

Aus der
Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik
Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und
Verbrennungschirurgie an der Universität Tübingen

**Analyse des radiologischen und klinisch-funktionellen
Outcomes
in Zusammenhang mit den operativen Verfahren und
beeinflussenden Faktoren
bei Scaphoid Nonunion**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Hagn, geb. Einzmann, Anna

2025

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. med. Jonas Kolbenschlag

2. Berichterstatter: Professor Dr. med. Jürgen Schäfer

Tag der Disputation: 17.06.2025

Meiner Familie

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	
Tabellenverzeichnis.....	
Abkürzungsverzeichnis	
1 Einleitung	1
1.1 Anatomie des Handgelenks und des Skaphoids.....	1
1.2 Biomechanik	4
1.3 Skaphoidfraktur.....	6
1.4 Komplikation der Skaphoidfraktur: Kahnbeinpseudarthrose	7
1.4.1 Definition.....	7
1.4.2 Ätiologie.....	8
1.4.3 Lokalisationsverteilung.....	9
1.4.4 Klassifikation.....	9
1.4.5 Folgen/Komplikationen	10
1.4.6 Diagnostik – Klinik und Bildgebung.....	12
1.4.7 Therapieverfahren	13
1.5 Hintergrund und Ziele	16
2 Material und Methoden	17
2.1 Untersuchungskollektiv	17
2.2 Demographische und klinisch-funktionelle Datenerhebung	18
2.3 Klinische Nachuntersuchung	20
2.4 Radiologisches Assessment	21
2.5 Statistik	23
2.6 Ethikvotum	23
3 Ergebnisse	24
3.1 Ergebnisse der retrospektiven Datenanalyse	24
3.1.1 Patientencharakteristika.....	24
3.1.2 Konsolidierung in Abhängigkeit verschiedener Patientenvariablen.....	31
3.2 Ergebnisse aus der Fragebogen- und Nachuntersuchungsgruppe.....	38
3.2.1 Patientencharakteristika.....	38
3.2.2 Klinisch-funktionelles Outcome in Abhängigkeit verschiedener Patientenvariablen	54

4	Diskussion	68
4.1	Untersuchungskollektiv: Geschlecht und Patientenalter	69
4.2	Studienziel Konsolidierung.....	70
4.2.1	Konsolidierungsrate	70
4.2.2	Konsolidierung in Zusammenhang mit dem OP-Typ	70
4.2.3	OP-Typ und Konsolidierung in Zusammenhang mit beeinflussenden Faktoren.....	72
4.3	Studienziel klinisch-funktionelles Outcome	83
4.3.1	Klinisch-funktionelles Outcome	83
4.3.2	Klinisch-funktionelles Outcome in Abhängigkeit verschiedener Faktoren.....	87
5	Zusammenfassung	97
6	Literaturverzeichnis	99
7	Anhang	110
7.1	Patientenfragebogen: Operative Kahnbeinpseudarthrosebehandlung	110
7.2	DASH-Fragebogen	113
7.3	SF36 - Fragebogen zum Gesundheitszustand	117
7.4	Klinisch-funktionelle Nachuntersuchung – Datenerhebung	122
8	Erklärung zum Eigenanteil	125
9	Veröffentlichungen	126
10	Danksagung	128

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Modifizierte Klassifikation der Kahnbeinpseudarthrosen nach Filan SL und Herbert T. (1996). Herbert screw fixation of scaphoid fractures. J Bone Joint Surg Br. 784:519-29. ¹ .	10
Abb. 2: Der Altersdurchschnitt der zwischen 01/2007 und 12/2020 operierten Patienten lag zum Zeitpunkt der Kahnbeinrekonstruktion im Durchschnitt bei 27,87 Jahren und damit im Intervall von 20-29 Jahren.	26
Abb. 3: Lokalisationsverteilung der Kahnbeinpseudarthrose in absteigender Reihenfolge: Kahnbeintaille – proximaler Pol – distaler Pol.	26
Abb. 4: Intraoperative Beurteilung der Durchblutungssituation des Skaphoids: AVN partiell oder total bei insgesamt 23,3% feststellbar. Bei der Mehrheit (74,1%) ist die Perfusion normal.	27
Abb. 5: Raucherstatus zum Zeitpunkt der Kahnbeinrekonstruktion. Mit einem Anteil von 30,8% waren gut ein Drittel der operierten Patienten Raucher.	27
Abb. 6: Überwiegend fand die Kahnbeinrekonstruktion innerhalb der ersten 36 Monate statt, im Durchschnitt nach 15,51 Monaten (Median 8 Monate).	28
Abb. 7: Häufigkeitsverteilung des angewandten OP-Typs in absteigender Reihenfolge: nicht vaskularisiert – gestielt vaskularisiert – frei vaskularisiert.	30
Abb. 8: Als Fremdmaterial wurde mit deutlicher Mehrheit (78,9%) eine Schraube eingebracht. In 4,6% der Fälle wurde komplett auf Fremdmaterial verzichtet.	30
Abb. 9: Konsolidierungsrate nach minimalem Follow-Up von 3 Monaten.	30
Abb. 10: Bei 7,6% liegt postoperativ ein LISA >45° entsprechend einer Malunion vor. Bei 71,9% ist der LISA <45°.	31
Abb. 11: Konsolidierungsrate in Abhängigkeit der Kahnbeinpseudarthrosenlokalisierung. Ein signifikanter Zusammenhang konnte nicht nachgewiesen werden (Fisher-Yates-Test, p=0,1056).	34
Abb. 12: Bei einem gesunden Perfusionszustand wird eine Union von 88,7% erreicht. Eine gestörte Durchblutung (AVN partiell oder total) hat einen negativen Einfluss auf die Ausheilung.	35
Abb. 13: Patienten mit partieller und totaler AVN. Bei Verwendung von frei vaskularisierten Grafts zeigt sich eine hohe Konsolidierungsrate von 81,8%. Zu beachten ist jedoch die kleine Populationsgröße.	35
Abb. 14: Während es bei Nichtrauchern in 87,0% der Fälle zu einer Konsolidierung kam, erreichten Raucher nur eine Ausheilungsrate von 59,6%.	36
Abb. 15: Patienten, die eine Ausheilung erreichten, hatten in der univariaten Analyse eine signifikant geringere Anzahl an OPs insgesamt am Skaphoid als Patienten mit Re-Pseudarthrose (p<0,001, OR=0,264).	37
Abb. 16: Konsolidierungsrate je nach OP-Typ. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied innerhalb der drei OP-Typen (Fisher-Yates-Test, p=0,144).	37
Abb. 17: Ein postoperativer LISA >45° führt zu einer signifikant höheren Rate an Re-Pseudarthrosen (univariate Analyse, p<0,001, OR=0,087).	38
Abb. 18: Alter in Jahren zum Zeitpunkt des Studienbeginns gestapelt nach Geschlecht. Das Durchschnittsalter lag bei 34,38 Jahren (Median 32 Jahre, Range 18-75 Jahre). Der Männeranteil war deutlich überwiegend.	40
Abb. 19: Betroffene Seite gegliedert nach Händigkeit. Bei Rechtshändern war etwas häufiger die linke Hand betroffen. Bei Linkshändern waren die zwei Seiten gleich häufig betroffen.	41
Abb. 20: Lokalisationsverteilung der Kahnbeinpseudarthrose in absteigender Reihenfolge: Kahnbeintaille – proximaler Pol – distaler Pol.	41
Abb. 21: Bei Patienten, bei denen sich für ein vaskularisiertes Graft entschieden wurde, waren die Pseudarthrosen bis zu fast doppelt so alt wie bei Patienten, bei denen ein nVBG transplantiert wurde.	42

Abb. 22: In fast drei Viertel der Fälle wurde alleinig die Transplantation von Knochenmaterial durchgeführt. Nur bei 4,9% wurde ein frei vaskularisiertes Graft aus dem Femur transplantiert.	43
Abb. 23: Als Osteosynthese-Material wurde mit großer Mehrheit eine Schraube verwendet (79%). Bei 7,4% wurde kein Fremdmaterial eingebracht.	43
Abb. 24: Konsolidierungsrate in der Fragebogen- und Nachuntersuchungsgruppe.	43
Abb. 25: DASH. Die höchsten Werte und damit größten Einschränkungen wurden im Modul 2 (Sport/Musik) erreicht.	47
Abb. 26: SF36. Die niedrigsten Werte und damit größten Einschränkungen lagen bei den Items Vitalität und Veränderung im Gesundheitszustand.	47
Abb. 27: Green and O'Brien Score modifiziert nach Cooney. Durchschnitt (77,01 P.) und Median (75 P.) lagen im Bereich der Note Ausreichend. IQR 75-85 P.	48
Abb. 28: 4,9% der Patienten war keine Rückkehr in den vorher ausgeübten Beruf mehr möglich.	49
Abb. 29: Der Großteil der Patienten nimmt keinen Kraftunterschied zwischen betroffener und gesunder Hand wahr.	50
Abb. 30: Bezogen auf die gesunde Seite erreichten die Patienten mit der betroffenen Seite im Durchschnitt eine gemittelte Standard-Höchstkraft von 94,01% (Median 89,79%, Range 48,61-154,3%) und eine 10-Sekunden-Spitzenkraft von 98,85% (Median 91,7%, Range 52,38-564,29%). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde im Diagramm auf 0 Dezimalstellen gerundet.	52
Abb. 31: Mit Bezug zu Normwerten erreichten die Patienten mit der betroffenen Hand eine gemittelte Standard-Höchstkraft von durchschnittlich 85,93% (Median 85,2%, Range 8,8-157,7%). Da sich in den Bereichen 10-29,99% und 130-139,99% keine Werte ergaben, sind diese Intervalle im Diagramm nicht dargestellt.	52
Abb. 32: Die Beweglichkeit der betroffenen Hand wurde von 2/3 der Patienten als schlechter gegenüber der gesunden Hand wahrgenommen.	53
Abb. 33: Bei der P/S wurde nahezu der Bewegungsumfang der gesunden Seite erreicht (Mittelwert 99,14%, Range 66,47-135,48%). Bei der E/F (Mittelwert 84,36%, Range 39,69-175,51%) und bei der U/R (Mittelwert 80,73%, Range 31,43-159,46%) wurden Bewegungsdefizite von 15,64% bzw. 19,27% gegenüber der gesunden Seite gemessen. Die cROM lag bei durchschnittlich 90,44% (Range 54,63-125,48%). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde im Diagramm auf 0 Dezimalstellen gerundet.	54
Abb. 34: Green and O'Brien Score modifiziert nach Cooney in Zusammenhang mit dem OP-Typ. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe nVBG vs. pVBG (Dunn-Test, $p=0,0194$).	59
Abb. 35: Schmerzen in Ruhe getrennt nach OP-Typ. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,2195$).	60
Abb. 36: Schmerzen bei Belastung getrennt nach OP-Typ. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe nVBG vs. pVBG (Dunn-Test, $p<0,001$).	60
Abb. 37: Der Kraftunterschied prozentual zur Norm zwischen nVBG und pVBG war signifikant (Dunn-Test, $p=0,0132$).	61
Abb. 38: Signifikante Unterschiede zwischen der gem. Std.-Höchstkraft (betroffen/gesund) und dem OP-Typ konnten nicht gezeigt werden (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,0842$). Jedoch ließ sich eine Tendenz zu höheren Werten in der Gruppe nVBG feststellen.	61
Abb. 39: Auch zwischen der Spitzenkraft aus der 10- sec-Messungen (betroffen/gesund) und dem OP-Typ konnte kein signifikanter Unterschied gezeigt werden (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,9611$).	61
Abb. 40: Signifikante Unterschiede bei der E/F (betroffen/gesund) zwischen Bewegungsumfängen der Gruppen pVBG (Dunn-Test, $p<0,001$) und fVBG (Dunn-Test, $p=0,0013$) vs. nVBG.	62
Abb. 41: Signifikante Unterschiede bei der U/R (betroffen/gesund) zwischen Bewegungsumfängen der Gruppen pVBG (Dunn-Test, $p=0,0125$) und fVBG (Dunn-Test, $p=0,0447$) vs. nVBG.	62

Abb. 42: Bei der P/S (betroffen/gesund) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede je nach OP-Typ (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,4258$).	63
Abb. 43: Bei der cROM (betroffen/gesund) zeigten sich signifikant niedrigere Bewegungsumfänge in den Gruppen pVBG und fVBG vs. nVBG (Dunn-Test, jeweils $p<0,001$).	63
Abb. 44: Messung der Standard-Höchstkraft in kg jeweils dreimal links- und rechtsseitig auf Position 2 mit automatischer Berechnung des Durchschnittswerts (und der Varianz) mit dem Dynamometer.	122
Abb. 45: Messung der erreichten Spitzenkraft in kg links- und rechtsseitig auf Position 2 während einer Dauer von 10 Sekunden mit dem Dynamometer.	123
Abb. 46: Erhebung des Bewegungsumfangs in Grad von Extension/Flexion und Radial-/Ulnardeviation mit dem Goniometer.	123
Abb. 47: Erhebung des Bewegungsumfangs in Grad von Supination/Pronation mit dem Goniometer.	124
Abb. 48: Erhebung der Schmerzstärke mit möglichen Werten von 0-10 bei Belastung und in Ruhe (NRS).	124

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Stadieneinteilung SNAC-Wrist nach Watson und Ruy. ⁶⁴	11
Tab. 2: Klassifikation nach Kellgren und Lawrence. ^{66,67}	12
Tab. 3: Deskriptive Ergebnisse der im Rahmen der retrospektiven Datenanalyse erhobenen Patientendaten.	24
Tab. 4: Zusammenhang zwischen Konsolidierung und verschiedenen Patientenvariablen (Chi-Quadrat-, Fisher-Yates-, Mann-Whitney-U-Test).	31
Tab. 5: Univariate logistische Regression für selektierte Patientenvariablen in Abhängigkeit der Union.	33
Tab. 6: Deskriptive Ergebnisse der wichtigsten Probandencharakteristika der Fragebogen- und Nachuntersuchungsgruppe.	39
Tab. 7: Ergebnisse des DASH-, SF36-Fragebogens, Green and O'Brien-Scores und der Schmerzen.	45
Tab. 8: Deskriptive Ergebnisse der Kraft- und Bewegungsmessungen erhoben im Rahmen der Nachuntersuchung.	49
Tab. 9: Zusammenhang zwischen Geschlecht und ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen (Mann-Whitney-U-Test).	55
Tab. 10: Zusammenhang zwischen OP-Typ und ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen (Kruskal-Wallis-Test).	56
Tab. 11: Zusammenhang zwischen OP-Typ und ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen (Dunn-Test).	58
Tab. 12: Zusammenhang zwischen Osteosynthese-Material und ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen (Kruskal-Wallis-Test).	64
Tab. 13: Zusammenhang zwischen Osteosynthese-Material und ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen (Dunn-Test).	65
Tab. 14: Korrelations-Analyse nach Spearman zwischen ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen. Korrelationskoeffizient mit p-Wert (in Klammern).	67

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
AVN	Avaskuläre Nekrose
bzw.	Beziehungsweise
cROM	Kompletter Bewegungsumfang
CT	Computertomographie/-amm
DASH	Disabilities of Arm, Shoulder and Hand
E/F	Extension/Flexion
FL	Fovea lunata
FS	Fovea scaphoidea
fVBG	frei vaskularisiertes Knochentransplantat
gem. Std.-Höchstkraft	gemittelte Standard-Höchstkraft
HPRV	Hand,- Plastische,- Rekonstruktive- und Verbrennungs- Chirurgie
HS	Herbert-Schraube
ICSRA	Intercompartmental Supraretinacular Artery
K-Draht	Kirschner-Draht
Kg	Kilogramm
LCI	Unteres Konfidenzintervall
Lig.	Ligamentum
LISA	Lateraler Intraskaphoidaler Winkel
LT-Band	Lunotriquetrale Band
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie/-amm
NRS	Numerische Rating Skala
nVBG	nicht vaskularisiertes Knochentransplantat
P.	Punkte
p. a.	posterior anterior
pAVN	partielle Avaskuläre Nekrose
P/S	Pro-/Supination
pVBG	gestielt vaskularisiertes Knochentransplantat
R.	Ramus
RL-Winkel	Radiolunärer Winkel
r_s	Korrelationskoeffizient nach Spearman
s.	siehe
sec	Sekunden
SF36	RAND 36-Item Short Form Survey Version 1.0

SL-Band	Skapholunäres Band
SL-Winkel	Skapholunärer Winkel
SNAC	Scaphoid nonunion advanced collapse
STT-Gelenk	Scapho-Trapezio-Trapezoidal-Gelenk
Tab.	Tabelle
tAVN	totale Avaskuläre Nekrose
UCI	Oberes Konfidenzintervall
U/R	Ulnar-/Radialdeviation
VAS	Visuelle Analogskala
VBG	vaskularisiertes Knochentransplantat
vs.	versus

1 Einleitung

Die Kahnbeinfraktur ist die häufigste carpale Fraktur des Menschen.² In bis zu 15% der Fälle kommt es im Nachgang zu einer Pseudarthrose.³ Da meist junge Menschen betroffen sind,⁴ die noch eine lange Zeit mit den Folgen der Erkrankung leben müssen und deren Berufsfähigkeit dadurch beeinträchtigt sein kann, ist es individuell aber auch gesamtgesellschaftlich von großer Bedeutung, die geeignete Therapie für die Patienten zu kennen und auszuwählen.

1.1 Anatomie des Handgelenks und des Skaphoids

Um die Entstehung, Folgen und Behandlung einer Kahnbeinpseudarthrose zu verstehen, lohnt sich ein Blick auf die Anatomie. Eine detaillierte Darstellung der Handwurzelknochen fand erstmalig im Jahre 1543 durch Andreas Vesalius in seiner Arbeit „De Humani Corporis Fabrica Libri Septem“ statt.^{5,6} Bis zu diesem Zeitpunkt war das Wissen über den knöchernen Aufbau des Handgelenks selbst unter Ärzten mangelhaft, so stellen Zeichnungen aus der Zeit vor Vesalius das Handgelenk als direkte Artikulation zwischen dem Radius und den Mittelhandknochen dar.⁶

Mittlerweile ist allgemeines Wissen: Dem Radius und den Mittelhandknochen sind acht Handwurzelknochen zwischengeschaltet. Diese sind in einer proximalen und einer distalen Reihe angeordnet. Dabei wird die proximale Handwurzelreihe von radial nach ulnar aus dem Os scaphoideum, Os lunatum, Os triquetrum und Os pisiforme gebildet, die distale Reihe aus dem Os trapezium, Os trapezoideum, Os capitatum und Os hamatum (von radial nach ulnar).⁷

Dadurch ergeben sich morphologisch zwei Teilgelenke: zum einen das proximale Handgelenk oder *Articulatio radiocarpalis*, ein Ellipsoidgelenk, bei welchem die Gelenkkopf bildende proximale Handwurzelreihe mit der aus Radius und ulnokarpalem Komplex bestehenden Gelenkpfanne artikuliert. Im radiokarpalen Kompartiment kommuniziert das Skaphoid mit dem Radius, im ulnokarpalen Kompartiment kommunizieren das Trapezium und Lunatum mit dem ulnokarpalen Komplex. Zum anderen besteht ein verzahntes Scharniergelenk mit

S-förmigem Verlauf zwischen der proximalen und der distalen Reihe, welches als distales Handgelenk oder *Articulatio mediocarpalis* bezeichnet wird.^{8,9} Das Os pisiforme, welches in die Sehne des *Musculus (M.) flexor carpi ulnaris* eingebettet ist und dorsal dem Os triquetrum anliegt, fungiert als Sesambein¹⁰ und hat eine stabilisierende Funktion insbesondere für das Triquetrum.⁹

Das Skaphoid, zu Deutsch „Kahnbein“, ist der größte Knochen der proximalen Handwurzelreihe und weist eine nach ulnar und distal konkave Krümmung auf, die dem Skaphoid eine schiffsähnliche Form verleiht und somit namensgebend war.⁶

Es liegt jeweils in 45°-Neigung zu den drei orthogonalen Raumebenen und lässt sich in einen proximalen und distalen Pol sowie eine Tailenregion gliedern.¹¹ Auf der Rückseite verläuft der *Sulcus scaphoidei* und als weitere anatomische Landmarke befindet sich am distalen Pol das *Tuberculum ossis scaphoidei*.¹²

In der Literatur wird überwiegend beschrieben, dass das Kahnbein zu circa 80% knorpelig überzogen ist.^{6,13,14,15} Mit dieser großen Knorpeloberfläche bildet das Skaphoid einerseits nach distal ein Gelenk mit den *Ossa capitatum*, *trapezoideum* und *trapezium* (STT-Gelenk), andererseits artikuliert es nach proximal mit dem Radius.¹³ Die Gelenkfläche des Skaphoids zum Radius sowie den *Ossa trapezium* und *trapezoideum* ist konvex, zum *Os capitatum* ist die Gelenkfläche konkav. Weiterhin hat das Skaphoid eine flache gelenkige Verbindung mit dem *Os lunatum*.¹⁰

Über die knorpelfreien Areale finden Gefäße Eintritt in das Kahnbein. Bereits mehrmals wurde die Gefäßsituation des Kahnbeins an Leichen untersucht.^{16,17,18,19,20} In erster Linie findet die arterielle Gefäßversorgung durch die *Arteria (A.) radialis* statt, was Gelberman und Menon 1980 zeigten.¹⁸ So werden die distalen 20-30% des Kahnbeins aus direkten Ästen der *A. radialis* und aus dem *Ramus (R.) palmaris superficialis* von palmar versorgt. Der Gefäßeintritt erfolgt dabei am *Tuberculum ossis scaphoidei*. Die proximalen 70-80% des Skaphoids werden hingegen von dorsal über einen dorsalen Ast der *A. radialis* oder der *A. intercarpalis* versorgt, deren Gefäßabgänge über kleine Foramina im Bereich des *Sulcus scaphoidei* Eintritt in den Knochen finden. Die Gefäßeintritte in das Skaphoid finden dabei in der distalen Hälfte des Handwurzelknochens statt.¹⁸

Demzufolge besteht eine retrograde Perfusion des proximalen Kahnbeinanteils, woraus die begünstigte Entstehung von Pseudarthrosen am proximalen Pol postuliert wird, da es im Falle einer Fraktur zu einer Minderperfusion bis hin zur Avaskulären Nekrose (AVN) des proximalen Pols kommen kann.^{21,13,22}

Eine andere Darstellung der Perfusionssituation des Kahnbeins lieferte eine Studie von Oehmke et al.²⁰ Danach wird der proximale Pol des Skaphoids palmar entweder durch den R. carpalis palmaris oder die A. palmaris superficialis versorgt, dorsal durch den R. dorsalis scaphoidei und zum Teil zusätzlich durch die A. styloidea. Die Perfusion des mittleren und distalen Teils erfolgt über die A. palmaris superficialis, die A. carpalis dorsalis, den R. dorsalis scaphoidei und kleine Äste der A. radialis. In manchen Fällen wird der distale Pol dorsal auch über Äste der A. metacarpalis dorsalis I versorgt. Die Studie zeigte eine variable Gefäßversorgung des Skaphoids mit vielerlei Anastomosen und Kollateralen und entgegen der Resultate von Gelbermann und Gross (1986)²³ oder Fasol et al. (1977)²⁴ zum einen eine suffiziente und umfangreiche Gefäßversorgung des Skaphoids sowie zum anderen relevante direkte Gefäßzuläufe zum proximalen Pol. Oehmke et al.²⁰ sprechen sich daher dagegen aus, eine ungenügende Gefäßsituation am Skaphoid als Ursache einer Pseudarthrose zu sehen.

Neben den knöchernen Strukturen und deren gelenkigen Verbindungen ist ein komplexes System aus ligamentären Strukturen in die Funktion des Handgelenks eingebunden. Dieses stabilisiert das Handgelenk und dient zur Bewegungsführung sowie -begrenzung. Das karpale Bandsystem kann unterteilt werden in intrinsische Bänder, die direkt zwischen den Handwurzelknochen verlaufen, und extrinsische Bänder, die Radius und Ulna mit den Handwurzelknochen verbinden.^{8,25}

Zu den intrinsischen Bändern zählen das Skapholunäre Band (SL-Band) und das Lunotriquetrale Band (LT-Band). Diese sind starke Bänder, welche Rotationsbewegungen der beteiligten Knochen gegeneinander erlauben und begrenzen und somit wesentlich für Ulnar- und Radialabduktion sowie für Extension und Flexion sind.¹³ Das SL-Band ist dorsal im Verhältnis 3:1 mm dicker

als palmar,^{26,10} was ein Grund für häufigere palmare Bandläsionen sein könnte.^{10,27}

Zu den extrinsischen Bändern gehören das dorsale V-Band und die palmaren V-Bänder.¹³

Das dorsale V-Band setzt sich einerseits zusammen aus dem Ligamentum (Lig.) radiotriquetrum dorsale, dessen Fasern von der dorsalen Radiuskante zum proximalen Kahnbeinpol, zum Os lunatum und zum Os triquetrum ziehen, andererseits aus dem Lig. intercarpale dorsale, welches vom Triquetrum zum Skaphoid, Trapezium und Lig. collaterale carpi radiale verläuft.¹⁰ Es bremst bei Radialabduktion die Bewegung des Os triquetrum und wird daher auch als Triquetrumbremse bezeichnet, bei Ulnarabduktion richtet es das Skaphoid auf.¹³ Zudem wirkt es einem Abgleiten des Carpus nach ulnar entgegen.¹⁰

Palmar setzen sich die V-Bänder zusammen aus einem proximalen V-Band bestehend aus den Ligamenta radiolunotriquetrum und ulnolunatum und einem distalen V-Band, das sich aus den Ligamenta capitohamatotriquetrum und radioscapnocapitatum bildet.⁹ Sie verhindern bei der Dorsalextension ein Ausbrechen des Handgelenks nach palmar.¹⁰ Das proximale V-Band begrenzt die Beweglichkeit des Os lunatum nach palmar, wohingegen das distale V-Band als Stabilisator des Os capitatum in seiner Position in der distalen Handwurzelreihe oberhalb von Skaphoid und Lunatum wirkt. Außerdem ermöglicht es die Palmarbewegung des Skaphoids bei der Radialabduktion und die Aufrichtung desselben bei der Ulnarabduktion.¹³

1.2 Biomechanik

Das Handgelenk hat zwei Freiheitsgrade und ist zu folgenden Bewegungen fähig: Dorsal- und Palmarflexion, Radial- und Ulnarabduktion und durch die Kombination dieser beiden Freiheitsgrade zur Zirkumduktion. An der Pro- und Supination ist das Handgelenk nicht beteiligt.¹⁰

Während dieser Bewegungen ist ein komplexes Zusammenspiel der acht Handwurzelknochen untereinander nötig. Diesbezüglich werden verschiedene sich ergänzende Konzepte beschrieben, die einen Erklärungsansatz für die

Biomechanik des Karpus bieten. Auf Navarro (1937)²⁸ geht das Säulenkonzept zurück, nach dem die Handwurzelknochen in eine radiale Säule aus Skaphoid, Trapezium und Trapezoideum, eine mittlere Säule aus Lunatum und Kapitatum und eine aus Triquetrum und Hamatum bestehende ulnare Säule, eingeteilt werden können. Taleisnik (1985)²⁹ modifizierte die Säulentheorie bestehend aus einer zentralen T-förmigen Säule sowie dem Skaphoid radial und dem Triquetrum mit dem Pisiforme ulnar als Drehachsen. Das Ringkonzept geht auf Lichtman (1981)³⁰ zurück und versteht den Karpus als einen unter Spannung stehenden Ring aus proximalen und distalen Handwurzelknochen. *„Diese Spannung entsteht dadurch, dass die einzelnen Handwurzelknochen bei Belastung eine natürliche Tendenz zur Rotation aufweisen, die bei intaktem Bandapparat jedoch unterdrückt wird.“*³¹

Die distale Reihe ist durch kurze, fest gespannte Bänder in ihren Bewegungsmöglichkeiten sehr eingeschränkt und als einheitlicher starrer Block zu sehen. Durch ihre gelenkige Verbindung mit den Carpi metacarpales dient die distale Reihe dazu, die Kraft der Fingermuskulatur auf den Carpus zu transformieren. Im Gegensatz dazu ist die proximale Handwurzelreihe sehr mobil und anpassungsfähig. Sie verfügt über keinerlei Muskelansätze und kommuniziert alleine über ihren Bandapparat und ihre Gelenkflächen mit der distalen Handwurzelreihe sowie mit Radius und Ulna.^{13,32}

Das Skaphoid nimmt dabei eine zentrale Rolle ein, denn neben seiner stabilisierenden Funktion für das Handgelenk verbindet es die distale und die proximale Reihe.³³ Es ist sehr beweglich³⁴ und kann sich einerseits in Ulnarabduktion und Extension aufrichten und nach palmar translatieren, andererseits in Radialabduktion flektieren, nach dorsal translatieren und unter das Kapitatum rotieren.¹³ Dadurch kann die Länge der radialen Säule ständig der Bewegung des Handgelenks angepasst werden.

Was die gegenseitige ulnare Säule betrifft, so gleitet das Triquetrum bei den Seitbewegungen entlang der schraubenförmigen Gelenkfläche des Os hamatum, wodurch die karpale Höhe bei Ulnarabduktion verringert und bei Radialabduktion vergrößert wird.⁹ Das Lunatum als Teil der mittleren Säule gleicht

Höhenveränderungen über einen Kippmechanismus nach dorsal bei Extension und Ulnarabduktion beziehungsweise (bzw.) nach palmar bei Flexion und Radialabduktion aus.¹⁰

1.3 Skaphoidfraktur

Mit 60-80% ist das Skaphoid der am häufigsten von einer Fraktur betroffene Handwurzelknochen.^{35,36,14,37,38} Ursächlich ist meist ein Sturzgeschehen auf das dorsal extendierte Handgelenk, oftmals im Rahmen von sportlichen Aktivitäten.³⁹ Weber und Chao⁴⁰ beobachteten 1978, dass bei einer Extension von 95° die kritische Grenze erreicht ist, ab der eine Fraktur provoziert wird. Durch die Hyperextension wird das Kahnbein nach hinten gegen den dorsalen Rand des Radius gedrückt. Dabei wird der proximale Pol durch das Lig. radioscaphocapitatum in der Fossa scaphoidea des Radius blockiert. Den distalen Pol trifft daher die direkte Krafteinwirkung, bis das Kahnbein den Biegekräften nicht mehr standhalten kann und frakturiert.³⁵ Bei gleichzeitiger Radialabduktion resultiert meist eine Fraktur im distalen Drittel, da sich das Skaphoid in Palmarflexion befindet. Liegt eine Ulnardeviation vor, so ist das Kahnbein aufgerichtet und dessen proximales Drittel frakturgefährdet.^{41,42,43}

Begleitend zur Kahnbeinfraktur können auch weitere Verletzungen an der oberen Extremität vorliegen, wie beispielsweise eine Radiusfraktur oder seltener eine SL-Bandruptur.¹³

Vor allem junge Männer sind gefährdet, sich eine Skaphoidfraktur zuzuziehen: Im Vergleich zu Frauen erleiden Männer sechsfach häufiger einen Kahnbeinbruch, der Altersgipfel liegt zwischen 20 und 40 Jahren.³⁹

Charakteristische Symptome der Kahnbeinfraktur sind ein Druckschmerz in der Tabatière, am Tuberculum scaphoidei und ein Stauchungsschmerz des Daumenstrahls.^{44,14,45} Besteht der klinische Verdacht eines Kahnbeinbruchs, so ist die Durchführung einer röntgenologischen und computertomographischen Bildgebung zum Nachweis bzw. Ausschluss einer Fraktur sowie zur Klassifizierung indiziert. Wurde eine Fraktur detektiert, kann basierend auf der

Bildgebung entweder eine konservative Therapie mittels Gipsruhigstellung oder eine operative Intervention in Form einer Herbert-Schrauben-Osteosynthese zur Unterstützung der Frakturheilung durchgeführt werden.³⁹

Bei 5-15,5% entwickelt sich infolge eines Kahnbeinbruchs eine Pseudarthrose.^{3,2,39,46,47}

1.4 Komplikation der Skaphoidfraktur: Kahnbeinpseudarthrose

1.4.1 Definition

Eine Pseudarthrose liegt dann vor, wenn die Heilung eines Knochenbruchs ausbleibt.¹³

Dies kann zeitlich definiert werden. Demnach liegt eine Kahnbeinpseudarthrose dann vor, wenn nach 24 Wochen noch keine Knochenheilung begonnen hat, man bezeichnet dies auch als Nonunion. Abgegrenzt wird davon die verzögerte Knochenheilung oder Delayed Union, die bei einer fehlenden Heilung ab 13 bis 24 Wochen nach Frakturereignis vorliegt.³⁹ Allerdings steht die Begrifflichkeit der Delayed Union in Diskussion, da das Skaphoid aufgrund des großen Anteils an Knorpeloberfläche kaum von Periost überzogen ist und somit nicht für eine sekundäre Knochenheilung zur Verfügung steht. Eine verlangsamte Knochenheilung gibt es daher nicht.⁴⁸ Filan und Herbert (1996)¹ entfernten die Delayed Union daher aus ihrer zweiten Fassung der Klassifikation von Kahnbeinfrakturen und -pseudarthrosen.

Eine andere Definition, die die Food & Drug Administration der USA 1998 veröffentlichte, versteht die Pseudarthrose als „eine nicht geheilte Fraktur, die ohne operative Intervention kein Potential zur Heilung mehr zeigt“.⁴⁸ Radiologisch lassen sich dementsprechend charakteristische Befunde nachweisen. Diese sind ein nicht konsolidierter Bruchspalt, sklerosierte Frakturränder und Resorptionszysten.⁴⁸

1.4.2 Ätiologie

Als Ursache für das häufige Auftreten der Kahnbeinpseudarthrose sind in der Literatur mehrere verschiedene Faktoren beschrieben worden.^{49,11,13,50,47.}

Eine Studie von Strassmair und Wilhelm (2001)⁵¹ untersuchte die Ursachen von Skaphoidpseudarthrosen und kam zu dem Ergebnis, dass 44% der Frakturen primär unerkannt blieben, weil – zu etwa gleichen Teilen – einerseits die Patienten das Trauma bagatellisiert und posttraumatisch keinen Arzt aufgesucht hatten, andererseits weil die Ärzte die Fraktur übersehen und etwa als Distorsion fehldiagnostiziert hatten, was zu einer ausbleibenden Frakturversorgung sowie einer inadäquaten, zu kurzen Immobilisation geführt hatte. Durch die ausbleibende Immobilisation werden die sich im Frakturspalt bildenden Gewebsbrücken immer wieder zerrissen, wodurch eine gesunde Knochenheilung verhindert wird.¹³ Doch auch bei erkannten Frakturen war die Ruhigstellung zum Teil ungenügend, was zu 12% der untersuchten Pseudarthrosen führte. Ein Anteil von 36% der Pseudarthrosen wurde aufgrund einer fehlerhaften Indikation zur konservativen Therapie statt eines operativen Eingriffes bei instabilen Frakturen verursacht. Für die restlichen 8% der Fälle von Pseudarthrose war eine mangelhafte radiologische Diagnostik verantwortlich. Strassmair und Wilhelm⁵¹ empfehlen daher wiederholte Röntgenkontrollen sowie die frühzeitige Durchführung einer Magnetresonanztomographie (MRT).

Ein weiterer Faktor, der das Risiko einer Kahnbeinpseudarthrose erhöht, ist die Dislokation eines Knochenfragments.^{39,15}

Eine Kahnbeinpseudarthrose kann auch dadurch entstehen, dass Bandstrukturen nach einem Bruch in den Frakturspalt gleiten, wie es beispielweise vom Lig. radioscapnocapitatum bei proximalen Frakturen bekannt ist.¹⁰

Auch die Lokalisation der Fraktur am proximalen Kahnbeinpol begünstigt laut vieler Autoren die Entstehung einer Nonunion.^{23,24,39,13,22,48,21} Die retrograde Perfusion des proximalen Pols bedingt im Falle einer Fraktur eine Unterbrechung der Gefäßversorgung und die damit einhergehende Minderperfusion des

proximalen Pols erschwert den Heilungsprozess.⁴⁸ Dies kann zu einer partiellen (pAVN) oder totalen AVN (tAVN) des proximalen Pols führen.²²

Wie bereits erwähnt wird diese These von Oehmke et al. in Frage gestellt, da laut deren Ergebnisse am proximalen Pol eine suffiziente, direkte und damit eigenständige Blutversorgung vorliegt.²⁰

1.4.3 Lokalisationsverteilung

Zur Häufigkeitsverteilung der Frakturlokalisierung beinhaltet die Literatur unterschiedliche Informationen, die Angaben zum proximalen Drittel reichen von 10-37%, beim mittleren Drittel von 50-70,8% und beim distalen Drittel von 3,7-20%.^{37,52,53,22,54} Holmenschlager et al.⁵⁵ mittelten Angaben aus 25 Literaturquellen und kamen zu dem Ergebnis, dass sich durchschnittlich 63,8% der Pseudarthrosen im mittleren Drittel des Kahnbeins befinden, 14,1% im distalen und 21,4% im proximalen Drittel. Allerdings wurden Werte aus Populationen mit Kahnbeinfrakturen in die Auswertung mit hineineingenommen, von denen nur ein kleiner Teil in eine Pseudarthrose mündet.

Am häufigsten liegt mit 63,5% ein querer Spaltverlauf vor, in 28,8% der Fälle ist der Spaltverlauf horizontal, in 5,8% liegt ein vertikaler Verlauf des Spalts vor.⁵⁵

1.4.4 Klassifikation

Gemäß ihrem radiologischen Erscheinungsbild kann die Kahnbeinpseudarthrose nach Filan und Herbert (1996)¹ klassifiziert werden, siehe (s.) Abbildung (Abb.) 1. Dabei erfolgt eine Einteilung in die Typen D1-4. Beim Typ D1 wird der Pseudarthrosespalt durch Bindegewebe straff überbrückt, die Skaphoidformation ist erhalten. Beim Typ D2 zeigt sich eine beginnende karpale Deformierung, der Frakturspalt ist nicht bindegewebig überbrückt, Arthrosezeichen fehlen. Diese stellen sich beim Typ D3 dar, hier präsentiert sich eine Sklerosierung entlang des Pseudarthrosespalt, zudem liegt eine zunehmende Deformierung vor. Für den

Typ D4 sind ein avaskuläres proximales Fragment sowie karpale Deformität bezeichnend.

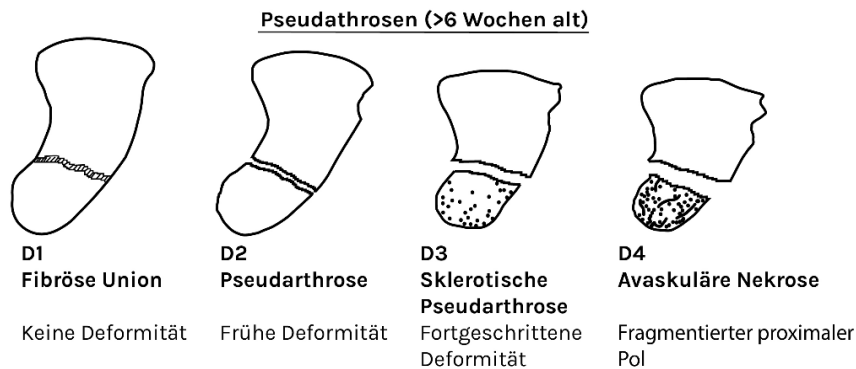


Abb. 1: Modifizierte Klassifikation der Kahnbeinpseudarthrosen nach Filan SL und Herbert T. (1996). Herbert screw fixation of scaphoid fractures. *J Bone Joint Surg Br.* 784:519-29.¹

1.4.5 Folgen/Komplikationen

Bricht das Skaphoid und dislozieren die beiden Fragmente voneinander, so kann eine Humpback-Deformität respektive eine Malunion entstehen. Dies ist der Fall, wenn das distale Fragment nach palmar in Flexion rotiert, während das proximale Fragment eine Extensionsstellung nach dorsal einnimmt.⁵⁶ Es resultiert ein nach palmar spitzer Winkel mit dorsalem Buckel.¹³ Besteht dieser Zustand über längere Zeit, so kommt es zur Resorption der palmar adaptierten Knochenoberflächen und damit zu einem Längenverlust des Skaphoids.⁵⁷

Gleichzeitig zur Humpback-Deformität liegt oft auch eine DISI-Fehlstellung (Dorsal Intercalated Segment Instability) vor, eine Form der karpalen Instabilität, die erstmals 1972 von Linscheid et al. beschrieben wurde.⁵⁸ Durch karpale Frakturen oder Bandrupturen wird das von Lichtman 1981 beschriebene Ringgefüge aufgebrochen und die Handwurzelknochen rotieren in die Richtung ihrer natürlichen Bewegungstendenz. Die Folge ist eine karpale Instabilität, bei der das Zusammenspiel der Handwurzelknochen durch veränderte Bewegungsmuster und fehlende Möglichkeiten zur Druckanpassung gestört ist, was sukzessive zu degenerativen Prozessen führt.⁵⁹ Die DISI-Fehlstellung kennzeichnet sich dadurch, dass das Os lunatum nach palmar aus dem Karpus translatiert und – ebenso wie das proximale Kahnbeinfragment, mit dem es über das Lig. scapholunatum verspannt ist – nach dorsal in die Extension rotiert.^{58,60}

Die Humpback- und DISI-Deformität können anhand eines lateralen Röntgenbildes sichtbar gemacht werden: Zum einen ist die Verkippung des Lunatum nach dorsal erkennbar, zum anderen kann keine durchgehende Längsachse vom Radius über das Lunatum und Kapitatum bis ins Os metacarpale III gezogen werden.³⁵

Speziell um eine Humpback-Deformität zu detektieren, können der laterale intrascaphoidale Winkel (LISA), das Höhe-Länge-Verhältnis und der dorsale kortikale Winkel des Skaphoids gemessen werden.^{61,62}

Mit der Zeit führen diese Achsfehlstellungen zu arthrotischen Veränderungen, bis nach circa 5-10 Jahren (nach Traumaereignis) das Vollbild des karpalen Kollapses bzw. SNAC (Scaphoid nonunion advanced collapse) -Wrists erreicht ist.⁶³

Watson und Ruy (1986)⁶⁴ gliederten diesen Prozess in drei Stadien, wie der Tabelle (Tab.) 1 zu entnehmen ist. Durch die Verkippung des distalen Kahnbeinfragments in Flexionsstellung bildet sich ein Neogelenk zum Processus styloideus radii, wodurch degenerative Vorgänge am Processus styloideus radii beginnen (Stadium I). Diese weiten sich im Verlauf auf die radioskaphoidale Gelenkfläche zwischen Radius und distalem Kahnbeinfragment aus (Stadium II). Das proximale Fragment, das mit dem Lunatum in Extension gedreht ist, bleibt dabei von der Arthrose unbetroffen.¹³ Im Folgenden greifen die arthrotischen Veränderungen auf das Mediokarpalgelenk über – durch das Tiefertreten des Kapitatum insbesondere auf den Kapitatumkopf und die mit ihm artikulierenden Gelenkflächen (Stadium III). Das Kapitatum nähert sich aufgrund der DISI-Fehlstellung nach proximal dem Radius an, was zu einer Verminderung der karpalen Höhe mit dem Resultat des karpalen Kollapses führt.⁶⁵

Tab. 1: Stadieneinteilung SNAC-Wrist nach Watson und Ruy.⁶⁴

Stadium	Ausmaß der Arthrose
I	Ausschließlich Processus styloideus radii betroffen
II	Ausgeweitet auf das radioskaphoidale Gelenk
III	Zusätzlich mediokarpale Arthrose

SNAC: Scaphoid nonunion advanced collapse

Eine weitere Möglichkeit, den Schweregrad einer Arthrose zu klassifizieren, ist der 1957 erstmal publizierte und weltweit fest in der klinischen Routine etablierte Kellgren-Lawrence-Score.^{66,67} Dabei werden die arthrotischen Veränderungen in fünf Grade eingeteilt. Die Klassifizierung erfolgt anhand von radiologischen Kriterien wie dem Vorliegen von Osteophyten, Gelenkspaltverschmälerung, subchondraler Sklerosierung und Deformierung der Gelenkflächen. Eine detaillierte Beschreibung ist in Tab. 2 zu finden.

Tab. 2: Klassifikation nach Kellgren und Lawrence.^{66,67}

Arthrosegrad	Beschreibung
0: Normal	Keine arthrotischen Veränderungen
1: Fraglich	Fragliche/Minimale Osteophyten Fragliche Gelenkspaltverschmälerung
2: Mild	Definitives Vorhandensein von Osteophyten Beginnende Abnahme der Gelenkspaltweite
3: Moderat	Moderate Osteophytenbildung Deutliche Gelenkspaltverschmälerung Mögliche Deformität der Gelenkfläche Geringe bis mäßige subchondrale Sklerosierung
4: Schwer	Schwere Osteophytenbildung und Gelenkspaltverschmälerung Deformierung bzw. Nekrose der Gelenkflächen Stark ausgeprägte subchondrale Sklerosierung

1.4.6 Diagnostik – Klinik und Bildgebung

Anamnestisch berichten die Patienten mit Skaphoidpseudarthrose meist über Schmerzen im radialen und zentralen Handgelenk, die unter Belastung, besonders in Extension und Radialabduktion, aggravieren. Damit einhergehend ist eine schmerzbedingt reduzierte Griffkraft. Des Weiteren lässt sich bei der Palpation typischerweise eine Druckempfindlichkeit über der Tabatière feststellen, bei Pseudarthrosen des proximalen Pols oftmals auch über dem SL-Bereich und STT-Gelenk.¹³

Als primäre Bildgebung bei Verdacht auf eine Kahnbeinpseudarthrose ist zunächst die röntgenologische Darstellung des Handgelenks in drei Ebenen – mit Strahlengang von posterior nach anterior (p.a.), seitlich und in Stecher-Projektion – indiziert. Durch die in Stecher-Projektion nach ulnar abduzierte geschlossene Faust können eine proximale Polfraktur und Pseudarthrose besser dargestellt werden,⁴⁹ da in dieser Handgelenksstellung das Kahnbein aufgerichtet ist und es somit im Gegensatz zur Radialabduktion, in der das Kahnbein flektiert ist, in seiner vollen Länge abgebildet werden kann.¹³ Zusätzlich zum Röntgen sollte eine Dünnschicht-CT mit Schnittebene parallel zur Längsachse des Kahnbeins erfolgen, um den Pseudarthrosespalt mit seinen pathologischen Veränderungen detailliert darzustellen.^{35,49} Um präoperativ eine Aussage über die Durchblutungsverhältnisse der Pseudarthrose und der Frakturfragmente zu ermöglichen und um eine mögliche Osteonekrose zu detektieren, kann ein Kontrastmittel-MRT angefertigt werden.³⁵ Zusätzlich kann eine Arthroskopie durchgeführt werden, um die Knorpelflächen und Bandstrukturen beurteilen sowie arthrotische Veränderungen detektieren zu können und darauf basierend entweder eine Rekonstruktion oder gegebenenfalls eine Rettungsoperation zu planen.⁴⁹

1.4.7 Therapieverfahren

Ziel der Therapie der Kahnbeinpseudarthrose ist die Wiederherstellung der Form des Skaphoids sowie seiner Funktion. Dazu gibt es verschiedene Verfahren, die abhängig von Faktoren wie Pseudarthrosenlokalisierung, Perfusionsstatus, Handgelenksstellung, Alter der Pseudarthrose, Knorpelverhältnissen sowie Ausmaß der Arthrose zum Einsatz kommen.

Matti-Russe-Plastik

Matti⁶⁸ beschrieb 1937 eine OP-Methode, bei der über einen dorsalen Zugang nach Resektion sklerotischer Knochenanteile eine Spongiosaplastik mit autologer Entnahme aus dem Beckenkamm erfolgt. Dieser dorsale Zugangsweg

hat den Vorteil, dass wichtige palmare radiocarpale Bandstrukturen geschont werden können.

Russe⁶⁹ modifizierte diese Methode 1951. Demnach wird ein kortikospongiöser Knochenspan aus dem Becken entnommen und über einen palmaren Zugang in den Pseudarthrosespalt eingebracht, wodurch die dorsal verlaufenden Gefäße geschützt werden sollen. Zusätzlich kann eine Fixierung mittels Kirschner-Drähten (K-Draht) durchgeführt werden.

Dass sich für diese OP-Methoden Knochentransplantate aus dem distalen Radius ebenso eignen, konnte die Studie von Goyal et al.⁷⁰ bestätigen.

Nachteil dieser Verfahren ist die lange Immobilisation und die damit einhergehende schlechtere Beweglichkeit⁷¹ sowie die mangelnde Eignung bei avitalen, alten Pseudarthrosen.^{72,13}

Schrauben-Osteosynthese mit Spongiosaplastik oder kortikospongiösem

Beckenkammspan

Eine Erweiterung der operativen Möglichkeiten ergab sich 1984 durch die von Herbert und Fisher eingeführte Herbert-Schraube (HS).⁷³ Diese besitzt ein doppeltes Gewindesystem, mittels dem die Knochenfragmente unter Kompression fixiert werden können.⁷³ Der Zugang erfolgt bei Pseudarthrosen im mittleren Drittel über palmar, bei Pseudarthrosen im proximalen Drittel über dorsal.^{22,49}

Vorteil hierbei ist, dass der Knochen durch die stabile innere Fixierung in seiner Heilung unterstützt wird.⁷⁴

Gestielt vaskularisiertes Knochentransplantat aus dem Radius

Sind die oben genannten operativen Eingriffe erfolglos im Sinne einer ausbleibenden Heilung, oder handelt es sich um durchblutungsgestörte Knochenfragmente, insbesondere wenn die proximale Skaphoidregion betroffen ist, muss die Verbesserung der Gefäßversorgung forciert werden. Um dies zu erreichen können zum einen gefäßgestielte Radiusspäne verwendet werden.

Häufig wird die von Zaidenberg 1991⁷⁵ beschriebene Technik mit dorsalem Zugang angewandt. Dabei wird ein Knochenspan von dorsal aus dem distalen

Radius gehoben, typischerweise gestielt an der 1,2 ICSRA (intercompartmental supraretinacular artery), und in den Pseudarthrosendefekt geschwenkt. Die 1,2 ICSRA entspringt der A. radialis und überzeugt durch seine einfache Identifikation.⁷⁵

Ein weiteres gefäßgestieltes OP-Verfahren wurde von Kuhlmann 1987 beschrieben.⁷⁶ Dabei wird ein volares Knochentransplantat gestielt an einem Ast der A. carpalis palmaris über einen palmaren Zugangsweg in den Pseudarthrosendefekt geschwenkt. Auch eine Humpback-Deformität kann durch dieses Verfahren ausgeglichen werden.⁷⁷

Frei vaskularisiertes Knochentransplantat aus dem Femur oder Becken

Bei den frei vaskularisierten Spänen sind zwei Entnahmestellen gängig. Einerseits kann ein Knochenblock aus der medialen Femurkondyle entnommen werden, dessen arterielle Gefäßversorgung über den R. articularis aus der A. genicularis descendens erfolgt.⁷⁸ Andererseits kann ein aus der Crista iliaca stammender Knochenspan mit der zugehörigen A. circumflexa ilium profunda verwendet werden (DCIA-Lappen; „Deep circumflex iliac artery bone flap“).^{79,80} Als Nachteile der Verwendung von freien Transplantaten im Vergleich zu den gestielten Transplantaten sind das Erfordernis von mikrochirurgischer Erfahrung sowie der höhere Aufwand der Operationen zu nennen. Dafür bietet das Becken bzw. der Femur die Möglichkeit größere Knochenspäne zur Rekonstruktion des Skaphoids zu entnehmen und das Knochenmaterial ist stabiler.⁷⁷

Neben diesen Verfahren gibt es noch weitere Ansätze in der Therapie der Kahnbeinpseudarthrose wie z.B. die Extrakorporale Stoßwellentherapie.⁸¹

Ist eine Rekonstruktion des Kahnbeins aufgrund einer ausgedehnten Arthrose nicht mehr möglich, so können die Four Corner Fusion, die Proximal Row Carpectomy oder als ultima ratio die totale Handgelenksarthrodese als Rettungsoperationen durchgeführt werden, wodurch die Funktion des Handgelenks zwar erheblich eingeschränkt wird, jedoch eine Schmerzreduktion erreicht wird.

1.5 Hintergrund und Ziele

In der Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie (HPRV) der BG Klinik Tübingen unterzogen sich zwischen Januar 2007 und Dezember 2020 492 Patienten einem rekonstruktiven Eingriffen ihrer am Skaphoid vorliegenden Pseudarthrose. Dabei kamen verschiedene operative Verfahren zum Einsatz, welche in nicht vaskularisiert, gestielt vaskularisiert und frei vaskularisiert unterteilt werden können. Anhand dieser Studie wurden der Therapieerfolg dieser OP-Verfahren und die Rolle gleichzeitig vorliegender Einflussfaktoren analysiert.

Hierfür wurden zum einen demographische sowie medizinische Daten der operierten Patienten retrospektiv untersucht.

Zum anderen erfolgte mit Hilfe von Fragebögen eine subjektive Beurteilung der postoperativen Situation, der Handfunktion und der Lebensqualität der Studienteilnehmer.

Darüber hinaus fand eine Wiedervorstellung der Patienten statt, bei der eine objektive klinisch-funktionelle Beurteilung der Handkraft und der Beweglichkeit erfolgte.

Ziel dieser Arbeit war es die Frage zu klären, ob sich anhand des operativen Verfahrens bei Kahnbeinpseudarthrose und unter Beachtung möglicher beeinflussender Kofaktoren Unterschiede im Therapieerfolg, gemessen anhand des radiologischen Ergebnisses sowie der postoperativen Funktionalität des Handgelenks und der Lebensqualität, feststellen lassen.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungskollektiv

Eingeschlossen in die Studie wurden alle Patienten mit der Diagnose Kahnbeinpseudarthrose mit radiologisch charakteristischen Befunden, die zwischen Januar 2007 und Dezember 2020 an der BG Klinik Tübingen in der Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie operiert worden waren, mit einem minimalen Follow-Up von 3 Monaten, die zum Zeitpunkt der Studie uneingeschränkt einwilligungsfähig sowie volljährig waren.

Über die Software CGM MEDICO KIS und Eingabe des postoperativ dokumentierten ICD-Codes M84.14: Nichtvereinigung der Frakturrenden [Pseudarthrose] Hand wurden alle diese Patienten identifiziert. Es resultierte eine Gesamtzahl von insgesamt 492 Patienten.

62 Patienten wurden aufgrund von Rettungs-Operationen oder begleitenden dislozierten Radiusfrakturen von der radiologischen Analyse ausgeschlossen, weitere 60 Fälle wurden ausgeschlossen, weil sie postoperativ nicht mehr vorstellig waren oder aufgrund eines zu kurzen Follow-Ups von <3 Monaten. Somit resultierte eine Gesamtzahl von 370 Patienten, die die Einschlusskriterien erfüllten und deren Daten analysiert wurden.

An die Patienten wurden Einladungen zur Nachuntersuchung sowie Fragebögen versendet. 22 Patienten sendeten alleinig die Fragebögen zurück. Darunter war ein Patient, der beidseits aufgrund einer Kahnbeinpseudarthrose an der BG Klinik Tübingen operiert worden war und somit in Form von 2 Fällen in die Analyse einging. Ein Patient sendete die Fragebögen unvollständig zurück (DASH-Fragebogen und SF-36 Fragebogen fehlten).

Weitere 141 Patienten sendeten die Fragebögen zurück und erklärten sich zusätzlich für eine Teilnahme an der Nachuntersuchung bereit.

2 Patienten wurden nach der Untersuchung ausgeschlossen: 1 Patient mit einer schweren intraartikulären distalen Extensionsfraktur des Radius (nach der Rekonstruktion), die mittels einer palmaren Plattenosteosynthese versorgt worden war. 1 weiterer Patient, bei dem aufgrund eines sich intraoperativ als komplett stabil darstellenden vitalen Kahnbeins mit nur dezenter Fissurlinie

entschieden wurde, auf eine Pseudarthrosenresektion zu verzichten und lediglich eine Herbert-Schraube einzubringen. Somit ergaben sich 162 Fälle, die bezüglich des klinischen Outcomes betrachtet werden konnten.

2.2 Demographische und klinisch-funktionelle Datenerhebung

Anhand der in CGM MEDICO KIS archivierten Arztbriefe, Befunde und OP-Berichte wurden demographische und medizinische Daten der Patienten retrospektiv erhoben. So konnten Informationen zum Alter und Geschlecht, zur betroffenen Handseite, zur Pseudarthrosenlokalisation und zu stattgehabten Voroperationen gesammelt werden. Ebenso konnten Informationen über die durchgeführten OP-Verfahren (Transplantation von nicht vaskularisiertem Knochengewebe (nVBG), Verwendung eines gestielten Grafts (pVBG) oder Verwendung eines freien Transplantats (fVBG)) und über das eingebrachte Osteosynthese-Material (Schraube und/oder K-Drähte oder Verzicht auf das Einbringen von Fremdmaterial) gewonnen werden. Aus den OP-Berichten konnten Informationen über den intraoperativ beobachteten Perfusionszustand und damit dem Vorliegen einer AVN gesammelt werden. Gemäß Green et al.⁷² wurden Pseudarthrosen mit spärlichen punktuellen Blutungen als pAVN und Pseudarthrosen ganz ohne punktuelle Blutungen als tAVN klassifiziert.

Über den „Patientenfragebogen Operative Kahnbeinpseudarthrosenbehandlung“ (s. Anhang 7.1) wurden Fragen zur Wahrnehmung der Kraft und Beweglichkeit der operierten im Vergleich zur betroffenen Hand gestellt sowie der Raucherstatus abgefragt und ob eine Rückkehr in den vor der Behandlung ausgeübten Beruf möglich war. Zudem sollten die Probanden Restbeschwerden im Sinne von Schmerzen in Ruhe und bei Belastung auf einer Visuellen Analog Skala markieren. Die Angaben wurden mittels Numerischer Rating Skala schließlich auf einen Wert zwischen 0 und 10 umgerechnet, wobei 0 für keine Schmerzen und 10 für die denkbar stärksten Schmerzen steht.

Die Patienten sollten darüber hinaus den „DASH-Fragebogen“ (Disabilities of Arm, Shoulder and Hand) ausfüllen (s. Anhang 7.2). Der DASH dient zur Ermittlung eines Scores, der eine Aussage über die Funktionalität der oberen Extremität aus Sicht des Patienten zulässt. Er entstand 1996 aus einer Zusammenarbeit der American Academy of Orthopaedic Surgeons mit dem Council of Musculoskeletal Specialty Societies und dem Institute for Work and Health Canada.⁸² In mehreren Studien wurden mittlerweile seine Validität, Reliabilität sowie Veränderungssensitivität nachgewiesen,^{83,84} weshalb der DASH einer der etabliertesten Fragebögen bei Beeinträchtigungen der oberen Extremität ist.

Der DASH gliedert sich in drei Module. Modul 1 beinhaltet 30 Fragen und beschäftigt sich mit der Funktionsfähigkeit der oberen Extremität, die Module 2 und 3 sind optional mit jeweils 4 Fragen zu Einschränkungen im Bereich Sport/Musik (Modul 2) bzw. im beruflichen Bereich (Modul 3). Jede Frage wird mit einem Punktwert von 1 bis 5 beantwortet. Die Punkte werden dann getrennt nach Modulen summiert und der sich jeweils ergebende Rohwert wird in einen Wert zwischen 0 und 100 Punkte umgerechnet. Während der Wert 0 keine Einschränkung bedeutet, zeigt der Wert 100 eine maximale Einschränkung an.

Zudem wurde den Patienten der „SF36 – Fragebogen zum Gesundheitszustand“ (RAND 36-Item Short Form Survey Version 1.0) vorgelegt.⁸⁵ Sein Ursprung geht auf den Short Form 20 zurück, welcher 1988 im Rahmen der Medical Outcome Studie von der RAND-Corporation erarbeitet wurde.⁸⁶ Der Fragebogen dient zur allgemeinen Beurteilung des Gesundheitszustandes und besteht aus 36 Fragen (Items), die neun Unterkategorien zugeordnet werden können (s. Anhang 7.3). Diese Unterkategorien sind Allgemeine Gesundheitswahrnehmung (5 Fragen), Physische Gesundheit (10 Fragen), Eingeschränkte physisch-bedingte Rollenfunktion (4 Fragen), Körperliche Schmerzen (2 Fragen), Vitalität (4 Fragen), Mentale Gesundheit (5 Fragen), Eingeschränkte emotional-bedingte Rollenfunktion (3 Fragen), Soziale Funktionsfähigkeit (2 Fragen) und Veränderung im Gesundheitszustand (1 Frage). Die vom Patienten angegebenen Antworten werden zunächst in Werte zwischen 0 und 100 Punkte rekodiert.

Danach werden die Werte innerhalb der einzelnen Unterkategorien summiert und es wird ein Durchschnitt für jede Unterkategorie gebildet. Der Wert 100 stellt dabei den maximal erreichbaren Wert für Gesundheit dar, 0 entspricht einer maximalen Einschränkung des Gesundheitszustands.

2.3 Klinische Nachuntersuchung

Im Rahmen der Nachuntersuchung fand mittels der Software E-LINK Handrehabilitationssystem EP11 des Herstellers Biometrics Ltd. eine Evaluation von Kraft und Beweglichkeit statt.

Die Griffstärke wurde mit dem Handdynamometer am sitzenden Patienten mit Arm in 90°-Beugung im Ellenbogengelenk in der Einheit Kilogramm (kg) ermittelt. Dazu wurde zum einen die Standard-Höchstkraft jeweils dreimal auf der Position 2 an beiden Händen gemessen. Die E-LINK Software berechnete für jede Handseite automatisch den Durchschnitt (gem. Std. Höchstkraft) sowie den erreichten Prozentsatz der rechten und linken Handseite in Bezug auf Normwerte. Diese Normwerte entstammen nach Angaben von Biometrics Ltd. einer Studie an 638 Frauen und Männern im Alter von 20 bis 94 Jahren mit dem Ziel klinische Normwerte für die Handkraft zu etablieren.⁸⁷

Zum anderen wurde die maximal erreichte Griffstärke auf Position 2 innerhalb einer Zeitspanne von 10 Sekunden gemessen (10-sec-Spitzenkraft).

Die auf der betroffenen Seite erreichten Werte wurden im Anschluss in Bezug zu den auf der gesunden Seite erreichten Werten gesetzt (betroffen/gesund).

Die Bewegungsamplitude (in Grad) wurde mithilfe eines elektronischen Goniometers an beiden Handgelenken am sitzenden Patienten mit Arm in 90°-Beugung im Ellenbogengelenk erhoben. Nach der Neutral-Null-Methode wurde die Beweglichkeit in Extension/Flexion, Ulnar-/Radialdeviation und Pro-/Supination gemessen und die erhobenen Gradzahlen der zwei möglichen Richtungen pro Freiheitsgrad jeweils summiert. Darüber hinaus wurden die Bewegungsumfänge aller drei Freiheitsgrade zum sogenannten kompletten Bewegungsumfang (cROM) aufaddiert.

Analog der Kraftmessung wurden die auf der betroffenen Seite erreichten Werte im Anschluss in Bezug zu den auf der gesunden Seite erreichten Werten gesetzt (betroffen/gesund).

Zur Evaluation der Handfunktionalität fand weiters der Green and O'Brien Score⁸⁸ modifiziert nach Cooney⁸⁹ Gebrauch. Bei genanntem Score erfolgt eine Bewertung der Kategorien Schmerz, Griffstärke, Bewegungsumfang sowie funktioneller Status bezogen auf die Arbeitsfähigkeit. In den jeweiligen Kategorien kann eine Punktzahl zwischen 0 und 25 erreicht werden. Aus der Summe der Punkte (P.) der vier Kategorien resultiert die Gesamtpunktzahl. Es können folgende Ergebnisse erreicht werden: 90-100 P. = Ausgezeichnet, 80-89 P. = Gut, 65-79 P. = Ausreichend, <65 P. = Mangelhaft. Die Kategorien Schmerz und funktioneller Status wurden auf Basis der Angaben des Patienten erhoben, für die Kategorie Griffstärke wurde der Durchschnittswert aus der Messung mit dem Dynamometer auf Position 2 verwendet, für die Kategorie Bewegungsumfang wurden die mit dem Goniometer bestimmten Werte genutzt.

Im Anhang (s. 7.4) ist die Erhebung der Nachuntersuchungsdaten beispielhaft dargestellt.

2.4 Radiologisches Assessment

Zur radiologischen Auswertung wurden CTs und digitale Röntgenaufnahmen herangezogen, die im Picture Archiving and Communication System der BG Klinik Tübingen eingespeichert sind. Röntgenaufnahmen, die nicht digital vorlagen, wurden in Form von Röntgenfilmen angefordert und analog befundet. Neben der Bestimmung der anatomischen Lokalisation der Pseudarthrosen fand eine Beurteilung folgender Aspekte statt:

Union oder Nonunion

In den postoperativen Bildern wurde die Union im Bereich der ehemaligen Fraktur nach einem minimalen Follow-Up von drei Monaten beurteilt.

Eine kontinuierliche trabekuläre Durchbauung und das Fehlen eines Frakturspalts auf mindestens vier benachbarten Schichten (Schichtdicke 2 mm) des Mehrzeilen-CT-Scans in der koronaren und sagittalen Ebene (Darstellung des Skaphoids in seiner Länge) wurden als Union gewertet.^{35,90}

Bei 76 Patienten musste die Beurteilung anhand von Röntgenbildern erfolgen, da bei diesen keine CTs vorhanden waren. Es erfolgte eine Befundung in der posterior-anterioren und lateralen Projektion sowie der Skaphoidquartett-Aufnahme. Diese besteht aus den Projektionen nach Stecher (nach ulnar abduzierte geschlossene Faust), nach Schreck (Federhalteposition in 45°) und nach Bridgeman (30°-Extension im Handgelenk) und einer Aufnahme in Hyperpronation.³⁵ Eine trabekuläre Durchbauung und das allmähliche Verschwinden eines Frakturspalts in den Röntgenaufnahmen im Rahmen der Nachkontrollen wurden als Union gewertet.^{91,2}

Lateraler intraskaphoidaler Winkel

In den postoperativen CT-Scans, die bei 294 der 370 Patienten vorlagen, fand die Beurteilung des LISA und dementsprechend des Vorliegens einer Malunion statt. Als Grenzwert wurde ein Winkel $>45^\circ$ etabliert, ab dem laut Amadio et al.⁹² der Anteil an schlechten klinischen Ergebnissen erkennbar ansteigt. Der Winkel hierzu wurde anhand der sagittalen CT-Bildgebung zwischen den Längsachsen des proximalen und distalen Fragments des Skaphoids gebildet.⁶¹

Karpale Stellung

Zur Beurteilung der postoperativen karpalen Stellung wurden nach der Methode von Larsen et al.⁹³ der Winkel zwischen Os scaphoideum und Os lunatum (SL-Winkel) sowie der Winkel zwischen Radius und Os lunatum (RL-Winkel) auf dem lateralen Strahlengang der postoperativen Röntgenbilder in Neutralposition des Handgelenks bestimmt.

Gemäß der Definition des International Wrist Investigators' Workshop wurde ab einem RL-Winkel von -15° oder SL-Winkel von 80° eine DISI diagnostiziert.⁹⁴ Ab einem RL-Winkel von $+15^\circ$ wurde eine VISI diagnostiziert.

Arthrose

Zudem wurde der Grad der Arthrose postoperativ bestimmt. Dazu wurde zunächst anhand der Klassifikation von Kellgren und Lawrence^{67,95} das Vorliegen einer Arthrose in der Fovea lunata (FL) und Fovea scaphoidea (FS) sowie dem mediokarpalen Gelenk getrennt voneinander beurteilt. Schließlich wurden die einzelnen Arthrosegrade aufsummiert.

2.5 Statistik

Die erhobenen Daten wurden anonymisiert in Microsoft Excel dokumentiert. Zur statistischen Auswertung sowie der Erstellung der Diagramme wurde das Programm IBM SPSS Statistics verwendet.

Die Daten wurden zum einen deskriptiv auf Lage- und Streuungsmaße analysiert. Zum anderen erfolgte mittels Chi-Quadrat-, Fisher-Yates-, Mann-Whitney-U-, Kruskal-Wallis- und Dunn-Test die Auswertung signifikanter Unterschiede zwischen Patientencharakteristika und der Konsolidierungsrate bzw. den erhobenen Daten aus der klinisch-funktionellen Nachuntersuchung.

Darüber hinaus wurde eine univariate logistische Regressionsanalyse durchgeführt, mittels der eine Aussage über die Stärke und Richtung des Zusammenhangs zwischen den Patientencharakteristika und der Konsolidierungsrate getroffen werden konnte.

Des Weiteren wurden über die Spearman-Korrelation monotone Zusammenhänge zwischen Variablen der klinisch-funktionellen Nachuntersuchung getestet.

P-Werte kleiner als 0,05 wurden als statistisch signifikant betrachtet.

Die Ergebnisse wurden in Form von Säulen- und Kreisdiagrammen sowie Box-Plots veranschaulicht.

2.6 Ethikvotum

Eine Genehmigung zur Durchführung der vorliegenden Studie erfolgte durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität und des Universitätsklinikums Tübingen (Projekt-Nummer: 560/2020BO).

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der retrospektiven Datenanalyse

Nach Ausschluss der nicht für die Studie geeigneten Patienten verblieben 370 Patienten für die retrospektive Auswertung.

Die Ergebnisse befinden sich in der Veröffentlichung: „Postoperative scaphoid alignment, smoking and avascular necrosis are factors mostly influencing union rate after scaphoid reconstruction. Results of a retrospective single centre study on 370 patients.“ Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery.⁹⁶

3.1.1 Patientencharakteristika

Eine Übersicht der erhobenen Patientendaten befindet sich in Tab. 3. In den anschließenden Textabschnitten werden diese detailliert dargestellt.

Tab. 3: Deskriptive Ergebnisse der im Rahmen der retrospektiven Datenanalyse erhobenen Patientendaten.

Variable	Parameter	Gesamt (N=370)
Geschlecht	Männlich	90,8% (N=336)
	Weiblich	9,2% (N=34)
Alter zum Zeitpunkt der Rekonstruktions-OP [Jahre]	N	370
	Mittelwert (SD)	27,87 (11,9)
	Median (Q1-Q3)	24 (20-31)
	Range	13-71
Pseudarthrosenlokalisation	Proximal	35,1% (N=130)
	Taille	59,2% (N=219)
	Distal	5,7% (N=21)
AVN (intraoperativ)	tAVN	17,6% (N=65)
	pAVN	5,7% (N=21)
	Keine AVN	74,1% (N=274)
	Daten unzureichend	2,7% (N=10)
Nikotinabusus	Ja	30,8% (N=114)
	Nein	64,6% (N=239)
	Daten unzureichend	4,6% (N=17)
Pseudarthrosenalter [Monate]	N	325
	Mittelwert (SD)	15,51 (24,98)
	Median (Q1-Q3)	8 (4-16)
	Range	1-201
Vorintervention	Keine Vorintervention	82,7% (N=306)
	Schraubenosteosynthese	7,8% (N=29)
	nVBG	7,8% (N=29)
	pVBG	0,3% (N=1)
	Plattenosteosynthese	0,3% (N=1)

Variable	Parameter	Gesamt (N=370)
	2 Vor-OPs: Osteosynthese und nVBG	0,8% (N=3)
	2 Vor-OPs: jeweils nVBG	0,3% (N=1)
	Range	1-3
Anzahl aller Operationen (rekonstruktiv + andere)	1	82,7% (N=306)
	2	16,2% (N=60)
	3	1,1% (N=4)
Anzahl an Rekonstruktions-OPs	1	90,8% (N=336)
	2	8,9% (N=33)
	3	0,3% (N=1)
OP-Typ	nVBG	70,3% (N=260)
	pVBG	25,7% (N=95)
	fVBG	4,1% (N=15)
Osteosynthese-Material	Kein Fremdmaterial	4,6% (N=17)
	Schraube	78,9% (N=292)
	K-Draht	10,8% (N=40)
	Schraube + K-Draht	5,7% (N=21)
Postoperativer LISA >45°	Ja	7,6% (N=28)
	Nein	71,9% (N=266)
	Daten unzureichend	20,5% (N=76)
Union	Ja	78,6% (N=291)
	Nein	21,4% (N=79)

n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat; LISA: Lateraler intraskaphoidaler Winkel; t/pAVN: totale/partielle Avaskuläre Nekrose; Q1-Q3: 1.-3. Quartil; SD: Standardabweichung
Modifizierte Tabelle nach Rachunek-Medved K et al. (2023). Postoperative scaphoid alignment, smoking and avascular necrosis are factors mostly influencing union rate after scaphoid reconstruction. Results of a retrospective single centre study on 370 patients. J Plast Reconstr Aesthet Surg. 87:430-439.⁹⁶

Geschlechtsverteilung und Patientenalter zum Zeitpunkt des rekonstruktiven Eingriffs

Der weitaus größere Teil der in die Auswertung miteinfließenden Patienten war mit 90,8% männlich (N=336), 9,2% der Patienten waren weiblich (N=34). Das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der rekonstruktiven Operation an der BG Klinik Tübingen lag im Mittel bei 27,87 Jahren mit einer Spannweite von 13 bis 71 Jahren.⁹⁶

Getrennt nach Geschlecht ist dies in Abb. 2 dargestellt.

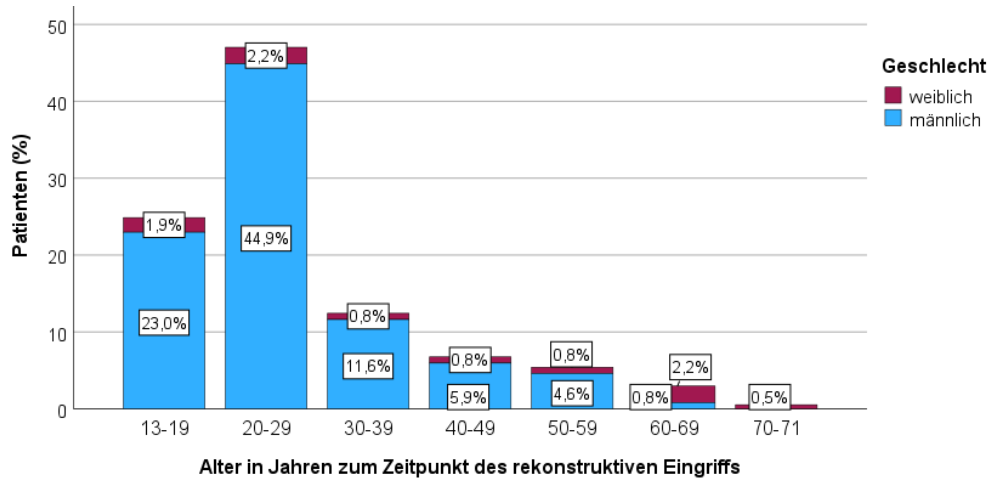


Abb. 2: Der Altersdurchschnitt der zwischen 01/2007 und 12/2020 operierten Patienten lag zum Zeitpunkt der Kahnbeinrekonstruktion im Durchschnitt bei 27,87 Jahren und damit im Intervall von 20-29 Jahren.

Pseudarthrosenlokalisierung

Wie im folgenden Kreisdiagramm (Abb. 3) erkenntlich war die Lokalisation der Pseudarthrose mit 59,2% im mittleren Drittel am häufigsten (N=219), gefolgt von der Lokalisation im proximalen Drittel mit 35,1% (N=130). Nur 5,7% der Pseudarthrosen befanden sich im distalen Drittel (N=21).⁹⁶

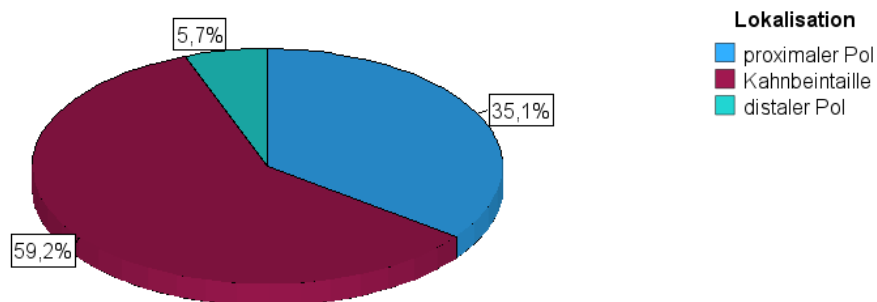


Abb. 3: Lokalisationsverteilung der Kahnbeinpseudarthrose in absteigender Reihenfolge: Kahnbeintaille – proximaler Pol – distaler Pol.

Intraoperativ festgestellte AVN

Bei der intraoperativen Beurteilung der Durchblutungssituation des Kahnbeins ließ sich beim Großteil der Patienten (74,1% \pm N=274) eine erhaltene Perfusion

des Kahnbeins feststellen. Bei 17,6% (N=65) der Patienten zeigten sich intraoperativ keine punktuellen Blutungen, weshalb hier der Befund einer tAVN gestellt wurde. Bei weiteren 5,7% (N=21) ließen sich spärliche punktförmige Blutungen im Sinne einer pAVN erkennen. Bei 2,7% (N=10) lagen keine ausreichenden Informationen zur Beurteilung vor.⁹⁶

Im folgenden Kreisdiagramm (Abb. 4) ist dies dargestellt.

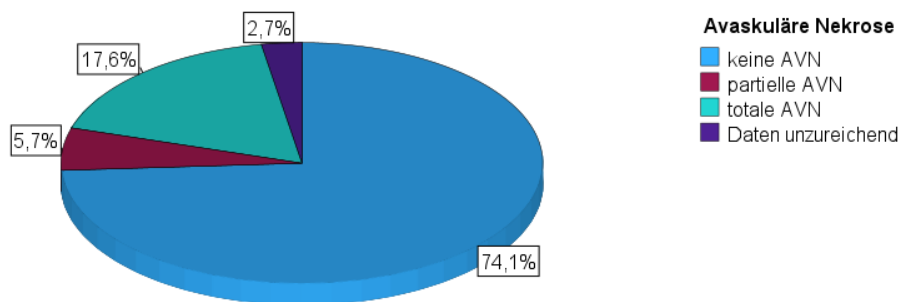


Abb. 4: Intraoperative Beurteilung der Durchblutungssituation des Skaphoids: AVN partiell oder total bei insgesamt 23,3% feststellbar. Bei der Mehrheit (74,1%) ist die Perfusion normal. AVN: Avaskuläre Nekrose

Risikofaktor Nikotinabusus

Zum Zeitpunkt der rekonstruktiven Operation waren 30,8% Raucher (N=114) und 64,6% Nicht-Raucher (N=239), wie in Abb. 5 zu sehen ist. Bei 4,6% (N=17) konnten keine Informationen zum Raucherstatus recherchiert werden.⁹⁶

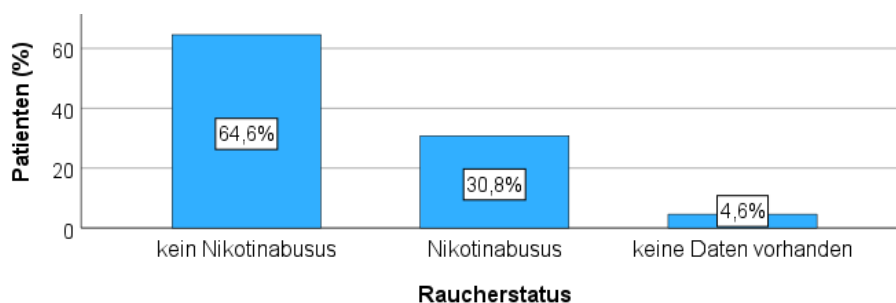


Abb. 5: Raucherstatus zum Zeitpunkt der Kahnbeinrekonstruktion. Mit einem Anteil von 30,8% waren gut ein Drittel der operierten Patienten Raucher.

Pseudarthrosenalter

Der Zeitraum zwischen erinnerlichem oder dokumentiertem Trauma und der Rekonstruktions-Maßnahme in der BG Klinik betrug im Mittel 15,51 Monate (Range 1-201). 45 Patienten konnten keine Angaben zum Zeitpunkt des Unfallereignisses machen, daher ergab sich hier eine Population von 325 Patienten.⁹⁶

Dargestellt in 1-Jahres-Intervallen ist dies in untenstehendem Säulendiagramm (Abb. 6).

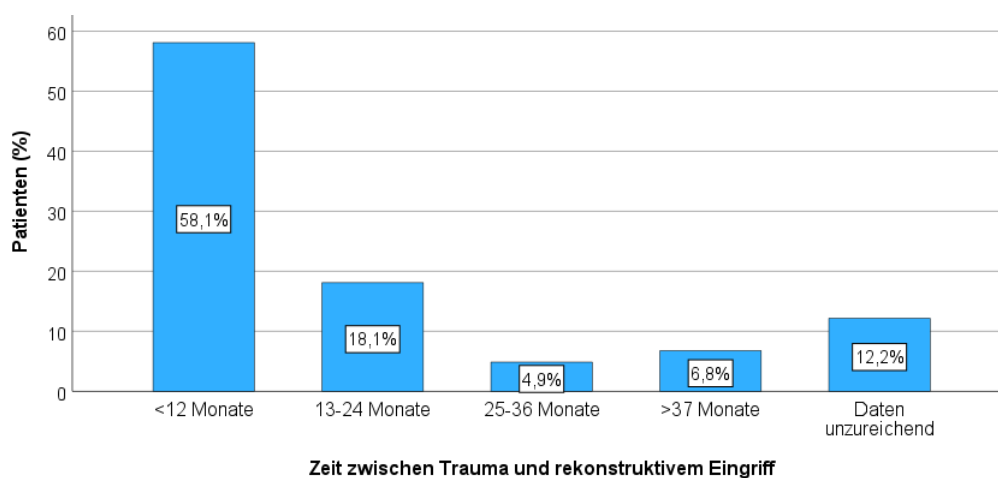


Abb. 6: Überwiegend fand die Kahnbeinrekonstruktion innerhalb der ersten 36 Monate statt, im Durchschnitt nach 15,51 Monaten (Median 8 Monate).

Vorbehandlung

Bei 82,7% (N=306) der Patienten hatte vor der betrachteten Rekonstruktions-Operation an der BG Klinik noch keine operative Therapie stattgefunden (Tab. 3).

Bei den restlichen 17,2% teilte sich die Vorbehandlung wie folgt auf:

- Bei 7,8% (N=29) war eine schraubenosteosynthetische Frakturversorgung und bei 0,3% (N=1) eine Versorgung mittels Platte jeweils ohne Knochentransplantat versucht worden.
- Weitere 7,8% (N=29) der Patienten durchliefen eine rekonstruktive OP unter Verwendung eines nicht vaskularisierten Knochentransplantats, während bei

0,3% (N=1) der Probanden eine rekonstruktive OP mittels eines gestielt vaskularisierten Knochentransplantats durchgeführt wurde.

- Bei 1,1% (N=4) der Patienten hatten bereits zwei operative Vorinterventionen stattgefunden. Bei 3 Patienten war diese eine Schraubenosteosynthese gefolgt von einer Operation unter Einsatz eines nicht vaskularisierten Knochentransplantats, bei einem Patienten waren es zwei Operationen mit Verwendung eines nicht vaskularisierten Knochentransplantats.⁹⁶

Daraus ergab sich unter Einschluss der im Rahmen der Studie betrachteten aktuellsten Rekonstruktions-OP pro Proband eine durchschnittliche Anzahl von 1,18 an operativen Interventionen (Range 1-3) bzw. von 1,09 an rein rekonstruktiven Eingriffen (Range 1-3).

OP-Strategie: OP-Typ und Osteosynthese-Material

Operationen mit einer Transplantation von nicht vaskularisiertem Knochengewebe (nVBG), respektive Spongiosaplastiken aus Radius oder Becken sowie Knochenspänen aus dem Becken, fanden mit 70,3% (N=260) am häufigsten statt. Mit 25,7% (N=95) am zweit häufigsten wurden gestielte Grafts aus dem Radius (pVBG) transplantiert, entweder mittels Zaidenberg-Span gestielt an der 1,2 ICSRA oder als Kuhlman-Plastik mit Transplantation eines Asts der A. carpalis palmaris. Nur bei 15 Probanden (4,1%) wurde ein frei vaskularisiertes Transplantat aus der medialen Femurkondyle mit Transplantation der A. genicularis descendes und den Begleitvenen (fVBG) verwendet.

Als Osteosynthese-Material wurde bei 292 Probanden (78,9%) eine Schraube, in der Regel eine Herbert-Schraube, verwendet. Bei 40 Probanden (10,8%) wurden hingegen K-Drähte eingebracht. Eine Kombination aus beiden Osteosynthese-Materialien erfolgte bei 21 Probanden (5,7%). Bei 17 Probanden (4,6%) wurde kein Fremdmaterial eingebracht.⁹⁶

Die Häufigkeitsverteilungen der OP-Typen (Abb. 7) und des Fremdmaterials (Abb. 8) sind in den folgenden Säulendiagrammen dargestellt.

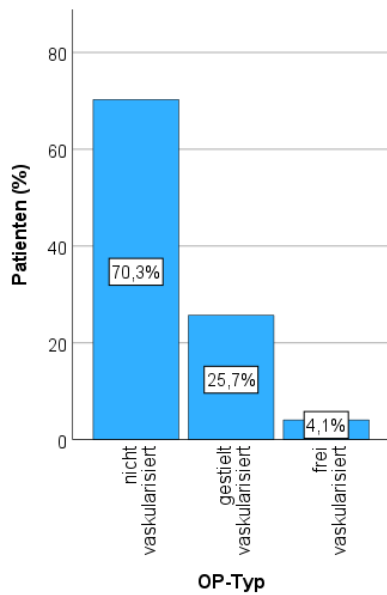


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung des angewandten OP-Typs in absteigender Reihenfolge: nicht vaskularisiert – gestielt vaskularisiert – frei vaskularisiert.

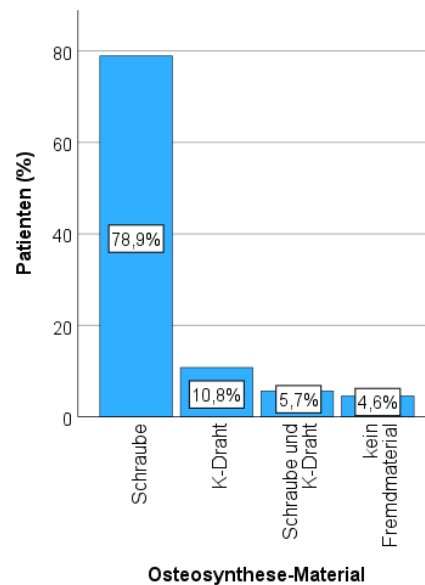


Abb. 8: Als Fremdmaterial wurde mit deutlicher Mehrheit (78,9%) eine Schraube eingebracht. In 4,6% der Fälle wurde komplett auf Fremdmaterial verzichtet.

Konsolidierungsrate

Wie in Abb. 9 sichtbar, kam es in 78,6% (N=291) der Fälle bildmorphologisch zu einer Ausheilung, bei 21,4% (N=79) blieb eine Konsolidierung aus.

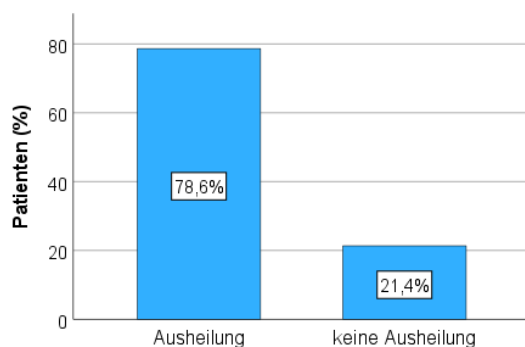


Abb. 9: Konsolidierungsrate nach minimalem Follow-Up von 3 Monaten.

In 79,5% (N=294) der Fälle wurde die Konsolidierung anhand eines CTs und in 20,5% (N=76) der Fälle anhand von Röntgenbildern bestimmt. Das durchschnittliche Follow-Up betrug 51,38 Monate (Range 3-181,73).⁹⁶

Lateraler intraskaphoidaler Winkel

Postoperativ wurde anhand der sagittalen Schnittebenen in den CT-Scans der LISA gemessen. Bei 7,6% (N=28) lag ein Winkel von $>45^\circ$ und dementsprechend eine Malunion oder persistierende Humpback-Deformität vor. Bei 71,9% (N=266) war der Winkel $<45^\circ$. Bei 20,5% (N=76) lag kein CT-Scan vor, hier konnte eine Beurteilung des LISA nicht erfolgen.⁹⁶

Dargestellt ist die Aufteilung im folgenden Kreisdiagramm (Abb. 10).

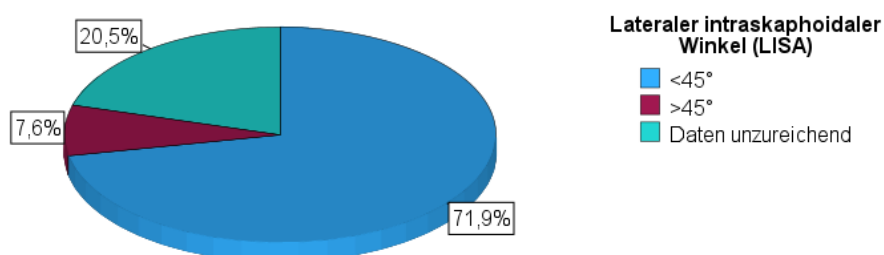


Abb. 10: Bei 7,6% liegt postoperativ ein LISA $>45^\circ$ entsprechend einer Malunion vor. Bei 71,9% ist der LISA $<45^\circ$.

LISA: Lateraler intraskaphoidaler Winkel

3.1.2 Konsolidierung in Abhängigkeit verschiedener Patientenvariablen

Die erhobenen Patientendaten wurden in Bezug zur Konsolidierung weiter ausgewertet. Die Ergebnisse der statistischen Testungen und der univariaten logistischen Analyse sind in der Tab. 4 und Tab. 5 übersichtlich dargestellt.

Tab. 4. Zusammenhang zwischen Konsolidierung und verschiedenen Patientenvariablen (Chi-Quadrat-, Fisher-Yates-, Mann-Whitney-U-Test).

Variable	Parameter	Union: Ja	Union: Nein	Test	p-Wert
Geschlecht	Männlich (N=336)	78,3% (N=263)	21,7% (N=73)	Chi-Quadrat-Test	0,7387
	Weiblich (N=34)	82,4% (N=28)	17,6% (N=6)		
Alter zum Zeitpunkt der Rekonstruktions-OP [Jahre]	N	291	79	Mann-Whitney-U-Test	0,3382
	Mittelwert (SD)	28,21 (12,15)	26,62 (10,89)		
	Median (Q1-Q3)	25 (20-31,5)	23 (19-30)		
	Range	13-70	14-71		
Pseudarthrosen lokalisation	Proximal (N=130)	75,4% (N=98)	24,6% (N=32)	Fisher-Yates-Test	0,1056
	Taille (N=219)	79,0% (N=173)	21,0% (N=46)		
	Distal (N=21)	95,2% (N=20)	4,8% (N=1)		

Variable	Parameter	Union: Ja	Union: Nein	Test	p-Wert
AVN (intraoperativ)	tAVN (N=65)	55,4% (N=36)	44,6% (N=29)	Chi-Quadrat- Test	<0,001
	pAVN (N=21)	52,4% (N=11)	47,6% (N=10)		
	Keine AVN (N=274)	88,7% (N=243)	11,3% (N=31)		
Nikotinabusus	Ja (N=114)	59,6% (N=68)	40,4% (N=46)	Chi-Quadrat- Test	<0,001
	Nein (N=239)	87,0% (N=208)	13,0% (N=31)		
Pseudarthrosen alter [Monate]	N	260	65	Mann- Whitney-U- Test	0,3541
	Mittelwert (SD)	16 (27,16)	13,55 (12,96)		
	Median (Q1-Q3)	8 (4-16)	9 (5-19)		
	Range	1-201	1-60		
Vorintervention	Keine Vorintervention (N=306)	83,0% (N=254)	17,0% (N=52)	Fisher- Yates-Test	<0,001
	Schraubenosteosynthese (N=29)	65,5% (N=19)	34,5% (N=10)		
	nVBG (N=29)	48,3% (N=14)	51,7% (N=15)		
	pVBG (N=1)	0% (N=0)	100% (N=1)		
	Plattenosteosynthese (N=1)	100% (N=1)	0% (N=0)		
	2 Vor-OPs: Osteosynthese und nVBG (N=3)	66,7% (N=2)	33,3% (N=1)		
	2 Vor-OPs: jeweils nVBG (N=1)	100% (N=1)	0% (N=0)		
Anzahl aller Operationen (rekonstruktiv + andere)	1 (N=306)	83,0% (N=254)	17,0% (N=52)	Fisher- Yates-Test	<0,001
	2 (N=60)	56,7% (N=34)	43,3% (N=26)		
	3 (N=4)	75% (N=3)	25% (N=1)		
Anzahl an Rekonstruktions- OPs	1 (N=336)	81,5% (N=274)	18,5% (N=62)	Fisher- Yates-Test	<0,001
	2 (N=33)	48,5% (N=16)	51,5% (N=17)		
	3 (N=1)	100% (N=1)	0% (N=0)		
OP-Typ	nVBG (N=260)	81,2% (N=211)	18,8% (N=49)	Fisher- Yates-Test	0,144
	pVBG (N=95)	71,6% (N=68)	28,4% (N=27)		
	fVBG (N=15)	80% (N=12)	20% (N=3)		
Osteosynthese- Material	Kein Fremdmaterial (N=17)	64,7% (N=11)	35,3% (N=6)	Fisher- Yates-Test	0,116
	Schraube (N=292)	80,8% (N=236)	19,2% (N=56)		
	K-Draht (N=40)	67,5% (N=27)	32,5% (N=13)		
	Schraube + K- Draht (N=21)	80,9% (N=17)	19,1% (N=4)		
Postoperativer LISA >45°	Ja (N=28)	46,4% (N=13)	53,6% (N=15)	Chi-Quadrat- Test	<0,001
	Nein (N=266)	82,3% (N=219)	17,7% (N=47)		

n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat; LISA: Lateraler intraskaphoidaler Winkel; t/pAVN: totale/partielle Avaskuläre Nekrose; Q1-Q3: 1.-3. Quartil; SD: Standardabweichung

Tab. 5: Univariate logistische Regression für selektierte Patientenvariablen in Abhängigkeit der Union.

Variable	Estimate	OR	LCI	UCI	p-Wert
Geschlecht: Männlich	0,062	1,064	0,338	2,820	0,907
Alter zum Zeitpunkt der Rekonstruktions-OP [Jahre]	0,023	1,023	0,994	1,059	0,155
Pseudarthrosenlokalisierung: Proximal	0,084	1,088	0,549	2,225	0,813
Pseudarthrosenlokalisierung: Distal	16,131	10129717,228	0,000	NA	0,989
AVN (intraoperativ): pAVN	-1,392	0,249	0,078	0,873	0,021
AVN (intraoperativ): tAVN	-1,651	0,192	0,089	0,410	<0,001
Nikotinabusus: Ja	-1,569	0,208	0,103	0,412	<0,001
Pseudarthrosenalter [Monate]	0,009	1,009	0,995	1,031	0,324
Vorintervention: Schraubenosteosynthese	-1,365	0,255	0,092	0,748	0,010
Vorintervention: nVBG	-1,449	0,235	0,092	0,619	0,003
Anzahl aller Operationen (rekonstruktiv + andere)	-1,332	0,264	0,131	0,524	<0,001
Anzahl an Rekonstruktions-OPs	-1,410	0,244	0,102	0,594	0,002
OP-Typ: pVBG	-0,518	0,595	0,292	1,244	0,158
OP-Typ: fVBG	-0,413	0,662	0,187	3,098	0,551
Osteosynthese-Material: Schraube	1,407	4,083	1,113	14,427	0,027
Osteosynthese-Material: K-Draht	0,683	1,979	0,455	8,597	0,355
Osteosynthese-Material: Schraube + K-Draht	2,457	11,667	1,476	250,679	0,040
Postoperativer LISA >45°: Ja	-2,443	0,087	0,032	0,218	<0,001

n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat; LISA: Lateraler intraskaphoidaler Winkel; t/pAVN: totale/partielle Avaskuläre Nekrose; LCI und UCI: untere und obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls; OR: Odds Ratio

Modifizierte Tabelle nach Rachunek-Medved K et al. (2023). Postoperative scaphoid alignment, smoking and avascular necrosis are factors mostly influencing union rate after scaphoid reconstruction. Results of a retrospective single centre study on 370 patients. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 87:430-439.⁹⁶

Geschlecht und Patientenalter zum Zeitpunkt des rekonstruktiven Eingriffs

Zwischen der Konsolidierungsrate und dem Geschlecht (Chi-Quadrat-Test, $p=0,7387$) oder der Konsolidierungsrate und dem Patientenalter zum Zeitpunkt der operativen Maßnahme (Mann-Whitney-U-Test, $p=0,3382$) konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Dies bestätigte sich in der univariaten logistischen Regressionsanalyse (Tab. 5).⁹⁶

Pseudarthrosenlokalisierung

Ebenso wenig konnte ein signifikanter Einfluss der Lokalisation der Pseudarthrose auf die Konsolidierungsrate nachgewiesen werden (Fisher-Yates-Test, $p=0,1056$).

Die Konsolidierungsrate ist in Abhängigkeit der Pseudarthrosenlokalisierung in folgender Abb. 11 dargestellt.

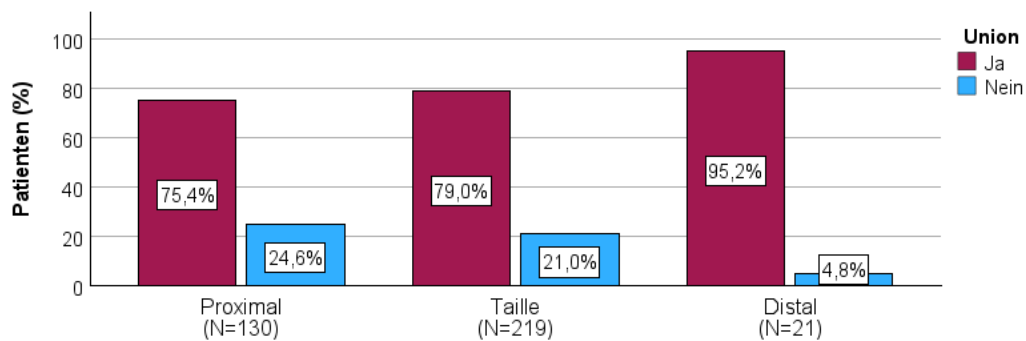


Abb. 11: Konsolidierungsrate in Abhängigkeit der Kahnbeinpseudarthrosenlokalisierung. Ein signifikanter Zusammenhang konnte nicht nachgewiesen werden (Fisher-Yates-Test, $p=0,1056$).

Auch in der logistischen univariaten Regressionsanalyse zeigte sich kein negativer Einfluss einer Lokalisation der Pseudarthrose im proximalen Drittel auf die Konsolidierungsrate ($p=0,813$, $OR=1,088$, Tab. 5).⁹⁶

Intraoperativ festgestellte AVN

Dagegen ergab sich in der univariaten Analyse (Tab. 5) ein signifikanter, negativer Einfluss auf die Ausheilungswahrscheinlichkeit bei Vorliegen einer pAVN ($p=0,021$, Union 52,4%, $OR=0,249$) bzw. tAVN ($p<0,001$, Union 55,4%, $OR=0,192$).

In der folgenden Abb. 12 ist die Beziehung zwischen Perfusionszustand und Unionrate dargestellt.

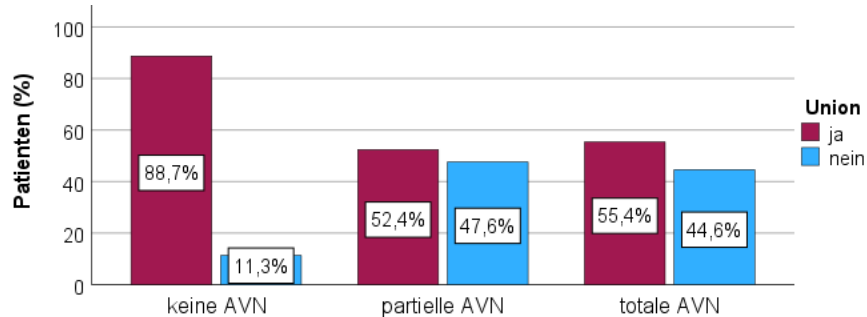


Abb. 12: Bei einem gesunden Perfusionszustand wird eine Union von 88,7% erreicht. Eine gestörte Durchblutung (AVN partiell oder total) hat einen negativen Einfluss auf die Ausheilung. AVN: Avaskuläre Nekrose

Betrachtet man die Ausheilungsrate von Patienten mit gestörter Durchblutungssituation (pAVN und tAVN) darüber hinaus in Abhängigkeit des OP-Typs, so ist kein signifikanter Unterschied feststellbar (Fisher-Yates-Test, $p=0,157$). Ebenso lässt sich innerhalb der Patientengruppe mit totaler AVN in Abhängigkeit des OP-Typs kein signifikanter Unterschied nachweisen (Fisher-Yates-Test, $p=0,37$).⁹⁶

Jedoch beobachteten wir bei Patienten mit AVN (pAVN und tAVN) eine Tendenz zu höheren Konsolidierungsraten, wenn ein fVBG (Union 81,8%) im Gegensatz zum pVBG (Union 51,2%, Fisher-Yates-Test, $p=0,08$) oder nVBG (Union 50%, Fisher-Yates-Test, $p=0,24$) verwendet wurde (Abb. 13).⁹⁶

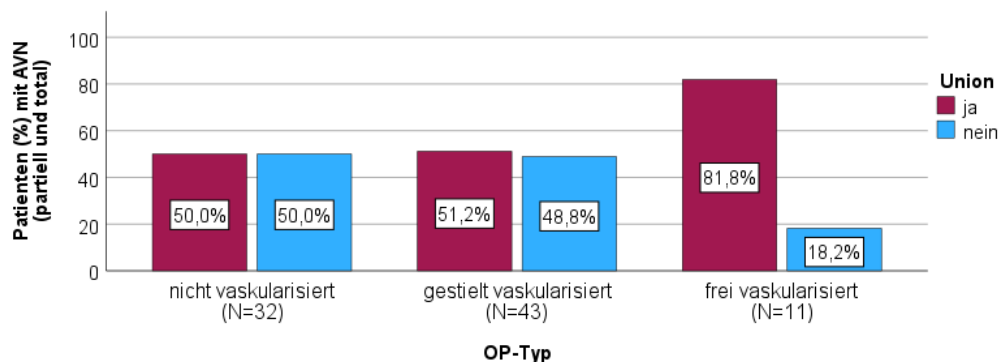


Abb. 13: Patienten mit partieller und totaler AVN. Bei Verwendung von frei vaskularisierten Grafts zeigt sich eine hohe Konsolidierungsrate von 81,8%. Zu beachten ist jedoch die kleine Populationsgröße. AVN: Avaskuläre Nekrose

Risikofaktor Nikotinabusus

Ein weiterer signifikanter Zusammenhang zu einer abnehmenden Konsolidierungsrate konnte mittels der univariaten Analyse bei Patienten mit Nikotinabusus nachgewiesen werden ($p < 0,001$, $OR = 0,208$, Tab. 5).

In folgender Abb. 14 ist dies anschaulich gezeigt.

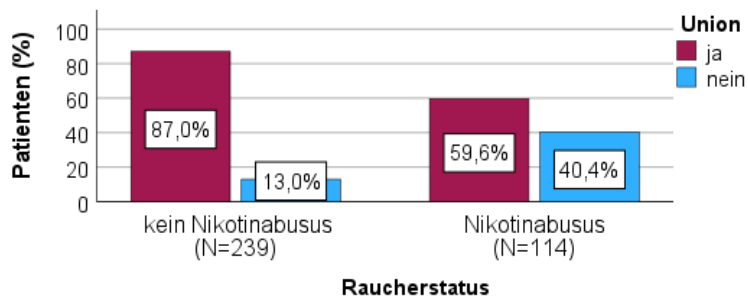


Abb. 14: Während es bei Nichtrauchern in 87,0% der Fälle zu einer Konsolidierung kam, erreichten Raucher nur eine Ausheilungsrate von 59,6%.

Eine mittels Chi-Quadrat-Test geprüfte Korrelation zwischen AVN und Nikotinabusus ließ sich nicht bestätigen ($p = 0,99$).⁹⁶

Pseudarthrosenalter

Ein Zusammenhang zwischen dem Pseudarthrosenalter und der Konsolidierungsrate konnte nicht aufgezeigt werden (Mann-Whitney-U-Test, $p = 0,3541$), was sich in der univariaten logistischen Regressionsanalyse bestätigte ($p\text{-Wert} = 0,324$, $OR = 1,009$, Tab. 5).⁹⁶

Vorbehandlung

Dagegen ergab sich aus der univariaten Analyse mit zunehmender Anzahl an Vorinterventionen am Kahnbein ($p < 0,001$, $OR = 0,264$, Tab. 5) eine signifikant schlechtere Ausheilungsrate.⁹⁶

Die Beziehung zwischen Ausheilung und Vorinterventionen ist in Abb. 15 dargestellt.

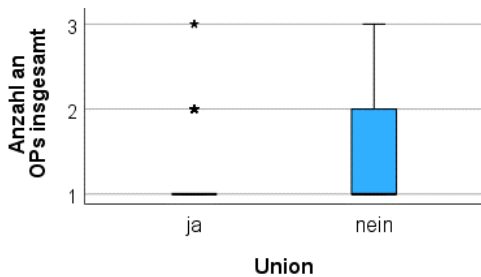


Abb. 15: Patienten, die eine Ausheilung erreichten, hatten in der univariaten Analyse eine signifikant geringere Anzahl an OPs insgesamt am Skaphoid als Patienten mit Re-Pseudarthrose ($p < 0,001$, $OR = 0,264$).
 OR: Odds-Ratio

OP-Strategie: OP-Typ und Osteosynthese-Material

In Abhängigkeit des durchgeführten OP-Typs konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich der Konsolidierungsrate errechnet werden (Fisher-Yates-Test, $p = 0,144$). Dies bestätigte sich in der univariaten logistischen Regressionsanalyse (Tab. 5).

Das Ausheilungsergebnis getrennt nach OP-Typ ist in folgendem Säulendiagramm (Abb. 16) dargestellt.

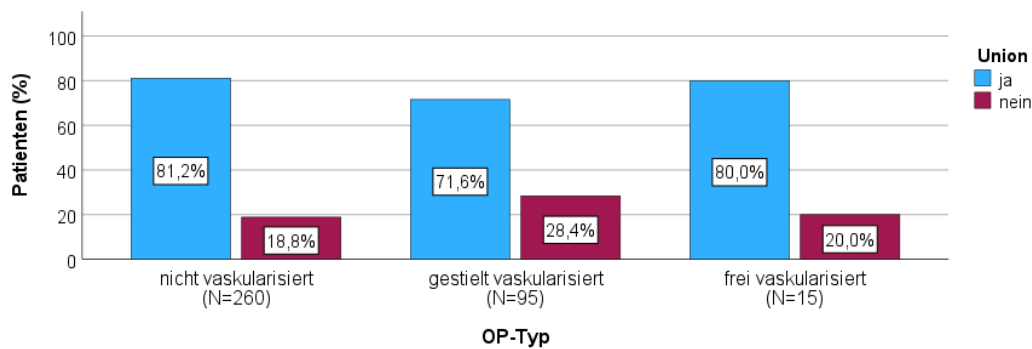


Abb. 16: Konsolidierungsrate je nach OP-Typ. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied innerhalb der drei OP-Typen (Fisher-Yates-Test, $p = 0,144$).

Bei Betrachtung des Osteosynthese-Materials ließ sich in der univariaten logistischen Regressionsanalyse ein signifikanter, positiver Einfluss unter Verwendung von Herbert-Schrauben ($p = 0,027$, $OR = 4,083$) bzw. Herbert-Schrauben in Kombination mit K-Drähten ($p = 0,04$, $OR = 11,667$) auf die Ausheilungswahrscheinlichkeit nachweisen (Tab. 5).⁹⁶

Lateraler intraskaphoidaler Winkel

Ein weiterer signifikanter, negativer Einfluss auf die Konsolidierungsrate konnte bei einem postoperativen LISA $>45^\circ$ ($p<0,001$, $OR=0,087$, Tab. 5) errechnet werden.⁹⁶

Der Zusammenhang zwischen LISA und Union ist in Abb. 17 veranschaulicht.

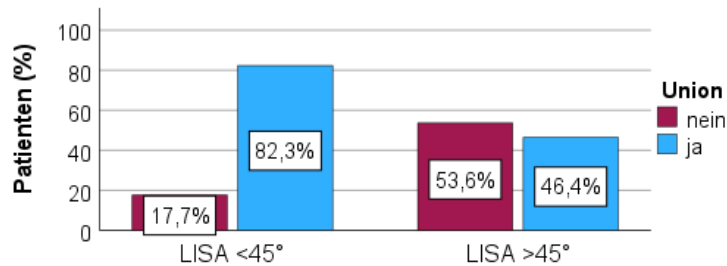


Abb. 17: Ein postoperativer LISA $>45^\circ$ führt zu einer signifikant höheren Rate an Re-Pseudarthrosen (univariate Analyse, $p<0,001$, $OR=0,087$).

LISA: Lateraler intraskaphoidaler Winkel, OR= Odds Ratio

3.2 Ergebnisse aus der Fragebogen- und Nachuntersuchungsgruppe

Es ergaben sich 162 Fälle, deren Fragebögen ausgewertet werden konnten, und 139 Fälle, deren Daten im Rahmen der klinisch-funktionellen Nachuntersuchung erhoben und analysiert werden konnten.

3.2.1 Patientencharakteristika

Die deskriptiven Ergebnisse befinden sich in der Veröffentlichung: „Patient-reported outcomes and comprehensive assessment of wrist function after scaphoid reconstruction: A single-center retrospective study on 162 patients.“ Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery.⁹⁷

Eine Übersicht der wichtigsten Patientencharakteristika befindet sich in der folgenden Tabelle 6. Eine separate, detaillierte Analyse erfolgt in den weiteren Textabschnitten.

Tab. 6: Deskriptive Ergebnisse der wichtigsten Probandencharakteristika der Fragebogen- und Nachuntersuchungsgruppe.

Variable	Parameter	Gesamt (N=162)
Geschlecht	Männlich	90,7% (N=147)
	Weiblich	9,3% (N=15)
Alter zum Zeitpunkt des Studienbeginns [Jahre]	N	162
	Mittelwert (SD)	34,38 (11,28)
	Median (Q1-Q3)	32 (27-38,75)
	Range	18-75
Betroffene Seite	Links	50,6% (N=82)
	Rechts	49,4% (N=80)
Pseudarthrosenlokalisierung	Proximal	32,7% (N=53)
	Taille	61,1% (N=99)
	Distal	6,2% (N=10)
Pseudarthrosenalter [Monate]	N	155
	Mittelwert (SD)	50,86 (51,91)
	Median (Q1-Q3)	26 (8,5-83)
	Range	1-179
OP-Typ	nVBG	72,8% (N=118)
	pVBG	22,2% (N=36)
	fVBG	4,9% (N=8)
Osteosynthese-Material	Schraube	79% (N=128)
	K-Draht	8,6% (N=14)
	Schraube + K-Draht	4,9% (N=8)
	Kein Fremdmaterial	7,4% (N=12)
Union	Ja	87% (N=141)
	Nein	11,1% (N=18)
	Daten unzureichend	1,9% (N=3)
Postoperative karpale Stellung	Normal	57,4% (N=93)
	Pathologisch	37% (N=60)
	Daten unzureichend	5,6% (N=9)
Postoperativer LISA >45°	Ja	6,2% (N=10)
	Nein	65,4% (N=106)
	Daten unzureichend	28,4% (N=46)
Postoperativer kumulativer Arthrosegrad (FS + FL + Mediokarpalgelenk)	N	157
	Mittelwert (SD)	1,14 (1,39)
	Median (Q1-Q3)	1 (0-2)
	Range	0-6

n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat; LISA: Lateraler intraskaphoidaler Winkel; FS: Fovea scaphoidea; FL: Fovea lunata; Q1-Q3: 1.-3. Quartil; SD: Standardabweichung
 Modifizierte Tabelle nach Rachunek-Medved K et al. (2024). Patient-reported outcomes and comprehensive assessment of wrist function after scaphoid reconstruction: A single-center retrospective study on 162 patients. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 99:297-309.⁹⁷

Geschlechtsverteilung und Patientenalter zum Zeitpunkt des Studienbeginns

Von den 162 Fällen der Fragebogen- und Nachuntersuchungsgruppe war der überwiegende Teil mit 90,7% (N=147) männlich. Nur 9,3% (N=15) waren weiblich. Zum Zeitpunkt des Studienbeginns waren die Patienten durchschnittlich 34,38 Jahre alt mit einem Median von 32 und einer Range von 18 bis 75.⁹⁷

In Abb. 18 ist die Altersverteilung in 10-Jahres-Schritten getrennt nach Geschlecht veranschaulicht.

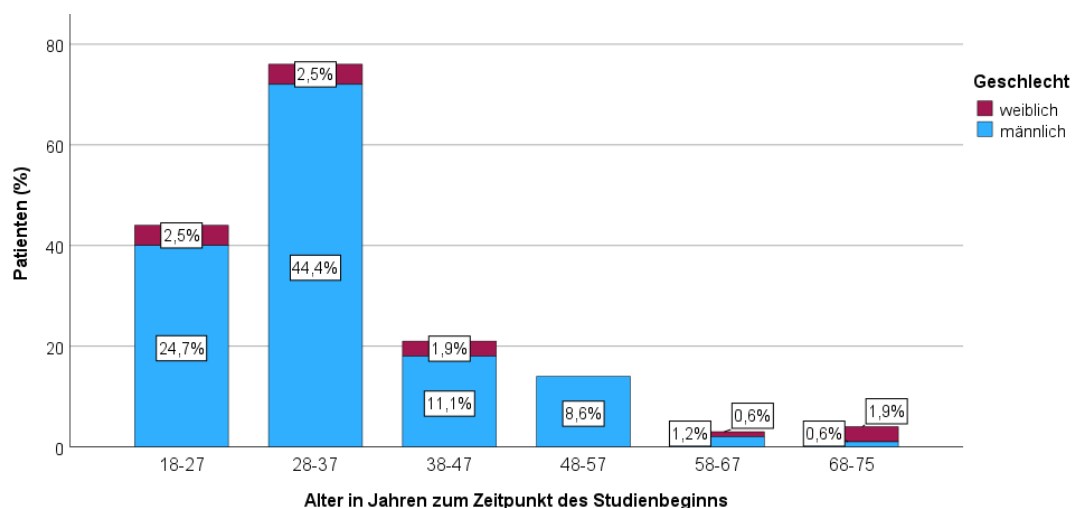


Abb. 18: Alter in Jahren zum Zeitpunkt des Studienbeginns gestapelt nach Geschlecht. Das Durchschnittsalter lag bei 34,38 Jahren (Median 32 Jahre, Range 18-75 Jahre). Der Männeranteil war deutlich überwiegend.

Betroffene Handgelenksseite

Die Seitenverteilung der betroffenen Handgelenke war nahezu ausgeglichen. Etwas häufiger befand sich die Pseudarthrose mit 50,6% (N=82) auf der linken Seite, mit nur zwei Fällen weniger war die rechte Seite betroffen (49,4% \triangleq N=80).⁹⁷

Bei Patienten, die Rechtshänder waren (N=128), war aus den ausgewerteten Daten häufiger die nicht-dominante linke Seite betroffen (linke Seite N=69 \triangleq 42,59% versus (vs.) rechte Seite N=59 \triangleq 36,42%). Bei Patienten, deren dominante Hand die linke war (N=8), war die Verteilung auf beide Seiten gleich groß (linke und rechte Seite jeweils N=4 \triangleq jeweils 2,47%).

Die restlichen 26 Patienten (16,05%) wurden unter „keine Angabe vorhanden oder anderes“ zusammengefasst:

- 23 Patienten, bei denen aufgrund der Nichtteilnahme an der Nachuntersuchung eine Abfrage der dominanten Seite nicht erfolgte war

- 3 Patienten, die angaben Beidhänder zu sein, darunter ein Patient mit linksseitiger Pseudarthrose, der postoperativ Rechtshänder geworden war

In der folgenden Abb. 19 ist die Verteilung auf die betroffene Handgelenksseite gegliedert nach der dominanten Hand veranschaulicht.

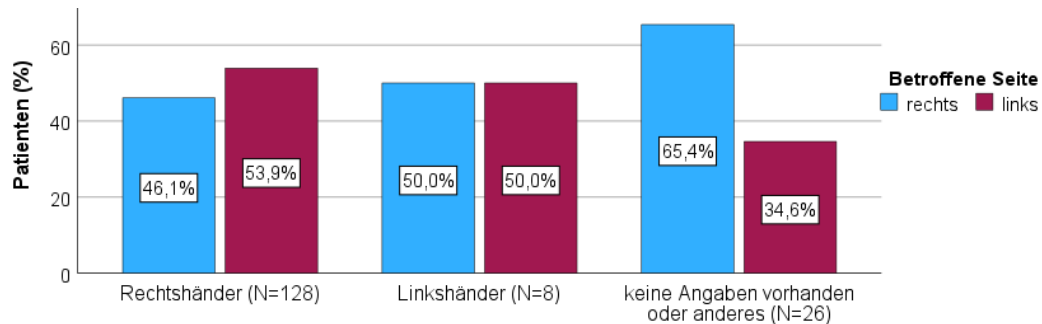


Abb. 19: Betroffene Seite gegliedert nach Händigkeit. Bei Rechtshändern war etwas häufiger die linke Hand betroffen. Bei Linkshändern waren die zwei Seiten gleich häufig betroffen.

Pseudarthrosenlokalisierung

Bei 61,1% (N=99) und damit bei der Mehrzahl der Probanden war die Pseudarthrose in der Kahnbeintaille lokalisiert, gefolgt von der Lokalisation im proximalen Pol bei 32,7% (N=53). Am seltensten war der distale Pol betroffen, nur bei 10 Probanden (6,2%) war die Pseudarthrose dort verortet.⁹⁷

Dies ist im folgenden Kreisdiagramm (Abb. 20) veranschaulicht.

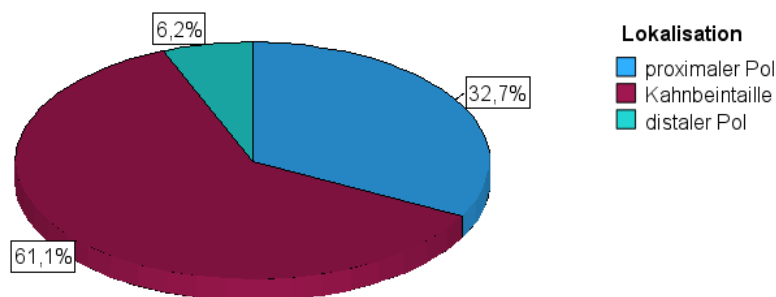


Abb. 20: Lokalisationsverteilung der Kahnbeinpseudarthrose in absteigender Reihenfolge: Kahnbeintaille – proximaler Pol – distaler Pol.

Pseudarthrosenalter

Der Zeitraum zwischen dem dokumentierten oder von den Probanden angegebenen Trauma am Handgelenk und der Rekonstruktions-OP in der BG Klinik betrug im Mittel 50,86 Monate (Range 1-179 Monate).⁹⁷ 7 Patienten konnten keine Angaben zum Zeitpunkt des ursächlichen Unfallereignisses machen.

In der untenstehenden Grafik (Abb. 21) ist das Pseudarthrosenalter aufgegliedert nach den OP-Verfahren dargestellt.

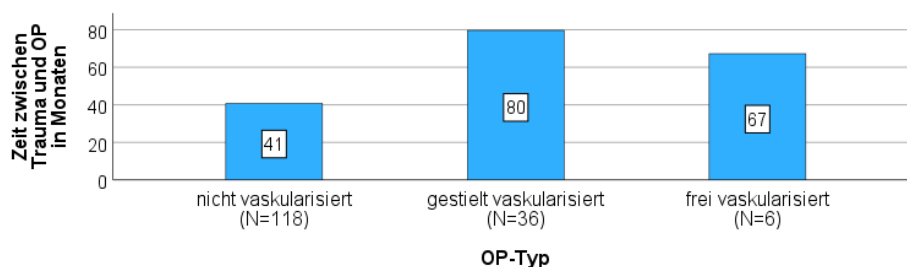


Abb. 21: Bei Patienten, bei denen sich für ein vaskularisiertes Graft entschieden wurde, waren die Pseudarthrosen bis zu fast doppelt so alt wie bei Patienten, bei denen ein nVVG transplantiert wurde. nVVG: nicht vaskularisiertes Transplantat

Die Zeit zwischen OP und Nachuntersuchung betrug im Mittel 89,31 Monate (Range 12,4-175,8).

OP-Strategie: OP-Typ und Osteosynthese-Material

Als operatives Verfahren wurde in 72,8% (N=118) und damit am häufigsten die Transplantation von nVVG gewählt, gefolgt von der Verwendung von pVVG aus dem Radius in 22,2% (N=36). Nur bei 8 Probanden (4,9%) wurde ein fVVG aus der Femurkondyle zur Rekonstruktion des Skaphoids benutzt.

Als Osteosynthese-Material wurde bei der deutlichen Mehrheit (79% \pm N=128) eine Schraube implantiert. Am zweit-häufigsten (8,6% \pm N=14) erfolgte die vorübergehende Fixierung mittels K-Drähten. Bei 4,9% (N=8) wurden beide Osteosynthese-Materialien kombiniert eingebracht. 12-mal (7,4%) wurde komplett auf das Einbringen von Fremdmaterial verzichtet.⁹⁷

Die prozentualen Verteilungen von OP-Typ und eingesetztem Fremdmaterial sind in den folgenden Abbildungen 22-23 dargestellt.

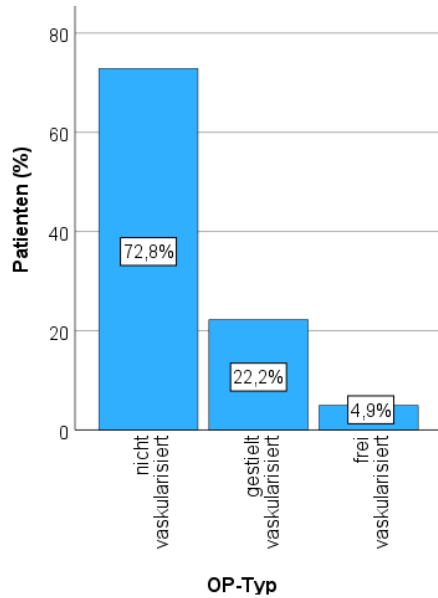


Abb. 22: In fast drei Viertel der Fälle wurde allein die Transplantation von Knochenmaterial durchgeführt. Nur bei 4,9% wurde ein frei vaskularisiertes Graft aus dem Femur transplantiert.

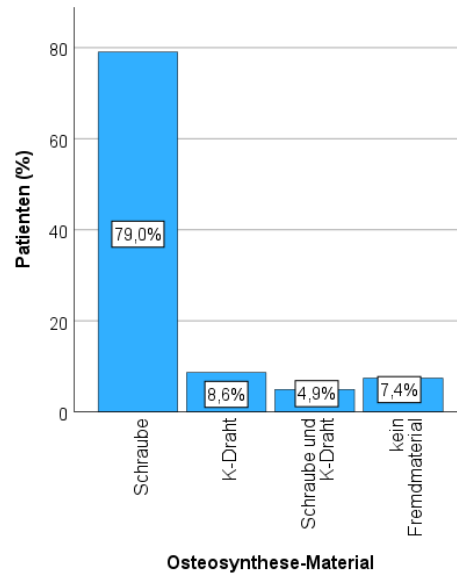


Abb. 23: Als Osteosynthese-Material wurde mit großer Mehrheit eine Schraube verwendet (79%). Bei 7,4% wurde kein Fremdmaterial eingebracht.

Konsolidierungsrate

Unter den nachuntersuchten Patienten war es in 87% (N=141) bildmorphologisch zu einer Ausheilung gekommen (Abb. 24).⁹⁷

Durchschnittlich war eine Konsolidierung nach 8,78 Monaten in der Bildgebung erkennbar (Range 4-166,6). In 60,4% der Fälle wurde die Konsolidierung anhand eines CTs und in 39,6% der Fälle anhand von Röntgenbildern bestimmt.

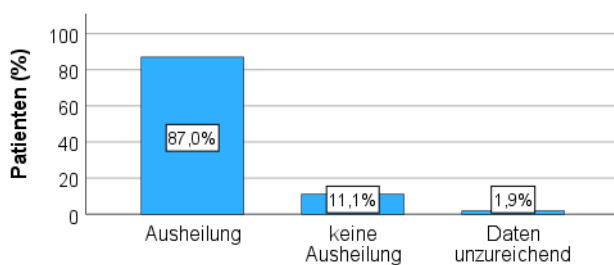


Abb. 24: Konsolidierungsrate in der Fragebogen- und Nachuntersuchungsgruppe.

Karpale Stellung und Lateraler intraskaphoidaler Winkel

Die postoperative karpale Stellung gemessen anhand des SL- und RL-Winkels war bei 37% (N=60) pathologisch verändert im Sinne einer DISI oder VISI, bei 57,4% (N=93) waren die Winkel im Normbereich. Bei 5,6% (N=9) war eine Beurteilung nicht möglich.

Bei der Auswertung auf Malunion zeigte sich bei 10 Patienten (6,2%) postoperativ ein LISA $>45^\circ$, wohingegen bei 106 Patienten (65,4%) der LISA $<45^\circ$ war. Bei 46 Patienten (28,4%) war aufgrund nicht vorhandener CT-Scans eine Beurteilung nicht möglich.⁹⁷

Postoperative Arthrose

Anhand der postoperativen Bildgebung wurden bei 157 Probanden arthrotische Veränderungen in der Fossa scaphoidea, der Fossa lunata sowie dem Mediokarpalgelenk untersucht und anhand des Kellgren-Lawrence-Scores in Schweregrade (mögliche Werte von 0-4) eingruppiert. Die Summe der jeweils getrennt voneinander bestimmten Arthrosegrade lag über alle Patienten gemittelt bei 1,14, der Median lag bei 1 mit einer Range von 0 bis 6 (IQR 0-2).⁹⁷ Bei 43,3% wurde der Wert 0 erreicht. Bei 5 Probanden war die Beurteilung der Arthrose aufgrund unzureichend vorliegender Daten nicht möglich.

Im Mittel fand die Arthrosebestimmung 51,12 Monate nach dem rekonstruktiven Eingriff statt (Range 4-179,1).

DASH-, SF36-, Green and O'Brien-Score und Schmerzstärke

Die Ergebnisse der Scores und der Schmerzangaben (anhand NRS) sind in der Tab. 7 erfasst.

Da ein Proband weder den DASH- noch den SF36-Fragebogen zurücksendete, ergab sich beim DASH-Modul 1 und SF36-Fragebogen N=161.

Ebenso kam es bei den DASH-Modulen 2 und 3 aufgrund ihrer Optionalität zu kleineren Populationsgrößen (Modul 2: N=128, Modul 3: N=142).

Beim Green and O'Brien-Score modifiziert nach Cooney entsprach die Populationsgröße der Gruppe der Patienten, die zur Nachuntersuchung gekommen waren (N=139).

Darüber hinaus gab es einen Probanden, der auf dem Patientenfragebogen Operative Kahnbeinpseudarthrosebehandlung keine Angabe zu Frage A (Schmerzen) getätigt hatte, daher kam es bezüglich der Ruhe- und Belastungsschmerzen ebenfalls zu einer Gesamtgröße von N=161.

Tab. 7: Ergebnisse des DASH-, SF36-Fragebogens, Green and O'Brien-Scores und der Schmerzen.

Variable	Parameter	Gesamt (N=161)
DASH: Modul 1 (Funktionsfähigkeit)	N	161
	Mittelwert (SD)	7,54 (10,08)
	Range	0-66,67
DASH: Modul 2 (Sport/Musik)	N	128
	Mittelwert (SD)	16,11 (20,83)
	Range	0-93,75
DASH: Modul 3 (Beruf)	N	142
	Mittelwert (SD)	7,57 (15,63)
	Range	0-87,5
SF36: Physische Gesundheit	N	161
	Mittelwert (SD)	90,22 (19,16)
	Median (Q1-Q3)	95 (90-100)
	Range	5-100
SF36: Eingeschränkte physisch-bedingte Rollenfunktion	N	161
	Mittelwert (SD)	89,6 (26,45)
	Range	0-100
SF36: Eingeschränkte emotional-bedingte Rollenfunktion	N	161
	Mittelwert (SD)	88,61 (26,9)
	Range	0-100
SF36: Vitalität	N	161
	Mittelwert (SD)	63,07 (18,66)
	Range	0-100
SF36: Mentale Gesundheit	N	161
	Mittelwert (SD)	77,22 (16,04)
	Range	16-100
SF36: Soziale Funktionsfähigkeit	N	161
	Mittelwert (SD)	90,06 (19,17)
	Range	12,5-100
SF36: Körperliche Schmerzen	N	161
	Mittelwert (SD)	83,66 (19,58)
	Range	20-100
SF36: Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	N	161
	Mittelwert (SD)	77,58 (16,74)
	Range	20-100
SF36: Veränderung im Gesundheitszustand	N	161
	Mittelwert (SD)	55,75 (21,33)
	Range	0-100
Green and O'Brien Score: Punktwert	N	139
	Mittelwert (SD)	77,01 (9,51)
	Range	50-100

Variable	Parameter	Gesamt (N=161)
Green and O'Brien Score: Note	Ausgezeichnet	9,9% (N=16)
	Gut	28,4% (N=46)
	Ausreichend	41,4% (N=67)
	Mangelhaft	6,2% (N=10)
	Keine Daten	14,2% (N=23)
Ruheschmerzen (NRS)	N	161
	Mittelwert (SD)	0,42 (1,12)
	Range	0-6
Belastungsschmerzen (NRS)	N	161
	Mittelwert (SD)	2,69 (2,32)
	Range	0-9

*DASH: Disabilities of Arm, Shoulder and Hand-Fragebogen; SF36: RAND 36-Item Short Form Survey Version 1.0 Fragebogen; NRS: Numerische Rating Skala; SD: Standardabweichung
Modifizierte Tabelle nach Rachunek-Medved K et al. (2024). Patient-reported outcomes and comprehensive assessment of wrist function after scaphoid reconstruction: A single-center retrospective study on 162 patients. J Plast Reconstr Aesthet Surg. 99:297-309.⁹⁷*

DASH-Score

Beim DASH-Fragebogen waren die stärksten Einschränkungen in Modul 2 zu verzeichnen, bei dem die Patienten Angaben bezogen auf Einschränkungen im Bereich der Sportausübung oder des Spielens eines Instruments machten. Hier wurden im Vergleich zu den anderen Modulen der höchste Durchschnittswert (16,11), der höchste Median (6,25) sowie der höchste Wert generell erreicht (Range 0-93,75).

Bei Modul 1 mit Fragen zur allgemeinen Funktionsfähigkeit der oberen Extremität lagen die Werte zwischen 0 und 66,67 mit einem Durchschnittswert von 7,54 und einem Median von 4,17. Das Arbeits- und Berufs-Modul 3 ergab im Mittel einen Wert von 7,57 mit einer Spanne von 0 bis 87,5 und einem Median von 0.

Eine maximale Einschränkung wurde von den Probanden in keiner Kategorie erreicht (Tab. 7).⁹⁷

In folgender Abb. 25 sind die durchschnittlich erreichten DASH-Werte abgebildet.

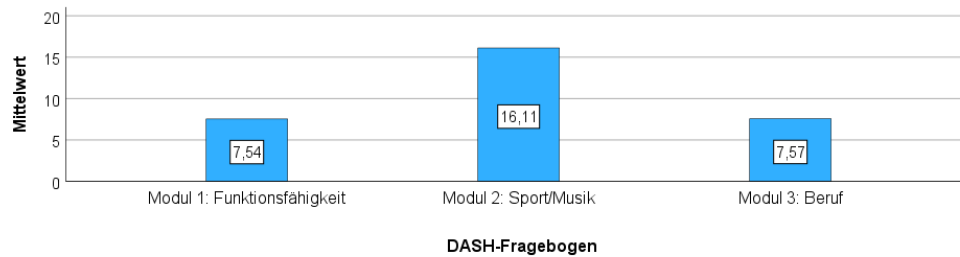


Abb. 25: DASH. Die höchsten Werte und damit größten Einschränkungen wurden im Modul 2 (Sport/Musik) erreicht.

DASH: Disabilities of Arm, Shoulder and Hand-Fragebogen

SF36

Beim SF36 mit Fragen zum allgemeinen Gesundheitszustand ließen sich im Bereich Vitalität (Fragen zu Schwunghaftigkeit, Energie, Erschöpftheitsgefühl, Müdigkeit) und Veränderung im Gesundheitszustand (im Vergleich zum vergangenen Jahr) die niedrigsten Durchschnittswerte und damit größten Einschränkungen feststellen (Tab. 7).

Die Durchschnittswerte der 9 Unterkategorien sind in der folgenden Grafik (Abb. 26) dargestellt.

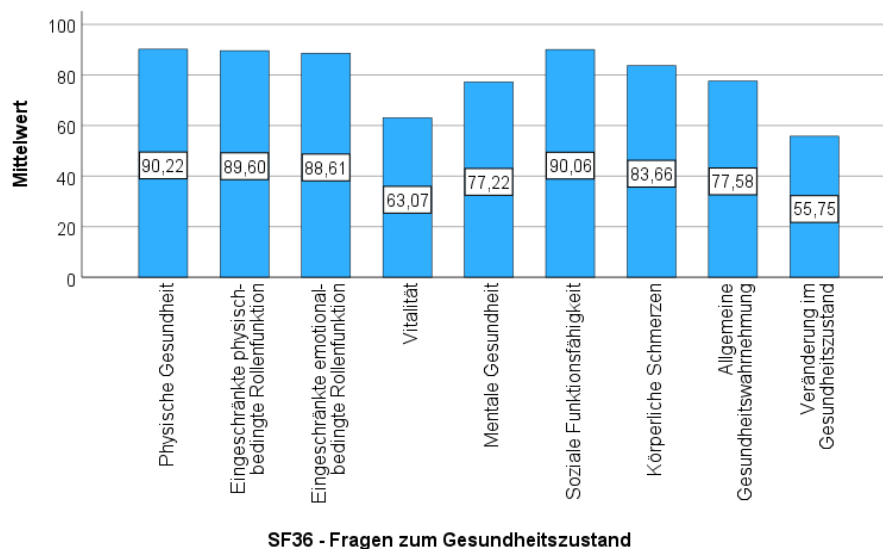


Abb. 26: SF36. Die niedrigsten Werte und damit größten Einschränkungen lagen bei den Items Vitalität und Veränderung im Gesundheitszustand.

SF36: RAND 36-Item Short Form Survey Version 1.0 Fragebogen

Green and O'Brien Score modifiziert nach Cooney

Beim Green and O'Brien Score modifiziert nach Cooney ergaben sich durchschnittlich 77,01 Punkte (Tab. 7), was im oberen Bereich der Note Ausreichend (=65-79 P.) zu verorten ist.⁹⁷ Der Median lag mit 75 P. ebenfalls im Bereich Ausreichend. 50% der Patienten erreichten Werte im Bereich von 75-85 P. entsprechend dem Interquartilsabstand.

Im folgenden Säulendiagramm (Abb. 27) ist die Verteilung der Noten dargestellt.

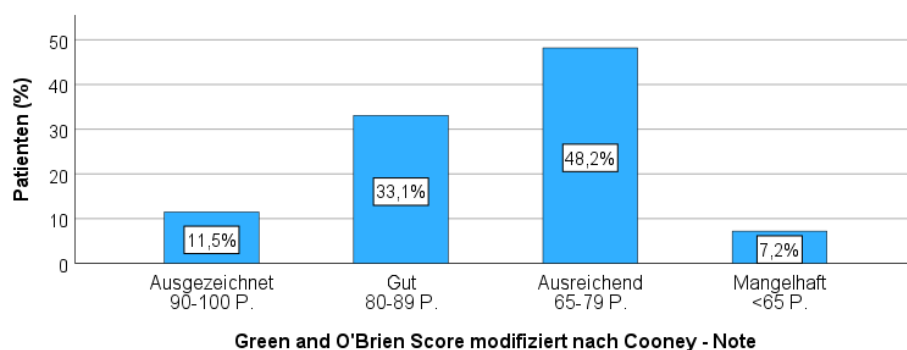


Abb. 27: Green and O'Brien Score modifiziert nach Cooney. Durchschnitt (77,01 P.) und Median (75 P.) lagen im Bereich der Note Ausreichend. IQR 75-85 P.

Schmerzstärke (NRS)

Die Studienteilnehmenden (N=161) gaben bezogen auf die letzte Woche im Mittel eine Schmerzstärke (anhand NRS) am Handgelenk von 0,42 in Ruhe an, davon gaben mindestens 75% eine Stärke von 0 an. Bei Belastung gaben die Patienten durchschnittlich eine Schmerzhöhe von 2,69 an (Tab. 7).

Der geringste Schmerz lag in Ruhe sowie unter Belastung bei 0. Der maximale Schmerz lag in Ruhe bei 6, bei Belastung ging die maximale Schmerzstärke bis zu einem Wert von 9.⁹⁷

Rückkehr in den vorher ausgeübten Beruf

Bei der Auswertung der Fragebögen (N=162) zeigte sich, dass zwar der Großteil der Patienten wieder in den vorher ausgeübten Beruf zurückkehren konnte (81,5%), jedoch fast 5% der Patienten dies nicht mehr konnten (Abb. 28).

Darunter waren 2 Kellner, ein Forstwirt, ein Lagerist, ein Metallbauer, ein KFZ-Mechatroniker und ein Elektroinstallateur.⁹⁷

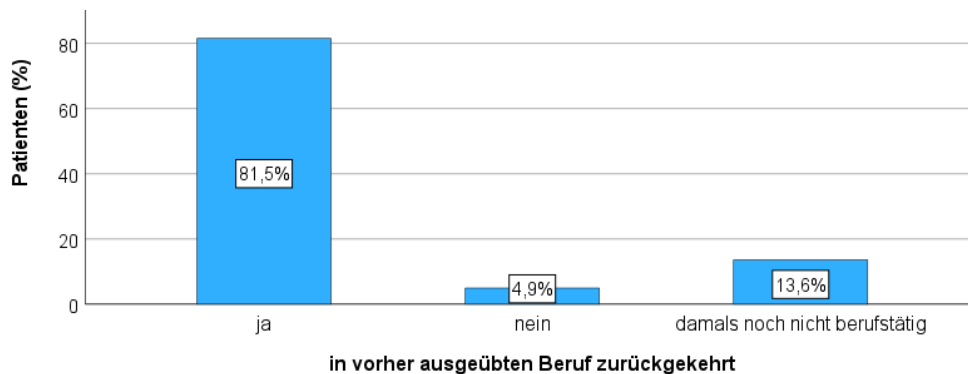


Abb. 28: 4,9% der Patienten war keine Rückkehr in den vorher ausgeübten Beruf mehr möglich.

Klinische Nachuntersuchung der Kraft und Beweglichkeit

Die wichtigsten Ergebnisse erhoben im Rahmen der Nachuntersuchung befinden sich in der folgenden Tab. 8 und werden in den weiteren Textabschnitten detailliert dargestellt.

Tab. 8: Deskriptive Ergebnisse der Kraft- und Beweglichkeitsmessungen erhoben im Rahmen der Nachuntersuchung.

Variable	Parameter	Gesamt (N=139)
gem. Std.-Höchstkraft [kg]	N	139
	Mittelwert (SD)	42,49 (10,78)
	Range	4,5-61,3
10-sec-Spitzenkraft [kg]	N	139
	Mittelwert (SD)	39,44 (10,41)
	Range	3,7-61
gem. Std.-Höchstkraft [betroffen/gesund in %]	N	139
	Mittelwert (SD)	94,01 (20,3)
	Range	48,61-154,3
gem. Std.-Höchstkraft [betroffen/Norm in %]	N	138
	Mittelwert (SD)	85,93 (21,17)
	Range	8,8-157,7
10-sec-Spitzenkraft [betroffen/gesund in %]	N	139
	Mittelwert (SD)	98,85 (53,31)
	Range	52,38-564,29
E/F [°]	N	139
	Mittelwert (SD)	115,97 (21,77)
	Range	46-164
U/R [°]	N	139
	Mittelwert (SD)	41,9 (9,41)
	Range	18-76

Variable	Parameter	Gesamt (N=139)
P/S [°]	N	139
	Mittelwert (SD)	171,23 (10,17)
	Range	113-188
cROM [°]	N	139
	Mittelwert (SD)	329,1 (34,32)
	Range	177-395
E/F [betroffen/gesund in %]	N	139
	Mittelwert (SD)	84,36 (17,69)
	Range	39,69-175,51
U/R [betroffen/gesund in %]	N	139
	Mittelwert (SD)	80,73 (21,1)
	Range	31,43-159,46
P/S [betroffen/gesund in %]	N	139
	Mittelwert (SD)	99,14 (6,67)
	Range	66,47-135,48
cROM [betroffen/gesund in %]	N	139
	Mittelwert (SD)	90,44 (10,19)
	Range	54,63-125,48

gem. Std.-Höchstkraft: gemittelte Standard-Höchstkraft; 10-sec-Spitzenkraft: 10-Sekunden-Spitzenkraft; E/F: Extension/Flexion; U/R: Ulnar-/Radialdeviation; P/S: Pro-/Supination; cROM: kompletter Bewegungsumfang (E/F + U/R + P/S)

Modifizierte Tabelle nach Rachunek-Medved K et al. (2024). Patient-reported outcomes and comprehensive assessment of wrist function after scaphoid reconstruction: A single-center retrospective study on 162 patients. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 99:297-309.⁹⁷

Kraft

Die Auswertung der im Vorfeld der Nachuntersuchung ausgefüllten Fragebögen (N=162) ergab, dass 37,4% der Patienten subjektiv einen Kraftunterschied der operierten Hand zur anderen Hand wahrnahmen.

Dies ist im hier abgebildeten Kreisdiagramm (Abb. 29) zu sehen.

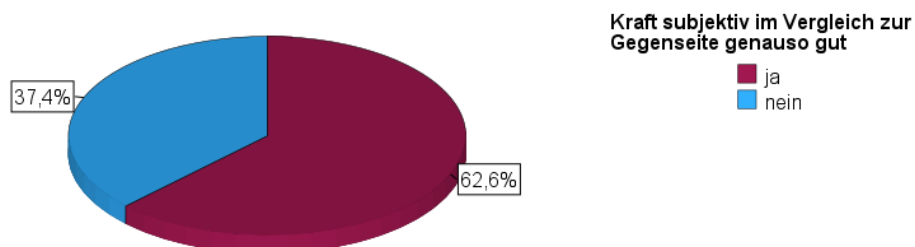


Abb. 29: Der Großteil der Patienten nimmt keinen Kraftunterschied zwischen betroffener und gesunder Hand wahr.

Im Rahmen der objektiven Messungen während der Nachuntersuchung (N=139) wurden die gemittelte Standard-Höchstkraft (gem. Std.-Höchstkraft) sowie die Spitzenkraft über 10 Sekunden (10-sec-Spitzenkraft) erhoben.

Bezogen auf die betroffene Seite lag der Durchschnitt der gem. Std.-Höchstkraft bei 42,49 kg und damit sehr nahe am Mittelwert der 10-sec-Spitzenkraft (39,44 kg) (Tab. 8).⁹⁷

Anschließend wurden die Werte der erkrankten Seite zu Werten der gesunden Seite und zu Normwerten in Relation gesetzt.

Beim Vergleich der Messungen der gem. Std.-Höchstkraft erreichten die Probanden mit der betroffenen Hand im Mittel 94,01% (Median = 89,79%) der gesunden und wiesen somit ein durchschnittliches Defizit von 5,99% auf.

Bei der 10-sec-Spitzenkraft wurden durchschnittlich 98,85% der gesunden Hand erreicht, was ein Defizit von 1,15% bedeutet. Bei einem Median von 91,7% spricht dies für Ausreißer des Mittelwerts ins Positive, was an der Range von 52,38-564,29% deutlich wird. Tatsächlich war bei zwei Probanden ein Kraftunterschied von über 400% der gesunden gegenüber der operierten Seite gemessen worden.

Aus den hieraus gewonnen Medianen wird offensichtlich, dass mindestens 50% der Probanden gegenüber der gesunden Hand eine Einschränkung in der Kraft haben. Dies zeigt, dass mehr Patienten eine Einschränkung haben als subjektiv wahrgenommen, denn nur 37,4% hatten in den Fragebögen einen Unterschied angegeben.

Beim Vergleich der Messungen der gem. Std.-Höchstkraft mit Normwerten der gleichen Seite erreichten die Probanden durchschnittlich 85,93% der Norm (Median 85,2%).⁹⁷ Aufgrund eines technischen Fehlers des verwendeten E-LINK Handrehabilitationssystems EP11 des Herstellers Biometrics Ltd. konnten die Daten bei einem Patienten nicht erhoben werden, sodass eine Stichprobengröße von N=138 resultierte.

In den folgenden Abbildungen 30-31 sind die Kraftunterschiede aus den Messungen in 10%-Intervallen dargestellt.

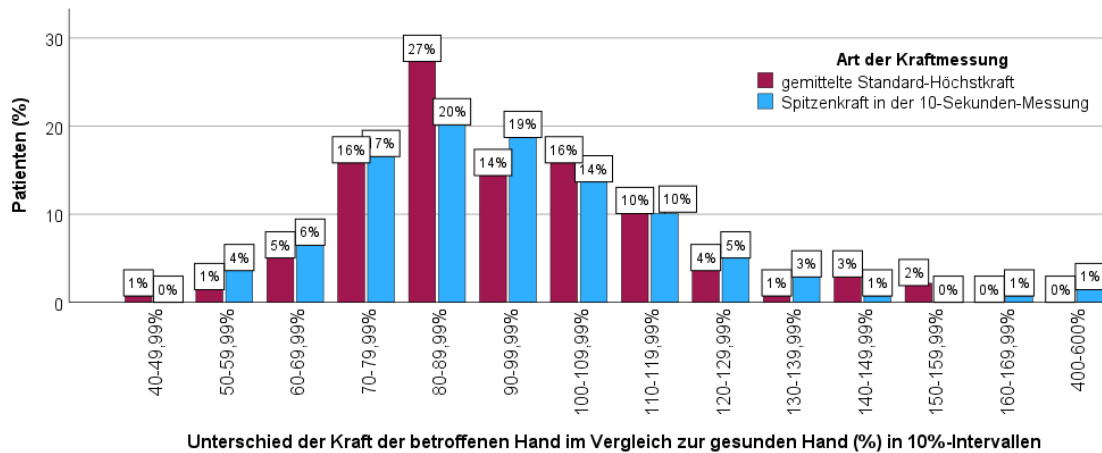


Abb. 30: Bezogen auf die gesunde Seite erreichten die Patienten mit der betroffenen Seite im Durchschnitt eine gemittelte Standard-Höchstkraft von 94,01% (Median 89,79%, Range 48,61-154,3%) und eine 10-Sekunden-Spitzenkraft von 98,85% (Median 91,7%, Range 52,38-564,29%). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde im Diagramm auf 0 Dezimalstellen gerundet.

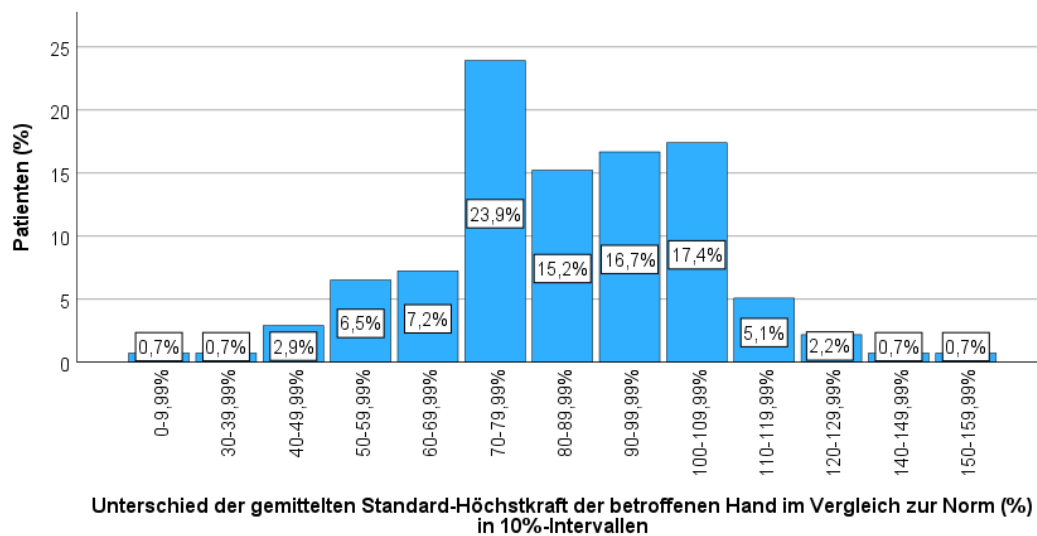


Abb. 31: Mit Bezug zu Normwerten erreichten die Patienten mit der betroffenen Hand eine gemittelte Standard-Höchstkraft von durchschnittlich 85,93% (Median 85,2%, Range 8,8-157,7%). Da sich in den Bereichen 10-29,99% und 130-139,99% keine Werte ergaben, sind diese Intervalle im Diagramm nicht dargestellt.

Bewegungsumfang

In den Fragebögen (N=162) gab eine Mehrheit von 68,8% der Patienten an, ein Beweglichkeitsdefizit bei der Beugung (Flexion), Streckung (Extension) oder Abknickung der Hand seitlich in Richtung Kleinfinger- oder Daumenseite (Ulnar-/Radialdeviation) wahrzunehmen.

Die Aufteilung ist in folgendem Kreisdiagramm (Abb. 32) veranschaulicht.

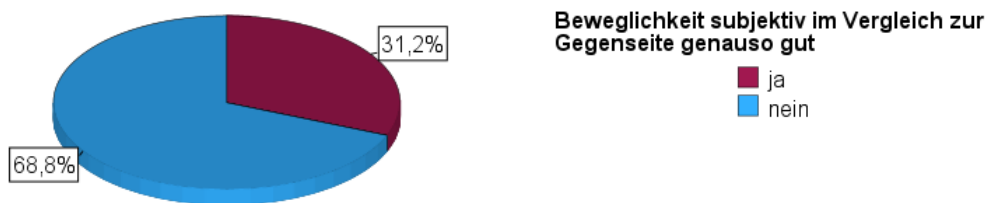


Abb. 32: Die Beweglichkeit der betroffenen Hand wurde von 2/3 der Patienten als schlechter gegenüber der gesunden Hand wahrgenommen.

Im Rahmen der objektiven Messungen während der Nachuntersuchung (N=139) ergab sich bei der U/R ein Bewegungsumfang der betroffenen Seite von durchschnittlich 41,9°, bei der E/F lag der Durchschnitt bei 115,97° und bei der P/S bei 171,23°. Für die cROM aus der Summe aller betrachteten Freiheitsgrade resultierte ein Mittelwert von 329,1° (Tab. 8).

Verglichen mit der gesunden Seite zeigte sich das geringste Beweglichkeitsdefizit der betroffenen Seite gegenüber der gesunden Seite bei der P/S. Mit einem Mittelwert von 99,14% und einem Median von 100% erreichten die Probanden nahezu die Werte der gesunden Seite. Bei der E/F (Mittelwert 84,36%, Median 85,21%) und bei der U/R (Mittelwert 80,73%, Median 79,59%) waren die Bewegungsausmaße um 15,64% bzw. 19,27% gegenüber der gesunden Seite verringert. Bezogen auf alle Freiheitsgrade zusammen (cROM) bedeutet dies eine Beweglichkeitseinschränkung von 9,54% (Mittelwert 90,44%, Median 90,89%).⁹⁷

Die prozentualen Verteilungen sind in Abb. 33 graphisch aufgezeigt.

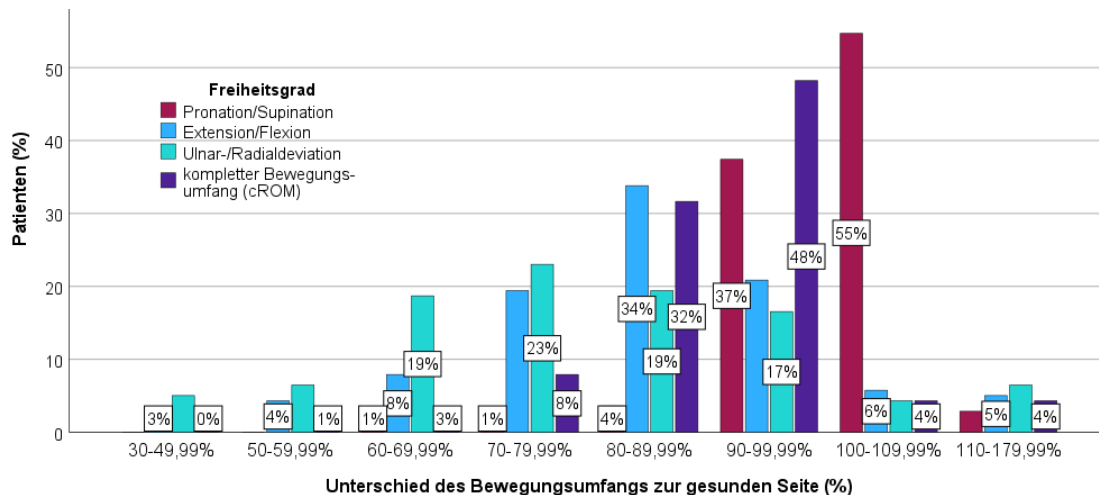


Abb. 33: Bei der P/S wurde nahezu der Bewegungsumfang der gesunden Seite erreicht (Mittelwert 99,14%, Range 66,47-135,48%). Bei der E/F (Mittelwert 84,36%, Range 39,69-175,51%) und bei der U/R (Mittelwert 80,73%, Range 31,43-159,46%) wurden Bewegungsdefizite von 15,64% bzw. 19,27% gegenüber der gesunden Seite gemessen. Die cROM lag bei durchschnittlich 90,44% (Range 54,63-125,48%). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde im Diagramm auf 0 Dezimalstellen gerundet. E/F: Extension/Flexion; U/R: Ulnar-/Radialdeviation; P/S: Pro-/Supination; cROM: kompletter Bewegungsumfang (E/F + U/R + P/S)

3.2.2 Klinisch-funktionelles Outcome in Abhängigkeit verschiedener Patientenvariablen

Konsolidierungsrate

Im Mann-Whitney-U-Test ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Konsolidierung und den Ergebnissen der DASH- und SF36-Fragebögen, des Green and O'Brien Scores, den Schmerzen, der Kraft oder der Beweglichkeit.⁹⁷

Geschlecht

Geschlechtsabhängig zeigten sich bei Frauen im Mann-Whitney-U-Test statistisch signifikant höhere Ergebnisse im DASH-Modul 1 (Funktionsfähigkeit, $p=0,03$), in der absoluten Beweglichkeit in E/F ($p=0,04$), U/R ($p=0,04$), P/S ($p=0,02$) und in der cROM ($p=0,01$). Männer hingegen wiesen signifikant höhere Ergebnisse in der absoluten gem. Std.-Höchstkraft ($p<0,001$), in der absoluten 10-sec-Spitzenkraft ($p<0,001$) und in den SF-36 Kategorien Eingeschränkte

emotional-bedingte Rollenfunktion ($p=0,046$), Vitalität ($p<0,001$) und Mentale Gesundheit ($p<0,001$) auf.⁹⁷ Übersichtlich ist dies in Tab. 9 dargestellt.

Tab. 9: Zusammenhang zwischen Geschlecht und ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen (Mann-Whitney-U-Test).

Variable	Parameter	Männlich (N=147)	Weiblich (N=15)	p-Wert (Mann-Whitney-U-Test)
DASH: Modul 1 (Funktionsfähigkeit)	N	147	14	0,0254
	Mittelwert (SD)	6,92 (9,56)	14,08 (13,12)	
	Median (Q1-Q3)	3,33 (0,83-9,17)	10,62 (5,83-19,58)	
	Range	0-66,67	0-44,17	
SF36: Eingeschränkte emotional-bedingte Rollenfunktion	N	147	14	0,0462
	Mittelwert (SD)	90,48 (23,73)	69,05 (46,16)	
	Median (Q1-Q3)	100 (100-100)	100 (16,68-100)	
	Range	0-100	0-100	
SF36: Vitalität	N	147	14	<0,001
	Mittelwert (SD)	64,63 (17,99)	46,79 (18,36)	
	Median (Q1-Q3)	65 (55-75)	52,5 (40-55)	
	Range	0-100	5-70	
SF36: Mentale Gesundheit	N	147	14	<0,001
	Mittelwert (SD)	78,69 (14,91)	61,71 (19,64)	
	Median (Q1-Q3)	80 (72-88)	68 (49-72)	
	Range	24-100	16-88	
gem. Std.-Höchstkraft [kg]	N	126	13	<0,001
	Mittelwert (SD)	44,23 (9,55)	25,59 (6,7)	
	Median (Q1-Q3)	42,95 (38,12-50,95)	24,3 (20,2-32,4)	
	Range	4,5-61,3	16,2-37,1	
10-sec-Spitzenkraft [kg]	N	126	13	<0,001
	Mittelwert (SD)	41,02 (9,44)	24,15 (6,17)	
	Median (Q1-Q3)	41,95 (35,2-47,27)	22,9 (19,4-28,3)	
	Range	3,7-61	15,4-34	
E/F [°]	N	126	13	0,0388
	Mittelwert (SD)	114,81 (21,94)	127,23 (16,76)	
	Median (Q1-Q3)	117,5 (105-128)	126 (118-137)	
	Range	46-164	90-153	
U/R [°]	N	126	13	0,0422
	Mittelwert (SD)	41,51 (9,58)	45,69 (6,71)	
	Median (Q1-Q3)	40 (36-46,75)	44 (41-49)	
	Range	18-76	37-60	
P/S [°]	N	126	13	0,0155
	Mittelwert (SD)	170,7 (10,48)	176,38 (3,64)	
	Median (Q1-Q3)	174 (168-177)	177 (175-179)	
	Range	113-188	168-180	
cROM [°]	N	126	13	0,0119
	Mittelwert (SD)	327,02 (34,86)	349,31 (19,91)	
	Median (Q1-Q3)	329,5 (314-352,5)	353 (335-362)	
	Range	177-395	316-386	

DASH: Disabilities of Arm, Shoulder and Hand-Fragebogen; SF36: RAND 36-Item Short Form Survey Version 1.0 Fragebogen; gem. Std.-Höchstkraft: gemittelte Standard-Höchstkraft; 10-sec-Spitzenkraft: 10-Sekunden-Spitzenkraft; E/F: Extension/Flexion; U/R: Ulnar-/Radialdeviation; P/S: Pro-/Supination; cROM: kompletter Bewegungsumfang (E/F + U/R + P/S); Q1-Q3: 1.-3. Quartil; SD: Standardabweichung

Pseudarthrosenlokalisierung

In Abhängigkeit der Pseudarthrosenlokalisierung konnte im DASH-Modul 2 (Sport/Musik) ein signifikanter Unterschied (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,0046$) errechnet werden, der im Dunn-Test signifikant höhere Werte bei distaler Lokalisation im Unterschied zur Lokalisation im mittleren Drittel ($p=0,00016$) und proximalen Drittel ($p=0,0049$) bestätigte. Der Unterschied zwischen dem mittleren und proximalen Drittel war nicht signifikant ($p=1$).

OP-Typ

In Zusammenhang mit dem OP-Typen ergaben sich im Kruskal-Wallis-Test für 13 Variablen statistisch signifikante Unterschiede, welche sich im Dunn-Test alle außer für das DASH-Modul 1 bestätigten.

Die Ergebnisse des Kruskal-Wallis- und Dunn-Tests sind in den Tabellen 10 und 11 übersichtlich dargestellt. Die 12 Variablen, für die sich signifikante Unterschiede ergaben, werden in den Textabschnitten darunter nochmals separat analysiert.

Tab. 10: Zusammenhang zwischen OP-Typ und ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen (Kruskal-Wallis-Test).

Variable	Parameter	nVBG (N=118)	pVBG (N=36)	fVBG (N=8)	p-Wert (Kruskal-Wallis-Test)
DASH: Modul 1 (Funktionsfähigkeit)	N	117	36	8	0,0275
	Mittelwert (SD)	6,01 (7,36)	9,38 (9,75)	21,67 (25,72)	
	Median	3,33	7,5	7,5	
	Range	0-37,5	0-44,17	1,67-66,67	
DASH: Modul 2 (Sport/Musik)	N	96	27	5	0,0043
	Mittelwert (SD)	11,91 (16,6)	26,85 (23,24)	38,75 (43,39)	
	Median	0	31,25	25	
	Range	0-81,25	0-81,25	0-93,75	
DASH: Modul 3 (Beruf)	N	102	32	8	0,0405
	Mittelwert (SD)	5,7 (12,19)	8,2 (15,51)	28,91 (33,73)	
	Median	0	0	15,62	
	Range	0-75	0-56,25	0-87,5	
SF36: Mentale Gesundheit	N	117	36	8	0,0335
	Mittelwert (SD)	78,94 (14,26)	75 (18,75)	62 (20,28)	

Variable	Parameter	nVBG (N=118)	pVBG (N=36)	fVBG (N=8)	p-Wert (Kruskal-Wallis-Test)
	Median	80	82	62	
	Range	16-100	24-100	40-100	
Green and O'Brien: Punktwert	N	100	34	5	0,0241
	Mittelwert (SD)	78,3 (9,33)	73,97 (9,19)	72 (10,95)	
	Median	80	75	75	
	Range	50-100	50-90	55-85	
Belastungsschmerzen (NRS)	N	117	36	8	<0,001
	Mittelwert (SD)	2,18 (1,97)	4,04 (2,44)	4,19 (3,57)	
	Median	2	4	4,5	
	Range	0-8	0-7,5	0-9	
gem. Std.-Höchstkraft [betroffen/Norm in %]	N	100	33	5	0,0217
	Mittelwert (SD)	88,85 (21,15)	78,02 (19,31)	79,72 (22,72)	
	Median	91,2	78,3	75,8	
	Range	37,6-157,7	8,8-120,5	56,1-116,8	
E/F [°]	N	100	34	5	<0,001
	Mittelwert (SD)	121,7 (19,21)	103,85 (19,91)	83,8 (24,21)	
	Median	124	105,5	83	
	Range	46-164	59-138	52-118	
U/R [°]	N	100	34	5	0,0023
	Mittelwert (SD)	43,44 (9,94)	38,26 (6,5)	35,8 (6,83)	
	Median	42,5	38	37	
	Range	18-76	22-55	25-44	
cROM [°]	N	100	34	5	<0,001
	Mittelwert (SD)	336,53 (32,96)	314,24 (27,48)	281,6 (37,91)	
	Median	341,5	317,5	285	
	Range	177 - 395	255-357	223-318	
E/F [betroffen/gesund in %]	N	100	34	5	<0,001
	Mittelwert (SD)	88,43 (14,28)	76,08 (21,05)	59,09 (17,35)	
	Median	87,66	75,09	54,81	
	Range	42,36-147,22	40,69-175,51	39,69-86,76	
U/R [betroffen/gesund in %]	N	100	34	5	0,0051
	Mittelwert (SD)	83,78 (21,09)	74,12 (19,36)	64,54 (18,04)	
	Median	80,99	72,85	62,07	
	Range	33,33-159,46	31,43-142,86	43,1-91,67	
cROM [betroffen/gesund in %]	N	100	34	5	<0,001
	Mittelwert (SD)	92,66 (9,55)	86,04 (9,1)	76,01 (9,55)	
	Median	92,18	85,43	75,6	
	Range	54,63-125,48	65,55-120,98	60,76-84,8	

n/p/fVBG: nicht/gestiehl/frei vaskularisiertes Transplantat; DASH: Disabilities of Arm, Shoulder and Hand-Fragebogen; SF36: RAND 36-Item Short Form Survey Version 1.0 Fragebogen; NRS: Numerische Rating Skala; gem. Std.-Höchstkraft: gemittelte Standard-Höchstkraft; E/F: Extension/Flexion; U/R: Ulnar-/Radialdeviation; cROM: kompletter Bewegungsumfang (E/F + U/R + P/S); SD: Standardabweichung

Tab. 11: Zusammenhang zwischen OP-Typ und ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen (Dunn-Test).

Variable	Verglichene OP-Typen		p-Wert (Dunn-Test)
DASH: Modul 2 (Sport/Musik)	nVBG	fVBG	0,2253
	nVBG	pVBG	0,0029
	pVBG	fVBG	1
DASH: Modul 3 (Beruf)	nVBG	fVBG	0,0176
	nVBG	pVBG	0,8465
	pVBG	fVBG	0,0612
SF36: Mentale Gesundheit	nVBG	fVBG	0,0143
	nVBG	pVBG	0,8275
	pVBG	fVBG	0,0495
Green and O'Brien Score: Punktwert	nVBG	fVBG	0,2449
	nVBG	pVBG	0,0194
	pVBG	fVBG	1
Belastungsschmerzen (NRS)	nVBG	fVBG	0,12
	nVBG	pVBG	<0,001
	pVBG	fVBG	1
gem. Std.-Höchstkraft [betroffen/Norm in %]	nVBG	fVBG	0,364
	nVBG	pVBG	0,0132
	pVBG	fVBG	1
E/F [°]	nVBG	fVBG	0,0021
	nVBG	pVBG	<0,001
	pVBG	fVBG	0,3239
U/R [°]	nVBG	fVBG	0,0733
	nVBG	pVBG	0,0031
	pVBG	fVBG	0,813
cROM [°]	nVBG	fVBG	0,0016
	nVBG	pVBG	<0,001
	pVBG	fVBG	0,2097
E/F [betroffen/gesund in %]	nVBG	fVBG	0,0013
	nVBG	pVBG	<0,001
	pVBG	fVBG	0,4477
U/R [betroffen/gesund in %]	nVBG	fVBG	0,0447
	nVBG	pVBG	0,0125
	pVBG	fVBG	0,4863
cROM [betroffen/gesund in %]	nVBG	fVBG	<0,001
	nVBG	pVBG	<0,001
	pVBG	fVBG	0,1754

n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat; DASH: Disabilities of Arm, Shoulder and Hand-Fragebogen; SF36: RAND 36-Item Short Form Survey Version 1.0 Fragebogen; NRS: Numerische Rating Skala; gem. Std.-Höchstkraft: gemittelte Standard-Höchstkraft; E/F: Extension/Flexion; U/R: Ulnar-/Radialdeviation; cROM: kompletter Bewegungsumfang (E/F + U/R + P/S); SD: Standardabweichung

Wie den Tabellen zu entnehmen ist, ergaben sich

- bei Verwendung von nVBG im Gegensatz zu pVBG signifikant niedrigere Werte im DASH-Modul 2 (Sport/Musik, Dunn-Test, $p=0,0029$) sowie bei Verwendung von nVBG im Gegensatz zu fVBG signifikant niedrigere Werte im DASH-Modul 3 (Beruf, Dunn-Test, $p=0,0176$) und
- bei Verwendung von nVBG und pVBG im Gegensatz zu fVBG jeweils signifikant höhere Werte in der SF36-Kategorie Mentale Gesundheit (Dunn-Test, p-Werte in Tab. 11).

Bei Verwendung von nVBG im Gegensatz zu pVBG ließen sich zudem beim Green and O'Brien Score signifikant höhere Punktwerte feststellen (Dunn-Test, $p=0,0194$).

Weitere signifikanten Unterschiede im Rahmen des Green and O'Brien Scores ließen sich nicht berechnen, jedoch wies die Gruppe mit fVBG die niedrigste durchschnittliche Punktzahl auf (Abb. 34).

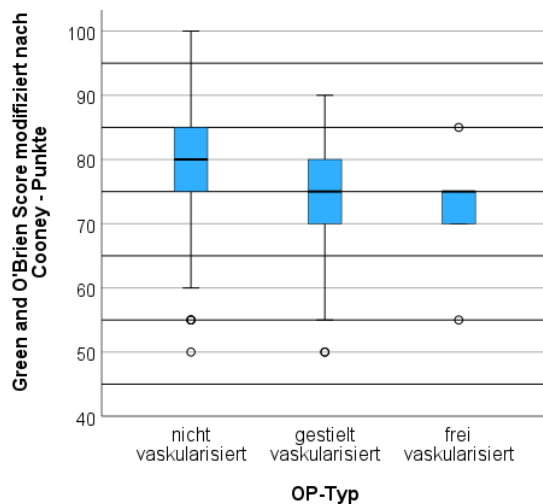


Abb. 34: Green and O'Brien Score modifiziert nach Cooney in Zusammenhang mit dem OP-Typ. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe nVBG vs. pVBG (Dunn-Test, $p=0,0194$).
n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat

Des Weiteren ergaben sich bei Verwendung von nVBG im Gegensatz zu pVBG signifikant niedrigere Werte bei Belastungsschmerzen (Dunn-Test, $p < 0,001$). Es ließen sich darüber hinaus keine weiteren signifikanten Unterschiede im Rahmen der Ruhe- oder Belastungsschmerzangaben berechnen (Abb. 35-36).

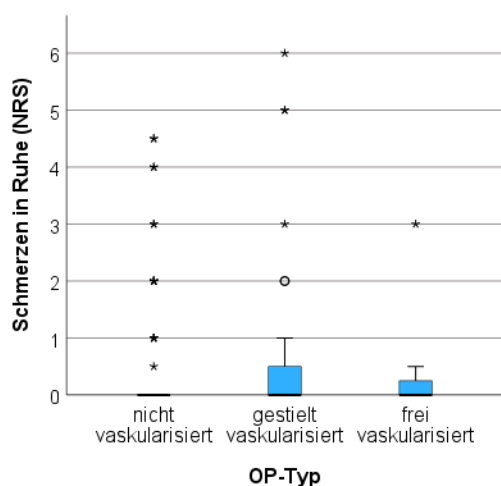


Abb. 35: Schmerzen in Ruhe getrennt nach OP-Typ. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,2195$). NRS: Numerische Rating Skala

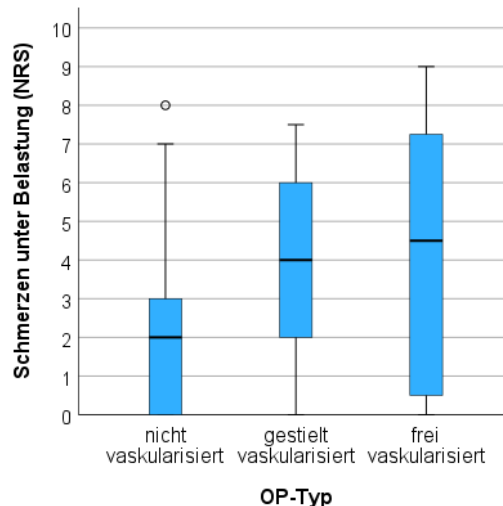


Abb. 36: Schmerzen bei Belastung getrennt nach OP-Typ. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe nVBG vs. pVBG (Dunn-Test, $p < 0,001$). NRS: Numerische Rating Skala; n/pVBG: nicht/gestielt vaskularisiertes Transplantat

Außerdem ergaben sich bei Verwendung von nVBG im Gegensatz zu pVBG signifikant höhere Werte in der gem. Std.-Höchstkraft (betroffen/Norm) (Dunn-Test, $p=0,0132$). Weitere signifikanten Unterschiede im Rahmen der Kraftmessungen ließen sich nicht berechnen.

In den folgenden Boxplots (Abb. 37-39) sind die relativen Kraftmessungen in Abhängigkeit der 3 verschiedenen OP-Typen dargestellt.

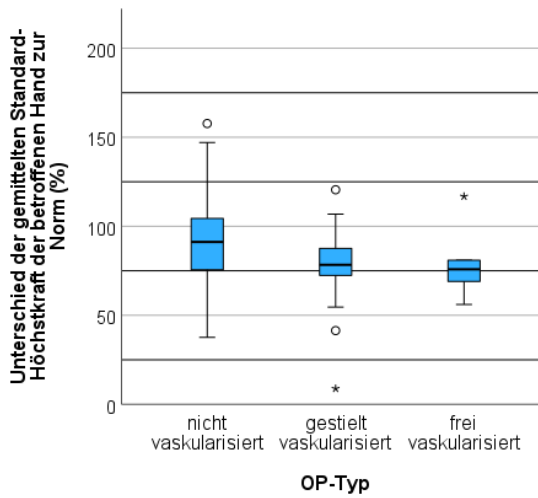


Abb. 37: Der Kraftunterschied prozentual zur Norm zwischen nVBG und pVBG war signifikant (Dunn-Test, $p=0,0132$).
Mittelwerte: nVBG 88,9%, pVBG 78,02%, fVBG 79,7%
n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat

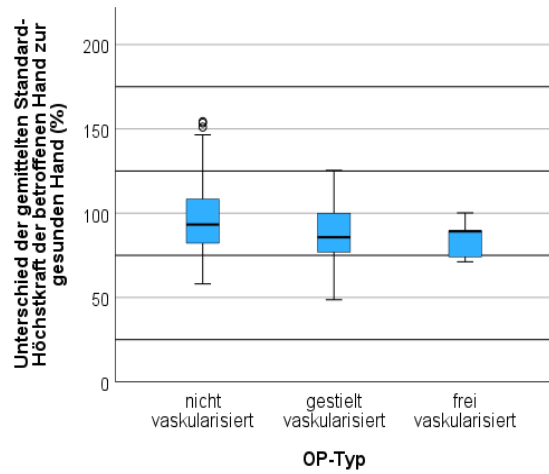


Abb. 38: Signifikante Unterschiede zwischen der gem. Std.-Höchstkraft (betroffen/gesund) und dem OP-Typ konnten nicht gezeigt werden (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,0842$). Jedoch ließ sich eine Tendenz zu höheren Werten in der Gruppe nVBG feststellen.
Mittelwerte: nVBG 96,6%, pVBG 87,8%, fVBG 84,8%
n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat

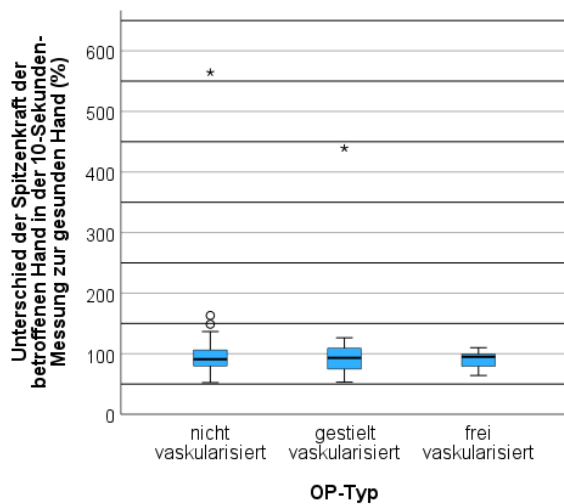


Abb. 39: Auch zwischen der Spitzenkraft aus der 10-sec-Messungen (betroffen/gesund) und dem OP-Typ konnte kein signifikanter Unterschied gezeigt werden (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,9611$).
Mittelwerte: nVBG 98,4%, pVBG 101,5%, fVBG 89,5%
n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat

Innerhalb der Beweglichkeitsmessungen ergaben sich folgende signifikante Unterschiede:

- Bei Verwendung von nVBG im Gegensatz zu pVBG signifikant höhere Werte in der U/R (Dunn-Test, $p=0,0031$),
- bei Verwendung von nVBG jeweils im Gegensatz zu pVBG und fVBG signifikant höhere Werte in der absoluten E/F und cROM sowie relativen U/R, E/F und cROM (jeweils betroffen/gesund) (Dunn-Test, p-Werte in Tab. 11).

Die folgenden Boxplots (Abb. 40-43) veranschaulichen die Korrelation zwischen den relativen Bewegungsausmaßen der drei Freiheitsgrade bzw. der cROM und den drei untersuchten OP-Typen. Insgesamt zeichnet sich eine absteigende Beweglichkeit von Probanden mit nVBG über pVBG nach fVBG ab.

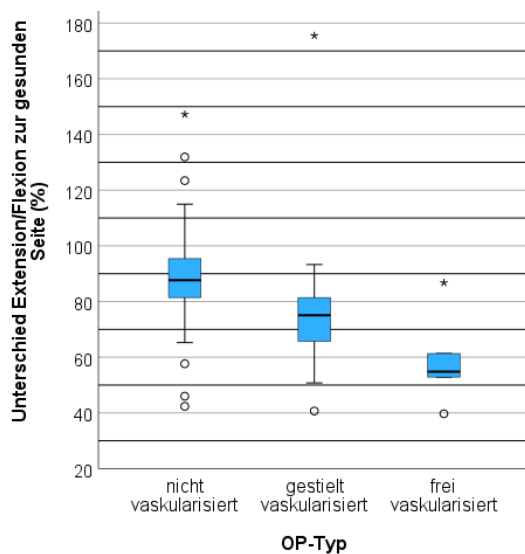


Abb. 40: Signifikante Unterschiede bei der E/F (betroffen/gesund) zwischen Bewegungsumfängen der Gruppen pVBG (Dunn-Test, $p<0,001$) und fVBG (Dunn-Test, $p=0,0013$) vs. nVBG.
Mittelwerte: nVBG 88,4%, pVBG 76,1%, fVBG 59,1%
n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat

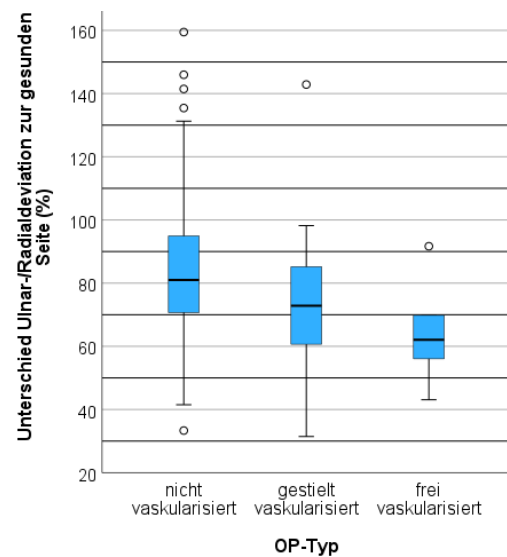


Abb. 41: Signifikante Unterschiede bei der U/R (betroffen/gesund) zwischen Bewegungsumfängen der Gruppen pVBG (Dunn-Test, $p=0,0125$) und fVBG (Dunn-Test, $p=0,0447$) vs. nVBG.
Mittelwerte: nVBG 83,8%, pVBG 74,1%, fVBG 64,5%
n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat

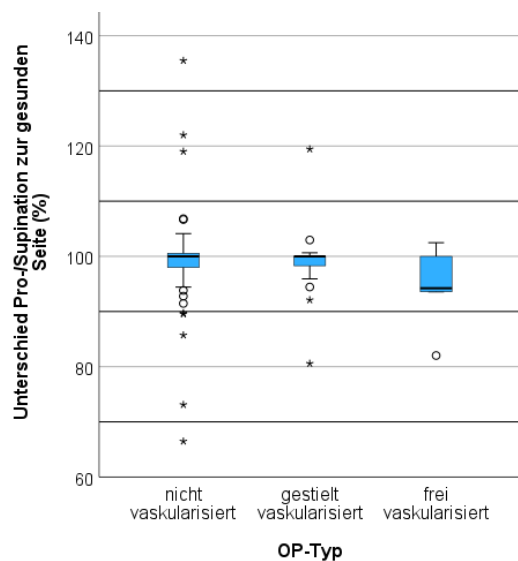


Abb. 42: Bei der P/S (betroffen/gesund) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede je nach OP-Typ (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,4258$). Mittelwerte: nVBG 99,4%, pVBG 99,2%, fVBG 94,5%
n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat

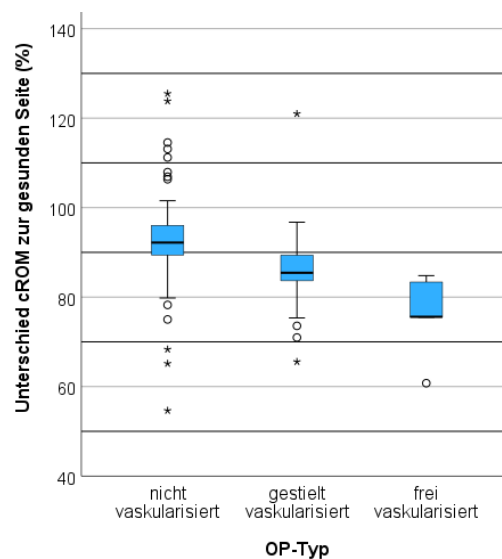


Abb. 43: Bei der cROM (betroffen/gesund) zeigten sich signifikant niedrigere Bewegungsumfänge in den Gruppen pVBG und fVBG vs. nVBG (Dunn-Test, jeweils $p<0,001$). Mittelwerte: nVBG 92,7%, pVBG 86,04%, fVBG 76,01%
n/p/fVBG: nicht/gestielt/frei vaskularisiertes Transplantat

Osteosynthese-Material

In Abhängigkeit des Osteosynthese-Materials ließen sich im Kruskal-Wallis-Test (Tab. 12) für 5 Variablen statistisch signifikante Unterschiede berechnen, welche sich alle im Dunn-Test (Tab. 13) bestätigen. Dementsprechend ergaben sich

- bei Verwendung einer Herbert-Schraube in Kombination mit K-Draht im Gegensatz zur Herbert-Schraube alleine höhere Werte im DASH-Modul 2 (Sport/Musik, $p=0,0214$) und
- bei Verwendung einer Herbert-Schraube im Gegensatz zum K-Draht höhere Werte in der absoluten E/F ($p=0,0073$) und cROM ($p=0,01$) sowie relativen E/F ($p=0,0069$) und cROM ($p=0,0047$) (jeweils betroffen/gesund).

Tab. 12: Zusammenhang zwischen Osteosynthese-Material und ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen (Kruskal-Wallis-Test).

Variable	Parameter	Schraube (N=128)	K-Draht (N=14)	Schraube + K-Draht (N=8)	Kein Fremdmaterial (N=12)	p-Wert (Kruskal-Wallis-Test)
DASH: Modul 2 (Sport/ Musik)	N	104	10	5	9	0,0128
	Mittelwert (SD)	13,1 (16,72)	34,38 (34,01)	41,25 (26)	16,67 (26,88)	
	Median (Q1-Q3)	0 (0-25)	25 (3,12-56,25)	43,75 (25-43,75)	0 (0-18,75)	
	Range	0-62,5	0-93,75	12,5-81,25	0-81,25	
E/F [°]	N	111	11	6	11	0,0019
	Mittelwert (SD)	119,62 (19,31)	95,73 (31,92)	98,17 (26,12)	109,09 (15,35)	
	Median (Q1-Q3)	121 (109-132)	92 (80-114)	90 (78,5-114,25)	111 (97-124,5)	
	Range	59-164	46-159	74-138	83-126	
cROM [°]	N	111	11	6	11	0,0046
	Mittelwert (SD)	334,32 (29,93)	296,09 (56,24)	309,17 (37,19)	320,27 (26,81)	
	Median (Q1-Q3)	335 (321-356)	311 (287,5-322,5)	292,5 (287,5-340,25)	316 (304-345)	
	Range	228-395	177-389	271-357	277-353	
E/F [betroffen /gesund in %]	N	111	11	6	11	0,0032
	Mittelwert (SD)	86,18 (15,65)	73,04 (28,55)	69,63 (15,03)	85,31 (19,74)	
	Median (Q1-Q3)	86,71 (78,02-92,94)	67,2 (58,2-81,87)	66,24 (57,02-82,21)	84,46 (78,53-90,69)	
	Range	40,69-175,51	39,69-147,22	54,81-89,03	52,87-131,91	
cROM [betroffen /gesund in %]	N	111	11	6	11	0,0025
	Mittelwert (SD)	91,61 (8,91)	82,85 (18,02)	83,87 (7,44)	89,82 (10,07)	
	Median (Q1-Q3)	91,62 (86,45-95,78)	83,38 (78,58-87,81)	85,03 (77,56-87,48)	89,82 (84,72-93,56)	
	Range	65,14-123,81	54,63-125,48	75,33-94,44	75,6-113,11	

DASH: Disabilities of Arm, Shoulder and Hand-Fragebogen; E/F: Extension/Flexion; cROM: kompletter Bewegungsumfang (E/F + U/R + P/S); SD: Standardabweichung

Tab. 13: Zusammenhang zwischen Osteosynthese-Material und ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen (Dunn-Test).

Variable	Vergleichenes Osteosynthese-Material		p-Wert (Dunn-Test)
DASH: Modul 2 (Sport/Musik)	Schraube	K-Draht	0,1289
	Schraube	Schraube + K-Draht	0,0214
	Schraube	Kein Fremdmaterial	1
	K-Draht	Schraube + K-Draht	0,9154
	K-Draht	Kein Fremdmaterial	0,4197
	Schraube + K-Draht	Kein Fremdmaterial	0,0786
E/F [°]	Schraube	K-Draht	0,0073
	Schraube	Schraube + K-Draht	0,119
	Schraube	Kein Fremdmaterial	0,1719
	K-Draht	Schraube + K-Draht	1
	K-Draht	Kein Fremdmaterial	1
	Schraube + K-Draht	Kein Fremdmaterial	1
cROM [°]	Schraube	K-Draht	0,01
	Schraube	Schraube + K-Draht	0,2437
	Schraube	Kein Fremdmaterial	0,2309
	K-Draht	Schraube + K-Draht	1
	K-Draht	Kein Fremdmaterial	1
	Schraube + K-Draht	Kein Fremdmaterial	1
E/F [betroffen/gesund in %]	Schraube	K-Draht	0,0069
	Schraube	Schraube + K-Draht	0,0603
	Schraube	Kein Fremdmaterial	1
	K-Draht	Schraube + K-Draht	1
	K-Draht	Kein Fremdmaterial	0,1689
	Schraube + K-Draht	Kein Fremdmaterial	0,312
cROM [betroffen/gesund in %]	Schraube	K-Draht	0,0047
	Schraube	Schraube + K-Draht	0,0862
	Schraube	Kein Fremdmaterial	0,8896
	K-Draht	Schraube + K-Draht	1
	K-Draht	Kein Fremdmaterial	0,3476
	Schraube + K-Draht	Kein Fremdmaterial	0,7429

DASH: Disabilities of Arm, Shoulder and Hand-Fragebogen; E/F: Extension/Flexion; cROM: kompletter Bewegungsumfang (E/F + U/R + P/S)

Karpale Stellung und Lateraler intraskaphoidaler Winkel

In Abhängigkeit der postoperativen karpalen Stellung basierend auf dem SL- und RL-Winkel ergaben sich keine signifikanten Unterschiede im klinisch-funktionellen Outcome.

Signifikante Unterschiede zwischen dem postoperativen LISA und den Scores, den Ruhe- oder Belastungsschmerzen, der Kraft oder der relativen Beweglichkeit waren ebenso wenig festzustellen. Für die absolute Beweglichkeit jedoch errechneten sich für Probanden mit einem LISA <45° mit durchschnittlich 116,49° in E/F (Mann-Whitney-U-Test, p=0,0207), 42,62° in U/R (Mann-Whitney-U-Test,

p=0,0319) und 330,48° in der cROM (Mann-Whitney-U-Test, p=0,0285) signifikant bessere Beweglichkeiten als für Probanden mit einem LISA >45°, die durchschnittlich 98,89° in der E/F, 36° in der U/R und 306,11° in der cROM erreichten.

Korrelations-Analyse nach Spearman

In der Korrelations-Analyse nach Spearman ergab sich zwischen dem Alter zum Zeitpunkt des Studienbeginns und den 6 Variablen SF36-Kategorie Allgemeine Gesundheitswahrnehmung, gem. Std.-Höchstkraft, der absoluten Beweglichkeit in E/F, U/R, P/S und cROM jeweils eine signifikante negative Korrelation, wenn auch sehr schwach (Tab. 14).

Auch zwischen dem Pseudarthrosenalter und dem DASH-Modul 1 (Funktionsfähigkeit) sowie dem Belastungsschmerz errechnete sich jeweils eine signifikante, sehr schwache, hier positive, Korrelation (Tab. 14).

Signifikante, sehr schwache, positive Korrelationen ergaben sich außerdem zwischen dem postoperativen kumulativen Arthrosegrad und den DASH-Modulen 1-3 sowie dem Belastungsschmerz. Darüber hinaus ergaben sich negative Korrelationen zu weiteren 10 Variablen. Diese waren die absolute Beweglichkeit in E/F, P/S, cROM sowie die relative Beweglichkeit in E/F, U/R und cROM (jeweils betroffen/gesund), die drei SF36-Kategorien Physische Gesundheit, Eingeschränkte physisch-bedingte Rollenfunktion und Körperliche Schmerzen und der Green and O'Brien Score (Punktwert) (Tab. 14).

Tab. 14: Korrelations-Analyse nach Spearman zwischen ausgewählten klinisch-funktionellen Variablen. Korrelationskoeffizient mit p-Wert (in Klammern).

Variable	Alter zum Zeitpunkt des Studienbeginns [Jahre]	Pseudarthrosenalter [Monate]	Postoperativer kumulativer Arthrosegrad (FS + FL + Mediokarpalgelenk)
DASH: Modul 1 (Funktionsfähigkeit)	0,052 (0,509)	0,216 (0,007)	0,278 (<0,001)
DASH: Modul 2 (Sport/Musik)	-0,091 (0,305)	0,175 (0,052)	0,274 (0,002)
DASH: Modul 3 (Beruf)	0,059 (0,485)	-0,028 (0,746)	0,188 (0,028)
SF36: Physische Gesundheit	-0,116 (0,144)	-0,107 (0,185)	-0,190 (0,017)
SF36: Eingeschränkte physisch-bedingte Rollenfunktion	0,097 (0,223)	0,047 (0,567)	-0,185 (0,021)
SF36: Eingeschränkte emotional-bedingte Rollenfunktion	-0,006 (0,944)	0,064 (0,430)	-0,023 (0,771)
SF36: Vitalität	0,042 (0,597)	0,093 (0,253)	-0,085 (0,290)
SF36: Mentale Gesundheit	-0,101 (0,202)	-0,043 (0,599)	-0,057 (0,482)
SF36: Soziale Funktionsfähigkeit	0,020 (0,801)	0,017 (0,837)	-0,118 (0,144)
SF36: Körperliche Schmerzen	-0,097 (0,223)	-0,055 (0,499)	-0,187 (0,020)
SF36: Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	-0,239 (0,002)	-0,052 (0,522)	-0,146 (0,069)
SF36: Veränderung im Gesundheitszustand	-0,064 (0,417)	-0,051 (0,526)	-0,005 (0,949)
Green and O'Brien Score: Punktwert	-0,075 (0,379)	-0,105 (0,224)	-0,207 (0,015)
Ruheschmerzen (NRS)	0,066 (0,407)	0,076 (0,346)	0,128 (0,110)
Belastungsschmerzen (NRS)	-0,046 (0,564)	0,173 (0,032)	0,238 (0,003)
gem. Std.-Höchstkraft [kg]	-0,194 (0,022)	-0,044 (0,609)	-0,127 (0,140)
10-sec-Spitzenkraft [kg]	-0,139 (0,103)	0,070 (0,423)	-0,093 (0,277)
gem. Std.-Höchstkraft [betroffen/Norm in %]	-0,005 (0,952)	0,028 (0,748)	-0,141 (0,102)
E/F [°]	-0,210 (0,013)	-0,158 (0,067)	-0,307 (<0,001)
U/R [°]	-0,221 (0,009)	0,028 (0,749)	-0,166 (0,052)
P/S [°]	-0,167 (0,050)	-0,047 (0,586)	-0,222 (0,009)
cROM [°]	-0,248 (0,003)	-0,093 (0,283)	-0,288 (<0,001)
E/F [betroffen/gesund in %]	-0,085 (0,320)	-0,153 (0,076)	-0,305 (<0,001)
U/R [betroffen/gesund in %]	-0,023 (0,786)	0,016 (0,854)	-0,242 (0,004)
P/S [betroffen/gesund in %]	-0,137 (0,107)	0,058 (0,501)	-0,070 (0,416)
cROM [betroffen/gesund in %]	-0,119 (0,163)	-0,118 (0,175)	-0,337 (<0,001)

DASH: Disabilities of Arm, Shoulder and Hand-Fragebogen; SF36: RAND 36-Item Short Form Survey Version 1.0 Fragebogen; NRS: Numerische Rating Skala; gem. Std.-Höchstkraft: gemittelte Standard-Höchstkraft; 10-sec-Spitzenkraft: 10-Sekunden-Spitzenkraft; E/F: Extension/Flexion; U/R: Ulnar-/Radialdeviation; P/S: Pro-/Supination; cROM: kompletter Bewegungsumfang (E/F + U/R + P/S)

4 Diskussion

Ziel dieser Studie war es, eine Antwort auf die Frage zu finden, ob sich anhand des operativen Verfahrens und unter Beachtung möglicher beeinflussender Kofaktoren bei Vorliegen einer Kahnbeinpseudarthrose ein Unterschied in der Konsolidierungsrate, den klinisch-funktionellen Ergebnissen und demzufolge der Lebensqualität feststellen lässt.

Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns ergaben sich mehrere Limitationen in der Qualität der Studie:

Einerseits gibt es Einschränkungen in der Datenqualität durch Verzerrungen in der Erinnerung der Studienteilnehmer sowie durch unvollständig dokumentierte oder fehlende Informationen von ärztlicher Seite.

Andererseits besteht die Gefahr, dass Verzerrungen aufgrund von Selektionsbias auftreten, da Patienten, die postoperativ nicht mehr vorstellig waren, Patienten mit einem zu kurzen Follow-Up <3 Monaten und Patienten mit dislozierten Radiusfrakturen oder Rettungs-Operationen ausgeschlossen wurden.

Eine weitere Limitation der Studie besteht darin, dass die Operationsindikationen und -verfahren nicht randomisiert vergeben wurden. Stattdessen basierten die Entscheidungen der Chirurgen auf ihren individuellen Erfahrungen und den präoperativen Charakteristika der Patienten, was potenziell zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben könnte.

Ebenso ist es aufgrund der fehlenden Kontrollgruppe schwierig, eine klare Kausalität zwischen den untersuchten abhängigen Variablen und den untersuchten unabhängigen Faktoren nachzuweisen, da ungewiss ist, ob nicht andere Faktoren eine Rolle spielen. Auch dies führt zu einer Limitation bei der Interpretation der Ergebnisse.

Darüber hinaus war insbesondere die Gruppe der Patienten mit Transplantation von frei vaskularisiertem Knochenmaterial sehr klein, was die Repräsentativität der Ergebnisse einschränkt. Auch der Anteil an Frauen, die operiert worden waren, war sehr klein.

4.1 Untersuchungskollektiv: Geschlecht und Patientenalter

In der vorliegenden Studie war der größte Teil der in die Auswertung miteinfließenden Patienten mit 90,8% (bzw. 90,7% bei Patienten der Nachuntersuchung) männlich und nur ein geringer Anteil von 9,2% (bzw. 9,3% bei Patienten der Nachuntersuchung) weiblich.^{96,97} Dass deutlich mehr Männer als Frauen von Kahnbeinfrakturen betroffen sind, wurde auch in anderen Studien gezeigt: Der Männeranteil betrug bei Düppe et al.⁹⁸ 86%, bei Brondum et al.⁹⁹ ebenso wie bei Hove¹⁰⁰ 82% und bei Green⁷² 89%.

Das durchschnittliche Alter der Patienten zum Zeitpunkt der rekonstruktiven Operation lag bei 27,87 Jahren und damit in der Altersgruppe der 20-29-Jährigen. Diese Ergebnisse decken sich mit einem systematischen Review von Jorgsholm et al.⁴, die ebenfalls einen Peak von Kahnbeinfrakturen typischerweise bei jungen, männlichen Personen in der Altersgruppe von 20-29 Jahren feststellten.

Ab dem Alter von 60 Jahren überwiegt in der vorliegenden Studie der Frauenanteil, was auch in anderen Studien gezeigt werden konnte.^{101,102}

Der Geschlechtsunterschied kann auf verschiedene Faktoren zurückgeführt werden. Als Ursache für den höheren Männeranteil im jungen Erwachsenenalter werden häufigere Traumata mit hoher Energie, etwa im Rahmen von sportlichen Aktivitäten oder Motorsport, gesehen, während für den größeren Frauenanteil im Alter Niedrig-Energie-Traumata ursächlich sind.¹⁰³ In Kombination mit Knochendichteverlust und der Zunahme von postmenopausaler Osteoporose können diese niedrig-energetischen Traumata leichter zu einer Fraktur führen.¹⁰⁴ Um die Zahl an Kahnbeinfrakturen und damit auch -pseudarthrosen bei Frauen im Alter zu reduzieren, könnte eine Osteoporoseprophylaxe bzw. die adäquate Therapie einer Osteoporose ein Ansatz sein.

4.2 Studienziel Konsolidierung

4.2.1 Konsolidierungsrate

In dem vorliegenden Patientenkollektiv konnte bei 78,6% der Fälle eine erfolgreiche Ausheilung der Pseudarthrose bildmorphologisch bestätigt werden.⁹⁶ Damit liegt die Unionrate leicht unter den in Metaanalysen beschriebenen Ergebnissen von 87,5-92%.^{105,106} In der Analyse von Ferguson et al.¹⁰⁷ wurde eine dem vorliegenden Ergebnis vergleichbare Ausheilungsrate von insgesamt 81% erreicht. Mögliche Ursachen für die etwas niedrigere Konsolidierungsrate in der vorliegenden Studie sind, dass 60 Patienten aufgrund eines zu kurzen Follow-Ups von weniger als 3 Monaten oder wegen postoperativ nicht stattgefundenener Nachkontrollen von der Studie ausgeschlossen wurden sowie dass bei symptomatischen Fällen im Rahmen der Nachuntersuchung eine Neubewertung des Ausheilungserfolgs stattfand und nicht erkannte Re-Pseudarthrosen somit detektiert werden konnten.

Ferguson et al.¹⁰⁷ schlugen zudem weitere Faktoren vor, die die Unionraten ins Positive verzerren können: Reporting Bias (selektives Berichten von günstigen Informationen), die Konsolidierungsbeurteilung der radiologischen Bildgebung durch meist nicht unabhängige Untersucher, die uneinheitliche zeitliche Definition einer Nonunion (höhere Ausheilungsraten in Studien mit Definition ab 12 Wochen ausbleibender Konsolidierung im Vergleich zu Studien mit Definition ab 26 Wochen), sich in Konsolidierung befindende Frakturen, die verfrüht als Nonunion verkannt werden und nach einer Rekonstruktions-OP somit häufiger ausheilen, kurze Follow-Up-Zeiten (wenige radiologische Nachkontrollen und dadurch höheres Risiko die persistierende Nonunion auf dem Röntgenbild nicht dargestellt zu haben).

4.2.2 Konsolidierung in Zusammenhang mit dem OP-Typ

Bei insgesamt 70,3% der Patienten (bei Patienten der Nachuntersuchung in 72,8%) wurde ein nVBG in Form von Spongiosa aus dem Radius oder Becken oder eines kortikospongiösen Beckenkammspanns eingesetzt.^{96,97} Mit diesem

OP-Typ konnte in der vorliegenden Studienpopulation eine Ausheilungsrate von 81,2% erreicht werden. In Metaanalysen liegt die Unionrate bei nVBG zwischen 80% und 88,7%.^{105,106,108,107} Dabei werden als negative Einflussfaktoren auf die Unionrate bei nVBG unter anderem die Lokalisation am proximalen Pol, das Vorliegen von AVN, Nikotinabusus, zunehmende Zeit zwischen Trauma und Operation und stattgehabte Vor-OPs genannt,^{109,110,111,112,113,107,105,114} weshalb in diesen Fällen gehäuft VBG zum Einsatz kommen:

Gestielte Grafts aus dem Radius wurden in der vorliegenden Studie bei 25,7% der Patienten (bei Patienten der Nachuntersuchung in 22,2%) eingesetzt.^{96,97} Dabei wurde entweder nach der von Zaidenberg⁷⁵ beschriebenen Technik ein Zaidenberg-Span gestielt an der 1,2 ICSRA über einen dorsalen Zugang oder nach der Technik von Kuhlman⁷⁶ ein Graft gestielt an einem radialen Ast der A. carpalis palmaris über einen volaren Zugang transplantiert.

Die Literatur liefert Durchbauungsraten von 78-83,3%^{115,113} für die 1,2 ICSRA und für die an der A. carpalis palmaris gestielten Grafts von 97%.¹¹³ Fujihara et al.¹⁰⁸ kamen in ihrer Metaanalyse zu einer Durchbauungsrate von 85% bei pVBG.

In der vorliegenden Studie wurde eine etwas niedrigere Konsolidierungsrate von 71,6% festgestellt. In der Literatur sind jedoch auch einzelne Studien unter Verwendung von 1,2 ICSRA-Grafts zu finden, die ähnliche oder gar niedrigere Konsolidierungsraten erzielten: Chang et al.¹¹⁶ mit 71%, Boyer et al.¹¹⁷ mit 60%, Straw et al.¹¹⁸ mit 27% Unionrate. In diesen Studien fiel eine Häufung der Nonunions in Zusammenhang mit einer Humpback-Deformität¹¹⁶, Revisions-OPs¹¹⁷, mangelnder interner Fremdmaterialfixierung¹¹⁸ und AVN^{116,118} auf.

Insbesondere bei AVN und einer Humpback-Deformität ist ein fVBG vorteilhaft, da dieses nicht wie ein pVBG durch die Stielung begrenzt manövrierbar ist und somit eine bessere Einpassung in die Pseudarthrosenlücke möglich ist.¹¹⁹ Die aufwändigeren OP-Verfahren mittels fVBG sind aufgrund der technischen Anforderungen jedoch eher selten. In der vorliegenden Studie erfolgte die Hebung eines fVBG aus der medialen Femurkondyle bei 4,1% der Patienten (bei Patienten der Nachuntersuchung in 4,9%).^{96,97} Die Ausheilungsraten beliefen sich in der hiesigen Studienpopulation auf 80,0% und lagen damit deutlich über

den Ergebnissen der pVBG. Ditsios et al.¹¹⁵ berichten in ihrer Metaanalyse sogar von einer Durchbauungsrate von 100%, Hovius und de Jong¹¹³ von 93%.

Während Munk und Larsen¹²⁰ eine statistisch signifikante Überlegenheit der VBG gegenüber den nVBG mit und ohne Fremdmaterialfixierung zeigen konnten, wurde in anderen Metaanalysen^{108,105,121} ebenso wie in der vorliegenden Studie⁹⁶ kein signifikanter Zusammenhang zwischen Unionrate und OP-Methode gefunden.

Die Konsolidierungsrate scheint dementsprechend nicht isoliert von der Transplantat-Art abhängig zu sein, sondern von Kofaktoren, die wiederum auch die Wahl des Transplantats beeinflussen. Diese Kofaktoren wurden auch in der vorliegenden Studie untersucht und werden im Folgenden näher erläutert.

4.2.3 OP-Typ und Konsolidierung in Zusammenhang mit beeinflussenden Faktoren

Pseudarthrosenlokalisierung und AVN

In vielen Studien wird die Lokalisation des Frakturspalts im Bereich des proximalen Drittels als Prädiktor für eine schlechtere Ausheilung beschrieben.^{122,123,124}

In der vorliegenden Studie befand sich die Pseudarthrose mit 59,2% (bzw. 61,1% bei Patienten der Nachuntersuchung) am häufigsten in der Kahnbeintaille, gefolgt von der Lokalisation im proximalen Drittel mit 35,1% (bzw. 32,7% bei Patienten der Nachuntersuchung). Der mit 5,7% (bzw. bei Patienten der Nachuntersuchung 6,2%) geringste Anteil der Pseudarthrosen lag im distalen Drittel.^{96,97} Diese Ergebnisse entsprechen den Angaben eines systematischen Reviews von Ferguson et al.,¹⁰⁷ in dem von einer Lokalisationsverteilung von 63% aller Pseudarthrosen in der Kahnbeintaille, 30% im proximalen Drittel und 7% im distalen Pol berichtet wurde.

Merrell et al.¹¹⁰ zeigten in einer Metaanalyse einen signifikanten Einfluss der Frakturlokalisierung auf die Konsolidierungsrate. So kam es bei einer Lokalisation im distalen Drittel zu einer Union von 100%, bei mittiger Lokalisation zu einer

Ausheilung von 85% und bei proximaler Lokalisation nur von 67% (Taille vs. distal $p=0,02$, Taille vs. proximal $p<0,00001$).

Auch Ramamurthy et al.¹²⁵ beschrieben im Rahmen eines multivariaten logistischen Regressionsmodells, dass die Konsolidierungsrate mit kleiner werdendem proximalen Fragment kontinuierlich und dabei signifikant sinkt ($p=1\times 10^{-6}$). Sie entwickelten die „Fragment-Ratio-Methode“ zur Beschreibung der Frakturlokalisierung, mit der eine Prognose zur Ausheilungswahrscheinlichkeit abhängig von der Größe des proximalen Fragments und der Bestehenszeit der Pseudarthrose getroffen werden kann.

In der vorliegenden Studie wurde jedoch kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Frakturspaltlokalisierung und der postoperativen Ausheilungsrate gefunden. Es zeigte sich keine signifikant schlechtere Ausheilung von proximalen Polfrakturen.⁹⁶

Frakturen im proximalen Pol sind insbesondere deswegen für die Ausbildung oder Persistenz von Pseudarthrosen prädestiniert, da durch die fragile Perfusionssituation die Wahrscheinlichkeit für eine AVN und damit ein geringeres Heilungspotential erhöht ist.¹⁸ Die AVN als Prognosefaktor für eine schlechtere Konsolidierung wurde in zahlreichen weiteren Studien bestätigt.^{74,122,72,126}

In der vorliegenden Studie wies ein Anteil von 23,3% der Patienten intraoperativ spärliche oder keine punktuellen Blutungen als Hinweis auf eine pAVN (5,7%) bzw. tAVN (17,6%) auf. Das Vorhandensein einer AVN hatte in der univariaten Analyse eine signifikant schlechtere Ausheilungsrate zur Folge (pAVN $p=0,021$, tAVN $p<0,001$). Zu einer Union kam es bei pAVN in 52,4% der Fälle, bei tAVN in 55,4% und bei normaler Perfusion in 88,7%. In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass die Transplantation von vaskularisierten Transplantaten im Sinne von fVBG bei AVN (partiell und total) eine hohe Ausheilungsrate von bis zu 81,8% bewirken kann.⁹⁶

Die Metaanalyse von Merrell et al.¹¹⁰ zeigte ebenfalls eine signifikant höhere Ausheilungsrate bei AVN des proximalen Fragments, wenn VBG statt nVBG verwendet wurden (88% vs. 47%, $p<0,0005$).

Auch bei Ferguson et al.¹⁰⁷ waren VBG den nVBG bei AVN des proximalen Fragments überlegen (Unionrate 74% vs. 62%). Durch diese Art von Grafts werden die Revaskularisierung des avitalen Pols unterstützt und osteogenetische Prozesse angetrieben, was die Bedingungen für die Heilung des Knochens verbessert.¹¹²

In einer Meta-Studie zeigten Ditsios et al.¹¹⁵, dass bei proximaler Polnekrose die besten Union-Raten innerhalb 9 verschiedener VBG-Methoden durch freie VBG aus der Femurkondyle erreicht werden konnten (97,4%) und die niedrigsten durch den 1,2 ICSRA-Lappen (79,2%) erzielt wurden.

In der Literatur wird von einigen Autoren die Schwäche der 1,2 ICSRA bei Vorliegen eines karpalen Kollapses bzw. einer Humpback-Deformität gesehen.^{119,127,116} Hier sind Transplantate aus dem Becken oder Femur geeigneter, da diese dem Defekt besser und unkomplizierter in seiner Form angepasst werden können, nicht durch die Stielung in ihrer Mobilisierung eingeschränkt sind und so das Kahnbein möglichst anatomisch wieder rekonstruiert werden kann.^{128,129,79} So verglichen Jones et al.¹²⁷ gestielte 1,2 ICSRA-Grafts aus dem distalen Radius vs. fVBG von der medialen Femurkondyle bei Patienten mit AVN und Vorliegen eines karpalen Kollapses. Es kam bei Verwendung von frei gestielten Grafts zu einer signifikant höheren Unionrate von 100% (vs. 40% bei 1,2 ICSRA, $p=0,005$) und signifikant kürzeren Zeit bis zur Union (13 Wochen vs. 19 Wochen bei 1,2 ICSRA, $p<0,001$).

Demzufolge sollte bei proximalen Polfrakturen mit AVN eine OP-Methode mit Hebung eines Gefäßes – gestielt oder frei – in Erwägung gezogen werden und insbesondere bei gleichzeitigem Vorliegen eines karpalen Kollapses bzw. einer Humpback-Deformität ein fVBG verwendet werden. Zudem könnte bei Patienten mit proximalen Polfrakturen ohne AVN aufgrund der in dieser Lokalisation erhöhten Wahrscheinlichkeit einer Re-Pseudarthrose sowie des Risikos einer AVN bereits initial die Verwendung eines VBG evaluiert werden.

Um ein fVBG jedoch klar dem pVBG vorzuziehen, erfordert es mehr Studien mit größeren Studienpopulationen, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu

steigern. So wurden in der Metaanalyse von Ditsios et al.¹¹⁵ lediglich 38 Patienten mit FVBG analysiert und im Vergleich dazu 463 Patienten mit 1,2 ICSRA.

Risikofaktor Nikotinabusus

Ein weiterer in der vorliegenden Studie untersuchter Faktor war der Nikotinkonsum, der generell als negativer Prädiktor auf die Ausheilung von Frakturen gilt.^{130,131,132} Fast ein Drittel der hier untersuchten Patienten (30,8%) war zum Zeitpunkt der Operation Raucher. In der univariaten Analyse ließ sich ein statistisch signifikanter Unterschied in der Ausheilung abhängig vom Raucherstatus nachweisen ($p < 0,001$).⁹⁶ Raucher erzielten eine Unionrate von 59,6%, bei Nicht-Rauchern lag die Rate bei 87,0%.

Auch Dinah und Vickers¹³³ beschrieben in ihrer Studie einen statistisch signifikanten Unterschied mit einer postoperativen Durchbauung von 82,4% bei Nicht-Rauchern vs. 40,0% bei Rauchern ($p < 0,01$). Und in einer Studie von Little et al.¹³⁴ war das Risiko einer Re-Pseudarthrose bei Rauchern 3,7-fach höher.

In den folgenden zwei Studien an Patienten mit Spondylodese-OP konnten die positiven Effekte eines perioperativen Raucherstopps aufgezeigt werden:^{135,136} Andersen et al.¹³⁵ konnten bei Patienten, die mindestens 3 Monate präoperativ das Rauchen eingestellt hatten, Unionraten fast analog denjenigen von Nichtrauchern erreichen, Raucher hingegen hatten ein signifikant höheres Auftreten einer Nonunion (OR 2,01, $p < 0,016$). Ebenso konnten Glassmann et al.¹³⁶ bei postoperativer Enthaltensamkeit von mindestens 6 Monaten höhere Durchbauungsraten gegenüber Rauchern feststellen: Bei Rauchern lag die Nonunionrate mit 26,5% signifikant höher als bei Patienten mit mindestens 6-monatiger postoperativer Enthaltensamkeit (Nonunion 17,1%, $p = 0,09$) und Nicht-Rauchern (Nonunion 14,2%, $p < 0,05$).

Patienten sollte daher nahegelegt werden, das Rauchen einzustellen – falls keine komplette Abstinenz möglich ist, zumindest perioperativ.

Konstantinidis et al.¹³⁷ beschäftigten sich im Zuge einer Metaanalyse damit, ob Nikotinabusus die Inzidenz von AVN erhöht, konnten diesbezüglich jedoch

analog der vorliegenden Studie keine statistisch signifikante Korrelation beweisen. Sie zeigten jedoch, dass bei Rauchern eine signifikant höhere Ausheilungsrate von 62,5% bei Verwendung von VBG vs. 39,5% bei nVBG erreicht werden kann ($p=0,001$).

Pseudarthrosenalter

Auch die Zeit zwischen Trauma und OP wird von einigen Autoren als starker Einflussfaktor auf die Ausheilungsrate beschrieben.^{138,139,140,62,125}

Merrell et al.¹¹⁰ stellten in ihrer Metaanalyse eine statistisch signifikante schlechtere Ausheilung bei länger als 12 Monate bestehenden Pseudarthrosen fest (80% Union) im Vergleich zu Pseudarthrosen, die <12 Monate bestanden (90% Union) ($p<0,0001$).

Auch bei Ramamurthy et al.¹²⁵ wurde ein Zusammenhang zwischen der Unionrate und dem Alter der Pseudarthrose gesehen. Mittels multivariater logistischer Regression wurde wie bereits erwähnt eine signifikante Abnahme der Unionrate mit zunehmender Zeit gezeigt. So hat beispielsweise eine Pseudarthrose mit einer Fragment-Ratio von 0,6 nach einem Jahr eine Heilungswahrscheinlichkeit von 98%, die nach 10 Jahren auf 81% fällt ($p=0,001$). Je proximaler das Fragment, desto stärker sinkt die Unionrate.

Zusammenhängen könnte dies mit einer mit voranschreitender Zeit zunehmenden Inzidenz an AVN, wie Shah und Jones¹⁴⁰ in ihrer Studie zeigten: Bei Bestehen der Nonunion von weniger als 1 Jahr, stellten sie bei 3 von 19 Patienten eine AVN fest, bei Bestehen zwischen 1 und 5 Jahren bei 3 von 17 Patienten und bei einer Dauer >5 Jahre bei 7 von 14 Patienten. Auch Inoue und Sakuma¹⁴¹ stellten ein mit zunehmender Zeit erhöhtes AVN-Auftreten fest.

In der vorliegenden Studie wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter der Pseudarthrose und der Konsolidierungsrate festgestellt.⁹⁶ Dies könnte unter anderem an der im Durchschnitt relativ kurzen Zeit zwischen Trauma und OP von 15,51 Monaten liegen, in der die Wahrscheinlichkeit für eine AVN vergleichsweise gering ist. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die

Angaben des Traumazeitpunkts seitens der Patienten oder aus den Archiven zum Teil unscharf waren, das heißt, dass Pseudarthrosen möglicherweise schon älter waren, jedoch ein Bagatelltrauma, welches die schon länger bestehende Pseudarthrose reaktivierte und zur ärztlichen Vorstellung führte, als Traumazeitpunkt verkannt wurde.

Die Ergebnisse von Shah und Jones¹⁴⁰ zeigten zudem einen schlechteren Erfolg von nVBG bei höherem Alter der Nonunion. Sie behandelten 50 Patienten mit nVBG und Herbert-Schraube und erzielten unter den 14 Patienten, bei denen die Nonunion länger als 5 Jahre bestand, eine Unionrate von 57%, hingegen bei den 36 Patienten mit einer Nonunion jünger als 5 Jahre eine Union von 88%.

Die signifikant abfallende Unionrate mit zunehmender Zeit zwischen Trauma und OP bei nVBG bestätigten auch Rancy et al.¹⁴² im Rahmen einer multivariaten Analyse ($p=0,000$). Sie konnten umgekehrt dazu einen signifikant ansteigenden Benefit durch VBG nachweisen ($p=0,026$). Das durchschnittliche Pseudarthrosenalter in ihrer Studie lag bei nVBG bei 26,35 Monaten und bei VBG bei 28,47 Monaten.

Auch bei Malizos et al.¹⁴³ erwies sich die Behandlung von Patienten mit einem durchschnittlichen Pseudarthrosenalter von 3,3 Jahren mittels pVBG als erfolgreich, bei allen 30 Patienten (darunter 9 mit AVN) dieser Studie konnte eine Union erreicht werden.

Ebenso empfahlen Hirche et al.¹⁴⁴ die Verwendung von VBG bei länger bestehender Pseudarthrose, da im Rahmen ihrer Studie bei Patienten mit VBG im Vergleich zu Patienten mit nVBG die Zeit zwischen Trauma oder letzter OP bis zur betrachteten OP doppelt so hoch war (54 Monate vs. 22,9 Monate), aber trotzdem ähnlich gute Durchbauungsraten erreicht wurden.

Nicht nur die AVN ist ein Problem der lange bestehenden Pseudarthrose, sondern auch die zunehmende Entwicklung eines karpalen Kollapses mit Arthrose, Deformierungserscheinungen und Verlust von Knochensubstanz.^{65,145,141,98}

Unter Berücksichtigung der individuellen Faktoren raten die Autoren der vorliegenden Studie daher mit zunehmendem Alter der Pseudarthrose

tendenziell zu vaskularisierten Verfahren. Bei fortgeschrittenen Befunden sollte die Durchführung von Rescue-OPs in Erwägung gezogen werden.¹⁴⁶

Vorbehandlung

In der vorliegenden Studie hatten 82,7% der Patienten noch keine Vorintervention an der Pseudarthrose zu verzeichnen, bei den restlichen Patienten hatten bereits ein oder zwei Vor-OPs stattgefunden. In der univariaten Analyse konnte eine statistisch signifikante, schlechtere Konsolidierungsrate mit ansteigender Anzahl an Vor-Operationen verzeichnet werden ($p < 0,001$).⁹⁶

Auch in der Literatur wird ein Ausheilungsunterschied abhängig von der Anzahl an Vor-Operationen beschrieben: Shah und Jones¹⁴⁰ stellten bei Patienten ohne Vor-OP in 86% der Fälle eine Union fest, bei Patienten mit fehlgeschlagener Erst-OP nur in 20% der Fälle, bei Boyer et al.¹¹⁷ war der Unterschied noch größer mit 100% vs. 20%.

Daly et al.¹⁴⁷ konnten sehr gute Ergebnisse mittels nicht vaskularisierter kortikospongiöser Grafts aus dem Becken und Schraubenfixierung aufzeigen. Sie revidierten 11 Patienten und nur bei einem Patienten persistierte die Nonunion. Die hohe Durchbauungsrate führten die Autoren auf die radikale Entfernung von fibrösem Gewebe und sklerotischen Knochenarealen zurück.

Hingegen stellten Bynum et al.¹⁴⁸ in einer Studie, in der 15 Patienten nach der Methode nach Russe operiert worden waren, bei Patienten mit erster Revisions-OP nur eine Unionrate von 53% fest, bei Patienten mit zweiter Revisions-OP eine Unionrate von 25%. Die Autoren führen die hohe Versagerquote auf die fehlende internale Stabilisierung zurück (bei 3 Patienten war eine Fixierung mittels K-Draht erfolgt, bei den restlichen Patienten war kein Fremdmaterial eingebracht worden).

Bei der Behandlung von Revisionspatienten mit vaskularisierten Methoden erreichten Malizos et al.¹⁴⁹ sogar eine Unionrate von 100%. Sie führten bei 22 Patienten, darunter 4 Patienten mit Revisions-OP, ein pVBG vom dorsalen Radius durch. Aufgrund der kleinen Population ist die Übertragbarkeit des

Ergebnisses jedoch eingeschränkt. Bei Tambe et al.¹⁵⁰ lag die Erfolgsquote bei pVBG nur bei 55%. Alle 11 in die Studie eingeschlossenen Patienten hatten eine AVN des proximalen Pols und bereits 2 fehlgeschlagene Vor-OPs durchlaufen.

Mittels VBG aus der medialen Femurkondyle konnte in einer Studie von Pulos et al.¹⁵¹ eine Durchbauungsrate von 84% (41 von 49) erzielt werden, in der Studie von Koriem et al.¹⁵² wurde einer Unionrate von 82% (13 von 16) erreicht. In beiden Studien handelte es sich um Revisions-Patienten mit AVN.

Beim Vergleich der Unionraten von nVBG mit VBG bei Revisionspatienten konnten Merrell et al.¹¹⁰ eine Unterlegenheit der nVBG gegenüber VBG (19% vs. 6% Nonunion) feststellen. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. Auch Moon et al.¹⁵³ schrieben in ihrem Review von einer höheren Versagerquote der nVBG (Nonunion 30%) gegenüber den VBG (Nonunion 14%).

Die Ergebnisse in der Literatur sind nicht eindeutig und die Studienlage zum Thema Revisionseingriffe bei Skaphoid-Nonunion ist dünn. Jedoch lässt sich ein Trend zur besseren Ausheilung mittels VBG statt nVBG feststellen. Insbesondere bei Vorliegen einer AVN sollten VBG angewandt werden.

Osteosynthese-Material

In der vorliegenden Studie erfolgte bei der Mehrzahl der Patienten eine Schraubenimplantation (78,9%, bei Patienten der Nachuntersuchung 79,0%). 5,7% erhielten zusätzlich zur Schraube eine K-Draht-Fixierung (bei Patienten der Nachuntersuchung 4,9%). Bei 10,8% (bei Patienten der Nachuntersuchung 8,6%) erfolgte die alleinige Einbringung eines K-Drahts. Bei 4,6% (bei Patienten der Nachuntersuchung 7,4%) wurde kein Fremdmaterial eingesetzt. In der univariaten Analyse zeigte sich die Herbert-Schraube mit und ohne zusätzliche K-Draht-Fixierung als statistisch signifikanter Einflussfaktor auf eine höhere Ausheilungsrate (HS p=0,027, HS + K-Draht p=0,04).^{96,97}

Durch die Schraubenfixierung und damit Stabilisierung der Knochenfragmente in ihrer Stellung zueinander wird die Voraussetzung für eine adäquate Perfusion geschaffen, wodurch die Heilungsvoraussetzungen des Kahnbeins verbessert

werden.⁷⁴ Ein weiterer Vorteil der Verwendung von Herbert-Schrauben ist die kürzere Ruhigstellung des Handgelenks.¹²³

Auch Merrell et al.¹¹⁰ konnten in ihrer Metaanalyse einen signifikanten Unterschied in der Ausheilungsrate abhängig vom Osteosynthese-Material zeigen. Sie analysierten die Durchbauung bei instabilen Pseudarthrosen, welche eine Union von 94% bei Schraubenfixierung im Gegensatz zu einer Ausheilungsrate von 77% unter Verwendung von K-Drähten erreichten ($p < 0,01$). Ebenso kam es bei Ramamurthy et al.¹²⁵ bei Schraubenfixierung im Vergleich zum Einsatz von K-Drähten fast doppelt so häufig zur Konsolidierung, allerdings ohne statistische Signifikanz. Auch Duncumb et al.¹⁰⁶ konnten keinen signifikanten Unterschied abhängig vom ausgewählten Osteosynthese-Material erkennen.

Informationen zum Ausheilungserfolg bei Verzicht auf eine internale Fixierung durch Fremdmaterial lieferte die Metaanalyse von Pinder et al.¹⁰⁵ Bei Verzicht auf ein Implantat ergaben sich die schlechtesten Ergebnisse mit einer Durchbauungsrate von nur 79%. Bei Schrauben-Stabilisierung hingegen wurde eine Union von 88% und bei K-Draht-Fixierung sogar von 91% erzielt. Die Unterschiede waren allerdings statistisch nicht signifikant. Die Überlegenheit der K-Draht-Fixierung gegenüber der Schraubenstabilisierung war nur in Zusammenhang mit VBGs zu sehen und relativierte sich bei Verwendung von nVBG, weshalb Pinder et al.¹⁰⁵ die Vermutung äußerten, dass durch die Schraubenimplantation möglicherweise die Durchblutung innerhalb des Knochens gestört wird und dadurch VBG ihr Heilungspotential nicht voll entfalten können.

Auch Munk und Larsen¹²⁰ bezogen in ihre Analyse die Ergebnisse von Rekonstruktionen ohne internale Fixierung mit ein. Sie teilten die Patienten in folgende 3 Gruppen ein: Gruppe I nVBG ohne internale Fixierung, Gruppe II nVBG mit internaler Fixierung, Gruppe III VBG mit oder ohne Fixierung. In Gruppe I ergab sich mit 80% die niedrigste Unionrate, in Gruppe II wurde eine Union von 84% erreicht und in Gruppe III lag die Rate bei 91%. Der Unterschied

zwischen den Gruppen I und II war nicht signifikant, derjenige zu Gruppe III schon.

Auch die folgenden Studien an Patienten mit AVN unterstreichen die Rolle einer Metalleinbringung: Krimmer et al.¹²³ konnten mittels Schraubenfixierung und nVBG bei avitalem proximalem Pol eine Ausheilungsrate von 67% erreichen (N=6) und Robbins et al.¹⁵⁴ von 53% (N=17). Ohne Schraubenfixierung mit nVBG kam es in der Studie von Green⁷² bei allen 5 Patienten mit totaler AVN zu keiner einzigen Konsolidierung.

Trotzdem zeigt die Analyse von Merrell et al.¹¹⁰, dass die Fremdmaterial-Fixierung den Heilungserfolg nicht garantiert: In ihrer Metaanalyse betrachteten sie auch Ergebnisse von Patienten mit AVN des proximalen Fragments und stellten bei Patienten mit nVBG und Schraubenfixierung eine signifikant niedrigere Unionrate gegenüber VBG mit K-Draht oder Schraubenfixierung fest ($p < 0,0005$).

Insgesamt verdeutlichen diese Ergebnisse, dass die Wahl des Interponats sorgfältig getroffen werden sollte und dass bei der Wahl der Fixierung die Stabilisierung mittels Schraube präferiert werden sollte. Falls die Schraubenimplantation kontraindiziert ist, sollte die K-Draht-Fixierung dem völligen Verzicht auf ein Implantat vorgezogen werden.

Lateraler intraskaphoidaler Winkel

Die postoperative Bewertung des LISA zeigte in der vorliegenden Studie, dass bei 7,6% der Patienten ein pathologischer Winkel $>45^\circ$ vorlag.⁹⁶ Typischerweise wird der LISA in Studien als Indikator für die klinisch-funktionellen Ergebnisse nach Kahnbeinrekonstruktionen untersucht.^{155,92,156} Einerseits wird ein pathologischer LISA als guter Prognosefaktor für ein schlechteres funktionelles Outcome beschrieben.^{157,92} Andererseits wird der LISA aufgrund seiner mangelhaften Inter- und Intraobserverqualität als schlecht reproduzierbar kritisiert^{61,158} und in den Studien von Afshar et al.¹⁵⁵ und Forward et al.¹⁵⁶ konnte zwischen dem LISA und der Handgelenksfunktion bzw. Klinik kein signifikanter Zusammenhang aufgezeigt werden.

In der vorliegenden Studie wurde der Zusammenhang zwischen dem postoperativen LISA und der Unionrate geprüft. Dabei konnte in der univariaten Analyse ein signifikanter Zusammenhang zwischen einem LISA $>45^\circ$ und einer sinkenden Ausheilungsrate festgestellt werden ($p < 0,001$).⁹⁶

Andere Studien, die explizit die Beziehung zwischen postoperativem LISA und der Unionrate untersuchten, waren in der Literatur nicht zu finden. Jedoch stellten Chang et al.¹¹⁶ eine signifikant häufigere präoperative Humpback-Deformität bei Patienten mit Nonunion nach operativem Eingriff fest ($p = 0,01$). Auch Grewal et al.¹⁵⁹ stellten einen Zusammenhang der Humpback-Deformität mit einer niedrigeren Durchbauungsrate fest (OR 6,89). Sie untersuchten die Ausheilung bei akuten Skaphoidfrakturen mit Humpback-Deformität und konservativer Behandlung. Dem gegenüber steht die Studie von Gvozdenovic et al.⁶², die keinen signifikanten Einfluss eines präoperativen LISA $>45^\circ$ auf die Ausheilungsrate von Skaphoidpseudarthrosen feststellten.

Rancy et al.¹⁴² konnten in einem systematischen Review einen signifikanten Zusammenhang zwischen einem pathologischen LISA und einer erhöhten Nonunionrate bei VBG zeigen ($p = 0,002$), wohingegen sich ein Zusammenhang zu nVBG nicht ergab. Allerdings könnte das schlechte Abschneiden der VBG daran liegen, dass der Großteil der in die Analyse der VBG miteingehenden Patienten ein gestieltes Verfahren bekam und die 1,2 ICSRA wie bereits erwähnt zur Korrektur einer Humpback-Deformität weniger erfolgversprechende Ergebnisse liefert wie Grafts aus dem Becken oder Femur.

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse die Wichtigkeit der korrekten Rekonstruktion der Kahnbeinform im Zuge der Operation. Die präzise Ausrichtung des Kahnbeins in Längsrichtung ist anzustreben, um das Kahnbein anatomisch zu repositionieren und damit das Risiko eines pathologischen LISA und einer Deformität zu reduzieren und eine stabile Knochenheilung zu gewährleisten.

4.3 Studienziel klinisch-funktionelles Outcome

4.3.1 Klinisch-funktionelles Outcome

DASH-Fragebogen

In Studien bewegen sich die im DASH-Score erreichten Werte postoperativ zwischen 5 und 26 Punkten.^{160,161,162,163,164}

Yeh et al.¹⁶⁵ erreichten beispielsweise unter Durchführung eines nVBG vom distalen Radius und HS-Implantation eine Verbesserung des prä- auf postoperativen DASH-Werts von 32,8 P. auf 12,4 P. (12 Monate postoperativ, $p < 0,05$), bei Korompilias et al.¹⁶⁰ kam es mittels pVBG zu einer Reduktion von 32 P. auf 5 P. ($p < 0,001$) und bei Elgammal und Lukas¹⁶⁴ kam es unter fVBG zu einer Verbesserung von 40 P. auf 20 P.

Die Patienten der vorliegenden Studie erzielten vergleichsweise gute Werte mit postoperativ durchschnittlich 7,54 Punkten (Modul 1: Funktionsfähigkeit der oberen Extremität). In den optionalen Teilen wurden 16,11 P. (Modul 2: Sport/Musik) und 7,57 P. (Modul 3: Beruf) erreicht.⁹⁷ Die stärksten Einschränkungen traten im Modul 2 auf, welches sich auf die Ausübung von Sport und Musik bezieht. Dies ist wenig überraschend, da diese Aktivitäten oft eine hohe Belastbarkeit bzw. ein präzises Handwerk erfordern, was bei Patienten mit Handverletzungen bzw. nach Handoperationen zu Einschränkungen führen kann.

SF36 – Fragebogen zum Gesundheitszustand

In der Lebensqualität ermittelt durch den SF36-Fragebogen zeigten sich bei den Patienten der vorliegenden Studie besonders Einschränkungen in den Teilbereichen Vitalität (Mittelwert 63,07 P.) und Veränderung im Gesundheitszustand (Mittelwert 55,75 P.).⁹⁷ Durch die wenig spezifischen Fragen des SF36 kann es viele verschiedene Faktoren und äußere Umstände geben, die zu den Einschränkungen in diesen Bereichen geführt haben. Beispielsweise war die Covid-Pandemie, die bei vielen Menschen physische

sowie psychische Einschränkungen und somit eine reduzierte Lebensqualität verursachte, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchungen (Jahr 2021) sehr präsent. Zudem kommt es mit voranschreitender Lebenszeit naturgemäß zu einer Abstatt Zunahme der Gesundheit, was den niedrigen Mittelwert in der Kategorie Veränderung im Gesundheitszustand (Frage, wie der derzeitige Gesundheitszustand im Vergleich zum vergangenen Jahr eingestuft wird) miterklären kann. Interessant wäre ein Vergleich der prä- zu postoperativen Ergebnisse im SF-36 Fragebogen, um die Veränderung der Lebensqualität durch die Operation besser beurteilen zu können.

Green and O'Brien Score modifiziert nach Cooney

Die Ergebnisse des Green and O'Brien Scores modifiziert nach Cooney aus der vorliegenden Studie zeigen mit einem Median von 75 Punkten (IQR 75-85 P.), dass die meisten Patienten postoperativ mit Einschränkungen zu leben haben. Trotzdem lagen die Durchschnittswerte (77,01 P.) im oberen Bereich der Note Ausreichend und beweisen somit insgesamt eine akzeptable Handfunktion.⁹⁷

In der Literatur werden Werte zwischen 71,7 und 91,2 Punkten beschrieben.^{144,162,161,119}

Zu beachten ist, dass bei genanntem Score nur bei einer Kraft bzw. Beweglichkeit von 100% der gesunden Gegenseite 25 Punkte vergeben werden dürfen und schon ab 99% 10 Punkte abgezogen werden. Erreichen Patienten also bei der Kraft und Beweglichkeit jeweils 99% der gesunden Seite und geben seltene Schmerzen (minus 5 Punkte) an, erhalten diese bereits nur noch 75 Punkte und damit die Note Ausreichend.

Schmerzstärke

Die Ergebnisse der Schmerzerhebungen mittels NRS der vorliegenden Studie verdeutlichen, dass die Patienten in Ruhe im Durchschnitt keine oder nur geringfügige Schmerzen (Mittelwert 0,42) am Handgelenk haben. Unter

Belastung hingegen gaben die Patienten im Durchschnitt höhere Schmerzwerte (Mittelwert 2,69) an.⁹⁷

Insgesamt erfolgt die Schmerzdokumentation in der Literatur uneinheitlich.¹⁶⁶ Es werden unterschiedliche Scoring-Systeme genutzt, was einen Vergleich der Studien untereinander erschwert.

Was viele der Studien jedoch eint, ist die Feststellung der Schmerzverbesserung von prä- zu postoperativ:

Cohen et al.¹⁶⁷ berichteten von einer durchschnittlichen postoperativen Schmerzstärke von 1 in Ruhe und von 15 bei Belastung (Visuelle Analogskala (VAS), mögliche Werte 0 bis 100), die in Folge der OP signifikant gefallen war (präoperativ 16 in Ruhe, 65 bei Belastung, jeweils $p < 0,001$).

Krimmer et al.¹²³ operierten Patienten mit Skaphoidpseudarthrose im proximalen Drittel und erreichten dadurch eine Schmerzminderung von 48 auf 19 (VAS, mögliche Werte 0 bis 100). Sie differenzierten nicht zwischen Ruhe- und Belastungsschmerz.

Alluri et al.¹⁶⁶ berichteten nach Auswertung von 6 Studien, bei denen ein VBG transplantiert worden war, von einem durchschnittlichen postoperativen Schmerz in Höhe von 0,96 (VAS, mögliche Werte 0 bis 10), mit einer signifikanten Verbesserung zum präoperativen Zustand um 79,2% ($p < 0,001$).

Bürger et al.¹⁶⁸ beurteilten die Schmerzen nur innerhalb des Mayo Wrist Scores und berichteten von einer Reduktion der Schmerzen von 23,7 auf 17,1 (0=stark, 15=moderat; 20=mild, 25=fehlend).

Rückkehr in den zuvor ausgeübten Beruf

Fast 5% der Patienten gaben in den Fragebögen an, nicht in der Lage gewesen zu sein, ihre vorherige Arbeit wiederaufzunehmen.⁹⁷

Wilhelm und Wilhelm¹⁶⁹ berichten davon, dass 3% ihrer 67 Patienten, die aufgrund einer Skaphoidpseudarthrose im proximalen Pol operiert worden waren, ihren Arbeitsplatz wechseln mussten. Bei Küntscher et al.,¹⁷⁰ die 26

Patienten nach Kahnbeinfraktur-/pseudarthrose versorgt mit Mini-HS untersuchten, war dies bei 15% der Patienten der Fall.

Innerhalb der vorliegenden Studie wird deutlich, dass insbesondere Patienten mit Berufen, bei denen eine gute Handfunktion notwendig ist und eine hohe Beanspruchung der Handgelenke erfolgt, nicht mehr in ihren vorher ausgeübten Beruf zurückkehren konnten. Es ist anzunehmen, dass die Einschränkungen in der Handfunktion dazu geführt haben, dass diese Patienten ihre Arbeit nicht mehr ausführen konnten. Dementsprechend ist es wichtig, Patienten mit Berufen, die eine hohe Beanspruchung der Handgelenke erfordern, genau zu untersuchen und ihnen spezielle Rehaoptionen zu ermöglichen, um diesen Patienten eine Rückkehr in den Beruf zu erleichtern.

Kraft und Beweglichkeit

Die Kraft und Beweglichkeit sind bei einer Nonunion des Skaphoids reduziert,^{171,98} aber auch postoperativ bei ausgeheilter Pseudarthrose bleibt meist eine funktionelle Einschränkung zurück, wie verschiedene Studien zeigen.^{163,172,123,141,162}

In der vorliegenden Studie lag bei der betroffenen Hand ein Kraftdefizit von 5,99% (gem. Std.-Höchstkraft) bzw. von 1,15% (10-sec-Spitzenkraft) gegenüber der gesunden Hand vor und von 14,1% gegenüber Normwerten der gleichen Handseite. Was die Beweglichkeit betrifft, wurde durchschnittlich eine Einschränkung der betroffenen Hand von 9,6% bezogen auf die cROM festgestellt. Bei E/F und der U/R war die Beweglichkeit um 15,6% bzw. 19,3% gegenüber der gesunden Seite verringert.⁹⁷ Die Bewegungsausmaße bei der P/S waren dagegen nahezu identisch mit denen der gesunden Seite, analog den Ergebnissen diverser anderer Studien.^{173,174,167} Die erreichten Werte der Patienten des vorliegenden Studienkollektivs waren vergleichbar mit denjenigen anderer Studienpopulationen – was die Kraftmessung betrifft, wurden in der vorliegenden Studie sogar bessere Werte erzielt.

Zum Beispiel kam es bei Komadinic et al.¹⁷⁴ nach rekonstruktiver OP bei 70 nachuntersuchten Patienten zu einem relativen Defizit von 6% für die Kraft, von 12% für E/F und von 15% für U/R.

Malizos et al.¹⁴³ verzeichneten nach pVBG ein Kraftdefizit von 18% und ein Beweglichkeitsdefizit in E/F von 24% sowie in U/R von 21%.

Nakamura et al.¹⁷² stellten bei Patienten nach nVBG ein postoperatives durchschnittliches Kraftdefizit von 22% und ein Defizit in E/F von 14% bezogen auf die gesunde Seite fest.

Trotz des Defizits führt eine OP jedoch in vielen Fällen zu einer Verbesserung der Funktion.^{165,72,175}

Zum Beispiel konnten Robbins et al.¹⁵⁴ in ihrer Studie an 17 Patienten nach nVBG und HS eine Verbesserung der Griffkraft von prä- auf postoperativ um durchschnittlich 44% ($p=0,002$) verzeichnen. Und auch die Beweglichkeit in U/R und E/F besserte sich tendenziell, dies jedoch ohne Signifikanz.

In der vorliegenden Studie lagen aufgrund des retrospektiven Designs keine präoperativen Kraft- und Beweglichkeitswerte vor, weshalb eine Analyse der Funktionsänderung von prä- auf postoperativ nicht möglich war.

4.3.2 Klinisch-funktionelles Outcome in Abhängigkeit verschiedener Faktoren

Konsolidierungsrate

Statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Konsolidierung und den klinisch-funktionellen Ergebnissen konnten in der vorliegenden Studie nicht gefunden werden.⁹⁷

Auch andere Studien bestätigen, dass eine Nonunion nicht zwingend zu einem schlechten oder eine Union zu einem besseren funktionellen Outcome führen muss.^{124,175,157,74}

Zum Beispiel kam es bei Warren-Smith und Barton¹⁷⁵ postoperativ trotz einer persistierenden Pseudarthrose in 11 von 14 Fällen zu einer Schmerzreduktion.

Sie nahmen an, dass es bei diesen Patienten von einer kompletten Nonunion (präoperativ) zu einer fibrösen Nonunion (postoperativ) gekommen war.

Ähnlich vermuteten auch Jiranek et al.,¹⁵⁷ dass die in ihrer Studie festgestellte postoperative Schmerzreduktion trotz persistierender Pseudarthrose an einer erhöhten karpalen Stabilität, ausgelöst durch eine stabilere fibröse Verbindung oder verminderte Beweglichkeit des Karpus aufgrund von postoperativer Narbenbildung, lag.

In der Studie von Herbert und Filan⁷⁴ waren 90% der Patienten postoperativ wieder in ihren vorherigen Job zurückgekehrt und 85% asymptomatisch mit einer exzellenten Handgelenksfunktion – dabei war es nur bei 49% zu einer Konsolidierung gekommen. Sie führten das gute Outcome trotz fehlender Ausheilung auf die Stabilisierung der Pseudarthrose durch die innere Schraubenfixierung zurück.

Zu einem anderen Ergebnis kamen Rahimnia et al.¹⁶² in ihrem Kollektiv aus 41 Patienten nach VBG. Sie konnten bei Ausheilung (im Gegensatz zu Pseudarthrosenpersistenz) eine signifikante Verbesserung in der Griffkraft ($p=0,04$), der Beweglichkeit in R/U ($p=0,03$) und radiologisch in der Kahnbeinlänge feststellen. Die Kahnbeinlänge wiederum bedingt die Griffkraft, da durch die Aufrichtung des Kahnbeins die optimale Spannung der überkreuzenden Sehnen und somit ein optimaler Kraftaufbau gewährleistet wird. Rahimnia et al. konnten auch einen signifikanten Zusammenhang zwischen Ausheilung und DASH sowie Modified Mayo Wrist Score feststellen.

Die Ergebnisse sind unterschiedlich, dennoch zeigen viele Studien, dass Patienten von einer Operation profitieren können, selbst wenn es zu keiner postoperativen Ausheilung kommt, da Schmerzen dennoch weniger werden und sich die Funktion durch eine postoperativ stabilere Verbindung der Frakturanteile verbessern kann. Bei der Definition der OP-Ziele sollte dementsprechend der Verbesserung des klinisch-funktionellen Ergebnisses eine große Bedeutung zukommen, ganz nach Herbert et al.:⁷⁴ „[...], *it is preferable to treat the wrist rather than the x-ray film*“.

Geschlecht

In der vorliegenden Studie ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen Geschlecht und dem funktionellen Outcome.⁹⁷ Frauen schnitten signifikant besser ab, was die absolute Beweglichkeit betraf (E/F ($p=0,04$), U/R ($p=0,04$), P/S ($p=0,02$), cROM ($p=0,01$)). Hingegen erreichten Männer signifikant höhere absolute Kraftwerte (gem. Std.-Höchstkraft $p<0,001$, 10-sec-Spitzenkraft $p<0,001$), was mit angeborenen Voraussetzungen wie höheres Testosteron und größerer Muskelmasse erklärt werden kann.^{176,177} Auch im DASH-Modul 1 (Funktionsfähigkeit, $p=0,03$) sowie in den SF36-Kategorien Eingeschränkte emotional-bedingte Rollenfunktion ($p=0,046$), Vitalität ($p<0,001$) und Mentale Gesundheit ($p<0,001$) schnitten Männern besser ab.

Studien von Kim und Kim¹⁷⁸ und Jester et al.¹⁷⁹ an Arbeitnehmern unterstützen ebenfalls die geschlechtsabhängig besseren Ergebnisse von Männern im DASH. Ein beeinflussender Faktor könnte sein, dass Haushaltspflichten zum großen Teil von Frauen übernommen werden. Kim und Kim¹⁷⁸ wiesen in der multivariaten Regressionsanalyse nach, dass bei Männern die Einschränkung im DASH mit einem zunehmendem Aufwand für den Haushalt zunimmt ($p=0,00$).

Del Core et al.,¹⁸⁰ die sich mit geschlechtsabhängigen Unterschieden im SF36 bei Patienten mit diabetischem Fußsyndrom beschäftigten, erklären sich das schlechtere Abschneiden von Frauen im SF36 ebenfalls damit, dass diese neben der eigenen Krankheitsbewältigung die Last der Ausführung von Aufgaben im Haushalt und der Fürsorge gegenüber den Kindern tragen. Männer hingegen würden in diesem Bereich eher Unterstützung und Hilfe in Anspruch nehmen. Zudem hätten Frauen ein besseres Verständnis für die Erkrankung und deren negative Auswirkungen auf ihr Leben (Krankheitsentwicklung, Langzeitfolgen, Komplikationen).

Pseudarthrosenlokalisierung

Da Pseudarthrosen mit Lokalisation im proximalen Drittel laut vieler Studien eine schlechtere Ausheilungsprognose haben,^{110,122,123,124} könnte man postulieren, dass auch das klinisch-funktionelle Outcome schlechter ist.

Diese Annahme bestätigten beispielsweise Nakamura et al.¹⁷² in ihrer Studie an 50 Patienten nach nVBG mit HS-Implantation. Sie fanden eine signifikant geringere Wahrscheinlichkeit eines ausgezeichneten oder guten funktionellen Outcomes (gemessen anhand des Green and O'Brien Scores modifiziert nach Cooney) bei Frakturlokalisation im proximalen Pol ($p < 0,05$).

Auch Alluri et al.¹⁸¹ stellten bei proximaler Lokalisation trotz eines ähnlichen radiologischen Outcomes ein signifikant schlechteres funktionelles Ergebnis (gemessen anhand des Mayo Wrist Scores) im Vergleich zu den Lokalisationen im distalen Pol und der Taille fest ($p = 0,02$).

In der hier vorliegenden Studie ergab sich jedoch gerade bei distaler Lokalisation ein signifikanter Unterschied mit höheren Werten im DASH-Modul 2 (Sport/Musik) im Vergleich zur Lokalisation in der Kahnbeintaille ($p = 0,00016$) oder im proximalen Pol ($p = 0,0049$). Weitere Studien, die schlechtere funktionelle Ergebnisse bei den seltenen Pseudarthrosen mit distaler Lokalisation feststellen konnten, waren in der aktuellen Literatur nicht zu finden. Möglicherweise liegt das schlechtere Abschneiden an einer Veränderung im karpalen Gefüge. Zum Beispiel beschrieben Oron et al.¹⁸² das Vorliegen einer DISI bei all ihren Nonunions im distalen Pol.

OP-Typ

In Abhängigkeit des OP-Typs ergaben sich in der vorliegenden Studie für 12 Variablen des klinisch-funktionellen Outcomes signifikante Unterschiede. Dies umfasst neben den Scores (DASH Modul 2 (Sport/Musik) und 3 (Beruf), SF36-Kategorie Mentale Gesundheit, Green and O'Brien Score modifiziert nach Cooney) und den Belastungsschmerzen auch die Kraft (gem. Std.-Höchstkraft (betroffen/Norm)) und Beweglichkeit (E/F, U/R, cROM, E/F (betroffen/gesund), U/R (betroffen/gesund), cROM (betroffen/gesund)). Die Ergebnisse legen zusammengefasst eine Abnahme des Outcomes von nicht vaskularisierten über gestielt vaskularisierten zu frei vaskularisierten Knochentransplantaten nahe.

Dagegen konnten Braga-Silva et al.,¹⁸³ die gestielt vaskularisierte Knochentransplantate vom distalen Radius gegen nicht-vaskularisierte

Knochentransplantate vom Becken verglichen, keine signifikanten Unterschiede in Beweglichkeit, Griffkraft oder der Unionwahrscheinlichkeit feststellen. Auch Aibinder et al.¹⁸⁴ beobachteten keine Unterschiede zwischen Patienten mit nicht-vaskularisiertem Beckentransplantat, 1,2 ICSRA und frei vaskularisiertem Transplantat aus dem Femur.

Hirche et al.¹⁴⁴ (nVBG vs. pVBG) konnten zwar ein signifikant besseres absolutes Funktionsergebnis bei nVBG darstellen – dieses wurde anhand der Griffkraft und der Beweglichkeit in U/R der betroffenen Hand gemessen. Jedoch zeigte sich kein signifikanter relativer (betroffen/gesund) Unterschied zwischen nVBG und pVBG, ebenso war auch das Green and O'Brien Score-Ergebnis nicht signifikant unterschiedlich.

Das schlechtere Abschneiden von VBG in der hier vorliegenden Studie könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Patienten mit nVBG tendenziell früher operiert worden waren (durchschnittlich 41 Monate nach dem Trauma) als die Patienten mit pVBG oder fVBG (durchschnittlich 67 bzw. 80 Monate nach dem Trauma) und klinisch-funktionell einschränkende Folgeerscheinungen daher noch nicht so häufig eingetreten waren. Darüber hinaus sind komplexe Rekonstruktionsmethoden mit längerer Operationszeit, höherem Aufwand und einer schwierigeren Wiederherstellung der Handgelenksanatomie verbunden. Im Gegensatz dazu kann die Handgelenksanatomie mit einfacheren Methoden unkomplizierter wiederhergestellt werden.

Osteosynthese-Material

Die vorliegende Studie zeigt, dass die Verwendung einer Herbert-Schraube im Vergleich zum K-Draht mit signifikant besseren funktionellen Ergebnissen – in E/F, cROM, E/F (betroffen/gesund), cROM (betroffen/gesund) – einhergeht.

Laut Herbert und Filan⁷⁴ führt die Schraubenfixation zu einem intakten und stabilen Kahnbein, wodurch eine langfristig gute Handgelenksfunktion erreicht wird – auch bei inkompletter Ausheilung.

Im Gegensatz zur vorliegenden Studie konnten Hegazy et al.,¹⁸⁵ Engel et al.⁸⁰ und Alluri et al.¹⁸¹ keine signifikanten Unterschiede zwischen Patienten mit Herbert-Schrauben-Implantation und Patienten mit K-Draht-Einbringung feststellen.

Generell befassen sich die in der Literatur vorhandenen Studien in erster Linie mit den radiologischen Auswirkungen des Osteosynthesematerials, mehr als mit den funktionellen Auswirkungen.

Karpale Stellung und Lateraler intraskaphoidaler Winkel

Wie bereits erwähnt, wird der LISA in Studien als Prognosefaktor für das funktionelle Outcome untersucht.

Bereits 1989 untersuchten Amadio et al.⁹² Patienten mit ausgeheilten Kahnbeinfakturen oder -pseudarthrosen in Abhängigkeit des LISA und konnten ein signifikant schlechteres funktionelles Outcome mit ansteigendem LISA feststellen ($p < 0,05$). Als Cut-off für eine hohe Wahrscheinlichkeit eines nur ausreichenden oder sogar mangelhaften funktionellen Ergebnisses identifizierten die Autoren einen LISA $>45^\circ$, hier kam es bei nur 38,46% (N=13) zu einem ausgezeichneten oder zumindest guten klinischen Ergebnis. Bei einem LISA $<35^\circ$ hingegen kam es bei 85% der Patienten (N=20) zu einem guten oder ausgezeichneten Ergebnis.

Auch in der hier vorliegenden Studie wurden von Probanden mit einem LISA $>45^\circ$ bei der absoluten Beweglichkeit (in E/F, U/R und der cROM) signifikant schlechtere Werte erzielt als von Probanden mit einem LISA $<45^\circ$. Weitere signifikante Unterschiede in Zusammenhang mit den Scores, den Ruhe- oder Belastungsschmerzen, der Kraft oder der relativen Beweglichkeit konnten allerdings nicht festgestellt werden.

Eine signifikante Korrelation zwischen dem LISA und dem Outcome konnten im Gegensatz zur den Ergebnissen der vorliegenden Studie Jiranek et al.¹⁵⁷ nicht nachweisen. Weder konnten signifikante Unterschiede in der subjektiven Einschätzung ihrer untersuchten Patienten noch in der gemessenen Griffkraft

oder Beweglichkeit festgestellt werden. 12 ihrer 13 Patienten mit einem LISA $>45^\circ$ hatten postoperativ wieder ein hohes funktionelles Level erreicht.

Lynch et al.¹⁸⁶ konnten keine signifikanten Unterschiede nachweisen. Sie führten bei 5 Patienten mit symptomatischer Malunion und DISI eine Korrekturosteotomie durch und korrigierten darüber den LISA im Durchschnitt von 52° auf 28° , den SL-Winkel von 82° auf 54° und den RL-Winkel von 39° auf 23° . Die funktionellen Messungen zeigten zwar eine Tendenz zur Verbesserung von Kraft und Beweglichkeit bei all ihren Patienten, jedoch ohne Signifikanz.

Zwar zeigen die Studie von Jiranek et al.¹⁵⁷, ferner die von Lynch et al.¹⁸⁶, dass ein LISA $>45^\circ$ nicht zwangsläufig ein schlechteres klinisches Outcome zur Folge haben muss. Dennoch lassen sich auch signifikante Vorteile eines postoperativen LISA $<45^\circ$ auf die Handgelenkfunktion nachweisen, wie in der hier vorliegenden Studie hinsichtlich der absoluten Beweglichkeit. Daher sollten die Aufrichtung des Kahnbeins und die Formwiederherstellung im Zuge des rekonstruktiven Eingriffs angestrebt werden, um die Voraussetzungen für die Rehabilitation der Funktion zu optimieren.

Patientenalter zum Zeitpunkt des Studienbeginns

Wir fanden in der vorliegenden Studie eine signifikant schlechtere, absolute Beweglichkeit (E/F, U/R, cROM) und gem. Std.-Höchstkraft mit steigendem Alter, allerdings keine signifikanten Zusammenhänge mit der relativen Beweglichkeit oder Kraft.

Diese Ergebnisse zeigen einerseits den natürlichen Rückgang von Kraft und Beweglichkeit im Alter auf, deuten andererseits aber darauf hin, dass das Potenzial zur Rehabilitation der Handfunktion durch das zunehmende Alter nicht zwangsläufig beeinträchtigt zu sein scheint und auch ältere Menschen von einer Operation profitieren können.

Dabei ist anzumerken, dass die Probanden dieser Studie mit einem Altersdurchschnitt von 34,38 Jahren (Median=32, Range 18-75) insgesamt relativ jung waren.

Pseudarthrosenalter

Nakamura et al.¹⁷² stellten in ihrer Studie an 50 Patienten nach nVBG mit Herbert-Schraube fest, dass ein ausgezeichnetes oder gutes funktionelles Outcome (gemessen anhand des Green and O'Brien Scores modifiziert nach Cooney) weniger wahrscheinlich war, wenn seit dem Trauma mehr als 5 Jahre vergangen waren. Bei einem Pseudarthrosenalter von mehr als 5 Jahren erreichten nur 8,33% der Patienten ein ausgezeichnetes oder gutes Ergebnis, verglichen mit 73,68% bei einer Zeitspanne von weniger als 5 Jahren. Auch die Frakturlokalisierung im proximalen Pol, ein sklerosierter proximaler Pol und eine ungenügende Korrektur der Kahnbeindeformität sahen sie als ausschlaggebende Faktoren eines schlechteren Outcomes an.

Auch Inoue et al.¹²² konnten in ihrer Studie an 160 Fällen feststellen, dass neben dem Vorliegen von Arthrose ($p < 0,0001$) ein Pseudarthrosenalter > 5 Jahre ($p < 0,02$) zu einem signifikant schlechteren klinischen Outcome in postoperativ konsolidierten Kahnbeinen führte (gemessen anhand des Green and O'Brien Scores modifiziert nach Cooney). Sie erklärten sich dies damit, dass die Arthrose im Laufe der Zeit durch die Impaktion der Gelenksflächen infolge des deformierten Kahnbeins entsteht, was wiederum zu einer Einschränkung der Handgelenksbeweglichkeit und Schmerzen führt.

Inoue führte eine weitere Studie mit Sakuma¹⁴¹ durch, in der bei Patienten mit einer < 5 Jahre alten Pseudarthrose ein postoperatives Beweglichkeitsdefizit von 19% und ein Kraftdefizit von 11% gegenüber der Gegenseite gemessen werden konnte, während bei Patienten mit einem Pseudarthrosenalter von 20 Jahren das Beweglichkeitsdefizit bei 31% und das Kraftdefizit bei 38% lag. Interessanterweise nahmen nur wenige Patienten die kontinuierliche Verschlechterung ihrer Funktion wahr, was man sich mit einem Gewöhnungseffekt erklärte. Auch in der vorliegenden Studie nahmen – unabhängig vom Pseudarthrosenalter – nur 37,4% der Patienten einen Kraftunterschied der operierten Hand im Vergleich zur anderen Hand wahr, obwohl in der Nachuntersuchung bei weit mehr als 50% ein Kraftunterschied objektiv messbar war. Ein Beweglichkeitsdefizit nahmen hingegen 68,8% der

Patienten wahr, was möglicherweise daran liegt, dass hier größere Abweichungen gegenüber der gesunden Seite vorlagen.

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Pseudarthrosenalter und dem Green and O'Brien Score oder der Kraft und Beweglichkeit ergab sich in der vorliegenden Studie nicht. Es konnte lediglich eine sehr schwach signifikante Korrelation zum DASH-Modul 1 (Funktionsfähigkeit, $r_s=0,216$, $p=0,007$) sowie dem Belastungsschmerz ($r_s=0,173$, $p=0,032$) gezeigt werden. Ein Grund für die fehlende Signifikanz der weiteren Outcome-Variablen könnten ungenaue Angaben der Patienten zum Traumadatum aufgrund von lückenhaften Erinnerungen sein.

Postoperativer kumulativer Arthrosegrad

Kahnbeine, die nicht oder fehlgestellt verheilen, haben ein erhöhtes Risiko sukzessive degenerative Veränderungen auszubilden.^{141,145,65,187}

Beispielsweise stellten Amadio et al.⁹² fest, dass bei einem LISA $<35^\circ$ bei 22% der Patienten eine Arthrose vorlag, während dies bei einem LISA $>45^\circ$ bei 54% der Fall war.

Und Inoue und Sakuma¹⁴¹ beobachteten unter 102 Patienten mit Nonunion arthrotische Entwicklungen bei 22% nach 5 Jahren, bei 75% nach 5-9 Jahren und bei 100% nach 10 Jahren eine Arthrose.

Auch Ruby et al.¹⁸⁸ berichteten von einer hohen Arthroseprävalenz von 97% bei Nonunions, die älter als 5 Jahre waren.

Mack et al.¹⁴⁵ ermittelten in ihrer Studie, dass nach 19 Jahren bei allen außer einem Patienten eine Arthrose zwischen Radius und Skaphoid vorzufinden war, und nach 30 Jahren bei allen. Sie beschrieben zudem eine signifikante Korrelation der Arthroseausrprägung mit dislozierten Frakturfragmenten und instabilen Pseudarthrosen. Aufgrund des hohen Risikos für Arthrose schlugen sie daher vor, allen Patienten mit instabiler Pseudarthrose zu einer OP zu raten.

Arthrose hat einen Einfluss auf die Handgelenksfunktion und das Vorhandensein bzw. die Ausprägung von Schmerzen, das zeigen die Ergebnisse der hier

vorliegenden Studie: Es ergaben sich signifikante, sehr schwache, positive Korrelationen zu den DASH-Modulen 1-3 und dem Belastungsschmerz sowie negative Korrelationen zu den Beweglichkeitsparametern, den drei SF36-Kategorien Physische Gesundheit, Eingeschränkte physisch-bedingte Rollenfunktion und Körperliche Schmerzen und dem Green and O'Brien Score (Punktwert).

Auch Amadio et al.⁹² konnten einen signifikanten Effekt von Arthrose auf Schmerz ($p < 0,03$), Beweglichkeit ($p < 0,01$) und Kraft ($p > 0,02$) nachweisen.

Dagegen konnten andere Autoren wie Mack et al.¹⁴⁵ und Inoue und Sakuma¹⁴¹ keinen Zusammenhang von Schmerzen zu der Arthroseausprägung aufzeigen. Auch Jiranek et al.¹⁵⁷ konnten nach einem durchschnittlichen Follow-Up von 11 Jahren keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Schmerzen und Arthrosegrad feststellen, sie nahmen an, dass es daran lag, dass die meisten ihrer Patienten nur eine moderate Arthrose aufwiesen.

Asymptomatische Patienten mit stabiler Pseudarthrose sollten dennoch über die Möglichkeit von degenerativen arthrotischen Prozessen aufgeklärt werden.

Bei Vorliegen einer Pseudarthrose sollte eine frühzeitige Operation angestrebt werden, mit dem Ziel der Konsolidierung in möglichst anatomisch korrekter Stellung, um degenerative Prozesse zu verhindern oder zu verlangsamen.

5 Zusammenfassung

Die Kahnbeinpseudarthrose ist eine Komplikation, die infolge einer Kahnbeinfraktur, der häufigsten Fraktur des Handgelenks, auftreten kann.¹⁸⁹ Sie betrifft vor allem junge, aktive Menschen im erwerbsfähigen Alter und erfordert daher eine optimale Behandlung, um langfristige Schmerzen, Funktionseinbußen sowie Arthrose zu verhindern und die Arbeitsfähigkeit wiederherzustellen.

Ziel dieser retrospektiven Studie war es, die Konsolidierung sowie das funktionell-klinische Outcome nach Kahnbeinrekonstruktion in Abhängigkeit des operativen Verfahrens und beeinflussender Faktoren zu analysieren und zu verstehen. Dazu wurden Daten von 370 Patienten erhoben, die zwischen Januar 2007 und Dezember 2020 an der BG Klinik Tübingen an der Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie operiert worden waren. Zudem erfolgte die Auswertung von 162 Fragebögen und die Untersuchung des klinisch-funktionellen Outcomes an 139 Patienten.

Eine signifikante Korrelation zwischen Ausheilungsrate und OP-Typ (nVBG vs. pVBG vs. fVBG)⁹⁶ oder dem klinisch-funktionellen Ergebnis⁹⁷ zeigte sich nicht (jeweils $p < 0,05$). Stattdessen ergab sich ein signifikant positiver Einfluss auf die Unionrate bei Herbert-Schrauben-Implantation (HS: $p = 0,027$, HS + K-Draht: $p = 0,04$) und ein signifikant negativer Einfluss mit steigender Anzahl an Vor-OPs, bei einem postoperativem LISA $> 45^\circ$ und bei Nikotinabusus (jeweils $p < 0,001$) sowie bei gestörter Perfusion (pAVN: $p = 0,021$, tAVN: $p < 0,001$). Mittels VBG, insbesondere fVBG, wurde bei Vorliegen einer AVN eine hohe Ausheilungsrate von bis zu 81,8% erreicht (allerdings nicht statistisch signifikant, $p < 0,05$).⁹⁶

Als Fazit ergibt sich, dass bei normalem Perfusionszustand ein Verfahren mittels nVBG, optimalerweise mit Schraubeneinbringung, angewandt werden sollte. Bei Zustand nach Vorinterventionen oder AVN sollte die Wahl eines VBG in Betracht gezogen werden. Falls zusätzlich zur AVN ein pathologischer LISA bzw. eine Humpback-Deformität vorliegt, sollte ein fVBG mit der Möglichkeit der Hebung eines großen Knochentransplantats zur Aufrichtung des Kahnbeins gewählt werden. Außerdem ist die Aufklärung des Patienten über den Nutzen eines Raucherstopps bedeutsam.

Hinsichtlich des klinisch-funktionellen Outcomes wurde bei der Verwendung von Herbert-Schrauben statt K-Drähten eine signifikant bessere Beweglichkeit beobachtet ((betroffen/gesund), E/F: $p=0,0069$). Ebenso führte der Einsatz von nVBG gegenüber VBG zu einer signifikant besseren Beweglichkeit ((betroffen/gesund), E/F: nVBG vs. pVBG $p<0,001$, nVBG vs. fVBG $p=0,0013$). Bei nVBG vs. pVBG wurden zudem signifikant bessere Ergebnisse in der gem. Std.-Höchstkraft ((betroffen/Norm), $p=0,0132$), dem Belastungsschmerz ($p<0,001$) und Green and O'Brien Score ($p=0,0194$) erreicht. Hieraus folgt, dass komplexere OP-Methoden Situationen mit speziellen Anforderungen vorbehalten werden sollten. Zudem sollten Herbert-Schrauben als Osteosynthese-Material bevorzugt werden, da die Schraubenfixierung auch bei postoperativ persistierender Pseudarthrose die Handgelenksfunktion unterstützen kann.

Darüber hinaus ergab sich bei einem postoperativen LISA $>45^\circ$ bei der absoluten Beweglichkeit ein signifikant schlechteres Outcome (E/F: $p=0,0207$). Dies unterstreicht die Bedeutung einer korrekten Formrekonstruktion.

Mit steigendem Arthrosegrad verschlechterten sich außerdem die Ergebnisse in der Beweglichkeit (E/F (betroffen/gesund): $r_s=-0,305$ ($p<0,001$)), im DASH-Score (Modul 1: $r_s=0,278$ ($p<0,001$)), im Green and O'Brien Score ($r_s=-0,207$ ($p=0,015$)) und beim Belastungsschmerz ($r_s=0,238$ ($p=0,003$)) signifikant. Passend zum mit der Zeit voranschreitenden Charakter der Arthrose ergab sich eine signifikante, positive Korrelation zwischen dem Pseudarthrosenalter und einer abnehmenden Funktionalität (DASH-Modul 1: $r_s=0,216$ ($p=0,007$), Belastungsschmerz: $r_s=0,173$ ($p=0,032$)). Das Erkennen einer Skaphoidfraktur oder Pseudarthrose und deren frühzeitige operative Behandlung sind also sehr bedeutsam.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass das radiologische und klinisch-funktionelle Outcome nach Kahnbeinrekonstruktion nicht isoliert vom OP-Verfahren abhängt, sondern dass Kofaktoren eine tragende Rolle spielen. Daher muss diesen bei der Entscheidung für das geeignete OP-Verfahren ein großer Stellenwert zukommen und jeder Patient individuell bewertet werden. Zudem sind weitere multizentrische Studien sowie einheitliche Assessments und Scores erforderlich, um eine systematische Bewertung der Behandlungserfolge und dadurch eine Vergleichbarkeit der Therapiewege zu ermöglichen.

6 Literaturverzeichnis

1. Filan SL, Herbert T. Herbert screw fixation of scaphoid fractures. *J Bone Joint Surg Br.* 1996;784:519-29.
2. Leslie IJ, Dickson RA. The fractured carpal scaphoid. Natural history and factors influencing outcome. *J Bone Joint Surg Br.* 1981;63-b(2):225-30. doi:10.1302/0301-620x.63b2.7217146
3. Zura R, Xiong Z, Einhorn T, et al. Epidemiology of fracture nonunion in 18 human bones. *JAMA Surg.* 2016;151(11):1-12. doi:10.1001/jamasurg.2016.2775
4. Jørgsholm P, Ossowski D, Thomsen N, Björkman A. Epidemiology of scaphoid fractures and non-unions: A systematic review. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2020;52(5):374-381. doi:10.1055/a-1250-8190
5. Vesalius A. *De humani corporis fabrica libri septem.* Johannes Oporinus; 1543.
6. Cooney WP. *The Wrist: Diagnosis and Operative Treatment.* 2 ed. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
7. Tang A, Varacallo M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Hand Carpal Bones. *StatPearls.* StatPearls Publishing; 2023. Accessed 2023/06/10. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535382/>
8. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. *Prometheus LernAtlas der Anatomie - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem.* Lehrbuch. 5 ed. Georg Thieme Verlag; 2018. Accessed 2023/06/10. <https://doi.org/10.1055/b-006-149643>
9. Schmidt H-M, Lanz U, Kohnle G. *Chirurgische Anatomie der Hand.* 2 ed. Hippokrates-Verl.; 1992.
10. Zumhasch R, Wagner M, Klausch S, Hirt B. *Anatomie und Biomechanik der Hand.* 2 ed. Georg Thieme Verlag; 2012. Accessed 2021/11/01. http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=4001533&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm
11. Krimmer H, Schmitt R, Herbert T. Kahnbeinfrakturen - Diagnostik, Klassifikation und Therapie. *Unfallchirurg.* 2000;103(10):812-819. doi:10.1007/s001130050626
12. Langer MF, Oeckenpöhler S, Breiter S, Wähnert D, Wieskötter B. Anatomie und Biomechanik des Kahnbeins. *Orthopäde.* 2016;45(11):926-937. doi:10.1007/s00132-016-3339-5
13. Sauerbier M, Eisenschenk A, Krimmer H, Partecke B-D, Schaller H-E. *Die Handchirurgie.* 1 ed. Elsevier, Urban & Fischer; 2015.
14. Cheung JP, Tang CY, Fung BK. Current management of acute scaphoid fractures: a review. *Hong Kong Med J.* 2014;20(1):52-8. doi:10.12809/hkmj134146
15. Borges CS, Ruschel PH, Pignataro MB. Scaphoid Reconstruction. *Orthop Clin North Am.* 2020;51(1):65-76. doi:10.1016/j.ocl.2019.08.010
16. Taleisnik J, Kelly PJ. The extraosseous and intraosseous blood supply of the scaphoid bone. *J Bone Joint Surg Am.* 1966;48(6):1125-37.
17. Fasol P, Munk P, Strickner M. Blutgefäßversorgung des Handkahnbeins. *Acta Anat (Basel).* 1978;100(1):27-33.
18. Gelberman RH, Menon J. The vascularity of the scaphoid bone. *J Hand Surg.* 1980;5(5):508-513. doi:10.1016/S0363-5023(80)80087-6
19. Botte MJ, Mortensen WW, Gelberman RH, Rhoades CE, Gellman H. Internal vascularity of the scaphoid in cadavers after insertion of the Herbert screw. *J Hand Surg.* 1988;13(2):216-220. doi:10.1016/S0363-5023(88)80051-0
20. Oehmke MJ, Podranski T, Klaus R, et al. The blood supply of the scaphoid bone. *J Hand Surg Eur Vol.* 2009;34(3):351-7. doi:10.1177/1753193408100117
21. (DEGUM) DGfUdM. S2e-Leitlinie Fraktursonografie. Accessed 2023/06/12, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://register.awmf.org/assets/guidelines/085-003l_S2e_Fraktursonographie_2023-02_1.pdf

22. Mehling IM, Sauerbier M. Skaphoidfrakturen und Skaphoidpseudarthrosen. *Z Orthop Unfall*. 2013;151(6):639-660. doi:10.1055/s-0033-1360131
23. Gelberman RH, Gross MS. The vascularity of the wrist. Identification of arterial patterns at risk. *Clin Orthop Relat Res*. 1986;(202):40-9.
24. Fasol P, Munk P, Strickner M. Zur Entstehung der Pseudarthrose des Handkahnbeins. Unter besonderer Berücksichtigung der Gefäßversorgung. *Chir Praxis*. 1977;(22):513-8.
25. Frank J, Pralle H, Marzi I. Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Handgelenkes und distalen Radioulnargelenkes. *OP-Journal*. 2003;19(01):4-9. doi:10.1055/s-2007-979464
26. Berger RA, Blair WF, Crowninshield RD, Flatt AE. The scapholunate ligament. *J Hand Surg Am*. 1982;7(1):87-91. doi:10.1016/s0363-5023(82)80021-x
27. Towfigh H. Die frischen perilunären Luxationen: Algorithmus der Behandlung. *Kongressbd Dtsch Ges Chir Kongr*. 2001;118:405-10.
28. Navarro A. Anatomia y fisiologia del carpo. *Ann Inst Clin Quir Chir Exp*. 1937;1:162-250.
29. Taleisnik J. *The Wrist*. 1. ed. Churchill Livingstone; 1985.
30. Lichtman DM, Schneider JR, Swafford AR, Mack GR. Ulnar Midcarpal Instability - Clinical and Laboratory Analysis. *J Hand Surg Am*. 1981;6(5):515-523. doi:10.1016/s0363-5023(81)80115-3
31. Megerle K, Machens H-G. Die differenzierte Therapie karpaler Bandverletzungen. *OP-Journal*. 2015;31(02):114-118. doi:10.1055/s-0035-1546210
32. Linscheid RL, Dobyns JH. The unified concept of carpal injuries. *Ann Chir Main*. 1984;3(1):35-42. doi:10.1016/S0753-9053(84)80060-5
33. Smith DK, Cooney WP, An KN, Linscheid RL, Chao EYS. The effects of simulated unstable scaphoid fractures on carpal motion. *J Hand Surg Am*. 1989;14(2):283-291. doi:10.1016/0363-5023(89)90022-1
34. Langer MF, Unglaub F, Breiter S, Ueberberg J, Wieskötter B, Oeckenpöhler S. Anatomie und Pathobiomechanik des Skaphoids. *Unfallchirurg*. 2019;122(3):170-181. doi:10.1007/s00113-018-0597-1
35. Coblenz G, Christopoulos G, Fröhner S, Kalb KH, Schmitt R. Skaphoidfraktur und -pseudarthrose. Eine aktuelle Standortbestimmung der radiologischen Diagnostik. *Radiologe*. 2006;46(8):664-676. doi:10.1007/s00117-006-1398-z
36. Shenoy R, Pillai A, Hadidi M. Scaphoid fractures: variation in radiographic views – a survey of current practice in the West of Scotland region. *Eur J Emerg Med*. 2007;14(1):2-5. doi:10.1097/01.mej.0000228445.63523.b7
37. Erlacher G. Ergebnisse der percutanen Verschraubung des Handkahnbeins. *Arch Orthop Unfallchir*. 1974;79(1):66-74. doi:10.1007/BF00415694
38. Hayat Z, Varacallo M. Scaphoid Wrist Fracture. *StatPearls*. StatPearls Publishing; 2023. Accessed 2023/06/13. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30725592/>
39. Arsalan-Werner A, Sauerbier M, Mehling IM. Skaphoidfraktur und Skaphoidpseudarthrose. *Trauma und Berufskrankh*. 2016;18:376-385. doi:10.1007/s10039-016-0147-4
40. Weber ER, Chao EY. An experimental approach to the mechanism of scaphoid waist fractures. *J Hand Surg Am*. 1978;3(2):142-148. doi:10.1016/s0363-5023(78)80062-8
41. Eisenschenk A, Lautenbach M, Weber U. Skaphoidfraktur und Skaphoidpseudarthrose. *Orthopäde*. 1999;28(10):883-890. doi:10.1007/PL00003564
42. Braithwaite I, Jones W. Scapho-lunate dissociation occurring with scaphoid fracture. *J Hand Surg Br*. 1992;17:286-288. doi:10.1016/0266-7681(92)90117-k
43. Rayan G. Fractures and nonunions of the scaphoid. *J Okla State Med Assoc*. 1996;89:315-323.

44. Rhemrev SJ, Ootes D, Beeres FJP, Meylaerts SAG, Schipper IB. Current methods of diagnosis and treatment of scaphoid fractures. *Int J Emerg Med*. 2011;4(1):4. doi:10.1186/1865-1380-4-4
45. Parvizi J, Wayman J, Kelly P, Moran CG. Combining the clinical signs improves diagnosis of scaphoid fractures. A prospective study with follow-up. *J Hand Surg Br*. 1998;23(3):324-7. doi:10.1016/s0266-7681(98)80050-8
46. Dias JJ, Brenkel IJ, Finlay DB. Patterns of union in fractures of the waist of the scaphoid. *J Bone Joint Surg Br*. 1989;71(2):307-10. doi:10.1302/0301-620x.71b2.2925752
47. DeMaagd RL, Engber WD. Retrograde Herbert screw fixation for treatment of proximal pole scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am*. 1989;14(6):996-1003. doi:10.1016/s0363-5023(89)80050-4
48. Bickert B, Kremer T, Kneser U. Operative Therapie der Skaphoidpseudarthrose. *Obere Extremität*. 2014;9(4):271-275. doi:10.1007/s11678-014-0290-0
49. Asmus A, Lautenbach M, Schacher B, Kim S, Eisenschenk A. Skaphoidpseudarthrose: Indikationsbereiche für das avaskuläre Beckenkamm- oder Radiustransplantat. *Orthopäde*. 2016;45(11):951-965. doi:10.1007/s00132-016-3337-7
50. Wozasek GE, Moser KD. Percutaneous screw fixation for fractures of the scaphoid. *J Bone Joint Surg Br*. 1991;73(1):138-42. doi:10.1302/0301-620x.73b1.1670499
51. Strassmair M, Wilhelm K. Entstehung einer Skaphoidpseudarthrose: Diagnostische Unsicherheit und inkonsequente Therapie als Ursachen. *Dtsch Ärztebl*. 2001;98(45):A-2962.
52. Renner A, Hardy G, Egri L. Vergleich verschiedener Behandlungsmethoden bei der Skaphoidpseudarthrose. *Orthopäde*. 1996;25(5):449-453. doi:10.1007/s001320050046
53. v. Koppenfels R, Frössler H. Angeborene und erworbene Teilungen des Os naviculare, der Patella und der Fußsesambeine. *Arch Orthop Unfallchir*. 1974;78(2):107-121. doi:10.1007/BF00416882
54. Böhler L, Trojan E, Jahna H. The results of treatment of 734 fresh, simple fractures of the scaphoid. *J Hand Surg Br*. 2003;28(4):319-331. doi:10.1016/s0266-7681(03)00077-9
55. Holmenschlager F, Schubert S, Brug E, Winckler S. Kahnbeinpseudarthrose der Hand - Ist die Matti-Russe-Plastik noch aktuell? *Aktuelle Traumatol*. 2002;32(05):213-217. doi:10.1055/s-2002-35313
56. Sanders WE. Evaluation of the humpback scaphoid by computed tomography in the longitudinal axial plane of the scaphoid. *J Hand Surg Am*. 1988;13(2):182-187. doi:10.1016/s0363-5023(88)80045-5
57. Cooney WP, Linscheid RL, Dobyns JH, Wood MB. Scaphoid nonunion: Role of anterior interpositional bone grafts. *J Hand Surg Am*. 1988;13(5):635-650. doi:10.1016/s0363-5023(88)80116-3
58. Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, Bryan RS. Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification, and pathomechanics. *J Bone Joint Surg Am*. 1972;54(8):1612-32.
59. Engelhardt TO, Krimmer H. Dissoziative Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe. *Plastische Chirurgie*. 2006;5:1-22.
60. Yarar-Schlickewei S, Frosch KH, Schlickewei C. Scaphoid pseudarthrosis without circulatory disorder: Management and standard procedure for primary treatment. *Unfallchirurg*. 2019;122(3):191-199. doi:10.1007/s00113-018-0596-2
61. Bain GI, Bennett JD, MacDermid JC, Slethaug GP, Richards RS, Roth JH. Measurement of the scaphoid humpback deformity using longitudinal computed tomography: Intra- and interobserver variability using various measurement techniques. *J Hand Surg Am*. 1998;23(1):76-81. doi:10.1016/S0363-5023(98)80093-2

62. Gvozdenovic R, Presman B, Larsen MB, Radev DI, Joerring S, Jensen CH. Can CT-Scan Measurements of Humpback Deformity, Dislocation, and the Size of Bony Cysts Predict Union after Surgery for Scaphoid Nonunion? *J Wrist Surg.* 2021;10(5):418-429. doi:10.1055/s-0041-1730342
63. Kahl T, Razny FK, Benter JP, et al. Diagnostik des Skaphoids: Fraktur, Pseudarthrose, Durchblutung, Perfusion. *Orthopäde.* 2016;45(11):938-944. doi:10.1007/s00132-016-3333-y
64. Watson HK, Ryu J. Evolution of arthritis of the wrist. *Clin Orthop Relat Res.* 1986;(202):57-67.
65. Krimmer H, Lanz U. Der posttraumatische karpale Kollaps Verlauf und Therapiekonzept. *Unfallchirurg.* 2012;103:260-266. doi:10.1007/s001130050534
66. Kellgren JH, Jeffrey MR, Ball J. *The epidemiology of chronic rheumatism: Atlas of standard radiographs of arthritis*
vol 2. Blackwell Scientific Publications; 1963.
67. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis.* 1957;16(4):494-502. doi:10.1136/ard.16.4.494
68. Matti H. Über die Behandlung der Navicularefraktur und der Refractura patellae durch Plombierung mit Spongiosa. *Zentralbl Chir.* 1937;64:2353-2359.
69. Russe O. Therapeutic results with cancellous bone filling in pseudoarthrosis of the navicular bone. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1951;81(3):466-473.
70. Goyal T, Sankineani SR, Tripathy SK. Local distal radius bone graft versus iliac crest bone graft for scaphoid nonunion: a comparative study. *Musculoskelet Surg.* 2013;97(2):109-14. doi:10.1007/s12306-012-0219-y
71. Zoubos AB, Triantafyllopoulos IK, Babis GC, Soucacos PN. A modified Matti-Russe technique for the treatment of scaphoid waist non-union and pseudoarthrosis. *Med Sci Monit.* 2011;17(2):Mt7-12. doi:10.12659/msm.881376
72. Green DP. The effect of avascular necrosis on Russe bone grafting for scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am.* 1985;10(5):597-605. doi:10.1016/s0363-5023(85)80191-x
73. Herbert T, Fisher W. Management of the fractured scaphoid using a new bone screw. *J Bone Joint Surg Br.* 1984;66-B(1):114-123. doi:10.1302/0301-620x.66b1.6693468
74. Herbert TJ, Filan SL. Proximal scaphoid nonunion-osteosynthesis. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 1999;31(3):169-173. doi:10.1055/s-1999-13516
75. Zaidenberg C, Siebert JW, Angrigiani C. A new vascularized bone graft for scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am.* 1991;16(3):474-478. doi:10.1016/0363-5023(91)90017-6
76. Kuhlmann JN, Mimoun M, Boabighi A, Baux S. Vascularized bone graft pedicled on the volar carpal artery for non-union of the scaphoid. *J Hand Surg Br.* 1987;12(2):203-10. doi:10.1016/0266-7681_87_90014-3
77. Kalb KH, Langer M, Windolf J, van Schoonhoven J, Pillukat T. Scaphoid pseudoarthrosis: Complex reconstruction using vascularized bone grafts. *Unfallchirurg.* 2019;122(3):200-210. doi:10.1007/s00113-019-0609-9
78. Bürger H, Gaggl AJ, Kukutschki W, Müller EJ. Das freie mikrovaskuläre Knochentransplantat vom medialen Femurkondylus zur Behandlung der Kahnbeinpseudoarthrose. *Oper Orthop Traumatol.* 2009;21(4-5):396-404. doi:10.1007/s00064-009-1902-5
79. Gabl M, Pechlaner S, Zimmermann R. Die Rekonstruktion der Kahnbeinpseudoarthrose mit avaskulärem proximalen Fragment mit freiem mikrovaskulär gestielten Beckenkammtransplantat. *Oper Orthop Traumatol.* 2009;21(4-5):386-395. doi:10.1007/s00064-009-1909-y

80. Giessler GA, Engel H. Vaskularisierte ossäre und osteokartilaginäre Transplantate am Handgelenk: Ein Update. *OUP*. 2014;3(5):213-219. doi:10.3238/oup.2014.0213
81. Notarnicola A, Moretti L, Tafuri S, et al. Extracorporeal shockwaves versus surgery in the treatment of pseudoarthrosis of the carpal scaphoid. *Ultrasound Med Biol*. 2010;36(8):1306-1313. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2010.05.004
82. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med*. 1996;29(6):602-8. doi:10.1002/(sici)1097-0274(199606)29:6<602::Aid-ajim4>3.0.Co;2-I
83. Desai AS, Dramis A, Hearnden AJ. Critical appraisal of subjective outcome measures used in the assessment of shoulder disability. *Ann R Coll Surg Engl*. 2010;92(1):9-13. doi:10.1308/003588410x12518836440522
84. Beaton DE, Katz JN, Fossel AH, Wright JG, Tarasuk V, Bombardier C. Measuring the whole or the parts? Validity, reliability, and responsiveness of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand outcome measure in different regions of the upper extremity. *J Hand Ther*. 2001;14(2):128-46.
85. Hays RD, Sherbourne CD, Mazel RM. The rand 36-item health survey 1.0. *Health Econ*. 1993;2(3):217-227. doi:10.1002/hec.4730020305
86. Stewart AL, Hays RD, Ware JE, Jr. The MOS short-form general health survey. Reliability and validity in a patient population. *Med Care*. 1988;26(7):724-35. doi:10.1097/00005650-198807000-00007
87. Mathiowetz V, Kashman N, Volland G, Weber K, Dowe M, Rogers S. Grip and pinch strength: normative data for adults. *Arch Phys Med Rehabil*. 1985;66(2):69-74.
88. Green DP, O'Brien ET. Open reduction of carpal dislocations: Indications and operative techniques. *J Hand Surg Am*. 1978;3(3):250-265. doi:10.1016/s0363-5023(78)80089-6
89. Cooney WP, Bussey R, Dobyys JH, Linscheid RL. Difficult wrist fractures. Perilunate fracture-dislocations of the wrist. *Clin Orthop Relat Res*. 1987;(214):136-47.
90. Bush CH, Gillespy T, 3rd, Dell PC. High-resolution CT of the wrist: initial experience with scaphoid disorders and surgical fusions. *AJR Am J Roentgenol*. 1987;149(4):757-60. doi:10.2214/ajr.149.4.757
91. Dias JJ. Definition of Union after Acute Fracture and Surgery for Fracture Nonunion of the Scaphoid. *J Hand Surg Br*. 2001;26(4):321-325. doi:10.1054/jhsb.2001.0596
92. Amadio PC, Berquist TH, Smith DK, Ilstrup DM, Cooney WP, Linscheid RL. Scaphoid malunion. *J Hand Surg Am*. 1989;14(4):679-687. doi:10.1016/0363-5023(89)90191-3
93. Falck Larsen C, Mathiesen FK, Lindequist S. Measurements of carpal bone angles on lateral wrist radiographs. *J Hand Surg Am*. 1991;16(5):888-893. doi:10.1016/S0363-5023(10)80156-X
94. Gilula LA, Mann FA, Dobyys JH, Yin Y. Wrist Terminology as Defined by the International Wrist Investigators' Workshop (IWIW). *J Bone Joint Surg Am*. 2002 84:S1-S66. doi:10.2106/00004623-200200001-00002
95. Kellgren JH. Radiological signs of rheumatoid arthritis; a study of observer differences in the reading of hand films. *Ann Rheum Dis*. 1956;15(1):55-60. doi:10.1136/ard.15.1.55
96. Rachunek-Medved K, Illg C, Einzmann A, Kolbensschlag J, Daigeler A, Medved F. Postoperative scaphoid alignment, smoking and avascular necrosis are factors mostly influencing union rate after scaphoid reconstruction. Results of a retrospective single centre study on 370 patients. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2023;87:430-439. doi:10.1016/j.bjps.2023.10.098

97. Rachunek-Medved K, Illg C, Einzmann A, Kolbenschlag J, Daigeler A, Medved F. Patient-reported outcomes and comprehensive assessment of wrist function after scaphoid reconstruction: A single-center retrospective study on 162 patients. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2024;99:297-309. doi:10.1016/j.bjps.2024.09.071
98. Düppe H, Johnell O, Lundborg G, Karlsson M, Redlund-Johnell I. 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)doi:10.2106/00004623-199402000-00012
99. Brøndum V, Larsen CF, Skov O. Fracture of the carpal scaphoid: Frequency and distribution in a well-defined population. *Eur J Radiol*. 1992;15(2):118-122. doi:10.1016/0720-048X(92)90135-V
100. Hove LM. Epidemiology of scaphoid fractures in Bergen, Norway. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg*. 1999;33(4):423-426. doi:10.1080/02844319950159145
101. Larsen CF, Brøndum V, Skov O. Epidemiology of scaphoid fractures in Odense, Denmark. *Acta Orthop Scand*. 1992;63(2):216-8. doi:10.3109/17453679209154827
102. Swärd EM, Schriever TU, Franko MA, Björkman AC, Wilcke MK. The epidemiology of scaphoid fractures in Sweden: a nationwide registry study. *J Hand Surg Eur Vol*. 2019;44(7):697-701. doi:10.1177/1753193419849767
103. Duckworth AD, Jenkins PJ, Aitken SA, Clement ND, Court-Brown CM, McQueen MM. Scaphoid fracture epidemiology. *J Trauma Acute Care Surg*. 2012;72(2):E41-5. doi:10.1097/ta.0b013e31822458e8
104. Morimoto M, Utsumi M, Tohno Y, et al. Age-related changes of bone mineral density in human calcaneus, talus, and scaphoid bone. *Biol Trace Elem Res*. 2001;82(1-3):53-60. doi:10.1385/bter:82:1-3:053
105. Pinder RM, Brkljac M, Rix L, Muir L, Brewster M. Treatment of Scaphoid Nonunion: A Systematic Review of the Existing Evidence. *J Hand Surg Am*. 2015;40(9):1797-1805.e3. doi:10.1016/j.jhsa.2015.05.003
106. Duncumb JW, Robinson PG, Williamson TR, et al. Bone grafting for scaphoid nonunion surgery. *Bone Joint J*. 2022;104-B(5):549-558. doi:10.1302/0301-620X.104B5.BJJ-2021-1114.R1
107. Ferguson DO, Shanbhag V, Hedley H, Reichert I, Lipscombe S, Davis TR. Scaphoid fracture non-union: a systematic review of surgical treatment using bone graft. *J Hand Surg Eur Vol*. 2016;41(5):492-500. doi:10.1177/1753193415604778
108. Fujihara Y, Yamamoto M, Hidaka S, Sakai A, Hirata H. Vascularised versus non-vascularised bone graft for scaphoid nonunion: Meta-analysis of randomised controlled trials and comparative studies. *JPRAS Open*. 2023;35:76-88. doi:10.1016/j.jpra.2022.12.001
109. Ribak S, Medina CE, Mattar R, Jr., Ulson HJ, Ulson HJ, Etchebehere M. Treatment of scaphoid nonunion with vascularised and nonvascularised dorsal bone grafting from the distal radius. *Int Orthop*. 2010;34(5):683-8. doi:10.1007/s00264-009-0862-6
110. Merrell GA, Wolfe SW, Slade JF, 3rd. Treatment of scaphoid nonunions: quantitative meta-analysis of the literature. *J Hand Surg Am*. 2002;27(4):685-91. doi:10.1053/jhsu.2002.34372
111. Severo AL, Lemos MB, Lech OLC, Barreto Filho D, Strack DP, Candido LK. Bone graft in the treatment of nonunion of the scaphoid with necrosis of the proximal pole: a literature review. *Rev Bras Ortop*. 2017;52(6):638-643. doi:10.1016/j.rboe.2016.11.011
112. Sunagawa T, Bishop AT, Muramatsu K. Role of conventional and vascularized bone grafts in scaphoid nonunion with avascular necrosis: A canine experimental study. *J Hand Surg Am*. 2000;25(5):849-59. doi:10.1053/jhsu.2000.8639
113. Hovius SE, de Jong T. Bone Grafts for Scaphoid Nonunion: An Overview. *Hand Surg*. 2015;20(2):222-7. doi:10.1142/s0218810415400043

114. Kawamura K, Chung KC. Treatment of scaphoid fractures and nonunions. *J Hand Surg Am.* 2008;33(6):988-97. doi:10.1016/j.jhsa.2008.04.026
115. Ditsios K, Konstantinidis I, Agas K, Christodoulou A. Comparative meta-analysis on the various vascularized bone flaps used for the treatment of scaphoid nonunion. *J Orthop Res.* 2017;35(5):1076-1085. doi:10.1002/jor.23242
116. Chang MA, Bishop AT, Moran SL, Shin AY. The outcomes and complications of 1,2-intercompartmental supraretinacular artery pedicled vascularized bone grafting of scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am.* 2006;31(3):387-96. doi:10.1016/j.jhsa.2005.10.019
117. Boyer MI, Von Schroeder HP, Xelrod TS. Scaphoid nonunion with avascular necrosis of the proximal pole: Treatment with a vascularized bone graft from the dorsum of the distal radius. *J Hand Surg* 1998;23(5):686-690. doi:10.1016/S0266-7681(98)80029-6
118. Straw RG, Davis TRC, Dias JJ. Scaphoid nonunion: treatment with a pedicled vascularized bone graft based on the 1,2 intercompartmental supraretinacular branch of the radial artery. *J Hand Surg Br.* 2002;27(5):413-416. doi:10.1054/jhsb.2002.0808
119. Doi K, Oda T, Soo-Heong T, Nanda V. Free vascularized bone graft for nonunion of the scaphoid. *J Hand Surg Am.* 2000;25(3):507-19. doi:10.1053/jhsu.2000.5993
120. Munk B, Larsen CF. Bone grafting the scaphoid nonunion: a systematic review of 147 publications including 5246 cases of scaphoid nonunion. *Acta Orthop Scand.* 2004;75(5):618-629. doi:10.1080/00016470410001529
121. Ammori MB, Elvey M, Mahmoud SS, et al. The outcome of bone graft surgery for nonunion of fractures of the scaphoid. *J Hand Surg Eur Vol.* 2019;44(7):676-684. doi:10.1177/1753193419841278
122. Inoue G, Shionoya K, Kuwahata Y. Herbert screw fixation for scaphoid nonunions. An analysis of factors influencing outcome. *Clin Orthop Relat Res.* 1997;(343):99-106.
123. Krimmer H, Kremling E, van Schoonhoven J, Prommersberger KJ, Hahn P. Proximale Kahnbeinpseudarthrose - Rekonstruktion durch dorsale Verschraubung und Spongiosa-Transplantation. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 1999;31(3):174-7. doi:10.1055/s-1999-13517
124. Barton NJ. Experience with scaphoid grafting. *J Hand Surg Br.* 1997;22(2):153-60. doi:10.1016/s0266-7681(97)80051-4
125. Ramamurthy C, Cutler L, Nuttall D, Simison AJ, Trail IA, Stanley JK. The factors affecting outcome after non-vascular bone grafting and internal fixation for nonunion of the scaphoid. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89(5):627-32. doi:10.1302/0301-620x.89b5.18183
126. Cooney WP, 3rd, Dobyns JH, Linscheid RL. Nonunion of the scaphoid: analysis of the results from bone grafting. *J Hand Surg Am.* 1980;5(4):343-54. doi:10.1016/s0363-5023(80)80173-0
127. Jones DB, Jr., Bürger H, Bishop AT, Shin AY. Treatment of scaphoid waist nonunions with an avascular proximal pole and carpal collapse. A comparison of two vascularized bone grafts. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(12)doi:10.2106/JBJS.G.01503
128. Jones DB, Jr., Moran SL, Bishop AT, Shin AY. Free-vascularized medial femoral condyle bone transfer in the treatment of scaphoid nonunions. *Plast Reconstr Surg.* 2010;125(4):1176-1184. doi:10.1097/PRS.0b013e3181d1808c
129. Larson AN, Bishop AT, Shin AY. Free medial femoral condyle bone grafting for scaphoid nonunions with humpback deformity and proximal pole avascular necrosis. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2007;11(4):246-58. doi:10.1097/bth.0b013e3180cab17c

130. Al-Hadithy N, Sewell MD, Bhavikatti M, Gikas PD. The effect of smoking on fracture healing and on various orthopaedic procedures. *Acta Orthop Belg.* 2012;78(3):285-90.
131. Patel RA, Wilson RF, Patel PA, Palmer RM. The effect of smoking on bone healing: A systematic review. *Bone Joint Res.* 2013;2(6):102-11. doi:10.1302/2046-3758.26.2000142
132. Sloan A, Hussain I, Maqsood M, Eremin O, El-Sheemy M. The effects of smoking on fracture healing. *Surgeon.* 2010;8(2):111-6. doi:10.1016/j.surge.2009.10.014
133. Dinah AF, Vickers RH. Smoking increases failure rate of operation for established non-union of the scaphoid bone. *Int Orthop.* 2007;31(4):503-5. doi:10.1007/s00264-006-0231-7
134. Little CP, Burston BJ, Hopkinson-Woolley J, Burge P. Failure of surgery for scaphoid non-union is associated with smoking. *J Hand Surg Br.* 2006;31(3):252-255. doi:10.1016/J.JHSB.2005.12.010
135. Andersen T, Christensen FB, Laursen M, Høy K, Hansen ES, Bünger C. Smoking as a predictor of negative outcome in lumbar spinal fusion. *Spine.* 2001;26(23)doi:10.1097/00007632-200112010-00018
136. Glassman SD, Anagnost SC, Parker A, Burke D, Johnson JR, Dimar JR. The Effect of Cigarette Smoking and Smoking Cessation on Spinal Fusion. *Spine.* 2000;25(20)
137. Konstantinidis I, Christidis P, Konstantinou P, et al. The Influence of Smoking on Healing of Scaphoid Non-union after a Vascularized Pedicle Bone Flap Operation: A Review and Meta-analysis. *Orthop Rev (Pavia).* 2022;14(3):35446. doi:10.52965/001c.35446
138. Radford PJ, Matthewson MH, Meggitt BF. The Herbert screw for delayed and non-union of scaphoid fractures: a review of fifty cases. *J Hand Surg Br.* 1990;15(4):455-9. doi:10.1016/0266-7681(90)90089-m
139. Pechlaner S, Lohmann H, Buck-Gramcko D, Martin L. Pseudarthrosis of the scaphoid bone. Experiences in 240 cases. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 1987;19(6):306-309.
140. Shah J, Jones WA. Factors affecting the outcome in 50 cases of scaphoid nonunion treated with Herbert screw fixation. *J Hand Surg Br.* 1998;23(5):680-5. doi:10.1016/s0266-7681(98)80028-4
141. Inoue G, Sakuma M. The natural history of scaphoid non-union. Radiographical and clinical analysis in 102 cases. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1996;115(1):1-4. doi:10.1007/bf00453208
142. Rancy SK, Wolfe SW, Jerome JTJ. Predictors of Failure for Vascularized and Nonvascularized Bone Grafting of Scaphoid Nonunions: A Systematic Review. *J Hand Microsurg.* 2022;14(4):322-335. doi:10.1055/s-0041-1735349
143. Malizos KN, Zachos V, Dailiana ZH, et al. Scaphoid nonunions: Management with vascularized bone grafts from the distal radius: A clinical and functional outcome study. *Plast Reconstr Surg.* 2007;119(5):1513-1525. doi:10.1097/01.prs.0000256144.52654.da
144. Hirche C, Xiong L, Heffinger C, et al. Vascularized versus non-vascularized bone grafts in the treatment of scaphoid non-union: A clinical outcome study with therapeutic algorithm. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2017;25(1):2309499016684291. doi:10.1177/2309499016684291
145. Mack GR, Bosse MJ, Gelberman RH, Yu E. The natural history of scaphoid non-union. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66(4)
146. Meier R. Behandlungsoptionen beim karpalen Kollaps nach Skaphoidfraktur. *Unfallchirurg.* 2019;122(3):211-218. doi:10.1007/s00113-019-0631-y

147. Daly K, Gill P, Magnussen PA, Simonis RB. Established nonunion of the scaphoid treated by volar wedge grafting and Herbert screw fixation. *J Bone Joint Surg Br.* 1996;78-B(4):530-534. doi:10.1302/0301-620X.78B4.0780530
148. Bynum EB, Culp RW, Bonatus TJ, Alexander CE, McCarroll HR. Repeat Russe bone grafting after failed bone graft surgery for scaphoid non-union. *J Hand Surg Br.* 1995;20(3):373-8. doi:10.1016/s0266-7681(05)80096-8
149. Malizos KN, Dailiana ZH, Kirou M, Vragalas V, Xenakis TA, Soucacos PN. Longstanding nonunions of scaphoid fractures with bone loss: successful reconstruction with vascularized bone grafts. *J Hand Surg Br.* 2001;26(4):330-334. doi:10.1054/jhsb.2001.0570
150. Tambe AD, Cutler L, Stilwell J, Murali SR, Trail IA, Stanley JK. Scaphoid non-union: the role of vascularized grafting in recalcitrant non-unions of the scaphoid. *J Hand Surg Br.* 2006;31(2):185-190. doi:10.1016/j.jhsb.2005.09.012
151. Pulos N, Kollitz KM, Bishop AT, Shin AY. Free Vascularized Medial Femoral Condyle Bone Graft After Failed Scaphoid Nonunion Surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100(16)doi:10.2106/JBJS.17.00955
152. Koriem I, Agina AA, El Ghazawy AK. Treatment of failed scaphoid nonunion fixation using free medial femoral condyle vascularized bone grafting. *Sicot j.* 2023;9:7. doi:10.1051/sicotj/2023004
153. Moon ES, Dy CJ, Derman P, Vance MC, Carlson MG. Management of nonunion following surgical management of scaphoid fractures: current concepts. *J Am Acad Orthop Surg.* 2013;21(9):548-557. doi:10.5435/jaaos-21-09-548
154. Robbins RR, Ridge O, Carter PR. Iliac crest bone grafting and Herbert screw fixation of nonunions of the scaphoid with avascular proximal poles. *J Hand Surg Am.* 1995;20(5):818-31. doi:10.1016/s0363-5023(05)80438-1
155. Afshar A, Mohammadi A, Zohrabi K, Navaeifar N, Sami SH, Taleb H. Correlation of Reconstructed Scaphoid Morphology with Clinical Outcomes. *Arch Bone Jt Surg.* 2015;3(4):244-9. doi:10.22038/ABJS.2015.4712
156. Forward DP, Singh HP, Dawson S, Davis TRC. The clinical outcome of scaphoid fracture malunion at 1 year. *J Hand Surg Eur Vol.* 2009;34(1):40-46. doi:10.1177/1753193408093327
157. Jiranek WA, Ruby LK, Millender LB, Bankoff MS, Newberg AH. Long-term results after Russe bone-grafting: the effect of malunion of the scaphoid. *J Bone Joint Surg Am.* 1992;74 8:1217-28. doi:10.2106/00004623-199274080-00012
158. Ring D, Patterson JD, Levitz S, Wang C, Jupiter JB. Both scanning plane and observer affect measurements of scaphoid deformity. *J Hand Surg Am.* 2005;30(4):696-701. doi:10.1016/j.jhsa.2005.03.001
159. Grewal R, Suh N, Macdermid JC. Use of computed tomography to predict union and time to union in acute scaphoid fractures treated nonoperatively. *J Hand Surg Am.* 2013;38(5):872-7. doi:10.1016/j.jhsa.2013.01.032
160. Korompilias AV, Lykissas MG, Kostas-Agnantis IP, Gkiatas I, Beris AE. An alternative graft fixation technique for scaphoid nonunions treated with vascular bone grafting. *J Hand Surg Am.* 2014;39(7):1308-1312. doi:10.1016/j.jhsa.2014.04.021
161. Dustmann M, Bajinski R, Tripp A, Gülke J, Wachter N. A modified Matti-Russe technique of grafting scaphoid non-unions. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137(6):867-873. doi:10.1007/s00402-017-2680-4
162. Rahimnia A, Rahimnia AH, Mobasher-Jannat A. Clinical and functional outcomes of vascularized bone graft in the treatment of scaphoid non-union. *PLoS One.* 2018;13(5):e0197768. doi:10.1371/journal.pone.0197768
163. Kremling E, van Schoonhoven J, Krimmer H, Lanz U. Dorsale Verschraubung und Spongiosaplastik bei Skaphoidpseudarthrosen im proximalen Drittel. *Operat Orthop Traumatol.* 2001;13(1):17-26. doi:10.1007/s00064-001-1002-7

164. Elgammal A, Lukas B. Vascularized medial femoral condyle graft for management of scaphoid non-union. *J Hand Surg Eur Vol.* 2014;40(8):848-854. doi:10.1177/1753193414561900
165. Yeh C-W, Hsu C-E, Wang W-C, Chiu Y-C. Wrist function recovery course in patients with scaphoid nonunion treated with combined volar bone grafting and a dorsal antegrade headless screw. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):519. doi:10.1186/s13018-020-02055-0
166. Alluri RK, Yin C, Iorio ML, Leland H, Wong J, Patel K. Vascularized Bone Grafting in Scaphoid Nonunion: A Review of Patient-Centered Outcomes. *Hand (N Y).* 2017;12(2):127-134. doi:10.1177/1558944716643080
167. Cohen A, Hoogendam L, Reijman M, Selles RW, Hovius SER, Colaris JW. Patient-reported physical functioning and pain improve after scaphoid nonunion surgery: A Cohort Study. *Injury.* 2021;52(10):2952-2958. doi:10.1016/j.injury.2021.06.016
168. Bürger H, Gaggli AJ, Kukutschki W, Müller EJ. Das freie mikrovaskuläre Knochentransplantat vom medialen Femurkondylus zur Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose. *Oper Orthop Traumatol.* 2009;21(4):396-404. doi:10.1007/s00064-009-1902-5
169. Wilhelm K, Wilhelm A. Die Skaphoidpseudarthrose im proximalen Drittel - Ergebnisse der Behandlung mit der Herbert-Schraube. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 1999;31(3):178-81. doi:10.1055/s-1999-13518
170. Küntscher M, Tränkle M, Sauerbier M, Germann G, Bickert B. Versorgung proximaler Kahnbeinpseudarthrosen und -frakturen mit der Mini-Herbert-Schraube über einen dorsalen Zugang. *Unfallchirurg.* 2001;104(9):813-819. doi:10.1007/s001130170051
171. Gehrman S, Roeger T, Kaufmann R, Schaedle A, Lögters T, Windolf J. Wrist motion analysis in scaphoid nonunion. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2016;42(1):11-14. doi:10.1007/s00068-016-0640-2
172. Nakamura R, Horii E, Watanabe K, Tsunoda K, Miura T. 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):219-24. doi:10.1016/0266-7681(93)90114-u
173. Reigstad O, Grimsgaard C, Thorkildsen R, Reigstad A, Rokkum M. Long-term results of scaphoid nonunion surgery: 50 patients reviewed after 8 to 18 years. *J Orthop Trauma.* 2012;26(4):241-5. doi:10.1097/BOT.0b013e31821f940a
174. Komadinic AD. *Die Behandlung der Scaphoidpseudarthrose: operative Konzepte und Ergebnisse der Jahre 1995 bis 2002.* Dissertation. Universitätsklinikum Münster; 2009.
175. Warren-Smith CD, Barton NJ. Non-union of the scaphoid: Russe graft vs Herbert screw. *J Hand Surg Br.* 1988;13(1):83-6. doi:10.1016/0266-7681_88_90060-5
176. Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol (1985).* 2000;89(1):81-8. doi:10.1152/jappl.2000.89.1.81
177. Landen S, Hiam D, Voisin S, Jacques M, Lamon S, Eynon N. Physiological and molecular sex differences in human skeletal muscle in response to exercise training. *J Physiol.* 2023;601(3):419-434. doi:10.1113/JP279499
178. Kim KS, Kim MG. Gender-related Factors Associated with Upper Extremity Function in Workers. *Saf Health Work.* 2010;1(2):158-66. doi:10.5491/shaw.2010.1.2.158
179. Jester A, Harth A, Germann G. Measuring levels of upper-extremity disability in employed adults using the DASH Questionnaire. *J Hand Surg Am.* 2005;30(5):1074.e1-1074.e10. doi:10.1016/j.jhsa.2005.04.009

180. Del Core MA, Ahn J, Wukich DK, et al. Gender Differences on SF-36 Patient-Reported Outcomes of Diabetic Foot Disease. *Int J Low Extrem Wounds*. 2018;17(2):87-93. doi:10.1177/1534734618774664
181. Alluri RK, Yin C, Iorio ML, Leland H, Mack WJ, Patel K. A Critical Appraisal of Vascularized Bone Grafting for Scaphoid Nonunion. *J Wrist Surg*. 2017;6(3):251-257. doi:10.1055/s-0036-1597575
182. Oron A, Gupta A, Thirkannad S. Nonunion of the scaphoid distal pole. *Hand Surg*. 2013;18(1):35-9. doi:10.1142/s0218810413500068
183. Braga-Silva J, Peruchi FM, Moschen GM, Gehlen D, Padoin AV. A comparison of the use of distal radius vascularised bone graft and non-vascularised iliac crest bone graft in the treatment of non-union of scaphoid fractures. *J Hand Surg Eur Vol*. 2008;33(5):636-40. doi:10.1177/1753193408090400
184. Aibinder WR, Wagner ER, Bishop AT, Shin AY. Bone Grafting for Scaphoid Nonunions: Is Free Vascularized Bone Grafting Superior for Scaphoid Nonunion? *Hand (N Y)*. 2019;14(2):217-222. doi:10.1177/1558944717736397
185. Hegazy G, Alshal E, Abdelaal M, 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):2385-2393. doi:10.1007/s00264-020-04730-7
186. Lynch NM, Linscheid RL. Corrective osteotomy for scaphoid malunion: Technique and long-term follow-up evaluation. *J Hand Surg Am*. 1997;22(1):35-43. doi:10.1016/S0363-5023(05)80177-7
187. Trumble TE, Salas P, Barthel T, Robert KQ, III. Management of Scaphoid Nonunions. *J Am Acad Orthop Surg*. 2003;11(6)doi:10.5435/00124635-200311000-00002
188. Ruby LK, Stinson J, Belsky MR. The natural history of scaphoid non-union. A review of fifty-five cases. *J Bone Joint Surg Am*. 1985;67(3):428-32.
189. Towfigh H, Hierner R, Langer M, Friedel R. *Handchirurgie*. 1 ed. 2011.
190. Schäfer R, Nusche A, Einzmann A, Illg C, Daigeler A, Rachunek K. The corticocancellous press fit iliac crest bone dowel for recalcitrant scaphoid nonunion: analysis of union rate and clinical outcome. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023:1-10. doi:10.1007/s00402-023-04846-6
191. Rachunek-Medved K, Illg C, Einzmann A, Thiel JT, Daigeler A, Medved F. Union rate and clinical outcomes of second-try scaphoid reconstructions after failed primary scaphoid osteosynthesis or reconstruction. A retrospective, single-center cohort study of 52 patients. *Front Surg*. 2025;12:1454101. doi:10.3389/fsurg.2025.1454101

7 Anhang

7.1 Patientenfragebogen: Operative Kahnbeinpseudarthrosebehandlung

Bitte Zutreffendes ankreuzen/ausfüllen

A) Haben Sie Schmerzen an der Stelle, an der die Pseudarthrose operiert wurde?

- Ja Nein → dann weiter mit B)

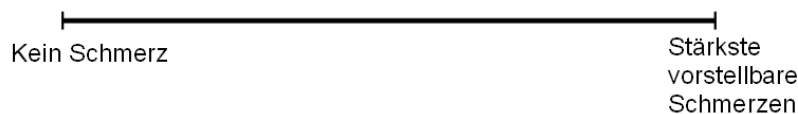
Wann treten die Schmerzen auf? (Mehrfachantworten möglich)

- In Ruhe /ständig
 Bei Berührung
 Bei Bewegung
 Bei Druck
 Bei Belastung
 In anderen Situationen: _____

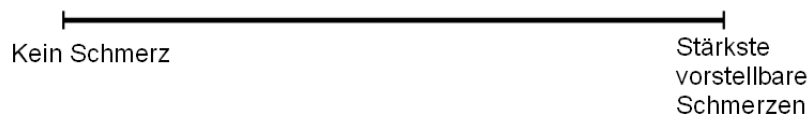
Wie stark sind die Schmerzen?

Bitte setzen Sie auf der Linie dort eine Markierung, wo Ihre Schmerzstärke momentan am ehesten liegt:

In Ruhe:



Bei Belastung:



B) Haben Sie eine/mehrere der folgenden Beschwerden im Bereich der Hand, dort wo die Pseudarthrose operiert wurde? (Mehrfachantworten möglich)

- Rötung

- Schwellung
- Starke Narbenbildung
- Empfindungsstörung/Sensibilitätsstörung
- Sonstiges: _____

C) Ist die Beweglichkeit Ihres operierten Handgelenks ebenso gut wie die des Handgelenks der Gegenseite?

Falls Sie an der Gegenseite ebenfalls eine Verletzung aufweisen, welche die Beweglichkeit der Hand beeinträchtigt, nehmen Sie bitte nicht die Gegenseite als Vergleich, sondern die Pseudarthrose-operierte Seite VOR dem Pseudarthrose-auslösenden Ereignis.

Sie können folgende verschiedene Bewegungen ausprobieren:
 im Handgelenk beugen, im Handgelenk überstrecken
 die Hand seitlich in Richtung Kleinfingerseite abknicken, die Hand seitlich in Richtung Daumenseite abknicken (ähnlich einer Winkbewegung)

- Ja Nein

D) Haben Sie in der operierten Hand genau so viel Kraft wie in der anderen Hand?

Falls Sie an der Gegenseite ebenfalls eine Verletzung aufweisen, welche die Kraft der Hand beeinträchtigt, nehmen Sie bitte nicht die Gegenseite als Vergleich, sondern die Pseudarthrose-operierte Seite VOR dem Pseudarthrose-auslösenden Ereignis.

- Ja Nein

E) Falls Sie vor dem Bruch an der Hand berufstätig waren: Konnten Sie nach Behandlungsabschluss wieder in Ihren vorher ausgeübten Beruf zurückkehren?

- Ja Nein

Falls Nein: Welchen Beruf haben Sie vor dem Unfall ausgeübt?

F) Rauchen Sie?

- Ja Nein

Wie lange rauchen Sie schon in Jahren? _____

Wie viele Zigaretten rauchen Sie durchschnittlich pro Tag? _____

G) Wie zufrieden waren Sie mit der Behandlung in der Klinik?

- Sehr
- Mittelmäßig
- gar nicht

H) Wie zufrieden sind Sie mit dem Ergebnis der Behandlung?

- Sehr
- Mittelmäßig
- gar nicht

I) Wurden Sie nach der OP noch einmal bei uns / woanders untersucht?

- Ja
- Nein → dann weiter mit J)

Wo: _____

Wann zum letzten Mal (Datum): _____

Wurden dabei Röntgenbilder der betroffenen Hand angefertigt?

- Ja
- Nein

Wurde dort eine weiterhin bestehende Pseudarthrose festgestellt?

- Ja
- Nein

Wurden Sie erneut bezüglich der Pseudarthrose operiert?

- Ja → Wann?

- Nein

J) Wären Sie bereit zu einer Nachuntersuchung in die BG Klinik Tübingen zu kommen?

- Ja
- Nein

7.2 DASH-Fragebogen

ANLEITUNG

Dieser Fragebogen beschäftigt sich sowohl mit Ihren Beschwerden als auch mit Ihren Fähigkeiten, bestimmte Tätigkeiten auszuführen.

Bitte beantworten Sie alle Fragen gemäß Ihrem Zustand in der vergangenen Woche, indem Sie einfach die entsprechende Zahl ankreuzen.

Wenn Sie in der vergangenen Woche keine Gelegenheit gehabt haben, eine der unten aufgeführten Tätigkeiten durchzuführen, so wählen Sie die Antwort aus, die Ihrer Meinung nach am ehesten zutreffen würde.

Es ist nicht entscheidend, mit welchem Arm oder welcher Hand Sie diese Tätigkeiten ausüben. Antworten Sie Ihrer Fähigkeit entsprechend, ungeachtet, wie Sie die Aufgaben durchführen konnten.

Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeit ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
2. Schreiben	1	2	3	4	5
3. Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
4. Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
5. Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
6. Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
7. Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
8. Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
9. Betten machen	1	2	3	4	5
10. Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
11. Einen schweren Gegenstand tragen (über 5kg)	1	2	3	4	5
12. Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	1	2	3	4	5

13. Ihre Haare waschen oder föhnen	1	2	3	4	5
14. Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
15. Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
16. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
17. Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z. B. Karten spielen, Stricken, usw.)	1	2	3	4	5
18. Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.)	1	2	3	4	5
19. Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (z. B. Badminton, Frisbee)	1	2	3	4	5
20. Mit Fortbewegungsmitteln zurecht zukommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
21. Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5

22. In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt? *(Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)*

Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Ziemlich	Sehr
1	2	3	4	5

23. Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt? *(Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)*

Überhaupt nicht eingeschränkt	Ein wenig eingeschränkt	Mäßig eingeschränkt	Sehr eingeschränkt	Nicht möglich
1	2	3	4	5

Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Symptome während der letzten Woche ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)

	Keine	Leichte	Mäßige	Starke	Sehr starke
24. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
25. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit	1	2	3	4	5
26. Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
27. Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
28. Steifheit in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5

29. Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1	2	3	4	5
30. Aufgrund meiner Probleme im Schulter-, Arm- oder 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)				

Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Weder Zustimmung noch Ablehnung	Stimme zu	Stimme sehr zu
1	2	3	4	5

$$\text{DASH Wert für Behinderung/Symptome} = \frac{[\text{Summe der n Antwortpunkte}] - 1}{n} * 25 ,$$

wobei n der Anzahl der beantworteten Fragen entspricht

Wurden mehr als 3 Fragen nicht beantwortet, so darf ein DASH Wert nicht berechnet werden.

SPORT- UND MUSIK-MODUL (OPTIONAL)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihres Schulter-, Arm- oder Handproblems auf das Spielen Ihres Musikinstrumentes oder auf das Ausüben Ihres Sports oder auf beides.

Wenn Sie mehr als ein Instrument spielen oder mehr als eine Sportart ausüben (oder beides), so beantworten Sie bitte die Fragen in Bezug auf das Instrument oder die Sportart, die für Sie am wichtigsten ist. Bitte geben Sie dieses Instrument bzw. diese Sportart hier an:

Ich treibe keinen Sport oder spiele kein Instrument (Sie können diesen Bereich auslassen).

Bitte kreuzen Sie die Zahl an, die Ihre körperlichen Fähigkeiten in der vergangenen Woche am besten beschreibt. Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. In der üblichen Art und Weise Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben?	1	2	3	4	5
2. Aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben?	1	2	3	4	5
3. So gut Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. Die bisher gewohnte Zeit mit dem Spielen Ihres Musikinstrumentes oder mit Sporttreiben zu verbringen?	1	2	3	4	5

ARBEITS- UND BERUFS-MODUL (OPTIONAL)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihres Schulter-, Arm- oder Handproblems auf Ihre Arbeit (einschließlich Haushaltsführung, falls dies Ihre Hauptbeschäftigung ist).

Bitte geben Sie Ihre/n Arbeit/Beruf hier an:

Ich bin nicht berufstätig (Sie können diesen Bereich auslassen).

Bitte kreuzen Sie die Zahl an, die Ihre körperlichen Fähigkeiten in der vergangenen Woche am besten beschreibt. Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. In der üblichen Art und Weise zu arbeiten?	1	2	3	4	5
2. Aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihre übliche Arbeit zu erledigen?	1	2	3	4	5
3. So gut zu arbeiten wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. Die bisher gewohnte Zeit mit Ihrer Arbeit zu verbringen?	1	2	3	4	5

Auswertung der optionalen Module: Die Antwortpunkte der Fragen werden summiert; durch 4 (Anzahl der Fragen) dividiert; 1 wird subtrahiert und danach mit 25 multipliziert.

Für die Auswertung eines optionalen Moduls dürfen keine Antworten fehlen.

7.3 SF36 - Fragebogen zum Gesundheitszustand

In diesem Fragebogen geht es um Ihre Beurteilung Ihres Gesundheitszustandes. Der Bogen ermöglicht es, im Zeitverlauf nachzuvollziehen, wie Sie sich fühlen und wie Sie im Alltag zurechtkommen.

Bitte beantworten Sie jede der folgenden Fragen, indem Sie bei den Antwortmöglichkeiten die Zahl ankreuzen, die am besten auf Sie zutrifft.

1. Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im Allgemeinen beschreiben? (Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

Ausgezeichnet	1
Sehr gut	2
Gut	3
Weniger gut	4
Schlecht	5

2. Im Vergleich zum vergangenen Jahr, wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben? (Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Derzeit viel besser als vor einem Jahr 1
- Derzeit etwas besser als vor einem Jahr 2
- Etwa so wie vor einem Jahr 3
- Derzeit etwas schlechter als vor einem Jahr 4
- Derzeit viel schlechter als vor einem Jahr 5

3. Im folgendem sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben. Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark? (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

Tätigkeit	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
a. anstrengende Tätigkeiten, z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben	1	2	3
b. mittelschwere Tätigkeiten, z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen	1	2	3
c. Einkaufstaschen heben oder tragen	1	2	3
d. mehrere Treppenabsätze steigen	1	2	3
e. einen Treppenabsatz steigen	1	2	3
f. sich beugen, knien, bücken	1	2	3
g. mehr als 1 Kilometer zu Fuß gehen	1	2	3
h. mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen	1	2	3
i. eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen	1	2	3
j. sich baden oder anziehen	1	2	3

4. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause? (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

Schwierigkeiten	Ja	Nein
a. Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
b. Ich habe weniger geschafft, als ich wollte	1	2
c. Ich konnte nur bestimmte Dinge tun	1	2
d. Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung (z.B. ich musste mich besonders anstrengen)	1	2

5. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlen)? (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

Schwierigkeiten	Ja	Nein
a. Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
b. Ich habe weniger geschafft, als ich wollte	1	2
c. Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten	1	2

6. Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

Überhaupt nicht	1
Etwas	2
Mäßig	3
Ziemlich	4
Sehr	5

7. Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen? (Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

Ich hatte keine Schmerzen	1
Sehr leicht	2
Leicht	3
Mäßig	4
Stark	5
Sehr stark	6

8. Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeit zu Hause und im Beruf behindert? (Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

Überhaupt nicht	1
Etwas	2
Mäßig	3
Ziemlich	4
Sehr	5

9. In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen in den vergangenen 4 Wochen gegangen ist. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die Ihrem Befinden am ehesten entspricht).

Wie oft waren Sie in den vergangenen 4 Wochen

...

Befinden	Immer	Meistens	Ziemlich oft	Manchmal	Selten	Nie
a. ... voller Schwung?	1	2	3	4	5	6
b. ... sehr nervös?	1	2	3	4	5	6
c. ... so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheitern konnte?	1	2	3	4	5	6

d. ... ruhig und gelassen?	1	2	3	4	5	6
e. ... voller Energie?	1	2	3	4	5	6
f. ... entmutigt und traurig?	1	2	3	4	5	6
g. ... erschöpft?	1	2	3	4	5	6
h. ... glücklich?	1	2	3	4	5	6
i. ... müde?	1	2	3	4	5	6

10. Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandte usw.) beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

Immer	1
Meistens	2
Manchmal	3
Selten	4
Nie	5

11. Inwieweit trifft jede der folgenden Aussagen auf Sie zu? (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

Aussagen	Trifft ganz zu	Trifft weitgehend zu	Weiß nicht	Trifft weitgehend nicht zu	Trifft überhaupt nicht zu
a. Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden	1	2	3	4	5

b. Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne	1	2	3	4	5
c. Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt	1	2	3	4	5
d. Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit	1	2	3	4	5

7.4 Klinisch-funktionelle Nachuntersuchung – Datenerhebung

Left						Position	Right					
			Average	CV%						Average	CV%	
11.1	11.3	10.1	10.8	5.9	1	19.7	18.2	18.0	18.6	5.0		
25.3	25.2	24.7	25.1	1.3	2	27.7	26.4	23.5	25.9	8.3		
21.2	23.3	20.8	21.8	6.2	3	25.7	25.8	24.2	25.2	3.6		
18.7	17.5	17.0	17.7	4.9	4	20.9	20.4	20.5	20.6	1.3		
18.5	16.8	16.1	17.1	7.2	5	17.2	15.9	16.3	16.5	4.0		

Current Reading: lbs kgs

Buttons: Graph, Analysis, Sustained, OK, Cancel

Scale: 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 kgs

Abb. 44: Messung der Standard-Höchstkraft in kg jeweils dreimal links- und rechtsseitig auf Position 2 mit automatischer Berechnung des Durchschnittswerts (und der Varianz) mit dem Dynamometer.

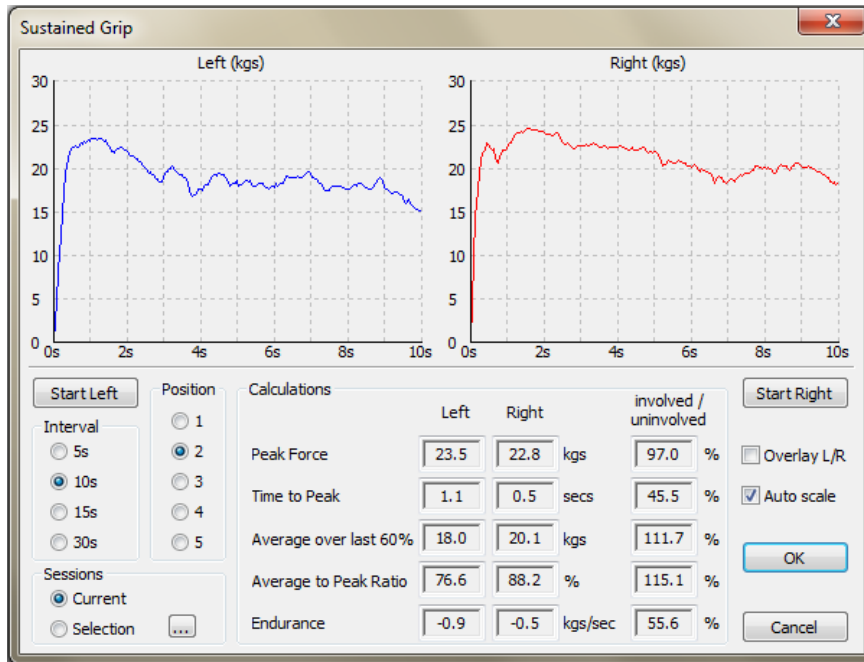


Abb. 45: Messung der erreichten Spitzenkraft in kg links- und rechtsseitig auf Position 2 während einer Dauer von 10 Sekunden mit dem Dynamometer.

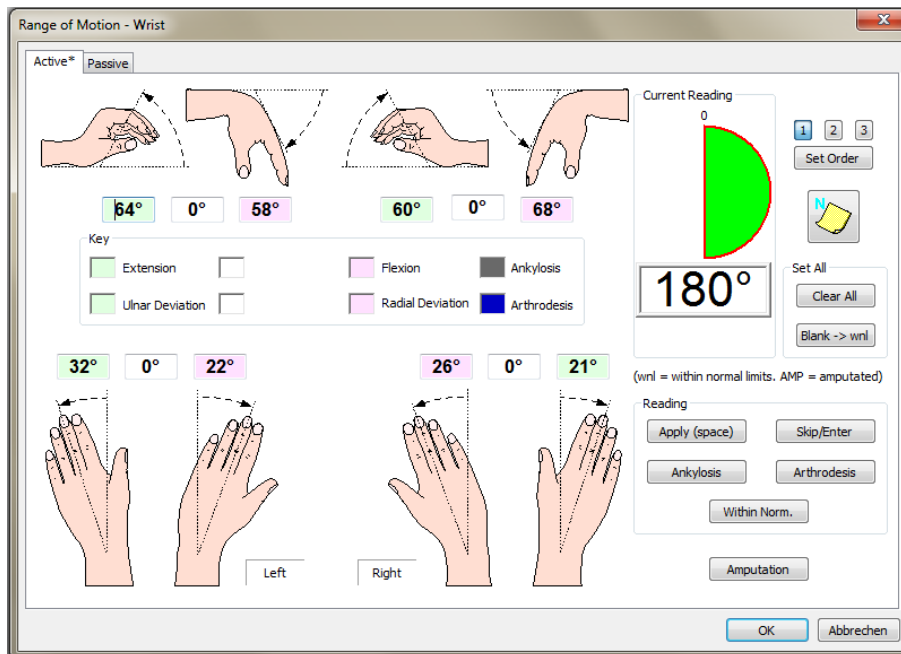


Abb. 46: Erhebung des Bewegungsumfangs in Grad von Extension/Flexion und Radial-/Ulnarduktion mit dem Goniometer.

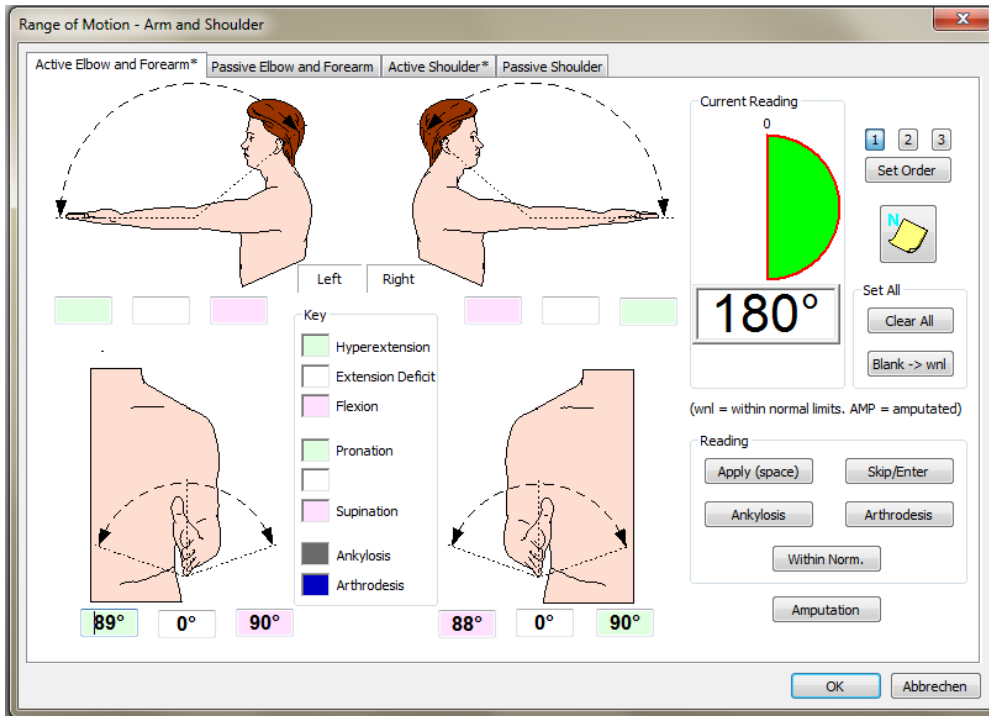


Abb. 47: Erhebung des Bewegungsumfanges in Grad von Supination/Pronation mit dem Goniometer.

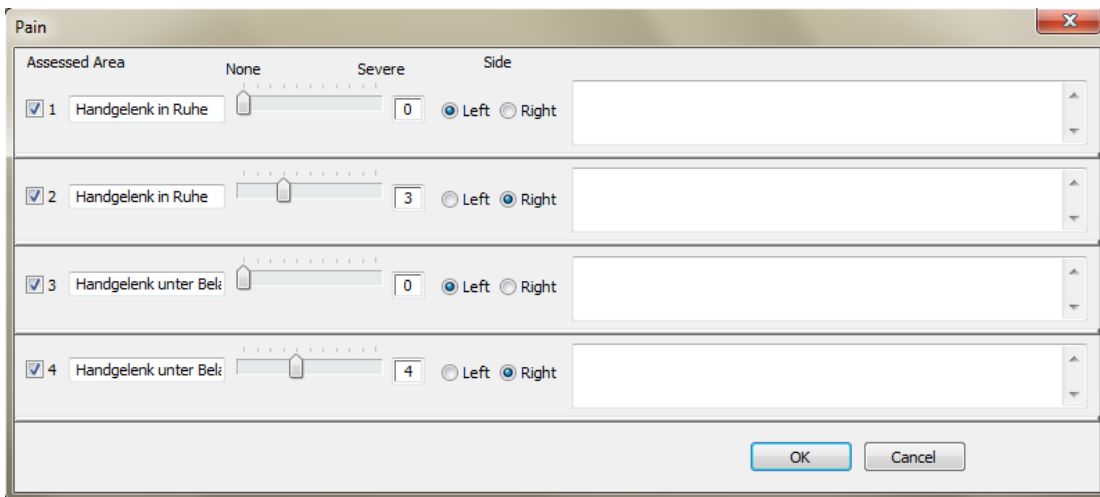


Abb. 48: Erhebung der Schmerzstärke mit möglichen Werten von 0-10 bei Belastung und in Ruhe (NRS). NRS: Numerische Rating Skala.

8 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der BG Klinik Tübingen in der Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie unter Betreuung von Prof. Dr. med. Jonas Kolbenschlag, MHBA durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. med. Katarzyna Rachunek-Medved (Mentorin, Oberärztin an der Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie, BG Klinik Tübingen).

Die Erhebung der retrospektiven Daten der 370 Patienten, die Erstellung der Fragebögen sowie die Durchführung der klinisch-funktionellen Nachuntersuchung an 139 Patienten erfolgte selbstständig durch mich.

Die radiologische Auswertung der Bildgebung und die Beurteilung der AVN erfolgte gemeinsam durch mich und Dr. med. Katarzyna Rachunek-Medved.

Die statistischen Tests wurden von mir in Zusammenarbeit mit dem Statistikbüro BioStat Research and Development (Rybnik) durchgeführt.

Ich versichere, die Dissertation selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Die schriftliche Umsetzung der vier Veröffentlichungen, s. Punkt 9, erfolgte durch Dr. med. Katarzyna Rachunek-Medved.

Fachlich beratend wirkten außerdem folgende Personen mit:

Direktor Univ.-Prof. Dr. Adrien Daigeler, MHBA, PD Dr. med. Fabian Medved, Dr. med. Claudius Illg, Dr. med. Ruth Schäfer, Dr. med. Andreas Nusche, Dr. med. Johannes Tobias Thiel.

Öhringen, den 17.06.2025

Anna Hagn, geb. Einzmann

9 Veröffentlichungen

Ergebnisse der vorliegenden Dissertationsschrift wurden in den folgenden Publikationen beschrieben:

Veröffentlichung:

Rachunek-Medved K, Illg C, Einzmann A, Kolbensschlag J, Daigeler A, Medved F. Postoperative scaphoid alignment, smoking and avascular necrosis are factors mostly influencing union rate after scaphoid reconstruction. Results of a retrospective single centre study on 370 patients. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2023; 87:430-439. doi:10.1016/j.bjps.2023.10.098

Veröffentlichung:

Rachunek-Medved K, Illg C, Einzmann A, Kolbensschlag J, Daigeler A, Medved F. Patient-reported outcomes and comprehensive assessment of wrist function after scaphoid reconstruction: A single-center retrospective study on 162 patients. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2024; 99:297-309. doi:10.1016/j.bjps.2024.09.071

Ergebnisse eines Teils des Patientenkollektivs der vorliegenden Dissertationsschrift wurden in den folgenden Publikationen beschrieben:

Veröffentlichung:

Schäfer RC, Nusche A, Einzmann A, Illg C, Daigeler A, Rachunek K. The corticocancellous press fit iliac crest bone dowel for recalcitrant scaphoid nonunion: analysis of union rate and clinical outcome. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023; 143(9):6001-6010. doi:10.1007/s00402-023-04846-6

Veröffentlichung:

Rachunek-Medved K, Illg C, Einzmann A, Thiel JT, Daigeler A, Medved F. Union rate and clinical outcomes of second-try scaphoid reconstructions after failed primary scaphoid osteosynthesis or reconstruction. A retrospective, single-center cohort study of 52 patients. *Front Surg.* 2025; 12:1454101. doi:10.3389/fsurg.2025.1454101

10 Danksagung

Hiermit danke ich allen, die mir diese Arbeit ermöglicht und durch ihre Unterstützung zum Gelingen beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Professor Dr. med. Kolbenschlag, MHBA für die Erlaubnis, zu diesem Thema meine Dissertation zu verfassen und seine Bereitschaft hierfür die Doktorvaterschaft zu übernehmen.

Herrn Professor Dr. med. Schäfer für die Zweitkorrektur.

Frau Dr. med. Rachunek-Medved, die die Betreuung meiner Arbeit übernommen hat und mir mit Rat und Tat zur Seite stand.

Dr. med. scient. Prahm, MSc BA und Dr. med. Dr. med. univ. Cerny für die initiale Ermöglichung der Dissertation.

Allen Patienten, die sich bereit erklärt haben, an der Nachuntersuchung teilzunehmen oder Fragebögen zurückgeschickt haben.

Dem Statistik-Büro BioStat Research and Development (Rybnik) für die Zusammenarbeit im Rahmen der Statistik.

Herrn Dr. Jacoby vom Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen für das Beratungsgespräch.

Meinem Ehemann, meiner Familie und meinen Freunden, die jederzeit ein offenes Ohr für mich hatten und immer für mich da sind.