

Aus der Klinik für kleine Haustiere  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

**Karpalgelenksstabilität und -instabilität  
bei der Katze**  
—  
**eine experimentelle und röntgenologische Studie**

**Inaugural-Dissertation**  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Veterinärmedizin  
an der  
Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
**Philipp Anders Meinck**  
Tierarzt aus Bad Kissingen

Berlin 2017  
Journal-Nr.: 3977







**Aus der Klinik für kleine Haustiere  
des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin**

**Karpalgelenksstabilität und  
-instabilität bei der Katze**  
—  
**eine experimentelle und  
röntgenologische  
Studie**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Veterinärmedizin  
an der Freien Universität Berlin**

**vorgelegt von  
Philipp Anders Meinck  
Tierarzt aus Bad Kissingen**

**Berlin 2017**

**Journal-Nr.: 3977**

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek  
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Leo Brunnberg  
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Johanna Plendl  
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Heidrun Gehlen

*Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):*  
cats, carpal joints (MeSH), X radiation, grafts, bones, surgical instruments

Tag der Promotion: 20.07.2017

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen  
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<<https://dnb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-86387-905-1  
**Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2017**  
Dissertation, Freie Universität Berlin  
**D188**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.  
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder  
Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in  
irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet,  
vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch  
ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen-  
und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt  
werden dürfen.

This document is protected by copyright law.  
No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written  
authorization of the publisher.

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2018 Choriner Str. 85 - 10119 Berlin  
verlag@menschundbuch.de - [www.menschundbuch.de](http://www.menschundbuch.de)

**Inhalt**

<b>1. Einleitung</b> .....	1
<b>2. Literaturübersicht</b> .....	2
Anatomie: Articulatio carpi der Katze .....	2
Knochen .....	2
Antebrachium .....	2
Karpalknochen .....	2
Metakarpalknochen .....	4
Ossa sesamoidea .....	4
Bandapparat .....	5
Muskulatur .....	7
Funktionelle Anatomie .....	9
Articulatio antebrachio-carpea .....	9
Articulatio radiocarpea .....	10
Articulatio ulnocarpea .....	10
Articulatio ossis carpi accessorii .....	11
Articulatio mediocarpea .....	11
Articulationes intercarpeae .....	11
Articulationes carpometacarpeae .....	12
Karpalgelenksinstabilitäten bei der Katze .....	13
Epidemiologie und Ätiologie von Karpalgelenksverletzungen .....	14
Verletzungsformen .....	17
Therapie .....	19
Läsion des Ligamentum collaterale mediale .....	19
Luxatio ossis carpi intermedioradialis .....	20
Partielle Arthrodesen .....	20
Panarthrodesen .....	21

	Besondere Arthrodeseformen des Karpalgelenks .....	22
	Goniometrie .....	23
	Vermessung .....	23
	Reproduzierbarkeit der Messungen .....	24
<b>3.</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>25</b>
	Studienziele.....	25
	Material.....	26
	Amputation und Präparation der Vordergliedmaßen.....	28
	Anatomisches Präparat der Knochen eines Karpalgelenks .....	29
	Methode .....	34
	Einspannvorrichtung.....	34
	Erproben der Einspannvorrichtung und Entwicklung der Messmethodik.....	41
	Röntgen.....	41
	Messmethodik und Knochenkaliber .....	42
	Statistische Evaluierung der Messmethodik.....	47
	Erproben des Umgangs mit der Einspannvorrichtung.....	48
	Einspannvorgang der Gliedmaße in die Vorrichtung.....	50
	Präparation der Bänder des Karpalgelenks.....	51
	Statistik .....	52
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>53</b>
	Intakte Karpalgelenke .....	53
	Gezielte Desmotomie einzelner Bänder des Karpalgelenks .....	55
	Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale.....	55
	Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale.....	59
	Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare .....	62
	Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare .....	65
	Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria .....	69

Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria.....	72
Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale.....	76
Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.....	78
Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare ....	80
Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum.....	82
Evaluierung der Zugänge.....	84
Myotomie des Musculus flexor digitorum communis in Höhe des distalen Unterarms.....	84
Tenotomie der Endsehnen des Musculus flexor carpi radialis und ulnaris .....	87
Myotomie des Musculus flexor digitorum communis, Durchtrennung seiner Sehnenscheide und Desmotomie des Retinaculum palmare.....	90
Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale, Myotomie des Musculus flexor digitorum communis und Desmotomie seiner Sehnenscheide und des Retinaculum palmare.....	94
Zusammenfassung der röntgenologischen Befunde .....	96
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>98</b>
Material.....	98
Methode .....	100
Präparation der Gliedmaßen .....	100
Apparat zur Positionierung und Belastung der Karpalgelenke.....	101
Messtechnik.....	103
Messungenauigkeit – Messfehlertoleranz .....	103
Statistische Analyse der Messdaten.....	104
Anatomische Präparation eines felinen Karpalgelenks .....	104
Bewegungsausmaß .....	106
Intaktes Karpalgelenk.....	106

	Instabilität nach definierter Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale und des Ligamentum radiocarpeum palmare.....	107
	Instabilität nach definierter Desmotomie der Ligamenta radio-carpea dorsalia und der Ligamenta radiocarpea dorsalia und collaterale mediale.....	109
	Instabilität nach definierter Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale und der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare.....	110
	Instabilität nach definierter Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria und der der Ligamenta carpometacarpea palmaria.....	111
	Instabilität nach definierter Myotomie des Musculus flexor digitorum communis und der der Musculi flexores carpi ulnaris und radialis....	112
	Arthrodesimplantate.....	113
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	114
<b>7.</b>	<b>Summary</b> .....	116
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	118
<b>9.</b>	<b>Anhang</b> .....	130
	Tabellenverzeichnis .....	130
	Abbildungsverzeichnis.....	137
	Messergebnisse aus den Vorversuchen zur Erprobung der Methodik am Beispiel des Untersuchers A .....	139
	Feinjustierung der Einspannvorrichtung – Ergebnisse des Untersuchers A.....	139
	Entwicklung der Messmethodik – Ergebnisse des Untersuchers A .....	141
	Einverständniserklärung .....	143
<b>10.</b>	<b>Danksagung</b> .....	144
<b>11.</b>	<b>Selbständigkeitserklärung</b> .....	145

## 1. Einleitung

Die Funktionsweise des Vorderlaufs von Fleischfressern wird wesentlich durch das Karpalgelenk bestimmt. Der Bewegungsumfang dieses Gelenks entspricht den Anforderungen an die jeweilige Lebensweise von Hund und Katze (ROOS et al. 1999).

Anatomie, Verletzungen einzelner Weichteilstrukturen und deren Therapie sind für das Handwurzelgelenk des Hundes vielfach beschrieben (KÄHLER 2002), während bei der Katze nur wenige Studien vorliegen (NAKLADAL et al. 2013, NERLICH 2016). Hinsichtlich der Diagnostik, dem gezielten Nachweis einer Ruptur eines bestimmten Bandes, ist wenig bekannt. VOSS et al. (2003) durchtrennen gezielt das Ligamentum collaterale mediale und weisen nach, dass dieses Trauma nicht im Standard- und Stressröntgen nachzuweisen ist. Entsprechend werden vom Kliniker die Erkenntnisse, die zur *Articulatio carpi* des Hundes vorliegen, auf die Katze übertragen (HARRIS et al. 2011).

Für den Hund hat WERNITZ (1987) in seiner Dissertationsschrift gezielt Bänder, die die Gelenketagen (vertikal) und Gelenkreihen (horizontal) verbinden, einzeln und als stabilisierende Systeme durchtrennt, um das Ausmaß der so erzeugten Instabilität zu messen. Damit konnten der Untersuchungsgang, die Diagnose und auch die zu wählenden Therapieverfahren wesentlich verbessert werden.

Anliegen dieser Arbeit ist, das Karpalgelenk der Katze unter dem Aspekt der Instabilität röntgenologisch zu untersuchen. Festgestellt werden soll, welcher röntgenologisch nachweisbare und messbare Instabilitätszuwachs entsteht, wenn einzelne und/oder ganze Bandkomplexe, insbesondere der verbindenden Gelenketagen, durchtrennt werden. So soll vom röntgenologischen Befund auf die beschädigte anatomische Struktur rückgeschlossen werden können. Im Fokus lag dabei der palmare Band- und bindegewebige Halteapparat.

Auf dem entstandenen röntgenographischen Bildmaterial sollen zudem die Durchmesser der Metakarpalknochen für die Entwicklung einer geeigneten Osteosynthese-Platte bestimmt werden, da auf Grund der Messergebnisse von SIMPSON et al. (1994) angenommen wird, dass die bisher genutzten Schraubenkaliber nach NUNAMAKER et al. (1986) zu groß für die Metakarpalknochen sind.

## 2. Literaturübersicht

### **Anatomie: Articulatio carpi der Katze**

Das Karpalgelenk ist ein zusammengesetztes Gelenk aus vielen kleinen Einzelgelenken. Katzen flüchten, klettern auf Bäume und fangen ihre Beute allein und nicht im Kollektiv. Aus diesem Grund ist der distale Gliedmaßenabschnitt der felines Vordergliedmaße beweglicher als der des Hundes (ROOS et al. 1999).

Neben den Karpalknochen sind an der Bildung der Articulatio carpi die distalen Endstücke der Unterarmknochen und die proximalen Endstücke der Metakarpalknochen beteiligt (ROOS et al. 2000).

### **Knochen**

#### *Antebrachium*

Das Spatium interosseum der Katze ist weiter und die Unterarmknochen im Gegensatz zum Hund etwa gleich stark. Der distale Teil des Radius, die Trochlea radii (Speichenwalze), artikuliert mit dem Os carpi intermedioradiale. Auf der dorsalen Fläche der Trochlea befinden sich drei Sehnenrinnen und auf der palmaren die Crista transversa als Bandansatz. Lateral erhebt sich das Caput ulnae mit dem Processus styloideus lateralis. Der Kontaktpunkt des Radius zum Caput ulnae wird als Incisura ulnaris radii bezeichnet. Die Gelenkfläche der Trochlea radii ist bei der Katze nicht zweigeteilt und artikuliert nicht mit dem Os carpi ulnare. Die Gelenkfläche der Ulna ist zweigeteilt und artikuliert mit dem Os carpi ulnare sowie mit dem Os carpi accessorium (FREWEIN et al. 2003).

Der palmare Gelenkrand der distalen Gelenkfläche des Radius ist prominent ausgeprägt. Auf der palmaren Fläche des Os carpi intermedioradiale befindet sich eine Vertiefung, auf die der palmare Gelenkrand des Radius während der Flexion stößt und so die Flexionsbewegung limitiert (YALDEN 1970, GONYEA 1977).

#### *Karpalknochen*

Von den sieben Ossa carpi befinden sich in der proximalen Knochenreihe medial das Os carpi intermedioradiale und lateral das Os carpi ulnare. Die proximalen Gelenkflächen sind konkav geformt (ROOS et al. 1999). Das Os carpi intermedioradiale artikuliert mit dem Radius, dem

Os carpi ulnare und dem Os carpale I-IV, das Os carpi ulnare mit der Ulna, dem Os carpi accessorium, dem Os carpi intermedioradiale und dem Os carpale quartum (BRUGGER 1987). Am mediopalmaren Bandhöcker des Os carpi intermedioradiale setzt das Ligamentum collaterale mediale an und es entspringen Palmarbänder, die an der Epi- und Metaphyse der Ossa metacarpalia I (fakultativ), II und III inserieren (ROOS et al. 1999).

Das Os carpi accessorium, das als dritter Knochen zur antebrachialen Reihe zählt (BRUGGER 1987), artikuliert über zwei zueinander nahezu senkrechten Gelenkflächen mit der Ulna und dem Os carpi ulnare (ROOS et al. 2000). Am gelenkfernen Ende dieses Knochens setzt der Musculus flexor carpi ulnaris an und entlässt das Ligamentum accessoriometacarpeum (ROOS et al. 1999).

Eine mittlere Knochenreihe, die zwischen der proximalen und der distalen Reihe der Karpalknochen liegt, fehlt dem felinen Karpalgelenk. Das Os carpi centrale verwächst in den ersten Lebensmonaten mit dem Os carpi intermedioradiale (BRUGGER 1987). Nach HORVATH (1983) fusionieren das Os carpi intermedium, das Os carpi radiale und das Os carpi centrale etwa zwischen dem 3. und 5. Monat.

Die Ossa carpalia I-IV nehmen von medial nach lateral an Breite zu. Die distalen, konvexen Gelenkflächen der nummerierten Ossa carpalia artikulieren mit jeweils zwei Mittelfußknochen (ROOS et al. 1999).



**Abbildung 1:** Röntgenaufnahme einer linken Vorderpfote im dorso-palmaren Strahlengang:

- 1 Os carpi intermedioradiale,
- 2 Os carpi ulnare,
- 3 Os carpi accessorium,
- 4 Os carpale IV,
- 5 Os carpale III,
- 6 Os carpale II,
- 7 Os carpale I,
- 8 Os sesamoideum musculi abductoris digiti I longi;

### ***Metakarpalknochen***

Die Vorderpfote umfasst fünf Ossa metacarpalia. Das proximale Ende der Metakarpalknochen wird als Basis bezeichnet (ROOS et al. 1999). Auf die Mittelhandknochen folgt die Phalanx proximalis, medialis und distalis. Der ersten Zehe fehlt die Phalanx media (ANDERSON et al. 1993).

### ***Ossa sesamoidea***

Am Karpalgelenk können bis zu drei Sesambeine vorhanden sein. Auf der Beugeseite der Handwurzel in Höhe des Os carpale I ist in die Sehne des Musculus abductor digiti I longus ein Os sesamoideum eingelagert. Palmar in Höhe des mittleren Gelenkspalts sind unregelmäßig die beiden Ossa sesamoidea palmaria ausgebildet (FREWEIN et al. 2003).

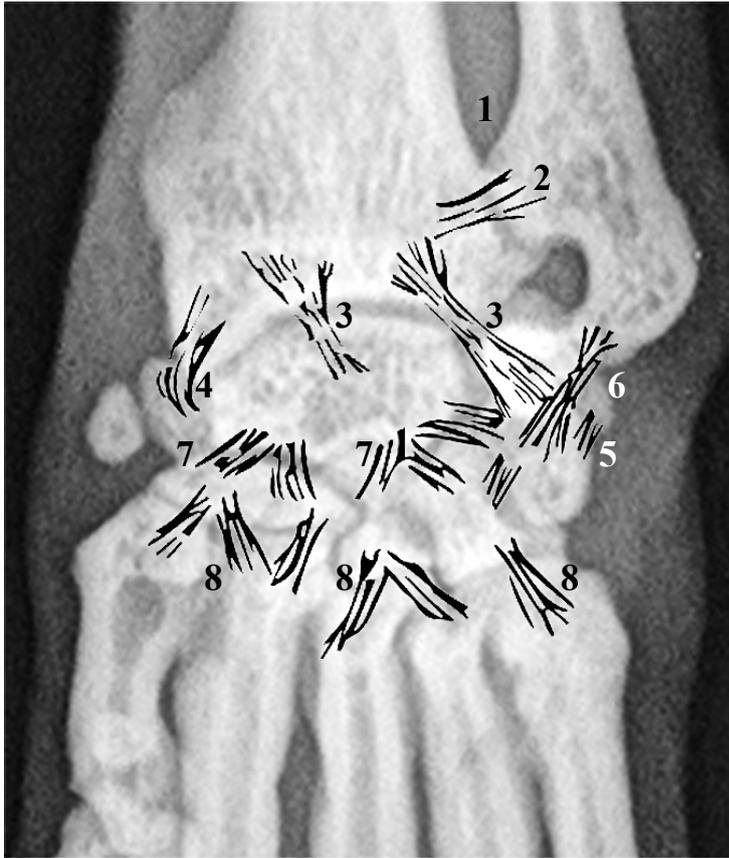
## **Bandapparat**

Der Bandapparat ist in Röntgenaufnahmen bei kranialer (Abb. 2a, S. 6) und kaudaler Ansicht (Abb. 2b, S. 6) eingezeichnet. Die Abbildungen orientieren sich an den Vorgaben von ROOS et al. (2000).

Das Ligamentum collaterale mediale besteht beim Hund aus zwei Anteilen. Beide entspringen am Processus styloideus radii. Die oberflächliche Komponente zieht in proximodistaler Richtung zum Os carpi intermedioradiale. Der tiefe Schenkel setzt palmar am Os carpi intermedioradiale an. Die Ansatzsehne des Musculus abductor digiti I longus verläuft zwischen beiden Schenkeln hindurch und setzt am Os metacarpale I an. Das Ligamentum collaterale mediale der Katze ist nicht immer zweigeteilt. Es zieht vom Processus styloideus zum palmarodistalen Teil des Os carpi intermedioradiale (VOSS et al. 2003). Nach BRUGGER (1987) konnte in etwa zwei Drittel der Fälle ein Band präpariert werden, das das Lig. collaterale mediale vom Os carpi intermedioradiale distal zum proximalen Rand des ersten Metakarpalknochens verlängert.

Das Karpalgelenk wird zusätzlich durch bandartige Faserbündel, die Retinacula extensorum und flexorum, stabilisiert. Das Retinaculum extensorum verstärkt bindegewebig die Fibrosa der Gelenkkapsel und ist Teil der Fibrosa der Sehnenscheide der Extensoren (FREWEIN et al. 2003). Sie verbreitert sich von proximomedial nach laterodistal (BRUGGER 1987). Das Retinaculum flexorum verstärkt die tiefe palmare Faszie und setzt medial an den Knochen des Unterarms, des Handgelenks und den Knochen der Mittelhand an (FREWEIN et al. 2003). Es verläuft von lateral nach medial (BRUGGER 1987). Das Retinaculum flexorum bildet zusammen mit anderen knöchernen und bindegewebigen Strukturen den Canalis carpi und dient so als Sehnenhalteband (FREWEIN et al. 2003).

GONYEA (1977) beschreibt im Gegensatz zu ROOS et al. (2000) das Ligamentum radiocarpeum palmare als Band, das zwischen dem mittleren und distalen Drittel des Radius entspringt, oberflächlich des Musculus pronator quadratus nach distal verläuft und an der tiefen Faszie und der proximalen Reihe des Karpalgelenks ansetzt. ROOS et al. (2000) sehen den Ursprung und Ansatz des Bandes als gelenkrandnah.



**Abbildung 2a: Röntgenaufnahme des linken Karpalgelenks einer Katze im dorsopalmaren Strahlengang zur Darstellung des dorsalen Bandapparates in Anlehnung an ROOS et al. (2000):**

- 1 Membrana interossea antebrachii,
- 2 Lig. radioulnare,
- 3 Lig. radiocarpeum dorsale,
- 4 Lig. collaterale carpi mediale,
- 5 Lig. accessoriocarpoulnare,
- 6 Lig. collaterale carpi laterale,
- 7 Ligg. intercarpea dorsalia,
- 8 Ligg. carpometacarpea dorsalia;



**Abbildung 2b: Gespiegelte Röntgenaufnahme des linken Karpalgelenks einer Katze im dorsopalmaren Strahlengang zur Darstellung des palmaren Bandapparates in Anlehnung an ROOS et al. (2000):**

- 1 Lig. radiocarpeum palmare,
- 2 Lig. accessorioulnare,
- 3 Lig. ulnocarpeum palmare,
- 4 Lig. accessoriometacarpeum,
- 5 Lig. accessorioquartale,
- 6 Ligg. intercarpea palmaria,
- 7 Ligg. carpometacarpea palmaria,
- 8 Lig. collaterale carpi mediale;

## **Muskulatur**

Außer den Muskeln der Zehen und der Mittelhand beeinflussen alle Muskeln des distalen Abschnitts der Vordergliedmaßen die Bewegungen des Karpalgelenks.

Das Verhältnis der Muskelmasse zwischen Beugern und Streckern am Karpalgelenk beträgt 5 zu 3,5. Verglichen zum Tarsus sind die Beuger massiger als die Strecker (ROOS et al. 2001).

Die verschiedenen Muskeln unterscheiden sich in ihrem Aufbau. Langfaserige wie die *Musculi extensores carpi radialis longus et brevis* bewältigen Hubbewegungen für schnelle und kurz andauernde Bewegungen. Der kurzfaserige *Musculus extensor carpi ulnaris* ist ein Kraftmuskel für kraftvolle Bewegungen, bei denen sich der Muskel länger kontrahieren muss. Die Kontraktion führt sowohl zu einer Extensions- als auch zu einer Abduktionsbewegung (ROOS et al. 2001).

Die Flexoren des Karpalgelenks sind lang- und mittellangfaserig. Sie arbeiten am Karpalgelenk gegen die Schwerkraft (ROOS et al. 2001). Der Bandhöcker am proximalen Ende des *Os carpi accessorium* dient zum einen als Ansatz für den *Musculus flexor carpi ulnaris* und entlässt zum anderen das zweigeteilte *Ligamentum accessoriometacarpeum* an die *Ossa metacarpalia IV und V*. Die Kontraktion des Muskels führt zur Flexion der Vorderpfote und zeitgleicher Abduktion der vierten und fünften Zehe (ROOS et al. 1999). Streck- und Beugebewegungen werden durch die Zehenstrecker und -beuger unterstützt (ROOS et al. 2001).

Der *Musculus abductor digiti I longus* adduziert das Karpalgelenk bei gleichzeitiger Abduktion des ersten Fingerstrahls. Hierbei wird die Supination aktiv unterstützt (ROOS et al. 2000).

Die Rotation der Vordergliedmaßen erfolgt in mehreren Gelenken. Diese Bewegung wird über die Radioulnargelenke an die *Articulatio ulnocarpea* weitergegeben. Die *Musculi pronator quadratus, pronator teres und flexor carpi radialis* bewirken eine Pronation. Der *Musculus brachioradialis*, der beim Hund in mehr als der Hälfte der Fälle fehlt (WAKURI et al. 1966), der *Musculus supinator* und der *Musculus biceps brachii* führen zusammen eine Supinationsbewegung aus (ROOS et al. 1999). An der Vordergliedmaße des Hundes erfüllt der *Musculus biceps brachii* auf Grund seiner zweigeteilten Endsehne diese Aufgabe nicht. Der *Musculus flexor carpi radialis* setzt bei der Katze am Mittelhandstrahl 2 und 3 an, beim Hund ausschließlich am Mittelhandstrahl 3. An der Vordergliedmaße der Katze dient er nicht als Pronator (ROOS et al. 1992).

Die Pronation ist vor allem wichtig, um der Supination, die zum Jagen und Klettern für die

Katze unerlässlich ist, entgegenzuwirken. Der langfaserige (Hubmuskulatur) Musculus pronator teres bringt dabei die Gliedmaße aus der Supinationsstellung in eine neutrale Position, wohingegen der kurzfasrige (Haltemuskulatur) Musculus pronator quadratus diese Neutralstellung sodann aufrecht erhält (ROOS et al. 1999).

Der Musculus brachioradialis ist ein schmaler langfaseriger Hubmuskel, der die Vordergliedmaße schnell supiniert. Dem Festhalten der Beute dient der kurze aber kräftige Musculus supinator (ROOS et al. 1999).

## Funktionelle Anatomie

Das Vorderfußwurzelgelenk ist ein zusammengesetztes Gelenk. Der Standwinkel der Gliedmaße im Karpalgelenk beträgt in der Sagittalebene etwa 195°. Eine weitere Dorsoflexion ist um 15° möglich und eine Flexion aus dem Standwinkel um 145°. Der Bewegungsradius des Karpalgelenks in der Sagittal-Ebene beträgt 160° (ROOS et al. 2000). Aus der 0°-Position in der Sagittalebene ist eine Flexion von 120° und eine Extension von 40° möglich (GONYEA 1977). Eine Supination der Vordergliedmaße kann im Zusammenspiel der Articulationes antebrachii distalis et proximalis mit der Articulatio carpi um bis zu 115° ausgeführt werden. Abduktion und Adduktion sind nach ROOS et al. (2000) auf insgesamt maximal 50° begrenzt. JAEGER et al. (2007) untersuchten goniometrisch Gelenke gesunder Katzen und verglichen das Ergebnis manueller und digitaler Messungen an sedierten und nicht sedierten Katzen. Die Medianwerte der Winkel des Karpalgelenks (Tab. 1) weichen von den Angaben von ROOS et al. (2000) ab.

**Tabelle 1:** Winkelmessungen des Karpalgelenks nach JAEGER et al. (2007).

	<b>Nicht sediert</b>	<b>sediert</b>	<b>digital vermessen</b>
<b>Flexion</b>	22°	22°	20°
<b>Extension</b>	198°	198°	197°
<b>Valgus</b>	10°	10°	11°
<b>Varus</b>	7°	6°	7°

Die Gelenkhöhle der Articulatio carpi ist zweigeteilt: der proximale Abschnitt umfasst die Articulatio antebrachioarpea und Articulationes radioulnaris distalis et ossis carpi accessorii und der distale die Art. mediocarpea und die Artt. carpometacarpeae et intermetacarpeae.

### *Articulatio antebrachioarpea*

Die Articulatio antebrachioarpea ist ein annähernd frei funktionierendes Walzengelenk (FREWEIN et al. 2003). Neben einer bis zu 100° (63% des Bewegungsradius in der Sagittalebene) umfassenden Beuge- und Streckbewegung sind zusätzlich Adduktions- und Abduktionsbewegungen möglich. Das Gelenk setzt sich aus der Articulatio radiocarpea und der Articulatio ulnocarpea zusammen. Bei der Katze ist die Articulatio ulnocarpea zweigeteilt. Die distalen, konkaven Gelenkflächen beider Unterarmknochen artikulieren mit den

jeweiligen Karpalknochen (ROOS et al. 2000). Die Gelenkkapsel schließt die *Articulatio radioulnaris distalis* und die *Articulatio ossis carpi accessorii* ein. Es bestehen zwei Gelenkaussackungen, eine zwischen den Sehnen des *Musculus extensor digitalis communis* und des *Musculus extensor carpi radialis* (FREWEIN et al. 2003) und eine weitere distal des karpalgelenknahen *Radioulnargelenks* (BRUGGER 1987). Die Ansatzlinie der Kapsel verläuft dorsal am Radius entlang des Gelenkknorpels, medial über den *Processus styloideus radii* und palmar distal der *Crista transversa radii*. Der Kapselansatz zieht oberhalb der *Incissura ulnaris radii* zur Ulna und setzt hier entlang der Gelenkfläche der Ulna an. Das *Os carpi ulnare*, das *Os carpi accessorium* und die *palmare* und *laterale* Seite des *Os carpi intermedioradiale* werden entlang ihres Gelenkknorpels von der Gelenkkapsel umgeben. Auf der dorsalen Fläche des *Os carpi intermedioradiale* liegt der Kapselansatz etwa 2,5 mm distal der Gelenkfläche (BRUGGER 1987).

### ***Articulatio radiocarpea***

Die *Articulatio radiocarpea* ist ein Ellipsoidgelenk, das in der sagittalen und transversalen (von maximaler Abduktion zu maximaler Adduktion) Ebene in alle vier Richtungen beweglich ist. Insbesondere das *Ligamentum collaterale mediale* stabilisiert dieses Gelenk (ROOS et al. 2000).

### ***Articulatio ulnocarpea***

Die *Articulatio ulnocarpea* ist ein freies Gelenk, in dem synchron mit der *Articulatio radiocarpea* Flexion, Extension, Abduktion und Adduktion ablaufen (ROOS et al. 2000). ROOS et al. (2000) beschreiben eine Rotationsbewegung im Karpalgelenk. Sie ist nach BRUGGER (1987) nicht möglich. Die Supinationsbewegung wird in den *Articulationes radioulnares proximalis* und *distalis* erzeugt. Katzen können den Radius aktiv um die Ulna rotieren. Im Unterarm der Hunde ist dies nur sehr eingeschränkt möglich. Die Rotationsbewegung setzt sich im Karpalgelenk fort (ROOS et al. 2000). Erleichtert wird dieser Mechanismus dadurch, dass das größere *Os carpi intermedioradiale* ausschließlich mit der Speiche artikuliert und das kleinere *Os carpi ulnare* ausschließlich mit der Elle. Die Gelenkfläche zwischen Radius und *Os carpi intermedioradiale* ist größer als die zwischen Ulna und *Os carpi ulnare* (ROOS et al. 1999). Des Weiteren ist eine Gleitbewegung des *Os carpi intermedioradiale* auf der distalen Gelenkfläche des Radius möglich. Sie erfolgt

während der Flexion in mediopalmarer Richtung und während der Extension in umgekehrter Richtung (GONYEA 1977). Während der Rotation dreht sich der Processus styloideus ulnae auf dem Os carpi ulnare. Durch die straffe Verbindung der beiden proximalen Karpalknochen rotiert das Os carpi intermedioradiale synchron mit dem Os carpi ulnare. Die Katze kann die Vorderpfote aktiv um 90° und passiv um bis zu 115° supinieren (ROOS et al. 2000).

### *Articulatio ossis carpi accessorii*

Die Articulatio ossis carpi accessorii ist die gelenkige Verbindung zwischen dem Os carpi accessorium, der Ulna und dem Os carpi ulnare. Das Os carpi accessorium liegt keilförmig mit seinen zueinander senkrechten Gelenkflächen zwischen der Ulna und dem Os carpi ulnare. Dieses Gelenk ist in die Streck-, Beuge- und Rotationsbewegungen des Karpus eingebunden (ROOS et al. 2000).

### *Articulatio mediocarpea*

In der Articulatio mediocarpea ist eine Streck- und Beugebewegung von 40° möglich (ROOS et al. 2000). Die proximale Reihe der Ossa carpalia artikuliert mit der distalen. Es handelt sich hierbei um ein Schraubengelenk. Bei Vorführung der Pfote wird sie leicht auswärts gedreht. Möglich wird das durch eine schraubenartige Windung auf der Gelenkfläche des Os carpale III (Abb. 7a, 31), dessen Negativ (Abb. 7c, S. 33) sich auf der distalen Gelenkfläche des Os carpi intermedioradiale befindet (ROOS et al. 2000). Die Articulatio mediocarpea besitzt eine straffe Kapsel. Ihre Gelenkhöhle kommuniziert mit der Gelenkhöhle der distalen Gelenketape über eine Verbindung zwischen dem dritten und vierten Karpalknochen (BRUGGER 1987).

### *Articulationes intercarpeae*

Die Vorderfußwurzel-Zwischengelenke (Articulationes intercarpeae) befinden zwischen den Knochen der proximalen und distalen Reihe. Die Ligamenta intercarpea interosseae zwischen den Ossa carpalia I-III machen diese Gelenke zu straffen Artikulationen. Zwischen den Ossa carpalia III und IV ist kein Ligamentum intercarpeum interosseum ausgebildet. Das Os carpale IV kann sich mit dem anschließenden Zehenstrahl beim Auffüßen lateral von den anderen Karpalknochen der distalen Reihe wegbewegen. So wird die auf die Pfote einwirkende Kraft während des Auffüßens besser abgefedert (ROOS et al. 2000).

### *Articulationes carpometacarpeae*

In der distalen Gelenkette liegen die Articulationes carpometacarpeae. Die Gelenkspalten sind in einem distal gerichteten konvexen Bogen angeordnet, wobei erstes und letztes Karpometakarpalgelenk auf einer Höhe und die Gelenke dazwischen weiter distal liegen. Das Os metacarpale I artikuliert mit dem Os carpale I und dem Os metacarpale II. Die Ossa metacarpalia II-IV artikulieren untereinander und mit jeweils zwei Karpalknochen, das Os metacarpale V nur mit dem Os metacarpale IV und dem Os carpale IV. Durch eine Reihe von Erhebungen und Vertiefungen sowie straffen Bändern ist dieser Bereich der Metakarpalknochen fest miteinander verbunden (ROOS et al. 2000). Es sind ebenfalls straffe Gelenke (FREWEIN et al. 2003). In der Gelenksetze ist eine Dorsoflexion von 20° sowie eine Abduktion und Adduktion um je 2-4° möglich (ROOS et al. 2000). Die Gelenkkapsel dieses Gelenks umfasst auch die Articulationes intermetacarpeae (BRUGGER 1987).

Die erste Zehe ist im Bewegungsablauf des Hundes nur von untergeordneter Bedeutung. Der Katze dient die Vordergliedmaße als Fang- und Kletterwerkzeug (ROOS et al. 2000), wobei die erste Zehe auf Grund ihrer größeren Beweglichkeit eine wichtige Funktion einnimmt. Das Os metacarpale I ist, anders als beim Hund, ebenso breit wie die anderen Metakarpalknochen. Die Gelenkspalten der Karpometakarpalgelenke I und V liegen weiter proximal als die der Articulationes carpometacarpeae II-IV. Die besondere Beschaffenheit der Articulationis carpometacarpeae I und der Articulationis intermetacarpeae I ermöglichen eine Abduktionsbewegung (ROOS et al. 2000).

## **Karpalgelenksinstabilitäten bei der Katze**

Zum Verlust der Stabilität im Karpalgelenk nach gezielter Durchtrennung einzelner Bänder und/oder der Gelenkkapsel konnte in der Literatur nur eine Untersuchung gefunden werden. Auf Karpalgelenksinstabilitäten bei der Katze wird meist nur im Zusammenhang mit anderen Verletzungen oder deren chirurgischer Versorgung eingegangen (Tab. 3, S. 16).

VOSS et al. (2003) durchtrennten an sechs Gliedmaßen das Ligamentum collaterale mediale und testeten manuell den Stabilitätsverlust. Folgen waren eine Luxation der Articulatio antebrachioarpea bei Flexion und synchroner Pronation. Außerdem luxierte das Os carpi intermedioradiale palmar. Die Autoren nehmen an, dass konventionelle Stressaufnahmen nicht nützlich sind, um eine Ruptur des medialen Kollateralbandes zu diagnostizieren.

Rupturiert das mediale Kollateralband sowie dorsal die Gelenkkapsel der Articulatio radiocarpea und die interkarpalen Bänder zwischen Os carpi intermedioradiale und Os carpi ulnare, luxiert das Os carpi intermedioradiale. PITCHER (1996) weist dies intra operationem unter Sichtkontrolle nach. Der palmare Bandapparat wurde nicht eingesehen.

Am Hund wurde in einer digitalisierten Maschine die Rolle aller antebrachio-karpalen Bänder bezüglich der Prävention einer Hyperextension untersucht. An zwölf Gliedmaßen wurden die Ligamenta collateralia durchtrennt, das Ligamentum radiocarpeum palmare, das Ligamentum ulnocarpeum palmare und das Ligamentum interosseum in der proximalen Reihe. Ergebnis war, dass die Traumatisierung jedes dieser Bänder zu einer Hyperextension führt. Sie war am ausgeprägtesten nach Durchtrennung der palmaren antebrachio-karpalen Bänder. Sie liegen intraartikulär. Eine Durchtrennung ohne Traumatisierung der Gelenkkapsel ist nicht möglich (MILGRAM et al. 2011). WERNITZ (1987) durchtrennte in seiner Studie an 20 caninen Karpalgelenken verschiedene Bänder und fertigte Röntgenbilder von den gesunden und anschließend traumatisierten Gelenken in den Standardprojektionen und gehaltenen Projektionen (Stress) an. Er stellte durch Ausmessung des Gelenks mit einem Goniometer folgende Instabilitätszuwächse fest:

- Die Desmotomie des dorsalen Anteils des Ligamentum collaterale mediale führte zu einer leichten und die zusätzliche Durchtrennung des palmaren Anteils zu einer großen Instabilität in Valgus-Position.
- Die Durchtrennung der Ligamenta radiocarpeum palmare und ulnocarpeum palmare resultiert in einer Hyperextension, die verstärkt wird durch die zusätzliche Durchtrennung des Ligamentum collaterale mediale.
- Die Tenotomie des Musculus flexor carpi ulnaris führt zu einer Hyperextension und zu

einer Veränderung der Stellung des Os carpi accessorium.

- Die Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum ruft eine Hyperextension der Articulatio mediocarpea hervor.
- Aus der Inzision des Fibrocartilago palmare resultiert eine Hyperextension der Articulatio carpometacarpeae.

### **Epidemiologie und Ätiologie von Karpalgelenksverletzungen**

Epidemiologische Daten über Karpalgelenksverletzungen bei Katzen sind selten. Meist wird auf das Karpalgelenk nur im Zusammenhang mit anderen Verletzungen oder bestimmten Traumaursachen wie dem feline High-Rise-Syndrom hingewiesen (WHITNEY et al. 1987, NERLICH 2016). NAKLADAL et al. (2013) gehen detailliert epidemiologisch, ätiologisch und traumatologisch ausschließlich auf das feline Karpalgelenk ein. Epidemiologische und ätiologische Daten relevanter Studien im Zusammenhang mit dem Karpalgelenk sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

MEYER ZU ERPEN (1984) fand in ihrer Studie zum stumpfen Thoraxtrauma an 412 Katzen 20 Tiere, die zusätzlich zur Thoraxverletzung einen nicht genauer definierten Schaden im Bereich des Karpus oder Metakarpus erlitten. 231 Katzen (56,1%) erlitten ein Thoraxtrauma durch einen freien Fall, 69 Tiere (16,7%) durch einen Autounfall, acht (1,9%) Katzen durch einen Tritt oder einen Schlag, vier (0,9%) durch einen Biss, drei (0,7%) wurden eingeklemmt und bei 97 (23,5%) Tieren war die Traumaursache unbekannt.

Nach NAKLADAL et al. (2013) spiegelt die Rasseverteilung der Studienpopulation die des Katzenklientels der Klinik wieder.

Außerdem werden Angaben zur Haltungsform gemacht. Demzufolge wurden von 73 Katzen 54 im Haus gehalten, bei acht war die Haltungsform unbekannt, sechs waren Freigänger und fünf lebten als Wohnungskatze mit stark limitiertem Freigang. Im Juni und im September wurden die meisten der im Karpalgelenk traumatisierten Patienten und sehr selten im November vorgestellt. NAKLADAL et al. (2013) korrelierten außerdem die Verletzung zur Fallhöhe (Tabelle 2). Die meisten Tiere fielen aus dem dritten Stock und verletzten sich zu 45,8% in der Articulatio carpometacarpea, zu 33,3% in der Articulatio antebrachio carpalis, zu 16,7% in der Articulatio mediocarpea und zu 4,2% kombiniert sowohl in der Articulatio antebrachio carpalis als auch mediocarpea (NAKLADAL et al. 2013).

**Tabelle 2:** Karpalgelenkstraumata in Relation zur Fallhöhe (NAKLADAL et al. 2013).

Etage	Lokalisation der Verletzung	Anzahl der Verletzungen
Nicht bekannt	Articulatio antebrachiocondylaris	5
2	Articulatio mediocarpea	2
	Articulatio carpometacarpea	3
	Articulatio antebrachiocondylaris et mediocarpea	1
3	Articulatio antebrachiocondylaris	8
	Articulatio mediocarpea	4
	Articulatio carpometacarpea	11
	Articulatio antebrachiocondylaris et mediocarpea	1
4	Articulatio antebrachiocondylaris	9
	Articulatio carpometacarpea	2
	Articulatio antebrachiocondylaris et mediocarpea	2
	Articulatio ossis carpi accessorii	1
5	Articulatio antebrachiocondylaris	4
	Articulatio mediocarpea	1
6	Articulatio antebrachiocondylaris	5
	Articulatio carpometacarpea	1
7	Articulatio antebrachiocondylaris	2
	Articulatio carpometacarpea	1
10	Articulatio mediocarpea	1
	Articulatio antebrachiocondylaris et mediocarpea	1

VON KRIEGSHEIM (2001) stellte bei 26 Tieren an 30 Karpalgelenken Luxationen (Tab. 3) fest. 22 Tiere (84,6%) erlitten das Trauma ein- und vier (15,4%) beidseitig.

In einer Studie zum feline High-Rise-Syndrom wurden bei sieben von 132 Katzen Frakturen im nicht näher differenzierten Karpal-/ Metakarpalbereich festgestellt. Von insgesamt 26 Luxationen war am häufigsten das Karpalgelenk (siebenmal, 26,9%) betroffen (WHITNEY et al. 1987).

Zum feline High-Rise-Syndrom gibt NERLICH (2016) in ihrer Dissertation an, dass bei 44 von 1125 Katzen Luxationen am Karpalgelenk aufgetreten sind. Eine von 899 Frakturen der 1125 Katzen dieser Studie betraf das Karpalgelenk, das Os carpi accessorium (NERLICH 2016). NERLICH (2016) begründet dies durch das Hyperextensionspotential des Karpalgelenks, wodurch beim Aufprall auf dem Boden nach einem Sturz eher Weichteiltraumata als Frakturen entstehen. Epidemiologische Daten dazu sind nicht angegeben worden.

**Tabelle 3:** Epidemiologische Daten zu Karpalgelenksverletzungen bei Katzen nach Literaturangaben.

Autoren	Geschlecht	Alter (Mittelwert)	Rasse	Ursache
CALVO et al. (2009)	m = 12 w = 8	5J 2Mo	19 EKH 1 nicht angegeben	
HABURJAK et al. (2003)	m = 1 (50%) w = 1 (50%)	6J5Mo	EKH	
HARRIS et al. (2011)	m=1	11Mo	EKH	
MATHIS UND VOSS (2015)	m=1 w=2	8J5Mo	1 Amerikanisch Langhaar 1 Amerikanisch Kurzhaar 1 Burma	In Tür eingeklemmt (33,33%) Unbekanntes Trauma (33,33%) Fenstersturz 1. Stock (33,33%)
NAKLADAL et al. (2013)	m=36 (49,3%) w=37 (50,7%)	5J 6Mo	60 EKH (82,2%) 8 Perser und –Mix (11%) 2 BKH (2,7%) 1 Kartäuser (1,4%) 1 Siam (1,4%) 1 Sibirische Katze (1,4%)	Fenstersturz n=53 (72,61%) HBC n=2 (2,74%) Treppe/Baumsturz n=4 (5,48%) Getreten n=2 (2,74%) Keilriemen n=1 (1,37%) Unbekannt n=11 (15,01%)
PITCHER (1996)	m=1	1J3Mo		
PUCHEU UND DUHAUTOIS (2007)		9J		
SHALES UND LANGLEY-HOBBS (2006)		8J	EKH	
SIMPSON UND GOLDSMID (1994)	w=1	3J	EKH	
VON KRIEGSHEIM (2001)	m=15 (57,7%) w=11 (42,3%)	5J 11Mo	22 EKH (84,6%) 2 Maine Coone (7,7%) 1 Somaly (3,85%) 1 Birma-Mix (3,85%)	Fenstersturz n= 20 (76,9%) unbekannt n=6 (23,1%)
VOSS et al. (2003)	m=1	7J	Perser	HBC
WHITNEY UND MEHLHAFF (1987)				High-Rise-Syndrom n=7 (9%)

m=männlich; w=weiblich; EKH=Europäisch Kurzhaar; BKH=Britisch Kurzhaar; HBC=Hit-by-car; J=Jahr; Mo=Monat; /=Dazu werden in dieser Quelle keine Angaben gemacht.

## Verletzungsformen

Sieht man einmal von Fallberichten ab, liegen detaillierte Daten zu den Läsionen im Karpalgelenk nur von VON KRIEGSHEIM (2001) (Tab. 4), NAKLADAL et al. (2013) (Tab. 3) und NERLICH (2016) vor. VON KRIEGSHEIM (2001) und NERLICH (2016) beschreiben ausschließlich Luxationen, keine Subluxationen.

**Tabelle 4:** Lokalisation der Läsionen nach VON KRIEGSHEIM (2001).

Lokalisation	Häufigkeit (%)
Luxatio articulationis antebrachioacarpeae	13 (43%)
Luxatio articulationarum carpometacarpeorum	10 (33,3%)
Luxatio articulationis mediocarpeae	2 (6,6%)
Luxatio ossis carpi intermedioradialis	2 (6,6%)
Luxatio ossis carpi ulnaris	2 (6,6%)
Luxatio ossis carpi accessorii	1 (3,3%)
<b>Total</b> 30 (100%)	

NAKLADAL et al. (2013) beschreiben 87 von 146 Karpalgelenken als verletzt. 89,5% davon betrafen die Weichteilgewebe und 10,5% die Knochen in Form von Frakturen. Ursache der Frakturen im Bereich des Karpalgelenks waren Fensterstürze. Die Weichteilläsionen lagen zu 50,8% in der Articulatio antebrachioacarpea.

Bei 44 von 1125 Katzen verursachte ein Sturz aus unterschiedlicher Höhe nach NERLICH (2016) Luxationen in den drei Gelenketagen und den einzelnen Gelenken der Articulatio carpi, bei 39 Tieren einseitig und bei fünf beidseitig. In 23 (52,2%) Fällen war die Articulatio carpometacarpea betroffen, in 14 (31,8%) die Articulatio antebrachioacarpea, in fünf (11,4%) die Articulatio mediocarpea und in einem Fall (n=1 von 44, 2,3%) die Articulatioes mediocarpeae et carpometacarpeae. Bei einem weiteren Tier (n=1 von 44, 2,3%) konnte die Luxation nicht genauer definiert werden. Außerdem wurde eine Fraktur des Os carpi accessorium diagnostiziert (NERLICH 2016).

CALVO et al. (2009) operierten 22 Karpalgelenke auf Grund von 13 Hyperextensionsverletzungen (mit und ohne Trauma der Kollateralbänder), fünf Luxationen/ Subluxationen, zwei Osteoarthritis, eine Fraktur und eine karpale Agnese. Von den 18 Hyperextensionsverletzungen/ Luxationen/ Subluxationen waren jeweils achtmal die Articulatio antebrachioacarpea bzw. Articulatio carpometacarpea, sowie viermal alle Gelenkreihen betroffen und in zwei Fällen gab es zur Lokalisation keine Angabe.

In kasuistischen Beiträgen berichten PITCHER (1996) von einer Luxation des Os carpi intermedioradiale, HARRIS et al. (2011) von drei Luxationen der Articulatio accessorioulnare und SHALES et al. (2006) von einer Luxation der Articulatio antebrachioarpea mit sowie VOSS et al. (2003) ohne Luxation der Articulatio radioulnaris distalis. PUCHEU et al. (2007) geben eine nicht genauer klassifizierte Karpalgelenksluxation an.

**Tabelle 5:** Läsionen der Karpalgelenke bei Katzen nach NAKLADAL et al. (2013).

<b>Läsion (Anzahl und Prozentsatz)</b>	<b>Lokalisation</b>
Subluxation (n=10, 11,6%)	Art. antebrachioarpea (n=1)
	Art. ulnocarpea (n=3)
	Art. mediocarpea (n=2)
	Artt. Carpometacarpeae (IV/V n=1, III/IV/V n=1)
	Artt. radioulnare distalis et antebrachioc.(n=2)
Luxation (n=35, 40,7%)	Art. antebrachioarpea (n=11)
	Art. radiocarpea (n=2)
	Art. ulnocarpea (n=2)
	Art. carpometacarpeae (IV/V n=3, III/IV/V n=2, II/III/IV/V n=5)
	Art. ossis carpi accessorii (n=1)
	Artt. radioulnare distalis et antebrachioc.(n=1)
	Os carpi radiale (n=8)
Mediale Instabilität (n=8, 9,3%)	Art. antebrachioarpea (n=6)
	Art. mediocarpea (n=2)
Laterale Instabilität (n=2, 2,3%)	Art. antebrachioarpea (n=2)
Hyperextension (n=23, 26,7%)	Art. carpi (n=1)
	Art. antebrachioarpea (n=6)
	Art. mediocarpea (n=5)
	Artt. carpometacarpeae (n=11)
Fraktur (n=9, 10,4%)	Distale Radiusfraktur (n=4)
	Distale Radius- und Ulnafraktur (n=4)
	Os carpi accessorium (n=1)
<b>Total n (Anzahl) =87, 100%</b>	

## **Therapie**

Abhängig von Lokalisation und Schweregrad der Läsion werden konservative und operative Therapieverfahren beschrieben. Operative Optionen sind Bandersatzmethoden zur primären Rekonstruktion eines Bandes und die partielle oder totale Arthrodesese in verschiedenen technischen Ausführungen (EARLEY et al. 1980). TOMLINSON et al. (2014) empfehlen bei Varus-/ Valgusinstabilitäten einen Lightcast-Verband anzulegen. Nach EARLEY et al. (1980) sollte der Karpus zunächst in Flexion bandagiert und bis zu sechs Wochen unter Verband schrittweise wieder in Streckposition gebracht werden. Dies führt in vielen Fällen zum Erfolg. Nach MONTGOMERY (1989) ist es fraglich ob Bänder, die während der Heilung keiner Zugbelastung ausgesetzt sind, eine adäquate Spannung aufbauen können.

Sieht man einmal von diesen Angaben ab, empfiehlt PIERMATTEI (2006) bei jedweder Instabilität im Karpus der Katze die Arthrodesese, selbst bei nur schmerzhafter funktionsbeeinträchtigender Osteoarthritis. Außerdem arthrodesieren GEMMILL et al. (2014) und CALVO et al. (2009) das Karpalgelenk erfolgreich bei einer Agenese des Karpalgelenks und OKIN (1982) bei einer Radialislähmung.

### ***Läsion des Ligamentum collaterale mediale***

Ist das Ligamentum collaterale mediale gerissen, können die Bandstümpfe adaptiert werden und durch synthetisches oder körpereigenes Material ersetzt werden. Das Fremdmaterial wird durch Knochentunnel im Radius und Os carpi radiale in Form einer 8 geführt und verknotet (PIERMATTEI et al. 2006). VOSS et al. (2006) ersetzen das Band bei palmarer Luxation der Articulatio antebrachioarpea mit einem 3,5 metrischen, resorbierbaren Faden, den sie mit zwei 1,5mm Kortikalisschrauben sichern. Alternativ kann die Ursprungssehne des M. abductor digiti I longus oder die Ansatzsehne des Musculus flexor carpi radialis genutzt werden. Der Muskel wird mobilisiert, die Sehne durchtrennt und die Stümpfe des Kollateralbands angenäht oder durch eine Schraube mit Unterlegscheibe in gewünschter Position verankert (EARLEY et al. 1980).

SHALES et al. (2006) gelang es, eine Luxation der Articulatio antebrachioarpea und der Articulatio radioulnaris distalis zu reponieren, ohne dass eine Hyperextension verblieb. Die partiell gerissenen Kollateralbänder wurden genäht, die Naht und die Gelenkposition mit einem Draht stabilisiert und mit einem Fixateur externe Typ 1a gesichert.

PIERMATTEI et al. (2006) beschreiben eine Bandersatzmethode durch den Musculus abductor digiti I longus.

### ***Luxatio ossis carpi intermedioradialis***

STREUBEL et al. (2011) und PITCHER (1996) beschrieben bei je einer Katze eine Luxation des Os carpi intermedioradiale. Das Os carpi intermedioradiale kann luxieren, wenn es sich um 90° entlang seiner transversalen und um 90° entlang seiner sagittalen Achse drehen kann. Dies wird möglich nach Ruptur des Ligamentum collaterale mediale, der Gelenkkapsel dorsal und der Bänder zwischen den beiden Karpalknochen der proximalen Reihe (STREUBEL et al. 2011 und PITCHER 1996). Ist die gedeckte Reposition möglich, sollte das Karpalgelenk für einige Wochen mit einer Lightcast-Schiene ruhiggestellt werden. Muss operiert werden, wird die korrekte Position mit einem Kirschner Bohrdrat gesichert, der medial angesetzt und lateral gerichtet durch die proximale Reihe gebohrt wird. Das Ergebnis wird im Fixateur externe aufrechterhalten (PITCHER 1996).

### ***Partielle Arthrodesese***

Die Hyperextension in den Articulationes medio- et carpometacarpeae, die etwa 90% aller Hyperextensionen in diesem Gelenk bei der Katze ausmachen, erfordert eine partielle Arthrodesese der Knochen der mittleren und distalen Gelenkreihe (PIERMATTEI et al. 2006).

Zur partiellen Arthrodesese eignen sich Pins, Platten und der Fixateur externe Typ 2. Nach PARKER et al. (1981) und HARASEN (2002) führt die partielle Arthrodesese zu einer Überbelastung der angrenzenden Gelenke, so dass eine Osteoarthritis (-arthrose) entstehen kann. Etwaige degenerative Veränderungen sind nach HABURJAK et al. (2003) Folge einer mangelhaften subchondralen Knochenresektion und unzureichender Diagnostik, so dass Läsionen in der Articulatio antebrachioacarpea übersehen wurden.

Die Gelenkflächen werden über einen dorsomedialen Zugang dargestellt (GEMMILL et al. 2004), der Gelenkknorpel wird mit Bohrungen (FOSSUM 2009) oder einer Kürette (PIERMATTEI et al. 2006) abgetragen und die Defekte werden mit autologer Spongiosa, aus dem gleichseitigen Tuberculum majus oder den Alae ossis ilii entnommen, aufgefüllt (CALVO et al. 2009).

Zur Stabilisierung der mittleren und distalen Gelenketape werden über eine Kreuzspickung zwei Pins von den Metakarpalknochen aus in die Ossa carpalia vorgetrieben. Wird eine Platte

mit Schrauben eingesetzt, kann sie dorsal (PIERMATTEI et al. 2006) oder wie von MONTAVON et al. (2009) und MATHIS et al. (2015) medial montiert werden.

### ***Panarthrodese***

Bei der Panarthrodese wird das Karpalgelenk insgesamt versteift. Indikationen sind Hyperextensionsverletzungen, schmerzhafte Arthrosen, nicht rekonstruierbare Frakturen und Neuropathien (PIERMATTEI et al. 2006). VOSS et al. (2003) geben zu bedenken, dass durch die Panarthrodese Pronation und Supination nicht mehr möglich sind. Nach CALVO et al. (2009) ist dies für die Funktion unbedenklich.

Es werden einige Bohrlöcher in die Gelenkoberfläche des Radius angelegt (PIERMATTEI et al. 2006). Mit diesem als Osteostixis bezeichneten Verfahren soll die Vaskularisation des Bereichs gefördert werden (STREUBEL et al. 2006). Die Gelenkreihen werden erst nach Anbringen des Implantats mit spongiossem Knochen aufgefüllt (SIMPSON et al. 1994).

Zur Arthrodese mit einer Platte sollte eine 8-Loch 1,5 mm Mini-Platte eingesetzt werden (SIMPSON et al. 1994). Auch zwei 1 mm dicke schneidbare Platten (DENNY et al. 2000) oder eine DCP-Platte (CALVO et al. 2009) werden empfohlen. Die unterschiedlichen Systeme haben Vor- und Nachteile. Nach SIMPSON et al. (1994) sind schneidbare Platten stabiler, auch wenn sie keine axiale Kompression ermöglichen. Ein Schraubenskaliber von 2,0 mm oder 1,5 mm ist nach SIMPSON et al. (1994) bedenklich, da dieser meist mehr als 30% des empfohlenen Durchmessers eines Metakarpalknochens ausmacht (NUNAMAKER et al. 1986). Nach JOHNSON et al. (2005) soll der Schraubenskaliber weniger als 40% des Metakarpalknochens betragen. Die Breite einer schneidbaren Platte beträgt 7,1 mm und die der Mini-Platte 5 mm, während bei Katzen der MC III nur 3,15 - 4,13 mm breit ist. Da schon die Mini-Platte (5 mm) breiter ist als der MC III einer ausgewachsenen Katze, wird die schneidbare Platte nicht empfohlen (SIMPSON et al. 1994). Die Platte sollte mindestens so lang sein, dass 50% der Länge des MC III bedeckt sind. Nach WHITELOCK et al. (1999) wird damit dem Risiko eines Implantat-bedingten Bruchs des dritten Metakarpalknochens vorgebeugt. CALVO et al. (2009) stabilisieren die Arthrodese zusätzlich mit einem Kirschner-Bohrdraht.

### ***Besondere Arthrodeseformen des Karpalgelenks***

Platten können dorsal, palmar (PIERMATTEI et al. 2006) oder medial (STREUBEL et al. 2011) am Karpalgelenk montiert werden. Explizit für Katzen ist nur die dorsale (CALVO et al. 2009) und die mediale (MATHIS et al. 2015) Verplattung beschrieben.

GUERRERO et al. (2005) empfehlen die mediale Verplattung, um so kraniokaudal wirksame Scherkräfte auf das Implantat zu reduzieren, aber im Stand die dynamische Kompression zu fördern. Abgesehen davon wird das Risiko einer Metakarpalfraktur gesenkt, weil mit dem Konstrukt mit mindestens zwei Schrauben mehrere Metakarpalknochen im Bereich der Basis in den Verbund einbezogen werden können (STREUBEL et al. 2011).

PUCHEU et al. (2007) arthrodesierten allein das ulnokarpale Gelenk, um so eine weit distale und nicht rekonstruierbare Radiusfraktur zu behandeln. Das distale Knochenfragment wurde verworfen und eine pankarpale Arthrodesese zwischen Ulna und Karpalknochen vorgenommen (PUCHEU et al. 2007). Beim Ausriss des Os carpi accessorium aus der Artikulation mit dem Os carpi ulnare arthrodesierten HARRIS et al. (2011) das Gelenk mit einem 0,6 mm Kirschner - Bohrdraht.

## **Goniometrie**

Die Goniometrie ist als ein Teilgebiet der Trigonometrie/Mathematik bekannt (GERINGER 2006). In der Medizin wird sie genutzt, um ein Gelenk in Extension, Flexion und Rotation zu vermessen (JAEGGER et al. 2002). Dabei wird für jedes Gelenk ein Bewegungsumfang (REICHE 2003) festgelegt.

## ***Vermessung***

Die Messungen sind manuell oder digital am Röntgenbild möglich (JAEGGER et al. 2007). Beide Verfahren sind statistisch nicht signifikant unterschiedlich (SAILER et al. 2005). Zur manuellen oder halbmanuellen Vermessung wird ein einfaches (Abb. 11/12, S. 44/45), ein Flüssigkeitgoniometer oder ein elektrisches Goniometer (GERINGER 2006) verwendet. ROOS (1989) nutzte das einfache Goniometer nach der Neutral-Null-Methode von RUSSE et al. (1972). Dieses Verfahren haben VOLLMERHAUS et al. (1985) ans Tier adaptiert. Die Neutral-Null-Stellung ist von RUSSE et al. (1972) für den Menschen als aufrechter Stand mit durchgestreckten Armen und Beinen und nach vorne weisenden Handflächen definiert. Die Arme liegen dabei dem Körper an. Der Winkel der Gelenke in dieser Stellung ist null. VOLLMERHAUS et al. (1985) übertragen die Neutral-Null-Stellung auf das Tier. Dabei gilt als Normalstellung ein gehobener Kopf, gleichmäßige Belastung aller Gliedmaßen, die sowohl von vorne, seitlich und kaudal gesehen gleich abgestellt sind.

Das einfache Goniometer ist zweiseitig. Der Treffpunkt beider Schenkel wird als Drehpunkt bezeichnet (JAEGGER et al. 2002). JAEGGER et al. (2002) und VOLLMERHAUS et al. (1985) beschreiben die genaue Position, in der das Goniometer angelegt wird, um den Extensions- und Flexionswinkel zu messen. Am Unterarm sollte der stationäre Schenkel auf einer Linie zwischen Processus styloideus ulnae und Epicondylus lateralis humeri liegen. Der Drehpunkt ist neben dem Os carpi ulnare und der bewegliche Schenkel wird parallel zum Metakarpus ausgerichtet.

An Gelenken, die im dorsopalmaren Strahlengang aufgenommen wurden, wird das Goniometer nach JAEGGER et al. (2002) so angelegt, dass der stationäre Schenkel auf einer Linie zwischen Processus coronoideus medialis und Processus styloideus medialis liegt.

Nach VOLLMERHAUS et al. (1985) wird der Standwinkel beim Tier so gemessen, dass er größer als 180° ist.

### ***Reproduzierbarkeit der Messungen***

Die Vermessung eines Gelenks muss reproduzierbar sein. Dies gilt nach GERINGER (2006) sowohl für den einzelnen (Intra-Tester-Reliabilität) als auch für verschiedene Untersucher (Inter-Tester-Reliabilität).

Die Ungenauigkeit beim Ausmessen eines Gelenks durch einen Untersucher beträgt nach BOONE et al. (1978) 3-4° und nach MAYERSON et al. (1984) 4°. Sind mehrere Vermesser involviert, beträgt die Messungenauigkeit nach BOONE et al. (1978) 6° an distalen Gelenken (vier Untersucher) und nach MAYERSON et al. (1984) 10° (zwei Untersucher).

### 3. Material und Methoden

#### Studienziele

Ziele der vorliegenden Studie sind:

- Die Stabilität und den Instabilitätszuwachs nach iatrogen gesetzten Bandläsionen am Karpalgelenk der Katze röntgenologisch und messtechnisch zu analysieren.
- Röntgenbild-basiert den inneren und äußeren Durchmesser der distalen Hälfte des Radius und des Os metacarpale tertium zu vermessen. Diese Daten sollen genutzt werden, um eine geeignete Platte zur Karpalgelenksarthrodese zu entwickeln.

Das Verfahren der Gelenkvermessung entspricht dem am lebenden Tier, jedoch kann der Standwinkel einer amputierten Gliedmaße nicht gemessen werden. Um die Untersuchungen standardisiert und objektiv durchführen zu können, wurde eine schraubstockähnliche Vorrichtung angefertigt, in der die Gliedmaßen proximal und distal so fixiert wurden, dass sie nur im Karpalgelenk zu ab- und adduzieren, zu strecken und überstrecken waren. Das Gerät wurde so konstruiert, dass am intakten wie auch iatrogen gezielt verletzten Bandapparat des Karpalgelenks, das jeweilige Ausmaß der Ab-/ Adduktion und Hyperextension im Karpalgelenk beurteilt und vermessen werden konnte. Die Lagerung und Fixierung der Gliedmaße sollte jederzeit objektiv wiederholbar sein.

Im Fokus des Interesses lag der palmare Bandapparat. Um ihn darzustellen und später zu durchtrennen, mussten die palmar verlaufenden Muskeln und ihr bindegewebiger Halteapparat durchtrennt werden. Es galt zu prüfen, ob bereits diese Muskeln und Bindegewebe wesentlich die Stabilität bzw. Instabilität beeinflussen.

## Material

Die eigenen Untersuchungen wurden an Karpalgelenken von Katzen vorgenommen, die zwischen Oktober 2013 und März 2015 in der Klinik für kleine Haustiere der FU-Berlin euthanasiert wurden oder gestorben waren. Einschlusskriterien waren: Alter 3 Jahre und älter, Vordergliedmaßen intakt/tumorfrei/infektfrei (Phlegmone, Abszess)/entzündungsfrei (Arthritis)/arthrosefrei/Gefäßsystem unverletzt. Zudem mussten die Tiere frei von Erkrankungen sein, die nachweislich die Struktur von Muskeln, Sehnen, Bändern und Gelenkkapsel beeinflussen, wie zum Beispiel einer diabetischen Ketoazidose.

Um dies zu gewährleisten, wurden die anatomischen Daten, die klinischen Aufzeichnungen und Blutbildbefunde geprüft. Zudem wurden abschnittsweise die Gliedmaßen mit den benachbarten Gelenken im Röntgengrundbildpaar entsprechend der Vorgaben des Röntgenatlasses der Katze von WAIBL et al. (2005) abgebildet und ausgewertet. Jede röntgenologisch sichtbare Weichgewebe- oder Skelettveränderung führte zum Ausschluss.

Waren keine Auffälligkeiten zu finden, wurde vom Tierhalter ein schriftliches Einverständnis (S. 149) eingeholt, die Vorderextremitäten amputieren zu dürfen, um die Untersuchungen vornehmen zu können.

Danach wurden die Vorderextremitäten im Rumpf-Schultergelenk amputiert und der Körper dem Institut für Tierpathologie zur weiteren Verwendung und/oder Entsorgung zur Verfügung gestellt.

So konnten von 30 Katzen 60 Karpalgelenke für die Studie gewonnen werden (Tab. 6, S. 27). 14 Tiere waren Europäisch-Kurzhaar-Katzen, ein Europäisch-Kurzhaar-Mischling, drei Britisch-Kurzhaar, ein Britisch-Kurzhaar-Mischling, je zwei Heilige Birma/Perser/Siam und einzelne Katzen anderer Rassen. Die Tiere wogen im Durchschnitt 4,04 kg (2,5-5,9 kg) und waren 10,8 Jahre alt (3-18 Jahre). Die Katzen waren kastriert, davon 14 weiblich und 16 männlich.

**Tabelle 6:** Signalement und Körpergewicht der Katzen, deren Vordergliedmaßen für die Untersuchungen genutzt wurden.

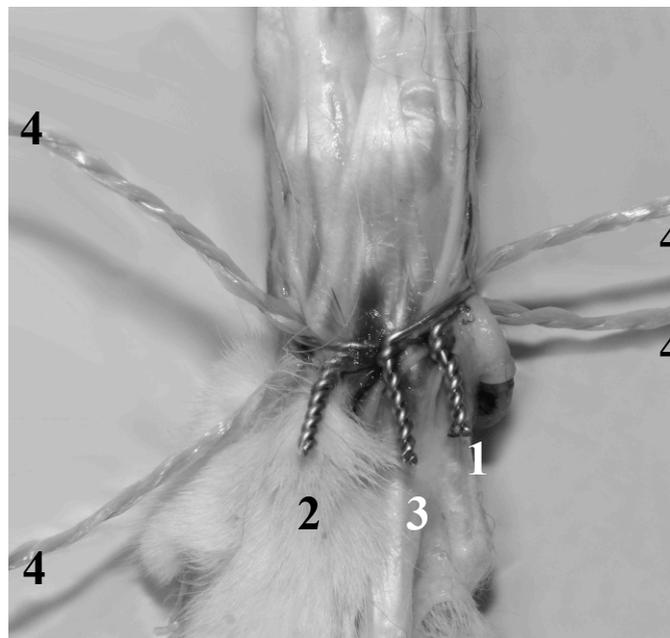
<b>Katze</b>	<b>Rasse</b>	<b>Alter (Jahre)</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>Körpergewicht (kg)</b>
1	EKH	18	wk	3
2	EKH	13	wk	3,2
3	EKH	6	wk	4,6
4	EKH	15	mk	2,9
5	EKH	10	mk	3,5
6	EKH	12	mk	4,7
7	EKH	10	mk	5,2
8	EKH	7	wk	3,3
9	EKH	14	wk	4,3
10	EKH	12	wk	3
11	EKH	6	mk	3,7
12	EKH	15	mk	5
13	EKH	14	mk	5,6
14	EKH	15	mk	5,0
15	EKH - Mischling	11	wk	5,9
16	BKH	12	mk	5,5
17	BKH	7	mk	5,4
18	BKH	10	mk	5,3
19	BKH - Mischling	3	wk	4,1
20	Heilige Birma	9	mk	3,1
21	Heilige Birma	9	wk	3,6
22	Perser	5	mk	4,6
23	Perser	16	wk	3,0
24	Siam	12	mk	3,4
25	Siam	14	wk	4,3
26	Türkisch Angora	7	wk	3,2
27	Angora - Mischling	6	mk	3,9
28	Maine Coone - Mischling	18	wk	2,5
29	Kartäuser	9	wk	3,5
30	Russisch Blau	10	mk	2,9

EKH=Europäisch Kurzhaar; BKH=Britisch Kurzhaar; wk=weiblich kastriert; mk=männlich kastriert.

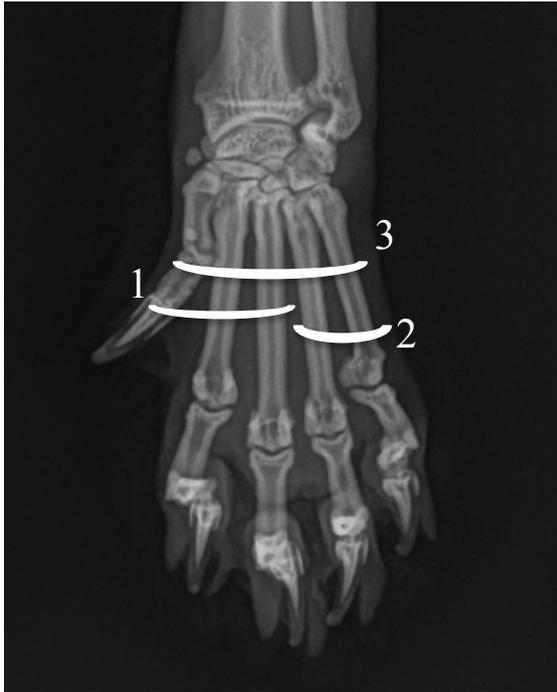
### ***Amputation und Präparation der Vordergliedmaßen***

Den Katzen wurden die Vordergliedmaßen im Rumpf-Schultergelenk amputiert, diese anschließend von Haut und Unterhaut befreit, mit in Ringerlösung getränkter Verbandswatte eingewickelt und bei -20°C eingefroren (MILGRAM et. al. 2011). Zur biomechanischen Testung wurden die amputierten Gliedmaßen 24 Stunden vor den Experimenten bei Raumtemperatur aufgetaut, die Gelenke manuell maximal mobilisiert und palpatorisch und röntgenologisch auf Schäden durch den Aufbewahrungsvorgang überprüft (INGENDAAY 2009).

Diesbezüglich war es wichtig, die Gliedmaße distal und proximal des Karpalgelenks so zu fixieren und zu sichern, dass die Lagerung exakt reproduzierbar war. Die Unterarmknochen wurden im Versuch in einer Einspannvorrichtung fixiert. Die Ossa metatarsalia wurden mit drei Drahtcerclagen so fixiert, dass sie während des Versuchs in keiner Ebene dislozieren konnten. Dazu wurde auf Höhe der Articulatio interphalangealis proximalis I eine erste Cerclage um die Ossa metacarpalia I - III, eine zweite um IV und V und eine dritte um I - V gelegt und die Drahtenden verdreht (Abb. 3-5, S. 28/29). In die letzte Cerclage wurde lateral und medial des Metacarpus eine Polypropylen-Paketschnur gelegt, durch die das Karpalgelenk später in der Einspannvorrichtung in die gewünschte Position gebracht werden konnte.



**Abbildung 3:** Konfiguration der Drahtcerclagen, die die Ossa metacarpalia in Position halten; 1 Cerclage um Os metacarpale I-III, 2 Cerclage um IV-V, 3 Cerclage um I-V, 4 Polypropylen-Paketschnur.



**Abbildung 4:** Röntgenbild einer linken Vorderpfote; Schemenhaft wird die Position der drei Drahtcerclagen am Metacarpus dargestellt: 1 Cerclage um MC I-III, 2 Cerclage um MC IV-V, 3 Cerclage um MC I-V.



**Abbildung 5:** Röntgenbild einer linken Vorderpfote in Valgus-Position; zu erkennen sind die drei Draht-Cerclagen: 1 Cerclage um MC I-III, 2 Cerclage um MC IV-V, 3 Cerclage um MC I-V.

#### ***Anatomisches Präparat der Knochen eines Karpalgelenks (Abb. 7a–c, S. 31-33)***

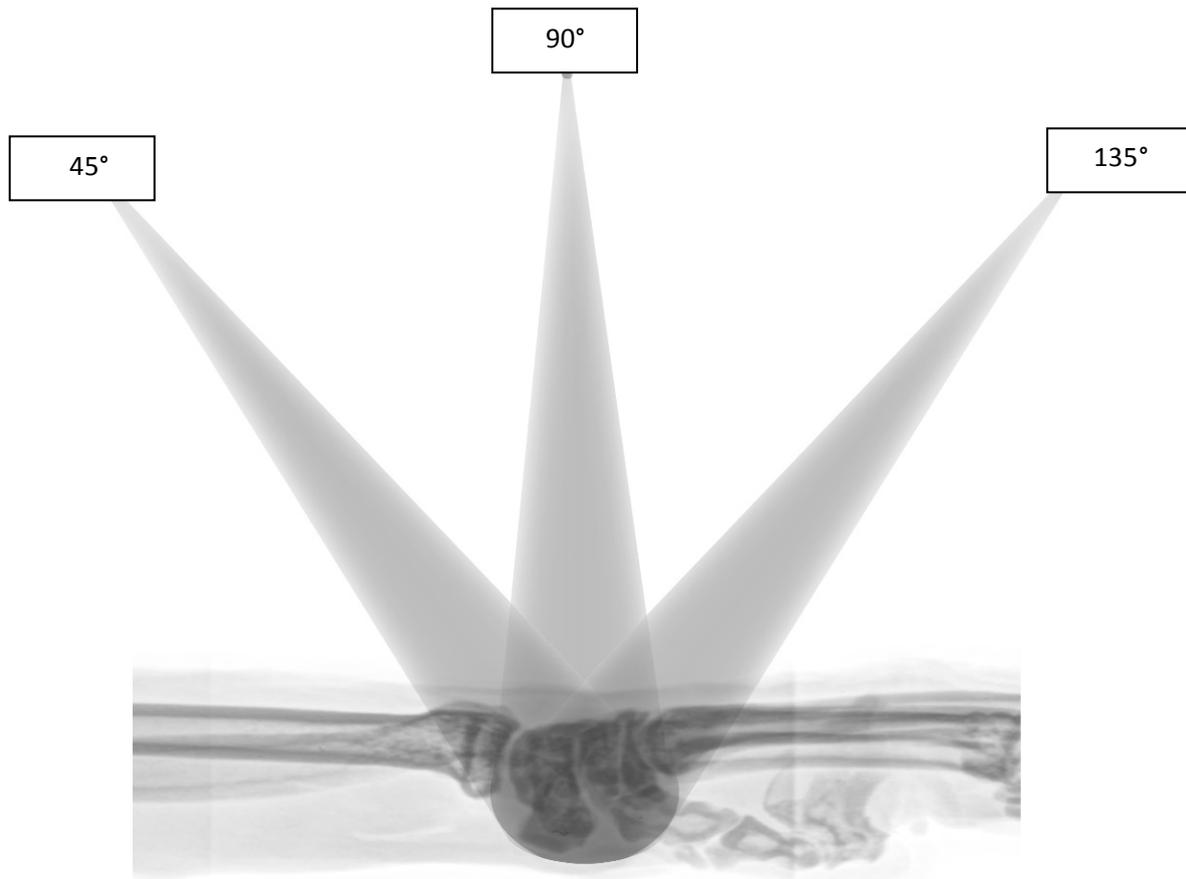
Zum besseren Verständnis wurde im Hinblick auf die vorliegende Arbeit in Anlehnung an SCHNAPPER (2002) das Karpalgelenk der Katze präpariert und aus verschiedenen Perspektiven fotografiert.

Dazu wurde die Vordergliedmaße einer Katze in einem chlorhaltigen Waschmittel gekocht, mazeriert und anschließend in dreiprozentigem Wasserstoffperoxid gebleicht.

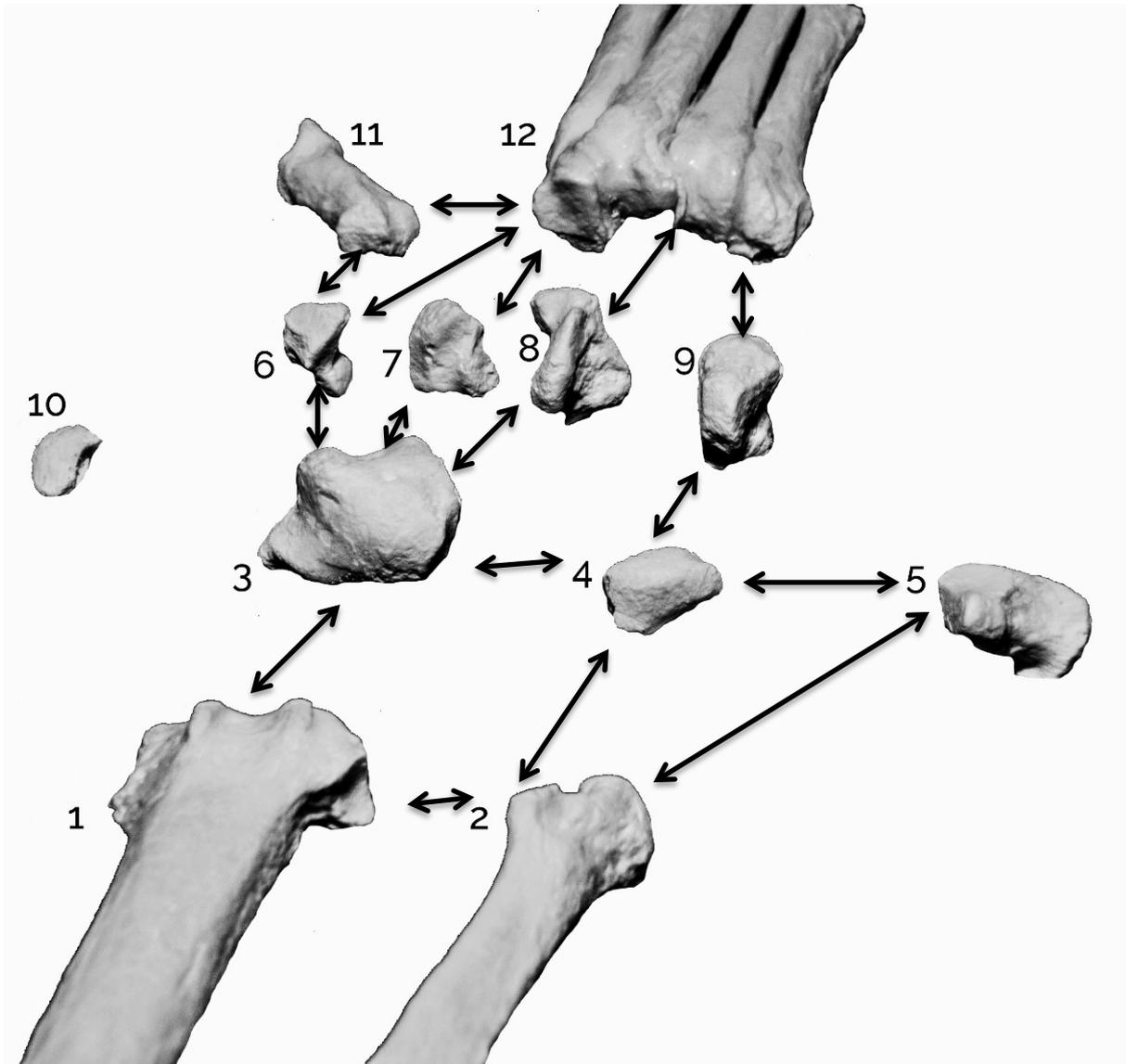
Die Karpalknochen wurden an den Gelenkflächen identifiziert. Um das zu ermöglichen, wurden die Gelenktagen des Karpalgelenks einer nicht mazerierten Gliedmaße luxiert und die Gelenkflächen sowie deren Anordnung mit den ausgekochten Knochen verglichen. Darüber hinaus dienten die Zeichnungen der Karpalknochen der Katze von BRUGGER (1987) als Orientierung.

Um die Knöchelchen von allen Seiten darzustellen, wurden sie mit Abstand aufgereiht, auf Fotoklebecken fixiert und aus verschiedenen Perspektiven abgelichtet, so dass sie allseitig (abgesehen von der palmaren Ansicht) angesehen werden konnten.

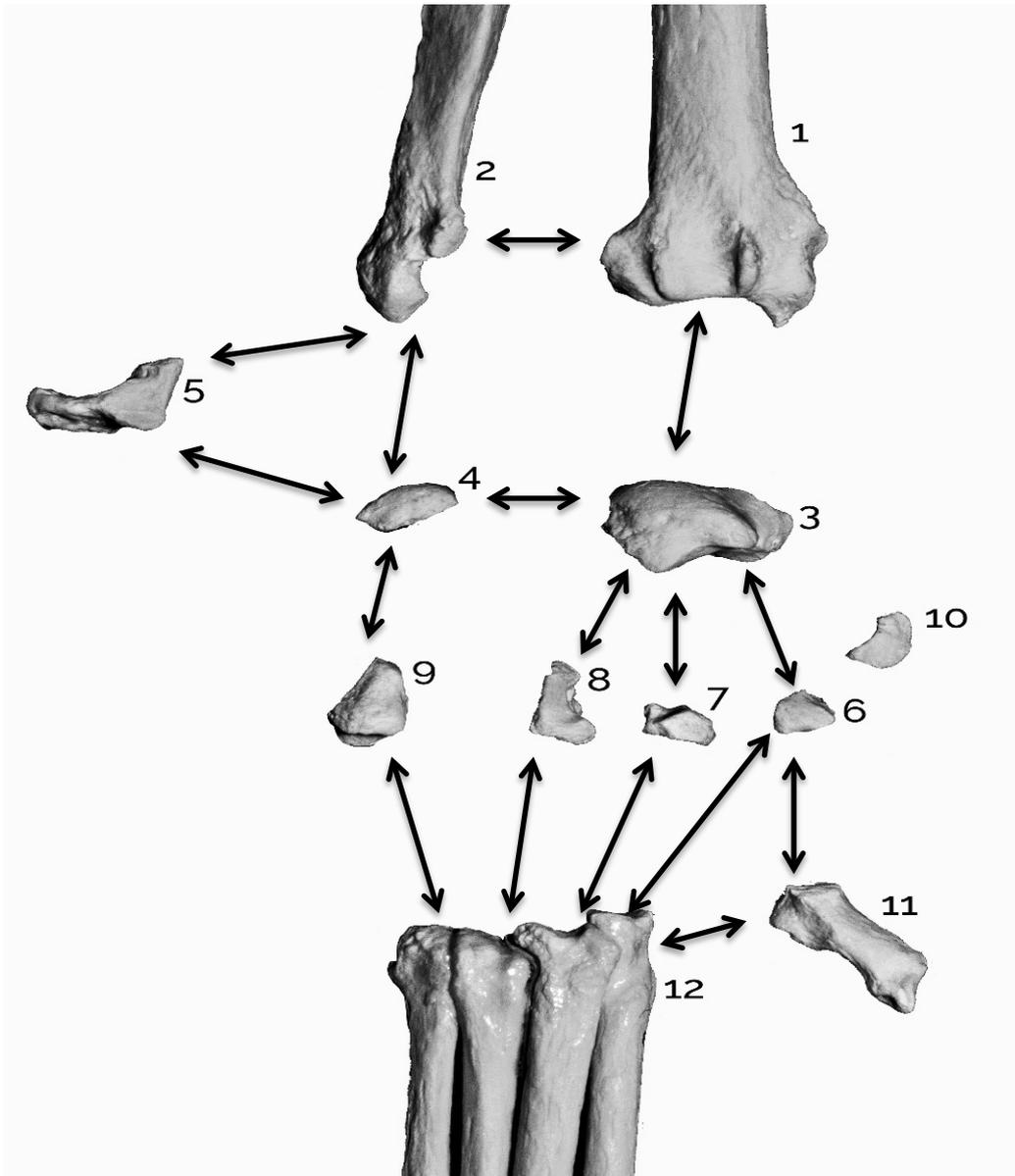
Die Bilder wurden in Adobe Photoshop Lightroom (Version 5.0, San José/ U.S.A.) und Paint (Version 6.3, Redmond/ U.S.A.) nachbearbeitet (Abb. 6-7c, S. 30-33).



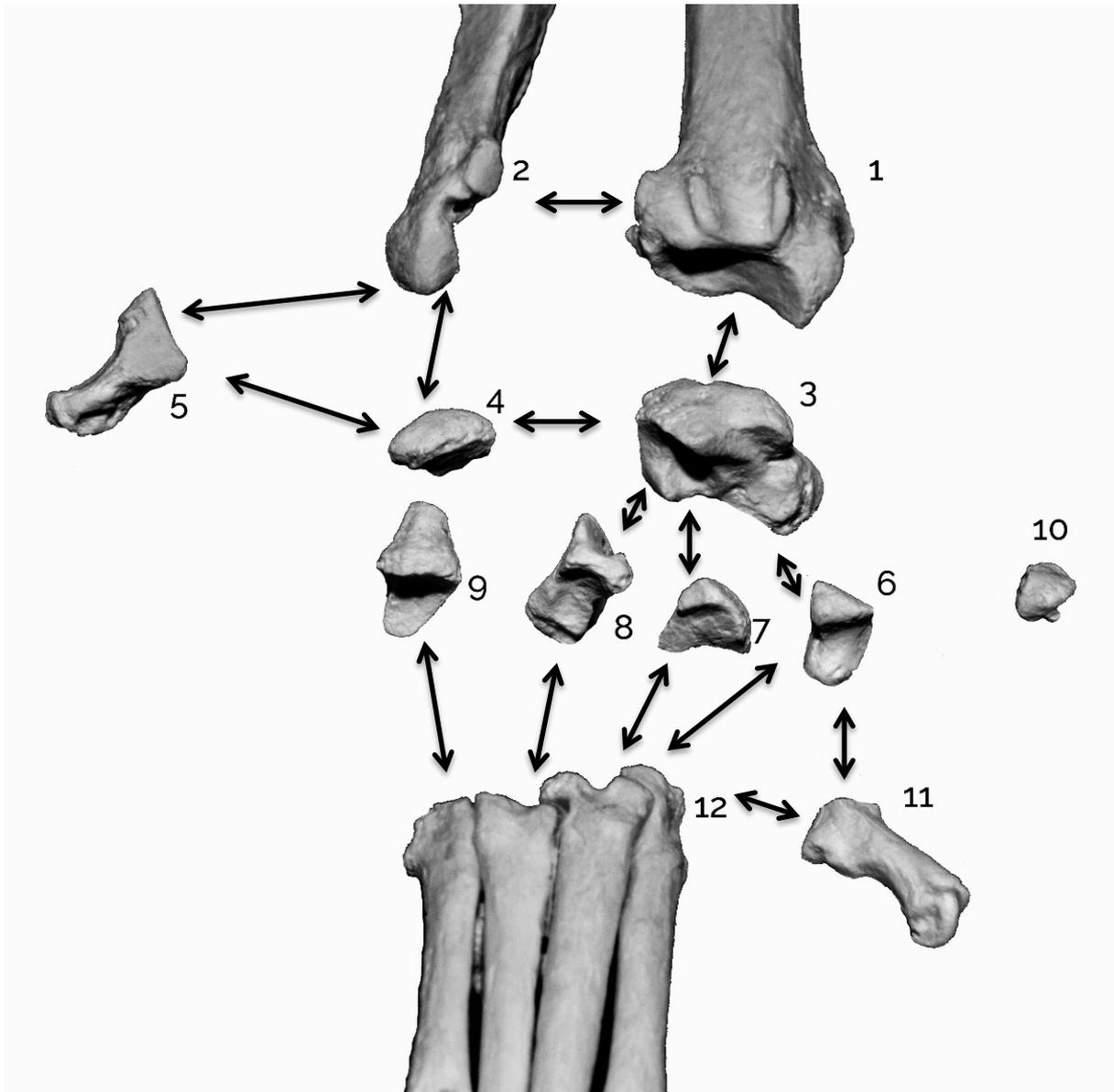
**Abbildung 6:** Kamerawinkel, aus denen die Knochen des Karpalgelenks abgelichtet wurden.



**Abbildung 7a:** Darstellung eines rechten Karpalgelenkes einer Katze in der 45°-Aufsicht (proximo-distal) zur Darstellung der proximalen Gelenkflächen; die Pfeile weisen auf die Gelenkflächen der Knochen; die Abbildung macht die Organisation des Gelenks in vier horizontalen Knochenreihen und 3 Gelenketagen deutlich (BRUNNBERG et al. 2014); Erste Knochenreihe: 1 Radius/ 2 Ulna, zweite Knochenreihe: 3 Os carpi intermedioradiale/ 4 Os carpi ulnare/ 5 Os carpi accessorium, dritte Knochenreihe: 6 Os carpale primum/ 7 Os carpale secundum/ 8 Os carpale tertium/ 9 Os carpale quartum, 10 Sesambein des Musculus abductor digiti I longus, vierte Knochenreihe: 11 Os metacarpale primum/ 12 Ossa metacarpalia secundum bis quintum.



**Abbildung 7b:** Darstellung eines rechten Karpalgelenkes einer Katze in der 90°-Ansicht; die Pfeile weisen auf die Gelenkflächen der Knochen; die Abbildung macht die Organisation des Gelenks in vier horizontalen Knochenreihen und drei Gelenketagen deutlich (BRUNNBERG et al. 2014); Erste Knochenreihe: 1 Radius/ 2 Ulna, zweite Knochenreihe: 3 Os carpi intermedioradiale/ 4 Os carpi ulnare/ 5 Os carpi accessorium, dritte Knochenreihe: 6 Os carpale primum/ 7 Os carpale secundum/ 8 Os carpale tertium/ 9 Os carpale quartum, 10 Sesambein des Musculus abductor digiti I longus, vierte Knochenreihe: 11 Os metacarpale primum/ 12 Ossa metacarpalia secundum bis quintum.



**Abbildung 7c:** Darstellung eines rechten Karpalgelenkes einer Katze in der 135°-Aufsicht (disto-proximal) zur Darstellung der distalen Gelenkflächen; die Pfeile weisen auf die Gelenkflächen der Knochen; die Abbildung macht die Organisation des Gelenks in vier horizontalen Knochenreihen und drei Gelenketagen deutlich (BRUNNBERG et al. 2014); Erste Knochenreihe: 1 Radius/ 2 Ulna, zweite Knochenreihe: 3 Os carpi intermedioradiale/ 4 Os carpi ulnare/ 5 Os carpi accessorium, dritte Knochenreihe: 6 Os carpale primum/ 7 Os carpale secundum/ 8 Os carpale tertium/ 9 Os carpale quartum, 10 Sesambein des Musculus abductor digiti I longus, vierte Knochenreihe: 11 Os metacarpale primum/ 12 Ossa metacarpalia secundum bis quintum.

## **Methode**

### ***Einspannvorrichtung (Abb. 8a-g, S. 35/37-40)***

Die Stabilitäts- und Instabilitätsprüfungen der Karpalgelenke machten es notwendig, eine spezielle Positionierungseinrichtung zu konstruieren, die den Vordergliedmaßen von Katzen anzupassen war, um reproduzierbare Messergebnisse bei den Belastungsuntersuchungen zu bekommen. Die für die röntgenologische Darstellung der Karpalgelenke verwendbaren Werkstoffe durften nicht metallisch sein.

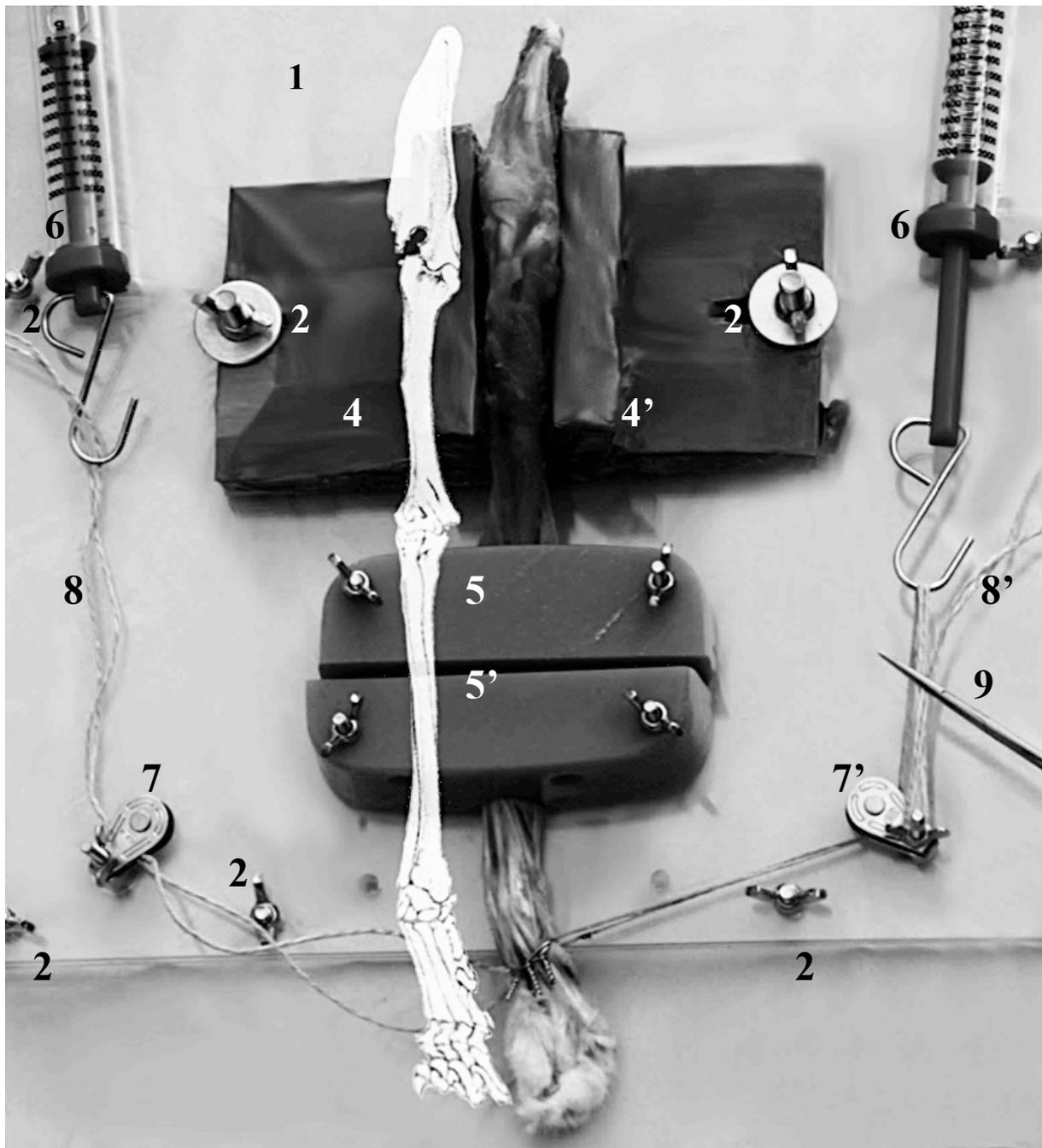
Das Gerät besteht aus neun Bauteilen (Abb. 8a-g, S. 35/37-40):

- 1 (Abb. 8a): Plexiglasplatte
- 2 (Abb. 8a): Flügelschrauben
- 3 (Abb. 8a): Nut
- 4 und 4' (Abb. 8a): Einspannvorrichtung für Scapula und Humerus
- 5 und 5' (Abb. 8a): Einspannvorrichtung für Radius und Ulna
- 6 und 6' (Abb. 8a): Kraftmesser
- 7 und 7' (Abb. 8a): Seilrolle
- 8 und 8' (Abb. 8b): Paketschnur
- 9 (Abb. 8b): Arterienklemme

Auf zwei deckungsgleichen Plexiglasplatten (Abb. 8a 1) mit einer Gesamtdicke von 0,8 cm (a 0,4 cm) und einer Länge und Breite von 34,5x28 cm sind verschiedene Halterungen und Spannvorrichtungen montiert. Die Platten wurden mit acht Flügelschrauben gesichert (Abb. 8a 2), so dass sie sich nicht gegeneinander verschieben können. Von einer der kurzen Seiten aus ist die Platte durch eine 13 cm lange Nut (Abb. 8a 3) getrennt.

Die Gliedmaßen wurden in die paarigen Bauteile 4/4' und 5/5' (Abb. 8a) eingespannt. Diese sind verschiebbar und über Flügelstellschrauben können die eingespannten Gliedmaßen sicher positioniert und gehalten werden.

Oberhalb der Nut, etwa mittig auf den Platten, wurden die aus Holz gefertigten Bauteile 4 und 4' angebracht. Zwischen ihren schraubstockartigen Backen lassen sich die Schultern und die Oberarme einklemmen und in der gewünschten Position fixieren. Die Backe 4' ist um 10° geneigt (Winkel=80°), um die Muskelmassen medial an der Scapula gut anlegen zu können, ohne dass beim Fixieren Schulterblätter oder Oberarme verkippen.



**Abbildung 8a:** Die Einspannvorrichtung in dorsopalmarer Konfiguration mit eingespannter Gliedmaße und Karpalgelenk in Varus-Position; durch die gezeichnete Vordergliedmaße wird ersichtlich, in welcher Position sich die Gelenke auf der Vorrichtung befinden; 1 Plexiglasplatte, 2 Flügelschrauben, 4/ 4' Einspannvorrichtung für Scapula und Humerus, 5/ 5' Einspannvorrichtung für Radius und Ulna, 6/ 6' Kraftmesser, 7/ 7' Seilrolle, 8/ 8' Paketschnur; 9 Arterienklemme.

Die Halterung 5/5' (Abb. 8e) ist zur Aufnahme des Unterarms jeweils zentral trapezförmig ausgeschnitten. Der Trapezausschnitt wurde so gewählt, dass das Präparat dorsal, lateral und medial umgriffen wird. Die Variabilität der Kaliber der Unterarmknochen machte es notwendig, die trapezförmige Aussparung in zwei Größen herzustellen (3,5x1,5x0,5 cm und 2,5x1x0,5 cm). Diese Bauteile wurden aus polymerem Prothesenkunststoff (Candulor Aesthetic Prothesenkunststoff ©, Polymer, dunkelrosa opak, I-02723) aus dem Zahntechnikerbedarf angefertigt. Das Material hat eine geringe Röntgen-opazität. Der Kunststoff wurde flüssig in eine eigens entwickelte Form gegossen und im Brennofen ausgehärtet.

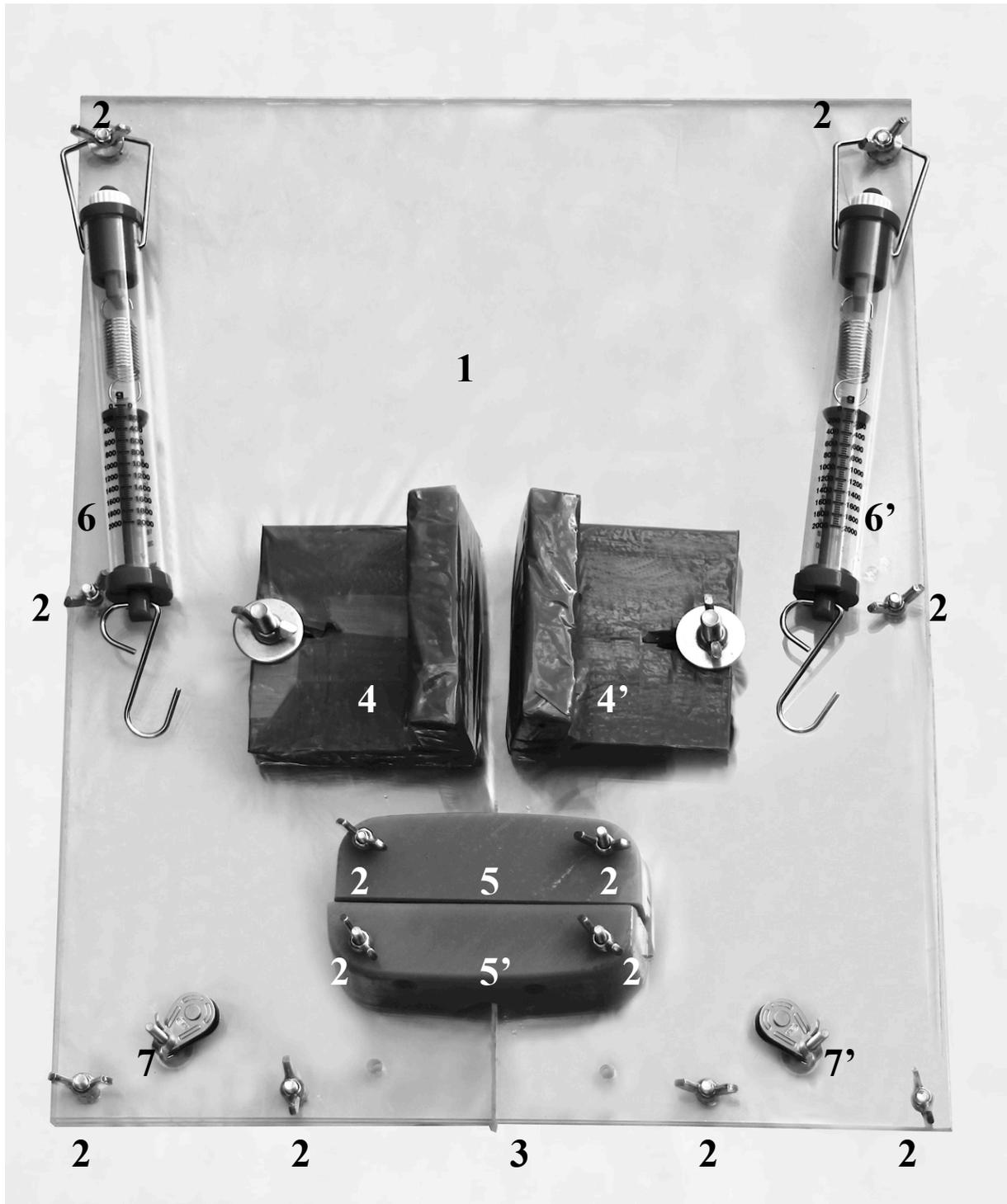
Waren Schulterblatt und Oberarm eingespannt und lag der Unterarm mittig auf der Nut (Abb. 8a 3), wurden die Stellschrauben fest angezogen, so dass die Plexiglasplatte in der Nut nachgab und nicht brach, aber sich die Kontaktfläche der Platte mit dem Unterarm vergrößerte. Diese Konstruktion (Abb. 8 f/g, S. 40) basiert auf dem Prinzip der doppelten Prismenführung (KÜNNE 2001).

Randständig, parallel zur langen Seite der Plexiglasplatte, sind auf beiden Seiten des Geräts Kraftmesser (Abb. 8a 6/6') angebracht. Die Kraftmesser folgen dem Prinzip einer Federwaage und erlauben einen Kraftaufwand von 20N. Um diese Kraft nutzen zu können, wurden am unteren Ende der Kraftmesser zwei Haken befestigt, über die der Kraftmesser mit dem Metakarpus verbunden wurde.

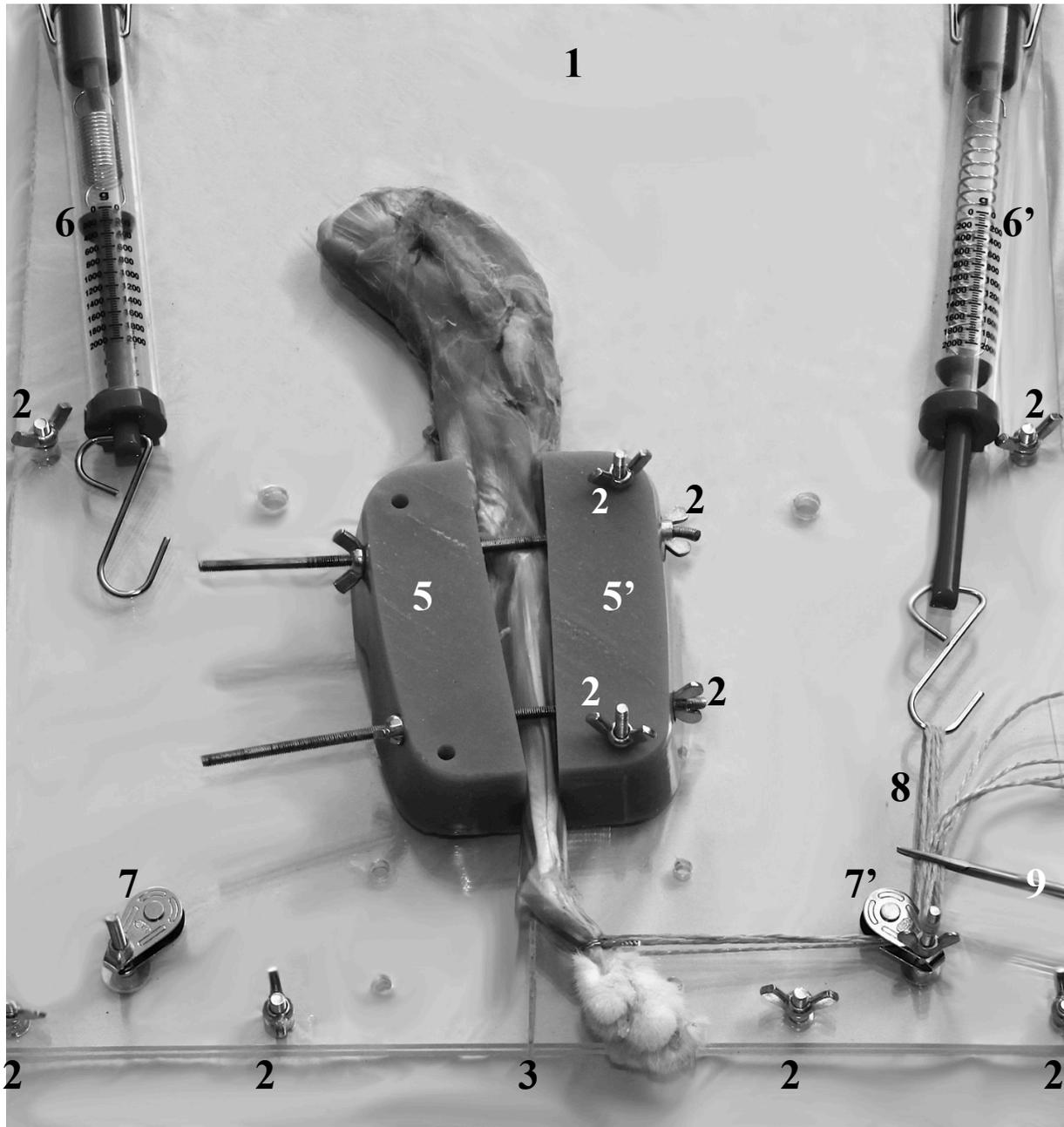
Eine Paketschnur aus Polypropylen (Abb. 8a 8/8') führt vom Kraftmesser über Seilrollen (Abb. 8a 7/7') zu den um die Mittelhandknochen gelegten Drahtcerclagen, die die Metakarpalknochen während der Stressaufnahmen fixierten. Die Paketschnur wird gespannt und das Karpalgelenk so in die gewünschte Richtung geneigt. Die Spannung wird aufrecht erhalten, indem die Paketschnur über eine Arterienklemme (Abb. 8a 9) fixiert wird.

Die Flügelschrauben (Abb. 8a 2), die Seilrollen (Abb. 8a 7/7') und die Arterienklemme (Abb. 8a 9) sind aus Metall gefertigt. Sie befinden sich außerhalb des zu röntgenden Bereichs.

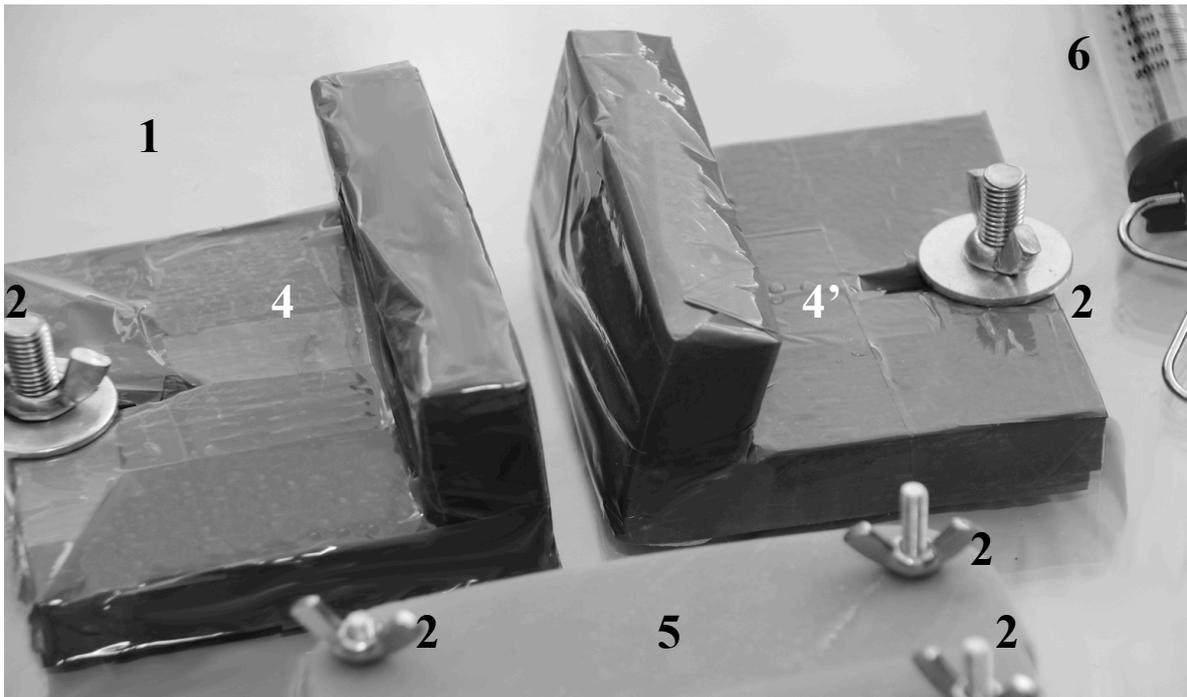
Für die Stabilitätsprüfung im mediolateralen Strahlengang war die Konfiguration der Einspannvorrichtung zu verändern (Abb. 8c). Die Bauteile 5/5' wurden dazu so montiert, dass sie nicht wie zuvor beim Anziehen der Schrauben auf die Platte gepresst, sondern aufeinander zugezogen wurden, um die dazwischenliegende Gliedmaße im Ellbogengelenk zu strecken und die Vordergliedmaße so zu fixieren. Die Gliedmaße wurde so eingespannt, dass das Ellbogengelenk zwischen den beiden Zugschrauben lag, die die Bauteile 5/5' zusammenziehen. Dabei lag das Ellbogengelenk der karpalgelenksfernen Schraube an, nicht der karpalgelenksnahen (Abb. 8c).



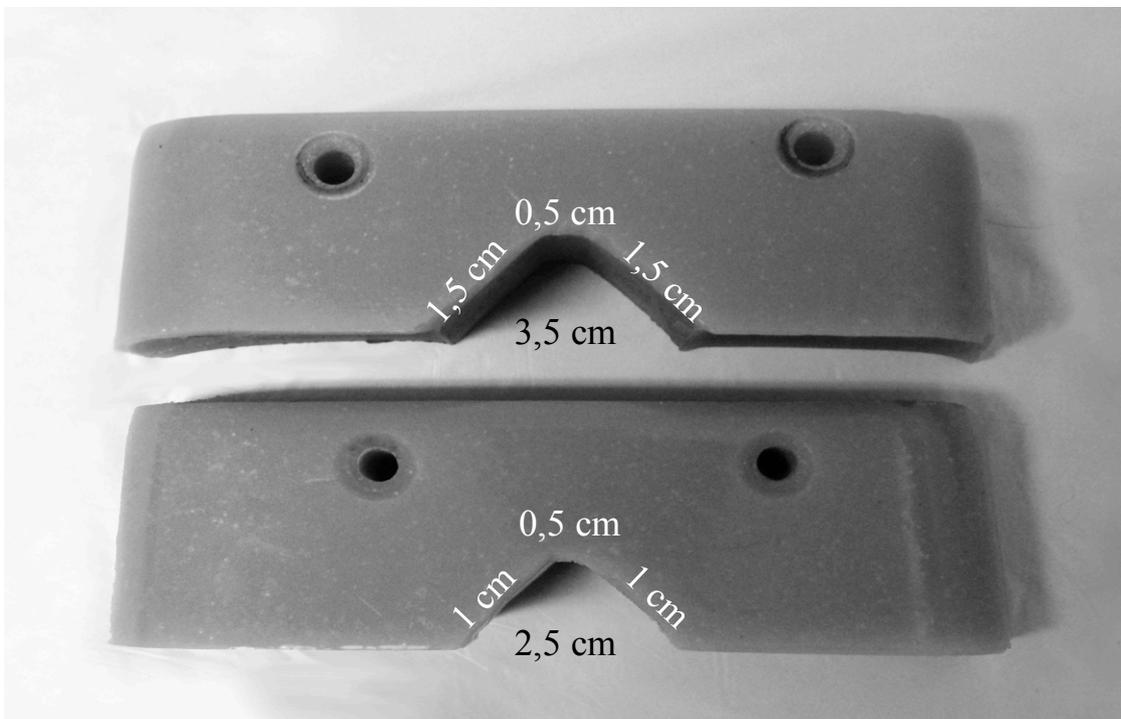
**Abbildung 8b:** Die Einspannvorrichtung in dorsopalmarer Konfiguration ohne Gliedmaße; Bauteile 1-7; 8/ 8' (Paketschnur) ist auf dieser Abbildung nicht zu sehen (Abb. 8a); 1 Plexiglasplatte, 2 Flügelschrauben, 3 Nut, 4/ 4' Einspannvorrichtung für Scapula und Humerus, 5/ 5' Einspannvorrichtung für Radius und Ulna, 6/ 6' Kraftmesser, 7/ 7' Seilrolle.



**Abbildung 8c:** Einspannvorrichtung in mediolateraler Konfiguration mit eingespannter Gliedmaße und Karpalgelenk in Hyperextension; 1 Plexiglasplatte, 2 Flügelschrauben, 3 Nut, 4/ 4' Einspannvorrichtung für Scapula und Humerus, 5/ 5' Einspannvorrichtung für Radius und Ulna, 6/ 6' Kraftmesser, 7/ 7' Seilrolle, 8/ 8' Paketschnur; 9 Arterienklemme.



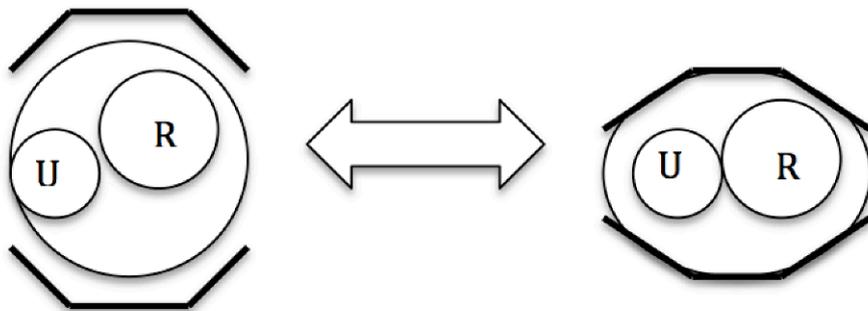
**Abbildung 8d:** Die Haltevorrichtung für Scapula und Humerus (Bauteil 4 und 4'); Bauteil 4 weist einen Winkel von  $90^\circ$  auf und Bauteil 4' von  $80^\circ$ , um die mediale Muskulatur des Schulterblattes gut anlegen zu können; 1 Plexiglasplatte, 2 Flügelschrauben, 4/ 4' Einspannvorrichtung für Scapula und Humerus, 5/ 5' Einspannvorrichtung für Radius und Ulna, 6 Kraftmesser.



**Abbildung 8e:** Bauteil 5 / 5' zur Fixierung des Unterarms; beide Bauteile wurden mit jeweils unterschiedlichen trapezförmigen Aussparungen in zwei Größen zur Anpassung an den Kaliber des Unterarms gefertigt (oben  $3,5 \times 1,5 \times 0,5$  cm und unten  $2,5 \times 1 \times 0,5$  cm).



**Abbildung 8f:** Unterarm einer Katze in trapezförmig ausgeschnittenen Halterungen (erstes Prisma) auf der Nut zweier sich durchbiegender Plexiglasplatten (zweites Prisma) fixiert.



**Abbildung 8g:** Doppelte Prismenführung nach KÜNNE (2001); Wirkungsweise im Schema: U=Ulna, R=Radius, links entspannt, rechts Flügelschrauben maximal angezogen.

### ***Erproben der Einspannvorrichtung und Entwicklung der Messmethodik***

Nachdem die Einspannvorrichtung konstruiert worden war, galt es den Umgang mit ihr zu erproben. Dafür musste zuvor der Versuchsablauf und die Art und Weise des Röntgens und Vermessens entwickelt werden.

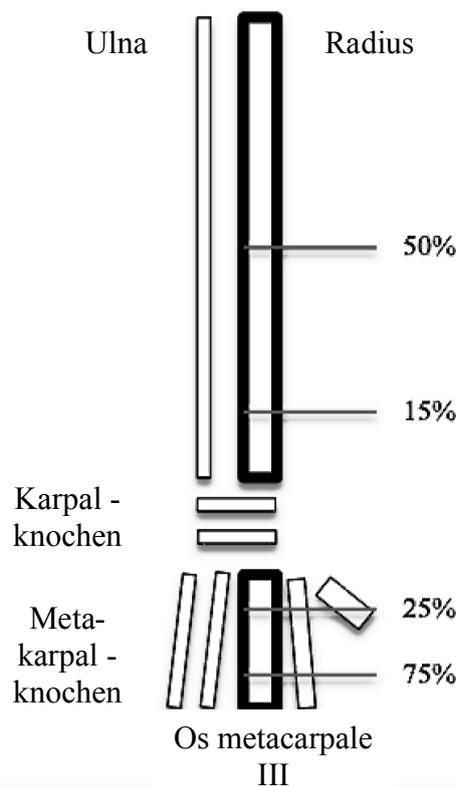
#### *Röntgen*

Waren die amputierten Vorderliedmaßen unversehrt, wurden die Karpalgelenke im Röntgengrundbildpaar, in Varus-/ Valgus-Stressposition und in Extension und Hyperextension jeweils vor und nach gezielter Desmotomie eines Bandes abgebildet. Im Vorher- und Nachher-Vergleich wurde der röntgenologisch sichtbare Instabilitätszuwachs abgebildet und vermessen. War ein Gelenkspalt nach gezielter Desmotomie nur vergrößert, wurde dies als Subluxation befundet. Als Luxation wurde in Anlehnung an ALLAN et al. (2005) jeder darüber hinausgehende Gelenkspaltzuwachs benannt.

Wie schon zuvor im Materialabschnitt wurden die Gliedmaßen digital rasterlos mit 55 kV und 5,0 mAs geröntgt. Die nachfolgenden Messungen wurden im RadiAnt DiCOM Viewer (Version 1.9.16.7446, Poznan/ Polen) vorgenommen. Die Röntgenaufnahmen wurden im Dicom-Format gespeichert.

*Messmethodik und Knochenkaliber*

Verschiedene Methoden wurden erprobt und evaluiert, indem die Karpalgelenke dreimal hintereinander, von insgesamt vier Untersuchern, vermessen wurden (BOONE et al. 1978). Zur Harmonisierung der Messungen wurde als reproduzierbarer Fixpunkt die Radiusachse bestimmt. Zunächst wurde die Länge des Radius (von der „Joint Orientation Line“ nach KAPATKIN et al. (2012) zum im Röntgenbild heller hervorgehobenen Grund der Fovea capitis radii) und des Os metacarpale tertium (von der proximalen bis distalen Gelenkfläche) bestimmt. Die Durchmesser der Speiche wurden an 15% und 50% der Länge dieses Knochens und die Durchmesser des dritten Mittelhandknochens an den Längenmarken 25% und 75% gemessen (Abb. 9). Diese Marken wurden willkürlich festgelegt, um reproduzierbare Knochenmarken zu generieren. Durch zwei Punkte, die jeweils auf der Hälfte der Durchmesser an den genannten Längenmarken lagen, verlaufen die Knochenachsen von Radius und Os metacarpale tertium. Der Schnittpunkt beider Linien (Abb. 10, S. 43) bildete den zu bestimmenden Gelenkwinkel (YALDEN 1970).

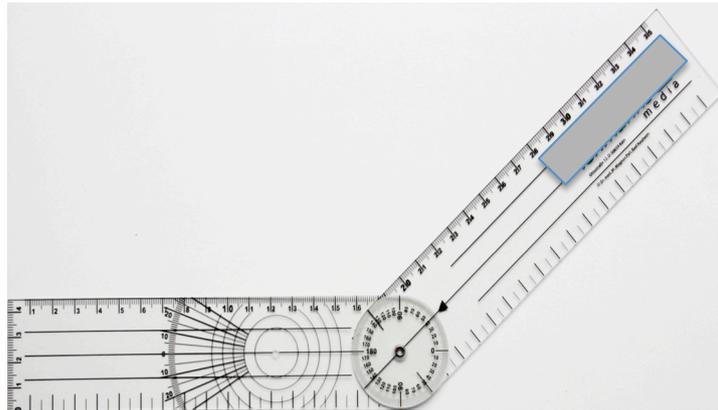


**Abbildung 9:** Schematische Darstellung des Unterarms zum Aufzeigen der Knochenmarken (25 bzw. 75% der Länge des dritten Metacarpalknochens, 15 bzw. 50% der Speiche), an denen die Knochenkaliber bestimmt wurden.

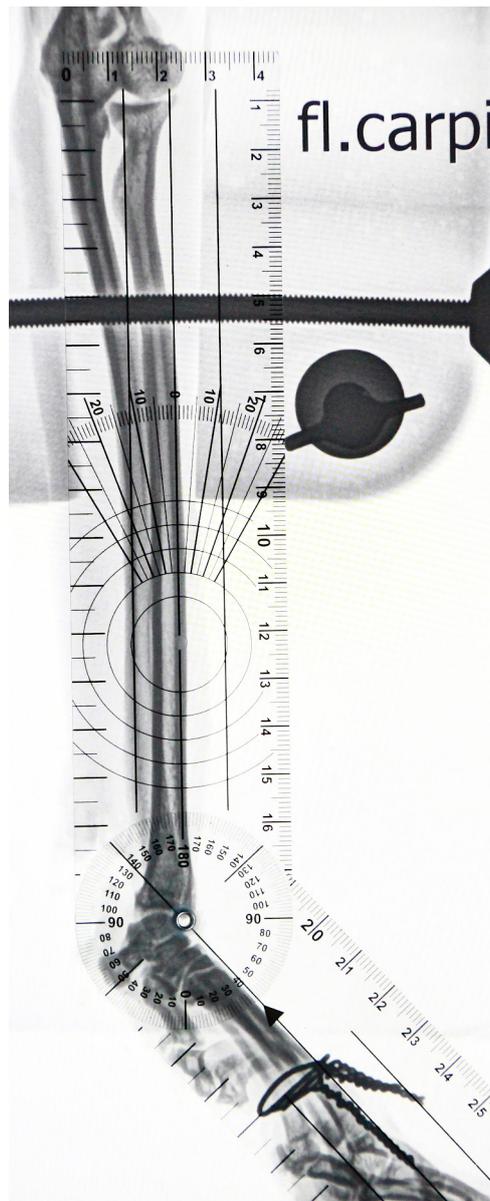


**Abbildung 10:** Linke Vordergliedmaße in Valgus-Position; im RadiAnt DiCOM Viewer (Version 1.9.16.7446, Poznan/Polen) werden die Gelenkwinkel digital bestimmt; Die zum Unterarm senkrecht verlaufenden Verschattungen entsprechen den Bauteilen 4/4' (Abb. 6a); an den Metakarpalknochen sind die Cerclagen zu erkennen, mit denen diese fixiert werden; Die Streckenlängen betragen die Hälfte des Durchmessers des jeweiligen Knochens an dieser Stelle, an den Längenmarken 15% bzw. 50% der Länge des Radius und 25% bzw. 75% des dritten Metakarpalknochens.

Der Extensionswinkel wurde mit einem handelsüblichen einfachen Goniometer (Abb. 11) bestimmt. Fixpunkte für die Radiusachse waren der dorsale Rand der distalen Gelenkfläche des Radius und die dorsale Begrenzung des Caput radii. Der zweite Schenkel des Goniometers wurde als Tangente der dorsalen Begrenzung der Metakarpalknochen angelegt (Abb. 12, S. 45).



**Abbildung 11:** Einfaches zwischenkliges Goniometer.



**Abbildung 12:** Gliedmaße im mediolateralen Strahlengang mit Goniometer, durch das am digitalen Röntgenbild der Extensionswinkel bestimmt wird. Das Loch im Drehpunkt des Goniometers wird auf den kranialen Rand der distalen Gelenkfläche des Radius gelegt (siehe „Nase“ im Zentrum des Lochs). Von diesem Loch führt der eine Schenkel zum kranialen Gelenkrand der proximalen Gelenkfläche des Radius. Der zweite Schenkel wird als Tangente an die Metakarpalknochen angelegt. Die grauen Umrandungen die den proximalen Teil des Unterarms umfassen, zeigen die Bauteile 5/5' der Einspannvorrichtung (Abb. 8a, S. 35) mit den dazugehörigen Schrauben, die die beiden Bauteile auf die Platte pressen und aufeinander zuziehen.

Aus Tabelle 7 ist der innere und äußere Durchmesser des Radius und des MC III aller 60 Gliedmaßen zu ersehen. Der äußere Durchmesser des MC III betrug 2,7-4 mm und der innere 1-1,9 mm. Am Radius reichte der äußere Durchmesser von 4,6-7,4 mm und der innere von 1,5-3,8 mm.

**Tabelle 7:** Äußerer und innerer Durchmesser von Radius und Os metacarpale III.

Pa tie nt	d R 15%		d R 50%		id R		d Mc 25%		d Mc 75%		id Mc	
	li	re	li	re	li	re	li	re	li	re	li	re
1	6,2	6,2	6,1	6,1	3,1	2,7	3,2	2,9	3,2	3	1,4	1,4
2	5,5	5,4	5,5	6,1	2,2	2,4	3,1	2,9	2,9	2,7	1,3	1,1
3	6,2	6,3	6,3	6,2	2,9	2,7	3,5	3,7	3,4	3,2	1	1,1
4	6,9	7,2	6,9	6,8	3,8	3,6	3,7	3,4	3,1	3	1,6	1,8
5	5,9	5,7	6,2	5,9	2,6	2,4	3,4	3,7	2,9	3,2	1	1,1
6	7,4	7,4	7	7,2	3,4	3,4	3,8	3,8	3,4	3,7	1	1,1
7	6,8	6,8	6,6	6,7	2	2,8	3,8	3,6	3,5	3,2	1	1,2
8	5,7	5,8	5,5	5,4	1,5	1,7	3,4	3,4	3,2	3,3	1	1,2
9	6,7	6,8	6,4	6,8	3,3	3	3,9	3,8	3,6	3,7	1,6	1,7
10	6	6,2	5,8	6	2,9	3,4	3,6	3,3	3,2	3	1,9	1,7
11	6	6,5	6,2	6,6	2,8	3	3,6	3,6	3,3	3	1,5	1,5
12	6,5	6	6	5,8	2,9	2,7	3,4	3,2	3,2	3	1,1	1,1
13	7,3	7,1	7,4	7,3	2,5	2,4	4	4	3,7	3,7	1,4	1,3
14	7,1	7,1	7,3	6,9	3,7	3,4	3,9	3,7	3,6	3,6	1,5	1,5
15	5,6	5,4	5,4	5,6	2,4	2,3	3,4	3,4	3,1	3	1,4	1,4
16	5,9	6	6,9	7	2,6	2,5	3,6	3,5	3,2	3,1	1,1	1,1
17	5,6	6	5,8	6,3	2,4	2,7	3,6	3,6	3,1	3,2	1,2	1,2
18	6,7	7	7,2	7,4	2,9	2,8	3,6	3,4	3,2	3,3	1,3	1,3
19	5,8	6	6	6,4	2,4	3,2	3,6	3,4	3,3	3,2	1,5	1,5
20	6	7	5,8	6,1	2,2	2,2	3,4	3,4	3	3	1,3	1,4
21	4,6	4,7	4,8	4,9	1,7	2,0	3,1	3,0	2,9	2,7	1,0	1,0
22	6,1	6,3	6,8	6,7	2,8	3	3,4	3,6	2,9	2,8	1,3	1,4
23	4,9	4,6	5,2	4,8	2,2	2,2	3,2	3,4	2,9	3,3	1,5	1,5
24	6,9	6,9	7,1	7,4	2,4	2,5	3,4	3,2	3,2	3,1	1,5	1,3
25	5,2	5,2	5,5	5,4	2,3	2,3	3,0	3,0	3,2	3,2	1,1	1,1
26	5,9	6,3	5,7	5,8	2,3	2,9	3,6	3,2	3,1	3	1,3	1,4
27	6,3	6	6	5,9	2,5	2,1	3,2	3,4	3	2,9	1,2	1,3
28	5,8	6,1	6,3	6,7	3,3	3	3,3	3	3,3	3,1	1,4	1,5
29	5,2	5,2	5,4	5,7	2,4	2,4	3,3	3,4	2,9	2,8	1,2	1,5
30	6,1	6,1	6,1	6,3	2,7	2,9	3,6	3,6	3,2	3,2	1,6	1,7

Vglm.=Vordergliedmaße; d=äußerer Durchmesser; id=innerer Durchmesser; R=Radius; Mc=Metakarpalknochen III; 15/ 50/ 25 bzw. 75% = Markierung am Knochen an der der Durchmesser gemessen wurde in Relation zur Länge des Radius/Os metacarpale III.

### *Statistische Evaluierung der Messmethodik*

In den Tabellen 103-105 (S. 147-148) sind die Gelenkwinkel aus den Messungen der vier (A, B, C, D) Untersucher, die jeweils neun Gliedmaßen (jeweils dieselben) vermessen haben, um die Messmethodik zu evaluieren, exemplarisch am Beispiel des Untersuchers A aufgelistet. Ziel war es, Messungenauigkeiten zu bestimmen, die während des Vermessens entstehen können. Diese Messungenauigkeiten werden statistisch durch den Variationskoeffizienten ausgedrückt, der niedriger als 6% sein sollte.

Wie den Tabellen 103-105 zu entnehmen ist, wurde die größte in Varus-Position gemessene Intra-Tester-Differenz der Karpalgelenkwinkel an Gliedmaße eins bei Untersucher A und an drei bei B festgestellt. Die Differenz beträgt  $2,1^\circ$ . Der größte Inter-Tester-Unterschied betrug  $2,4^\circ$  an Gliedmaße vier bei Untersucher A und B.

In Valgus-Position lag die größte Winkeldifferenz an Gliedmaße drei bei Untersucher A mit  $2,3^\circ$ . Der maximale Unterschied zwischen den vier Untersuchern betrug ebenfalls  $2,3^\circ$  an Gliedmaße sieben bei Untersucher A und B.

In Extensionsstellung machte der Messunterschied maximal  $4^\circ$  aus, bezogen sowohl auf die Intra-Tester-, als auch auf die Inter-Tester-Winkeldifferenz.

Aus den Winkeldifferenzen wurde der Variationskoeffizient bestimmt. Er sollte gemäß der statistischen Determination unter 6% liegen. Der Variationskoeffizient drückt statistisch die Ungenauigkeit aus, die beim Einspannen einer Gliedmaße während des Röntgens und der Vermessung entsteht. Der Variationskoeffizient A wurde für die Untersucher A-D für jede Gliedmaße einzeln berechnet. Er betrug durchschnittlich bei Gliedmaßen in Varus-Position 0,31% bei Untersucher B, 0,34% bei C, 0,35% bei D und 0,38% bei A. Bei Gliedmaßen in Valgus-Position betrug der Wert 0,2% bei Untersucher B, 0,24% bei C, 0,27% bei D und 0,31% bei A. In Extensions-Position lag der Variationskoeffizient durchschnittlich bei 0,67% (Untersucher A und C), 0,68% (B) und 0,78% (D). Insgesamt betrug der Variationskoeffizient bei der in diesem Versuch angewandten Art und Weise, die Gliedmaßen im dorsopalmaren und mediolateralen Strahlengang zu vermessen, 0,43% (Untersucher A=0,45%, Untersucher B=0,39%, Untersucher C=0,41%, Untersucher D=0,46%). Er unterschritt die statistisch angeordnete Grenze von 6% um 5,57%.

Die Inter-Tester-Reliabilität lag bei 0,98 in der Vermessung von Karpalgelenken in Varus-Position und bei 0,99 in Valgus- und medio-lateraler Position und lag damit im Sollbereich von 0,95-1.

### *Erproben des Umgangs mit der Einspannvorrichtung*

Nachdem die Einspannvorrichtung entwickelt und der Ablauf des Röntgens und Vermessens festgelegt worden war, wurden der Versuchsablauf und das Gerät in Vorversuchen erprobt und feinjustiert, um reproduzierbare Messergebnisse zu ermöglichen. Anhand der Ergebnisse aus diesen Vorversuchen musste die Einspannvorrichtung entsprechend verändert und ein standardisierter Ablauf erstellt werden, nach dem die Gliedmaßen in die Vorrichtung eingespannt werden sollten.

Die Funktionalität der Einspannvorrichtung war im Hinblick auf Zuverlässigkeit und Genauigkeit zu evaluieren. Dazu wurden die Gliedmaßen eingespannt, im dorsopalmaren Strahlengang in Varus- und Valgus-Position und im mediolateralen Strahlengang in Extensionsstellung geröntgt, anschließend aus dem Gerät entfernt und dies dreimal von drei verschiedenen Untersuchern wiederholt und jeweils geröntgt (BOONE et al. 1978). An den Röntgenbildern wurde die Winkelung im Karpalgelenk jeweils dreimal von jedem Untersucher gemessen (BOONE et al. 1978) und die größte Winkeldifferenz einer Gliedmaße notiert.

Mit der letztendlich verbleibenden Messungenauigkeit im Experiment wurde die maximal mögliche Winkelabweichung als unverändert angenommen. So ließ sich beurteilen, ob die Desmotomie eines Bandes eine Instabilität verursachte oder ob die Veränderung des Gelenkwinkels durch Ungenauigkeiten im Versuchsablauf entstand. Die Winkelabweichung wurde als Messfehlertoleranz bezeichnet. Als Messfehlertoleranz wurde die Varianz der Winkel benannt, die als tolerierbar angenommen wurde, weil sie nicht durch die Traumatisierung eines Bandes entstand.

Die Ergebnisse der drei Versuchsdurchgänge pro Gliedmaße und Untersucher sowie die daraus abgeleitete Messfehlertoleranz sind exemplarisch in den Tabellen 100-102 (S. 145-146) zusammengestellt.

Im Varus-Messgang einer Gliedmaße betrug die größte Differenz  $2,6^\circ$  bei den Untersuchern A und D, bei B  $3,0^\circ$  und  $3,2^\circ$  bei C  $3,2^\circ$ . Die größte Inter-Tester-Winkeldifferenz an einer Gliedmaße wurde an der Gliedmaße sechs mit  $3,5^\circ$  zwischen den Untersuchern B und D festgestellt. Dieser Wert wurde als Fehlertoleranz bei Vermessungen in Varus-Position angesehen. Das heißt, verschob sich nach Durchtrennung eines Bandes der Varus-Winkel unter Stressbedingungen um maximal  $3,5^\circ$ , so wurde gefolgert, dass dies nicht der Traumatisierung geschuldet war.

Im Valgus-Messgang betrug die größte gemessene Intra-Tester-Winkelabweichung an Gliedmaße vier  $5^\circ$  bei Untersucher D, an drei bei B  $5,2^\circ$ , an drei bei A  $5,5^\circ$  und an Gliedmaße acht bei Untersucher C  $6,4^\circ$ . Die größte Inter-Tester-Differenz wurde an den Gliedmaßen drei und acht mit  $6,4^\circ$  gemessen und als Valgus-Messfehlertoleranz angesehen. Von Varus- zu Valgus-Position machte die Messfehlertoleranz insgesamt  $9,9^\circ$  aus.

In Extensionsstellung betrug die Intra-Tester-Differenz maximal  $4^\circ$  und die Inter-Tester-Differenz maximal  $6^\circ$ . Folglich lag die Messfehlertoleranz in Extensionsstellung der Karpalgelenke bei  $6^\circ$ .

Der Variationskoeffizient B, mit dessen Hilfe die Genauigkeit des Geräts statistisch beschrieben ist und dessen Sollwert maximal bei ca. 6% liegen sollte, betrug im Durchschnitt 6,83% (Untersucher A=6,5%, B=6,78%, C=7,74%, D=6,28%).

Die Inter-Tester-Reliabilität zwischen den vier Untersuchern lag im Varus-Messgang bei 0,99, im Valgus-Messgang bei 0,98 und im ML-Messgang bei 0,96. Die Übereinstimmung tendierte nahe 1 und lag über 0,95. Die Reproduzierbarkeit war somit statistisch bewiesen.

### *Einspannvorgang der Gliedmaße in die Vorrichtung*

Nachdem die Genauigkeit der Messergebnisse statistisch evaluiert worden war, erwies es sich zur Erstellung reproduzierbarer Ergebnisse als praktikabel, bei den Messungen im dorsopalmaren Strahlengang jeweils dem folgenden Ablauf zu folgen:

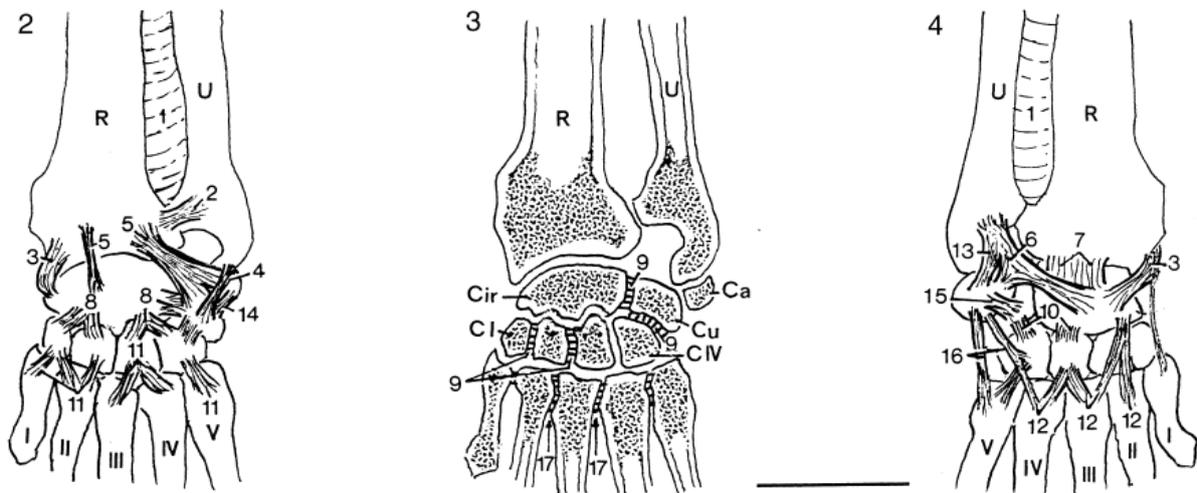
- a) Schulter und Oberarm wurden in die schraubstockartigen Backen der Bauteile 4 und 4' (mediale Seite der Scapula an 4') eingeklemmt.
- b) Der Unterarm lag der Nut auf. Für die korrekte Positionierung wurde beachtet, dass der laterale und mediale Bandhöcker des Condylus humeri knapp oberhalb der Bauteile 5/ 5' auf einer horizontalen Ebene lagen.
- c) Der Unterarm wurde distal in das Bauteil 5' eingespannt (dabei wurde zunächst die Schraube medial des Unterarms angezogen).
- d) Danach wurden die Schrauben des Bauteils 5 angezogen.
- e) Der so fixierte Gliedmaßenabschnitt wurde geröntgt und das Bild im Hinblick auf korrekte Lagerung analysiert sowie die Positionierung gegebenenfalls nachjustiert.
- f) War die Gliedmaße korrekt positioniert, wurden die Aufnahmen in den entsprechenden Stress-Positionen angefertigt.

Für die mediolaterale Konfiguration wurden die Bauteile 4/ 4' entfernt. Das Bauteil 5 wurde parallel zur Nut festgeschraubt. Das Bauteil 5' wurde durch zwei Zugschrauben auf 5 zubewegt. Der Unterarm lag dazwischen. Der mediale und laterale Bandhöcker des Condylus humeri waren distal der ellbogengelenksnahen Zugschraube und wurden so gelagert, dass sie in vertikaler Sicht als ein Punkt im Röntgenbild der Plexiglasplatte auflagen (Abb. 8c, S. 38).

### **Präparation der Bänder des Karpalgelenks**

Für die experimentellen Untersuchungen des Hauptversuchs wurden die Bänder des Karpalgelenks ROOS et al. (2000) folgend (Abb. 13) präpariert und durchtrennt.

Um palmar die Ligamente zu erreichen, war dort die Muskulatur durchzuschneiden, während die Kollateralbänder und die Ligamenta ulnocarpeum palmare/ accessorioulnare/ radiocarpeum dorsale nach Inzision der Gelenkkapsel direkt zugänglich sind.



**Abbildung 13:** Abbildung des linken Karpalgelenks; links dorsale Ansicht, in der Mitte im Transversalschnitt, rechts palmare Ansicht (ROOS et al. 2000).

Folgende Bänder, Bandkombinationen und Weichteilstrukturen wurden durchtrennt:

- Ligamentum collaterale mediale (S. 55)
- Ligamentum collaterale laterale (S. 59)
- Ligamenta ulnocarpeum palmare/accessorioulnare (S. 62)
- Ligamentum radiocarpeum palmare (S. 65)
- Ligamenta intercarpea palmaria (S. 69)
- Ligamenta carpometacarpea palmaria (S. 72)
- Ligamentum radiocarpeum dorsale (S. 76)
- Ligamenta collaterale mediale/radiocarpeum dorsale (S. 78)
- Ligamenta collaterale mediale/radiocarpeum palmare (S. 80)
- Ligamentum accessoriometacarpeum (S. 82)
- Musculus flexor digitorum communis (S. 84)
- Musculi flexor carpi radialis/ulnaris (S. 87)

- Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und das Retinaculum palmare (S. 90)
- Ligamentum collaterale mediale, Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und das Retinaculum palmare (S. 94)

### ***Versuchsablauf***

Nachdem der Präparationsvorgang, die Messmethodik und die Einspannvorrichtung entwickelt worden waren, wurden die Versuche an den Gliedmaßen nach folgendem Ablauf durchgeführt:

- a) Fixation der amputierten und präparierten Gliedmaßen in der Einspannvorrichtung
- b) Röntgen und Messungen am intakten Gelenk
- c) Desmotomie des Karpalgelenksbandes
- d) Fixation in der Einspannvorrichtung
- e) Röntgen und Messungen nach der Desmotomie
- f) Röntgenbefundung und statistische Auswertung der Messergebnisse vor und nach Desmotomie

### ***Statistik***

Die Ergebnisse aus den Vor - und Hauptversuchen wurden statistisch ausgewertet.

Die Justierung der Einspannvorrichtung und die Entwicklung der Messmethodik wurden durch den Variationskoeffizienten, der unter 6% liegen sollte, analysiert. Vier Untersucher überprüften die Funktionalität des Gerätes und die Messmethode. Die Mittelwerte ihrer Messergebnisse wurden anhand der Inter-Tester-Reliabilität bewertet.

Karpalgelenksinstabilitäten wurden an insgesamt 13 intakten und desmotomierten Bändern und Bandkombinationen der 60 Gliedmaßen aufgearbeitet. In jeder Gruppe wurden gleich viele intakte wie desmotomierte Karpalgelenke deskriptiv analysiert und im Wilcoxon-Signed-Rank-Test (nicht-parametrischer Test für verbundene Stichproben) verglichen. Gruppengrößen mit  $n < 4$  wurden statistisch nicht analysiert.

Die statistischen Tests wurden mit der Statistik-Software SPSS Statistics (Version 21, Armonk/ U.S.A.) vorgenommen. Werte von  $p \leq 0,05$  wurden als statistisch signifikant erachtet.

#### 4. Ergebnisse

##### Intakte Karpalgelenke

Wie aus Tabelle 8 zu entnehmen ist, beträgt das Bewegungsausmaß intakter Karpalgelenke von Varus- zu Valgus-Position 14,7 bis 50,9°, im Durchschnitt 34,12° (34,22° rechts und 34,03° links).

**Tabelle 8:** Varus-Valgus-Bewegungsausmaß intakter Karpalgelenke.

Katze	Rechts (Nummer Gliedmaße)	Links (Nummer Gliedmaße)
1	41,6° (1)	43,5° (2)
2	50,9° (3)	48° (4)
3	35,8° (5)	43,4° (6)
4	28,7° (7)	31° (8)
5	28,5° (9)	27,7° (10)
6	21,6° (11)	22,7° (12)
7	30,8° (13)	29,4° (14)
8	34° (15)	34,3° (16)
9	16,2° (17)	14,7° (18)
10	37,5° (19)	41,6° (20)
11	27,3° (21)	32,8° (22)
12	31,7° (23)	35,7° (24)
13	40,4° (25)	34,3° (26)
14	37,9° (27)	34,0° (28)
15	45,2° (29)	37,9° (30)
16	32,2° (31)	32,6° (32)
17	40,3° (33)	27° (34)
18	29° (35)	26,8° (36)
19	38,3° (37)	32° (38)
20	50,1° (39)	45,4° (40)
21	27,3° (41)	33,4° (42)
22	43° (43)	44° (44)
23	37,8° (45)	33,3° (46)
24	26,1° (47)	40,4° (48)
25	25,3° (49)	28,5° (50)
26	40,4° (51)	37,7° (52)
27	29,8° (53)	34,5° (54)
28	32,8° (55)	34,9° (56)
29	34,3° (57)	34,4° (58)
30	31,8° (59)	26,9° (60)

Die Ergebnisse der Messungen in Extension im Rechts-Links-Vergleich sind aus der Tabelle 9 zu ersehen. Der Extensionswinkel aus einer 180°-Winkelung des Karpalgelenks heraus beträgt 16° bis 42°, im Mittel am rechten Karpalgelenk 25,21° und am linken 27,71°, im Gesamtdurchschnitt 26,46°.

**Tabelle 9:** Maximaler Extensionswinkel intakter Karpalgelenke.

Nummer Patient	Rechts (Nummer Gliedmaße)	Links (Nummer Gliedmaße)
1	36° (1)	40° (2)
2	20° (3)	32° (4)
3	Keine Aufnahme in dieser Position (5)	Keine Aufnahme in dieser Position (6)
4	20° (7)	26° (8)
5	22° (9)	22° (10)
6	20° (11)	20° (12)
7	26° (13)	22° (14)
8	26° (15)	30° (16)
9	20° (17)	24° (18)
10	30° (19)	36° (20)
11	20° (21)	22° (22)
12	30° (23)	30° (24)
13	16° (25)	22° (26)
14	24° (27)	26° (28)
15	34° (29)	34° (30)
16	Keine Aufnahme in dieser Position (31)	Keine Aufnahme in dieser Position (32)
17	28° (33)	30° (34)
18	22° (35)	26° (36)
19	26° (37)	22° (38)
20	34° (39)	40° (40)
21	24° (41)	26° (42)
22	26° (43)	24° (44)
23	32° (45)	34° (46)
24	22° (47)	24° (48)
25	22° (49)	20° (50)
26	26° (51)	32° (52)
27	24° (53)	26° (54)
28	38° (55)	42° (56)
29	22° (57)	24° (58)
30	16° (59)	20° (60)

### **Gezielte Desmotomie einzelner Bänder des Karpalgelenks**

Die Ergebnisse der Winkelmessungen sind in den Tabellen 10-98 aufgelistet und statistisch ausgewertet.

Die Messfehlertoleranz betrug im dorsopalmaren Strahlengang in Varus-Position des Karpalgelenks  $3,5^\circ$  und in Valgus-Position  $6,4^\circ$ , insgesamt  $9,9^\circ$ . Im mediolateralen Strahlengang der Karpalgelenke in Extension lag die Messfehlertoleranz bei  $6^\circ$ .

### ***Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale***

Das Ligamentum collaterale mediale konnte desmotomiert werden, ohne andere Strukturen zu verletzen.

Röntgenologisch ließ sich nach Desmotomie des Bandes im Vergleich zum intakten Innenband auch unter Belastung keine Instabilität feststellen. Eine etwaige Winkeldifferenz lag im Messfehlertoleranzbereich.

In der statistischen Berechnung fiel nur in Valgus-Position bei Gliedmaße 11 ein signifikanter Instabilitätszuwachs auf. Der  $p$ -Wert des Vergleichs vor und nach Desmotomie beträgt 0,04. Der Valgus-Winkel betrug  $11,3^\circ$  und überstieg den Toleranzbereich von  $6,4^\circ$  um  $4,9^\circ$ . Sieht man von Gliedmaße Nummer 11 ab, war auch in Valgus kein signifikanter Instabilitätszuwachs statistisch errechenbar.

Der durchschnittliche Bewegungsumfang von maximalem Varus zu maximalem Valgus nach Desmotomie betrug  $39,18^\circ$ . Er war um  $5,06^\circ$  größer als bei intaktem Innenband ( $34,12^\circ$ ) und lag damit innerhalb der Messfehlertoleranz von  $9,9^\circ$ .

Die Extensionswinkel differierten statistisch nicht signifikant ( $p=0,66$ ). Es konnten in Extensionsstellung keine röntgenologisch nachweisbaren Instabilitäten festgestellt und entsprechend auch keine Winkel außerhalb der Messfehlertoleranz von  $6^\circ$  gemessen werden.

**Tabelle 10:** Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale.

<b>Ligamentum collaterale mediale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 3,5°
3	18,5°	22,1°	2,6°	< 3,5°
4	18,1°	19,5°	0,3°	< 3,5°
5	17,8°	18°	0,2°	< 3,5°
6	20,7°	19,9°	0,8°	< 3,5°
17	10,4°	8,3°	2,1°	< 3,5°
18	4,9°	4,6°	0,3°	< 3,5°
23	18,9°	19,4°	0,5°	< 3,5°
24	19,8°	17°	2,8°	< 3,5°
39	20,8°	19°	1,8°	< 3,5°
40	17,4°	20,9°	3,5°	< 3,5°
55	14,1°	14,3°	0,2°	< 3,5°
56	14,3°	12,2°	2,1°	< 3,5°

**Tabelle 11:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale.

<b>Ligamentum collaterale mediale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	12	4,9	20,8	16,30	4,70	0,81
Band desmotomiert	12	4,6	22,1	16,26	5,39	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 12:** Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale.

<b>Ligamentum collaterale mediale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6,4°
3	32,4°	27,4°	5°	< 6,4°
4	29,9°	33,2°	3,3°	< 6,4°
5	18°	22,2°	4,2°	< 6,4°
6	22,7°	34°	11,3°	> 6,4°
17	6,2°	6,2°	0°	< 6,4°
18	9,8°	13,1°	3,3°	< 6,4°
23	12,8°	13,5°	0,7°	< 6,4°
24	15,9°	17°	1,1°	< 6,4°
39	29,3°	31,4°	1,1°	< 6,4°
40	28°	32°	4°	< 6,4°
55	18,7°	23,4°	4,7°	< 6,4°
56	20,6°	21,7°	1,1°	< 6,4°

**Tabelle 13:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale.

<b>Ligamentum collaterale mediale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	12	6,2	32,4	20,35	8,40	0,04
Band desmotomiert	12	6,2	34	22,92	9,06	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 14:** Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale.

<b>Ligamentum collaterale mediale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
3	32°	32°	0°	< 6°
4	26°	32°	6°	< 6°
17	20°	24°	4°	< 6°
18	24°	24°	0°	< 6°
23	30°	32336°	2°	< 6°
24	30°	28°	2°	< 6°
39	34°	34°	0°	< 6°
40	40°	34°	6°	< 6°
55	38°	40°	2°	< 6°
56	42°	40°	2°	< 6°

**Tabelle 15:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale.

<b>Ligamentum collaterale mediale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	10	20	42	31,6	7,10	0,66
Band desmotomiert	10	24	40	32,0	5,57	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 16:** Röntgenbildanalyse der Karpalgelenke vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale.

<b>Ligamentum collaterale mediale</b>				
Nr. Gliedmaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
3	/	/	/	/
4	/	/	/	/
5	/	/	/	/
6	/	/	/	/
17	/	/	/	/
18	/	/	/	/
23	/	/	/	/
24	/	/	/	/
39	/	/	/	/
40	/	/	/	/
55	/	/	/	/
56	/	/	/	/

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

***Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale***

Das Ligamentum collaterale laterale konnte desmotomiert werden, ohne andere Strukturen zu verletzen, die für die Stabilität des Gelenks bedeutsam sind.

Nach Desmotomie des Außenbandes war der Instabilitätszuwachs größer als es die Messfehlertoleranz erlaubte. Der Winkelzuwachs betrug 6,5–23,9°, im Mittel 16,83°. Dies war statistisch signifikant ( $p=0,02$ ).

In Valgus und Extension traf dies nicht zu. Entsprechend waren innerhalb der Messfehlertoleranz etwaige Instabilitäten ohne Signifikanz ( $p\text{-Valgus}=0,91$ ,  $p\text{-Extension}=0,7$ ).

Das Bewegungsausmaß stieg nach Desmotomie des Außenbandes von maximaler Valgisierung zu maximaler Varisierung auf 52,83° und war um 18,71° größer als bei intaktem Band (34,12°). Die Varus-Valgus-Messfehlertoleranz an intakten Karpalgelenken betrug 9,9°. Nach Durchtrennung des Ligamentum collaterale laterale wurde diese um 8,81° überschritten. Röntgenologisch war in Varus-Position jeweils eine Subluxation der Articulatio ulnocarpea nachweisbar. An den Gliedmaßen 3 und 46 konnte dies schon ohne Stress festgestellt werden. In Extension war die Subluxation nur an Gliedmaße 4 zu entdecken.

**Tabelle 17:** Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale.

<b>Ligamentum collaterale laterale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von 3,5°
1	15,3°	23,2°	6,5°	> 3,5°
10	13°	27,7°	14,7°	> 3,5°
29	20,2°	41°	20,8°	> 3,5°
30	17,1°	41°	23,9°	> 3,5°
31	16,1°	32,1°	16°	> 3,5°
32	15,8°	33°	17,2°	> 3,5°

**Tabelle 18:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale.

<b>Ligamentum collaterale laterale</b>						
Varuswinkel	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	6	13	20,2	16,25	2,36	0,02
Band desmotomiert	6	23,2	41	33	7,11	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 19:** Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale.

<b>Ligamentum collaterale laterale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6,4°
1	26,3°	26°	0,2°	< 6,4°
10	16,3°	20,9°	4,6°	< 6,4°
29	25°	20,5°	4,5°	< 6,4°
30	20,8°	16,3°	4,5°	< 6,4°
31	16,1°	19°	2,9°	< 6,4°
32	16,8°	16,9°	0,1°	< 6,4°

**Tabelle 20:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale.

<b>Ligamentum collaterale laterale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	6	16,1	26,3	20,21	4,56	0,91
Band desmotomiert	6	16,3	26	19,93	3,5	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 21:** Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale.

<b>Ligamentum collaterale laterale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
1	144°	140°	4°	< 6°
29	146°	152°	6°	< 6°
30	146°	150°	4°	< 6°
32	158°	154°	4°	< 6°

**Tabelle 22:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale.

<b>Ligamentum collaterale laterale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	4	22	36	31,5	6,4	0,7
Band desmotomiert	4	26	40	31,0	6,21	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit;

**Tabelle 23:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale.

<b>Ligamentum collaterale laterale</b>				
Nr. Gliedermaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
1	Subluxation Articulatio ulnocarpea	/	/	/
10	Subluxation Articulatio ulnocarpea	/	/	/
29	Subluxation Articulatio ulnocarpea	Subluxation Articulatio ulnocarpea	/	/
30	Subluxation Articulatio ulnocarpea	/	/	/
31	Subluxation Articulatio ulnocarpea	Subluxation Articulatio ulnocarpea	/	Subluxation Articulatio ulnocarpea
32	Subluxation Articulatio ulnocarpea	Subluxation Articulatio ulnocarpea	/	Keine Aufnahme vorhanden

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

**Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare**

Da das Lig. ulnocarpeum palmare und das Lig. accessorioulnare eng zusammen verlaufen, konnten sie nicht isoliert voneinander durchtrennt werden und wurden deswegen gemeinsam desmotomiert.

In Varus-Position lagen die Winkeldifferenzen innerhalb der Messfehlertoleranz von  $3,5^\circ$ . Nach Desmotomie öffnete sich der Winkel durchschnittlich nur um  $2,43^\circ$ . Lediglich bei Gliedmaße 24 wurde der Toleranzbereich überschritten (um  $0,6^\circ$ ). Die Öffnung um durchschnittlich  $2,43^\circ$  war statistisch signifikant ( $p = 0,01$ ).

In Valgus- und Extensions-Position konnte keine statistische Signifikanz ermittelt werden ( $p$ -Valgus=0,49,  $p$ -Extension=0,18).

Im Röntgenbild waren 3 von 7 Karpalgelenken instabil. Gliedmaße 27 war in Varus- und 25/26 waren in Normal- und Varus-Position in der Articulatio ulnocarpea subluxiert.

**Tabelle 24:** Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare.

<b>Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von $3,5^\circ$
9	$13,9^\circ$	$17,3^\circ$	$3,4^\circ$	$< 3,5^\circ$
35	$14,1^\circ$	$18,2^\circ$	$4,1^\circ$	$> 3,5^\circ$
36	$14,8^\circ$	$15,5^\circ$	$0,7^\circ$	$< 3,5^\circ$
43	$17,5^\circ$	$19,7^\circ$	$2,2^\circ$	$< 3,5^\circ$
44	$19,5^\circ$	$22^\circ$	$2,5^\circ$	$< 3,5^\circ$
47	$11,3^\circ$	$13,7^\circ$	$2,4^\circ$	$< 3,5^\circ$
48	$13,9^\circ$	$16,5^\circ$	$2,6^\circ$	$< 3,5^\circ$

**Tabelle 25:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare.

<b>Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	7	11,3	19,5	15	2,69	0,01
Bänder desmotomiert	7	13,7	22	17,55	2,73	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 26:** Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare.

<b>Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6,4°
9	14,6°	19,5°	4,9°	< 6,4°
35	14,9°	16,5°	1,6°	< 6,4°
36	12°	15,1°	3,1°	< 6,4°
43	25,5°	23,1°	2,4°	< 6,4°
44	24,5°	28,5°	4°	< 6,4°
47	14,9°	14,1°	0,8°	< 6,4°
48	26,5°	21,8°	4,7°	< 6,4°

**Tabelle 27:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare.

<b>Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare</b>						
Valguswinkel	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	7	12	26,5	18,98	6,2	0,49
Bänder desmotomiert	7	14,1	28,5	19,8	5,1	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit;

**Tabelle 28:** Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare.

<b>Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
9	22°	22°	0°	< 6°
35	24°	26°	2°	< 6°
36	24°	22°	2°	< 6°
43	26°	24°	2°	< 6°
44	24°	24°	0°	< 6°
47	22°	20°	2°	< 6°
48	24°	22°	2°	< 6°

**Tabelle 29:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare.

<b>Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	7	22	26	23,71	1,38	0,18
Bänder desmotomiert	7	20	26	22,85	1,95	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit;

**Tabelle 30:** Röntgenbildanalyse vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare.

<b>Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare</b>				
Nr. Gliedermaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
9	/	/	/	/
35	/	/	/	/
36	/	/	/	/
43	/	/	/	/
44	Subluxation Articulatio ulnocarpea	/	/	/
47	Subluxation Articulatio ulnocarpea	Subluxation Articulatio ulnocarpea	/	/
48	Subluxation Articulatio ulnocarpea	Subluxation Articulatio ulnocarpea	/	/

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

***Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare***

Das Lig. radiocarpeum palmare war nur darstellbar, wenn palmar die Muskulatur, deren Sehnenscheiden und das Retinaculum palmare durchtrennt wurden.

Wurde das Band durchschnitten, war das Karpalgelenk röntgenologisch in Varus- und Valgus-Stellung instabil, aber verglichen mit dem intakten Bandapparat nicht immer jenseits der Messfehlertoleranz.

Auf Varus-Zielaufnahmen überstieg die Winkeldifferenz die Toleranz von  $3,5^\circ$  an 4 der 7 Gliedmaßen. Die durchschnittliche Abweichung der Varus-Winkel war allerdings kleiner als  $3,5^\circ$ .

In Valgus-Position waren an den Karpalgelenken nach Desmotomie bei 4 der 7 Gliedmaßen Winkel jenseits der Fehlertoleranz zu messen. Durchschnittlich überstieg an allen 7 Gliedmaßen die Öffnung des Karpalgelenks den Grenzwert von  $6,4^\circ$  um  $0,85^\circ$  (Valgusdurchschnitt= $7,25^\circ$ ). Die statistische Signifikanz betrug 0,01.

Das Varus-Valgus-Bewegungsausmaß nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare betrug im Durchschnitt  $41,26^\circ$ . Verglichen zum intakten Bandapparat ( $34,12^\circ$ ) war das ein Zuwachs von  $7,14^\circ$ , der in der Messfehlertoleranz von  $9,9^\circ$  lag.

In Extensionszielaufnahmen im mediolateralen Strahlengang waren nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare die Karpalgelenke statistisch signifikant instabil ( $p=0,01$ ). Das Hyperextensionsausmaß nahm durchschnittlich um  $27,88^\circ$  zu.

Fazit der Röntgenbildanalyse ist, dass die Desmotomie des Lig. radiocarpeum palmare die proximale Gelenketape in Valgus in Form einer Subluxation und in Extension in Form einer Hyperextension destabilisiert.

**Tabelle 31:** Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare.

<b>Ligamentum radiocarpeum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von $3,5^\circ$
25	$12,7^\circ$	$10,8^\circ$	$1,9^\circ$	$< 3,5^\circ$
26	$15,3^\circ$	$16,7^\circ$	$1,4^\circ$	$< 3,5^\circ$
33	$17,3^\circ$	$10,8^\circ$	$6,5^\circ$	$> 3,5^\circ$
34	$13,8^\circ$	$11,3^\circ$	$2,5^\circ$	$< 3,5^\circ$
37	$20,2^\circ$	$27,7^\circ$	$7,5^\circ$	$> 3,5^\circ$
38	$16,8^\circ$	$23,8^\circ$	$7^\circ$	$> 3,5^\circ$
59	$18,2^\circ$	$18,4^\circ$	$0,2^\circ$	$< 3,5^\circ$
60	$13,5^\circ$	$8,7^\circ$	$4,8^\circ$	$> 3,5^\circ$

**Tabelle 32:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare.

<b>Ligamentum radiocarpeum palmare</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	8	12,7	20,2	15,97	2,59	1,0
Band desmotomiert	8	8,7	27,7	16,02	6,9	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit;

**Tabelle 33:** Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare.

<b>Ligamentum radiocarpeum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6,4°
25	27,7°	26,7°	0,7°	< 6,4°
26	19°	23,2°	4,2°	< 6,4°
33	23°	32,6°	9,6°	> 6,4°
34	13,2°	25,8°	12,6°	> 6,4°
37	18,1°	22°	3,9°	< 6,4°
38	15,2°	25,8°	10,6°	> 6,4°
59	13,6°	16,1°	2,5°	< 6,4°
60	13,4°	28,4°	15°	> 6,4°

**Tabelle 34:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare.

<b>Ligamentum radiocarpeum palmare</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	8	13,2	27,7	17,9	5,22	0,01
Band desmotomiert	8	16,1	32,6	25,07	4,85	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 35:** Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare.

<b>Ligamentum radiocarpeum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
25	16°	47°	31°	> 6°
26	22°	44°	22°	> 6°
33	28°	50°	22°	> 6°
34	30°	56°	26°	> 6°
37	26°	56°	30°	> 6°
38	22°	62°	40°	> 6°
59	16°	44°	28°	> 6°
60	20°	44°	24°	> 6°

**Tabelle 36:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare.

<b>Ligamentum radiocarpeum palmare</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	8	16	30	22,5	5,21	0,01
Band desmotomiert	8	44	62	50,38	6,88	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 37:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare.

<b>Ligamentum radiocarpeum palmare</b>				
Nr. Gliedermaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
25	Subluxation Articulatio radiocarpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
26	/	Subluxation Articulatio radiocarpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
33	/	/	Subluxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
34	/	/	Subluxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
37	/	Subluxation Articulatio radiocarpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
38	/	Subluxation Articulatio radiocarpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
59	/	/	Subluxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
60	/	/	Subluxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

**Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria**

Die Ligamenta intercarpea palmaria waren nur darstellbar, falls zuvor dort die palmar verlaufende Muskulatur, deren Sehnenscheiden und das Retinaculum palmare durchtrennt wurden. Zudem musste dazu das Ligamentum accessorioquartale durchschnitten werden.

Nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria ließ sich keine relevante Varus-/Valgus-Instabilität messen, wie den Tabellen 38-44 zu entnehmen ist ( $p\text{-Varus}=0,06$ ;  $p\text{-Valgus}=0,46$ ). In der Röntgenbildanalyse war allerdings eine Luxation der Articulatio accessorioulnare und eine Subluxation der Articulatio mediocarpea zu entdecken.

In Extension war auf Zielaufnahmen der Karpalgelenkwinkel durchschnittlich um  $13^\circ$  vergrößert, ohne dass dies signifikant war ( $p=0,06$ ). Eine Hyperextension war lediglich im Vorher-Nachher-Vergleich ohne nachweisbare Instabilität in einer der drei Gelenketagen röntgenologisch zu vermuten.

**Tabelle 38:** Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria.

<b>Ligamenta intercarpea palmaria</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von $3,5^\circ$
11	$9,4^\circ$	$9,7^\circ$	$0,3^\circ$	$< 3,5^\circ$
12	$9,6^\circ$	$10,2^\circ$	$0,6^\circ$	$< 3,5^\circ$
41	$10,1^\circ$	$12,5^\circ$	$2,4^\circ$	$< 3,5^\circ$
42	$11^\circ$	$11,3^\circ$	$0,3^\circ$	$< 3,5^\circ$

**Tabelle 39:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria.

<b>Ligamenta intercarpea palmaria</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	4	9,4	11	10,02	0,71	0,06
Bänder desmotomiert	4	9,7	12,5	10,92	1,24	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 40:** Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria.

<b>Ligamenta intercarpea palmaria</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6,4°
11	13,1°	11,3°	1,8°	< 6,4°
12	12,2°	10,3°	1,9°	< 6,4°
41	16,7°	22,9°	6,2°	< 6,4°
42	16,4°	19,4°	3,0°	< 6,4°

**Tabelle 41:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria.

<b>Ligamenta intercarpea palmaria</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	4	12,2	16,7	14,6	2,28	0,46
Bänder desmotomiert	4	10,3	22,9	15,97	6,15	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 42:** Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria.

<b>Ligamenta intercarpea palmaria</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
11	160°	152°	8°	> 6°
12	160°	152°	8°	> 6°
41	154°	138°	16°	> 6°
42	156°	136°	20°	> 6°

**Tabelle 43:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta radiocarpeum palmaria.

<b>Ligamenta intercarpea palmaria</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	4	20	26	22,5	3	0,06
Bänder desmotomiert	4	28	44	35,5	8,69	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 44:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria.

<b>Ligamenta intercarpea palmaria</b>				
Nr. Glieder- maße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
11	Luxation Articulatio accessorioulnare	Luxation Articulatio accessorioulnare	Luxation Articulatio accessorioulnare, Subluxation Articulatio mediocarpea	/
12	Luxation Articulatio accessorioulnare	Luxation Articulatio accessorioulnare	Luxation Articulatio accessorioulnare, Subluxation Articulatio mediocarpea	/
41	Luxation Articulatio accessorioulnare	Lux. Art. acc. uln., Subluxation Art. mediocarpea	Luxation Articulatio accessorioulnare, Subluxation Articulatio mediocarpea	/
42	Luxation Articulatio accessorioulnare	Luxation Articulatio accessorioulnare	Luxation Articulatio accessorioulnare, Subluxation Articulatio mediocarpea	/

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

***Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria***

Zur Darstellung der Ligamenta carpometacarpea palmaria, mussten zuvor palmar der Musculus digitorum communis, dessen Sehnenscheide und das Retinaculum palmare durchschnitten werden.

Die Desmotomie dieser Bänder verursacht in dorsopalmarer Ansicht einen Instabilitätswachstum unterhalb der Messfehlertoleranz von  $3,5^\circ$ . Dies war in Zielaufnahmen weder im Varus ( $p=0,49$ ) noch im Valgus ( $p=0,11$ ) statistisch signifikant.

In Extension ließ sich dagegen an 5 Karpalgelenken eine signifikante ( $p=0,01$ ) und um durchschnittlich  $12,29^\circ$  erhöhte ( $6,29^\circ$  oberhalb der Messfehlertoleranz) Hyperextension nachweisen.

An den Karpalgelenken der Gliedmaßen 37 und 38 wuchs der Extensionswinkel jeweils nur um  $2^\circ$ .

Die Zielaufnahmen im mediolateralen Strahlengang ergaben in 5 Fällen eine Hyperextension und 1 mal eine Luxation der Articulatio carpometacarpea. Nur bei Gliedmaße 43 war dies nicht gegeben. Im dorsopalmaren Strahlengang war auf den Zielaufnahmen dieser Versuchskohorte eine Destabilisierung der Articulatio carpometacarpea und eine Destabilisierung der Articulatio mediocarpea zu erkennen. An Gliedmaße 44 betraf dies nur den lateralen Bereich dieser Gelenketape auf Höhe der Ossa carpalia III und IV, aber nicht auf Höhe I und II.

**Tabelle 45:** Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria.

<b>Ligamenta carpometacarpea palmaria</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von $3,5^\circ$
19	$19^\circ$	$17^\circ$	$2^\circ$	$< 3,5^\circ$
20	$18,7^\circ$	$17,4^\circ$	$1,3^\circ$	$< 3,5^\circ$
21	$6,2^\circ$	$5,1^\circ$	$1,1^\circ$	$< 3,5^\circ$
53	$10,5^\circ$	$9,4^\circ$	$1,1^\circ$	$< 3,5^\circ$
54	$7,8^\circ$	$8,6^\circ$	$0,8^\circ$	$< 3,5^\circ$
57	$15,5^\circ$	$18,2^\circ$	$2,7^\circ$	$< 3,5^\circ$
58	$12,7^\circ$	$13,7^\circ$	$1^\circ$	$< 3,5^\circ$

**Tabelle 46:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria.

<b>Ligamenta carpometacarpea palmaria</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	7	6,2	19	12,91	5,07	0,49
Bänder desmotomiert	7	5,1	18,2	12,77	5,11	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 47:** Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria.

<b>Ligamenta carpometacarpea palmaria</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6,4°
19	18,5°	24°	5,5°	< 6,4°
20	22,9°	19,9°	3°	< 6,4°
21	21,1°	20,1°	1°	< 6,4°
53	19,3°	24,9°	5,6°	< 6,4°
54	26,7°	26,7°	0°	< 6,4°
57	18,8°	23,8°	5°	< 6,4°
58	21,7°	26,2°	5,1°	< 6,4°

**Tabelle 48:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria.

<b>Ligamenta carpometacarpea palmaria</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	7	18,5	26,7	21,28	2,88	0,11
Bänder desmotomiert	7	19,9	26,7	23,65	2,71	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 49:** Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria.

<b>Ligamenta carpometacarpea palmaria</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
19	30°	48°	18°	> 6°
20	34°	44°	10°	> 6°
21	20°	38°	18°	> 6°
53	24°	26°	2°	< 6°
54	26°	28°	2°	< 6°
57	22°	46°	24°	> 6°
58	24°	36°	12°	> 6°

**Tabelle 50:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria.

<b>Ligamenta carpometacarpea palmaria</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	7	20	34	25,71	4,82	0,01
Bänder desmotomiert	7	26	48	38,00	8,64	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 51:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria.

<b>Ligamenta carpometacarpea palmaria</b>				
Nr. Gliedermaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
19	/	/	Subluxation Articulatio mediocarpea	Hyperextension und Subluxation der Articulatio carpometacarpea
20	/	/	Subluxation Articulatio mediocarpea	Hyperextension und Subluxation der Articulatio carpometacarpea
21	/	/	Subluxation Articulatio mediocarpea	Hyperextension und Luxation der Articulatio carpometacarpea
53	/	/	Subluxation Articulatio mediocarpea	Subluxation der Articulatio carpometacarpea
54	/	Subluxation der Articulationes mediocarpea	Subluxation der Articulationes mediocarpea	Subluxation der Articulatio carpometacarpea
57	Subluxation Articulatio carpometacarpea	Subluxation Articulatio carpometacarpea	Subluxation Articulationes carpometacarpea et mediocarpea	Hyperextension und Subluxation der Articulatio carpometacarpea
58	/	/	Subluxation Articulatio mediocarpea	Subluxation Articulatio mediocarpea

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

**Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale**

Das Ligamentum radiocarpeum dorsale konnte desmotomiert werden, ohne dass weitere Gewebe, die das Karpalgelenk stabilisieren, verletzt werden mussten.

War das Band desmotomiert, konnten auf Zielaufnahmen weder im dorsopalmaren noch im mediolateralen Strahlengang Stabilitätsverluste im Vergleich zum intakten Band nachgewiesen oder gemessen werden. Statistisch waren keine signifikanten Zusammenhänge aufzudecken ( $p\text{-Varus}=0,27$ ;  $p\text{-Valgus}=0,85$ ;  $p\text{-Extension}=0,41$ ).

**Tabelle 52:** Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamentum radiocarpeum dorsale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von 3,5°
15	19,4°	21,6°	2,2°	< 3,5°
16	19,3°	22,3°	3°	< 3,5°
49	8°	8,1°	0,1°	< 3,5°
50	7,7°	5,8°	1,9°	< 3,5°

**Tabelle 53:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamentum radiocarpeum dorsale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	4	7,7	19,4	13,6	6,64	0,27
Band desmotomiert	4	5,8	22,3	14,45	8,71	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 54:** Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamentum radiocarpeum dorsale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von 6,4°
15	14,6°	14,3°	0,3°	< 6,4°
16	15°	18,4°	3,4°	< 6,4°
49	18,9°	18,8°	0,1°	< 6,4°
50	22,8°	22,9°	0,1°	< 6,4°

**Tabelle 55:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamentum radiocarpeum dorsale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	4	14,6	22,8	18	3,83	0,85
Band desmotomiert	4	14,3	22,9	18,50	3,7	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 56:** Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamentum radiocarpeum dorsale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
15	26°	30°	4°	< 6°
16	30°	30°	0°	< 6°
49	22°	20°	2°	< 6°
50	20°	22°	2°	< 6°

**Tabelle 57:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamentum radiocarpeum dorsale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Band intakt	4	20	30	24,5	4,43	0,41
Band desmotomiert	4	20	30	25,5	5,26	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 58:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamentum radiocarpeum dorsale</b>				
Nr. Gliedmaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
15	/	/	/	/
16	/	/	/	/
49	/	/	/	/
50	/	/	/	/

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

**Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale**

Die Desmotomie dieser beiden Bänder zusammen verursachte keine Instabilität, die messbar oder statistisch errechenbar gewesen wäre ( $p$ -Varus=0,46;  $p$ -Valgus=0,14;  $p$ -Extension=0,56).

Auch röntgenologisch konnten keine dahingehenden Befunde erhoben werden.

**Tabelle 59:** Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 3,5°
15	19,4°	19,3°	0,1°	< 3,5°
16	19,3°	21,1°	2,8°	< 3,5°
49	8°	9,5°	1,5°	< 3,5°
50	7,7°	7,4°	0,3°	< 3,5°

**Tabelle 60:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	4	7,7	19,4	13,6	6,64	0,46
Bänder desmotomiert	4	7,4	21,1	14,32	6,87	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 61:** Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6,4°
15	14,6°	16,5°	1,9°	< 6,4°
16	15°	13,2°	1,8°	< 6,4°
49	18,9°	24,9°	6,0°	< 6,4°
50	22,8°	26,1°	3,3°	< 6,4°

**Tabelle 62:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	4	14,6	22,8	17,82	3,84	0,14
Bänder desmotomiert	4	13,2	26,1	20,17	6,31	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 63:** Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von 6°
15	26°	28°	2°	< 6°
16	30°	30°	0°	< 6°
49	22°	20°	2°	< 6°
50	20°	22°	2°	< 6°

**Tabelle 64:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Bänder intakt	4	20	30	24,5	4,43	0,56
Bänder desmotomiert	4	20	30	25,0	4,76	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 65:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale</b>				
Nr. Gliedmaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
15	/	/	/	/
16	/	/	/	/
49	/	/	/	/
50	/	/	/	/

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

***Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare***

Nach Desmotomie der beiden Bänder verlor das Karpalgelenk in Valgus und Extension in der Articulatio antebrachioarpea bei 20 N Kraftaufwand jegliche Stabilität. Diese Instabilität konnte nicht gemessen aber röntgenologisch nachgewiesen werden.

Auf Zielaufnahmen war das Gelenk in der Articulatio antebrachioarpea in Valgus und Hyperextension luxiert.

Dieser Effekt war bei Durchtrennung beider Bänder röntgenologisch eindrucksvoll. Schon auf den Zielaufnahmen in 0°-Position und Varus im dorsopalmarem Strahlengang war die Instabilität sichtbar.

**Tabelle 66:** Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 3,5°
13	11,6°	10,2°	1,4°	< 3,5°
14	13,6°	10,9°	2,7°	< 3,5°

**Tabelle 67:** Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6,4°
13	22,8	Totale Luxation, nicht messbar	Totale Luxation, nicht messbar	Totale Luxation, nicht messbar
14	20,7	Totale Luxation, nicht messbar	Totale Luxation, nicht messbar	Totale Luxation, nicht messbar

**Tabelle 68:** Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
13	22°	Totale Luxation, nicht messbar	Totale Luxation, nicht messbar	Totale Luxation, nicht messbar
14	26°	Totale Luxation, nicht messbar	Totale Luxation, nicht messbar	Totale Luxation, nicht messbar

**Tabelle 69:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare.

<b>Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
13	Subluxation Articulatio radiocarpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Luxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachio-carpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
14	Subluxation Articulatio radiocarpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Luxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachio-carpea, Subluxation Articulatio radiocarpea

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position.

**Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum**

Das Ligamentum accessoriometacarpeum ließ sich darstellen, ohne dass das Karpalgelenk stabilisierende Strukturen verletzt werden mussten.

Nach Desmotomie dieses Bandes waren weder messtechnisch noch auf Röntgenzielaufnahmen Instabilitäten nachweisbar.

**Tabelle 70:** Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum.

<b>Ligamenta accessoriometacarpeum</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 3,5°
41	10,1°	12,8°	2,7°	< 3,5°
42	11°	13,6°	2,6°	< 3,5°

**Tabelle 71:** Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum.

<b>Ligamenta accessoriometacarpeum</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6,4°
41	16,7°	19,3°	2,6°	< 6,4°
42	16,4°	17°	0,6°	< 6,4°

**Tabelle 72:** Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum.

<b>Ligamenta accessoriometacarpeum</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
41	24°	30°	6°	< 6°
42	26°	30°	4°	< 6°

**Tabelle 73:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum.

<b>Ligamenta accessoriometacarpeum</b>				
Nr. Gliedmaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
41	/	/	/	/
42	/	/	/	/

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

**Evaluierung der Zugänge**

Einige der Bänder, die das Karpalgelenk stabilisieren, waren nur zugänglich, wenn umgebende Strukturen zuvor durchtrennt wurden. Untersucht wurde, ob dies bereits zu einem nachweisbaren Stabilitätsverlust führte. Derartige anatomische präparatorische Maßnahmen waren erforderlich, um das Ligamentum radiocarpeum palmare, die Ligamenta intercarpeae palmaria und carpometacarpeae darzustellen und zu durchtrennen.

**Myotomie des Musculus flexor digitorum communis in Höhe des distalen Unterarms**

Nach Myotomie des Muskels war keine Instabilität nachzuweisen. Röntgenologisch konnten danach weder im Grundbildpaar noch auf Zielaufnahmen im mediolateralen Strahlengang Abweichungen außerhalb der Messfehlertoleranz festgestellt noch Signifikanzen errechnet werden ( $p\text{-Varus}=0,58$ ,  $p\text{-Valgus}=1,0$ ,  $p\text{-Extension}=0,1$ ).

**Tabelle 74:** Varuswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis.

<b>Musculus flexor digitorum communis</b>				
Nr. Gliedmaße	Muskel intakt	Muskel desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von 3,5°
13	15,1°	17,9°	2,8°	< 3,5°
14	14,7°	13,6°	1,1°	< 3,5°
41	10,1°	9,8°	0,3°	< 3,5°
42	11°	12,1°	1,1°	< 3,5°

**Tabelle 75:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis.

<b>Musculus flexor digitorum communis</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Muskel intakt	4	10,1	15,1	12,75	2,54	0,58
Muskel myotomiert	4	9,8	17,9	13,35	3,41	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 76:** Valguswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis.

<b>Musculus flexor digitorum communis</b>				
Nr. Gliedmaße	Muskel intakt	Muskel desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6,4°
13	14,7°	11,8°	2,9°	< 6,4°
14	15,7°	15,3°	0,4°	< 6,4°
41	16,7°	19°	2,3°	< 6,4°
42	16,4°	18,7°	2,3°	< 6,4°

**Tabelle 77:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis.

<b>Musculus flexor digitorum communis</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Muskel intakt	4	14,7	16,7	15,87	0,88	1,0
Muskel myotomiert	4	11,8	19	16,2	3,37	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 78:** Extensionswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis.

<b>Musculus flexor digitorum communis</b>				
Nr. Gliedmaße	Muskel intakt	Muskel desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
13	26°	28°	2°	< 6°
14	22°	22°	0°	< 6°
41	24°	28°	4°	< 6°
42	26°	30°	4°	< 6°

**Tabelle 79:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis.

<b>Musculus flexor digitorum communis</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Muskel intakt	4	22	26	24,5	1,91	0,1
Muskel myotomiert	4	22	30	27,0	3,46	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 80:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis.

<b>Musculus flexor digitorum communis</b>				
Nr. Gliedmaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
13	/	/	/	/
14	/	/	/	/
41	/	/	/	/
42	/	/	/	/

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

*Tenotomie der Endsehnen des Musculus flexor carpi radialis und ulnaris*

Die Endsehnen der Karpalgelenksbeuger waren leicht zugänglich, ohne dass Bänder/Muskeln/Faszien/Sehnen verletzt werden mussten.

Ihre Tenotomie hatte in keiner Position einen messbaren Stabilitätsverlust im Karpalgelenk zur Folge. Messabweichungen in den verschiedenen Zielpositionen der Gliedmaßen lagen ohne statistische Signifikanz ( $p$ -Varus=1,0;  $p$ -Valgus=1,0;  $p$ -Extension=0,08) im Toleranzbereich.

Auch röntgenologisch blieb das Gelenk im Grundbildpaar und auf Zielaufnahmen stabil.

**Tabelle 81:** Varuswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris.

Musculi flexor carpi radialis und ulnaris				
Nr. Gliedmaße	Sehnen intakt	Sehnen tenotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 3,5°
27	20,9°	20,3°	0,6°	< 3,5°
28	16,4°	17,9°	1,5°	< 3,5°
45	19,8°	16,9°	2,9°	< 3,5°
46	17,7°	20,5°	2,8°	< 3,5°

**Tabelle 82:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris.

Musculi flexor carpi radialis und ulnaris						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Sehnen intakt	4	16,4	20,9	18,7	2,02	1,0
Sehnen tenotomiert	4	16,9	20,5	18,9	1,78	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 83:** Valguswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen Musculi flexor carpi radialis und ulnaris.

<b>Musculi flexor carpi radialis und ulnaris</b>				
Nr. Gliedmaße	Sehnen intakt	Sehnen tenotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von 6,4°
27	11,6°	17°	5,4°	< 6,4°
28	16,6°	12,1	4,5°	< 6,4°
45	18°	20°	2°	< 6,4°
46	15,6°	11,8°	3,8°	< 6,4°

**Tabelle 84:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris.

<b>Musculi flexor carpi radialis und ulnaris</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Sehnen intakt	4	11,6	18	15,45	2,74	1,0
Sehnen tenotomiert	4	11,8	20	15,22	3,97	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 85:** Extensionswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris.

<b>Musculi flexor carpi radialis und ulnaris</b>				
Nr. Gliedmaße	Sehnen intakt	Sehnen tenotomiert	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von 6°
27	24°	28°	4°	< 6°
28	26°	30°	4°	< 6°
45	32°	32°	0°	< 6°
46	34°	38°	4°	< 6°

**Tabelle 86:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris.

<b>Musculi flexor carpi radialis und ulnaris</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Sehnen intakt	4	24	34	29,0	4,76	0,08
Sehnen tenotomiert	4	28	38	32,0	4,32	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 87:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris.

<b>Musculi flexor carpi radialis und ulnaris</b>				
Nr. Gliedmaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
27	/	/	/	/
28	/	/	/	/
45	/	/	/	/
46	/	/	/	/

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

*Myotomie des Musculus flexor digitorum communis, Durchtrennung seiner Sehnenscheide und Desmotomie des Retinaculum palmare*

Diese Strukturen waren nicht separat zu durchschneiden, weil die Sehnenscheide mit dem Retinaculum verwachsen ist und nicht isoliert werden konnte.

Der Myo-, Teno- und Retinaculotomie folgte keine messbare und damit errechenbare Instabilität auf Röntgenaufnahmen im dorsopalmaren Strahlengang ( $p\text{-Varus}=0,75$ ,  $p\text{-Valgus}=0,29$ ). Röntgenologisch allerdings war in der Aufsicht die Articulatio carpi vor allem in der proximalen Gelenketape destabilisiert. 3 von 6 Gliedmaßen wiesen eine subluxierte Articulatio radiocarpea auf und bei Fall 54 war außerdem die Articulatio mediocarpea subluxiert.

Auf Zielaufnahmen im mediolateralen Strahlengang war eine signifikante Hyperextension (um durchschnittlich  $19^\circ$ ) außerhalb der Toleranz festzustellen ( $p=0,02$ ). Die Hyperextension war röntgenologisch zwar an allen Gliedmaßen nachweisbar, aber nicht einer Gelenketape der Articulatio carpi zuzuordnen.

**Tabelle 88:** Varuswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare.

<b>Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und das Retinaculum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Strukturen intakt	Strukturen durchtrennt	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von $3,5^\circ$
13	$15,1^\circ$	$17,9^\circ$	$2,8^\circ$	$< 3,5^\circ$
14	$14,7^\circ$	$13,8^\circ$	$0,9^\circ$	$< 3,5^\circ$
25	$12,7^\circ$	$11,5^\circ$	$1,2^\circ$	$< 3,5^\circ$
26	$15,3^\circ$	$18^\circ$	$2,7^\circ$	$< 3,5^\circ$
41	$10,1^\circ$	$10,3^\circ$	$0,2^\circ$	$< 3,5^\circ$
42	$11^\circ$	$9,0^\circ$	$2,0^\circ$	$< 3,5^\circ$

**Tabelle 89:** Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare.

<b>Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und das Retinaculum palmare</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Strukturen intakt	6	10,1	15,3	13,15	2,23	0,75
Strukturen durchtrennt	6	9	18	13,41	3,85	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 90:** Valguswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare.

<b>Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und das Retinaculum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Strukturen intakt	Strukturen durchtrennt	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von 6,4°
13	14,7°	15,3°	0,6°	< 6,4°
14	15,7°	11,8°	3,9°	< 6,4°
25	22,7°	22,1°	5,6°	< 6,4°
26	19°	20,4°	1,4°	< 6,4°
41	16,7°	21,8°	5,1°	< 6,4°
42	16,4°	21,5°	5,1°	< 6,4°

**Tabelle 91:** Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare.

<b>Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und das Retinaculum palmare</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Strukturen intakt	6	14,7	22,7	17,53	2,9	0,29
Strukturen durchtrennt	6	11,8	22,1	18,81	4,26	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 92:** Extensionswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis/ Sehnenscheide/ Retinaculum palmare.

<b>Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und das Retinaculum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Strukturen intakt	Strukturen durchtrennt	Differenz	Relation zur Messfehlertoleranz von 6°
13	26°	42°	16°	> 6°
14	22°	50°	28°	> 6°
25	16°	48°	32°	> 6°
26	22°	42°	20°	> 6°
41	24°	34°	10°	> 6°
42	26°	34°	8°	> 6°

**Tabelle 93:** Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare.

<b>Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und das Retinaculum palmare</b>						
	N	Minimum	Maximum	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Strukturen intakt	6	16	26	22,66	3,72	0,02
Strukturen durchtrennt	6	34	50	41,66	6,74	

N = Anzahl; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *p* = Wahrscheinlichkeit.

**Tabelle 94:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis/ Sehnen Scheide/ Retinaculum palmare.

<b>Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnen Scheide und das Retinaculum palmare</b>				
Nr. Gliedermaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus	0°	Valgus	Extension
13	Subluxatio Articulatio radiocarpea	Subluxatio Articulatio radiocarpea	Subluxatio Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
14	Subluxation Articulatio antebrachioarpe a	Subluxatio Articulatio radiocarpea	Subluxatio Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
25	Subluxatio Articulatio radiocarpea	Subluxatio Articulatio radiocarpea	Subluxatio Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
26	/	/	Subluxatio Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachioarpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
41	/	Subluxation Articulatio mediocarpea	Subluxation Articulatio mediocarpea	Hyperextension Articulatio carpi
42	/	/	/	Hyperextension Articulatio carpi

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position; / = keine röntgenologische Veränderung.

*Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale, Myotomie des Musculus flexor digitorum communis und Desmotomie seiner Sehnenscheide und des Retinaculum palmare*

Vor Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale war es notwendig, den M. flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und das Retinaculum palmare zu durchtrennen. Dies führte zu einem messbaren Instabilitätszuwachs in Valgus und Extension. In Valgus-Position war der Winkel um 25,8° an Gliedmaße 31 und um 14,5° an Gliedmaße 32 zu vergrößern. Die Extension war um 30° an Gliedmaße 31 und um 22° an 32 zu erhöhen.

Röntgenologisch betraf der Stabilitätsverlust die Articulatio antebrachioarpea.

**Tabelle 95:** Varuswinkel vor und nach Durchtrennung des Ligamentum collaterale mediale, des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare.

<b>Ligamentum collaterale mediale, Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament/ Muskel desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler- toleranz von 3,5°
13	15,1°	13°	2,1°	< 3,5°
14	14,7°	12°	2,7°	< 3,5°

**Tabelle 96:** Valguswinkel vor und nach Durchtrennung des Ligamentum collaterale mediale, des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare.

<b>Ligamentum collaterale mediale, Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Ligament intakt	Ligament/ Muskel desmotomiert	Differenz	Relation zur Messfehler- toleranz von 6,4°
13	15,7°	30,2°	14,5°	> 6,4°
14	14,7°	40,5°	25,8°	> 6,4°

**Tabelle 97:** Extensionswinkel vor und nach Durchtrennung des Ligamentum collaterale mediale, des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare.

<b>Ligamentum collaterale mediale, Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Strukturen intakt	Strukturen durchtrennt	Differenz	Relation zur Messfehler-toleranz von 6°
13	26°	48°	22°	> 6°
14	22°	52°	30°	> 6°

**Tabelle 98:** Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Durchtrennung des Ligamentum collaterale mediale, des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare.

<b>Ligamentum collaterale mediale, Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare</b>				
Nr. Gliedmaße	Röntgenologischer Befund			
	Varus Extension	0°	Valgus	
13	Subluxation Articulatio radiocarpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachio- carpea, Subluxation Articulatio radiocarpea
14	Subluxation Articulatio antebrachio- carpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Subluxation Articulatio radiocarpea	Hyperextension Articulatio antebrachio- carpea, Subluxation Articulatio radiocarpea

0° = Aufnahme eines Karpalgelenks im dorsopalmaren Strahlengang in nicht gestresster Position.

### Zusammenfassung der röntgenologischen Befunde

Die röntgenologisch belegten Ergebnisse der Experimente sind in Tabelle 99 nochmals zum besseren Verständnis komprimiert.

**Tabelle 99:** Röntgenologische Befunde nach Desmotomie der Bänder und Retinacula, Tenotomie ausgewählter Sehnen und Myotomie der palmar verlaufenden Muskeln des Karpalgelenks.

Röntgenologischer Befund	Band- und/oder andere Weichteilstruktur			
	Varus	Normal	Valgus	ML
Subluxation Articulatio ulnocarpea	Ligg.col.lat./ ulnoc.palm.+ accessorioul.	Ligg.col.lat./ ulnoc.palm.+ accessorioul.		Lig.col.lat.
Subluxation Articulatio radiocarpea	Ligg.radioc.palm. / col.med.+radioc. palm./ col.med.+Ret.palm./ Ret.palm.	Ligg.radioc.palm. / col.med. +radioc./ col.med.+Ret.palm./ Ret.palm.	Ligg.radioc.palm. / col.med.+ Ret.palm.	Ligg.radioc.palm. / col.med.+ radioc.palm./ col.med.+Ret.palm.
Subluxation Art. Antebrachio-carpea	Ret.palm./ col.med.+ Ret.palm.			Lig.radioc.palm.
Luxation Art. antebrachio-carpea				Lig.col.med.+ radioc.palm.
Hyperextension Art. antebrachio-carpea				Ligg.col.med.+ radioc.palm./ Ret.palm./ col.med.+Ret.palm.
Luxation Art. accessorioulnare	Ligg.interc.palm.	Ligg.interc.palm.	Ligg.interc.palm.	
Subluxation Art.		Ligg.interc.palm./	Ligg.interc.palm./	Ligg.carpom.palm.

mediocarpea		carpom.palm./ Ret.palm.	carpom./ Ret.palm.	m.
Subluxation Art. carpometa- carpea	Ligg.carpom. palm.	Ligg.carpom.pal m.	Ligg.carpom.pal m.	
Luxation Art. carpometa- carpea				Ligg.carpom.pal m.
Hyperextens ion Art. carpometa- carpea				Ligg.carpom.pal m.
Hyperextens ion Art. carpi				Reti.palm.

Lig.=Ligament; Ligg.=Ligamenta; col.lat.=collaterale laterale; col.med.=collaterale mediale; radioc.palm.=radiocarpeum palmare; ulnoc.palm.=ulnocarpeum palmare; accessorioul.=accessorioulnare; interc.palm.=intercarpea palmaria; carpom.palm.=carpometa-carpea palmaria; Ret.palm.=Retinaculum palmare + Sehnscheide des tiefen Beugers + Musculus flexor digitorum communis; /=kein röntgenologischer Befund.

## 5. Diskussion

### Material

Karpalgelenksverletzungen bei der Katze (NAKLADAL et al. 2013, NERLICH 2016) sind verglichen mit denen beim Hund (KÄHLER 2002) eher selten. NERLICH (2016) fand in einem Zeitraum von zehn Jahren unter 1125 Katzen, die ein High Rise Syndrom (traumatische Verletzung nach einem Sturz, ROBINSON 1976) erlitten, nur 44 mit einer Karpalgelenksinstabilität.

Im Hinblick auf Gelenkreihen und -etagen, die bei der Katze verletzt wurden, gibt nur NERLICH (2016) repräsentativ für die *Articulatio carpometacarpea* 53%, die *Art. antebrachioarpea* 33%, die *Art. mediocarpea* 11,4% und die *Artt. medio- et carpometacarpeae* 2,3% an. Auffallend in all den klinisch retrospektiven Studien ist, dass zwar Instabilitäten der jeweiligen Gelenketagen benannt wurden, aber ohne dass das Ausmaß der Band-Kapsel-Muskel-Läsionen charakterisiert wurde. Dies sollte mit der vorliegenden Studie präzisiert werden. Dazu wurde die Stabilität des intakten Karpalgelenks und der Instabilitätszuwachs nach gezielter Desmotomie der Karpalgelenksbänder und auch einiger Endsehnen von Muskeln unter genormten Bedingungen sowohl in dorsopalmarer (Ab-, Adduktion) als auch in mediolateraler (Extension, Hyperextension) Ansicht röntgenologisch abgebildet und vermessen.

Brauchbar waren nur augenscheinlich intakte Extremitäten von Tieren, die weder chemotherapeutisch, antiphlogistisch und/oder analgetisch behandelt waren. Die Gelenke der Vordergliedmaßen mussten passiv uneingeschränkt beweglich sein. Röntgenologisch durften im Seitenvergleich keine Zeichen einer alten verheilten Fraktur, keine offensichtlichen Störungen der Mineralisation der Knochen und an den Gelenken keine Hinweise auf osteoarthrotische Veränderungen nachweisbar sein. Auch die Muskelmassen mussten bezüglich ihres Umfangs möglichst seitengleich sein. Diese Anforderungen waren notwendig, da davon auszugehen ist, dass derartige Auffälligkeiten direkt und indirekt auch zur Einschränkung der Beweglichkeit des Karpalgelenks führen können.

Im Hinblick auf das Alter wurden nur Gliedmaßen von Tieren genutzt, die nicht nur ausgewachsen waren, weil röntgenologisch nachweisbar die Epiphysenfugen geschlossen waren (HORVATH 1983), sondern deren Skelett nach HORVATH (1983) ausgereift und mindestens 24 Monate alt war. Dieses Kriterium war wichtig, da, wie allgemein bekannt, die Gelenke im Wachstums- und Reifungsalter physiologisch instabil sind. Die Laxizität von

Bändern nicht adulter Tiere ist größer und unterscheidet sich erheblich von der adulter (HAUT et al. 1992). Zudem sind Bandläsionen in diesem Alter äußerst selten (NERLICH 2016).

All dies bedenkend, konnten dem Zufall des klinischen Alltags entsprechend, Gliedmaßen von kastrierten Kätzinnen (n=16) und Katern (n=14) gewonnen werden. Die Tiere waren 3-18 Jahre alt und gehörten den verschiedensten Rassen wie Europäisch Kurzhaar (n=15), Britisch Kurzhaar (n=4), Perser (n=2) und mit je einem Tier 9 anderer Rassen an (Tab. 6, S. 27).

Die Karpalgelenke mit den 15 Einzelknochen waren bei allen 30 Katzen der Studie röntgenologisch sowohl im kranio-kaudalen als auch medio-lateralen Strahlengang (WAIBL et al. 2005) intakt. Die Gliederung erfolgte der in der Literatur (ROOS 1989) üblichen Einteilung in Etagen und Reihen – proximal beginnend:

- a) 1. Reihe: *Articulatio radioulnaris distalis* mit 2 Gelenkflächen;
- b) 1. Etage: *Art. antebrachioarpea* mit 7 Gelenkflächen;
- c) 2. Reihe: *Articulationes intercarpeae proximales* mit 8 Gelenkflächen;
- d) 2. Etage: *Art. mediocarpea* mit 9 Gelenkflächen;
- e) 3. Reihe: *Artt. intercarpeae distales* mit 8 Gelenkflächen;
- f) 3. Etage: *Artt. carpometacarpeae* mit 22 Gelenkflächen;
- g) 4. Reihe: *Artt. intermetacarpeae* mit 12 Gelenkflächen;

Das Bewegungsausmaß (Extensions-/ Varus-/ Valguswinkel) gemessen am intakten Karpalgelenksgefüge der Gliedmaßen wies keine Rassespezifität auf. Der Varus-Valgus-Umfang betrug bei den Europäisch Kurzhaar-Katzen  $33,97^\circ$  und bei den anderen  $34,34^\circ$ , das Extensionsausmaß aus einer  $180^\circ$ -Position heraus  $26,07^\circ$  und  $26,85^\circ$ , ohne dass dies signifikant war.

HAUT et al. (1992) beschreiben eine Diskrepanz bezüglich des Bewegungsradius zwischen nicht adulten und adulten Tieren. Sind die Katzen erst erwachsen, scheint der Bewegungsradius nach den Ergebnissen dieser Studie nicht altersabhängig zu sein. Das Varus-Valgus-Bewegungsausmaß betrug bei den Tieren jünger als 5 Jahre  $30,15^\circ$ , bei denen zwischen 6 und 10 Jahren  $36,46^\circ$ , bei denen zwischen 11 und 15 Jahren  $31,81^\circ$  und den noch älteren  $35,24^\circ$ .

Die Untersuchungen der vorliegenden Studie haben gezeigt, dass der Bewegungsradius im Karpalgelenk bei gleich alten Katzen unter gleichen Bedingungen messbar unterschiedlich ausgebildet ist. Nur im Seitenvergleich eines Tieres ließen sich annähernd gleiche Winkel

ermitteln. Signifikant waren die Differenzen nicht. Dies stimmt mit den Ergebnissen von ROOS (1989) im Hinblick auf Ab-/ Adduktion, Extension und Flexion, gemessen sowohl am anatomischen Präparat und sedierten wie auch nicht sedierten Katzen, überein.

Denkbar ist, dass die doch sehr individuellen Unterschiede im Bewegungsumfang auch haltungsbedingt sein können. Vergleicht man die Studien beim Menschen zur Gelenkbeweglichkeit im Zusammenhang mit dem Trainingszustand, ist davon auszugehen, dass ein Freiläufer wesentlich besser trainiert sein dürfte als ein Tier in strikter Wohnungshaltung (ALRICSSON et al. 2003, BARNETT et al. 1969, CHINO et al. 2015, JOHNS et al. 1962, REIMAN et al. 2013). Der Freiläufer hat sich dem täglichen „Überlebenskampf“ mit Laufen, Schleichen, Springen, Klettern und Jagen zu stellen. Insbesondere beim Klettern und Beutemachen müssen die Funktionen des Karpalgelenks voll ausgeschöpft werden (ROOS et al. 1999, ROOS et al. 2001).

## **Methode**

### ***Präparation der Gliedmaßen***

In Anlehnung an WERNITZ (1987) wurden in der vorliegenden Studie die Gliedmaßen im Rumpf-Schulter-Gelenk amputiert, da so die Funktionseinheit der Extremität weitgehend erhalten blieb. Dies wäre bei einer Amputation im oder distal des Ellbogengelenks, wie es MILGRAM et al. (2011) und WERNITZ (1987) für den Hund empfehlen, nicht zu gewährleisten, da dabei die Ursprünge der Mm. extensores und flexores der Pfoten gekappt worden wären. Ihre Relevanz für die Stabilität des Karpalgelenks hätte so nicht überprüft werden können.

Die Vordergliedmaßen der Katzen wurden in Verbandswatte eingewickelt, in isotonische Kochsalzlösung getränkt, bei -20°C eingefroren und 24 Stunden vor den Experimenten bei Raumtemperatur aufgetaut. So folgte die Aufbewahrung und Aufbereitung der Vordergliedmaßen der Katzen für die experimentellen Untersuchungen dem Vorgehen früherer experimenteller Untersuchungen (INGENDAAY 2009, BEAUPIED et al. 2006, GOH et al. 1989, GRIFFON et al. 1995). Weder palpativ noch röntgenologisch im Seitenvergleich konnten etwaige Schäden, die der Konservierungsprozess hätte verursachen können, festgestellt werden. Dennoch führen derartige Untersuchungen in vitro am toten, gegebenenfalls geschrumpften, feucht eingefrorenem und wieder aufgetautem Gewebe, das

wohl dabei viel seiner natürlichen Elastizität verliert und zudem nicht mehr physiologisch belastet werden kann, zu Ungenauigkeiten (KOLWE 1920, ROOS 1989).

### ***Apparat zur Positionierung und Belastung der Karpalgelenke***

Die Fixation der Gliedmaße während des Röntgenvorgangs nur mit Händen lässt zwar schnell jedwede passive Bewegung zu, ist aber nicht zu standardisieren, da die Handkraft und ihre Verteilung auf das umfasste Objekt nicht genormt und gemessen werden kann. Allerdings sind diese meist einfachen Kraftgriffe klinisch wohl ausreichend bedeutsam, um die Karpalgelenksfunktionen im Hinblick auf die Stabilität/Instabilität zu evaluieren und röntgenologisch abzubilden. Den Strahlenschutz beachtend, kann es sich als sehr schwierig erweisen, ein derart kleines Objekt wie das Karpalgelenk der Katze mit Händen gehalten korrekt zu röntgen, um die Stabilität/Instabilität bildlich zu belegen und deren Ausmaß zu messen.

Zwischen den Jahren 1990 und 2000 wurden von der Humanmedizin ausgehend (RADWIN 1992; RADHAKRISHNAN et al. 1993) zunehmend computergestützte Messungen mit instrumentierten Handgriffen mit Maschinen erhoben. Derartige High-Tech-Apparate, wie von MILGRAM et al. (2011) und BITTON et al. (2013), sind nicht geeignet das Bewegungsausmaß des Karpalgelenks von Katzen in allen Ebenen mit definiertem Kraftaufwand zu bestimmen. Sie lassen nur Extensions- und Rotationsbewegungen zu. Zudem muss die Muskulatur von den Präparaten entfernt werden, um die Knochen, z. B. in Kunstharz eingebettet, fixieren zu können. Somit bleibt deren möglicher stabilisierender Effekt unberücksichtigt und unerkannt (KÄHLER 2002).

Dies bedenkend, lag ein Schwerpunkt im technischen Teil der vorliegenden Arbeit auf der Konstruktion eines neuartigen Positionierungsgerätes. Seine modulare Plexiglas-, Holz-, Kunststoff- und Metallbauweise ließ über Kraftmesser (Federwaagen) Belastungsanalysen an intakten und gezielt durch Desmo- und Myotomie verletzten Karpalgelenken zu. Sowohl unter lateralen (Abduktion), medialen (Adduktion), als auch unter Extensions- und Flexions-Angulationskräften, ließen sich die Karpalgelenke im Hinblick auf Bildqualität „barrierefrei“ ablichten, weil sie im distalen Unterarmbereich von zwei trapezförmig ausgeschnittenen röntgenstrahlen-durchlässigen Halterungen aus Prothesenkunststoff (Candulor Aesthetic Prothesenkunststoff ©, Polymer, dunkelrosa opak, I – 02723) fixiert wurden. Entscheidend für die Belastungsanalysen am Karpalgelenk war, die Rotation des Radius um die Ulna, die

voll ausgeschöpft bei erhaltener Muskulatur bis zu  $115^\circ$  betragen kann (KOLWE 1920), vollständig auszugrenzen.

Zur Unterarmfixierung wurde das geometrische Modell der doppelten Prismenführung nach KÜNNE (2001) genutzt. Dabei umgriffen die beiden trapezförmigen Halterungen aus Prothesenkunststoff das distale Drittel des Unterarms dorsal knapp oberhalb des Karpalgelenkes. Sie bildeten das erste Prisma. Der Unterarm lag mittig auf der Nut in der Plexiglasplatte. Wurden die Flügelschrauben der Trapezhalterungen angezogen, bog sich die Platte in der Nut durch und bildete palmar das zweite Trapez (Abb. 8 f/g, S. 40), so dass der Unterarm fixiert war.

Bei der lebenden Katze kann die Rotation des Radius um die Ulna nach ROOS (1989) durch Exorotation der Gliedmaße im Schultergelenk um  $45^\circ$  und Auswärtsdrehung des Schulterblattes um weitere  $20^\circ$  in der Adduktion auf insgesamt  $180^\circ$  erhöht werden. Für die experimentellen Untersuchungen musste auch dieses Bewegungspotenzial sicher ausgeschlossen werden. Dazu wurde das Prinzip des Schraubstocks genutzt (Abb. 8d, S. 39).

Bei der Fixierung der Metakarpalknochen lag die Schwierigkeit darin, deren Beweglichkeit gegeneinander aufzuheben. Des Weiteren mussten die Ossa metacarpalia, um die Gelenke präzise zu positionieren, im Verbund verschoben werden können. Gewährleistet wurde dies mit drei Drahtcerclagen (Abb. 4/5, S. 29), die in palmarer Ansicht die Metakarpalmulde sicherten. Die Kraftangriffspunkte und die Richtung der jeweils mit 20N applizierten Kraft waren lateral wie auch medial am Umschlag der Cerclage 3 ausgerichtet. Die Seilzüge aus Polypropylen, die an den Cerclagen angebracht wurden und über die das Karpalgelenk in die gewünschte Position verbracht wurde (Abb. 3 auf S. 28, 8c auf S. 38), wurden anderen Materialien wie z. B. Draht oder Nylon vorgezogen, weil sie flexibler zu handhaben waren. In den Experimenten waren die Karpalgelenksbelastungen in allen Angulationstests mit 20N identisch. Allerdings gelang es nicht immer Cerclage 3, die zirkulär um den Ossa metacarpalia Verbund gelegt war, für die Belastungsuntersuchungen im gleichen Abschnitt der Mittelfußknochen zu platzieren, wie aus den Röntgenaufnahmen zu ersehen war. Dadurch wurden die Kraftansatzpunkte verlagert, wenn auch nur gering. Damit lassen sich auch gut die individuellen Messergebnisse, die nicht signifikant waren, erklären.

In dieser Konfiguration – Schraubstock, doppelte Prismenführung, Cerclagen – waren die Gelenketagen und -reihen ausreichend sicher fixiert, so dass in den mechanischen Tests dissoziative (pathologische) und nicht dissoziative (nicht pathologische) Instabilitäten unterschieden werden konnten. So war es möglich, die Experimente jederzeit reproduzierbar unter gleichen Voraussetzungen zu wiederholen und röntgenologisch abzubilden.

*Messtechnik*

Gewonnen wurden die Ergebnisse aus der Röntgenkinematographie der unbelasteten und belasteten intakten und iatrogen gezielt verletzten Karpalgelenksgefüge. Um die Messvorgänge jederzeit für jeden Untersucher unter den gleichen Bedingungen durchführen zu können, wurden Referenzlinien festgelegt. Auf den Röntgenaufnahmen im dorsopalmaren Strahlengang wurden als Referenzlinien die Längsachsen des Radius und des Os metacarpale III bestimmt. Im Test wurde jede Abweichung davon unter lateraler (Abduktion) sowie medialer (Adduktion) Angulation intakter und verletzter Bandstrukturen jeweils dreimal digital vermessen.

Die karpalen Winkel intakter und gezielt verletzter Karpalgelenke in Extension sowie Hyperextension wurden an den Röntgenbildern manuell mit einem zweischenkigen Goniometer nach RUSSE (1972) in Anlehnung an VOLLMERHAUS et al. (1985) sowie en (1995) vermessen. Die manuelle Goniometrie der medio-lateralen Aufnahmen war notwendig, weil es nicht gelang, digital zweifelsfrei in den Testungen identische Messfixpunkte zu lokalisieren, die jederzeit reproduzierbar wiederholt auffindbar waren. Als Referenzlinien wurde sich deswegen der Tangentialmethodik bedient. Eine Tangente wurde der Längsachse des Radius und die zweite dem Scheitel der dorsalen Konvexität der Ossa metacarpalia angelegt. Über den Schnittpunkt der beiden Tangenten im Karpalgelenk (Abb. 10, S. 43) wurde der Winkel bestimmt.

*Messungenauigkeit – Messfehlertoleranz*

Bei der Ergebnisinterpretation der vorliegenden Versuche kann eine gewisse Messungenauigkeit (Messfehlertoleranz) nicht sicher ausgeschlossen werden. Sie ergibt sich aus wohl noch möglichen Restbewegungen der fixierten Gliedmaßen, den minimal differierenden Kraftansatzpunkten am Metakarpus, Lagerungsunterschieden und subjektiven Fehlern während des Vermessens. In Varusangulation betrug sie  $3,5^\circ$ , in Valgus  $6,4^\circ$  und in Extension  $6^\circ$ . Diese Differenz lässt sich dadurch erklären, dass bei zunehmender Valgisierung das Os carpi ulnare an den prominenten Processus styloideus lateralis anstoßen und/oder „dahinter abtauchen“ kann, dabei weiter auswärts gerät und das Abduktionsvermögen somit erweitert. Vergleichbare Angaben von  $3-10^\circ$  zu subjektiven Messungenauigkeiten bei Bewegungsausmaß-Analysen von Gelenken ganz allgemein machen BOONE et al. (1978) und MAYERSON et al. (1984).

In der vorliegenden Studie ist die Fehlertoleranz statistisch mit den Variationskoeffizienten A sowie B beschrieben. A erfasst nur das Vermessen und B die Ungenauigkeit der gesamten Testung – Einspannen, Röntgen, Vermessen. Entsprechend ist A Teil von B. Der Variationskoeffizient B sollte statistisch 6% betragen, machte in den eigenen Studien aber 6,83% aus, während A 0,43% betrug. Die Differenz zwischen A und B ergibt den Koeffizienten C mit 6,4%, der damit nahe dem geforderten Prozentsatz von 6% liegt. Das ließ erwarten, dass auf Basis der Arbeitsplattform und der Messtechnik ausreichend sicher valide Ergebnisse gewonnen wurden. Indirekt gestützt wird diese Annahme auch von der Inter-Tester-Reliabilität mit 0,95 besonders im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit.

### ***Statistische Analyse der Messdaten***

In der Studie wurden unter einer Belastung von 20 N genormt Angulationswinkel in Ab-/Adduktion und Extension an intakten und iatrogen bandverletzten Karpalgelenken von Katzen im Vorher (intakt) - Nachher (desmotomiert) - Vergleich gemessen. Insgesamt wurden 13 Bänder und/oder Bandgeflechte durchtrennt. Dafür standen insgesamt 60 Karpalgelenke toter Katzen zur Testung zur Verfügung.

Den Testvorgaben folgend, entstanden relativ kleine Versuchskohorten, so dass statistisch nur der Wilcoxon-Signed-Rank-Test für nicht parametrische Daten gut Aussagen möglich machte.

Der T-Test für verbundene Stichproben wäre bei einer Gruppengröße mit  $n > 6$  Probanden gut geeignet gewesen. Unter dem Aspekt der einheitlichen Auswertung wurde allerdings der Wilcoxon-Signed-Rank-Test bevorzugt.

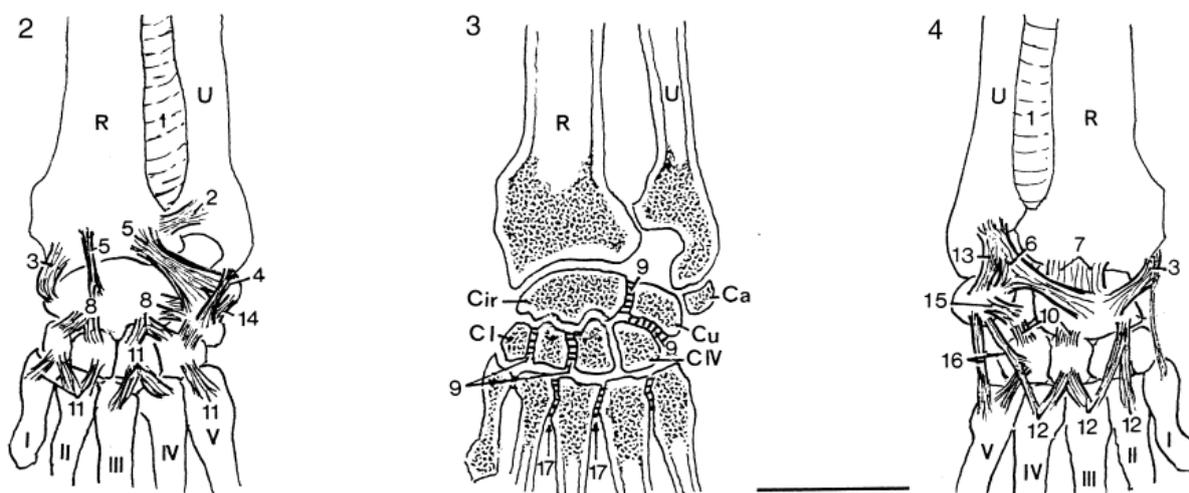
In den 13 Testgruppen wies eine zehn Extremitäten auf, drei mehr als sechs, sieben vier bis sechs sowie drei weniger als vier. Geplant war das Studienprojekt mit jeweils 6 Extremitäten pro Testung. Im Verfahren war diesem Konzept nicht strikt zu folgen, weil wegen lagerungsbedingter Fehler einige Gliedmaßen im Nachhinein ausgeschlossen werden mussten. Gruppen mit einer Fallzahl  $n < 4$  wurden statistisch nicht analysiert.

### ***Anatomische Präparation eines felines Karpalgelenks***

Die Bewegungsoptionen – Pronation, Supination, Ab-/Adduktion, Extension und Flexion – der Vordergliedmaße im Karpalgelenk der Katze sind von ROOS (1989) detailliert

beschrieben. Diese im Rahmen der vorliegenden Studie zu verstehen, ließ es als zweckmäßig erscheinen, sich des knöchernen Konstruktes dieses Gelenkes zu erinnern. Dafür wurden Präparate angefertigt und aus verschiedenen Ansichten fotografiert (Abb. 6 u. 7a-c, S. 30-33). Sie, wie auch die zahlreichen Röntgenabbildungen, zeigen die Komplexität und facettenreichen Artikulationsarchitekturen in den Geglenkreihen und –etagen auf. Das Karpalgelenk lässt sich im biomechanischen Modell als kinematisch verzahnte Kette mit drei Etagen und vier Reihen betrachten, in dem über die proximale und mittlere Etage Druckkräfte auf die distale Etage sowie auf die Metakarpalknochen übertragen und Relationsbewegungen ausgeführt werden können, vergleichbar mit dem Karpalgelenk des Hundes (BRUNNBERG et al. 2014). Die Knochen werden dabei von Sehnen und Bandkräften (Abb. 7a-c, S. 31-33) zusammengehalten.

Anhand radiologisch ermittelter Konturen der am Karpalgelenk beteiligten Knochen wurden die Winkel im Vorher-Nachher-Vergleich gemessen. Dabei zu bedenken ist die Qualität der Röntgenaufnahmen im Hinblick auf Bildhelligkeit und/oder Kontrast, die sich durchaus auf das Messergebnis auswirken können.

**Bewegungsausmaß***Intaktes Karpalgelenk*

**Abbildung 14:** Das linke Karpalgelenk der Hauskatze dargestellt in der dorsalen Aufsicht (Links), im Transversalschnitt (Mitte) und in der Palmaransicht (Rechts) (ROOS et al. 2000).

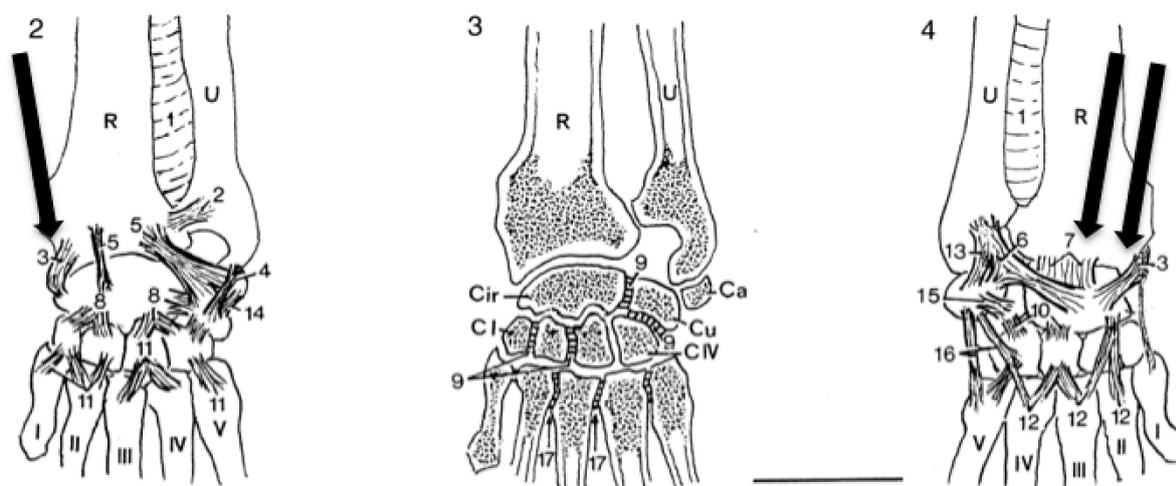
Am intakten Karpalgelenk lebender Katzen beträgt das Bewegungsausmaß von Ad- zu Abduktion nach JAEGER et al. (2007) nur  $18^\circ$ , nach ROOS et al. (2000)  $50^\circ$ . ROOS et al. (2000) gewannen die Messergebnisse nicht nur von lebenden Tieren sondern auch von toten. In der vorliegenden Studie konnten am Kadaver Angulationsausmaße von  $14,7^\circ$  bis  $50,9^\circ$  (durchschnittlich  $34,12^\circ$ ) abgelesen werden. Dabei waren im Rechts-Links-Vergleich nur geringe nicht signifikante Differenzen festzustellen. Allerdings konnten individuell unter den Hauskatzen erhebliche Differenzen ausgemacht werden. Sie ließen sich aus der Testung nicht erklären. Ob sich der Einfrier-/Auftauvorgang auf das passive Bewegungspotenzial ausgewirkt hat, kann nur spekulativ beantwortet werden. Ausreichend epidemiologische Daten bezüglich der Haltung konnten nicht erhoben werden. Denkbar ist, dass Freiläufer auf Grund ihrer größeren Aktivität, beweglichere Gelenk haben. Möglicherweise sind die Unterschiede individuell genetisch bedingt.

Aus der  $0^\circ$ -Position ist nach ROOS et al. (2000) das Karpalgelenk maximal um weitere  $30^\circ$  auf  $210^\circ$  zu extendieren und nach GONYEA (1977) um  $40^\circ$  auf  $220^\circ$ . Auch die eigenen Messergebnisse fügen sich mit Extensionswinkeln von  $16-42^\circ$  bei einem Mittelwert von  $26,47^\circ$  in die Literaturangaben ein. Offensichtlich hat die Fixation der Gliedmaße mit maxi-

mal gestrecktem Ellbogengelenk auf der Plexiglas-Arbeitsplattform keine messbaren Auswirkungen auf die Testergebnisse unter Belastungsextension.

### *Instabilität nach definierter Desmotomie*

- des *Ligamentum collaterale mediale*
- des *Ligamentum radiocarpeum palmare* und
- *Beider Bänder*



**Abbildung 15:** Linkes Karpalgelenk von dorsal (Links), im Transversalschnitt (Mitte) und von palmar (Rechts) (ROOS et al. 2000); 3 Ligamentum collaterale mediale, 7 Ligamentum radiocarpeum palmare; die Blockpfeile zeigen die Position der Bänder auf.

Interessant ist, dass in den eigenen Studien der Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale keine röntgenologisch nachweisbare Gefügestörung des Vorderfußwurzelgelenkes nachweisbar war, obwohl an einem Gelenk eine Valgisierung gemessen werden konnte. Dies deckt sich mit den Angaben von VOSS et al. (2003) für die Katze, aber nicht mit denen von WERNITZ (1987) beim Hund. Die Durchtrennung des Ligamentum collaterale mediale allein verursacht im Experiment keine röntgenologisch nachweisbare Instabilität bei der Katze. Erst nach Desmotomie des Lig. collaterale mediale und des Ligamentum radiocarpeum palmare ist eine Luxation der Articulatio antebrachioarpea in der proximalen Gelenketape abzubilden und zu messen.

Die Durchtrennung des Ligamentum radiocarpeum palmare hatte einen im Experiment, in Valgus- wie auch in Varusangulation, röntgenologisch abbildbaren und goniometrisch messbaren Instabilitätsaufwuchs zur Folge. Beim Zugang zum Ligamentum radiocarpeum

palmare müssen die Endsehnen (n=2) des Musculus flexor digitorum communis und das Retinaculum flexorium durchtrennt werden, um das Ligamentum radiocarpeum palmare isolieren zu können. Wie unten beschrieben, hat die Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis keine Auswirkung auf die Stabilität des Karpalgelenks.

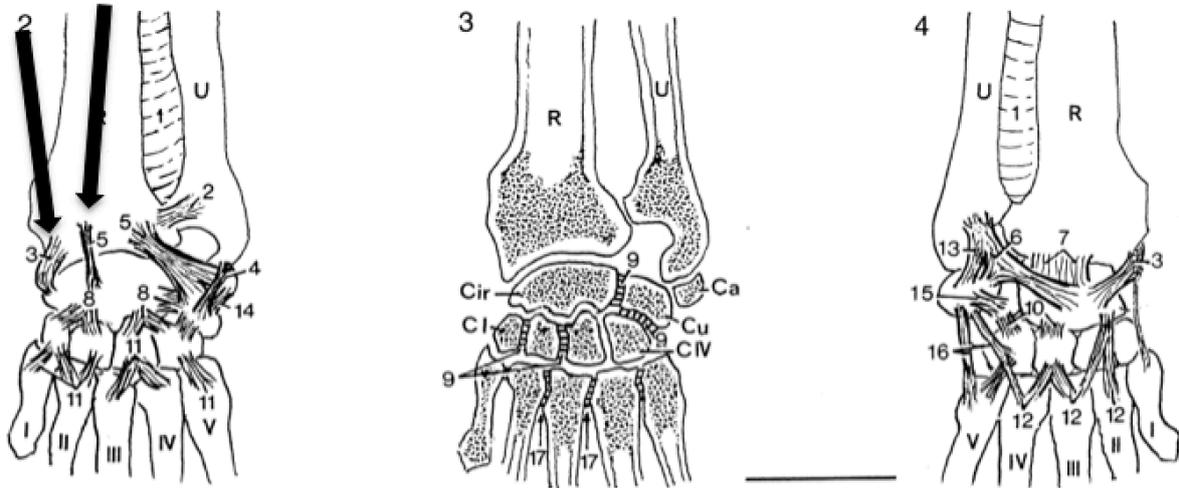
Das Retinaculum flexorium jedoch scheint ein wesentlicher Stabilisator des Gelenks in der proximalen und mittleren Gelenketape. Ist es teno- bzw. desmotomiert, entsteht bereits ein um 19° signifikanter ( $p=0,005$ ) Instabilitätszuwachs, wie die Tests ergaben. Der Aufwuchs wird noch größer, wenn zusätzlich das Ligamentum radiocarpeum palmare und noch ausgeprägter falls auch noch das Ligamentum collaterale mediale durchschnitten wird. Nach zusätzlicher Inzision des Palmarbandes wuchs der Winkel um 8,88° auf durchschnittlich 27,88° an. Wird auch noch das Ligamentum collaterale mediale desmotomiert, kam es wie bereits oben beschrieben zur Luxation der Articulatio antebrachioarpea. Wird das Ligamentum radiocarpeum palmare intakt belassen und zusätzlich zum Retinaculum des mediale Seitenband durchschnitten, wächst der Extensionswinkel von 19 auf 26° an. Dies deckt sich mit den Angaben von MILGRAM et al. (2011) beim Hund, wobei hier schon die alleinige Durchtrennung des medialen Kollateralbands eine Vergrößerung des Extensionswinkels zur Folge hat.

Blieben bei tenotomiertem Musculus flexor digitorum communis und desmotomiertem Retinaculum flexorium die Seitenbänder intakt, war keine laterale (Adduktion) oder mediale (Abduktion) Varus- bzw. Valgusangulation messbar, jedoch fielen röntgenologisch Instabilitäten in der proximalen und mittleren Gelenketape auf.

Ganz offensichtlich ist das Gefüge des Vorderfußwurzelgelenkes von der Vielfalt der Bandzüge, die die einzelnen Knochen des Karpalgelenkes miteinander verbinden und die Gelenkkapsel verstärken, wesentlich stärker garantiert, denn von einem einzelnen Band wie dem medialen Seitenband (ROOS 1989). Dies bestätigen die eigenen Experimente.

*Instabilität nach definierter Desmotomie*

- der *Ligamenta radiocarpea dorsalia*
- der *Ligamenta radiocarpea dorsalia und collaterale mediale*

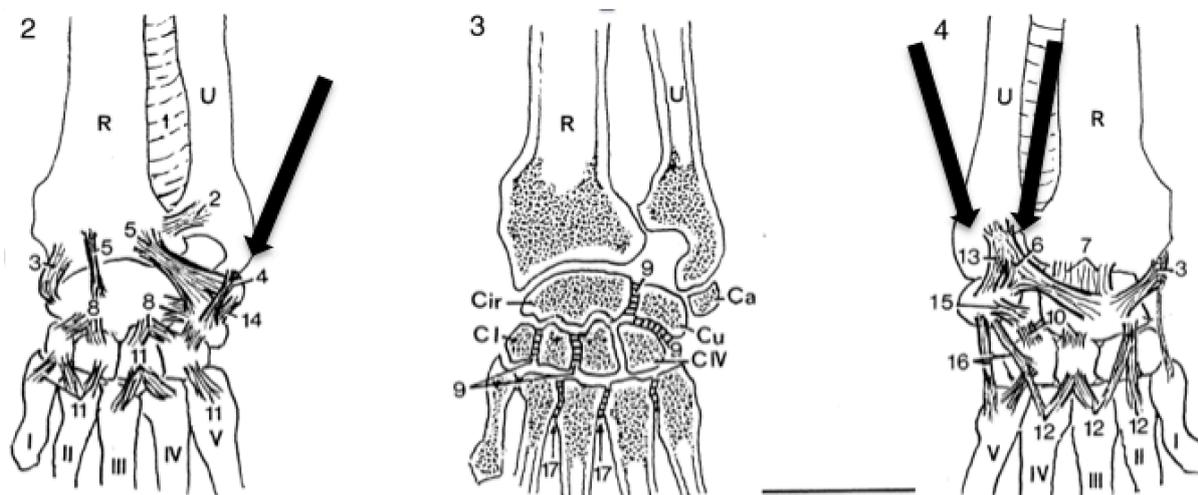


**Abbildung 16:** Articulatio carpi sinistra felinae; links dorsale Ansicht, in der Mitte im Transversalschnitt, rechts palmare Ansicht (ROOS et al. 2000); 3 Ligamentum collaterale mediale, 5 Ligamenta radiocarpea dorsalia; die Blockpfeile zeigen die Position der Bänder auf.

Die dorsale karpale Instabilität ist beim Hund selten (WERNITZ 1987, EARLEY et al. 1980, VAUGHAN 1985, PUNZET 1974, MILLER et al. 1990) und bei der Katze noch seltener, zumindest gibt es nur wenige Fallberichte dazu (PITCHER 1996). Beim Hund stellt sich eine Luxation des Os carpi intermedioradiale nach Ruptur des Ligamentum collaterale mediale im Verbund mit den Ligamenta radiocarpea dorsalia, der Gelenkkapsel und der Ligamenta palmaria ein. Ihre Ruptur lässt eine dorsale Luxation sowie eine 90° Rotation des Os carpi intermedioradiale möglich werden (PUNZET 1974). PALIERNE et al. (2008) zeigen in ihrer Kadaverstudie auf, dass eine Luxation dieses Knochens auch möglich wird, wenn das mediale Kollateralband nicht gerissen ist. Es erschien deswegen in den eigenen Studien sinnvoll zu sein, dem Stabilitätseffekt der Ligamenta radiocarpea dorsalia in den Experimenten nachzugehen. Die Tests belegen, dass weder die Desmotomie der Ligamenta radiocarpea dorsalia noch unter Einbezug des Ligamentum collaterale mediale eine Instabilität in den Belastungsanalysen aufdecken lassen. Daraus kann für die Katze rückgeschlossen werden, dass eine dorsale Luxation des Os carpi intermedioradiale nur möglich wird, wenn im palmaren Bandgeflecht und dem Band zwischen Os carpi intermedioradiale und Os carpi ulnare ebenfalls erhebliche Verletzungen entstanden sind.

*Instabilität nach definierter Desmotomie*

- des *Ligamentum collaterale laterale*
- der *Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare*



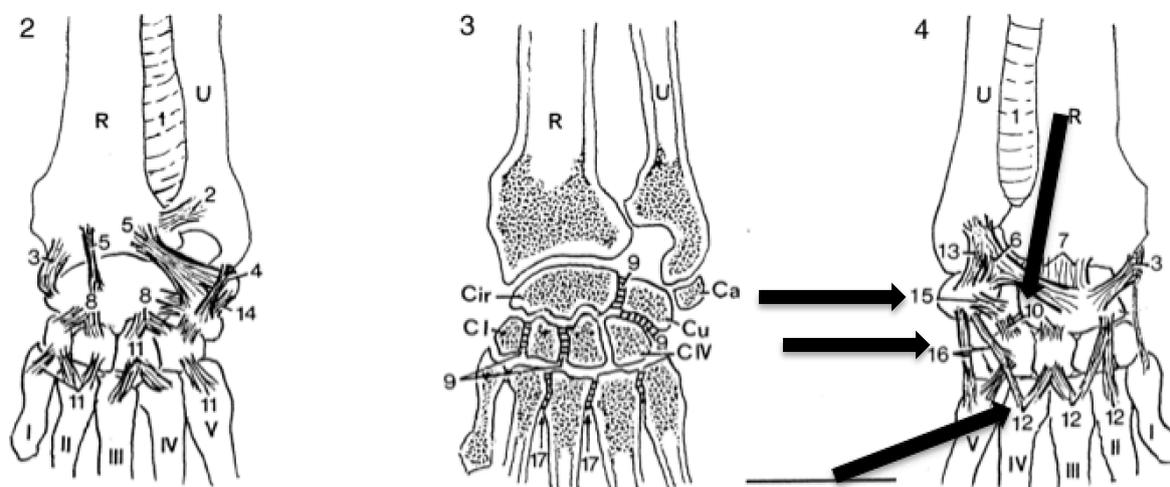
**Abbildung 17:** Linkes Karpalgelenk in der dorsalen (links) und palmaren (rechts) Ansicht und im Transversalschnitt (Mitte) (ROOS et al. 2000); 4 Ligamentum collaterale laterale, 6 Ligamentum ulnocarpeum palmare, 13 Ligamentum accessorioulnare; die Blockpfeile zeigen die Position der Bänder auf.

Nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale konnte auch unter Belastung mit 20 N keine Gefügestörung im Vorderfußwurzelgelenk abgebildet und/oder goniometrisch festgestellt werden. Wird dagegen das laterale Seitenband durchschnitten, ist röntgenologisch unter Belastung eine signifikant ( $p=0,01$ ) dynamische Instabilität in Form einer Subluxation der Articulatio ulnocarpea zu belegen. Der Varuswinkel vergrößerte sich um durchschnittlich  $16,83^\circ$ . Wird die Desmotomie in diesem Experiment auf das Lig. ulnocarpeum palmare und das Ligamentum accessorioulnare begrenzt, die zusammen durchtrennt wurden, weil sie bei der Präparation nicht klar voneinander unterschieden werden konnten, ist keine messbare Varusinstabilität zu verzeichnen. Die Durchtrennung dieser beiden Bänder jedoch führt ebenfalls zu einer Instabilität der Articulatio ulnocarpea. In Extension konnte diese Instabilität nur nach Durchtrennung des Ligamentum collaterale laterale röntgenologisch dargestellt werden, messbar war sie nicht.

Daraus lässt sich ableiten, dass das Ligamentum collaterale laterale der Hauptstabilisator des lateralen Kompartiments der proximalen Gelenketape ist, das Ligamentum ulnocarpeum palmare und das Ligamentum accessorioulnare das laterale Seitenband aber unterstützen.

*Instabilität nach definierter Desmotomie*

- der *Ligamenta intercarpea palmaria*
- der *Ligamenta carpometacarpea palmaria*



**Abbildung 18:** Articulatio carpi sinistra; Links Aufsicht von dorsal, in der Mitte im Transversalschnitt, rechts von palmar (ROOS et al. 2000); 10 Ligamenta intercarpea palmaria, 12 Ligamenta carpometacarpea palmaria, 15 Ligamentum accessorioquartale, 16 Ligamentum accessoriometacarpeum; die Blockpfeile zeigen die Position der Bänder auf.

Trotz aller präparatorischer Bemühungen gelang es nicht, die Bandzüge einzelner Ligamenta intercarpea palmaria oder die der carpometacarpea palmaria zu isolieren, um sie zu desmotomieren. Dies beachtend, wurde das Retinaculum flexorium mit den Bändern und der Gelenkkapsel auf Höhe des Gelenkspaltes dieser Gelenketape, in der mittleren Etage ohne Schonung des Ligamentum accessorioquartale, durchgeschnitten.

Die Articulatio ossis carpi accessorii scheint wesentlich vom Ligamentum accessorioquartale stabilisiert zu werden. Eine Luxation war röntgenologisch nur nach Desmotomie der Bänder der mittleren Gelenketape darstellbar. Werden die Ligamenta intercarpea palmaria durchtrennt, subluxiert die Articulatio mediocarpea, luxiert das Os carpi accessorium und unter Belastung mit 20 N entsteht eine Hyperextension. Wird das Ligamentum accessoriometacarpeum desmotomiert, folgt dem keine Destabilisierung der Articulatio ossis carpi accessorium, ebenso wie nach Durchtrennung des Ligamentum accessorioulnare oder der am Os carpi accessorium ansetzenden Muskeln. Das Ligamentum accessorioquartale allein abzutrennen, war nicht möglich da es präparatorisch nicht von dem umliegenden Bandgewebe differenziert werden konnte. Nach HARRIS et la. (2011) führt eine Ruptur des

Ligamentum accessoriocarpoulnare zur Subluxation des Os carpi accessorium. Dieses Band konnte trotz aller präparatorischer Bemühungen makroskopisch nicht identifiziert werden.

Die Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria folgte dem Vorgehen der Ligamenta intercarpea auf Höhe der distalen Gelenketape palmar über die gesamte Länge der Gelenkspalte unter Schonung des Ligamentum accessoriometacarpeum. Im Belastungstest war bei fünf von sieben Gliedmaßen eine ausgeprägte Hyperextension röntgenologisch abbildbar und goniometrisch messbar. Bei zwei Gliedmaßen (beide vom selben Tier) konnte dies nicht nachvollzogen werden. Es ist anzunehmen, dass bei diesen beiden Karpalgelenken die Durchtrennung der Bänder unvollständig war. Nach Durchtrennung der Bänder auf Höhe der distalen Gelenketape wurde im Belastungstest mit 20 N auch die mittlere Etage destabilisiert. Eine Subluxation der Articulatio mediocarpea war in Valgus- und Hyperextensionsaufnahmen darstellbar.

Die Desmotomie und Inzision der Bänder der mittleren distalen Gelenketape hatte einen Winkelaufwuchs um durchschnittlich 13° (mittlere) sowie 12,29° (distale) zur Folge. Im Experiment war dieser Winkel nach alleiniger palmarer Myo- und Fasziotomie, die eine Extensionszunahme um 19° ergaben, deutlich niedriger. Ein weiterer Hinweis, dass die Faszien palmar das Karpalgelenk wesentlich stabilisieren.

#### *Instabilität nach definierter Myotomie*

- *des Musculus flexor digitorum communis*
- *der Musculi flexores carpi ulnaris und radialis*

Die Durchtrennung dieser Muskeln, allein oder zusammen, führte zu keinem röntgenologisch nachweisbaren oder messbaren Stabilitätsverlust des Karpalgelenksgefüges. Damit ist nachgewiesen, wie schon zuvor aufgedeckt, dass das Retinaculum palmare die ausschlaggebende stabilisierende Struktur im Karpalgelenksgefüge ist.

## **Arthrodesimplantate**

Aus den Experimenten und Belastungstests ist zu entnehmen, dass die physiologische Balance der Karpalgelenksfunktionen durch Verletzungen der Sehnen, Bänder, Faszien und/oder Retinacula, insbesondere der Palmaria, so empfindlich gestört sein kann, dass mit chirurgischen Maßnahmen keine funktionelle Rekonstruktion gelingen kann und die Beweglichkeit im Karpalgelenk partiell oder vollständig eingeschränkt werden muss. Das gelingt nur über eine Arthrodesese des gesamten Karpalgelenkes (Panarthrodesese) oder eine partielle Arthrodesese der mittleren und distalen Reihe (NAKLADAL et al. 2013). Dem Karpalgelenk der Katze gut angepasste Implantate für eine Arthrodesese stehen bisher nicht zur Verfügung. Deswegen war es naheliegend, an den 60 Gliedmaßen die Kaliber des distalen Drittels vom Radius und die des Os metacarpale III digital an den Röntgenaufnahmen der Karpalgelenke im dorsopalmaren Strahlengang zu vermessen.

Den Kaliber der Knochen auf Grundlage der digitalen Röntgenaufnahmen zu bestimmen erwies sich als zweckmäßig und ließ valide Ergebnisse erwarten, wie schon JAEGER (2007), AL AIYAN (2011), BÄCKER (2010) und LOTH (2013) im Vergleich manueller und digitaler Messungen an Röntgenbildern und digital an computertomographisch erstellten Abbildungen von verschiedenen Knochen festgestellt haben. Auch wenn im Endergebnis nur geringe Unterschiede festgestellt werden konnten, so schienen die Resultate der Computertomographie näher an der Realität zu sein. Dies trifft insbesondere zu, wenn der Außen-/Innendurchmesser, die Länge, die Ausdehnung der Markhöhle sowie die Dicke von Kompakta und Cortex eines Knochens bestimmt wird. Nach KORNMAYER et al. (2014) ist unter den Aspekten des Kalibers und Beachtung des Vergrößerungseffektes von Röntgenaufnahmen, der vom Abstand Röntgenröhre - Objekt abhängt und etwa 10% auf 1 Meter beträgt, klinisch gut mit den Daten zu arbeiten, die aus den digital erstellten Röntgenaufnahmen gelesen werden können. Diese Daten sind wichtig, um neue Implantate für eine Karpalgelenksarthrodesese der Katze zu entwickeln. Nach der eigenen Studie beträgt der Durchmesser des MC III 2,7-4 mm und ist damit kleiner als der von SIMPSON et al. (1994) mit 3,15-4,13 mm angegebene. Sollte eine Arthrodesese mit Platte und Schrauben vorgenommen werden, sollten die Schrauben im Durchmesser maximal 30-40% des Knochens (NUNAMAKER et al. 1986, JOHNSON et al. 2005) betragen. Die 1,5 mm Schrauben, die SIMPSON et al. (1994) empfehlen, sind bei einem Knochenkaliber von 2,7 mm mit 55,5% wesentlich zu dick, und entsprechen erst ab einem Durchmesser von 3,75 mm den maximal geforderten 40%.

## 6. Zusammenfassung

In dieser Studie wurde die Stabilität intakter und iatrogen verletzter Karpalgelenke an 30 toten Katzen (60 Karpalgelenke) in Extension, Abduktion und Adduktion in Ruhe und unter 20 Newton Stressbedingungen untersucht. War die orthopädische Unversehrtheit festgestellt, wurden die Gliedmaßen im Rumpf-Schultergelenk amputiert und Haut und Unterhaut entfernt. Die verbleibenden Weichteilstrukturen wurden zunächst nicht beschädigt. Es wurden der seitliche und palmar Bandapparat des Gelenkes und dessen palmar verlaufende muskuläre und fasziale Strukturen durchtrennt und der dadurch entstandene Stabilitätsverlust gemessen. Dazu wurde eigens eine Einspannvorrichtung konstruiert. In den einzelnen Positionen wurden die Gliedmaßen röntgenologisch abgebildet und vermessen. Die Funktionalität der Einspannvorrichtung wurde im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit der Vermessungen überprüft, in dem der Versuchsablauf jeweils viermal pro Karpalgelenksposition nach den Vorgaben von BOONE et al. (1978) durchgeführt wurde. Die Inter-Tester-Reliabilität war  $> 0,96$ . Es wurde eine Messfehlertoleranz festgesetzt, ein Winkelzuwachs, der keiner Traumatisierung sondern Variationen im Versuchsablauf zuzuordnen war. Dieser durfte statistisch den Variationskoeffizienten von 6% nicht überschreiten. Dieser betrug in Varus  $3,5^\circ$ , Valgus  $6,4^\circ$  und in Extension  $6^\circ$ .

Der Bewegungsumfang von der Varus- zur Valgus-Position des Karpalgelenks betrug  $14,7-50,9^\circ$  (Mittelwert= $34,12^\circ$ ). Der Extensionswinkel betrug  $16-42^\circ$  (Mittelwert= $26,46^\circ$ ). Die Gelenkwinkel an Karpalgelenken von Katzen waren individuell sehr different.

Das Ligamentum collaterale mediale stabilisiert medial und palmar die proximale Gelenketape des Karpalgelenks. Nach Durchtrennung war weder röntgenologisch noch messtechnisch eine Instabilität festzustellen.

Die Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare führte zu Varus-, Valgus- und Hyperextensionsinstabilitäten. Die Stabilisierung der proximalen Gelenketape, die für 63% der Beweglichkeit des Karpalgelenks verantwortlich ist (ROOS et al. 2000), hängt im Wesentlichen von der Integrität des Ligamentum radiocarpeum palmare und des Retinaculum palmare ab. Nach Traumatisierung des Ligamentum radiocarpeum palmare kam es zu einer Subluxation der Articulatio radiocarpea und einer Hyperextension, nach Durchtrennung des Retinaculum palmare zur Subluxation der proximalen und mittleren Gelenketape. Die Desmotomie mit gleichzeitiger Fasziotomie vergrößert den Extensionswinkels um  $27,88^\circ$ , die alleinige Fasziotomie um  $19^\circ$ . Wurde zusätzlich zum Retinaculum das Ligamentum

collaterale mediale desmotomiert, erweiterte sich der Extensionswinkel von  $19^\circ$  auf  $26^\circ$  und eine Luxation der *Articulatio antebrachio-carpea* war die Folge.

Lateral wird das Karpalgelenk durch die *Ligamenta collaterale laterale*, *ulnocarpeum palmare* und *accessorioulnare* stabilisiert. Die Desmotomie führte zur Subluxation der *Articulatio ulnocarpea*. Ist eine Seiteninstabilität messbar (Vergrößerung des Varuswinkels im Experiment um durchschnittlich  $16,83^\circ$ ,  $p=0,02$ ), muss das *Ligamentum collaterale laterale* traumatisiert worden sein. In Extension kommt diesen Bändern keine Aufgabe zu.

Die *Articulatio ossis carpi accessorium* wird durch mehrere Bänder stabilisiert. Erst nach Durchtrennung des *Ligamentum accessorioquartale* stellte sich eine Subluxation ein. Die Durchtrennung der *Ligamenta accessoriometacarpeum* und *accessorioulnare* und die Tenotomie im Ansatz des *Musculus flexor carpi ulnaris* hatte keinen darstellbaren Effekt auf die Stabilität.

Die *Ligamenta carpometacarpea palmaria* stabilisieren die distale und die mittlere Gelenketape. Nach Desmotomie waren diese Gelenke in Form einer Subluxation und Hyperextension instabil. Der Extensionswinkel vergrößerte sich um durchschnittlich  $12,29^\circ$  ( $p=0,01$ ).

Die Tenotomie der Zehengelenks- und Karpalgelenksbeuger führte nicht zur Instabilität im Karpalgelenk.

Die Röntgenaufnahmen wurden dazu genutzt, die Kaliber der Metakarpalknochen zu vermessen, um ein wohldimensioniertes Arthrodesemplantat zu entwickeln. Der Durchmesser des MC III betrug 2,7-4 mm. Die in der Literatur empfohlenen Arthrodesemplantate für Katzen (SIMPSON et al. 1994) sind großkalibiger (NUNAMAKER et al. 1986).

Dem Karpalgelenk der Katze wurde bisher klinisch wenig Aufmerksamkeit im Hinblick auf Verletzungen und daraus folgenden Instabilitäten gewidmet. Auf der Grundlage dieser Arbeit, können die Indikationen zur rekonstruktiven Chirurgie und die zur Arthrodesese mit angepassten Implantaten besser standardisiert werden. Entsprechende klinische Studien werden das belegen.

## 7. Summary

### **Carpal joint instability in the cat – An experimental and radiographic study**

In this study, the instability of intact and iatrogenically injured carpal joints in 30 dead cats (60 carpal joints) was examined in extension, abduction and adduction at rest and under 20 Newton stress conditions. If orthopaedic integrity was found to be intact, the limbs were amputated in the torso-shoulder joint and the skin and subcutaneous tissue removed. The remaining soft tissue structures were not damaged initially. The lateral and palmar ligament apparatus of the joint and its palmar-extending muscular and fascial structures were severed and the resulting loss of stability measured. For this purpose, a clamping device was specially designed. In the individual positions, the limbs were imaged and measured radiographically. The functionality of the clamping device was tested with regard to the reproducibility of the measurements, with the test procedure being carried out on the device four times for each carpal joint position in accordance with the specifications of BOONE et al (1978). The inter-tester reliability was  $> 0.96$ . Measurement error tolerance was established, an angle increase which was not attributable to traumatisation, but rather to variations in the test procedure. This was not allowed to statistically exceed the variation coefficient of 6%. This was  $3.5^\circ$  in varus,  $6.4^\circ$  in valgus and  $6^\circ$  in extension.

The range of movement from the varus to the valgus position of the carpal joint was  $14.7\text{--}50.9^\circ$  (mean value= $34.12^\circ$ ). The extension angle was  $16\text{--}42^\circ$  (mean value= $26.46^\circ$ ). The joint angles on carpal joints of cats were very different individually.

The medial collateral ligament stabilises the proximal articular joint of the carpal joint medially and palmarly. After separation, no instability was found either by X-ray or through measurement technology.

The desmotomy of the palmar radiocarpal ligament led to varus, valgus and hyperextension instabilities. The stabilisation of the proximal articular joint, which is responsible for 63% of the mobility of the carpal joint (ROOS et al. 2000) essentially depends on the integrity of the palmar radiocarpal ligament and the palmar retinaculum. After transection of the palmar radiocarpal ligament, subluxation of the articulatio radiocarpea and hyperextension occurred, after severing of the palmar retinaculum for subluxation of the proximal and middle articular joint. Desmotomy with simultaneous fasciotomy increases the extension angle by  $27.88^\circ$ , the fasciotomy alone by  $19^\circ$ . If, in addition to the retinaculum, the medial collateral ligament was desmotomised, the extension angle expanded from  $19^\circ$  to  $26^\circ$  - and luxation of the antebrachiocarpal articulation was the consequence.

Laterally, the carpal joint is stabilised by the lateral collateral ligament, palmar and accessorioulnar ulnocarpeum. The desmotomy led to the subluxation of the ulnocarpal joint. If lateral instability is measurable (increase in the angle of the varus in the experiment by an average of  $16.83^\circ$ ,  $p=0.02$ ), the collateral lateral ligament must have been traumatised. In extension, these ligaments have no task.

The joint of the accessory carpal bone is stabilised by several ligaments. Only after the severing of the accessorioquartal ligament did subluxation occur. The severing of the accessoriometacarpal and accessorioulnar ligaments and the tenotomy in the base of the flexor carpi ulnaris muscle had no demonstrable effect on stability.

The palmar carpometacarpal ligaments stabilise the distal and the medial articular joint. After desmotomy, these joints were unstable in the form of subluxation and hyperextension. The extension angle increased by an average of  $12.29^\circ$  ( $p=0.01$ ).

The tenotomy of the toe and carpal joint flexors did not lead to instability in the carpal joint.

The radiographs were used to measure the calibre of the metacarpal bones in order to develop a well-dimensioned arthrodesis implant. The diameter of the MC III was 2.7-4 mm. The arthrodesis implants for cats recommended in the literature (SIMPSON et al. 1994) are of a larger calibre (NUNAMAKER et al. 1986).

Until now, little attention has been paid clinically to the carpal joint of the cat with regard to injuries and the resulting instabilities. On the basis of this work, the indications for reconstructive surgery and those for arthrodesis with adapted implants can be better standardised. Corresponding clinical studies will prove this.

## 8. Literaturverzeichnis

Al Aiyan, A. (2011):

Die geometrische Konfiguration der Knochen des Hüftgelenks bei Hunden mittel- und großwüchsiger Rassen als Grundlage einer neuen Hüftendoprothese.

Berlin, Freie Universität, Vet. Med. Dissertation.

Allan, G.; Nicoll, R. (2005):

Joints – general.

In: BSAVA Manual of Canine and Feline Musculoskeletal Imaging. / F. J. Barr, R. M. Kirberger (Hrsg).

Gloucester/ England, British Small Animal Veterinary Association, ISBN 0905214862, 71-85.

Alricsson M.; Harms-Ringdahl K.; Eriksson, K.; Werner, S. (2003):

The effect of dance training on joint mobility, muscle flexibility, speed and agility in young cross-country skiers - a prospective controlled intervention study.

Scand J Med Sci Sports, 13, 237-243.

Anderson, M. A.; Payne, J. T.; Constantinescu, G. M. (1993):

Managing Fractures and Related Injuries of the Distal Extremities in Dogs and Cats.

Vet Med 88, 957-966.

Bäcker, C. (2010):

Die geometrische Konfiguration der Knochen des Hüftgelenks bei Hunden kleinwüchsiger Rassen.

Berlin, Freie Universität Berlin, Vet. Med. Dissertation.

Barnett, C. H.; Cobbold, A.F. (1969):

Muscle tension and joint mobility.

Ann Rheum Dis, 28, 652–654.

Beaupied, H.; Dupuis, A.; Arlettaz, A.; Brunet-Imbault, B.; Bonnet, N.; Jaffré, C.; Benhamou, C. L.; Courteix, D. (2006):

The mode of bone conservation does not affect the architecture and the tensile properties of rat femurs.

Biomed Mater Eng, 16, 253-259.

Bitton, E.; Joseph, R.; Portman, L.; Segev, G.; Meiner, Y.; Shipov, A.; Milgram, J. (2012):

The Effect of Extension and Loading of the Carpus on Radial Rotation.

Vet Surg 42, 909-917.

Boone, D. C.; Azen, S. P.; Lin, C.M.; Spence, C.; Baron, C.; Lee, L. (1978):

Reliability of goniometric measurements.

Phys Ther 58, 1355-1360.

Brugger, S. (1987):

Funktionell-Anatomische Untersuchungen an den Articulationes Membri thoracici der Hauskatze (*Felis Catus S. Silvestris Domestica*).

München, Ludwig-Maximilians-Universität, Vet. Med. Dissertation.

Brunnberg, L.; Waibl, U.; Lehmann, J. (2014):

Lahmheit beim Hund. Untersuchen – Erkennen – Behandeln.

Procane Claudio Brunnberg, ISBN 978-3-00-048088-1.

Calvo, I.; Farrell, M.; Chase, D.; Aisa, J.; Rayward, R.; Carmichael, S. (2009):

Carpal arthrodesis in cats. Long-term functional outcome.

Vet Comp Orthop Traumatol 22, 498-504.

Chino, K.; Takahashi, H. (2015):

The association of muscle and tendon elasticity with passive joint stiffness: In vivo measurements using ultrasound shear wave elastography.

Clin Biomech, 30, 1030-1035.

Denny, H. R.; Butterworth, S. J. (2000):

A guide to canine and feline orthopaedic surgery.

Oxford, Blackwell, ISBN 0-632-05103-5.

Earley, T. D.; Dee, J. F. (1980):

Trauma to the carpus, tarsus, and phalanges of dogs and cats.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 10, 717-747.

Fossum, T. (2009):

Chirurgie der Kleintiere.

München, Elsevier, ISBN 978-3-437-57091-9.

Frewein, J.; Wille, K.-H.; Wilkens, H. (2003):

Band I. Bewegungsapparat.

In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. / R. Nickel, A. Schummer, E. Seiferle (Hrsg.)

Stuttgart, Parey Verlag, ISBN 3830441495.

Gemmill, T. J.; Clarke, S. P.; Carmichael, S. (2004):

Carpal agenesis in a domestic short haired cat.

Vet Comp Orthop Traumatol 17, 163-166.

Geringer, J. (2006):

Goniometrie bei der Katze.

Wien, Veterinärmedizinische Universität, Vet. Med. Dissertation.

Goh, J. C.; Ang, E. J.; Bose, K. (1989):

Effect of preservation medium on the mechanical properties of cat bones.

Acta Ortho Scand, 60, 465-467.

Griffon, D. J.; Wallace, L. J.; Bechtold, J. E. (1995):

Biomechanical properties of canine corticocancellous bone frozen in normal saline solution.

Am J Vet Res, 56, 822-825.

Gonyea, W. J. (1977):

Functional implications of felid forelimb anatomy.

Acta anat. 1978, 102, 111-121.

Guerrero, T. G.; Montavon, P. M. (2005):

Medial plating for carpal panarthrodesis.

Vet Surg 34, 153-158.

Haburjak, J. J.; Lenehan, T. M.; Davidson, C. D.; Tarvin, G. B.; Carlson, K. R.; Hayes, A. (2003):

Treatment of carpometacarpal and middle carpal joint hyperextension injuries with partial carpal arthrodesis using a cross pin technique: 21 cases.

Vet Comp Orthop Traumatol 16, 105-111.

Harasen, G. (2002):

Arthrodesis-Part I: The carpus.

Can Vet J 43, 641-643.

Harris, K. P.; Moores, A. P.; Butterworth, S. J.; Bush, M. A. (2011):

Three cases of accessorioulnar arthrodesis to address accessory carpal bone subluxation or fracture.

Vet Rec 169, 181-165.

Haut, R. C.; Lancaster, R. L.; DeCamp, C. E. (1992):

Mechanical properties of the canine patellar tendon: some correlations with age and the content of collagen.

J Biomech 25, 163-73.

Horvath, I. (1983):

Röntgenanatomische Untersuchungen zur postnatalen Entwicklung des Vordergliedmaßenskeletts der Hauskatze (*Felis catus*).

München, Ludwig-Maximilians-Universität, Vet. Med. Dissertation.

Ingendaay, C. (2009):

Intramedulläre Frakturversorgung bei der Katze - Verriegelungsnagel und Form-Gedächtnis-Implantat im biomechanischen Vergleich.

Berlin, Freie Universität, Vet. Med. Dissertation.

Jaeger, G. H.; Marcellin-Little, D. J.; Depuy, V.; Lascelles, B. D. (2007):

Validity of goniometric joint measurements in cats.

Am J Vet Res 68, 822-826.

Jaegger, G.; Marcellin-Little, D. J.; Levine, D. (2002):

Reliability of goniometry in Labrador Retrievers.

Am J Vet Res 63, 979-986.

Johns, R. J.; Wright, V. (1962):

Relative importance of various tissues in joint stiffness.

J appl Physiol, 17, 824.

Johnson, A. L.; Houlton, J. E. F. (2005):

Arthrodesis of the carpus.

In: AO Principles of fracture management in the dog and cat. / A. L. Johnson, J. E. F.

Houlton, J. E. F., R. Vannini (Hrsg.).

New York, USA, Thieme New York, ISBN 3-13-12-1571-1, 447-457.

Kapatkin, A. S.; Garcia-Nolen, T.; Hayashi, K. (2012):

Carpus, Metacarpus, and Digits.

In: Veterinary Surgery: Small Animal. Volume one. / K. M. Tobias, S. A. Johnston (Hrsg.).

St. Louis, USA, Elsevier Saunders, ISBN 978-1-4377-0746-5, 785-800.

Kähler, B. (2002):

Karpalgelenksarthrodese beim Hund.

Berlin, Freie Universität, Vet. Med. Dissertation.

Kolwe, E. (1920)

Über Pronation und Supination bei der Katze.

Berlin, Tierärztliche Hochschule, Vet. Med. Dissertation.

Kornmayer, M.; Amort, K.; Failing, K.; Kramer, M. (2014):

Medullary cavity diameter of metacarpal and metatarsal bones in cats.

Vet Comp Orthop Traumatol 27, 447-452.

Künne, B. (2001):

Einführung in die Maschinenelemente.

Stuttgart (u.a.), B.G. Teubner, ISBN 3-519-16335-7.

Loth, K. (2013):

Vergleichende Morphometrie der Ellbogengelenke großer, Ellbogengelenksdysplasie prädisponierter Hunderassen.

Berlin, Freie Universität, Vet. Med. Dissertation.

Mai, M. (1995):

Funktionell-Anatomische Untersuchungen an den Articulationes Membri Thoracici von Deutschem Schäferhund, Dobermann, Deutscher Dogge, Rauhaar- und Langhaarteckel.

München, Ludwig-Maximilians-Universität, Vet. Med. Dissertation.

Mathis, K. R.; Voss, K. (2015):

Partial carpal arthrodesis using a medially applied mini-plate in three cats with carpometacarpal hyperextension injury.

J Feline Med Surg 17, 727-732.

Mayerson, N. H.; Milano, R. A. (1984):

Goniometric measurement reliability in physical medicine.

Arch Phys Med Rehabil 65, 92-94.

Meyer zu Erpen, S. (1984):

Zum stumpfen Thraxtrauma bei der Katze.

München, Ludwig-Maximilians-Universität, Vet. Med. Dissertation.

- Milgram, J.; Milshtein, T.; Meiner, Y. (2011):  
The Role of the Antebrachiocarpal Ligaments in the Prevention of Hyperextension of the  
Antebrachiocarpal Joint.  
Vet Surg 41, 191-199.
- Miller, A; Carmichael, S.; Anderson, T. J.; Brown, I. (1990):  
Luxation of the radial carpal bone in four dogs.  
J Small Anim Pract 1990, 31, 148-154.
- Montavon, P. M.; Voss, K.; Langley-Hobbs, S. J. (2009):  
Feline orthopedic surgery and musculoskeletal disease.  
Edinburgh, Mosby, ISBN 0702029866.
- Montgomery, R. D. (1989):  
Healing of Muscle, Ligaments, and Tendons.  
Sem Vet Med Surg (Small Anim) 4, 304-311.
- Nakladal, B.; Vom Hagen, F.; Brunnberg, M.; Gross, M.; Nietz, H.; Brunnberg, L. (2013):  
Carpal joint injuries in cats - an epidemiological study.  
Vet Comp Orthop Traumatol 26, 333-339.
- Nerlich, A. (2016):  
Felines High-rise Syndrom.  
Berlin, Freie Universität, Vet. Med. Dissertation.
- Nunamaker, D. M.; Richardson, D. W.; Butterweck, D. M.; Provost, M. T.; Sigafos, R. D.  
(1986):  
A New External Skeletal Fixation Device That Allows Immediate Full Weightbearing  
Application in the Horse.  
Vet Surg 10, 345-355.
- Okin, R. (1982):  
Carpal Arthrodesis in a Cat with Radial Nerve Damage.  
Feline Pract 12, 18-20.

Parker, R. B.; Brown, S. G.; Wind, A. P. (1981):

Pancarpal arthrodesis in the dog: A review of forty-five cases.

Vet Surg 10, 35-43.

Palierne, S.; Delbeke, C.; Asimus, E.; Meynaud-Collard, P.; Mathon, D.; Zahra, A.; Autefage, A. (2008):

A Case of dorso-medial luxation of the radial carpal bone in a dog.

Vet Comp Orthop Traumatol 21, 171-176.

Piermattei, D. L.; Flo, G. L.; DeCamp, C. E. (2006):

Brinker, Piermattei and Flo's handbook of small animal orthopedics and fracture repair.

St.Louis, USA, Saunders Elsevier, ISBN 0721692141.

Pitcher, G. D. C. (1996):

Luxation of the radial carpal bone in a cat.

J Small Anim Pract 37, 292-295.

Pucheu, B.; Duhautois, B. (2007):

Ulnocarpal arthrodesis in a cat.

J Small Anim Pract 48, 518-521.

Punzet, G. (1974):

Luxation of the os carpi radiale in the dog – pathogenesis, symptoms, and treatment.

J small Anim Pract 15, 751-756.

Radhakrishnan, S.; Nagaravindra, M. (1993):

Analysis of Hand Forces in Health and Disease during Maximum Isometric Grasping of Cylinders.

Med Biological Engineering Comput 31, 372-376.

Radwin, R. G. (1993):

A new automated tactility instrument for evaluating hand sensory function.

IEEE Trans Rehabil Eng Vol. 1, 220-225.

Reiche, D. (2003):

Roche-Lexikon Medizin.

München u.a., Urban & Fischer, ISBN 3437151509.

Reiman, M. P.; Matheson, J. W. (2013):

Restricted hip mobility: Clinical suggestions for self-mobilization and muscle re-education.

Int J Sports Phys Ther, 8, 729–740.

Robinson, G.W. (1976):

The High Rise Trauma Syndrome in Cats.

Feline Practice 6, 40-43.

Roos, H. (1989):

Zur funktionellen und topographischen Anatomie der Schultergliedmaße der Hauskatze (*Felis silvestris f. catus*).

München, Ludwig-Maximilians-Universität, Vet. Med. Habilitation.

Roos, H.; Brugger, S.; Rauscher, T. (1992):

The Biological Valence of the Motions in the Radioulnar Joints of the Cat and Dog.

Anat Histol Embryol 21, 199-205.

Roos, H.; Vollmerhaus, B. (1999):

Konstruktionsprinzipien an der Vorder- und Hinterpfote der Hauskatze (*Felis catus*). 1. Mitteilung Skelett.

Anat Histol Embryol 29, 111-118.

Roos, H.; Vollmerhaus, B. (2000):

Konstruktionsprinzipien an der Vorder- und Hinterpfote der Hauskatze (*Felis catus*). 2. Mitteilung Gelenke.

Anat Histol Embryol 29, 157-165.

Roos, H.; Vollmerhaus, B. (2001):

Konstruktionsprinzipien an der Vorder- und Hinterpfote der Hauskatze (*Felis catus*). 3. Mitteilung: Muskulatur.

Anat Histol Embryol 30, 89-105.

Russe, O.; Gerhardt, J. J.; King, P. S. (1972)

An atlas of examination, standard measurements and diagnosis in orthopedics and traumatology.

Bern, Hans Huber, ASIN B0006C72R6.

Sailer, J.; Scharitzer, M.; Peloschek, P.; Giurea, A.; Imhof, H.; Grampp, S. (2005):

Quantification of axial alignment of the lower extremity on conventional and digital total leg radiographs.

Eur Radiol 15, 170-173.

Schnapper, A.; Sornphu, T.; Kähler, B.; Wernitz, U.; Waibl, H.; Brunnberg, L. (2002):

Klinisch angewandte Anatomie zu Anzahl, Größen und Formen der Gelenkflächen im Karpagelenk des Hundes.

Kleintierpraxis 47, 71-79.

Shales, C. J.; Langley-Hobbs, S. (2006):

Dorso-medial ante-brachiocarpal luxation with radio-ulna luxation in a domestic shorthair.

J Feline Med Surg 8, 197-202.

Simpson, D.; Goldsmid, S. (1994):

Pancarpal Arthrodesis in a Cat - a Case-Report and Anatomical Study.

Vet Comp Orthop Traumatol 7, 45-50.

Streubel, R.; Makara, M.; Guerrero, T. (2011):

Medial radio-carpal arthrodesis in three cats with a 2.0 mm locking maxillofacial plate system.

Vet Comp Orthop Traumatol 24, 294-298.

Tomlinson, J. E.; Manfredi, J. M. (2014):

Evaluation of application of a carpal brace as a treatment for carpal ligament instability in dogs: 14 cases (2008-2011).

J Am Vet Med Assoc 244, 438-443.

Vaughan, L. C. (1985):

Disorders of the carpus of the dog (2).

British Veterinary Journal 141, 435-444.

Vollmerhaus, B.; Roos, H. (1985):

Use of the standard goniometer for measuring joints and recording joint movements in animals.

Tierarztl Prax Suppl 1, 20-25.

Von Kriegsheim, A. (2001):

Eine retrospektive Studie über Gelenksluxationen der Gliedmaße bei Hund und Katze.

Berlin, Freie Universität, Vet. Med. Dissertation.

Voss, K.; Geyer, H.; Montavon, P. M. (2003):

Antebrachiocarpal luxation in a cat - A case report and anatomical study of the medial collateral ligament.

Vet Comp Orthop Traumatol 16, 266-270.

Waibl, H.; Mayrhofer, E.; Matis, U.; Brunenberg, L.; Köstlin, R. (2005):

Atlas der Röntgenanatomie der Katze/ Atlas of Radiographic Anatomy of the Cat.

In: Atlas der Röntgenanatomie von Hund und Katze/ Atlas of Radiographic Anatomy of the Dog and Cat. / H., Waibl, H., E. Mayrhofer, U. Matis, L. Brunenberg, R. Köstlin (Hrsg.).

Stuttgart, Parey Verlag, ISBN 3830441002.

Wakuri, H.; Kano, Y. (1966):

Anatomical studies on the brachioradial muscle in dogs.

Kaibogaku Zasshi 41, 222-231.

Wernitz, U. (1987):

Knochen-, Band- und Gelenkkapselverletzungen im Bereich des Karpalgelenks beim Hund.  
München, Ludwig-Maximilians-Universität, Vet. Med. Dissertation.

Whitelock, R. G.; Dyce, J.; Houlton, J. E. (1999):

Metacarpal fractures associated with pancarpal arthrodesis in dogs.  
Vet Surg 28, 25-30.

Whitney, W. O.; Mehlhaff, C. J. (1987):

High-Rise Syndrome in Cats.  
J Am Vet Med Assoc 191, 1399-1403.

Yalden, D. W. (1970):

The functional morphology of the carpal bones in carnivores.  
Acta anat (Basel) 77, 481-485.

## 9. Anhang

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Winkelmessungen des Karpalgelenks nach JAEGER et al. (2007).....	9
Tabelle 2: Karpalgelenkstraumata in Relation zur Fallhöhe (NAKLADAL et al. 2013) .....	15
Tabelle 3: Epidemiologische Daten zu Karpalgelenksverletzungen bei Katzen nach Literaturangaben .....	16
Tabelle 4: Lokalisation der Läsionen nach VON KRIEGSHEIM (2001) .....	17
Tabelle 5: Läsionen der Karpalgelenke bei Katzen nach NAKLADAL et al. (2013) .....	18
Tabelle 6: Signalement und Körpergewicht der Katzen , deren Vordergliedmaßen für die Untersuchungen genutzt wurden.....	27
Tabelle 8: Varus-Valgus-Bewegungsausmaß intakter Karpalgelenke.....	53
Tabelle 9: Maximaler Extensionswinkel intakter Karpalgelenke .....	54
Tabelle 10: Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale....	56
Tabelle 11: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale .....	56
Tabelle 12: Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale ..	56
Tabelle 13: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale .....	57
Tabelle 14: Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale .....	57
Tabelle 15: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale .....	57
Tabelle 16: Röntgenbildanalyse der Karpalgelenke vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale mediale .....	58
Tabelle 17: Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale.....	59
Tabelle 18: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale .....	60
Tabelle 19: Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale ...	60
Tabelle 20: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale .....	60
Tabelle 21: Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale .....	60

Tabelle 22: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale .....	61
Tabelle 23: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie des Ligamentum collaterale laterale .....	61
Tabelle 24: Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare .....	62
Tabelle 25: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare .....	62
Tabelle 26: Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare .....	63
Tabelle 27: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare .....	63
Tabelle 28: Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare .....	63
Tabelle 29: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare .....	64
Tabelle 30: Röntgenbildanalyse vor und nach Desmotomie der Ligamenta ulnocarpeum palmare und accessorioulnare .....	64
Tabelle 31: Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare .....	65
Tabelle 32: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare .....	66
Tabelle 33: Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare .....	66
Tabelle 34: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare .....	66
Tabelle 35: Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare .....	67
Tabelle 36: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare .....	67
Tabelle 37: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum palmare .....	68
Tabelle 38: Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria .....	69

Tabelle 39: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria .....	69
Tabelle 41: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria .....	70
Tabelle 42: Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria .....	70
Tabelle 43: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta radiocarpeum palmaria .....	70
Tabelle 44: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie der Ligamenta intercarpea palmaria .....	71
Tabelle 45: Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria .....	72
Tabelle 46: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria .....	73
Tabelle 47: Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria .....	73
Tabelle 48: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria .....	73
Tabelle 49: Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria .....	74
Tabelle 50: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria .....	74
Tabelle 51: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie der Ligamenta carpometacarpea palmaria .....	75
Tabelle 52: Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale .....	76
Tabelle 53: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale .....	76
Tabelle 54: Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale .....	76
Tabelle 55: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale .....	77
Tabelle 56: Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale .....	77

Tabelle 57: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale.....	77
Tabelle 58: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie des Ligamentum radiocarpeum dorsale.....	77
Tabelle 59: Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale .....	78
Tabelle 60: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.....	78
Tabelle 61: Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale .....	78
Tabelle 62: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.....	79
Tabelle 63: Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale .....	79
Tabelle 64: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.....	79
Tabelle 65: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum dorsale.....	79
Tabelle 66: Varuswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare.....	80
Tabelle 67: Valguswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare.....	80
Tabelle 68: Extensionswinkel vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare.....	81
Tabelle 69: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie der Ligamenta collaterale mediale und radiocarpeum palmare .....	81
Tabelle 70: Varuswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum.....	82
Tabelle 71: Valguswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum.....	82
Tabelle 72: Extensionswinkel vor und nach Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum.....	82
Tabelle 73: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Desmotomie des Ligamentum accessoriometacarpeum .....	83

Tabelle 74: Varuswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis .....	84
Tabelle 75: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis .....	84
Tabelle 76: Valguswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis .....	85
Tabelle 77: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis .....	85
Tabelle 78: Extensionswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis .....	85
Tabelle 79: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis .....	85
Tabelle 80: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Myotomie des Musculus flexor digitorum communis .....	86
Tabelle 81: Varuswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris .....	87
Tabelle 82: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris .....	87
Tabelle 83: Valguswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen Musculi flexor carpi radialis und ulnaris .....	88
Tabelle 84: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris .....	88
Tabelle 85: Extensionswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris .....	88
Tabelle 86: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris .....	88
Tabelle 87: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Tenotomie der Endsehnen der Musculi flexor carpi radialis und ulnaris .....	89
Tabelle 88: Varuswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare .....	90
Tabelle 89: Deskriptive Analyse der Varuswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare .....	91

Tabelle 90: Valguswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare .....	91
Tabelle 91: Deskriptive Analyse der Valguswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare .....	91
Tabelle 92: Extensionswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis/ Sehnenscheide/ Retinaculum palmare .....	92
Tabelle 93: Deskriptive Analyse der Extensionswinkel vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare .....	92
Tabelle 94: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Durchtrennung des Musculus flexor digitorum communis/ Sehnenscheide/ Retinaculum palmare .....	93
Tabelle 95: Varuswinkel vor und nach Durchtrennung des Ligamentum collaterale mediale, des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare .....	94
Tabelle 96: Valguswinkel vor und nach Durchtrennung des Ligamentum collaterale mediale, des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare .....	94
Tabelle 97: Extensionswinkel vor und nach Durchtrennung des Ligamentum collaterale mediale, des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare .....	95
Tabelle 98: Röntgenbildanalyse des Karpalgelenks vor und nach Durchtrennung des Ligamentum collaterale mediale, des Musculus flexor digitorum communis, dessen Sehnenscheide und des Retinaculum palmare .....	95
Tabelle 99: Röntgenologische Befunde nach Desmotomie der Bänder und Retinacula, Tenotomie ausgewählter Sehnen und Myotomie der kaudal verlaufenden Muskeln des Karpalgelenks.....	96
Tabelle 100: Feinjustierung der Einspannvorrichtung; Messergebnisse in Varus-Konfiguration durch Untersucher A.....	139
Tabelle 101: Feinjustierung der Einspannvorrichtung; Messergebnisse in Valgus-Konfiguration durch Untersucher A.....	139
Tabelle 102: Feinjustierung der Einspannvorrichtung; Messergebnisse in ML(mediolateral) -Konfiguration durch Untersucher A.....	140
Tabelle 103: Entwicklung der Messmethodik; Dreimalige Vermessung der Gelenke in	

Varus-Position durch Untersucher A .....	141
Tabelle 104: Entwicklung der Messmethodik; Dreimalige Vermessung der Gelenke in Valgus-Position durch Untersucher A .....	141
Tabelle 105: Entwicklung der Messmethodik; Dreimalige Vermessung der Gelenke im mediolateralen Strahlengang durch Untersucher A .....	142

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Röntgenaufnahme einer Vorderpfote im dorsopalmaren Strahlengang.....	3
Abbildung 2a: Röntgenaufnahme des Karpalgelenks einer Katze im dorsopalmaren Strahlengang zur Darstellung des dorsalen Bandapparates in Anlehnung an ROOS et al. (2000) .....	6
Abbildung 2b: Röntgenaufnahme des Karpalgelenks einer Katze im dorsopalmaren Strahlengang zur Darstellung des palmaren Bandapparates in Anlehnung an ROOS et al. (2000) .....	6
Abbildung 3: Konfiguration der Drahtcerclagen, die die Ossa metacarpalia in Position halten .....	28
Abbildung 4: Röntgenbild einer Vorderpfote; Schemenhaft wird die Position der drei Drahtcercalgen am Metacarpus dargestellt.....	29
Abbildung 5: Röntgenbild einer rechten Vorderpfote in Valgus-Position; zu erkennen sind die drei Draht-Cerclagen.....	29
Abbildung 6: Kamerawinkel, aus denen die Knochen des Karpalgelenks abgelichtet wurden.....	30
Abbildung 7a: Darstellung eines rechten Karpalgelenk einer Katze in der 45° Aufsicht (proximo-distal) zur Darstellung der proximalen Gelenkflächen .....	31
Abbildung 7b: Darstellung eines rechten Karpalgelenk einer Katze in der 90°-Aufsicht .....	32
Abbildung 7c: Darstellung eines rechten Karpalgelenk einer Katze in der 135°-Aufsicht (disto-proximal) zur Darstellung der distalen Gelenkflächen .....	32
Abbildung 8a: Die Einspannvorrichtung in dorsopalmarer Konfiguration mit eingespannter Gliedmaße und Karpalgelenk in Varus-Position.....	35
Abbildung 8b: Die Einspannvorrichtung in dorsopalmarer Konfiguration ohne Gliedmaße ..	37
Abbildung 8c: Einspannvorrichtung in mediolateraler Konfiguration mit eingespannter Gliedmaße und Karpalgelenk in Hyperextension .....	38
Abbildung 8d: Die Haltevorrichtung für Scapula und Humerus (Bauteil 4 und 4').....	39
Abbildung 8e: Bauteil 5 / 5' zur Fixierung des Unterarms.....	39
Abbildung 8f: Unterarm einer Katze in trapezförmig ausgeschnittenen Halterungen.....	40
Abbildung 8g: Doppelte Prismenführung nach KÜNNE (2001).....	40
Abbildung 9: Schematische Darstellung des Unterarms zum Aufzeigen der Knochenmarken (25 bzw. 75% der Länge des dritten Metacarpalknochens, 15 bzw. 50% der Speiche), an denen die Knochenkaliber bestimmt wurden.....	42

Abbildung 10: Linke Vordergliedmaße in Valgus-Position.....	43
Abbildung 11: Einfaches zweischenkliges Goniometer .....	44
Abbildung 12: Gliedmaße im mediolateralen Strahlengang mit Goniometer, durch das am digitalen Röntgenbild der Extensionswinkel bestimmt wird.....	45
Abbildung 13: Abbildung des Karpalgelenks; links dorsale Ansicht, in der Mitte im Transversalschnitt, rechts palmare Ansicht (ROOS et al. 2000) .....	51
Abbildung 14: Das Karpalgelenk der Hauskatze dargestellt in der dorsalen Aufsicht (Links), im Transversalschnitt (Mitte) und in der Palmaraufsicht (Rechts) (ROOS et al. 2000).....	106
Abbildung 15: Felines Karpalgelenk von dorsal (Links), im Transversalschnitt (Mitte) und von palmar (Rechts) (ROOS et al. 2000).....	107
Abbildung 16: Articulatio carpi felinae; links dorsale Ansicht, in der Mitte im Transversalschnitt, rechts palmare Ansicht (ROOS et al. 2000).....	109
Abbildung 17: Felines Karpalgelenk in der dorsalen (Links) und palmar (Rechts) Ansicht und im Transversalschnitt (Mitte) (ROOS et al. 2000).....	110
Abbildung 18: Articulatio carpi; Links Aufsicht von dorsal, in der Mitte im Transversalschnitt, rechts von palmar (ROOS et al. 2000).....	111

## Messergebnisse aus den Vorversuchen zur Erprobung der Methodik am Beispiel des Untersuchers A

### *Feinjustierung der Einspannvorrichtung – Ergebnisse des Untersuchers A*

**Tabelle 100:** Feinjustierung der Einspannvorrichtung; Messergebnisse in Varus-Konfiguration durch Untersucher A.

Untersucher A				
Nummer Gliedermaße	Varus Messgang 1	Varus Messgang 2	Varus Messgang 3	Maximale Differenz
1	19,1°	20,9°	20,8°	1,7°
2	17,1°	18,0°	19,2°	2,1°
3	16,3°	15,4°	17,5°	2,1°
4	12,5°	11,0°	11,6°	1,5°
5	15,3°	14,1°	14,2°	1,2°
6	14,9°	16,8°	17,0°	2,1°
7	9,5°	10°	12,1°	2,6°
8	13,5°	13,1°	11,2°	2,3°
9	8,5°	7,5°	8,9°	1,4°
10	12,9°	10,4°	10,8°	2,5°

**Tabelle 101:** Feinjustierung der Einspannvorrichtung; Messergebnisse in Valgus-Konfiguration durch Untersucher A.

Untersucher A				
Nummer Gliedermaße	Valgus Messgang 1	Valgus Messgang 2	Valgus Messgang 3	Maximale Differenz
1	23,7°	25,2	27,1°	3,4°
2	18,0°	22,1°	17,4°	4,7°
3	17,5°	22,0°	23,0°	5,5°
4	25,1°	26,4°	21,7°	4,7°
5	14,9°	16,1°	13,9°	2,2°
6	14,3°	13,1°	11,0°	3,3°
7	19,0°	22,9°	18,1°	4,8°
8	22,3°	18,6°	19,1°	3,7°
9	16,1°	19,2°	16,1°	3,1°
10	19,6°	19,1°	22,9°	3,8°

**Tabelle 102:** Feinjustierung der Einspannvorrichtung; Messergebnisse mediolateraler Konfiguration durch Untersucher A.

Untersucher A				
Nummer Gliedermaße	ML Messgang 1	ML Messgang 2	ML Messgang 3	Maximale Differenz
1	158°	158°	158°	0°
2	154°	154°	158°	4°
3	148°	146°	148°	2°
4	148°	148°	148°	0°
5	154°	158°	156°	4°
6	158°	162°	162°	4°
7	156°	154°	154°	2°
8	156°	150°	156°	6°
9	154°	154°	154°	0°
10	148°	150°	148°	2°

**Entwicklung der Messmethodik – Ergebnisse des Untersuchers A****Tabelle 103:** Entwicklung der Messmethodik; Dreimalige Vermessung der Gelenke in Varus-Position durch Untersucher A.

Untersucher A				
Nummer Gliedermaße	Varus Messung 1	Varus Messung 2	Varus Messung 3	Maximale Differenz
1	172,9°	170,8°	172,4°	2,1°
2	168,0°	168,9°	168,5°	0,9°
3	168,4°	167,5°	167,9°	0,9°
4	167,1°	166,6°	167,8°	1,2°
5	169,8°	170,0°	168,2°	1,8°
6	172,1°	172,6°	171,1°	1,5°
7	169,7°	169,6°	170,5°	0,9°
8	170,9°	170,5°	170,1°	0,8°
9	172,8°	172,1°	171,4°	1,4°

**Tabelle 104:** Entwicklung der Messmethodik; Dreimalige Vermessung der Gelenke in Valgus-Position durch Untersucher A.

Untersucher A				
Nummer Gliedermaße	Valgus Messung 1	Valgus Messung 2	Valgus Messung 3	Maximale Differenz
1	199,9°	199,8°	200,1°	0,3°
2	199,5°	199,3°	199°	0,5°
3	194,2°	192,3°	194,6°	2,3°
4	195,8°	197,8°	196°	2°
5	212,8°	212,4°	212,3°	0,5°
6	213,6°	215,6°	214,1°	2°
7	208,4°	206,3°	206,2°	2,2°
8	207,3°	207,8°	207,55°	0,5°
9	209,3°	209,7°	208,9°	0,8°

**Tabelle 105:** Entwicklung der Messmethodik; Dreimalige Vermessung der Gelenke im mediolateralen Strahlengang durch Untersucher A.

Untersucher A				
Nummer Gliedmaße	ML Messung 1	ML Messung 2	ML Messung 3	Maximale Differenz
1	140°	142°	144°	4°
2	152°	152°	152°	0°
3	156°	154°	156°	2°
4	144°	144°	142°	2°
5	160°	160°	162°	2°
6	140°	144°	144°	4°
7	156°	154°	156°	2°
8	146°	146°	146°	0°
9	140°	140°	142°	2°

## **Einverständniserklärung**

Ich, \_\_\_\_\_(Name), erkläre mich hiermit einverstanden, den Tierkörper meiner Katze \_\_\_\_\_(Name des Tieres), die am \_\_\_\_\_(Datum) in der Klinik für kleine Haustiere der FU-Berlin euthanasiert wurde/ gestorben ist, eben dieser Klinik zu Versuchszwecken zu überlassen. Ich weiß, dass das Tier Teil eines Versuchs sein wird, für dessen Durchführung es erforderlich ist die Vordergliedmaßen zu amputieren.

Berlin, den \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift Besitzer)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift Philipp Meinck, i.A. von Prof. Dr. L. Brunberg)

## **10. Danksagung**

Herrn Professor Leo Brunnberg danke ich herzlich für die Überlassung des Themas und seine wertvolle Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Bei PD Dr. Roswitha Merle und Dr. Laura Pieper vom Institut für Veterinär-Epidemiologie und Biometrie bedanke ich mich für die Hilfestellung bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse.

Frau Professor Plendl und den Mitarbeitern des Instituts für Veterinär-Anatomie danke ich für die Hilfestellung bei der Präparation des Karpalgelenks einer Katze.

Besonderer Dank gilt auch den Mitarbeitern der röntgenologischen Abteilung der Klinik für kleine Haustiere der FU-Berlin, vor allem Frau Katharina Vallentin, Herrn Rüdiger Obst und Herrn Horst Kirchner für ihre Hilfe, ihr Interesse und ihre Geduld. Meinen Doktoranden- und Arbeitskollegen, im besonderen Dr. G. Manchi, Dr. M. Brunnberg und Martin Pollack danke ich für die Zusammenarbeit und Hilfe.

Meiner Schwester Ricarda Heger, meinem Bruder Thies Meinck und meinen Eltern Sigolf und Christa Meinck danke ich für ihre bedingungslose Unterstützung, ihren Rat und ihre Liebe während der Zeit meiner Promotion.

## **11. Selbständigkeitserklärung**

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, den 20.07.2017

Philipp Meinck











9 783863 879051  
**mbv**berlin | mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-86387-905-1