

Universitätsklinikum Ulm

Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie

Prof. Dr. med. Florian Gebhard

**Der Einfluss von Tabakrauch auf die Perfusion und
Konsolidierung bei Pseudarthrosen des os scaphoideum**

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

Vorgelegt von

Martin Lebherz

geb. in Reutlingen

2016

Amtierender Dekan: Prof. Dr. rer. nat. Thomas Wirth

1. Berichterstatter: PD Dr. med. Joachim Gülke

2. Berichterstatter: PD Dr. med. Lars Schneider

Tag der Promotion: 15.12.2016

INHALTSVERZEICHNIS

I. Abkürzungsverzeichnis	III
1. EINLEITUNG	1
1.1 Das Skaphoid.....	1
1.1.1 Anatomie.....	1
1.1.2 Blutversorgung.....	2
1.2 Die Skaphoidfraktur.....	3
1.2.1 Epidemiologie und Unfallmechanismus.....	3
1.2.2 Klinik und Diagnostik.....	4
1.2.3 Klassifikation.....	5
1.2.4 Therapie.....	6
1.3 Die Skaphoidpseudarthrose.....	8
1.3.1 Klinik und Diagnostik.....	8
1.3.2 Klassifikation.....	10
1.3.3 Natürlicher Verlauf und karpaler Kollaps.....	11
1.3.4 Therapie.....	13
1.4 Die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung (tcpO ₂).....	14
1.4.1 Prinzip.....	14
1.4.2 Klinische Einsatzgebiete.....	14
1.5 Hypothesen.....	15
1.5.1 Retrospektive Analyse.....	15
1.5.2 Experimentelle Analyse.....	15
2. MATERIAL UND METHODEN	16
2.1 <i>Retrospektive Analyse</i>	16
2.1.1 Patientenkollektiv.....	16
2.1.2 Datenerhebung.....	16
2.1.3 Statistische Auswertung.....	17

<i>2.2. Experimentelle Analyse</i>	17
2.2.1 Probanden.....	17
2.2.2 Transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung (tcpO ₂).....	18
2.2.2.1 Messgerät und Elektroden.....	18
2.2.2.2 Klinische Standard-Messbedingungen.....	19
2.2.3. Versuchsaufbau und Durchführung.....	19
2.2.4. Datenerhebung.....	23
2.2.5. Statistische Auswertung.....	23
3. ERGEBNISSE	24
3.1 Retrospektive Analyse.....	24
3.1.1 Nichtraucher.....	27
3.1.2 Raucher.....	31
3.2. Experimentelle Analyse.....	35
3.2.1 tcpO ₂ -Messung.....	35
3.2.2 SpO ₂ - und Herzfrequenz-Messung.....	40
4. DISKUSSION	41
4.1 Retrospektive Analyse.....	41
4.2. Experimentelle Analyse.....	44
5. ZUSAMMENFASSUNG	49
6. LITERATURVERZEICHNIS	51
7. DANKSAGUNG	55
8. LEBENS LAUF	56

I. Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
a.p.	anterior-posterior
ASA	American Society of Anesthesiologists
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa/etwa
CO	Kohlenstoffmonoxid
CT	Computertomographie
FG	Freiheitsgrade
HF	Herzfrequenz (in Schlägen/min)
K-Draht	Kirschner-Draht
KS	Knochenspan
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
MRT	Magnetresonanztomographie
m:w	männlich zu weiblich
OP	Operation
O ₂	Sauerstoff
Proc.	Processus
SNAC	scaphoid nonunion advanced collapse
SpO ₂	Sauerstoffsättigung (in %)

Tab.	Tabelle
tcpO2	transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung
usw.	und so weiter
z.B.	zum Beispiel

1. EINLEITUNG

1.1 Das Skaphoid

1.1.1 Anatomie

Das Skaphoid wird zu den Knochen der proximalen Handwurzelreihe gezählt. Es kommuniziert mit dem os lunatum ulnar, dem os capitatum, os trapezium und os trapezoideum distal und ist mit ihnen ligamentär verbunden (► **Abbildung 1**). Nach proximal bildet es gemeinsam mit dem Radius den radialen Anteil des proximalen Handgelenks (► **Abbildung 2**). Das Skaphoid ist an allen Bewegungen des Handgelenks beteiligt [45].

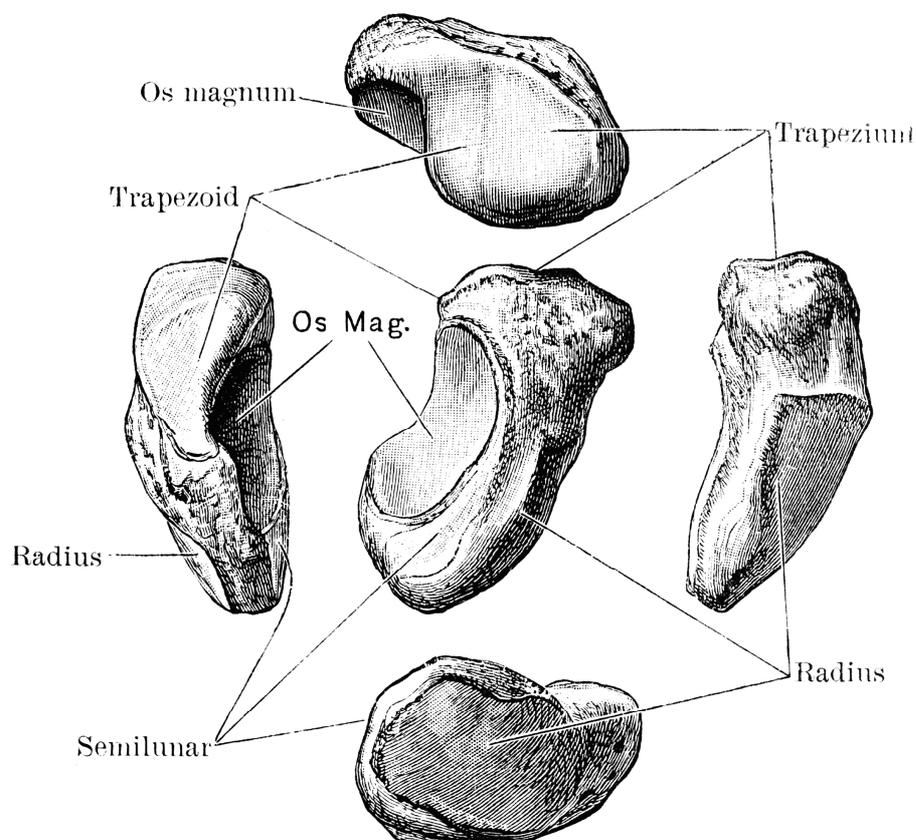


Abbildung 1: Skaphoid mit Darstellung der Gelenkflächen zu den artikulierenden Knochen/os magnum entspricht os capitatum; mit freundlicher Genehmigung von "Clipart courtesy FCIT", http://etc.usf.edu/clipart/54600/54663/54663_scaphoid.htm [9]



Abbildung 2: Röntgenbild a.p. des Handgelenks; Einbettung des Kahnbeins in der proximalen Handwurzelreihe; mit freundlicher Genehmigung der Handchirurgie Universitätsklinikum Ulm

1.1.2 Blutversorgung

Nach Abgabe des Ramus palmaris superficialis vor dem Retinaculum flexorum verläuft die A. radialis unter den Sehnen des M. abductor pollicis longus und des M. extensor pollicis brevis auf die dorsale Seite der Handwurzel. Sie versorgt das Skaphoid von distal her entlang der dorsoradialen Seite und tritt im mittleren Drittel in den Knochen ein (► **Abbildung 3**). Der proximale Pol wird zu 70-80% aus diesen Gefäßen versorgt. Die Tuberositas und ein Teil des distalen Drittels werden von palmaren Ästen aus der A. radialis versorgt. Zwischen den dorsalen und palmaren Ästen bestehen keine Anastomosen und es treten keine Blutgefäße direkt in das proximale Drittel des Skaphoids ein [11].

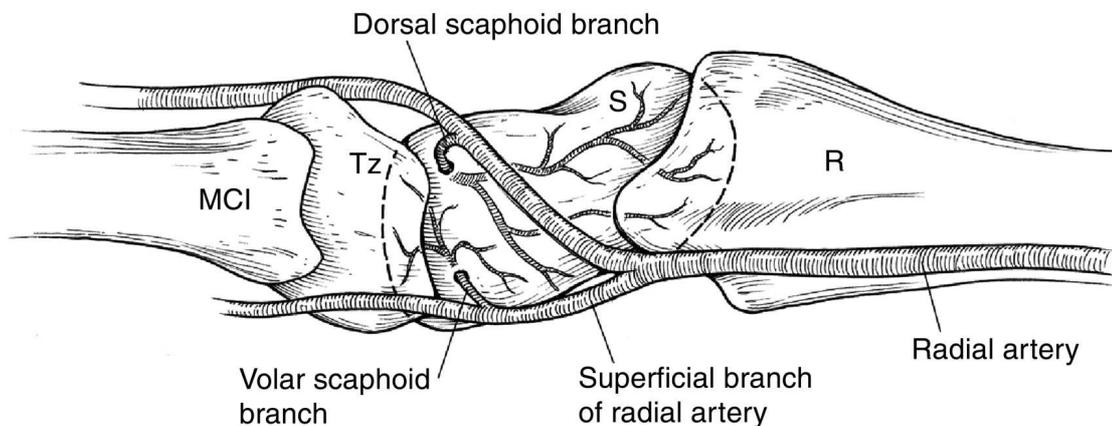


Abbildung 3: Blutversorgung des Skaphoids; MCI: Metacarpale I; Tz: Os trapezium; S: Skaphoid; R: Radius; entnommen aus *Management of scaphoid nonunions* von Trumble TE, Salas P, Barthel T, Robert KQ III. *J Am Acad Orthop Surg*, Jan-Feb 2004; S. 380-391 [3]

1.2.1 Epidemiologie und Unfallmechanismus

Die häufigste Verletzung des Handgelenks ist die distale Radiusfraktur, gefolgt von der Kahnbeinfraktur. Vor allem junge, sportlich aktive Männer sind von dieser Verletzung betroffen. Das Verhältnis von Männern zu Frauen beläuft sich auf 6:1. Zwischen 20 und 40 Jahren tritt diese Verletzung am häufigsten auf. Unter allen Frakturen der Handwurzelknochen stellt die Skaphoidfraktur mit 80% die mit Abstand häufigste Fraktur dar [35].

Den klassischen Unfallmechanismus stellt der Sturz auf die dorsalextendierte Hand dar, welcher beispielsweise häufig bei Skateboard- oder Inline-skate-Unfällen beobachtet werden kann (► **Abbildung 4 A**). Ebenfalls kann die Fraktur durch rückschlagende Gegenstände bei axialer Stellung des Handgelenks wie z.B. bei Bedienung von Maschinen auftreten (► **Abbildung 4 B**). „Die forcierte Dorsalextension oder Ulnardeviation des Handgelenks unter axialer Belastung führt zu einer dorsalen Subluxation des Mediokarpalgelenks und einer zunehmenden Belastung der palmaren Kortikalis des Kahnbeins, welche unter diesen Scherkräften bricht“ [35].

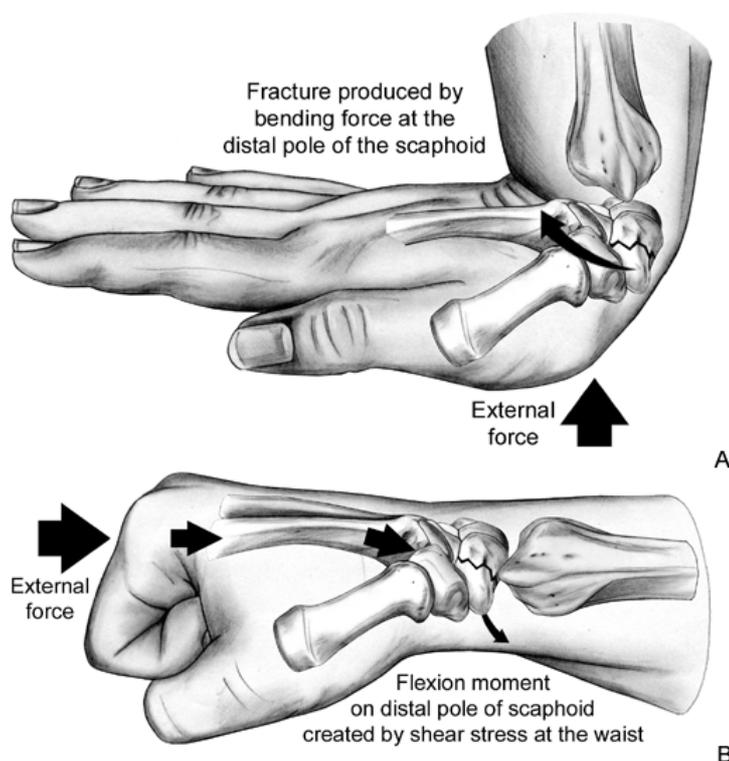


Abbildung 4: Unfallmechanismus A: Sturz auf dorsalextendiertes Handgelenk; B: Krafteinwirkung von frontal bei axialer Stellung des Handgelenks; entnommen aus *Hand Surgery* von Abrams, R.A., B.D. Adams, und E. Akelman. S. 275-285. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2004 [1]

Bei der klinischen Untersuchung lässt sich häufig ein Druckschmerz in der Tabatière und/oder dem distalen Kahnbeinpol palmarseitig finden. Auch können Schmerzen bei Stauchung des Daumens im Daumengrundgelenk auftreten [45].

Zum radiologischen Nachweis einer Skaphoidfraktur sind die Standardaufnahmen im posterior-anterioren und seitlichen Strahlengang nicht ausreichend. Durch die Form des Skaphoids und der gekippten Lage in ca. 45° zu den drei orthogonalen Raumebenen kommt das Kahnbein zumeist unvollständig einsehbar zur Darstellung [19]. Eine diagnostisch sehr gut verwertbare Ergänzungseinstellung zu den konventionellen Bildern ist die sogenannte Stecher-Projektion. Diese Aufnahme wird im Faustschluss und Ulnarduktion angefertigt, wobei das Skaphoid filmparallel und in seiner gesamten Länge einsehbar projiziert wird [39]. Die posterior-anteriore Einstellung sowie die Stecher-Projektionsaufnahmen sollten bei Erstdiagnostik und Verlaufskontrolle der Skaphoidfraktur immer die Basis der Diagnostik bilden. Zur weiteren Abklärung sollte grundsätzlich eine hochauflösende Computertomographie (CT) gemacht werden. Durch diese Aufnahmen können einerseits Frakturen nachgewiesen werden, die im konventionellen Röntgenbild nicht ersichtlich sind, andererseits können Frakturen, die zuvor in den Röntgenaufnahmen erkannt wurden, näher spezifiziert und therapeutische Konsequenzen abgeleitet werden [7, 23]. Die Magnetresonanztomographie (MRT) eignet sich ebenfalls zum Nachweis einer Kahnbeinfraktur, ist gegenüber der Computertomographie aber von untergeordneter Bedeutung. Die traumatisierten Strukturen im Knochen kommen als Knochenmarködem signalintensiv zum Vorschein, die Frakturrisse als lineare, dunkle Signalverlustzone [22]. Allerdings ist die Diagnoseaussage gegenüber der CT insofern limitiert, als dass sich auch trabekuläre Mikrofrakturen („bone bruise“) signalreich zeigen. Die MRT-Untersuchung sollte speziellen Indikationsstellungen vorbehalten sein. Als primär anzuwendende Untersuchung sollte eine CT in korrekter Technik angefertigt werden, da mit ihr eine Fraktur nachgewiesen oder ausgeschlossen werden und auch die weitere Therapieplanung erfolgen kann [18]. Die korrekte Aufnahmetechnik sieht die Aufnahme parallel zur Längsachse des Skaphoids vor.

1.2.3 Klassifikation

Die gebräuchlichste Klassifikation der Skaphoidfraktur ist die nach Herbert und Fischer (► **Abbildung 5**).

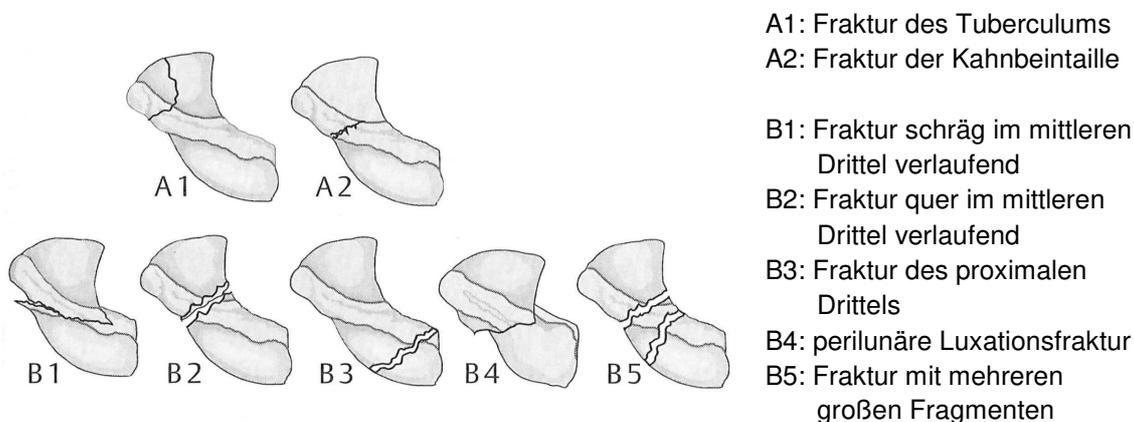


Abbildung 5: Klassifikation der Skaphoidfraktur nach Herbert und Fischer; entnommen aus Wurzinger, L.J. „Unterarm und Hand.“ In *Anatomie*, von Aust G., Doll A. Aumüller G., S. 427-462. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 2010 [45]

In Anlehnung an die dargestellte Klassifikation nach Herbert und Fischer (► **Abbildung 5**) soll hier die modifizierte Frakturklassifikation vorgestellt werden, die durch die Einbettung des CT-Befundes für die Ableitung einer therapeutischen Konsequenz geeignet ist (► **Tabelle 1**). Die Frakturen werden als stabil oder instabil klassifiziert.

Tabelle 1: Frakturklassifikation in Anlehnung an Herbert und nach CT-Befund [18]

Typ A	Stabile Frakturen
A1	Tuberkelfrakturen
A2	Undislozierte Frakturen mit quерem Verlauf im mittleren oder distalen Drittel
Typ B	Instabile Frakturen
B1	Lange Schrägfrakturen
B2	Dislozierte oder klaffende Frakturen
B3	Frakturen des proximalen Drittels
B4	Transskaphoideale perilunäre Luxationsfraktur

1.2.4 Therapie

Zur Therapie der Kahnbeinfraktur steht ein operativer sowie konservativer Ansatz zur Verfügung. Die instabile, dislozierte Kahnbeinfraktur stellt eine absolute OP-Indikation dar, um eine stabile Retention der Fraktur zu erreichen. Bei der stabilen, nicht dislozierten Fraktur kann eine konservative Frakturbehandlung in Betracht gezogen werden [35].

Beim Blick in die neuere Literatur wird aber selbst bei nicht dislozierten, stabilen Frakturen eine operative Versorgung propagiert, da sich ein positiver Effekt betreffend der Beweglichkeit des Handgelenks gezeigt hat. So konnte eine frühere Rückkehr zu täglichen Aktivitäten und ein besserer funktioneller Status nachgewiesen werden. Allerdings stellt die konservative Therapie nach wie vor eine verlässliche Behandlungsalternative der nicht dislozierten, stabilen Kahnbeinfraktur dar [34].

Konservative Therapie

Die Voraussetzung für eine erfolgreiche konservative Therapie der Skaphoidfraktur ist die stabile Retention der Fraktur und die anatomische Stellung des Skaphoids im Gipsverband. Konservativ zu behandelnde stabile Kahnbeinfrakturen werden im Unterarmgipsverband mit Einschluss des Daumengrundgelenks in Oppositionsstellung für bis zu 12 Wochen immobilisiert. Das Handgelenk wird leicht radialabduziert und extendiert; Grundgelenke der übrigen Finger bleiben frei beweglich [45]. Nach 8 Wochen Ruhigstellungsphase sollte die erste Röntgenkontrolle erfolgen. Bei ersichtlichen Zeichen der Knochendurchbauung erfolgt die Bewegungsfreigabe und physiotherapeutische Beübung. Ist die Fraktur immer noch einsehbar sollte zur weiteren Differenzierung eine CT angefertigt werden, um zu entscheiden, ob die Durchbauung suffizient zur Freigabe ist [10].

Operative Therapie

OP-Indikationen stellen instabile und dislozierte Frakturen dar. Osteosynthesetechniken mit K-Drähten oder Platten erfordern postoperative Immobilisation sowie vor Bewegungsfreigabe die Entfernung des Osteosynthesematerials, um Knorpelschäden zu vermeiden. Methode der ersten Wahl stellt die Osteosynthese mittels Doppelgewindeschraube dar, die erstmals von Herbert [13] vorgestellt wurde (► **Abbildung 7**). Diese Schrauben weisen ein Doppelgewinde auf, mit dem es möglich ist Kompression zwischen den beiden Knochenfragmenten aufzubauen. Dies wird durch unterschiedliche Gewindesteigungen der beiden Gewinde erreicht (► **Abbildung 6**). Ein weiterer Vorteil ist die vollständige intraossäre Versenkung der Schrauben, wodurch eine spätere Entfernung des Osteosynthesematerials nicht zwingend notwendig ist (► **Abbildung 8**). Durch die erreichte Stabilität kann eine frühfunktionelle Nachbehandlung angeschlossen werden. Mit Hilfe kanülierter Schraubensysteme ist eine minimalinvasive Versorgung möglich. Diese können über einen zuvor eingebrachten Führungsdraht im Knochen platziert werden.



Abbildung 6: Einbringung Doppelgewindeschraube/Verschluss des Frakturspalts durch Kompression; mit freundlicher Genehmigung der Synthes GmbH [41]



Abbildung 7: kanülierte Doppelgewindeschrauben; mit freundlicher Genehmigung der KLS Martin Group [17]



Abbildung 8: Eingebrachte Herbert-Schraube im Röntgenbild; mit freundlicher Genehmigung der Handchirurgie Universitätsklinikum Ulm

1.3 Die Skaphoidpseudarthrose

1.3.1 Klinik und Diagnostik

Nach einem meist beschwerdefreien Intervall, auch über Jahre hinweg, treten erneut zunehmende Schmerzen im radialen Handgelenk auf. Diese Beschwerden werden unter Belastung und Unterarmdrehung forciert. Klinisch auffällig wird die Skaphoidpseudarthrose durch Druckschmerz in der Tabatière. Stauchungsschmerz im Daumengrundgelenk kann ebenfalls häufig ausgelöst werden.

Die Skaphoidpseudarthrose kann meist bereits in den konventionellen Röntgenaufnahmen diagnostiziert werden (► **Abbildung 10**; ► **Abbildung 12**). Zur Beurteilung der Vitalität der Frakturfragmente gibt das MRT hilfreiche Informationen [40].



Abbildung 9: Präoperative Röntgenaufnahme linkes Handgelenk a.p.; ausgeprägte Skaphoidpseudarthrose im mittleren Drittel; mit freundlicher Genehmigung der Handchirurgie Universitätsklinikum Ulm



Abbildung 10: Postoperative Röntgenaufnahme a.p.nach Versorgung mit Doppelgewindeschraube; mit freundlicher Genehmigung der Handchirurgie Universitätsklinikum Ulm



Abbildung 11: Präoperative Röntgenaufnahme linkes Handgelenk seitlich; ausgeprägte Skaphoidpseudarthrose im mittleren Drittel; mit freundlicher Genehmigung der Handchirurgie Universitätsklinikum Ulm



Abbildung 12: Postoperative Röntgenaufnahme seitlich nach Versorgung mit Doppelgewindeschraube; mit freundlicher Genehmigung der Handchirurgie Universitätsklinikum Ulm

1.3.2 Klassifikation

Die gebräuchlichste Klassifikation zur Einteilung einer Skaphoidpseudoarthrose ist die nach T. Herbert [12] (► **Tabelle 2**).

Tabelle 2: Klassifikation Pseudoarthrose nach T. Herbert [12]

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

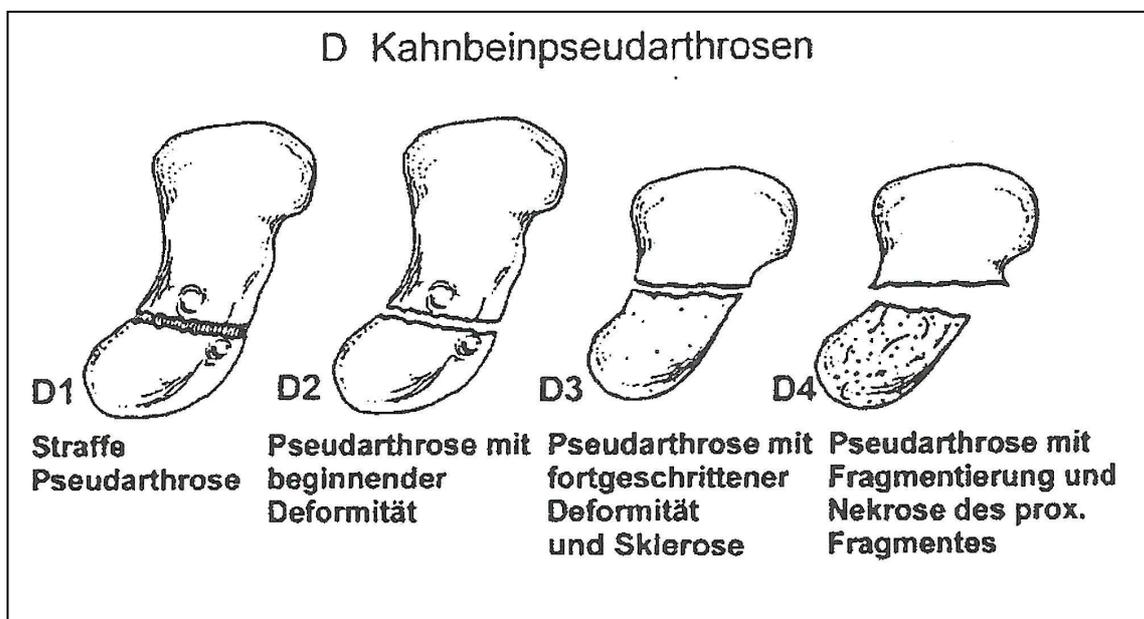


Abbildung 13: Klassifikation der Kahnbeinpseudoarthrose; entnommen aus *The fractured scaphoid* von Herbert, T.J.. St. Louis: Quality Medical, 1990 [12]

1.3.3 Natürlicher Verlauf und karpaler Kollaps

Kahnbeinfrakturen enden meist unbehandelt in einer Pseudarthrose, welche ihrerseits im langfristigen Verlauf zu einer Radiokarpalarthrose und schmerzhafter Bewegungseinschränkung des Handgelenks (SNAC) führt [26, 37].

SNAC/SLAC-Wrist

Durch knöcherner Unterbrechung des Kahnbeins geht das distale Fragment des Kahnbeins in Flexion, während das proximale Fragment über die straffe bandhafte Verbindung zum Os lunatum in Extension gezogen wird. Hierdurch kommt es zur Verkantung des distalen Fragments mit dem Proc. styloideus radii, wodurch im Verlauf die ersten arthrotischen Veränderungen entstehen. Es erfolgt langfristig ein Übergreifen der Arthrose auf die radioscapoidale Gelenkfläche [20].

Die Einteilung erfolgt in 3 Stadien:

Tabelle 3: Stadieneinteilung des SNAC/SLAC [43]

<i>Stadieneinteilung des SNAC/SLAC Handgelenks nach Watson und Ryu</i>	
Stadium 1	Beschränkt auf den Processus styloideus radii
Stadium 2	Erweitert auf das Radioscaphoidalgelenk
Stadium 3	Zusätzlich mediokarpale Arthrose

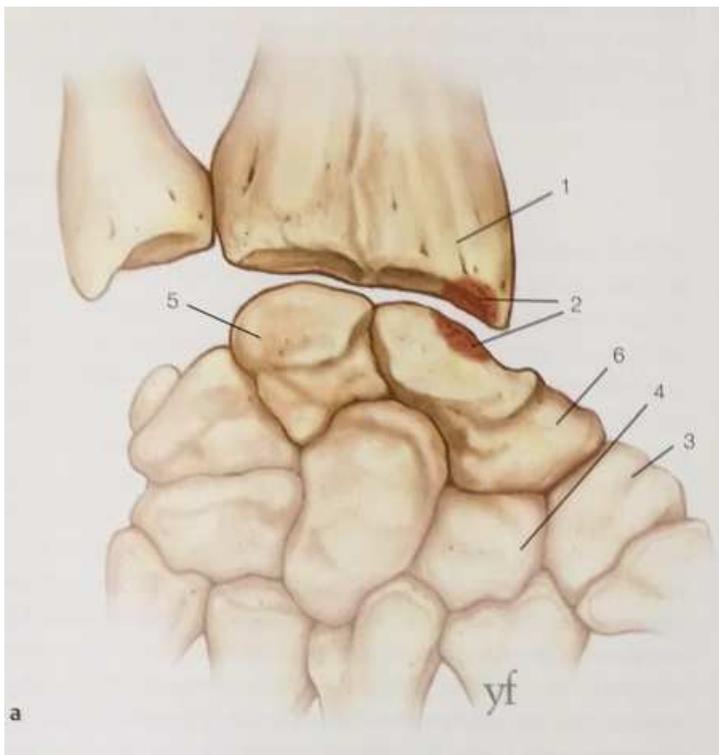


Abbildung 14: a: Stadium 1; 1: Radius, 2: Chondromalazie, 3: Os trapezium, 4: Os trapezoideum, 5: Os lunatum, 6: Os scaphoideum, 7: Proc. styloideus radii, 8: Os capitatum; mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags [27]

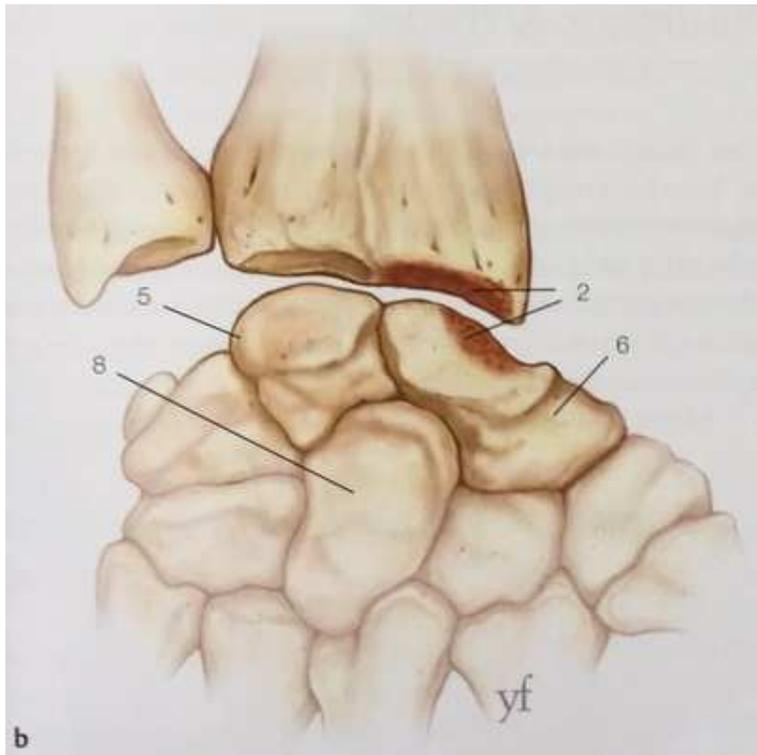


Abbildung 15: b: Stadium 2; 1: Radius, 2: Chondromalazie, 3: Os trapezium, 4: Os trapezoideum, 5: Os lunatum, 6: Os scaphoideum, 7: Proc. styloideus radii, 8: Os capitatum; mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags [27]

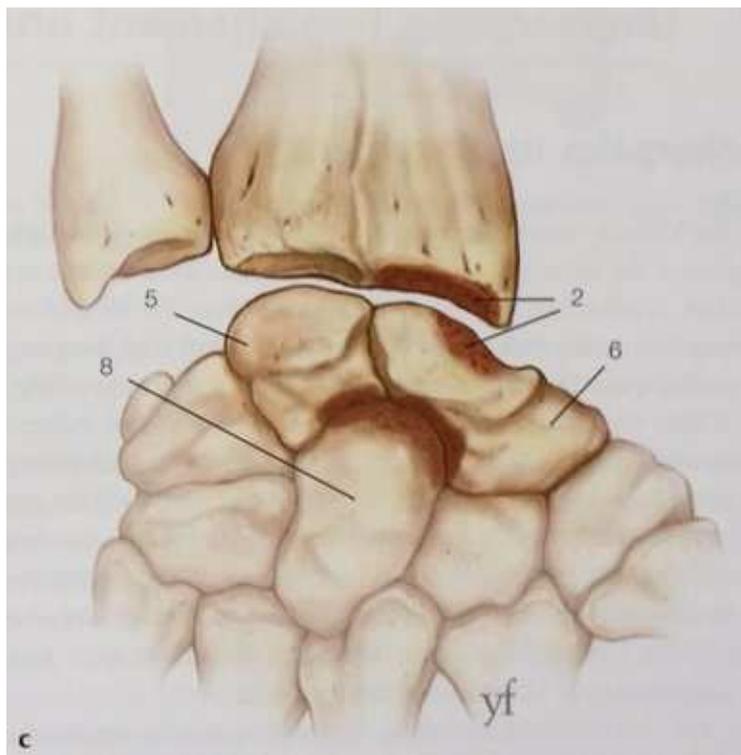


Abbildung 16: a: Stadium 1; 1: Radius, 2: Chondromalazie, 3: Os trapezium, 4: Os trapezoideum, 5: Os lunatum, 6: Os scaphoideum, 7: Proc. styloideus radii, 8: Os capitatum; mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags [27]

1.3.4 Therapie

Die Therapie der Wahl stellt die Sanierung der Pseudarthrose dar. Zur operativen Therapie wurde erstmals das Einbringen von Spongiosa nach Matti vorgestellt [36]. Von Russe wurde 1951 eine weitere Variante etabliert. Er stellte die Einbringung eines kortikospongiösen Spanes vor [30].

Das Einbringen von frischer Knochensubstanz soll die Kapillareinsprossung und Kallusbildung stimulieren.

Spongiosaplastik nach Matti-Russe

Bei dieser Versorgungsvariante wird ein Knochenfenster am Kahnbein ausgefräst und die Pseudarthrose angefrischt. Am Darmbeinkamm wird daraufhin ein kortikospongiöser Span und Spongiosa entnommen, welche anschließend unter Distraction in das Knochenfenster eingebracht werden. Durch die Distraction wird die ursprüngliche Länge und Ausrichtung des Skaphoids wieder hergestellt. Der verbliebene Frakturspalt wird mit ausreichend Spongiosa aufgefüllt. Es schließt sich eine Gipsruhigstellung mit Daumeneinschluss für 12 Wochen an [31]. Kontraindikation stellen avaskuläre proximale Fragmente, sowie schwere posttraumatische Veränderungen dar. Bei korrekter Nachbehandlung sind Heilungsraten von 80-90% erzielbar [32].

Spongiosaplastik nach Matti-Russe in Kombination mit K-Drähten, Ender-Platte oder Herbert-Schraube

Diese Operationstechniken nutzen die Vorteile der Versorgung nach Matti-Russe und kombinieren diese mittels Stabilisation durch K-Drähte, Ender-Platte oder Herbert-Schraube (► **Abbildung 9**; ► **Abbildung 11**). Anwendung findet diese Kombinationsmethode heute standardmäßig bei Kahnbeinfrakturen mit verzögerter Knochenheilung und manifester Kahnbeinpseudarthrose.

1.4 Die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung (tcpO₂)

1.4.1 Prinzip

Die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung (tcpO₂) ist ein nicht invasives Verfahren zur Ermittlung des Sauerstoffpartialdrucks (pO₂) in der Haut. Der pO₂ wird über eine erwärmte, sogenannte Clark-Elektrode ermittelt und bildet direkt die mikrovaskuläre Situation ab. Die Messstelle der Elektrode sollte über einem homogenen Kapillarbett angebracht werden. Die Elektrode muss über die Kontaktflüssigkeit Kontakt mit dem darunterliegenden Gewebe haben, um den Diffusionsdruck zuverlässig abnehmen zu können. Die Wärme in Verbindung mit der Kontaktflüssigkeit reduziert den pO₂-Diffusionswiderstand der Haut um das 20-fache [42].

1.4.2 Klinische Einsatzgebiete

Die tcpO₂-Messung kann zu verschiedenen klinischen Fragestellungen eingesetzt werden. Wenn es um die Frage der Wundheilung, der Heilungswahrscheinlichkeit oder der Bestimmung der Amputationshöhe (z.B. beim Diabetischen Fuß-Syndrom) geht, bietet diese Technik Hilfestellung zur Ermittlung der mikrovaskulären Situation, um Vorhersagen treffen zu können und diese dann als Konsequenz in die Therapie einfließen zu lassen. Bei hyperbarer Sauerstoffbehandlung und Einsatz von Vasodilatoren bietet die Messung ein Monitoring zum aktuellen Stand der Durchblutung an den jeweiligen Messpunkten [42].

1.5 Hypothesen

1.5.1 Retrospektive Analyse

Im ersten Teil dieser Arbeit ging es in einer Untersuchung von insgesamt 109 Patienten mit Kahnbeinpseudarthrose um die Frage, ob in Bezug auf Nikotinkonsum ein Unterschied bezüglich knöcherner Konsolidierungsdauer besteht.

Hypothese 1: Raucher mit Kahnbeinpseudarthrose weisen nach operativer Versorgung eine verlängerte Konsolidierungsdauer gegenüber Nichtrauchern auf.

1.5.2 Experimentelle Analyse

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurden die Ergebnisse, die aus der retrospektiven Analyse gewonnen werden konnten, an 20 Rauchern prospektiv untersucht. Die Durchblutung am Kahnbein wurde indirekt über die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung (tcpO₂) erfasst und analysiert.

Wir nahmen an, dass sich die Durchblutung am Kahnbein bei Rauchern nach dem Rauchen verringert und somit möglicherweise eine Ursache zu den Ergebnissen der retrospektiven Analyse darstellt.

Hypothese 2: Nach dem Konsum einer Zigarette kommt es zu einer messbaren Reduktion der Perfusion am Kahnbein.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 *Retrospektive Analyse*

2.1.1 Patientenkollektiv

Eingeschlossen wurden 109 Patienten mit Diagnose einer Skaphoidpseudarthrose, die operativ mit einer der folgenden drei Verfahren versorgt wurden. Alle Patienten wurden entweder mit alleiniger Versorgung unter Einbringen eines Knochenspans (KS), einer zusätzlich eingebrachten Doppelgewindeschraube oder eines zusätzlichen K-Drahtes versorgt. Die operative Versorgung der Kahnbeinpseudarthrose wurde in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Ulm durchgeführt.

Die untersuchten Patienten wiesen ein Durchschnittsalter von 27,2 Jahren (17- 57 Jahre) auf. In die Auswertung wurden 7 weibliche und 102 männliche Patientenfälle aufgenommen.

2.1.2 Datenerhebung

Patientenakten, Röntgenbilder, Arztbriefe und OP-Berichte konnten zur Auswertung für diese Arbeit herangezogen werden. Das Alter und die Händigkeit der Patienten wurden aufgenommen, ebenso wie die Zeitspanne zwischen Unfallereignis und operativer Versorgung. Der tägliche Nikotinkonsum der Raucher wurde anhand der persönlichen Angaben der Patienten erfasst. Die Konsolidierung wurde unter Verwendung von konventionellem Standard-Röntgen ausgewertet.

Komplikationen in Form von Rezidivpseudarthrosen, Wundheilungsstörungen, behandlungsbedürftige Radiocarpalarthrosen (Denervation, [Teil-]arthrodese, Proximal Row Carpectomy [=Operative Entfernung der körpernahen Handwurzelreihe]) wurden separat in den Gruppen erfasst und ausgewertet.

2.1.3 Statistische Auswertung

Die Dokumentation sowie die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel® in Verbindung mit dem Statistikprogramm SPSS® durchgeführt.

Zur Prüfung möglicher Unterschiede hinsichtlich Konsolidierungsdauer und Komplikationsrate von Rauchern und Nichtrauchern wurde der Mann-Whitney-U-Test [25, 44] angewandt. Das Signifikanzniveau wurde auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

Zusätzlich wurde untersucht, ob die OP-Methode, die zur operativen Versorgung angewandt wurde, Einfluss auf die Konsolidierungsdauer zeigt. Dies wurde mit dem Kruskal-Wallis-Test [21] mit dem Signifikanzniveau $p \leq 0,05$ ausgewertet.

2.2. Experimentelle Analyse

2.2.1. Probanden

Insgesamt wurden 20 Probanden in diese prospektive Studie eingeschlossen. Zur Durchführung der Studie konnten 16 männliche und 4 weibliche Probanden rekrutiert werden. Eingeschlossen wurden Probanden mit täglichem Nikotinkonsum zwischen 2 und 20 Zigaretten und einem Alter zwischen 18 und 35 Jahren. Der Durchschnittskonsum bzw. das durchschnittliche Patientenalter belief sich auf 9,3 Zigaretten bzw. 26,4 Jahre.

Die Probanden wurden ausführlich über die schädliche Wirkung des Rauchens und die angewandte Messmethode aufgeklärt und bestätigten nach ausreichender Bedenkzeit die freiwillige Teilnahme an dieser Studie. Eine Kontrollgruppe für die Bestätigung unserer Hypothese sahen wir als nicht erforderlich an. Die Durchführung der Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Ulm unter der Antragsnummer 166/14 genehmigt.

2.2.2. Transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung (tcpO₂)

2.2.2.1. Messgerät und Elektroden

Zur transkutanen Sauerstoffpartialdruckmessung (tcpO₂) wurde der TCM400 der Firma Radiometer verwendet [42].

Drei Messpunkte des Geräts wurden für unsere Untersuchung genutzt (► **Abbildung 18**). Die Elektroden mussten vor Beginn der Messung am Gerät kalibriert werden. Der Sauerstoffpartialdruck (pO₂) ca. 1 cm unter der Haut wird über das Prinzip der Diffusion an der Elektrode gemessen [42] (► **Abbildung 17**).

Die Messung erfolgte über 3 verschiedene Messstellen. Die Messstelle S3 repräsentierte die Messstelle in der Tabatière, S2 den proximalen Kahnbeinpol und S1 den Bereich der Ellenbeuge. Die maßgebliche Messstelle, durch die direkte Nähe zum Untersuchungsgebiet, stellte die Messstelle S3 bzw. S2 dar (► **Tabelle 4**). S1 diente als Kontrollmessstelle (► **Abbildung 19**).

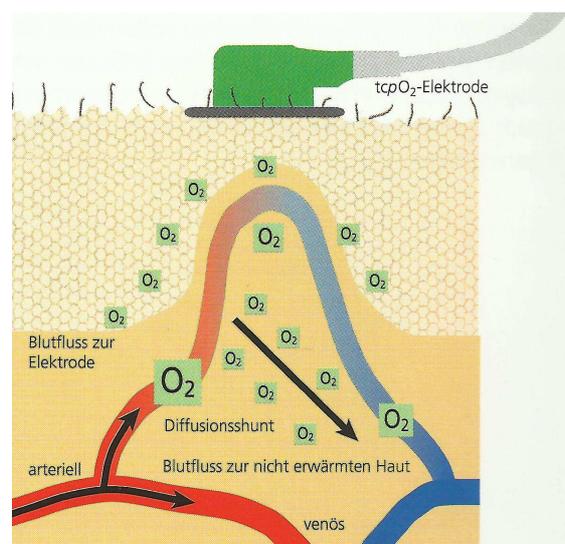


Abbildung 17: Illustration der tcpO₂-Messung [42]; Über die Elektrode auf der Haut (oben, grün) wird ein O₂-Partialdruck gemessen, der sich 1-2cm unter der Haut per Diffusion im Gewebe durch arteriellen Blutzustrom und venösen Blutabstrom bildet; mit freundlicher Genehmigung der Radiometer GmbH



Abbildung 18: tcpO₂-Messgerät TCM400 der Firma Radiometer; mit freundlicher Genehmigung der Radiometer GmbH [29]

2.2.2.2. Klinische Standard-Messbedingungen

Um klinische Standard-Messbedingungen zu erhalten, sollten folgende Punkte laut Hersteller beachtet werden. Vor Messungen sollte kein Kaffeekonsum und kein Zigarettenkonsum erfolgen. Die Umgebungstemperatur sollte zwischen 21 und 23°C betragen. Auf die Körperlage des Probanden ist zu achten, die möglichst auf einer Liege mit leicht erhöhtem Oberkörper eingenommen und nicht verändert werden sollte [42].

2.2.3. Versuchsaufbau und Durchführung

Die Versuchsdurchführung erfolgte standardisiert. Die Zimmertemperatur betrug konstant 22°C. Vor Beginn der Messung wurden die persönlichen Daten wie Alter, Größe, Gewicht, Zigarettenkonsum, Vorerkrankungen, frühere Operationen, aktuelle Schwangerschaft und regelmäßige Medikation abgefragt und dokumentiert.

Die Probanden wurden mit leicht erhöhtem Oberkörper auf einer Liege gelagert. Die Elektroden wurden am rechten Unterarm und an der rechten Hand

angebracht. Die Elektrode S1 wurde am Unterarm im Bereich der Ellenbeuge (Referenzelektrode) platziert, die zweite am distalen Kahnbeinpol und die dritte in der Tabatière (► **Abbildung 19**). Dabei musste an der Messstelle nach vorheriger Reinigung ein Fixierring angebracht werden, der innen mit einigen Tropfen Kontaktflüssigkeit befüllt wurde und daraufhin mit der Elektrode verbunden werden konnte. Außerdem wurde ein Sauerstoffsättigungsmessgerät am Zeigefinger der linken Hand befestigt. Über dieses wurde die Sauerstoffsättigung (SpO₂) und die Herzfrequenz (HF) vor, während und nach der Messung ermittelt. Es erfolgte eine Stabilisierung der Sauerstoffpartialdruckwerte (tcpO₂-Wert) über 20 Minuten, bevor mit der Messung begonnen wurde (Steady-state).

Nach Erreichen des Steady-state wurde die Messung gestartet. Über einen Zeitraum von 3 Minuten wurde in standardisierten Zeitintervallen von je 20 Sekunden eine Zigarette der Marke Gauloises blau konsumiert. Zur Vermeidung von Bewegungsartefakten wurde die Zigarette angereicht, angezündet und durch den Probanden mit der linken Hand gehalten. Die Grundlage zur Festlegung der Rauchfrequenz bildete eine Arbeit von Shepherd, 1951, welche aus Beobachtung von Rauchern dieses Zeitintervall ermitteln konnte [38].

Die tcpO₂-Werte, sowie die Sauerstoffsättigung und Herzfrequenz wurden nun jede Minute vom Untersucher dokumentiert.

Nach Abschluss des Rauchens schloss sich ein Messintervall von 30 Minuten an. In Vorversuchen zeigte sich diese Zeit als ausreichend um Veränderungen zu beobachten.

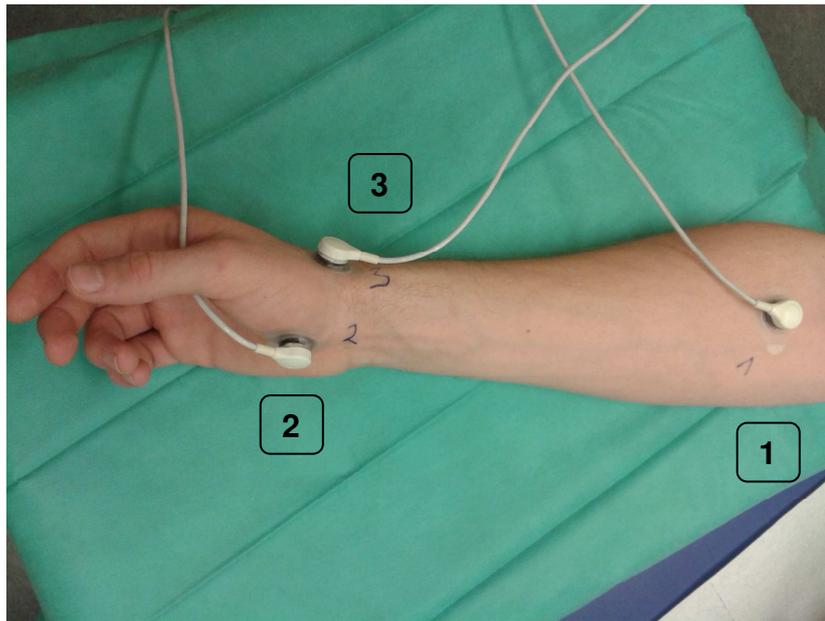


Abbildung 19: Messstellen rechter Unterarm/rechte Hand; 1: Beugeseite Ellbogen, 2: distaler Kahnbeinpol, 3: Tabatière

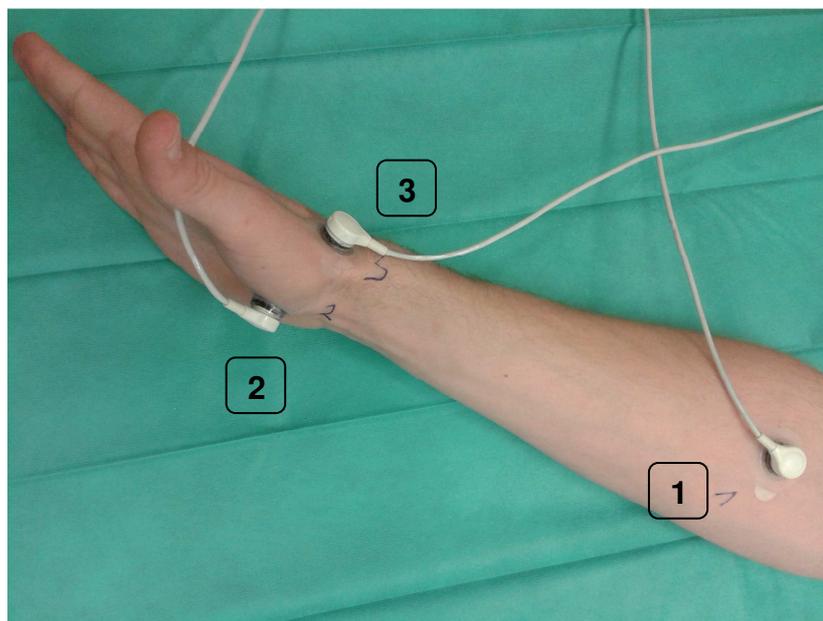


Abbildung 20: Messstellen rechter Unterarm/rechte Hand; Ansicht von streng radial; 1: Beugeseite Ellbogen, 2: distaler Kahnbeinpol, 3: Tabatière

Tabelle 4: Zuordnung der Messstellenbezeichnung zum Messort

Bezeichnung	Messort
S3	Tabatière
S2	prox. Kahnbeinpol
S1	Ellenbeuge

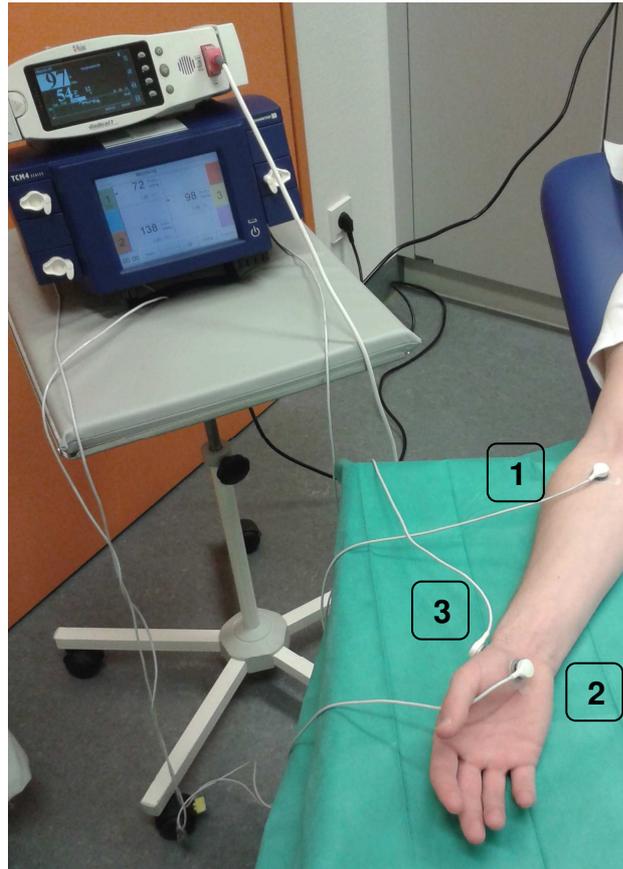


Abbildung 21: Messgeräte und Versuchsaufbau; Gerät oben: Sauerstoffsättigung und Herzfrequenz; Gerät unten: tcpO2-Messgerät; Messstellen: 1: Beugeseite Ellbogen, 2: distaler Kahnbeinpol, 3: Tabatière



Abbildung 22: Messgeräte; oben: Sauerstoffsättigung und Herzfrequenz; unten: tcpO2-Messgerät;

2.2.4. Datenerhebung

Über die Messgeräte zur tcpO₂- und SpO₂-Messung (► **Abbildung 21**, ► **Abbildung 22**) wurde jede Minute jeweils ein Wert ermittelt. Diese gesammelten Werte wurden zur Auswertung herangezogen. Der tcpO₂-Wert wurde als Sauerstoffpartialdruck in Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) angegeben und gab die Durchblutung an der Messtelle wieder. Über die SpO₂-Messung wurden parallel dazu die Blutsauerstoffsättigung und die Herzfrequenz gemessen.

2.2.5. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung und Verarbeitung der Messdaten erfolgte über das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel® in Verbindung mit dem Statistikprogramm SPSS®.

Zur Auswertung der Korrelation des von uns angenommenen linearen Zusammenhangs des Abfalls über die Zeit wurde der Korrelations-Test nach Pearson [46] herangezogen. Das Signifikanzniveau wurde auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

Zur Untersuchung der unterschiedlichen Abfallzeitpunkte wurde der Test der Varianzanalyse mit Messwertwiederholung genutzt [4]. Es wurde ein Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ festgelegt.

3. ERGEBNISSE

3.1. Retrospektive Analyse

Es konnte ein signifikanter Unterschied in der Konsolidierungsdauer zwischen der Gruppe der Raucher und Nichtraucher nachgewiesen werden ($p \leq 0,001$; ► **Abbildung 23**). Die durchschnittliche Konsolidierungsdauer belief sich in der Rauchergruppe auf 6,7 (3-24) Monate, in der Nichtrauchergruppe auf 3,6 (2-9) Monate.

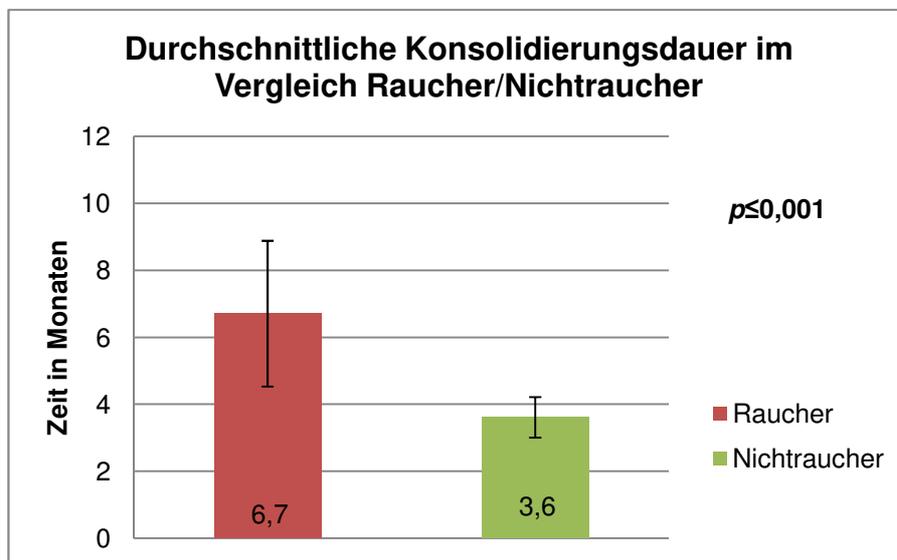


Abbildung 23: Konsolidierungsdauer Raucher/Nichtraucher: dieser Unterschied war statistisch signifikant; mit Standardabweichung; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

Bei den Rauchern erlitten 20 der 48 analysierten Patienten postoperativ eine Komplikation, bei den Nichtrauchern 2 der 61 Patienten (► **Abbildung 24**). Im Vergleich der Komplikationsraten der beiden Gruppen standen 3,3% der Nichtraucher einem Anteil von 41,7% der Rauchergruppe gegenüber. Statistische Signifikanz konnte auch im Vergleich der Komplikationsanzahl zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden ($p \leq 0,001$).

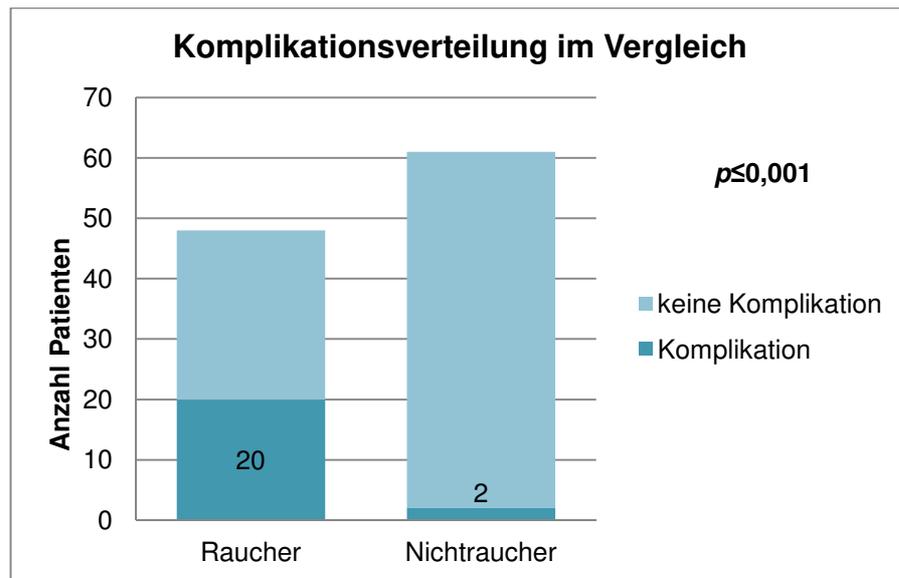


Abbildung 24: Komplikationsverteilung im Vergleich von Rauchern und Nichtrauchern mit Angabe der absoluten Patientenanzahl; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

Im Vergleich der 3 operativen Versorgungsmethoden fällt die Gruppenverteilung im Hinblick auf die Gleichmäßigkeit inhomogen aus. Die größte Gruppe stellt mit 61 Patienten die Versorgung mittels Knochenspan dar. Die Gruppen mit additiver Versorgung durch Doppelgewindeschraube oder Kirschner-Draht sind mit 25 bzw. 23 Patienten vergleichbar groß (► **Abbildung 25**). Bezogen auf die Konsolidierungsdauer zeigt die Versorgung mittels Knochenspan in Verbindung mit Kirschner-Draht mit 4,5 Monaten insgesamt die kürzeste Konsolidierungsdauer ohne statistische Signifikanz ($p \leq 0,208$; ► **Abbildung 26**).

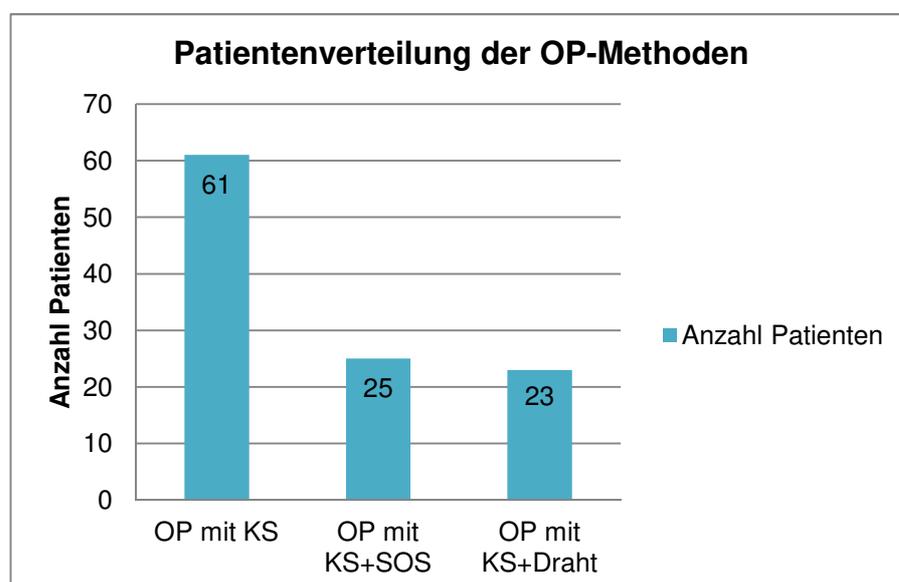


Abbildung 25: Patientenverteilung der OP-Methoden der Nichtraucher und Raucher; KS: Knochenspanversorgung, SOS: Schraubenosteosynthese, Draht: Kirschner-Draht; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

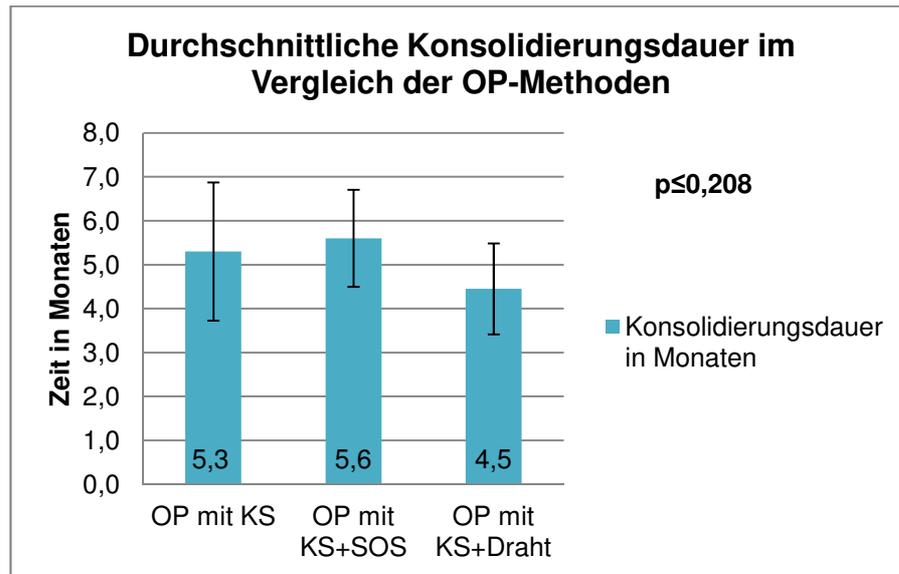


Abbildung 26: Durchschnittliche Konsolidierungsdauer im Vergleich der OP-Methoden der Nichtraucher und Raucher; KS: Knochenspanversorgung, SOS: Schraubenosteosynthese, Draht: Kirschner-Draht; mit Standardabweichung; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

Beim Vergleich der Zeitspannen, die vom Unfallereignis bis zur Durchführung einer operativen Versorgung vergingen, konnte eine durchschnittliche Zeitspanne von Nichtrauchern und Rauchern mit 22,5 (2-252) bzw. 13,3 (0,3-108) Monaten angegeben werden (► **Abbildung 27**). Die Zeitspanne beider Gruppen zeigte keinen signifikanten Unterschied ($p \leq 0,117$).

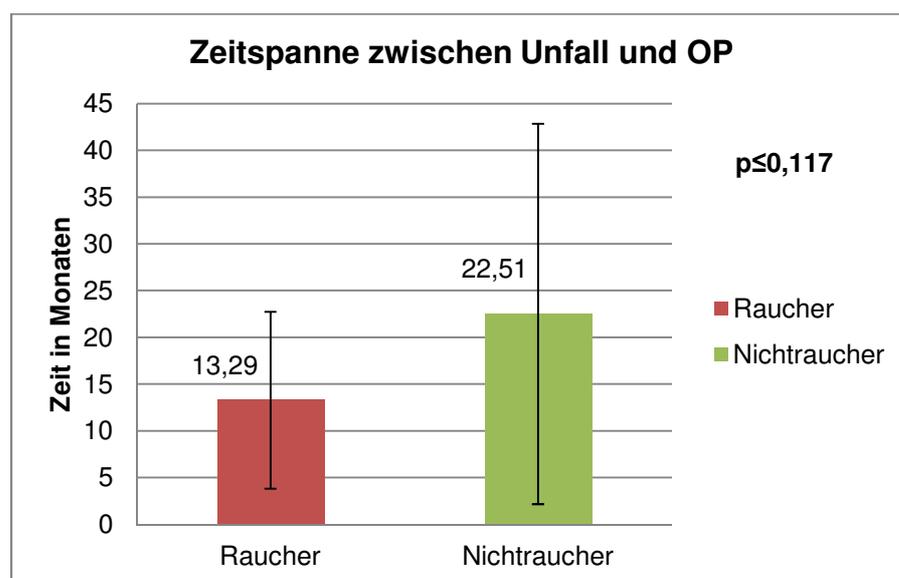


Abbildung 27: Zeitspanne zwischen Unfallereignis und OP; Angabe in Monaten; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

3.1.1. Nichtraucher

In dieser Gruppe wurden 61 Patienten untersucht. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 28,6 (16-69) Jahre. 55 von ihnen waren männlich. Die ASA-Klassifikation zur Abschätzung des perioperativen Risikos konnte in der Mehrzahl der Patienten mit ASA 1 angegeben werden (► **Abbildung 28**).

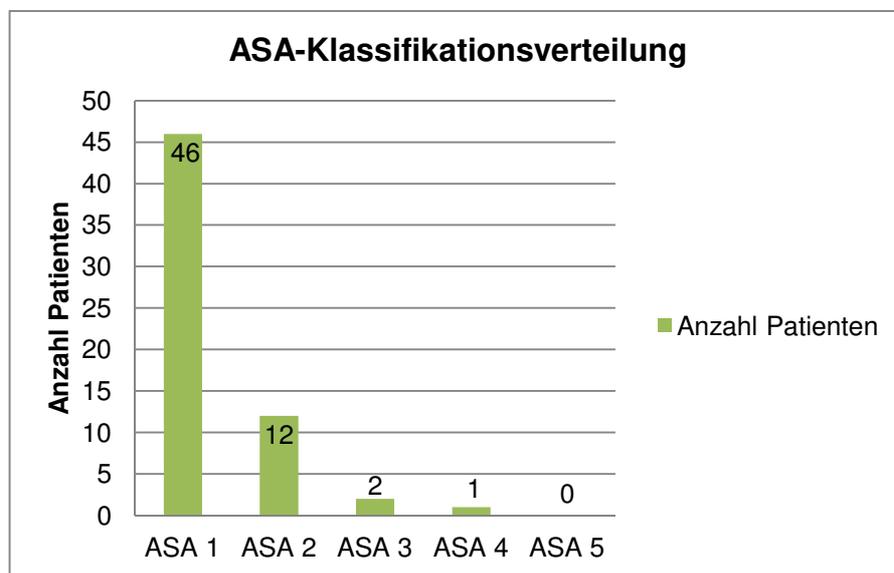


Abbildung 28: ASA-Klassifikation Nichtraucher; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

Im Mittel wurden 3,6 Monate für die sichere knöcherne Durchbauung in der Gruppe der Nichtraucher benötigt. Die Konsolidierung dauerte bei 41 Patienten bis zu 3 Monaten an. Weitere 19 Patienten in dieser Gruppe waren spätestens nach 6, und ein weiterer nach 9 Monaten konsolidiert (► **Abbildung 29**). Unter den 19 Patienten zwischen 3 und 6 Monaten konnte die sichere knöcherne Durchbauung bei 9 Patienten bis zu 4 Monaten, bei 6 Patienten bis zu 5 Monaten und bei weiteren 4 Patienten bis zu 6 Monaten festgestellt werden.

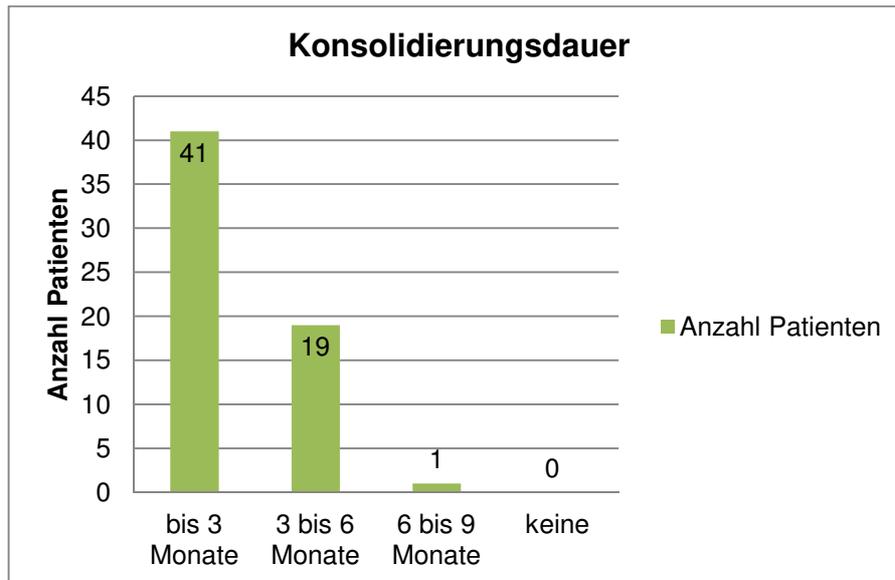


Abbildung 29: Konsolidierungsdauer Nichtraucher in Gruppen; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

Komplikationen konnten in dieser Gruppe bei insgesamt 2 Patienten festgestellt werden. Bei einem Patienten wurde ein Schraubenüberstand nach Wiedervorstellung mit Schmerzen diagnostiziert, was eine Metallentfernung notwendig machte. Aufgrund einer oralen Antikoagulation bei bestehender absoluten Arrhythmie bei Vorhofflimmern wurde eine Hämatomausräumung am Becken bei dem zweiten Patienten notwendig. Es handelte sich dabei um keine Hb-wirksame Nachblutung. Der weitere Verlauf zeigte sich unauffällig. Die verbliebenen 59 Patienten wiesen keine Komplikationen auf. Dieses Ergebnis belegte einen Komplikationsanteil von 3,3%.

Operatives Vorgehen:

31 Patienten wurden mit Knochenspan, 16 zusätzlich mit Doppelgewindeschraube und 14 zusätzlich mit Kirschner-Draht versorgt (► **Abbildung 30**). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen operativen Vorgehensweisen. Es wurden alle 3 Versorgungsmethoden miteinander verglichen ($p \leq 0,093$; ► **Abbildung 31**). Zusätzlich konnte auch kein Nachweis einer Signifikanz zwischen OP-Methoden mit Einbringen von Fremdmaterial und einer reinen Knochenspanversorgung (KS) erbracht werden ($p \leq 0,077$; ► **Abbildung 32**).

Die Knochenspanversorgung ohne zusätzliche Stabilisierung hatte durchschnittlich die längste Konsolidierungsdauer bei den Nichtrauchern mit 3,9 Monaten. Durch Verstärkung mit Schrauben verringerte sich die Durchbauungszeit auf 3,6 Monate, mit Kirschner-Drähten auf durchschnittlich 3,1 Monate (► **Abbildung 31**).

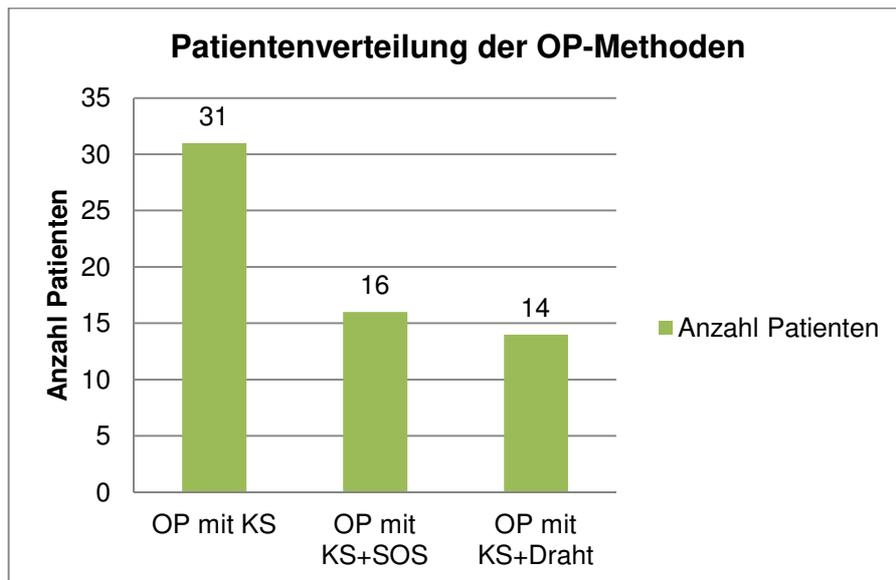


Abbildung 30: Patientenverteilung der OP-Methoden der Nichtraucher; KS: Knochenspanversorgung, SOS: Schraubenosteosynthese, Draht: Kirschner-Draht; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

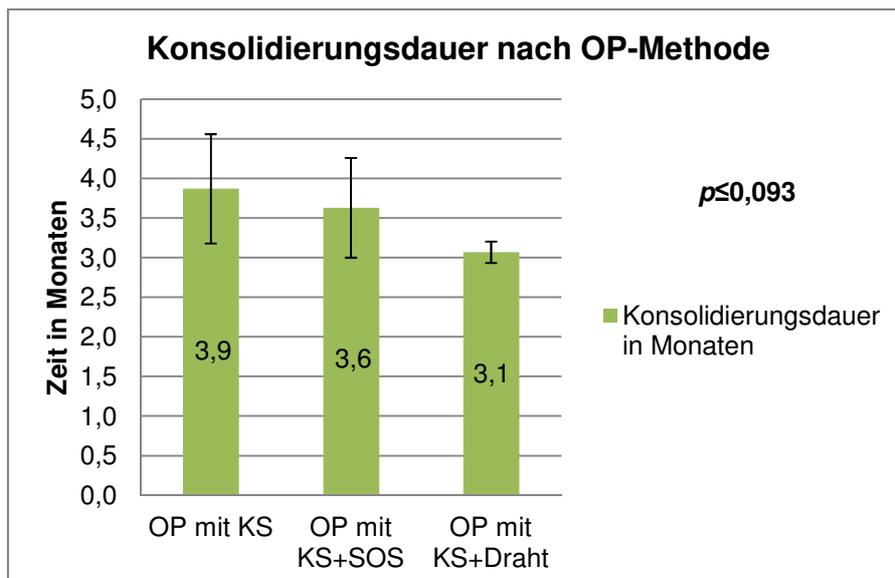


Abbildung 31: Konsolidierungsdauer Nichtraucher nach OP-Methode; KS: Knochenspanversorgung, SOS: Schraubenosteosynthese, Draht: Kirschner-Draht; mit Standardabweichung; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

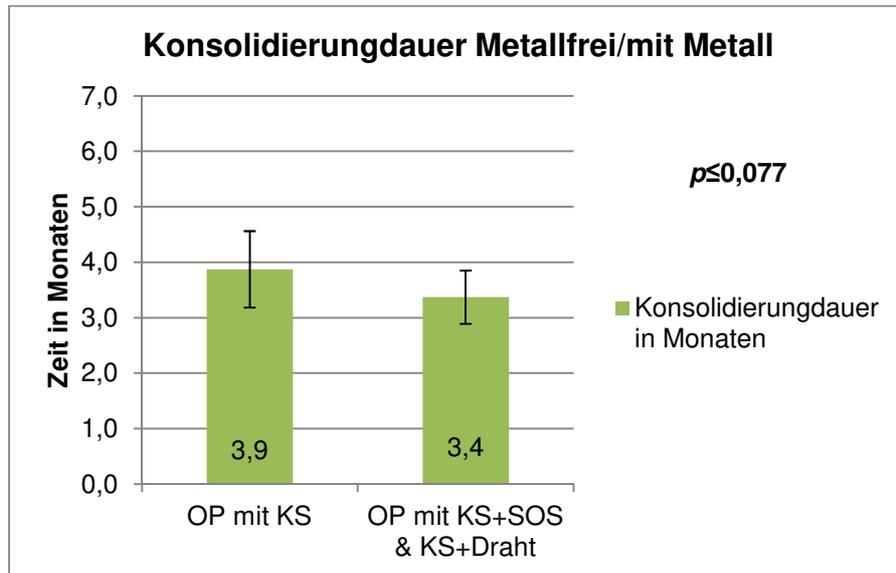


Abbildung 32: Konsolidierungsdauer Metallfrei (n=31)/mit additiver Osteosynthese (n=30) Nichtraucher im Vergleich; KS: Knochenspanversorgung, SOS: Schraubenosteosynthese, Draht: Kirschner-Draht; mit Standardabweichung; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

3.1.2. Raucher

In die Analyse wurden 48 Raucher eingeschlossen. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 25,8 (17-57) Jahre. 47 von ihnen waren männlich. Unter ASA 1 in der ASA-Klassifikation ließen sich 37 der 48 untersuchten Patienten eingruppiert (► **Abbildung 33**). Zwischen dem Unfallereignis und der operativen Versorgung vergingen im Durchschnitt 13,3 (0,3-108) Monate. Die Patienten der Rauchergruppe konsumierten durchschnittlich 15,1 (4-35) Zigaretten täglich.

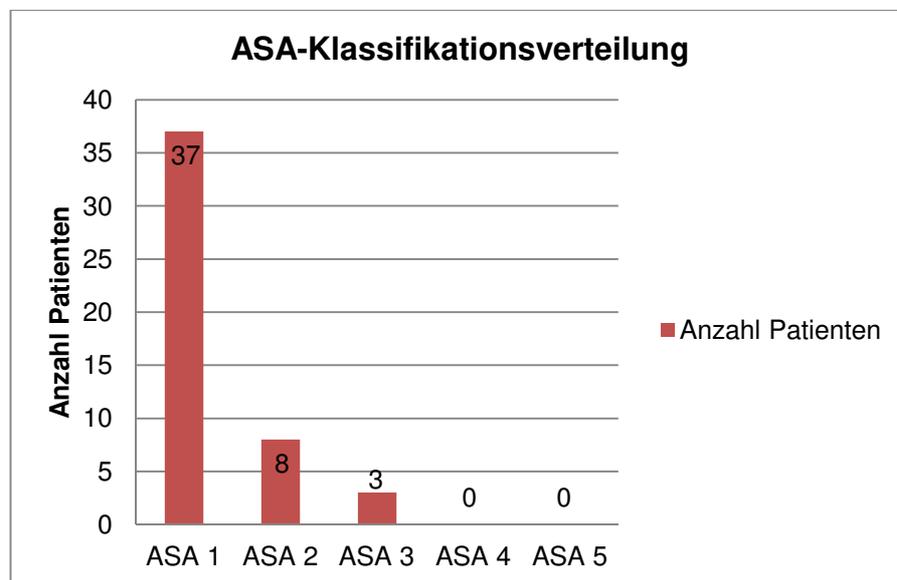


Abbildung 33: ASA-Klassifikation Raucher; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

Als durchschnittliche Konsolidierungsdauer wurde in der Rauchergruppe ein Zeitraum von 6,7 Monaten ermittelt. Die Pseudarthrose von 19 Patienten konnte zwischen 3 und 6 Monaten ausheilen. Dabei wurde eine Durchbauung bei 8 Patienten bis 4 Monate, bei 6 Patienten bis 5 Monate und bei 5 Patienten bis 6 Monate festgestellt. Weitere 13 konnten nach mehr als 6 Monaten als konsolidiert eingestuft werden. 7 Patienten erfuhren eine Durchbauung bis 3 Monate, 9 keine Heilung (► **Abbildung 34**).

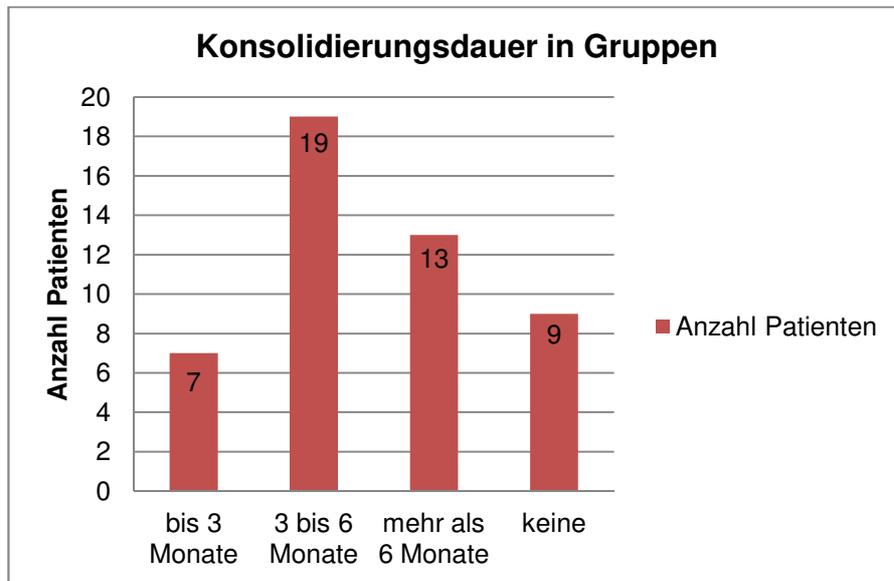


Abbildung 34: Konsolidierungsdauer Raucher in Gruppen; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

20 der 48 untersuchten Patienten entwickelten eine Komplikation. Bei 9 Patienten wurde bis zur letzten Nachuntersuchung keine Durchbauung und somit eine Rezidivpseudarthrose festgestellt. 4 Patienten erlitten eine Radiokarpalarthrose. Bei diesen insgesamt 13 Patienten war bis zum Ende des Erfassungszeitraums kein weitergehender Verlauf erfasst oder keine weitere Therapie gewünscht. 7 Patienten mussten aufgrund persistierender Beschwerden nochmals operiert werden. Davon wurden 4 Patienten mit 4-corner-fusion und weitere 3 mit Handgelenksarthrodese bzw. einer Denervation versorgt. Dies zeigt einen Anteil von 41,7% der Patienten innerhalb der Rauchergruppe, die eine Komplikation erlitten hatten.

Operatives Vorgehen:

30 Patienten wurden mit Knochenspan, 9 zusätzlich mit Doppelgewindeschraube und 9 zusätzlich mit Kirschner-Draht versorgt (► **Abbildung 35**). Im Vergleich der unterschiedlichen OP-Methoden zueinander ($p \leq 0,323$), sowie zwischen der metallfreien Knochenspanversorgung (KS) und den Versorgungsmethoden mit zusätzlicher Stabilisierung durch Schraube oder K-Draht ($p \leq 0,852$; ► **Abbildung**

37), konnte für die Konsolidierungsdauer kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

In der Gruppe der Raucher war die Heilungsdauer bei der Knochenspanversorgung in Verbindung mit einer Schraube mit 7,6 Monaten durchschnittlich am längsten. Bei der reinen Knochenspanversorgung und der Versorgung zusätzlich mit Kirschner-Draht belief sich die Konsolidierungsdauer auf 6,7 bzw. 5,8 Monaten (► **Abbildung 36**).

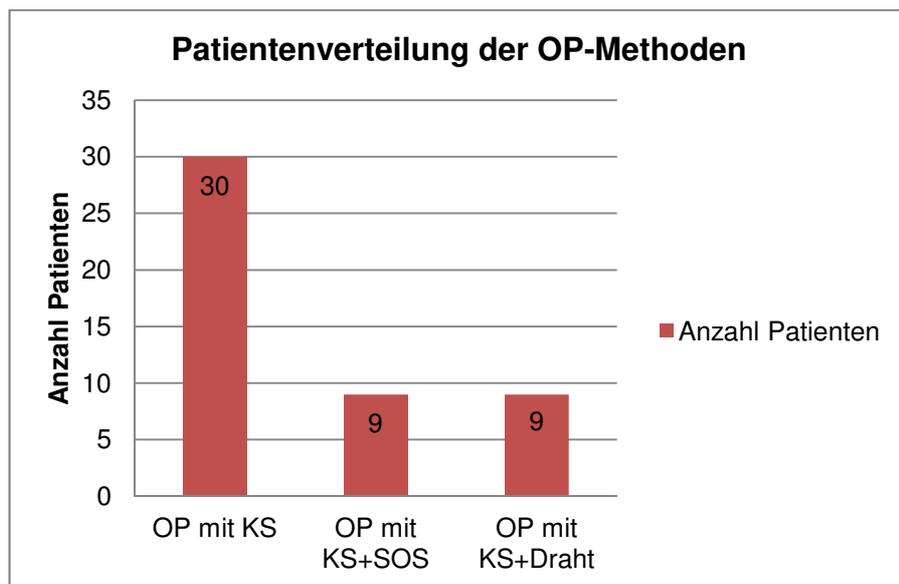


Abbildung 35: Patientenverteilung der OP-Methoden der Raucher; KS: Knochenspanversorgung, SOS: Schraubenosteosynthese, Draht: Kirschner-Draht; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

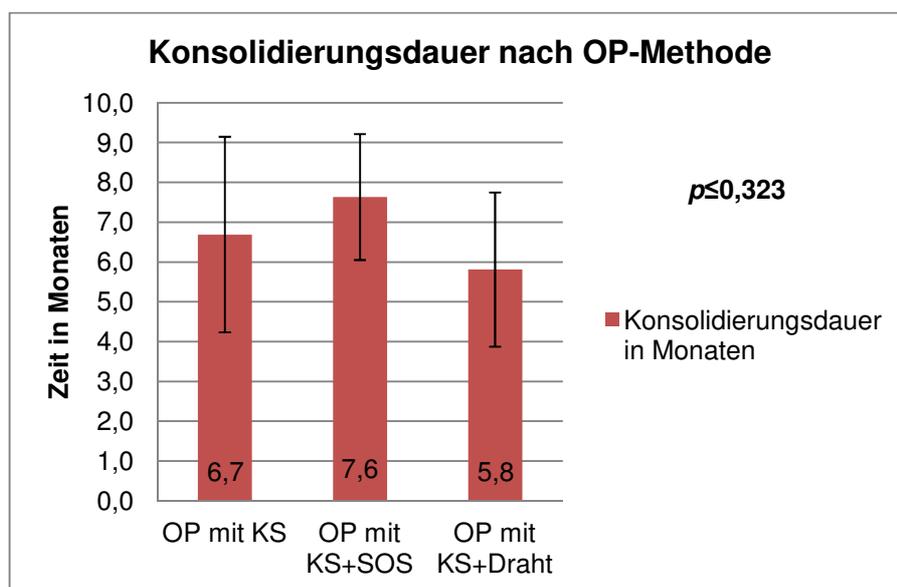


Abbildung 36: Konsolidierungsdauer Raucher nach OP-Methode; KS: Knochenspanversorgung, SOS: Schraubenosteosynthese, Draht: Kirschner-Draht; mit Standardabweichung; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

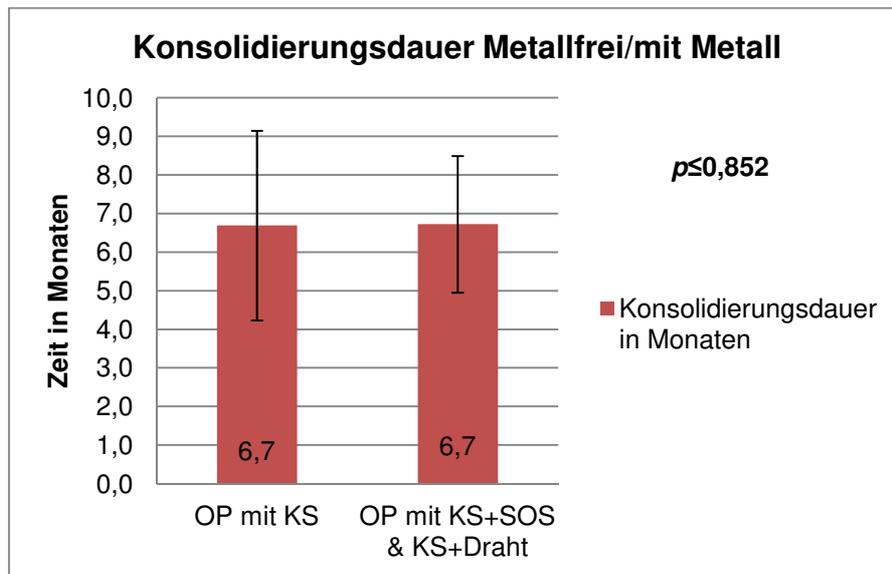


Abbildung 37: Konsolidierungsdauer Metallfrei/mit Metall Raucher im Vergleich; KS: Knochenspanversorgung, SOS: Schraubenosteosynthese, Draht: Kirschner-Draht; mit Standardabweichung; Untersuchung von 109 Patienten mit der Diagnose Skaphoidpseudarthrose, die zwischen den Jahren 2002-2012 in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikum Ulm operativ versorgt wurden.

Zusätzlich wurde die statistische Signifikanz bezüglich der Konsolidierungsdauer im Zusammenhang des Zigarettenkonsums der Patienten untersucht. Zu erwarten wäre eine signifikant verlängerte Konsolidierungsdauer bei stark rauchenden im Vergleich zu weniger stark rauchenden Patienten gewesen. Dies konnte über eine statistische Auswertung, mittels Korrelation nach Pearson, nicht bestätigt werden ($p \leq 0,458$; $r = -0,019$). r beschreibt hierbei die Stärke der Korrelation der beiden untersuchten Variablen, also die Stärke des Zusammenhangs. Dabei steht -1 bzw. 1 für einen perfekten und 0 für keinen Zusammenhang. In unserer Rechnung ist $r \approx 0$, was keinen Zusammenhang zwischen den beiden untersuchten Variablen, Konsolidierungsdauer und Zigarettenkonsum, anzeigt.

3.2. Experimentelle Analyse

Insgesamt nahmen an dieser Studie 20 Probanden teil. Dabei wurden 4 weibliche und 16 männliche Probanden gemessen und ausgewertet. Das Durchschnittsalter in dieser Gruppe betrug 26,4 Jahre (19-33 Jahre) und die Studienteilnehmer gaben an, im Mittel 9,3 Zigaretten (2-20 Zigaretten) täglich zu konsumieren.

3.2.1. tcpO₂-Messung

Die tcpO₂-Messung wurde, wie bereits beschrieben, über einen Zeitraum von 33 Minuten (3 Min. rauchen + 30 Min. Nachmessung) an 3 verschiedenen Messstellen durchgeführt. Die im Folgenden aufgeführten Werte müssen als kumulative Werte aller Probanden angesehen werden. Alle Messstellen im Vergleich zeigt ► **Abbildung 41**. Die S3-Kurve zeigte bis zu 4 Minuten einen Anstieg von 55 auf knapp 58 mmHg um darauf bis zur 9. Minute bis auf ca. 52 mmHg abzufallen. Ein weiterer Abfall begann in der 26. Minute. Dieser setzte sich bis in die 30. Minute auf einen Wert von ca. 46 mmHg fort (► **Abbildung 38**).

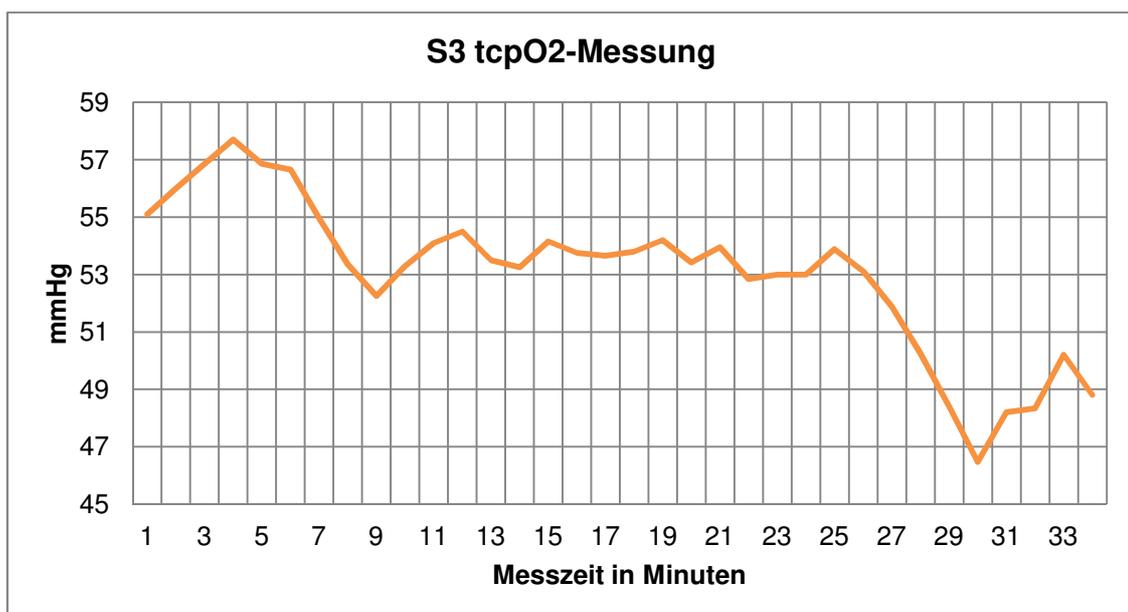


Abbildung 38: tcpO₂-Messung an Messstelle S3, Tabatière; Experimentelle Untersuchung von 20 Rauchern in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Ulm im Jahr 2014 bezüglich der Auswirkung von Tabakrauch auf die Durchblutung der Hand

Die Werteverläufe der Messstellen S1 und S2 wurden ebenfalls dargestellt (► **Abbildung 39**; ► **Abbildung 40**). In S2 stiegen die Werte bis zur Minute 6 auf knapp 74 mmHg an. Im weiteren Verlauf fiel die Kurve bis zur 24. Minute auf knapp 67 mmHg um anschließend wieder bis knapp 70 mmHg zum Ende der Messung hin anzusteigen. In S1 konnten wir zu Beginn ein ähnliches Bild sehen. Bis zur 3. Minute war ein Anstieg auf knapp 73 mmHg zu verzeichnen. Der darauf folgende Kurvenabfall verlief bis zur 9. Minute und somit in einem kürzeren Zeitraum als an den Messstellen S3 und S2 auf Werte um knapp 67 mmHg. Die Werte erholten sich kurzfristig auf ca. 70 mmHg bis zur 9. Minute, fielen dann aber bis zum Ende der Messung fast kontinuierlich auf ca. 66 mmHg ab.

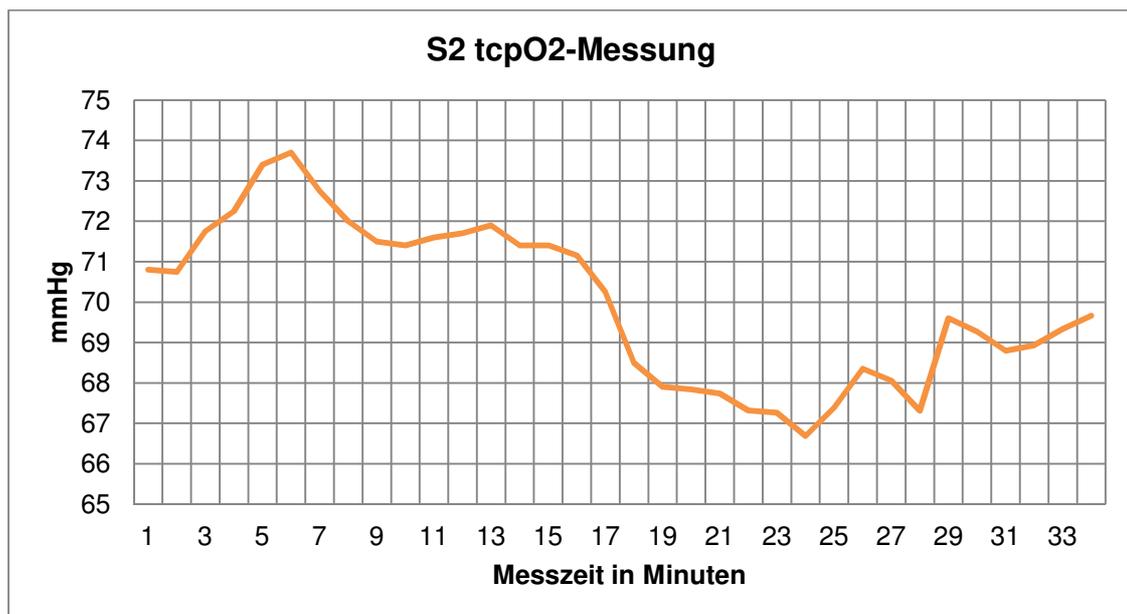


Abbildung 39: tcpO₂-Messung an Messstelle S2, prox. Kahnbeinpol; Experimentelle Untersuchung von 20 Rauchern in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Ulm im Jahr 2014 bezüglich der Auswirkung von Tabakrauch auf die Durchblutung der Hand

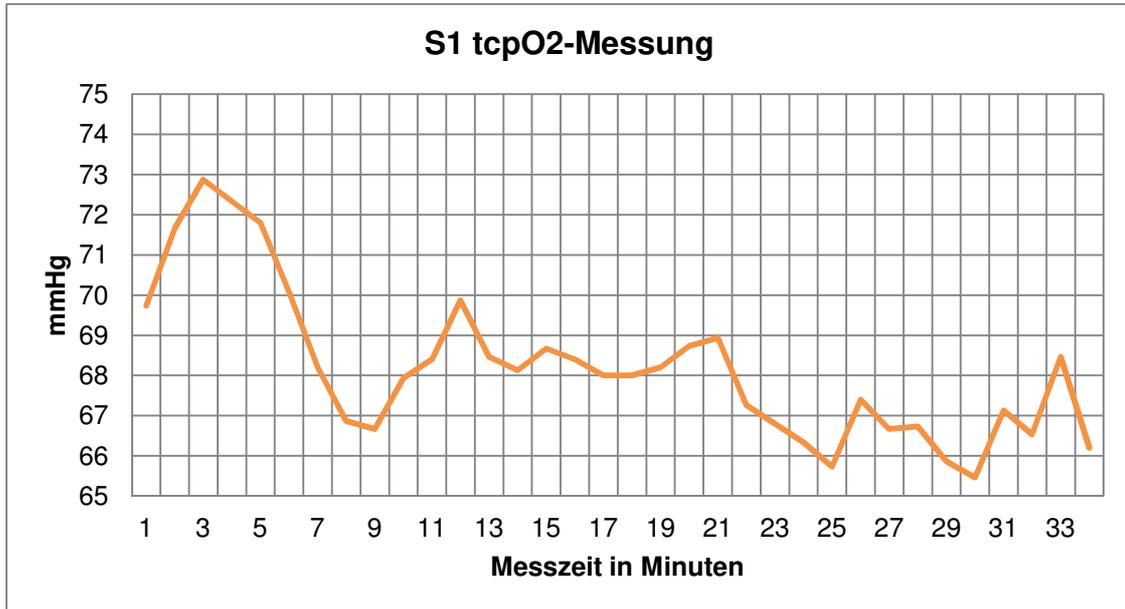


Abbildung 40: tcpO₂-Messung an Messstelle S1, Ellbeuge; Experimentelle Untersuchung von 20 Rauchern in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Ulm im Jahr 2014 bezüglich der Auswirkung von Tabakrauch auf die Durchblutung der Hand

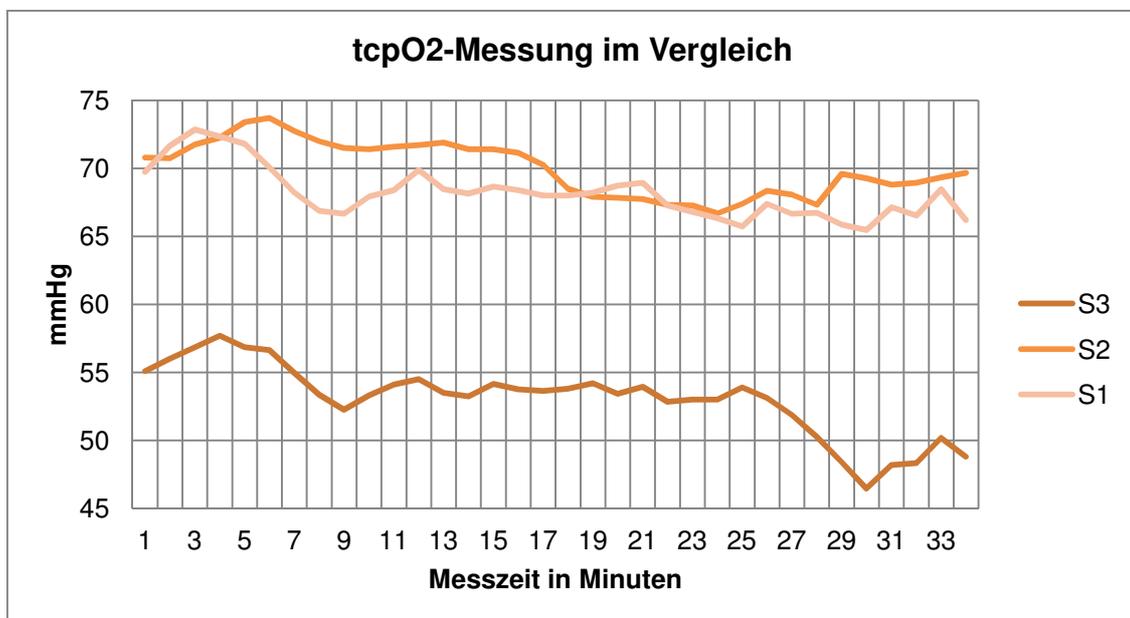


Abbildung 41: tcpO₂-Messung aller 3 Messstellen im Vergleich; Experimentelle Untersuchung von 20 Rauchern in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Ulm im Jahr 2014 bezüglich der Auswirkung von Tabakrauch auf die Durchblutung der Hand

Zur Auswertung wurde die maximale Differenz (zwischen Minute 4 und Minute 30) der tcpO₂-Werte herangezogen und ein linearer Abfall der Werte angenommen.

Es konnte eine signifikante Korrelation im Bezug auf einen linearen Zusammenhang des Werteabfalls nach Zigarettenkonsum gegenüber der Zeit an der Messstelle S3 nachgewiesen werden ($r=-0,81$; $p\leq 0,001$). An den beiden Kontrollmessstellen S1 und S2 wurde dies ebenfalls festgestellt (S1: $r=-0,75$; $p\leq 0,001$; S2: $r=-0,68$; $p\leq 0,001$; ► **Tabelle 5**). Hierbei beschreibt r , wie bereits schon erwähnt, die Stärke des Zusammenhangs.

Tabelle 5: p -Werte der einzelnen Messstellen; Korrelation r zur Messzeit

Messstelle	p -Wert	Korrelationskoeffizient r
S3	$\leq 0,001$	-0,81
S2	$\leq 0,001$	-0,75
S1	$\leq 0,001$	-0,68

Bei S3 kann von einem starken Zusammenhang ($r=-0,81$) gesprochen werden. Die ermittelte Korrelation an den Messstellen S2 bzw. S1 kann als mittlerer Zusammenhang gewertet werden (S2: $r=-0,75$; S3: $r=-0,68$; ► **Tabelle 5**).

Durch das Auftreten eines zweigeteilten Abfalls in S3 (► **Abbildung 38**) in Minute 9, sowie Minute 30, wurde der statistische Zusammenhang dieser beiden Abfallszeitpunkte mit dem Ausgangszeitpunkt untersucht. Dabei wurde Minute 4 als Zeitpunkt 1 bei 58 mmHg, Minute 9 als Zeitpunkt 2 mit 52 mmHg und Minute 30 als Zeitpunkt 3 mit 46 mmHg festgelegt.

Die Signifikanz zwischen Zeitpunkt 1 und 3 konnte bestätigt werden ($p\leq 0,006$). Dies deckt sich mit der vorherigen Untersuchung zum Nachweis des signifikanten Abfalls an der Messstelle S3. Ebenso konnte zwischen Zeitpunkt 1 und 2 ein signifikanter Abfall ermittelt werden ($p\leq 0,025$). Der 2. Abfall zwischen Zeitpunkt 2 und 3 ist in unserer Auswertung nicht signifikant ($p\leq 0,313$).

Tabelle 6: Zuordnung der Zeitpunkte; tcpO2: transkutane Sauerstoffpartialdruck in mmHg

	Messzeit	tcpO2
Zeitpunkt 1	4. Minute	58 mmHg
Zeitpunkt 2	9. Minute	52 mmHg
Zeitpunkt 3	30. Minute	46 mmHg

Tabelle 7: p-Werte im Vergleich der 3 Messzeitpunkte; Zeitpunkt 1: Minute 4, Zeitpunkt 2: Minute 9, Zeitpunkt 3: Minute 30

	Zeitpunkt 2	Zeitpunkt 3
Zeitpunkt 1	$p \leq 0,025$	$p \leq 0,006$
Zeitpunkt 2	-	$p \leq 0,313$

Zusätzlich wurde mittels Korrelationsanalyse ein Zusammenhang zwischen dem Abfall des transkutanen Sauerstoffpartialdrucks und des Zigarettenkonsums der Probanden untersucht. Dabei gingen wir von einem signifikant erhöhten Abfall der transkutanen Sauerstoffpartialdruckwerte bei starken gegenüber schwachen Rauchern aus. Dieser Zusammenhang ließ sich allerdings nicht bestätigen ($p \leq 0,776$; $r = 0,068$). r stellt hierbei die Korrelation, also die Stärke des Zusammenhangs dar.

3.2.2. SpO2- und Herzfrequenz-Messung

Der SpO2 sinkt im Durchschnitt in den ersten 10 Minuten um einen Prozentpunkt ab, stabilisiert sich dann aber zwischen 98% und 98,5% (► **Abbildung 42**). Die Herzfrequenz steigt durchschnittlich zu Beginn der Messung stark an, sinkt nach ca. 4 Minuten aber wieder kontinuierlich ab (► **Abbildung 43**).

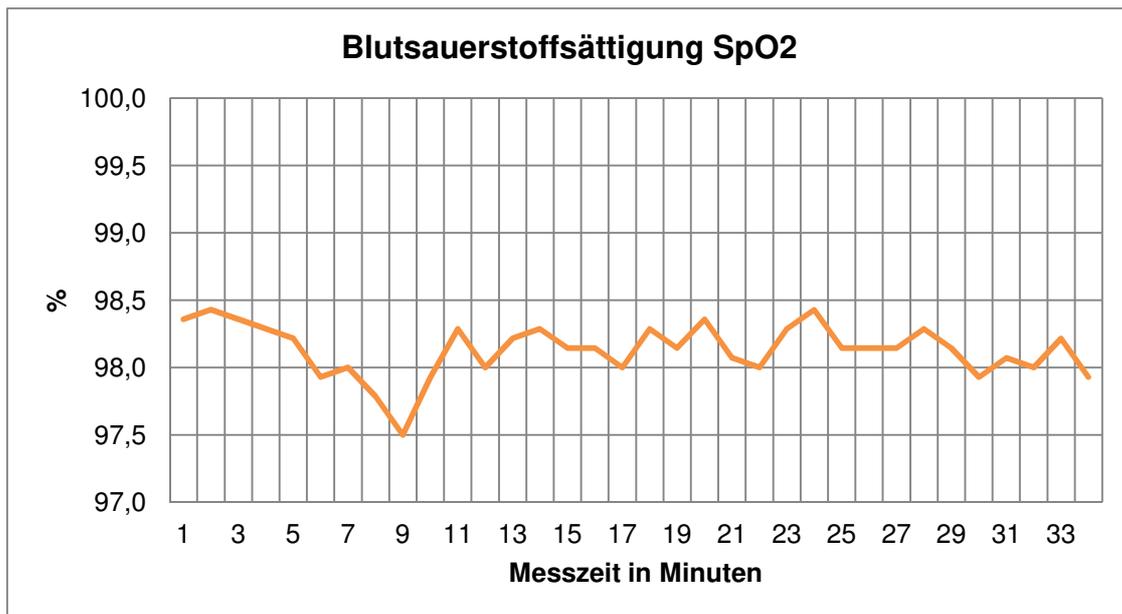


Abbildung 42: Blutsauerstoffsättigung SpO2 während der Messung; Experimentelle Untersuchung von 20 Rauchern in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Ulm im Jahr 2014 bezüglich der Auswirkung von Tabakrauch auf die Durchblutung der Hand

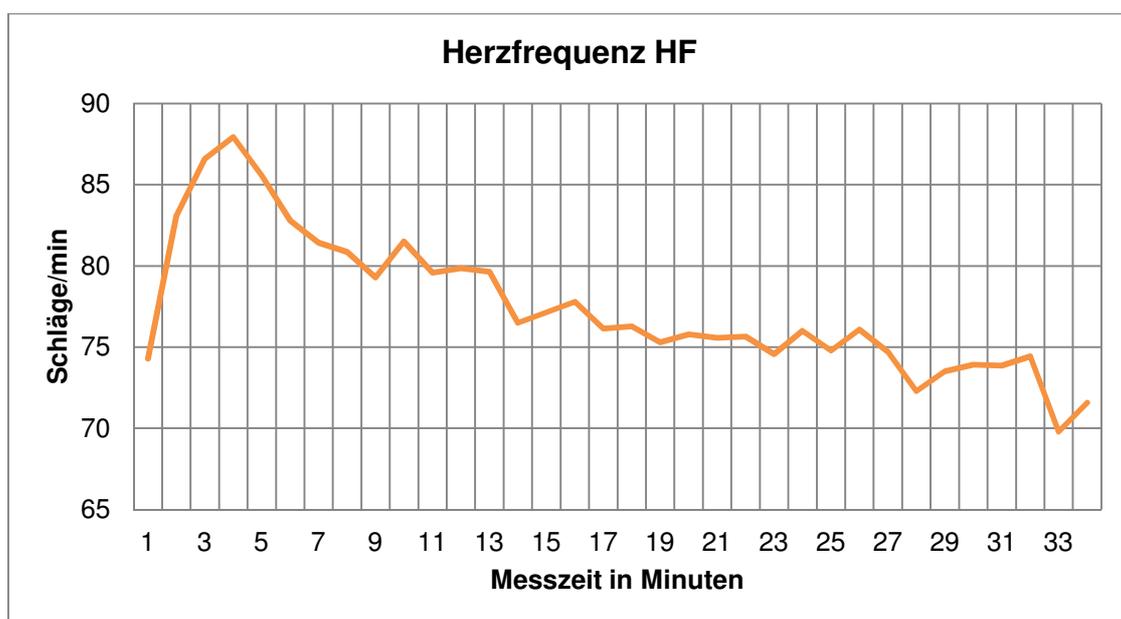


Abbildung 43: Herzfrequenz HF während der Messung; Experimentelle Untersuchung von 20 Rauchern in der Handchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Ulm im Jahr 2014 bezüglich der Auswirkung von Tabakrauch auf die Durchblutung der Hand

4. DISKUSSION

4.1. Retrospektive Analyse

Zur Prüfung eines nachteiligen Effekts des Rauchens auf die Knochenheilung am Skaphoid bei Skaphoidpseudarthrose sollte die retrospektive Analyse dieser Arbeit dienen. Bisher konnten die schädigenden Auswirkungen des Rauchens vor allem anhand Untersuchungen bei drittgradig offenen Unterschenkelfrakturen belegt werden [14]. An der Hand und im speziellen am os scaphoideum wurde die schädliche Wirkung des Rauchens bisher nicht näher untersucht.

In unserer retrospektiven Analyse konnten wir unsere Hypothese als bestätigt ansehen. Dabei gingen wir davon aus, dass Raucher gegenüber Nichtrauchern nach operativer Versorgung einer Kahnbeinpseudarthrose eine verlängerte Konsolidierungsdauer aufweisen. Die Untersuchung ergab eine Signifikanz im Vergleich der Konsolidierungsdauer zwischen Nichtrauchern und Rauchern. Einen weiteren Effekt stellt die Auswahl des operativen Vorgehens dar. Hierbei konnte zwar weder in der Gruppe der Raucher noch der Nichtraucher eine signifikant kürzere Konsolidierungsdauer einer speziellen OP-Methode gezeigt werden, jedoch ließ sich eine Tendenz hinsichtlich des verwendeten OP-Verfahrens mit kürzeren Konsolidierungsdauern für die additive Kirschnerdrahtosteosynthese finden (Raucher: $p \leq 0,323$; Nichtraucher: $p \leq 0,093$). Komplikationen im Sinne von Rezidivpseudarthrosen, Wundheilungsstörungen, sowie behandlungsbedürftige Radiocarpalarthrosen (Denervation, [Teil-]arthrodese, Proximal Row Carpectomy [=Operative Entfernung der körpernahen Handwurzelreihe]) wurden bei den Rauchern signifikant häufiger beobachtet und spiegeln die durch die Durchblutungsreduktion verminderte Heilungstendenz wider ($p \leq 0,001$). Ebenso war die Zeit, die zwischen Unfallereignis und operativer Versorgung verging, laut statistischer Analyse nicht ausschlaggebend für eine verkürzte Ausheilungsphase ($p \leq 0,117$). Somit kann in unserem Fall weder einer zeitnahen noch einer abwartend verzögerten Therapie eine prognostische Verbesserung zugesagt werden. Jedoch sollte im Zuge einer Verminderung des Arthroserisikos im Sinne eines SNAC-wrist eine zeitnahe Therapie nach Diagnosestellung erfolgen.

4.1.1. Konsolidierungsdauer

Der signifikante Nachweis einer bei Rauchern erhöhten Konsolidierungsdauer konnte in dieser Arbeit durch die Untersuchung von insgesamt 109 Patienten erbracht werden ($p \leq 0,001$; ► **Abbildung 23**). Komplikationen traten bei Rauchern ebenfalls signifikant häufiger auf, was in einer schlechteren Perfusion begründet sein kann ($p \leq 0,001$; ► **Abbildung 24**).

Im Vergleich der Werteverteilung der Konsolidierungsdauer bei Rauchern und Nichtrauchern konnte festgestellt werden, dass die Messwerte der Rauchergruppe eine größere Streuung aufwiesen, als dies in der Nichtrauchergruppe der Fall war (► **Abbildung 23**).

Weiter wurde der Zusammenhang zwischen Rauchmenge der Patienten und der Konsolidierungsdauer untersucht, was sich jedoch als nicht signifikantes Merkmal herausstellte ($p \leq 0,458$). Somit kann keine direkte Beziehung zwischen den beiden Variablen nachgewiesen werden. Nach diesen Ergebnissen scheint es, dass eine Reduktion des Rauchens statistisch gesehen nicht mit einer Reduktion der Konsolidierungsdauer einhergehen muss. Ein kompletter Rauchverzicht, wie das Ergebnis der Nichtraucher beweist, erhöht jedoch die Wahrscheinlichkeit auf einen komplikationslosen und schnelleren Heilungsverlauf. Welcher zeitliche Abstand vor und nach der Operation für einen Rauchverzicht sinnvoll erscheint, muss weiter geklärt werden. Dabei muss die Frage gestellt werden, ob kurzfristige Rauchabstinenz ebenso positive Effekte in Bezug auf die Konsolidierungsdauer zeigt, wie dies bei längerfristigem Rauchverzicht der Fall wäre. Außerdem wäre in diesem Zuge eine Ermittlung des optimalen Zeitraums einer Rauchabstinenz, wenn denn auf Rauchen nicht dauerhaft verzichtet werden kann, ein interessanter Aspekt.

Der zeitliche Abstand zwischen dem Unfallereignis und der definitiven operativen Versorgung konnte in unseren Untersuchungen nicht als ausschlaggebendes Kriterium für eine kürzere Heilungsdauer herangezogen werden. Es zeigt sich zwar eine Tendenz, allerdings war dies statistisch signifikant nicht zu zeigen ($p \leq 0,117$). Möglicherweise ist dieser Effekt vorhanden, kann aber in unserem Patientenkollektiv nicht bestätigt werden.

4.1.2. OP-Methoden

Wir konnten im statistischen Vergleich der OP-Methoden weder in der Raucher- ($p \leq 0,323$) noch in der Nichtrauchergruppe ($p \leq 0,093$) einen signifikanten Unterschied nachweisen. Nach diesem Ergebnis sind statistisch alle Versorgungsmethoden in Bezug auf die Konsolidierungsdauer als gleichwertig anzusehen. Auch im Vergleich von metallfreier Versorgung und Versorgung mittels Doppelgewindeschraube und additiver Kirschnerdrahtosteosynthese zusammengefasst, konnte bei den Rauchern ($p \leq 0,852$) sowie den Nichtrauchern ($p \leq 0,077$) keine Signifikanz festgestellt werden. Wenngleich lässt sich jedoch bei den Nichtrauchern eine Tendenz zugunsten der Versorgung mittels Doppelgewindeschraube oder Kirschner-Draht erkennen. Möglicherweise kommt diese Tendenz aufgrund einer höheren Stabilität der Knochenfragmente zustande. Weniger Bewegungen und erhöhte Kompression der Knochenfragmente gegeneinander könnten die Heilungsdauer verkürzen. Bei den Rauchern sowie den Nichtrauchern lässt die Versorgung mittels additiver K-Drahtosteosynthesen die kürzesten Konsolidierungsdauern finden. Eigentlich müssten durch die Rotationsstabilität, wie sie durch die Doppelgewindeschraube erreicht werden kann, die kürzeren Konsolidierungsdauern möglich sein. Dies kann jedoch aus unseren Daten nicht abgeleitet werden. Ein Grund für die doch tendenziell längere Dauer könnte möglicherweise der erhöhte Fremdkörperanteil einer Doppelgewindeschraube im Vergleich zu einem K-Draht sein. Um diesen Tendenzen und Annahmen weiter nachgehen zu können bedarf es weiterer Klärung. Durch größere und homogenere Stichproben könnte auch der Nachweis eines Unterschieds zwischen den Versorgungsmethoden gelingen, der aus diesem Datensatz nicht abzuleiten war. Den Nachweis eines signifikanten Unterschiedes in den verschiedenen Versorgungsmethoden bleibt somit weiteren Untersuchungen vorbehalten und kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.

4.2. Experimentelle Analyse

Frischer Zigarettenrauch, als mutmaßliche Ursache für die in dieser Arbeit nachgewiesenen Effekte, besteht aus vielen verschiedenen flüssigen und gasförmigen Bestandteilen. Als wichtigste Bestandteile sind dabei Nikotin und Kohlenmonoxid (CO) zu erwähnen [14]. Die vasokonstriktorische Wirkung an der Hand wurde schon 1909 von Bruce et. al. mit Hilfe verschiedener Experimente beschrieben. Die Herzfrequenz, der Blutdruck und das Volumen der Hand (gemessen mit einem Plethysmographen) wurden in dieser Arbeit im Zusammenhang mit Zigarettenrauch an zwei gesunden 21-jährigen Männern untersucht und ausgewertet [5]. Verantwortlich für diesen Effekt ist das Nikotin durch Stimulation von sympathischen Ganglien, sowie dem Nebennierenmark, und dem damit einhergehenden Anstieg von Adrenalin und Noradrenalin [8]. Dieser Anstieg von Katecholaminen sinkt nach Rauchende innerhalb von 10 Minuten wieder auf das Ausgangsniveau ab [14]. Kohlenmonoxid (CO) tritt beim Rauchen in den Lungenkapillaren in Konkurrenz mit Sauerstoff (O₂) und bindet ca. 300 Mal stärker an Hämoglobin als O₂. Die Oxyhämoglobindissoziationskurve verschiebt sich ebenfalls und erschwert die Sauerstoffabgabe im peripheren Gewebe, was wiederum zu Hypoxie führt [6, 28]. Das Rauchen einer Zigarette über 10 Minuten führt zu einer Verringerung der O₂-Spannung für 1 Stunde. Vermutlich besteht bei Rauchern, die täglich eine Schachtel Zigaretten konsumieren, eine permanente Gewebehypoxie [15]. Erschwerend besteht bei Rauchern eine Entmineralisierung der Knochen und während der Knochenheilung eine verzögerte Revaskularisation [14].

Offen bleibt, welche der verschiedenen beschriebenen Effekte des Zigarettenrauchs für die Heilungsverzögerung verantwortlich gemacht werden können und welche zu vernachlässigen sind. Dass die Durchblutung sicherlich einen entscheidenden Teil beiträgt, wird aus dem vasokonstriktiven Effekt des Nikotins sowie der hypoxischen Problematik durch Bindung von CO an Hämoglobin ersichtlich, die mit der Perfusion eng zusammenhängen.

Den Nachweis zur Verringerung der Durchblutung in der Hand oder den Fingern wurde bisher mit verschiedenen technischen Möglichkeiten geführt. 1974 wurde

von Sarin et. al. mit Hilfe der Doppler-Sonographie eine Reduktion des Blutflusses in Blutgefäßen der Finger nach Konsum einer Zigarette festgestellt [33]. Acevedo und Schnell untersuchten 1975 den Einfluss von Tabakkonsum auf die Fingerdurchblutung bei Probanden mit und ohne Diabetes mittels eines Fingerplethysmographen. Sie zeigten einen erhöhten Abfall der Durchblutung an 20 gesunden Probanden gegenüber 10 Diabetikern, die schon in Ruhe eine herabgesetzte Durchblutung aufwiesen [2]. Über die sogenannte Venenverschlussplethymographie ermittelte Shepherd 1951 und Ludbrook et. al. 1974 die Durchblutung der Hand nach Zigarettenkonsum. Shepherd wies einen Abfall der Durchblutung von durchschnittlich 54% bei einer Rauchfrequenz von 3 Zügen pro Minute, mit Hilfe von 6 Probanden, nach [38]. Ludbrook et. al. bestätigten eine Abnahme der Durchblutung von durchschnittlich 16-27% mit 15 Probanden und einer Rauchfrequenz von 1-3 Zügen pro Minute [24].

Unsere Untersuchung kann den Nachweis einer signifikanten Durchblutungsreduktion über die von uns erfasste halbe Stunde der Messung nach Zigarettenkonsum erbringen und somit die von uns aufgestellte Hypothese mit einem statistisch signifikanten Ergebnis bestätigen. Mit dieser Hypothese gingen wir von einer messbaren Reduktion der Perfusion des Kahnbeins bei Rauchern nach Konsum einer Zigarette im Vergleich zu Nichtrauchern aus. Bei einer Halbwertszeit von 2 Stunden für Nikotin könnten Wirkungen aber möglicherweise auch nach Abbruch unserer Messung registriert werden [16]. Im Kontrast dazu steht die Aussage, dass die messbare Wirkung des Nikotins in Form des Katecholaminanstiegs nach 10 Minuten bereits wieder abklingt [14]. Dies ist auch mit den ermittelten Ergebnissen aus der experimentellen Analyse unserer Arbeit zu bestätigen. Dabei konnten wir nachweisen, dass neben einer Signifikanz des Abfalls zum Zeitpunkt 3 (ca. 30. Minute), eine Signifikanz zum Abfall zum Zeitpunkt 2 (ca. 9. Minute) gemessen zum Ausgangswert, besteht. Dies bestätigt den bereits beschriebenen Katecholamineffekt und deckt sich mit bereits beschriebenen Arbeiten anderer Autoren. Den Abfall, den wir nach ca. 30 Minuten messen konnten, muss somit höchstwahrscheinlich an anderen Mechanismen oder Noxen, die mit dem Zigarettenrauch zusammenhängen, festgemacht werden. Diese waren jedoch nicht Gegenstand der hier vorliegenden Arbeit.

4.2.1. Transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung (tcpO₂)

In dieser Arbeit wurde die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung (tcpO₂) zum Nachweis einer Durchblutungsabnahme verwendet, welche in den vorangegangenen Arbeiten zur Messung der Durchblutungsänderung von Hand und Fingern keine Verwendung fand. Mit dieser Technik war es uns möglich den Messpunkt direkt über der Haut des Kahnbeins zu platzieren, um die für unsere Fragestellung notwendige Nähe zum Untersuchungsgebiet zu ermöglichen.

Einschränkend muss angemerkt werden, dass wir bei dieser Technik besonders gegen Lagewechsel der Extremität Störungsanfälligkeit feststellen mussten. Dies wurde von uns durch einige Provokationsmanöver im Vorfeld getestet. Um diese Störgröße möglichst gering zu halten wurden die Probanden über die Störanfälligkeit aufgeklärt. Der Untersucher achtete exakt darauf möglichst wenig Bewegung am Untersuchungsarm des Probanden zuzulassen.

Insgesamt stellt die von uns angewandte Technik der transkutanen Sauerstoffpartialdruckmessung bezüglich der Rahmenbedingungen ein sehr störanfälliges System dar. Wie bereits beschrieben versuchten wir diese Störungen möglichst durch standardisierte Versuchsdurchführung und weitere Vorkehrungen so gering wie möglich zu halten. Natürlich bildet die verwendete Technik der Durchblutungsmessung nur indirekt die Durchblutung am Kahnbein ab. Einschränkend muss dazu gesagt werden, dass die von uns verwendeten Werte des Sauerstoffpartialdrucks im eigentlichen Sinne den Sauerstoffpartialdruck der Haut und somit die Durchblutung der Haut abbilden. So konnte mit der von uns verwendeten Methode zwar eine mögliche Tendenz der Durchblutung ermittelt, jedoch abschließend keine quantitative Aussage über die Knochendurchblutung gemacht werden.

Es konnte an allen 3 Messstellen ein signifikanter Abfall gemessen und somit eine Reduktion der Durchblutung nachgewiesen werden. Eine exakte Aussage, bezüglich der Perfusion am Skaphoid, konnte mit der angewandten Methode jedoch nicht abschließend beurteilt werden. Dazu sind weitere Methoden notwendig. Eine gewisse Tendenz ließ sich in dieser Arbeit jedoch auch mit der von uns angewandten Methode erkennen.

4.2.2. Reduktion der Durchblutung nach Tabakkonsum

Bei der statistischen Auswertung der transkutanen Sauerstoffpartialdruckwerte (tcpO₂) nahmen wir eine lineare Abnahme der Durchblutung und somit des Sauerstoffpartialdrucks an. Bei genauer Betrachtung verlief der Abfall aber in 2 getrennten Episoden. Der 1. Abfall konnte ab Messminute 9 (Zeitpunkt 2), der 2. Abfall ab Messminute 30 (Zeitpunkt 3) registriert werden. Zwischen diesen beiden Abfallpunkten war der Werteverlauf auf einem stabilen Niveau zu registrieren. Der Anstieg von Katecholaminen über die Sympathikusaktivierung fiel laut einer Arbeit aus dem Jahre 2002 nach 10 Minuten wieder auf das Ausgangsniveau zurück [14]. Der von uns registrierte 2. Abfall konnte somit nicht auf die vasokonstriktorische Wirkung der Katecholamine zurückgeführt werden. Es musste davon ausgegangen werden, dass die 2. Abfallepisode auf weitere Noxen des Zigarettenrauchs, die bereits beschrieben wurden, zurückzuführen waren. Eine genaue Identifizierung der Noxe(n) war nicht Teil dieser Arbeit und konnte somit in diesem Zusammenhang nicht abschließend geklärt werden.

In den ersten 3 Minuten der Messung, während des Rauchens, konnte eine Zunahme von 3 mmHg des Sauerstoffpartialdrucks gemessen werden. Diese Zunahme wurde bis zur 6. Minute aber bereits wieder auf das Ausgangsniveau zurückgeführt. Diese Zunahme war für uns am ehesten mit der Hyperventilation während des Rauchens vereinbar.

Das Ausmaß des Zigarettenkonsums konnte in keinen Zusammenhang mit der Durchblutungsabnahme gebracht werden ($p \leq 0,776$). Dies bedeutet, dass bei Probanden mit einem hohen täglichen Zigarettenkonsum nicht auf einen signifikant erhöhten Abfall der Durchblutung geschlossen werden kann. Bei tatsächlichem Bestehen eines solchen Zusammenhangs ist zum Nachweis eine größere Stichprobe notwendig, die für unsere Auswertung nicht zur Verfügung stand.

Allgemein muss angemerkt werden, dass Aussagen, die wir bezüglich der Durchblutungsreduktion am Kahnbein in der vorliegenden Arbeit trafen, durch die Stichprobe von 20 Probanden limitiert erscheint, aber eine Tendenz erkennen bzw. vermuten lässt. In den bereits angeführten Arbeiten wurde der Nachweis

einer Durchblutungsreduktion mit 20, 6 und 15 Probanden erbracht [24, 33, 38]. Somit scheint die vorliegende Arbeit mit den bereits durchgeführten Untersuchungen vergleichbar. Der Vorteil der in unserer Arbeit verwendeten Technik zur Durchblutungsermittlung ergab sich durch die direkte Nähe zum Untersuchungsgebiet. Dies war in den vorangegangenen Arbeiten technikbedingt nur indirekt möglich.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit war es zu klären, ob sich hinsichtlich der Konsolidierungsdauer beim Vergleich von Rauchern und Nichtrauchern nach Versorgung von Kahnbeinpseudarthrosen der Hand eine verlängerte Dauer für Raucher ergibt. Ebenso wurde in einem zweiten, experimentellen Ansatz die Frage geklärt, ob es durch Nikotinkonsum zu einer Reduktion der Durchblutung am os scaphoideum kommt.

Im Rahmen einer retrospektiven Analyse wurden 109 Patienten, davon 61 Raucher und 48 Nichtraucher, mit operativer Versorgung bei Kahnbeinpseudarthrose untersucht. Dabei wurden die Konsolidierungsdauer und Komplikationsrate nach erfolgter operativer Versorgung statistisch ausgewertet. Die Konsolidierungsdauer am Kahnbein ist bei Rauchern mit 6,7 (3-24) Monaten signifikant länger als bei Nichtrauchern mit 3,6 (2-9) Monaten ($p \leq 0,001$).

Die 3 operativen Versorgungsmethoden bei der Kahnbeinpseudarthrose, die im Patientenkollektiv dieser Arbeit Anwendung fanden, wurden bezüglich Konsolidierungsdauer in der Raucher- ($p \leq 0,323$) und Nichtrauchergruppe ($p \leq 0,093$) statistisch gegeneinander verglichen. Zusätzlich untersuchten wir die metallfreie Versorgung gegenüber der Versorgung mit Doppelgewindeschraube und Kirschner-Draht (Raucher: $p \leq 0,852$; Nichtraucher: $p \leq 0,077$). Dabei war keine statistische Signifikanz bezüglich der Konsolidierungsdauer nachzuweisen. Die Versorgung mittels Knochenspan und additiver Kirschnerdrahtosteosynthese stellte sich in der Raucher- sowie der Nichtrauchergruppe mit 5,8 bzw. 3,1 Monaten als Versorgung mit der kürzesten Konsolidierung, jedoch nicht signifikant ($p \leq 0,208$), heraus.

Im Rahmen einer experimentellen Analyse wurde bei 20 Probanden die Durchblutung am Kahnbein mittels transkutaner Sauerstoffpartialdruckmessung (tcpO₂) untersucht. In die Studie wurden Raucher im Alter zwischen 18 und 35 Jahren und einem Zigarettenkonsum zwischen 2 und 20 Zigaretten täglich

eingeschlossen. Nach dem Konsum einer Zigarette wurde 30 Minuten lang an 3 Messstellen transkutan der Sauerstoffpartialdruck im Gewebe gemessen. Eine Messstelle direkt über dem Kahnbein, eine am distalen Kahnbeinpol und eine weitere an der Ellbogenbeugeseite. Die Messstelle am Kahnbein stellte die zum Nachweis unserer Hypothese entscheidende Messstelle dar. Wir wiesen einen signifikanten Abfall des Sauerstoffpartialdrucks von durchschnittlich 9 mmHg über dem Kahnbein (Messstelle S3) innerhalb unserer 30 Minuten Messzeit nach (S3: $p \leq 0,001$). Die statistische Signifikanz konnte für die beiden weiteren Messstellen ebenfalls erbracht werden (S2: $p \leq 0,001$; S1: $p \leq 0,001$).

Die sympathische Aktivierung über die Aufnahme des Nikotins als Bestandteil des Tabakrauchs konnten wir über die Reduktion der transkutanen Sauerstoffpartialdruckmessung am Kahnbein als vasokonstriktorisches Effekt und einer Herzfrequenzsteigerung nach Zigarettenkonsum feststellen.

Auch wenn das System zur Messung der Durchblutung in unserem Falle keine quantitative Aussage bezüglich der Reduktion der Durchblutung am Knochen geben konnte, so lässt sich zusammenfassend eine Tendenz hinsichtlich eines vasokonstriktorisches Effektes, wohl auch am Kahnbein, erkennen.

Unter der Gruppe der Nichtraucher ergab sich für die Konsolidierungsdauer eine positive Tendenz, die eine Versorgung mittels zusätzlicher Doppelgewindeschraube oder K-Draht nahelegt. Diesen Zusammenhang näher zu beleuchten bedarf es weiterer Untersuchungen mit größeren und homogeneren Stichproben.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. Abrams, R.A., B.D. Adams, und E. Akelman. „Hand Surgery.“ S. 275-285. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2004.
2. Acevedo, A., und A. Schnell. „Effect of cigarette smoking upon the finger circulation in normal and diabetic subjects.“ *Basic Res Cardiol*, 1975: S. 350-353.
3. Bortz, J. „Statistik.“ S. 285-304. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2005.
4. Bruce, C.W., J.R. Miller, und D.R. Hooker. „The effect of smoking upon the blood pressure and upon the volume of the hand.“ *Am J Physiol* 24, 1909: S. 104.
5. Castleden, C.M., und P.V. Cole. „Variations in carboxyhemoglobin levels in smokers.“ *Br Med J* 4, 1974: S. 736-738.
6. Coblenz, G., G. Christopoulos, und S. Frohner. „Scaphoid fracture and nonunion: current status of radiological diagnostics.“ *Radiologe* 46, 2006: S. 664-676.
7. Cryer, P.E., M.W. Haymon, J.V. Santiago, und S.D. Shah. „Norepinephrine and epinephrine release and adrenergic mediation of smoking-associated hemodynamic and metabolic events.“ *N Engl J Med* 295, 1976: S. 573-577.
8. Cunningham, D.J. *Textbook of Anatomy*. New York: William Wood and Co., 1903; "Clipart courtesy FCIT", http://etc.usf.edu/clipart/54600/54663/54663_scaphoid.htm.
9. Dias, J.J., M. Taylor, und J. Thompson. „Radiographic signs of union of the scaphoid fractures. An analysis of inter-observer agreement and reproducibility.“ *J Bone Joint Surg Br* 70, 1988: S. 299-301.
10. Gelberman, R.H., und J. Menon. „The vascularity of the scaphoid bone.“ *J Hand Surg Am* 5, 1980: S. 508-513.
11. Herbert, T.J. *The fractured scaphoid*. St. Louis: Quality Medical, 1990.
12. Herbert, T.J., und W.E. Fisher. „Management of the fractured scaphoid using a new bone screw.“ *J Bone Joint Surg Br* 66, 1984: S. 114-123.
13. Hoogendoorn, J.M., R.K.J. Simmermacher, P.P.A. Schellekens, und C. van der Werken. „Rauchen ist nachteilig für die Heilung von Knochen und Weichteilen.“ *Unfallchirurg* 105, 2002: S. 76-81.
14. Jensen, J.A., W.H. Goodson, und H.W. Hopf. „Cigarette smoking decreases tissue oxygen.“ *Arch Surg* 126, 1991: S. 1131-1134.

15. Karow, T., und R. Lang-Roth. „Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie.“ S. 1220, 1221. Köln, 2012.
16. KLS Martin Group. *KLS Martin Group*. Mai 2013.
<http://www.klsmartin.com/products/implants-and-implant-systems/hand-surgery-traumatology/hand-surgery/hbs-2/?L=2typo3temp%2Fpics%2F8079d4eaba.jpg> (Zugriff am 5. Juli 2014).
17. Krimmer, H. „Kahnbeinfraktur - Diagnostik und Therapie - aktueller Stand.“ *Obere Extremität 2*, 2010: S. 98-105.
18. Krimmer, H., R. Schmitt, und T. Herbert. „Kahnbeinfrakturen - Diagnose, Klassifikation und Therapie.“ *Unfallchirurg 103*, 2000: S. 812-819.
19. Krimmer, H., und U. Lanz. „Der posttraumatische karpale Kollaps - Verlauf und Therapiekonzept.“ *Unfallchirurg 103*, 2000: S. 260-266.
20. Kruskal, W. H. „Historical Note on the Wilcoxon unpaired two-sample test.“ *J Am Stat Assoc*, 1957: S. 356-360.
21. Kusano, N., Y. Churei, E. Shiraishi, und T. Kusano. „Diagnosis of occult carpal scaphoid fracture: a comparison of magnetic resonance imaging and computed tomography techniques.“ *Tech Hand Up Extrem Surg 6*, 2002: S. 119-123.
22. Lozano-Calderon, S., P. Blazar, und D. Zurakowski. „Diagnosis of scaphoid fracture displacement with radiography and computed tomography.“ *Bone Joint Surg Am 88*, 2006: S. 2695-2703.
23. Ludbrook, J., A. H. Vincent, und J. A. Walsh. „The effects of sham smoking and tobacco smoking on hand blood flow.“ *Aust J Exp Biol Med Sci*, 1974: S. 285-290.
24. Mann, H., und D. Whitney. „On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other.“ *Ann Math Statist 18*, 1947: S. 50-60.
25. Martini, A.K., und M. Schiltenswolf. „Das Schicksal des Handgelenkes beim spontanen Verlauf der Kahnbeinpseudoarthrose.“ *Handchir Mikrochir Plast Chir 27*, 1995: S. 201-207.
26. Merle, M., und S. Rehart. „Chirurgie der Hand.“ S. 5. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 2009.
27. Nolan, J., R.A. Jenkins, K. Kurihara, und R.C. Schultz. „The acute effects of cigarette smoke exposure on experimental skin flaps.“ *Plast Reconstr Surg 75*, 1985: S. 544-551.
28. Radiometer Medical ApS. „Der TCM400 - Präsentationsbroschüre.“ S. 1-6. Dänemark, 2010.

29. Russe, O. „Behandlungsergebnisse der Spongiosaauffüllung bei Kahnbeinpseudoarthrosen.“ *Orthopädie* 81, 1951: 466-473.
30. —. „Erfahrungen und Ergebnisse bei der Spongiosaauffüllung der veralteten Brüche und Pseudoarthrosen des Kahnbeins der Hand.“ *Wiederherstellungschir Traumatol* 2, 1954: S. 175-184.
31. Russe, O. „Nachuntersuchungsergebnisse von 22 Fällen operierter veralteter Brüche und Pseudoarthrosen des Kahnbeins der Hand.“ *Orthopädie* 93, 1960: S. 5-14.
32. Sarin, C.L., J.C. Austin, und W.O. Nickel. „Effects of smoking on digital blood-flow velocity.“ *JAMA* 10, 1974: S. 1327-1328.
33. Schädel-Höpfner, M., M. Marent-Huber, M. Sauerbier, T. Pillukat, A. Eisenschenk, und H.R. Siebert. „Operative vs. konservative Therapie nichtdislozierter Skaphoidfrakturen.“ *Unfallchirurg* 113, 2010: S. 804-813.
34. Schaefer, M., und H.R. Siebert. „Die Kahnbeinfraktur.“ *Unfallchirurg* 105, 2002: S. 540-553.
35. Schweiberer, L., R. Brenneisen, L.T. Dambe, F. Eitel, und L. Zwank. *Derzeitiger Stand der auto-, hetero- und homologen Knochentransplantation*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1981.
36. Seadén, B., H. Törnkvist, S. Ponzer, und M. Höglund. „Fracture of the carpal scaphoid: A prospective, randomised, 12-year follow up comparing operative and konservative treatment.“ *J Bone Joint Surg Br* 83B, 2001: S. 230-234.
37. Shepherd, J. T. „Effect of cigarette-smoking on blood flow through the hand.“ *Br Med J*, 1951: S. 1007-1010.
38. Stecher, W. „Roentgenography of the carpal navicular bone.“ *Roentgenology*, 1937: S. 704-705.
39. Strassmair, M., und K. Wilhelm. „Entstehung einer Skaphoidpseudoarthrose - Diagnostische Unsicherheit und inkonsequente Therapie als Ursachen.“ *Dtsch Arztebl Int* 45, 2001: S. 2963-2964.
40. Synthes. „Die versenkbare Kompressionsschraube - Operationstechnik.“ S. 8. 2010.
41. Thomsen, A., und J. Bryde-Jacobsen. „Das tcpO2-Handbuch.“ S. 5-35. Dänemark: Radiometer Medical ApS, 2008.
42. Traumascores.com. *Traumascores*. 2014. <http://www.traumascores.com/index.php/kl2-2/49-handgelenk-und-hand14/219-217> (Zugriff am 7. Juli 2014).

43. Trumble TE, Salas P, Barthel T, Robert KQ III. „Management of scaphoid nonunions.“ *J Am Acad Orthop Surg*, Jan-Feb 2004: S. 380-391.
44. Wilcoxon, F. „Individual Comparisons by Ranking Methods.“ *Biometrics Bulletin* 1, 1945: S. 80-83.
45. Wurzinger, L.J. „Unterarm und Hand.“ In *Anatomie*, von Aust G., Doll A. Aumüller G., S. 427-462. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 2010.
46. Zöfel, P. „Statistik für Psychologen.“ S. 154. München: Pearson Studium, 2003.

7. DANKSAGUNG

Ich möchte mich hiermit ganz herzlich bei meinem Doktorvater Herrn PD Dr. med. Joachim Gülke, Oberarzt der Sektion Handchirurgie des Universitätsklinikums Ulm, bedanken, unter dessen Leitung diese Arbeit entstand.

Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Herrn Dr. med. Hendrik Schöll, der Thema und Anstoß zu dieser Arbeit gab. Danken möchte ich ihm auch für das allzeit offene Ohr bei Problemen, seine Hilfe und die unermüdliche Bereitschaft die Arbeit zu korrigieren.

Für die Hilfe bei der statistischen Auswertung dieser Dissertation möchte ich mich herzlich bei Herrn Julian Ulrich bedanken, der mir bei allen Fragen jederzeit mit kompetentem Rat zur Seite stand.

Danken möchte ich auch meiner Frau Nicole, die mich durch das gesamte Studium und auch bei der Erstellung dieser Dissertation nach Kräften unterstützt und motiviert hat. Ohne ihre Bereitschaft viele Stunden auf mich zu verzichten, wäre diese Dissertation nicht möglich gewesen.

Ebenso danke ich meinen Eltern, Christa und Robert Lebherz, für die vielfältige Unterstützung, ohne die mein Studium der Humanmedizin nicht möglich gewesen wäre.

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.