

**Ergebnisse des vaskularisierten Radiusspanns bei
Kahnbeinpseudarthrosen**

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

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

vorgelegt von

Nägele, Beate Daniela

2015

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. H.-E. Schaller

2. Berichterstatter: Professor Dr. H. Krimmer

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Einleitende Worte	1
1.2	Zusammenfassende Darstellung der Studie	3
1.3	Ziel der Studie	4
2	KAHNBEINPSEUDARTHROSE	5
2.1	Definition	5
2.2	Anatomie, Ätiologie und Pathogenese	5
2.3	Einteilung	8
2.4	Klinik und Diagnostik	10
2.5	Operative Therapie	11
2.5.1	Konventionelle Pseudarthrosenresektion mit Beckenkammspan- interposition	12
2.5.2	Pseudarthrosenversorgung mit vaskularisiertem Radiusspan	12
2.5.2.1	Gefäßgestieltes Knochentransplantat aus der Beugeseite der Radiusbasis	13
2.5.2.2	Gefäßgestieltes Knochentransplantat aus der Streckseite der Radiusbasis	14
2.6	Nachbehandlung	16
2.7	Prognose und Komplikationen	16
3	PATIENTEN UND METHODEN	18
3.1	Das Patientenkollektiv	18
3.1.1	Einschlusskriterien	18
3.1.2	Ausschlusskriterien	19
3.2	Die Patientendaten	19
3.2.1	Demographische Daten	20
3.2.1.1	Altersverteilung bei Trauma	20
3.2.1.2	Altersverteilung bei Operation	21
3.2.1.3	Geschlechterverteilung	22
3.2.2	Anamnese und Voruntersuchung	23
3.2.2.1	Nikotinkonsum	23

3.2.2.2 Betroffene Handseite.....	24
3.2.2.3 Alter der Scaphoidpseudarthrose	25
3.2.2.4 Bewegungsumfang bei präoperativer Aufnahme.....	26
3.2.2.5 Lokalisation der Scaphoidpseudarthrose.....	28
3.2.3 Therapie	30
3.2.3.1 Erst-Operation oder Rezidiv-Therapie	30
3.2.3.2 Zugangsweg	33
3.2.3.3 Implantat	34
3.2.3.4 Interponat.....	35
3.2.4 Postoperatives Procedere.....	36
3.2.4.1 Ruhigstellungsdauer	36
3.2.4.2 Apparative Diagnostik.....	36
3.2.4.3 Bewegungsumfang bei postoperativer Untersuchung	36
3.3 Statistische Auswertung	39
4 ERGEBNISSE	40
4.1 Die Durchbauung.....	41
4.2 Die Abhängigkeiten der Durchbauung.....	42
4.2.1 Alter der Patienten bei Operation	43
4.2.2 Geschlecht	44
4.2.3 Nikotinkonsum.....	45
4.2.4 Alter der Scaphoidpseudarthrose	46
4.2.5 Lokalisation der Scaphoidpseudarthrose.....	48
4.2.6 Erst- oder Rezidiv-Therapie.....	49
4.2.7 Vorbehandlung	50
4.2.8 Zugangsweg	51
4.2.9 Implantat	52
4.2.10 Interponat.....	53
5 DISKUSSION	54
5.1 Durchbauung.....	55
5.1.1 Eigene Ergebnisse	55
5.1.2 Bewertung der Ergebnisse	55

5.1.3 Vergleich mit der Literatur.....	56
5.2 Indikationsstellung	58
5.3 Diskussion der Einflussfaktoren	59
5.3.1 Alter der Patienten	59
5.3.1.1 Eigene Ergebnisse	59
5.3.1.2 Bewertung der Ergebnisse.....	59
5.3.1.3 Vergleich mit der Literatur.....	60
5.3.1.4 Fazit.....	61
5.3.2 Geschlecht	62
5.3.2.1 Eigene Ergebnisse	62
5.3.2.2 Vergleich mit der Literatur.....	62
5.3.2.3 Fazit.....	63
5.3.3 Nikotinkonsum.....	64
5.3.3.1 Eigene Ergebnisse	64
5.3.3.2 Bewertung der Ergebnisse.....	64
5.3.3.3 Vergleich mit der Literatur.....	64
5.3.3.4 Fazit.....	65
5.3.4 Alter der Pseudarthrose.....	66
5.3.4.1 Eigene Ergebnisse	66
5.3.4.2 Bewertung der Ergebnisse.....	66
5.3.4.3 Vergleich mit der Literatur.....	66
5.3.4.4 Fazit.....	69
5.3.5 Lokalisation der Pseudarthrose	71
5.3.5.1 Eigene Ergebnisse	71
5.3.5.2 Bewertung der Ergebnisse.....	71
5.3.5.3. Vergleich mit der Literatur.....	71
5.3.5.4 Fazit.....	77
5.3.6 Erst- oder Rezidiv-Therapie.....	79
5.3.6.1 Eigene Ergebnisse	79
5.3.6.2. Bewertung der Ergebnisse.....	79
5.3.6.3. Vergleich mit der Literatur.....	79
5.3.6.4 Fazit.....	81

Inhaltsverzeichnis

5.3.7 Zugangsweg	82
5.3.7.1 Eigene Ergebnisse	82
5.3.7.2 Vergleich mit der Literatur.....	82
5.3.7.3 Fazit.....	84
5.3.8 Implantat	85
5.3.8.1 Eigene Ergebnisse	85
5.3.8.2 Bewertung der Ergebnisse.....	85
5.3.8.3 Vergleich mit der Literatur.....	85
5.3.8.4 Fazit.....	87
5.3.9 Interponat	88
5.3.9.1 Eigene Ergebnisse	88
5.3.9.2 Bewertung der Ergebnisse.....	88
5.3.9.3 Vergleich mit der Literatur.....	88
5.3.9.4 Fazit.....	89
5.4 Allgemeine Probleme	90
5.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	91
Abbildungsverzeichnis	95
Tabellenverzeichnis.....	97
Literaturverzeichnis	98
Abkürzungsverzeichnis.....	105
Danksagung	106

1 EINLEITUNG

1.1 Einleitende Worte

Die Kahnbeinfraktur ist die häufigste Fraktur der Handwurzel. Sie kann initial wenig Beschwerden verursachen und daher in der Folge bei den primär schwer diagnostizierbaren Fällen übersehen werden (Amadio & Moran, 2005). Unbehandelt kann sich eine Kahnbeinpseudarthrose entwickeln, die oftmals erst durch ein erneutes Trauma oder spontane belastungsabhängige Beschwerden auffällig wird. Im langjährigen Verlauf kann dies über eine Radiocarpalarthrose im ungünstigen Zustand eines carpalen Kollaps enden (Martini & Schiltenswolf, 1995). Das Ziel ist, durch rechtzeitige Diagnostik und adäquate Therapie diesen Verlauf zu verhindern.

Kahnbeinpseudarthrosen sind ein bekanntes Problem in der Handchirurgie. Störungen der Frakturheilung haben eine multifaktorielle Genese. Prognostisch bedeutungsvolle Faktoren spielen neben der Vitalität der Fragmente, der Stabilität der Osteosynthese, das Alter der Pseudarthrose eine Rolle (Krimmer, Kremling, van Schoonhoven, Prommersberger, & Hahn, 1999). In den letzten Jahren haben sich die Ausheilungsraten durch verbesserte Instrumentarien und Operationsverfahren deutlich verbessert. Trotzdem stellt die operative Versorgung von Kahnbeinpseudarthrosen mit dem Ziel der knöchernen Konsolidierung in anatomisch korrekter Position immer noch eine Herausforderung dar. Die besonderen anatomischen Verhältnisse der Blutversorgung mit einer schlechten Versorgung des proximalen Kahnbeinanteils machen gerade Frakturen und Pseudarthrosen in diesem Bereich besonders klinisch relevant (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993) (Sheetz, Bishop, & Berger, 1995). Hier hängt das Ergebnis der Heilung von einer ausreichenden intraossären Blutversorgung ab. Hinzu kommt die Schwierigkeit der stabilen Fixation, die bei einem kleinen proximalen Pol wegen der geringen Größe mit direkter Kopplung an das scapholunäre Band nur sehr schwer möglich ist (Krimmer, Kremling, van Schoonhoven, Prommersberger, & Hahn, 1999).

Eine weitere Problemgruppe stellen alte Pseudarthrosen dar, die praktisch mehr oder minder von degenerativen Veränderungen im Sinne einer Radiocarpalarthrose begleitet sind (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) (Schmidt G. , 2004). Hier stellt sich die Frage, ob noch eine Indikation zur Pseudarthrosensanierung besteht oder ob Patienten besser von sogenannten Rückzugsverfahren wie Denervierung oder Arthrodesen und Teilarthrodesen profitieren.

Um das Ergebnis der operativen Therapie der proximalen Kahnbeinpseudarthrosen zu verbessern, wurden unterschiedliche Operationsverfahren beschrieben; von Herbert-Schraubenosteosynthesen über Spongiosaplastiken nach Matti-Russe, über gefäßgestielte Knochentransplantate aus dem distalen Radius bis hin zu freien mikrovaskulären Knochentransplantaten, welche sicherlich die aufwendigsten Methoden repräsentieren (Bürger, Gaggl, Kukutschki, & Müller, 2009) (Gabl, Reinhart, & Pechlaner, 1999) (Jaminet, Werdin, Pfau, Götz, Rahmanian-Schwarz, & Schaller, 2011) (Jones, Moran, Bishop, & Shin, 2010) (Kuhlmann, Mimoun, Boabighi, & Baux, 1987) (Malizos, Dailiana, Kirou, Vragalas, Xenakis, & Soucacos, 2001) (Mathoulin & Haerle, 1998) (Papp, Maurer, Aussenlechner, & Wood, 1993) (Pechlaner, Hussl, & Künzel, 1987) (Sauerbier & Bishop, 2001) (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993) (Zaidenberg, Siebert, & Angrigiani, 1991).

Der Gebrauch der Herbert-Schraube in Kombination mit einem nicht vaskularisierten Knochentransplantat aus dem Beckenkamm ist die am häufigsten bevorzugte Methode zur Versorgung der Kahnbeinpseudarthrosen im distalen und mittleren Drittel (Jaminet, Werdin, Pfau, Götz, Rahmanian-Schwarz, & Schaller, 2011). Diese Methode führt jedoch in Fällen mit einem kleinen, avaskulären proximalen Polfragment zu schlechten Ausheilungsraten (Green, 1985) (Robbins, Ridge, & Carter, 1995). Es gibt Autoren, die für diese Fälle erfolgreiche Rekonstruktionen mit einem freien mikrovaskulären Knochentransplantat aus dem Beckenkamm beschreiben (Gabl, Reinhart, & Pechlaner, 1999). Weniger aufwendig und operationstechnisch elegant ist die Verwendung eines gestielten vaskularisierten Knochentransplantats aus dem

distalen Radius (Mathoulin & Haerle, 1998) (Kuhlmann, Mimoun, Boabighi, & Baux, 1987) (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993) (Zaidenberg, Siebert, & Angrigiani, 1991).

Die Grundzüge der anatomischen Kenntnisse über die Blutversorgung des Unterarms und des Handgelenks sind seit dem 19. Jahrhundert bekannt. Die Wichtigkeit der A. carpi transversa palmare, einem Ast der A. radialis, für operative Prozeduren des Handgelenks wurde erstmals von *Kuhlmann* et al. (Kuhlmann, Mimoun, Boabighi, & Baux, 1987) beschrieben. Weitere anatomische Studien und erste klinische Implementationen von Knochentransplantaten des distalen Radius mit einem gestielten Gefäß wurden durchgeführt von *Schaller* et al. (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993). Als Ergänzung zum palmaren Zugang beschrieben *Zaidenberg* et al. (Zaidenberg, Siebert, & Angrigiani, 1991) ein Knochentransplantat gestielt an einer Arterie am Boden der 1. und 2. Extensorloge und damit einen dorsalen Zugang.

In der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen wurde die Methode des vaskularisierten Radiusspans in das Behandlungsspektrum aufgenommen, als additives Verfahren für die besonders schwierigen und prognostisch ungünstigen Fälle wie Pseudarthrosen im proximalen Drittel, solche mit diagnostisch nachgewiesener Minderdurchblutung und Rezidivpseudarthrosen.

1.2 Zusammenfassende Darstellung der Studie

Auf der Grundlage obiger Berichte und den Erfahrungen und Ergebnissen in unserer Klinik haben wir die Anwendung des vaskularisierten Radiusspans in verschiedenen Fällen mit hauptsächlich proximalen Kahnbeinpseudarthrosen untersucht. Über einen Zeitraum von 8 Jahren hinweg (2000 bis 2008) wurden in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen 75 Patienten mit der Diagnose Kahnbeinpseudarthrose operativ mit einem vaskularisierten Radiusspan versorgt.

Diese Studie bemühte sich um die Darstellung des Benefits dieses Operationsverfahrens besonders hinsichtlich kleiner, sklerotischer oder avaskulärer proximaler Polfragmente und Rezidivpseudarthrosen, die von dieser zusätzlich durchblutungsfördernden Maßnahme profitieren sollen.

Weiterhin wurde versucht abzuklären, welchen Einfluss Alter, Geschlecht, Nikotinkonsum, Alter der Pseudarthrose, Lokalisation der Pseudarthrose, Erst- oder Rezidiv-Therapie, wie auch Implantat- und Interponatauswahl auf die knöcherne Durchbauung und damit auf eine erfolgreiche Therapie haben.

Die Ergebnisse werden in dieser Arbeit dargestellt, mit der Literatur verglichen und diskutiert.

1.3 Ziel der Studie

Das Ziel der Studie war die Evaluierung der Ausheilungsraten des vaskularisierten Radiusspans bezüglich unterschiedlicher Einflussfaktoren und die Definition der Indikationen für diese Operationsmethode.

2 KAHNBEINPSEUDARTHROSE

2.1 Definition

Als Pseudarthrose bezeichnet man einen nicht ausgeheilten Bruch, dessen Bruchstücke nicht oder mehr oder minder stark bindegewebig miteinander verbunden sind.

Bei einer normalen Heilung ist die knöcherne Konsolidierung der Scaphoidfraktur nach 12 Wochen abgeschlossen. Von einer verzögerten Heilung („delayed union“) spricht man bei einem Eintreten der knöchernen Konsolidierung innerhalb von 13-24 Wochen. Bei fehlender Heilung der Scaphoidfraktur nach 24 Wochen ist man berechtigt, von einer Pseudarthrose („non-union“) zu sprechen (Schmitt & Krimmer, 2004).

2.2 Anatomie, Ätiologie und Pathogenese

Die Handwurzel, der Carpus, besteht aus 8 Handwurzelknochen, die sich in eine proximale und eine distale Handwurzelreihe mit je 4 Handwurzelknochen aufteilen.

In der proximalen Handwurzelreihe reihen sich von lateral nach medial das Kahnbein (Os scaphoideum), das Mondbein (Os lunatum), das Dreiecksbein (Os triquetrum) und das Erbsenbein (Os pisiforme) an.

In gleicher Weise setzt sich die distale Handwurzelreihe aus dem großen (Os trapezium) und kleinen Vieleckbein (Os trapezoideum), dem Kopfbein (Os capitatum) und dem Hakenbein (Os hamatum) zusammen.

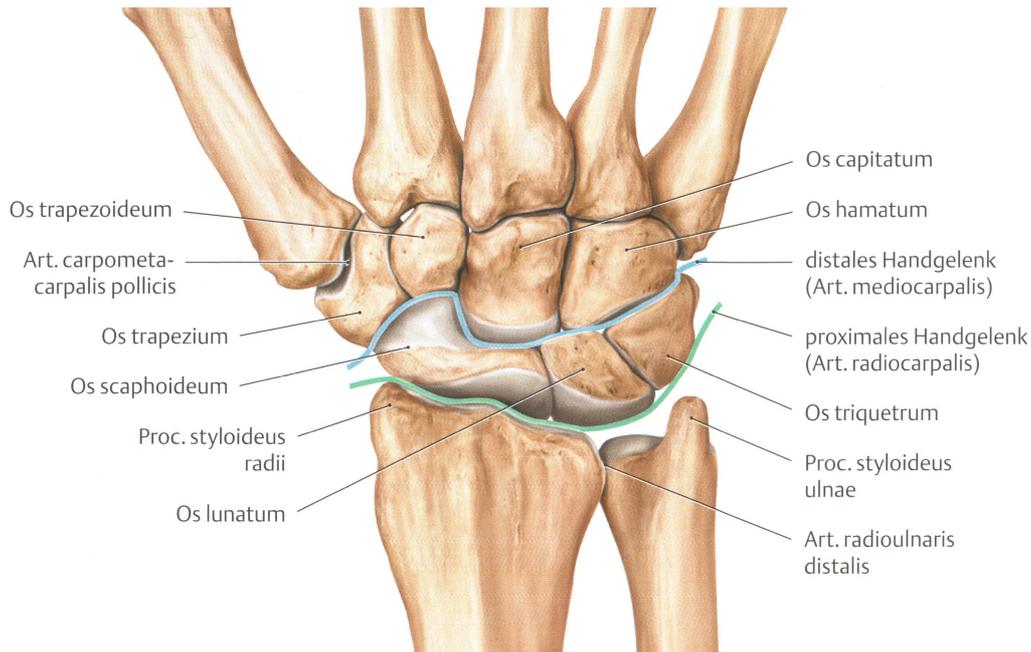


Abbildung 1: Knochen der rechten Hand in der Ansicht von dorsal (Schünke, M., Prometheus: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem, Thieme 2005, S. 223)

Das Os scaphoideum ist der größte Knochen der proximalen Handwurzelreihe. Er hat eine zentrale Funktion in der Beweglichkeit des Handgelenks mit mehreren Rotationsachsen, da er mit 5 umgebenden Knochen artikuliert; proximal mit dem Radius, distal mit dem Os trapezoideum und Os trapezium, medial mit dem Os lunatum und dem Os capitatum (Platzer, 2003).

Diese anatomischen Gegebenheiten bergen mehrere Risikofaktoren für die Ausbildung einer Pseudarthrose. Die zentrale Rolle in Funktion und Bewegung legt eine hohe Belastung nahe, kann ein Auseinanderweichen der Bruchstücke begünstigen und erschwert damit eine ausreichende Ruhigstellung.

Zudem stehen die capsuloligamentären Strukturen unter hoher Spannung und sorgen im Falle einer Fraktur, vor allem im proximalen Anteil, für eine Dislokation und eine Instabilität der Fragmente durch einen oppositionellen Zug zwischen den proximalen und distalen Ligamenten (Amadio & Moran, 2005).

Zur Blutversorgung des Scaphoids treten aus der A. radialis Gefäßäste palmar und dorsal entlang der nicht artikulierenden Flächen über ansetzende Bandstrukturen, hauptsächlich in die beiden distalen Kahnbeindrittel, ein.

Daher kommt es zu einer schlechten Blutversorgung des proximalen Kahnbeinpols vor allem deshalb, weil dieser Anteil als intraartikulär gelegene Struktur umgeben von hyalinem Knorpel, von einer intraossären Blutversorgung retrograd aus dem distalen Kahnbeinanteil abhängig ist.

Dieser Anteil kann somit im Falle einer Fraktur von der Blutversorgung abgeschnitten sein. Je weiter proximal diese lokalisiert ist, umso eher kommt es zu einer Nekrose oder Pseudarthrosenbildung des betroffenen Anteils infolge der Minderdurchblutung (Amadio & Moran, 2005).

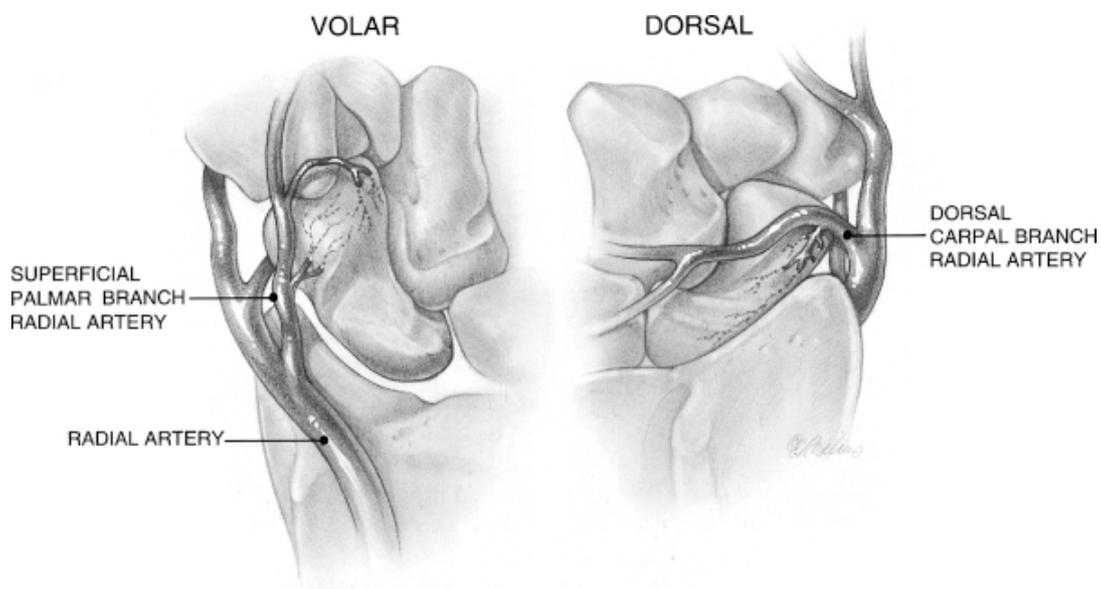


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Blutversorgung des Kahnbeins von palmar und dorsal (Green, D.P., Green's Operative Hand Surgery, Fifth Edition, Elsevier 2005, S. 713, Figure 17-4)

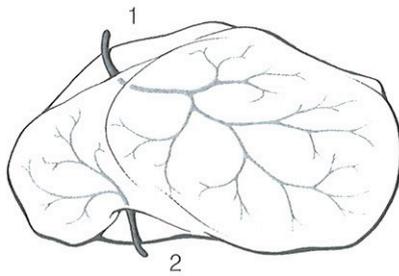


Abbildung 3: Gefäßversorgung des Os scaphoideum. 1 = dorsaler Zweig für das Kahnbein aus der A. radialis. 2 = palmarer Zweig aus der A. radialis. (Schmidt, H.-M., Lanz, U., Chirurgische Anatomie der Hand, Hippokrates 1992, S. 51, Abb. 44)

2.3 Einteilung

Eine Einteilung kann nach der Lokalisation der Pseudarthrose erfolgen. Die erste und auch heute noch immer am häufigsten angewandte Einteilung stammt von *Böhler* et al. (Böhler, Trojan, & Jahna, 1954), wie sie auch in dieser Arbeit verwendet wurde. Er unterscheidet ein distales, mittleres und proximales Kahnbeindrittel, je zu gleich großen Anteilen an der Gesamtlänge.

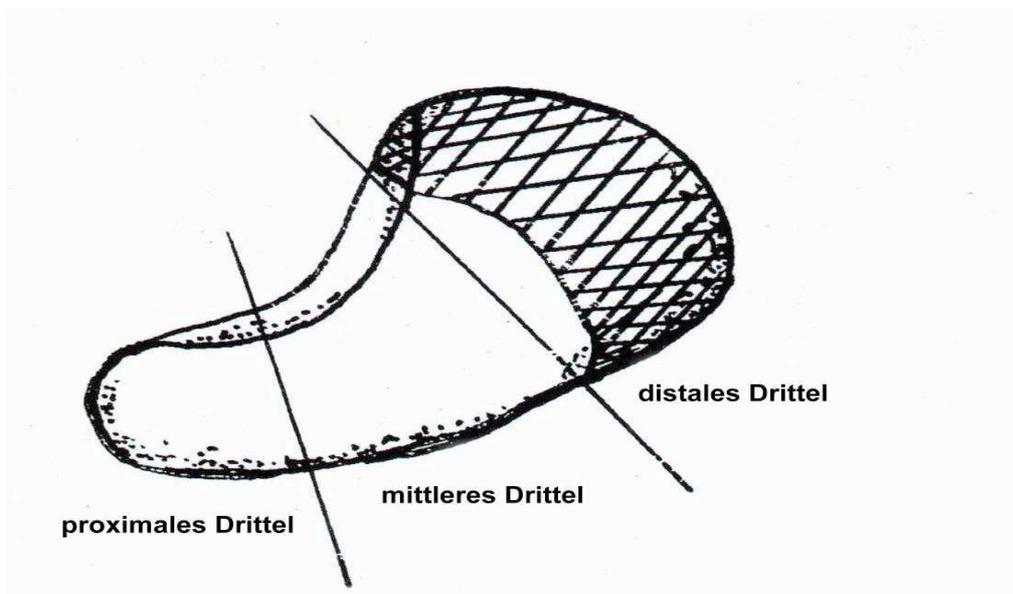


Abbildung 4: Klassifikation der Kahnbeinfraktur nach Böhler (Böhler, Trojan, & Jahna, 1954)

An anatomischen Gegebenheiten orientieren sich auch *Herbert* und *Fisher* (Herbert & Fisher, 1984), die Frakturen und Pseudarthrosen in vier große Hauptgruppen unterteilen. In Gruppe A und B beschreiben sie frische Frakturen im Bereich des Tuberculums, der Taille, des mittleren und proximalen Drittels. In Gruppe C und D geht es um die Differenzierung der Pseudarthrosen, unabhängig von der Lokalisation. In einer Darstellung von *Herbert* (Herbert, 1990) teilt er das Kahnbein in das Tuberculum mit distaler Gelenkfläche, die Taille und den proximalen Anteil mit der radialen Gelenkfläche. *Schernberg* et al. (Schernberg & Elzein, 1987) unterteilen das Kahnbein von proximal nach distal in sechs Frakturzonen, den proximaler Pol, den proximalen Scaphoidkörper, den distalen Scaphoidkörper, die Kahnbeintaille entsprechend dem Bereich der Tuberositas, der distalen Intermediärzone zwischen Tuberositas und Tuberculum, sowie dem Tuberculum zusammen mit der scaphotrapezoidalen Gelenkfläche.

Andere Einteilungen, die sich an der Art, dem Verlauf der Frakturen, bzw. Schäden an der Gelenkfläche orientieren, finden sich bei *Trojan* et al. (Böhler, Trojan, & Jahna, 1954), *McLaughlin* und *Parkes* (McLaughlin & Parkes, 1969) und der AO-Klassifikation.

Beträgt die Länge des proximalen Fragments weniger oder gleich 20% der Gesamtlänge des Kahnbeins, handelt es sich per definitionem um ein kleines proximales Fragment (Durmus, 2006).

Weiter unterschieden werden kann eine straffe Pseudarthrose mit stabiler bindegewebiger Überbrückung des Frakturspalts von einer instabilen Pseudarthrose mit instabilen Fragmenten ohne Überbrückung (Schmitt & Krimmer, 2004).

Eine erweiterte Klassifikation zur Einteilung der Kahnbeinpseudarthrose entstand 1996 nach *Filan* und *Herbert* (Filan & Herbert, 1996):

D	Pseudarthrose
D1	Fibröse, straffe Überbrückung bei Pseudarthrose
D2	Frühe Deformierung bei Pseudarthrose bei Mobilität
D3	Fortgeschrittene Deformierung bei Pseudarthrose mit Sklerose
D4	Avaskuläre Nekrose mit Fragmentierung des proximalen Pols

Tabelle 1: Erweiterte Klassifikation der Pseudarthrose nach Filan und Herbert 1996

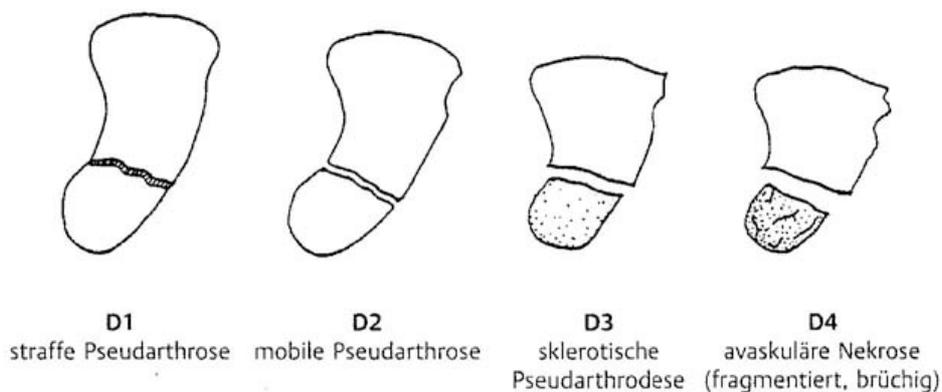


Abbildung 5: Erweiterte Klassifikation der Pseudarthrosen nach Filan und Herbert 1996 (Filan & Herbert, 1996)

2.4 Klinik und Diagnostik

Bei der klinischen Untersuchung fallen meist mäßige bis starke, zunehmende, belastungsabhängige Schmerzen im radialseitigen Handgelenk auf. Ein Druckschmerz lässt sich in der Tabatière, dorsal und palmar über dem Scaphoid auslösen. Schwellungen sind besonders dorsal und in der Tabatière ausgeprägt. Die Beweglichkeit des Handgelenks kann eingeschränkt sein; besonders betroffen ist davon die Extension.

Zum Tragen kommt bei der apparativen Diagnostik hauptsächlich die konventionelle Röntgenuntersuchung. Röntgenaufnahmen werden d.p. und

seitlich in Neutralstellung des Handgelenks aufgenommen, zudem erfolgen Kahnbeinspezialaufnahmen (Kahnbeinquantett). Eine Lücke zwischen Kahn- und Mondbein sowie eine Verkipfung des Mondbeins nach dorsal oder palmar deuten auf zusätzliche Bandverletzungen der proximalen Reihe hin und damit zu arthrosefördernden Instabilitäten. Zum Vergleich kann eine Röntgenuntersuchung der gesunden Seite vorgenommen werden.

Bei der Beurteilung ist darauf zu achten, ob die Fragmente stabil erscheinen, verkippt oder rotiert sind. Die Erkennung von zystischen Veränderungen, kleinen Fragmenten, Verdichtungen und Nekrosen ist ebenfalls wichtig.

Hier liefern ergänzende Untersuchungen Klarheit. Die Computertomographie als Ultradünnschnitttechnik in der Längsachse kann eine sehr gute Darstellung des Scaphoids liefern. Die Magnetresonanztomographie kann zur Vitalitätsbeurteilung der Fragmente herangezogen werden (Breusch, Mau, & Sabo, 2006).

2.5 Operative Therapie

Scaphoidpseudarthrosen ohne degenerative Folgeschäden im Handgelenk werden operativ versorgt. Das allgemeine Ziel der operativen Therapie ist die Ausheilung der Pseudarthrose durch knöcherne Konsolidierung und die Verhinderung einer carpalen Arthrose. Daneben soll eine verbesserte Handgelenksbeweglichkeit und eine Schmerzreduktion erreicht werden.

Die Voraussetzung dafür ist die Stabilisierung der Fragmente und die anatomisch korrekte Rekonstruktion sowie eine ausreichende Blutversorgung.

2.5.1 Konventionelle Pseudarthrosenresektion mit Beckenkammspan-interposition

Als Standardverfahren gilt in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen die Pseudarthrosenresektion mit Implantation eines quer zur Längsachse eingebrachten Beckenkammspans oder -spongiosa mit anschließender Kompressionsverschraubung durch eine Herbert-Schraube.

Über einen palmaren oder dorsalen Zugang, letzterer wird im Falle eines weit proximal liegenden Fragmentes gewählt, wird die Pseudarthrose zunächst freigelegt. Es erfolgt eine planparallele Resektion. Je nach Befund kann die Pseudarthrose zusätzlich mit einem scharfen Löffel oder mit einer Kugelfräse ausgehöhlt bzw. angefrischt werden. Letztere Methode kann bei Vorliegen einer straffen Pseudarthrose sogar ausreichend sein. Je nach Größe des Defekts wird die Indikation zur Auffüllung mit einem corticospongiösen Beckenkammspan gestellt. Bei straffer Pseudarthrose wird die angefrischte, ehemalige Pseudarthrosenzone mit reiner Spongiosa aufgefüllt. Bei ausreichend großen Fragmenten erfolgt die Stabilisierung mit einer Herbert-Schraube.

2.5.2 Pseudarthrosenversorgung mit vaskularisiertem Radiusspan

Die Wahl dieses Verfahrens kommt zur Anwendung bei schwierigen und prognostisch ungünstigen Fällen wie Pseudarthrosen im proximalen Drittel, solchen mit diagnostisch nachgewiesener Minderdurchblutung und Rezidivpseudarthrosen.

Man unterscheidet einen beugeseitigen Zugang, der sich insbesondere für die Pseudarthrosen eignet, die sich distal und mittig befinden, von einem streckseitigen Zugang, der die Wahl bei Pseudarthrosen mit einem kleinen proximalen Polfragment darstellt.

2.5.2.1 Gefäßgestieltes Knochentransplantat aus der Beugeseite der Radiusbasis

Bei dieser Operationsmethode erfolgt über einen beugeseitigen Zugang die Entnahme eines Kochenspanns aus dem Radius mit Gefäßstiel der A. carpi transversa palmare mit Einpflanzung in den Defekt des Kahnbeines nach Resektion der Pseudarthrose sowie Auffüllung des Defekts mit Spongiosa oder einem corticospongiösen Span vom Beckenkamm.

Technisch wird über einen gewinkelten Hautschnitt beuge- und radiallyseitig vom Daumensattelgelenk bis zur Flexor-carpi-radialis-Sehne radial Zugang verschafft. Es erfolgt die Eröffnung der Sehnenscheide des M. flexor carpi radialis und der Gelenkkapsel zur Darstellung des Kahnbeins und der Pseudarthrose. Anschließend wird die Pseudarthrose reseziert, so dass zwei planparallele Flächen entstehen. Eine Wiederherstellung der Fragmente wird über die Einlage eines Beckenkammspanns und die Fixierung mittels Herbert-Schraube oder Bohrdrähten erreicht, je nach Lage der Pseudarthrose und des proximalen Fragments. Nun wird das Spanbett des Kahnbeins für das gefäßgestielte Knochentransplantat vorbereitet. In einem weiteren Schritt wird die A. radialis dargestellt und der Verlauf der A. carpi transversa palmare verfolgt, so dass aus dem distalen ulnar gelegenen Radius die Osteotomie eines corticospöngiosen Knochenspanns unter Schonung des Gefäßstiels erfolgen kann. Sofern dies zufriedenstellend ist, kann das Knochentransplantat in das Spanbett des Kahnbeines eingepflanzt werden und bei Bedarf mit einem Polydioxanon-Faden oder einem dünnen Bohrdraht zusätzlich gesichert werden.

Bei Vorliegen einer straffen Pseudarthrose ist wahlweise auch lediglich die Anfrischung mittels Kugelfräse ausreichend. Es folgt die Einlage einer Spongiosaplastik und des vaskularisierten Radiusspanns wie zuvor beschrieben.

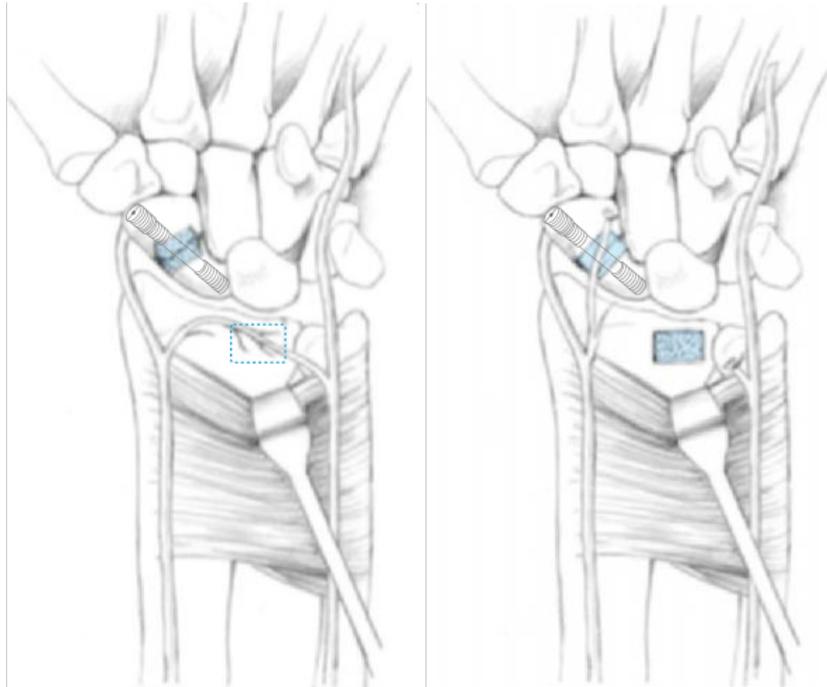


Abbildung 6: Martini, A.K., Orthopädische Handchirurgie, Manual für Klinik und Praxis, 2008, S. 74

2.5.2.2 Gefäßgestieltes Knochentransplantat aus der Streckseite der Radiusbasis

Bei diesem Verfahren erfolgt über einen dorsalen Zugang zum Scaphoid die Entnahme eines Kochenspans aus der dorsalseitigen Radiusbasis, gestielt an einem Gefäßast der A. radialis. Dieser wird in den Scaphoiddefekt eingebracht.

Der Hautschnitt erfolgt S-förmig auf der dorsoradialen Seite des Handgelenks. Die A. radialis wird in der Tabatière freigelegt, ein abgehender Gefäßast dorsoulnar wird im Verlauf auf dem Retinaculum extensorum zwischen dem 1. und 2. Strecksehnenfach weiter verfolgt. In diesen Fällen kann ein Span an der 1,2 ICSRA („intercompartmental supraretinacular artery“) gestielt gehoben werden. Diese Technik wurde erstmals von *Zaidenberg et al.* 1991 (*Zaidenberg, Siebert, & Angrigiani, 1991*) beschrieben. Eine Alternative stellen streckseitige Radiusspäne vom Boden des 4. Strecksehnenfaches dar. Das jeweilige Strecksehnenfach und die Handgelenkscapsel werden zur Darstellung des Kahnbeins eröffnet. Daraufhin erfolgt die Anfrischung der Pseudarthrose mit der

Kugelfräse bzw. dem Meisel. Der Nachteil bei sehr kleinen proximalen Fragmenten ist, dass die Interposition eines corticospongiösen Beckenkammspanns häufig nicht mehr möglich ist, so dass in diesen Fällen darauf verzichtet werden muss und nur Spongiosa eingebracht wird. Danach kann die Osteosynthese, je nach Größe der Fragmente, mit einer Mini-Herbert-Schraube oder Bohrdrähten durchgeführt werden. Der Größe des Scaphoiddefekts angepasst, wird ein corticospongiöses Knochentransplantat aus der Radiusbasis unter ständiger Kontrolle der ernährenden Gefäße entnommen, retrograd bis zur A. radialis mobilisiert und in den Defekt eingebracht; bei Bedarf unter Sicherung mit einem Bohrdraht.

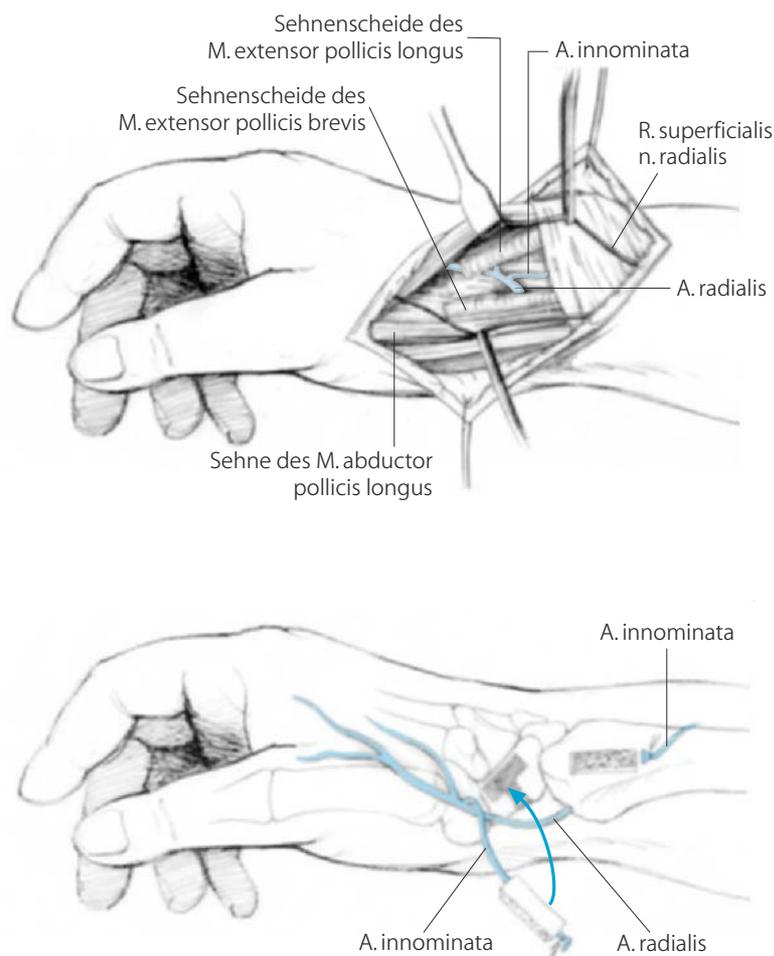


Abbildung 7: Martini, A.K., Orthopädische Handchirurgie, Manual für Klinik und Praxis, 2008, S. 72

2.6 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung nach Abschwellung besteht aus der Anlage eines zirkulären Kahnbeingipses, bestehend aus einem Unterarmgips mit Einschluss des Handgelenks, welches leicht extendiert ist, inklusive Daumeneinschluss mit freier Beweglichkeit im Endgelenk für mindestens 6 Wochen. Bei ausbleibender knöcherner Konsolidierung wird die Ruhigstellung auf 12 Wochen verlängert. Die ersten röntgenologischen Kontrollen werden direkt postoperativ angefertigt, weitere bei Beschwerdefreiheit nach 6 und 12 Wochen. Bei röntgenologisch nicht sicherer knöcherner Konsolidierung schließt sich eine Computertomographie oder Magnetresonanztomographie (mit Kontrastmittel) an; in Ausnahmefällen ist auch eine Szintigraphie möglich.

Nachdem Abschluss der Gipsbehandlung erfolgt die Freigabe zur Beübung. Eine Vollbelastung darf, je nach Röntgenbefund, frühestens jedoch nach 3 Monaten durchgeführt werden.

2.7 Prognose und Komplikationen

Bei präziser Operationstechnik liegen die Ausheilungsraten bei 77-94% (Merrell, Wolfe, & Slade, 2002), je nach gewähltem Verfahren. Bei kleinem, proximalen Fragment oder Rezidivpseudarthrosen sind sie deutlich schlechter, auch abhängig vom gewählten Verfahren.

Bei Fortbestehen der Pseudarthrose kann ein zweiter operativer Versuch gestartet werden. Weitere Möglichkeiten bestehen in einer Denervierung des Handgelenks oder partiellen Arthrodesen wie der Mediocarpalarthrodese mit Scaphoidektomie, auch „four corner fusion“ genannt. Alternativ stehen verschiedene Arthroplastiken zur Verfügung, beispielsweise die Resektion der proximalen Handwurzelreihe oder die Styloidektomie am Radius. Als maximale Rückzugsvariante gilt die Panarthrodese mit vollständiger Versteifung des Handgelenks.

Durch ein Fortschreiten der Arthrose sind die Langzeitergebnisse schlechter, je älter die Pseudarthrose ist. Zunächst kommt es unbehandelt zunehmend zu degenerativen Veränderungen des Handgelenks bis hin zum carpalen Kollaps.

Die Arthroseentwicklung verläuft in der Regel nach einem erkennbaren Muster, da es bei zunehmender Instabilität des Handgelenks zur Entwicklung eines carpalen Kollaps kommt, der entsprechend des Entstehungsmechanismus als SNAC-wirst (Scaphoid nonunion advanced collapse) bezeichnet wird (Martini, 2008):

Stadium I	Arthrose im Bereich des Processus styloideus radii und dem gegenüberliegenden Anteil des Kahnbeins
Stadium II	Arthrose der gesamten Gelenkfläche des Scaphoids und dem dazu passenden radialen Anteil sowie des Scaphotrapeziumtrapezoidal-Gelenks
Stadium III	Zusätzlich zu Stadium II kommt eine mediocarpale Arthrose zwischen Kapitatum und Lunatum hinzu

Tabelle 2: Stadien der radiocarpalen Arthrose

3 PATIENTEN UND METHODEN

3.1 Das Patientenkollektiv

In einer retrospektiven Studie wurde ein Patientenkollektiv aus der Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen rekrutiert.

In einem ersten Schritt wurden 248 Patienten mit der Diagnose Scaphoidpseudarthrose und operativer Versorgung zwischen Januar 2000 und Dezember 2007 erfasst.

In einem zweiten Schritt wurde das Kollektiv auf die Patienten mit operativer Versorgung durch einen vaskularisierten Radiusspan reduziert. Zusätzlich wurden 2 Patienten aus dem Jahr 2008 hinzugefügt, um das Studienkollektiv zu erweitern. So konnte eine Anzahl von 75 Patienten, die mit einem vaskularisierten Radiusspan versorgt worden waren, gewonnen werden.

Abzüglich 5 Patienten, bei denen es durch anderweitige Nachbetreuung zum „Lost-in-Follow-Up“ kam, standen dieser Studie 70 Patienten zur Verfügung.

3.1.1 Einschlusskriterien

Folgende Einschlusskriterien galten:

- Diagnose Scaphoidpseudarthrose
- Versorgung durch einen vaskularisierten Radiusspan
- Angaben zur Lokalisation der Pseudarthrose
- Befunde zur Durchbauung

3.1.2 Ausschlusskriterien

Folgende Ausschlusskriterien wurden getroffen:

- Fortgeschrittene Formen eines SNAC-wrist (> Stadium II)
- Patienten mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit, schweren Allgemein- oder Tumorerkrankungen
- Lost-in-Follow-Up

3.2 Die Patientendaten

Die Daten der Patienten zur Auswertung wurden aus den vorliegenden Patientenakten unter Wahrung des Datenschutzes entnommen.

Die Patientendaten umfassten das Geburtsdatum, den Zeitpunkt des Traumas, das Geschlecht, den Nikotinkonsum, die betroffene Handseite, den Bewegungsumfang bei Aufnahme, die Lokalisation der Pseudarthrose, Daten zur Erst- oder Rezidiv-Therapie, zur Anzahl der Operationen insgesamt, die Vorbehandlung, Angaben zum operativen Zugangsweg, dem Implantat, dem Interponat, die Ruhigstellungsdauer, die apparative Diagnostik und den Bewegungsumfang bei der Nachuntersuchung.

Es folgt die Darstellung und Beschreibung der Daten mit 70 Patienten (100%), sofern es nicht anders angegeben ist.

3.2.1 Demographische Daten

3.2.1.1 Altersverteilung bei Trauma

Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt des Traumas lag bei 26,1 Jahren. Die meisten Patienten erlitten einen Unfall im Alter zwischen 16,0 und 36,2 Jahren.

Der Jüngste war bei dem Trauma 6 Jahre alt, der Älteste 56 Jahre alt.

Die Daten von 64 Patienten (91,4%) standen zur Verfügung. Bei 6 Patienten (8,6%) konnte der Zeitpunkt des Traumas nicht ermittelt werden.

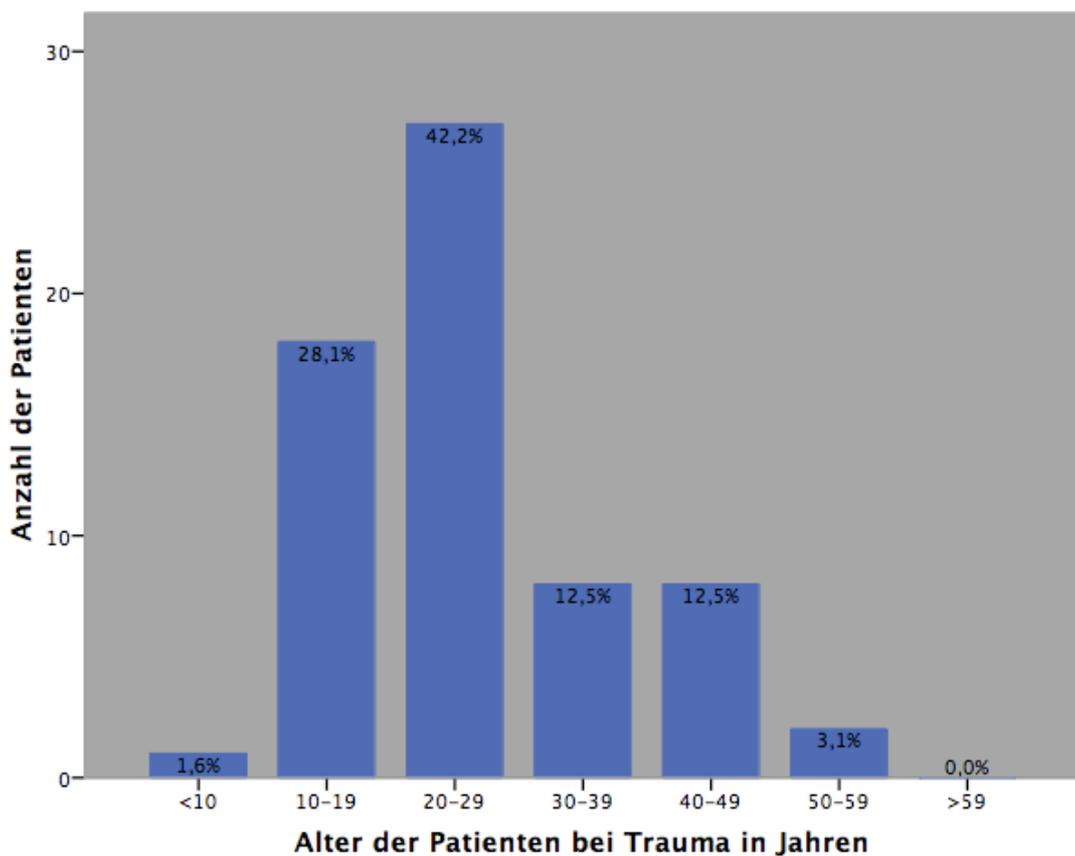


Abbildung 8: Alter der Patienten bei Trauma in Jahren

3.2.1.2 Altersverteilung bei Operation

Das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation lag im Durchschnitt bei 29,1 Jahren. Der überwiegende Teil der Patienten befand sich zu diesem Zeitpunkt im Alter zwischen 19,6 und 38,6 Jahren.

Der jüngste Patient hatte ein Alter von 17 Jahren erreicht, der Älteste war 57 Jahre alt.

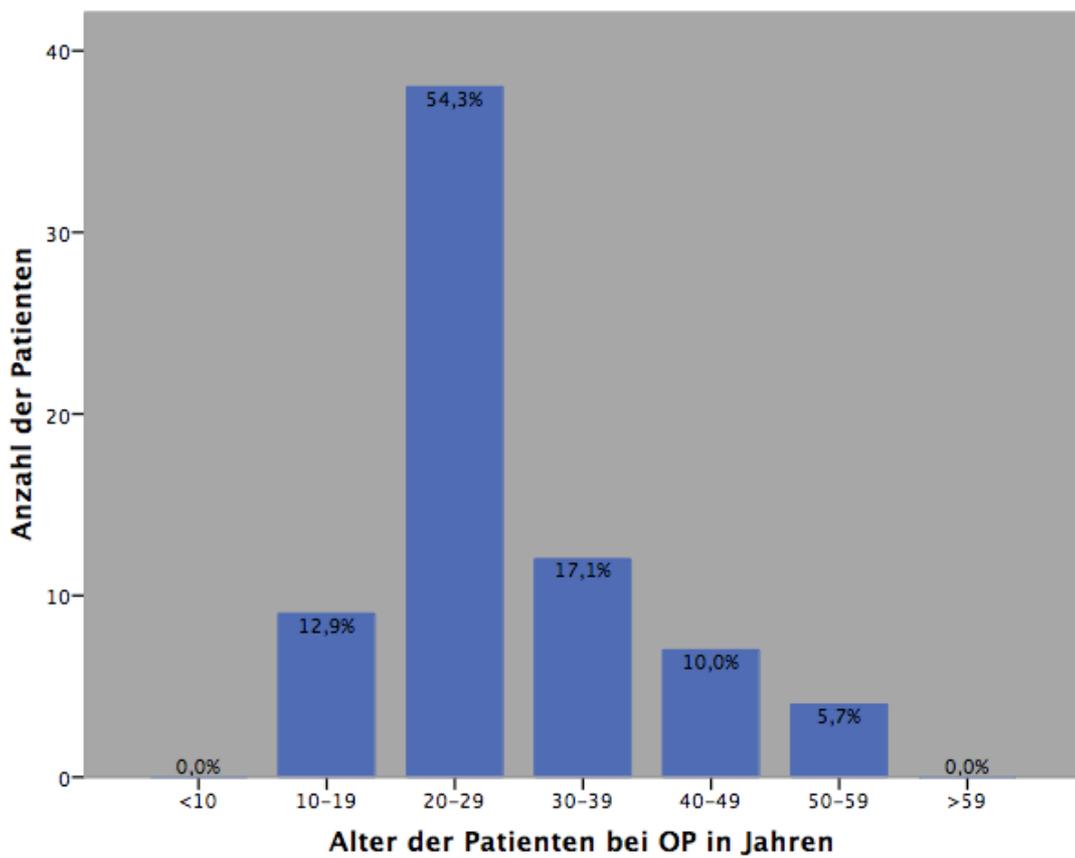


Abbildung 9: Alter der Patienten bei OP in Jahren

3.2.1.3 Geschlechterverteilung

Die Geschlechterverteilung zeigte 66 männliche Patienten (94,3%) und 4 weibliche Patientinnen (5,7%).

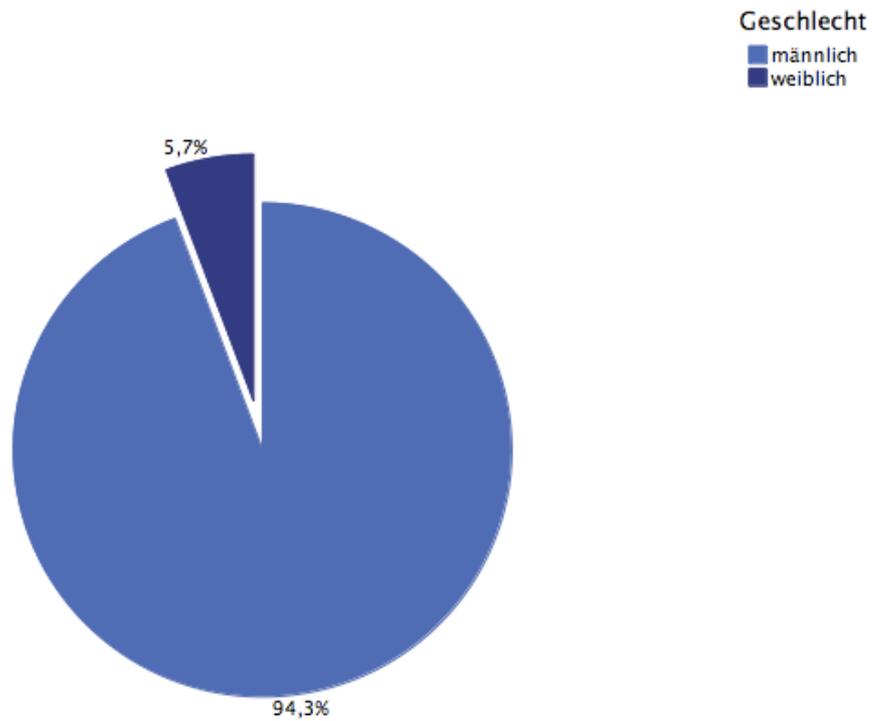


Abbildung 10: Geschlechterverteilung

3.2.2 Anamnese und Voruntersuchung

3.2.2.1 Nikotinkonsum

Es fanden sich 40 Patienten (58,8%) mit und 28 Patienten (41,2%) ohne Nikotinkonsum.

Die Einteilung des Patientenkollektivs in Raucher und Nichtraucher konnte bei 68 Patienten (97,1%) erfolgen.

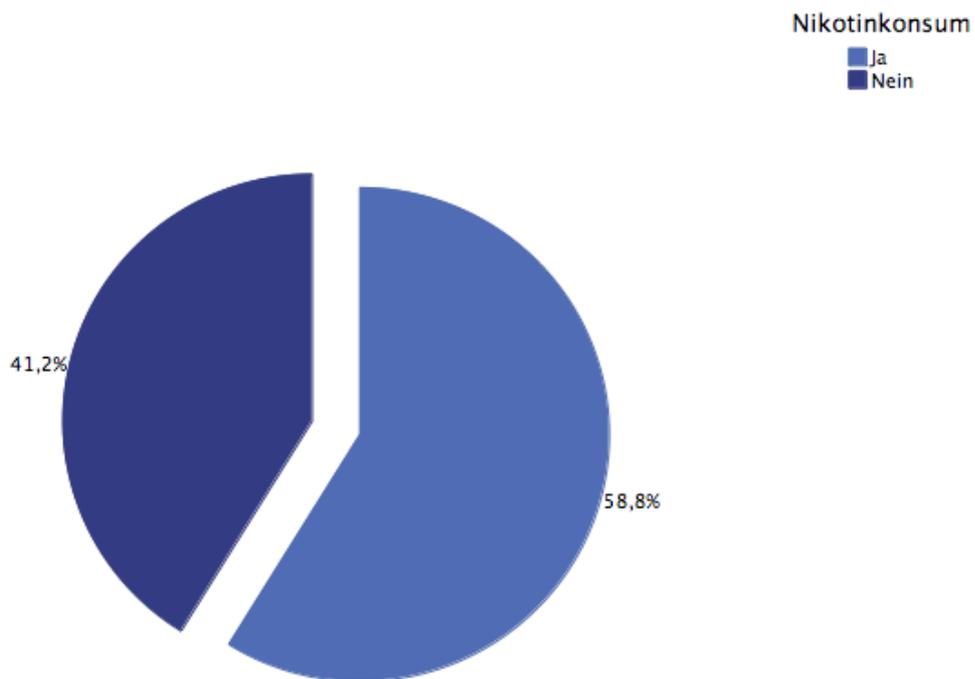


Abbildung 11: Nikotinkonsum

3.2.2.2 Betroffene Handseite

Die Auswertung der betroffenen Handseite ergab ein leichtes Überwiegen der Verletzung der linken Hand mit 36 Patienten (51,4%) gegenüber der rechten Hand mit 34 Patienten (48,6%).

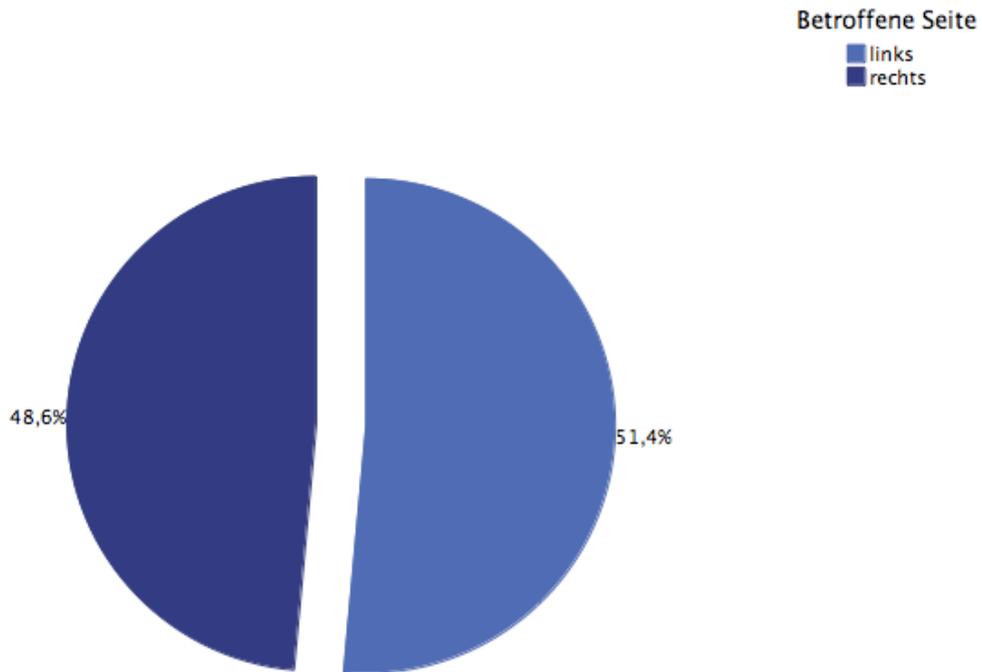


Abbildung 12: Betroffene Seite

3.2.2.3 Alter der Scaphoidpseudarthrose

Im Mittel war ein Zeitraum von 3,5 Jahren zwischen der Verletzung eines Patienten bis zu dessen operativer Versorgung mit dem vaskularisierten Radiusspan vergangen.

Damit ergab sich im Durchschnitt ein Alter der Pseudarthrose bei operativer Versorgung von 2,9 Jahren. Bei der Mehrzahl der Fälle erfolgte diese Therapie mit Alter der Pseudarthrose zwischen 0 und 6,3 Jahren.

Die Älteste hatte einen Wert von 13,3 Jahren, die Jüngste von 0 Jahren.

Die Daten von 64 Patienten (91,4%) standen zur Verfügung.

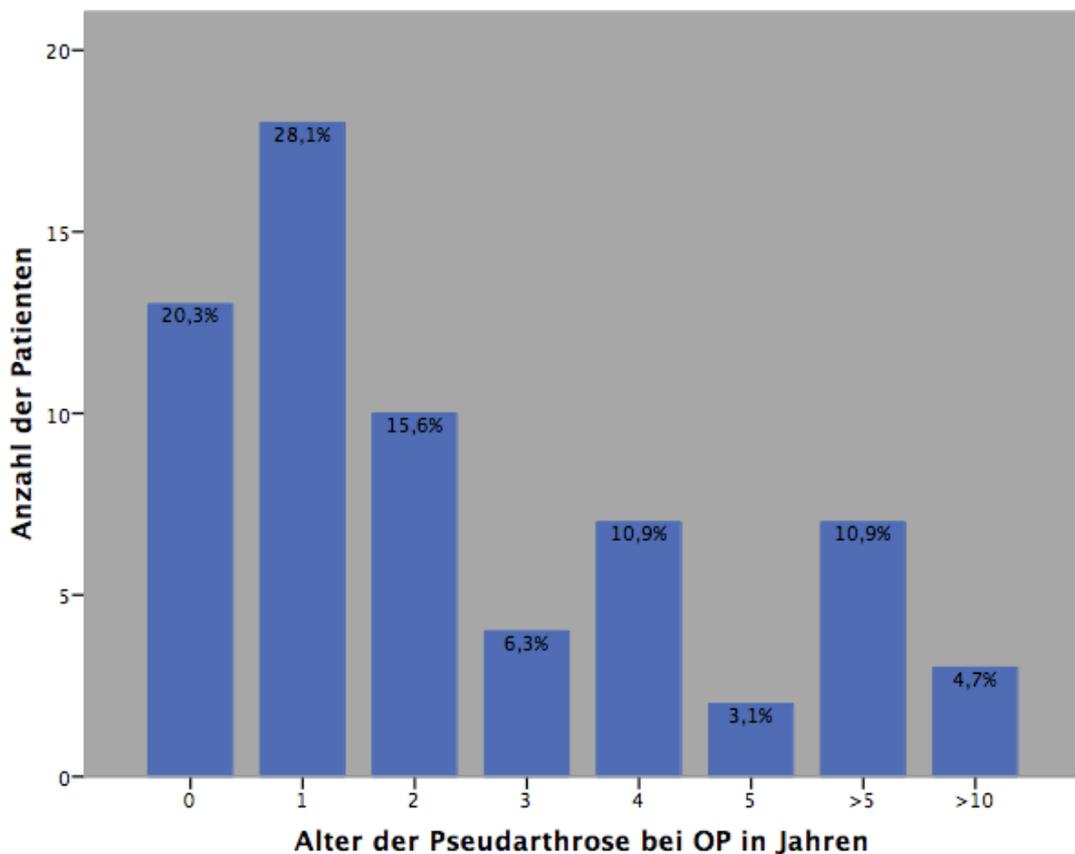


Abbildung 13: Alter der Scaphoidpseudarthrose

3.2.2.4 Bewegungsumfang bei präoperativer Aufnahme

Die Beweglichkeit der Gelenke wurde nach der Neutral-Null-Methode gemessen. Die Werte der jeweiligen Bewegungsrichtung wurden zum Bewegungsumfang (range of motion = ROM) aufaddiert.

Der ROM wurde in Extension und Flexion, Radial- und Ulnarduktion, Supination und Pronation der betroffenen im Vergleich zur nicht betroffenen Seite bestimmt.

Die Werte der ROM der Extension/Flexion der betroffenen Seite variierten bei der Mehrzahl der Patienten zwischen 76° und 132° ausgehend vom Mittelwert von 104°.

Es errechnete sich eine Einschränkung von 23° für die Extension/Flexion im Vergleich mit der nicht betroffenen Seite.

Die Daten von 68 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der betroffenen Seite und die Daten von 53 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der nicht betroffenen Seite standen zur Verfügung.

Extension/Flexion	Mittelwert	Standardabw.	Min.	Max.	Spannweite
Betroffen	104°	± 28°	40°	160°	120°
Nicht betroffen	127°	± 20°	80°	160°	80°

Tabelle 3: ROM der Extension/Flexion der Voruntersuchung

Der ROM der Radial-/Ulnarduktion der betroffenen Seite lag bei der Mehrzahl der Patienten zwischen 34° und 58° ausgehend vom Mittelwert von 46°.

Die Einschränkung im Vergleich mit der nicht betroffenen Seite betrug 10°.

Die Daten von 69 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der betroffenen Seite und die Daten von 52 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der nicht betroffenen Seite standen zur Verfügung.

Radial-/Ulnarduktion	Mittelwert	Standardabw.	Min.	Max.	Spannweite
Betroffen	46°	± 12°	15°	70°	55°
Nicht betroffen	56°	± 14°	30°	95°	65°

Tabelle 4: ROM der Radial-/Ulnarduktion der Voruntersuchung

Bei der Berechnung der ROM der Pronation/Supination der betroffenen Seite fanden sich bei den meisten Patienten Werte zwischen 160° und 184° ausgehend vom Mittelwert von 172°.

Die Einschränkung betrug 1° im Vergleich mit der nicht betroffenen Seite.

Die Daten von 65 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der betroffenen Seite und die Daten von 42 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der nicht betroffenen Seite standen zur Verfügung.

Pronation/Supination	Mittelwert	Standardabw.	Min.	Max.	Spannweite
Betroffen	172°	± 12°	120°	180°	60°
Nicht betroffen	173°	± 11°	140°	180°	40°

Tabelle 5: ROM der Pronation/Supination der Voruntersuchung

3.2.2.5 Lokalisation der Scaphoidpseudarthrose

Bei allen Patienten wurde die genaue Lokalisation der Scaphoidpseudarthrose nachgewiesen.

Am häufigsten zeigten sich Pseudarthrosen im proximalen Drittel. Es fand sich hier die größte Gruppe mit 54 Patienten (77,1%).

Das mittlere Drittel war mit 14 Patienten (20,0%) vertreten.

Scaphoidpseudarthrosen im distalen Drittel fanden sich bei 2 Patienten (2,9%).

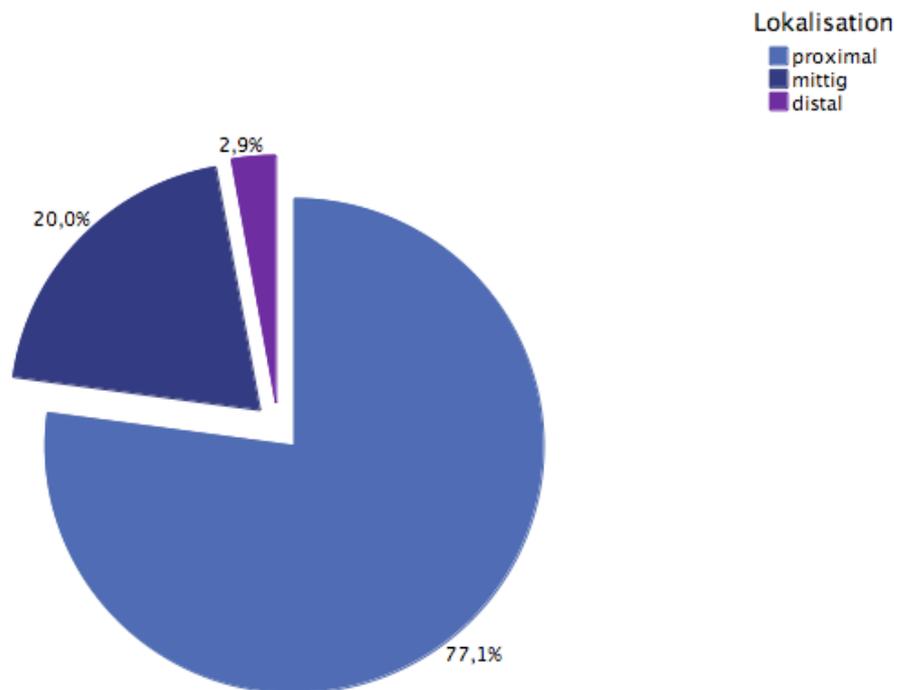


Abbildung 14: Lokalisation der Scaphoidpseudarthrose

Insgesamt wurden 11 kleine proximale Fragmente beschrieben. Aufgrund der zu geringen Anzahl war keine statistische Aussagekraft gegeben, so dass auf eine weitere Ausführung verzichtet wurde.

Der Versuch die Fragmente in vaskuläre und avaskuläre Fragmente einzuteilen, scheiterte in dieser retrospektiven Studie daran, dass nicht bei allen Patienten eine Computertomographie oder Magnetresonanztomographie mit Kontrastmittel durchgeführt wurde.

3.2.3 Therapie

3.2.3.1 Erst-Operation oder Rezidiv-Therapie

In den folgenden Darstellungen wurden die Patienten hinsichtlich der operativen Versorgung mit dem vaskularisierten Radiusspan als Erst-Operation oder als Rezidiv-Therapie eingeteilt.

Weiter wurde bei der Patientengruppe mit Rezidiv-Therapie die Anzahl und Art der Vorbehandlung unterschieden.

Bei 47 Patienten (67,1%) handelte es sich bei der operativen Therapie mit dem vaskularisierten Radiusspan um die erste operative Versorgung der Scaphoidpseudarthrose.

Bei 23 Patienten (32,9%) war es eine operative Rezidiv-Therapie.

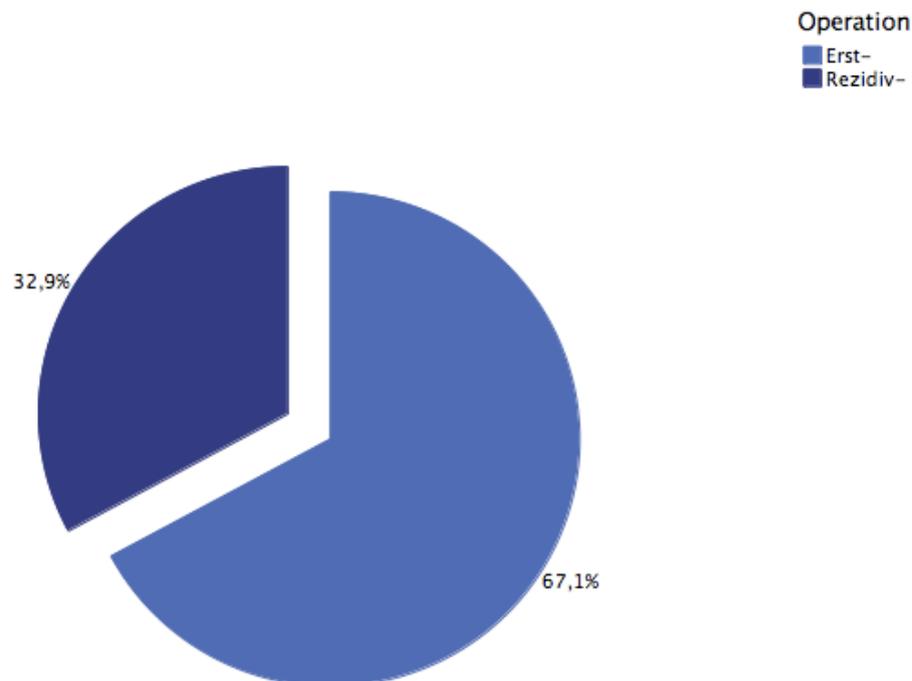


Abbildung 15: Erst- oder Rezidiv-Therapie

In der Gruppe der Patienten mit Rezidiv-Therapie fanden sich 20 Patienten (28,6%), die bereits mit einer operativen Versorgung der Pseudarthrose vorbehandelt wurden. Es ergab sich für diese Gruppe somit insgesamt die Anzahl von 2 Operationen.

3 Patienten (4,3%) wurden vor der Versorgung mit dem vaskularisierten Radiusspan bereits zwei Mal operiert und kamen insgesamt auf 3 operative Eingriffe.

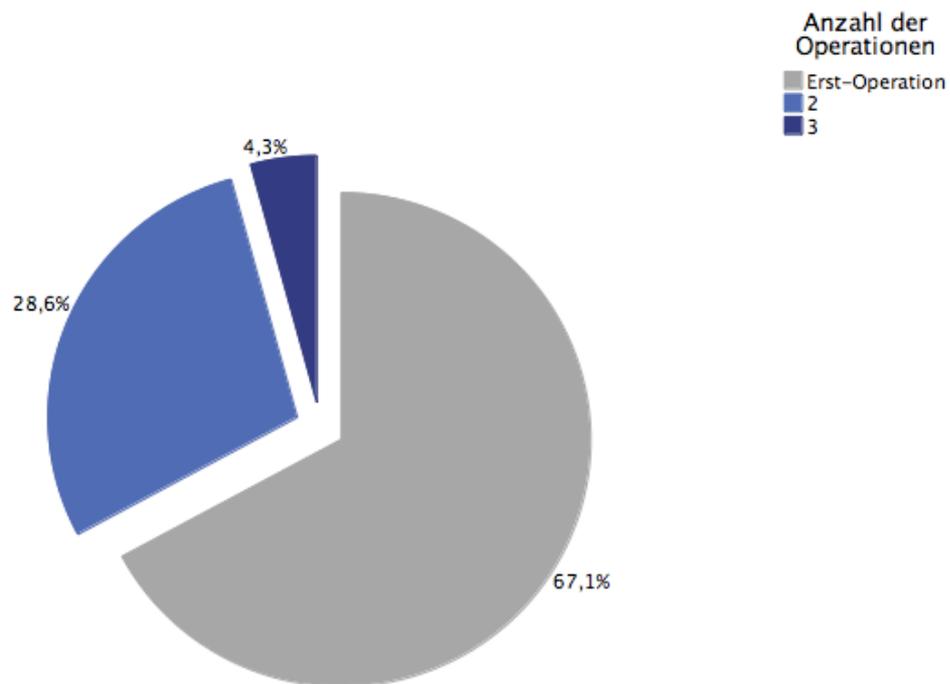


Abbildung 16: Anzahl der Operationen

Die Art der Vorbehandlung teilt sich auf in 14 Patienten (20%) nach einer Herbert-Schraubenosteosynthese und 7 Patienten (10%) nach einer Matti-Russe-Plastik.

2 Patienten (2,9%) wurden bereits zuvor mit einem vaskularisierten Radiusspan therapiert.

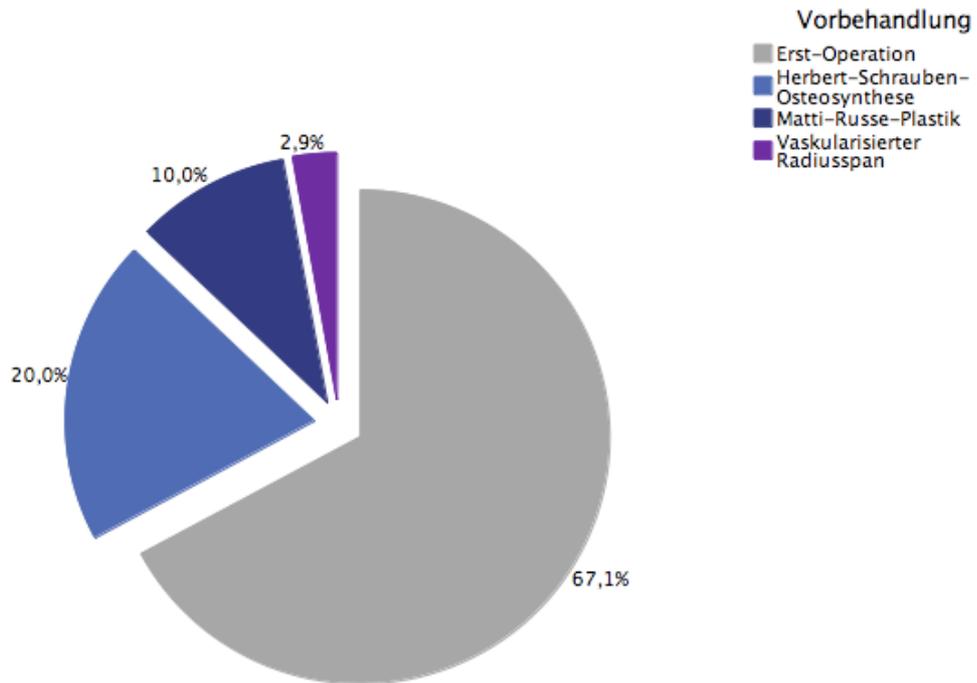


Abbildung 17: Art der Vorbehandlung

3.2.3.2 Zugangsweg

Der operative Zugangsweg unterschied sich in ein palmares oder ein dorsales Verfahren.

Ersteres war die Wahl bei 61 Patienten (87,1%), Letzteres bei 9 Patienten (12,9%).

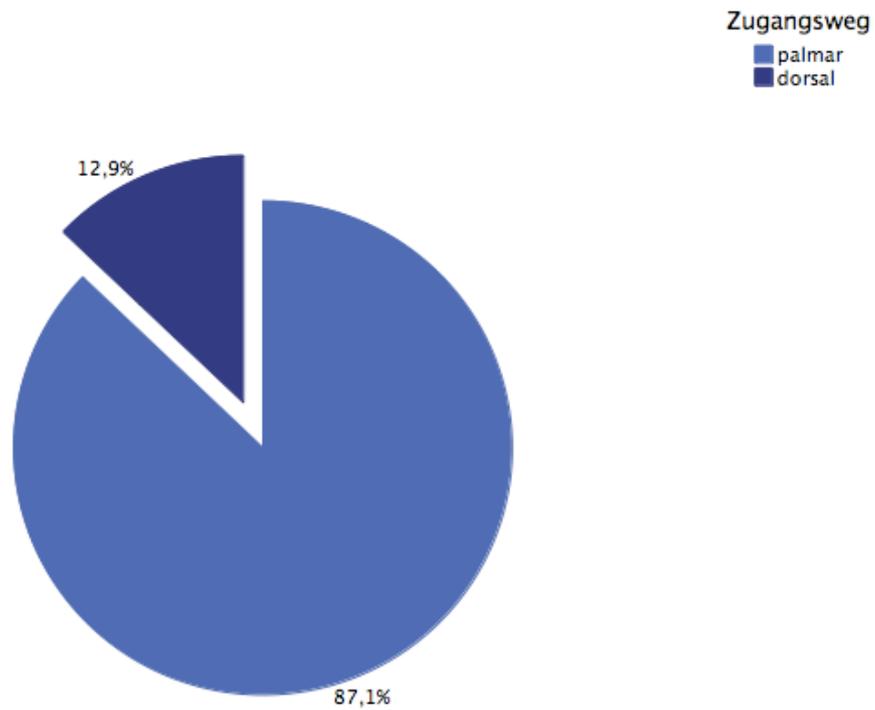


Abbildung 18: Zugangsweg

3.2.3.3 Implantat

Bei der Versorgung der Scaphoidpseudarthrose mit dem vaskularisierten Radiusspan wurde unterschieden zwischen der ausschließlichen Verwendung von Kirschner-Drähten, einer Herbert-Schraube, der Kombination aus beidem oder der Versorgung ohne Implantat.

42 Patienten (60,0%) wurden mit Kirschner-Drähten versorgt; variabel in der Anzahl von einem Draht bis hin zu 4 Drähten.

Bei 24 Patienten (34,3%) erfolgte die Versorgung mittels Herbert-Schraube, Mini-Herbert-Schraube oder der Kombination aus Herbert-Schraube und Kirschner-Drähten.

Bei 4 Patienten (5,7%) wurde kein Implantat eingesetzt.

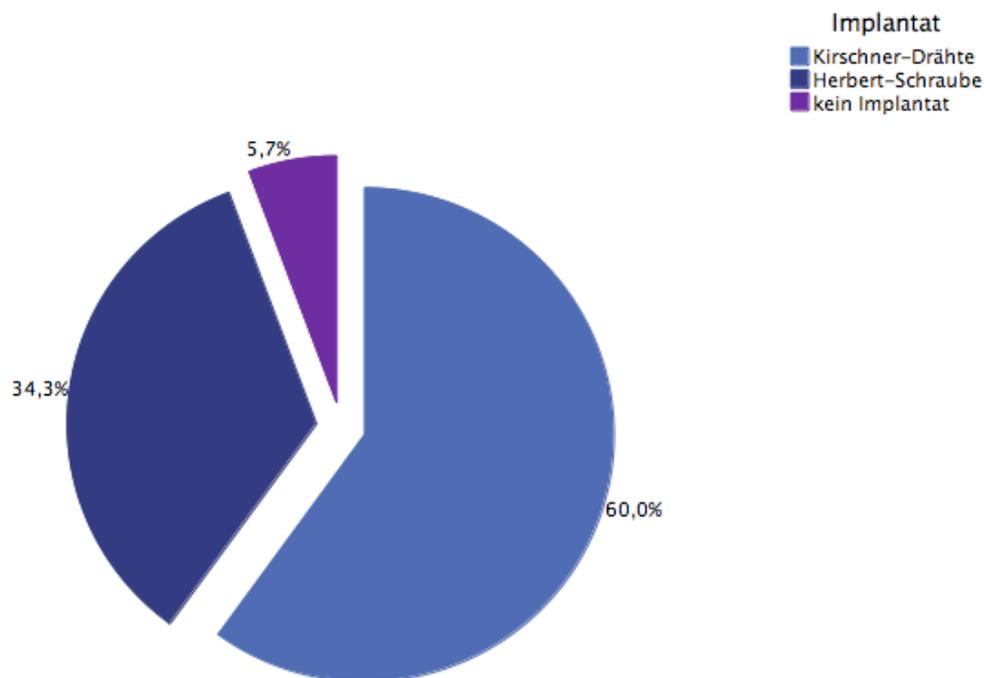


Abbildung 19: Implantat

3.2.3.4 Interponat

Unterschieden wurde bei der Interponateinlage, zusätzlich zum vaskularisierten Radiusspan, zwischen einer Spongiosa- und einer corticospongiösen Spanplastik.

36 Patienten (52,9%) erhielten eine reine Spongiosaplastik.

32 Patienten (47,1%) erhielten eine corticospongiöse Spanplastik.

Die Daten von 68 Patienten (97,1%) standen zur genauen Betrachtung der Verwendung der verschiedenen Interponate, zusätzlich zum vaskularisierten Radiusspan, zur Verfügung.

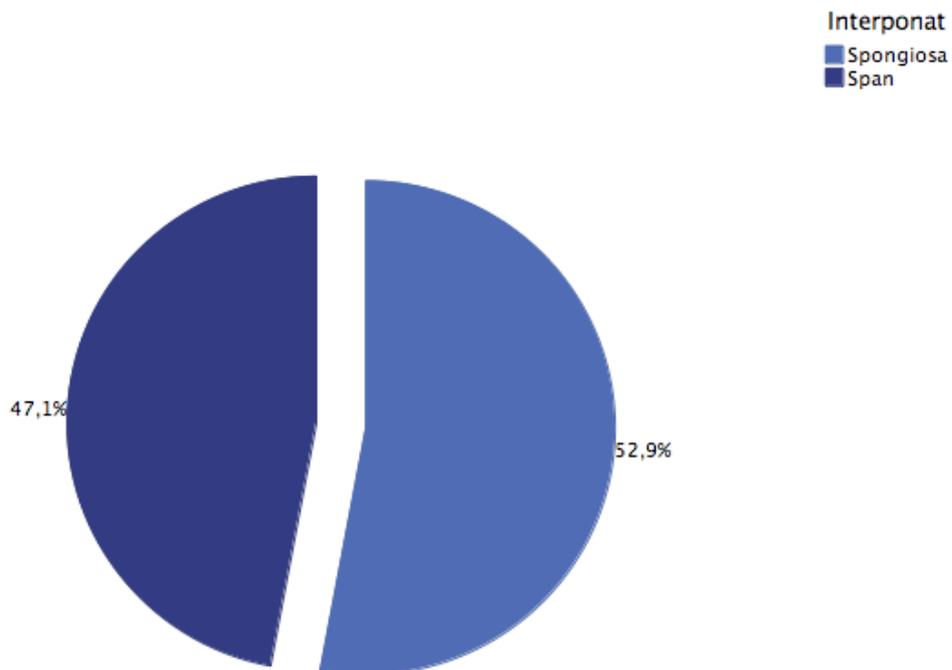


Abbildung 20: Interponat

3.2.4 Postoperatives Procedere

3.2.4.1 Ruhigstellungsdauer

Für die Ruhigstellungsdauer errechnete sich ein Durchschnittswert von 11,4 Wochen mit einer Standardabweichung von 1,8 Wochen. Somit ließen sich Werte von 9,6 bis 13,2 Wochen für die Mehrzahl der Patienten angeben.

Die Spannweite betrug 12 Wochen mit einem Minimum von 5 Wochen und einem Maximum von 17 Wochen postoperativer Ruhigstellungsdauer.

3.2.4.2 Apparative Diagnostik

Als Standarduntersuchung wurden Röntgenkontrollen bei allen Patienten in regelmäßigen Abständen nach 6 und 12 Wochen postoperativ durchgeführt.

Als konsolidiert wurden nur solche Pseudarthrosen angesehen, welche mit absoluter Sicherheit durchbaut waren. Teildurchbauungen oder gar fragliche Durchbauungen wurden als nicht konsolidiert gewertet.

Zur ergänzenden Beurteilung der Durchbauung wurden bei 9 Patienten (12,9%) eine Computertomographie, bei 2 Patienten (2,9%) eine Magnetresonanztomographie und bei einem Patienten (1,4%) eine Szintigraphie angefertigt.

3.2.4.3 Bewegungsumfang bei postoperativer Untersuchung

Die Nachuntersuchung wurde nach Gipsabnahme und Beginn der physiotherapeutischen Beübung durchgeführt.

Der Bewegungsumfang wurde wie bei der präoperativen Aufnahme in Extension und Flexion, Radial- und Ulnardeviation, Supination und Pronation der betroffenen im Vergleich zur nicht betroffenen Seite bestimmt.

Ergänzt wurden die Ergebnisse der Nachuntersuchung durch den Vergleich der jeweiligen Mittelwerte prä- und postoperativ zur Darstellung der Bewegungsverbesserung bzw. -einschränkung.

Der ROM der Extension/Flexion der betroffenen Seite lag bei der Mehrzahl der Patienten zwischen einem Wert von 45° und 109° ausgehend vom Mittelwert von 77°.

Es errechnete sich eine durchschnittliche Einschränkung um 56° der betroffenen Seite im Vergleich mit der nicht betroffenen.

Im Vergleich zur Aufnahmeuntersuchung zeigte sich ein Defizit von 27°.

Die Daten von 60 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der betroffenen Seite und die Daten von 35 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der nicht betroffenen Seite standen zur Verfügung.

Extension/Flexion	Mittelwert	Standardabw.	Min.	Max.	Spannweite
Betroffen	77°	± 32°	10°	150°	140°
Nicht betroffen	133°	± 19°	100°	170°	70°

Tabelle 6: ROM der Extension/Flexion der Nachuntersuchung

Der ROM der Radial-/Ulnarduktion der betroffenen Seite lag bei den meisten Patienten in einem Bereich zwischen 24° und 50° ausgehend vom Mittelwert von 37°.

Es ergab sich eine durchschnittliche Einschränkung von 21° im Vergleich zur nicht betroffenen Seite.

Es zeigte sich ein Defizit von 9° der betroffenen Handseite im Vergleich zur präoperativen Voruntersuchung.

Die Daten von 53 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der betroffenen Seite und die Daten von 31 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der nicht betroffenen Seite standen zur Verfügung.

Radial-/Ulnarduktion	Mittelwert	Standardabw.	Min.	Max.	Spannweite
Betroffen	37°	± 13°	5°	70°	65°
Nicht betroffen	58°	± 12°	30°	80°	50°

Tabelle 7: ROM der Radial-/Ulnarduktion der Nachuntersuchung

Der ROM der Pronation/Supination der betroffenen Seite variierte ausgehend vom Mittelwert von 165° zwischen einem Wert von 145° und 185° bei der Mehrzahl der Patienten.

Die Einschränkung der betroffenen Seite im Vergleich zur nicht betroffenen Seite lag bei 4°.

Das Defizit im Vergleich zur Voruntersuchung ergab einen Wert von 7°.

Die Daten von 49 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der betroffenen Seite und die Daten von 28 Patienten zur Angabe des Bewegungsumfanges der nicht betroffenen Seite standen zur Verfügung.

Pronation/Supination	Mittelwert	Standardabw.	Min.	Max.	Spannweite
Betroffen	165°	± 20°	80°	180°	100°
Nicht betroffen	169°	± 12°	140°	180°	40°

Tabelle 8: ROM der Pronation/Supination der Nachuntersuchung

3.3 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden mittels EDV in einer elektronischen Datenbank erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte deskriptiv durch Mittelwertvergleiche und Prozentangaben. Die Häufigkeiten wurden graphisch dargestellt.

Die statistische Signifikanz der Daten wurde durch das Wilcoxon-Testverfahren, den Fisher-Exakt-Test und die Regressionsanalyse überprüft.

Die Methodik der statistischen Berechnung der Ergebnisse zur Überprüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Durchbauung wurde nur dann als signifikant definiert, wenn sich in jeder Untergruppe mindestens 10% der insgesamt untersuchten Patienten befanden.

Weiter wurden nur Werte von $p < 0,1$ als signifikant definiert. Die Bedeutung liegt darin, dass so die Irrtumswahrscheinlichkeit bei weniger als 10 % liegt. Wird also ein Unterschied als signifikant bezeichnet, liegt die Chance, dass dieser Unterschied zufällig aufgetreten ist, bei unter 10%.

Da viele Einflussfaktoren präsent waren und diskutiert wurden, konnte die einfache statistische Analyse einer Variablen gegen das Outcome zu irreführenden Ergebnissen führen; besonders in dieser kleinen Studie. Deshalb wurde zusätzlich auf ein multivariates Verfahren zurückgegriffen, das die Beziehung zwischen mehreren Variablen aufzeigte. Das Ziel der Regressionsanalyse war es, die Zusammenhänge zwischen Durchbauung auf der einen Seite und den verschiedenen erklärenden Variablen auf der anderen Seite aufzuzeigen und zu bewerten.

4 ERGEBNISSE

Darstellung der Ergebnisse des rekrutierten Patientenkollektivs mit der Diagnose Scaphoidpseudarthrose und operativer Versorgung mit dem vaskularisierten Radiusspan zwischen 2000 und 2008 in der Klinik für Hand- und Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen an der Eberhard Karls Universität Tübingen.

Sofern es nicht anders angegeben ist, erfolgte die Darstellung und Berechnung der Ergebnisse mit allen 70 Patienten (100%).

4.1 Die Durchbauung

Eine erfolgreiche knöchernerne Konsolidierung konnte bei 52 Patienten (74,3%) erzielt werden.

Keine oder keine sichere Durchbauung zeigte sich dagegen bei 18 Patienten (25,7%).

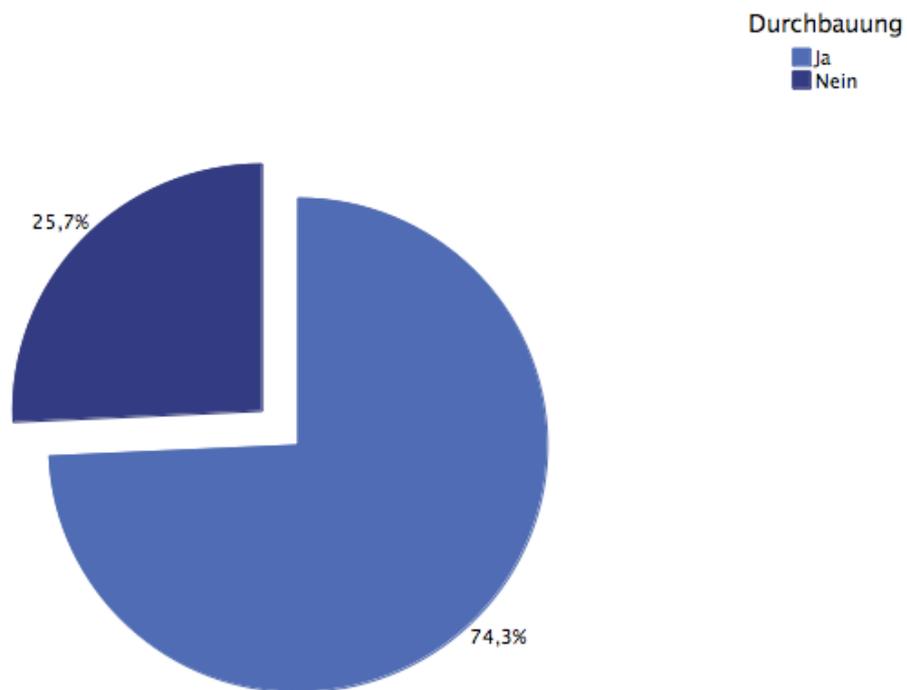


Abbildung 21: Durchbauung

4.2 Die Abhängigkeiten der Durchbauung

Im Folgenden wurde die Durchbauung nach operativer Versorgung mit dem vaskularisierten Radiusspan hinsichtlich verschiedener Abhängigkeiten dargestellt:

- Alter der Patienten
- Geschlecht
- Nikotinkonsum
- Alter der Pseudarthrose
- Lokalisation der Pseudarthrose
- Erst- oder Rezidiv-Therapie
- Vorbehandlung
- Zugangsweg
- Implantat
- Interponat

Wenn es nicht anders angegeben ist, wurden die Werte aller 70 Patienten (100%) in den Darstellungen und Berechnungen berücksichtigt.

4.2.1 Alter der Patienten bei Operation

In der Altersgruppe der 10- bis 19-Jährigen, die aus 9 Patienten bestand, fand sich eine Durchbauungsrate von 88,9%.

Es folgte die Gruppe der 20- bis 29-Jährigen, insgesamt 38 Patienten, mit einer Durchbauungsrate von 78,9%.

Die 12 Patienten zwischen 30 und 39 Jahren hatten eine Rate von 66,7%.

Weiter absteigend folgte die Gruppe der 40- bis 49-Jährigen (7 Patienten) mit einer Rate von 57,1%.

Zuletzt wiesen die 4 Patienten im Alter zwischen 50 und 59 Jahren eine Durchbauungsrate von 50% auf.

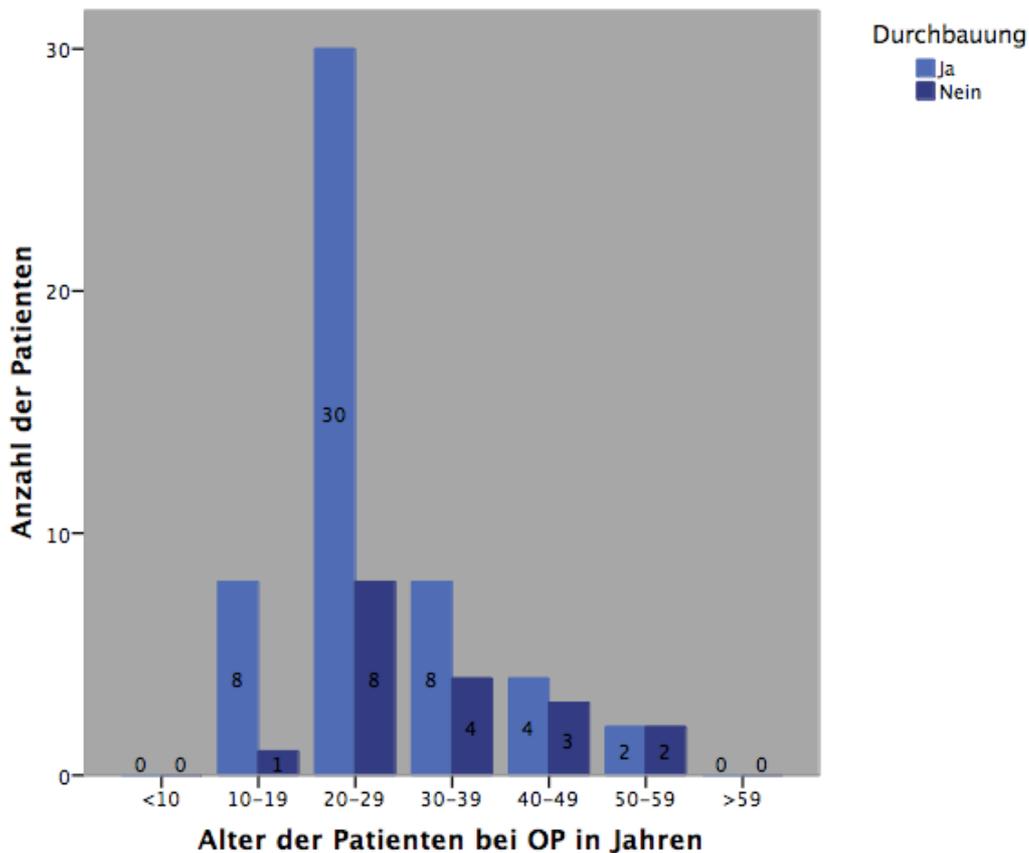


Abbildung 22: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf das Alter der Patienten

4.2.2 Geschlecht

Aus der Gesamtheit der 66 männlichen Patienten errechnete sich eine knöcherne Konsolidierung von 75,8%.

Bei den 4 Frauen ergab sich eine Durchbauungsrate von 50%.

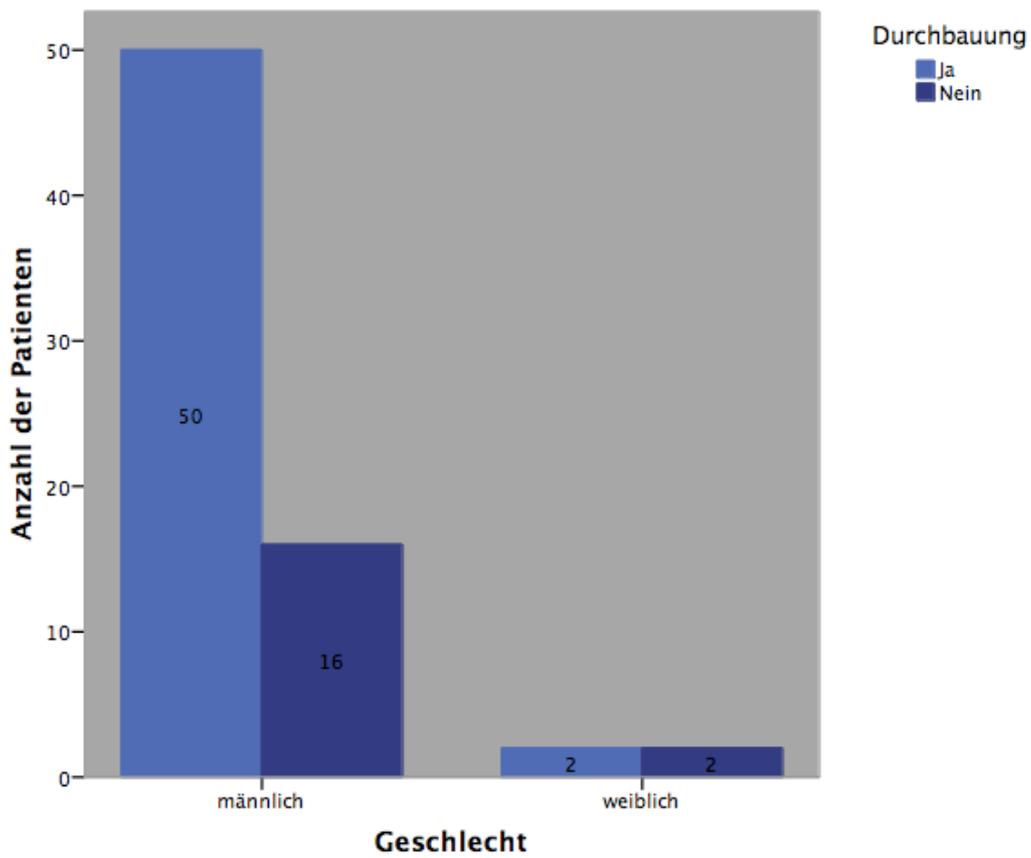


Abbildung 23: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf das Geschlecht

4.2.3 Nikotinkonsum

Beim Thema Nikotinkonsum zeigte sich bei den 28 Nichtraucherern eine Durchbauungsrate von 78,6%.

Im Gegensatz dazu wiesen die 40 Raucher eine Rate von 72,5% auf.

Die Darstellung und Berechnung erfolgte aus der Anzahl von 68 Patienten (97,1%).

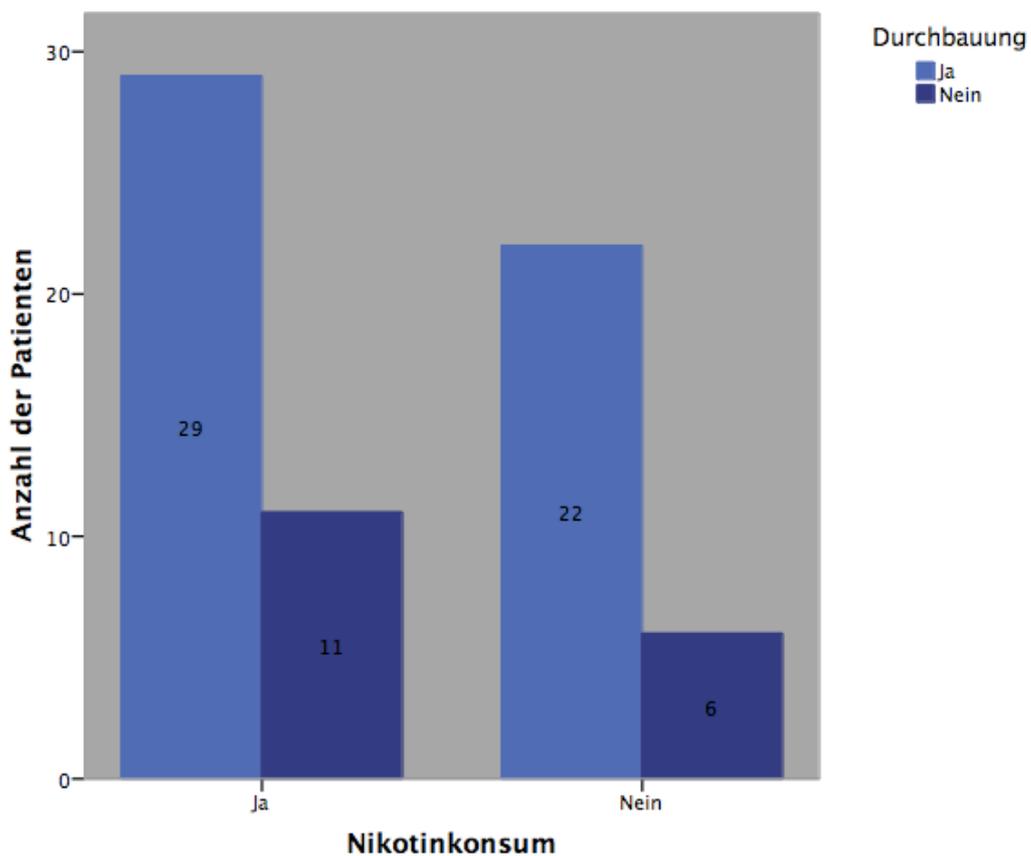


Abbildung 24: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf den Nikotinkonsum

4.2.4 Alter der Scaphoidpseudarthrose

Die 13 Patienten mit operativer Versorgung 6 Monate nach Trauma wiesen eine Durchbauungsrate von 76,9% auf.

Die Durchbauungsrate der 18 Patienten mit einjährig bestehender Pseudarthrose betrug 66,7%.

Eine erfolgreiche Durchbauung von 80% ließ sich bei den 10 Patienten mit einer 2 Jahre alten Pseudarthrose nachweisen.

Bei den 4 Patienten mit einer 3 Jahre alten Pseudarthrose zeigte sich eine Erfolgsquote von 75%.

Eine Rate von 57,1% errechnete sich bei den 7 Patienten mit seit 4 Jahren bestehender Pseudarthrose.

Die 2 Patienten mit einer 5 Jahre alten Pseudarthrose wiesen eine Durchbauungsrate von 100% auf.

Bei 7 Patienten, deren Pseudarthrose zur Gruppe „größer als 5 Jahre bis einschließlich 10 Jahre“ gehört, zeigte sich eine Durchbauungsrate von 85,7%.

Die 3 Patienten mit einer seit länger als 10 Jahren bestehenden Scaphoidpseudarthrose zeigten eine erfolgreiche Durchbauung von 100%.

Die Darstellung und Berechnung erfolgte aus der Anzahl von 64 Patienten (91,4%).

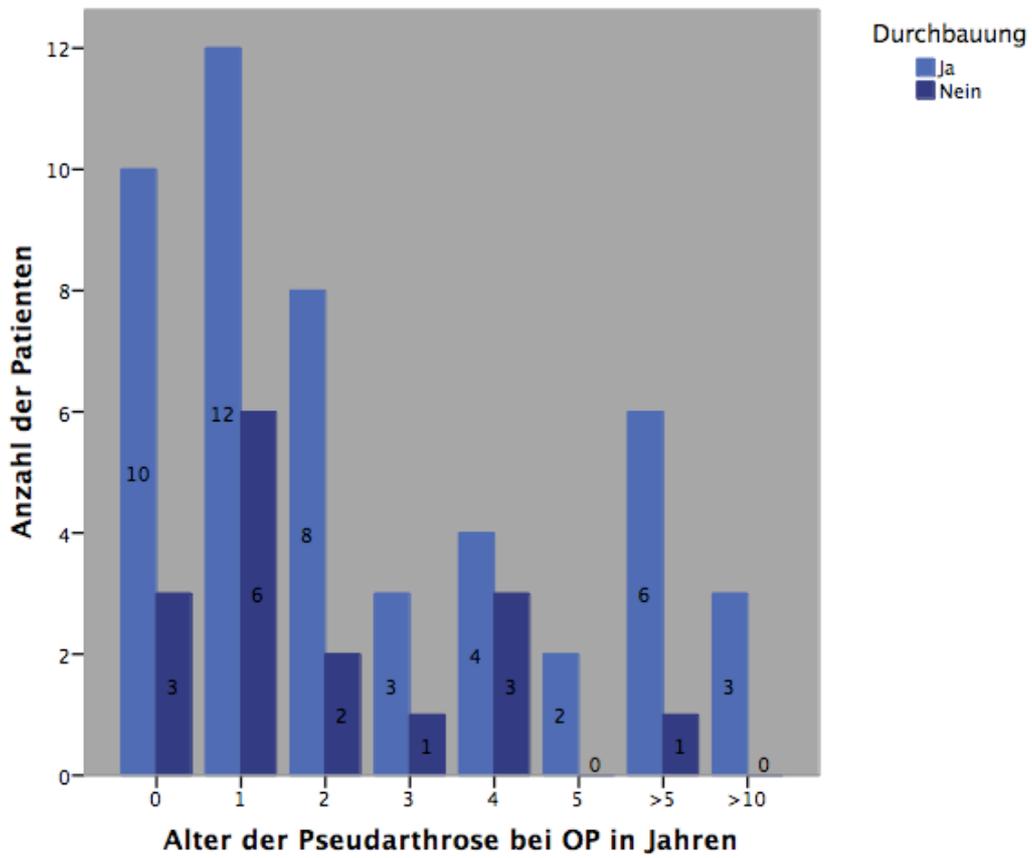


Abbildung 25: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf das Alter der Pseudarthrose

4.2.5 Lokalisation der Scaphoidpseudarthrose

Bei insgesamt 54 Patienten zeigte die Untersuchung eine Pseudarthrose im proximalen Drittel. Die Durchbauung erreichte einen Wert von 68,5%. (In Ergänzung aller Teildurchbauungen konnte ein Wert von 81,5% erzielt werden.)

14 Patienten zeigten eine Pseudarthrose im mittleren Drittel. Die Durchbauung hier hatte einen Erfolg von 92,9%.

Bei Vorliegen der Scaphoidpseudarthrose im distalen Drittel war die Durchbauung in beiden Fällen erfolgreich.

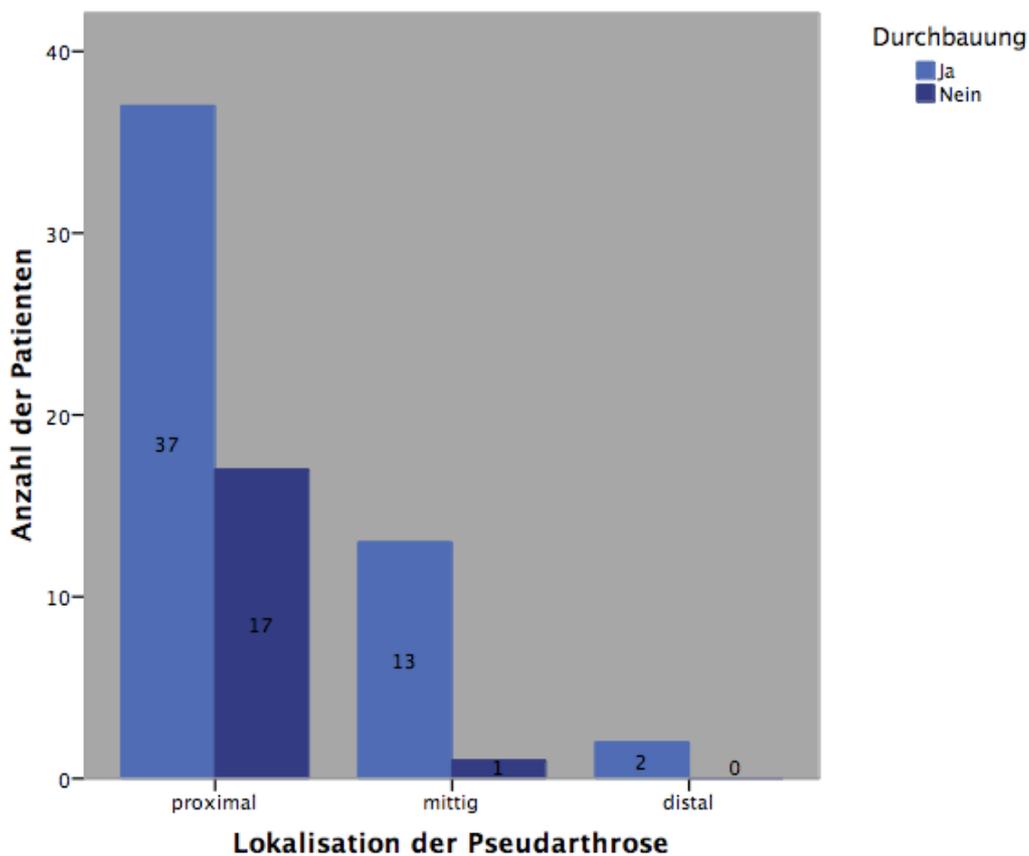


Abbildung 26: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf die Lokalisation der Pseudarthrose

4.2.6 Erst- oder Rezidiv-Therapie

Im Falle der Erst-Operation der Scaphoidpseudarthrose mit dem vaskularisierten Radiusspan errechnete sich eine erfolgreiche Durchbauung bei 72,3% der 47 Patienten.

Dagegen zeigte sich eine Durchbauungsrate von 78,3% bei Vorliegen einer Rezidiv-Operation bei insgesamt 23 Patienten.

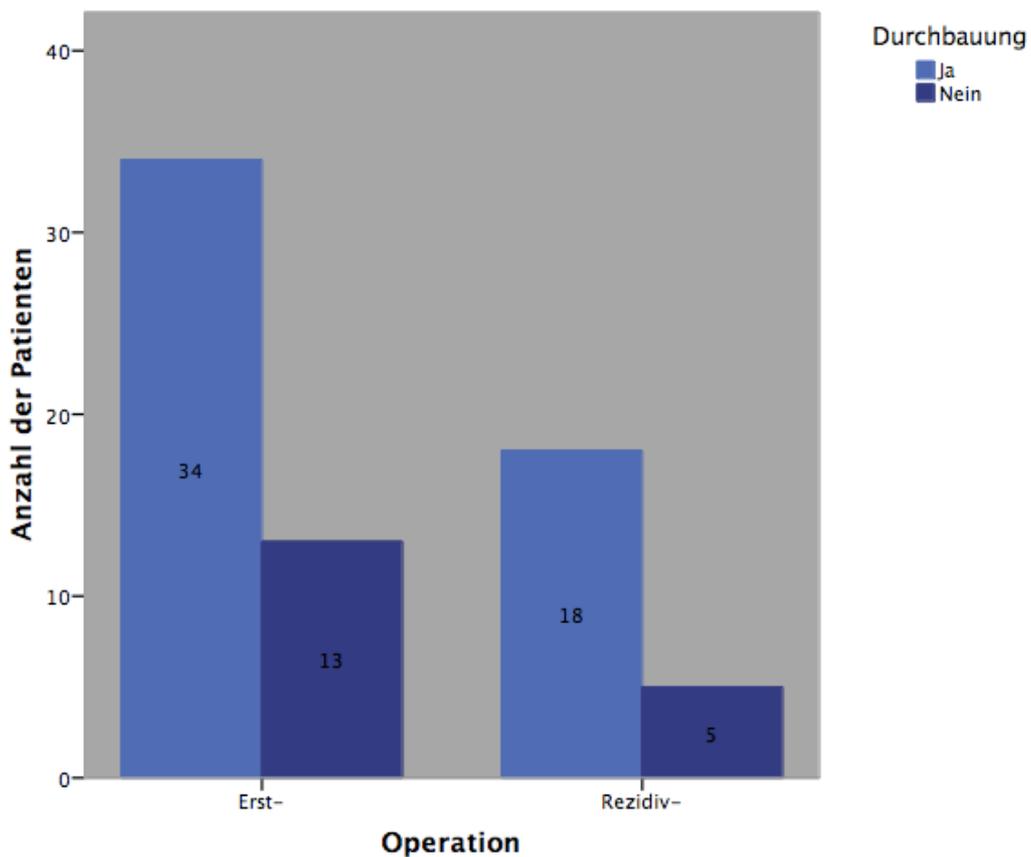


Abbildung 27: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf die Erst- oder Rezidiv-Therapie

4.2.7 Vorbehandlung

Eine Vorbehandlung mit einer Herbert-Schraubenosteosynthese wurde bei 14 Patienten durchgeführt. Die Durchbauungsrate nach Versorgung der Pseudarthrose durch einen vaskularisierten Radiusspan betrug 85,7%.

Eine Voroperation mit einer Matti-Russe-Plastik erfolgte bei insgesamt 7 Patienten, die Rate hatte einen Wert von 71,4%.

2 Patienten wurden zuvor mit dem vaskularisierten Radiusspan versorgt. Der Erfolg der erneuten Operation zeigte sich in einem der beiden Fälle.

Die Darstellung und Berechnung erfolgte bei 23 Patienten (32,9%), bei denen der vaskularisierte Radiusspan die Rezidiv-Therapie darstellt.

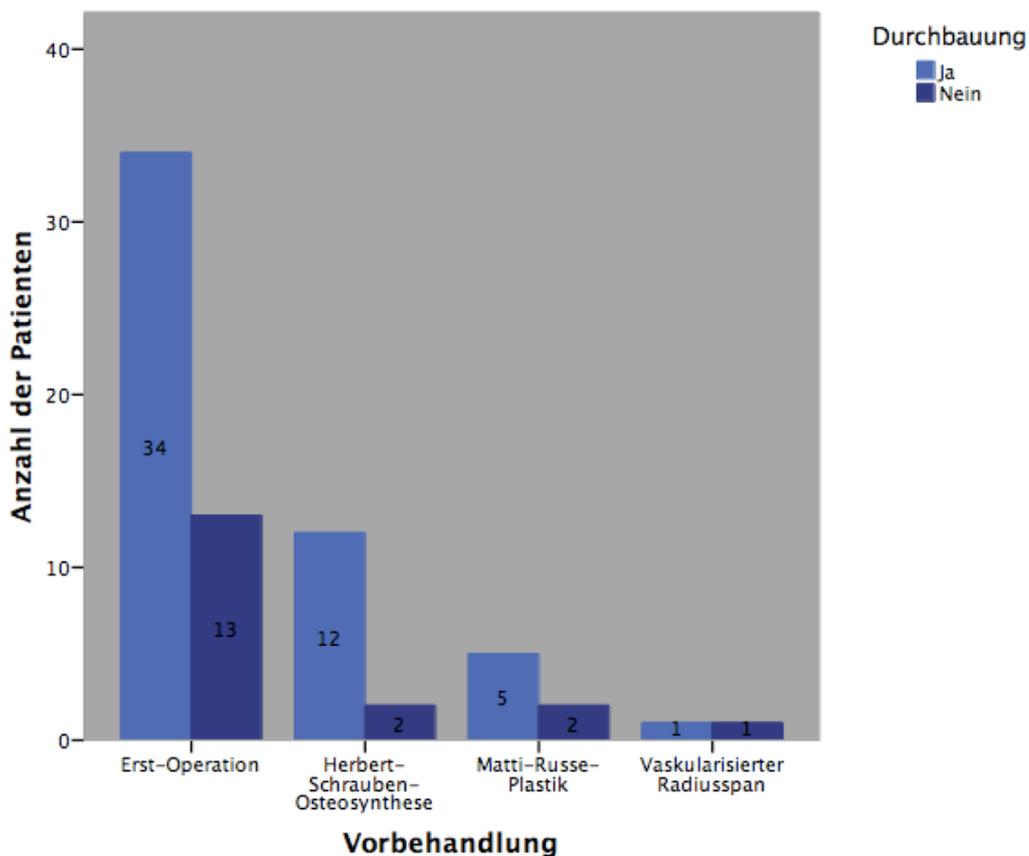


Abbildung 28: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf die Vorbehandlung

4.2.8 Zugangsweg

Die Wahl eines palmaren Zuganges wurde bei 61 Patienten getroffen, die Durchbauung betrug hierbei 78,8%.

Ein dorsaler Zugang führte bei 44,4% der insgesamt 9 Patienten zu einem erfolgreichen Ergebnis.

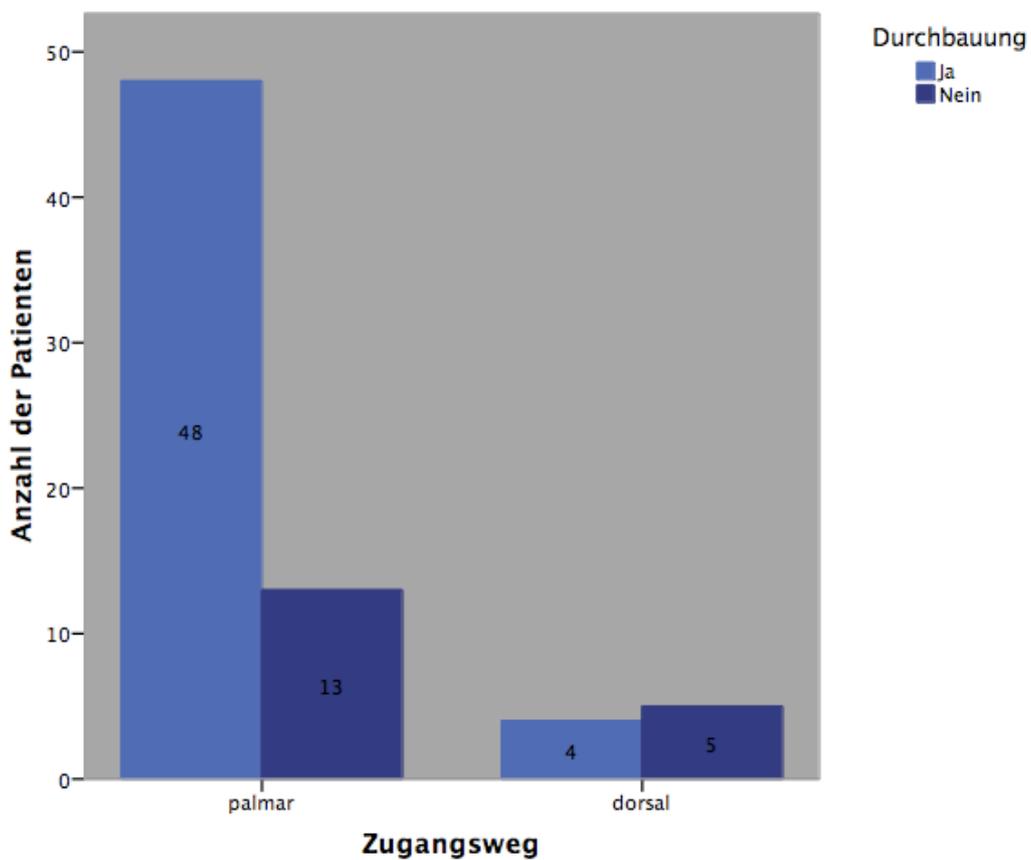


Abbildung 29: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf den Zugangsweg

4.2.9 Implantat

Insgesamt 42 Patienten wurden mit Kirschner-Drähten versorgt. Die erfolgreiche Durchbauung lag bei 83,3%.

Nach der Implantation einer Herbert-Schraube bei 24 Patienten zeigte sich eine Durchbauungsrate von 66,7%.

Bei den 4 Patienten die kein Implantat erhielten, errechnete sich eine Durchbauungsrate von 25%.

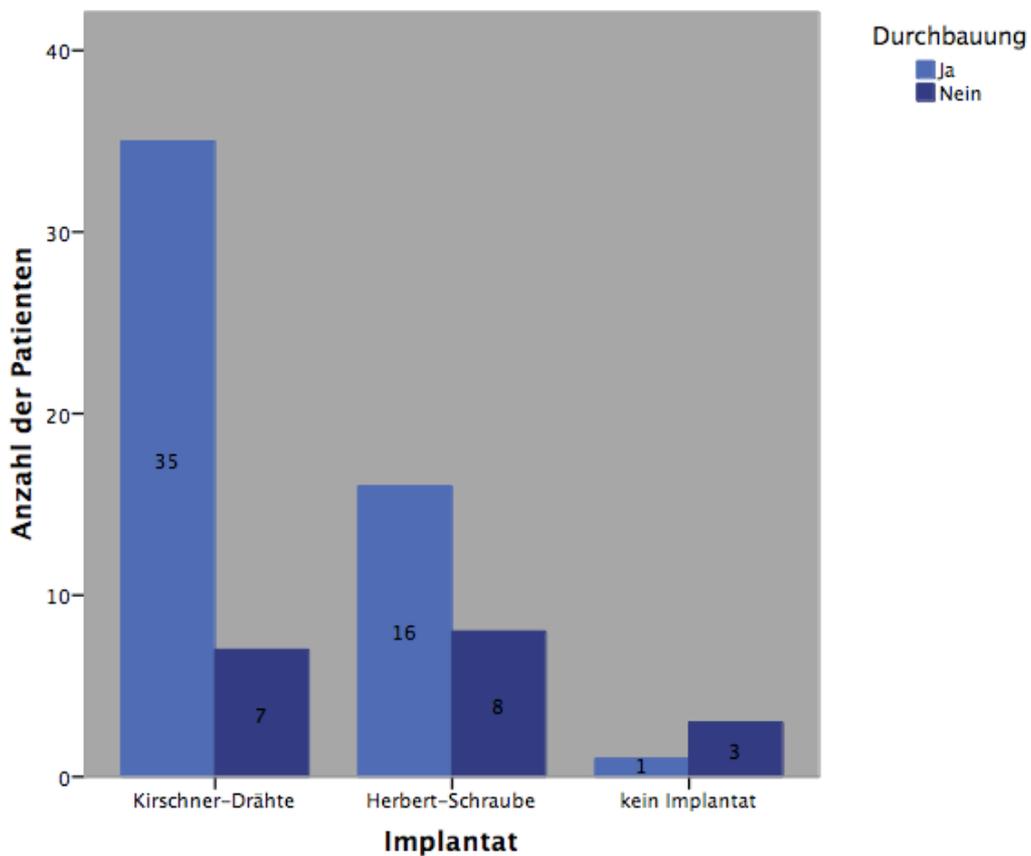


Abbildung 30: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf das Implantat

4.2.10 Interponat

Insgesamt 36 Patienten erhielten eine Spongiosaplastik. Es errechnete sich eine Durchbauungsrate von 63,9%.

Dagegen wurde bei 32 Patienten eine Spanplastik durchgeführt. Die erfolgreiche knöchernerne Konsolidierung lag bei 84,4%.

Die Darstellung und Berechnung erfolgte aus der Anzahl von 68 Patienten (97,1%).

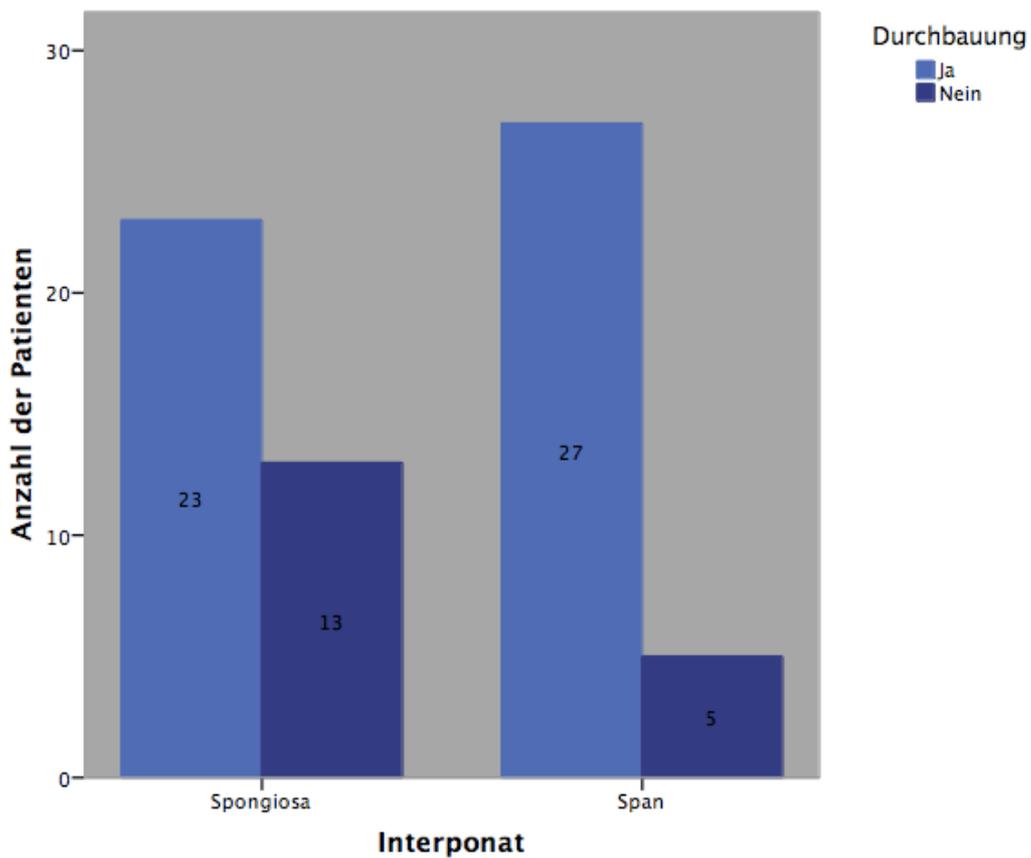


Abbildung 31: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf das Interponat

5 DISKUSSION

Das Ziel der Studie war es, durch die Nachuntersuchung eines definierten Patientenkollektivs die Ausheilungsraten unserer Therapie mit dem vaskularisierten Radiusspan zu erfassen und die verschiedenen Einflussfaktoren auf die knöchernen Konsolidierung und damit einer erfolgreichen Therapie zu eruieren.

Die Ergebnisse dieser Studie wurden mit der Literatur verglichen, diskutiert, und lieferten die Indikationsstellungen für dieses Operationsverfahren.

5.1 Durchbauung

5.1.1 Eigene Ergebnisse

Unsere Resultate nach der Behandlung von 70 Patienten mit dem vaskularisierten Radiusspan wiesen eine sichere Durchbauung bei 74,3% und keine vollständige knöcherne Konsolidierung bei 25,7% des Kollektivs auf.

Als Vergleich dazu diente uns eine nicht veröffentlichte, klinikinterne Studie, durchgeführt zwischen Januar 2000 und Dezember 2006, in der 134 Patienten mit Kahnbeinpseudarthrose durch konventionelle Therapiemethoden behandelt wurden (Eisenbarth, Werdin, Schmidt, & Schaller, 2008). Als Standardverfahren wurden die Resektion der Pseudarthrose und die Interposition eines corticospongiösen Beckenkammspanns mit anschließender Verschraubung durch eine Herbert-Schraube durchgeführt. Das Resultat zeigte eine sichere Durchbauung bei 92,5% der Patienten, keine Durchbauung bei 7,5% der Patienten.

5.1.2 Bewertung der Ergebnisse

Die Vergleichbarkeit dieser beiden Studien war vorteilhaft, da sie in der gleichen Klinik durchgeführt wurden, und sich die Zeiträume der Studien überschneiden haben.

Besonders schwierige und prognostisch ungünstige Fälle, d.h. Rezidivpseudarthrosen, Pseudarthrosen im proximalen Drittel und solche mit Zeichen einer gestörten Vaskularität wurden mit dem vaskularisierten Radiusspan behandelt. Die als prognostisch günstig eingestuften Patienten dagegen wurden mit den bisherigen konventionellen Verfahren operativ therapiert. So entstanden zwei selektionierte Patientengruppen; behandelt mit unterschiedlichen Verfahren.

Die Ergebnisse der Studie von *Eisenbarth* et al. (Eisenbarth, Werdin, Schmidt, & Schaller, 2008) sind sehr zufriedenstellend, unsere Ergebnisse des vaskularisierten Radiusspanns unter den oben genannten ungünstigen Voraussetzungen ebenfalls.

5.1.3 Vergleich mit der Literatur

Im Vergleich mit der Literatur fanden sich bei der Therapie mit einer corticospongiösen Spanplastik vom Beckenkamm mit anschließender Kompressionsverschraubung Versagerquoten, je nach Studie und Patientenkollektiv von 15-25% (Durmus, 2006) (Inoue, Shionoya, & Kuwahata, 1997), wobei Pseudarthrosen im proximalen Drittel, kleine proximale Fragmente und durchblutungsgestörte bzw. avaskuläre Fragmente sicher die größte Problemgruppe darstellten (Herbert & Filan, 1999) (Krimmer, Kremling, van Schoonhoven, Prommersberger, & Hahn, 1999). Auch das Alter der Pseudarthrose schien negativ mit den Ausheilungsraten zu korrelieren. Zudem kamen mit zunehmendem Alter der Pseudarthrose auch die mehr oder minder ausgeprägten degenerativen Veränderungen im Sinne einer Radio-carpalarthrose hinzu (Schmidt G. , 2004).

Fehlschläge waren häufig auch auf Fehler oder Ungenauigkeiten in der technischen Durchführung, wie z.B. schlecht eingepasste Knochenspäne oder nicht optimal platzierte Schrauben zurückzuführen (Preisser, Rudolf, & Partecke, 1999).

Um die knöchernen Konsolidierungsraten bei Scaphoidpseudarthrosen zu verbessern, wurden verschiedene alternative bzw. additive Verfahren beschrieben.

In unseren Ergebnissen wurde der gefäßgestielte Knochenspan aus dem distalen Radius in Verbindung mit Beckenkammpongiosa oder einem corticospongiösen Beckenkammspan vorgestellt.

Die Ausheilungsraten des vaskularisierten Radiusspanns in der Literatur lieferten Ergebnisse zwischen 71% und 100% (Jesu, Wavreille, Strouk, & Fontaine, 2008) (Malizos, et al., 2007) (Sauerbier, Bishop, & Ofer, 2009) (Schmidt G. , 2004) (Waitayawinyu, McCallister, Katolik, Schlenker, & Trumble, 2009), je nach Studie und Patientenkollektiv.

Diese Varianz wurde in der nachfolgenden Diskussion der Einflussfaktoren weiter untersucht, in Bezug auf das Alter der Patienten, das Geschlecht, den Nikotinkonsum, das Alter der Pseudarthrose, die Lokalisation, den Zugangsweg und die eingesetzten Implantate und Interponate.

Weitere operative vaskularisierende Verfahren reichen von der Implantation eines reinen Gefäßstiels in das proximale Fragment über verschiedene gefäßgestielte Knochenspäne aus dem distalen Radius oder dem Metacarpalbereich bis zu frei mikrovaskulär transplantierten Knochenspänen aus dem Becken oder dem distalen Femur (Kuhlmann, Mimoun, Boabighi, & Baux, 1987) (Malizos, Dailiana, Kirou, Vragalas, Xenakis, & Soucacos, 2001) (Mathoulin & Haerle, 1998) (Papp, Maurer, Aussenlechner, & Wood, 1993) (Pechlaner, Hussl, & Künzel, 1987). Die Studien zu frei transplantierten Knochenspänen lieferten Durchbauungsraten zwischen 85% und 100% (Bürger, Gaggl, Kukutschki, & Müller, 2009) (Gabl, Reinhart, & Pechlaner, 1999) (Jones, Bürger, Bishop, & Shin, 2008), jedoch mit weniger als 30 Studienteilnehmern.

Seit einiger Zeit kommen auch zunehmend in unserer Klinik bei Rezidivpseudarthrosen und kleinen proximalen Polfragmenten freie mikrovaskulär transplantierte Femurkorylenspäne zur Anwendung, welche im Rahmen dieser Dissertation nicht nachuntersucht wurden.

5.2 Indikationsstellung

Der vaskularisierte Radiusspan wurde als alternatives bzw. additives Verfahren nach individueller Auswahl in schwierigen oder prognostisch ungünstigen Fällen gewählt.

Von ursprünglich 248 Patienten mit der Diagnose Scaphoidpseudarthrose, die in einem Zeitraum von 8 Jahren operativ therapiert werden konnten, wurde in 73 Fällen aufgrund der Negativselektion auf die Versorgung mit dem vaskularisierten Radiusspan zugegriffen.

Indikationsstellung:

- Rezidivpseudarthrosen
- Pseudarthrosen im proximalen Drittel
- Pseudarthrosen mit kleinem proximalem Fragment
- Pseudarthrosen mit Veränderungen der Feinstruktur bis hin zu avaskulären Nekrosen
- Pseudarthrosen mit Bestehen von mindestens 2 Jahren

Die Entscheidung für die Wahl des vaskularisierten Radiusspans geschah nach individueller Betrachtung der Gesamtsituation des Patienten, hinsichtlich aller möglichen beeinflussenden Faktoren.

5.3 Diskussion der Einflussfaktoren

5.3.1 Alter der Patienten

5.3.1.1 Eigene Ergebnisse

Die Auswertung des untersuchten Studienkollektivs ergab, dass 47 Patienten (67%) jünger und 23 Patienten (33%) älter als 30 Jahre alt waren. Die knöchernen Konsolidierungsrate der unter 30-Jährigen betrug 80,9%, die der über 30-Jährigen 60,9%.

Es errechnete sich im univariaten Verfahren ein signifikantes Ergebnis für diesen Faktor in dieser Gruppierung mit $p = 0,087$.

Das mittlere Alter der durchbauten Patienten betrug 28,1 Jahre, im Vergleich mit den nicht durchbauten Patienten, deren mittleres Alter 31,8 Jahre betrug.

Das Ergebnis der logistischen Regression zur Beurteilung multivariater Einflussfaktoren ergab für das Alter der Patienten einen p-Wert von 0,130. Damit konnte der Nachweis eines statistisch signifikanten Ergebnisses nicht bestätigt werden.

Das relative Risiko keine Durchbauung zu erreichen war bei Patienten älter als 30 Jahre 1,6-fach höher als bei Patienten jünger als 30 Jahre.

5.3.1.2 Bewertung der Ergebnisse

Die schlechtere Ausheilungsrate der 9 Patienten älter als 30 Jahre ohne Durchbauung könnte negativ beeinflusst gewesen sein durch die nahezu ausschließlich proximal lokalisierten Pseudarthrosen, dem Vorliegen von mindestens zwei sehr kleinen proximalen Fragmenten, zwei Versorgungen ohne Stabilisierung durch ein Implantat und einem hohen Raucheranteil.

5.3.1.3 Vergleich mit der Literatur

Insgesamt fiel auf, dass Scaphoidfrakturen und -pseudarthrosen in ähnlichen Altersabschnitten auftraten. Eine Altersverteilung ähnlich der unseren bestätigte sich in vielen Studien (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) (Durmus, 2006) (Gabl, Reinhart, & Pechlaner, 1999) (Herbert & Filan, 1999) (Jessu, Wavreille, Strouk, & Fontaine, 2008) (Jones, Moran, Bishop, & Shin, 2010) (Krimmer, Kremling, van Schoonhoven, Prommersberger, & Hahn, 1999) (Lautenbach, Mochkabadi, & Eisenschenk, 2000) (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) (Sauerbier & Bishop, 2001) (Tsai, Chao, Tu, Chen, Lee, & Ueng, 2002) (Uerpaiojkit, Leechavengvongs, & Witoonchart, 2000) und nur wenige Ausnahmen untersuchten abweichende Altersklassen (Dacho, Germann, & Sauerbier) (Waters & Stewart, 2002). Unabhängig vom Verfahren konnte bei den angegebenen Studien ein durchschnittliches Alter von 29 Jahren angegeben werden. Bedeutend ist daher vor allem, dass sich die Studien durch die ähnlichen demographischen Daten sehr gut vergleichen ließen.

Es gibt nur wenige Studien, die den Einfluss des Alters der Patienten auf die knöchernen Konsolidierung untersucht haben.

In Studien zu konventionellen Verfahren konnten weder *Inoue* et al. (Inoue, Shionoya, & Kuwahata, 1997) noch *Ramamurthy* et al. (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) signifikante Unterschiede der Durchbauungsraten in Bezug auf das Alter der Patienten nachweisen. Bei *Inoue* et al. (Inoue, Shionoya, & Kuwahata, 1997) betrug das durchschnittliche Alter der durchbauten Patienten 24 Jahre, das der Patienten mit persistierender Pseudarthrose 27 Jahre. Die Patienten im Bericht von *Ramamurthy* et al. (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) waren durchschnittlich 28 Jahre alt.

Chang et al. (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) beschrieben in ihrer Studie nach vaskularisiertem Radiusspan das Alter der Patienten als potentiellen Risikofaktor für die knöchernen Konsolidierung. Das Durchschnittsalter der

durchbauten Patientengruppe betrug 21,3 Jahre, die Patientengruppe ohne Durchbauung hatte ein durchschnittliches Alter von 30,5 Jahren. In einem univariaten Verfahren ließ sich damit eine statistische Signifikanz nachweisen ($p = 0,018$).

Waters und Stewart (Waters & Stewart, 2002) erzielten bei einer sehr jungen Patientengruppe ($n=3$) mit einem Durchschnittsalter von 16,3 Jahren eine Konsolidierungsrate von 100%.

Auch *Merrell et al.* (Merrell, Wolfe, & Slade, 2002) berichteten in ihrer Analyse zur Behandlung von Kahnbeinpseudarthrosen von einem Effekt des Alters auf die Ausheilung, wenn auch einen geringen. Patienten jünger als 20 Jahre hatten eine durchschnittliche Ausheilungsrate von 95%, Patienten zwischen 20 und 29 Jahren von 89%, Patienten zwischen 30 und 39 Jahren von 80%, Patienten zwischen 40 und 49 Jahren von 88% und Patienten über 50 Jahre von 78%.

5.3.1.4 Fazit

Es scheint, als würden sich mit zunehmendem Alter die Ausheilungsraten tatsächlich verschlechtern. Die Resultate sind nicht gravierend genug, um von einem Risikofaktor zu sprechen.

Sicher ist, dass die Höhe der Ausheilungsraten nicht nur mit der Altersgruppe korreliert, sondern vielmehr einflussreichere Faktoren, besonders die Lokalisation der Pseudarthrose, berücksichtigt werden müssen (Durmus, 2006).

Ob eine knöcherne Konsolidierung bei jüngeren Patienten schneller stattfindet und ob die Blutversorgung mit zunehmendem Alter abnimmt, konnte so nicht in der Literatur gefunden werden.

5.3.2 Geschlecht

5.3.2.1 Eigene Ergebnisse

Unser Studienkollektiv setzte sich aus 66 Männern (94%) mit einer Durchbauungsrate von 75,8%, und 4 Frauen (6%) mit einer Durchbauungsrate von 50% zusammen.

Da die Anzahl der Patientinnen in unserer Studie zu gering war, konnte keine statistische Aussage zum Einfluss der Rolle des Geschlechts auf die Durchbauung gemacht werden.

5.3.2.2 Vergleich mit der Literatur

Im Vergleich mit der Literatur bestätigten sich unsere Resultate. Der Männeranteil überwog den Anteil der Frauen deutlich, mit einer geringen Anzahl an Frauen (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) (Dacho, Germann, & Sauerbier) (Gabl, Reinhart, & Pechlaner, 1999) (Jones, Moran, Bishop, & Shin, 2010) (Lautenbach, Mochkabadi, & Eisenschenk, 2000) (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) (Sauerbier & Bishop, 2001).

Insgesamt kann man sagen, dass Scaphoidfrakturen und -pseudarthrosen hauptsächlich Männer betreffen. Die Ursache der ungleichen Verteilung lässt sich in der Tatsache finden, dass Frauen in Beruf und Freizeit meist weniger körperlich belastende Tätigkeiten ausführen. Auch Risikosportarten, bei denen Kahnbeinfrakturen am häufigsten auftreten, werden hauptsächlich von Männern ausgeübt (Durmus, 2006).

Wenige Studien untersuchten den Einfluss des Geschlechts auf die Ausheilungsraten. *Ramamurthy et al.* (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) konnten keine Signifikanz in ihrer Arbeit nachweisen ($p = 0,85$).

Das Verhältnis betrug 119 Männer zu 7 Frauen. Dagegen wiesen *Chang et al.* (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) in ihrer Studie ein statistisch signifikantes Ergebnis für den Einflussfaktor weibliches Geschlecht in einem univariaten Verfahren mit $p = 0,008$ nach. Das Verhältnis betrug 38 Männer zu 9 Frauen. Nur 30% der Frauen, dafür 82% der Männer wiesen eine Durchbauung der Pseudarthrose auf. Die Autoren selbst hatten kein solches Resultat erwartet und beschrieben das Ergebnis als ungewöhnlich, da keine ähnlichen Ergebnisse bekannt waren. Es war ihnen nicht möglich, eine Ursache dafür zu eruieren.

5.3.2.3 Fazit

Unsere Ergebnisse bezüglich der Rolle des Geschlechts waren nicht zu verwerfen und der geringe Frauenanteil unserer Studie ließ sich in der Literatur bestätigen. Lediglich eine Studie zeigte einen negativen Einfluss des weiblichen Geschlechts auf die Ausheilungsraten. Die Gründe konnten nicht geklärt werden.

5.3.3 Nikotinkonsum

5.3.3.1 Eigene Ergebnisse

28 Patienten (41%) des Studienkollektivs waren Nichtraucher. Die Durchbauung betrug in dieser Gruppe 78,6%. Die 40 Raucher (59%) hatten eine Konsolidierungsrate von 72,5%.

Die Durchbauungsrate der Nichtraucher ist in unserem Ergebnis besser, jedoch ist der Unterschied zwischen den Gruppen für eine statistische Signifikanz nicht ausreichend ($p = 0,777$).

5.3.3.2 Bewertung der Ergebnisse

Die schlechten Ergebnisse für das rauchende Patientenkollektiv, im Speziellen der 11 nicht durchbauten Raucher, könnten durch den hohen Anteil an Patienten mit mindestens 30 Jahren, einer ausschließlich proximalen Pseudarthrosenlokalisation, den mindestens fünf sehr kleinen proximalen Fragmenten und den zwei Versorgungen ohne Implantat negativ beeinflusst gewesen sein.

5.3.3.3 Vergleich mit der Literatur

Es finden sich in der Literatur wenige Studien, die eine Differenzierung zwischen Rauchern und Nichtrauchern vornehmen. In der Arbeit von *Malizos et al.* (Malizos, Dailiana, Kirou, Vragalas, Xenakis, & Soucacos, 2001) wurden ausschließlich Nichtraucher in das Studienkollektiv eingeschlossen. Die anderen Studien wiesen gemischte Kollektive auf.

Ramamurthy et al. (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) konnten in einer Studie nach konventioneller Behandlung der Pseudarthrose keinen Nachweis für statistische Signifikanz bezüglich Nikotinkonsum liefern (p

= 0,13). Dennoch besagte die Arbeit, dass Nichtraucher eine doppelt so hohe Chance auf Durchbauung haben als Raucher (Odds Ratio = 0,49).

Chang et al. (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) wiesen bei der Verwendung eines vaskularisierten Radiusspanns eine statistische Signifikanz für Nikotinkonsum auf ($p = 0,018$). 28 von 35 Nichtrauchern (80%) erreichten eine Durchbauung, dagegen nur 5 von 13 Rauchern (46%). Das Risiko keine Durchbauung zu erreichen war bei Rauchern über 5 Mal größer als bei Nichtrauchern (Odds Ratio = 5,44). Die Studie zeigte damit einen profunden Effekt des Rauchens auf die Ausheilungsrate.

Malizos et al. (Malizos, Dailiana, Kirou, Vragalas, Xenakis, & Soucacos, 2001) berichteten in ihrer Arbeit über 22 Patienten, bei denen es sich ausschließlich um Nichtraucher handelte, von einer Ausheilung der Pseudarthrose in allen Fällen.

5.3.3.4 Fazit

Die beschriebenen Studien ließen einen Einfluss von Nikotinkonsum auf die Ausheilungsrate der Patienten deutlich werden, obwohl unser Ergebnis nicht signifikant war.

Ob bei Rauchern ein eventuell vorhandener schlechter Gefäßstatus hinsichtlich einer Heilungsstörung berücksichtigt werden muss und ein vaskularisierendes Verfahren generell von Vorteil ist, war nicht zu klären.

Für uns tritt der Einflussfaktor Nikotinkonsum bei der Indikationsstellung für den vaskularisierten Radiusspann in den Hintergrund, da die Ergebnisse insgesamt nicht ausreichend eindeutig waren, um generell ein vaskularisierendes Verfahren für Raucher zu wählen, wobei dies sicher nicht von Nachteil wäre.

5.3.4 Alter der Pseudarthrose

5.3.4.1 Eigene Ergebnisse

Unsere Ergebnisse wiesen eine Ausheilungsrate von 78,3% für die 23 Pseudarthrosen (36%) mit mindestens 3 Jahren auf. Damit überlagern diese den 41 Pseudarthrosen (64%) mit weniger als 3 Jahren Bestehen mit einer Rate von 73,2%.

Im univariaten statistischen Vergleich ließ sich jedoch kein signifikanter Zusammenhang nachweisen ($p = 0,472$).

Das mittlere Alter der Pseudarthrosen lag bei den durchbauten Ergebnissen bei 3,2 Jahren, das der nicht Durchbauten bei 1,9 Jahren.

5.3.4.2 Bewertung der Ergebnisse

Als beeinflussend diskutierte Faktoren der 11 Patienten mit einem Alter der Pseudarthrose von weniger als 3 Jahren ohne knöcherne Durchbauung sind die Zusammensetzung aus nahezu ausschließlich proximalen Pseudarthrose-lokalisierungen, davon mindestens vier sehr kleinen proximalen Fragmenten, zwei Versorgungen ohne Stabilisierung durch ein Implantat und einem hohen Raucheranteil.

5.3.4.3 Vergleich mit der Literatur

Inoue et al. (*Inoue, Shionoya, & Kuwahata, 1997*) berichteten über das Alter der Pseudarthrose als einen der Haupteinflussfaktoren der Ausheilungsraten von Kahnbeinpseudarthrosen nach Herbert-Schraubenfixation und Knochen-transplantation. In ihrer Studie verglichen sie die nicht durchbauten Fälle (10 von 130) mit Behandlungen innerhalb von 5 Jahren, mit denen 5 Jahre nach dem Trauma (6 von 30). Das Resultat war statistisch signifikant mit $p = 0,05$.

Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Präsenz von osteoarthrotischen Veränderungen im Handgelenk und ein Intervall zwischen Trauma und Operation über 5 Jahre schlechte prognostische Faktoren für das funktionelle Outcome nach der Heilung sind.

Zudem entwickelten 90% aller Kahnbeinpseudarthrosen mit Bestehen über 5 Jahre osteoarthrotischen Veränderungen (Inoue & Sakuma, 1996) (Ruby, Stinson, & Belsky, 1985).

Pechlaner et al. (Pechlaner, Lohmann, Buck-Gramcko, & Martin, 1987) wählten für 182 Patienten mit Pseudarthrose im mittleren und proximalen Kahnbeinanteil, sofern vital, die Matti-Russe-Plastik. Abhängig vom Alter der Pseudarthrose konnten unterschiedliche Konsolidierungsraten aufgewiesen werden. Bei einem Intervall zwischen Unfall und Operation bis zu einem Jahr betrug die Durchbauung 85% (84 Patienten), bei einem Intervall zwischen 1 und 2 Jahren 88% (42 Patienten), zwischen 2 und 4 Jahren 70% (30 Patienten), und bei über 4 Jahren 58% (26 Patienten). Die Autoren betonten, wie wesentlich der Erfolg der Operation vom Alter der Pseudarthrose abzuhängen schien. Sie beschrieben, dass sich intraoperativ in der Mehrzahl der Fälle eine posttraumatische Höhlenbildung im Kahnbein fand, sofern das Intervall innerhalb eines Jahres lag. Dagegen bestand bei längerem Zeitintervall häufiger eine Abdeckelung der Fragmente.

Ramamurthy et al. (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) untersuchten in ihrer Studie 126 Patienten mit einem durchschnittlichen Intervall zwischen Trauma und Operation von 4,5 Jahren. Das Alter der Pseudarthrose hatte einen signifikanten Wert von $p = 0,018$ im univariaten Verfahren. In der multivariaten Analyse bestätigte sich die Signifikanz zusammen mit der Lokalisation der Pseudarthrose ($p = 1 \times 10^{-6}$). Je älter die Pseudarthrose war, desto geringer war die Wahrscheinlichkeit auf Durchbauung. Als Ergebnis ihrer Studie bekundeten die Autoren, dass eine proximale Pseudarthrose, älter als 5 Jahre, versorgt mit einer Schraubenosteosynthese und einem nicht vaskularisierten Transplantat, eine 30%-ige Chance auf knöcherne Durchbauung hätte.

Eine erfolgreiche Durchbauung in allen Fällen konnten *Waters* und *Stewart* (Waters & Stewart, 2002) bei 3 Patienten mit einem durchschnittlichen Intervall zwischen Trauma und Operation von 19,3 Monaten erreichen, *Dailiana* et al. (Dailiana, Malizos, Zachos, Varitimidis, Hantes, & Karantanas, 2006) bei 9 Patienten mit einem Intervall von 22 Monaten, *Malizos* et al. 2001 (Malizos, Dailiana, Kirou, Vragalas, Xenakis, & Soucacos, 2001), bei 22 Patienten mit einem Intervall von 4 Jahren, und 2007 (Malizos, et al., 2007) bei 30 Patienten mit einem Alter der Pseudarthrose von durchschnittlich 3,3 Jahren. Auch bei *Chang* et al. (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) heilten alle 4 Kahnbeinpseudarthrosen nach 5-jährigem Bestehen aus.

Schaller et al. (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993) erzielten bei 7 Patienten mit einer Konstellation aus Bestehen der Pseudarthrose über 5 Jahre, sklerosierten kleinen Fragmenten und Rezidiv-Therapie eine Durchbauungsrate von 86%.

Bürger et al. (Bürger, Gaggl, Kukutschki, & Müller, 2009) erzielten beim Einsatz eines freien mikrovaskulären Knochentransplantats vom medialen Femurkondylus bei 15 Patienten mit proximaler avaskulärer Nekrose im Durchschnitt 32 Monate nach Trauma eine erfolgreiche Durchbauung in allen Fällen.

Gabl et al. (Gabl, Reinhart, & Pechlaner, 1999) zeigten in ihrem Bericht von 27 Patienten mit einem durchschnittlichen Alter der Pseudarthrose von 33 Monaten eine Überbrückung von 85%. Versorgt wurden die Patienten mit einem freien gefäßgestielten Beckenkammspan. Bei allen Patienten bestand ein proximales nekrotisches Polfragment.

Steinmann und *Bishop* (Steinmann & Bishop, 2001) bekundeten in ihrer Untersuchung den Verdacht, dass unter anderem das Alter der Pseudarthrose ein Risikofaktor für die Versorgung von Pseudarthrosen darstellt und empfahlen

daher die Verwendung von vaskularisierenden Verfahren zur Behandlung von Kahnbeinpseudarthrosen.

In einer Meta-Analyse zum Thema der Behandlung von Kahnbeinpseudarthrosen mit vaskularisierenden und nicht vaskularisierenden Verfahren konnten *Merrell et al.* (Merrell, Wolfe, & Slade, 2002) aus 28 Studien darstellen, dass es einen nennenswerten Abfall der Ausheilungsraten gab, wenn das Intervall zwischen dem Trauma und der Operation größer als ein Jahr war. Das Ergebnis der Durchbauung innerhalb eines Jahres lag bei 90%, über einem Jahr sank die Rate auf 80% ab, mit einer statistischen Signifikanz von $p = 0,0001$. Relativ ähnliche Durchbauungsraten wurden bei jeglichen Intervallen länger als ein Jahr erreicht.

5.3.4.4 Fazit

Unsere Ergebnisse mit dem vaskularisierten Radiusspan zeigten gute Resultate für Pseudarthrosen mit einem Bestehen von mindestens 3 Jahren.

Die Literatur zeigte, dass mit zunehmendem Alter der Pseudarthrose die Ausheilungsraten abnahmen. Im Vergleich der Durchbauungsraten konventioneller Verfahren mit vaskularisierenden Verfahren schnitten Letztere deutlich besser ab.

Mehr noch als das Alter der Pseudarthrose allein, müssen auch weitere Kriterien des Patienten berücksichtigt werden. Mit entscheidend sind die Beurteilung der arthrotischen Veränderungen des Handgelenks und die Vaskularität des proximalen Kahnbeinanteils. Besonders in Fällen mit ausgeprägten degenerativen Veränderungen im Sinne einer Radiocarpalarthrose ist es wichtig zu prüfen, ob die Pseudarthrosenresektion noch im Vordergrund steht oder besser ein Rückzugsverfahren in Betracht zu ziehen ist (Schmidt G. , 2004). Als Komplikationen einer verzögerten Versorgung sind die posttraumatische Arthrose des Kahnbeins, und sogar die der gesamten

Handwurzelreihe zu nennen (Amadio & Moran, 2005) (Linscheid, Dobyns, Beabout, & Bryan, 1972) (Martini & Schiltewolf, 1995) (Steiger & Sennwald, 1990).

Inwieweit alternative vaskularisierende Verfahren dem vaskularisierten Radiusspan überlegen sind, ist abzuwarten und in weiteren Studien mit Versorgungen älterer Pseudarthrosen, als bisher in der Literatur angegeben, zu überprüfen (Bürger, Gaggli, Kukutschki, & Müller, 2009) (Gabl, Reinhart, & Pechlaner, 1999). *Jones et al.* (Jones, Bürger, Bishop, & Shin, 2008) (Jones, Moran, Bishop, & Shin, 2010) empfehlen nach ihren Studien den Einsatz des freien mikrovaskulären Knochentransplantats vom medialen Femurkondylus bei Patienten mit mittlerer Pseudarthrosenlokalisation und carpalem Kollaps sowie bei Patienten mit Osteonekrose des proximalen Pols, da dieses Transplantat eine hohe strukturelle Integrität wie auch eine verlässliche Blutversorgung garantieren würde.

Die Indikationsstellung und der Benefit des vaskularisierten Radiusspans nehmen mit zunehmendem Alter der Pseudarthrose zu. Limitierend für das Verfahren können besonders degenerative Veränderungen sein. Immer berücksichtigt werden müssen die individuellen Faktoren des Patienten.

5.3.5 Lokalisation der Pseudarthrose

5.3.5.1 Eigene Ergebnisse

Unser Patientenkollektiv setzte sich aus 54 proximalen, 14 mittleren und 2 distalen Pseudarthrosen zusammen. Die knöchernen Konsolidierungsrate lag im distalen Drittel bei 100%, im mittleren Drittel bei 92,2% und im proximalen Drittel bei 68,5%.

Es ließ sich ein signifikantes Ergebnis für den dichotomen Vergleich der mittleren mit der proximalen Lokalisation im univariaten Verfahren errechnen ($p = 0,092$). Das Ergebnis bestätigte sich im multivariaten Verfahren nicht ($p = 0,360$).

Das relative Risiko keine Ausheilung zu erreichen, war bei Patienten mit proximaler Lokalisation 1,7-fach höher als bei mittlerer Lokalisation.

5.3.5.2 Bewertung der Ergebnisse

In der Zusammensetzung der 17 Patienten mit Pseudarthrose im proximalen Kahnbeinanteil ohne knöchernen Durchbauung fiel in Anbetracht der als beeinflussend diskutierten Faktoren auf, dass das Kollektiv hauptsächlich aus Patienten mit mindestens 30 Jahren, mindestens fünf sehr kleinen proximalen Fragmenten, drei Versorgungen ohne Stabilisierung durch ein Implantat und einem hohen Raucheranteil bestand.

5.3.5.3. Vergleich mit der Literatur

Wenn sich eine Fraktur im proximalen Kahnbeindrittel befindet, unterbricht sie die essentielle Blutversorgung für diesen Abschnitt und kann so zur Pseudarthrose und auch zur Nekrose des proximalen Anteils führen (Amadio & Moran, 2005).

Pseudarthrosen mit proximaler Lokalisation sind aufgrund der bekannten schlechten Durchblutung prognostisch als ungünstig anzusehen (Gelberman & Menon, 1980).

Verglichen wurden im Folgenden die Risiken und Vorteile der nicht vaskularisierenden Verfahren und der vaskularisierten Knochentransplantate, abhängig von der Lokalisation der Pseudarthrose und der Vaskularität der Fragmente.

Beim Einsatz von konventionellen Verfahren zur Sanierung von Scaphoidpseudarthrosen fanden sich in der Literatur Durchbauungsraten von 0% bis 90% (Barton, 1997) (Dacho, Germann, & Sauerbier) (Durmus, 2006) (Filan & Herbert, 1996) (Green, 1985) (Herbert & Filan, 1999) (Inoue, Shionoya, & Kuwahata, 1997) (Krimmer, Kremling, van Schoonhoven, Prommersberger, & Hahn, 1999) (Küntschner, Tränkle, Sauerbier, & Germann, 2001) (Lautenbach, Mochkabadi, & Eisenschenk, 2000) (Pechlaner, Lohmann, Buck-Gramcko, & Martin, 1987) (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) (Reigstad, Thorkildsen, Grimsgaard, Reigstad, & Rokkum, 2009) (Robbins, Ridge, & Carter, 1995) (Sauerbier, Bickert, Pelzer, & Germann, 1999) (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993). Abhängig von der Lokalisation der Pseudarthrose ließen sich unterschiedliche Resultate aufweisen.

Durmus (Durmus, 2006) konnte in ihrer Arbeit eine Differenzierung der Durchbauungsraten abhängig von der Lokalisation bei 62 Patienten durchführen. Distal betrug die Durchbauung 100%, mittig 89% und sank proximal auf 85%. *Inoue* et al. (Inoue, Shionoya, & Kuwahata, 1997) wiesen ähnliche Resultate auf. Die Ausheilungsrate distal betrug 100%, mittig 91% und proximal 75%. Sie untermauerten die statistische Signifikanz mit einem p-Wert von 0,03 für Letztere.

Ramamurthy et al. (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) ermittelten bei 126 Pseudarthrosen nach uni- und multivariater Analyse ein signifikantes Ergebnis für die Abhängigkeit der Lokalisation mit $p = 1 \times 10^{-6}$. Je

weiter proximal eine Pseudarthrose lag, desto geringer war die Wahrscheinlichkeit auf Durchbauung. Zusätzlich ergab sich eine Signifikanz für das Alter einer Pseudarthrose. Die Aussage insgesamt war, dass proximale Pseudarthrosen, mit mindestens 5 Jahren Bestehen, eine 30%-ige Chance auf Durchbauung bei Schraubenosteosynthese mit einem nicht vaskularisierten Transplantat hätten.

Herbert und *Filan* (Herbert & Filan, 1999) untersuchten 69 Patienten mit Pseudarthrosen der Typen D1 bis D3 nach *Herbert* nach Versorgung mit einer Schraubenosteosynthese. Die Ausheilungsraten nahmen drastisch ab, von 75% bei befriedigender Durchblutung, über 44% bei eingeschränkter Durchblutung, auf 37% ohne Durchblutung. In einer Analyse von *Lautenbach* et al. (Lautenbach, Mochkabadi, & Eisenschenk, 2000) wurden 59 Patienten mit 21 proximalen und 38 distalen bzw. mittleren Pseudarthrosen nach Herbert-Schraubenosteosynthese und Spaninterposition untersucht. Das Ergebnis der Durchbauung in Bezug auf die Einteilung nach den Pseudarthrosetypen von *Herbert* zur Beschreibung der Vaskularität nahm kontinuierlich ab. Bei Typ D1 ergab sich eine Ausheilung in 88,9%, bei Typ D2 in 71,4%, bei Typ D3 in 50% und bei Typ D4 in 15,4% der Fälle.

Ähnliche Ergebnisse wurden in der Literatur unabhängig vom konventionellen Verfahren bestätigt (Filan & Herbert, 1996) (Green, 1985) (Krimmer, Kremling, van Schoonhoven, Prommersberger, & Hahn, 1999) (Küntschner, Tränkle, Sauerbier, & Germann, 2001) (Pechlaner, Lohmann, Buck-Gramcko, & Martin, 1987) (Sauerbier, Bickert, Pelzer, & Germann, 1999).

Besonders schlechte Ergebnisse wurden für avaskuläre Nekrosen des proximalen Pols oder kleinem proximalen Fragment erreicht (Durmus, 2006) (Green, 1985) (Robbins, Ridge, & Carter, 1995).

Robbins et al. (Robbins, Ridge, & Carter, 1995) berichteten von 17 Patienten mit avaskulärer Nekrose des proximalen Pols. Die erzielte Durchbauung betrug 53%. In einer Untersuchung von *Durmus* (Durmus, 2006) betrug die Ausheilungsrate bei 10 Patienten mit kleinem proximalen Fragment und

Versorgung mit einer Mini-Herbert-Schraubenosteosynthese 60%. Andere Autoren unternahmen bei proximalen Polnekrosen gar nicht erst den Versuch einer Rekonstruktion, sondern entschieden sich für die Resektion der Fragmente (Krimmer, Kremling, van Schoonhoven, Prommersberger, & Hahn, 1999) (Pechlaner, Lohmann, Buck-Gramcko, & Martin, 1987).

Nicht vaskularisierende Verfahren scheinen ausreichend zu sein für mittlere und proximale Kahnbeinpseudarthrosen mit erhaltener Vaskularität der Pole. Der Benefit der vaskularisierten Transplantate liegt in der Erhaltung der Durchblutung, der primären Knochenheilung und der Wiederherstellung des strukturellen Aufbaus. Besonders deshalb profitieren proximale Polnekrosen von letzterem Verfahren (Steinmann & Adams, 2006).

Vorhergehende Studien zum Thema der Ergebnisse des vaskularisierten Radiusspans ergaben Ausheilungsraten von 27% bis 100% (Boyer & von Schroeder, 1998) (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) (Chen, Chao, Tu, & Ueng, 2006) (Dailiana, Malizos, Zachos, Varitimidis, Hantes, & Karantanas, 2006) (Durmus, 2006) (Jessu, Wavreille, Strouk, & Fontaine, 2008) (Jones, Bürger, Bishop, & Shin, 2008) (Malizos, Dailiana, Kirou, Vragalas, Xenakis, & Soucacos, 2001) (Mathoulin & Haerle, 1998) (Sauerbier & Bishop, 2001) (Sauerbier, Bishop, & Ofer, 2009) (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993) (Schmidt G. , 2004) (Sotereanos, Darlis, Dailiana, Sarris, & Malizos, 2006) (Straw, Davis, & Dias, 2002) (Tsai, Chao, Tu, Chen, Lee, & Ueng, 2002) (Uerpaiojkit, Leechavengvongs, & Witoonchart, 2000) (Waitayawinyu, McCallister, Katolik, Schlenker, & Trumble, 2009) (Waters & Stewart, 2002) (Zaidenberg, Siebert, & Angrigiani, 1991).

Bei mittlerer Lokalisation der Pseudarthrose ließen sich ebenso gute Ergebnisse wie mit den konventionellen Verfahren erzielen, mit knöchernen Konsolidierungsraten bis zu 100% (Dailiana, Malizos, Zachos, Varitimidis, Hantes, & Karantanas, 2006) (Mathoulin & Haerle, 1998).

Chang et al. (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) veröffentlichten in ihrer Studie die Resultate von 50 behandelten Scaphoidpseudarthrosen. Unter dem Studienkollektiv fanden sich 25 mittlere und 25 proximale Lokalisationen, davon 24 Pseudarthrosen mit avaskulären proximalen Polen. Im Vergleich der Ausheilungsraten zwischen den Lokalisationen mittig und proximal, ließ sich nur ein geringer Unterschied mit 70% zu 72% aufweisen. Deutlich dagegen trat der Unterschied beim Vergleich der avaskulären mit den nicht avaskulären Kahnbeinanteilen hervor, mit 50% zu 91%. Diese Arbeit zeigte deutlich, dass weniger die Lokalisation der Pseudarthrose entscheidend war, als die Vaskularität des proximalen Kahnbeinanteils.

Viele Studien konnten mit dem vaskularisierten Radiusspan sehr gute Ergebnisse mit Ausheilungsraten in allen Fällen hervorbringen, einschließlich Patientenkollektiven mit avaskulären Polnekrosen (Chen, Chao, Tu, & Ueng, 2006) (Malizos, Dailiana, Kirou, Vragalas, Xenakis, & Soucacos, 2001) (Malizos, et al., 2007) (Sauerbier & Bishop, 2001) (Steinmann, Bishop, & Berger, 2002) (Tsai, Chao, Tu, Chen, Lee, & Ueng, 2002) (Uerpaiojkit, Leechavengvongs, & Witoonchart, 2000) (Waitayawinyu, McCallister, Katolik, Schlenker, & Trumble, 2009) (Waters & Stewart, 2002) (Zaidenberg, Siebert, & Angrigiani, 1991). Allerdings handelte es sich bei diesen Studien um kleine Patientengruppen mit unter 20 Patienten.

Studien mit bis zu 48 Patienten und einem Vorkommen von hauptsächlich proximalen Polnekrosen erreichten Durchbauungsraten zwischen 71% und 93% (Sauerbier, Bishop, & Ofer, 2009) (Sotereanos, Darlis, Dailiana, Sarris, & Malizos, 2006) (Waitayawinyu, McCallister, Katolik, Schlenker, & Trumble, 2009).

Deutlich schlechtere Resultate bei avaskulären Nekrosen des proximalen Pols wiesen *Boyer et al.* (Boyer & von Schroeder, 1998) bei 10 Patienten mit 60% Ausheilung auf, *Jones et al.* (Jones, Moran, Bishop, & Shin, 2010) bei 10 Patienten mit 40% (Jones, Bürger, Bishop, & Shin, 2008) und *Straw et al.* (Straw, Davis, & Dias, 2002) bei 22 Patienten mit 27%.

Es stellt sich die Frage, ob die Problematik in der Therapie mit dem Knochenspan aus dem streckseitigen Radius unter Verwendung einer unter dem 1. bzw. 2. Streckerfach gelegenen Gefäßarkade zu suchen ist (Steinmann & Adams, 2006); wie von den oben genannten Autoren angewendet. Bei *Straw et al.* (Straw, Davis, & Dias, 2002) kamen sicherlich die mangelnde interne Stabilisierung hinzu, da sie ausschließlich einen Kirschner-Draht einbrachten und diesen ohne Berücksichtigung der Durchbauung nach 8 Wochen entfernen ließen (Herbert & Filan, 1999) (Krimmer, Kremling, van Schoonhoven, Prommersberger, & Hahn, 1999) (Steinmann & Bishop, 2001).

Ein entscheidender Faktor, der bei der Beurteilung der Ausheilungsraten des vaskularisierten Radiusspans im Vergleich zu den Zahlen der konventionellen Methoden berücksichtigt werden muss ist der, dass bei vielen Autoren der Radiusspan nicht das Verfahren der ersten Wahl war. In vielen Fällen handelt es sich bei der Auswahl der Patienten um eine Negativselektion. Darunter fallen Rezidivpseudarthrosen, proximale Pseudarthrosen, kleine Fragmente, avaskuläre Nekrosen und ein fortgeschrittenes Alter der Pseudarthrosen (Durmus, 2006) (Gabl, Reinhart, & Pechlaner, 1999) (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993) (Schmidt G. , 2004). *Schaller et al.* (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993) konnten bei 7 Patienten, negativ selektioniert, eine Durchbauung von 86% erreichen, *Schmidt* (Schmidt G. , 2004) eine Durchbauung von 82%.

Larson et al. (Larson, Bishop, & Shin, 2007) berichteten über das Verfahren des freien mikrovaskulären Knochentransplantats vom medialen Femurkondylus als Option zur Behandlung der avaskulären Nekrose des proximalen Pols.

Jones et al. (Jones, Bürger, Bishop, & Shin, 2008) verglichen in ihrer Veröffentlichung die Versorgung von 10 Patienten mit einem vaskularisierten Radiusspan, mit 12 Patienten, die mit einem freien mikrovaskulären Knochentransplantat vom medialen Femurkondylus versorgt wurden. Die demographischen Daten zwischen den Gruppen waren gleich, die

Lokalisationen der Pseudarthrosen waren mittig, mit avaskulärem proximalen Pol und carpalem Kollaps. Bei der Versorgung mit dem Radiusspan konnte in 40% der Fälle eine Durchbauung erzielt werden, bei der Transplantation des Femurkondylus eine Durchbauung in allen Fällen. Es errechnete sich eine signifikante Heilungsrate mit $p = 0,005$. *Bürger et al.* (Bürger, Gaggli, Kukutschki, & Müller, 2009) untersuchten in eben diesem Verfahren 15 Patienten mit proximaler avaskulärer Nekrose. Auch sie konnten die Ausheilungsrate von 100% bestätigen.

Nach Rekonstruktion mit einem mikrovaskulär gestielten Beckenkammspan konnten *Gabl et al.* (Gabl, Reinhart, & Pechlaner, 1999) bei 27 Patienten mit proximalen nekrotischen Polfragmenten eine Überbrückung in 85% der Fälle erzielen.

Merrell et al. (Merrell, Wolfe, & Slade, 2002) untersuchten in einer Meta-Analyse die Behandlung von Kahnbeinpseudarthrosen. Sie konnten zeigen, dass die Pseudarthrosen- bzw. Frakturlokalisierung einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis hatte. Distal konnte in allen Fällen eine Durchbauung erreicht werden, mittig eine Ausheilungsrate von 85% und proximal von 67% ($p = 0,2$ mittig vs. distal, $p = 1 \times 10^{-5}$ mittig vs. proximal). Weiter konnten sie darstellen, dass bei avaskulären proximalen Polen ein vaskularisierendes Verfahren mit interner Stabilisierung dem des nicht vaskularisierenden Verfahrens mit Schraubenfixation überlegen war. Die statistische Signifikanz zeigte sich anhand der Ausheilungsraten von 88% im Vergleich zu 47% und einem p-Wert von 0,0005.

5.3.5.4 Fazit

Die Literatur wies auf ein Versagen der konventionellen Verfahren besonders im Bereich der proximalen Kahnbeinpseudarthrosen hin, im Speziellen wenn es sich um kleine proximale Fragmente oder avaskuläre Polnekrosen handelte.

Sicherlich muss bei den konventionellen Verfahren auch differenziert werden zwischen den unterschiedlichen Methoden und den entsprechenden Konsolidierungsraten. Dennoch ist diesen Verfahren die Limitierung durch die nicht ausreichende Möglichkeit zur Wiederherstellung der Durchblutung gesetzt, trotz besserer Kenntnisse über die Bedeutung der internen Stabilisierung und der Verbesserung der Instrumentarien. Auch wenn Studien wie die von *Herbert* und *Filan* (Herbert & Filan, 1999) sehr gute funktionelle Ergebnisse erzielten.

Die Literatur zeigt, dass für die oben genannten Spezialfälle vaskularisierende Verfahren deutlich bessere Erfolgsraten aufweisen.

Die Resultate unserer Studie im Vergleich mit den Literaturangaben der vaskularisierenden Verfahren, besonders in Anbetracht der Negativselektion, ist sehr zufriedenstellend.

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, wurden nur solche Pseudarthrosen als konsolidiert angesehen, welche mit absoluter Sicherheit durchbaut waren. Teildurchbauungen oder gar fragliche Durchbauungen wurden als nicht konsolidiert gewertet.

Wir empfehlen generell bei Vorliegen einer proximalen Pseudarthrose zu einem vaskularisierenden Verfahren zu tendieren. Bei nachgewiesener Minderdurchblutung, kleinem proximalen Fragment und avaskulären Polnekrosen oder einem Hinzukommen von weiteren Einflussfaktoren, die in dieser Arbeit diskutiert wurden, sollte die Entscheidung für ein vaskularisierendes Verfahren getroffen werden.

5.3.6 Erst- oder Rezidiv-Therapie

5.3.6.1 Eigene Ergebnisse

Das Kollektiv setzte sich zusammen aus 47 erstdiagnostizierten Pseudarthrosen, 20 Rezidivpseudarthrosen und 3 Zweitrezidiven.

Das Resultat unserer Studie beim Vergleich der Konsolidierungsraten zeigt zwischen Erst- und Rezidiv-Therapie mit 72,3% bzw. 78,3% keinen wesentlichen Unterschied.

Mit $p = 0,773$ ergab sich kein signifikantes Ergebnis in der univariaten Analyse.

5.3.6.2. Bewertung der Ergebnisse

Den Literaturangaben entsprechend wurde ein schlechteres Therapieergebnis für die Patienten mit Rezidivpseudarthrose erwartet. Daher wurde hier nach den negativ beeinflussenden Faktoren der 13 Patienten ohne erfolgreiche Erst-Therapie gesucht. Das Kollektiv setzte sich zusammen aus nahezu ausschließlich proximal lokalisierten Kahnbeinpseudarthrosen, davon mindestens vier sehr kleinen proximalen Fragmenten und einem hohen Raucheranteil.

5.3.6.3. Vergleich mit der Literatur

In einer Meta-Analyse von *Merrell* et al. (Merrell, Wolfe, & Slade, 2002) zur Untersuchung der Behandlung von Kahnbeinpseudarthrosen gingen diese auf den Vergleich von Daten zwischen vaskularisierenden Verfahren und denen mit Knochentransplantation und Schraubenfixation bei Rezidiv-Therapien ein. Es zeigte sich die Tendenz, dass vaskularisierende Verfahren mit einer Ausheilungsrate von 94% gegenüber 81% überlegen waren. Dieser Unterschied genügte allerdings nicht für eine statistische Signifikanz.

Es gab nur sehr wenige Studien, die explizit diesen Sachverhalt untersuchten (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) (Merrell, Wolfe, & Slade, 2002) (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007). Bei konventionellen Verfahren fanden sich häufiger nur Patienten mit Primärversorgungen (Dacho, Germann, & Sauerbier) (Lautenbach, Mochkabadi, & Eisenschenk, 2000) oder einem geringen Anteil an Rezidivpseudarthrosen (Herbert & Filan, 1999), während die Studien der vaskularisierenden Verfahren eher negativ selektioniertes Patientengut aufwiesen (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993) (Schmidt G. , 2004).

Bei der Therapie von Rezidivpatienten mit konventionellen Verfahren variierten die Ausheilungsraten verschiedener Studien zwischen 50% und 91% (Bynum, Culp, Bonatus, Alexander, & McCarroll, 1995) (Merrell, Wolfe, & Slade, 2002) (Reigstad, Thorkildsen, Grimsgaard, Reigstad, & Rokkum, 2009). *Ramamurthy et al.* (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) versuchten in ihrer Arbeit erfolglos einen signifikanten Unterschied zwischen Erst- und Rezidiv-Therapie aufzudecken ($p = 0,85$).

Die Ausheilungsraten des vaskularisierten Radiusspans hatten in der Literatur ein sehr breites Spektrum von 0% bis 100%. Sehr gute Ergebnisse für Rezidivpatienten konnten *Kuhlmann et al.* (Kuhlmann, Mimoun, Boabighi, & Baux, 1987), *Malizos et al.* (Malizos, et al., 2007), *Mathoulin und Haerle* (Mathoulin & Haerle, 1998) und *Sauerbier und Bishop* (Sauerbier & Bishop, 2001) für jeweils sehr kleine Patientengruppen mit einer knöchernen Konsolidierung in allen Fällen erreichen. *Schaller et al.* (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993) zeigten in ihrem Bericht ein Ergebnis von 86%. Einzig *Boyer et al.* (Boyer & von Schroeder, 1998) berichteten von 4 Rezidivpatienten, die ohne Durchbauung blieben.

Auch *Chang et al.* (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) blieben erfolglos bei dem Versuch einen statistischen Zusammenhang zwischen Erst- und Rezidiv-Therapie bei 50 Patienten nach vaskularisierten Radiusspänen nachzuweisen. In ihrer Arbeit wiesen die Durchbauungsraten für Rezidivpseudarthrosen 64%

und erstmalig therapierte Pseudarthrosen 73% auf. Bei Pseudarthrosen mit avaskulären proximalen Polnekrosen sank die Durchbauungsrate auf 50%, unabhängig davon ob eine Therapie vorausging oder nicht.

Bürger et al. (Bürger, Gaggl, Kukutschki, & Müller, 2009) berichteten 2009 von den Resultaten der Behandlung mit einem freien mikrovaskulären Transplantat vom medialen Femurkondylus. Sie konnten bei allen 5 Rezidivpatienten eine Durchbauung erzielen, ebenso wie *Jones* et al. (Jones, Moran, Bishop, & Shin, 2010) in einer Studie bei 9 Rezidivpatienten.

5.3.6.4 Fazit

Unsere Resultate für die Behandlung von Kahnbeinpseudarthrosen bei Rezidivpatienten mit dem vaskularisierten Radiusspan zeigten sehr gute Ergebnisse.

Der Vergleich mit der Literatur gestaltete sich schwierig, da kaum Studien dieses Thema explizit aufgriffen und wenn doch, wurden keine signifikanten Ergebnisse erreicht. Hinzu kam, dass die Patientenzahlen sehr gering waren.

Viel entscheidender, als den direkten Bezug zwischen Durchbauung und Rezidivbehandlung zu suchen, ist unserer Meinung nach die Berücksichtigung der Lokalisation und der Vaskularität der Fragmente und das Thema interne Stabilisierung.

Wir sprechen unsere Empfehlung aus, Rezidivpseudarthrosen mit dem vaskularisierten Radiusspan zu behandeln.

Unsere Ergebnisse und die Tendenz, die sich in der Literatur zeigt, deuten auf den Vorteil durch das zusätzlich vaskularisierende Verfahren bei der Rezidiv-Therapie von Kahnbeinpseudarthrosen hin.

Eigene Erfahrungen mit den alternativen vaskularisierenden Methoden fehlen uns noch. Diese überzeugten jedoch in den Literaturangaben.

5.3.7 Zugangsweg

5.3.7.1 Eigene Ergebnisse

Bei der Unterscheidung des gewählten operativen Zugangsweges zeigten unsere Resultate für 61 palmare Zugänge (87%) eine Durchbauungsrate von 78,8% und für 9 dorsale (13%) ein Ergebnis von 44,4%.

Der Unterschied zwischen diesen Raten war signifikant und es errechnete sich im univariaten Verfahren ein p-Wert von 0,043.

Wir verzichteten auf die weitere Überprüfung der Signifikanz im multivariaten Verfahren, da der dorsale Zugangsweg in unserer Klinik dann gewählt wurde, wenn es sich um kleine schalenförmige proximale Polfragmente handelte, die prognostisch ohnehin als besonders ungünstig gewertet wurden.

Daher war dieses Resultat nicht zu verwerfen.

5.3.7.2 Vergleich mit der Literatur

Die meisten Autoren wählten einen Knochenspan aus dem streckseitigen Radius in der von *Zaidemberg* (Zaidemberg, Siebert, & Angrigiani, 1991) beschriebenen Technik unter Verwendung einer unter dem 1. bzw. 2. Streckerfach gelegenen Gefäßarkade mit Verlauf auf dem Periost des distalen Radius (Boyer & von Schroeder, 1998) (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) (Chen, Chao, Tu, & Ueng, 2006) (Sauerbier, Bishop, & Ofer, 2009) (Steinmann & Bishop, 2001) (Straw, Davis, & Dias, 2002) (Tsai, Chao, Tu, Chen, Lee, & Ueng, 2002) (Waitayawinyu, McCallister, Katolik, Schlenker, & Trumble, 2009) (Waters & Stewart, 2002) (Zaidemberg, Siebert, & Angrigiani, 1991). In Einzelfällen wurden Gefäßarkaden unter dem 2. bzw. 3. (Chen, Chao, Tu, & Ueng, 2006) oder dem 3. bzw. 4. Streckerfach gewählt (Schmidt G. , 2004), sowie kapselgestielte Radiusspäne (Sotereanos, Darlis, Dailiana, Sarris, & Malizos, 2006) oder vaskularisiertes Periost (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993).

Die Ergebnisse der Patienten mit anteiligem Auftreten von avaskulären Polnekrosen variierten von 100% (Malizos, Dailiana, Kirou, Vragalas, Xenakis, & Soucacos, 2001) (Steinmann & Bishop, 2001) (Zaidenberg, Siebert, & Angrigiani, 1991) über gute Ergebnisse zwischen 70% und 80% (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) (Sauerbier, Bishop, & Ofer, 2009) (Sotereanos, Darlis, Dailiana, Sarris, & Malizos, 2006) bis hin zu sehr schlechten Ergebnissen mit 27% (Straw, Davis, & Dias, 2002).

Das dorsale Zugangsverfahren hatte sich besonders bei avaskulären proximalen Polnekrosen bewährt. Sehr gute Ergebnisse mit Ausheilungen in allen Fällen konnten erreicht werden von *Chen et al.* (Chen, Chao, Tu, & Ueng, 2006), *Tsai et al.* (Tsai, Chao, Tu, Chen, Lee, & Ueng, 2002), *Uerpaiojkit et al.* (Uerpaiojkit, Leechavengvongs, & Witoonchart, 2000) und *Waters und Stewart* (Waters & Stewart, 2002). *Waitayawinyu et al.* (Waitayawinyu, McCallister, Katolik, Schlenker, & Trumble, 2009) erzielten bei 30 Patienten eine Durchbauung von 93%. Schlechtere Ergebnisse wiesen *Boyer et al.* (Boyer & von Schroeder, 1998) mit 60% und *Jones et al.* (Jones, Bürger, Bishop, & Shin, 2008) mit 40% auf.

Über einen palmaren Zugang, wie er hauptsächlich in unserer Studie verwendet wurde, berichteten *Kuhlmann et al.* (Kuhlmann, Mimoun, Boabighi, & Baux, 1987) erstmals von vielversprechenden Ergebnissen. *Dailiana et al.* (Dailiana, Malizos, Zachos, Varitimidis, Hantes, & Karantanas, 2006) konnten dies mit 9 Patienten und einer Durchbauung in allen Fällen bestätigen, genau wie *Mathoulin und Haerle* (Mathoulin & Haerle, 1998) bei 17 Patienten. *Jessu et al.* (Jessu, Wavreille, Strouk, & Fontaine, 2008) berichteten von 30 Patienten und einer Durchbauung von 73%.

5.3.7.3 Fazit

Aufgrund der Auswahl des dorsalen Zugangsweges in Fällen schlechterer Grundvoraussetzungen als bei der Wahl des palmaren Zuganges und der großen Differenz der Patientenzahlen bei den jeweiligen Gruppen war es in unserer Studie nicht möglich die Ausheilungsraten adäquat zu vergleichen.

Beide Operationstechniken, palmar als auch dorsal, weisen technische Schwierigkeiten auf und sollten daher in Abhängigkeit von der Erfahrung des Operateurs sowie der Lokalisation der Pseudarthrose sorgfältig ausgewählt werden (Sauerbier, Bishop, & Ofer, 2009).

In der Vergangenheit hat unsere Klinik sehr gute Erfahrungen mit retrograd gestielten vaskularisierten Knochentransplantaten vom distalen palmaren Radius zur Rekonstruktion von Scaphoidpseudarthrosen gemacht. Mit zunehmender Erfahrung und kontinuierlicher Verbesserung und Verfeinerung der Technik hat sich unser Vertrauen in den Einsatz dieser Möglichkeit deutlich erhöht (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993) (Schmidt G. , 2004). In Fällen sehr kleiner schalenförmiger proximaler Fragmente nutzen wir ein dorsales Verfahren.

In der Literatur überwogen die Studien über dorsale Verfahren, mit nicht weniger guten Ergebnissen als für palmare Methoden des vaskularisierten Radiusspanns.

5.3.8 Implantat

5.3.8.1 Eigene Ergebnisse

In unserem Studienkollektiv wurden in 42 Fällen Kirschner-Drähte (60%) und in 24 Fällen Herbert-Schrauben (34%) verwendet. Bei 4 Patienten (6%) wurde auf ein Implantat zur Stabilisierung verzichtet. Das Ergebnis der Durchbauung bei der Verwendung von Drähten betrug 83,3%, bei Einsatz von Schrauben 66,7% und in den Fällen ohne Implantatversorgung 24%.

Trotz der guten Ergebnisse für den Einsatz von Drähten, ließ sich im univariaten Verfahren keine Signifikanz im Vergleich mit der Herbert-Schraubenosteosynthese nachweisen ($p = 0,138$).

5.3.8.2 Bewertung der Ergebnisse

Als negativ beeinflussende Faktoren wurden die nahezu ausschließlich proximale Pseudarthrosenlokalisierung, die mindestens vier sehr kleinen proximalen Fragmente und ein hoher Raucheranteil bei den insgesamt 8 Patienten, die nicht erfolgreich mit einer Schraubenfixation stabilisiert werden konnten, gewertet.

5.3.8.3 Vergleich mit der Literatur

Die Bedeutung der internen Stabilisierung der Kahnbeinpseudarthrose als Voraussetzung für die Möglichkeit zur Revaskularisierung der Fragmente und einer erfolgreichen Versorgung wurde bereits durch Studien von *Herbert* und *Filan* (Herbert & Filan, 1999) und *Krimmer* et al. (Krimmer, Krapohl, Sauerbier, & Hahn, 1997) bekannt.

Inoue et al. (Inoue, Shionoya, & Kuwahata, 1997) gaben die Instabilität der Fraktur bzw. Pseudarthrose als die Ausheilung signifikant negativ beeinflussend an.

Viele Autoren machen die Auswahl des Osteosynthesematerials von der Größe der beteiligten Fragmente abhängig. Mit der Einführung der Mini-Herbert-Schraube schaffte man eine sinnvolle Erweiterung, um einer Anpassung an die Größe, besonders des kleinen proximalen Fragmentes, gerecht zu werden (Krimmer, Kremling, van Schoonhoven, Prommersberger, & Hahn, 1999).

Ramamurthy et al. (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) zeigten in ihrer Studie nach konventioneller Versorgung der Scaphoidpseudarthrose die statistisch signifikante Überlegenheit der Schraubenfixation ($p = 0,049$). Die Aussage der Studie war, dass Patienten mit Schraubenimplantation eine doppelt so hohe Chance auf Konsolidierung haben, als Patienten mit Drahtfixation.

Chang et al. (Chang, Bishop, Moran, & Shin, 2006) stellten in ihrer Arbeit den Einfluss der gewählten Methode auf die Stabilisierung dar. Die Ergebnisse der Schraubenosteosynthesen ergaben eine Durchbauung von 88%, hingegen belief sich die Verwendung von Kirschner-Drähten auf eine Ausheilungsrate von 53%. Es errechnete sich ein statistisch signifikantes Ergebnis mit $p = 0,004$. Patienten ohne proximale Polnekrosen erzielten nach Schraubenfixation eine Durchbauung in allen Fällen, bei Drahtimplantation 67%. Bei den Resultaten mit avaskulären Polnekrosen nach Versorgung mit einer Schraube konnten 63% Ausheilung erreicht werden, dagegen nur 50% bei der Verwendung von Drähten.

Merrell et al. (Merrell, Wolfe, & Slade, 2002) zeigten nach einer Meta-Analyse die unterschiedlichen Durchbauungsraten nach Schraubenosteosynthese mit einem Ergebnis von 94% im Vergleich zu dem Ergebnis nach Drahtversorgung mit 77% auf. Bei proximalen Polnekrosen war die Methode des vaskularisierten Radiusspanns der alleinigen Schraubenversorgung mit 88% zu 47% deutlich überlegen.

5.3.8.4 Fazit

Unsere Ergebnisse bei der Verwendung von Kirschner-Drähten waren sehr zufriedenstellend.

Die Literatur beschreibt einen deutlichen Vorteil der Stabilisierung mit einer Schraubenfixation.

Da wir in unserer Klinik ein Verfahren über einen palmaren Zugangsweg präferierten, lassen sich die Ergebnisse der Literatur nicht ganz auf unsere Ergebnisse übertragen, da hier meist dorsale Verfahren mit Schraubenimplantation beschrieben wurden.

Unsere schlechteren Ergebnisse bei der Verwendung der Herbert-Schraube könnten sich durch die Zusammensetzung des Patientenkollektivs aus nahezu ausschließlich proximalen Kahnbeinpseudarthrosen und einem sehr kleinen proximalen Fragment in der Hälfte aller nicht durchbauten Fälle erklären.

5.3.9 Interponat

5.3.9.1 Eigene Ergebnisse

Eine knöcherne Konsolidierungsrate von 63,9% konnte in unseren Resultaten von 36 Patienten mit Spongiosainterposition erreicht werden. Dagegen erzielten die 32 Patienten mit corticospongiöser Spanplastik ein Ergebnis von 84,4%.

Es zeigte sich ein besseres Ergebnis für die Verwendung einer Spanplastik, das sich in der univariaten Analyse als signifikantes Resultat mit $p = 0,097$ bestätigte.

Bei der Berechnung im multivariaten Verfahren konnte die Signifikanz mit $p = 0,270$ nicht bestätigt werden.

Das relative Risiko keine Durchbauung zu erreichen war bei Patienten mit Spongiosainterponat 2,1-fach höher als bei Spaninterponat.

5.3.9.2 Bewertung der Ergebnisse

Zur Beurteilung der 13 Patienten ohne Ausheilung, bei denen eine reine Spongiosainterposition vorgenommen wurde, sind die ausschließliche proximale Pseudarthrosenlokalisation, mit mindestens drei sehr kleinen proximalen Fragmenten, zwei Versorgungen ohne die Stabilisierung durch ein Implantat und ein hoher Raucheranteil zu nennen.

5.3.9.3 Vergleich mit der Literatur

In der Literatur fand sich keine Studie, die explizit untersuchte, ob es bei der Versorgung von Scaphoidpseudarthrosen einen Unterschied macht, ob eine Span- oder eine Spongiosainterposition vorgenommen wird.

Die Gründe sind in den anwendungstechnischen Gegebenheiten zu suchen; bei kleineren Defekten wurde eher auf Spongiosa und bei größeren Defekten auf einen corticospongiösen Span zurückgegriffen (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) (Schmidt G. , 2004).

Ramamurthy et al. (Ramamurthy, Cutler, Nuttall, Simison, Trail, & Stanley, 2007) unterschieden in ihrer Studie zwischen einem Spongiosainterponat des Beckenkamms in 70 Fällen, und dem des Radius in 54 Fällen. Mit $p = 0,59$ ergab sich jedoch keine statistische Signifikanz in der Unterscheidung dieser beiden Interponate.

5.3.9.4 Fazit

Letztlich hat sich die Signifikanz des univariaten Verfahrens unserer Resultate in der multivariaten Analyse nicht bestätigt.

Der Vorteil eines corticospongiösen Beckenkammspanns ist die sehr hochwertige Spongiosa. Sie zeichnet sich aus durch ihre engmaschige, trabekuläre Struktur mit hoher osteologischer Dichte. Daher ist diese der Spongiosa aus anderen Körperregionen überlegen. Zusätzlich erhöhen die Kortikalisanteile des Spans die Stabilität. Der Nachteil des Spans ist die Beanspruchung von mehr Raum bei der Interposition (Gabl, Reinhart, & Pechlaner, 1999).

5.4 Allgemeine Probleme

Die Arbeit wurde aufgrund der Fragestellung als rein retrospektive Studie angelegt.

Schwierigkeiten ergaben sich aus der geringen Fallzahl mit 70 Patienten, der nicht möglichen Randomisierung des Studienkollektivs und dem Informationsgewinn aus den vorliegenden Akten.

Eine Randomisierung des Studienkollektivs war nicht möglich, da in der täglichen klinischen Praxis der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen die Methode des vaskularisierten Radiusspans als additives Verfahren für negativ selektiertes Patientengut eingesetzt wurde.

Für den Informationsgewinn wurde mit den vorliegenden Patientenakten gearbeitet. Aufgrund unterschiedlicher beteiligter Personen bei der Erstellung der Akten, waren die Daten nicht immer vollständig. Eine weitere Schwierigkeit ergab sich durch die verschiedenen Untersucher und deren Interpretation der Befunde, ob klinisch oder apparativ diagnostisch. Auch der Vergleich einer Operationsmethode, ausgeführt von unterschiedlich erfahrenen Operateuren, beinhaltet eine mögliche Fehlerquelle.

Als Fazit ist anzumerken, dass die Schwierigkeiten, die bei einer retrospektiven Studie gegeben waren, durch ein prospektives Verfahren zum Teil vermeidbar gewesen wären. Das Patientenkollektiv wäre besser plan- und vergleichbar gewesen.

Um zukünftig exakte Vergleiche bei unterschiedlichen Methoden vornehmen zu können, muss die Ausgangssituation grundlegend einheitlich klassifiziert sein, besonders hinsichtlich der Einteilung der Lokalisation der Pseudarthrose und der Durchblutungssituation.

5.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die wesentlichen Gründe für die Entstehung einer Scaphoidpseudarthrose sind die nicht erkannte Scaphoidfraktur, eine fehlerhafte Behandlung derselben, Achsenfehlstellungen der Bruchfragmente und die ungünstigen Durchblutungsverhältnisse des Kahnbeins (Gelberman & Menon, 1980), die besonders am proximalen Pol eine Rolle spielen (Filan & Herbert, 1995). Das wird unter anderem dadurch deutlich, dass die Ausbildung einer Pseudarthrose im proximalen Kahnbeindrittel doppelt so hoch ist wie bei einer Fraktur im mittleren Drittel (Amadio & Moran, 2005).

Die Versorgung von Kahnbeinpseudarthrosen stellt nach wie vor eine operative Herausforderung dar. Zu erkennen ist dies an den immer noch sehr variablen Ausheilungsraten, die sich in der Literatur finden. Zahlreiche Arbeiten zu diesem Thema sind veröffentlicht worden, unterschiedliche operative Methoden wurden vorgestellt; mit unterschiedlich großem Studienkollektiv in unterschiedlicher Zusammensetzung bezüglich der als prognostisch beeinflussend beschriebenen Faktoren.

Die Unterschiede der Ausheilungsraten liegen nicht nur an den unterschiedlichen operativen Methoden (Schaller, Lassner, Pallula, & Berger, 1993), sondern auch an den verschiedenen prognostischen Faktoren, die das Patientenkollektiv mit sich bringt.

Das Ziel der operativen Versorgung ist die Rekonstruktion des Kahnbeins in Form und Länge (Cooney, Linscheid, Dobynd, & Wood, 1988), damit die Ausbildung einer radioscapoidalen Arthrose mit den späteren Folgeveränderungen eines carpalen Kollaps verhindert wird (Dacho, Germann, & Sauerbier) (Herbert & Fisher, 1984) (Krimmer, Krapohl, Sauerbier, & Hahn, 1997).

In unserer Klinik ist das Standardverfahren zur operativen Versorgung einer Scaphoidpseudarthrose die planparallele Resektion der Pseudarthrose unter Berücksichtigung der Aufrichtung des Kahnbeins, die Interposition eines corticospongiösen Beckenkammspanns in angepasster Größe und die

abschließende Verschraubung mit einer kanülierten Herbert-Schraube (Schmidt G. , 2004).

Auf das Verfahren der klassischen Matti-Russe-Plastik wird in unserer Klinik seit mehreren Jahren verzichtet. Eine Vielzahl von Studien deuten darauf hin, dass diese der Spaninterposition mit Kompressionsverschraubung unterlegen ist und auch die längeren Ruhigstellungszeiten von Nachteil sind (Preisser, Rudolf, & Partecke, 1998) (Preisser & Partecke, 2002) (Schmidt G. , 2004).

Da auch mit dem oben erwähnten Verfahren der Spaninterposition und Kompressionsverschraubung keine Ausheilung in allen Fällen erreicht werden kann, und es bei 15-25% der Patienten zu Rezidivpseudarthrosen kommt (Durmus, 2006) (Inoue, Shionoya, & Kuwahata, 1997), ist dieses Verfahren nicht für alle Patienten zufriedenstellend.

Als alternative bzw. additive Methode steht in unserer Klinik das Verfahren des vaskularisierten Radiusspans zur Verfügung.

Die Patienten, die von diesem Verfahren profitieren sollen, werden in individueller Auswahl in schwierigen oder prognostisch ungünstigen Fällen bestimmt. Bei dieser Art von Negativselektion kann davon ausgegangen werden, dass sie aus einem zusätzlich vaskularisierenden Verfahren Vorteile ziehen.

Seither wurden Patienten mit Rezidivpseudarthrosen, Pseudarthrosen im proximalen Drittel, kleinem proximalen Fragment, Veränderungen der Feinstruktur bis hin zur avaskulären Nekrose und Pseudarthrosen mit längerem Bestehen ausgewählt.

Ziel war es, die Ausheilung durch eine verbesserte Vaskularisierung zu erreichen und diese der Stabilität aus anwendungstechnischen Gründen unterzuordnen.

Dies zeigte sich in der Vorgehensweise, die Implantierung von Kirschner-Drähten zur Stabilisierung der Herbert-Schraube vorzuziehen und die Auffüllung der resezierten Pseudarthrose in der Mehrzahl der Fälle mit rein spongiösem

Knochenmaterial aus dem Becken zu versorgen, anstelle der Verwendung von corticospongiösen Spänen wie bei der klassischen Verschraubung.

Die Resultate unserer 8-jährigen Nachbeobachtungsstudie bei Einsatz des vaskularisierten Radiusspanns im Vergleich zu den Literaturangaben waren bei unseren Patienten zufriedenstellend.

Ziel dieser Arbeit war unter anderem die Überprüfung und mögliche Redefinition der Indikationsstellung für den vaskularisierten Radiusspann anhand unserer Ergebnisse und dem Vergleich mit der Literatur.

Unsere Resultate unterstützen die Anwendung bei den folgenden Konstellationen, die unserer seitherigen Indikationsstellung entspricht:

- Rezidivpseudarthrosen
- Pseudarthrosen im proximalen Drittel
- Pseudarthrosen mit kleinem proximalen Fragment
- Pseudarthrosen mit Veränderungen der Feinstruktur bis hin zu avaskulären Nekrosen
- Pseudarthrosen mit Bestehen von mindestens 2 Jahren

Die anderen untersuchten Faktoren dieser Arbeit spielen eine mehr oder weniger wichtige Rolle im Gesamtergebnis der Ausheilung. Ihre Präsenz reicht nicht aus, um sie als Indikation aufzuführen.

Zusammengefasst erscheint uns der vaskularisierte Knochenspan vom distalen Radius als ein sehr empfehlenswertes Verfahren, welches die konventionellen Operationsmethoden in sinnvoller Weise ergänzt.

Erforderlich ist eine individuelle Auswahl der Patienten, die Bewertung der präoperativen Situation und eine präzise und gelingende Durchführung der Operationstechnik, ausgeführt von einem erfahrenen Operateur.

Auch der zeitliche Mehraufwand (ca. 30 Minuten) und die Schnitterweiterung sind absolut vertretbar.

Unter diesen Voraussetzungen kann das Verfahren des gefäßgestielten Knochenspanns aus dem distalen Radius zu einer weiteren Verbesserung der Ausheilungsraten bei der Behandlung von Scaphoidpseudarthrosen beitragen.

Welche Rolle in Zukunft andere vaskularisierende Verfahren bei der Versorgung von Kahnbeinpseudarthrosen spielen, bleibt abzuwarten. Sehr vielversprechende Ergebnisse wurden mit dem freien, mikrovaskulären Knochentransplantat vom distalen Femurkondylus erzielt.

Die Prognose der Konsolidierung einer Scaphoidpseudarthrose unter Anwendung unterschiedlicher Operationsverfahren ist sehr gut. Einen Ausblick auf den Behandlungsalgorithmus der Scaphoidpseudarthrose in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen geben *Jaminet et al.* (Jaminet, Werdin, Pfau, Götz, Rahmanian-Schwarz, & Schaller, 2011) in ihrer Studie mit 208 Patienten, abhängig von der Lokalisation der Pseudarthrose, der Erst- oder Rezidiv-Therapie und der Vaskularität der Fragmente.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Knochen der rechten Hand in der Ansicht von dorsal (Schünke, M., Prometheus: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem, Thieme 2005, S. 223)	6
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Blutversorgung des Kahnbeins von palmar und dorsal (Green, D.P., Green's Operative Hand Surgery, Fifth Edition, Elsevier 2005, S. 713, Figure 17-4).....	7
Abbildung 3: Gefäßversorgung des Os scaphoideum. 1 = dorsaler Zweig für das Kahnbein aus der A. radialis. 2 = palmarer Zweig aus der A. radialis. (Schmidt, H.-M., Lanz, U., Chirurgische Anatomie der Hand, Hippokrates 1992, S. 51, Abb. 44)	8
Abbildung 4: Klassifikation der Kahnbeinfraktur nach Böhler (Böhler, Trojan, & Jahna, 1954)	8
Abbildung 5: Erweiterte Klassifikation der Pseudarthrosen nach Filan und Herbert 1996 (Filan & Herbert, 1996)	10
Abbildung 6: Martini, A.K., Orthopädische Handchirurgie, Manual für Klinik und Praxis, 2008, S. 74.....	14
Abbildung 7: Martini, A.K., Orthopädische Handchirurgie, Manual für Klinik und Praxis, 2008, S. 72.....	15
Abbildung 8: Alter der Patienten bei Trauma in Jahren.....	20
Abbildung 9: Alter der Patienten bei OP in Jahren	21
Abbildung 10: Geschlechterverteilung.....	22
Abbildung 11: Nikotinkonsum	23
Abbildung 12: Betroffene Seite	24
Abbildung 13: Alter der Scaphoidpseudarthrose	25
Abbildung 14: Lokalisation der Scaphoidpseudarthrose	28
Abbildung 15: Erst- oder Rezidiv-Therapie.....	30
Abbildung 16: Anzahl der Operationen.....	31
Abbildung 17: Art der Vorbehandlung	32
Abbildung 18: Zugangsweg.....	33
Abbildung 19: Implantat.....	34
Abbildung 20: Interponat	35
Abbildung 21: Durchbauung.....	41
Abbildung 22: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf das Alter der Patienten.....	43
Abbildung 23: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf das Geschlecht.....	44

Abbildung 24: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf den Nikotinkonsum	45
Abbildung 25: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf das Alter der Pseudarthrose	47
Abbildung 26: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf die Lokalisation der Pseudarthrose	48
Abbildung 27: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf die Erst- oder Rezidiv-Therapie	49
Abbildung 28: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf die Vorbehandlung	50
Abbildung 29: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf den Zugangsweg	51
Abbildung 30: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf das Implantat	52
Abbildung 31: Ergebnisse der Durchbauung in Bezug auf das Interponat	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erweiterte Klassifikation der Pseudarthrose nach Filan und Herbert 1996	10
Tabelle 2: Stadien der radiocarpalen Arthrose.....	17
Tabelle 3: ROM der Extension/Flexion der Voruntersuchung.....	26
Tabelle 4: ROM der Radial-/Ulnarduktion der Voruntersuchung.....	27
Tabelle 5: ROM der Pronation/Supination der Voruntersuchung.....	27
Tabelle 6: ROM der Extension/Flexion der Nachuntersuchung.....	37
Tabelle 7: ROM der Radial-/Ulnarduktion der Nachuntersuchung	38
Tabelle 8: ROM der Pronation/Supination der Nachuntersuchung	38

Literaturverzeichnis

Amadio, P. C., & Moran, S. L. (2005). Fractures of the carpal bones. In P. D. Green, *Greens's Operative Hand Surgery* (Bd. Volume One). Philadelphia, Pennsylvania: Elsevier Churchill Livingstone.

Böhler, L., Trojan, E., & Jahna, H. (1954). Behandlungsergebnisse von 734 frischen einfachen Brüchen des Kahnbeinkörpers der Hand. *W. H. Ch. Traumatol.* , 2.

Bühren, V., & Trentz, O. (2005). *Checkliste Traumatologie* (6. überarbeitete und erweiterte Auflage Ausg.). Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag.

Bürger, H., Gaggl, A., Kukutschki, W., & Müller, E. (2009). Free microvascular transfer of segmental corticocancellous femur for the treatment of scaphoid nonunion. *Oper Orthop Traumatol* , 21 (4-5), 396-404.

Barton, N. (Apr 1997). Experience with scaphoid grafting. 22 (2), S. 153-160.

Boyer, M., & von Schroeder, H. A. (1998). 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 Br.* , 23 (5), 686-690.

Breitenseher, M. (2005). *Der MR-Trainer, Obere Extremität*. Stuttgart: Thieme.

Breusch, S., Mau, H., & Sabo, D. (2006). *Klinikleitfaden Orthopädie. Konservative und operative Orthopädie und Unfallchirurgie* (5. Ausg.). München Jena: Elsevier Urban & Fischer.

Burke, F. D., & Melikjan, E. Y. Skaphoidpseudarthrosen.

Bynum, E., Culp, R., Bonatus, T., Alexander, C., & McCarroll, H. (1995). Repeat Russe bone grafting after failed bone graft surgery for scaphoid non-union. *J Hand Surg Br.* , 20 (3), 373-378.

Chang, M., Bishop, A., Moran, S., & Shin, A. (2006). The outcomes and complications of 1,2-intercompartmental supraretinacular artery pedicled vascularized bone grafting of scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am.* , 31 (3), 387-396.

Chen, A., Chao, E., Tu, Y., & Ueng, S. (2006). Scaphoid nonunion treated with vascular bone grafts pedicled on the dorsal supra-retinacular artery of the distal radius. *J Trauma* , 61 (5), 1192-1197.

Cooney, W., Linscheid, R., Dobynd, J., & Wood, M. (1988). Scaphoid nonunion: role of anterior interpositional bone graft. *J Hand Surg Am.* , 13, 635-650.

Dacho, A., Germann, G., & Sauerbier, M. Die Rekonstruktion von Skaphoidpseudarthrosen durch die Operation nach Matti-Russe. Eine retrospektive Analyse von 84 nachuntersuchten Patienten. *Unfallchirurg* , 107, 388-396.

Dailiana, Z., Malizos, K., Zachos, V., Varitimidis, S., Hantes, M., & Karantanas, A. (2006). Vascularized bone grafts from the palmar radius for the treatment of waist nonunions of the scaphoid. *J Hand Surg Am.* , 31 (3), 397-404.

Durmus, G. (2006). Behandlungsverfahren und Ergebnisse in der Therapie von Kahnbeinfrakturen und Kahnbeinpseudarthrosen der Hand von 1997-2000. *Dissertation, Eberhard Karls Universität Tübingen* .

Eisenbarth, I., Werdin, F., Schmidt, G., & Schaller, H. E. (2008). Ausheilungsraten proximaler Kahnbeinpseudarthrosen. Eine retrospektive Studie. *Klinikinterne Studie der BGU Tübingen* .

Filan, S., & Herbert, T. (1995). Avascular necrosis of the proximal scaphoid after fracture union. *J Hand Surg Br.* , 20, 551-556.

Filan, S., & Herbert, T. (1996). Herbert screw fixation of scaphoid fracture. *J Bone Joint Surg Br.* , 78, 519-529.

Gabl, M., Reinhart, C., & Pechlaner, S. H. (1999). Proximale Kahnbeinpseudarthrosen mit avaskulärem Polfragment: Langzeitergebnisse nach Rekonstruktion mit mikrovaskulär gestieltem Beckenkammspan. *Handchir Mirkochir Plast Chir.* , 31, 196-199.

Gelberman, R., & Menon, J. (1980). The vascularity of the scaphoid bone. *J Hand Surg* , 5, 508-513.

Green, D. (1985). The effect of avascular necrosis on Russe bone grafting for scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am* , 10 (5), 597-605.

Herbert, T. (1990). *The fractured scaphoid*. Quality Medical, St. Louis.

Herbert, T., & Filan, S. (1999). Proximal scaphoid nonunion-osteosynthesis. 31, S. 169-173.

Herbert, T., & Fisher, W. (1984). Management of the fractured scaphoid using a new bone screw. *J Bone Joint Surg Br* , 66, 114-123.

Inoue, G., & Sakuma, M. (1996). The natural history of scaphoid non-union: Radiographical and clinical analysis in 102 cases. *Arch Ortho Trauma Surg* , 115, 1-4.

Inoue, G., Shionoya, K., & Kuwahata, Y. (1997). Herbert screw fixation for scaphoid nonunions. An analysis of factors influencing outcome. *Clin Orthop Relat Res* (343), 99-106.

Jaminet, P., Werdin, F., Pfau, M., Götz, M., Rahmanian-Schwarz, A., & Schaller, H. E. (April 2011). Behandlungsalgorithmus der Kahnbeinpseudarthrose. *Unfallchirurg*, 1-5.

Jessu, M., Wavreille, G., Strouk, G., & Fontaine, C. C. (2008). Scaphoid nonunions treated by Kuhlmann's vascularized bone graft: radiographic outcomes and complications. *Chir Main*, 27 (2-3), 87-96.

Jones, D. J., Bürger, H., Bishop, A., & Shin, A. (2008). Treatment of scaphoid waist nonunions with avascular proximal pole and carpal collapse. A comparison of two vascularized bone grafts. *J Bone Joint Surg Am*, 90 (12), 2616-2625.

Jones, D. J., Moran, S., Bishop, A., & Shin, A. (2010). Free-vascularized medial femoral condyle bone transfer in the treatment of scaphoid nonunions. *Plast Reconstr Surg*, 125 (4), 1176-1184.

Küntscher, M., Tränkle, M., Sauerbier, M., & Germann, G. B. (2001). Versorgung proximaler Kahnbeinpseudarthrosen und -frakturen mit der Mini-Herbert-Schraube über einen dorsalen Zugang. *Unfallchirurg*, 104, 813-819.

Krimmer, H., Krapohl, B., Sauerbier, M., & Hahn, P. (1997). Der posttraumatische karpale Kollaps (SLAC- und SNAC-wrist) - Stadieneinteilung und therapeutische Möglichkeiten. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 29, 228-233.

Krimmer, H., Kremling, E., van Schoonhoven, J., Prommersberger, K., & Hahn, P. (1999). Proximale Kahnbeinpseudarthrose - Rekonstruktion durch dorsale Verschraubung und Spongiosa-Transplantation. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 31, 174-177.

Kuhlmann, J., Mimoun, M., Boabighi, A., & Baux, S. (1987). Vascularized bone graft pedicled on the volar carpal artery for nonunion of the scaphoid. *J Hand Surg Br*, 12 (2), 203-210.

Larson, A., Bishop, A., & Shin, A. (2007). Free medial femoral condyle bone grafting for scaphoid nonunions with humpback deformity and proximal pole avascular necrosis. *Tech Hand Up Extrem Surg*, 11 (4), 246-258.

Lautenbach, M., Mochkabadi, M., & Eisenschenk, A. (2000). Verläufe von Skaphoidpseudarthrosen und Skaphoidfrakturen nach Herbert-Schrauben-Implantationen in der Extremitäten-MRT (Niederfeld-MRT). *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 32, 58-66.

Linscheid, R., Dobyns, J., Beabout, J., & Bryan, R. (1972). Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification and pathomechanics. *J Bone Joint Surg Am* , 54 (8), 1612-1632.

Malizos, K., Dailiana, Z., Kirou, M., Vragalas, V., Xenakis, T., & Soucacos, P. (2001). Longstanding nonunions of scaphoid fractures with bone loss: successful reconstruction with vascularized bone grafts. *J Hand Surg Br* , 26 (4), 330-334.

Malizos, K., Zachos, V., Dailiana, Z., Zalavras, C., Varitimidis, S., Hantes, M., et al. (2007). Scaphoid nonunions: management with vascularized bone grafts from the distal radius: a clinical and functional outcome study. *Plast Reconstr Surg* , 119 (5), 1513-1525.

Martini, A. (2008). *Orthopädische Handchirurgie, Manual für Klinik und Praxis, 2. bearbeitete Auflage*. Steinkopff Verlag.

Martini, A., & Schiltenswolf, M. (1995). Changes in the wrist joint in spontaneous course of scaphoid pseudarthrosis. *Handchir Mikrochir Plast Chir* , 27 (4), 201-207.

Mathoulin, C., & Haerle, M. (1998). Vascularized bone graft from the palmar carpal artery for treatment of scaphoid nonunion. *J Hand Surg Br* , 23 (3), 318-323.

McLaughlin, H. L., & Parkes, J. C. (1969). Fracture of the carpal navicular (scaphoid) bone: gradations in therapy based upon pathology. *J. Trauma* , 9 (4), 311-319.

Merrell, G., Wolfe, S., & Slade, J. 3. (2002). Treatment of scaphoid nonunions: quantitative meta-analysis of the literature. *J Hand Surg Am* , 24 (4), 685-691.

Papp, C., Maurer, H., Aussenlechner, M., & Wood, D. (1993). Reconstruction of pseudarthrosis of the scaphoid bone utilizing an osteomuscular pronator quadratus transposition flap. *Eur J Plast Surg* , 16, 257-262.

Pechlaner, S., Hussl, H., & Künzel, K. (1987). Alternative Operationsmethoden bei Kahnbeinpseudarthrosen. *Handchirurgie* , 19, 302-305.

Pechlaner, S., Lohmann, H., Buck-Gramcko, D., & Martin, L. (1987). Zur Problematik der Kahnbeinpseudarthrose. Erfahrungen an 240 Fällen. *Handchir Mikrochir Plast Chir* , 19, 306-309.

Platzer, W. (2003). *Taschenatlas der Anatomie, Bewegungsapparat* (8., korrigierte Auflage Ausg., Bd. 1). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

- Preisser, P., & Partecke, B. (2002). Die Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose des mittleren Drittels durch palmare Knochenspanplastik und Schraubenfixation. *Akt Traumatol* , 32, 207-212.
- Preisser, P., Rudolf, K., & Partecke, B. (1998). Die operative Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose - Langzeitergebnisse mit der Herbert-Schraube. *Handchir Mikrochir Plast Chir* , 30, 45-51.
- Preisser, P., Rudolf, K., & Partecke, B. (1999). Persistierende Kahnbeinpseudarthrose nach operativer Behandlung: Ergebnisse der erneuten Knochenspanplastik. *Handchir Mikrochir Plast Chir* , 31, 145-216.
- Ramamurthy, C., Cutler, L., Nuttall, D., Simison, A., Trail, I., & Stanley, J. (2007). The factors affecting outcome after nonvascular bone grafting and internal fixation for nonunion of the scaphoid. *J Bone Joint Surg Br* , 89 (5), 627-632.
- Reigstad, O., Thorkildsen, R., Grimsgaard, C., Reigstad, A., & Rokkum, M. (2009). Is revision bone grafting worthwhile after failed surgery for scaphoid nonunion? Minimum 8 year follow-up of 18 patients. *J Hand Surg Eur Vol* , 34 (6), 772-777.
- Rizzo, M., & Moran, S. (2008). Vascularized bone grafts and their applications in the treatment of carpal pathology. *Semin Plast Surg* , 22 (3), 213-227.
- Robbins, R., Ridge, O., & Carter, P. (1995). Iliac crest bone grafting and Herbert screw fixation of nonunion of the scaphoid with avascular proximal poles. *J Hand Surg Am* , 20 (5), 818-831.
- Ruby, L., Stinson, J., & Belsky, M. (1985). The natural history of scaphoid nonunion: A review of fifty-five cases. *J Bone Joint Surg* , 67A, 428-432.
- Sauerbier, M. G., Bickert, B., Pelzer, M., & Germann, G. (1999). Langzeitresultate nach Rekonstruktion proximal gelegener Skaphoidpseudarthrosen mit der Matti-Russe-Plastik. *Handchir Mikrochir Plast Chir* , 31, 182-186.
- Sauerbier, M., & Bishop, A. (2001). Anwendungsmöglichkeiten gestielter vaskularisierter Knochentransplantate vom distalen Radius. *Handchir Mikrochir Plast Chir* , 33 (6), 387-400.
- Sauerbier, M., Bishop, A., & Ofer, N. (2009). Pedicled vascularized bone grafts from the dorsum of the distal radius for treatment of scaphoid nonunions. *Oper Orthop Traumatol* , 21 (4-5), 373-385.
- Schünke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2005). *Prometheus: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem* (Bd. 1). Georg Thieme Verlag Stuttgart.

Schaller, E., Lassner, F., Pallula, N. S., & Berger, A. (1993). Ein Vergleich unterschiedlicher Behandlungsmethoden von Pseudarthrosen und Rezidivpseudarthrosen des Skaphoids. *Handchir Mikrochir Plast Chir* , 25, 204-210.

Schernberg, F., & Elzein, F. (1987). Bruchformen und Fragmentlokalisationen des Kahnbeins der Hand. *Handchir. Mikrochir. Plast. Chir.* , 19 (2), 59-66.

Schmidt, G. (2004). Moderne Methoden in der Hand- und plastischen Chirurgie. Neuere Behandlungsverfahren bei Skaphoidfrakturen und -pseudarthrosen. *Trauma Berufskrankh* , 6 (Suppl 1), 110-118.

Schmidt, H. M., & Lanz, U. (1992). *Chirurgische Anatomie der Hand*. Stuttgart: Hippokrates Verlag.

Schmitt, R., & Krimmer, H. (2004). Skaphoidpseudarthrose. In R. Schmitt, & U. Lanz, *Bildgebende Diagnostik der Hand* (S. 222-235). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Sheetz, K., Bishop, A., & Berger, R. (1995). The arterial blood supply of the distal radius and ulna and its potential use in vascularized pedicled bone grafts. *J Hand Surg Am* , 20 (6), 902-914.

Sotereanos, D., Darlis, N., Dailiana, Z., Sarris, I., & Malizos, K. (2006). A capsular-based vascularized distal radius graft for proximal scaphoid pseudarthrosis. *J Hand Surg Am* , 31 (4), 580-587.

Steiger, R., & Sennwald, G. (1990). Late results of operated scaphoid pseudarthroses. *Handchir Mikrochir Plast Chir* , 22 (3), 152-155.

Steinmann, S., & Adams, J. (2006). Scaphoid fractures and nonunions: diagnosis and treatment. *J Orthop Sci* , 11, 424-431.

Steinmann, S., & Bishop, A. (2001). A vascularized bone graft for repair of scaphoid nonunion. *Hand Clin* , 17 (4), 647-653.

Steinmann, S., Bishop, A., & Berger, R. (2002). Use of the 1,2-intercompartmental supraretinacular artery as a vascularized pedicle bone graft for difficult scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am* , 27 (3), 391-401.

Strassmeier, M., & Wilhelm, K. (2001). Entstehung einer Skaphoidpseudarthrose. *Dt Ärztebl* , 98 (A), 2962-2964 (Heft 45).

Straw, R., Davis, T., & Dias, J. (2002). Scaphoid nonunion: treatment with a pedicled vascularized bone graft based on the 1,2 intercompartmental supraretinacular branch of the distal artery. *J Hand Surg Br* , 27 (5), 413.

Tsai, T., Chao, E., Tu, Y., Chen, A., Lee, M., & Ueng, S. (2002). Management of scaphoid nonunion with avascular necrosis using 1,2 intercompartmental supraretinacular arterial bone grafts. *Chang Gung Med J* , 25 (5), 321-327.

Uerpaiojkit, C., Leechavengvongs, S., & Witoonchart, K. (2000). Primary vascularized distal radius bone graft for nonunion of the scaphoid. *J Hand Surg Br* , 25 (3), 266-270.

Waitayawinyu, T., McCallister, W., Katolik, L., Schlenker, J., & Trumble, T. (2009). Outcome after vascularized bone grafting of scaphoid nonunions with avascular necrosis. *J Hand Surg Am* , 34 (3), 387-394.

Waters, P., & Stewart, S. (2002). Surgical treatment of nonunion and avascular necrosis of the proximal part of the scaphoid in adolescents. *J Bone Joint Surg Am* , 84 (6), 915-920.

Zaidenberg, C., Siebert, J., & Angrigiani, C. (1991). A new vascularized bone graft for scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am* , 16 (3), 474-478.

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
al.	alii
d.p.	dorsal-palmar
Max.	Maximum
Min.	Minimum
OP	Operation
p	propability
ROM	Range of Motion
S.	Seite
SNAC	Scaphoid nonunion advanced collaps
Standardabw.	Standardabweichung

Danksagung

Ich möchte mich bei allen herzlichen bedanken, die mir diese Arbeit ermöglicht und mich unterstützt haben.

Ich danke meinem Doktorvater Prof. Dr. med. H.-E. Schaller, der mich in sein Institut aufgenommen und mir dieses Thema zur Bearbeitung überlassen hat.

Ich danke PD Dr. med. F. Werdin, der die Betreuung meiner Arbeit übernommen hat. Besonders bedanke ich mich für die wertvolle Unterstützung und Motivation in Bezug auf Planung, Durchführung und Auswertung der vorliegenden Arbeit.

Großer Dank gebührt Dr. med. P. Jaminet, der mir freundlicherweise in der finalen Phase eine große Hilfe war. Ich bedanke mich für die wertvolle Unterstützung.

Die statistische Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. biol. hum. C. Meisner vom Institut für Medizinische Biometrie der Eberhard Karls Universität Tübingen. Ich danke Ihnen für Rat und Unterstützung.