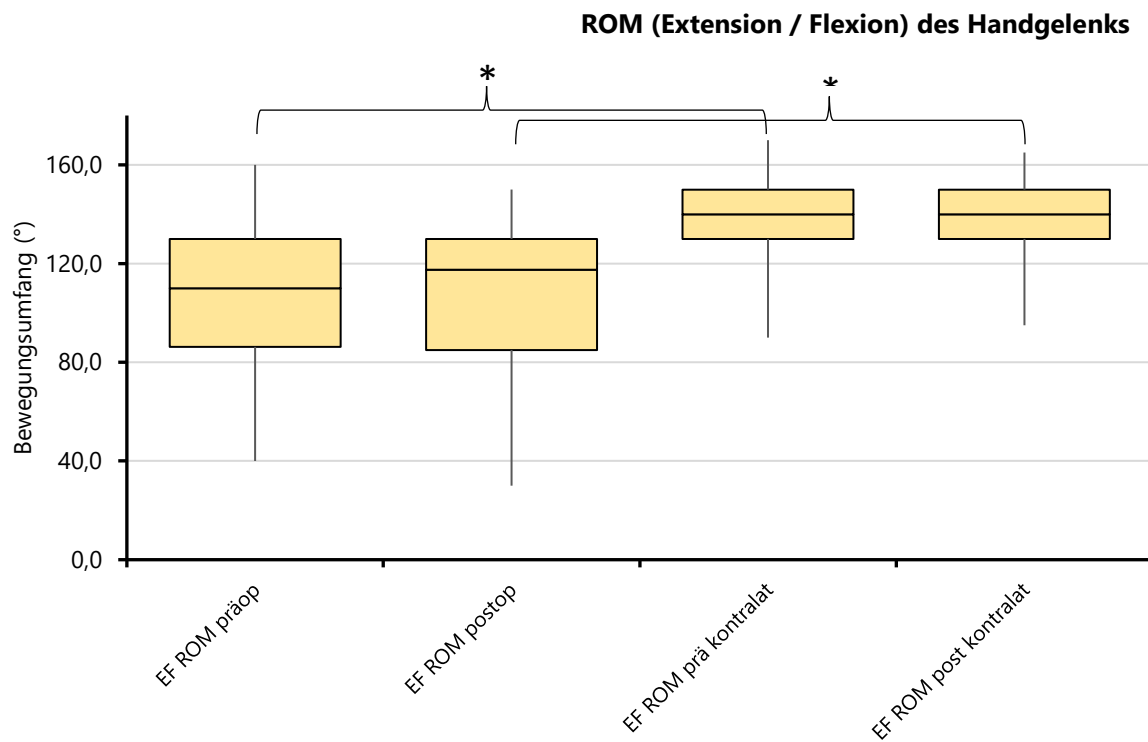


Abbildung 10: Darstellung der ROM der Extension und Flexion prä- und postoperativ vs. kontralateral, n = 34, p < 0,001, Wilcoxon-Test

### 3.2.1.3 Radial- und Ulnarabduktion

Tabelle 10 stellt die Ergebnisse der präoperativ ermittelten Werte bezüglich Radial- und Ulnarabduktion des Handgelenks jeweils der betroffenen Seite und der kontralateralen Seite dar.

Tabelle 10: Präoperative Beweglichkeit des Handgelenks bezüglich Radial- und Ulnarabduktion der operierten und der kontralateralen Seite, Wilcoxon-Test

<b>Präoperativ, n = 34</b>		Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	p
Radialabduktion (°)	operiert	18,4	8,4	10	50	< 0,001
	kontralateral	24,1	10,2	10	60	
Ulnarabduktion (°)	operiert	33,4	12,8	10	60	< 0,001
	kontralateral	44,7	11,1	25	70	
Rad/Uln ROM (°)	operiert	51,8	17,1	30	80	< 0,001
	kontralateral	68,8	15,1	40	100	
ROM, Prozent der kontralateralen Seite		76,85 %	23,09 %	35,29 %	120 %	

Tabelle 11 stellt die Ergebnisse der postoperativ ermittelten Werte bezüglich Radial- und Ulnarabduktion sowie die diesbezügliche ROM des Handgelenks jeweils der betroffenen Seite und der kontralateralen Seite im Handgelenk dar.

Tabelle 11: Postoperative Beweglichkeit des Handgelenks bezüglich Radial- und Ulnarabduktion der operierten und der kontralateralen Seite, Wilcoxon-Test

<b>Postoperativ, n = 34</b>		Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	p
Radialabduktion (°)	operiert	18,4	7,8	0	35	< 0,001
	kontralateral	24,1	7,7	10	35	
Ulnarabduktion (°)	operiert	39,4	12,2	15	60	< 0,001
	kontralateral	49,0	8,9	25	70	
Rad/Uln ROM (°)	operiert	57,8	16,5	20	85	< 0,001
	kontralateral	73,1	12,6	45	100	
ROM, Prozent der kontralateralen Seite		79,48 %	19,39 %	28,57 %	100 %	

Abbildung 11 stellt den Bewegungsumfang der Radial- und Ulnarabduktion im Seitenvergleich und Abbildung 12 die diesbezügliche ROM jeweils prä- und postoperativ dar.

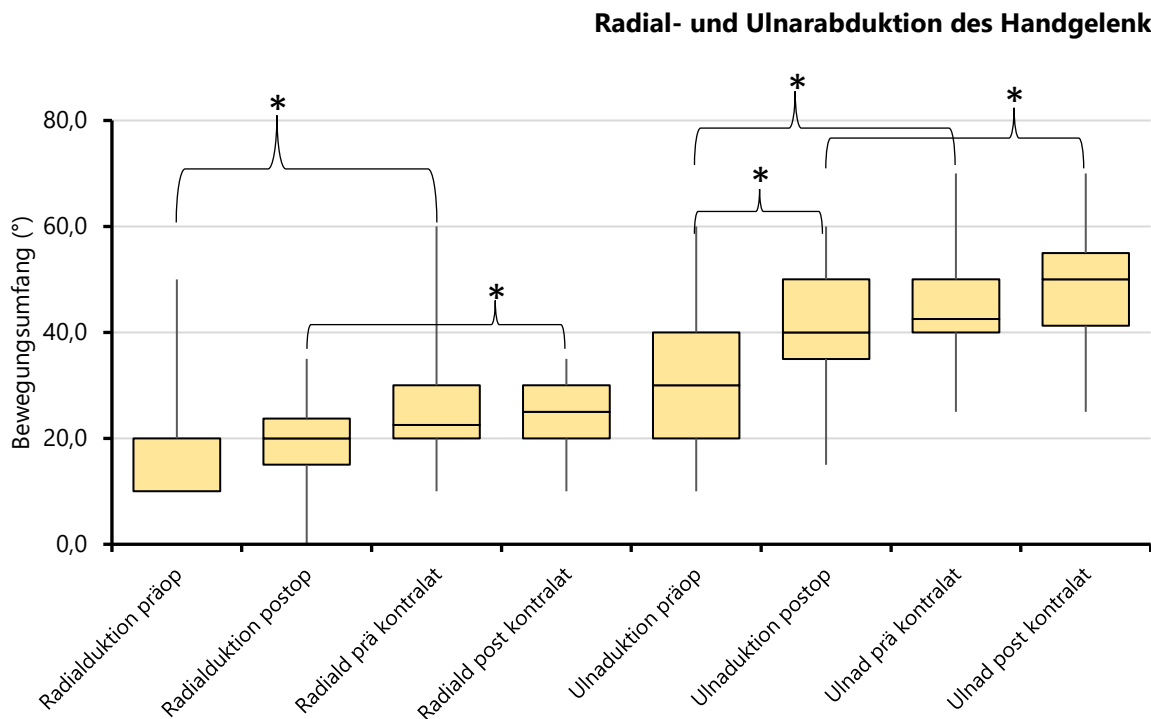


Abbildung 121: Darstellung der medianen Bewegungsausmaße der Handgelenksbeweglichkeit bezüglich Radial- und Ulnarabduktion prä- und postoperativ vs. kontralateral, n = 34, p < 0,001, Wilcoxon-Test

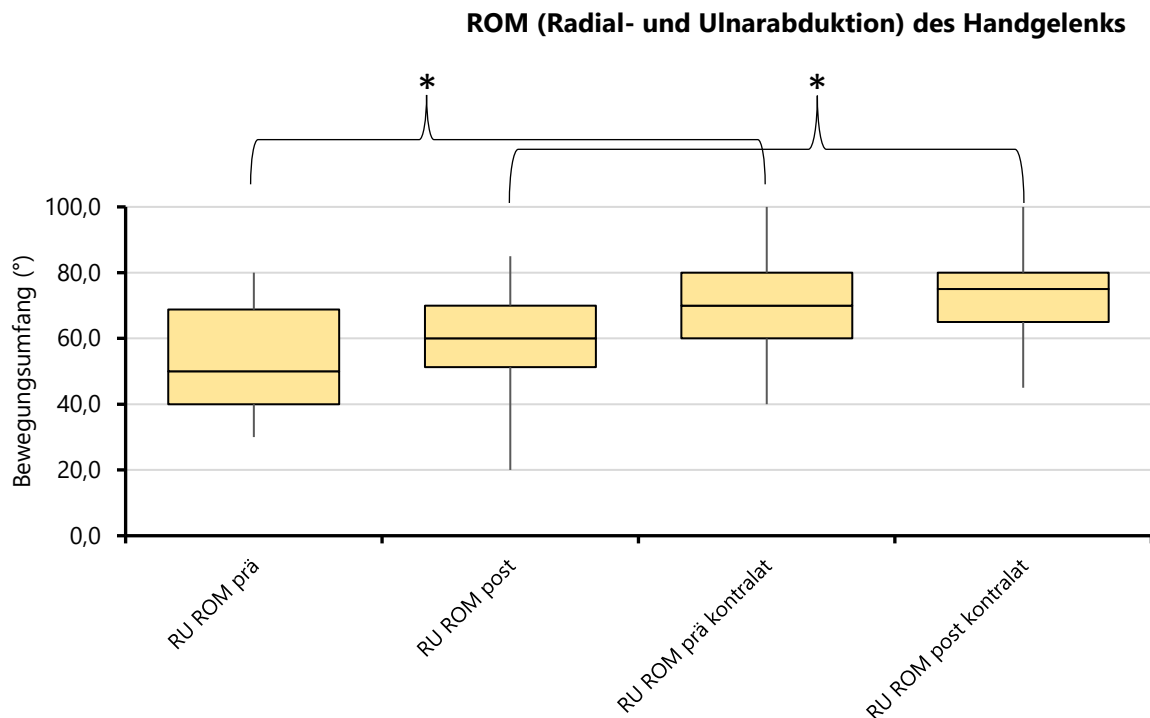


Abbildung 112: Darstellung der ROM der Radial- und Ulnarabduktion prä- und postoperativ vs. kontralateral n = 34, p < 0,001, Wilcoxon-Test



Es zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen operierter und gesunder Seite sowohl prä- als auch postoperativ, mit reduzierter Beweglichkeit der operierten Seite.

Der Unterschied der präoperativen Beweglichkeit gegenüber der postoperativen Beweglichkeit war bei der Ulnarabduktion der operierten Hand signifikant mit einer Zunahme des diesbezüglichen Bewegungsumfanges.

#### 3.2.1.4 Globalbeweglichkeit des Handgelenks – ROM (Range of Motion)

Tabelle 12 stellt die Ergebnisse der präoperativ und der postoperativ im Rahmen der Nachuntersuchung ermittelten Werte bezüglich ROM des Handgelenks jeweils der betroffenen und der kontralateralen Seite gegenüber.

Tabelle 12: Prä- und postoperative Globalbeweglichkeit (ROM) des Handgelenks der operierten und der kontralateralen Seite, Wilcoxon-Test

<b>ROM total, n = 34</b>	Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	p
präoperativ (°)	158,5	43,6	70	225	0,632
postoperativ (°)	162,9	45,3	50	225	
präoperativ kontralateral (°)	207,6	27,1	140	260	0,375
postoperativ kontralateral (°)	211,5	25,4	140	260	
ROM, präoperativ Prozent der kontralateralen Seite	76,56 %	19,04 %	31,11 %	104,76 %	0,970
ROM postoperativ Prozent der kontralateralen Seite	76,72 %	18,08 %	25,00 %	94,59 %	

Eine signifikante Veränderung der präoperativen Bewegungsumfänge gegenüber den postoperativen Werten trat nicht ein. Die Differenz zur Gegenseite war zu beiden Zeitpunkten signifikant, mit einer reduzierten Beweglichkeit der operierten Seite.

### 3.2.2 Handkraft

Die grobe Handkraft konnte sowohl prä- als auch postoperativ ermittelt werden und wird entsprechend im Vergleich zur Gegenseite dargestellt. Für die feine Kraft (Spitz- und Pinzettengriff) wurde der präoperative Wert nicht aufgezeichnet.

#### 3.2.2.1 Grobe Kraft

Tabelle 13 und Abbildung 13 stellen die Ergebnisse der präoperativ und der postoperativ im Rahmen der Nachuntersuchung ermittelten Werte bezüglich der groben Kraft des Griffes der betroffenen und der kontralateralen Seite gegenüber.

Tabelle 13: Prä- und postoperative grobe Kraft des Griffes der operierten und der kontralateralen Seite, Wilcoxon Test

<b>Grobe Kraft, n = 34</b>	Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	p
präoperativ (kgf)	23,6	12,2	4	62	< 0,001
postoperativ (kgf)	32,6	14,5	6,5	58	
präoperativ kontralateral (kgf)	42,2	12,7	14	67,7	0,514
postoperativ kontralateral (kgf)	41,5	12,7	14	67,3	
präoperativ Prozent der kontralateralen Seite	56,27 %	23,32 %	7,69 %	110,71 %	< 0,001
postoperativ Prozent der kontralateralen Seite	78,76 %	26,60 %	13,00 %	118,37 %	

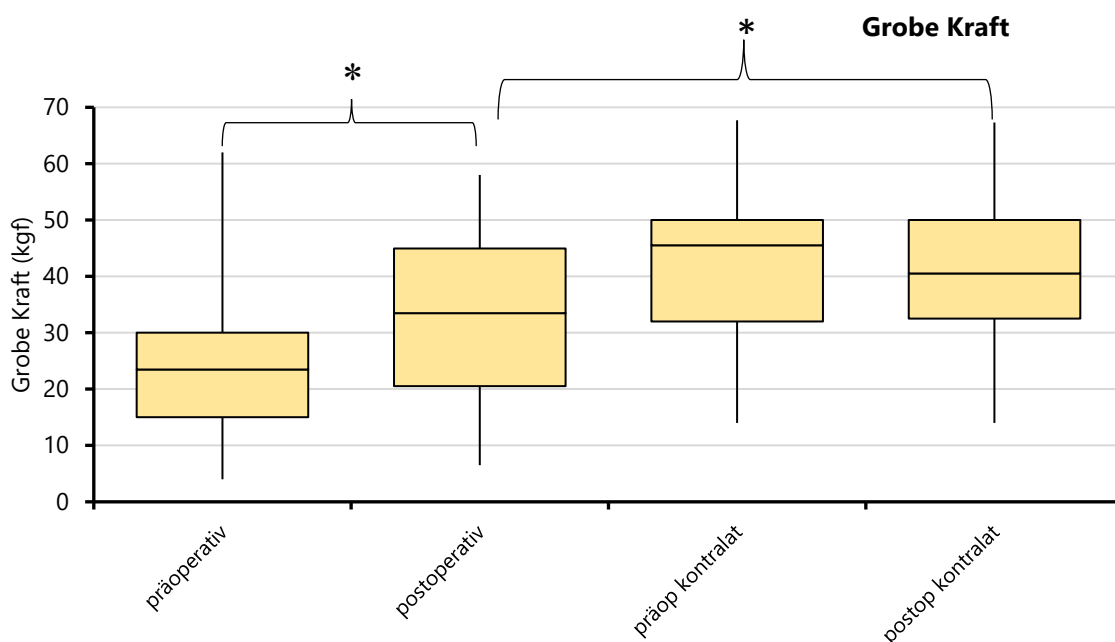


Abbildung 13: Darstellung der medianen groben Kraft des Griffes im Seitenvergleich prä- und postoperativ vs. kontralateral, n = 34, p < 0,001, Wilcoxon-Test

Es findet sich ein signifikanter Anstieg zwischen prä- und postoperativer Kraft der operierten Seite. Die operierte Seite war im Vergleich zur gesunden Seite sowohl präoperativ als auch postoperativ signifikant schwächer.

### 3.2.2.2 Feine Kraft

Tabelle 14 und Abbildung 14 stellen die Ergebnisse der postoperativ ermittelten Feinkraft, unterteilt in Spitzgriff und Pinzettengriff, im Seitenvergleich dar.

Tabelle 14: Postoperative feine Kraft (Schlüssel- und Pinzettengriff) der operierten und der kontralateralen Seite, Wilcoxon-Test

<b>Schlüsselgriff, n = 34</b>	Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	p
operiert (kgf)	7,8	3,3	1,5	13	0,001
kontralateral (kgf)	9,2	2,6	4	14	
Prozent der kontralateralen Seite	84,31 %	26,37 %	18,18 %	133,33 %	
<b>Pinzettengriff, n = 34</b>					
operiert (kgf)	6,0	2,7	1	10	0,018
kontralateral (kgf)	6,8	2,3	2,5	12	
Prozent der kontralateralen Seite	86,93 %	27,66 %	22,22 %	128,57 %	

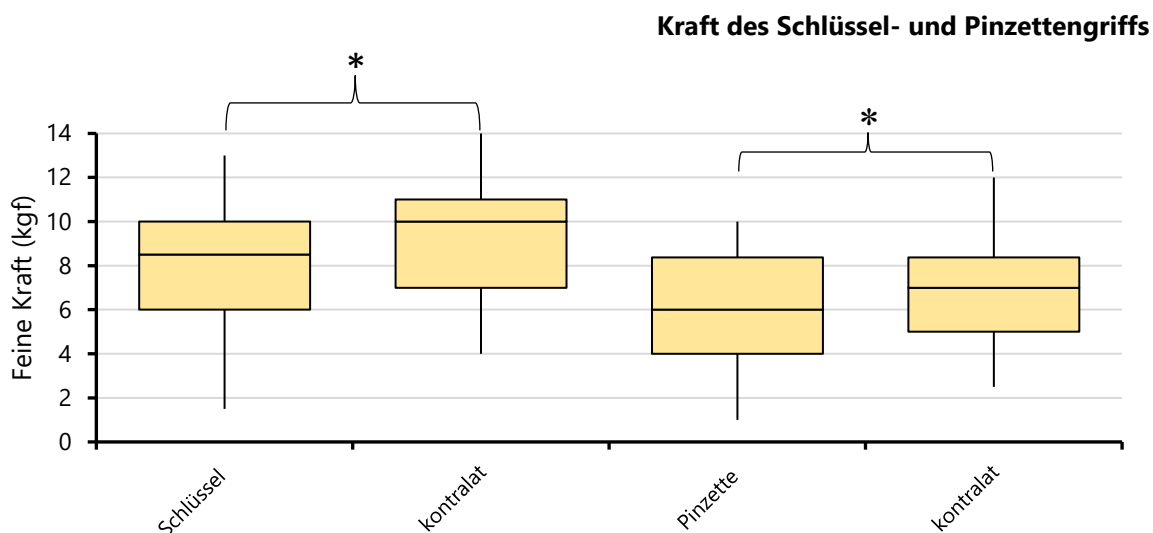


Abbildung 14: Darstellung der medianen postoperativen feinen Kraft jeweils für Schlüssel- und Spitzgriff der operierten und der kontralateralen Seite, n = 34, p < 0,001, Wilcoxon-Test

Die feine Kraft der operierten Hand war postoperativ sowohl beim Schlüssel- als auch beim Pinzettengriff gegenüber der gesunden Seite signifikant geringer.

### 3.3 Analyse der subjektiven Parameter und Scores

Die subjektiven Messwerte Schmerz auf der numerischen Ratingskala (NRS), DASH und EQ-5D wurden bei allen nachuntersuchten Patienten prä- und postoperativ erfasst. Die Misch-Scores aus klinischer Funktion und subjektivem Empfinden PRWHE und Mayo-Wrist-Score wurden präoperativ nicht erfasst.

### 3.3.1 Schmerz

Tabelle 15 zeigt eine Übersicht der erfassten Ergebnisse der numerischen Rating-Skala (NRS). Es wird die Anzahl der Patienten pro angegebener Schmerzintensität dargestellt.

Tabelle 15: Zahl der Patienten (n = 34) in Bezug zur gruppierten Schmerzintensität auf der NRS (0 – 10) prä- und postoperativ in Ruhe, bei Belastung und in besonderen Situationen (Maximalwert), Wilcoxon-Test

		Anzahl der Patienten				
		Ruhe präop	Ruhe postop	Belastung präop	Belastung postop	Maximum postop
Schmerzintensität NRS (NRS 0 – 10)	schmerzfrei (0)	16	26	0	8	4
	leicht (1-3)	17	6	4	18	14
	mittel (4-6)	1	1	25	7	11
	stark (>6)	0	1	5	1	5

Tabelle 16 stellt die gemittelten Werte des präoperativ und postoperativ angegebenen Ruhe- und des durchschnittlichen Belastungsschmerzes sowie des selten bzw. in besonderen Situationen auftretenden maximalen Schmerzes der betroffenen Seite dar.

Tabelle 16: Prä- und postoperativen Schmerzintensität auf der NRS (0 – 10) in Ruhe, bei Belastung und in besonderen Situationen (Maximum), Wilcoxon-Test

<b>Schmerz (NRS 0 – 10), n = 34</b>	Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	p
präoperativ Ruhe	1,2	1,4	0	5	0,101
postoperativ Ruhe	0,7	1,6	0	8	
präoperativ Belastung	5,2	1,5	1	8	< 0,001
postoperativ Belastung	2,3	2	0	8	
postoperativ Maximum	3,7	2,6	0	10	

Abbildung 15 gibt die gemittelten Werte des präoperativ und postoperativ angegebenen Ruhe- und des durchschnittlichen Belastungsschmerzes sowie des selten bzw. in besonderen Situationen auftretenden maximalen Schmerzes der betroffenen Seite grafisch wieder.

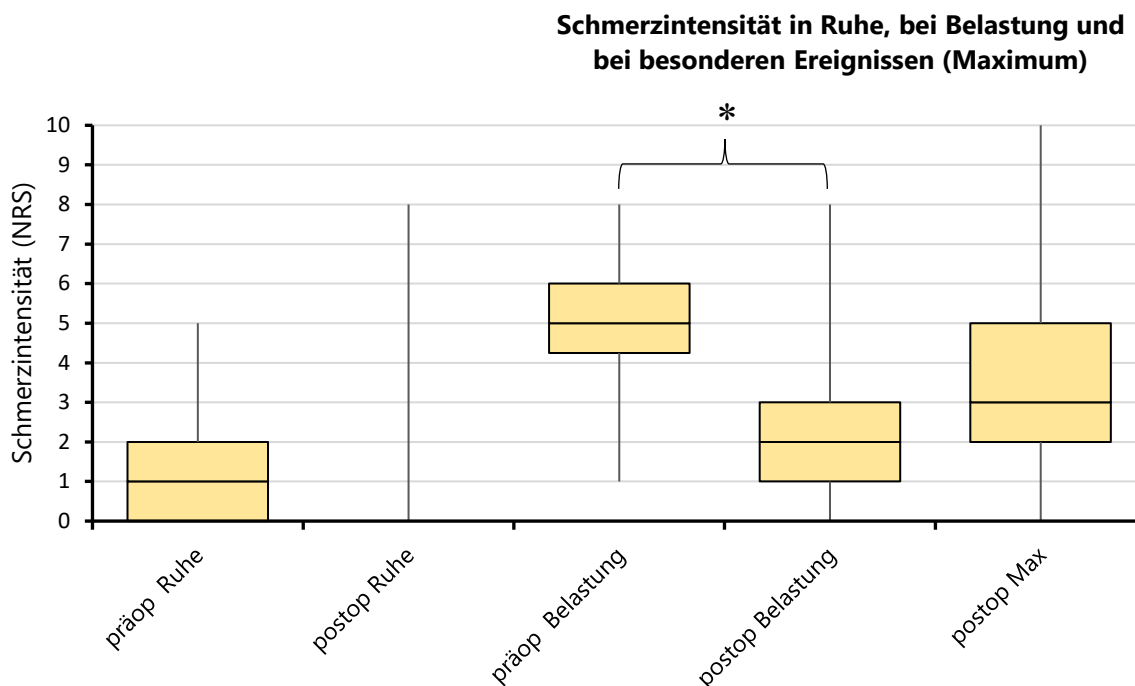


Abbildung 15: Darstellung der Schmerzintensität auf der NRS (0 – 10) prä- und postoperativ in Ruhe, bei Belastung und in besonderen Situationen (Maximum) präoperativ vs. postoperativ, n = 34, p < 0,001, Wilcoxon-Test

Bezüglich der Schmerzintensität unter Belastung zeigt sich postoperativ eine signifikante Minderung gegenüber präoperativ. In Ruhe liegt die postoperative Schmerzintensität nicht signifikant unter dem präoperativen Niveau.

### 3.3.2 Disabilities of Arm, Shoulder and Hand (DASH)

Tabelle 17 stellt die Ergebnisse der prä- und postoperativ ermittelten Werte des DASH-Fragebogens und seines Berufsmoduls dar. Es zeigen sich signifikante Unterschiede sowohl zwischen prä- und postoperativem DASH-Wert als auch zwischen den prä- und postoperativen Werten des DASH-Berufsmoduls, jeweils mit einer Abnahme der Werte.

Tabelle 18 stellt die Anzahl der Patienten der jeweiligen Gruppierung des DASH-Wertes dem Zustand präoperativ und postoperativ gegenüber. Abbildung 16 präsentiert die Anzahl der Patienten der jeweiligen Gruppierung des DASH-Wertes grafisch.

Tabelle 19 stellt die Anzahl der Patienten der jeweiligen Gruppierung des Wertes des DASH-Berufsmoduls dem Zustand präoperativ und postoperativ gegenüber. Abbildung 17 präsentiert die Anzahl der Patienten der jeweiligen Gruppierung des DASH-Wertes grafisch.

Tabelle 17: Prä- und postoperative Werte des DASH und seines Berufsmoduls, Wilcoxon-Test

DASH	Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	p
präoperativ	36,2	21	7,5	78,4	< 0,001
postoperativ	21	19,2	0	79,2	
Berufsmodul präoperativ	64	30,2	0	100	< 0,001
Berufsmodul postoperativ	24,2	23	0	93,8	

Tabelle 18, Abbildung 16: Darstellung der Anzahl der Patienten (n = 34) in Bezug zum gruppierten DASH prä- und postoperativ

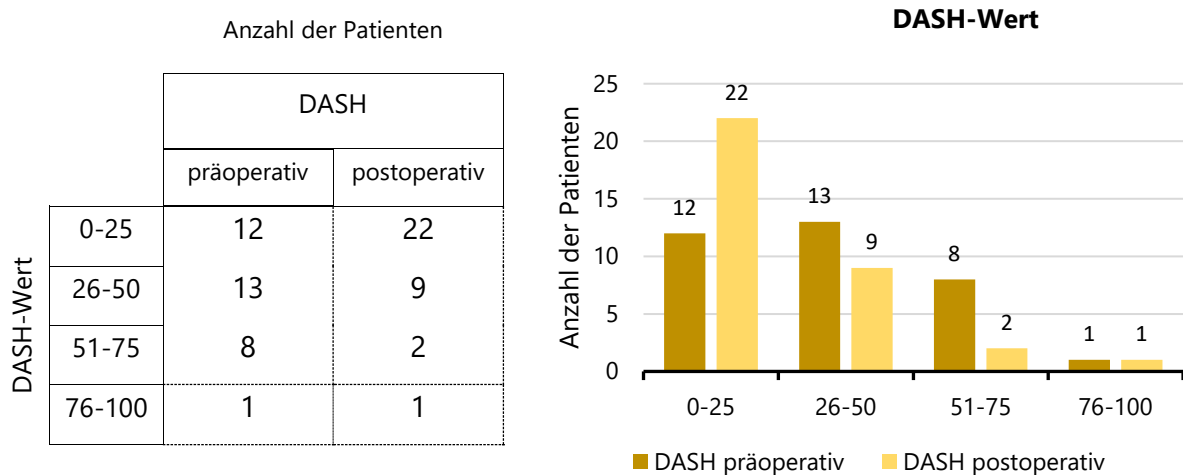
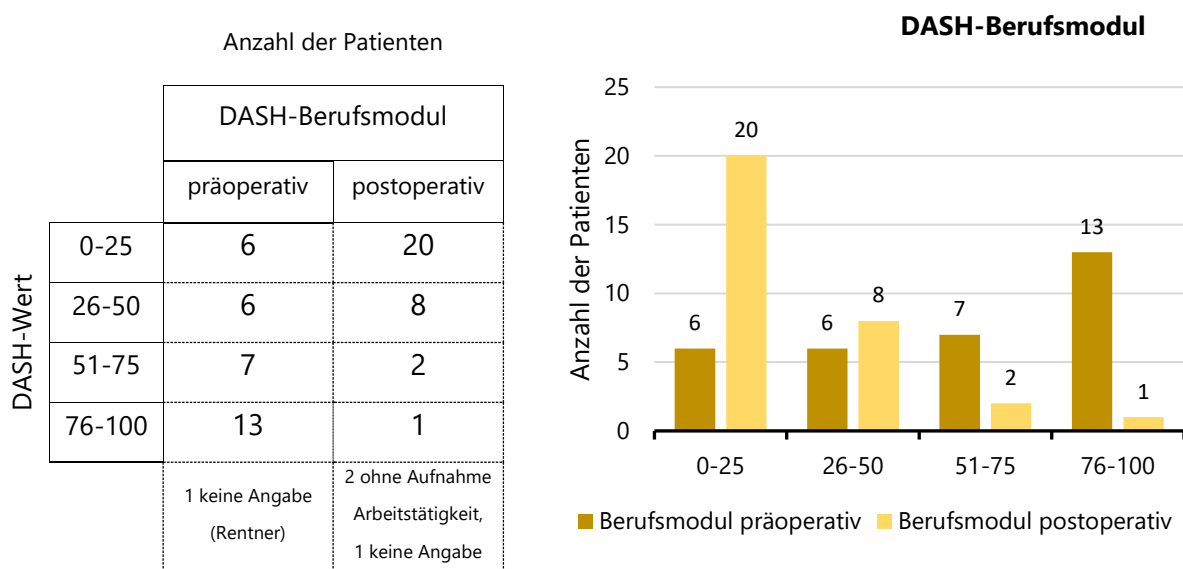


Tabelle 19 Abbildung 17: Darstellung der Zahl der Patienten (n = 30) in Bezug zum gruppierten DASH-Berufsmodul prä- und postoperativ



### 3.3.3 EQ-5D

Tabelle 20 stellt die Ergebnisse der präoperativ und postoperativ ermittelten Werte des EQ-5D-Fragebogens bezüglich der berechneten Werte Gesundheit, TTO und VAS dar. Es fanden sich keine signifikanten Differenzen.

Tabelle 20: Prä- und postoperative Werte des EQ-5D Gesundheit, TTO und VAS prä- und postoperativ, Wilcoxon-Test

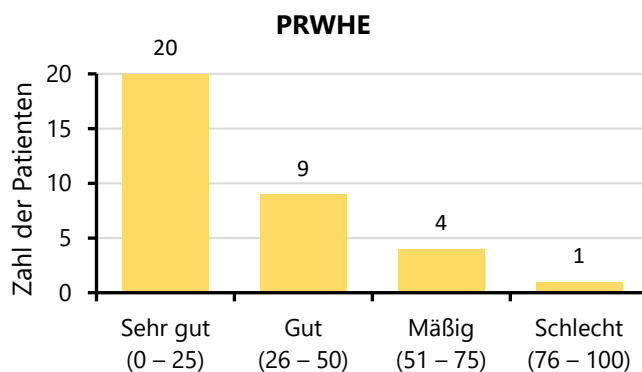
<b>EQ-5D, n = 34</b>	Mittelwert	Std. Abw.	Min. Wert	Max. Wert	p
Gesundheit präop.	74,85	12,64	45	95	0,987
Gesundheit postop.	74,79	18,85	30	100	
TTO präoperativ	0,86	0,13	0,21	1	0,532
TTO postoperativ	0,84	0,20	0,21	1	
VAS präoperativ	0,75	0,16	0,14	1	0,253
VAS postoperativ	0,79	0,23	0,14	1	

### 3.3.4 Patient related wrist / hand evaluation (PRWHE)

Tabelle 21 und Abbildung 18 stellen die Ergebnisse der postoperativ ermittelten Ergebnisse des „Patient related wrist/hand evaluation“-Scores dar.

Tabelle 21, Abbildung 18: Darstellung der Zahl der Patienten in Bezug zum postoperativen Wert des PRWHE

<b>PRWHE (Punkte)</b>	postoperativ (n=34)
Sehr gut (0 – 25)	20
Gut (26 – 50)	9
Mäßig (51 – 75)	4
Schlecht (76 – 100)	1

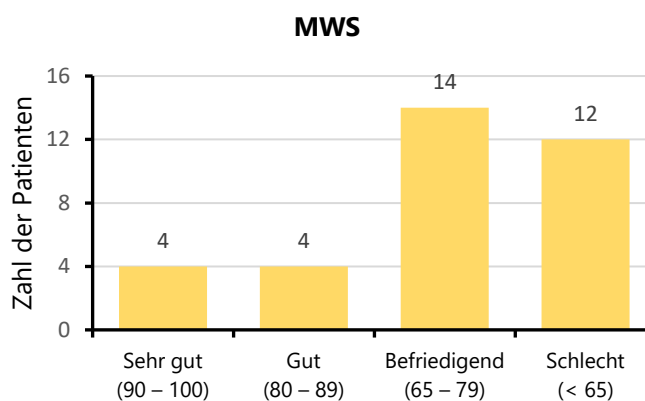


### 3.3.5 Mayo Wrist Score (MWS)

Tabelle 22 und Abbildung 19 präsentieren die Ergebnisse der postoperativ ermittelten Ergebnisse des „Mayo Wrist Scores“ in Tabellen- und Diagrammform.

Tabelle 22, Abbildung 19: Darstellung der Zahl der Patienten in Bezug zum postoperativen Wert des MWS

MWS (Punkte)	postoperativ (n=34)
Sehr gut (90 – 100)	4
Gut (80 – 89)	4
Befriedigend (65 – 79)	14
Schlecht (< 65)	12



### 3.3.6 Korrelation der subjektiven Scores

Die Ergebnisse der postoperativ ermittelten subjektiven Messparameter *Schmerz*, *DASH-Score*, *PRWHE-Score* und *MWS-Score* werden in Tabelle 23 zusammenfassend dargestellt.

Es zeigt sich eine signifikante Korrelation zwischen DASH und MWS ( $n = 34$ ,  $r = 0,733$ ,  $p < 0,001$ ), sowie zwischen DASH und PRWHE ( $n = 34$ ,  $r = 0,785$ ,  $p < 0,001$ ).

Tabelle 23: Postoperative Werte für subjektive Scores und Misch-Scores (PRWHE, MWS)

	Mittelwert $\pm$ SD	Median	Min - Max
Schmerzen in Ruhe (NRS/0-10)	0,7 $\pm$ 1,6	0	0 – 8
Schmerzen unter Belastung (NRS/0-10)	2,3 $\pm$ 2	2	0 – 8
Schmerzen Maximum (NRS/0-10)	3,7 $\pm$ 2,6	3	0 – 10
DASH (0-100)	21,0 $\pm$ 19,2	16,7	0 – 79,2
DASH Berufsmodul (0-100)	24,2 $\pm$ 23	25	0 – 93,8
PRWHE (0-100)	25,3 $\pm$ 21,9	18,5	0 – 83
MWS (0-100)	64,7 $\pm$ 17,6	65	15 – 90



### 3.4 Analyse der radiologischen Messwerte

Im folgenden Abschnitt werden die radiologischen Messwerte der 34 nachuntersuchten Patienten anhand der Röntgenaufnahmen zu den drei Zeitpunkten präoperativ T0, zum Zeitpunkt der Materialentfernung T1 und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung T2 dargestellt.

#### 3.4.1 Skapho-lunäre Distanz / Weite des SL-Gelenkspaltes

Tabelle 24 präsentiert die Ergebnisse der Distanzmessung. und Abbildung 20 stellt die Ergebnisse grafisch dar. Neben dem Verlust der intraoperativ erreichten Distanzverminderung (T1 gegen T2) zeigt sich die signifikante Verminderung der Weite des SL-Gelenks Zeitpunkt T2 gegenüber dem Ausgangswert T0.

Tabelle 24: Messwerte der SL-Distanz zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2, M = Mittelwert

	T0: präoperativ					T1: zum Zeitpunkt der ME					T2: aktuelles Röntgenbild (min. 12 Monate nach ME)				
	M	+/-	Median	Min.	Max.	M	+/-	Median	Min.	Max.	M	+/-	Median	Min.	Max.
SL Distanz (mm)	3,2	1	3	1,7	6,5	2,4	0,5	2,3	1,5	3,9	2,6	0,7	2,6	1,7	4,3

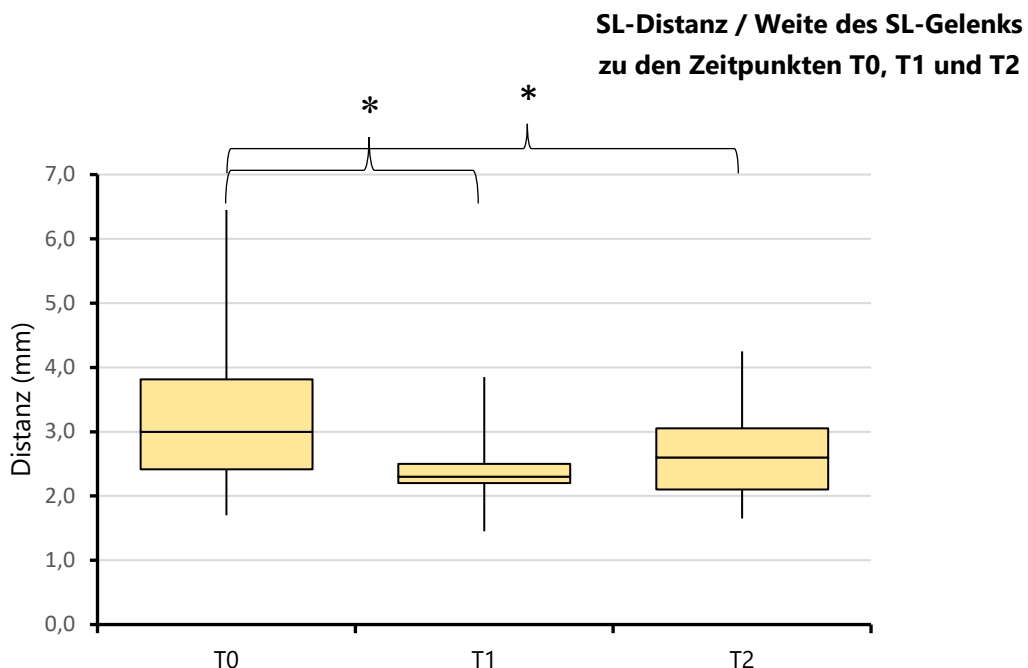


Abbildung 20: Darstellung der medianen Werte der SL-Distanz zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2, Wilcoxon-Test

#### 3.4.2 Skapho-lunärer Winkel (SL)

Über die drei Untersuchungspunkte war ein signifikanter Unterschied im Ausmaß des SL-Winkels feststellbar ( $n = 34$ ,  $p < 0,001$ , *Friedman*-Test). Im post-hoc Test mit angepasstem

Signifikanzniveau bestand ein signifikanter Unterschied zwischen dem präoperativen Zeitpunkt (T0) und dem Zeitpunkt kurz vor ME (T1) ( $p < 0,001$ , *Wilcoxon-Test*) mit einer Reduktion des Winkels. Zwischen T1 und dem postoperativen Zeitpunkt T2 fand sich eine signifikante Zunahme des Winkels ( $p < 0,001$ , *Wilcoxon-Test*). Die Werte zwischen präoperativem und postoperativem Zeitpunkt unterschieden sich nicht signifikant ( $p = 0,419$ , *Wilcoxon-Test*). Tabelle 25 und Abbildung 21 stellen die Ergebnisse dar.

Tabelle 25: Messwerte des SL-Winkels zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2, M = Mittelwert

	T0: präoperativ					T1: zum Zeitpunkt der ME					T2: aktuelles Röntgenbild				
	M	+/-	Median	Min.	Max.	M	+/-	Median	Min.	Max.	M	+/-	Median	Min.	Max.
SL Winkel (°)	71,5	11,3	72,8	46,5	91	57,2	6,8	56,5	41,5	68,5	68,5	8,8	68	47,5	97,5

**SL-Winkel zu den Messzeitpunkten T0, T1 und T2**

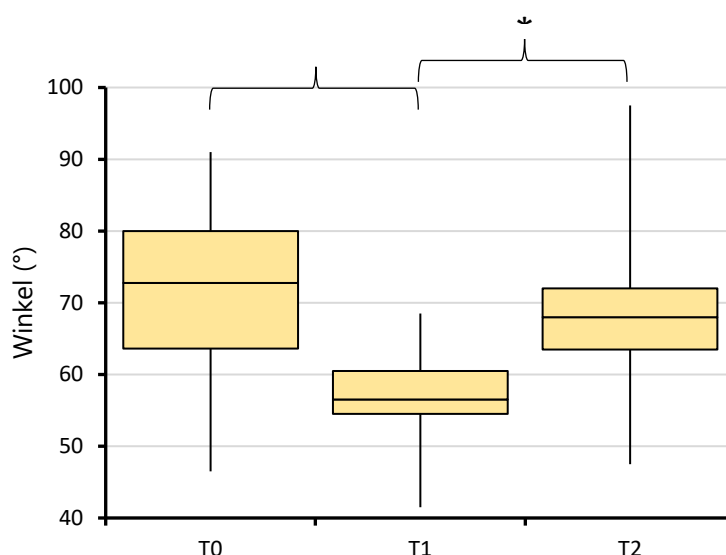


Abbildung 21: Darstellung der medianen Werte des SL-Winkels zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2, Wilcoxon-Test

### 3.4.3 Radio-lunärer Winkel (RL) und kapito-lunärer Winkel (CL)

Tabelle 26 gibt die Messwerte des radio-lunären (RL) und des kapito-lunären (CL) Winkels zu den drei Messzeitpunkten wieder. Der RL-Winkel zeigt keinen Unterschied über die Zeit von T0 bis T2 ( $n=34$ ,  $p=0,125$ , *Friedman-Test*). Auch die Werte des CL-Winkels zeigen keine Unterschiede über die Zeit von T0 bis T2 ( $n=34$ ,  $p=0,741$ , *Friedman-Test*).

Tabelle 26: Messwerte der Winkel SL, RL und CL zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2, M = Mittelwert

	T0: präoperativ					T1: zum Zeitpunkt der ME					T2: aktuelles Röntgenbild (min. 12 Monate nach ME)				
	M	+/-	Median	Min.	Max.	M	+/-	Median	Min.	Max.	M	+/-	Median	Min.	Max.
RL Winkel (°)	11,5	10	11,5	-12,0	31,5	7,4	6,3	6,3	-19	17,5	8,9	12,1	9	-19	38
CL Winkel (°)	8,7	9,6	9	-29,5	25	8,6	7,6	8	-8,5	32,5	5,8	11,6	5	-25,5	36,5

### 3.5 Analyse der anderen präoperativen radiologischen (Kinematografie und MRT)

#### 3.5.1 Kinematografie

Bei 37 der 40 erfassten Patienten erfolgte im Rahmen der präoperativen Diagnostik eine Kinematografie. Bei zehn der 37 Fälle konnte die Kinematografie keine Dissoziation im Sinne der SL-Bandruptur erkennen. Sie wurden entsprechend dem Grad 0 zugeordnet. Grad 1 (prä-dynamische Instabilität) wurde in keinem Fall beschrieben. In 27 Fällen wurde eine Instabilität festgestellt. Von diesen 27 Fällen wurden 11 als Grad 2 und 16 als Grad 3 beschrieben. Tabelle 27 stellt die Angaben übersichtlich dar.

Tabelle 27: Anzahl der Patienten in Bezug zum jeweilig kinematografisch eingeschätzten Stadium der skapho-lunären Dissoziation (SLD)

SLD Stadium (Grad)	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Anzahl (n=37)	10	0	11	16

#### 3.5.2 MRT

Bei 32 der 40 erfassten Patienten erfolgte im Rahmen der präoperativen Diagnostik eine MRT. Kontrastmittel wurde im Rahmen der Untersuchung lediglich in einem Fall gegeben. Tabelle 28 fasst die in den MRT-Befunden wiedergegebenen Befunde entsprechend ihrer Anzahl zusammen. Bei 30 der 32 Untersuchungen wurde eine Läsion bzw. Pathologie im Bereich des SL Bandes beschrieben. In fünf der 30 Untersuchungen wurden degenerative Veränderungen angegeben, die zweimalig im radio-skaphoidalen Gelenks und jeweils einmal mediokarpal, im Sattel- und Grundgelenk des Daumens und am fünften karpometakarpalen Gelenks lokalisiert waren.

Tabelle 28: MRT-morphologisch erfasste Befunde und Begleitverletzungen der SL-Bandläsion. Die in den Befunden beschriebenen Veränderungen sind über der Anzahl der damit verbundenen positiven bzw. negativen Befunde aufgetragen.

	SL Läsion	Bandstumpf, Riss	Erguss im SL Spalt	statische SLD	statische DISI	Begleitverletzung	Arthrose der Region
positiv	30	20	5	15	5	12	5
negativ	2	12	27	17	27	20	27

### 3.6 Ergebnisse der Fälle mit Revisionsbandplastiken

Zwei der 36 nachuntersuchten Patienten zeigten im Rahmen der Nachsorge frühzeitig ein mit neuerlicher Schmerzzunahme behaftetes Versagen der ersten Bandplastik nach Henry. In beiden Fällen wurde eine Revisionsoperation durchgeführt.

Fall 1, weiblich, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 36 Jahre alt, erhielt 135 Tage nach der OP nach Henry eine operative Revision, bei der eine Ruptur der Bandplastik im Kanal des Skaphoids festgestellt wurde. Bei erhaltenem und im Lunatum stabil eingeheiltem Sehnentransplantat wurde dieses mittels zweier Schraubanker (2,2 mm Corkscrew®, Fa. Arthrex) am Skaphoid dorsal fixiert und eine neuerliche temporäre Transfixation für 6 Wochen angelegt.

Fall 2, männlich, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 48 Jahre alt, erhielt 148 Tage nach der OP nach Henry eine operative Revision, bei der gleichfalls eine Ruptur der Bandplastik im Kanal des Skaphoids festgestellt wurde. Es wurde eine neuerliche Bandplastik mit einem nicht gestielten Sehnentransplantat des M. palmaris longus durch die vorhandenen Bohrkanäle angelegt. Das Sehnentransplantat wurde in den Bohrkanälen mit Tenodeseschrauben (2,5 mm PEEK, Fa. Arthrex) von dorsal sowohl im Skaphoid als auch im Lunatum fixiert. Auf eine neuerliche temporäre Transfixation wurde verzichtet.

Grundlegende Angaben zu beiden Fällen sind bereits in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt. Durch den zweiten Eingriff verschiebt sich der zeitliche Bezugspunkt (OP mit Bandplastik) zum Eintritt der Arbeitsfähigkeit und Nachuntersuchung. Eine Übersicht der zeitlichen Bezüge einschließlich der Anpassungen gibt Tabelle 29 wieder.

Tabelle 29: Erweiterte zeitbezogene Angaben der beiden Revisionsbandplastiken, wobei Erst-OP der Bandplastik nach Henry und Zweit-OP der Revisionsbandplastik entspricht

	Tage zwischen Erst- und Zweit-OP	Erst-OP bis Arbeitsfähigkeit	Zweit-OP bis Arbeitsfähigkeit	Erst OP bis Nachuntersuchung	Zweit OP bis Nachuntersuchung
Fall 1	135	402	267	686	551
Fall 2	148	467	319	911	763

Im Folgenden werden die konkreten Daten der klinischen Funktionsparameter (Tab. 30), die subjektiven Parameter und Scores (Tab. 31) sowie die radiologischen Messwerte (Tab. 32) der beiden Fälle dargestellt.

Tabelle 30: Darstellung der klinischen Funktionsparameter Unterarmdrehung, Beweglichkeit des Handgelenks sowie grobe und feine Kraft der Hand der beiden Revisionsbandplastiken

#### Unterarmdrehung

	postop.	kontralat.	postop.	kontralat.	postop.	kontralat.	Prozent der nicht betroffenen Seite
	Supination		Pronation		ROM		
Fall 1	90	90	90	90	180	180	100 %
Fall 2	70	90	80	85	150	175	85,7 %

#### Beweglichkeit des Handgelenks

	präop.	postop.	präop. kontralat.	postop. kontralat.	präop.	postop.	präop. kontralat.	postop. kontralat.
	Extension (°)				Flexion (°)			
Fall 1	90	45	90	80	90	40	90	70
Fall 2	40	20	50	60	40	10	50	65
	Radialabduktion (°)				Ulnarabduktion (°)			
Fall 1	40	20	40	20	50	25	50	45
Fall 2	5	0	10	30	10	25	20	50

#### Bewegungsräume des Handgelenks (ROM)

	präop.	postop.	präop. kontralat.	postop. kontralat.	Prozent der nicht betroffenen Seite	
	Extension / Flexion ROM (°)				präop.	postop.
Fall 1	180	85	180	150	100 %	56,7 %
Fall 2	80	30	100	125	80 %	24 %

	Radial- / Ulnarabduktion ROM (°)				Prozent der nicht betroffenen Seite	
Fall 1	90	45	90	65	100 %	69,2 %
Fall 2	15	25	30	80	50 %	31,3 %
	ROM total (°)				Prozent der nicht betroffenen Seite	
Fall 1	270	130	270	215	100 %	60,5 %
Fall 2	95	55	130	205	73,1 %	26,8 %

#### Grobe Kraft der Hand (kgf)

	präop.	postop.	präop. kontralat.	postop. kontralat.	Prozent der nicht betroffenen Seite	
					präop	postop
Fall 1	12	26	32	36	37,5 %	72,2 %
Fall 2	6,7	8,3	29	23	23,1 %	36,1 %

(Fortsetzung Tab. 30)

## Feine Kraft der Hand (kgf)

	postop.	kontralat.	postop. Prozent der nicht betroffenen Seite
Schlüsselgriff			
Fall 1	5,5	8,5	64,71 %
Fall 2	1	5	20 %
Pinzettengriff			
Fall 1	2	5	40 %
Fall 2	1	3	33,33 %

Tabelle 31: Darstellung der subjektiven Parameter und Scores DASH, MWS, PRWHE, EQ-5D und Schmerz (NRS) der beiden Revisionsbandplastiken

## Subjektive Parameter und Scores

	DASH		DASH - Berufsmodul		MWS	PRWHE
	präop.	postop.	präop.	postop.		
Fall 1	53,3	32,5	100	100	35 schlecht	36,5 gut
Fall 2	69,8	65,8	81,25	68,8	45 schlecht	66 mäßig

## EQ-5D

	Gesundheit		TTO		VAS	
	präop.	postop.	präop.	postop.	präop.	postop.
Fall 1	70	70	0,887	0,887	0,794	0,794
Fall 2	60	45	0,8	0,8	0,642	0,642

## Schmerz (NRS 0 – 10)

	Ruhe		Belastung		Maximum
	präop.	postop.	präop.	postop.	postop.
Fall 1	2	0	5	5	6
Fall 2	2	3	7	5	8

Tabelle 32: Darstellung der radiologischen Messwerte der beiden Revisionsbandplastiken am Röntgenbild präoperativ vor der ersten Bandplastik und postoperativ am letzten vorhandenen Röntgenbild

## Radiologische Messwerte

	SL-Distanz (mm)		SL-Winkel (°)		RL-Winkel (°)		CL-Winkel (°)	
	präop.	postop.	präop.	postop.	präop.	postop.	präop.	postop.
Fall 1	5	4,1	78	79	26	9,5	-8	2
Fall 2	3,6	4,5	69	67,5	7,5	9,5	5	-3,5

## 4 Diskussion

### 4.1 Allgemeine Überlegungen zur SL-Bandrekonstruktion

In der Literatur existiert eine Vielzahl von Studien, die sich mit der Verletzung des SL-Bandkomplexes und seiner Rekonstruktion befassen (11; 97). Neben immer neuen oder auch revidierten Erkenntnissen zur Beschaffenheit und Biomechanik nicht nur des Komplexes an sich, sondern vor allem seiner Stellung im System des handwurzelstabilisierenden Gefüges aus Knochenkonfiguration, bandhaften Verbindungen sowie der am Handgelenk und Handwurzel vorbeiziehenden oder ansetzenden Sehnen, werden regelmäßig neue Techniken zur Rekonstruktion vorgestellt, die oft Variationen bereits bekannter Verfahren darstellen (11). Augenfällig, aber unpräzise, wie schon die Bezeichnung SL-Band, ist dabei die Verwendung der Begriffe „Rekonstruktion“ und „modifizierte Brunelli-OP“.

Während der Begriff „Rekonstruktion“ das Wiederherstellen oder Nachbilden des ursprünglichen Zustandes beschreibt, kommen die meisten der beschriebenen operativen Eingriffe, im Vergleich z.B. zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes des Kniegelenks, aufgrund ihrer Beschränkungen (z.B. nur den dorsalen Aspekt des SL-Bandes würdigend) nicht annähernd dazu. Präziser wäre möglicherweise der Begriff der „Stabilisation“ des SL-Gelenks. *Brunelli* bestand stets darauf, dass seine Methode nicht mit einer Rekonstruktion des SL-Bandes in Verbindung gebracht wird, sondern lediglich die Vermeidung des zu erwartenden Folgezustandes der skaphoidalen Fehlrotation zum Ziel hat (25).

Der in Veröffentlichungen regelmäßig verwendete Terminus „modifizierter Brunelli“ lässt nicht immer erkennen, welche der beschriebenen Variationen zur Anwendung kam und führt mitunter zu eingeschränkter Vergleichbarkeit und unsicherer Einordnung präsentierter Daten. Die verhältnismäßige Seltenheit der Verletzung und die Vielzahl zur Verfügung stehender Behandlungsmethoden wie auch Unsicherheiten der Indikationsstellung zu deren Einsatz zeigt sich, ebenso wie in der vorliegenden Arbeit, bei allen Veröffentlichungen in einer geringen Fallzahl und höchst variablen Untersuchungszeiträumen.

Mit Blick auf die Komplexität des karpalen Bandsystems und der Variationen der Verletzungsmuster bedingen sie eine erhebliche Einschränkung der Aussagekraft statistischer Analysen.

## 4.2 Überblick zum Studiendesign

Mit dem Ziel, das subjektive und objektive funktionelle Outcome der Operationsmethode nach *Henry (77)* zur Behandlung subakuter und chronischer Rupturen des SL-Bandapparates und ihrer resultierenden Instabilität des SL-Gelenks zu untersuchen, konnten von 40 Patienten, die im Zeitraum von Januar 2017 bis Oktober 2018 im Unfallkrankenhaus Berlin mit genannter Technik behandelt wurden, 36 nachuntersucht werden. In der vorliegenden Dissertation wurden dazu prä- (T0) und postoperative (T2) Befunde einschließlich der im Verlauf stattgehabten Röntgenuntersuchungen (präoperativ T0, nach Aufhebung der temporären Transfixation T1 und mindestens 12 Monate nach der Operation T2) evaluiert. Ein zusätzliches Augenmerk wurde auf präoperativ diagnostische Erkenntnisse aus stattgehabten MRT- und kinematografischen Untersuchungen sowie Einflüsse durch die Dauer zwischen Verletzungsereignis und chirurgischer Behandlung gelegt.

Da es im Untersuchungszeitraum keine geeignete, zum Beispiel konservativ behandelte oder in anderer Technik operativ versorgte Vergleichsgruppe zur Behandlung der chronischen Bandverletzung gab, erfolgte die subjektive und objektive funktionelle Analyse der Daten innerhalb des Kollektivs durch Vergleich der präoperativen mit den postoperativen Daten.

Für die Beurteilung des Therapieergebnisses wurden folgende Untersuchungsgrößen ausgewertet:

Zur Erfassung des subjektiven Krankheits- bzw. Behinderungserleben kamen die Messbögen DASH, EQ-5D/TTO und EQ-5D/VAS sowie die Angabe von Schmerz in Ruhe und unter Belastung auf der numerischen Analogskala (NRS) zur Anwendung. Die objektiv messbare Funktion der oberen Extremität wurde über die Bewegungsumfänge sowie Grob- und Feinkraft der Hand im Vergleich zur unverletzten Gegenseite erfasst. Zur spezifischen Bewertung der Handgelenksfunktion wurden der Mayo-Wrist-Score sowie der PRWHE-Score für das funktionelle Outcome von Verletzungen des Handgelenkes bzw. der Hand genutzt. Weiterhin wurde der Eintritt der Arbeitsfähigkeit als sozioökonomischer Outcome-Parameter betrachtet. Dieser wurde vor dem Hintergrund des Unfallzeitpunktes, dem sich anschließenden zeitlichen Verlauf zwischen den Operationszeitpunkten und den nachfolgenden rehabilitativen Maßnahmen analysiert.



### **4.2.1 Bewertung des subjektiven Outcomes**

Die statistische Untersuchung der subjektiven Patientenzufriedenheit des Nachuntersuchungszeitpunktes in Relation zum präoperativen Zustand zeigt eine signifikante Veränderung zum Positiven. Sie weist postoperativ deutlich niedrigere DASH-Scores, mit einer Reduktion des Mittelwertes um 15,2 Punkte, auf. Im Berufsmodul des DASH wird diese positive Veränderung noch augenscheinlicher. Hier zeigt sich eine Reduktion des Mittelwertes um annähernd 40 Punkte. Es kann damit ein positiver Effekt nach operativer Therapie belegt werden. Ob sich dieser Effekt ausschließlich auf die betreffende operative Therapie zurückführen lässt, kann bei fehlender Vergleichsgruppe mit anderweitiger Therapie nicht nachgewiesen werden.

Diese Verbesserung lässt sich bei der Schmerzevaluation (NRS) mit statistischer Signifikanz, tendenziell auch beim EQ-5D/VAS, nicht jedoch beim EQ-5D Gesundheit und EQ-5D/TTO belegen. Dies kann als Hinweis für die Wirksamkeit einer spezifischen (operativen) Therapie mit Rückgang von Schmerzen, jedoch wenig Einfluss auf das allgemeine Wohlbefinden oder auch Krankheitserleben des einzelnen Betroffenen gesehen werden. Möglicherweise war das allgemeine Gesundheitsempfinden durch die Verletzung nicht verschlechtert, so dass keine Verbesserung eintreten konnte.

Die Annahme, dass die Operation – ob aufgrund des durch sie geschaffenen biomechanischen Zustandes oder adhäsions- und narbenbedingter Veränderungen und damit verbundener Reduktion des schmerzbehafteten Bewegungsraumes – zu einer subjektiven Verbesserung führt, lässt sich mit der statistischen Analyse nicht sicher belegen, allerdings ist die postoperative Schmerzreduktion signifikant.

### **4.2.2 Bewertung des objektiven Outcomes**

#### **4.2.2.1 Beweglichkeit**

Zum Nachuntersuchungszeitpunkt lässt sich keine statistisch signifikante Veränderung der Gesamt-ROM des betroffenen Handgelenks in der Studiengruppe im Vergleich zum präoperativen Zustand feststellen. Lediglich die Radial- und Ulnarabduktion lassen eine tendenzielle Besserung im Mittel von rund 77 % auf 80 % der Gegenseite erkennen. Die Verbesserung der Ulnarabduktion ist statistisch zwar signifikant, klinisch allerdings ohne Relevanz. Im Vergleich zur unverletzten Gegenseite findet sich im Mittel eine Differenz von

rund 23 % verminderter ROM des betroffenen Handgelenks. Der Wert entspricht damit weitestgehend dem präoperativen Zustand.

Ursächlich für die fehlende Verbesserung des Bewegungsumfanges sind möglicherweise durch die Invasivität des Eingriffs entstehende Narben der Region des Handgelenks, intraartikuläre Veränderungen der karpalen Dynamik durch die Bandplastik, eine lange Immobilisationsphase mit einliegenden Kirschnerdrähten zur Sicherung des Karpus bis zum erwarteten Einheilen der Bandplastik und der (zum Schutz der Bandplastik) nachfolgend langsame Bewegungs- und Belastungsaufbau. Auch der Zeitraum zwischen dem Unfallereignis, dem Verdacht oder Nachweis der Verletzung bis zur operativen Therapie und den damit verbundenen, bereits zum OP-Zeitpunkt eingetretenen Veränderungen der Handwurzel – entsprechend der Mechanismen zur Entwicklung eines adaptiven Gelenks – hat negativen Einfluss auf die maximal erreichbare Beweglichkeit. Eine Korrelation und Kausalität lassen sich aus den vorliegenden Ergebnissen nicht ableiten. Eine Assoziation ist unter Berücksichtigung der mit der Zeit eintretenden Veränderungen dennoch anzunehmen.

Ein weiterer Faktor kann der Nachuntersuchungszeitpunkt in Relation zum Zeitpunkt der OP sein. Ich denke, dass bei Weiterführung eines eigenständigen Trainings nach Beendigung assistierter Übungseinheiten, eine stete, wenn auch immer langsamere Verbesserung der Beweglichkeit eintritt. Um diese Annahme zu untersuchen, wären neben größeren Untersuchungsgruppen und einem höheren Anteil ideal anatomischer (röntgenologischer) postoperativer Ergebnisse, entsprechende regelmäßige und längerfristige Nachuntersuchungen erforderlich. Im vorliegenden Kollektiv beträgt der Nachuntersuchungszeitraum minimal 16 und maximal 37 Monate nach Operation. Die geringe Patientenzahl in Verbindung mit der Heterogenität des Kollektivs in Bezug auf Alter, Verletzungsmuster und zeitlichen Verlauf lassen eine diesbezügliche Aussage nicht zu.

#### 4.2.2.2 Kraft

Im Gegensatz zur ROM zeigt die postoperative Messung der Grobkraft eine statistisch signifikante Zunahme mit Annäherung des Mittels bis auf rund 79 % der Messwerte der unverletzten Gegenseite ausgehend von präoperativ weniger als 57 %. Sowohl die grobe Kraft als auch die lediglich zum Nachuntersuchungszeitpunkt erfasste Feinkraft weisen allerdings eine signifikante Reduktion im Vergleich zur unverletzten Gegenseite auf. Da die Kraftmessung in Neutralposition erfolgt, bleibt eine Interferenz durch bestehende Bewegungseinschränkungen aus. Die präoperative Krafteinbuße ist am ehesten auf bestehende

oder belastungsabhängige Schmerzen und eine resultierende Schonung der Hand zurückzuführen. Vermutlich tragen die postoperative Schmerzreduktion in Verbindung zu kontinuierlichem und gezieltem Training zur erhofften Verbesserung bei. Natürlich ist auch hier die bereits oben angesprochene Zeitabhängigkeit der Trainingseffekte bzw. Eingliederung in den Alltag anzusprechen. Da die Stabilität des Handgelenks sowohl intrinsisch als auch extrinsisch gewährleistet wird, nehme ich an, dass die Verbesserung, im Gegensatz zu jener der ROM, weniger auf eine anatomisch ideale Rekonstruktion durch die Operation als auf die Stabilität des Gelenks zurückzuführen ist. Vergleichbares (auch in Bezug auf eine erwartbare Kraftminderung auf 50 bis 80 % der Gegenseite) zeigt sich bei Nachuntersuchungen partiell oder vollständig versteifter Handgelenke (5; 15; 62).

### **4.2.3 Bewertung der Misch-Scores MWS und PRWHE**

Die postoperativ erhobenen, aus subjektiven Angaben und objektiven Messwerten ermittelten Misch-Scores sollen eine globale Bewertung des OP-Ergebnisses im Bereich des Handgelenks und der Hand ermöglichen. Als Messparameter für das spezifische qualitative Ergebnis eines Eingriffes an der Hand bzw. des Handgelenks lässt er sich im Vergleich von Misch-Scores einsetzen.

#### **4.2.3.1 PRWHE**

Der PRWHE ergibt bei 29 Patienten ein gutes (n=9) bis sehr gutes (n=20) und lediglich bei 5 Patienten ein mäßiges (n=4) oder schlechtes (n=1) Ergebnis. Er kommt dabei den Ergebnissen des DASH in Bezug auf die willkürlichen Abgrenzungen von sehr gut (n = 22) und gut (n=9) sowie mäßig (n=2) und schlecht (n=1), genauso wie dem DASH Berufsmodul mit sehr gut (n = 20) und gut (n=8) sowie mäßig (n=2) und schlecht (n=1) sehr nah und bestätigt deren positiven Ergebnisse.

#### **4.2.3.2 MWS**

Im Gegensatz zum PRWHE ergibt der MWS, der einen Misch-Score aus subjektiven Angaben zu Schmerz und Zufriedenheit sowie objektiven Messwerten zu ROM und Kraft bildet, überwiegend befriedigende (n=14) bis schlechte (n=12) Ergebnisse und verhältnismäßig weniger gute (n=4) bis sehr gute (n=4) Ergebnisse. Ein Grund für die Diskrepanz der Bewertungen durch die Scores sind möglicherweise Veränderungen des subjektiven Erlebens von Krankheit und Verletzung im Verlauf einer Behandlung und Wiederaufnahme von

alltäglichen Tätigkeiten. Gleiches gilt für Mechanismen wie Gewöhnung und Anpassung an veränderte Lebensbedingungen bzw. dauerhafte funktionelle Einschränkungen. Damit rücken funktionelle Beeinträchtigungen im Alltag bzw. Erleben zunehmend in den Hintergrund und werden entsprechend weniger bedeutsam wahrgenommen. Dies kommt am ehesten in den Ergebnissen des DASH und des PRHWE zum Tragen. Die geringe Ergebnisqualität des MWS kann unter anderem durch seinen Aufbau und die erreichbaren Stufen erklärt werden. Funktionelle Werte wie Kraft und Beweglichkeit nehmen durch das Verteilungssystem der Punkte einen relativ hohen Stellenwert ein. Die Bewertung *gut* bis *sehr gut* wird bei maximal 100 erreichbaren Punkten ab 80 Punkten vergeben und Punktwerte unter 65 werden als *schlechtes* Ergebnis bewertet. Funktionelle Einschränkungen von Kraft und Beweglichkeit, die unter 100 % (entspr. 25 Pkt. pro Item) liegen, ergeben bereits bei 99 % jeweils Abzüge von 10 Punkten (75 – 99 % entspr. 15 Pkt.). Zwangsläufig resultieren in der hiesigen Auswertung bei mittleren Bewegungsmaßen und Kraft von knapp 80 % der Gegenseite sowie weiteren Einschränkungen (verbliebene Schmerzen und mittelmäßige Zufriedenheit) eher befriedigende und schlechte Ergebnisse beim MWS.

#### **4.2.4 Bewertung der bildgebenden Untersuchungsergebnisse**

##### 4.2.4.1 Röntgen

Die präoperativen Röntgenuntersuchungen ergaben bezüglich der SL-Distanz bei 21 von 40 Fällen (52,5 %) pathologische Werte über 3 mm und bei 35 der 40 betrachteten Fälle (87,5 %) einen erhöhten SL-Winkel. In 12 Fällen (30 %) war der SL-Winkel grenzwertig (61 – 70°) und in 23 Fällen (57,5 %) deutlich (> 70°) überschritten. Postoperativ liegt die SL-Distanz im Mittel der 34 Fälle der Henry-Gruppe bei 2,6 mm im Normbereich, während der SL-Winkel mit 68,5° im Mittel im grenzwertig pathologischen Bereich liegt und sich dem präoperativen Wert annähert, ohne diesen zu überschreiten. Der RL-Winkel (in Kombination zum SL-Winkel) als ein Maß für die DISI-Konfiguration und Stabilität der proximalen Reihe weist im Mittel zu keinem Zeitpunkt pathologische Werte auf und tendiert postoperativ gegenüber präoperativ eher zu einer Neutralisierung als zu einer pathologischen Veränderung. Dies spricht für den Erfolg der operativ stabilisierenden Maßnahme und Verhinderung einer Aufweitung des Gelenkspaltes sowie Progression der Rotationsinstabilität des Skaphoids und Destabilisierung der proximalen Reihe der Kohorte im betrachteten Zeitraum.

Ein Fall der 34 Betrachteten zeigt postoperativ einen vollständigen karpalen Kollaps (SLAC Wrist Stadium 4). Einunddreißig der verbleibenden 33 Fälle (94 %) weisen einen postoperativen SL-Winkel  $\geq 60^\circ$  auf. Bei 17 dieser Fälle (52 %) liegt der SL-Winkel zwischen  $60^\circ$  und  $70^\circ$ . Vier Fälle (12 %) weisen einen SL-Winkel  $\geq 60^\circ$  (einer davon  $<70^\circ$ ) und gleichzeitig einen RL-Winkel  $\geq 20^\circ$  auf und können als statische DISI-Konfiguration gewertet werden. Da mit Ausnahme des genannten SLAC Wrist bei keinem Fall relevante degenerative (arthrotische) Veränderungen zu erkennen sind, ist in jedem Fall die langfristige Beobachtung und Kontrolle sinnvoll, um sowohl eine klinisch sich manifestierende Degeneration als auch eine klinisch stumme Degeneration oder auch den dauerhaften Erhalt des Zustandes beurteilen zu können.

#### 4.2.4.2 Kinematografie, MRT und Arthroskopie

Die in 37 Fällen präoperativ angefertigte Kinematografie war in 27 Fällen (72,3 %) positiv bezüglich des Vorliegens einer skapho-lunären Instabilität. Die ausgewerteten MRT Untersuchungen fanden in fast 94 % pathologische Befunde im Bereich des SL-Bandes und bei 50 % der Fälle statische Veränderungen als Folge einer chronischen Instabilität des SL-Gelenks. Die Arthroskopie hingegen ergab bei 100 % der Fälle eine grobe Instabilität des SL-Gelenks nach *Geissler* Grad IV (63). Dies spricht für die MRT als geeignete Untersuchung zur Detektion pathologischer Veränderungen am SL-Bandapparat jedoch nicht für eine aussagekräftige Bewertung des Schädigungsmaßes und einer daraus gegebenenfalls resultierenden, behandlungsbedürftigen Instabilität. Die Kinematografie hingegen ist empfindlicher bezüglich einer vorliegenden Instabilität. Sie hat allerdings mit über einem Viertel der Fälle eine hohe Quote nicht erkannter Instabilitäten. Die vorliegenden Ergebnisse unterstützen die Aussagen anderer Untersuchungen zu diesem Thema (142). Sie heben die Wertigkeit standardisiert angefertigter konventioneller Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen in Bezug auf die chronische Dissoziation und deren weiterer Verlaufsbeurteilung hervor. Die Arthroskopie in den Händen eines erfahrenen Operateurs bestätigt sich in der vorliegenden Studie als sicherste Methode zur Bewertung behandlungsbedürftiger Läsionen und Instabilitäten. Sie bietet außerdem eine sichere Beurteilung anderer Pathologien des Gelenkraumes, die eventuell Einfluss auf eine etwaige Stabilisation des Bandapparates haben (63; 107; 141).

#### **4.2.5 Behandlungszeiten und Arbeitsunfähigkeit**

Die Zeit zwischen dem Unfallereignis und der Operation lag im Median bei ungefähr vier Monaten. Die Arbeitsunfähigkeitszeiten vor der OP wurden nicht erfasst und eine unbekannte Zahl der Fälle ging der beruflichen Tätigkeit mit zunehmenden Beschwerden bis zur OP nach. Bis zur Wiederaufnahme der Arbeitstätigkeit nach OP vergingen im Median etwa 6,5 Monate mit einem Minimum von 9 Tagen und einem Maximum von über 1,5 Jahren. Dabei zeigen sich auffällige Differenzen bei Berücksichtigung der verschiedenen Versicherungsträger. Während die 20 Fälle der gesetzlichen Unfallversicherung (GUV) im Median mehr als 7 Monate nicht arbeitstätig waren, nahmen die 9 Fälle der gesetzlichen Krankenversicherung (GKV) im Median ihre Arbeitstätigkeit nach 3,5 Monaten wieder auf. Die beiden über eine private Krankenversicherung abgedeckten Fälle (ein Arzt und ein selbstständiger Unternehmer) nahmen ihre Arbeitstätigkeit nach 49 und 56 Tagen wieder auf. Fünf der 34 Fälle wechselten den Beruf, davon 4 durch die GUV versichert. Zwei, beide durch die GUV versichert, verblieben erwerbslos. Die nicht gesicherte Vermutung, dass der Versicherungsstatus einen Einfluss auf die Krankheitsdauer nach Unfallereignissen hat, wird im Falle der vorliegenden Untersuchung zu Ungunsten der GUV gegenüber der gesetzlichen wie auch privaten Krankenversicherung unterstützt. Gründe hierfür können in der besseren finanziellen Abdeckung durch die GUV bei längerfristigem Ausfall infolge eines anerkannten Arbeitsunfalles, einschließlich der daraus unter Umständen resultierenden Rentenansprüche, liegen. Die GUV verfolgt allerdings einen anderen gesetzlichen Auftrag als die GKV. Neben dem Ziel der Verhinderung eines dauerhaften Rentenanspruches soll mit allen anerkannten Mitteln eine drohende Arbeitsunfähigkeit abgewendet werden. Hierzu gehören auch Maßnahmen zur Anpassung des Arbeitsplatzes oder Umschulungen, die deutlich längere berufliche Ausfallzeiten mit sich bringen, wenn sie in Anspruch genommen werden.

#### **4.3 Vergleich mit Ergebnissen anderer Veröffentlichungen**

Die Daten der vorliegenden Arbeit können zum Teil mit bereits veröffentlichten Ergebnissen verglichen werden. Die im Anhang beigefügte Tabelle „Ergebnisse der Vergleichsstudien“ bietet eine Übersicht der Ergebnisse der in den Vergleich einbezogenen 31 Studien (2; 4; 9; 21; 23; 27; 29; 47–49; 61; 89; 90; 95; 108; 124; 133; 136; 138; 143; 154; 169; 170; 172; 178; 180; 181; 185; 190; 195; 196). Es wurden lediglich Studien berücksichtigt, deren Fokus auf chronischen Verletzungen des SL-Bandapparates sowie Instabilitäten des SL-Gelenks ( $\geq 6$  Wochen) und

deren Therapie lag. Studien über Rettungsoperationen der Handwurzel wurden nicht einbezogen. Die älteste einbezogene Studie stammt von *Almquist* aus dem Jahr 1991 (4). Die jüngsten Daten zum Vergleich stammen von *Mensing* 2020 (196). Neben Studien, die Ergebnisse von Tenodesetechniken beschreiben (4; 9; 21; 23; 27; 29; 48; 49; 61; 89; 108; 124; 133; 136; 154; 169; 170; 172; 180; 181), wurden in die Auswahl auch Studien mit Ergebnissen nach Osteoligamentoplastiken (90; 138; 190), Kapsulodesen (124; 143; 178; 185), Reduktions-Assoziations-Plastiken RASL (2; 95; 195) sowie eine Studie zur sog. SLAM-Technik (47) aufgenommen. Veröffentlichungen mit Fallzahlen kleiner 10 (13; 35; 77; 129; 140; 171) wurden ausgeschlossen.

#### 4.3.1 Epidemiologische Angaben

Während die vorliegende Untersuchung klinische und röntgenologische Daten einschließlich subjektiver Scores von 34 Fällen mit Bandplastik nach *Henry* (77) präsentiert, liegt der Mittelwert der Fälle der in den Vergleich einbezogenen Studien bei 22 +/- 11 (Median 20). Sieben der 31 Studien haben eine klinisch nachuntersuchte Fallzahl größer 25. Hierzu gehören: SCLIL-Bandplastiken (9), 3-LT Bandplastiken (61; 180; 196), ECRB-Bandplastiken (4; 133), und arthroskopische Kapsulodesen (185). Die vorliegende Studie liegt somit deutlich über dem Durchschnitt anderer Veröffentlichungen. Die insgesamt kleinen Fallzahlen heben die relative Seltenheit der Verletzung hervor

Das durchschnittliche Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation lag in den ausgewählten Studien mit entsprechender Angabe im Mittel bei 39,6 Jahren. In der vorliegenden Untersuchung liegt das mittlere Alter mit 45 Jahren (22 bis 65 Jahre) nur wenig über diesem Wert. Dies stützt die Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Die Geschlechterverteilung über alle ausgewählten Studien hinweg liegt bei einem Anteil von 69,5 % männlicher Betroffener (n=500) und 30,5 % weiblicher Betroffener (n=219). An der vorliegenden Untersuchung waren 75 % Männer (n=27) und 25% Frauen (n=9) beteiligt. Neben der in diesem Zusammenhang gegebenen Vergleichbarkeit stützt die Studie die Annahme, dass die Verletzung überwiegend das männliche Geschlecht betrifft. Dies könnte mit häufigerem Auftreten der Verletzung bei kraftaufwändigeren beruflichen Tätigkeiten oder von Männern mit höherem Risiko ausgeübter Sportarten zusammenhängen.

### 4.3.2 Zeiträume

Der mittlere Erfassungszeitraum, innerhalb dessen die Patienten der untersuchten Kohorten eingeschlossen wurden, liegt in den ausgewählten Studien bei 80,7 +/- 52 Monaten (Median 60 Monate). Der kürzeste Zeitraum ist 9 Monate (89), der längste 204 Monate, sprich 17 Jahre (195). Neun Studien haben Erfassungszeiträume von über 5 Jahren (2; 27; 49; 95; 124; 170; 172; 180; 195). Der Erfassungszeitraum der vorliegenden Untersuchung beträgt 22 Monate und liegt deutlich unter dem mittleren Wert der anderen Studien. Unter Berücksichtigung der im Vergleich zu den anderen Studien im Durchschnitt höheren Fallzahl (n = 34 versus 22 +/- 11) kommt die kontinuierliche Erfassung der Fälle in einem traumatologisch ausgerichteten handchirurgischen Zentrums mit entsprechenden diagnostischen Algorithmen und damit eventuell häufigerem Nachweis der Verletzung zum Ausdruck. Die Vermutung liegt nah, dass die Verletzung häufiger auftritt als allgemein angenommen und selten frühzeitig erkannt wird. Der Zeitraum zwischen Unfall und durchgeführter OP mit Bandplastik liegt bei den ausgewählten Studien im Mittel bei 12,2 +/- 5,8 Monaten (Median 11 Monate). Bei knapp der Hälfte der Studien finden sich keine oder nur unkonkrete Angaben zu diesem Zeitraum (21; 23; 49; 61; 89; 90; 95; 169; 170; 172; 178; 181; 190; 195). In der vorliegenden Untersuchung liegt er im Mittel bei 5,7 Monaten. Diese Halbierung dieser Zeit lässt vermuten, dass ein handchirurgisches Zentrum und eine damit verbundene konsequente Erfassung und frühzeitige Einleitung erweiterter diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen die Dauer des gesamten Krankheitsverlauf reduziert.

Die Follow-up Untersuchungen der ausgewählten Studien lagen im Mittel bei 33,2 +/- 18 Monaten (Median 30 Monate). Die vorliegende Untersuchung hat einen durchschnittlichen Follow-up Zeitraum von 26 Monaten (16 bis 37 Monate) nach OP. Die kürzesten durchschnittlichen Zeiträume liegen bei knapp 10 Monaten (89; 181). Die durchschnittlich längsten Follow-up Zeiträume liegen bei 66 Monaten (143) und 77 Monaten (195). Das kürzeste Follow-up findet sich mit 4 Monaten bei *Kalbs* Nachuntersuchung der Osteoligamentoplastik nach *Cuénod* (90). Das längste Follow-up mit 216 Monaten findet sich bei *Whites* Nachuntersuchung der RASL (195). Der Zeitraum des Follow-up der vorliegenden Studie ist im Vergleich zu den übrigen Studien kurz und bietet wenig Erkenntnisse über den langfristigen Verlauf. Er ermöglicht allerdings bei konsequenter Verfolgung weitere Follow-up Untersuchungen, um Langzeitverläufe des Kollektivs zum Beispiel nach 5 und 10 Jahren abzubilden.



### 4.3.3 Subjektive Ergebnisse, Scores und Arbeitsfähigkeit

#### 4.3.3.1 Schmerz

Die Angaben zu subjektiven Ergebnissen, insbesondere die Darstellung des Schmerzes, sind sehr verschieden, nicht allein in den ausgewählten Veröffentlichungen. Die verwendeten Werkzeuge wie auch die Ergebnisdarstellung unterscheiden sich zum Teil erheblich. In der Studie von Szabo wurde gänzlich auf die Darstellung der Schmerzevaluation verzichtet (178). Während in der vorliegenden Untersuchung der Schmerz und dessen Angabe in 3 Stufen unterteilt wurde (Ruhe, Belastung und gelegentlicher Maximalschmerz), wird in einigen Studien keine Differenzierung zwischen Ruhe und Belastung vorgenommen (2; 21; 29; 48; 49; 90; 95; 108; 138; 143; 172; 181). Einige Studien geben eine prozentuale oder zahlenmäßige Verteilung ihrer Fälle in Ergebnisbereichen an, wobei nicht immer eindeutig ist, ob der schmerzfreie Anteil tatsächlich 0, also „kein Schmerz“ entspricht, oder eher der geringfügige Schmerzbereich (0-3) gemeint ist (4; 23; 29; 61; 124; 170; 180). Bei 14 der 31 ausgewählten Studien wurde eine präoperative Schmerzevaluation angegeben (2; 9; 27; 29; 47–49; 90; 108; 136; 138; 143; 181; 196). Nicht eingeordnet werden können die Angaben der Arbeiten von *Wahegaonkar und Mathoulin* (185) und *Bleuler* (21). Sowohl in Ruhe wie auch unter Belastung zeigt die vorliegende Studie zu den genannten Studien vergleichbare, tendenziell etwas niedrigere Werte des Schmerzes auf der VAS (0 – 10). Während die Veränderung zwischen prä- und postoperativ in Ruhe, bei niedrigem Ausgangswert, geringer ist, änderte sie sich unter Belastung in ähnlicher Höhe.

Auffälliger sind die Differenzen der Schmerzevaluation bei der Betrachtung von Schmerzgruppen. In einigen Studien wurde die Schmerzintensität in verschiedene Bereiche eingeteilt (4; 23; 29; 48; 61; 124; 133; 170; 172; 180; 190). Dabei ergibt sich, dass im Mittel der angesprochenen Studien knapp 60 % der Fälle schmerzfrei bis leicht schmerzgeplagt waren. 30 % gaben moderate Schmerzen an und etwa 10 % litten oder leiden unter starken Schmerzen, selbst leichte alltägliche Verrichtungen betreffend. Bei der vorliegenden Untersuchung geben postoperativ 76,4 % der Fälle an, keinen oder wenig Schmerz im Alltag bzw. bei Belastung zu haben. 20,6 % geben moderate und ein Patient (2,9 %) starke Schmerzen an. Die vorliegende Studie zeigt im Vergleich eine deutlich höhere Zahl von Patienten mit keinem oder wenig Schmerz und einen geringeren Anteil mit moderatem oder starkem Schmerz. Ein Grund hierfür ergibt sich eventuell aus dem gleichförmigen und sehr zurückhaltenden

Nachbehandlungsregime mit langer Immobilisationsphase und sehr langsamem Bewegungs- und Belastungsaufbau.

#### 4.3.3.2 Scores

Die Erfassung des DASH-Wertes soll einen Vergleich der subjektiven Wahrnehmung funktioneller Beeinträchtigungen der oberen Extremitäten im Alltag bieten. Acht der ausgewählten Studien präsentieren keine DASH-Werte (4; 21; 23; 61; 124; 169; 180; 181; 190). Bei 10 der Studien mit postoperativem DASH gibt es keine Angaben zu präoperativen Werten (2; 29; 89; 95; 133; 143; 170; 172; 178; 195; 196). Der mittlere postoperative Wert des DASH der vorliegenden Untersuchung liegt mit 21 Punkten marginal unter dem Wert der übrigen Studien mit durchschnittlich 23 Punkten. Die bei allen Untersuchungen angegebene Reduktion zwischen prä- und postoperativem Wert fällt bei der vorliegenden Studie mit 15 Punkten gegenüber dem Durchschnitt der anderen Studien (26 Punkte) geringer aus.

Der Mayo-Wrist-Score wurde in 12 der ausgewählten Studien zur Auswertung angewendet (2; 9; 47; 48; 89; 90; 124; 133; 138; 143; 178). Die inkonsistente Darstellung der Ergebnisse in Form von Punktwerten, Ergebnisbereichen oder prozentualen Anteilen an diesen lässt keinen Vergleich zu. Der PRWHE wird bei wenigen der ausgewählten Studien verwendet (9; 136; 154; 170; 196). Im Vergleich liegt er auf vergleichbarem Niveau.

Mögliche Einflüsse auf die vorliegenden Differenzen sind, neben soziokulturellen Unterschieden und zeitabhängigen Faktoren (lange Erfassungszeiträume und Follow-up der anderen Studien) vermutlich durch die geringe Kohortengröße der Studien und die damit verbundene Heterogenität begründet. Unter Umständen manifestiert sich hier aber auch eine positive Tendenz der in dieser Arbeit untersuchten Technik und ihrer gleichförmigen Durchführung. Trotz des überschaubar kurzen Erfassungszeitraums und eines verhältnismäßig kurzen Follow-ups finden sich bessere Ergebnisse in Bezug auf den Schmerz. Beim DASH wird die geringe Differenz zwischen prä- und postoperativ möglicherweise genau durch den Umstand des kurzen Follow-up begründet.

#### 4.3.3.3 Arbeitsfähigkeit

Informationen über eine eingetretene Arbeitsfähigkeit werden bei 17 der ausgewählten Studien angegeben (2; 4; 9; 21; 27; 48; 49; 61; 133; 136; 138; 143; 154; 170; 172; 180; 181; 185). Nicht immer wird nachvollziehbar differenziert, ob dies auf die ursprüngliche berufliche Tätigkeit oder etwaige andere Tätigkeiten bzw. einen Berufswechsel zutrifft. Im Mittel können knapp 90% der Betroffenen nach durchgeführter operativer Versorgung wieder einer

Arbeitstätigkeit nachgehen. In der vorliegenden Untersuchung konnten 77 % in ihre ursprüngliche Tätigkeit zurückkehren. Insgesamt waren 94 % wieder berufstätig. Dies entspricht weitgehend dem Ergebnis der anderen Studien.

#### 4.3.4 Objektiv funktionelle Ergebnisse

##### 4.3.4.1 Beweglichkeit

Die Darstellung der Beweglichkeit erfolgt in den meisten der ausgewählten Studien gut vergleichbar mit Angaben der Bewegungsräume für Extension und Flexion des Handgelenks nach der Neutral-Null-Methode. Wenige Studien geben lediglich Differenzen zur Gegenseite in Grad- oder Prozentwerten an (172; 185; 195). Einige Studien machen keine (21; 169), unpräzise (23) oder unvollständige (185) Angaben zum Bewegungsumfang. Gleiches gilt für den Bewegungsraum der Radialabduktion und Ulnarabduktion, der bei wenigen Studien nicht dargestellt wird (89; 90; 95; 154; 195). Die Pro- und Supination des Unterarms wird lediglich bei zwei Studien präsentiert (47; 196). Angaben zum präoperativen Bewegungsausmaß fehlen bei 11 der ausgewählten Studien (4; 27; 29; 89; 95; 170; 172; 180; 190; 195; 196).

Die beim Follow-up erfasste Flexion liegt bei den ausgewählten Studien (n=575) im Mittel bei 44°. Die Extension liegt im Mittel bei 50°. Der Bewegungsraum (ROM) für Extension und Flexion liegt bei 95°. Die Radialabduktion liegt im Mittel bei knapp 16° und die Ulnarabduktion bei 27°. Die ROM für Radial- und Ulnarabduktion (n=469) liegt im Mittel bei 45,5°.

Bei Betrachtung der Differenz zwischen präoperativer und postoperativer ROM der Flexion und Extension der Studien mit verwertbaren präoperativen Befunden (n=306) (2; 9; 47–49; 90; 108; 124; 133; 136; 138; 143; 178; 181) findet sich lediglich in zwei Studien eine Verbesserung des Bewegungsumfanges von durchschnittlich 8° (133) respektive 20° (138). Bei einer Studie findet sich keine Veränderung gegenüber dem Ausgangswert (9). Alle anderen geben deutliche Einbußen von durchschnittlich über 15° bis zu 58° gegenüber den präoperativen Werten an. Bezüglich der Radial- und Ulnarabduktion geben vier Studien Verbesserungen des Bewegungsumfanges von bis zu 12° an (47; 133; 138; 181). Keine wesentliche Veränderung (ROM Differenz < 10°) ergeben sich bei *Athlani* (9) und *Dolderer* (47). Die übrigen neun Studien präsentieren Einbußen von  $\geq 8^\circ$  bis zu 18°.

Die vorliegende Untersuchung weist mit einem mittleren Bewegungsumfang von 76 % der Gegenseite für Extension und Flexion sowie knapp 80 % für Radial- und Ulnarabduktion deutliche Einschränkungen der Beweglichkeit im Seitenvergleich auf, bietet jedoch im

Vergleich zu den meisten anderen Studien keine Verschlechterung gegenüber dem präoperativen Zustand. Im Gegenteil findet sich für die Extension und Flexion gar eine Verbesserung von durchschnittlich 6° gegenüber dem präoperativen Befund. Ob dies auf die angewendete Technik zurückgeführt werden kann, darf gemutmaßt werden.

#### 4.3.4.2 Kraft

Die Angabe der Kraft erfolgt in nahezu allen Studien als prozentualer Wert der Gegenseite. Nur wenige Studien geben zusätzlich Absolutwerte (47; 95; 124; 143; 154; 178; 181; 190) und präoperative Werte in Kilogramm Force an (9; 23; 47; 90; 124; 138; 143; 154; 178).

Im Mittel ergibt sich in den ausgewählten Studien mit verwertbaren Angaben (n=598) eine Kraft der betroffenen Hand von 79 %  $\pm$  12 % der Kraft der Gegenseite. Einzig die Studie von *White* (195) gibt an, postoperativ seitengleiche Werte ermittelt zu haben. In der vorliegenden Untersuchung wurde postoperativ ein mittlerer Kraftwert von 79 % ermittelt. Damit liegt sie auf gleichem Niveau der ausgewählten Studien.

### 4.3.5 Röntgenergebnisse

Nur wenige der ausgewählten Studien machen zur Auswertung der Röntgenaufnahmen präzise Angaben (143; 185). Einige der ausgewählten Studien geben gar keine Informationen zu Röntgenbefunden an (21; 90; 170; 180). *Kalb* (90) begründet dies mit der mangelnden Übereinstimmung und Vergleichbarkeit der Aufnahmen im zeitlichen Verlauf.. Andere geben unzureichende bzw. für einen direkten Vergleich nicht verwertbare Informationen bezüglich SL-Distanz oder -Winkel an (23; 61; 133; 138; 195). Angaben zum RL-Winkel finden sich einzig in der Studie von *Garcia-Elias* (61). Bei wenigen Studien wird der Zustand „*DISI*“ oder „*keine DISI*“ angegeben (61; 133; 138; 190).

#### 4.3.5.1 SL-Distanz

Sieben der Studien mit Röntgenbefunden machen keine direkt vergleichbaren Angaben zur SL-Distanz (23; 47; 133; 138; 181; 185; 190). Im Mittel ergibt sich für die betrachteten Studien (n=381) eine postoperative Distanz von 2,9 mm  $\pm$  0,6 mm. Bei einem präoperativen Mittelwert von 3,7 mm  $\pm$  0,7 mm der ausgewählten Studien (n=345) ergibt sich eine mittlere Reduktion des Abstandes von 0,8 mm. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung liegen sowohl bezüglich des präoperativ erhobenen Mittelwertes (3,2 mm) wie auch des postoperativen (2,6 mm) und der damit verbundenen Abnahme der Distanz (0,6 mm) und unter Berücksichtigung der geringeren Präzision der Messwerte im Bereich der einbezogenen Vergleichsstudien.

#### 4.3.5.2 SL-Winkel und DISI-Konfiguration

Fünf der Studien mit Angaben zur Röntgenauswertung geben keine für den Vergleich verwertbaren Werte des SL-Winkels an (4; 23; 61; 133; 138). Bei zwei der verbleibenden Studien finden sich keine präoperativen Werte (172; 190). Im Mittel ergibt sich ein postoperativer SL-Winkel in den einbezogenen Studien (n=446) von  $60,5^\circ \pm 8,5^\circ$ . Bei einem präoperativen Mittelwert von  $65,2^\circ \pm 9,2^\circ$  der ausgewählten Studien (n=424) ergibt sich eine Reduktion des Winkels von  $4,7^\circ$ . In der vorliegenden Studie liegt der Mittelwert postoperativ bei  $69^\circ$  und der präoperative Wert bei  $72^\circ$ . Damit liegt die Differenz nahe jener der anderen Studien, während sowohl die präoperativen wie auch postoperativen Werte des SL-Winkels deutlich höher liegen. Auffällig ist der oben bereits angesprochene große Anteil von Fällen mit einem SL-Winkel über  $60^\circ$ , womit die Befunde in einigen Studien bereits als DISI Konfiguration kategorisiert würden. Die Feststellung einer DISI Konfiguration basiert auf den karpalen Winkeln zwischen Skaphoid und Lunatum (SL) sowie zwischen Radius und Lunatum (RL). Bei einer Konfiguration  $SL > 60^\circ$  und / oder  $RL > 20 - 25^\circ$  kann man von einer Destabilisierung der proximalen Reihe ausgehen, womit eine DISI vorliegt (6; 93; 97; 142). Lediglich die Studie von *Garcia-Elias* (61) legt dabei als Maßstab für das Vorliegen der DISI den RL-Winkel an (und zwar als einzigen). Bis auf die Studie von *Mensing* (196) stellt keine der anderen Studien diesen Winkel dar. Die DISI Konfiguration wird bei manchen Studien bei einem SL-Winkel  $\geq 60^\circ$  ausgewiesen (185) oder dieser Wert als Grenzpunkt des radiologischen Ergebnisses angegeben (133). *Weiss* legt den Grenzwert bei  $70^\circ$  an (190). Die meisten der anderen Studien gehen nicht auf den Winkel als Grenzwert für eine DISI ein und weisen sie, wie auch den karpalen Kollaps, als Komplikation aus (2; 4; 9; 61; 89; 90; 95; 136; 154; 170).

Ob die Feststellung einer postoperativ zu beobachtenden DISI Konfiguration Ausdruck des Versagens der durchgeführten Rekonstruktion ist, darf vermutet werden. Damit kann sie ein Maß für die Ergebnisqualität sein, das durchaus höherwertig ist, als die zumeist angegebenen Durchschnittswerte des SL-Winkels und der SL-Distanz. Deshalb werden an dieser Stelle die Angaben der ausgewählten Studien zu DISI-Konfigurationen und sofern möglich die erfassbare Anzahl der Fälle mit SL-Winkeln  $\geq 60^\circ$  aufgeführt. In 20 der ausgewählten Studien können verwertbare Angaben bezüglich einer DISI (2; 4; 9; 48; 61; 89; 90; 95; 136; 154; 170; 185) und / oder eines SL-Winkels größer / gleich  $60^\circ$  (23; 27; 29; 47; 133; 138; 172; 178) erfasst werden. In knapp einem Drittel der Fälle (n=425) wird dabei ein SL-Winkel  $\geq 60^\circ$ , ein RL-Winkel größer  $25^\circ$  (61; 196) oder eine DISI beschrieben. In der vorliegenden Untersuchung zeigt ein Fall einen

vollständigen karpalen Kollaps (SLAC Wrist Stadium 4). 94 % der verbleibenden 33 Fälle bieten einen SL-Winkel  $\geq 60^\circ$ . 12 % weisen gleichzeitig einen RL-Winkel  $\geq 20^\circ$  und können als DISI-Konfiguration gewertet werden. Somit weist die vorliegende Studie zum Zeitpunkt der Follow ups eine deutlich niedrigere Rate an Fällen mit DISI-Konfiguration auf. Ob die angewendete Technik hier zum Tragen kommt, kann wiederum nur gemutmaßt werden. Unter der Annahme, dass im Laufe der Zeit durchgeführte Bandplastiken „langsam“ versagen können, spielt der Zeitpunkt des Follow-ups ebenso eine Rolle.

#### **4.3.6 Komplikationen**

Komplikationen sind bei operativen Maßnahmen trotz aller Sorgfalt stets in einem gewissen Umfang zu erwarten und werden durch eine Vielzahl von Faktoren sowohl patientenseitig als auch arzt- bzw. operationsseitig sowie durch die Umgebung beeinflusst bzw. verursacht. Welche Besonderheiten oder unerwarteten Veränderungen während oder im Anschluss an eine Operation als Komplikation gewertet werden, wird auch in den ausgewählten Studien recht unterschiedlich dargestellt. Eine allgemein gültige Formel oder ein Konsens zur Darstellung vor allem perioperativer Komplikationen existiert nicht. In keiner der aufgeführten Arbeiten werden intraoperative Komplikationen angegeben. Dies trifft auch auf die vorliegende Untersuchung zu. Sechs der 31 Studien machen keine Angaben zu Komplikationen; es wird aber auch nicht klargestellt, dass keine Komplikationen auftraten (21; 23; 47; 169; 185; 195). In drei Studien wird angegeben, dass keine Komplikationen auftraten (49; 108; 138). Insgesamt werden 130 Komplikationen in den verbleibenden 22 Studien mit entsprechenden Angaben bezogen auf n=575 Eingriffe präsentiert. Dies entspricht knapp einem Viertel (22,6 %) der Eingriffe (2; 4; 9; 27; 29; 48; 58; 89; 90; 95; 124; 133; 136; 143; 154; 170; 172; 178; 180; 181; 190; 196).

Zu den eher akuten Komplikationen, sowohl durch intraoperatives Vorgehen verursacht oder zeitnah nach dem Eingriff aufgetreten, können Sehnenruptur, interkurrente Apraxie des N. medianus, Pintrack-Infekt bei temporär implantierten Kirschner-Drähten und am häufigsten das komplexe Schmerzsyndrom CRPS (n=11) gezählt werden.

Zu den eher subakuten Komplikationen, die im späteren Verlauf zum Tragen kommen und nicht zwingend (aber unter Umständen) durch intraoperative Schritte verursacht sind, können neuromartige Beschwerden oder tatsächliche Neurome kleiner Nervenäste, insbesondere des Ramus superficialis nervi radialis (n=12), Irritationen durch implantierte K-Drähte (n=13),

entzündliche Beschwerden der Sehnengleitlager oder des Periosts i.e. Styloiditis radii (n=12), Narbenbeschwerden vor allem der Sehnenspenderregion (FCR-Sehne) (n=17) sowie Materialversagen und -problematiken vor allem bei der RASL (n=17) und eine Ausrissfraktur des Lunatums bei der 3-LT Versorgung gezählt werden.

Eher als chronisch einzuschätzen, sind die Angabe einer Skaphoidnekrose nach der *modifizierten Brunelli* Technik und die Angabe verbleibender Bewegungseinschränkungen, die einer weiteren operativen Therapie (Arthrolyse) unterzogen wurden. Ob letztere Angabe tatsächlich als Komplikation erfasst werden sollte, erscheint zumindest fragwürdig. Dies gilt meines Erachtens auch für Versager einer jeweils angewendeten Methode, eine DISI oder progrediente Arthrosezeichen im Sinne des SLAC-wrist, ob zeitnah postoperativ oder im Verlauf, ob mit oder ohne Folgeeingriff (meist Rettungsoperation oder Vollarthrodese) (n=35). Uneindeutig sind dabei in den Studien Angaben wie „progrediente Weitung des SL-Gelenks“ oder „mangelnde Wiederherstellung der karpalen Architektur“.

In der vorliegenden Untersuchung traten postoperativ zwei akute Karpaltunnelsyndrome auf, die umgehend operativ versorgt wurden. Weiterhin fand sich eine Läsion des oberflächlichen Astes des N. medianus sowie ein Pintrack-Infekt. Bei zwei Patienten wurde frühzeitig ein Versagen der Bandplastik festgestellt und eine weitere modifizierte Bandplastik durchgeführt. Sie wurden als Revisionsbandplastiken gesondert dargestellt. Da in beiden Fällen eine Ruptur der Transplantatsehne im skaphoidalen Kanal gefunden wurde, lässt sich eine Läsion der Bandplastik durch die verwendeten Transfixationsdrähte, z.B. durch mehrfaches Bohren vermuten.

Rettungsoperationen waren bei den übrigen Fällen bis zur Nachuntersuchung nicht erforderlich. Bei einem Fall der Grundgesamtheit der Bandplastiken wurde eine Vollarthrodese aufgrund anhaltender Schmerzen zwei Jahre nach Bandplastik durchgeführt. Dies führte zum Ausschluss aus der nachuntersuchten Studienkohorte.

Häufigkeit und Form der eingetretenen Komplikationen entsprechen damit jenen anderer Veröffentlichungen. Ein auffällig erhöhtes Risiko für eine spezifische, der Technik geschuldeten Komplikation lässt sich nicht erkennen.

Insgesamt lässt sich annehmen, dass Komplikationen bei der Versorgung der chronischen SL-Bandruptur mit knapp einem Viertel der Fälle eher häufig sind. Dies ist sicherlich der Komplexität der anatomischen Regionen Handgelenk und Handwurzel, der relativen Seltenheit der Fälle und der damit verbundenen Erfahrung der Operateure sowie der Invasivität der

Eingriffe geschuldet. Neben der unter Umständen schwerwiegenden Komplikation des CRPS sind vor allem die lokoregionale Reizung der besonders empfindlichen kleinen Nervenäste der Tabatière, meist verursacht durch Implantate wie temporär eingebrachte Kirschnerdrähte, sowie Beschwerden des Gleitlagers von Sehnen und sich in der Nähe entwickelndes Narbengewebe (v.a. nach Entnahme von Anteilen der FCR-Sehne) zu nennen. Läsionen der Stammnerven N. medianus und N. ulnaris, Frakturen oder Nekrosen der Handwurzelknochen sowie postoperative Infektionen scheinen eher selten aufzutreten.

Das Versagen der Methode mit radiologischen Zeichen der (erneuten) Destabilisierung des SL-Gelenks wird im Vergleich zu den übrigen Komplikationen häufig aufgeführt (n=35 von 130, 27 %). Aus meiner Sicht sollte es nicht als Komplikation, sondern als möglicher erwartbarer Verlauf der chronischen Instabilität und ihrer Behandlung bzw. als deren Misserfolg gewertet werden.

#### **4.4 Kritik an der vorliegenden Studie**

Der retrospektive Ansatz, die geringe Fallzahl von 34 (+2) auswertbaren Fällen und das Fehlen einer Vergleichsgruppe lässt sicherlich nur sehr eingeschränkt Rückschlüsse auf die Gesamtheit der subakuten und chronischen Verletzungen des SL-Bandapparates und deren Behandlung, insbesondere durch eine bisher noch nicht anderweitig untersuchte Technik, zu. Sowohl die Zusammensetzung der Kohorte bezüglich Alter und Geschlecht als auch, und das ist ein grundsätzliches Problem der Verletzung, die mangelnde Präzision der Beschreibung des tatsächlichen Ausmaßes des vorliegenden Verletzungsmusters spielen eine relevante Rolle. Mit Blick auf frühere Studien reihen sich Größe und Zusammensetzung der Kohorte allerdings lückenlos ein.

Die Größe der Kohorte ist durch die relative Seltenheit der Verletzung und dem überschaubaren Zeitraum der Erfassung über knapp 24 Monate begründet. Um größere Kohorten zu erhalten, ist ein entsprechend deutlich größeres Zeitfenster oder eine multizentrische Erfassung notwendig, womit zahlreiche weitere Unabwägbarkeiten einhergehen. Vorteilhaft wäre neben einem prospektiven Studiendesign in diesem Rahmen allerdings die Möglichkeit zur Bildung vergleichbarer Gruppen, die unterschiedlich behandelt werden.



Weiterhin bietet die Tatsache, dass nahezu alle Fälle von ein und demselben Operateur versorgt wurden, nicht nur den Vorteil der Vergleichbarkeit der individuellen Ergebnisse, sondern eben auch den Nachteil der mangelnden Übertragbarkeit auf andere Einrichtungen und Operateure.

#### **4.5 Ausblick**

Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass die kurzfristigen Ergebnisse der Operationsmethode nach *Henry (77)* zur Behandlung der chronischen SL-Bandruptur im Stadium 3 und 4 ohne rekonstruierbares Band, mit reponiblen Knochen der proximalen Handwurzelreihe und fehlenden Zeichen einer arthrotischen Degeneration des Gelenks, den bisher veröffentlichten Ergebnissen anderer Operationsmethoden vergleichbar sind. Weiterhin weisen die subjektiven und objektiven funktionellen Ergebnisse positive Tendenzen für das Outcome aus.

Um die Ergebnisse mittel- bis langfristig zu bewerten, sind weitere Follow-up Untersuchungen der Kohorte zum Beispiel nach 5 und 10 Jahren sinnvoll. Dabei stellen sich die Fragen nach einer längerfristigen funktionellen Verbesserung und nach adaptiven Veränderungen und Gewöhnung sowie radio-morphologischen Veränderungen. Zudem wären prospektiv vergleichende Untersuchungen sinnvoll, die sowohl andere OP-Verfahren als auch die in einigen Fällen durchgeführte konservative Behandlung einbeziehen. So stellen sich unter anderem die Fragen, in welchen Fällen der dynamischen Instabilität sich langfristig tatsächlich ein SLAC-Wrist entwickelt und ob bei fehlenden Zeichen der arthrotischen Degeneration ein sogenannter *point-of-no-return* existiert, der, auch zeitbezogen, morphologische Veränderungen aufweist, die für das Versagen der jeweils angewendeten operativen Verfahren ursächlich sind.

Die Operationstechnik wurde im Unfallkrankenhaus Berlin mittlerweile modifiziert und der dorsale offene Zugang, mit dem Ziel das Trauma der übrigen Kapsel- und Bandstrukturen des Handgelenks zu schonen, durch weit weniger invasive Zugänge im Bereich der beiden Standardarthroskopieportale ersetzt. Das Prinzip der Technik mit Achskorrektur des Skaphoids, Verwendung der FCR-Sehne und Stabilisation sowohl des dorsalen als auch des palmaren Aspektes des SL-Bandkomplexes wurde beibehalten. Der gestielte Sehnenstreifen wird dabei mit einem nicht-resorbierbaren Implantat augmentiert.

Grundsätzlich sind sowohl die chronischen Verletzungen des SL-Bandapparates als auch jene, die in die Kategorie akut und subakut fallen, als schwerwiegend und komplex zu bezeichnen.

Die zur Verfügung stehenden nicht-invasiven diagnostischen Verfahren sind mit Bedacht anzuwenden und die Qualität invasiver Diagnostik (Arthroskopie) ist zu einem wesentlichen Maß von der Qualität der Ausbildung und Expertise des Untersuchers abhängig.

Die Auswirkungen unerkannter oder unzureichend behandelter SL-Bandverletzungen können für den Arbeitsplatz und genauso das Privatleben fatal sein. Gleiches gilt aber auch für ungünstige Verläufe einer, nach bisherigem Kenntnisstand, adäquaten (operativen) Behandlung. Die Funktion einer *restitutio ad integrum* sollte Behandlungsziel sein, jedoch nie versprochen werden. Kontinuitätsunterbrechende Verletzungen des Bandapparates jedweden Gelenks enden stets in einer mehr oder weniger funktionsfähigen *reparatio*. Dies sollte dem Betroffenen, nicht zuletzt auch aus mediko-legaler Sicht, nach Möglichkeit frühzeitig zu Bewusstsein gebracht werden!

## 5 Zusammenfassung

Chronische Verletzungen des SL-Bands mit resultierender Instabilität des Karpus können zu progredienter Arthrose führen und im karpalen Kollaps münden. Über die Behandlung von akuten Rupturen des SL-Bandkomplexes als auch in Hinblick auf die Behandlung eintretender degenerativer Veränderungen besteht weitgehend Konsens. Für die chronische Verletzung des SL-Bands vor Eintritt degenerativer Veränderungen existiert ein solcher bisher nicht. Ein Nachweis für ein überlegenes Verfahren, das mit hoher Sicherheit die Entwicklung des karpalen Kollaps verhindert, konnte bislang nicht erbracht werden. Die in den vergangenen Jahren gebräuchlichsten Verfahren der Tenodesen modifiziert nach *Brunelli* (24; 181), insbesondere die 3LT-Modifikation nach *Garcia-Elias* (61), zeigten keinen anhaltend reproduzierbaren Therapieerfolg und stehen im Fokus der Diskussion. Eine neuere Variante der Tenodese-Bandplastiken stellt unter anderem das 2012 von *Henry* (77) beschriebene Operationsverfahren dar. Es adressiert neben einer Restauration der Skaphoidachse sowohl den dorsalen, biomechanisch stabileren, als auch, im Gegensatz zu den älteren Verfahren, den palmaren Aspekt des SL-Gelenks.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, Anwendbarkeit und therapeutischen Nutzen des Verfahrens nach *Henry* (77) in Form einer Beobachtungsstudie zu untersuchen und in einen Kontext zu vorhandenen Ergebnissen anderer Verfahren zu bringen.

Von 40 Patienten, die im Zeitraum von Januar 2017 bis Oktober 2018 im Unfallkrankenhaus Berlin mit dieser Operationstechnik behandelt wurden, konnten 36 Patienten nachuntersucht und 34 in die Auswertung eingebunden werden. Zum Nachuntersuchungszeitpunkt lag die Operation mindestens 1 Jahr zurück. Erfasst und ausgewertet wurden prä- und postoperativ die objektiv ermittelbare Funktionalität des Handgelenks – also Bewegungsumfänge und Kraft –, subjektive Parameter in Form von Fragebögen – Schmerz (VAS), subjektiv empfundene Einschränkungen (DASH/PRWHE) und Lebensqualität (EQ-5D) – und Röntgenbefunde des Verlaufes.

Durch die Operation konnte eine signifikante Reduktion der Schmerzen erreicht und eine Verbesserung der Funktion der Hand im Alltag hergestellt werden. Es verbleiben jedoch Einbußen des Bewegungsumfanges und der Griffkraft im Vergleich zur Gegenseite. Die röntgenologischen Ergebnisse zeigen, dass eine intraoperativ erreichte Optimierung der karpalen Winkel mittelfristig nicht erhalten, die skapho-lunäre Distanz jedoch vermindert werden konnten.

Die kurz- bis mittelfristigen Ergebnisse der SL-Bandrekonstruktion der Studie sind generell vielversprechend und mit denen anderer Autoren vergleichbar. Bewegungsumfang, Griffkraft, Schmerzlinderung und Funktionsverbesserung rangieren in vergleichbarer Höhe jener anderen Studien und erscheinen sogar tendenziell günstiger.

Der langfristige Nutzen der Technik bezüglich einer sich möglicherweise entwickelnden Arthrose erscheint kritisch. Um eine Einschätzung der langfristigen Wirksamkeit abgeben zu können, sind längere Nachbeobachtungszeiträume der Kohorte notwendig. Zur Verminderung statistischer Unsicherheiten sind größere Kohorten möglichst unter prospektivem Ansatz erforderlich.

## 6 Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Schematische Darstellungen der skapho-lunären (SL) und luno-triquetralen Bandkomplexe [9].....	2
<b>Abbildung 2:</b> Durchschnittliche Zugkraft der interkarpalen Bandkomplexe [7, 56].....	6
<b>Abbildung 3:</b> Beispielhafte Darstellung der häufigsten Verschiebungen bei einer statischen SL-Dissoziation unter axialer Belastung [9] .....	7
<b>Abbildung 4:</b> Klassifikation der dorsalen skapho-lunären Bandverletzung nach Andersson und Garcia-Elias [35] .....	13
<b>Abbildung 5:</b> Schematische Darstellung des Verlaufes des Sehnentransplantates durch den skaphoidalen und den lunären Kanal [1] .....	25
<b>Abbildung 6:</b> Numerische Rating-Skala NRS 0 bis 10 für Schmerz.....	30
<b>Abbildung 7:</b> Achsen der karpalen Knochen und des Radius im seitlichen Röntgenbild zur Bestimmung der karpalen Winkel [41].....	33
<b>Abbildung 8:</b> Flow Chart der Studiengruppe .....	38
<b>Abbildung 9:</b> Darstellung der Bewegungsausmaße der Handgelenksbeweglichkeit bezüglich Extension und Flexion prä- und postoperativ vs. kontralateral.....	44
<b>Abbildung 10:</b> Darstellung der ROM der Extension und Flexion prä- und postoperativ vs. kontralateral.....	45
<b>Abbildung 11:</b> Darstellung der ROM der Radial- und Ulnarabduktion prä- und postoperativ vs. kontralateral.....	47
<b>Abbildung 12:</b> Darstellung der medianen Bewegungsausmaße der Handgelenksbeweglichkeit bezüglich Radial- und Ulnarabduktion prä- und postoperativ vs. kontralateral.....	47
<b>Abbildung 13:</b> Darstellung der medianen groben Kraft des Griffes im Seitenvergleich prä- und postoperativ vs. kontralateral.....	49

---

<b>Abbildung 14:</b> Darstellung der medianen postoperativen feinen Kraft jeweils für Schlüssel- und Spitzgriff der operierten und der kontralateralen Seite.....	50
<b>Abbildung 15:</b> Darstellung der Schmerzintensität auf der NRS (0 – 10) prä- und postoperativ in Ruhe, bei Belastung und in besonderen Situationen (Maximum) präoperativ vs. postoperativ.....	52
<b>Abbildung 16:</b> Darstellung der Anzahl der Patienten (n = 34) in Bezug zum gruppierten DASH prä- und postoperativ.....	53
<b>Abbildung 17:</b> Darstellung der Zahl der Patienten (n = 30) in Bezug zum gruppierten DASH-Berufsmodul prä- und postoperativ.....	53
<b>Abbildung 18:</b> Darstellung der Zahl der Patienten in Bezug zum postoperativen Wert des PRWHE .....	54
<b>Abbildung 19:</b> Darstellung der Zahl der Patienten in Bezug zum postoperativen Wert des MWS.....	55
<b>Abbildung 20:</b> Darstellung der medianen Werte der SL-Distanz zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2 .....	56
<b>Abbildung 21:</b> Darstellung der medianen Werte des SL-Winkels zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2 .....	57

## 7 Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Kategorisierung karpaler Bandverletzungen nach dem International Wrist Investigators' Workshop (IWIW) [38] .....	4
<b>Tabelle 2:</b> Klassifikation der SL-Bandläsion modifiziert nach Garcia-Elias [97].....	11
<b>Tabelle 3:</b> Einteilung der Instabilität der Gelenke der proximalen Reihe und therapeutischer Algorithmus nach Geissler [65].....	12
<b>Tabelle 4:</b> Arthroskopische Klassifikation der SL-Bandruptur der EWAS (European Wrist Arthroscopy Society) [107] .....	13
<b>Tabelle 5:</b> Übersicht der grundlegenden Daten der nachuntersuchten Patienten.....	39
<b>Tabelle 6:</b> Übersicht der Verletzungsmuster, Begleitverletzungen und Komplikationen des Kollektivs der nachuntersuchten Patienten.....	41
<b>Tabelle 7:</b> Postoperative Unterarmdrehbeweglichkeit des Unterarmes bezüglich Pronation und Supination der operierten und der kontralateralen Seite .....	43
<b>Tabelle 8:</b> Präoperative Beweglichkeit des Handgelenks bezüglich Extension und Flexion der operierten und der kontralateralen Seite .....	43
<b>Tabelle 9:</b> Postoperative Beweglichkeit des Handgelenks bezüglich Extension und Flexion der operierten und der kontralateralen Seite .....	44
<b>Tabelle 10:</b> Präoperative Beweglichkeit des Handgelenks bezüglich Radial- und Ulnarabduktion der operierten und der kontralateralen Seite .....	46
<b>Tabelle 11:</b> Postoperative Beweglichkeit des Handgelenks bezüglich Radial- und Ulnarabduktion der operierten und der kontralateralen Seite .....	46
<b>Tabelle 12:</b> Prä- und postoperative Globalbeweglichkeit (ROM) des Handgelenks der operierten und der kontralateralen Seite .....	48
<b>Tabelle 13:</b> Prä- und postoperative groben Kraft des Griffes der operierten und der kontralateralen Seite .....	49

---

<b>Tabelle 14:</b> Postoperative feine Kraft (Schlüssel- und Pinzettengriff) der operierten und der kontralateralen Seite .....	50
<b>Tabelle 15:</b> Zahl der Patienten in Bezug zur gruppierten Schmerzintensität auf der NRS (0 – 10) prä- und postoperativ in Ruhe, bei Belastung und in besonderen Situationen (Maximalwert).....	51
<b>Tabelle 16:</b> Prä- und postoperativen Schmerzintensität auf der NRS (0 – 10) in Ruhe, bei Belastung und in besonderen Situationen (Maximum) .....	51
<b>Tabelle 17:</b> Prä- und postoperative Werte des DASH und seines Berufsmoduls .....	53
<b>Tabelle 18:</b> Darstellung der Anzahl der Patienten in Bezug zum DASH prä- und postoperativ.....	53
<b>Tabelle 19:</b> Darstellung der Zahl der Patienten in Bezug zum DASH- Berufsmodul prä- und postoperativ.....	53
<b>Tabelle 20:</b> Prä- und postoperative Werte des EQ-5D Gesundheit, TTO und VAS prä- und postoperativ.....	54
<b>Tabelle 21:</b> Darstellung der Zahl der Patienten in Bezug zum postoperativen Wert des PRWHE .....	54
<b>Tabelle 22:</b> Darstellung der Zahl der Patienten in Bezug zum postoperativen Wert des MWS.....	55
<b>Tabelle 23:</b> Postoperative Werte für subjektive Scores und Misch-Scores (PRWHE, MWS).....	55
<b>Tabelle 24:</b> Gemittelte Messwerte der SL-Distanz zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2.....	56
<b>Tabelle 25:</b> Messwerte des SL-Winkels zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2.....	57
<b>Tabelle 26:</b> Messwerte der Winkel SL, RL und CL zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2 .....	58
<b>Tabelle 27:</b> Anzahl der Patienten in Bezug zum jeweilig kinematografisch eingeschätzten Stadium der skapho-lunären Dissoziation (SLD) .....	58



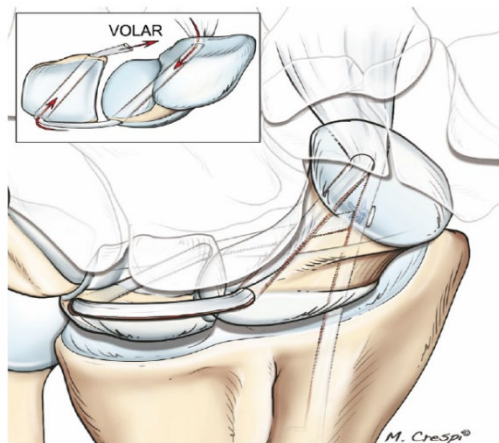
---

<b>Tabelle 28:</b> MRT-morphologisch erfasste Befunde und Begleitverletzungen der SL-Bandläsion.....	59
<b>Tabelle 29:</b> Erweiterte zeitbezogene Angaben der beiden Revisionsbandplastiken.....	59
<b>Tabelle 30:</b> Klinische Funktionsparameter Unterarmdrehung, Beweglichkeit des Handgelenks sowie grobe und feine Kraft der Hand der beiden Revisionsbandplastiken.....	60
<b>Tabelle 31:</b> Subjektive Parameter und Scores DASH, MWS, PRWHE, EQ-5D und Schmerz (NRS) der beiden Revisionsbandplastiken .....	61
<b>Tabelle 32:</b> Radiologische Messwerte der beiden Revisionsbandplastiken.....	61

## 8 Anhang

### Operationstechnik der palmaren und dorsalen Rekonstruktion des SL-Bandapparates

Die im Folgenden detailliert dargelegte OP-Technik entspricht weitestgehend der von *Mark Henry* 2013 beschriebenen Technik (77).



Schematische Darstellung des Verlaufes des Sehnentransplantates durch den skaphoidalen und den lunären Kanal.

Aus: Henry 2013, Reconstruction of both volar and dorsal limbs of the scapholunate interosseous ligament [1]

Zu Beginn der Operation wird im Unfallkrankenhaus Berlin stets eine Arthroskopie des Handgelenks durchgeführt. Der Eingriff erfolgt entweder in Allgemeinnarkose oder Plexusanästhesie und stets in Blutleere.

Nach dem sterilen Abwaschen und Abdecken wird die Hand im Mädchenfänger aufgehängt, der Arm mit einer elastischen Binde ausgewickelt und eine Druckmanschette zur Blutleere am Oberarm mit 250 mmHg angelegt. Es folgt eine standardisierte Arthroskopie des Handgelenks zur Bewertung der Gelenkflächen, des Ausmaßes des Bandschadens, der Mobilität und Repositionsmöglichkeit des Karpus, von Begleitverletzungen und zusammenfassend die Prüfung der Indikation zur Bandplastik. Hierzu werden die üblichen dorsalen Portale 3/4 und 6 R für den radiokarpalen Gelenkraum und das radiale sowie ulnare Portal für den mediokarpalen Gelenkraum genutzt. Zeigt sich über den Zugang 3 / 4, bei vollständiger Ruptur des SL-Bandes und Instabilität des SL-Gelenks (*Geissler* °4), die Option zur trans-skapho-lunären Arthroskopie des mediokarpalen Gelenkraumes, erübrigen sich meist die beiden letztgenannten Zugänge, wenn der mediokarpale Gelenkraum ausreichend beurteilt werden kann. Bei nachgewiesener Bandruptur mit Instabilität des SL-Gelenks (mindestens *Geissler* °3) und günstigen Voraussetzungen (intakter Knorpel, mobile karpale Knochen) wird das Arthroskopie-Setting aufgehoben und der Arm auf einem Armtisch in 90° Abduktion gelagert.

Unter Verwendung einer Lupenbrille folgt die palmare Präparation des Zuganges zum skaphoidalen Kanal und der Hebung des distal gestielten Transplantates der Sehne des M. flexor carpi radialis (FCR). Der typische Zugang zum palmaren Skaphoid genügt, um ausreichend Übersicht der Region zu erhalten. Dazu wird ein knapp 3 cm langer Hautschnitt längs über der distalen FCR-Sehne gemacht, der auf Höhe der Rascetta etwa im 45° Winkel zum Thenar abbiegt. Danach erfolgt eine scharfe Präparation auf die FCR-Sehne, die dann mit einem Lidhaken oder einem Selbstspreizer nach ulnar oder radial gehalten werden kann. Hält man die Sehne nach ulnar, kann der distal palmare Skaphoidpol und die palmare Taille des Skaphoids – die Empfangsregion für den späteren skaphoidalen Bohrdraht – getastet und nach Längsinzision der beugeseitigen Gelenkkapsel dargestellt werden. Durch das radiale Weghalten der Sehne kann die Empfangsregion des später einzubringenden lunären Bohrdrahtes vorpräpariert werden. Dazu wird, unter Erhalt der ulnaren Begrenzung der Sehnenscheide des M. flexor pollicis longus (der hier als radialseitigster Inhalt des Karpalkanals hindurchschimmert), auf die palmare Handgelenkkapsel präpariert und der Karpalkanal, unter Erhalt des ihn umgebenden, zur Handgelenkkapsel gelegenen Bindegewebssacks, mit einem Elevatorium stumpf von der Gelenkkapsel gelöst. Das Lunatum kann jetzt von palmar durch die Gelenkkapsel getastet werden. Jetzt wird die Sehne des FCR je nach Durchmesser mittig oder im radialen Drittel mit einem Messer geteilt und ein distal gestielter Sehnenstreifen mit einem Sehnenstripper nach *Reill* (ohne den distalen Ansatz der Sehne abzulösen) gehoben. Der Sehnenstripper nach *Reill* hat hierzu einen Schließmechanismus, der in geöffnetem Zustand um den zu hebenden Anteil der zuvor geteilten Sehne herumgeführt, anschließend verriegelt und dann nach proximal in den Unterarm geschoben wird, bis der Kopf des Sehnenstrippers die Sehne am tendomuskulären Übergang abtrennt. Die gehobene Sehne wird von Muskelgewebe befreit und mit einer feuchten Kompresse umwickelt, um ein Austrocknen zu verhindern. Der Arm wird nun gedreht, um den dorsalen Zugang zu präparieren. Hierzu wird ein längs geschwungener oder schräger Hautschnitt über etwa 5 cm Länge zentral über dem Handgelenk getätigt. Es folgt die scharfe Präparation auf das Retinaculum extensorum. Dieses wird auf Höhe des Tuberculum listeri quer über dem 3. bis 5. Strecksehnenfach gespalten. Danach werden unter Bildung eines proximal ulnar und distal radial basierten Lappens die Septen zwischen den genannten Strecksehnenfächern des Retinakulums durchtrennt. Mit den gebildeten Lappen des Retinakulums können die Strecksehnen radial und ulnar eingeschlagen und zum Schutz an den Wundrändern fixiert werden. Danach wird die Kapsel des Handgelenks

leicht schräg, entlang des radio-triquetralen Bandes inzidiert. Der am Boden des 4. Strecksehnenfachs befindliche, zur Handwurzel ziehende Nervus interosseus posterior wird im Rahmen der Inzision der Gelenkkapsel an der Radiuskante durchtrennt und proximal davon koaguliert, um eine Neuombildung auf Höhe des Gelenks zu verhindern. Durch Beugung des Handgelenks kann nun die proximale Reihe der Handwurzel und die SL-Bandregion eingesehen werden. Nach Ausräumen eventuell vorhandener Synovialitis des Handgelenks wird anschließend ein Kirschnerdraht von dorsal nach palmar durch das Skaphoid gebohrt. Der Bohrkanal verläuft vom ursprünglichen dorsal distal ulnaren Ansatz des SL-Bandes leicht schräg nach palmar radial, so dass er möglichst zentral durch das Skaphoid gelangt und unterhalb, also proximal des palmar distalen Skaphoidpoles, in der Taille des Skaphoids austritt. Die Platzierung des Drahtes wird unter einem Röntgenbildwandler kontrolliert (Abb. a und b).



Abb. a und b: Seitliche und dorso-palmar Röntgenaufnahmen bei Platzierung des Führungsdrahtes für den skaphoidalen Bohrkanal.

Abb. c: Sicht auf den palmaren Zugang. Der gelbe Pfeil zeigt auf das in den skaphoidalen Kanal eintretende Sehnen-  
transplantat.

Die Pinzette hält den intakt verbliebenen Anteil der FCR Sehne nach ulnar.

Bei guter Lage wird der Draht nun mit einem kanülierten Bohrer der Stärke 2,7 bis 2,9 mm überbohrt. Durch den entstandenen Bohrkanal wird anschließend der beugeseitig gehobene und mit einem sogenannten *QuickPass Tendon Shuttle*<sup>®</sup> (Fa. Arthrex<sup>®</sup>) armierte Sehnenstreifen zur Streckseite hindurchgezogen (Abb. c). Als nächstes wird der lunäre Bohrkanal angelegt. Zum Schutz des Inhaltes des Karpalkanals wird palmar ein *Hohmann*-Haken eingesetzt. Der Bohrdraht wird von der dorsal ulnaren Kante des Lunatums, und zwar proximal am Übergang zur knorpelüberzogenen Zirkumferenz des Lunatums nach palmar radial distal gebohrt, so dass er schräg durch das Lunatum von proximal ulnar nach distal radial verläuft (Abb. d und e). Je schräger dieser Verlauf ist, desto stärker kann das bei Instabilität nach dorsal rotierte Lunatum gegenüber dem Skaphoid reponiert werden. Nun wird der

Sehnenstreifen mittels *QuickPass Tendon Shuttle*® von dorsal nach palmar durch das Lunatum gezogen (Abb. f).

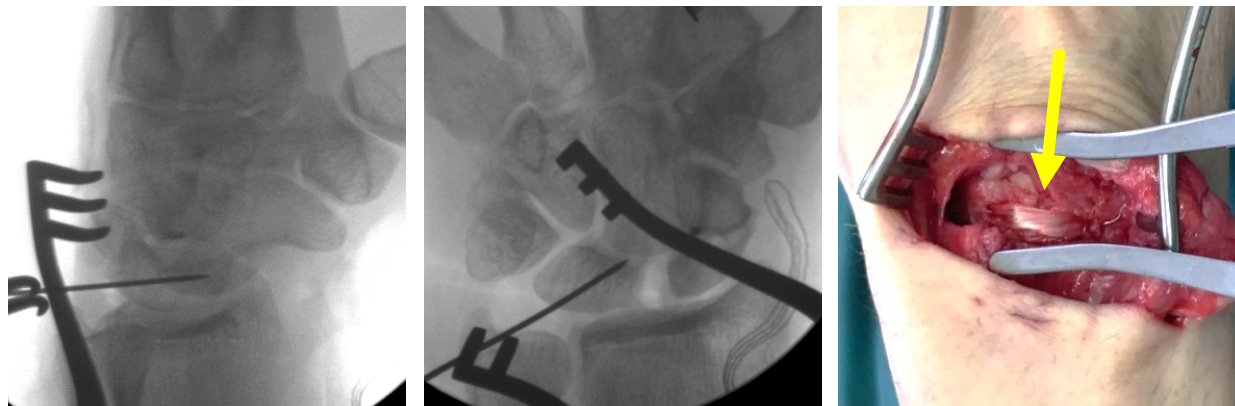


Abb. d und e: Seitliche und dorso-palmar Röntgenaufnahmen bei Platzierung des Führungsdrahtes für den lunären Bohrkanal.

Abb. f: Sicht auf die dorsale Handwurzel. Der gelbe Pfeil zeigt auf das vom skaphoidalen Kanal (links) zum lunären Kanal (rechts) quer über das SL-Gelenk verlaufende Sehnenstransplantat.

Durch Zug am palmar ausgeleiteten Sehnenstreifen kann unter dem Bildwandler die Reposition und das Ausrichten der Knochen entsprechend der angelegten Bohrkänäle und die Aufhebung der SL-Dissoziation beobachtet und kontrolliert werden. Jetzt kann der Sehnenstreifen unter Spannung mit sich selbst im Bereich seines palmaren Eintritts in den knöchernen Kanal des Skaphoids vernäht werden. Dazu wird resorbierbares Nahtmaterial wie PDS der Stärke 4/0 und 5/0 verwendet.

Im Anschluss wird die temporäre Transfixation angelegt. Dazu wird ein dritter, etwa 2 cm langer Hautschnitt im Bereich der Tabatière getätigt. Unter Schutz der in diesem Areal verlaufenden Sehnen des M. extensor pollicis brevis und longus, des dorsalen Astes der Arteria radialis sowie der Äste des Ramus superficialis nervi radialis werden zwei 1,2 mm Kirschnerdrähte skapho-lunär und ein weiterer Kirschnerdraht skapho-kapital unter Röntgenkontrolle eingebracht. Um insbesondere bei Mehrfachbohrungen eine Beschädigung des Sehnenstreifens im knöchernen Kanal zu vermeiden, ist Vorsicht geboten und eine Platzierung der Drähte außerhalb der knöchernen Kanäle anzustreben. Alle Drähte werden nach Platzierung gelenknah umgebogen, gekürzt und subkutan versenkt (Abb. g und h). Abschließend wird das Gelenk mit physiologischer Kochsalzlösung gespült und die dorsale Gelenkkapsel durch Naht verschlossen. Das Retinaculum extensorum wird mit resorbierbarer Naht rekonstruiert. Palmar wird die Gelenkkapsel ebenfalls verschlossen. Nach Öffnen der Blutleere und subtiler Blutstillung erfolgt die Hautnaht. Mit sterilem Verband werden Röntgenbilder zur

Dokumentation des OP-Ergebnisses angefertigt und letztlich eine Gipslonguette für das Handgelenk angelegt.

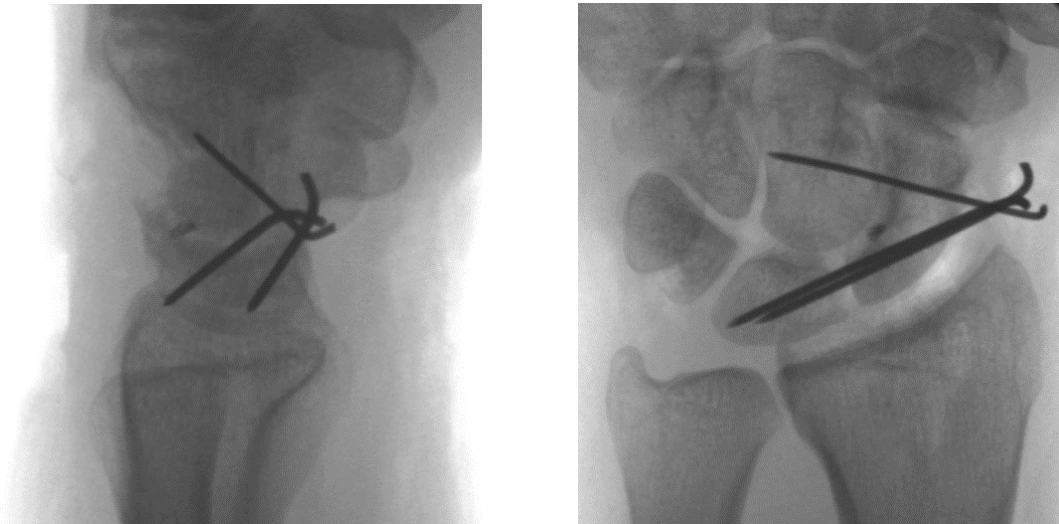


Abb. g und h: Seitliche und dorso-palmare Röntgenaufnahmen nach Anlage der temporären Transfixation der Handwurzel

### Behandlung im Anschluss an die Operation

Im Anschluss an die Operation wird zunächst eine Immobilisation des Unterarmes und des Handgelenks durch eine Gipsschale beibehalten. Um den Rückgang der postoperativen Schwellung zu unterstützen, werden Lymphdrainage und Bewegungsübungen für die Finger verordnet. Nach dem Abschwellen der Weichteile wird zum Ende der ersten postoperativen Woche eine stabile, individuell angepasste, handgelenksübergreifende Orthese angelegt. Alternativ verbleibt das Handgelenk zum Beispiel bei problematischen Weichteilen für einen längeren Zeitraum im Gipsverband. Im Weiteren erhalten alle Patienten ein im Unfallkrankenhaus Berlin standardisiertes Nachbehandlungskonzept für Verletzungen des SL-Bandes. Hierzu gehört die Empfehlung zur

- Immobilisation und consequenten Orthesenbehandlung außerhalb der Übungszeiten für 8 Wochen,
- Entfernung der temporären Transfixationsdrähte der Handwurzel 6 Wochen nach Bandplastik,
- in Abhängigkeit des Weichteilzustandes und der Schmerzsymptomatik Beginn einer aktiven und passiven, lastfreien Beübung des Handgelenks bis maximal 30° Streckung und 30° Beugung aus der Orthese heraus nach Ablauf der zweiten Woche nach Bandplastik,

- ein stufenweiser Belastungsaufbau nach Beendigung der konsequenten Orthesenbehandlung und letztlich Freigabe zur Vollbelastung nach der 20. Woche nach Bandplastik.

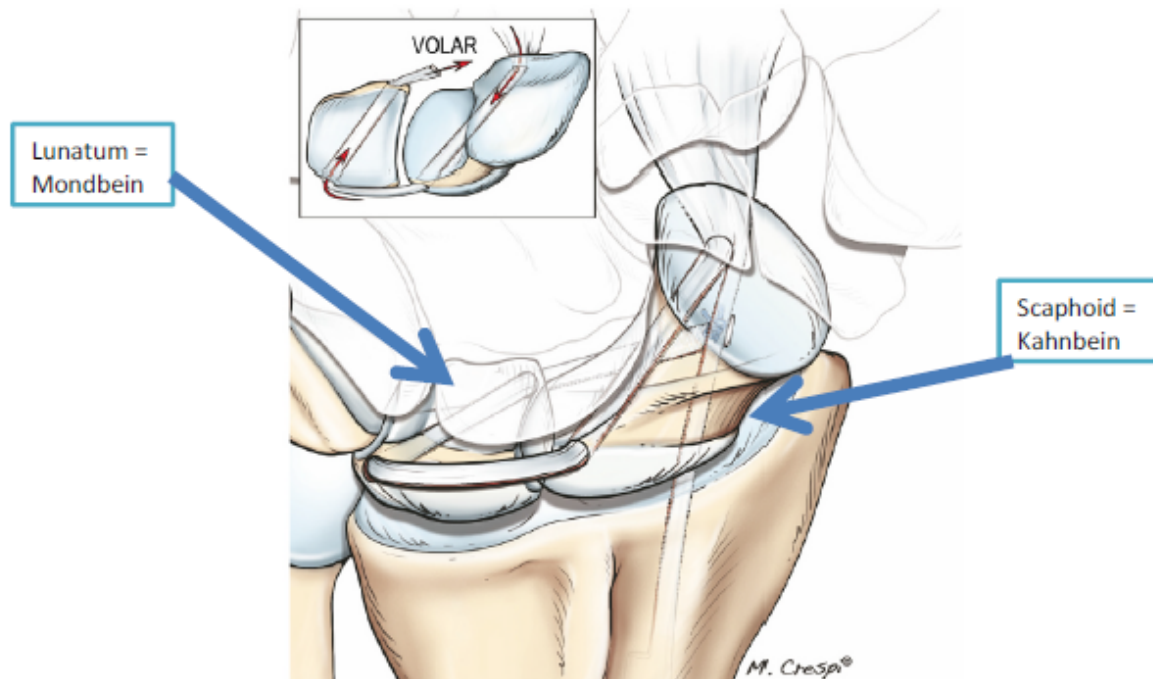
Sowohl für das eigene Verständnis als auch zur Information für den weiterbehandelnden Arzt respektive Ergo- bzw. Physiotherapeuten erhalten alle Patienten ein Informationsblatt mit Grafik der OP-Technik und Konzeption der Nachbehandlung sowie eine mündliche Erläuterung durch den Operateur (siehe Anhang). Wundkontrollen, Fadenzug und die empfohlenen Übungsbehandlungen werden in der Regel außerhalb des Unfallkrankenhauses unter Kontrolle der jeweils betreuenden niedergelassenen Ärzte vorgenommen.

Die Entfernung der temporären Transfixationsdrähte erfolgt in einem weiteren operativen Eingriff 6 Wochen nach Bandplastik. Danach folgt ein stufenweiser Aufbau der Bewegungsübungen und ein Belastungsaufbau durch Ergo- und Physiotherapeuten.



## Informationsblatt „Postoperatives Behandlungskonzept“

Unfallkrankenhaus Berlin HRM, F. Eichenauer 02.05.2018



### Rekonstruktion des beuge- und streckseitigen Schenkels des SL (scapho-lunären)- Bandkomplex nach Henry (VDLR)

( Reconstruction of Both Volar and Dorsal Limbs of the Scapholunate Interosseous Ligament, Mark Henry MD  
*J Hand Surg* 2013;38A:1625–1634 )

### Postoperatives Behandlungskonzept (SL Konzept)

- **8 Wochen Immobilisation** mit Beübung aus Orthese (s.u.),
  - Gips bzw. zirkulärer Cast-Verband **ohne** Einschluss des Daumengrundgelenks, sofern möglich EXOS Orthese
  - **Sofern während Immobilisationsphase möglich (Compliance!):** nach 2. postop. Woche Freigabe 30°-0-30° aus Orthese heraus mit Ergo-/Physiotherapie
- Materialentfernung (ME) nach 6 Wochen (**Termin muss bei Entlassung** bekannt sein),
- nach 8. postop. Woche: lastfreie Freigabe des Gelenks, Schutzorthese
- nach 12. postop. Woche: 3 – 5 kg, Schutzorthese,
- **nach 16. postop. Woche:** 5 – 10 kg, ab jetzt Lastaufbau z.B. Reha / EAP (ohne bzw. eingeschränkt MTT) möglich, Röntgenkontrolle
- nach 20. postop. Woche: keine Beschränkung
- Sport (Kontaktsport o.ä.) nach 6 Monaten,

**Röntgenkontrollen: bei ME (6 Wo po), 4 - 6 Mo po, Empfehlung 12 Mo po**



## Ausgewählte Studien zum Vergleich: Demografische Angaben

Demografische Angaben		Prädynamisch P	Fallzahl (n)	(ausgewertet)	Geschlecht		w	alter	Erfassungs- zeitraum (Monate)	Follow up (Monate)	Zeit Unfall bis OP (Monate)
Author	Jahr der VÖ				Dynamisch D	n					
Almquist	1991	ECRB	36	36	31	5	34 (18-64)	////	56 (24-120)	11 (1-23)	
Brunelli	1995	FCR, Brunelli	13	13	////	////	////	////	6 bis 24 M.	////	
Van den Abbeele	1998	FCR, "modifiz.Brunelli"	22	22	11	11	30 (21-47)	////	9 (6-16)	12 - 180	
Weiss (dynamisch)	1998	BRB: 3. Kompartiment Radius	19	19	16	3	34 (20-49)	42	43,2 (24-54)	9	
Weiss (statisch)		S 5									
Szabo	2002	nach Szabo	22	22	17	4	41 (16-62)	60	25 (12-48)	////	
Kalb	2003	BRB: Cuenod CMC 2	12	12	12	0	42 (25-64)	14	12 (4-17)	////	
Talwalkar	2006	FCR, "modifiz.Brunelli"	55	55				96	48	10 (6-26, n=32)	
Talwalkar (Fragebögen)		D 32, S 23 (klein.)									
Moran (FCR)	2006	D 72, S 45 (Frageb.)	117	117	50	67	38 (20-63)	98	47 (11-101)	20 (3-24)	
Moran (Kapsulodese)		D S	15	15	////	////	39	98	36 (24-84)	20 (4-30)	
Garcia Elias	2006	D 8, S 6	14	14	////	////	41	98	46 (7-98)	////	
Pomerance	2006	FCR, 3-LT	38	38	24	14	36 (18-60)	////	37 (12-60)	15 (2-108)	
Bleuler	2007	nach Lavernia	17	17	12	5	36 (18-54)	////	10,5 (6-15)	//	
De Smet / Van Hoonacker	2007	ECRL	20	20	////	////	40 (26-47)	36	50 (27-67)	31 (4-75)	
Links (ECRB)	2008	FCR, "modifiz.Brunelli"	10	10	7	3	29 (24-40)	84	77 (16-216)	////	
Links (FCR)		D S	23	23	17	6	30 (19-44)	////	12	////	
Chabaş	2008	FCR, "modifiz.Brunelli"	21	21	15	6	43 (23-57)	60	30,7 (18-43)	9,4 (3-24)	
Kalb	2009	FCR, "modifiz.Brunelli"	19	19	16	3	43 (23-57)	60	37 (12-60)	13 (2-79, n=17)	
Papadogeorgou	2010	FCR, 3-LT	14	14	7	5	42	9	25 (12-46)	11,5 (4-30)	
White	2010	ECRB	32	32	23	9	39 (20-55)	////	14 (12-24)	11,5 (4-30)	
De Smet	2010	RASL	22	22	////	////	50 (31-67)	204	30,7 (18-43)	9,4 (3-24)	
Pauchard	2013	FCR, 3-LT	12	10	10	2	43 (35-57)	////	12	////	
Ross	2013	FCR, 3-LT	19	19	15	5	43 (22-56)	35	25 (12-46)	13 (2-79, n=17)	
Waheganonkar	2013	FCR, scapholunotriquetral	11	11	9	2	36 (23-54)	////	14 (12-24)	11,5 (4-30)	
Eliant	2014	Mathoulin (arthroskopisch)	57	57	34	23	39 (17-63)	////	30,7 (18-43)	9,4 (3-24)	
Sousa	2014	FCR, "modifiz.Brunelli"	13	13	9	4	35 (18-42)	96	12	////	
Eliammal	2015	FCR, "modifiz.Brunelli"	22	22	18	4	40 (20-55)	120	61 (17-98)	////	
Koehler	2015	FCR, "modifiz.Brunelli"	20	20	19	1	43 (24-56)	60	24 (6-53)	12 (4-18, n=16)	
De Carli	2015	RASL/Aviles	18	18	11	7	61 (36-75)	156	36 (12-170)	//	
Petersen	2017	ECRL	20	20	17	3	40 (23-65)	143	65 (24-126)	9 (2-30)	
Athlaoui	2017	BRB: 3. Kompartiment Radius	16	16	16	0	(27-53)	36	18 (14-23)	7,4 (5-14)	
Albinder	2018	PL interkarpale Ligamentoplastie	26	26	20	6	40 (22-57)	43	36 (12-54)	12 (3,5-72)	
Dolderer	2018	RASL/Aviles	12	12	8	8	35 (17-62)	168	24 (7-203)	9	
Mensing (ukb)	2020	SLAM / PL	22	22	19	3	47 (26-64)	////	12	8 (1-24)	
		FCR, 3-LT	53	31	37	10	43 (16-60)	36	25 (15-49)	6,8 (0,3-40)	

## Ausgewählte Studien zum Vergleich: Schmerz

Schmerz	Jahr der VO	Schmerzzangaben VAS 0-10 ohne Differenzierung		Schmerzzangaben VAS 0-10 mit Differenzierung		Belastung	Schmerzkategorisierung (VAS)		Schmerzkategorisierung (VAS)	2 bis 3 moderater Schmerz / bei starker Belastung	Kategorie 4, VAS >6, Sz. bei leichter Belastung Ruhschmerz
		postop	präop	Ruhe	postop		präop	0			
Almqvist	1991										
Brunelli	1995										
Van den Abbeele	1998		7								
Weiss (dynamisch)	1998										
Weiss (statisch)											
Szabo	2002										
Kalb	2003		3,6								
Talwalkar	2006										
Talwalkar (Fragebögen)			3,7								
Moran (FCR)	2006										
Moran (Kapsulodese)											
Garcia Elias	2006										
Pomerance	2006		3								
Bleuler	2007										
De Smet / Van Hoonacker	2007										
Links (ECRB)	2008		3,4								
Links (FCR)			2								
Chabas	2008										
Kalb	2009		3		2,8						
Papadogeorgou	2010										
White	2010				0,58						
De Smet	2013										
Pauchard	2013				1,6						
Ross	2013				1,35						
Wihrenannkar	2013		weniger 5,46 im Vnl. zu präop								
Ellanti	2014		1,5		8						
Sousa	2014		2								
Elgammal	2015		3		6						
Koehler	2015		2,5								
De Carli	2017				0,5						
Petersen	2017		4,5		3,4						
Athlani	2018				1,4						
Albinder	2018		3,1		4,5						
Dolderer	2019				0,67						
Mensing (ukb)	(2020)				0,8						

## Ausgewählte Studien zum Vergleich: Scores

Scores	Jahr der VÖ	DASH	prüf	Mayo Wrist Score MWS - Wert	sehr gut	gut	mäßig	schlecht	Wert prüf	PRWHE
<u>Almaist</u>	1991	////		////						////
<u>Brunelli</u>	1995	////		////						////
<u>Van den Abbeele</u>	1998	////		////						////
<u>Weiss (dynamisch)</u>	1998	////		////						////
<u>Weiss (statisch)</u>		////		////						////
<u>Szabo</u>	2002	17 (1-69)		77	5	7	5	5		////
<u>Kalb</u>	2003	27 (1-61)		77	6	1	3	1	73	////
<u>Talwalkar</u>	2006	////		////						////
<u>Talwalkar (Fragebogen)</u>		////		////						////
<u>Moran (FCR)</u>	2006	////		74						////
<u>Moran (Kapsulodese)</u>		////		77	1	5	6	1		////
<u>Garcia Elias</u>	2006	////		////						////
<u>Pomerance</u>	2006	31 (19 - 44)		67	0	2	10	5		////
<u>Bleuler</u>	2007	////		////						////
<u>De Smet / Van Hooracker</u>	2007	12 (5-33)		////						26
<u>Links (FCRB)</u>	2008	45,1		////						////
<u>Links (FCR)</u>		25,1		////						////
<u>Chabas</u>	2008	30 (0-91)		////						////
<u>Kalb</u>	2009	25 (0-59)		80						////
<u>Papadogeorgou</u>	2010	22 (0-88)		> 80 (n 24, 75%)						////
<u>White</u>	2010	17 (0-51)		////						////
<u>De Smet</u>	2013	////		////						////
<u>Pauchard</u>	2013	31		////						33,6
<u>Ross</u>	2013	21,2		////						18,9
<u>Waheaaonkar</u>	2013	8,3 (46)		////						////
<u>Ellanti</u>	2014	34,9		////						////
<u>Sousa</u>	2014	16 (1-61)		////						////
<u>Elammal</u>	2015	20		////						////
<u>Koehler</u>	2015	8 (0-24)		> 80 (n=9, 45%)						////
<u>De Carli</u>	2017	8		////						////
<u>Petersen</u>	2017	30		64						////
<u>Athlani</u>	2018	17,5		84,8					54	13,6
<u>Aibinder</u>	2018	12,6 (0-24, n=8)		63,3						////
<u>Dolderer</u>	2019	48 (25-87)		62,7					32,3	////
<u>Mensing (ukb)</u>	2020	28 (0-100)		> 80 (n=5, 16%)	0	5	10	16		30,6

Ausgewählte Studien zum Vergleich: **Bewegung Extension/Flexion**

Bewegung Extension / Flexion									
Author	Jahr der VO	Flexion postop (°)	prä (°)	Extension (°) postop (°)	prä (°)	Ext/Flexion ROM (°)	Ext/Flexion ROM (°) prä	Ext/Flex Differenz ROM (°) postop/präop.	
<u>Almqvist</u>	1991	37		52		89			
<u>Brunelli</u>	1995	////		////		////		< 30-60% Ggs.	
<u>Van den Abbeele</u>	1998	42	51	49	61	91	112	-21	
<u>Weiss (dynamisch)</u>	1998	76		52		128			
<u>Weiss (statisch)</u>		42		44		86			
<u>Szabo</u>	2002	59	66	53	62	112	128	-16	
<u>Kalb</u>	2003	35	55	44	60	79	115	-36	
<u>Talwalkar</u>	2006	47		56		103			
<u>Talwalkar (Fragebögen)</u>									
<u>Moran (FCR)</u>	2006	40	54	43	56	83	110	-27	
<u>Moran (Kapsulodese)</u>		44	69	49	64	93	133	-40	
<u>Garcia Elias</u>	2006	51	Ggs. 69 = 74%	52	Ggs.67 = 77%	103	Ggs. 136 = 76%		
<u>Pomerance</u>	2006	50	57	44	56	94	113	-19	
<u>Bleuler</u>	2007	////		////		////			
<u>De Smet / Van Hoonacker</u>	2007	49		48		97			
<u>Links (ECRB)</u>	2008	27	60	36	61	63	121	-58	
<u>Links (FCR)</u>		45	59	55	61	100	120	-20	
<u>Chabas</u>	2008	41		50		91			
<u>Kalb</u>	2009	35		53		88			
<u>Papadogeorgou</u>	2010	42	46	70	58	112	104	+ 8	
<u>White</u>	2010			////		F/E 80% d. Ggs.			
<u>De Smet</u>	2013	////		////		////			
<u>Pauchard</u>	2013	39	52	43	50	82	102	-20	
<u>Ross</u>	2013	////		////		103	130	-27	
<u>Wahgonaonkar</u>	2013	+ 11 (84,3% d. Ggs.)		+ 14		////		+ 25	
<u>Elanti</u>	2014	38	76	56	76	94	152	-58	
<u>Sousa</u>	2014	23 weniger d. Ggs.		22 weniger d. Ggs.		45 weniger d. Ggs.			
<u>Elammal</u>	2015	41	60	54	68	95	128	-33	
<u>Koehler</u>	2015	46		57		103			
<u>De Carli</u>	2017	55	(73% d. Ggs.)	62	(90% d. Ggs.)	117		-17%	
<u>Petersen</u>	2017	35	25	40	30	75	55	20	
<u>Attiani</u>	2018	57	59	56	56	113	115	-2	
<u>Albinder</u>	2018	39,5	63,3	50,7	61,5	90,2	124,8	-34,6	
<u>Dolderer</u>	2019	////		////		101	101	0	
<u>Mensing (ykb)</u>	2020	34,5	59,5 CL	38,5	61 CL	72	121 CL	60% d. CL	

Ausgewählte Studien zum Vergleich: **Bewegung Radial-/Ulnarabduktion**

Bewegung Radial-/Ulnarabduktion									
Author	Jahr der VO	Radialduktion postop. (°)	Ulnarabduktion postop. (°)	prä. (°)	postop. (°)	prä. (°)	RD/DU ROM (°)	ROM (°) prä.	Differenz ROM (°) postop./präop.
<u>Almqvist</u>	1991	////	////				////		
<u>Brunelli</u>	1995	////	////				////		
<u>Van den Abbeele</u>	1998	19	30	20	26		49	46	3
<u>Weiss (dynamisch)</u>	1998	9	19						
<u>Weiss (statisch)</u>		8	18						
<u>Szabo</u>	2002	19	40	24	45		59	69	-10
<u>Kalb</u>	2003	////	////				////		
<u>Talwalkar</u>	2006	18	29				47		
<u>Talwalkar (Fragebögen)</u>									
<u>Moran (FCR)</u>	2006	16	26	18	26		42	50	-8
<u>Moran (Kapsulodese)</u>		19	26	21	26		45	58	-13
<u>Garcia Elias</u>	2006	16	29	Ggs. 20= 80%	Ggs. 29= 100%		45	Ggs. 49= 92%	
<u>Pomerance</u>	2006								
<u>Bleuler</u>	2007	////	////				////		
<u>De Smet / Van Hoonacker</u>	2007	17	34				51		
<u>Links (ECRB)</u>	2008	14	21	18	21	25	35	43	-8
<u>Links (FCR)</u>		13	21	18	21	26	34	44	-10
<u>Chabas</u>	2008	24	29				53		
<u>Kalb</u>	2009								
<u>Papadogeorgou</u>	2010	22	32	15	27		54	42	12
<u>White</u>	2010	////	////				F/E 80% d. Ggs.		
<u>De Smet</u>	2013	////	////				////		
<u>Pauchard</u>	2013	14	24	17	30		38	47	-9
<u>Ross</u>	2013	////	////				////		
<u>Waheganonkar</u>	2013	95,7% d. Ggs.	////				////		
<u>Eilanti</u>	2014	20	20	24	34		40	58	-18
<u>Sousa</u>	2014	6 weniger d. Ggs.	3 weniger d. Ggs.				9 weniger d. Ggs.		
<u>Elgammal</u>	2015	19	31	25	40		50	65	-15
<u>Koehler</u>	2015	////	////				////		
<u>De Caril</u>	2017	19	44	(82% d. Ggs.)	(90% d. Ggs.)		63		
<u>Petersen</u>	2017	5	15	5	10		20	15	5
<u>Athlani</u>	2018	16	32	16	32		48	48	0
<u>Aibinder</u>	2018	15,4	25,4	18,7	33,6		40,8	52,3	-11,5
<u>Dolderer</u>	2019	////	////				50,5	44,4	6
<u>Mensing (ukb)</u>	2020	21	25	32 CL	43 CL		46	75 CL	61% d. CL



## Ausgewählte Studien zum Vergleich: Röntgenergebnisse / Kraft

Röntgenergebnisse		Kraft						
Author	Jahr der VÖ	SL Winkel (°)	präoperativ (°)	SL Distanz (mm)	präoperativ (mm)	% der Gegenseite postop.	Angabe in <b>kaf</b> postop.	Angaben präop.
<u>Almqvist</u>	1991	////		3,3	> 4	73%		
<u>Brunelli</u>	1995		"Scaphoid Reduktion erhalten"	////		65%		50% weniger
<u>Van den Abbeele</u>	1998	50	50	////		58%	22	22
<u>Weiss (dynamisch)</u>	1998	50		13x < 3		////	39	
<u>Weiss (statisch)</u>		3x < 70°, 2x > 70°		2x 3, 3x > 3		////	22	
<u>Szabo</u>	2002	56	65	2,7	4,5	////	41	45
<u>Kalb</u>	2003	////		////		82%		90%
<u>Talwalkar</u>	2006	////		////		80%		
<u>Talwalkar (Fragebogen)</u>								
<u>Moran (FCR)</u>	2006	54	63	2,6	3	87%		
<u>Moran (Kapsulodese)</u>		65	59	4,3	3	91%	37	88%
<u>Garcia Elias</u>	2006	////		////		65%		
<u>Pomerance</u>	2006	55	49	3	3	////	38	31
<u>Bleuler</u>	2007	////		////		////		
<u>De Smet / Van Hoonacker</u>	2007	////		////		77%		
<u>Links (ECRB)</u>	2008	53	61	3	3,7	84%		
<u>Links (FCR)</u>		46	61	2,2	3,9	98%		
<u>Chabas</u>	2008	62	61	2,4	2,8	78%		
<u>Kalb</u>	2009	73	73	3,3	3,6	80%		
<u>Papadogorgou</u>	2010	< 60° (n 23)		////		86%		
<u>White</u>	2010	"Verbesserung" ohne nähere Angabe	"Verbesserung" ohne nähere Angabe	"Verbesserung" ohne nähere Angabe				100%
<u>De Smet</u>	2013	68	77	3,3	4,2	////		
<u>Pauchard</u>	2013	75	72	3,7	3,9	76%		
<u>Ross</u>	2013	57	80	1,6	4,1	////	44	37
<u>Waheganankar</u>	2013	Angaben 8 Wochen postoperativ				94,30%	38,4	
<u>Elanti</u>	2014	63	61	2,8	2,8	75%		
<u>Sousa</u>	2014	57		3,1		67%		
<u>Elgammal</u>	2015	77	82	3	4	81%		
<u>Koehler</u>	2015	64	73	3,2	5,5	84%	27 (32 Ggs.)	
<u>De Carli</u>	2017	62	60	1,8	4,7	92%		
<u>Petersen</u>	2017	3x DISI		3x > 3mm		48%		43%
<u>Athlani</u>	2018	62	73	2,3	3,2	89%		59%
<u>Aibinder</u>	2018	51,5	54	2,6	4	70%		
<u>Dolderer</u>	2019	76,6	75,6	////		////	70,4 +/-45,8	54,6 +/-28,9
<u>Mensing (ukb)</u>	2020	70	70	3,8	3,4	0,73	30	39

## 9 Literaturverzeichnis

1. Ahmadi A, Pomsel T (1990)  
Wrist joint arthroscopy in obscure post-traumatic symptoms.  
*Handchir Mikrochir Plast Chir* 22, 71–73
2. Aibinder WR, Izadpanah A, Elhassan BT (2019)  
Reduction and Association of the Scaphoid and Lunate: A Functional and Radiographical Outcome Study.  
*J Wrist Surg* 8, 37–42
3. Akahane M, Ono H, Nakamura T, Kawamura K, Takakura Y (2002)  
Static scapholunate dissociation diagnosed by scapholunate gap view in wrists with or without distal radius fractures.  
*Hand Surg* 7, 191–195
4. Almquist EE, Bach AW, Sack JT, Fuhs SE, Newman DM (1991)  
Four-bone ligament reconstruction for treatment of chronic complete scapholunate separation.  
*J Hand Surg Am* 16, 322–327
5. Amer KM, Thomson JE, Vosbikian MM, Ahmed I (2020)  
Four-Corner Arthrodesis Versus Proximal Row Carpectomy for Scapholunate Advanced Collapse: A Systematic Literature Review and Meta-analysis.  
*Ann Plast Surg* 85, 699–703
6. Andersson JK (2017)  
Treatment of scapholunate ligament injury: Current concepts.  
*EFORT Open Rev* 2, 382–393
7. Andersson JK, Garcia-Elias M (2013)  
Dorsal scapholunate ligament injury: a classification of clinical forms.  
*J Hand Surg Eur Vol* 38, 165–169
8. Asmus A, Eisenschenk A, Eichenauer F, Kim S (2017)  
Diagnostik und Therapie perilunärer Luxationen und Luxationsfrakturen.  
*Handchir Scan* 06, 51–69
9. Athlani L, Pauchard N, Dautel G (2018)  
Outcomes of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation: a prospective study in 26 patients.  
*J Hand Surg Br* 43, 700–707
10. Athlani L, Pauchard N, Dautel G (2018)  
Radiological evaluation of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation in cadavers.  
*J Hand Surg Br* 43, 387–393
11. Athlani L, Pauchard N, Dautel G (2021)  
Intercarpal ligamentoplasty for scapholunate dissociation: comparison of two techniques.  
*J Hand Surg Eur Vol* 46, 278–285
12. Aviles AJ, Lee SK, Hausman MR (2007)  
Arthroscopic reduction-association of the scapholunate.  
*Arthroscopy* 23, 105.e1-5
13. Bain GI, Watts AC, McLean J, Lee YC, Eng K (2015)  
Cable-Augmented, Quad Ligament Tenodesis Scapholunate Reconstruction.  
*J Wrist Surg* 4, 246–251

14. Beaton DE, Katz JN, Fossel AH, Wright JG, Tarasuk V, Bombardier C (2001)  
Measuring the whole or the parts? Validity, reliability, and responsiveness of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand outcome measure in different regions of the upper extremity.  
J Hand Ther 14, 128–146
15. Berber O, Garagnani L, Gidwani S (2018)  
Systematic Review of Total Wrist Arthroplasty and Arthrodesis in Wrist Arthritis.  
J Wrist Surg 7, 424–440
16. Berger RA (1997)  
The ligaments of the wrist. A current overview of anatomy with considerations of their potential functions.  
Hand Clin 13, 63–82
17. Berger RA, Blair WF, Crowninshield RD, Flatt AE (1982)  
The scapholunate ligament.  
J Hand Surg Am 7, 87–91
18. Beubler E (2016)  
Kompendium der medikamentösen Schmerztherapie.  
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 1-6
19. Bickert B, Sauerbier M, Germann G (1997)  
Clinical examination of the injured wrist.  
Zentralbl Chir 122, 1010–1015
20. Blatt G (1987)  
Capsulodesis in reconstructive hand surgery. Dorsal capsulodesis for the unstable scaphoid and volar capsulodesis following excision of the distal ulna.  
Hand Clin 3, 81–102
21. Bleuler P, Shafiqhi M, Donati OF, Gurunluoglu R, Constantinescu MA (2008)  
Dynamic repair of scapholunate dissociation with dorsal extensor carpi radialis longus tenodesis.  
J Hand Surg Am 33, 281–284
22. Briggs M, Closs JS (1999)  
A descriptive study of the use of visual analogue scales and verbal rating scales for the assessment of postoperative pain in orthopedic patients.  
J Pain Symptom Manage 18, 438–446
23. Brunelli GA, Brunelli GR (1995)  
A new technique to correct carpal instability with scaphoid rotary subluxation: a preliminary report.  
J Hand Surg Am 20, S82-5
24. Brunelli GA, Brunelli GR (1995)  
Une nouvelle intervention pour la dissociation scapho-lunaire. Proposition d'une nouvelle technique chirurgicale pour l'instabilité carpienne avec dissociation scapho-lunaire (11 cas).  
Ann Chir Main Memb Super 14, 207–213
25. Brunelli G-A (2003)  
Dissociation scapho-lunaire traitée par ligamentoplastie scapho-trapézoïdienne au flexor carpi radialis: fondements, technique et résultat de la série préliminaire.  
Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 89, 152–157
26. Camus EJ, van Overstraeten L (2013)  
Dorsal scapholunate stabilization using Viegas' capsulodesis: 25 cases with 26



- months-follow-up.  
Chir Main 32, 393–402
27. Carli P de, Donndorff AG, Torres MT, Boretto JG, Gallucci GL (2017)  
Combined Tenodesis-Capsulodesis for Scapholunate Instability: Minimum 2-Year Follow-Up.  
J Wrist Surg 6, 11–21
  28. Cerezal L, Dios Berná-Mestre J de, Canga A, Llopis E, Rolon A, Martín-Oliva X, del Piñal F (2012)  
MR and CT arthrography of the wrist.  
Semin Musculoskelet Radiol 16, 27–41
  29. Chabas J-F, Gay A, Valenti D, Guinard D, Legre R (2008)  
Results of the modified Brunelli tenodesis for treatment of scapholunate instability: a retrospective study of 19 patients.  
J Hand Surg Am 33, 1469–1477
  30. Chan K, Engasser W, Jebson PJJ (2019)  
Avascular Necrosis of the Lunate Following Reconstruction of the Scapholunate Ligament Using the Scapholunate Axis Method (SLAM).  
J Hand Surg Am 44, 904.e1-904.e4
  31. Chee KG, Chin AYH, Chew EM, Garcia-Elias M (2012)  
Antipronation spiral tenodesis--a surgical technique for the treatment of perilunate instability.  
J Hand Surg Am 37, 2611–2618
  32. Cooney WP (2015)  
Reduction and association of the scaphoid and lunate procedure: short-term outcomes.  
J Hand Surg Am 40, 633–634
  33. Cooney WP, Bussey R, Dobyns JH, Linscheid RL (1987)  
Difficult wrist fractures. Perilunate fracture-dislocations of the wrist.  
Clin Orthop Relat Res, 136–147
  34. Corella F, Del Cerro M, Larrainzar-Garijo R, Vázquez T (2011)  
Arthroscopic ligamentoplasty (bone-tendon-tenodesis). A new surgical technique for scapholunate instability: preliminary cadaver study.  
J Hand Surg Eur Vol 36, 682–689
  35. Corella F, Del Cerro M, Ocampos M, Larrainzar-Garijo R (2013)  
Arthroscopic ligamentoplasty of the dorsal and volar portions of the scapholunate ligament.  
J Hand Surg Am 38, 2466–2477
  36. Corella F, Del Cerro M, Ocampos M, Simon de Blas C, Larrainzar-Garijo R (2017)  
Arthroscopic Scapholunate Ligament Reconstruction, Volar and Dorsal Reconstruction.  
Hand Clin 33, 687–707
  37. Crisco JJ, Coburn JC, Moore DC, Akelman E, Weiss A-PC, Wolfe SW (2005)  
In vivo radiocarpal kinematics and the dart thrower's motion.  
J Bone Joint Surg Am 87, 2729–2740
  38. Crisco JJ, Heard WMR, Rich RR, Paller DJ, Wolfe SW (2011)  
The mechanical axes of the wrist are oriented obliquely to the anatomical axes.  
J Bone Joint Surg Am 93, 169–177

39. Crisco JJ, Wolfe SW, Neu CP, Pike S (2001)  
Advances in the in vivo measurement of normal and abnormal carpal kinematics.  
*Orthop Clin North Am* 32, 219-31, vii
40. Cuenod P, Charriere E, Papaloizos MY (2002)  
A mechanical comparison of bone-ligament-bone autografts from the wrist for replacement of the scapholunate ligament.  
*J Hand Surg Am* 27, 985–990
41. Cuénod P (1999)  
Osteoligamentoplasty and limited dorsal capsulodesis for chronic scapholunate dissociation.  
*Ann Chir Main Memb Super* 18, 38–53
42. Daschner H, Werber K, Gerhardt P (1991)  
Die Kinematographie des Handgelenkes.  
*Rontgenpraxis* 44, 169–173
43. (1999)  
Definition of carpal instability. The Anatomy and Biomechanics Committee of the International Federation of Societies for Surgery of the Hand.  
*J Hand Surg Am* 24, 866–867
44. del Piñal F (2013)  
Arthroscopic volar capsuloligamentous repair.  
*J Wrist Surg* 2, 126–128
45. Deutsche gesetzliche Unfallversicherung DGUV (2017)  
Messblatt für obere Gliedmaßen (nach der Neutral - 0 - Methode).  
[https://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/f\\_4222/f4222.pdf](https://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/f_4222/f4222.pdf)
46. Dobyns JH, Linscheid RL (1997)  
A short history of the wrist joint.  
*Hand Clin* 13, 1–12
47. Dolderer JH, Zimny K, Klein SM, Koller M, Prantl L, Geis S (2019)  
Reconstruction of chronic scapholunate dissociation with the modified scapholunate axis method (SLAM).  
*Arch Orthop Trauma Surg* 139, 1641–1647
48. Elgammal A, Lukas B (2016)  
Mid-term results of ligament tenodesis in treatment of scapholunate dissociation: a retrospective study of 20 patients.  
*J Hand Surg Br* 41, 56–63
49. Ellanti P, Sisodia G, Al-Ajami A, Ellanti P, Harrington P (2014)  
The modified Brunelli procedure for scapholunate instability: a single centre study.  
*Hand Surg* 19, 39–42
50. Elsaftawy A, Jablecki J, Jurek T, Domanasiewicz A, Gworys B (2014)  
New concept of scapholunate dissociation treatment and novel modification of Brunelli procedure - anatomical study.  
*BMC Musculoskelet Disord* 15, 172
51. Fisk GR (1983)  
The wrist joint.  
*Hand* 15, 239–241
52. Fisk GR (1984)  
The wrist.  
*J Bone Joint Surg Br* 66, 396–407

53. Forman TA, Forman SK, Rose NE (2005)  
A clinical approach to diagnosing wrist pain.  
*Am Fam Physician* 72, 1753–1758
54. Franchignoni F, Giordano A, Sartorio F, Vercelli S, Pascariello B, Ferriero G (2010)  
Suggestions for refinement of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Outcome Measure (DASH): a factor analysis and Rasch validation study.  
*Arch Phys Med Rehabil* 91, 1370–1377
55. Frankel VH (1977)  
The Terry-Thomas sign.  
*Clin Orthop Relat Res*, 321–322
56. Gajendran VK, Peterson B, Slater RR, Szabo RM (2007)  
Long-term outcomes of dorsal intercarpal ligament capsulodesis for chronic scapholunate dissociation.  
*J Hand Surg Am* 32, 1323–1333
57. Garcia-Elias M (1997)  
The treatment of wrist instability.  
*J Bone Joint Surg Br* 79, 684–690
58. Garcia-Elias M (2006)  
Treatment of scapho-lunate instability.  
*Ortop Traumatol Rehabil* 8, 160–168
59. Garcia-Elias M, Lluch A (2017)  
Carpal instability.  
aus Wolfe, Scott W.; Hotchkiss, Green's Operative Hand Surgery Ch.13, 433–463
60. Garcia-Elias M, Lluch A, Ferreres A, Papini-Zorli I, Rahimtoola ZO (2005)  
Treatment of radiocarpal degenerative osteoarthritis by radioscapolunate arthrodesis and distal scaphoidectomy.  
*J Hand Surg Am* 30, 8–15
61. Garcia-Elias M, Lluch AL, Stanley JK (2006)  
Three-ligament tenodesis for the treatment of scapholunate dissociation: indications and surgical technique.  
*J Hand Surg Am* 31, 125–134
62. Gaston RG, Greenberg JA, Baltera RM, Mih A, Hastings H (2009)  
Clinical outcomes of scaphoid and triquetral excision with capitulunate arthrodesis versus scaphoid excision and four-corner arthrodesis.  
*J Hand Surg Am* 34, 1407–1412
63. Geissler WB (2013)  
Arthroscopic management of scapholunate instability.  
*J Wrist Surg* 2, 129–135
64. Geissler WB, Freeland AE, Savoie FH, McIntyre LW, Whipple TL (1996)  
Intracarpal soft-tissue lesions associated with an intra-articular fracture of the distal end of the radius.  
*J Bone Joint Surg Am* 78, 357–365
65. Germann G, Harth A, Wind G, Demir E (2003)  
Standardisierung und Validierung der deutschen Version 2.0 des "Disability of Arm, Shoulder, Hand" (DASH)-Fragebogens zur Outcome-Messung an der oberen Extremität.  
*Unfallchirurg* 106, 13–19

66. Gilula LA (1979)  
Carpal injuries: analytic approach and case exercises.  
*AJR Am J Roentgenol* 133, 503–517
67. Gilula LA, Weeks PM (1978)  
Post-traumatic ligamentous instabilities of the wrist.  
*Radiology* 129, 641–651
68. Greenspan A, Walthers E, Chapman MW (Hrsg) (2007)  
Skelettradiologie.  
4. Aufl. Elsevier Urban & Fischer, München 15-48, 55-57, 61-85, 197-251
69. Greiner W, Claes C, Busschbach JJV, Schulenburg J-MG von der (2005)  
Validating the EQ-5D with time trade off for the German population.  
*Eur J Health Econ* 6, 124–130
70. Gummesson C, Atroshi I, Ekdahl C (2003)  
The disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH) outcome questionnaire: longitudinal construct validity and measuring self-rated health change after surgery.  
*BMC Musculoskelet Disord* 4, 11
71. Guss MS, Bronson WH, Rettig ME (2015)  
Acute Scapholunate Ligament Instability.  
*J Hand Surg Am* 40, 2065–2067
72. Hagert E (2010)  
Proprioception of the wrist joint: a review of current concepts and possible implications on the rehabilitation of the wrist.  
*J Hand Ther* 23, 2–17
73. Harth A, Becker M, Jester A, Schumacher K, Germann G (2008)  
DASH-Fragebogen zur Outcome-Messung an der oberen Extremität.  
*Trauma Berufskrankh* 10, 84–89
74. Harvey EJ, Berger RA, Osterman AL, Fernandez DL, Weiss A-P (2007)  
Bone-tissue-bone repairs for scapholunate dissociation.  
*J Hand Surg Am* 32, 256–264
75. Hemelaers L, Angst F, Drerup S, Simmen BR, Wood-Dauphinee S (2008)  
Reliability and validity of the German version of "the Patient-rated Wrist Evaluation (PRWE)" as an outcome measure of wrist pain and disability in patients with acute distal radius fractures.  
*J Hand Ther* 21, 366–376
76. Hempfling H (2007)  
Begutachtung von Handgelenkverletzungen.  
*Obere Extremität* 2, 222–232
77. Henry M (2013)  
Reconstruction of both volar and dorsal limbs of the scapholunate interosseous ligament.  
*J Hand Surg Am* 38, 1625–1634
78. Herzberg G (2008)  
Perilunate and axial carpal dislocations and fracture-dislocations.  
*J Hand Surg Am* 33, 1659–1668
79. Hinz A, Klaiberg A, Brähler E, König H-H (2006)  
Der Lebensqualitätsfragebogen EQ-5D: Modelle und Normwerte für die Allgemeinbevölkerung.  
*Psychother Psychosom Med Psychol* 56, 42–48

80. Hjerstad MJ, Fayers PM, Haugen DF, Caraceni A, Hanks GW, Loge JH, Fainsinger R, Aass N, Kaasa S (2011)  
Studies comparing Numerical Rating Scales, Verbal Rating Scales, and Visual Analogue Scales for assessment of pain intensity in adults: a systematic literature review.  
*J Pain Symptom Manage* 41, 1073–1093
81. Hodge JC, Gilula LA, Larsen CF, Amadio PC (1995)  
Analysis of carpal instability: II. Clinical applications.  
*J Hand Surg Am* 20, 765-76; discussion 777
82. Howlett JPC, Pfaeffle HJ, Waitayawinyu T, Trumble TE (2008)  
Distal tunnel placement improves scaphoid flexion with the Brunelli tenodesis procedure for scapholunate dissociation.  
*J Hand Surg Am* 33, 1756–1764
83. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C (1996)  
Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) corrected. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG).  
*Am J Ind Med* 29, 602–608
84. Jester A, Harth A, Germann G (2005)  
Measuring levels of upper-extremity disability in employed adults using the DASH Questionnaire.  
*J Hand Surg Am* 30, 1074.e1-1074.e10
85. Jester A, Harth A, Wind G, Germann G (2003)  
Der "Disability of shoulder, arms and hand"-Fragebogen als Instrument zur Identifikation diagnosespezifischer Aktivitätsprofile.  
*Unfallchirurg* 106, 834–838
86. John M, Angst F, Awiszus F, Pap G, MacDermid JC, Simmen BR (2008)  
The patient-rated wrist evaluation (PRWE): cross-cultural adaptation into German and evaluation of its psychometric properties.  
*Clin Exp Rheumatol* 26, 1047–1058
87. Johnson RP, Carrera GF (1986)  
Chronic capitulate instability.  
*J Bone Joint Surg Am* 68, 1164–1176
88. Kakar S, Greene RM, Denbeigh J, van Wijnen A (2019)  
Scapholunate Ligament Internal Brace 360 Tenodesis (SLITT) Procedure: A Biomechanical Study.  
*J Wrist Surg* 8, 250–254
89. Kalb K, Blank S, van Schoonhoven J, Prommersberger K-J (2009)  
Stabilization of the scaphoid according to Brunelli as modified by Garcia-Elias, Lluch, and Stanley for the treatment of chronic scapholunate dissociation.  
*Oper Orthop Traumatol* 21, 429–441
90. Kalb K, Markert S (2003)  
Preliminary results with Cuenod's osteoligamentoplasty and capsulodesis for treatment of chronic scapholunate dissociation.  
*Handchir Mikrochir Plast Chir* 35, 310–316
91. Kauer JM (1980)  
Functional anatomy of the wrist.  
*Clin Orthop Relat Res*, 9–20

92. Kindynis P, Resnick D, Kang HS, Haller J, Sartoris DJ (1990)  
Demonstration of the scapholunate space with radiography.  
*Radiology* 175, 278–280
93. Kitay A, Wolfe SW (2012)  
Scapholunate instability: current concepts in diagnosis and management.  
*J Hand Surg Am* 37, 2175–2196
94. Kleinlugtenbelt YV, Krol RG, Bhandari M, Goslings JC, Poolman RW, Scholtes VAB (2018)  
Are the patient-rated wrist evaluation (PRWE) and the disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH) questionnaire used in distal radial fractures truly valid and reliable?  
*Bone Joint Res* 7, 36–45
95. Koehler SM, Guerra SM, Kim JM, Sakamoto S, Lovy AJ, Hausman MR (2016)  
Outcome of arthroscopic reduction association of the scapholunate joint.  
*J Hand Surg Eur Vol* 41, 48–55
96. Kruse LM, Gray B, Wright RW (2012)  
Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review.  
*J Bone Joint Surg Am* 94, 1737–1748
97. Kuo CE, Wolfe SW (2008)  
Scapholunate instability: current concepts in diagnosis and management.  
*J Hand Surg Am* 33, 998–1013
98. Lamas C, Carrera A, Proubasta I, Llusà M, Majó J, Mir X (2007)  
The anatomy and vascularity of the lunate: considerations applied to Kienböck's disease.  
*Chir Main* 26, 13–20
99. Langer MF, Oeckenpöhler S, Breiter S, Wähnert D, Wieskötter B (2016)  
Anatomie und Biomechanik des Kahnbeins.  
*Orthopade* 45, 926–937
100. Larsen CF, Amadio PC, Gilula LA, Hodge JC (1995)  
Analysis of carpal instability: I. Description of the scheme.  
*J Hand Surg Am* 20, 757–764
101. Larsen CF, Mathiesen FK, Lindequist S (1991)  
Measurements of carpal bone angles on lateral wrist radiographs.  
*J Hand Surg Am* 16, 888–893
102. Larson TB, Stern PJ (2014)  
Reduction and association of the scaphoid and lunate procedure: short-term clinical and radiographic outcomes.  
*J Hand Surg Am* 39, 2168–2174
103. Laubenthal H (Hrsg) (2008)  
S3-Leitlinie Behandlung akuter perioperativer und posttraumatischer Schmerzen.  
Dt. Ärzte-Verl., Köln 20-33
104. Lee JIL, Nha KW, Lee GY, Kim BH, Kim JW, Park JW (2012)  
Long-term outcomes of arthroscopic debridement and thermal shrinkage for isolated partial intercarpal ligament tears.  
*Orthopedics* 35, e1204-9
105. Lee SK, Zlotolow DA, Sapienza A, Karia R, Yao J (2014)  
Biomechanical comparison of 3 methods of scapholunate ligament reconstruction.  
*J Hand Surg Am* 39, 643–650

106. Li Z-M, Kuxhaus L, Fisk JA, Christophel TH (2005)  
Coupling between wrist flexion-extension and radial-ulnar deviation.  
*Clin Biomech (Bristol, Avon)* 20, 177–183
107. Lindau TR (2016)  
The role of arthroscopy in carpal instability.  
*J Hand Surg Br* 41, 35–47
108. Links AC, Chin SH, Waitayawinyu T, Trumble TE (2008)  
Scapholunate interosseous ligament reconstruction: results with a modified Brunelli technique versus four-bone weave.  
*J Hand Surg Am* 33, 850–856
109. Linscheid RL, Dobyns JH (1992)  
Treatment of scapholunate dissociation. Rotatory subluxation of the scaphoid.  
*Hand Clin* 8, 645–652
110. Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, Bryan RS (1972)  
Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification, and pathomechanics.  
*J Bone Joint Surg Am* 54, 1612–1632
111. Logan SE, Nowak MD (1988)  
Intrinsic and extrinsic wrist ligaments: biomechanical and functional differences.  
*ISA Trans* 27, 37–41
112. Logan SE, Nowak MD, Gould PL, Weeks PM (1986)  
Biomechanical behavior of the scapholunate ligament.  
*Biomed Sci Instrum* 22, 81–85
113. Luchetti R, Atzei A, Cozzolino R, Fairplay T (2013)  
Current role of open reconstruction of the scapholunate ligament.  
*J Wrist Surg* 2, 116–125
114. MacDermid JC, Tottenham V (2004)  
Responsiveness of the disability of the arm, shoulder, and hand (DASH) and patient-rated wrist/hand evaluation (PRWHE) in evaluating change after hand therapy.  
*J Hand Ther* 17, 18–23
115. MacDermid JC, Turgeon T, Richards RS, Beadle M, Roth JH (1998)  
Patient rating of wrist pain and disability: a reliable and valid measurement tool.  
*J Orthop Trauma* 12, 577–586
116. Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RF (1976)  
The ligaments of the human wrist and their functional significance.  
*Anat Rec* 186, 417–428
117. Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RK (1980)  
Carpal dislocations: pathomechanics and progressive perilunar instability.  
*J Hand Surg Am* 5, 226–241
118. Megerle K, Bertel D, Germann G, Lehnhardt M, Hellmich S (2012)  
Long-term results of dorsal intercarpal ligament capsulodesis for the treatment of chronic scapholunate instability.  
*J Bone Joint Surg Br* 94, 1660–1665
119. Megerle K, Pohlmann S, Kloeters O, Germann G, Sauerbier M (2011)  
The significance of conventional radiographic parameters in the diagnosis of scapholunate ligament lesions.  
*Eur Radiol* 21, 176–181

120. Mehta SP, MacDermid JC, Richardson J, MacIntyre NJ, Grewal R (2015 Apr)  
A systematic review of the measurement properties of the patient-rated wrist evaluation, United States
121. Messina JC (2016)  
Scapholunate Ligament Injuries, 903–911.  
In: Randelli P, Dejour D, van Dijk CN, Denti M, Seil R (Hrsg): *Arthroscopy*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
122. Messina JC, van Overstraeten L, Luchetti R, Fairplay T, Mathoulin CL (2013)  
The EWAS Classification of Scapholunate Tears: An Anatomical Arthroscopic Study. *J Wrist Surg* 2, 105–109
123. Moojen TM, Snel JG, Ritt MJPF, Venema HW, Kauer JMG, Bos KE (2003)  
In vivo analysis of carpal kinematics and comparative review of the literature. *J Hand Surg Am* 28, 81–87
124. Moran SL, Ford KS, Wulf CA, Cooney WP (2006)  
Outcomes of dorsal capsulodesis and tenodesis for treatment of scapholunate instability.  
*J Hand Surg Am* 31, 1438–1446
125. Moritomo H, Apergis EP, Garcia-Elias M, Werner FW, Wolfe SW (2014)  
International Federation of Societies for Surgery of the Hand 2013 Committee's report on wrist dart-throwing motion.  
*J Hand Surg Am* 39, 1433–1439
126. Murray PM, Palmer CG, Shin AY (2012)  
The mechanism of ulnar-sided perilunate instability of the wrist: a cadaveric study and 6 clinical cases.  
*J Hand Surg Am* 37, 721–728
127. Nathan R, Blatt G (2000)  
Rotary subluxation of the scaphoid. Revisited.  
*Hand Clin* 16, 417–431
128. Nielsen PT, Hedeboe J (1984)  
Posttraumatic scapholunate dissociation detected by wrist cineradiography.  
*J Hand Surg Am* 9A, 135–138
129. Nienstedt F (2013)  
Treatment of static scapholunate instability with modified Brunelli tenodesis: results over 10 years.  
*J Hand Surg Am* 38, 887–892
130. Omori S, Moritomo H, Omokawa S, Murase T, Sugamoto K, Yoshikawa H (2013)  
In vivo 3-dimensional analysis of dorsal intercalated segment instability deformity secondary to scapholunate dissociation: a preliminary report.  
*J Hand Surg Am* 38, 1346–1355
131. Outerbridge RE (1961)  
The etiology of chondromalacia patellae.  
*J Bone Joint Surg Br* 43-B, 752–757
132. Palmer AK (1989)  
Triangular fibrocartilage complex lesions: a classification.  
*J Hand Surg Am* 14, 594–606
133. Papadogeorgou E, Mathoulin C (2010)  
Extensor carpi radialis brevis ligamentoplasty and dorsal capsulodesis for the



- treatment of chronic post-traumatic scapholunate instability.  
Chir Main 29, 172–179
134. Papaloizos M (2014)  
Wann, welche Behandlung bei scapho-lunären Bandverletzungen?  
Ther Umsch 71, 385–390
135. Paschos NK, Howell SM (2016)  
Anterior cruciate ligament reconstruction: principles of treatment.  
EFORT Open Rev 1, 398–408
136. Pauchard N, Dederichs A, Segret J, Barbary S, Dap F, Dautel G (2013)  
The role of three-ligament tenodesis in the treatment of chronic scapholunate instability.  
J Hand Surg Eur Vol 38, 758–766
137. Pechlaner S, Hussl H, Kerschbaumer F, Poisel S, Gratzner J (1998)  
Operationsatlas Handchirurgie.  
Thieme, Stuttgart 365-404
138. Petersen W, Rothenberger J, Schaller HE, Rahmanian-Schwarz A, Held M (2018)  
Experiences with Osteoligamentoplasty According to Weiss for the Treatment of Scapholunate Dissociation.  
J Invest Surg 31, 313–320
139. Peterson HA, Lipscomb PR (1967)  
Intercarpal arthrodesis.  
Arch Surg 95, 127–134
140. Peterson SL, Freeland AE (2010)  
Scapholunate stabilization with dynamic extensor carpi radialis longus tendon transfer.  
J Hand Surg Am 35, 2093–2100
141. Pillukat T, Kalb K, van Schoonhoven J, Prommersberger K-J (2010)  
Der Stellenwert der Arthroskopie bei der Lunatumnekrose.  
Handchir Mikrochir Plast Chir 42, 204–211
142. Pliefke J, Stengel D, Rademacher G, Mutze S, Ekkernkamp A, Eisenschenk A (2008)  
Diagnostic accuracy of plain radiographs and cineradiography in diagnosing traumatic scapholunate dissociation.  
Skeletal Radiol 37, 139–145
143. Pomerance J (2006)  
Outcome after repair of the scapholunate interosseous ligament and dorsal capsulodesis for dynamic scapholunate instability due to trauma.  
J Hand Surg Am 31, 1380–1386
144. Prommersberger K-J, Mühldorfer-Fodor M, Kalb K, Schmitt R, van Schoonhoven J (2014)  
Die skapholunäre Bandverletzung.  
Unfallchirurg 117, 723-37; quiz 738-9
145. Rauhaniemi J, Tiusanen H, Sipola E (2005)  
Total wrist fusion: a study of 115 patients.  
J Hand Surg Br 30, 217–219
146. Reinsmith LE, Garcia-Elias M, Gilula LA (2013)  
Traumatic axial dislocation injuries of the wrist.  
Radiology 267, 680–689

147. Renoux J, Zeitoun-Eiss D, Brasseur J-L (2009)  
Ultrasonographic study of wrist ligaments: review and new perspectives.  
*Semin Musculoskelet Radiol* 13, 55–65
148. Rhee PC, Sauvé PS, Lindau T, Shin AY (2014)  
Examination of the wrist: ulnar-sided wrist pain due to ligamentous injury.  
*J Hand Surg Am* 39, 1859–1862
149. Riemann BL, Lephart SM (2002)  
The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability.  
*J Athl Train* 37, 71–79
150. Ritt MJ, Linscheid RL, Cooney WP, Berger RA, An KN (1998)  
The lunotriquetral joint: kinematic effects of sequential ligament sectioning, ligament repair, and arthrodesis.  
*J Hand Surg Am* 23, 432–445
151. Rohman EM, Agel J, Putnam MD, Adams JE (2014)  
Scapholunate interosseous ligament injuries: a retrospective review of treatment and outcomes in 82 wrists.  
*J Hand Surg Am* 39, 2020–2026
152. Rosas S, Paço M, Lemos C, Pinho T (2017)  
Comparison between the Visual Analog Scale and the Numerical Rating Scale in the perception of esthetics and pain.  
*Int Orthod* 15, 543–560
153. Rosenwasser MP, Miyasajsa KC, Strauch RJ (1997)  
The RASL procedure: reduction and association of the scaphoid and lunate using the Herbert screw.  
*Tech Hand Up Extrem Surg* 1, 263–272
154. Ross M (2014)  
Scapho-luno-triquetral tenodesis.  
*AY Shin CS Day Epub - Advances in scapholunate ligament treatment*, 111–123
155. Ross M, Loveridge J, Cutbush K, Couzens G (2013)  
Scapholunate ligament reconstruction.  
*J Wrist Surg* 2, 110–115
156. Salva-Coll G, Garcia-Elias M, Hagert E (2013)  
Scapholunate instability: proprioception and neuromuscular control.  
*J Wrist Surg* 2, 136–140
157. Salva-Coll G, Garcia-Elias M, Leon-Lopez MT, Llusà-Perez M, Rodríguez-Baeza A (2011)  
Effects of forearm muscles on carpal stability.  
*J Hand Surg Eur Vol* 36, 553–559
158. Sambandam SN, Khanna V, Gul A, Mounasamy V (2015)  
Rotator cuff tears: An evidence based approach.  
*World J Orthop* 6, 902–918
159. Sauerbier M, Bickert B, Trankle M, Kluge S, Pelzer M, Germann G (2000)  
Surgical treatment possibilities of advanced carpal collapse (SNAC/SLAC wrist).  
*Unfallchirurg* 103, 564–571
160. Sauvé PS, Rhee PC, Shin AY, Lindau T (2014)  
Examination of the wrist: radial-sided wrist pain.  
*J Hand Surg Am* 39, 2089–2092
161. Schimmerl-Metz SM, Metz VM, Totterman SM, Mann FA, Gilula LA (1999)  
Radiologic measurement of the scapholunate joint: implications of biologic variation

- in scapholunate joint morphology.  
*J Hand Surg Am* 24, 1237–1244
162. Schmitt R (2015)  
 Bildgebende Diagnostik der Hand.  
 3. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 323–357
163. Schreibman KL, Freeland A, Gilula LA, Yin Y (1997)  
 Imaging of the hand and wrist.  
*Orthop Clin North Am* 28, 537–582
164. Seradge H, Baer C, Dalsimer D, Seradge A, Shafi RAR, Parker W (2004)  
 Treatment of dynamic scaphoid instability.  
*J Trauma* 56, 1253–1260
165. Short WH, Werner FW, Green JK, Sutton LG, Brutus JP (2007)  
 Biomechanical evaluation of the ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate:  
 part III.  
*J Hand Surg Am* 32, 297–309
166. Slutsky DJ (2012)  
 Current innovations in wrist arthroscopy.  
*J Hand Surg Am* 37, 1932–1941
167. Slutsky DJ (2013)  
 Outcomes assessment in wrist surgery.  
*J Wrist Surg* 2, 1–4
168. Smet L de, Goeminne S, Degreeef I (2011)  
 Failures of the three-ligament tenodesis for chronic static scapholunate dissociation  
 are due to insufficient reduction.  
*Acta Orthop Belg* 77, 595–597
169. Smet L de, Goeminne S, Degreeef I (2013)  
 Does the "three-ligament tenodesis" procedure restore carpal architecture in static  
 chronic scapholunate dissociation?  
*Acta Orthop Belg* 79, 271–274
170. Smet L de, van Hoonacker P (2007)  
 Treatment of chronic static scapholunate dissociation with the modified Brunelli  
 technique: preliminary results.  
*Acta Orthop Belg* 73, 188–191
171. Soong M, Merrell GA, Ortmann F, 4th., Weiss A-PC (2013)  
 Long-term results of bone-retinaculum-bone autograft for scapholunate instability.  
*J Hand Surg Am* 38, 504–508
172. Sousa M, Aido R, Freitas D, Trigueiros M, Lemos R, Silva C (2014)  
 Scapholunate ligament reconstruction using a flexor carpi radialis tendon graft.  
*J Hand Surg Am* 39, 1512–1516
173. Stewart DT, Froelich JM, Shin AY (2014)  
 Intercarpal arthrodeses.  
*J Hand Surg Am* 39, 373–377
174. Sulkers GSI, Schep NWL, Maas M, van der Horst CMAM, Goslings JC, Strackee SD (2014)  
 The diagnostic accuracy of wrist cineradiography in diagnosing scapholunate  
 dissociation.  
*J Hand Surg Eur Vol* 39, 263–271

175. Sulkers GSI, Strackee SD, Schep NWL, Maas M (2018)  
Wrist cineradiography: a protocol for diagnosing carpal instability.  
*J Hand Surg Br* 43, 174–178
176. Swanstrom MM, Lee SK (2015)  
Open Treatment of Acute Scapholunate Instability.  
*Hand Clin* 31, 425–436
177. Szabo RM (2014)  
Dorsal intercarpal ligament capsulodesis.  
AY Shin CS Day Epub - Advances in scapholunate ligament treatment, 84–96
178. Szabo RM, Slater RR, JR, Palumbo CF, Gerlach T (2002)  
Dorsal intercarpal ligament capsulodesis for chronic, static scapholunate dissociation: clinical results.  
*J Hand Surg Am* 27, 978–984
179. Taleisnik J (1988)  
Current concepts review. Carpal instability.  
*J Bone Joint Surg Am* 70, 1262–1268
180. Talwalkar SC, Edwards ATJ, Hayton MJ, Stilwell JH, Trail IA, Stanley JK (2006)  
Results of tri-ligament tenodesis: a modified Brunelli procedure in the management of scapholunate instability.  
*J Hand Surg Br* 31, 110–117
181. van den Abbeele KL, Loh YC, Stanley JK, Trail IA (1998)  
Early results of a modified Brunelli procedure for scapholunate instability.  
*J Hand Surg Br* 23, 258–261
182. Viegas SF, Patterson RM, Todd PD, McCarty P (1993)  
Load mechanics of the midcarpal joint.  
*J Hand Surg Am* 18, 14–18
183. Viegas SF, Yamaguchi S, Boyd NL, Patterson RM (1999)  
The dorsal ligaments of the wrist: anatomy, mechanical properties, and function.  
*J Hand Surg Am* 24, 456–468
184. Visser AW, Bøyesen P, Haugen IK, Schoones JW, van der Heijde DM, Rosendaal FR, Kloppenburg M (2015)  
Instruments Measuring Pain, Physical Function, or Patient's Global Assessment in Hand Osteoarthritis: A Systematic Literature Search.  
*J Rheumatol* 42, 2118–2134
185. Wahegaonkar AL, Mathoulin CL (2013)  
Arthroscopic dorsal capsulo-ligamentous repair in the treatment of chronic scapholunate ligament tears.  
*J Wrist Surg* 2, 141–148
186. Waters MS, Werner FW, Haddad SF, McGrattan ML, Short WH (2016)  
Biomechanical Evaluation of Scaphoid and Lunate Kinematics Following Selective Sectioning of Portions of the Scapholunate Interosseous Ligament.  
*J Hand Surg Am* 41, 208–213
187. Watson HK, Ashmead D, Makhlof MV (1988)  
Examination of the scaphoid.  
*J Hand Surg Am* 13, 657–660
188. Watson HK, Ballet FL (1984)  
The SLAC wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis.  
*J Hand Surg Am* 9, 358–365

189. Watson HK, Weinzweig J, Zeppieri J (1997)  
The natural progression of scaphoid instability.  
Hand Clin 13, 39–49
190. Weiss AP (1998)  
Scapholunate ligament reconstruction using a bone-retinaculum-bone autograft.  
J Hand Surg Am 23, 205–215
191. Werber KD, Wuttge-Hannig A, Hannig C (1990)  
Die Kinematografie, ein neues Diagnoseverfahren in der Beurteilung des verletzten schmerzhaften Handgelenkes.  
Langenbecks Arch Chir Suppl II Verh Dtsch Ges Chir, 727–729
192. Werner FW, Short WH (2018)  
Carpal Pronation and Supination Changes in the Unstable Wrist.  
J Wrist Surg 7, 298–302
193. Werner FW, Short WH, Green JK, Evans PJ, Walker JA (2007)  
Severity of scapholunate instability is related to joint anatomy and congruency.  
J Hand Surg Am 32, 55–60
194. Werner FW, Sutton LG, Allison MA, Gilula LA, Short WH, Wollstein R (2011)  
Scaphoid and lunate translation in the intact wrist and following ligament resection: a cadaver study.  
J Hand Surg Am 36, 291–298
195. White NJ, Raskolnikov D, Crow SA, Swart E, Rosenwasser MP (2010)  
Reduction and Association of the Scaphoid and Lunate (RASL): Long-term Follow-up of a Reconstruction Technique for Chronic Scapholunate Dissociation.  
J Hand Surg Am 35, 16–17
196. Wiebke Mensing  
Objektiv funktionelles, subjektives und radiologisches Outcome in Abhängigkeit vom Verletzungsalter operativ versorgter Verletzungen des skapholunären Bandes.  
Objective functional, subjective and radiological outcome in relation to the age of injury of surgically treated injuries of the scapholunate ligament
197. Wolfe SW (2022)  
Green's Operative Hand Surgery.  
8. Aufl. Elsevier Science, Philadelphia Pt.III, 439-860
198. Wolfe SW, Garcia-Elias M, Kitay A (2012)  
Carpal instability nondissociative.  
J Am Acad Orthop Surg 20, 575–585
199. WR Stecher (1937)  
Roentgenography of the carpal navicular bone.  
Am J Roentgenol 37, 704–705
200. Wright TW, Dobyns JH, Linscheid RL, Macksoud W, Siegert J (1994)  
Carpal instability non-dissociative.  
J Hand Surg Br 19, 763–773
201. (2002)  
Wrist: terminology and definitions.  
J Bone Joint Surg Am 84-A Suppl 1, 1–73
202. Zlotolow DA, Lee SK, Yao J (2020)  
Technical Errors in the Implantation of the Scapholunate Axis Method (SLAM) Resulting in Avascular Necrosis of the Lunate.  
J Hand Surg Am 45, e1

## **10 Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät und keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

01.08.2022

Frank Eichenauer