

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf

Zur operativen Behandlung der Skaphoidpseudarthrose
mittels
Bohrdrahtosteosynthese und autologer Spongiosainterposition
Analyse der Ergebnisse der therapierten Patienten von 2005 – 2018

Dissertation

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

vorgelegt von
Daniel Wolf
2025

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

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Priv.-Doz. Dr. med. habil. Dan Bieler

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Michael Bernhard

gewidmet

Meinen Eltern

und

Daniela Pronphilai, Carl Louis, Calea Anaïs, Cyril Fenris,

die mein Leben jeden Tag bereichern

Zusammenfassung

Die Skaphoidpseudarthrose ist ein handchirurgisch relevantes Krankheitsbild. Sie entsteht auf der Grundlage einer nicht erkannten oder nicht suffizient behandelten Skaphoidfraktur. Die Therapie der Skaphoidpseudarthrose variiert behandlerabhängig sehr unterschiedlich, eine aktuelle Leitlinie zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose existiert in Deutschland nicht.

In dem untersuchten Verfahren wird die Pseudarthrose über einen palmaren Zugang konsequent reseziert, eine carpale Alignmentstörung wie z.B. eine *Humpback*-Deformität des Kahnbeines oder eine DISI-Fehlstellung des Mondbeines werden korrigiert und via temporärer Bohrdrahttransfixation retiniert. Der resultierende Knochendefekt wird mit autologem Beckenkammtransplantat aufgefüllt. Die osteosynthetische Stabilisierung erfolgt mit zwei vorgelegten, retrograden Bohrdrähten. Postoperativ folgt eine Immobilisierung im Naviculare-Cast unter Daumeneinschluß für 8 Wochen. Bei regulärer Konsolidierung werden dann die Bohrdrähte anschließend entfernt.

Es wurden durch eine retrospektive Befragung die Ergebnisse von 104 Patienten ausgewertet, die im Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz von 2005 bis 2018 mittels des o.g. Verfahrens versorgt wurden. Dazu erfassten wir die postoperative Handgelenksfunktion und Beschwerden der operierten Hand. Die Befragung wurde von 41 Patienten beantwortet und fand in Form eines online oder in Papierform auszufüllenden Fragebogens statt. Darüber hinaus konnte sie durch ein Telefoninterview durchgeführt werden.

Hinsichtlich des Operationserfolges benötigten von den 41 Patienten vier Patienten eine erneute Operation, die nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit der Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mittels des untersuchten Verfahrens stand. Wir stellen damit eine Erfolgsrate von 90% fest. In der Befragung hinsichtlich der gesamtheitlichen Handgelenksfunktion wurde durchschnittlich eine signifikante Besserung im Vergleich zur präoperativen Funktion erreicht. Gemäß des *Mayo-Wrist-Scores* kann von einem „guten“ Operationsergebnis gesprochen werden. 56% der Patienten waren mit dem Operationsergebnis „sehr zufrieden“, zusätzlich waren 27% der Patienten „zufrieden“ mit dem Operationsergebnis. Bezogen auf den *DASH-Score* ließ sich bei 85% der befragten Patienten weniger als 20% Einschränkung in Funktion und Lebensqualität feststellen. 32% der Patienten wiesen eine optimale Funktion ohne jegliche Einschränkung im Alltag auf. Der durchschnittliche *DASH-Score* beträgt 7,5.

Die Versorgung der Skaphoidpseudarthrose in der hier vorgestellten Methode erwies sich als ein effektives und kostengünstiges Verfahren, welches eine gute postoperative Handgelenksfunktion gewährleistet und mit dem sich eine hohe Patientenzufriedenheit erreichen lässt.

Bei zukünftigen Arbeiten zur Versorgung der Skaphoidpseudarthrose könnten Wirtschaftlichkeit, Praktikabilität und kurze Immobilisationsdauer im Fokus stehen. Mit dem Ziel der Kostenreduktion und einer schnelleren Rückkehr zum Arbeitsplatz. Wie schon durch viele Autoren beschrieben, kann abschließend nicht ausreichend genug auf eine sorgsame Diagnostik der Skaphoidfraktur hingewiesen werden, um schon der Entstehung der Pseudarthrose vorzubeugen.

Abstract

Scaphoid non-union or pseudoarthrosis, is a relevant disorder in hand surgery. It occurs when a scaphoid fracture is undiagnosed or undertreated. Treatment of scaphoid non-union varies widely between providers and there is no current treatment guideline available in Germany.

As part of this evaluated procedure, the scaphoid pseudoarthrosis is entirely resected by use of a palmar approach. Any carpal alignment dysfunction such as a humpback deformity of the scaphoid bone or a dorsal intercalated segment instability (DISI) of the lunate bone, are also corrected during the operation. Two retrograde inserted Kirschner wires are used for temporary fixation of the reconstructed bone. The bone defect is filled with an autologous iliac crest bone graft. Postoperative immobilization of the wrist with a thumb spica cast is required for eight weeks. After this time and a regular bone healing the Kirschner wires will be removed.

To review this treatment option for scaphoid non-union, we analyzed with a retrospective survey the outcomes of 104 patients who received this surgical procedure at the Bundeswehr Central Hospital in Koblenz between 2005 and 2018. To this end, we surveyed postoperative wrist function and symptoms of the operated hand by means of a questionnaire that was completed by 41 patients. The questionnaire could be filled out online or on paper. Respondents could also opt to be interviewed over the phone instead.

Four out of the 41 patients needed another surgical procedure that was not directly associated with the management of the scaphoid non-union by the analyzed procedure. The remaining 37 of 41 patients were successfully treated with the surgical procedure presented here. This constitutes a success rate of 90%. On average, respondents scored an overall significant better wrist function than the wrist function before the operation. In terms of the Mayo Wrist Score, this procedure constitutes a “good” result. Patients were also asked to rate their satisfaction with the result of the operation: 56% reported being “very satisfied” and 27% were “satisfied”. In terms of the DASH score, 85% of respondents reported less than 20% interference with function and quality of life, while 32% reported optimal function with no limitations in everyday life. The average DASH score was as high as 7.5.

Overall, the treatment of scaphoid non-union by the analyzed procedure is effective and cost-efficient, ensures good postoperative wrist function and achieves high patient satisfaction.

Future studies on the management of scaphoid non-union could focus on cost-effectiveness, practicability and the reduction of immobilization time. To achieve cost reduction and a fast return to work. Finally, as many other authors have already highlighted, it is important to stress the need for careful diagnosis of scaphoid fractures to prevent scaphoid non-union.

Abkürzungsverzeichnis

Allgemein übliche Abkürzungen, die auch der DUDEN aufführt, werden verwendet, sind im Folgenden aber nicht verzeichnet.

1,2 ICSRA	1,2 intercompartmental supraretinacular artery= <i>interkompartimenteller supraretinakulärer Ast aus der A. radialis zw. dem 1. und 2. Strecksehnenfach</i>
A.	Arteria
Aa.	Arteriae
Abb.	Abbildung
Abteilung XIV	<i>gleichbedeutend mit „Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs- und Verbrennungsmedizin des Bundeswehrzentralkrankenhauses Koblenz“</i>
Abd.	Abduktion
Add.	Adduktion
a.p.	anterior-posterior, <i>gemeint röntgenologischer Strahlengang</i>
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
BV	Röntgenbildverstärker/ Bildwandler
BWZK	Bundeswehrzentral Krankenhaus (Koblenz)
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
DASH	Disability of Arm, Shoulder, Hand- (Score)
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DISI	Dorsal Intercalated Segment Instability
ESWT	hochenergetische extrakorporale Stoßwellentherapie
et al.	et alii, lateinisch für „und andere“, <i>meint z. B. weitere Autoren</i>
Ex.	Extension
FCR- Sehne	Sehne des Musculus flexor carpi radialis
Flex.	Flexion
gem.	gemäß
HaMiPla	„Hand-/Mikro-/Plastische Chirurgie“- Zeitschrift
IKSRA	interkompartimentelle supraretinakuläre Arterie
LA	Lokalanästhesie
Lig.	Ligamentum
LT-Band	Ligamentum lunotriquetrum
M.	Musculus
Mm.	Musculi
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
Nn.	Nervi

p.a.	posterior-anterior, <i>gemeint röntgenlogischer Strahlengang</i>
PISI	Palmar Intercalated Segment Instability
PRC	proximal row carpectomy (<i>Rettungsoperation bei irreversiblen, carpalem Kollaps</i>)
Pro.	Pronation
PROM	Patient-Reported Outcome Measures (<i>Fragebogen- Instrumente zum funktionellen Status eines Patienten mittels Selbstevaluation</i>)
PubMed	englischsprachige textbasierte Meta-Datenbank mit Referenzen auf medizinische Artikel
R.	Ramus
RAb.	Radialabduktion
Rö.	Röntgen
SD	Standartabweichung
SL-Band	Skapholunäres Band, <i>gleichbedeutend mit Ligamentum skapholunatum</i>
ST-Gelenk	Skaphotrapeziogelenk
STT-Gelenk	Skaphotrapezotrapezoidealgelenk
Sup.	Supination
Tab.	Tabelle
UAb.	Ulnarabduktion
V.	Vena
Vv.	Venae

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Knöchernes Skelett der Handwurzel von proximal</i>	<i>3</i>
<i>Abbildung 2: Knöcherne Darstellung der Handwurzelreihen</i>	<i>4</i>
<i>Abbildung 3: Darstellung arterielles Gefäßsystem Arm und Hand.....</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 4: Darstellung venöses Gefäßsystem Arm und Hand.....</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 5: Darstellung der Bewegungsumfänge des Handgelenks.....</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 6: Klassifikation der Skaphoidfraktur nach Herbert und Fisher.....</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 7: Schema Vorgehen zur Versorgung der Skaphoidfraktur</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 8: Herbert-Schraube bei Skaphoidfraktur im mittleren Drittel</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 9: DISI-Fehlstellung.....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 10: PISI-Fehlstellung.....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 11: Humpback-Deformität</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 12: Klassifikation Skaphoidpseudarthrose</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 13: Skaphoidpseudarthrose im mittleren Drittel in der CT</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 14: Skaphoidpseudarthrose mit radiolunärer Transfixation im a.p. Röntgen.....</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 15: Skaphoidpseudarthrose mit radiolunärer Transfixation im seitlichen Röntgen.....</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 16: Skaphoidpseudarthrose mit capitulunärer Transfixation im a. p. Röntgen</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 17: Skaphoidpseudarthrose mit capitulunärer Transfixation im seitlichen Röntgen</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 18: Therapieschema Versorgung der Skaphoidpseudarthrose</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 19: Schema zur Akquise des Patientenkollektivs</i>	<i>53</i>

Die in dieser Arbeit verwendeten Abbildungen dienen ausschließlich dem wissenschaftlichen Zweck und keinerlei kommerziellen Interesse. Die Bildrechte gehören gemäß den individuellen Quellenangaben den jeweiligen Lizenzinhabern und sind von einer Open Access CC-BY-Lizenz ausgeschlossen. Eine Weiterverwendung muss mit den Lizenzinhabern der Bildrechte vereinbart werden.

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Alter bei Operation in Jahren.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabelle 2: Begleitverletzungen.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabelle 3: Angaben zum initialen Trauma.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabelle 4: Lokalisation der Skaphoidpseudarthrose</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 5: Präoperative Beschwerden gem. beantworteter Fragebögen.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabelle 6: Präoperative Beschwerden gem. Patientenakten</i>	<i>63</i>
<i>Tabelle 7: Postoperative Beschwerden.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabelle 8: Postoperative Schmerzen</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle 9: Dauer der postoperativen Physio- oder Ergotherapie.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle 10: Patientenzufriedenheit.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 11: Ergebnis des DASH-Score.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle 12: Auswertung Umfang der vertikalen Bewegungsebene</i>	<i>72</i>
<i>Tabelle 13: Auswertung Umfang der horizontalen Bewegungsebene</i>	<i>72</i>
<i>Tabelle 14: Übersicht einer Auswahl an Studien zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose.....</i>	<i>78</i>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
	1.1 Ziele der Arbeit	1
	1.2 Anatomie der Handwurzel und des Handgelenks	2
	1.2.1 Knöcherne Anatomie	2
	1.2.2 Gelenke	4
	1.2.3 Bandapparat	5
	1.2.4 Gefäßversorgung	7
	1.2.4.1 Systematik der Gefäßversorgung	7
	1.2.4.2 Spezifische Beschreibung der Gefäßversorgung des Os skaphoideum	9
	1.2.5 Bewegungsumfänge des Handgelenks und des Skaphoids	9
	1.3 Die Skaphoidfraktur	12
	1.3.1 Definition und Inzidenz der Skaphoidfraktur	12
	1.3.2 Pathogenese der Skaphoidfraktur	12
	1.3.3 Symptome und Diagnostik der Skaphoidfraktur	12
	1.3.4 Klassifikation der Skaphoidfraktur	13
	1.3.5 Therapie der Skaphoidfraktur	14
	1.3.5.1 Konservative Therapie der Skaphoidfraktur	14
	1.3.5.2 Operative Therapie der Skaphoidfraktur	14
	1.3.5.2.1 Osteosynthese mittels Herbert-Schraube	17
	1.3.5.2.2 Alternative operative Therapie der Skaphoidfraktur	19
	1.4 Die Skaphoidpseudarthrose	20
	1.4.1 Definition und Charakteristika	20
	1.4.2 Pathogenese der Skaphoidpseudarthrose	20
	1.4.3 Begleitpathologien	21
	1.4.3.1 DISI-Fehlstellung	21
	1.4.3.2 PISI-Fehlstellung	22
	1.4.3.3 Humpback-Deformität	22
	1.4.3.4 SL-Bandverletzungen	23
	1.4.4 Komplikationen der Skaphoidpseudarthrose	24
	1.4.4.1 SLAC	25
	1.4.4.2 SNAC	25
	1.4.5 Symptome und Diagnostik der Skaphoidpseudarthrose	26
	1.4.6 Differentialdiagnosen zur Skaphoidpseudarthrose	27
	1.4.6.1 Morbus Preiser	27
	1.4.7 Klassifikation der Skaphoidpseudarthrose	28
	1.4.8 Therapie der Skaphoidpseudarthrose	28

	1.4.8.1 Kurative Verfahren	28
	1.4.8.1.1 Herbert-Schraube	29
	1.4.8.1.2 Gestieltes Radiustransplantat	29
	1.4.8.1.3 Matti-Russe-Plastik	31
	1.4.8.1.4 Freies mikrovaskuläres Femurtransplantat	31
	1.4.8.2 Rettungsoperationen	33
	1.4.8.2.1 Mediokarpale Teilarthrodese	33
	1.4.8.2.2 Proximal Row Carpectomy	34
2	Literaturdiskussion	35
	2.1 Literaturdiskussion zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose	38
	2.1.1 Kurative Verfahren	38
	2.1.1.1 Herbert-Schraube	38
	2.1.1.2 Gestieltes Radiustransplantat	39
	2.1.1.3 Matti-Russe-Plastik	40
	2.1.1.4 Freies mikrovaskuläres Femurtransplantat	41
	2.1.2 Rettungsoperationen	41
	2.1.2.1 Mediokarpale Teilarthrodese	41
	2.1.2.2 Proximal Row Carpectomy	42
	2.1.3 Zusammenfassung Therapie der Skaphoidpseudarthrose	42
3	Material und Methoden	44
	3.1 Datenerhebung und Patientengut	44
	3.2 Der Befragungsbogen	45
	3.3 Statistische Auswertung	46
	3.4 Deskriptive Statistik	46
	3.5 Analytische Statistik	46
	3.6 Das untersuchte Verfahren	47
	3.7 Vorgehen zur Patientenakquise	52
	3.8 Erhobene Daten	54
4	Ergebnisse	57
	4.1 Biometrische Daten	57
	4.2 Allgemeine medizinische Daten	58
	4.3 Daten Befragungsbogen	62
	4.3.1 Präoperative Beschwerden	62
	4.3.2 Postoperative Beschwerden	64
	4.3.3 Arbeitsunfähigkeit	64
	4.3.4 Voroperationen	65
	4.3.5 Reoperation und Operationserfolg	65
	4.3.6 Postoperativer Schmerz	67
	4.3.7 Postoperative Physio- oder Ergotherapie	68
	4.3.8 Aktuelle Handgelenksfunktion	68

	4.3.9 Modifizierter Mayo-Wrist-Score	69
	4.3.10 Patientenzufriedenheit	70
	4.3.11 Angepasster DASH-Score	70
	4.3.12 Aktueller Bewegungsumfang	71
5	Diskussion und Limitation	73
	5.1 Funktionalität des Studienkollektivs	73
	5.1.1 Größe des Studienkollektivs und Nachbeobachtungszeitraum	73
	5.1.2 Geschlechterverteilung	74
	5.1.3 Alter	74
	5.1.4 Initiales Trauma	75
	5.1.5 Lokalisation der Pseudarthrose	76
	5.2 Begleitverletzungen	76
	5.3 Operationserfolg	77
	5.3.1 Konsolidierungsrate	77
	5.3.2 Postoperative Handgelenksfunktion	78
	5.3.3 Postoperative Schmerzfreiheit und Patientenzufriedenheit	82
	5.3.4 Hospitalisierung und Rückkehr zum Arbeitsplatz	83
	5.4 Limitationen	84
6	Literaturverzeichnis	86
7	Anhang	101
	7.1 Patientenfragebogen	101
	7.2 Messblatt DGUV	106
8	Danksagung	107

1 Einleitung

1.1 Ziele der Arbeit

Die Skaphoidpseudarthrose ist ein handchirurgisch relevantes Krankheitsbild, das zur Einschränkung der Lebensqualität führen kann. Dies ist vor allem durch die Bedeutung des Os skaphoideum für eine suffiziente Funktion des Handgelenkes zu erklären. Die Pseudarthrose entsteht auf Grundlage einer Fraktur des Os skaphoideum, wobei sich durch Ausbleiben der knöchernen Heilung ein Falschgelenk bildet. Die Kahnbeinfraktur ist mit einer Inzidenz von 22- 43 auf 100 000 Einwohner die häufigste Fraktur der Handwurzelknochen [1-5] und betrifft vorrangig junge aktive Männer im Alter zwischen 20-30 Jahren. [3, 6] Im Alter von 20-40 Jahren beträgt das Verhältnis der Inzidenz von Männern zu Frauen 6 zu 1. [1, 7] Anders als bei der Skaphoidfraktur lässt sich die exakte Inzidenz der Skaphoidpseudarthrose in Deutschland in der Literatur nicht nachvollziehen. Die erkannte und operativ oder konservativ therapierte Kahnbeinfraktur weist eine Heilungsrate von über 90% auf, wenn die Dislokation der Frakturanteile unter 1 mm beträgt. [8, 9] Frakturen mit einer Dislokation größer als 1 mm zeigen dagegen eine Inzidenz der Nichtvereinigungsrate von 55%. [8] In der Literatur wird eine allgemeine Pseudarthroserate unabhängig des Frakturausmaßes der Skaphoidfraktur u. a. mit 10-15% angegeben. [10] Am häufigsten hinsichtlich Fraktur und Pseudarthrose ist dabei das mittlere Drittel des Skaphoids betroffen. [7] Das vorrangig junge Patientenlientel, die Häufigkeit und das erschwerte korrekte Erkennen der Verletzung geben der Behandlung der Skaphoidfraktur und Skaphoidpseudarthrose eine wichtige Bedeutung.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Therapie der Skaphoidpseudarthrose. Gängige Therapiekonzepte werden im Verlauf der Arbeit erläutert und ihre Erfolgsraten beurteilt. Eine aktuelle deutsche Leitlinie zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose existiert nicht. Die existierende Leitlinie ist letztmalig 2002 aktualisiert wurden. Diese veröffentlichte die Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie lediglich in der Entwicklungsstufe 1, im Sinne einer S1-Leitlinie als Konsens einer Expertengruppe. [11] Die angewandten Verfahren sind regional und behandlerabhängig sehr heterogen. [10] Diese Arbeit stellt die in der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs- und Verbrennungsmedizin des Bundeswehrzentralkrankenhaus Koblenz (Abteilung XIV) angewandte Technik dar und wertet die Ergebnisse der damit behandelten Patienten von den Jahren 2005 bis 2018 im Rahmen einer monozentrischen retrospektiven Studie aus. In der Abteilung XIV

des BWZK Koblenz gibt es seit 2005 ein festgeschriebenes Verfahren und einen eigenen Behandlungsalgorithmus für die Skaphoidpseudarthrose.

- Diese Arbeit verfolgt das Ziel, sichtbar zu machen, ob eine Versorgung der Skaphoidpseudarthrose ohne Verbleib von Fremdmaterial im Körper Vorteile bietet.
- Es soll geprüft werden, ob das untersuchte Verfahren gleichwertige Ergebnisse liefert wie andere etablierte Verfahren.
- Gleichzeitig erlaubt ein umfangreicher Datensatz auch die Darlegung von Zusammenhängen und bietet die Möglichkeit etablierte Behandlungsabläufe immer wieder kritisch zu prüfen. Der Überprüfung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Das in unserer Klinik praktizierte Verfahren strebt ein fremdmaterialfreies Ausheilen, ein möglichst praktikables und sicheres operatives Vorgehen an, um das Voranschreiten der Erkrankung bestmöglich zu verhindern.

Abschließend wird ein Ausblick auf zukünftige Themen im Zusammenhang mit der Skaphoidpseudarthrose gegeben und es werden die Limitationen dieser Arbeit beschrieben.

1.2 Anatomie der Handwurzel und des Handgelenks

Um den Pathomechanismus der Entstehung und die Relevanz der Skaphoidpseudarthrose zu erfassen ist eine genauere Betrachtung der Anatomie notwendig.

1.2.1 Knöcherne Anatomie

Gemäß Langer et al. vergab Michael Lyser (1626-1660) als erstes einen Namen für das Kahnbein und nannte es noch „*Os cotyloid*“. Das leitet sich aus dem Griechischen „*κοτυλη*“ (kotyle) ab, was so viel bedeutet wie „Becher“ oder „Löffel“. [12] Einen vorübergehenden Namen erhielt es später durch Bernard Siegfried Albinus (1697-1770) für den deutschsprachigen Bereich mit „*Os naviculare*“, was seinen Ursprung im lateinischen Wort „*navicula*“ besitzt und bekanntermaßen Schiffelein oder Kahn meint. Alexander Monro (1697-1767) prägte im englischsprachigen Raum die Bezeichnung des „*Os skaphoideum*“, welches sich von dem griechischen Wort „*σκαφη*“ (skaphe) ableitet und „Graben“ oder „Grube“ bedeutet. [12] Durch die Aktualisierung der Nomina Anatomica wurde 1955 in Paris festgelegt, dass das Kahnbein als „*Os skaphoideum*“ zu bezeichnen ist (vgl. Pariser *Nomina Anatomica* von

1955, herausgegeben von dem *International Anatomical Nomenclature Committee*). Diese Festlegung war im Wesentlichen notwendig, um eine Verwechslung mit dem *Os naviculare* des Fußes zu vermeiden.

Die durchschnittliche Länge des Kahnbeins wird von Rainer Schmitt und Ulrich Lanz mit ca. 20-25 mm angegeben. [13] Sie haben die Handwurzelknochen mittels radiologischer Verfahren vermessen. Sowohl Ahrend et al. als auch Pichler et al. berichten in ihren radiologischen Vermessungen mittels CT und 3D-

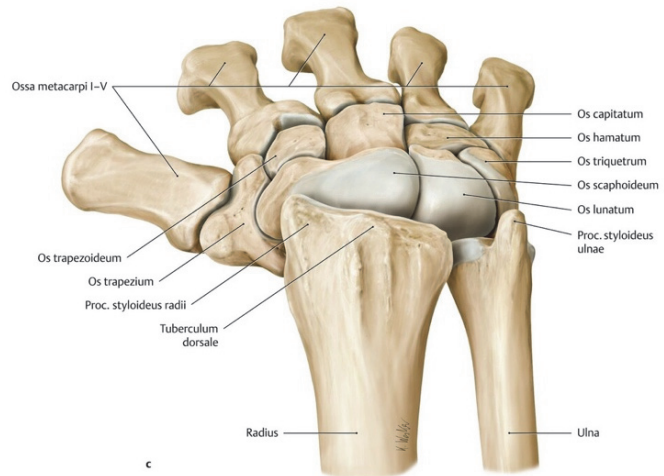


Abb. 1: Knöchernes Skelett der Handwurzel von proximal

(Quelle: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Knochen der freien Gliedmaße: Handwurzelknochen. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K, Hrsg. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5. vollständig überarbeitete Auflage. © 2018. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstr. 14, 70469 Stuttgart, Deutschland)

Rekonstruktion von einer durchschnittlichen Länge des Skaphoids von 26 mm, jedoch mit einer ausgeprägten Variation. [14, 15] Beide betonen die unterschiedlichen Proportionen des Kahnbeins zwischen Mann und Frau. Heinzelmann et al. beziehen ihre Werte aus anatomischen Studien und geben eine Länge von 31,3 mm (SD $\pm$ 2,1 mm) bei Männern und 27,3 mm (SD $\pm$ 1,7 mm) bei Frauen an. [16] Le Minor et al. und Heinzelmann et al. haben für die Breite folgende Werte beschrieben: im proximalen Polbereich bei 4,5 mm (SD $\pm$ 1,4 mm) für Männer und 3,7 mm (SD $\pm$ 0,5 mm) bei Frauen, im mittleren Abschnitt des Kahnbeins besteht eine Breite von 13,6 mm (SD $\pm$ 2,6 mm) bei Männern und 11,1 mm (SD $\pm$ 1,2 mm) bei Frauen. [17] Der distale Pol des Kahnbeins hat eine Breite 7,2 mm (SD $\pm$ 1,0 mm) bei Männern und 7,2 mm (SD $\pm$ 1,2 mm) bei Frauen. Daraus lässt sich erkennen, dass man das Kahnbein anatomisch in drei Teile einteilen kann. Das proximale Drittel – auch proximaler Polabschnitt genannt, das mittlere Drittel – auch Taille oder Schaft genannt und das distale Drittel – auch distaler Polabschnitt genannt. [18] Die knöcherne Anatomie ist jedoch weitaus komplexer. So sind die beiden Seiten des *Os skaphoideum* konkav geformt. Der proximale und distale Pol sind unterschiedlich ausgerichtet, was durch den intraskaphoidalen Winkel beschrieben wird. [12]

Das Kahnbein steht im Verbund mit den anderen Handwurzelknochen. Von radial nach ulnar bilden *Os skaphoideum* (Kahnbein), *Os lunatum* (Mondbein), *Os triquetrum* (Dreieckbein) und *Os pisiforme* (Erbsenbein) die proximalen Handwurzelreihe. Die proximale

Handwurzelreihe bildet mit dem *Radius* (Speiche) das proximale Handgelenk (*Articulatio radiocarpalis*). Im distalen Handgelenk (*Articulatio mediocarpalis*) artikuliert die proximale Handwurzelreihe mit der distalen Handwurzelreihe. Diese setzt sich von radial nach ulnar aus dem *Os trapezium* (großes Vieleckbein), *Os trapezoideum* (kleines Vieleckbein), *Os capitatum* (Kopfbein) und *Os hamatum* (Hakenbein) zusammen.

1.2.2 Gelenke

Das Handgelenk besteht aus dem proximalen Handgelenk (*Articulatio radiocarpalis*) und dem distalen Handgelenk (*Articulatio mediocarpalis*). Die Gelenkpfanne des proximalen Handgelenks wird von der *Facia articularis carpalis* des Radius und dem *Discus articularis* der Ulna gebildet, welche mit den karpalen Knochen (*Os skaphoideum*, *Os lunatum* und *Os triquetrum*) als Gelenkkopf artikulieren. [19] Das distale Handgelenk (*Articulatio mediocarpalis*) bildet den anderen Teil der Funktion des gesamten Handgelenks ab. Hierbei artikulieren *Os trapezium*, *Os trapezoideum*, *Os capitatum* und *Os hamatum* zusammen gegen *Os skaphoideum*, *Os lunatum* und *Os triquetrum*. [20]

Das *Os skaphoideum* ist dabei an beiden Gelenken beteiligt und nimmt eine wichtige Rolle ein. Es sind mindestens drei Viertel des Skaphoids mit Knorpel bedeckt. [1] Teilweise wird sogar von 90% gesprochen. [13] Das Skaphoid artikuliert proximal vorwiegend mit dem Radius in der *Fossa skaphoidei radii*, aber auch ulnar mit dem *Os lunatum* im Bereich der *Facies articularis lunata*, dort stellt sich die skapho-

lunäre Artikulation dar. Distal artikuliert es mit dem *Os trapezium* und *Os trapezoideum* im STT-Gelenk. Dieses Gelenk, ursprünglich als starre funktionelle Einheit vermutet, zeigt jedoch physiologisch kleine, aber relevante Bewegungen untereinander. [21] Zusätzlich, artikuliert das *Os skaphoideum* mit dem *Tuberculum ossis skaphoidei* und dem distalen

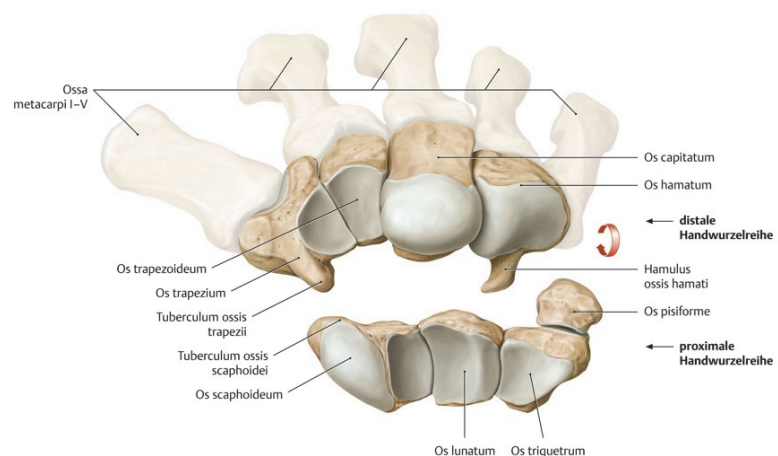


Abb. 2: Knöcherne Darstellung der Handwurzelreihen

(Quelle: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Knochen der freien Gliedmaße: Handwurzelknochen. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K, Hrsg. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5. vollständig überarbeitete Auflage. © 2018. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstr. 14, 70469 Stuttgart, Deutschland)

Abschnitt der Gelenkfläche mit dem proximalen Anteil der Gelenkfläche des *Os capitatum*. Weiterhin ulnar aber im Bereich der großen und konkaven Gelenkfacette des Skaphoids artikuliert es mit dem Capitatumkopf im Mediokarpalgelenk. [22]

1.2.3 Bandapparat

Der Bandapparat im Handwurzelbereich wirkt auf das proximale und distale Handgelenk, die eine funktionelle Einheit darstellen, da an den proximalen Handwurzelknochen keine Muskeln ansetzen. [19]

Der Bandapparat ist wichtig für die Funktionalität des Handgelenks und der Handwurzel. Knöcherne Verletzungen gehen häufig mit Verletzungen des Bandapparats einher. [23, 24] Verletzungen im Bandapparat können aber auch ohne knöchernen Schaden entstehen. In beiden Fällen verursachen Bandverletzungen häufig Beschwerden. Besondere Bedeutung hat das *Lig. skapholunatum* (SL-Band). Es ist zusammen mit dem die *Lig. lunotriquetrum* (LT-Band) Teil des intrinsischen Bandsystems. Die intrinsischen Bänder verlaufen zwischen den unterschiedlichen Handwurzelknochen. [25, 26] Welche sowohl dieselbe karpale Reihe wie auch proximale und distale Handwurzelreihe miteinander verbinden. [27] Dabei verbindet das SL-Band das *Os skaphoideum* mit dem *Os lunatum*. Es verläuft konkordant an seinem posterioren Anteil und schräg an seinem anterioren Anteil, damit erlaubt es eine signifikante relative Bewegung zwischen den beiden Knochen. [28] Für den posterioren Anteil des SL-Bandes wird häufig synonym die Bezeichnung „dorsal“ verwendet, für den anterioren Anteil hingegen „palmar“. In der Bewegung von voller Extension in die volle Flexion weist das Skaphoid einen relevanten Rotationsumfang auf. Zusätzlich besitzen die unterschiedlichen Anteile des SL-Bandes unterschiedliche Widerstände, wobei der posteriore Anteil widerstandsfähiger ist. [28] Dies bedingt die Anfälligkeit des SL-Bandes für Verletzungen, was zu einer karpalen Instabilität führen kann. [29] Durch Verletzungen des SL-Bandes kann es zur Entkoppelung zwischen dem *Os lunatum* und *Os skaphoideum* kommen, welche aufgrund der restlichen intakten Bandverbindungen dann gegensätzliche Rotationsbestrebungen haben. Was letztendlich durch eine Bewegungskombination von palmarer Flexion, Pronation und Translation zur so genannten Rotationssubluxation des *Os skaphoideums* führt. [30]

Weitere Relevanz hat das V-förmige *Lig. skaphotrapezium*. Es befindet sich an der Radiopalmarseite des distalen Skaphoidpols und zieht zum *Os trapezium*. Zusammen mit den *Lig. skaphocapitatum* sind beide Bänder für eine bewegliche Befestigung des distalen

Skaphoidpols verantwortlich. Das *Lig. skaphocapitatum* hat den größten Anteil an Fläche am Skaphoid, wobei die klinische Bedeutung vermeintlich noch unterschätzt wird. [12]

Ergänzend zu dem intrinsischen Bandapparat, welche wie o.g. als kurze Bänder die Handwurzelknochen der proximalen Handwurzelreihe rotatorisch gegeneinander koppeln, existiert der extrinsische Bandapparat. [25] Der extrinsische Bandapparat besteht aus den dorsalen und palmaren V- Bändern. [25, 26] Das dorsale extrinsische V- Band spannt sich mit dem *Lig. radiolunotriquetrum dorsale* vom Radius zum *Os triquetrum*, sowie mit dem *Lig. intercarpale dorsale* vom *Os triquetrum* zum *Os skaphoideum*, *Os trapezium* und *Os trapezoideum*. Zusammen sehen diese beiden Bänder V- förmig aus und limitieren die palmare Flexion. [31] Das dorsale V-Band ist schwächer als die palmaren V-Band Strukturen. [31] Die palmaren V- Bänder kann man in einen proximalen und einen distalen Anteil unterscheiden. Beide bilden jeweils auch eine V- förmige Struktur, welche mit den offenen Seiten aufeinander zulaufen und mittig eine bandfreie Lücke, die Poirier- Lücke, bilden. [25] Die Hauptaufgaben der palmaren V- Bänder sind neben der Gewährleistung der karpalen Stabilität, die Begrenzung der radialen und ulnaren Deviation, sowie Begrenzung der dorsalen Flexion. [31]

Zusätzlich gibt es noch die so genannten Binnenbänder (*Ligamenta intercarpalia interossea*), welche die benachbarten Karpalknochen miteinander verbinden. Sie begrenzen deren Kipp- und Schiebebewegungen gegeneinander. [19]

1.2.4 Gefäßversorgung

1.2.4.1 Systematik der Gefäßversorgung [32, 33]

Die arterielle Gefäßversorgung beginnt bei den *Arteriae subclaviae*. Die *A. subclavia* für den rechten Arm entspringt aus dem *Truncus brachiocephalicus* und für den linken Arm direkt aus dem Aortenbogen. Die *A. subclavia* setzt sich zunächst als *A. axillaris* anschließend als *A. brachialis* fort. Die *A. brachialis* teilt sich im Bereich der Ellenbeuge in die *A. radialis* und *A. ulnaris* auf. Die „*A. radialis* zieht von der Teilung der *A. brachialis* auf der radialen Seite des Unterarms zwischen *M. brachioradialis* und *M. flexor carpi radialis* zur Handwurzel und endet im *Arcus palmaris profundus*.“ [32] Die *A. radialis* gibt dabei den *R. carpalis palmaris* ab, welcher im *Rete carpalis palmare* mündet. Anschließend geht der *R. carpalis dorsalis* ab, welcher wiederum im *Rete carpalis dorsale* endet. *Rete carpi palmare* und *dorsale* bilden dann letztendlich die Versorgung das *Os skaphoideum*. [34]

Die *A. ulnaris* verläuft unter dem *M. pronator teres* am ulnaren Unterarm und mündet in dem *Arcus palmaris superficialis*. Auf dem Weg gibt sie die *A. interossea communis* ab und ist mit dieser Abzweigung, dem *R. carpalis palmaris* und dem *R. carpalis dorsalis* am *Rete carpi palmare* und *dorsale* beteiligt.

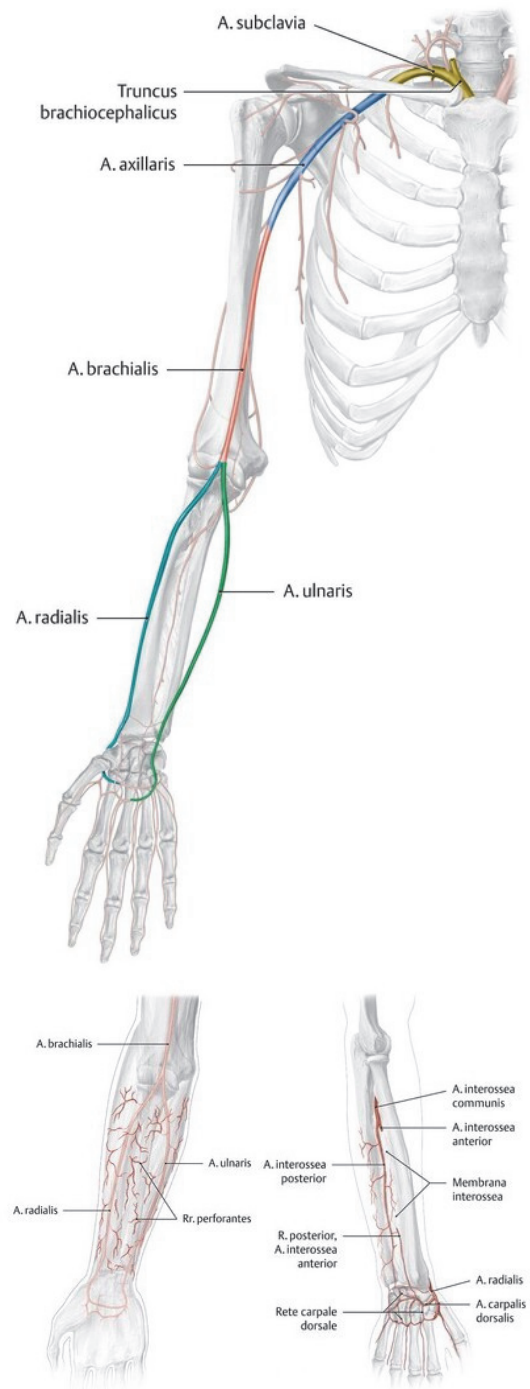


Abb. 3: Darstellung arterielles Gefäßsystem Arm und Hand

(Quelle: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Systematik der Leitungsbahnen. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K, Hrsg. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5. vollständig überarbeitete Auflage. © 2018. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstr. 14, 70469 Stuttgart, Deutschland)

Bei der venösen Gefäßversorgung unterscheidet man zwischen dem tiefen Venensystem (*Vv. profundae membri superioris*) und dem oberflächlichen Venensystem (*Vv. superficiales membri superioris*). Diese beiden Systeme sind vielfach durch *Vv. perforantes* miteinander verbunden.

Der Rückfluss im tiefen Venensystem beginnt am *Arcus venosus palmaris profundus* und setzt sich über die *Vv. interossee anteriores et posteriores* fort, welche in die *Vv. ulnares* und *Vv. radiales* münden. Diese vereinen sich ähnlich zu den arteriellen Konterparts im Bereich der Ellenbeuge zu den *Vv. brachiales*. Die Venen sind bis dahin mehrfach angelegt und individuell unterschiedlich ausgeprägt. Erst die *V. axillaris* und *V. subclavia* stellen eigenständige Gefäße dar. Das rückströmende Blut des rechten Arms konfluiert aus der rechten *V. subclavia* im Venenwinkel hinter dem Sternoklavikulargelenk in etwa im 90°-Winkel mit der *V. jugularis interna* und fließt dann in die *V. brachiocephalica*. Beide *Vv. Brachiocephalicae* (rechts und links) vereinigen sich zur *Vena cava superior*.

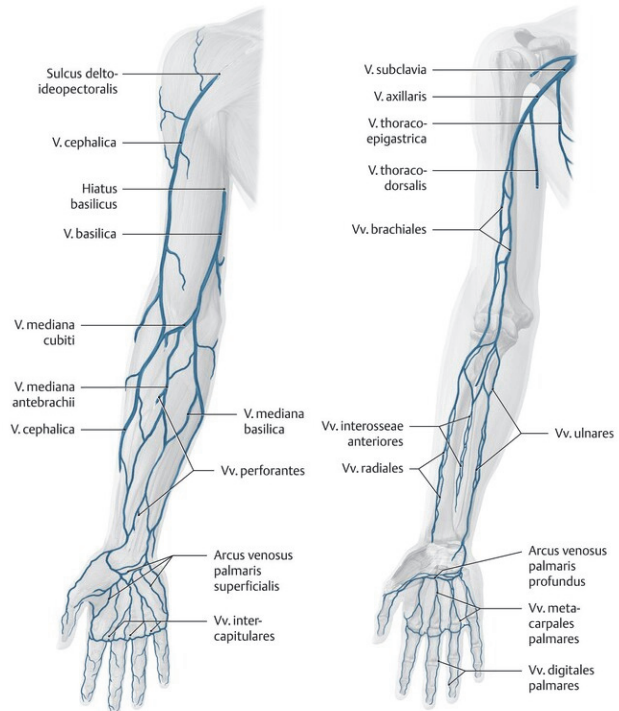


Abb. 4: Darstellung venöses Gefäßsystem Arm und Hand

(Quelle: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Systematik der Leitungsbahnen. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K, Hrsg. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5. © 2018. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstr. 14, 70469 Stuttgart, Deutschland)

Die oberflächlichen Venen beginnen am *Arcus venosus palmaris superficialis* und mit dem *Rete venosum dorsale manus*. Von da aus geht das Blut über die *Vv. medianae* in die *Vv. brachialis*. Dann ist der Verlauf idem zu dem oben genannten. Die *Vv. medianae* beinhalten unter anderen die oberflächliche *V. cephalica* oder auch *V. cubiti*, welche aufgrund ihrer Lage häufig zur venösen Blutentnahme genutzt werden. Dafür bietet sich ebenfalls die teilweise sehr variabel verlaufende *V. basilica* an. „Sie zieht aus der Ellenbeuge zunächst epifaszial im *Sulcus bicipitalis medialis* zum *Hiatus basilicus* [...]“ und endet in der ulnaren *V. brachialis*. [33]

1.2.4.2 Spezifische Beschreibung der Gefäßversorgung des Os skaphoideum

Die Gefäßversorgung des *Os skaphoideum* besitzt klinisch eine hohe Relevanz und soll daher genauer betrachtet werden. Die intra- und extraossäre Blutversorgung der Karpalknochen hat Einfluss auf die Entstehung von avaskulären Nekrosen nach vorausgegangenen Traumata. [35] 70-83% der gesamten Durchblutung des proximalen Pols und der intraossären Durchblutung erhält das Skaphoid durch die von dorsal-distal kommenden Ästen der *A. radialis*. [36, 37] 20-30% der Blutversorgung erhält es von den volaren Ästen der *A. radialis*. Somit kann durch einen volaren Zugang bei operativer Versorgung die relevante Gefäßversorgung geschont werden. [37] Das Skaphoid hat ein gutes Kollateralsystem zur Versorgung. [38] Dennoch besteht für den proximalen Pol des Skaphoids die Gefahr, aufgrund der anatomischen Gefäßversorgung, im Rahmen einer Fraktur eine kompromittierte Durchblutung zu erhalten. [39] Zusätzlich dazu haben Morsy et al. 2019 mittels CT-Untersuchungen einen Unterschied der intraossären Versorgung festgestellt. Auch das könnte einen Einfluss auf die Entstehung der Skaphoidpseudarthrose haben. Morsy et al. teilen die Patienten in zwei Typen ein, wobei Typ I eine robustere vaskuläre Versorgung aufweist und Typ II nur eine eingeschränkte vaskuläre Versorgung. [36]

1.2.5 Bewegungsumfänge des Handgelenks

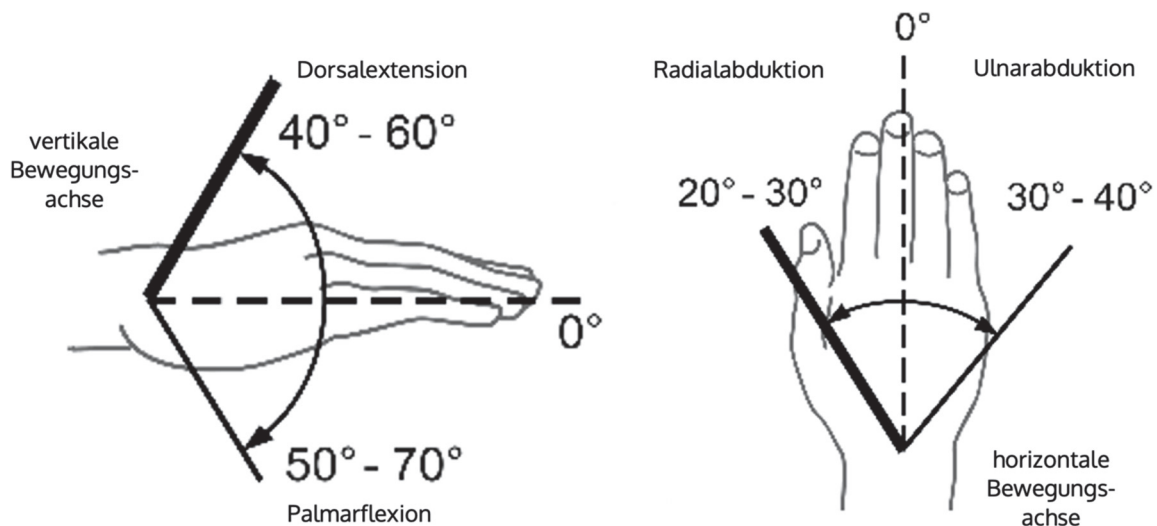


Abb. 5: Darstellung der Bewegungsumfänge des Handgelenks

(Quelle: Aus „Messblatt obere Gliedmaßen“, F4222, https://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/f_4222/f4222.pdf, Abgerufen 27.10.2023. Mit freundlicher Genehmigung der DGUV.)

Das Handgelenk besitzt zwei Handgelenksachsen. Die vertikale Bewegungsachse, die sich in Form von Palmarflexion und Dorsalextension darstellt. Die andere Bewegungsachse ist

die horizontale Bewegungsachse in Form der Radialabduktion (entspricht Ulnaradduktion oder Ulnarduktion) und der Ulnarabduktion (entspricht Radialadduktion oder Radialduktion). Aus der Neutralnullposition werden für das Handgelenk in der vertikalen Bewegungsrichtung Normalwerte von 80° Palmarflexion und 60° Dorsalextension angegeben, in der horizontalen Bewegungsrichtung sind es bei der Radialabduktion in 20° und für die Ulnarabduktion 40°. [19] Die Mittelwerte der Bewegungsumfänge fallen in der Realität sogar teilweise geringer aus. [40, 41]

Der Bewegungsumfang des Handgelenks hat eine wichtige Bedeutung im Alltag, sowohl bei isolierten Bewegungen aber auch bei komplexeren Bewegungsmustern. So erfordert zum Beispiel das Einschenken von Wasser aus einem Krug in ein Glas viel funktionalen Bewegungsumfang. [42] Sportlich relevant im Bereich der vertikalen Bewegungsmuster ist beispielsweise die maximale dorsale Extension bei Liegestützen, Gewichtheben oder Turnen. [43] Horizontale Bewegungen verbunden mit ulnarem Stress findet man zum Beispiel bei Tennis- und Baseballspielern. [43]

Die Erfassung und Dokumentation des Bewegungsumfangs im Handgelenk ist anamnestischer Standard und sollte bei jeglichen Beschwerden im Hand- und Unterarmbereich bereits bei der ersten ärztlichen Konsultation erfolgen. Eine Standardisierung der Erfassung und Dokumentation ist dabei einzuhalten und zu fokussieren. Die Dokumentation kann mit Hilfe der Neutralnullmethode erfolgen. Die Deutsche gesetzliche Unfallversicherung stellt dafür standardisierte Untersuchungsbögen zur Verfügung (F 4222 0117, Messblatt obere Gliedmaßen, Deutsche gesetzliche Unfallversicherung, vgl. Anhang 7.2). Eine wohl gängigste und valide Messmethode ist die mittels Goniometer. Jedoch kann es auch hier zu Abweichungen kommen. [44, 45]

So haben Nizamis et al. eine validere Messmethode mittels *optical sensor (Leap motion sensor)* versucht [46] und kamen zu dem Ergebnis, dass der Sensor nach noch notwendigen Verbesserungen durchaus klinisch zu verwenden wäre. Ge et al. haben das Erfassen des Bewegungsumfangs mittels Smartphone-Fotographie untersucht, was sie als verlässliche und valide Methode bezeichnen, um den Bewegungsumfang des Handgelenks von Patienten zu erfassen. [47]

Die komplexe Kinematik der karpalen Knochen und der beteiligten Gelenke bei Bewegungen ist klinisch relevant. So findet zum Beispiel die radioulnare Bewegung, auch als Deviation bezeichnet, vor allem im Mediokarpalgelenk statt. Dabei kommt es bei einer

Radialabduktion zu einer Flexionsbewegung des *Os skaphoideum* und *Os lunatum*. Diese Bewegung findet außerhalb der planen Bewegungsebene statt, relativ zum Radius betrachtet. Im Vergleich dazu führt das *Os capitatum* eine Extensionsbewegung durch, was wiederum auch außerhalb der planen Bewegungsebene im Vergleich zum Radius stattfindet. Diese Bewegungen in Kombination führen zu einer in-planen radioulnaren Bewegung des Handgelenks. [48]

Eine Nichtvereinigung des *Os skaphoideum* hat nur einen geringen Einfluss auf die Bewegung des *Os skaphoideums* und der Trapezium- Trapezoid- Bewegungen, jedoch beeinflusst es die Bewegung des *Os lunatums*. [49] Bei einer Nichtvereinigung des *Os skaphoideums* kommt es zu einer verstärkten Veränderung der Position des *Os lunatums* im Raum. Das *Os lunatum* führt dann im Wesentlichen eine verstärkte Extension durch. Die meiste Bewegung des *Os skaphoideum* und *Os lunatum* findet bei einem radioulnaren Bewegungsbogen im Bereich von der Neutralnullposition zu 20° Ulnardeviation statt. [50] Gerade diese Position ist im Alltag häufig und erfordert eben ausreichend Bewegungsfreiheit des o. g. karpalen Gefüges. Auch geringe Bewegungseinschränkungen dieser beiden karpalen Knochen können somit bereits Beschwerden im Alltag erzeugen. Die geringste Bewegung dieser beiden karpalen Knochen ist bei maximaler radialer Deviation zu beobachten. [50] Bei maximaler Flexion des Handgelenks findet man 75% der maximal möglichen Bewegung im radioskaphoidalen Gelenk und 50% der maximal möglichen Bewegung im radiolunären Gelenk. In Extension dagegen sind es sogar 92% Gelenkbewegung radioskaphoidal und 52% radiolunär. [51]

Anders formuliert kann man sagen, dass die Längsachsen der Hand/ Finger in Normalposition nahezu parallel stehen. Die Längsachse des abduzierten Daumens und der gespreizten Finger konvergieren dann auf einen gemeinsamen Schnittpunkt im *Os capitatum*. Bei Beugung stellt sich das anders dar, hier konvergieren die Achsen auf einen gemeinsamen Schnittpunkt im *Os skaphoideum*. [52] Der große Anteil des Skaphoids an der Handgelenksbewegung erklärt die Beschwerden, wenn es zu einer Strukturstörung des *Os skaphoideums* kommt. Dies kann dann ebenfalls schnell einen relevanten Einfluss auf den gesamten Bewegungsumfang des Handgelenks haben.

Ggf. sind radiologische Bewegungsaufnahmen präoperativ notwendig, um die Komplexität der karpalen Kinematik zu verstehen und bei klinisch komplexen Fragestellungen eine bessere operative Versorgung zu gewährleisten. [53]

1.3 Die Skaphoidfraktur

1.3.1 Definition und Inzidenz der Skaphoidfraktur

Die Skaphoidfraktur definiert sich durch die traumatische Konturunterbrechung der Kortikalis des *Os skaphoideum*. Eine in der Literatur angegebene Inzidenz liegt für die Skaphoidfraktur bei 22-43 pro 100000 Einwohnern und ist damit die häufigste Fraktur der Handwurzelknochen. [2, 3, 54, 55] Wells et al. beschrieben erst vor kurzen im Rahmen einer Auswertung der US-amerikanischen Trauma Datenbank eine Inzidenz von 286 gerechnet auf 100 000 Patientenjahre. [56] Die Skaphoidfraktur nimmt 2-7% aller Frakturen ein. [57] Sie bildet die Ursache der Entstehung einer Pseudarthrose und bedarf daher einer adäquaten Therapie. Häufig wird die Skaphoidfraktur übersehen. [1, 58] Am häufigsten betrifft sie das mittlere Drittel. In der Literatur wird eine Häufigkeit des mittleren Drittels von bis zu 80% angegeben. [7, 59]

1.3.2 Pathogenese der Skaphoidfraktur

Entstehungsgrund der Skaphoidfraktur ist meist ein indirektes Trauma, zum Beispiel durch Sturz auf die ausgestreckte Hand. [55] Der zugrunde liegende Mechanismus der Fraktur ist dann häufig eine Hyperextension im Handgelenk mit palmaren *impact*. [60] Dies geschieht zum Beispiel beim Fußball als Torwart [61, 62] oder beim *rollerblading/ skaten* [63]. Aber auch bei außergewöhnlicheren Tätigkeiten, unter anderem bei der Benutzung so genannter „*punching bags*“/ Schlagbirnen zum Testen der individuellen Kraft, wie sie zum Beispiel auf Jahrmärkten vorzufinden sind. [64]

1.3.3 Symptome und Diagnostik der Skaphoidfraktur

Klinisch imponiert die Fraktur mit radialseitiger Schwellung und Bewegungsschmerzen im Handgelenk, insbesondere bei der Radialabduktion. [59] Spätestens bei dem klassischen Druckschmerz über der Tabatière sollte eine suffiziente radiologische Bildgebung veranlasst werden. Gemäß der AWMF S3-Leitlinie „Skaphoidfraktur“, der Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU), Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC), Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie (DGH) von 01.10.2015 AWMF-Registernummer 012-016 (*kurz*: AWMF S3-Leitlinie Skaphoidfraktur) soll ein Standardröntgen mit drei Röntgenaufnahmen angefertigt werden. Das umfasst eine Handgelenksaufnahme im p.-a. Strahlengang. Die zweite Aufnahme ist eine seitliche Aufnahme im lateralen

Strahlengang und die dritte Aufnahme erfolgt nach Stecher. [1, 65] Dies entspricht einer dorsopalmaren Aufnahme bei Faustschluss und Ulnaradduktion. [1] Vier Ebenen bilden das so genannte Kahnbeinquantett. Das bedeutet eine Röntgenuntersuchung: dorsal- palmar mit geballter Faust, exakt seitlich sowie zwei schräge Aufnahmen (45° Supination und Pronation). Das Kahnbeinquantett wird in der Praxis heute jedoch kaum angewendet und wird häufig durch die CT ersetzt.

1.3.4 Klassifikation der Skaphoidfraktur

Das erste publizierte Klassifikationssystem für die Skaphoidfraktur stammt von Böhler et al. von 1954. Die Einteilung der Skaphoidfraktur nach Herbert und Fisher (1984) [66] ist heutzutage weiterhin aktuell und erfolgt in Typ A (A1-A2), B (B1-B5), C und D (D1-D2). Eine angepasste CT- basierte Einteilung nach Krimmer kann in Typ A1-2 und B1-4 erfolgen [67]. Eine weitere Klassifizierung ist nach Russe (1960) in „horizontal-schräg“, „quer“ und „vertikal-schräg“ möglich, [68] oder gemäß AO- Klassifizierung (B. Petravic/H. R. Siebert 1995) in „Typ A: Abrissfraktur (A1–A3)“, „Typ B: Quer-, Schräg-, Längsfraktur (B1–B3)“ und „Typ C: Mehrfragment-Trümmerfraktur (C1–C3)“.

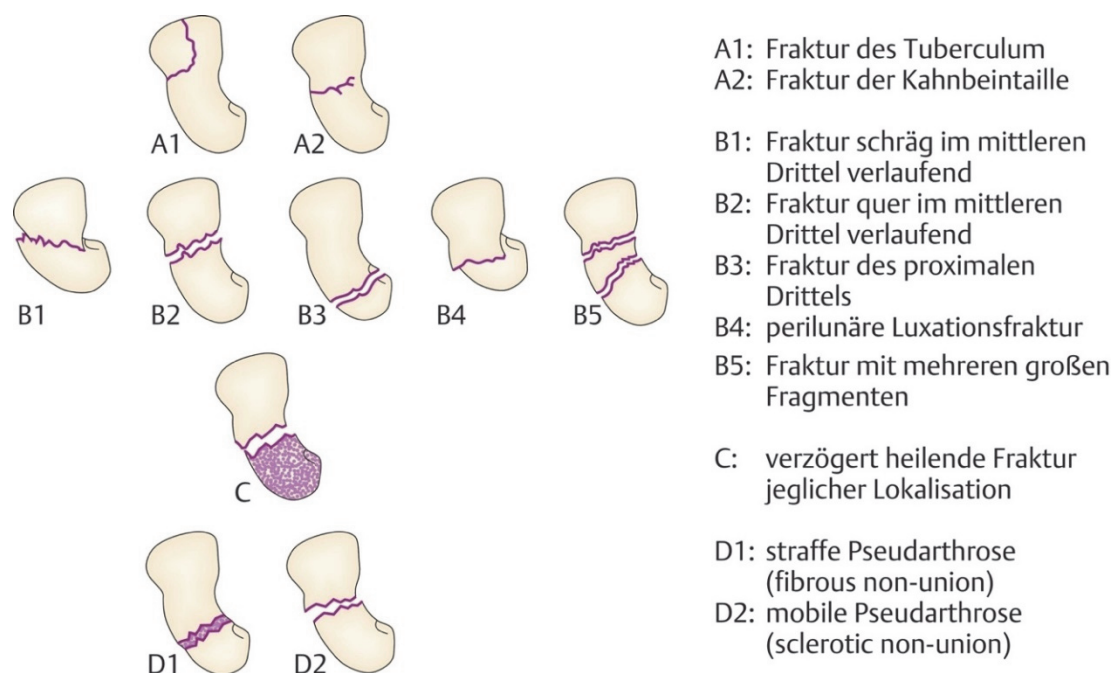


Abb. 6: Klassifikation der Skaphoidfraktur nach Herbert und Fisher

(Quelle: Heckmann A, das Gupta K, Vogt P. Kahnbeinfraktur. In: Henne-Bruns D, Hrsg. Duale Reihe Chirurgie. 4. aktualisierte Auflage, © 2012. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstr. 14, 70469 Stuttgart, Deutschland)

1.3.5 Therapie der Skaphoidfraktur

1.3.5.1 Konservative Therapie der Skaphoidfraktur

Sollte sich die Diagnose radiologisch bestätigen, kann die Versorgung der Skaphoidfraktur konservativ oder operativ erfolgen. [7] Bezogen auf A1 und A2 Frakturen ist die Literatur nicht eindeutig, was die Überlegenheit der konservativen oder operativen Methode betrifft. [69] A1 und A2 Frakturen können konservativ ausbehandelt werden. [70] Das bedeutet eine sechs- bis achtwöchige Ruhigstellung bei A2 Frakturen im Daumeneinschlussgips oder Unterarmgips/ (Kunststoff)verband. A1 (Tuberkelfrakturen) sollen vier Wochen ruhiggestellt werden gemäß AWMF S3-Leitlinie Skaphoidfraktur. [71] Nach Ruhigstellung sollte anschließend eine radiologische Verlaufskontrolle mittels Röntgen nach u.g. Schema erfolgen. [65] Bei sicherer knöcherner Durchbauung kann eine Bewegungsfreigabe erfolgen. Auf Belastungen sollte weitere zwei bis vier Wochen verzichtet werden. [72] Alle unverschobenen Frakturen im mittleren und distalen Drittel sind als stabil anzusehen und können konservativ behandelt werden. Ob die Ruhigstellung mit oder ohne Daumeneinschluss zu erfolgen hat scheint keinen entscheidenden Einfluss auf die Heilung zu haben. [73, 74] Das Ellenbogengelenk sollte frei bleiben.

1.3.5.2 Operative Therapie der Skaphoidfraktur

Zur operativen Therapie der Skaphoidfraktur empfiehlt sich eine Versorgung mittels Herbert-Schraube bei B1 und B2 Frakturen. Bei B3 Frakturen sollte eine Versorgung mittels Mini-Herbert-Schraube erfolgen. Alle Frakturen, die durch beide Kortikales verlaufen, sind potenziell instabil, damit dislokationsgefährdet und erfordern eine operative Versorgung. [72]

Angelehnt an die deutsche AWMF S3- Leitlinie Skaphoidfraktur formulierten Schädel-Höpfner et al. die konkreten Indikationen für eine operative Frakturversorgung: [75]

- Frakturspaltweite ≥ 2 mm
- Dislokation > 1 mm
- Trümmerzone im mittleren Drittel (B2)
- lange Schrägfraktur (B1)
- Fraktur des proximalen Drittels (B3)
- perilunäre Luxationsfraktur (B4)

Eine praxisnahe Übersicht haben Schaller et al. in Form eines diagnostischen und therapeutischen Schemas vorgestellt, welches im klinischen Alltag angewendet werden kann. [76]

Tendenziell sollte auf eine genaue Diagnostik bei Verdacht und Symptomen einer Skaphoidfraktur geachtet werden. [58] Bei leitliniengerechter erfolgter konservativer Therapie, ist nach sechs Monaten eine erneute radiologische Kontrolle dringend zu empfehlen. [77]

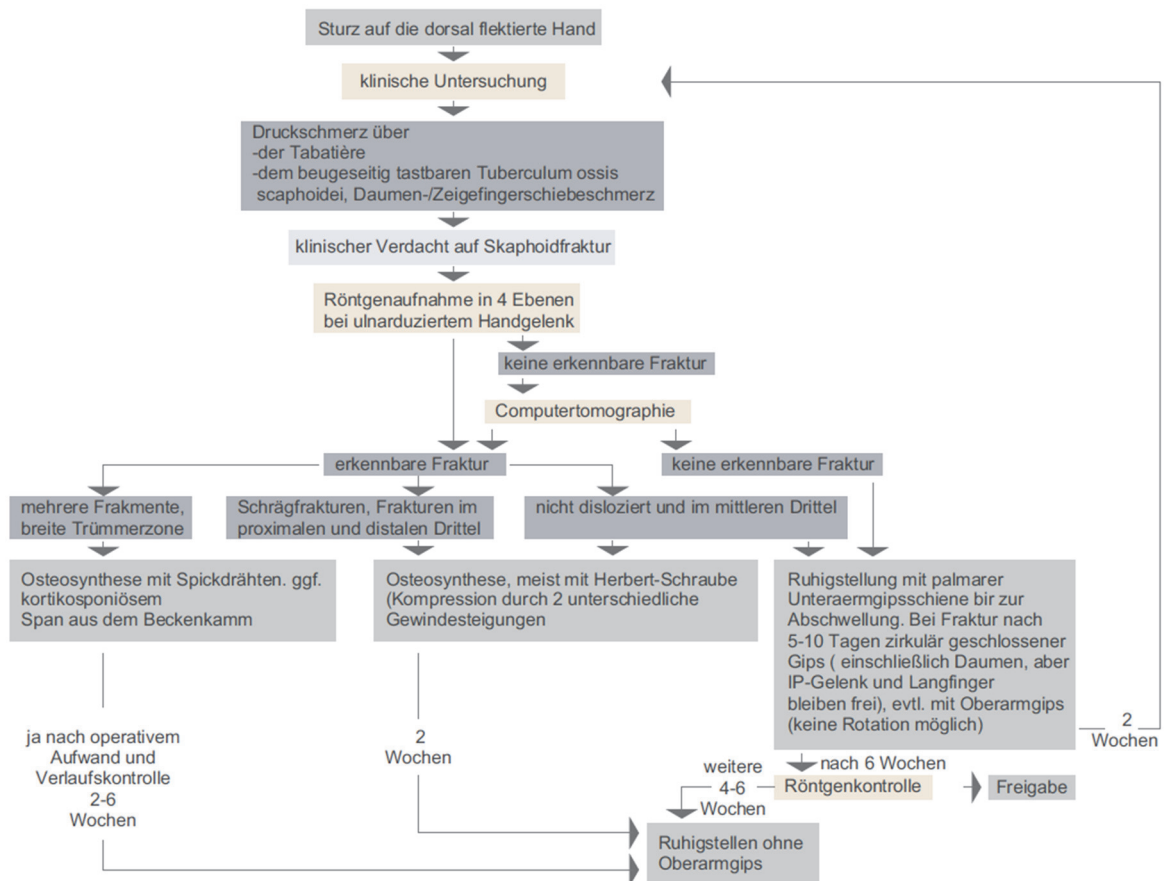


Abb. 7: Schema Vorgehen zur Versorgung der Skaphoidfraktur

(Eigene Darstellung. Basierend auf: „Skaphoidfrakturen in der Chirurgie“, Schaller E., Auto, Hirner A. und Weise K., Hrsg., © 2008. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstr. 14, 70469 Stuttgart, Deutschland)

Eine Skaphoidfraktur stellt keine Notfall-Op-Indikation dar, außer es handelt sich um eine offene Fraktur, eine Skaphoidluxation oder eine transskaphoidale, perilunäre Luxation De Quervain. [78] Als initiale Therapie wird in der AWMF S3-Leitlinie „Skaphoidfraktur“ eine Ruhigstellung zur Schmerzreduktion beschrieben, z. B. in einer Schiene oder einem gespaltenen Unterarmgips mit Einschluss des ersten metakarpalen Knochens. Es kann eine zusätzlich symptomatische Therapie, wie lokale Kryotherapie und Hochlagerung erfolgen.

[79] Bei Bedarf sollte eine leitliniengerechte orale oder intravenöse Schmerztherapie erfolgen. Diese ist auch notwendig, wenn aufgrund einer Luxationsfraktur eine Reposition notwendig ist. Gemäß AWMF S3- Leitlinie Skaphoidfraktur sollte bei Luxation die Reposition rasch erfolgen. Wenn sie geschlossen gelingt, kann die operative Versorgung verzögert erfolgen. Sollte die Reposition geschlossen nicht gelingen ist eine offene Reposition mit primärer, definitiver operativer Versorgung empfohlen. Als Richtwert sollte in diesem Fall die operative Versorgung innerhalb von 24 Stunden erfolgen.

Für die Therapie der Skaphoidfraktur stehen unterschiedliche Verfahren zur Auswahl. Angelehnt an das Diagnose- und Therapieschema von Schaller et al. sollen nur die zwei dort genannten operativen Therapiemöglichkeiten genauer beschrieben werden.

Für den operativen Zugang zur Skaphoidfraktur sind die am gebräuchlichsten Zugänge von palmar oder dorsal. Welcher Zugang gewählt wird, hängt zum einen von der Lage der Fraktur ab, aber auch von den vorhandenen Begleitverletzungen und dem Grad der Fehlstellung. [78] Ferner spielt die Frakturmorphologie eine wichtige Rolle. Ziel einer osteosynthetischen Versorgung ist möglichst ein perpendikulärer Verlauf der stabilisierenden Implantate zur Frakturlinie. Dieser Überlegung hat der Zugang Rechnung zu tragen.

Von welcher Seite der Zugang erfolgt, hat per se keinen wesentlichen Einfluss auf das Operationsergebnis. [80]

1.3.5.2.1 Osteosynthese mittels Herbert-Schraube

Die Versorgung von Skaphoidfrakturen mit der Herbert-Schraube ist seit mehr als 30 Jahren ein etabliertes Verfahren. Erste Einträge bei PubMed beginnen ab dem Jahr 1984 (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> abgerufen am 29.10.2021 14:00 Uhr). Herbert et al. und später Bunker et al. führten die ersten multizentrischen Studien mit dieser Art der Versorgung durch und erzielten damit sehr gute Ergebnisse. [66, 81] Herbert et al. begannen schon 1977 Patienten so zu behandeln. [66]

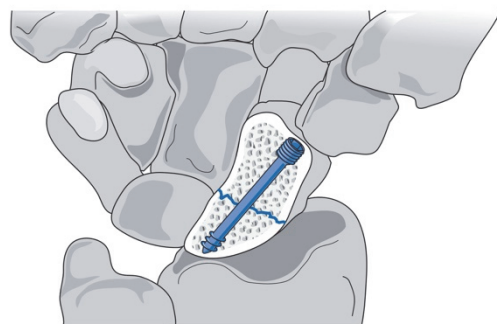


Abb. 8: Herbert-Schraube bei Skaphoidfraktur im mittleren Drittel

(Quelle: Gehrman S, Windolf J. Operative Therapie, in Ruchholtz S, Wirtz D, Hrsg. Orthopädie und Unfallchirurgie essentials. 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, © 2019. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstr. 14, 70469 Stuttgart, Deutschland)

In den folgenden Jahren wurde die Versorgung mittels kanülierter Schraube (Herbert-Schraube) mit weiteren Studien geprüft und hat sich als Standardverfahren etabliert. [82] Diese Art der Versorgung ist eine der Schlüsselempfehlungen der AWMF S3-Leitlinie Skaphoidfraktur. Dort heißt es wörtlich „Die Osteosynthese sollte mit einer kanülierten Skaphoid-Doppelgewindeschraube oder einer vergleichbaren kopflosen Kompressions-schraube geeigneter Größe erfolgen.“ Die Versorgung von Schrägfrakturen im distalen oder proximalen Drittel sowie von dislozierten Schrägfrakturen im mittleren Drittel sind mittels Mini-Herbert-Schraube zu versorgen. [76, 80] Dabei handelt es sich um kanülierte Doppelgewindeschrauben kleinerer Dimensionen.

Die operative Versorgung sollte in Rückenlage erfolgen mit Auslagerung des Arms der zu versorgenden Seite. Als Narkoseverfahren kann eine Armplexus-Anästhesie oder Vollnarkose gewählt werden. [83] Die Operation erfolgt in Blutleere mittels Oberarmblutsperre. Der Druck der angelegten Manschette sollte dabei ca. 75-100 mmHg über dem systolischen Blutdruck des Patienten liegen und maximal 250 mmHg betragen. [84]

Die Beschreibung der OP-Technik erfolgt nach Watson J. et al. [78] Wählt man ein offenes Verfahren mit palmaren Zugang, erfolgt die Inzision schräg über dem ST-Gelenk und der FCR-Sehne auf Höhe der Handgelenksbeugefalte. Beim weiteren Präparieren ist auf den oberflächlichen Ast der *A. radialis* zu achten. Unter der FCR-Sehne kommt die palmare Gelenkkapsel zum Vorschein, diese muss eröffnet werden, um das *Os skaphoideum* darzustellen, dabei sollte die Kapselinzision bis zum ST-Gelenk erweitert werden. Im Rahmen der Kapselinzision kommt es zur Durchtrennung des radioscapnocapitalen Bandes, diese gilt es nach der Osteosynthese zu rekonstruieren. Nach Reposition der Frakturteile erfolgt das Einführen des Führungsdrahtes über den distalen Pol des Skaphoids. Durch Unterlagerung des Handgelenkes verbunden mit Dorsalextension kann der Zugang zum distalen Pol erleichtert werden. Dann wird der Draht bis zum proximalen Pol vorgetrieben, er sollte die Kortikalis erfassen aber den proximalen Pol nicht überragen. Nach Überprüfung der korrekten Lage des Führungsdrahtes mittels intraoperativer Durchleuchtung kann das Längenmessinstrument eingeführt werden, um die notwendig Schraubenlänge zu bestimmen. Die korrekte Lage des Drahtes sollte in drei Ebenen oder durch dynamische Durchleuchtung gesichert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der Draht zentral im *Os skaphoideum* liegt. [83] Die Doppelgewindeschraube sollte so ausgewählt werden, dass sie nach Einbringen weder proximal noch distal übersteht. Zu beachten sind die unterschiedlichen anatomischen Längen des Skaphoids bei Frauen und Männern, sowie der damit verbundenen Notwendigkeit von passenden Osteosynthesematerial. [16] Nach Einbringen der

Schraube sollte eine erneute Überprüfung der korrekten Lage des Osteosynthesematerials mit suffizienter Adressierung der Fraktur mittels Durchleuchtung erfolgen. Es findet die Entfernung des Führungsdrahtes statt, dann die Überprüfung der freien Handbeweglichkeit. Nun wird die Kapselrekonstruktion inklusive Rekonstruktion des radioscaphocapitalen Bandes vollzogen. Abschließend erfolgt der Hautverschluss mit Wundverband und anschließender postoperativen Schiene.

Das perkutane Verfahren kann bei undislozierten bzw. geringdislozierten Frakturen angewendet werden, auch hier kann der Zugang von palmar oder dorsal erfolgen. Bei Frakturen des proximalen Pols erleichtert der dorsale Zugang die Positionierung der Schraube. [78] Bei dem perkutanen Verfahren ist auf den Schutz der Weichteile und insbesondere der Strecksehnen zu achten.

Gemäß der AWMF S3-Leitlinie Skaphoidfraktur hängt die postoperative Ruhigstellung primär vom Frakturtyp und der Art der Osteosynthese ab. Bei minimalinvasiver Technik bei frischen A2-Frakturen wird ohne Belastung für sechs Wochen funktionell nachbehandelt, dementsprechend ist keine Immobilisierung notwendig. [83] Andere Frakturen sind postoperativ vier bis sechs Wochen zu immobilisieren und anschließend vier Wochen funktionell ohne Belastung nachzubehandeln. Bei jeder Skaphoidfraktur sind maximale Belastungen für 12 Wochen postoperativ zu meiden. [83] Gemäß Schema von Schaller et al. sind radiologische Verlaufskontrollen notwendig. [76] Sollte die Frakturheilung im konventionellen Röntgen in drei Ebenen (dorsopalmar, lateral, Stecher) nicht sicher beurteilt werden können, bietet sich eine CT-Untersuchung zur Verlaufskontrolle an. Der postoperative Zustand lässt sich mittels CT gut dokumentieren, die häufig verwendeten Schrauben rufen nur wenig Störartefakte hervor, es ist eine Dünnschicht-CT zu verwenden. [22]

1.3.5.2.2 Alternative operative Therapie der Skaphoidfraktur

Indikationen zur Abweichung vom o. g. Standardverfahren zur Behandlung der Skaphoidfraktur sind mehrfragmentäre Frakturen oder Trümmerfrakturen des *Os skaphoideum*. [76] Häufig sind diese Art von Frakturen mit einer starken Krafteinwirkung, einem ausgeprägten Trauma und mit Begleitverletzungen vergesellschaftet. Mehrfragmentäre Skaphoidfrakturen sind selten und eine konkrete Inzidenz dazu lässt sich in der Literatur nicht darstellen. Mehrfragmentäre Skaphoidfrakturen sind generell als instabile Frakturen anzusehen und bedürfen einer offenen operativen Versorgung. [67] Diese sollte in strenger Zusammenschau mit möglichen Begleitverletzungen erfolgen. Da das Verletzungsmuster dieser

Frakturen sehr heterogen auftreten kann, lässt sich ein klassischer Operationsverlauf schwierig standardisiert beschreiben. Häufig ist ein Substanzverlust des Skaphoids mit derartigen Frakturen verbunden. Knöcherne Defekte der Trümmerzone sind mit einer Spongiosaplastik oder einen kortikospongiösen Knochenspan zu behandeln, um die Form und Länge des Skaphoids wiederherzustellen (gem. AWMF S3-Leitlinie Skaphoidfraktur). Mögliche Entnahmeorte dafür sind der Radius und der Beckenkamm. Das Transplantat gilt es dann mittels K-Drähten zu stabilisieren und die Form des *Os skaphoideum* ist bestmöglich zu rekonstruieren. Die Verwendung von K-Drähten ist auch eine Ausweich- oder Rückzugsmöglichkeit, wenn es bei B1 oder B2 Frakturen nicht gelingt die Schraube korrekt zu platzieren. [67] Das Verfahren stellt eine Erweiterung der Matti-Russe-Plastik dar und ergänzt das Verfahren um eine Osteosynthese mittels K-Drähten zur Stabilisierung. Es ist dabei ähnlich zu verfahren, wie bei dem im der Abteilung XIV des BWZK bevorzugten Verfahren zur Versorgung der Skaphoidpseudarthrose. Eine weitere Möglichkeit stellen Quadlbauer et al. dar, dabei kann palmar eine winkelstabile Platte bei Trümmerfrakturen verwendet werden. Die Ergebnisse von Quadlbauer et al. sehen vielversprechend aus. [85] Aber sowohl die Versorgung mit K-Drähten als auch mittels winkelstabiler Platte bringen den Nachteil mit sich, dass die Implantate später wieder entfernt werden müssen. Die Entfernung der K-Drähte erfolgt dabei weniger aufwendig in Lokalanästhesie. Postoperativ sollte hiernach eine Protektion mittels Schiene oder Handgelenksorthese für mindestens vier Wochen erfolgen.

1.4 Skaphoidpseudarthrose

1.4.1 Definition und Charakteristika

Von einer Skaphoidpseudarthrose spricht man, bei nicht eingetretener Frakturheilung einer Skaphoidfraktur innerhalb von 6 Monaten nach Trauma [7, 11] Gemäß Böhler ist aufgrund der besonderen Gefäßversorgung und des großen funktionellen Anteils des Kahnbeins an der Handbewegung die Heilung und Heilungsdauer des Kahnbeins erschwert [86, 87]

1.4.2 Pathogenese der Skaphoidpseudarthrose

Es gibt mehrere Faktoren, die selbst bei leitliniengerechter Versorgung der ursächlichen Skaphoidfraktur, die Entstehung einer Skaphoidpseudarthrose bedingen. So kann bei einer frischen Fraktur Kapselgewebe des Skaphoids in den Frakturspalt gelangen, welches eine Knochenheilung verhindern kann. [88] Der hohe Anteil an Bewegungen mit mehreren Bewegungsachsen bei Handgelenksbewegung erfordert eine sichere Ruhigstellung des Handgelenks sowohl bei konservativer Therapie als auch postoperativ bei operativer Versorgung. Ein nicht adäquat angelegter Gipsverband mit mangelnder Suffizienz der Immobilisation, nicht regelmäßige klinische Kontrollen des Gipsverbandes oder mangelnde Compliance des Patienten können zu minimalen Bewegungen der Frakturteile und somit zur Instabilität führen. Dies gilt als ein Risikofaktor für die Entstehung einer Pseudarthrose. [89] Wie bereits oben genannt, hat das *Os skaphoideum* Besonderheiten in der Blutversorgung, welche besonders die Heilung von proximalen Skaphoidfrakturen erschweren. Gabl et al. beschreiben noch weitere Faktoren, welche für die Entstehung relevant sind: massive Gewebszerstörung durch das initiale Trauma, offene Frakturen, Infektionen, inadäquate Reposition oder Stabilisierung in Distraction. [87]

Ob es zur Entwicklung einer Pseudarthrose im Skaphoid kommt, hängt also von vielen Faktoren ab. Eine Wiedervereinigungstendenz oder umgedreht eine Nonunion- Wahrscheinlichkeit einer akuten Skaphoidfraktur kann mittels radiologischer Verfahren nicht vorausgesagt werden. [65]

1.4.3 Begleitpathologien

1.4.3.1 DISI-Fehlstellung

Die „dorsale interkalierte Segmentinstabilität“ oder „*dorsal intercalated segment instability*“ beschreibt eine komplexe Fehlstellung des *Os lunatum* gegenüber Radius, *Os skaphoideum* und *Os capitatum*. Die distale Gelenkkonkavität des *Os lunatum* kippt in Extensionsstellung nach dorsal, dadurch ändert sich der radiolunäre Winkel. In Neutralstellung des Handgelenks, spricht man von der DISI-Konfiguration, wenn der radiolunäre Winkel größer ist als 15°. Physiologisch beträgt der Normalwert 0°, bei einer Streuung von 0°-15°. [90] In Folge der Verkettung der proximalen Karpalia ändert sich auch der skapholunäre Winkel (SL-Winkel). Er hat einen Normalwert von 45°-47°. [90, 91] und ist pathologisch, wenn er mehr als 60° beträgt bei Neutralstellung der Hand zur Unterarmachse. [90, 92] Die proximale Handwurzelreihe ist relevant für die Beweglichkeit der Hand und fungiert als „Schaltstück“, daher kommt die englische Bezeichnung

„*intercalated*“. „Die Instabilität kann als symptomloses radiologisches Zeichen imponieren, alleinige Ursache von Beschwerden sein oder Bestandteil einer komplexeren Handwurzel-schädigung. Sie kann statisch oder dynamisch sein.“ [91] Die Akronyme DISI und PISI beschreiben lediglich die pathologische Stellung des *Os lunatum*, stellen jedoch jeweils kein eigenes Krankheitsbild dar. [30] Die DISI-Fehlstellung kann zum Beispiel durch Schädigung am SL-Band oder Verletzungen des *Os skaphoideum* hervorgerufen werden. Wie bereits erwähnt verriegelt das SL-Band eine übermäßige Bewegung des *Os skaphoideum* und *Os lunatum* zueinander. Sollte es im Rahmen eines Traumas zu einer Ruptur des SL-Bandes oder zu einer Konturunterbrechung des Skaphoids kommen, fehlt diese Verriegelung, das Lunatum bewegt sich dann in die Fehlstellung. Dabei rutscht es nach palmar durch und extendiert dorsal oder palmar. [93] Das Kahnbein bewegt sich in eine gegenläufige Rotationsubluxation, insgesamt kommt es über die entstehende und sich weitende Lücke im karpalen Gefüge zu einem Drift des Kopfbeins nach proximal mit der Folge des karpalen Kollapses in den aufeinanderfolgenden Stadien auf der Zeitachse.

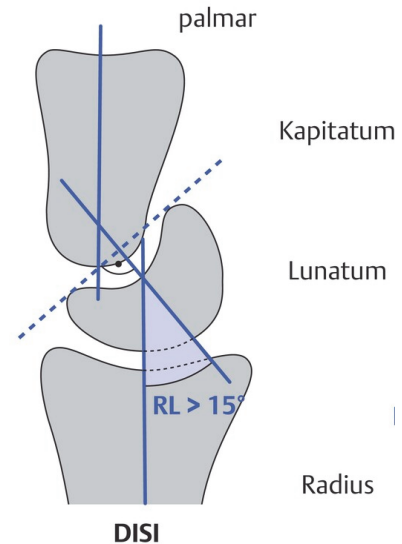


Abb. 9: DISI-Fehlstellung

(Quelle: Zentner J. Karpale Instabilitäten und Fehlstellungen. In: Bohnsdorf K, Imhof H, Wörtler K, Hrsg. Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke; © 2017. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstr. 14, 70469 Stuttgart, Deutschland)

Die DISI-Fehlstellung als Ausdruck einer karpalen Alignementstörung ist in der Regel ein starker Hinweis auf eine Instabilität, dabei tritt sie in der klinisch bedeutendsten Instabilitätsform, der dissoziativen karpalen Instabilität auf. [94] Ursachen dafür sind Frakturen der Handwurzelknochen, die oben genannte Ruptur des skapholunären Bandes und die Skaphoidpseudarthrose. [94]

1.4.3.2 PISI-Fehlstellung

Bei einer palmaren Flexionsstellung des *Os lunatum* spricht man von einer PISI-Fehlstellung. PISI steht für „palmare interkalierte Segmentinstabilität“ oder „*palmar intercalated segment instability*“. Diese liegt vor bei einem radiolunären Winkel von kleiner minus 15°. [30, 90] Die PISI-Fehlstellung ist das radiologische Korrelat einer nichtdissoziativen karpalen Instabilität. Die Ursachen können vielfältig sein und sind häufig nicht eindeutig zu zuordnen. Vergesellschaftet ist eine PISI-Fehlstellung u. a. mit einer Verletzung des lunotriquetralen Bandes (LT-Band). [94] Eine isolierte Verletzung des intrinsischen Bandapparats scheint jedoch nicht zu einer PISI-Fehlstellung zu führen, häufig nur in Kombination mit palmaren und/ oder extrinsischen Anteilen. [94]

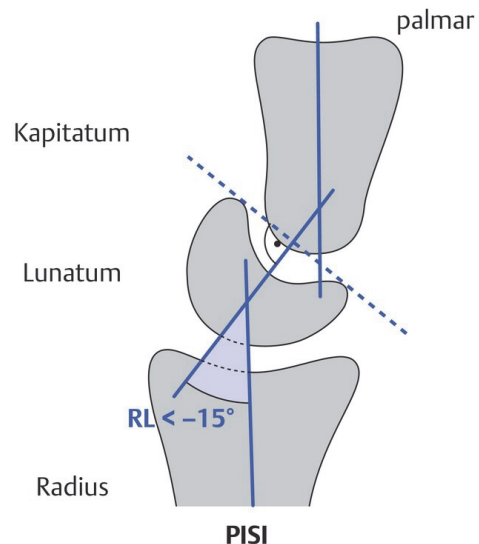


Abb. 10: PISI-Fehlstellung

(Quelle: Zentner J. Karpale Instabilitäten und Fehlstellungen. In: Bohndorf K, Imhof H, Wörtler K, Hrsg. Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke; © 2017. Thieme. All rights reserved. Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstr. 14, 70469 Stuttgart, Deutschland)

1.4.3.3 Humpback-Deformität

Humpback ist Englisch und steht für „buckelig“. Die *Humpback*-Deformität kommt durch eine zunehmende Fragmentneigung gegeneinander im Rahmen einer instabilen oder insuffizient behandelten Skaphoidfraktur zustande. Durch die gekrümmte Form des *Os skaphoideum* neigt das distale Kahnbeinfragment zur weiteren Abkipfung nach palmar. [65] Dabei kommt es besonders palmarseitig am Frakturspalt und später am Pseudarthrosespalt zur Druckerhöhung und damit zur vermehrten Knochenresorption. [13, 95] Dies wiederum verstärkt die Deformierung. Eine Skaphoidfraktur mit *Humpback*-Deformität hat eine schlechtere Chance zur Konsolidierung. [96] Sollte sie darin verheilen, resultiert eine bleibende interkarpale Alignementstörung.

Moog et al. stellten fest, dass eine ausgeprägte *Humpback*-Deformität die Alltagsfunktionen von den betroffenen Patienten weniger einschränken als angenommen. [97] „Ausgeprägt“ bedeutete im Rahmen der Untersuchung von Moog et al. ein *Humpback*-Winkel von mehr als 45° . Damit stehen die Pseudarthrosenanteile mehr als 45° voneinander entfernt. Starke *Humpback*-Deformierungen neigen jedoch zur Ausbildung von Osteophyten, diese können eine Impingement-Symptomatik hervorrufen, die sich klinisch in einer eingeschränkten Beweglichkeit äußert. [97] Darüber hinaus besteht ein Zusammenhang der Deformierung des Skaphoids (*Humpback*-Deformität) und Ausprägung einer DISI-Fehlstellung. Das stellten Kim et al., sowie Moog et al. fest und empfahlen bei der Planung der operativen Versorgung der Skaphoidpseudarthrose das Ausmaß der *Humpback*-Deformität zu berücksichtigen und zu adressieren. [97, 98]

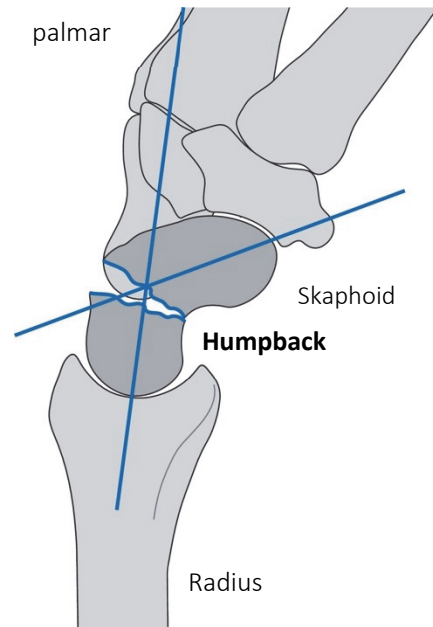


Abb. 11: *Humpback*-Deformität

(Modifizierte Darstellung. Basierend auf: Schmitt R, Krimmer H. Symptomatik. In: Schmitt R, Lanz U, Hrsg. Bildgebende Diagnostik der Hand. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2014)

1.4.3.4 SL-Bandverletzungen

Verletzungen des *Ligamentum scapholunatum* (SL-Band) sind meist traumatisch bedingt und gleichen denen der Skaphoidfraktur. Dabei handelt es sich um eine meist traumatische axiale Krafteinwirkung auf die dorsalextendierte Hand. [99] Auch andere Ursachen sind möglich, zum Beispiel kann es nach einer Partialruptur des SL-Bandes zu einer Bandelongation kommen und damit zu einer Instabilität verbunden mit chronischen Schmerzen. [99] Das SL-Band stabilisiert das SL-Gelenk, es besteht aus drei Anteilen, einem dorsalen Anteil, einer proximalen Zwischenmembran und einem palmaren Anteil. [92] Bei SL-Bandverletzungen kommt es zur Auflösung der skapholunären Verbindung und damit durch gegenläufige Rotationen des *Os scaphoideum*s und *Os lunatum*s zu einer dissoziativen Instabilität in Form einer DISI-Fehlstellung des Mondbeins und einer gegenläufigen Rotationssubluxation des Kahnbeins. Es vergrößert sich der SL-Winkel über 60° , der einen Parameter für eine SL-Dissoziation darstellt. Klinisch kann sich eine SL-Bandverletzung mit Schmerzen im Bereich Tabatière, belastungsabhängigen Schmerzen in der Hand und Kraftminderung darstellen. Bei Verdacht auf eine akute Verletzung des SL-Bandes sollte diese

zeitnah ausgeschlossen bzw. diagnostisch weiterverfolgt werden, denn für eine primäre Bandrefixation steht nur ein kurzer Zeitraum zur Verfügung (ca. 1-6 Wochen). [93] In der körperlichen Untersuchung kann neben einem Druckschmerz in der Tabatière, der Kahnbeinverschiebtest nach Watson wegweisend sein. [99] Die SL-Bandverletzungen lassen sich in vier Stadien nach Watson und Black einteilen, wobei der röntgenradiologische Nachweis in den ersten beiden Stadien schwierig ist. Hier muss ggf. das geschädigte Band direkt nachgewiesen werden mittels MRT oder Arthroskopie, wobei die MRT weniger sensitiv für die Diagnose von SL-Bandverletzungen erscheint. [100, 101] Im konventionellen a.p.-Röntgenbild stellt sich eine SL-Bandläsion ab Stadium III im Sinne einer skapholunären Dissoziation durch das „*Terry Thomas Sign*“ oder als „Ringzeichen“ dar. Das *Terry Thomas Sign* ist eine Diastase des skapholunären Gelenkspalts von mehr als 3 mm, das Ringzeichen bildet sich im konventionellen Röntgenbild aufgrund einer Rotationssubluxation des distalen Skaphoidpols ab. [102]

SL-Bandverletzungen können isoliert oder in Verbindung mit Frakturen des Skaphoids und des Radius auftreten. [103] Im Zusammenhang mit dem distalen Radius scheint es eine Häufigkeit mit bis zu 50% oder mehr zu geben. [104] Somit sollte sowohl bei der operativen Versorgung der Skaphoidfraktur als auch bei der distalen Radiusfraktur eine Schädigung des SL-Bandes ausgeschlossen oder zeitgleich mitversorgt werden. [103] Nicht erkannte SL-Bandverletzungen können nach Jahren zu arthrotischen Veränderungen führen. [105, 106]

Die Therapie der SL-Bandverletzung ist stadiengerecht durchzuführen. So kann im Stadium I eine konservative Therapie mit Ruhigstellung erfolgen. Jedoch bietet sich gerade die frische Ruptur für eine sofortige Operation an, da sie eine hohe Erfolgsaussicht hat. Im Stadium II, wenn intraoperativ noch suffiziente Bandteile zu identifizieren sind, kann eine Bandrekonstruktion und temporäre skapholunäre Transfixation mittels K-Drähten vollzogen werden. Bei sehr fortgeschrittenen Stadien ist die Ligamentplastik nach Brunelli und die Kapsulodese nach Blat möglich. [105]

1.4.4 Komplikationen der Skaphoidpseudarthrose

Sowohl die skapholunäre Dissoziation im Sinne einer Läsion des SL-Bandes als auch die Skaphoidpseudarthrose ziehen regelhaft eine interkarpale Instabilität nach sich, die in den karpalen Kollaps einmündet. [107, 108] Bei der damit verbundenen Arthroseentwicklung

der karpalen Knochen wird gemäß der Genese zwischen SLAC- und SNAC- *Wrist* unterschieden.

1.4.4.1 SLAC

SLAC ist die Abkürzung für „*Scapholunate Advanced Collapse*“ und definiert die charakteristischen Spätfolgen nach unbehandelten Verletzungen des skapholunären Bandapparates. Die SLAC-*Wrist* kann in drei Stadien eingeteilt werden. Die Einteilung erfolgt gemäß Watson und Ballet. [109] Im Stadium I zeigen sich arthrotische Veränderungen an der dorsalen Radiusgelenkfläche. [102] Denn durch die eingenommene Flexionsstellung des Skaphoids kommt es zu einer Verkantung des proximalen Anteils des Skaphoids mit dem Radius. [108] Im Stadium II kommen arthrotische Veränderungen radioskaphoidal dazu, durch den zunehmenden Kontakt zwischen Radius und *Os skaphoideum*. [102] Im Stadium III zeigt sich zusätzlich eine mediokarpale Arthrose zwischen dem *Os lunatum* und *Os capitatum*. [102] Durch die Lageveränderung des Skaphoids schiebt sich das Capitatum in die Lücke zwischen Kahn- und Mondbein. Es minimiert sich der Kontakt der artikulierenden Gelenkflächen damit ist eine Druckerhöhung im mediokarpalen Gelenkabschnitt verbunden, was in arthrotischen Veränderungen mündet. [108]

1.4.4.2 SNAC

Die SNAC steht für „*Scaphoid Nonunion Advanced Collapse*“ und resultiert aus einer Skaphoidfraktur mit folgender Pseudarthrose. Faktisch liegt dieselbe pathobiomechanische Konstellation wie beim SLAC- *Wrist* vor, die Instabilität liegt hier in der nicht verheilten Frakturzone. Auch hier erfolgt die Einteilung in drei Stadien. Die arthrotischen Veränderungen beginnen hier am *Processus styloideus radii*. [110] Aufgrund der Skaphoidpseudarthrose und den in der Regel getrennten Skaphoidfragmenten, ist das proximale Fragment via SL-Band an das Lunatum gekoppelt und folgt diesem in die DISI- Fehlstellung. Somit verkantet das distale Fragment am Radiusstyloid und die Arthrose beginnt hier. [108] Auch hier schreiten die arthrotischen Veränderungen radioskaphoidal weiter fort, enden aber im Bereich der Pseudarthrosezone. [108] Sowohl bei SLAC als auch bei SNAC bleibt die radiolunäre Gelenkfläche von der Arthrose verschont und weist weiterhin eine intakte Knorpelbedeckung auf. [25]

Ohne adäquate Therapie schreiten SLAC und SNAC voran und erzeugen zunehmend Beschwerden und Funktionseinbußen. In der Endkonsequenz münden SLAC und SNAC in

eine Panarthrose des Handgelenks, was zum Teil auch als Stadium IV bezeichnet wird. [107] In dieser Situation sind differentialtherapeutisch in der Regel nur noch so genannte Rettungsoperationen möglich. Dazu gehören exemplarisch die *Four-Corner-Fusion* und die PRC (*Proximal Row Carpectomy*). Diese Verfahren werden ebenso bei einer Pseudarthrose des Skaphoids mit eingetretener Komplikation angewandt.

1.4.5 Symptome und Diagnostik der Skaphoidpseudarthrose

Die Symptomatik der Skaphoidpseudarthrose ist ähnlich die der Skaphoidfraktur. Oft sind die Beschwerden für die Patienten weniger erklärbar, da das kausale Ereignis häufig nicht mehr erinnerlich ist. Die Skaphoidpseudarthrose äußert sich mit belastungsabhängigen Schmerzen meist im radialen Anteil des Handgelenks. [18, 88] Die Schmerzen aggravieren meistens bei forcierter dorsaler Extension und vermehrter Belastung. [9]

In der klinischen Untersuchung stellt sich wie bei der Skaphoidfraktur ein Druckschmerz in der Tabatière und ggf. ein positiver Watson-Test dar. [88] Die Diagnosesicherung erfolgt anhand des klinischen Beschwerdebildes und mittels bildgebender Verfahren. Ähnlich wie bei der Skaphoidfraktur kann eine Bildgebung in Form eines Röntgen in mindestens drei oder vier Ebenen stattfinden. Ähnlich wie bei der Skaphoidfraktur ist die Pseudarthrose im konventionellen Röntgen schwer zu erkennen. [111] Außerdem lässt sich anhand der Röntgenbilder keine Aussage über die Vaskularisierung des *Os skaphoideum* treffen, von daher ist eine Schnittbildgebung zu bevorzugen [111] Wenn auch selten, sollte man ein Skaphoid bipartium ausschließen, was auch für die Notwendigkeit einer Schnittbildgebung spricht. [112] Für die Wahl des passenden Verfahrens zur Therapie der Pseudarthrose ist die Kenntnis über die Durchblutungssituation der unterschiedlichen Teile des Skaphoids notwendig. Hierfür ist die MRT mit Kontrastmittel geeignet. Nach erfolgter Versorgung und zur Kontrolle einer erfolgreichen Durchbauung des *Os skaphoideum* ist die CT das geeignetere Verfahren. [111]

Ein Hinweis in der CT für eine gestörte Vaskularisierung der Skaphoidpseudarthrose ist eine knöcherne Verdichtung des proximalen Kahnbeinpols sowie die Abwesenheit von überbauenden knöchernen Trabekeln zwischen den Fragmenten. [111, 113]

Eine verlässliche Aussage zur Vaskularisierung ist mittels kontrastmittelverstärkten MRT möglich. Hier zeigt sich die MRT hinsichtlich der expliziten Fragestellung bezüglich der Durchblutung als überlegen. [114, 115] Wenn nach der intravenösen Gabe eines

gadoliniumhaltiges Kontrastmittels der proximale Skaphoidpol Kontrastmittel anreichert, ist von einem vitalem/ vaskularisiertem proximalen Fragment auszugehen. [111] Darüber hinaus besteht die Möglichkeit eines dynamischen kontrastmittelverstärkten MRTs zur Beurteilung der Vitalität des proximalen Skaphoidpols. Ng et al. stellten in ihrer Studie sogar eine Überlegenheit fest, bezüglich der diagnostischen Genauigkeit des dynamischen kontrastmittelverstärkten MRTs im Vergleich zum einfachen kontrastmittelverstärkten MRT. [116]

1.4.6 Differentialdiagnosen zur Skaphoidpseudarthrose

1.4.6.1 Morbus Preiser [117, 118]

Der Morbus Preiser ist die idiopathische Osteonekrose des *Os skaphoideum* und stellt nach der Osteonekrose des *Os lunatum* (Morbus Kienböck) die zweit häufigste Osteonekrose der Hand dar. Die Ursache der Erkrankung ist nicht abschließend geklärt. Es ist ein seltenes Krankheitsbild, welches durch Schmerzen im dorsoradialen Handgelenk und Bewegungseinschränkungen auffällt, ohne vorheriges Trauma. Eine Einteilung erfolgt nach Kalainov et al. in Typ 1 (komplette Nekrose des Skaphoids) und Typ 2 (partieller Befall im proximalen Abschnitt). [119] Bei der Seltenheit des Krankheitsbildes, der teils schweren Differenzierung zur Skaphoidpseudarthrose und nicht ausreichender Datenlage existiert kein Standardverfahren zur Therapie. [120] Konservative Maßnahmen führen vermehrt zu einem Voranschreiten der Erkrankung, dagegen zeigen operative Maßnahmen erfolgreiche kurative Ergebnisse. [121, 122] Als operativer Versorgungsmöglichkeiten sind u.a. revaskularisierende Verfahren (z. B. mit gestieltem oder freiem Knorpel-Knochen-Transplantat) oder Rettungsoperationen möglich. [120]

1.4.7 Klassifikation der Skaphoidpseudarthrose

Im Rahmen der Klassifikation der Skaphoidfraktur durch Herbert und Fisher [66] findet sich bereits unter dem Typ D (D1-D2) die Skaphoidpseudarthrose wieder. Die Klassifikation wurde dann 1996 von Filan und Herbert um D3-D4 erweitert. [123] Unter Typ C versteht man die „*delayed union*“.

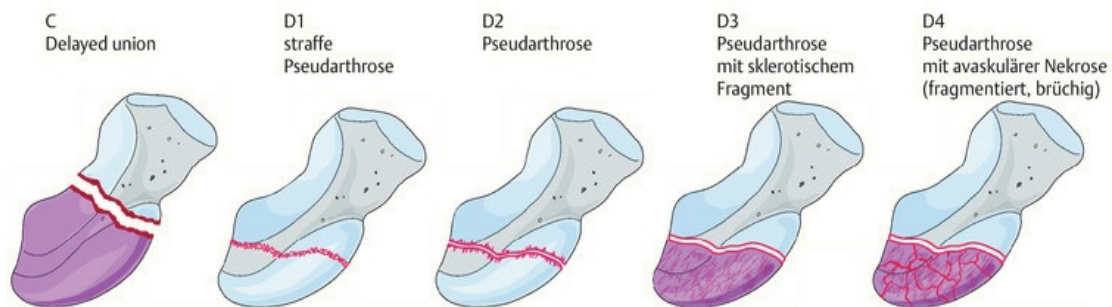


Abb. 12: Klassifikation Skaphoidpseudarthrose

(Eigene Darstellung. Basierend auf: Mehling I. M., Sauerbier M., Skaphoidfrakturen und Skaphoidpseudarthrosen. In: Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie, Georg Thieme Verlag KG, Volume 151, 2013, Seiten 639-660)

1.4.8 Therapie der Skaphoidpseudarthrose

Abhängig von der Schwere der Skaphoidpseudarthrose stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Diese lassen sich in kurative und palliative Verfahren, vorwiegend als Rettungsoperation bezeichnet, einteilen. Beide Verfahren haben gemeinsam, dass sie eine Beschwerdelinderung des Patienten und ein Voranschreiten der Erkrankung verhindern sollen.

1.4.8.1 Kurative Verfahren

Kurative Verfahren zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose dienen der möglichst vollständigen strukturellen Wiederherstellung des *Os skaphoideum* im karpalen Verbund. Der konservative Therapieansatz bei manifester Pseudarthrose ist hinsichtlich einer Konsolidierung als nicht zielführend zu bewerten.

Die Operationen erfolgen in Rückenlage mit Auslagerung der betroffenen Extremität auf einem Armtisch unter Verwendung einer Oberarm-Blutsperre. Die Eingriffe finden in Allgemeinnarkose oder Plexusanästhesie statt. Die Plexusanästhesie eignet sich weniger bei handgelenksfernen Entnahmeorten für Knochentransplantate.

1.4.8.1.1 Herbert-Schraube

Das Verfahren zur Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mittels einer kanülierten Doppelgewindeschraube (Herbert-Schraube) gleicht dem bereits weiter oben beschriebenen Ablauf zur Therapie der Skaphoidfraktur. Wahlweise kann die Defektzone im Kahnbein noch mit Spongiosa aufgefüllt werden, z. B. wenn sich die Kontur des Kahnbeins ohne Defektauffüllung nicht vollständig wiederherstellen lässt. Dies kann allerdings auch bereits bei der Skaphoidfraktur notwendig sein. [71] Als Entnahmeort für die Spongiosaplastik dient im eigenen Vorgehen ausschließlich der Beckenkamm, wobei andere Autoren auch die distale Radiusepiphyse hierzu heranziehen. Der Beckenkamm wird im Rahmen der OP-Vorbereitungen gleichseitig unterpolstert und vorbereitet für die Transplantatentnahme.

Bei Pseudarthrosen im mittleren und distalen Drittel ist ein palmarer Zugang zu bevorzugen [124], wie bereits weiter oben beschrieben. Nach Freilegung der Pseudarthrose ist pseudarthrotisches und sklerotisches Knochenmaterial zu resezieren. [124] Es erfolgt die Kalkulation des ggf. entstehenden Substanzdefekts. Die benötigte Transplantatmenge wird am Beckenkamm entnommen. Anschließend wird das Transplantat in den Defekt des Skaphoids eingebracht und verdichtet. Das anschließende Einbringen der Doppelgewindeschraube erfolgt identisch zu der Versorgung der Skaphoidfraktur. Bei einer Pseudarthrose im proximalen Drittel mit vitalem Fragment ist ein dorsaler Zugang zu wählen und eine Mini-Herbert-Schraube zu verwenden. [124] Spongiosa kann alternativ auch aus dem distalen Radius gewonnen werden, dessen Strukturschwächung hierdurch ist einzukalkulieren.

1.4.8.1.2 Gestieltes Radiustransplantat

Bei dem gestielten Radiustransplantat zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose handelt es sich um ein Knochentransplantat mit einem eigenen Gefäßstiel, meist aus der unmittelbaren Nähe des Handgelenks, z. B. vom distalen Radius. Nah gelegene Transplantate bieten die Vorteile einer geringeren Hebemorbidität und durchgehender Perfusion im Vergleich zu freien, vaskularisierten Transplantaten, für die zusätzlich mikrovaskuläre Operationsmöglichkeiten benötigt werden. [125] Bei dem Verfahren kann ein Radiusspan mit der 1,2 interkompartimentellen supraretinakulären Arterie (1./2. IKSRA) gesielt transplantiert werden (Skaphoidrekonstruktion nach Zaidenberg). Das Verfahren eignet sich besonders bei proximalen Pseudarthrosen und nach fehlgeschlagener Voroperation. [126]

Die 1./2. IKSRA liegt zwischen dem ersten und zweiten Strecksehnenfach. Dies ist auch der Bereich für den dorsalen (streckseitigen) Hautschnitt, welcher nach distal-ulnar bis über das Skaphoid verlängert wird. [125] Neben der 1./2. IKSRA existiert noch eine zweite Möglichkeit, die Nutzung der 2./3. interkompartimentellen supraretinakulären Arterie (2./3. IKSRA) Beide Gefäße verlaufen oberflächlich auf dem *Retinaculum extensorum*. [126]

Die Operation beginnt mit einem radiodorsaler S-förmiger Zugang zur Darstellung des *Os skaphoideum*, nach Eröffnen der Handgelenkkapsel. Bei der Präparation ist auf die Schonung der Äste des *R. superficialis N. radialis* zu achten. [126] Die Skaphoidpseudarthrose wird dargestellt und das Pseudarthrosematerial mit einem kleinen Meißel ausgeräumt. Es wird sich weiter nach proximal dem Radius zugewandt und ein dorsales „Inlay“-Transplantat, versorgt durch die 1./2. IKSRA, mit einem scharfen Meißel präpariert, um anschließend in das entsprechend ausgehöhlte Skaphoid eingebracht zu werden. Es sollte vorher eine Kalkulation des benötigten Umfangs des Transplantates erfolgen. Es ist notwendig ausreichend Material zu gewinnen, um das Skaphoid zu rekonstruieren, jedoch unter Minimalisierung des Resektionsdefektes. Es ist darauf zu achten, dass es nicht zu einer Dissoziation zwischen Kortikalis und Spongiosa kommt. Der identifizierte Gefäßstiel wird von proximal nach distal mit dem Periost vom Radius abpräpariert, bis das kortikospongiöse Präparat mobilisiert werden kann. Das Präparat wird dann unter den Strecksehnen über das Skaphoid geschwenkt und in den Defekt eingebracht. Das eingebrachte keilförmige Transplantat kann durch ein oder zwei Kirschner-Drähte oder eine kanülierte Schraube stabilisiert werden. Es erfolgt ein schichtweiser Verschluss des Operationsgebietes. Es ist eine postoperative Immobilisation des Unterarms in einer Gipsschale, inklusive des Metakarpale I, für mindestens sechs Wochen notwendig. Postoperativ nach sechs Wochen sollte eine radiologische Kontrolle in drei Ebenen (posteroanterior, seitlich, Stecher) durchgeführt werden. Bei fehlenden Zeichen der Konsolidierung wird die Immobilisation fortgesetzt (maximal bis zur 12. postoperativen Woche). Unter sicheren Konsolidierungszeichen kann die Immobilisierung entfernt werden und es erfolgt die Bewegungsfreigabe. Sauerbier et al. empfehlen nach 12 Wochen postoperativ eine Computertomographie oder gegebenenfalls Magnetresonanztomographie mit Kontrastmittel (Gadolinium) zur Durchbauungs- bzw. Durchblutungsbeurteilung. [126] Anschließend kann die Hand zur Belastung freigegeben werden. Das eingebrachte Fremdmaterial kann im Situs verbleiben, wenn dadurch keine Bewegungen gehemmt werden.

1.4.8.1.3 Matti-Russe-Plastik

Das von Matti H. 1936 und Russe O. 1951 beschriebene Verfahren stellt das älteste Standardverfahren zur Versorgung der Skaphoidpseudarthrose dar und kommt ohne heterologe Fixationsmaterialien aus. [127, 128]

Beschreibung des operativen Vorgehens der Matti-Russe-Plastik nach Rudigier et al. [127]:

Die Op erfolgt nach den übliche Vorbereitungen mit der Hautinzision schräg oder quer im Bereich der Handgelenksbeugefalte auf Höhe des *Processus styloideus radii*, anschließend Z-förmige Durchtrennung der Sehne des *M. Flexor carpi radialis*. Es wird nun bis zur Gelenkkapsel präpariert und diese zum Verlauf des Kahnbeins gespalten. Nach Darstellung der Pseudarthrose werden arthrotische Veränderung im Skaphoid und ggf. an der Gelenkfläche des *Processus styloideus radii* entfernt. Resektionen am *Processus styloideus radii* sollen sich auf die Ausdehnung der Arthrose beschränken. Zusätzlich zu der Entfernung der pseudarthrotischen Strukturen am Skaphoid wird mit einer kleinen Kugelfräse eine kurze schmale Rinne in das proximale und in das distale Fragment eingefräst. Diese Rinne dient der Einpassung eines am Beckenkamm gewonnenen kortikospongiösen Spanes. Mit zusätzlich eingepressten Spongiosastückchen wird der zentral liegende Span fest verblockt. Anschließend erfolgt ein schrittweiser Verschluss, selbstverständlich mit Rekonstruktion der durchtrennten Strukturen.

Postoperativ ist eine Immobilisation im Unterarmgips für bis zu zehn Wochen notwendig. Anschließend ist eine Überprüfung der Konsolidierung durch ein konventionelles Röntgen oder durch eine CT notwendig. [129] Die lange Immobilisationszeit ist ein Hauptnachteil dieser Art der Versorgung. [130]

1.4.8.1.4 Freies mikrovaskuläres Femurtransplantat

Die Versorgung mit einem freien Knorpelknochen-Transplantat gewonnen aus dem medialen Femurkondylus stellt eine weitere Therapiemöglichkeit der Skaphoidpseudarthrose dar. Sie liefert gute Ergebnisse zur Wiedervereinigungsrate vor allem bei avaskulären Kahnbeinnekrosen. [131] Erstmals beschrieben von Masquelet 1989 bietet das Verfahren den Vorteil einer Revaskularisation minderperfundierter Knochenareale verbunden mit einer stabilen Stützfunktion der benachbarten Handwurzelknochen. [131, 132] Als konkrete Indikationen sind angegeben [132]:

- eine fehlgeschlagene Rekonstruktion des Skaphoids mittels Osteosynthese mit oder ohne avaskulärem Knochentransplantat
- primär avaskuläre Skaphoidanteile bei Pseudarthrose
- avaskuläre Knochennekrose des gesamten Skaphoids (Morbus Preiser)

Die OP- Lagerung erfolgt grundsätzlich, wie 1.3.5.2.1 mit der Variation, dass das Bein auf der zu versorgenden Seite (ggf. kann auch die Gegenseite als Entnahmeort gewählt werden) außenrotiert und in Knie und Hüfte leicht flektiert wird. [133] Dies reduziert die Weichteilspannung am Entnahmeort und erleichtert den Zugang. Die Operation kann bei einem entsprechenden Team zeitgleich an der Hand und am Femur erfolgen. Vor Entnahme des freien Transplantates muss die Skaphoidpseudarthrose dargestellt und pseudarthrotisches Material entfernt worden sein. [132] Der Zugang erfolgt über den Bereich der FCR-Sehne, wie bereits bei den anderen Verfahren angesprochen. Sobald das Transplantat einmal gehoben und von seiner Versorgung getrennt ist, gilt es zeiteffizient zu arbeiten um die „No-flow-time“ so kurz wie möglich zu halten. Am medialen Femur wird über der *A. femoralis* vom Kondylus bis zum mittleren Oberschenkel die Inzision gesetzt. Es gilt die Faszia des *M. vastus medialis* zu spalten, um entlang der *A. femoralis* die *A. genu descendens* zu identifizieren. [133] Diese Arterie findet man im Bereich des Adduktorenkanals (*Canalis adductorius*). Ist die *A. genu descendens* identifiziert wird sie weiterverfolgt bis man den Abgang des *R. articularis* erreicht. Der *R. articularis* ist das Periost versorgende Gefäß und muss nun präpariert werden. Das notwendige Transplantat lässt sich aus dem Femur meißeln, Innenband und Gelenkflächen des Femurs gilt es zu schonen. Das Transplantat wird gehoben und am Ursprung des *R. articularis* getrennt, der entstandene Stumpf ligiert. Das Transplantat wird in den Defekt im Skaphoid eingepasst und kann mittels Kirschnerdrähten oder Herbert-Schraube fixiert werden. Werdin et al. stellten dabei keinen signifikanten Unterschied fest, ob man K-Drähte oder Herbert-Schrauben verwendet. [134] Der Wiederschluss erfolgt mittels mikrochirurgischer Technik in Form einer End-zu-End-Anastomose an den *R. palmaris* der *A. radialis* oder als End-zu-Seit-Anastomose mit der *A. radialis*. [133] Selbstverständlich müssen die Begleitvenen auch anastomosiert werden. Die Nachbehandlung ist identisch zu der Versorgung mit einem gestielten Transplantat.

1.4.8.2 Rettungsoperationen

Rettungsoperationen sind anzuwenden, wenn die kurativen Verfahren der Skaphoidpseudarthrose gescheitert sind oder der Krankheitsverlauf so weit vorangeschritten ist, dass ein kuratives Verfahren nicht mehr in Frage kommt. Das Ziel der Rettungsoperationen ist die Schmerzreduktion unter Erhalt oder ggf. sogar Verbesserung der Beweglichkeit und Funktion des Handgelenks. [107, 108] In der Regel sollen sie im Stadium SLAC/ SNAC II- III angewendet werden.

1.4.8.2.1 Mediokarpale Teilarthrodese

H. Krimmer untersuchte das Verfahren der mediokarpalen Teilarthrodese mehrfach und beschrieb es im deutschsprachigen Raum bereits im Jahr 2000. Die folgende Darstellung der Operationstechnik orientiert sich an ihm. [25, 108] Der Zugang zur Handwurzel erfolgt streckseitig über dem Handgelenk. Dann erfolgt die Spaltung des dritten Strecksehnenfachs unter Schonung der sensiblen Nervenäste. Der *N. interosseus posterior* wird teildenerviert oder reseziert. Die Strecksehnenfächer zwei und drei werden türflügelartig eröffnet, um einen guten Zugang zur Handwurzel zu bekommen. Die Handgelenkscapsel sollte in Form eines radial gestielten Kapsellappens eröffnet werden. Anschließend erfolgt die vollständige Entfernung des Skaphoids. Nun müssen die zu fusionierenden Gelenkflächen entknorpelt und etwaige Fehlstellungen korrigiert werden (z.B. eine DISI-Fehlstellung). Jede Arthrodese sollte mit einer Spongiosaplastik kombiniert werden. Spongiosa kann dabei aus dem Radius oder im Fall einer SLAC aus dem *Os skaphoideum* gewonnen werden. Bei einem *SNAC-wrist* ist das Transplantat aus dem Kahnbein selbst meist von schlechter Qualität und sollte nicht verwendet werden. Nach Entknorpelung und vor der Arthrodese müssen die verbliebenen Knochen des Mediokarpalgelenks achsengerecht aufgerichtet werden. Anschließend werden *Os capitatum*, *Os lunatum*, *Os hamatum* und *Os triquetrum* miteinander verbunden, die gewonnene Spongiosa wird in die Verbindungsräume eingebracht. Die erwähnten Carpalia werden dann mittels winkelstabiler Arthrodeseplatte, Spiderplatte, Schrauben oder Kirschnerdrähten fixiert. Nach Rekonstruktion der Kapsel und des Strecksehnenretinakulums sowie abschließenden Hautverschluss ist die Operation beendet. Es sollte eine Immobilisation von ca. sechs Wochen mit anschließender radiologischer Kontrolle erfolgen. Sollten Kirschnerdrähte verwendet worden sein, können diese nach dem Nachweis einer sicheren Durchbauung nach ca. zehn Wochen entfernt werden.

1.4.8.2.2 Proximal Row Carpectomy

Eine weitere Rettungsoperation stellt die *Proximal Row Carpectomy* dar. Dabei wird die proximale Handwurzelreihe vollständig entfernt. Auch die PRC dient der Schmerzreduktion, dem Erhalt der Beweglichkeit und der Verhinderung des Voranschreitens des karpalen Kollapses. [135] Besteht schon eine Arthrose am proximalen Pol des *Os capitatum* oder in der *Fossa lunata* am distalen Radius, ist die PRC kontraindiziert. [107]

Die Beschreibung der Operationstechnik erfolgt nach Bultmann et al. [136] Der Zugang erfolgt ähnlich wie bei der mediokarpalen Teilarthrodese mit einem leicht schrägen Schnitt über dem streckseitigen Handgelenk. Auch hier muss auf die sensiblen Hautnerven geachtet werden. Der am Boden des vierten Strecksehnenfaches zu findende *Nervus interosseus posterior* wird aufgesucht, denerviert und reseziert. Nach Eröffnen der Handgelenkscapsel und sichtbaren Karpus werden die Gelenkflächen des distalen Radius und proximal am Capitatum inspiziert. Nur bei intakter Knorpelfläche in der *Fossa Lunata* am Radius und intaktem Knorpel proximal am *Os capitatum* fährt man mit der PRC fort. Schrittweise werden die Handwurzelknochen der proximalen Reihe (*Os scaphoideum*, *Os lunatum* und *Os triquetrum*) unter Schonung der palmaren Bänder und des TFCC reseziert. Anschließend wird radiologisch überprüft, ob sich das Capitatum in die Radiusgelenkfläche einstellt. Nach schichtweisem Verschluss ist die Operation beendet. Verschiedene Autoren immobilisieren die operierte Hand postoperativ für zwei bis vier Wochen. [136, 137] Gemäß Jacobs et al. ist dies jedoch nicht notwendig. [138] Auch Mehling et al. geben die nicht notwendige Immobilisation und damit verbundene frühe Mobilisation als Vorteil der PRC an. [107]

2 Literaturdiskussion

Die Skaphoidpseudarthrose weist mit einer angenommenen Inzidenz von 4-11% schon allein quantitativ eine hohe Bedeutung auf. [87] Darüber hinaus kann sie zu weiteren Pathologien im Handgelenk führen. „Besteht eine Kahnbeinpseudarthrose, wird bei 33-86% eine Instabilität der Handwurzel mit nachfolgendem karpalem Kollaps beobachtet.“ [87]. Die adäquate Versorgung der Skaphoidpseudarthrose sollte aufgrund ihrer Relevanz also weiterhin Bestandteil intensiver medizinischer Forschung sein.



Abb. 13: Skaphoidpseudarthrose im mittleren Drittel in der CT

(Quelle: Klinik für Radiologie und Neuroradiologie am Bundeswehrzentralkrankenhaus Koblenz. Mit freundlicher Genehmigung von Oberarzt Priv.-Doz. Dr. med. S. Waldeck)

Die HaMiPla (Journal „Hand-/Mikro-/Plastische Chirurgie“) widmete mit dem Schwerpunkt 05/2020 im September 2020 eine ganze Ausgabe den Skaphoidfrakturen und Skaphoidpseudarthrosen. Prommersberger spricht dabei die aktuellen Entwicklungen und Herausforderungen bei diesen Krankheitsbildern an. [139] Dies zeigt, dass die Versorgung der Skaphoidpseudarthrose im aktuellen Interesse medizinischer Forschung steht.

Die Recherche in PubMed zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose ergab eine verhältnismäßig geringe Anzahl an aktuellen Publikationen (abgerufen am 15.09.2023 22:00 Uhr auf <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>). Im Zeitraum 2020 und 2023 wurden nur sieben Suchergebnisse aufgezeigt (Suchterminus: „(scaphoid) AND (pseudarthrosis) AND (therapy)“. Publikationen von Schleusser et al. zur Verbesserung des Blutflusses im Skaphoid durch fokussierte extrakorporale Schockwellen Therapie [140], von Zenke et al. [141] zur *Four-Corner Fusion* sowie zur arthroskopischen Therapie durch Haugstvedt und Wong [142]. Moog et al. untersuchten das Ausmaß der *Humpback*-Deformität nach Skaphoidrekonstruktion mit postoperativen klinischen und radiologischen Parametern. [97] Özdemir et al. verglichen autologe Knochentransplantate mit vaskularisierten Knochentransplantaten zur

Therapie der Skaphoidpseudarthrose mit avaskulärer Nekrose. [143] Diehm et al. beschäftigten sich damit, ob vorausgehende Operationen am Skaphoid einen Risikofaktor darstellen. Dies bestätigte sich nach deren Ergebnissen nicht. [144] Der aktuellste Artikel zum Zeitpunkt der Recherche stammt von Sailer et al. die im Rahmen einer multizentrischen retrospektiven Studie aus 2023, welche die Behandlung von Kahnbeinfrakturen und Pseudarthrosen mit einer allogenen Kortikalisschraube untersucht. Das Verfahren stellte sich als effektiv bei der Kahnbeinfraktur und -pseudarthrose heraus. Sailer et al. stellten die Vorteile des Ausbleibens einer Hebemorbidität sowie dem Fehlen der Materialentfernung bei ihrem Verfahren heraus. [145]

Die allerersten Arbeiten zur Skaphoidpseudarthrose sind in PubMed unter anderem von Murray G. aus dem *Journal of Bone and Joint Surgery* von 1946 oder von Brown und Dameron von 1976 zu finden. [146, 147] Eine der ersten Arbeiten aus dem deutschsprachigen Bereich ist in PubMed von Eitenmüller et al. von 1978 gelistet. [148] Sie untersuchten 258 Patienten mit Skaphoidfrakturen und Pseudarthrose. Die Frakturen wurden alle konservativ mit Gips behandelt, die Pseudarthrosen oder *delayed-union* mit autologen Knochentransplantaten aber ohne interossäre Fixierung. Dies wurde vorerst auch weiter so praktiziert bis Herbert et al. 1984 die Ergebnisse der Versorgung mit einer intraossären Fixierung (Schraube) veröffentlichten. [66] Eine der ersten Veröffentlichungen der Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mit kortikospongiösem Span aus dem Beckenkamm und Kirschnerdrähten stammt von Stark et al. von 1988. [149] Diese Autoren verzeichneten eine Wiedervereinigungsrate von 97%. Reigstad et al. veröffentlichen 2010 ebenfalls die Versorgung von nichtvereinigten Skaphoidfrakturen mit Kirschnerdrähten und autologen Knochentransplantat. Sie behandelten 81 Patienten in einem Zeitraum von durchschnittlich 2,7 Jahren nach Trauma und erzielten gute Ergebnisse. 72 von den 81 Patienten hatten nach der ersten OP eine radiologisch gesicherte Skaphoidheilung. Sie beschreiben ihre Ergebnisse als zuverlässig und kostengünstige Alternative zu anderen Operationsverfahren. [150] Pinder et al. lieferten 2015 eine umfangreiche retrospektive Metaanalyse bzw. ein systematisches Review zur Fragestellung der existierenden Evidenz hinsichtlich der Behandlung der Skaphoidpseudarthrose. Sie schlossen 48 Publikationen mit 1602 Patienten aus dem Zeitraum von 1999 bis 2014 ein. [151] Bei den unterschiedlichen gebräuchlichen Operationsverfahren stellten sie bessere Ergebnisse hinsichtlich der Wiedervereinigungsraten bei Verfahren mit intraossärer Fixierung im Gegensatz zu Verfahren ohne Fixierung fest. Bei Verfahren ohne Fixierungen berichteten die Autoren von einer Wiedervereinigungsrate der Skaphoidanteile von 79%. Bei der Fixierung mittels einer Schraube beschrieben sie eine Wiedervereinigungsrate von 88% und mit K-Drähten eine von 91%. In dieser

umfangreichen Analyse stellten sich die Verfahren mit autologen Knochentransplantaten und K-Drähten als effektive Variante dar. Zu dem gleichen Ergebnis kamen Hegazy et al. in 2020 mit einer prospektiven Arbeit, in der sie 122 Patienten mit Knochentransplantat aus dem Becken und dann interner Fixierung mittels Kirschnerdrähten oder Herbert-Schraube versorgten. Sie postulierten, dass die Versorgung mittels Kirschnerdrähten weniger technisch anspruchsvoll und preisgünstiger sei. Ebenso berichteten sie von einer kürzeren Operationszeit. [152] In einer kleineren Patientenpopulation verglichen Tuncay et al. 19 Patienten, wovon sie 10 mittels autologer Spongiosa und Kirschnerdrähten operierten und 9 Patienten mit Herbert-Schraube. Sie sahen die Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mittels autologer Spongiosa und Kirschnerdrähten als gute Option an. [153] Finsen et al. publizierten 2006 eine retrospektive Analyse von 39 Patienten, die sie im Durchschnitt 10 Jahre nach der Versorgung mittels Knochentransplantat und Kirschnerdrähten nachbeobachteten. Sie beschrieben ihre Ergebnisse als exzellent, selbst für Pseudarthrosen des proximalen Pols. [154] Die durchschnittliche postoperative Immobilisation im Gips war bei Finsen et al. jedoch recht lang und dauerte 15 Wochen. [154] Eine aktuelle Arbeit wurde von Kim et al. im Dezember 2021 publiziert. [155] Dabei untersuchten die Autoren die Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mit K-Drähten und kortikospongiösen Span, K-Drähten und Spongiosa, sowie Schraubenosteosynthese und kortikospongiösen Span. Kim et al. fokussierten sich dabei explizit auf die Wiedervereinigungsrate und die Zeit bis zur Wiedervereinigung der Pseudarthrosenanteile. Die Versorgung mittels K-Drähten und Spongiosa zeigte eine Wiedervereinigungsrate von 100%, bei der kürzesten Zeit, im Durchschnitt nach 18,2 Wochen.

In der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs- und Handchirurgie, Verbrennungsmedizin (Abteilung XIV) des BWZK Koblenz wurden in dem zu untersuchenden Zeitraum 2005 – 2018 auch andere etablierte Verfahren angewendet, zum Beispiel die Versorgung mittels Herbert-Schraube, Matti-Russe-Plastik oder die Verwendung von Knochen-Knorpel Interponaten der neunten Rippe bei avitalem proximalem Kahnbeinpol. Die Auswertung dieser Verfahren ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

2.1 Literaturdiskussion zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose

2.1.1 Kurative Verfahren

Kurative Verfahren streben einen Erhalt des Skaphoids und seiner vollen Funktion an. Das Skaphoid soll nach abgeschlossenem Heilungsprozess wieder physiologisch im Verbund mit den umgebenen knöchernen Akteuren wirken können. [10] Im Wesentlichen wird das aktuell durch eine operative Therapie erreicht. Eine alternative Therapiemethode kann die hochenergetische extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT) darstellen. Notarnicola et al. 2010 und Fallnhauser et al. 2019 präsentierten dazu gute Ergebnisse. [156, 157] Eine Kombination von operativer Versorgung und ESWT scheinen ebenfalls vielversprechend, in der Form, dass postoperativ die zusätzliche Anwendung von hochenergetischen extrakorporalen Stoßwellen die Wiedervereinigungsrate verbessern kann. [158, 159] Nikotinabusus stellt dagegen mit einen der Hauptrisikofaktoren zur Frakturheilung und explizit bei der postoperativen Heilung der Skaphoidpseudarthrose dar. [160-162] Deswegen wurde der Nikotinkonsum der Probanden miterfasst und wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit ausgewertet.

2.1.1.1 Herbert-Schraube

Zeitgleich mit der Veröffentlichung der ersten Ergebnisse der Therapie der Skaphoidfraktur mittels Doppelgewindeschraube veröffentlichten Herbert et al. ebenfalls Ergebnisse zur Therapie der *delayed* oder *non-union* in gleicher Art, verbunden mit einer Spongiosaplastik. [66] Genauso wie bei der Therapie der Skaphoidfraktur, ist die Therapie der Skaphoidpseudarthrose mittels Herbert-Schraube ein schon seit mehr als 30 Jahren praktiziertes Verfahren. In Verbindung mit einer Spongiosaplastik stellt es ein Verfahren der Wahl dar und ist bei Pseudarthrosen im Bereich des mittleren und distalen Drittels sowie im Bereich des proximalen Drittels bei vitalem Fragment einsetzbar. [124] Seit den ersten Veröffentlichungen wurden kontinuierlich Studien zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose mittels Herbertschraube durchgeführt. Die ersten umfangreichen Arbeiten zur Versorgung mit der Herbertschraube und mit mindestens 50 Patienten abgesehen von Herbert et al. lieferten Radford et al. 1990 [163] und Nakamura et al. 1993. [164] Radford et al. stellten zwar noch keine Überlegenheit der Herbertschraube im Vergleich zu Verfahren ohne Fixierung fest, in dem Fall der Matti-Russe-Plastik, aber dies sollte sich wie weiter oben bereits angeführt dann spätestens mit der Arbeit von Pinder et al. ändern. [151]

Eine aktuelle Arbeit zur Therapie der instabilen Skaphoidpseudarthrose mittels Herbertschraube publizierten Hegazy et al. [152] Im Rahmen einer randomisierten, prospektiven Studie mit 122 Patienten. In der Studiengruppe, die mittels Herbertschraube versorgt wurden, konnten Hegazy et al. eine Reduktion von Schmerz auf der Visual Analog Skala (Skalierung: 0 bis 100 mm) von durchschnittlich 62mm auf 4 mm erreichen, eine Reduktion der Schmerzen um fast 94%. Der postoperativ erhobene *Quick DASH-Score* konnte in dieser Arbeit um rund 63% im Vergleich zum Ausgangswert reduziert werden. Es zeigte sich ein Durchschnittswert von 25, was einer milden Einschränkung im Alltag gleichkommt. Wobei der präoperative Durchschnitts- *Quick DASH-Score* von 68 einer schweren Einschränkung im Alltag entspricht. In der Studie verglichen die Autoren ihre Ergebnisse mit anderen ähnlichen Studien, einmal zur Versorgung mit K-Drähten und einmal zur Herbertschraube. Hinsichtlich der Arbeit von Hegazy et al. bleibt abschließend zu sagen, es gab keine signifikanten Unterschiede im Operationserfolg in seinen unterschiedlichen Items im Gruppenvergleich. Die Operationszeit im Verfahren mit K-Drähten war kürzer, im Durchschnitt 46 Minuten gegenüber 67 Minuten in der Gruppe der Herbertschraube. [152] Zusammenfassend, stellt die Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mit der Herbertschraube und autologem Transplantat ein über lange Zeit gut untersuchtes Verfahren dar, das weiterhin als eines der Verfahren der Wahl bezeichnet werden kann.

2.1.1.2 Gestieltes Radiustransplantat

Es wurde die Versorgung mit gestieltem Radiusspan und 1./2. interkompartimentelle supraretinakuläre Arterie von Zaidenberg et al. 1991 beschrieben und hat sich in mehreren klinischen Studien als Therapieoption bewährt. [125, 165, 166] Das Verfahren kann ebenfalls bei einem karpalen Kollaps angewendet werden. [167] Hilfreiche Daten lieferten Sheetz et al. 1995 hinsichtlich der Blutversorgung des Radius, in dem sie potenzielle Entnahmeorte für gestielte Transplantate beschrieben. [168] Gemäß Schacher et al. bieten gestielte Transplantate aus der unmittelbaren Umgebung des Handgelenkes den Vorteil der geringeren Hebmorbidität und allzeit erhaltener Perfusion im Vergleich zu freien Transplantaten. [125] Schacher et al. versorgten 49 Fälle mit einem gestielten Radiusspan und Fixierung mit K-Drähten. Sie konnten bei 37 Fällen eine Konsolidierung feststellen. [125] Dies entspricht einer Wiedervereinigungsrate von 75%, wie bei Wolf et al. 2014 angegeben, von den Autoren als eine effektive Therapie der Skaphoidpseudarthrose bewertet. [169] Wolf et al. konnten eine Verbesserung im postoperativen DASH-Score erreichen. Die Autoren berichten, dass eine Verwendung sich insbesondere bei Pseudarthrosen im proximalen Drittel und bei Durchblutungsminderung der Pseudarthrosenanteile anbietet. [125]

Bei der Materialentnahme vom palmaren Radius nutzt man die Gefäße des *Arcus radiocarpalis palmaris* und *Arcus palmaris metaphysealis*. Diese Entnahme ist weitaus komplexer als die Entnahme von Spongiosa bzw. nicht-gestielten Transplantaten. Sie bringt die Gefahr einer distalen Radiusfraktur am Entnahmeort mit sich. [133]

Es gibt noch weitere Risikofaktoren für die Versorgung mit einem 1./2. interkompartimentellen supraretinakulären gestielten Präparat. Gemäß Chang et al. sind diese: fortgeschrittenes Alter, eine avitale Nekrose des proximalen Pols, präoperative *Humpback*-Deformität, Voroperationen ohne Doppelgewindeschraube (z.B. mit Kirschner- Drähten), Tabakkonsum und weibliches Geschlecht. [170] Diese gelten aber nicht nur speziell für diese Operationsmethode, sondern können auch bei anderen Verfahren von Bedeutung sein.

2.1.1.3 Matti-Russe-Plastik

Das von Matti H. 1936 und Russe O. 1951 beschriebene Verfahren stellt das älteste Standardverfahren zur Versorgung der Skaphoidpseudarthrose dar und kommt ohne heterologe Fixationsmaterialien aus. [127, 128] Postoperativ ist jedoch eine Immobilisation im Unterarmgips für acht bis zehn Wochen notwendig. Anschließend ist eine Überprüfung der Konsolidierung durch ein konventionelles Röntgen oder durch eine CT notwendig. [129] Die lange Immobilisationszeit ist ein Hauptnachteil dieser Art der Versorgung. [130] Dacho et al. untersuchten 2004 die Langezeitergebnisse dieser Methode. [171] Die Autoren stellten hier eine Konsolidierungsrate von 82% fest. Der postoperative durchschnittlich DASH-Wert lag bei 15. Die mittlere Griffstärke lag bei 89% und die rasche Wechselgriffstärke bei 91% im Vergleich zur gesunden kontralateralen Seite. [171] Dacho et al. zeigten damit, dass dieses schon lange existierende Verfahren immer noch einen Stellenwert zur Versorgung der Skaphoidpseudarthrose hat. Dies im Rahmen einer Studie mit einem langen Nachbeobachtungszeitraum, in diesem Fall von durchschnittlich 88 Monaten. Die lange Erfahrung mit dieser Methode zeigt sich auch in der außergewöhnlichen Arbeit von Shakir et al. [172] Die Autoren untersuchten die Behandlung der Skaphoidpseudarthrose mittels Matti-Russe-Technik an zehn Kindern. Sie stellten fest, dass sich die Matti-Russe-Plastik ohne intraossäre Fixierung als sichere und effektive Methode zur Behandlung der seltenen kindlichen Pseudarthrose des Kahnbeins eignet. [172] Die hohe Popularität der Methode im wissenschaftlichen Diskurs lässt auch daraus ableiten, dass in der Literaturrecherche allein im deutschsprachigen Raum fünf Dissertationen zu finden waren, die sich mit der Matti-Russe-Technik beschäftigten. 1970 durch Krayenbühl C.-U. an der Universität Zürich [173], 1993 Ahlers I. an der Freien Universität Berlin [174], 1995 Drabek

K. an der Universität München [175], Kralewski J.-C. an der Universität Tübingen [176], sowie 1997 Graf C. an der Freien Universität Berlin. [177] In allen Arbeiten lieferte die untersuchte Methode gute Ergebnisse hinsichtlich Wiedervereinigungsrate und gebesserten postoperativen Beschwerdebild.

2.1.1.4 Freies mikrovaskuläres Femurtransplantat

Alternativ zum Femur kann ein freies Transplantat auch aus dem Beckenkamm gewonnen werden. Kastenberger et al. werteten mehrere Studien zu freien Transplantaten aus und stellten fest, dass als Entnahmeort der mediale Femurkondylus zu bevorzugen ist. [178]

Im Vergleich zum gestielten Transplantat aus dem Radius gibt es Hinweise, dass es bei einem freien Transplantat aus dem Femur, zu einer längeren Operationszeit, einer größeren Hebedefektmorbidität und postoperativ zu stärkeren Bewegungseinschränkungen des Handgelenks kommt. [134] Da die Therapie der avaskulären Nekrose des Skaphoids nicht Bestandteil dieser Arbeit ist, wird die Methode des freien mikrovaskulären Femurtransplantats nicht weiter ausgeführt.

2.1.2 Rettungsoperationen

Die Rettungsoperationen werden bei fortgeschrittenem karpalem Kollaps oder gescheiterten Voroperationen angewendet. Das in dieser Arbeit untersuchte Verfahren dient dem kurativen Ansatz und setzt eine suffiziente Durchblutung der Pseudarthrosenteile voraus. Die Indikation ist somit eine andere, dennoch sollen die Rettungsoperationen auf Grund ihres Stellenwerts hier erwähnt werden.

2.1.2.1 Mediokarpale Teilarthrodese

Die mediokarpale Teilarthrodese ist seit Erstbeschreibung durch Watson et al. (1981) ein etabliertes Verfahren zur Behandlung des karpalen Kollapses. [25] Anfänglich wurde das *Os skaphoideum* noch belassen, mittlerweile hat sich die mediokarpale Teilarthrodese mit vollständiger Entfernung des *Os skaphoideums* als Standardverfahren etabliert. [25, 179] Das Verfahren zeigt eine Schmerzreduktion bei ausreichendem Bewegungsumfang und funktionalem Ergebnis. [180] Bei der mediokarpale Teilarthrodese handelt es sich mittlerweile in den meisten Fällen um eine *Four-Corner-Fusion* mittels einer speziellen,

winkelstabilen Platte, die Arthrodesse ist aber auch mit anderen Implantaten (z. B. Kirschnerdrähten, kanülierten Schrauben oder ähnlichem möglich) [107].

Vorteil der mediokarpalen Teilarthrodesse ist der Erhalt der physiologischen Bewegungsabläufe im Radiocarpalgelenk. [107] Als Nachteil ist eine Pseudarthroserate der zu verbindenden Fragmente von 5,5% laut Mulford et al. zu erwähnen. [181] Die Auswertung von 52 Artikeln durch Mulford et al. stammt dabei aus 2009. Mulford et al. geben an, dass gemäß deren Auswertung die Pseudarthroserate bei der Verwendung von Platten zur Arthrodesse sogar noch höher war. Mittlerweile konnte die Komplikationsrate durch Platten mittels Anpassung des Designs und der Schrauben reduziert werden. [25]

2.1.2.2 Proximal Row Carpectomy (PRC)

Die PRC ist ein im Vergleich zur mediokarpalen Teilarthrodesse technisch einfacheres Verfahren [107] und stellt eine Therapiealternative für Handgelenksarthrose (wie u.a. SLAC oder SNAC) dar. [182]

Da keine knöcherne Konsolidierung notwendig ist, wäre das Verfahren bei starken Rauchern ggf. als Alternative zur mediokarpalen Teilarthrodesse mit Spongiosaplastik zu bevorzugen. Die Auswertung von Mulford et al. erbrachte keinen Unterschied zwischen *Four Corner Fusion* und PRC hinsichtlich postoperativer Griffstärke, Schmerzreduktion und subjektiven Outcome. [181] Beide zeigten auch gleiche Ergebnisse bei frühen Stadien von SLAC und SNAC hinsichtlich der späteren Panarthroserate, jedoch stellen Gracia et al. fest, dass die *Four Corner Fusion* häufiger zu Zweiteingriffen geführt hat und die PRC vorteilhafter im Stadium II von SLAC und SNAC zu sein scheint. [183]

2.1.3 Zusammenfassung Therapie der Skaphoidpseudarthrose

Trotz der guten Ergebnisse mit der vaskularisierten Knochentransplantation werden die meisten Skaphoidpseudarthrosen ohne vaskularisiertes Knochentransplantat, sondern mit anderen Verfahren operiert. Aufgrund der verlängerten Operationszeit und höheren technischen Anforderungen sollten bei Skaphoidpseudarthrosen ohne relevante Nebenrisiken Operationstechniken ohne vaskularisierten Knochenspan angewendet werden. [184] Die Versorgung mittels Herbert-Schraube stellt weiterhin das Standardverfahren zur Versorgung der Skaphoidpseudarthrose dar. Bei avitalen Fragmenten oder langbestehender Pseudarthrose ist ein vaskularisiertes Transplantat gestielt oder frei zu verwenden. [178]

Bei fortgeschrittenen karpalen Kollaps stellen die mediokarpale Teilarthrodese oder die Entfernung der proximalen Handwurzel Reihe gute Rettungsoperationen zur Schmerzreduktion sowie Erhalt der Funktionalität und Beweglichkeit dar.

Einer der Hauptrisikofaktoren für das Scheitern der operativen Versorgung der Skaphoidpseudarthrose stellt das Rauchen dar. [185] Raucher sollten das Rauchen eine Woche vor der geplanten operativen Versorgung der Pseudarthrose einstellen und auf das Rauchen während des Heilungsprozesses verzichten. [185]

3 Material und Methoden

In dieser Arbeit werden die von 2005 bis 2018 in der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs- und Handchirurgie, Verbrennungsmedizin des BWZK Koblenz mit dem unten beschriebenen Verfahren „Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mittels Bohrdrahtosteosynthese und Interposition von autologer Spongiosa“ operierten Patienten ausgewertet. Dies wurde in Form einer monozentrischen retrospektiven nicht interventionellen Studie durchgeführt. Im oben genannten Zeitraum wurden 110 Patienten mit einer Skaphoidpseudarthrose mit diesem Verfahren operiert. Davon konnten 5 Patienten nicht mit einbezogen werden, da die erforderlichen medizinischen Unterlagen z. B. die Krankenakte oder Röntgenbilder nicht vollständig vorlagen. Ein Patient musste ebenfalls ausgeschlossen werden, da er ein Ausschlusskriterium der Studie erfüllte. Dabei handelte es sich um das Nichtbeherrschen der deutschen Sprache. Damit umfasst die Auswertung 104 Patienten.

Es erfolgte ein positives Ethikvotum der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz (AZ: 2020-15326) unter Einbindung des Datenschutzbeauftragten des Bundeswehrzentralkrankenhauses Koblenz.

3.1 Datenerhebung und Patientengut

Anhand der Kodierung M84.14 (Nichtvereinigung der Frakturenden [Pseudarthrose]: Hand) wurden im Krankenhausinformationssystem des BWZK Koblenz für den Zeitraum 2005-2018 die Namen der mit dieser Diagnose operierten Patienten herausgefiltert. Anschließend wurden die speziell mit dem zu untersuchenden Verfahren operierten Patienten identifiziert. Nach der Patientenidentifikation erfolgte die Betrachtung der Patientenakten und die Erhebung der notwendigen Daten aus Anamnesebogen, Entlassungsbericht, Operationsbericht und weiterer Dokumentation. Nicht im Archiv des BWZK vorhandene Patientenakten wurden im Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr in Andernach angefordert. Die Patientenakten lagern dort, um schrittweise mikroverfilmt und archiviert zu werden. Es konnte daher zum großen Teil noch auf die originalen Patientenakten zurückgegriffen werden. Es lagen nicht alle Akten in elektronischer oder schriftlicher Form vor bzw. waren noch nicht vollständig in die Dokumentation am Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr eingepflegt. Diese mussten persönlich vor Ort am Fotobetrachter für Mikrofilme herausgesucht und analysiert werden. Die Röntgenbilder wurden zum großen Teil digital mit der

Röntgendokumentationssoftware des BWZK Koblenz betrachtet, einige lagen auch nicht digital, sondern nur in analoger Form in den Patientenakten vor.

Für die Kontaktaufnahme anlässlich der retrospektiven Befragung der Patienten waren die persönlichen Kontaktdaten notwendig. Diese wurden aus den Patientenakten oder bei den jüngeren Fällen aus dem Krankenhausinformationssystem gewonnen. Die identifizierten Probanden wurden postalisch angeschrieben, bei fehlerhafter Empfängeradresse oder ausbleibender Antwort wurden sie telefonisch kontaktiert.

3.2 Der Befragungsbogen

Der für diese Arbeit eigens kreierte Fragebogen umfasst fünf Seiten im Format DIN A4. Er erfasst epidemiologische und persönliche Daten sowie Umfang, Art und Dauer der prä- und postoperativen Beschwerden. Der Behandlungserfolg wurde mittels eines modifizierten Mayo-Wrist-Score und eines modifizierten DASH-Score erfasst. Ebenso wurde erfragt, ob eine erneute Operation notwendig war. Zur Erfassung der aktuellen postoperativen Beweglichkeit wurden Piktogramme verwendet anhand derer die Probanden die Bewegungsumfänge der Bewegungen Dorsalextension/ Palmarflexion und Radialabduktion/ Ulnarabduktion orientierend angeben konnten. Für ein komplexeres Erfassen der Bewegungsumfänge wäre eine postoperative körperliche Untersuchung notwendig gewesen, dies ist nicht Umfang dieser Arbeit und wurde bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht im großen Umfang durchgeführt. Der vollständige Fragebogen ist in Anlage 7.1 zu finden.

Der Fragebogen konnte schriftlich ausgefüllt und mittels vorfrankierten Rückumschlag zurückgesandt werden. Zusätzlich waren auf dem Studieninformationsblatt ein QR-Code und ein Internet-Link abgedruckt. Diese führten zu der Onlineversion des Fragebogens. Der Fragebogen konnte somit auch online beantwortet werden. Vor Ausfüllen des Fragebogens erhielten die Patienten analog wie digital Studieninformationen zum Umfang, zur Intention und zum Ziel der Studie sowie eine Information zum Datenschutz. Für das Onlineangebot des Fragebogens wurde der externe Anbieter Lamapoll (<https://www.lamapoll.de>) genutzt.

3.3 Statistische Auswertung

Die Daten aus den Befragungsbögen wurden, in einer digitalen Datenbank zusammengeführt und anonymisiert. Die anschließende weitere Verarbeitung fand anonymisiert statt. Der Studienbeschreibung entsprechend wurde ein Erfassungszeitraum von 14 Jahren (01.01.2005.-31.12.2018) gewählt. Die zu erwartenden Fallzahlen konnten aus der Recherche im Krankenhausinformationssystem gleich am Anfang genau definiert werden. Bei der verwendeten Datenbank-Software handelt es sich um Microsoft® Excel® für Mac Version (16.54).

3.4 Deskriptive Statistik

Beginnend mit der deskriptiven Darstellung der erfassten Daten wurden diese in den jeweiligen Kategorien (z.B. Alter, Alter zum OP-Zeitpunkt, postoperativer Aufenthalt etc.) in Zahlenwerten in Form von Anzahl, Minimal-, Maximal-, Median- und Mittelwert mit entsprechender Standardabweichung dargestellt. Bei Zahlenniveaus, bei dem die Interskalierbarkeit nicht gegeben war, wurde anstatt des Medians das arithmetische Mittel berechnet. Die nominalskalierten Parameter wurden als absolute Zahlen und in der relativen Häufigkeit beschrieben. Zahlen wurden bis auf die erste Kommastelle, Prozentwerte ohne Kommastelle gerundet. Primär nicht nominale Daten wurden in Kategorien zusammengefasst und dann die entsprechenden Verhältnisse dargestellt, z.B. Geschlechterverteilung, Lokalisation der Skaphoidpseudarthrose etc.

3.5 Analytische Statistik

Der erhobene Datensatz wurde zunächst mittels eindimensionaler Häufigkeitsverteilungen untersucht. Eine univariate Analyse wurde durchgeführt. Bei schief verteilten Variablen wurden diese aus der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen. Zum Beispiel wurde bei der großen Dysbalance hinsichtlich der Geschlechterverteilung auf die Darstellung von Unterschieden zwischen Männern und Frauen verzichtet.

Die bivariate Analyse zur Darstellung von Zusammenhängen erfolgt bei den nichtmetrischen Variablen mithilfe von zweidimensionalen Häufigkeitstabellen.

Die erhobenen Median- und Mittelwerte innerhalb der Kohorte wurden dann abschließend mit den vorhandenen Daten anderer operativer Verfahren zur Versorgung der

Skaphoidpseudarthrose verglichen, um eine qualitative Beurteilung des Verfahrens zu ermöglichen. Es wurde für eine jeweilige untersuchte Variable auch der Zusammenhang zu intervallskalierten Variablen wie z.B. zwischen präoperativen Beschwerden und postoperativen Krankenhausaufenthalt oder DASH- Wert betrachtet. Aufgrund der kleinen Kohorte waren dabei aber häufig keine signifikanten Daten festzustellen und auch nicht vorrangiges Interesse dieser Arbeit.

3.6 Das untersuchte Verfahren

Das zu untersuchende Verfahren wird u.a. in der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs- und Handchirurgie, Verbrennungsmedizin des BWZK Koblenz zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose angewandt. Die Indikation für ein solches Verfahren ist eine Pseudarthrose des *Os skaphoideum*, bei der alle Teile des *Os skaphoideum* eine suffiziente Durchblutung aufweisen müssen. Dies wird präoperativ mittels CT und im Zweifelsfall mittels zusätzlicher (kontrastierter) MRT überprüft.

Die Vitalität der beiden Kahnbeinfragmente wird nach konsequenter Resektion der Pseudarthrose auf beiden Seiten intraoperativ durch temporäres Öffnen der Blutsperre reevaluiert. Nur bei einer makroskopisch sichtbaren Durchblutung kommt die Pseudarthrosensanierung mittels autologen Transplantat in Frage. Bei avitalem proximalen Pol wird dieser durch einen autologen osteochondralen Span aus der 9. Rippe ersetzt, ein Verfahren, das in der hier vorgenommen Untersuchung nicht mit evaluiert wird.

Operationsverlauf

Der operative Eingriff findet in Rückenlage in Allgemeinanästhesie statt. Es wird obligat eine geeignete/ verträgliche Single-Shot-Antibiotikum-Prophylaxe in der Narkoseeinleitung intravenös verabreicht. Sofern keine Allergie gegen Beta-Laktam-Antibiotika vorliegt, erfolgt diese mit Cefuroxim 1,5 g intravenös. Der betroffene Arm wird nach Vorbereiten einer Oberarmblutsperre auf einem gepolsterten Armtisch ausgelagert. Es erfolgt die mehrfache chirurgische Wischdesinfektion der Hand und des Unterarms bis zum Ellenbogen, zusätzlich des Beckenkamms als Entnahmeort für die Spongiosa. In der Regel wird als Entnahmeort die ipsilaterale Seite des Beckens gewählt. Es erfolgt das sterile Abdecken und Abkleben der Operationsfelder. Nach Aktivieren der Blutsperre erfolgt der beugeseitige Zugang zum Handgelenk radial von der FCR-Sehne oder über deren Lager. Die Handgelenkskapsel wird

in Längsrichtung gespalten. Meist ist eine lokale Synovektomie erforderlich. In der Regel kommt jetzt die Pseudarthrose zum Vorschein.

Die Pseudarthrosenflächen werden beidseits konsequent reseziert, sei es mittels feinem Osteotom oder durch Curretage. Nach Öffnen der Blutsperre wird die Durchblutung beider Polfragmente überprüft. Wenn beide Polfragmente suffizient durchblutet sind, kann das Verfahren fortgesetzt werden als Rekonstruktion mittels eines Spongiosablocks vom Beckenkamm. Es empfiehlt sich, bereits zu diesem Zeitpunkt zwei parallele Bohrdrähte retrograd in das distale Kahnbeinfragment vorzulegen, deren korrektes Einlaufen mittels Röntgendurchleuchtung kontrolliert wird. Auch hier ist auf einen peniblen Weichgewebsschutz zu achten, auf den *R. dorsalis* der *A. radialis* mit Begleitvenen und den *R. superficialis* des *N. radialis*. Im Idealfall erscheinen die Bohrdrahtspitzen nebeneinander zentral in der ehemaligen Pseudarthrosenfläche und zielen in Richtung proximaler Pol.

Nun wird das Kahnbein palmar in Gänze dargestellt und beurteilt hinsichtlich umformender Veränderungen, zum Beispiel ist es verkürzt oder bestehen sichtbare Nebenfunde (DISI-Fehlstellung, *Humpback*-Deformität). Etwaige Fehlstellungen wie zum Beispiel die DISI-Fehlstellung werden korrigiert, um das korrekte intercarpale Alignement und konsekutiv auch die regelrechte Anatomie des Skaphoids wieder herzustellen. Dazu ist ggf. das Linscheidmanöver erforderlich, bei dem das *Os lunatum* aus der DISI-Fehlstellung orthotop unter das Capitatum in die *Fossa lunata* eingestellt wird, in die so genannte „1er-Position“. Hierfür hat sich ein Bohrdraht als „joy-stick“ im *Os lunatum* als Repositionshilfe bewährt. In der Originalversion folgt eine temporäre, radiolunäre Transfixation mittels zweier antegrader, von dorsal eingebrachten Bohrdrähte, die nach der knöchernen Konsolidierung des Kahnbeins entfernt werden. Bei einem intakten skapholunären Band kann sich nach Auflösen der Pseudarthrose der proximale Skaphoidpol von selbst reponieren. Es gilt den radiolunären Winkel wieder physiologisch einzustellen. Es wird intraoperativ mittels Durchleuchtung überprüft, ob die DISI-Fehlstellung aufgehoben wurde. Das eigene Vorgehen für das Linscheidmanöver wurde vor ca. 10 Jahren abgewandelt: Nach orthogradem Einstellen des Mondbeines gegenüber dem Kopfbein folgt eine capitolunäre Transfixation via zweier paralleler, retrograd von dorsal über die Basis des MC III eingebrachter Bohrdrähte. Dabei ist ein konsequenter Weichgewebsschutz, insbesondere zum Schutz der Strecksehnen, ebenso zu berücksichtigen wie eine niedrige Umdrehungszahl beim Bohren zur Vermeidung von thermischen Osteonekrosen. Der Vorteil hierbei liegt darin, dass keine Mikrobebewegungen mehr übertragen werden zwischen dem am Radius fixierten Mondbein und dem

Kahnbein, sondern das Mondbein dem Skaphoid folgen kann. Nach Bestätigung der korrekten Implantatlage werden die beiden Bohrdrähte unter Hautniveau gekürzt.

Pseudarthrosenresektion und Reposition des Mondbeins hinterlassen mit Aufhebung der *Humpback*-Deformierung jetzt einen meist trapezförmigen Defekt im Kahnbein, so dass das Interponat entsprechend zu modellieren ist.

Die Entnahme des autologen Transplantates vom Beckenkamm erfolgt stets in ausreichender Distanz von der Spina iliaca anterior (mind. 4 Querfinger) und unter Schonung des *N. cutaneus femoris lateralis*. Wird ein rein spongiöser Block benötigt, wird dieser nach kurzstreckiger Entdeckung der *Crista iliaca* entnommen. Wird bei größerem Defekt zur besseren Abstützung eine Kortikalis am Transplantat gewünscht, kann dieses innenseitig von der *Tabula interna* aus gewonnen.

Das Transplantat wird exakt zurecht modelliert: es muss den Defekt vollständig und press-fit ausfüllen. Die beiden vorgelegten Bohrdrähte im distalen Pol werden danach unter Sicht und bei Durchleuchtungskontrolle durch das Transplantat retrograd in den proximalen Pol vorgetrieben und in der dortigen Kortikalis verankert. Nach Bestätigung der korrekten Lage mittels BV werden auch diese Drähte unter Hautniveau gekürzt. Die Gelenkkapsel mit extrinsischem System wird exakt anatomiegerecht wieder verschlossen, abschließend erfolgt die Hautnaht. Auf die Ein- und Austrittsstellen der Drähte sowie auf die Zugangswunde werden sterile Mullwolken aufgebracht, darüber ein Wickelverband. Die sofortige postoperative Ruhigstellung erfolgt durch eine gepolsterte Kunststoff-Steigbügelschiene.

Postoperatives Procedere

Nach Abschwellen und abgeschlossener Wundheilung wird bei regulärem Heilungsverlauf, von der Kunststoff-Steigbügelschiene auf einen geschlossenen Daumeneinschlusscast gewechselt, auch „Naviculare-Cast“ genannt.

Es erfolgen radiologische Verlaufskontrollen mittels Röntgen der Hand in drei Ebenen je nach vier und acht Wochen postoperativ. Es wird insbesondere auf Dislokationen, Stellungsverhältnisse, das Einsinken des Kahnbeins und ein Voranschreiten der Konsolidierung geachtet. Nach frühestens acht Wochen kann bei nativradiologisch gesicherter Konsolidierung des Kahnbeins die Entfernung aller vier Bohrdrähte in Lokalanästhesie stattfinden. Teilweise ist für eine gesicherte Konsolidierung eine CT-Untersuchung notwendig. Nach der K-Draht-Entfernung ist die Hand übungs- aber nicht belastungsstabil. Es sollte weitere vier Wochen gewartet werden, bis die Hand vollständig belastet werden kann. Eine Protektion durch eine leichte, abnehmbare, vorkonfektionierte Handgelenksorthese ist anzuraten. Eine physio- oder ergotherapeutische Mitbehandlung sollte so früh wie möglich erfolgen. In einzelnen Fällen oder bei Nebenerkrankungen kann von dem oben genannten Schema abgewichen werden. Es wird jedoch versucht die Immobilisationszeit so gering wie möglich zu halten.



Abb. 14: Skaphoidpseudarthrose mit radiolunärer Transfixation ca. vier Wochen postoperativ im Röntgen a.p., mit anliegendem Cast. Hier wurde das originäre Linscheid-Manöver vorgenommen. (Quelle: Klinik für Radiologie und Neuroradiologie am Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz. Mit freundlicher Genehmigung von Oberstarzt Priv.-Doz. Dr. med. S. Waldeck)



Abb. 15: Skaphoidpseudarthrose mit radiolunärer Transfixation, ca. vier Wochen postoperativ im seitlichen Röntgen, mit anliegendem Cast (Quelle: Klinik für Radiologie und Neuroradiologie am Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz. Mit freundlicher Genehmigung von Oberstarzt Priv.-Doz. Dr. med. S. Waldeck)

Hier abgebildet, im Vergleich zu den vorausgehenden postoperativen Röntgenbildern mit radiolunärer Transfixation, erkennt man auf den nebenstehenden Abbildungen 16 und 17 die operative versorgte Skaphoidpseudarthrose mit der capitulunären Transfixation. Welche, wie oben bereits angeführt, eine Abwandlung des Linscheidmanövers zur Korrektur der DISI-Fehlstellung darstellt und unsererseits favorisiert wird.



Abb. 16: Skaphoidpseudarthrose mit capitulunärer Transfixation, 1. Tag postoperativ im a.p. Röntgen mit anliegendem Cast (Quelle: Klinik für Radiologie und Neuroradiologie am Bundeswehrzentral-krankenhaus Koblenz. Mit freundlicher Genehmigung von Oberstarzt Priv.-Doz. Dr. med. S. Waldeck)



Abb. 17: Skaphoidpseudarthrose mit capitulunärer Transfixation, 1. Tag postoperativ im seitlichen Röntgen mit anliegendem Cast (Quelle: Klinik für Radiologie und Neuroradiologie am Bundeswehrzentral-krankenhaus Koblenz. Mit freundlicher Genehmigung von Oberstarzt Priv.-Doz. Dr. med. S. Waldeck)

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht das Therapieschema des untersuchten Verfahrens der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs- und Verbrennungsmedizin des Bundeswehrzentrankrankenhauses Koblenz.

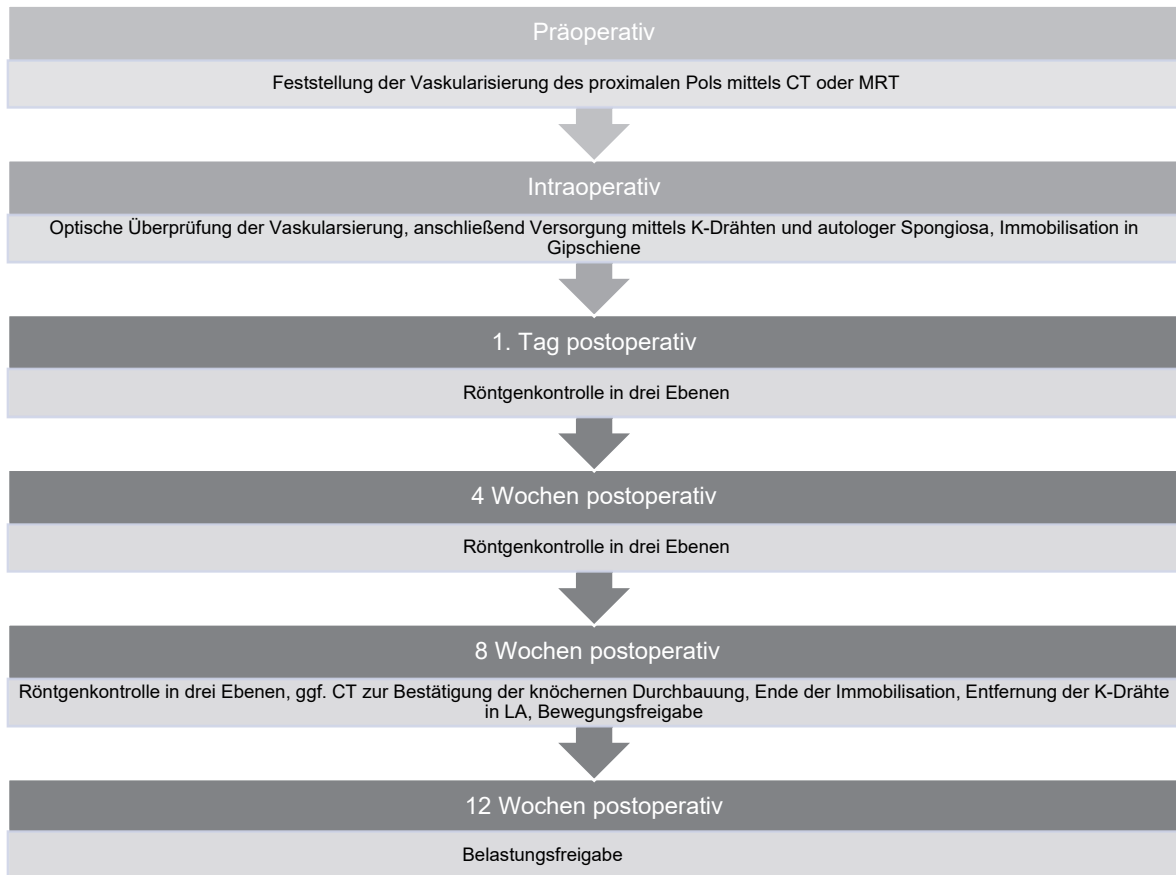


Abb. 18: Therapieschema Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mittels Bohrdrahtosteosynthese und Interposition von autogener Spongiosa. Eigene Darstellung.

3.7 Vorgehen zur Patientenakquise

Für die Durchführung der monozentrischen retrospektiven Studie wurden, die nach oben genannten Kriterien ausgewählten Patienten nachbetrachtet und ihr Krankheitsverlauf ausgewertet. Nach Erstellung eines Studienprotokolls und Einholen der Stellungnahme des Datenschutzbeauftragten des Bundeswehrzentrankrankenhauses Koblenz wurde ein Ethikantrag an die Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz gestellt und positiv beschieden (AZ: 2020-15326). Die 104 betrachteten Patienten wurden mittels des eigens konzipierten Fragebogens, Patientenanschreiben, Studieninformationsschreiben, Studieneinwilligung und Datenschutzerklärung postalisch angeschrieben.

Die Befragung startete im Oktober 2020. Die erste Phase endete mit Ablauf des Dezember 2020. Nach Ablauf Dezember 2020 war der Fragebogen online nicht mehr dauerhaft verfügbar. Es stellte sich heraus, dass ein großer Teil der in den Patientenunterlagen vorhandenen Adressen nicht mehr aktuell war, somit gab es im Dezember 2020 nur eine geringe Anzahl an Rückläufern. Daher begann die zweite Phase der Befragung.

Im Rahmen der zweiten Phase identifizierten wir aus den Patientenunterlagen explizit die telefonischen Erreichbarkeiten. Anschließend wurde versucht die Probanden, die nicht innerhalb der ersten Phase schriftlich oder online geantwortet hatten, telefonisch zu kontaktieren. Leider waren auch hier die Kontaktdaten zum Teil veraltet, darüber hinaus stellte es sich als sehr zeitaufwendig dar mit den Patienten den Fragebogen telefonisch zu beantworten oder einen Termin zur telefonischen Beantwortung zu vereinbaren. Bei einem großen Teil der operierten Patienten handelte es sich um Soldaten. Dabei fiel auf, dass vor Aussetzen der Wehrpflicht im Jahr 2011 bei vielen Patienten gar keine persönliche telefonische Erreichbarkeit abgefragt wurde. Besonders bei den Patienten der Jahre 2005 – 2008 waren kaum telefonische Erreichbarkeiten vorhanden. In den letzten Jahren des betrachteten Zeitraums ließen sich die Probanden sehr gut kontaktieren. Einige Probanden wünschten nach telefonischer Kontaktaufnahme die erneute Zusendung der schriftlichen Unterlagen an ihre aktualisierte Adresse. Die zweite Phase der Befragung endete im Mai 2021.

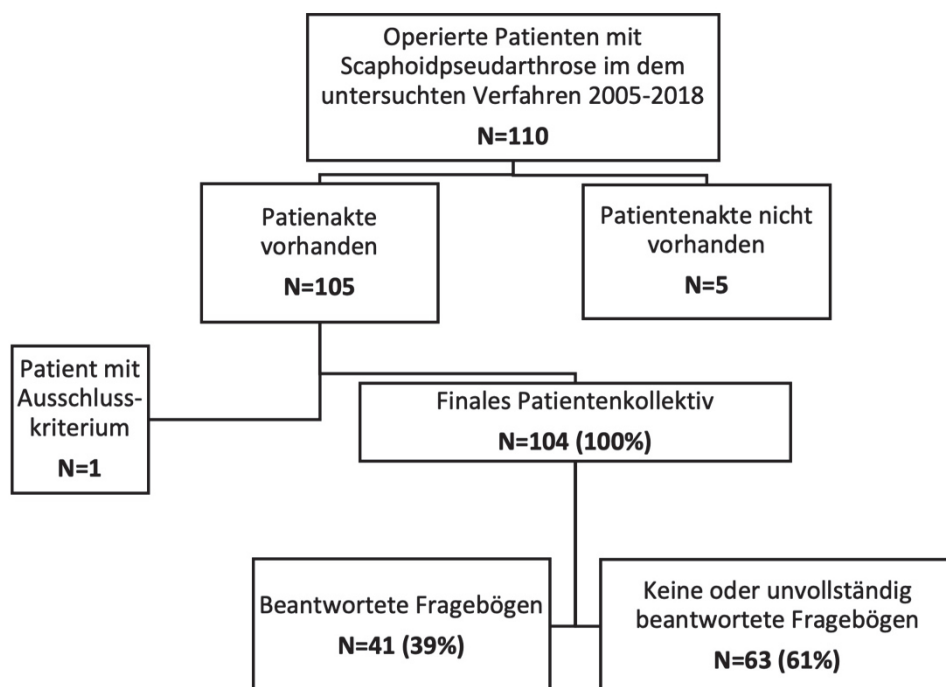


Abb. 19: Schema zur Akquise des Patientenkollektivs

3.8 Erhobene Daten

Erhoben wurden Geschlecht (weiblich oder männlich), Geburtsdatum, Operationsdatum und dem damit verbundenen Alter zum Zeitpunkt der operativen Versorgung. Die Bestimmung der Lokalisation der Skaphoidpseudarthrose erfolgte mittels Kontrolle der Röntgenbilder und aus der Patientendokumentation. Dabei wurde nur unterschieden zwischen der Lokalisation des Pseudarthrosespalts im „proximalen, mittleren und distalen Drittel“. Eine Klassifikation nach Herbert, Krimmer oder Allnot konnte nicht gesamtheitlich durchgeführt werden. Aus den Patientenakten wurde versucht die ursprünglichen Ursachen für die Skaphoidfraktur und spätere Skaphoidpseudarthrose herauszufinden. Da der Fragebogen das initiale Trauma nicht standardisiert erfasste, sind die identifizierten Angaben aus den Patientenakten zur Traumaursache sehr heterogen. Sie waren vor allem in den Anamnesebögen, Operationsberichten oder Entlassungsbriefen zu finden. Dabei sind die Angaben im Rahmen der Dokumentation durch den Berichtenden verallgemeinert oder verändert worden. Im Rahmen dieser Auswertung fassten wir die Angaben in Gruppen zusammen. Die Begleitverletzungen des Handgelenks wurden miterfasst, ebenso die Operationsseite und die Entnahmeseite für die Spongiosa. Die Dauer des postoperativen Aufenthalts konnte aus den Patientenakten entnommen werden, ebenso die Empfehlungen zur Immobilisationsdauer, zu den Zeitabständen der radiologischen Verlaufskontrollen und der Entfernung der Kirschnerdrähte. Soweit aus Patientenakten und Befragungsbögen identifizierbar, erfolgte die Erfassung der dominanten Hand. Prä- und postoperative Beschwerden wurden versucht bestmöglich für jeden Patienten zu erfassen, ebenso ob eine erneute Operation notwendig war. Diese Information war im Wesentlichen aus der Befragung isolierbar. Es wurde nach postoperativer durchgeführter ergo- oder physiotherapeutische Mitbehandlung gefragt, sowie nach deren Dauer. Die ursächlichen Traumata wurden, falls sie identifiziert werden konnten in Gruppen zusammengefasst. In diesen Zusammenhang wurde nach einer initialen Therapie gefragt und diese erfasst, ob zum Beispiel bereits eine operative Versorgung im Vorfeld stattgefunden hatte. Ein eventueller Nikotinkonsum zum Zeitpunkt der operativen Versorgung konnte bereits anhand der Patientenakten, im wesentlichen durch den Anamnesebogen oder den Anästhesieaufklärungsbogen herausgefiltert werden.

Einige Daten, die bereits aus den Patientenakten ersichtlich waren, wurden zusätzlich in dem Fragebogen abgefragt, zum Beispiel die dominante Hand und der Nikotinkonsum. Die ungefähre Dauer der Arbeitsunfähigkeit sollte angegeben werden, ebenso ob eine erneute Operation nötig war. Der Hauptfokus des Befragungsbogens zielte auf die aktuellen Beschwerden und die Lebensqualität ab, sowie eventuellen Einschränkungen im Alltag und

Beruf. Dazu wurden ein modifizierter *Mayo-Wrist-Score* und der *DASH-Score* genutzt. Bei dem *Mayo-Wrist*- und *DASH-Score* handelt es sich um sogenannte *Patient-Reported-Outcome-Measures* (PROM). Dies sind Fragebogeninstrumente die relativ einfach mittels Selbstreflektion ein objektives Feedback über den Krankheits- und Heilungsverlauf sowie postoperative Funktion erstellen können. [186]

Der *Mayo-Wrist-Score*, erstbeschrieben 1987 von Cooney et al. dient der Evaluation von Handgelenksverletzungen. [187] Der Score nutzt vier Auswertungskriterien, die Fragen zielen auf die Attribute:

- „Aktuelle Schmerzen in der operierten Hand“ (*Pain intensity*)
- „Zufriedenheit mit dem Ergebnis nach der Operation“ (*Satisfaction*)
- „Bewegungsumfang des operierten Handgelenks“ (*Range of motion*)
- „Griffstärke im Vergleich zur Gegenseite“ (*Grip strength*)

Je nach entsprechend ausgewählter Antwort des Befragten wird in jeder der vier Kategorien eine zugeordnete Punktzahl vergeben und diese werden dann addiert. Es können insgesamt maximal 100 Punkte erreicht werden. Die addierte Punktzahl korreliert mit einer jeweiligen wörtlichen Beschreibung und drückt somit die postoperative Handgelenksfunktion bzw. das Operationsergebnis aus. 100 bis 90 Punkte sprechen für ein exzellentes, 89-80 Punkte für ein gutes, 79-65 für ein mittelmäßiges und weniger als 65 Punkte für mangelhaftes Operationsergebnis.

Anschließend sollte von den Probanden ein angepasster *DASH-Score* beantwortet werden. Der *DASH-Score* oder das *DASH-Questionnaire* ist ein Instrument, welches die Funktion der operierten Hand und die damit verbundene Lebensqualität erfasst. DASH steht für „*Disability of Arm-Shoulder-Hand*“ und wurde 1994 von der *Academy of Orthopedic Surgeons*, dem *Council for Musculoskeletal Specialty Societies* (MODEMS) und dem us-amerikanischen *Institute for Work and Health* entwickelt. [188] Der *DASH-Score* gliedert sich in drei Teile „Funktion, Symptomatik und Spezielle Aktivitäten“. Es findet eine Vergabe von Punkten der Werte von 1-5 statt. Anschließend wird mittels Berechnungsformell ein Endpunktstand ermittelt. Ein Endpunktstand von 0 entspricht einer optimalen Funktion ohne Behinderung, ein Endpunktstand von 100 würde einer maximalen Behinderung entsprechen. [188] Der *DASH-Score* hat in mehreren Studien seine Validität und Reliabilität, auch in der deutschen Übersetzung, zeigen können. [189-192]

Der frühfunktionellen Beübung nach Versorgung der Skaphoidpseudarthrose kommt eine hohe Bedeutung zu. Eindeutige Studien, die den Effekt von Physiotherapie nach operativer Versorgung der Skaphoidfraktur oder Skaphoidpseudarthrose zeigen existieren nicht. Jedoch zeigt die Physiotherapie einen positiven Effekt bei diversen anderen Krankheitsbildern im Bereich des Handgelenks und der Handwurzel. So kann Physiotherapie Anwendung finden bei Hyposensibilität und motorischen Störungen im Handbereich. [193] John et al. konnten zeigen, dass Physiotherapie bei traumatisch bedingter chronischer funktionaler Beeinträchtigung im Handbereich einen positiven Effekt hat. [194] Nach operativ versorgter Radiusfraktur ist das *Outcome* unter supervisierter Physiotherapie besser als ohne Physiotherapie. [195] Physiotherapie zeigt in Form von Manualtherapie einen positiven Effekt bei karpometakarpaler Arthrose. [196] Daher entschieden wir uns für die Erfassung, ob und wie lange Physiotherapie stattgefunden hat.

Am Ende des Fragebogens sollten die Probanden ihre Beweglichkeit anhand von Selbstbeobachtung und instruierenden Piktogrammen angeben. Es wurden zwei Bewegungsebenen erfasst, jeweils mit unterschiedlichen Ausprägungsgraden der Beweglichkeit. Orientiert wurde sich dabei an dem „*Munich Wrist Questionnaire*“, welches ebenfalls Piktogramme bzw. Beispielbilder einsetzt, um eine Objektivierung des Bewegungsumfangs des Handgelenks durch den Befragten selbst zu ermöglichen. [197]

- Vertikale Bewegungsrichtung
 - Dorsalextension: 0° (keine Dorsalextension möglich), 1-45° (geringe Dorsalextension möglich), 46- >80° (moderate bis gute Dorsalextension möglich)
 - Palmarflexion: 0° (keine Palmarflexion möglich), 1-45° (geringe Palmarflexion möglich), 46- >80° (moderate bis gute Palmarflexion möglich)
- Horizontale Bewegungsrichtung
 - Radialabduktion: 0° (keine Radialabduktion möglich), 1-15° (geringe Radialabduktion möglich), 16- >30° (moderate bis gute Radialabduktion möglich)
 - Ulnarabduktion: 0° (keine Ulnarabduktion möglich), 1-15° (geringe Ulnarabduktion möglich), 16- >30° (moderate bis gute Ulnarabduktion möglich)

Abschließend hatten die Probanden die Möglichkeit Bemerkungen oder Ergänzungen als Freitext einzufügen.

4 Ergebnisse

Aus dem betrachteten Kollektiv ergeben sich theoretisch zwei Gruppen. Die 104 identifizierten und angeschriebenen Patienten und die 41 Patienten, von denen die Fragebögen von erhoben und verwendet werden konnten.

Das entspricht einer Rückläuferquote von 39,4%. Die 63 restlichen Patienten sendeten keine Fragebögen zurück oder die Briefe kamen bei fehlerhafter Empfängeradresse zurück. Bei 30 Patienten konnte nicht versucht werden diese telefonisch zu kontaktieren, da in den Patientenunterlagen keine persönliche Telefonnummer angegeben war. Davon waren es 26 Patienten in den Jahren 2005-2008. Bei 32 Patienten war der Empfänger nicht zu ermitteln und die Adresse nicht aktualisierbar. 29 Patienten konnten kontaktiert werden entweder postalisch oder telefonisch, sendeten aber den Fragebogen nicht zurück oder wollten nicht an der Studie teilnehmen.

4.1 Biometrische Daten

Geschlecht

Von den 104 betrachteten Patienten waren 101 männlich und 3 weiblich. Das entspricht einer Verteilung von 97% Männeranteil zu 3% Frauenanteil.

Alter der Patienten bei Operation

Der zum Zeitpunkt der Operation jüngste Patient war 18 Jahre alt, der Älteste 66 Jahre alt. Das durchschnittliche Alter betrug 27,3 Jahre.

Mit 73 von 104 Patienten ist die Altersgruppe der 20- bis 29-Jährigen die mit Abstand stärkste Gruppe und entspricht ca. 70 % der Gesamtzahl der Patienten. Die zweitstärkste Gruppe sind die 30- bis 39-Jährigen, welchen einen Anteil vom ca. 14 % ausmachen. Zusammen machen die 20- bis 39-Jährigen ca. 84 % des Patientengutes aus. Alle Altersgruppen sind in folgender Tabelle visuell zusammengefasst.

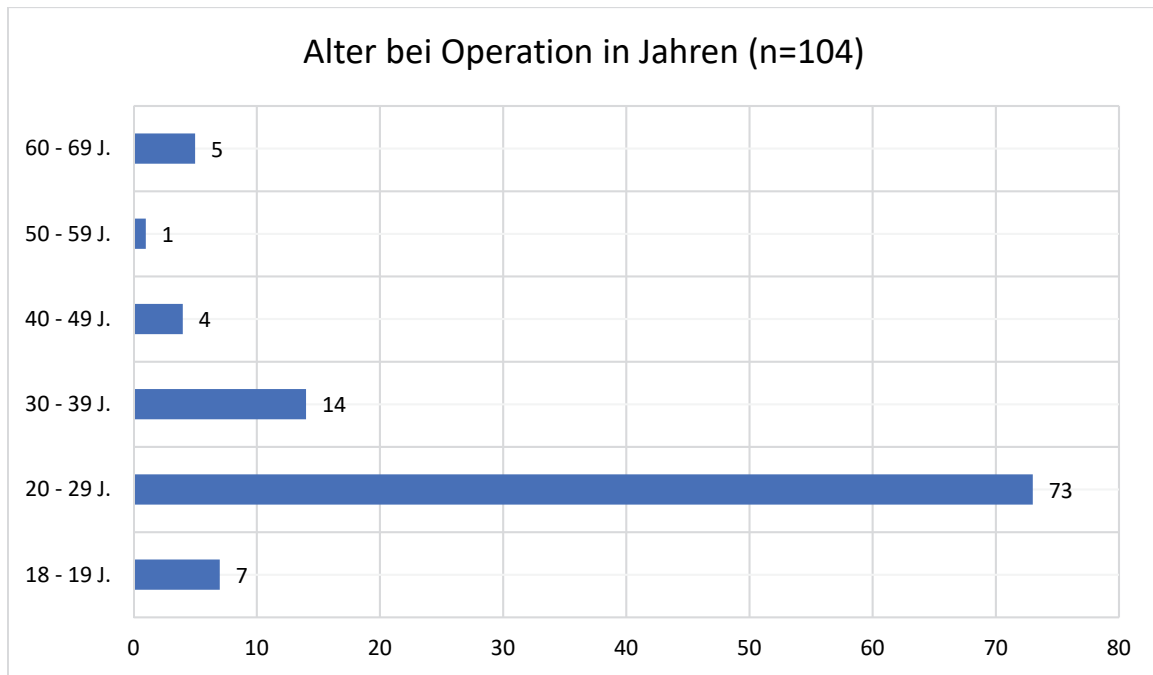


Tabelle 1: Alter bei Operation der im Zeitraum von 2005- 2018 operierten Patienten, J. (Jahre)

4.2 Allgemeine Medizinische Daten

Betroffene Hand der Skaphoidpseudarthrose

Bei 58 Patienten befand sich die Pseudarthrose im linken Handgelenk, bei 46 Patienten war das rechte Handgelenk betroffen. Dies entspricht einer Verteilung von 56 % für das linke Handgelenk zu 44 % für die rechte Handgelenk.

Dominante Hand

Die dominante Hand wurde nicht bei allen Patienten in der Anamnese der Patientenunterlagen angegeben. Gemäß Erhebung mittels der Fragebögen gab es 37 Rechtshänder und 4 Linkshänder. Zusätzlich waren noch 4 Rechtshänder aus den Patientenakten zu identifizieren, die den Befragungsbogen nicht beantwortet haben. Es handelt sich somit insgesamt um 41 Rechtshänder (ca. 91%) und 4 Linkshändern (9%). Bei insgesamt 45 Patienten, von denen die dominante Seite bekannt ist, macht dies eine Verhältnis von ca. 10 zu 1 zwischen Rechts- und Linkshändern aus.

Nikotinabusus

Gemäß Patientenunterlagen konnte der Nikotinkonsum zum Zeitpunkt der Operation von allen 104 betrachteten Patienten erfasst werden. Im Rahmen der Beantwortung der Befragungsbögen wurde er zusätzlich abgefragt. Dabei stellten wir keine Diskrepanz fest. Die Antworten zum Nikotinkonsum in den beantworteten Fragebögen deckten sich mit den erfassten Daten aus den Patientenunterlagen. Für den Zeitpunkt der Operation konnten 55 Nichtraucher und 49 Raucher erfasst werden. Das entspricht einem Verhältnis von 1,1 zu 1, somit hat fast jeder zweite Patient zum Zeitpunkt der Operation geraucht. Dies ist ein hoher Anteil an Rauchern. So liegt der Anteil an Rauchern gemäß Mikrozensus-Befragung des Statistischen Bundesamts von 2017 in Deutschland bei insgesamt 22,4% (weiblich und männlich) gemessen an der Gesamtbevölkerung. In der Altersklasse der 25- bis 30-Jährigen beträgt er 29,9%. Der Anteil von männlichen Rauchern ist gemessen an der Gesamtbevölkerung größer als bei Frauen und beträgt 26,4%. Besonders hoch ist er in der Altersklasse der 25- bis 30-Jährigen mit 35,1%. Im Vergleich dazu sind es nur 18,6% Raucherinnen gemessen über alle Altersklassen und 24,3% in der Altersklasse der 25- bis 30-Jährigen. [198] Der außergewöhnlich hohe Anteil an Rauchern in unserem Studienkollektiv könnte begründet sein durch das junge Patientenkollektiv, denn junge Menschen rauchen häufiger. [198] Ebenso ist das Rauchverhalten in bestimmten Berufsgruppen erhöht. Hier könnte der hohe Anteil an Soldaten an dem Studienkollektiv ein Störfaktor darstellen. Denn Rauchen ist unter Soldaten verbreiteter als in der Normalbevölkerung, dies ist zumindest für US-amerikanische Soldaten bekannt. [199, 200] Für die Auswertung des Operationserfolges des untersuchten Verfahrens ist dieser hohe Anteil an Rauchern relevant, da eben wie o. g. der Nikotinabusus einen relevanten Risikofaktor für die Konsolidierung darstellt.

Begleitverletzungen

Bei den erfassten Begleitverletzungen zeigte sich die DISI-Fehlstellung bei 40 der 104 operierten Patienten, demnach wiesen 39 % der Patienten eine DISI-Fehlstellung zusätzlich zur Skaphoidpseudarthrose auf. 18 % der Patienten wiesen eine *Humpback*-Deformität auf, dies entspricht in absoluten Zahlen 19. Die SNAC-Läsionen war mit ca. 14 %, dies entspricht 14 Patienten, die dritthäufigste Begleitverletzung.

Weitere Begleitverletzungen sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt. Sonstige Begleitverletzungen umfassen zwei Patienten mit knöcherner Läsion des *Os lunatum*, eine Patientin

mit Rhizarthrose und einem CRPS, ein Patient mit Fraktur des *Hamulus ossis hamati* und ein Patient mit Fraktur des *Os triquetrum*.

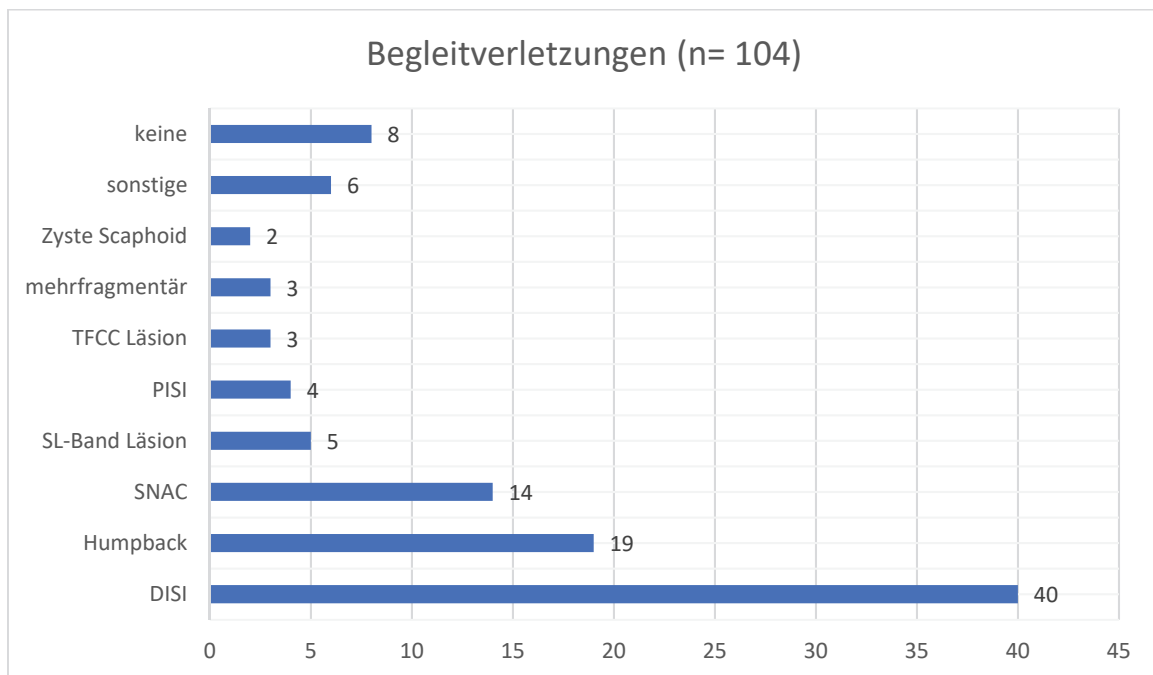


Tabelle 2: Begleitverletzungen der im Zeitraum von 2005-2018 operierten Patienten

Initiales Trauma

Eine Erfassung der initialen Traumata war sinnvoll, um einen Rückschluss auf besonders gefährdete Traumamechanismen ziehen zu können. Es konnten, wie bereits o. g. bei 97 der 104 betrachteten Patienten Angaben zur initialen Ursache herausgefiltert werden. Bei sieben Patienten gab es keinerlei Angaben. Die vorherrschende Ursache war der Sturz auf die Hand, meist verbunden mit einer Dorsalextension im Handgelenk. Ein Sturzereignis konnte bei 34 Patienten aus den Patientenunterlagen festgestellt werden. Als zwei häufigste Ursache ist bei unserem Patientengut tatsächlich eine Verletzung beim Fußballspielen identifiziert worden. Dabei wurde bei 23 Patienten als initiales Trauma „Fußballspielen“ angegeben. Sieben Patienten davon verletzten sich im Rahmen ihrer Tätigkeit als Torwart. Es erfolgte eine Zusammenfassung von Verletzungen durch andere Sportarten, dabei wurden unter anderem Ballanprall- Verletzungen beim Handball oder Schlägerverletzungen beim Hockey vorgefunden. Bei neun Patienten stellten sich als Ursache Verletzungen im Straßenverkehr mit PKW oder Motorrad heraus. Unter sonstigen Traumaursachen für das Skaphoid sind einzelne Ereignisse zusammengefasst, wie ein monoklonaler Krampfanfall mit Hyperextension und Anpralltrauma des Handgelenks im Rahmen des Krampfanfalls oder das Abfeuern einer Signalpistole. Aber auch die bereits beschriebene

Verletzungsursache in Form von Schlägen gegen einen „*punching bag*“ oder Sandsack fand sich unter den 104 Patienten wieder. Als sehr besondere Ursache wäre eine Rasenmäher-Verletzung zu nennen, wobei es wohl durch den Rasenmäher zu einer Kontusion der Handwurzel durch Überrollen gekommen ist, jedoch ohne offene Verletzung aber mit Fraktur des *Os skaphoideum*. Bei fünf Patienten wurden in den Patientenakten explizit erwähnt, dass kein initiales Trauma erinnerlich sei.

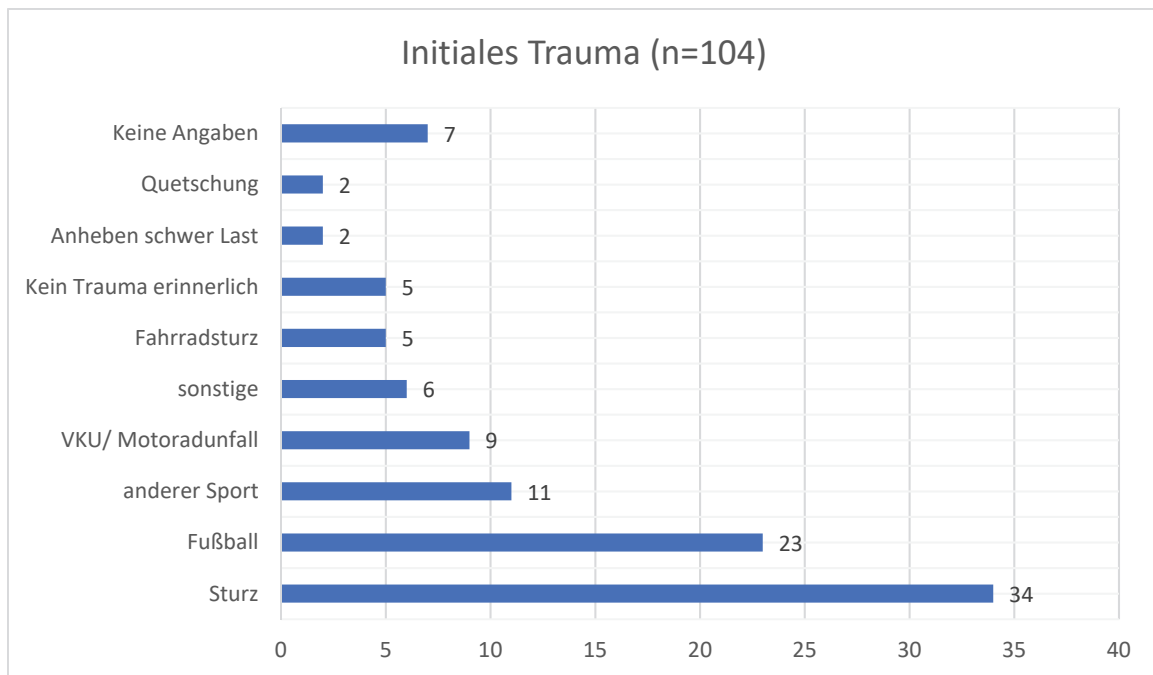


Tabelle 3: Angaben zum initialen Trauma der im Zeitraum von 2005-2018 operierten Patienten

Lokalisation der Pseudarthrose

Eine Klassifikation der Pseudarthrose zum Beispiel nach Filan und Herbert 1996 [123] wäre nicht allumfänglich möglich gewesen. Die Qualität der ausgewerteten Bildgebungen des Studienkollektivs war sehr heterogen. Nicht bei allen Patienten wurde eine CT- Aufnahme durchgeführt. Bei einem Patienten handelte es sich um eine Schrägfraktur des *Os skaphoideums*, die fast den vollständigen Knochen diagonal von proximal nach distal durchzog. Es wurde sich daher gegen eine Klassifizierung aller Pseudarthrose entschieden. Es erfolgte stattdessen eine Beschreibung der Lokalisation der Pseudarthrose. Die Unterteilung fand in proximales, mittleres und distales Drittel statt.

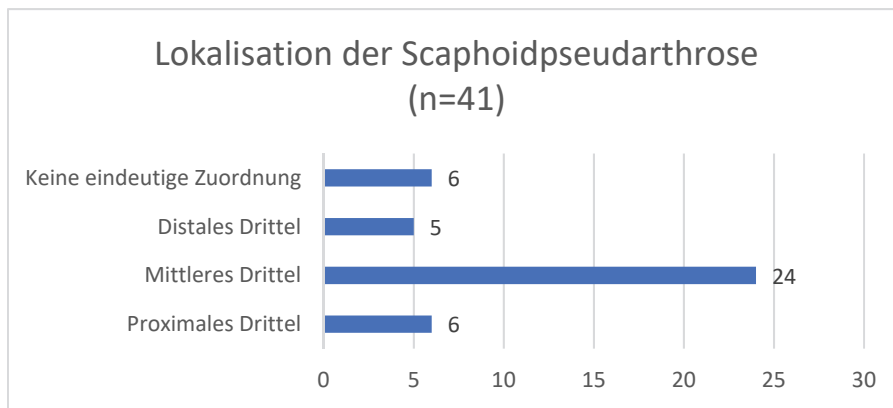


Tabelle 4: Lokalisation der Skaphoidpseudarthrose der im Zeitraum von 2005-2018 operierten Patienten, welche den Fragebogen beantwortet haben

Postoperative stationäre Aufenthalt

Es hatte im Durchschnitt jeder Patient einen postoperativen Aufenthalt von 4,3 Tagen. Der Minimalwert lag hier bei einem postoperativen Tag, der Maximalwert lag bei zehn postoperativen Tagen, die Standardabweichung beträgt $\pm 1,9$ Tage.

4.3 Daten Befragungsbogen

4.3.1 Präoperative Beschwerden

Die Patienten sollten mittels Freitext ihre Beschwerden vor der operativen Versorgung schildern, dementsprechend kam es aber zu Mehrfachnennungen. Zusätzlich wurden die geschilderten Beschwerden aus den Anamnesebögen und dem Entlassungsbriefen erfasst. Für eine einfachere Auswertung wurden ähnliche Antworten zusammengefasst. Dabei zählen zu „belastungsabhängige Beschwerden“ Aussagen wie „Schmerzen im Handgelenk bei Tragen von schweren Lasten“ oder „Schmerzen beim längeren Arbeiten“. Bzgl. der Beschwerden bei forcierter Dorsalextension bzw. endgradiger Bewegung wurden häufig Liegestützen angesprochen, dass diese Beschwerden bereiten. Der Ruheschmerz kam vorwiegend im Bereich der Tabatière vor.

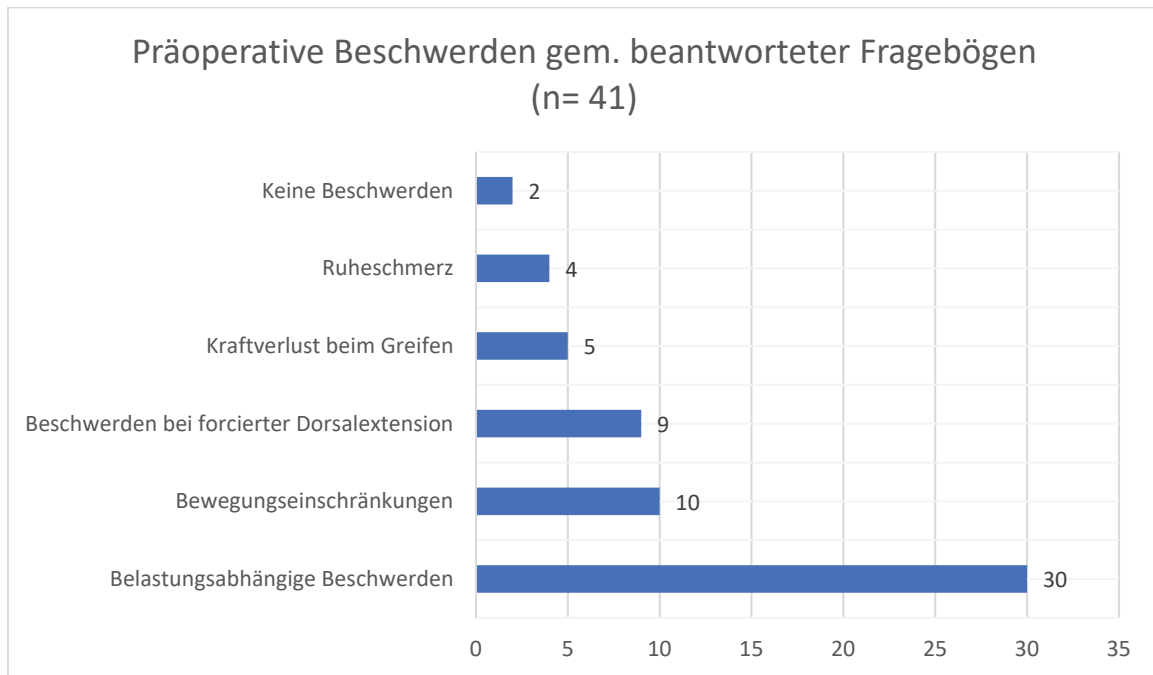


Tabelle 5: Präoperative Beschwerden gem. beantworteter Fragebögen, Mehrfachnennungen waren möglich

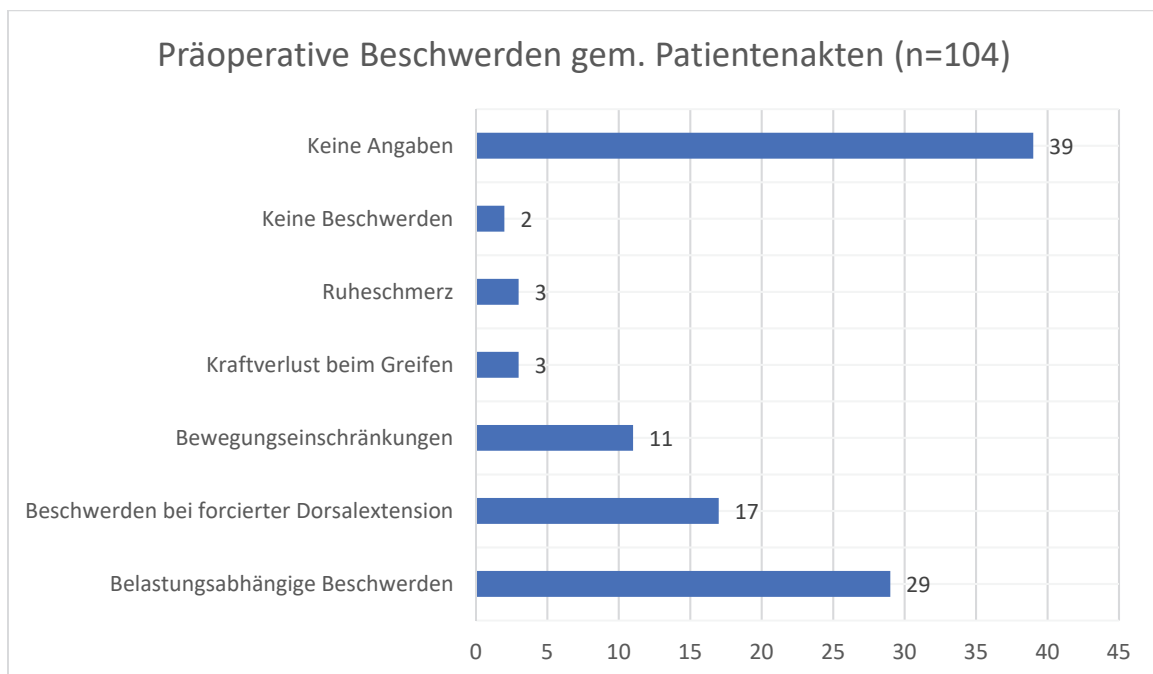


Tabelle 6: Präoperative Beschwerden gem. Patientenakten

4.3.2 Postoperative Beschwerden

Die Patienten sollten zu ihren aktuellen Beschwerden Stellung nehmen. Dabei wurde zuerst abgefragt, ob die Patienten postoperativ überhaupt noch Beschwerden haben. Dabei antworteten 20 Patienten mit „Ja“ und 21 Patienten mit „Nein“. Anschließend war es den Patienten möglich wieder in Form eines Freitextes die Beschwerden zu beschreiben. Diese Beschreibungen wurden wie o. g. für eine bessere Auswertung zusammengefasst.

20 von 41 Patienten gaben folgende Beschwerde an:

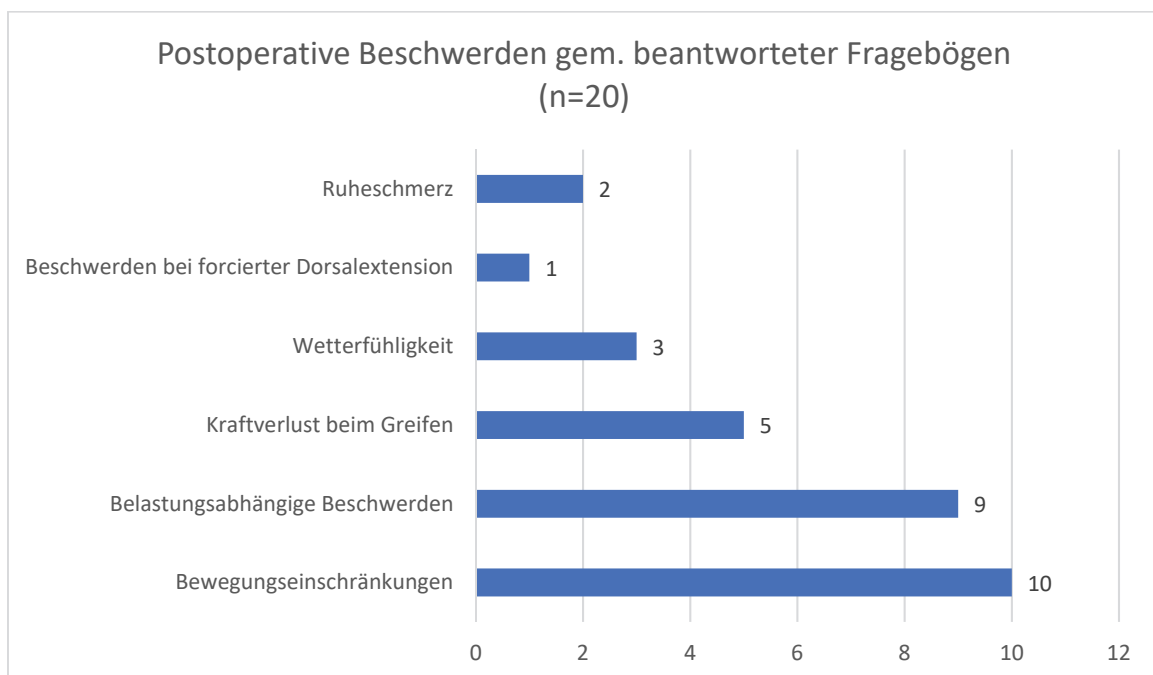


Tabelle 7: Postoperative Beschwerden gem. beantworteter Fragebögen, Mehrfachnennungen waren möglich

4.3.3 Arbeitsunfähigkeit

Es wurde die krankheitsbedingte Arbeitsunfähigkeit mittels des Befragungsbogens erfasst. Dabei gilt es zu erwähnen, dass es sich bei den abgefragten Zeiträumen um Zeiträume handelt, die einiges an Jahren zurückliegen. Die Angaben der Befragten waren somit häufig geschätzte Angaben und selten exakt definierte Zeiträume. Bei Angaben von mehreren Zeiträumen, z. B.: „zwischen vier bis sechs Wochen“ – wurde immer der Durchschnittswert angenommen, in diesem Beispiel fünf Wochen. Die Angaben wurden in Tage umgerechnet und erfasst.

Bei der Arbeitsunfähigkeit wurde zwischen präoperativer und postoperativer Arbeitsunfähigkeit unterschieden. Die Dauer der präoperativen Arbeitsunfähigkeit lag zwischen „keiner“ Arbeitsunfähigkeit (Minimalwert) bis zu einer „vierzehnmonatigen Arbeitsunfähigkeit“ (Maximalwert). Die gesamte erfasste präoperative Arbeitsunfähigkeit aller Befragten betrug 1241 Tage, das entspricht ca. 177 Wochen. Der Durchschnitt der präoperativen Arbeitsunfähigkeit lag bei ca. 34 Tagen pro Patient ($SD \pm 74$ Tag) das entspricht annähernd fünf Wochen.

Eine ähnlich große Varianz bestand bei der Dauer der postoperativen Arbeitsunfähigkeit. Sie variierte von „keiner“ (Minimalwert) bis hin zu einer „neunmonatigen Arbeitsunfähigkeit“ (Maximalwert). Die gesamte erfasste postoperative Arbeitsunfähigkeit betrug 2568 Tage, das entspricht ca. 367 Wochen. Der Durchschnitt der postoperativen Arbeitsunfähigkeit lag bei 68 Tagen pro Patient ($SD \pm 63$ Tage), das entspricht ca. 9 Wochen. Die postoperative Immobilisation wurde bis 2007 von uns für mindestens 6 Wochen festgelegt. Seit 2008 beträgt sie mindestens 8 Wochen. Die meisten Patienten wurden für die Zeit der Immobilisation des Handgelenkes krankgeschrieben. Nach Ende der Immobilisation und anschließender Entfernung der K-Drähte waren die meisten Patienten wieder arbeitsfähig. Bei komplikationslosen Verläufen lief die Arbeitsunfähigkeit selten über die Materialentfernung hinaus.

4.3.4 Voroperationen

Drei der 41 Patienten, die den Fragebogen vollständig beantworteten, haben eine Voroperation am *Os skaphoideum* erhalten. Ein Patient erhielt eine Matti-Russe-Plastik, ein Patient eine Versorgung mittels Herbert-Schraube im Zuge einer Skaphoidfraktur und bei dem dritten Patienten wurde operativ in die Defektzone des Skaphoids Spongiosa aus dem Radius eingefüllt und das Handgelenk anschließend im Gips ruhiggestellt. Der Patient, der mittels Matti-Russe-Plastik versorgt wurde, musste acht Jahre nach der Versorgung in der Abtl. XIV des BWZK mit dem untersuchten Verfahren erneut operiert werden (zweite Revision). Die anderen beiden Patienten konnten mit dem untersuchten Verfahren erfolgreich operiert werden.

4.3.5 Reoperation und Operationserfolg

Eine der wichtigsten Auswertungskriterien war die Frage nach einer erneuten OP nach erfolgter Versorgung der Skaphoidpseudarthrose in der Abtl. XIV des BWZK. Dies sollte unter anderem für uns als Maßstab gelten, um den Operationserfolg zu bewerten. Da die

Patienten im Rahmen dieser Studie nicht erneut persönlich vorstellig und körperlich untersucht wurden, musste ein anderes Messinstrument gefunden werden. Ein Messinstrument, das für die Bestätigung einer erfolgreichen Operation im Sinne einer Konsolidierung der operierten Skaphoidpseudarthrose durch das untersuchte Verfahren genutzt werden konnte. Eine Auswertung der postoperativen Bildgebung zeigt sich nur als begrenzt hilfreich, da sich einige Patienten zur postoperativen Versorgung und Materialentfernung extern behandeln ließen.

Von den befragten 41 Patienten, die den Befragungsbogen beantworteten, gaben sieben Patienten an erneut operiert worden zu sein. Dabei kam es bei vier Patienten zu einer Reoperation im direkten Zusammenhang mit der primären Operation. Diese Patienten wurden *in domo* revidiert. Dabei handelte es sich einmal um eine nicht ideale Lage der K-Draht-Fixierung des *Os skaphoideums*. Diese wurde sechs Tage nach der primären Operation korrigiert. Anschließend war die Lage suffizient und der Patient brauchte keine erneute Operation. In einem einzigen Fall kam es zu einer lokalen Infektion im Bereich der K-Drähte. Eine Sanierung der lokalen Infektion wurde durchgeführt, im Anschluss wurde der Patient nach gleicher Art erfolgreich versorgt. Bei einem weiteren Patienten kam es aufgrund einer nicht idealen K-Draht Positionierung zu einer Spandislokation. Er wurde am vierzehnten Tag nach der primären Operation mittels eines neuen Spans vom Beckenkamm und einer 8-Loch Mini-Leiterplatte Aptus-Medartis, sowie erneuter radiolunärer Transfixation behandelt. Bei einem anderen Patienten kam es ebenfalls zu einer Dislokation der Pseudarthrosenanteile. Dies fiel jedoch verspätet klinisch durch erneutes Auftreten von Schmerzen im Rahmen der physio- und ergotherapeutischen Beübung auf. Der Patient wurde ca. 5 Monate nach der primären Operation in gleicher Weise revidiert.

Drei Patienten wurden extern erneut operiert. Ein Patient wurde aufgrund nicht einsetzender Knochenheilung ca. 3 Jahre nach der primären Operation extern mittels Herbert-Schraube revidiert. Ein anderer Patient ca. acht Jahre nach der primären Operation. Als Ursache wurden erneute Schmerzen und eine zunehmende Bewegungseinschränkung im Handgelenk angegeben, bei ursprünglich initialer Besserung der Beschwerden. Ob hier die Ursache in zum Beispiel einem Voranschreiten arthrotischer Veränderung liegt, lässt sich nicht sicher sagen. Bei dem letzten Patienten sind der Revisionsgrund und das Revisionsverfahren nicht bekannt. Insgesamt konnten somit 37 von 41 Patienten erfolgreich mittels Bohrdrahtosteosynthese und autologer Spongiosa versorgt werden. Vier Patienten benötigten ein anderes oder weiteres Verfahren.

4.3.6 Postoperativer Schmerz

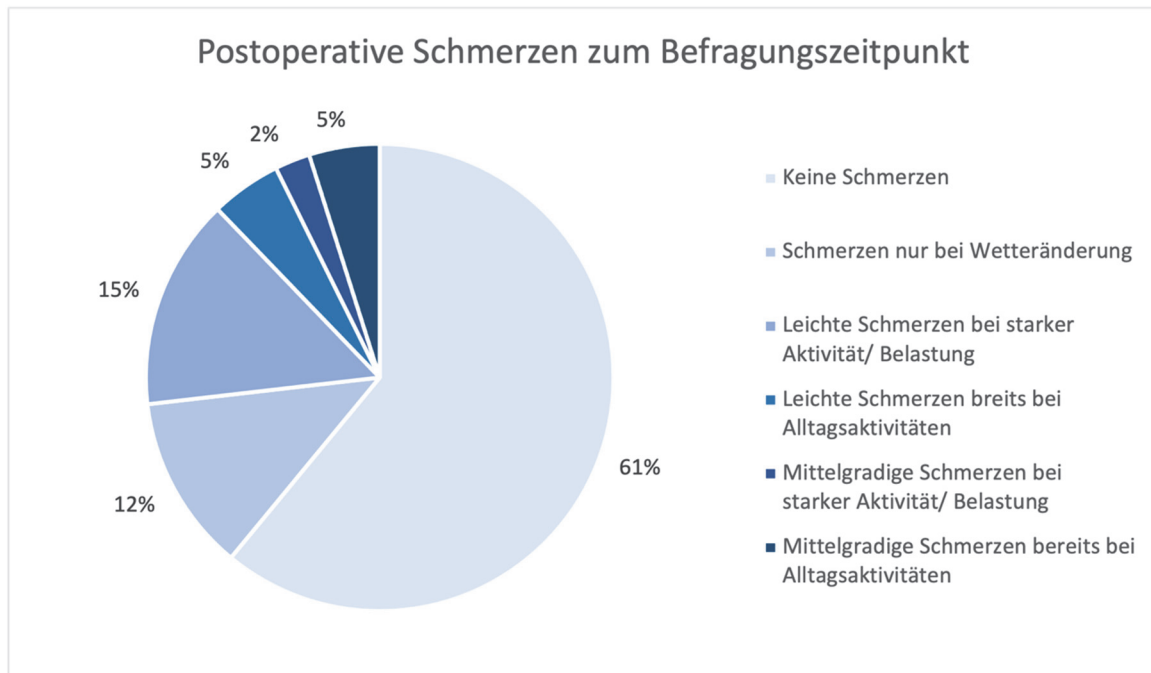


Tabelle 8: Postoperative Schmerzen zum Befragungszeitpunkt gem. beantworteter Fragebögen

Im Befragungsbogen wurde erfragt, ob die Patienten aktuell noch Schmerzen in der operierten Hand haben. 25 Patienten gaben zum Befragungszeitpunkt keine Schmerzen an der operierten Hand an. Fünf Patienten gaben ausschließlich Schmerzen bei Wetteränderung an, sechs Patienten berichteten über leichte Schmerzen bei starker Aktivität/ Belastung der operierten Hand, zwei Patienten berichteten über leichte Schmerzen bereits bei Alltagsaktivitäten. Nur drei Patienten berichteten über mittelgradige Schmerzen, davon ein Patient bei starker Aktivität und zwei Patienten bereits bei Alltagsaktivitäten. Kein Patient gab starke Schmerzen an, ebenfalls berichtete kein Patient über Ruheschmerz.

Zusätzlich wurde erfragt, ob es nach der Operation ein schmerzfreies Intervall gegeben hat. 35 Patienten berichteten, dass sie zumindest temporär nach der Operation (ohne die Einnahme von Schmerzmitteln) schmerzfrei gewesen waren. Sechs Patienten machten keine Angaben wie lange es gedauert hat, bis sie schmerzfrei waren. 30 Patienten machten Angaben zur ungefähren Dauer bis zu Schmerzfreiheit. Im Durchschnitt dauerte es rund 12 Wochen, bis die Patienten postoperativ schmerzfrei waren.

4.3.7 Postoperative Physio- oder Ergotherapie

Im Rahmen der Befragung wurde erfasst, ob Physiotherapie stattgefunden hat. Dann konnte ggf. die Dauer der postoperativen Physio- und Ergotherapie mittels Auswahlfeldern angegeben werden. Zur Auswahl standen ein Monat, drei Monate, sechs Monate und länger als sechs Monate.

Bei 3 der 41 Patienten fand keine postoperative Physio- oder Ergotherapie statt. Unter den 38 Patienten, die postoperativ Physio- oder Ergotherapie erhielten gaben 8 Patienten eine Dauer von einem Monat an, 24 Patienten eine Dauer von drei Monaten, 4 Patienten eine Dauer von sechs Monaten und 2 Patienten erhielten länger als sechs Monate Physio- oder Ergotherapie.

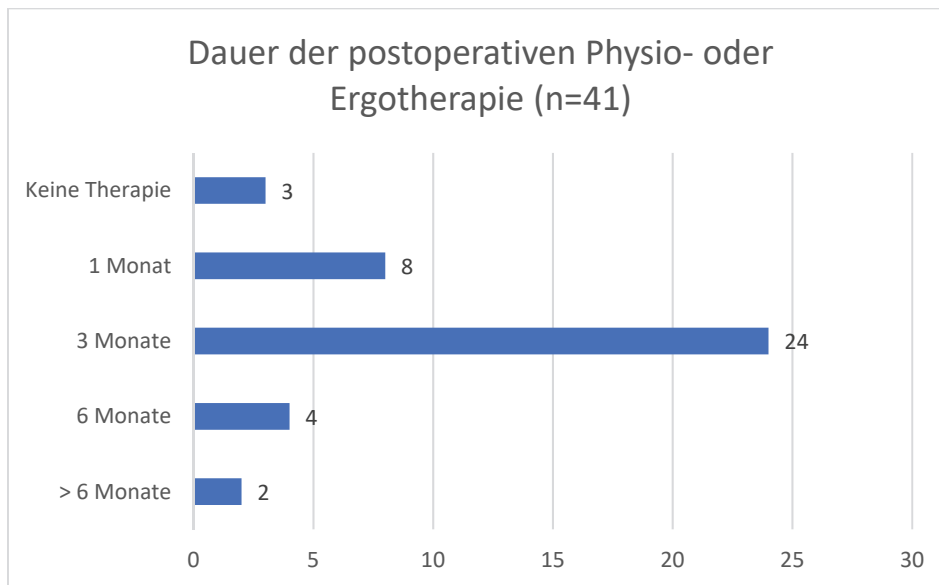


Tabelle 9: Dauer der postoperativen Physio- oder Ergotherapie gem. beantworteter Fragebögen

4.3.8 Aktuelle Handgelenksfunktion

Eine weitere entscheidende Frage zur Kontrolle des Operationserfolges war die Frage nach der aktuellen gesamtheitlichen Handgelenksfunktion im Vergleich zu vor der Operation. Hier konnten die Patienten auf einer Skala von 0= „Viel schlechter“ bis 10= „Viel besser“ auswählen. Der Durchschnittswert betrug hier 7,4. Durchschnittlich ist somit die Tendenz deutlich zu einer viel besseren Handgelenksfunktion zu erkennen im Vergleich zu vor der operativen Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mit dem untersuchten Verfahren.

Darüber hinaus sollten die Patienten anschließend die Funktion der operierten Hand im Vergleich zur gesunden Gegenseite in Prozent angeben. Dabei entsprach 100% einer identischen Funktion im Vergleich zur nicht operierten Hand und 0% einer vollständigen Funktionsunfähigkeit der operierten Hand. Der Durchschnittswert betrug hier 80%. Im Durchschnitt beträgt somit die Handgelenksfunktion 80% im Vergleich zur gesunden nicht operierten Seite.

4.3.9 Modifizierter Mayo-Wrist-Score

In den 41 erhobenen Befragungsbögen beantworteten alle 41 Patienten den modifizierten *Mayo-Wrist-Score* vollständig.

Die erste Frage ist assoziiert mit dem aktuellen Schmerz (*pain*) und erhielt bei 41 Patienten eine Gesamtpunktzahl von 865. Das entspricht einer durchschnittlichen Punktzahl von 21,1 pro Patient. Damit geben die Patienten durchschnittlich an nur an „leichten Schmerzen bei starker Aktivität“ oder „Schmerzen bei Wetteränderung“ zu leiden. Für diese Antwortmöglichkeiten werden beim modifizierten Mayo-Score 20 Punkte vergeben.

Die zweite Frage im modifizierten Mayo-Score zielt auf die Zufriedenheit mit dem Operationsergebnis ab (*satisfaction*). Hier wurde eine Gesamtpunktzahl von 860 erreicht, was gerundet auch einer Punktzahl von 21,1 pro Patient entspricht. Im Durchschnitt sind die befragten Patienten im dem Operationsergebnis „zufrieden“.

Die dritte Frage soll den aktuellen Bewegungsumfang im Vergleich zur Gegenseite erfassen (*range of motion*). Hierbei betrug die Gesamtpunktzahl 775. Das ergibt eine durchschnittliche Punktzahl von 18,9 pro Patient und entspricht damit am ehesten der Angabe von einer Beweglichkeit von 75% im Vergleich zur Gegenseite.

In Bezug auf die Griffstärke im Vergleich zur Gegenseite, auf die in der vierten Frage abgezielt wird (*grip strength*), stellt sich das gleiche Ergebnis dar. Bei einer Gesamtpunktzahl von 835 gaben die befragten Patienten im Durchschnitt eine Griffkraft von 75% im Vergleich zur Gegenseite an. Das entspricht ein Ergebnis mit 20,4 Punkten pro Patient und ist besser als im Vergleich zum Bewegungsumfang.

Bezüglich des Gesamtergebnisses mit 3335 Punkten bei 41 befragten Patienten stellt sich ein Durchschnittswert von 81,3 Punkten pro Patient dar. Gemäß Auswertungsskala kann man also von einem „guten“ Operationsergebnis sprechen.

4.3.10 Patientenzufriedenheit

Isoliert soll an dieser Stelle die explizit abgefragte Patientenzufriedenheit hervorgehoben werden.

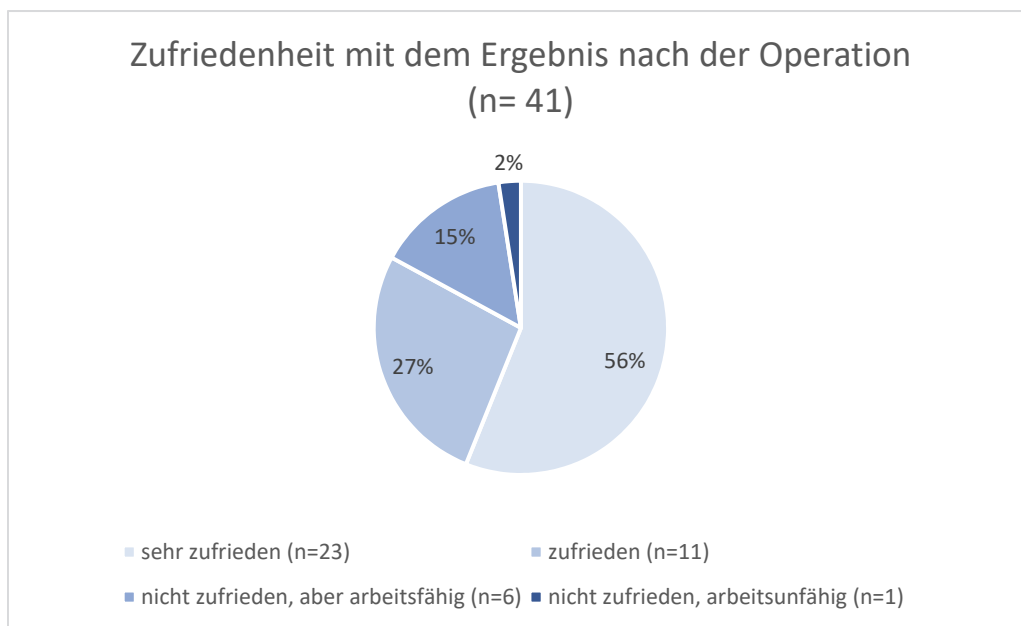


Tabelle 10: Patientenzufriedenheit gem. der beantworteten Fragebögen

Es gaben ca. 56% der befragten Patienten an „sehr zufrieden“ zu sein und ca. 27% der befragten Patienten an „zufrieden“ zu sein. Zusammengefasst sprechen subjektiv aus Patientensicht 83% der Patienten von einem Operationserfolg.

4.3.11 Angepasster DASH-Score

Wie oben bereits erwähnt kann der *DASH-Score* effektiv genutzt werden, um die Funktion und die damit verbundene Lebensqualität nach Operationen im Schulter-Arm-Hand-Bereich aus Patientensicht darzustellen. Der niedrigste DASH-Wert betrug „0“ und entspricht einer optimalen Funktion ohne Beeinträchtigung der Lebensqualität. Der höchste ermittelte Wert betrug 55 und besagt, dass der Patient um mehr als 50% in seiner Funktion und Lebensqualität beeinträchtigt ist. 13 Patienten wiesen einen DASH-Wert von „0“ auf. Das entspricht

ca. 32%. Nahezu ein Drittel, der mit dem untersuchten Verfahren operierten Patienten weisen eine optimale Funktion ohne jegliche Einschränkung im Alltag auf. 35 Patienten zeigen einen DASH-Wert von unter 20. Dies entspricht 85% der befragten Patienten weisen weniger als 20% Einschränkung in Funktion und Lebensqualität auf. Der durchschnittliche DASH-Wert pro Patient beträgt 7,5.

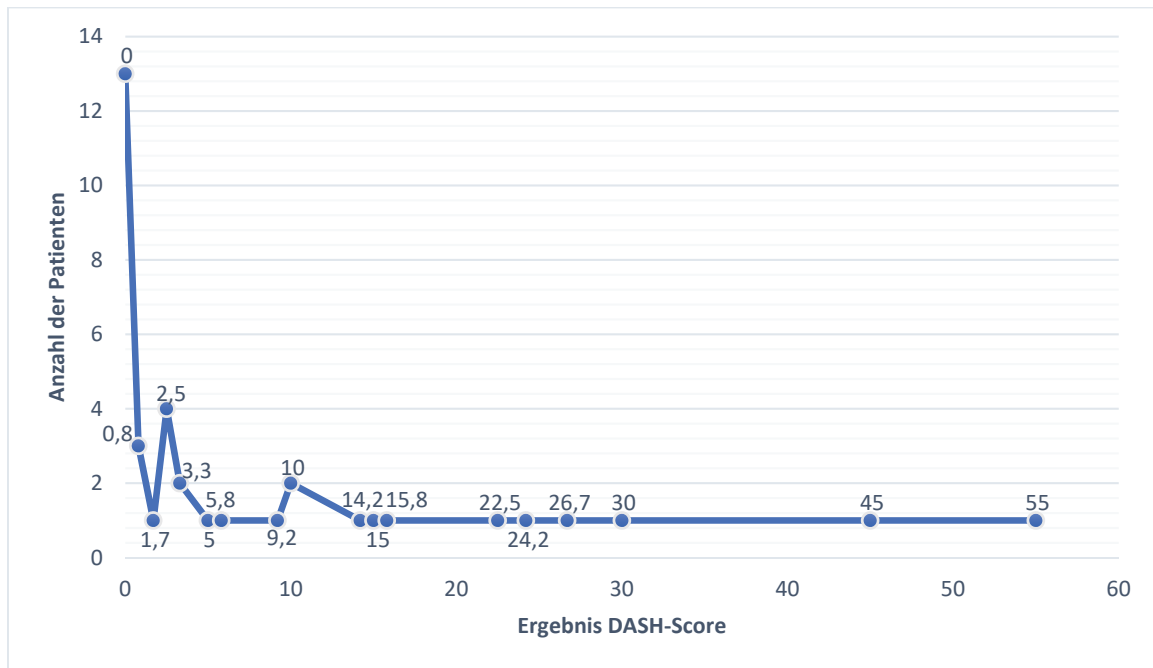


Tabelle 11: Ergebnis des DASH-Score gem. der beantworteten Fragebögen (n=41)

4.3.12 Aktueller Bewegungsumfang des operierten Handgelenks

Zur Veranschaulichung, um einen Eindruck über den postoperativen Bewegungsumfang des operierten Handgelenks zu erlangen, wurden in Frage 18 und 19 zwei Bewegungsebenen erfasst. Hierbei zeigten sich bei wenigen Patienten Einschränkungen bei der vertikalen Bewegungsebene. Lediglich die Dorsalextension war bei einigen Patienten etwas mehr eingeschränkt als die Palmarflexion. Mehr Einschränkungen gab es interessanterweise bei der horizontalen Bewegungsebene. Dabei gaben zwei Patienten an die Bewegung in eine oder beide horizontalen Richtungen (Radialadduktion, Ulnaradduktion) gar nicht durchführen zu können. Die Radialadduktion ist die Bewegung, die am meisten eingeschränkt ist.

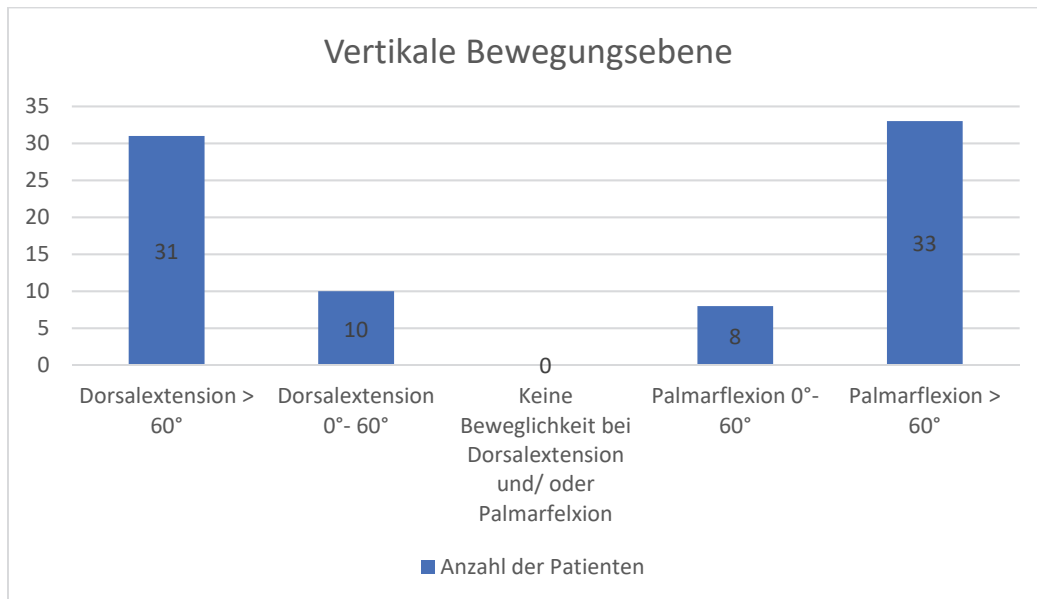


Tabelle 12: Auswertung Umfang der vertikalen Bewegungsebene gem. beantworteter Fragebögen (n=41)

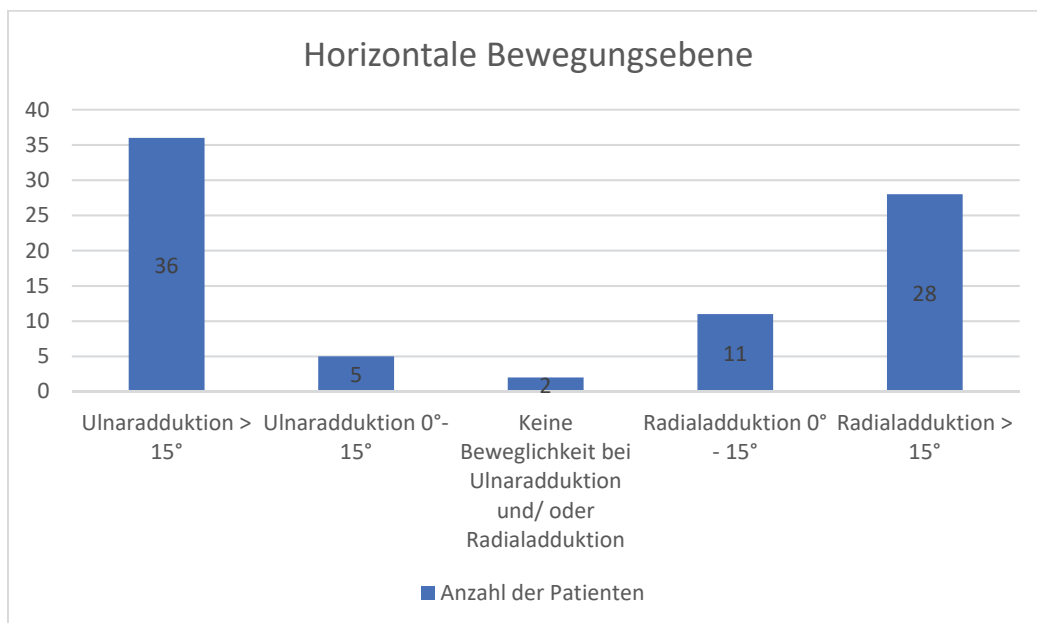


Tabelle 13: Auswertung Umfang der horizontalen Bewegungsebene gem. beantworteter Fragebögen (n=41)

5 Diskussion und Limitation

Durch die initiale Fragestellung sollte sich zeigen, wie sich die Ergebnisse des untersuchten Verfahrens im Vergleich zu anderen Publikationen darstellen. Dabei galt es zu ermitteln, ob sich unser Patientenkollektiv mit den Kollektiven vergleichbarer Studien gleicht, um sich im Anschluss dem Ergebnisvergleich zu widmen. Exemplarisch wurden dafür vier Studien ausgewählt, die sich aus unterschiedlichen Gesichtspunkten für einen Vergleich anbieten. Die Ergebnisse von Dacho et al. sind von 2004 zwar schon älter, bieten sich vom Studiendesign und der Ergebnisauswertung jedoch sehr gut an. [171] Hierbei wird retrospektiv die Operation nach Matti-Russe untersucht. Schacher et al. widmen sich mit ihrer Veröffentlichung von 2016 der Untersuchung der Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mit einem gestielten vaskularisiertem Knochentransplantat nach Zaidenberg. [125] Deren Arbeit weist viele Parallelen zu unserem Vorgehen auf und hat eine vergleichbare Größe des Patientenkollektivs. Ähnliches gilt auch für die retrospektive Arbeit von Dustmann et al. von 2017, die eine modifizierte Matti-Russe-Technik auswerteten. [201] Hegazy et al. haben in einer prospektiven Studie den direkten Vergleich der Versorgung von Skaphoidpseudarthrosen zwischen Herbert-Schraube und K-Drähten dargestellt. [152] Deren Arbeit dient besonders dem Ergebnisvergleich zu unseren gewonnenen Daten.

5.1 Funktionalität des Studienkollektiv

5.1.1 Größe des Studienkollektivs und Nachbeobachtungszeitraum

In unsere Studie wurden, wie bereits o. g. 104 Patienten miteingeschlossen, wovon 41 Patienten den zugesandten Fragebogen beantworteten. Der Zeitraum zwischen Zeitpunkt der Operation und Patientenbefragung betrug im Durchschnitt rund 106 Monate und lag zwischen ca. 31 und 196 Monaten. Bei Dacho et al. wurden 84 Patienten nachuntersucht, mit einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 88 Monaten, dabei lag die Spanne der Nachuntersuchungszeitpunkte zwischen 18 und 140 Monaten. [171] Dustmann et al. betrachteten retrospektiv 52 Patienten, Schacher et al. 49 Patienten. [125, 201] Hegazy et al. schlossen 122 Patienten in ihre Untersuchung mit ein, wobei 6 Patienten aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen wurden. Dementsprechend wurde 116 Patienten ausgewertet. Der Nachbeobachtungszeitraum war bei Hegazy et al. aufgrund des prospektiven Studiendesigns kürzer und betrug im Durchschnitt 34 Monaten bei einer Spanne von 26- 57 Monaten). [152] Die Studiengröße unseres Kollektivs stellt sich somit als vergleichbar zu anderen Veröffentlichungen dar.

5.1.2 Geschlechterverteilung

In unserem Patientengut entspricht die Geschlechterverteilung hinsichtlich des Auftretens der Skaphoidpseudarthrose nicht der im Bevölkerungsdurchschnitt. So ist die Verteilung auf 97% Männern größer als in der Normalbevölkerung, wo man von einem Verhältnis der Inzidenz der Skaphoidpseudarthrose von 6 zu 1 zwischen Männern (83%) und Frauen (17%) ausgehen kann. [1, 7] Dabei muss man einen gewissen Störfaktor berücksichtigen, obwohl das Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz in die Regelversorgung des Landes Rheinland-Pfalz eingegliedert ist, ist es für die Versorgung von Soldaten zuständig. Zum Zeitpunkt der Operation waren 74 von 104 Patienten Soldaten. Der Anteil an Frauen in der Bundeswehr hat sich in den letzten 20 Jahren stark gewandelt. So war der Anteil an Frauen in der Bundeswehr 2005 4,53% (Quelle: statista.com, abgerufen 26.01.22), 2018 dagegen schon 12,1% (Quelle: bundeswehr.de, abgerufen 26.01.22). Dennoch überwiegen die Männer in dem Soldatenberuf. Daher ist anzunehmen, dass vermehrt Männer sich bzgl. einer Skaphoidpseudarthrose im Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz vorstellten. Es findet somit im gewissen Rahmen eine Patientenselektion statt, da es sich um ein Militärkrankenhaus handelt. Allerdings haben Dacho et al. einen Männeranteil von rund 94%, bei Schacher et al. und Dustmann et al. jeweils rund 92%, lediglich bei Hegazy et al. sind es 78% Männeranteil. [125, 152, 171, 201] Da es sich jedoch bei Hegazy et al. um ein prospektives Studiendesign handelt, konnte das Kollektiv vorher adaptiert werden. Der hohe Männeranteil stellt sich demnach in anderen Kollektiven ebenfalls dar und behindert nicht den Vergleich unserer Daten mit anderen Studien.

5.1.3 Alter

Die vorwiegend betroffene Altersgruppe sind Patienten im Alter zwischen 20 bis 29 Jahren (70% von unserem gesamten Patientengut), bei Schacher et al. waren sogar 80% der Patienten unter 30 Jahre alt. [125] Die bei uns erhobene Altersverteilung entspricht der aus der Literatur bekannten Inzidenz, nämlich dass die Skaphoidfraktur und die Skaphoidpseudarthrose vor allem junge Männer betreffen. [3, 6] Hinsichtlich des Zeitpunkts des auslösenden Traumas einer Skaphoidfraktur betrug bei Larsen et al. das Durchschnittsalter 29 Jahre [54] und bei Düppe et al. 28 Jahre. [202] Im Hinblick auf das Alter zum Zeitpunkt der operativen Versorgung der Skaphoidpseudarthrose zeigten sich in den Studien Unterschiede. Das Durchschnittsalter unseres Kollektivs lag bei rund 27 Jahre. Bei Dustmann et al. betrug das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation rund 31 Jahre, bei Schacher et al. 23 Jahre. [125, 201] Hegazy et al. haben ihre Studiengruppen harmonisiert, hierbei

lag das Durchschnittsalter bei 28 Jahren. [152] Dacho et al. gaben nur das Alter zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung an, dies war mit 54 Jahren vergleichsweise hoch. [171] Zu berücksichtigen sind in diesem Fall zum einen die durchschnittliche Nachbeobachtungszeit von 88 Monaten, zum anderen die durchschnittliche Zeit zwischen Trauma und Operation (2 Jahre). Dennoch selbst wenn man diese Zeiträume vom Durchschnittsalter abzieht, bleibt es bei einem hohen Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation von 45 Jahren. Trotz der gewissen o. g. Patientenselektion unseres Kollektivs zeigt sich kein wesentlicher Unterschied hinsichtlich der Altersverteilung zur Normalbevölkerung oder anderen Veröffentlichungen.

5.1.4 Initiales Trauma

Die Feststellungen der Ursachen für das initiale Trauma decken sich mit den in der Literatur beschriebenen Angaben der Ursachen für Skaphoidfrakturen. Häufig sind vor allem Stürze, Sportverletzungen und Verletzungen assoziiert mit motorisierten Vehikeln (z. B. Motorädern). Wells et al. werteten vor kurzen die Ergebnisse der US-amerikanischen nationalen Trauma-Datenbank dazu aus und beschrieben die häufigsten Ursachen. [56] Dort zeigten sich vor allem Stürze und Unfälle mit motorisierten Vehikeln als Ursache. Bei Dacho et al. waren rund 48% Stürze das auslösende Ereignis, bei rund 12% Verletzungen waren es Ballsportarten. [171] Bei Hegazy et al. gaben die Probanden mit rund 54% einen Sturz als auslösendes Ereignis an. [152] Bei Schacher et al. waren rund 31% der Unfallursachen der ursprünglichen Skaphoidfraktur Stürze, 16% Verkehrsunfälle und besonders häufig Sportunfälle. [125]

In unserem Patientenkollektiv war Fußball als initiales Trauma besonders häufig. Es wurde bei 23 Patienten angegeben, dass sie sich beim Fußball verletzt haben. Bei sieben Patienten davon wurde angegeben, dass es im Rahmen einer Tätigkeit als Torwart geschah. Somit kann bei ca. 6,7% der betrachteten Patienten als Ursache für ihre Skaphoidpseudarthrose eine Betätigung als Torwart angegeben werden. Im Vergleich dazu wurde nur bei fünf Patienten ein Fahrradsturz als vermeintliche Ursache angegeben (4,8%). Fahrradfahren wird wohl allgemein häufiger praktiziert als die Tätigkeit als Torwart. Es ergibt sich daher der Verdacht, dass Torwarte beim Fußball besonders gefährdet sind für Skaphoidfrakturen und Skaphoidpseudarthrosen. Green et al. äußerten den gleichen Verdacht im Rahmen eines Casereports bereits 1997. [61] Andersson et al. bestätigten in einer prospektiven Kohortenstudie, dass knöcherne Verletzungen bei professionellen Torwarten im Fußball eine siebenfach höhere Inzidenz im Vergleich zur Normalbevölkerung haben, auch wenn hierbei

die Skaphoidfraktur nicht isoliert untersucht wurde. [203] Sacher et al. stellten im Rahmen ihrer Untersuchung ebenfalls einen hohen Anteil von Skaphoidverletzungen von Torwart beim Fußball fest, 12 von 49 betrachteten Patienten (rund 25%) wiesen diese Ursache für die initiale Verletzung auf. [125] Zusammenfassend zeigt sich hinsichtlich des initialen Traumas unter den unterschiedlichen Kollektiven auch hier eine gewissen Homogenität zu unseren erhobenen Daten.

5.1.5 Lokalisation der Pseudarthrose

Im Rahmen unserer Auswertung war die adominante Hand häufiger betroffen als die dominante Hand. Bei Hegazy et al. stellte sich das anders dar, dort war zu rund 86% die dominante Hand verletzt. [152]

Hinsichtlich, dass die Skaphoidpseudarthrose vorwiegend das mittlere Drittel des Skaphoids betrifft decken sich unsere Ergebnisse (rund 69%) mit den Angaben der Literatur. [7, 83] In der Erhebung von Dacho et al. lag der Pseudarthrosespalz bei 61,7% im mittleren Drittel, bei Dustmann et al. bei rund 71% der Patienten. [171, 201]

5.2 Begleitverletzungen

Bei den festgestellten Begleitverletzungen zeigte sich die DISI-Fehlstellung am häufigsten (39%). Das entspricht den Ergebnissen aus der Literatur, wo die DISI-Fehlstellung als häufigste Begleitverletzung genannt wird. Häufig kann es schon im Rahmen der initialen Skaphoidfraktur zu einer SL-Dissoziation kommen aufgrund einer begleitenden Verletzung des SL-Bandes. Die zweihäufigste Begleitverletzung ist die *Humpback*-Deformität. Auf die beiden häufigen Begleitverletzungen muss immer im Rahmen der operativen Versorgung geprüft werden. In dem untersuchten Verfahren können diese auch effektiv angegangen werden. Die Stabilisierung des Skaphoids mittels zwei K-Drähten verfolgt zwei Intentionen. Die Fixation der Skaphoidanteile mit der eingesetzten Spongiosa und den Aufbau/ die Aufrichtung des Skaphoids, welches dadurch aus einer eventuellen *Humpback*-Deformität geholt werden kann. Bei der häufig vorkommenden DISI-Fehlstellung ist die Versorgung des Skaphoids mit dem oben beschriebenen Linscheidmanöver zu kombinieren und es erfolgt eine temporäre radiolunäre oder capitulunäre Transfixation mit zwei K-Drähten.

5.3 Operationserfolg

5.3.1 Konsolidierungsrate

Als primärer Operationserfolg kann die Konsolidierungsrate gesehen werden bzw. ob die mit dem untersuchten Verfahren therapierten Patienten erneut operiert werden mussten. Ich konnte bei sieben Patienten erneute Operationen im Rahmen der Befragung feststellen. Von den sieben Revisionen wurden drei Patienten mit dem gleichen Verfahren erfolgreich revidiert, dabei standen die Revisionen im unmittelbaren Zusammenhang mit der ursprünglichen Versorgung der Skaphoidpseudarthrose. Es handelte sich zum Beispiel um eine Dislokation einer der Bohrdrähte. Bei vier Patienten wurde ein anderes Verfahren angewandt oder das Revisionsverfahren ist unbekannt. Dementsprechend konnten 37 von 41 Patienten erfolgreich mit dem von uns angewandten Verfahren operiert werden. Das entspricht einer Konsolidierungsrate der Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mittels Spongiosa aus dem Beckenkamm und Kirschnerdrähten von ca. 90%. Das ist vergleichbar mit anderen Veröffentlichungen und Verfahren. Bei Dacho et al. wurden bei den operierten Patienten radiologische Nachkontrollen durchgeführt, hier zeigte sich bei der Operation nach Matti-Russe eine knöcherne Konsolidierung von 82%. [171] Dustmann et al. bestätigten radiologisch bei rund 85% der operierten Patienten eine knöcherne Konsolidierung mit der modifizierten Matti-Russe-Technik. [201] Schacher et al. erreichten mit dem gestielten vaskularisierten Knochentransplantat nach Zaidenberg eine Konsolidierungsrate von 80%. [125] In einer Studie von Cavit et al. von 2020 mit einem vaskularisierten Knochenspan und Schraubenfixation zeigte sich eine bessere Konsolidierungsrate von 88,2%. [204] Mit die besten Ergebnisse in Bezug auf die Konsolidierungsrate konnten Shaprio et al. in ihrer Studie von 2020 mit einer Hybrid-Russe-Technik bei einer Vereinigungsrate von 95% verzeichnen. [205] Hier betrug der mittlere *Follow-up* Zeitraum 7 Monate.

Bei der Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mittels Knochentransplantat und Herbert-Schraube gab es Konsolidierungsraten bei Rajagopalan et al. von 85% [206] , bei Massart et al. von 88% [207] und bei Huang et al. von rund 94% [208]. Bei Hegazy et al. zeigte sich in der Studiengruppe der Versorgung mit Herbert-Schraube und nichtvaskularisiertem kortikospongiösem Knochentransplantat eine Konsolidierungsrate von 88%, in der adaptierten Vergleichsgruppe bei Versorgung mit K-Drähten und nichtvaskularisiertem kortikospongiösem Knochentransplantat zeigte sich eine Konsolidierungsrate von 91%. [152] Folgende Abbildung zeigt eine Auswahl an Studien, welche die Skaphoidpseudarthrose mittels

Kirschnerdrähten und nichtvaskularisierten Transplantat behandelt haben. Für eine bessere Übersicht wurde sich bei der Auswahl auf Arbeiten der letzten 20 Jahre beschränkt.

Studie (Autoren)	publiziert	Studiendesign	Studienkollektiv	Patientenalter *	Transplantat	Konsolidierungsrate
Eigene Arbeit	2025	RS	41	27,3	Spongiosa BK	90,2%
Kim et al. [155]	2021	PS	13	26,5	Spongiosa BK	100%
Kim et al. [155]	2021	PS	12	31,2	kortikospongiöses Knochentransplantat BK	88,3%
Lamon et al. [209]	2021	RS	42	25	Spongiosa Radius kombiniert mit ASK	88%
Hegazy et al. [152]	2020	PS	58	28	kortikospongiöses Knochentransplantat BK	91%
Park et al. [210]	2013	RS	65	34	Spongiosa BK	87,7%
Kirkham et al. [211]	2012	RS	27	25	Spongiosa Radius	96%
Reigstad et al. [150]	2010	RS	81	29	kortikospongiöses Knochentransplantat BK	88,9%
Finsen et al. [154]	2006	RS	39	nfb	kortikospongiöses Knochentransplantat BK	89,7%
Tuncay et al. [153]	2002	PS	9	28	Spongiosa	100%

Legende: PS prospektiv; RS retrospektiv; * Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation; BK Beckenkamm; ASK Arthroskopie; nfb nicht verfügbar

Tabelle 14: Übersicht einer Auswahl an Studien zur Therapie der Skaphoidpseudarthrose mittels Kirschnerdrähten und nichtvaskularisierten Transplantat

5.3.2 Postoperative Handgelenksfunktion

Wie oben bereits ausgeführt dienen *Mayo-Wrist*- und *DASH-Score* als adäquates Mittel um den postoperativen Erfolg und die postoperative Handgelenksfunktion zu beschreiben. Der von uns erzielte durchschnittliche *Mayo-Wrist-Score* von 81,3 ist vergleichbar mit Ergebnissen anderer Verfahren. So erzielte Dacho et al. mit der Operation nach Matti-Russe einen *Mayo-Wrist-Score* von 82. [171] Dustmann et al. mit einer modifizierten Matti-Russe-Plastik einen Durchschnittswert von 91,2. [201] Schacher et al. haben zur Auswertung der postoperativen Ergebnisse der Versorgung mit einem kortikospongiösen Span an der 1,2-ICSRA keinen *Mayo-Score* verwendet. Dafür liefern Chaves et al. mit einer ähnlichen Technik

einen postoperativen *Mayo-Score* von 85. [212] Hegazy et al. verwendeten leider auch keinen *Mayo-Wrist-Score*. Sahu et al. erreichten jedoch einen durchschnittlichen *Mayo-Wrist-Score* durch die Versorgung mittels Herbert-Schraube von 92, jedoch waren 44% der Patienten in ihrem Kollektiv frische Skaphoidfrakturen und nur 66% Pseudarthrosen. [213] Muramatsu et al. haben bzgl. der Versorgung mittels Herbert-Schraube im direkten Vergleich zwischen frischer Skaphoidfraktur und Skaphoidpseudarthrose zeigen können, dass der *Mayo-Wrist-Score* bei den Pseudarthrosen schlechter ausfällt. [214] Leider haben weder Dacho et al. noch Dustmann et al. die einzelnen Ergebnisse in den unterschiedlichen Kategorien des *Mayo-Wrist-Scores* aufgeschlüsselt dargestellt. Dustmann et al. haben jedoch zusätzlich den Bewegungsumfang im Vergleich zur Gegenseite ausgemessen und konnten nur ein geringes Defizit von 11,4° in der dorsopalmaren Bewegungsrichtung der operierten Seite verzeichnen, sowie ein Defizit von 9° in radioulnarer Bewegungsrichtung. [201] Bei der Pro- und Supination stellten Dustmann et al. keinen signifikanten Unterschied fest. Mit durchschnittlich 18,9 Punkten pro Patient war der Bewegungsumfang im Vergleich zur Gegenseite die schlechteste Kategorie des *Mayo-Wrist-Scores* in unserer Auswertung. Zwar wurde der postoperative Bewegungsumfang in horizontaler und vertikaler Ebene isoliert erfasst, jedoch nur mittels Selbsteinschätzung der Patienten und nicht detaillierter Gradmessung. Die postoperative Kraft der Hand wurde von Dustmann et al. gemessen. Sie stellten keinen signifikanten Unterschied zur nicht operierten Seite fest. So ist anzunehmen, dass sie im *Mayo-Wrist-Score* gute Ergebnisse erreicht haben, was sich dann in einem besseren Gesamtergebnis widerspiegelt. Eine objektive Messung der Griffkraft könnte der subjektiven Einschätzung der Patienten in Bezug auf das Gesamtergebnis beim *Mayo-Wrist-Score* überlegen sein. Jedoch erzielten Park et al. im Rahmen ihrer Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mit K-Drähten und Spongiosa einen ähnlichen *Mayo-Score* wie in unserer Auswertung. Park et al. untersuchten den Vergleich zwischen stabilen und instabilen Pseudarthrosen. Bei beiden Gruppen gab es hinsichtlich des postoperativen *Mayo-Wrist-Scores* nur einen geringen Unterschied, so erreicht die Gruppe mit instabilen Pseudarthrosen einen *Mayo-Score* von 77,8 und die Gruppe mit stabilen Pseudarthrose einen *Mayo-Score* von 80. Nimmt man beiden Gruppen zusammen und vergleicht es mit unserem Ergebnis haben Park et al. mit einem *Mayo-Score* von rund 79 bei einer vergleichbaren Operationstechnik wie unserer ein ähnliches Ergebnis. Dies unterstützt die Aussagekraft unserer Ergebnisse.

Der durch das untersuchte Verfahren erreichte DASH-Wert von 7,5 ist ein respektables Ergebnis. Er zeigt, dass postoperativ nach der Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mittels K-Drähten und autologer Spongiosa durchschnittlich die Patienten kaum mehr eine

wesentliche Einschränkung in der Funktion der Hand und im Alltag durch die ursprüngliche Verletzung haben. Der erreichte Wert ist vergleichbar mit anderen Verfahren. So erreicht die Operation nach Matti-Russe im Rahmen der retrospektiven Studie von Dacho et al. mit 84 Patienten einen durchschnittlichen DASH-Wert von 15. [171] Dustmann et al. wiesen mit der modifizierten Matti-Russe-Operation einen DASH-Wert von 9,2 auf. Schreuder et al. stellten einen durchschnittlichen DASH-Wert von 17 bei der Versorgung mittels Herbert-Schraube fest. [215] Hegazy et al. benutzten den *Quick DASH Score* und konnten bei der Versorgung mittels K-Drähten und kortikospongiösem Transplantat eine Reduktion von prä- zu postoperativ von 42 Prozentpunkten erreichen. Dies war signifikant nicht viel unterschiedlich zu der erreichten Reduktion bei der Versorgung mittels Herbert-Schraube und kortikospongiösem Transplantat, dort betrug die Reduktion 43 Prozentpunkte. Auch hinsichtlich des *DASH-Scores* befinden sich die Ergebnisse unserer Versorgung auf Augenhöhe mit etablierten Verfahren und decken sich mit den Ergebnissen gleicher oder ähnlicher Versorgungen.

Hinsichtlich der Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Verfahren zur Versorgung der Skaphoidpseudarthrose untersuchten Pinder et al. im Rahmen einer Meta-Analyse, wo sie 48 Publikationen einschlossen, die Evidenz zu den unterschiedlichen Verfahren. [151] Dabei stellten sie keine signifikant überlegene Methode zur Versorgung der Skaphoidpseudarthrose fest. Die Versorgung mit K-Drähten bezeichneten sie als effektives Verfahren. Tuncay et al. untersuchten bereits 2002 bei 19 Patienten den direkten Vergleich zwischen der Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mit Herbertschraube und K-Drähten. Sie beschrieben bereits damals die Versorgung mit K-Drähten und autologem Knochentransplantat als zweckmäßiges Verfahren. [153] Hegazy et al. erreichten im direkten Vergleich bei einer Konsolidierungsrate von 91% mit K-Drähten und nichtvaskularisiertem kortikospongiösem Knochentransplantat bessere Ergebnisse als mit der Herbert-Schraube und kortikospongiösem Knochentransplantat. Einen Unterschied bzgl. postoperativer Schmerzen, Bewegungsumfang und Rückkehr an den Arbeitsplatz stellten sie zwischen den beiden Verfahren dennoch nicht fest.

Der postoperative Bewegungsumfang ist ein wesentlicher Faktor in Bezug auf die Betrachtung des Operationserfolgs im Sinne der postoperativen Handgelenksfunktion und der Vergleichbarkeit mit anderen Verfahren und Veröffentlichungen. Die Subjektive Beschreibung des Bewegungsumfangs (*range of motion*) ist Bestandteil des *Mayo-Wrist-Scores*, dennoch entscheiden sich viele Autoren für eine individuelle Betrachtung des postoperativen Bewegungsumfangs. Dieser kann zum Beispiel durch einen Untersucher ausgemessen werden.

Da im Rahmen unserer Studie keine erneute körperliche Untersuchung der Patienten durchgeführt wurde und die Daten zur postoperativen Beweglichkeit in den Patientenakten nicht vollständig erfasst wurden, entschieden wir uns für eine Auswertung mittels Piktogramme, orientiert am *Munich Wrist Questionnaire*. Der postoperative Bewegungsumfang war nur geringgradig eingeschränkt. Betroffen war zu einem geringen Teil die Dorsalextension, am meisten klagten die Patienten über Einschränkungen bei der Radialadduktion. Park et al. die auch K-Drähte und Spongiosa zur Versorgung verwendet hatte einen postoperativen Bewegungsumfang dorso-palmar von 115,6°. [210] Dacho et al. haben die Bewegungsumfänge postoperativ ausgemessen und stellen im Vergleich zur gesunden Gegenseite bei der Extension durchschnittlich ein Bewegungsdefizit von 13° fest, was damit auch die Bewegung darstellt, welche am meisten einschränkt war. [171] Bzgl. der Ulnar- und Radialadduktion waren beide Bewegungen auf der operierten Seite eingeschränkt, es zeigte sich jedoch kein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Bewegungsrichtungen. Rajagopalan et al. zeigten in ihrer Studie fest, dass die Radialadduktion die am meisten eingeschränkte Bewegung darstellt, sie versorgten die Skaphoidpseudarthrose mittels Knochentransplantat und Herbert-Schraube. [206] Ergebnisse entsprechen auch ungefähr der Versorgung mittels modifizierten Matti-Russe-Operation gemäß Dustmann et al., die sprechen von einem postoperativen Bewegungsumfang von 115,3° dorso-palmar (Dacho et al. 114°) und 48,2° radio-ulnar (Dacho et al. 43°). Shaprio et al. die mit einer Hybrid Russe-Technik bereits sehr gute Ergebnisse bei der Vereinigungsrate verzeichnen, wiesen zusätzlich bei 90% der Patienten einen identischen Bewegungsumfang wie zur nicht operierten Gegenseite auf. [205] Gemäß der Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung beträgt ein physiologischer Bewegungsumfang dorso-palmar mindestens 90° und der radio-ulnare Bewegungsumfang 50°. Goetz et al. beschreiben die Normalwerte für die dorso-palmaren Bewegungsradius mit 120° und den radio-ulnaren Bewegungsradius mit 55°. [216] Man kann damit sogar unabhängig von der gesunden Gegenseite feststellen, dass bei unterschiedlichen Verfahren selbst die am häufigsten betroffenen Bewegungsrichtungen nur geringfügige Einschränkungen im Vergleich zu den Normwerten aufweist. Zusammenfassend zum postoperativen Bewegungsumfang stehen unsere Ergebnisse ähnlich zu anderen Arbeiten, auch wenn in unserer Auswertung auf eine detaillierte Ausmessung der Bewegungsebenen verzichtet wurde. Unterschiedliche Verfahren zur Behandlung der Skaphoidpseudarthrose scheinen nur geringe Einschränkungen im postoperativen Bewegungsumfang zu bedingen.

5.3.3 Postoperative Schmerzfreiheit und Patientenzufriedenheit

Der belastungsabhängige Schmerz im Handgelenk ist das häufigste beschriebene Symptom der Skaphoidpseudarthrose und bedingt häufig die ärztliche Vorstellung des Patienten. Das bedeutet der Patient stellt sich beim Arzt vor, damit dieser ihm den Schmerz im Handgelenk nimmt. Der postoperativen Schmerzfreiheit oder zumindest Schmerzreduktion kommt daher eine wesentliche Rolle zu. 61% unserer Patienten waren postoperativ zum Befragungszeitpunkt schmerzfrei. 85% der Patienten hatten zumindest ein schmerzfreies Intervall. Schmerzfreiheit konnte im Durchschnitt nach rund 12 Wochen erreicht werden. Dacho et al. verwendeten zur Erfassung der postoperativen Schmerzen eine visuelle Analogskala und erreichten im Mittel 3 mm in Ruhe, was als „schmerzfrei“ zu bezeichnen ist. [171] Unter Belastung verzeichneten sie einen Durchschnittswert von 33 mm, was als „milder Schmerz“ bezeichnet wird. Dustmann et al. Erreichten mit der modifizierten Matti-Russe-Technik im durchschnittlichen Follow-up von 8,6 Monaten einen Wert von 0.9 auf der numerischen Rating-Skala. [201] Hegazy et al. benutzten zur prä- und postoperativen Erfassung der Schmerzen im Handgelenk ebenfalls eine visuelle Analogskala und verzeichneten nach der Versorgung mit K-Drähten einen Wert von 5 mm, was „milden Schmerzen“ entspricht. Nach der Versorgung mittels Herbert-Schraube verzeichneten Hegazy et al. einen Wert von 4 mm, was „Schmerzfreiheit“ entspricht. [152] Die Vergleichbarkeit ist in dieser Kategorie eingeschränkt, da sich in unserer Auswertung für eine andere Art der Erfassung der postoperativen Schmerzen entschieden haben als andere Autoren. Dennoch stellen sich die unterschiedlichen Verfahren zur Versorgung der Skaphoidpseudarthrose als geeignet dar, um eine der Hauptbeschwerden der Patienten zu lindern.

Gesondert von den Schmerzen und den individuellen postoperativen Beschwerden des Patienten hat uns die allgemeine Zufriedenheit mit dem operativen Verfahren interessiert. Denn selbst wenn die Patienten postoperativ noch unter objektivierbaren Pathologien leiden oder in bestimmten Bereichen Einschränkungen hinnehmen müssen, bedeutet das im Einzelfall nicht, dass der Patient unzufrieden sein muss. Die individuelle Zufriedenheit stellt subjektiv aber für den Einzelnen einen wichtigen Faktor dar und erlangt daher für die eigene Selbstbewertung des Verfahrens eine gewisse Bedeutung. Die Patientenzufriedenheit wird selten isoliert in Auswertungen dargestellt. Wir konnten bei 56% der befragten Patienten eine hohe Zufriedenheit und bei ca. 27% eine Zufriedenheit mit dem angewandten Verfahren erreichen. Damit sind 83% der Patienten mindestens zufrieden mit dem Operationsergebnis.

5.3.4 Hospitalisierung und Rückkehr zum Arbeitsplatz

Die funktionsfähigen Hände stellen fast für alle Berufszweige die Grundlage für die Ausübung der beruflichen Tätigkeit dar. Handverletzungen verursachen hohe Kosten im Gesundheitssystem, bedingen aber zusätzlich auch ökonomische Kosten für die Gesellschaft. [217] Wesentlich dabei ist der Arbeitsausfall. Eine kurze Hospitalisierung und zügige Rückkehr an den Arbeitsplatz stellen insbesondere für die gesamtgesellschaftlichen Kosten wichtige Faktoren dar. Dabei spielen in Bezug auf die Skaphoidpseudarthrose natürlich das Erkennen und die Therapie der Skaphoidfraktur eine entscheidende Rolle, sowie die optimale postoperative Behandlung im Sinne von ergo- oder physiotherapeutischer Mitbehandlung. Auf diese beiden Aspekte wird sich in dieser Arbeit nicht fokussiert.

Im Durchschnitt betrug die präoperative Arbeitsunfähigkeit in unseren Daten 34 Tage pro Patient. Der durchschnittliche stationäre Krankenhausaufenthalt der betrachteten Patienten beträgt 4,3 Tage. Die postoperative Arbeitsunfähigkeit lag bei 68 Tagen pro Patient. Die Mehrheit der Patienten, rund 93% erhielten postoperative Ergo- oder Physiotherapie. Die meisten Patienten erhielten dies für ca. drei Monate. Rechnet man die durchschnittliche prä- und postoperative Arbeitsunfähigkeit und den durchschnittlichen stationären Krankenhausaufenthalt zusammen, kommt man auf eine gesamte Arbeitsunfähigkeit von 102 Tagen ca. 14 Wochen pro Patient. Man kann daraus ableiten, dass nach ca. 14 Wochen die Wiederaufnahme der Arbeitstätigkeit möglich war. Dieser Wert ist jedoch deutlich kürzer als die prospektiv erfassten Daten von Hegazy et al. Diese geben nach der Versorgung mit K-Drähten eine vollständige Rückkehr zur Arbeit mit 28 Wochen an, nach der Versorgung mittels Herbert-Schraube war es im Durchschnitt nach 26 Wochen möglich. [152] Dacho et al. widmeten sich ebenfalls der beruflichen Wiedereingliederung, tätigten jedoch keine Aussage zu der gesamtheitlichen Arbeitsunfähigkeit und wann eine Rückkehr in den Beruf möglich war. [171] Eine Recherche in PubMed zu den Stichworten „Skaphoid“, „nonunion OR non-union“ und „return to work“ (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> abgerufen am 15.01.2022 09:00 Uhr) lieferten nur sehr begrenzte Ergebnisse. Xie et al. untersuchten die Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mittels kopfloser Acutrak- Schraube. [218] Von den 21 behandelten Patienten kehrten alle Patienten in ihre ursprüngliche berufliche Tätigkeit zurück. Die durchschnittliche Dauer von der operativen Versorgung bis zur Rückkehr zur Arbeit betrug hier sechs Monate. Chu et al., Waitayawinyu et al. und bereits 1987 Stark et al. [219-221] verzeichneten hohe Raten bzgl. der Rückkehr zur eigentlichen Arbeit nach erfolgter Versorgung der Skaphoidpseudarthrose. Zu einem hohen Anteil auf dem gleichen Level wie vor dem initialen Trauma. Umfangreiche Ergebnisse zur eigentlichen

Arbeitsausfalldauer bei einer Skaphoidpseudarthrose lieferten unsere Recherche nicht, um hier unsere Ergebnisse in einen eindeutigen Kontext einzuordnen.

5.4 Limitationen

Eine wesentliche Limitation der retrospektiven Studie ist die kleine Studienpopulation die vollständig betrachtet werden konnten. Zwar wurden Daten von 104 operierten Patienten miteinbezogen, jedoch konnten aufgrund der eingeschränkten Antwortrate nur 41 Patienten vollständig ausgewertet werden. Ein weiterer Störfaktor dabei könnte der lange Beobachtungszeitraum darstellen, dieser betrug im Durchschnitt 106 Monate. Durch den teilweise langen Zeitabstand zwischen operativen Eingriff und Nachbefragung stellte es sich als schwierig dar alle Patienten erfolgreich zu kontaktieren. Besonders in den Jahren 2005-2008 waren mehr als 85% der zu betrachtenden Patienten Soldaten. Oft wurden keine privaten Adressen oder telefonische Erreichbarkeiten der Patienten erfasst. Die Entlassungsbriefe richteten sich häufig an die Truppenärzte und nicht an die Patienten selbst. Wenn eine Adresse angegeben wurde, war mit zunehmendem zeitlichem Abstand zur operativen Versorgung die Wahrscheinlichkeit größer, dass die Patienten unter dieser Adresse nicht mehr anzufinden waren. Eine Limitation ist die mangelnde Kontaktierbarkeit einiger Patienten. Aufgrund der retrospektiven Auswertung können keine weiteren Daten mehr erhoben werden bzw. nicht erhobene Daten können nicht nachgereicht werden und die Datenauswertung ist abhängig von der Genauigkeit der vorliegenden Dokumentation.

Bei der Einschätzung der postoperativen Schmerzen haben wir auf die Verwendung einer visuellen Analogskala verzichtet und die Schmerzen anders erfasst. In der Nachbetrachtung wäre die Verwendung einer visuellen Analogskala zur Erfassung der postoperativen Schmerzen sinnvoll gewesen, um eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu ermöglichen, da dieses Werkzeug häufig von anderen Autoren genutzt wurde.

Eine körperliche oder bildgebende Nachuntersuchung fand im Rahmen der Studie nicht statt. Obwohl die Angabe mittels Piktogrammen/ Bildern zur Selbsteinschätzung des Bewegungsumfangs in Form eines PROM (Patient- Reported Outcome Measures) als valides Mittel gilt, [186] könnte eine detailliertere und ärztliche Nachuntersuchung mehr Werte und Erkenntnisse liefern. Man könnte die Zuverlässig- und Genauigkeit zur Untersuchung des Verfahrens mittels Nachuntersuchung oder prospektiver Studien noch verbessern. Mit festgelegten radiologischen Protokollen/ Nachkontrollen könnte man ggf. eine bessere Empfehlung zur postoperativen Immobilisation und Materialentfernung eruieren. Mit mittel- und

langfristigen Nachkontrollen wären Aussagen möglich wie effektiv sich das Voranschreiten arthrotischer Veränderungen verhindern lassen kann oder nach welcher Zeit eventuelle Rezidive auftreten. Die Immobilisation bis zur Materialentfernung stellt im Rahmen unserer Befragung meistens den limitierenden Faktor zur Rückkehr auf den Arbeitsplatz dar. Die Immobilisationsdauer nach der operativen Versorgung der Skaphoidpseudarthrose ist häufig diskutiert. So änderten wir abteilungsintern die postoperative Immobilisation 2007 von sechs Wochen auf mindestens acht Wochen. Erst nach achten Wochen kann dann nach erfolgter Bildgebung die Entfernung der Kirschnerdrähte erfolgen. Es zeigte damals im klinischen Alltag Hinweis auf weniger Komplikationen und bessere Konsolidierungsraten bei Verlängerung der Immobilisationsdauer auf standardmäßig acht Wochen. Wiedergeben lässt sich das mit den erhobenen Daten im Zeitraum 2005-2007 zu den Folgejahren jedoch nicht. Hier wären ggf. weitere Untersuchungen zum Beispiel mit einer prospektiven Kohortenstudie angebracht. Für die Versorgung mit Knochentransplantat aus dem Beckenkamm und Herbert-Schraube gibt es für eine durchschnittliche postoperative Immobilisation von 5,4 Wochen gute Ergebnisse (Konsolidierungsrate von 90%). [222] Häufig werden aber auch längere durchschnittliche Immobilisationszeiträume angegeben und das bei allen Verfahren. Es bleibt somit weiter zu untersuchen, ob sich die Versorgung mit K-Drähten und Spongiosa an dieser o. g. kurzen Immobilisation messen kann.

6 Literaturverzeichnis

1. Seegmüller, J., M. Sauerbier, and I. Mehling, Frische Frakturen der Handwurzel. (German). Acute fractures of the wrist. (English), 2016. 18(3): p. 164.
2. Swärd, E.M., et al., The epidemiology of scaphoid fractures in Sweden: a nationwide registry study. Journal of Hand Surgery (European Volume), 2019. 44(7): p. 697-701.
3. Hove, L.M., Epidemiology of scaphoid fractures in Bergen, Norway. Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery and hand surgery, 1999. 33(4): p. 423-426.
4. Duckworth, A.D., et al., Scaphoid fracture epidemiology. J Trauma Acute Care Surg, 2012. 72(2): p. E41-5.
5. Ayache, A., et al., Frakturen der Handwurzel ohne Os scaphoideum. Der Unfallchirurg, 2021. 124(1): p. 59-73.
6. Dy, C.J., et al., An Epidemiologic Perspective on Scaphoid Fracture Treatment and Frequency of Nonunion Surgery in the USA. HSS journal : the musculoskeletal journal of Hospital for Special Surgery, 2018. 14(3): p. 245-250.
7. Arsalan-Werner, A., M. Sauerbier, and I.M. Mehling, Skaphoidfraktur und Skaphoidpseudarthrose. Trauma und Berufskrankheit, 2016. 18(4): p. 376-385.
8. Szabo, R.M. and D. Manske, Displaced fractures of the scaphoid. Clin Orthop Relat Res, 1988(230): p. 30-8.
9. Steinmann, S.P. and J.E. Adams, Scaphoid fractures and nonunions: diagnosis and treatment. Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association, 2006. 11(4): p. 424-431.
10. Yeo, J.H. and J.Y. Kim, Surgical Strategy for Scaphoid Nonunion Treatment. The journal of hand surgery Asian-Pacific volume, 2018. 23(4): p. 450-462.
11. Orthopädie, Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie und des Berufsverbandes der Ärzte für Orthopädie, Leitlinie Skaphoidpseudarthrose. Leitlinien der Orthopädie, Dt. Ärzte-Verlag, 2. Auflage, 2002.
12. Langer, M.F., et al., Anatomy and biomechanics of the scaphoid. Der Orthopäde, 2016. 45(11): p. 926-937.
13. Schmitt, R. and J. van Schoonhoven, Skaphoidpseudarthrose, in Bildgebende Diagnostik der Hand, R. Schmitt and U. Lanz, Editors. 2014, Georg Thieme Verlag.
14. Pichler, W., et al., Computer-assisted 3-dimensional anthropometry of the scaphoid. Orthopedics, 2010. 33(2): p. 85-8.
15. Ahrend, M.D., et al., 3D computational anatomy of the scaphoid and its waist for use in fracture treatment. J Orthop Surg Res, 2021. 16(1): p. 216.

16. Heinzlmann, A.D., G. Archer, and R.R. Bindra, Anthropometry of the human scaphoid. *J Hand Surg Am*, 2007. 32(7): p. 1005-8.
17. Le Minor, J.M. and E. Rapp, Relative weights of the human carpal bones: biological and functional interests. *Ann Anat*, 2001. 183(6): p. 537-43.
18. Sauerbier, M., et al., *Die Handchirurgie*. 2015, Elsevier. p. 254-255.
19. Wurzing, L.J., Proximales und distales Handgelenk, in *Duale Reihe Anatomie*, G. Aumüller, et al., Editors. 2020, Georg Thieme Verlag.
20. Schünke, M., et al., 1.9 Knochen der freien Gliedmaße: Handwurzelknochen, in *Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*, M. Schünke, et al., Editors. 2018, Georg Thieme Verlag KG.
21. Sonenblum, S.E., et al., In vivo motion of the scaphotrapezio-trapezoidal (STT) joint. *J Biomech*, 2004. 37(5): p. 645-52.
22. Schmitt, R., et al., Anatomische und funktionelle Grundlagen für die Diagnostik an der Hand, in *Bildgebende Diagnostik der Hand*, R. Schmitt and U. Lanz, Editors. 2014, Georg Thieme Verlag.
23. Jørgsholm, P., et al., The incidence of intrinsic and extrinsic ligament injuries in scaphoid waist fractures. *J Hand Surg Am*, 2010. 35(3): p. 368-74.
24. Caloia, M.F., et al., Incidence of ligamentous and other injuries associated with scaphoid fractures during arthroscopically assisted reduction and percutaneous fixation. *Arthroscopy*, 2008. 24(7): p. 754-9.
25. Hintringer, W. and H. Krimmer, 3.2. Karpale Instabilitäten, ligamentäre Rekonstruktion, Teilarthrodesen, in *Die Handchirurgie*, M. Sauerbier, et al., Editors. 2015, Elsevier. p. 217-243.
26. Breitenseher, M., 3.5 Erkrankungen der Bänder des Handgelenks, in *Der MR-Trainer 2. überarbeitete und erweiterte Auflage*, 2016, Georg Thieme Verlag KG.
27. Pulos, N. and D.J. Bozentka, Carpal Ligament Anatomy and Biomechanics. *Hand Clinics*, 2015. 31(3): p. 381-387.
28. Sokolow, C. and P. Saffar, Anatomy and histology of the scapholunate ligament. *Hand Clin*, 2001. 17(1): p. 77-81.
29. Zyluk, A. and B. Piotuch, The management of scapholunate wrist instability: a review. *Pol Orthop Traumatol*, 2012. 77: p. 83-9.
30. Schmitt, R. and K. Kalb, Karpale Instabilitäten, in *Bildgebende Diagnostik der Hand*, R. Schmitt and U. Lanz, Editors. 2014, Georg Thieme Verlag.
31. Feipel, V., *Anatomy of the Carpal Ligaments. Carpal Ligament Surgery*, 2013: p. 3-17.

32. Schünke, M., et al., 4.1 Arterien, in Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem, M. Schünke, et al., Editors. 2018, Georg Thieme Verlag KG.
33. Schünke, M., et al., 4.2 Venen, in Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem, M. Schünke, et al., Editors. 2018, Georg Thieme Verlag KG.
34. Oehmke, H.J., Gefäßversorgung und Funktion des Kahnbeins. Unfallchirurgie, 1987. 13(3): p. 174-177.
35. Gelberman, R.H. and M.S. Gross, The vascularity of the wrist. Identification of arterial patterns at risk. Clin Orthop Relat Res, 1986(202): p. 40-9.
36. Morsy, M., et al., The Vascular Anatomy of the Scaphoid: New Discoveries Using Micro-Computed Tomography Imaging. J Hand Surg Am, 2019. 44(11): p. 928-938.
37. Gelberman, R.H. and J. Menon, The vascularity of the scaphoid bone. J Hand Surg Am, 1980. 5(5): p. 508-13.
38. Gelberman, R.H., et al., The arterial anatomy of the human carpus. Part I: The extraosseous vascularity. J Hand Surg Am, 1983. 8(4): p. 367-75.
39. Oehmke, H.J., [Blood supply and function of the scaphoid bone]. Unfallchirurgie, 1987. 13(3): p. 174-7.
40. Händlhuber, C., Der Bewegungsumfang der großen Gelenke beim alten Menschen an der oberen Extremität. Diplomarbeit Medizinischen Universität Graz, 2011.
41. Rickert, M., Funktionelle Normwerte und Einflussfaktoren an Unterarm und Hand gesunder männlicher Erwachsener. Dissertation an Medizinischen Fakultät Ludwig-Maximilians-Universität zu München, 2010.
42. Jarque-Bou, N.J., et al., A calibrated database of kinematics and EMG of the forearm and hand during activities of daily living. Scientific data, 2019. 6(1): p. 270-270.
43. Linscheid, R.L. and J.H. Dobyns, Athletic injuries of the wrist. Clin Orthop Relat Res, 1985(198): p. 141-51.
44. Gajdosik, R.L. and R.W. Bohannon, Clinical measurement of range of motion. Review of goniometry emphasizing reliability and validity. Phys Ther, 1987. 67(12): p. 1867-72.
45. Bovens, A.M.P.M., et al., Variability and reliability of joint measurements. The American Journal of Sports Medicine, 1990. 18(1): p. 58-63.
46. Nizam, K., et al., A Novel Setup and Protocol to Measure the Range of Motion of the Wrist and the Hand. Sensors (Basel), 2018. 18(10).
47. Ge, M., et al., Wrist ROM measurements using smartphone photography: Reliability and validity. Hand Surg Rehabil, 2020. 39(4): p. 261-264.

48. Kaufmann, R., et al., Kinematics of the midcarpal and radiocarpal joints in radioulnar deviation: an in vitro study. *J Hand Surg Am*, 2005. 30(5): p. 937-42.
49. Chambers, S.B., et al., The Impact of Scaphoid Malunion on Carpal Motion: An In-Vitro Analysis. *J Hand Surg Asian Pac Vol*, 2021. 26(3): p. 396-402.
50. Tang, J.B., J. Xu, and R.G. Xie, Scaphoid and lunate movement in different ranges of carpal radioulnar deviation. *J Hand Surg Am*, 2011. 36(1): p. 25-30.
51. Kaufmann, R.A., et al., Kinematics of the midcarpal and radiocarpal joint in flexion and extension: an in vitro study. *J Hand Surg Am*, 2006. 31(7): p. 1142-8.
52. Schünke, M., et al., 1.10 Architektur des radiokarpalen Übergangs und der Mittelhand; distale Radiusund Skaphoidfrakturen, in *Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*, M. Schünke, et al., Editors. 2018, Georg Thieme Verlag KG.
53. Bond, J.R. and T.H. Berquist, Radiologic evaluation of hand and wrist motion. *Hand Clin*, 1991. 7(1): p. 113-23.
54. Larsen, C.F., V. Brøndum, and O. Skov, Epidemiology of scaphoid fractures in Odense, Denmark. *Acta orthopaedica Scandinavica*, 1992. 63(2): p. 216-218.
55. Holloway, K.L., et al., Carpal and scaphoid fracture incidence in south-eastern Australia: an epidemiologic study. *Archives of Osteoporosis*, 2015(1): p. 1.
56. Wells, M.E., et al., Incidence of Scaphoid Fractures and Associated Injuries at US Trauma Centers. *Journal of wrist surgery*, 2021. 10(2): p. 123-128.
57. Cheung, J.P.Y., C.Y.K. Tang, and B.K.K. Fung, Current management of acute scaphoid fractures: a review. *Hong Kong medical journal = Xianggang yi xue za zhi*, 2014. 20(1): p. 52-58.
58. Reigstad, O., et al., Scaphoid non-unions, where do they come from? The epidemiology and initial presentation of 270 scaphoid non-unions. *Hand Surgery*, 2012. 17(03): p. 331-335.
59. Augat, P., et al., Kahnbeinfraktur (Fraktur des Os scaphoideum), in *Checkliste Traumatologie*, V. Bühren, M.J.B. Keel, and I. Marzi, Editors. 2016, Georg Thieme Verlag.
60. Du, Y., [Injury Mechanism of Scaphoid Fracture: Forensic Analysis of 43 Cases]. *Fa yi xue za zhi*, 2015. 31(2): p. 123-125.
61. Green, J.R., Jr. and G.M. Rayan, Scaphoid fractures in soccer goalkeepers. *J Okla State Med Assoc*, 1997. 90(2): p. 45-7.
62. Muracki, J., et al., Injuries and Pain Associated with Goalkeeping in Football—Review of the Literature. *Applied Sciences (2076-3417)*, 2021. 11(10): p. 4669-4669.
63. Brudvik, C. and L.M. Hove, Childhood fractures in Bergen, Norway: identifying high-risk groups and activities. *J Pediatr Orthop*, 2003. 23(5): p. 629-34.

64. Sutton, P.A., O. Clifford, and T.R.C. Davis, A new mechanism of injury for scaphoid fractures: 'test your strength' punch-bag machines. *The Journal of hand surgery, European volume*, 2010. 35(5): p. 419-420.
65. Schmitt, R. and H. Rosenthal, Imaging of Scaphoid Fractures According to the New S3 Guidelines. *RöFo*, 2016. 188(05): p. 459-469.
66. Herbert, T.J. and W.E. Fisher, Management of the fractured scaphoid using a new bone screw. *J Bone Joint Surg Br*, 1984. 66(1): p. 114-23.
67. Krimmer, H., R. Schmitt, and T. Herbert, Scaphoid fractures--diagnosis, classification and therapy. *Unfallchirurg*, 2000. 103(10): p. 812-9.
68. Russe, O., Fracture of the carpal navicular. Diagnosis, non-operative treatment, and operative treatment. *J Bone Joint Surg Am*, 1960. 42-a: p. 759-68.
69. Al-Ajmi, T.A., et al., A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials Comparing Surgical versus Conservative Treatments for Acute Undisplaced or Minimally-Displaced Scaphoid Fractures. *Clinics in orthopedic surgery*, 2018. 10(1): p. 64-73.
70. Sauerbier, M., G. Germann, and A. Dacho, Current Concepts in the Treatment of Scaphoid Fractures. *European Journal of Trauma*, 2004. 30(2): p. 80.
71. Schädel-Höpfner, M., et al., Skaphoidfrakturen: Aktuelle diagnostische und therapeutische Konzepte. *Scaphoid fractures: Current diagnostic and treatment concepts*, 2023. 126(10): p. 799-811.
72. Hoffmann, R., Checkliste Handchirurgie. 4. Auflage. Checklisten der aktuellen Medizin. 2017. Georg Thieme Verlag
73. Clay, N.R., et al., Need the thumb be immobilised in scaphoid fractures? A randomised prospective trial. *J Bone Joint Surg Br*, 1991. 73(5): p. 828-32.
74. Burge, P., Closed cast treatment of scaphoid fractures. *Hand Clin*, 2001. 17(4): p. 541-52.
75. Schädel-Höpfner, M., et al., Die frische Skaphoidfraktur. *Der Orthopäde*, 2016. 45(11): p. 945-950.
76. Schaller, E., Skaphoidfrakturen, in *Chirurgie*, A. Hirner and K. Weise, Editors. 2008, Georg Thieme Verlag.
77. Prosser, G.H. and E.S. Isbister, The presentation of scaphoid non-union. *Injury*, 2003. 34(1): p. 65-67.
78. Watson, J.T., et al., Kahnbeinfrakturen, in *Spezielle Unfallchirurgie*, J.P. Stannard, et al., Editors. 2020, Georg Thieme Verlag KG.
79. Hubbard, T.J. and C.R. Denegar, Does Cryotherapy Improve Outcomes With Soft Tissue Injury? *J Athl Train*, 2004. 39(3): p. 278-279.

80. Jeon, I.H., et al., Percutaneous screw fixation for scaphoid fracture: a comparison between the dorsal and the volar approaches. *J Hand Surg Am*, 2009. 34(2): p. 228-36.e1.
81. Bunker, T.D., P.B. McNamee, and T.D. Scott, The Herbert screw for scaphoid fractures. A multicentre study. *J Bone Joint Surg Br*, 1987. 69(4): p. 631-4.
82. Herbert, T.J., W.E. Fisher, and A.W. Leicester, The Herbert bone screw: a ten year perspective. *J Hand Surg Br*, 1992. 17(4): p. 415-9.
83. Dittler, S. and B. Bickert, Skaphoidfraktur – Schritt für Schritt. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*, 2021. 16(01): p. 19-24.
84. Schütter, F.-W., Operation in Blutleere oder Blutsperre, in *SOPs in der Chirurgie: Allgemeinchirurgie*, F.-W. Schütter, Editor. 2017, Georg Thieme Verlag.
85. Quadlbauer, S., et al., Palmar angular stable plate fixation of nonunions and comminuted fractures of the scaphoid. *Oper Orthop Traumatol*, 2019. 31(5): p. 433-446.
86. Bohler, J. and H.G. Ender, Pseudarthrosis of the scaphoid. *Der Orthopaede*, 1986. 15(2): p. 109-20.
87. Gabl, M., 3.4 Karpale Pseudarthrosen, in *Die Handchirurgie*, M. Sauerbier, et al., Editors. 2015, Elsevier. p. 252-263.
88. Strassmair, M. and K. Wilhelm, Entstehung einer Skaphoidpseudarthrose. *Dtsch Arztebl* 2001; 98: A 2962–2964 [Heft 45], 2001.
89. Buijze, G.A., L. Ochtman, and D. Ring, Management of scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am*, 2012. 37(5): p. 1095-100; quiz 1101.
90. Waldt, S., M. Eiber, and K. Wörtler, Handgelenk und Hand, in *Messverfahren und Klassifikationen in der muskuloskelettalen Radiologie*, S. Waldt, M. Eiber, and K. Wörtler, Editors. 2017, Georg Thieme Verlag.
91. Hoffmann, R. and H. Krimmer, Bandrupturen und Luxationen der Handwurzel, in *Checkliste Handchirurgie*, R. Hoffmann, Editor. 2016, Georg Thieme Verlag.
92. Schönle, P., B. Bickert, and U. Kneser, Biomechanik des Handgelenks. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*, 2019. 14(03): p. 251-267.
93. Ziegler, B. and B. Bickert, Diagnostik und Therapie der skapholunären Bandverletzung. *Handchirurgie Scan*, 2021. 10(01): p. 49-60.
94. S. Krupp, H.-O.R., N.Pallua, *Plastische Chirurgie*. 27. ed. 2006.
95. Rennie, W.J. and D.B. Finlay, Posttraumatic cystlike defects of the scaphoid: late sign of occult microfracture and useful indicator of delayed union. *AJR Am J Roentgenol*, 2003. 180(3): p. 655-8.

96. Reiser, M., A. Baur-Melnyk, and C. Glaser, Skaphoidfraktur (Kahnbeinfraktur), in Pareto-Reihe Radiologie Bewegungsapparat, M. Reiser, A. Baur-Melnyk, and C. Glaser, Editors. 2007, Georg Thieme Verlag.
97. Moog, P., et al., [Osteophyte-induced impingement reduces range of motion in humpback deformity of incorrectly healed scaphoid reconstruction]. *Der Unfallchirurg*, 2021. 124(2): p. 132-137.
98. Kim, J.H., et al., Dorsal intercalated segmental instability associated with malunion of a reconstructed scaphoid. *J Hand Surg Eur Vol*, 2017. 42(3): p. 240-245.
99. Schmitt, R. and K. Kalb, Skapholunäre Dissoziation (SLD), in Bildgebende Diagnostik der Hand, R. Schmitt and U. Lanz, Editors. 2014, Georg Thieme Verlag.
100. Schädel-Höpfner, M., et al., [MRI or arthroscopy in the diagnosis of scapholunate ligament tears in fractures of the distal radius?]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2001. 33(4): p. 234-8.
101. Mayer, S., et al., Aussagekraft präoperativer MRT-Diagnostik hinsichtlich Läsionen des skapholunären Bandes im klinischen Alltag. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2013. 45(01): p. 26-32.
102. Zentner, J., Karpale Instabilitäten und Fehlstellungen, in Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke, K. Bohndorf, H. Imhof, and K. Wörtler, Editors. 2017, Georg Thieme Verlag.
103. Lögters, T.T. and J. Windolf, Ligamentäre Verletzungen, in Alterstraumatologie, S. Ruchholtz, B. Bücking, and R.-J. Schulz, Editors. 2016, Georg Thieme Verlag.
104. Schädel-Höpfner, M., et al., [Arthroscopic diagnosis of concomitant scapholunate ligament injuries in fractures of the distal radius]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2001. 33(4): p. 229-33.
105. Strassmair, M. and K. Wilhelm, Ruptur des skapholunären Bandes (SL-Band), in Orthopädie und Orthopädische Chirurgie – Ellenbogen, Unterarm, Hand, A.K. Martini, Editor. 2003, Georg Thieme Verlag.
106. Prommersberger, K.J., et al., [Scapholunate lesions]. *Unfallchirurg*, 2014. 117(8): p. 723-37; quiz 738-9.
107. Mehling, I.M. and M. Sauerbier, Der posttraumatische karpale Kollaps: SLAC- und SNAC-Wrist. *Handchirurgie Scan*, 2015. 04(02): p. 137-152.
108. Krimmer, H., [Post-traumatic carpal collapse--follow-up and therapeutic concept]. *Unfallchirurg*, 2000. 103(4): p. 259.
109. Watson, H.K. and F.L. Ballet, The SLAC wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *The Journal of hand surgery*, 1984. 9(3): p. 358-365.
110. Zentner, J., SNAC-Wrist, in Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke, K. Bohndorf, H. Imhof, and K. Wörtler, Editors. 2017, Georg Thieme Verlag.

111. Fodor, S.G., et al., Klinische und bildgebende Diagnostik der Kahnbeinfraktur und -pseudarthrose. *Hand-/Mikro-/Plastische Chirurgie*, 2020. 52(05): p. 382-391.
112. Klimsa, C., M. Canova, and S. Schibli, [Bipartite carpal scaphoid with osteonecrosis of the proximal pole - differential diagnosis of pseudarthrosis]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2014. 46(1): p. 62-3.
113. Smith, M.L., et al., Using computed tomography to assist with diagnosis of avascular necrosis complicating chronic scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am*, 2009. 34(6): p. 1037-43.
114. Megerle, K., et al., Gadolinium-enhanced preoperative MRI scans as a prognostic parameter in scaphoid nonunion. *J Hand Surg Eur Vol*, 2011. 36(1): p. 23-8.
115. Bervian, M., S. Ribak, and B. Livani, Scaphoid fracture nonunion: correlation of radiographic imaging, proximal fragment histologic viability evaluation, and estimation of viability at surgery. *International Orthopaedics*, 2015. 39(1): p. 67-72.
116. Ng, A.W.H., et al., Is dynamic contrast-enhanced MRI useful for assessing proximal fragment vascularity in scaphoid fracture delayed and non-union? *Skeletal Radiology*, 2013. 42(7): p. 983.
117. K, K. and D. J., 3.5 Aseptische Knochennekrosen, in *Die Handchirurgie*, M. Sauerbier, et al., Editors. 2015, Elsevier. p. 276-277.
118. Hoffmann, R. and H. Krimmer, Kahnbeinmalazie (Morbus Preiser), in *Checkliste Handchirurgie*, R. Hoffmann, Editor. 2016, Georg Thieme Verlag.
119. Kalainov, D.M., et al., Preiser's disease: identification of two patterns. *J Hand Surg Am*, 2003. 28(5): p. 767-78.
120. Betz, C., I.M. Mehling, and M. Sauerbier, Knochennekrosen der Hand. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 2015. 153(04): p. 441-456.
121. Lauder, A.J. and T.E. Trumble, Idiopathic avascular necrosis of the scaphoid: Preiser's disease. *Hand Clin*, 2006. 22(4): p. 475-84; abstract vi.
122. Amundsen, A., et al., Avascular Necrosis of the Scaphoid-Preiser Disease: Outcomes of 39 Surgical Cases. *J Hand Surg Am*, 2021.
123. Filan, S.L. and T.J. Herbert, Herbert screw fixation of scaphoid fractures. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 1996. 78(4): p. 519-529.
124. Schuster, C., *Praxisbuch Unfallchirurgie - Hand*, in *Praxisbuch Unfallchirurgie*, B. Weigel and M.L. Nerlich, Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 387-468.
125. Schacher, B., et al., [Pedicled vascularized bone graft for scaphoid reconstruction after Zaidenberg]. *Der Orthopäde*, 2016. 45(11): p. 974-984.

126. Sauerbier, M., A.T. Bishop, and N. Ofer, Gestielte vaskularisierte Knochentransplantate von der Streckseite des peripheren Speichenendes zur Skaphoidrekonstruktion. Operative Orthopädie und Traumatologie, 2009. 21(4): p. 373-385.
127. Rudigier, J. and R. Meier, Operative Spanverblockung nach Matti-Russe, in Kurzgefasste Handchirurgie, J. Rudigier and R. Meier, Editors. 2014, Georg Thieme Verlag.
128. Russe, O., [Therapeutic results with cancellous bone filling in pseudoarthrosis of the navicular bone]. Z Orthop Ihre Grenzgeb, 1951. 81(3): p. 466-73.
129. Mehling, I.M. and M. Sauerbier, Skaphoidfrakturen und Skaphoidpseudarthrosen. Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie, 2013. 151(06): p. 639-660.
130. Sauerbier, M., et al., [Long-term outcome of reconstruction of proximal scaphoid pseudarthroses with Matti-Russe-plasty]. Handchirurgie, Mikrochirurgie, Plastische Chirurgie: Organ Der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft Fur Handchirurgie: Organ Der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft Fur Mikrochirurgie Der Peripheren Nerven Und Gefasse: Organ Der V.. 1999. 31(3): p. 182-186.
131. Burger, K.H., et al., [Free microvascular transfer of segmental corticocancellous femur for treatment of avascular scaphoid necrosis]. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2009. 41(1): p. 44-51.
132. Kindler, C. and B. Lukas, Vaskularisierte Knochentransplantate bei Skaphoidpseudarthrose. Handchirurgie Scan, 2019. 08(03): p. 217-232.
133. Hübner, G. and A. Rahmanian-Schwarz, Mikrovaskuläre Knochentransplantationen, gestielt und frei bei Skaphoidpseudarthrosen. OP-Journal, 2015. 31(02): p. 119-123.
134. Werdin, F., et al., Reconstruction of scaphoid nonunion fractures of the proximal one third with a vascularized bone graft from the distal radius. Eplasty, 2014. 14: p. e24.
135. Prommersberger, K.-J., Proximal Row Carpectomy, in Komplikationen in Orthopädie und Unfallchirurgie, C.J. Wirth, et al., Editors. 2009, Georg Thieme Verlag.
136. Bultmann, C., M. Meier, and H. Krimmer, Mittelfristige Behandlungsergebnisse nach Proximal Row Carpectomy und Literaturüberblick. Hand-/Mikro-/Plastische Chirurgie, 2005. 37(02): p. 113-118.
137. Spies, C.K., et al., [Proximal carpal row carpectomy]. Oper Orthop Traumatol, 2016. 28(3): p. 204-17.
138. Jacobs, R., I. Degreef, and L. De Smet, Proximal row carpectomy with or without postoperative immobilisation. J Hand Surg Eur Vol, 2008. 33(6): p. 768-70.
139. Prommersberger, K.-J., Skaphoidfrakturen und -pseudarthrosen. Hand-/Mikro-/Plastische Chirurgie, 2020. 52(05): p. 372-372.
140. Schleusser, S., et al., Blood Flow in the Scaphoid Is Improved by Focused Extracorporeal Shock Wave Therapy. Clinical orthopaedics and related research, 2020. 478(1): p. 127-135.

141. Zenke, Y., et al., Four-corner fusion method using a bioabsorbable plate for scapholunate advanced collapse and scaphoid nonunion advanced collapse wrists: a case series study. *BMC musculoskeletal disorders*, 2020. 21(1): p. 683.
142. Haugstvedt, J.R. and C.W.-y. Wong, Arthroscopic treatment for nonunion of the scaphoid. *Hand-/Mikro-/Plastische Chirurgie*, 2020. 52(05): p. 413-418.
143. Özdemir, M.A., et al., Comparison of clinical outcomes of autologous bone graft versus pronator quadratus pedicled vascularized bone graft in the treatment of scaphoid nonunion. *Acta Orthop Belg*, 2022. 88(3): p. 447-455.
144. Diehm, Y.F., et al., The impact of previous surgery on scaphoid nonunion reconstruction: a retrospective study of 95 cases. *J Hand Surg Eur Vol*, 2022. 47(9): p. 921-926.
145. Sailer, S., et al., Treatment of scaphoid fractures and pseudarthroses with the human allogeneic cortical bone screw. A multicentric retrospective study. *J Orthop Traumatol*, 2023. 24(1): p. 6.
146. Murray, G., End results of bone-grafting for non-union of the carpal navicular. *J Bone Joint Surg Am*, 1946. 28(4): p. 749-56.
147. Brown, P.E. and T.B. Dameron, Surgical treatment for nonunion of the scaphoid. *South Med J*, 1975. 68(4): p. 415-21.
148. Eitenmüller, J., H.G. Haas, and E. Koob, [Treatment results in fractures and pseudarthrosis of the scaphoid bone]. *Handchirurgie*, 1978. 10(1): p. 9-11.
149. Stark, H.H., et al., Treatment of ununited fractures of the scaphoid by iliac bone grafts and Kirschner-wire fixation. *J Bone Joint Surg Am*, 1988. 70(7): p. 982-91.
150. Reigstad, O., et al., Healing of ununited scaphoid fractures by Kirschner wires and autologous structural bone grafts. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg*, 2010. 44(2): p. 106-11.
151. Pinder, R.M., et al., Treatment of Scaphoid Nonunion: A Systematic Review of the Existing Evidence. *The Journal of hand surgery*, 2015. 40(9): p. 1797.
152. Hegazy, G., et al., Kirschner wire versus Herbert screw fixation for the treatment of unstable scaphoid waist fracture nonunion using corticocancellous iliac bone graft: randomized clinical trial. *Int Orthop*, 2020. 44(11): p. 2385-2393.
153. Tuncay, I., A. Doğan, and S. Alpaslan, [Comparison between fixation with Herbert screws and Kirschner wires in the treatment of scaphoid pseudoarthrosis]. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2002. 36(1): p. 17-21.
154. Finsen, V., M. Hofstad, and H. Haugan, Most scaphoid non-unions heal with bone chip grafting and Kirschner-wire fixation. Thirty-nine patients reviewed 10 years after operation. *Injury*, 2006. 37(9): p. 854-9.

155. Kim, J.Y., et al., A Comparison of Non-vascularized Bone Grafting and Internal Fixation in the Treatment of Unstable Scaphoid Waist Nonunion. *J Hand Surg Asian Pac Vol*, 2021. 26(4): p. 697-704.
156. Fallnhauser, T., et al., [Extracorporeal Shockwave Therapy for the treatment of scaphoid delayed union and nonunion: a retrospective analysis examining the rate of consolidation and further outcome variables]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2019. 51(3): p. 164-170.
157. Notarnicola, A., et al., Extracorporeal shockwaves versus surgery in the treatment of pseudoarthrosis of the carpal scaphoid. *Ultrasound Med Biol*, 2010. 36(8): p. 1306-13.
158. Quadlbauer, S., et al., Treatment of scaphoid waist nonunion by one, two headless compression screws or plate with or without additional extracorporeal shockwave therapy. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2019. 139(2): p. 281-293.
159. Mühldorfer-Fodor, M., et al., [Comparison of scaphoid reconstruction with a non-vascularised bone graft, with and without shock waves; preliminary results]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2020. 52(5): p. 404-412.
160. Xu, B., L. Chen, and J.H. Lee, Smoking and alcohol drinking and risk of non-union or delayed union after fractures: A protocol for systematic review and dose-response meta-analysis. *Medicine*, 2020. 99(5): p. e18744.
161. Ho, S.-t., Adverse Effects of Smoking on Outcomes of Orthopaedic Surgery. *Journal of Orthopaedics, Trauma and Rehabilitation*, 2017. 23: p. 54-58.
162. Dinah, A.F. and R.H. Vickers, Smoking increases failure rate of operation for established non-union of the scaphoid bone. *International orthopaedics*, 2007. 31(4): p. 503-505.
163. Radford, P.J., M.H. Matthewson, and B.F. Meggitt, The Herbert screw for delayed and non-union of scaphoid fractures: a review of fifty cases. *J Hand Surg Br*, 1990. 15(4): p. 455-9.
164. Nakamura, R., et al., Scaphoid non-union: factors affecting the functional outcome of open reduction and wedge grafting with Herbert screw fixation. *J Hand Surg Br*, 1993. 18(2): p. 219-24.
165. Zaidenberg, C., J.W. Siebert, and C. Angrigiani, A new vascularized bone graft for scaphoid nonunion. *Journal of Hand Surgery*, 1991. 16(3): p. 474-478.
166. Malizos, K.N., et al., Scaphoid nonunions management with vascularized bone grafts from the distal radius: a clinical and functional outcome study. *Plast Reconstr Surg*, 2007. 119: p. 1513-1525.
167. Vakalopoulos, K.A., et al., Carpal Collapse After Scaphoid Nonunion: A Novel Combined Approach to the 1,2 Intercompartmental Supraretinacular Artery Radial Flap. *Journal of Hand Surgery Global Online*, 2020. 2(3): p. 143-149.
168. Sheetz, K.K., A.T. Bishop, and R.A. Berger, The arterial blood supply of the distal radius and ulna and its potential use in vascularized pedicled bone grafts. *The Journal of Hand Surgery*, 1995. 20(6): p. 902-914.

169. Wolf, J., et al., Langzeitergebnisse der Therapie der Skaphoidpseudarthrose mit dem vaskularisierten Radiusspan auf Basis der 1,2-ICSR-Arterie. Obere Extremität, 2014. 9(4): p. 243-251.
170. Chang, M.A., et al., The outcomes and complications of 1,2-intercompartmental supraretinacular artery pedicled vascularized bone grafting of scaphoid nonunions. J Hand Surg Am, 2006. 31(3): p. 387-96.
171. Dacho, A., G. Germann, and M. Sauerbier, Die Rekonstruktion von Skaphoidpseudarthrosen durch die Operation nach Matti-Russe. (German). Reconstruction of scaphoid non-union with the Matti-Russe procedure—a retrospective analysis of 84 patients. (English), 2004. 107(5): p. 388-396.
172. Shakir, I., U.C. Okoroafor, and J. Panattoni, Clinical and Radiologic Outcomes of the Matti-Russe Technique for Scaphoid Nonunions in Pediatric Patients. Hand (New York, N.Y.), 2019. 14(1): p. 73-79.
173. Krayenbühl, C.U., Zur operativen Behandlung der Navikularepseudarthrose nach Matti-Russe. 1970, Zürich.
174. Ahlers, I., Behandlungsergebnisse nach Matti-Russe-Plastik bei Skaphoidpseudarthrosen / Imke Ahlers. 1993, Germany: Freie Universität Berlin.
175. Drabek, K., Klinische und radiologische Ergebnisse der Matti-Russe Plastik bei Scaphoidpseudarthrose / Karl Drabek. 1995, Germany: Universität München.
176. Kralewski, J.-C., Die Operation der Scaphoidpseudarthrose nach Matti-Russe (Russe I) : Langzeitergebnisse ; eine retrospektive Studie über 490 Fälle mit konsekutiver klinischer, funktioneller und radiologischer Nachuntersuchung von 220 Patienten / Johann-Christian Kralewski. 1995, Germany: Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen.
177. Graf, C., Die Pseudoarthrose des Kahnbeins der Hand : Bedeutung und Erfolg der operativen Therapie unter besonderer Berücksichtigung der Operationsmethode nach Matti-Russe : autologe Spongiosaplastik / vorgelegt von Christoph Graf. 1997.
178. Kastenberger, T., et al., Die Behandlung der avaskulären Kahnbeinpseudarthrose: gefäßgestielter Knochenspan vom Beckenkamm oder vom medialen Femurkondyl? Hand-/Mikro-/Plastische Chirurgie, 2020. 52(05): p. 419-424.
179. Kitzinger, H.B., et al., Der posttraumatische karpale Kollaps. Hand-/Mikro-/Plastische Chirurgie, 2003. 35(05): p. 282-287.
180. Trail, I.A., et al., The long-term outcome of four-corner fusion. Journal of wrist surgery, 2015. 4(2): p. 128-133.
181. Mulford, J.S., et al., Proximal row carpectomy vs four corner fusion for scapholunate (Slac) or scaphoid nonunion advanced collapse (Snac) wrists: a systematic review of outcomes. J Hand Surg Eur Vol, 2009. 34(2): p. 256-63.
182. Chedal-Bornu, B., et al., Long-term outcomes of proximal row carpectomy: A series of 62 cases. Hand Surg Rehabil, 2017. 36(5): p. 355-362.

183. Garcia, B.N., et al., Risk of Total Wrist Arthrodesis or Reoperation Following 4-Corner Arthrodesis or Proximal Row Carpectomy for Stage-II SLAC/SNAC Arthritis: A Propensity Score Analysis of 502 Wrists. *J Bone Joint Surg Am*, 2020. 102(12): p. 1050-1058.
184. Ross, P.R., et al., Revision surgery after vascularized or non-vascularized scaphoid nonunion repair: A national population study. *Injury*, 2020. 51(3): p. 656-662.
185. Little, C.P., et al., Failure of Surgery for Scaphoid Non-Union is Associated with Smoking. *Journal of Hand Surgery*, 2006. 31(3): p. 252-255.
186. Müller, M. and P. Biberthaler, Patient-Reported Outcome Measures (PROMs) – eine Übersicht. *OP-Journal*, 2021. 37(01): p. 55-62.
187. Rudolf, K.D., P. Preisser, and B.D. Partecke, [Comparison of various evaluation measures for assessment of treatment success after scaphoid injuries]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 1999. 31(3): p. 155-61.
188. Germann, G., G. Wind, and A. Harth, Der DASH-Fragebogen - Ein neues Instrument zur Beurteilung von Behandlungsergebnissen an der oberen Extremität. *Hand-/Mikro-/Plastische Chirurgie*, 1999. 31(03): p. 149-152.
189. Kitis, A., et al., DASH questionnaire for the analysis of musculoskeletal symptoms in industry workers: A validity and reliability study. *Applied Ergonomics*, 2009. 40(2): p. 251-255.
190. Westphal, T., [Reliability and responsiveness of the German version of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand questionnaire (DASH)]. *Der Unfallchirurg*, 2007. 110(6): p. 548-552.
191. Offenbächer, M., et al., Validation of a German version of the 'Disabilities of Arm, Shoulder and Hand' questionnaire (DASH-G). Validierung einer deutschen Version des 'Disabilities of Arm, Shoulder and Hand' Fragebogens (DASH-G), 2003. 62(2): p. 168.
192. Gummesson, C., I. Atroshi, and C. Ekdahl, The disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH) outcome questionnaire: longitudinal construct validity and measuring self-rated health change after surgery. *BMC musculoskeletal disorders*, 2003. 4: p. 11.
193. Mesplíé, G., Physiology and Rehabilitation of Sensorial and Motor Disorders, in *Hand and Wrist Rehabilitation: Theoretical Aspects and Practical Consequences*, G. Mesplíé, Editor. 2015, Springer International Publishing: Cham. p. 329-352.
194. Rebecca, J. and V.V. Chhaya, Changes in the health status and functional outcomes in acute traumatic hand injury patients, during physical therapy treatment. *Indian Journal of Plastic Surgery*, 2011. 44(02): p. 362-367.
195. Quadlbauer, S., et al., Rehabilitation after distal radius fractures: is there a need for immobilization and physiotherapy? *Arch Orthop Trauma Surg*, 2020. 140(5): p. 651-663.
196. Villafañe, J.H., J.A. Cleland, and C. Fernández-De-Las-Peñas, The Effectiveness of a Manual Therapy and Exercise Protocol in Patients With Thumb Carpometacarpal Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 2013. 43(4): p. 204-213.

197. Beirer, M., et al., The Munich Wrist Questionnaire (MWQ) - development and validation of a new patient-reported outcome measurement tool for wrist disorders. BMC musculoskeletal disorders, 2016. 17: p. 167-167.
198. „Rauchgewohnheiten nach Altersgruppen und Geschlecht“ Ergebnisse des Mikrozensus von 2017. Erschienen am 07.12.2018. Statistisches Bundesamt (Destatis). Abgerufen: 22.02.2022, https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Bevoelkerung/mikrozensus-2017.pdf?__blob=publicationFile
199. Smith, E.A. and R.E. Malone, “Everywhere the Soldier Will Be”: Wartime Tobacco Promotion in the US Military. American Journal of Public Health, 2009. 99(9): p. 1595-1602.
200. Tobacco use in the US military. Abgerufen: 02.02.2022, <https://truthinitiative.org/research-resources/targeted-communities/tobacco-use-military>.
201. Dustmann, M., et al., A modified Matti-Russe technique of grafting scaphoid non-unions. Archives of Orthopaedic & Trauma Surgery, 2017. 137(6): p. 867-873.
202. D ppe, H., et al., Long-term results of fracture of the scaphoid. A follow-up study of more than thirty years. J Bone Joint Surg Am, 1994. 76(2): p. 249-52.
203. Andersson, J.K., et al., Hand, Wrist, and Forearm Injuries in Male Professional Soccer Players: A Prospective Cohort Study of 558 Team-Seasons From 2001-2002 to 2018-2019. Orthopaedic Journal of Sports Medicine, 2021. 9(1): p. 1-6.
204. Cavit, A., et al., Treatment of scaphoid nonunion with 1,2 intercompartmental supraretinacular artery vascularized graft and compression screw fixation. Injury, 2020.
205. Shapiro, L.M., A.K. Roe, and R.N. Kamal, Clinical and Patient-Reported Outcomes After Hybrid Russe Procedure for Scaphoid Nonunion. Hand (New York, N.Y.), 2020: p. 1558944720911214.
206. Rajagopalan, B.M., D.S. Squire, and L.O. Samuels, Results of Herbert-screw fixation with bone-grafting for the treatment of nonunion of the scaphoid. J Bone Joint Surg Am, 1999. 81(1): p. 48-52.
207. Massart, P., et al., [The Herbert screw in pseudoarthrosis of the carpal scaphoid]. Ann Chir Main Memb Super, 1990. 9(4): p. 276-81.
208. Huang, Y.C., Y. Liu, and T.H. Chen, Long-term results of scaphoid nonunion treated by intercalated bone grafting and Herbert's screw fixation--a study of 49 patients for at least five years. Int Orthop, 2009. 33(5): p. 1295-300.
209. Lamon, B., et al., Arthroscopic Bone Grafting for Scaphoid Nonunion: A Retrospective Study of 42 Cases. J Hand Surg Asian Pac Vol, 2021. 26(4): p. 545-554.
210. Park, H.Y., et al., A comparison of the rates of union after cancellous iliac crest bone graft and Kirschner-wire fixation in the treatment of stable and unstable scaphoid nonunion. Bone Joint J, 2013. 95-b(6): p. 809-14.

211. Kirkham, S.G. and M.J. Millar, Cancellous bone graft and Kirschner wire fixation as a treatment for cavitary-type scaphoid nonunions exhibiting DISI. *Hand (N Y)*, 2012. 7(1): p. 86-93.
212. Chaves, C., et al., Volar rerouting of the 1,2 intercompartmental supraretinacular artery vascularized bone graft for middle and distal scaphoid nonunions. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2021. 107(5): p. 102972.
213. Sahu, R.L., Results of Herbert screw fixation in scaphoid fracture: A prospective study. *Ergebnisse der Herbert-Schrauben-Osteosynthese bei Scaphoidfrakturen: eine prospektive Studie (German)*, 2018. 34(1): p. 45-53.
214. Muramatsu, K., et al., Scaphoid fracture in the young athlete--therapeutic outcome of internal fixation using the Herbert screw. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 2002. 122(9-10): p. 510-513.
215. Schreuder, M., I. Degreef, and L. De Smet, Treatment of scaphoid non-unions with a corticocancellous graft and Herbert screw fixation: results at five years follow-up. *Acta orthopaedica Belgica*, 2008. 74(1): p. 24-28.
216. Goeltz, F., Bewegungsumfang Hand (Neutral-0-Methode), in *Klinische Tests an Knochen, Gelenken und Muskeln*, J. Buckup and R. Hoffmann, Editors. 2018, Georg Thieme Verlag.
217. de Putter, C.E., et al., Economic impact of hand and wrist injuries: health-care costs and productivity costs in a population-based study. *J Bone Joint Surg Am*, 2012. 94(9): p. e56.
218. Xie, B., et al., [Acutrak headless compression screw fixation for the treatment of scaphoid non-union]. *Zhongguo Gu Shang*, 2014. 27(3): p. 183-6.
219. Chu, P.J. and J.T. Shih, Arthroscopically assisted use of injectable bone graft substitutes for management of scaphoid nonunions. *Arthroscopy*, 2011. 27(1): p. 31-7.
220. Waitayawinyu, T., et al., Outcome after vascularized bone grafting of scaphoid nonunions with avascular necrosis. *J Hand Surg Am*, 2009. 34(3): p. 387-94.
221. Stark, A., L.A. Broström, and G. Svartengren, Scaphoid nonunion treated with the Matti-Russe technique. Long-term results. *Clin Orthop Relat Res*, 1987(214): p. 175-80.
222. Inoue, G. and T. Miura, Treatment of ununited fractures of the carpal scaphoid by iliac bone grafts and Herbert screw fixation. *Int Orthop*, 1991. 15(4): p. 279-82.

7

Anhang

7.1

Patientenfragebogen

Fragebogen für Patienten mit operierter Scaphoidpseudarthrose

Name: Vorname: Geburtsdatum:

Für eventuelle Rückfragen: Ihre Telefonnummer#:

Ihre Emailadresse#:

1. Welche Hand bevorzugen Sie bei alltäglichen Verrichtungen? (dominante Hand)*
☐ links ☐ rechts ☐ beide
2. Haben Sie zum Zeitpunkt der Operation regelmäßig geraucht?* ☐ ja ☐ nein
3. Welche Beschwerden hatten Sie vor der Operation?

4. Waren Sie wegen dieser Beschwerden arbeitsunfähig?* ja ☐ nein ☐
 wenn ja:
 Wie lange? (ungefähre Angabe)
5. Wurden Sie nach Entfernung der Drähte im Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz nochmals an dem betroffenen Handgelenk operiert?* ☐ ja ☐ nein
 wenn ja:
 Wann?
 Warum?
6. Haben Sie aktuell nach der Operation noch Beschwerden in dem operierten Handgelenk?* ☐ ja ☐ nein
 wenn ja:
 Was haben Sie für Beschwerden?

7. Waren Sie nach der Operation krankgeschrieben?* ☐ ja ☐ nein
 wenn ja:
 Wie lange? (ungefähre Angabe)
8. Gab es ein schmerzfreies Intervall seit der Operation?* ☐ ja ☐ nein
Der Zeitraum wo Sie keine Beschwerden hatten oder keine Medikamente gebraucht haben.
 wenn ja:
 Wie lange waren Sie schmerzfrei? (ungefähre Angabe)
 Wie lange hat es gedauert bis Sie nach der Operation keine Schmerzen mehr hatten?

* Bitte Zutreffendes ankreuzen

freiwillige Angabe

9. Lief während der Zeit der Operation und/oder der Nachbehandlung ein Rentenantragsverfahren?* ☐ ja ☐ nein
wenn ja:
Warum?

10. Erhielten Sie nach der Entfernung der Drähte physio- oder ergotherapeutische Therapie? ☐ ja ☐ nein
wenn ja:
Wie lange besuchten Sie eine physio- oder ergotherapeutische Einrichtung zur Verbesserung Ihrer Handgelenksfunktion nach Entfernung der Drähte?*
☐ 1 Monat ☐ 3 Monate ☐ 6 Monate ☐ länger

11. Wie schätzen Sie auf einer Skala von 0 = viel schlechter bis 10 = viel besser, ihre jetzige Handgelenksfunktion im Vergleich zu vor der Operation ein?*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
viel schlechter										viel besser

12. Wenn Sie ihr nicht operiertes Handgelenk als Maßstab nehmen, wie schätzen Sie die Funktion ihres operierten Handgelenkes in Prozent ein?%
(100% gleiche Funktionsfähigkeit im Alltag wie die nicht operierte Seite, 0% keine Funktion mehr im Handgelenk der operierten Seite)
Funktionsfähigkeit bedeutet: wie gut können Sie die Hand benutzen unabhängig ihrer Beweglichkeit, Schmerzen oder anderer Beschwerden.

13. Wie beurteilen Sie ihren aktuellen Schmerz im Bereich der operierten Hand?*

kein Schmerz	
leichter Schmerz bei starker Aktivität	
Schmerz nur bei Wetteränderung	
mittelgradiger Schmerz bei starker Aktivität	
leichter Schmerz bei Alltagstätigkeiten	
mittelgradiger Schmerz bei Alltagstätigkeiten	
Ruhschmerz	

14. Wie zufrieden sind Sie mit dem Ergebnis nach der Operation?*

sehr zufrieden	
zufrieden	
nicht zufrieden, aber arbeitsfähig	
nicht zufrieden, arbeitsunfähig	

15. Wie beurteilen Sie den Bewegungsumfang des operierten Handgelenks im Vergleich zur Gegenseite?*

100% der Gegenseite	100% = Der Bewegungsumfang ist identisch/ gleich gut.
---------------------	---

* Bitte Zutreffendes ankreuzen

freiwillige Angabe

75% der Gegenseite		
50% der Gegenseite		
25% der Gegenseite		
0% der Gegenseite		0% = Das operierte Handgelenk ist unbeweglich.

16. Wie beurteilen Sie die Griffstärke im Vergleich zur Gegenseite?*

100% der Gegenseite	
75% der Gegenseite	
50% der Gegenseite	
25% der Gegenseite	
0% der Gegenseite	

17. Bitte beantworten Sie die jeweiligen Fragen in den Tabellen.

Bitte schätzen Sie ihre Fähigkeit ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.	Schwierigkeiten				
	keine	geringe	mäßige	erhebliche	nicht möglich
Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
Schreiben	1	2	3	4	5
Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
Betten machen	1	2	3	4	5
Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
Einen schweren Gegenstand tragen (über 5kg)	1	2	3	4	5
Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	1	2	3	4	5
Ihre Haare waschen oder föhnen	1	2	3	4	5
Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z. B. Karten spielen, Stricken, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen auf ihre Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen Sie ihre Hand frei bewegen (z. B. Badminton, Frisbee, usw.)	1	2	3	4	5
Mit Fortbewegungsmitteln (unabhängig welche) zurechtzukommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5

* Bitte Zutreffendes ankreuzen

freiwillige Angabe

	Beeinträchtigung				
In welchem Ausmaß haben ihre Handprobleme ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der <u>vergangenen Woche</u> beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)	überhaupt nicht	ein wenig	mäßig	ziemlich	sehr
	1	2	3	4	5

	Einschränkung				
Waren Sie in der <u>vergangenen Woche</u> durch Handprobleme in ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)	überhaupt nicht	ein wenig	mäßig	sehr	nicht möglich
	1	2	3	4	5

	Beschwerden				
Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Beschwerden während der <u>letzten Woche</u> ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)	keine	leichte	mäßige	starke	sehr starke
Schmerzen in der operierten Hand in Ruhe	1	2	3	4	5
Schmerzen in der operierten Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit	1	2	3	4	5
Kribbeln (Nadelstiche) in der operierten Hand	1	2	3	4	5
Schwächegefühl in der operierten Hand	1	2	3	4	5
Steifheit in der operierten Hand	1	2	3	4	5

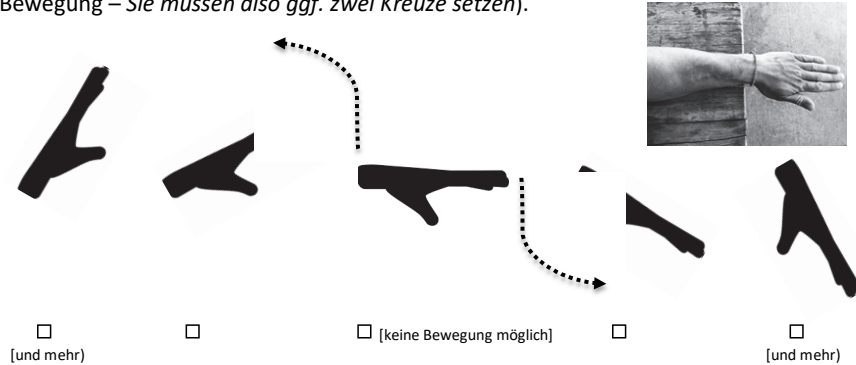
	Schwierigkeiten				
Wie groß waren ihre Schlafstörungen in der <u>letzten Woche</u> aufgrund von Schmerzen im Handbereich? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)	keine	geringe	mäßige	erhebliche	nicht möglich
	1	2	3	4	5

	Zustimmung				
Aufgrund meiner Probleme im Handbereich empfinde ich meine Fähigkeiten als eingeschränkt, ich habe weniger Selbstvertrauen oder ich fühle, dass ich mich weniger nützlich machen kann. (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)	überhaupt nicht	stimme nicht zu	neutral	stimme zu	stimme sehr zu
	1	2	3	4	5

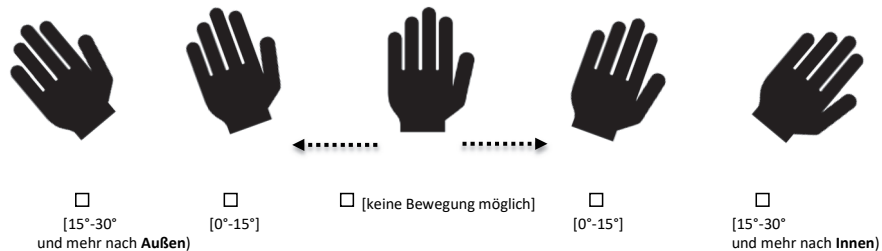
* Bitte Zutreffendes ankreuzen

freiwillige Angabe

18. Bitte geben Sie die maximal mögliche vertikale Beweglichkeit in ihrem operierten Handgelenk an. Legen Sie dafür am besten den gesamten Unterarm flach auf einen Tisch (wie auf dem Beispielspielbild). Die Hand hängt frei, bewegen Sie nur die Hand nach oben und unten, markieren Sie dann das Bild, welches am ehesten der jeweils maximal möglichen Endposition entspricht (jeweils für die obere und untere Bewegung – Sie müssen also ggf. zwei Kreuze setzen).



19. Bitte geben Sie die maximal mögliche seitliche Beweglichkeit in ihrem operierten Handgelenk an. Legen Sie am besten dafür den gesamten Unterarm komplett auf einen Tisch (wie auf dem Beispielspielbild). Bewegen Sie nur die Hand nach links und rechts, markieren Sie dann das Bild was am ehesten ihrer Beweglichkeit entspricht (jeweils für die Bewegung nach Außen und Innen – Sie müssen also ggf. zwei Kreuze setzen, wenn Bewegung in beide Richtungen möglich ist).



20. Zusätzliche Bemerkungen:

.....

.....

.....

.....

Ende des Fragebogens

* Bitte Zutreffendes ankreuzen

freiwillige Angabe

Name: [...]

Aktenzeichen: [...]

Untersuchungstag: [...]

☐ Rechtshänder ☐ Linkshänder
Messblatt für obere Gliedmaßen (nach der Neutral - 0 - Methode)**Schultergelenke:**

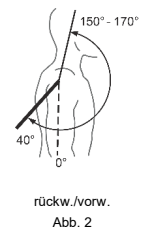
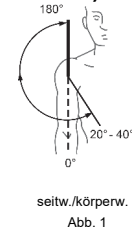
Arm seitwärts / körperwärts (Abb. 1)

Arm rückwärts / vorwärts (Abb. 2)

Arm auswärts / einwärts drehen (Oberarm anliegend) (Abb. 3)

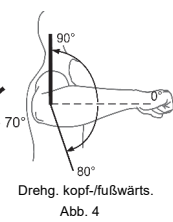
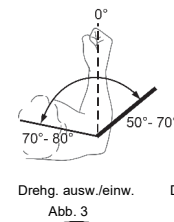
Arm kopfwärts / fußwärts (Oberarm 90° seitwärts abgehoben) (Abb. 4)

Rechts					Links				
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]

**Ellenbogengelenke:**

Streckung / Beugung (Abb. 5)

[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

**Unterarmdrehung:**

auswärts / einwärts (Abb. 6)

[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Handgelenke:

handrückenwärts / hohlhandwärts (Abb. 7)

speichenwärts / ellenwärts (Abb. 8)

Fingergelenke:

Abstände in cm:

Fingerkuppe von der queren

Hohlhandbeugefalte (Abb. 9)

Fingerkuppe von der verlängerten

Handrückenebene (Abb. 10)

Daumengelenke:

Streckung / Beugung:

Grundgelenk

Endgelenk

Abspreizung (Winkel zwischen 1. und 2. Mittelhandknochen)

In der Handebene (Abb. 11)

Rechtwinklig zur Handebene (Abb. 12)

[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
II	III	IV	V	II	III	IV	V		

[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]

[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]

0	[...]	[...]	0	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
0	[...]	[...]	0	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
II	III	IV	V	II	III	IV	V		

Ankreuzen, welche Langfingerkuppen mit der Daumenspitze erreicht werden können

[..]	[..]	[..]	[..]	[..]	[..]	[..]	[..]	[..]	[..]
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Handspanne:

Größter Abstand in cm zwischen Daumen- und Kleinfingerkuppe

Umfangmaße in cm:

(Hängender Arm)

15 cm oberhalb äußerem Oberarmknorren

Ellenbogengelenk

10 cm unterhalb äußerem Oberarmknorren

Handgelenk

Mittelhand (ohne Daumen)

Armlänge in cm:

Schulterhöhe / Speichenende

Stumpflängen in cm:

Schulterhöhe / Stumpfende

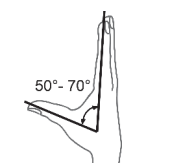
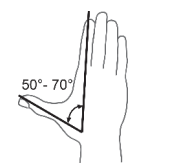
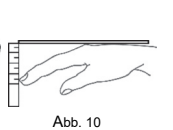
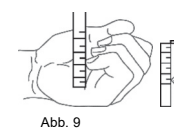
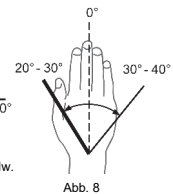
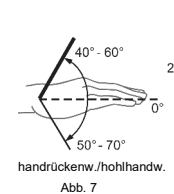
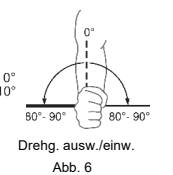
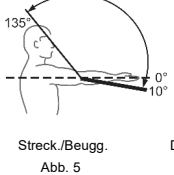
Äußerer Oberarmknorren / Stumpfende

[...]	[...]
-------	-------

[...]	[...]
[...]	[...]
[...]	[...]
[...]	[...]
[...]	[...]

[...]	[...]
-------	-------

[...]	[...]
[...]	[...]



8 Danksagung

Ich bedanke mich bei Priv.-Doz. Dr. med. habil. Dan Bieler und Prof Dr. med. Michael Bernhard für ihre Unterstützung, Geduld und Vertrauen, sowie bei Prof. Dr. med. Erwin Kollig und Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf für die Gelegenheit in den jeweiligen Kliniken promovieren zu dürfen. Dr. med. Maximilian Völlmecke danke ich für seine Motivation und stetigen Korrekturen. Ein besonderer Dank gilt meiner Frau, die mich über lange Zeit immer wieder entbehren musste und dafür Verständnis zeigte. Ich bedanke mich bei meinem guten Freund Tilmann Benjamin Grumbach für seine graphische Unterstützung. Nicht zu vergessen sind all die Korrekturleser, die sich die Zeit genommen haben, um oft fachfremde Dinge zu lesen und doch geholfen haben viele Fehler zu korrigieren.