

**Topografische und klinisch-angewandte Anatomie der  
Schultergliedmaße des Alpakas  
(Vicugna pacos)**

von  
Annika Lena Götz (geb. Hagspihl)

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der  
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität  
München

**Topografische und klinisch-angewandte Anatomie der  
Schultergliedmaße des Alpakas  
(Vicugna pacos)**

von  
Annika Lena Götz (geb. Hagspihl)  
aus  
Kempten (Allgäu)

München 2019

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie

Arbeit angefertigt unter der Leitung von  
Univ.-Prof. Dr. Johann Maierl

**Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Johann Maierl

Korreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Manfred Gareis

Tag der Promotion: 27. Juli 2019

Meiner lieben Familie

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Literaturübersicht.....	3
2.1	Biologie der Neuweltkameliden.....	3
2.1.1	Zoologie.....	3
2.1.2	Verbreitung und natürlicher Lebensraum.....	4
2.1.3	Verhalten und Nutzung.....	4
2.2	Anatomie der Schultergliedmaße.....	5
2.2.1	Knochen.....	5
2.2.2	Gelenke.....	10
2.2.3	Muskeln.....	14
2.2.4	Nerven.....	23
2.2.5	Blutgefäße.....	27
2.3	Körperbau und Biomechanik der Vordergliedmaße.....	30
2.3.1	Physiologischer Körperbau und Winkelung der Gelenke.....	30
2.3.2	Lokomotion.....	31
2.4	Krankheiten der Schultergliedmaße des Alpakas.....	32
3	Material und Methoden.....	35
3.1	Material.....	35
3.1.1	Untersuchungsgut und Auswahl der Tiere.....	35
3.2	Methoden.....	36
3.2.1	Zerlegung und Lagerung der Präparate.....	36
3.2.2	Präparationsmethoden.....	36
3.2.3	Dokumentation der Ergebnisse.....	44
4	Ergebnisse.....	46
4.1	Topografische Anatomie der Gelenke.....	46
4.1.1	Schultergelenk (Articulatio humeri).....	46
4.1.2	Ellbogengelenk (Articulatio cubiti).....	56
4.1.3	Karpalgelenk (Articulatio carpi).....	68
4.1.4	Zehengelenke (Articulationes phalanges).....	79
4.2	Nerven der Schultergliedmaße.....	91
4.2.1	Plexus brachialis.....	91

4.2.2	Nerven der Brustwand.....	92
4.2.3	Nerven proximal an der Gliedmaße.....	92
4.2.4	Nerven distal an der Gliedmaße.....	95
4.2.5	Nerven der Zehen .....	98
4.3	Blutgefäße der Schultergliedmaße .....	99
4.3.1	Arterien.....	99
4.3.2	Venen.....	105
4.4	Lymphknoten der Schultergliedmaße.....	108
5	Diskussion .....	109
5.1	Diskussion von Material und Methoden.....	109
5.1.1	Auswahl der Untersuchungstiere.....	109
5.1.2	Konservierung der Präparate .....	110
5.1.3	Präparationsmethoden .....	110
5.1.4	Röntgenbilder und Röntgenkontrastdarstellung der Gefäße .....	111
5.2	Diskussion der Ergebnisse.....	112
5.2.1	Schultergelenk.....	112
5.2.2	Ellbogengelenk.....	117
5.2.3	Karpalgelenk .....	121
5.2.4	Zehengelenke.....	126
5.2.5	Leitungsbahnen der Schultergliedmaße.....	131
5.2.6	Anatomische Anpassungen der Schultergliedmaße des Alpakas an dessen Lebensweise als Lauftier .....	132
6	Zusammenfassung .....	134
7	Summary .....	136
8	Abbildungsverzeichnis .....	138
9	Tabellenverzeichnis .....	142
10	Literaturverzeichnis.....	143

Alle anatomischen Termini wurden gemäß der 6. Auflage der Nomina Anatomica Veterinaria verwendet (NAV, 2017).

## Abkürzungsverzeichnis

A./Aa.	Arteria/Arteriae
BaSO <sub>4</sub>	Bariumsulfat
Ca	Os carpi accessorium
Ci	Os carpi intermedium
Cr	Os carpi radiale
Cu	Os carpi ulnare
CII	Os carpale secundum
CIII	Os carpale tertium
CIV	Os carpale quartum
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Lc.	Lymphocentrum
Lm	Latexmilch
Ln./Lnn.	Lymphonodus/Lymphonodi
McIII	Os metacarpale tertium
McIV	Os metacarpale quartum
McV	Os metacarpale quintum
M./Mm.	Musculus/Musculi
N./Nn.	Nervus/Nervi
NAV	Nomina Anatomica Veterinaria
V./Vv.	Vena/Venae

# 1 Einleitung

Das Alpaka (*Vicugna pacos*) zählt mit dem Vikunja (*Vicugna vicugna*), dem Lama (*Lama glama*) und dem Guanaco (*Lama guanicoe*) zu den Neuweltkameliden und lebt ursprünglich in den südamerikanischen Anden. Es ist heute als Haus- und Nutztier auf der ganzen Welt zu finden. In den 1980er Jahren wurden Alpakas und Lamas als Freizeit- und Begleittiere in die USA exportiert, 1989 folgte der Export nach Australien und schließlich auch nach Europa (GAULY, 2019b). Die Tierzahlen entwickelten sich in Europa nach 1990 rasant und jährlich wuchs der Bestand um mindestens 10%. Genaue Zahlen sind nicht bekannt, da die Zucht mit Neuweltkameliden keiner gesetzlichen Regelung unterliegt (RAPPERSBERGER, 2018a). Trotz ihres Nutztierstatus ist die Haltung von Neuweltkameliden mit durchschnittlich 2-6 Tieren pro Bestand hierzulande ein Hobby (GAULY, 2019b; HENGRIVE BURRI et al., 2005). Da Neuweltkameliden, besonders das Alpaka, immer beliebter werden und die Population in Deutschland und Europa stetig wächst, sind Tierärzte häufiger gezwungen, diese Tiere medizinisch zu behandeln. Dabei muss oftmals auf Therapiemethoden anderer Tierarten zurückgegriffen werden, da es bisher nur wenig artspezifische Fachliteratur gibt. Die steigende Zahl an Publikationen zum Thema Neuweltkameliden spiegelt jedoch das zunehmende Interesse an dieser Tierspezies wieder (GAULY, 2019b). Da Neuweltkameliden einen hohen Handelswert haben und wie bereits erwähnt vor allem als Hobbytiere gehalten werden, erwarten Besitzer einen höheren Aufwand an Therapiemethoden, als es bei anderen Nutztieren der Fall ist (KANEPS, 1996; NEWMAN und ANDERSON, 2006).

Wenn nach fundierten Arbeiten über die Grundlagen der Anatomie der Vordergliedmaße des Alpakas gesucht wird, finden sich wenige, unzusammenhängende Werke dazu. Die meisten dieser Publikationen behandeln ausschließlich die Anatomie des Lamas (ARZONE et al., 2013; CONSTANTINESCU et al., 2008), während Arbeiten über die Schultergliedmaße des Alpakas oberflächlich bleiben (DOS SANTOS ROMERO, 2014; GOSHIMA WATANABE, 1976; KITSUTANI OGATA, 1978).

Für eine ausführliche Diagnostik, eine sachgemäße Behandlung und eine schmerzfreie Therapie ist es unerlässlich die topografische Anatomie der zu behandelnden Tierart genau zu kennen. Nur so können eine tierschutzgerechte Betreuung und Versorgung durch den Tierarzt sichergestellt werden.

Die Aufgabe dieser Dissertation ist es, die vorhandene Literatur auszuwerten, diese an sezierten Tieren nachzuvollziehen und bisher unvollständig oder oberflächlich behandelte Themenbereiche weiter zu vertiefen. Der Schwerpunkt wird dabei auf die Gelenke sowie die Leitungsbahnen (Nerven, Arterien und Venen) der Schultergliedmaße gelegt. Gerade bei Krankheiten der Gelenke müssen die umliegenden Strukturen jedoch genau bekannt sein, um beispielsweise eine Gelenkinjektion, eine Arthroskopie oder einen chirurgischen Gelenkzugang ordnungsgemäß durchführen zu können. Des Weiteren ist der Verlauf von Nerven und Blutgefäßen von Bedeutung, wenn in diesem Bereich lokale Anästhesien und Injektionen notwendig sind.

Das Ziel der Dissertation ist es, eine ausführliche und detaillierte Beschreibung der topografischen Anatomie der Schultergliedmaße des Alpakas zu erstellen und damit den praktizierenden Tierärzten und Klinikern einen Leitfaden und eine Grundlage für ihr Handeln zu bieten.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Biologie der Neuweltkameliden

#### 2.1.1 Zoologie

Die Neuweltkameliden werden in die Ordnung der Paarhufer (Artiodactyla), die Unterordnung der Schwielensohler (Tylopoda) und die Familie der Kamelartigen (Camelidae) eingeordnet. Diese ist weiter unterteilt in die Gattungen Altweltkamele (Camelini) und Neuweltkamele (Lamini). Bei den Neuweltkameliden gibt es zwei Gattungen: das Lama und das Vikunja (WHEELER, 1995). Die Klassifikation der Neuweltkameliden und besonders des Alpakas, welches ursprünglich als *Lama pacos* eingeordnet wurde, war lange Zeit umstritten (FOWLER, 1998; FOWLER und BRAVO, 2010d). DNA-Untersuchungen zeigen jedoch, dass das Lama genetisch mit dem Guanaco eng verwandt ist, während das Alpaka vom Vikunja abstammt (WHEELER et al., 2006). Dies führte zu einer Neuklassifizierung des Alpakas als *Vicugna pacos* (KADWELL et al., 2001; MARÍN et al., 2007). Beim Alpaka erfolgt eine weitere Unterteilung in zwei Rassen: Zum einen das Huacaya und zum anderen das Suri, welches seltener vorkommt (FOWLER und BRAVO, 2010d). Huacayas können von Suris anhand ihrer Felleigenschaften unterschieden werden (PONZONI et al., 1997). In Tabelle 1 ist die Klassifikation der Neuweltkameliden übersichtlich dargestellt.

Tabelle 1: Klassifikation der Neuweltkameliden (modifiziert nach FOWLER und BRAVO (2010d)).

<b>Klasse</b>	Säugetiere (Mammalia)					
<b>Ordnung</b>	Paarhufer (Artiodactyla)					
<b>Unter- ordnung</b>	Schwielensohler (Tylopoda)					
<b>Familie</b>	Kamelartige (Camelidae)					
<b>Gattung</b>	Neuweltkamele (Lamini)				Altweltkamele (Camelini)	
<b>Art</b>	Lama		Vicugna		Camelus	
	L. glama (Lama)	L. guanicoe (Guanako)	<b>V.</b> <b>pacos</b> <b>(Alpaka)</b>	V. vicugna (Vikunja)	C. bactrianus (Kamel)	C. dromedarius (Dromedar)

### **2.1.2 Verbreitung und natürlicher Lebensraum**

Neuweltkameliden stammen aus Südamerika und sind dort in den Ländern Peru, Chile, Argentinien und Bolivien verbreitet. Sie wurden vor 6.000-5.500 Jahren domestiziert (WHEELER, 1995) und spielten eine wichtige Rolle in der Wirtschaft der Andenbevölkerung (FOWLER und BRAVO, 2010d). Während der Herrschaft der Inkas um 1470 n. Chr. erlebte die Population der Neuweltkameliden in Südamerika zahlenmäßig ihren Höhepunkt. Sie wurden in vielfältiger Weise genutzt und ein staatliches Zuchtprogramm sicherte den Selektionserfolg. Durch die Eroberung Südamerikas durch Spanier und den Untergang der Inkas wurde der Bestand des Lamas und des Alpakas stark dezimiert. Krankheiten der importierten Rinder, Schafe und Pferde stellten zusätzlich eine Gefahr für die Tiere dar (GAULY, 2019b). Aktuelle Zahlen der FAO zeigen einen erneuten Anstieg der Neuweltkamelidenpopulation in Peru und Bolivien in den letzten zehn Jahren. Im Jahr 2017 lebten ca. 5.962.528 Neuweltkameliden in Peru und ca. 3.056.385 Neuweltkameliden in Bolivien (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2018). Ihre einzigartige Physiologie und ihre Anpassungsfähigkeit an widrige Umweltbedingungen werden in den vergangenen Jahrzehnten in Südamerika wieder mehr geschätzt. Der Lebensraum der Neuweltkameliden in Südamerika erstreckt sich von Meeresspiegelhöhe bis ins Altiplano der Anden auf über 4.600 m (FOWLER und BRAVO, 2010d).

### **2.1.3 Verhalten und Nutzung**

Neuweltkameliden zählen zu den Flucht- und Herdentieren. Im Falle einer Gefahr müssen sich Fluchttiere schnell in Sicherheit bringen können, was kräftige Gliedmaßen, einen sicheren Tritt und eine schnelle Fortbewegung voraussetzt (RAPPERSBERGER, 2018b). Es sind soziale Tiere und besonders das Alpaka ist stark herdenorientiert. Im Vergleich zum Lama ist es zudem scheuer und schneller verängstigt (FOWLER, 2008; GAULY, 2019a). Dies lässt sich durch seinen Einsatz als Wolllieferant erklären. Die Selektion auf Umgänglichkeit und der Kontakt zum Menschen waren dabei weniger wichtig als beim Lama, welches vor allem als Transporttier eingesetzt wurde (GAULY, 2019a). Das Verhaltensmuster und die typischen Charaktereigenschaften der Neuweltkameliden sowie die Nutzung der Tiere lassen Rückschlüsse auf die züchterische Entstehung und Funktion bestimmter anatomischer Merkmale zu.

Neuweltkameliden verbringen viele Stunden damit zu grasen und wiederzukäuen (FOWLER, 2008). Das Alpaka zeigt im Fress- und Liegeverhalten ein ähnliches Muster wie das wildlebende Vikunja (BINDER, 2014). Dieses sucht zum Ruhen eigene Schlafterritorien auf, welche getrennt von den Fressterritorien liegen (FOWLER, 2008). Die Futteraufnahme und die Fortbewegung der Tiere finden besonders tagsüber statt und nimmt zusammengerechnet mehr als 10 Stunden pro Tag ein. Der Hauptteil des Ruheverhaltens beim Alpaka fällt auf die nächtlichen Stunden. Ebenso findet das Wiederkäuen vor allem nachts statt (BINDER, 2014). Durch eine Liegeschwiele am Sternum ist es den Neuweltkameliden möglich über Stunden oder Tage zu liegen, ohne dabei die Durchblutung der Gliedmaßen zu beeinträchtigen (FOWLER, 2008).

## **2.2 Anatomie der Schultergliedmaße**

Dieses Kapitel soll eine grundlegende Übersicht über die Anatomie der Schultergliedmaße der Neuweltkameliden schaffen. Besonders zu Gelenken und Leitungsbahnen ist die vorhandene Literatur zu Neuweltkameliden lückenhaft und es muss für einen umfassenden Überblick auf Literatur anderer Kameliden (LESBRE, 1903c; SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987a) zurückgegriffen werden.

### **2.2.1 Knochen**

Das Skelett der Vordergliedmaßen (Membra thoracica) bildet das tragfähige Knochengerüst und zählt zum passiven Bewegungsapparat. Es besteht aus dem Schulterblatt (Scapula), dem Oberarmbein (Humerus), den Unterarmknochen (Ossa antebrachii), den Vorderfußwurzelknochen (Ossa carpi), den Vordermittelfußknochen (Ossa metacarpalia) sowie den Knochen der Vorderzehen (Ossa digitorum manus) (NICKEL et al., 2004b).

Die Knochen des Alpakas und des Lamas wurden in zahlreichen Werken beschrieben und werden im folgenden Abschnitt zusammengefasst. Die anatomischen Gegebenheiten beziehen sich dabei auf beide Spezies.

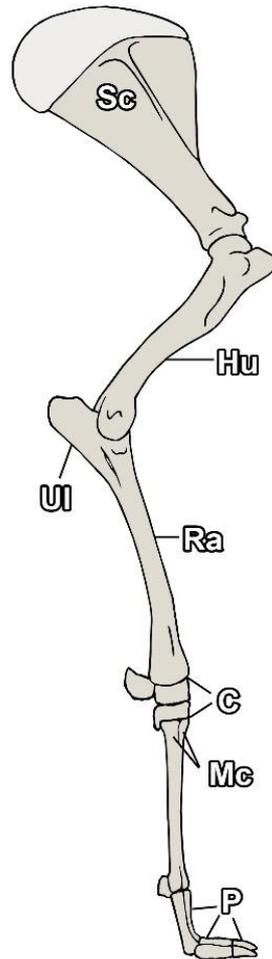


Abb. 1: Schemazeichnung der rechten Vordergliedmaße eines Alpakas (modifiziert nach MCCRACKEN et al. (1999)):

C – Ossa carpi; Hu – Humerus; Mc – Ossa metacarpalia; P – Ossa digitorum manus  
Ra – Radius; Sc – Scapula; UI – Ulna.

### 2.2.1.1 Schulterblatt (Scapula)

Die Scapula liegt dem Rumpf als dreieckiger Knochen in kranioventraler Richtung an (MCCRACKEN et al., 1999). Am Margo dorsalis befindet sich der deutlich ausgeprägte Schulterblattknorpel (Cartilago scapulae). Der ventral gelegene Gelenkwinkel (Angulus ventralis) trägt die Gelenkpfanne (Cavitas glenoidalis) mit der Facies articularis, welche mit dem Humerus artikuliert. Proximal der Gelenkpfanne ragt das Tuberculum supraglenoidale nach kranial (DOS SANTOS ROMERO, 2014; GALOTTA et al., 1994). Hier findet sich nach medial anschließend zudem ein deutlich ausgebildeter Processus coracoideus (AZZOPARDI, 2012; GALOTTA et al., 1994; PACHECO TORRES et al., 1986). Auf der lateralen Fläche (Facies lateralis) teilt die

Schulterblattgräte (Spina scapulae) das Schulterblatt in eine kleinere Fossa supraspinata und eine größere Fossa infrapinata. Sie endet mit einem prominenten, scharfkantigen Akromion, welches zum Processus hamatus geformt ist (GALOTTA et al., 1994). Auf der medialen Fläche (Facies medialis/Facies costalis) des Schulterblattes befindet sich die Fossa subscapularis für den Ursprung des M. subscapularis sowie die Facies serrata, an welcher der M. serratus ventralis ansetzt (DOS SANTOS ROMERO, 2014; PACHECO TORRES et al., 1986).

### **2.2.1.2 Oberarmbein (Humerus)**

Der Humerus liegt in kaudoventraler Richtung am Rumpf (MCCRACKEN et al., 1999). Seine Extremitas proximalis umfasst das abgerundete Caput humeri, welches mit einem Collum humeri in den Corpus humeri übergeht. Kraniolateral befindet sich das Tuberculum majus, welches bei den Neuweltkameliden nicht unterteilt ist, sowie kranio-medial das Tuberculum minus, welches deutlich in eine Pars cranialis und eine Pars caudalis unterteilt ist (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Tuberculum majus und minus ragen von lateral betrachtet gleich weit über das Caput humeri hinaus (PACHECO TORRES et al., 1986). Des Weiteren existiert im Sulcus intertubercularis das Tuberculum intermedium (BALJIT, 2018; DOS SANTOS ROMERO, 2014). Kraniolateral am Corpus humeri befindet sich die Tuberositas deltoidea als Ansatz für den M. deltoideus. Diese ist bei den Kameliden prominent ausgeprägt (BALJIT, 2018). Auf der medialen Seite des Corpus humeri befindet sich die Tuberositas teres major, an welcher sowohl der M. teres major als auch der M. latissimus dorsi ansetzt. Der M. brachialis verläuft im gewundenen Sulcus musculi brachialis. Die Extremitas distalis des Humerus ist zum Condylus humeri geformt und trägt die Gelenkfläche (DOS SANTOS ROMERO, 2014; GALOTTA et al., 1994; PACHECO TORRES et al., 1986). Proximal des Condylus humeri befindet sich kranial die Fossa radialis (GALOTTA et al., 1994) und kaudal die Fossa olecrani, welche das Olekranon während der Streckung des Unterarmes aufnimmt. Lateral und medial wird die Fossa olecrani vom Streckknorren (Epicondylus lateralis) und Beugeknorren (Epicondylus medialis) begrenzt, welche Ursprung für einige Unterarmmuskeln bietet (DOS SANTOS ROMERO, 2014; GALOTTA et al., 1994; PACHECO TORRES et al., 1986). An der distalen Metaphyse des Humerus befindet sich bei den Neuweltkameliden regelmäßig ein Foramen nutricium auf der lateralen Seite (GALOTTA et al., 1994; PACHECO TORRES et al., 1986).

### 2.2.1.3 Unterarmknochen (*Ossa antebrachii*)

Zu den Unterarmknochen zählen die Speiche (Radius) und die Elle (Ulna). Die beiden Knochen sind lang und größtenteils miteinander verschmolzen (BALJIT, 2018; PACHECO TORRES et al., 1986). Da das Alpaka vor allem auf Fortbewegung spezialisiert ist vereinfacht sich das Skelett des Unterarmes, verliert an Beweglichkeit und befindet sich in einer permanenten Pronationsstellung (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Der **Radius** befindet sich am stehenden Tier in annähernd vertikaler Position (DOS SANTOS ROMERO, 2014; MCCRACKEN et al., 1999). An der Extremitas proximalis, dem Caput radii, befindet sich die Fovea capitis mit der Facies articularis, welche mit dem Humerus artikuliert. Die kraniale Fläche des Radius ist glatt und konvex (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Auf Grund der Verschmelzung von Radius und Ulna bleiben nur ein Spatium interosseum proximale und distale bestehen (DOS SANTOS ROMERO, 2014; GALOTTA et al., 1994; PACHECO TORRES et al., 1986). Die Tuberositas radii ist konkav und rau und bildet den Ansatzpunkt für den M. biceps brachii. An der Extremitas distalis befindet sich die Facies articularis für die gelenkige Verbindung mit den Karpalknochen (DOS SANTOS ROMERO, 2014; GALOTTA et al., 1994).

Die Extremitas proximalis der **Ulna** ist zum Olekranon geformt, welches mit dem Tuber olecrani als Ansatz für die Strecker des Ellbogengelenkes dient. Am Olekranon ragt der Processus anconaeus nach kranial und bildet nach distal anschließend die Incisura trochlearis. Die Epiphyse der Ulna liegt dem Corpus des Radius kaudolateral an. Der distale Teil der Ulna ist dünn und eng verbunden mit dem Radius (AZZOPARDI, 2012; DOS SANTOS ROMERO, 2014; GALOTTA et al., 1994).

### 2.2.1.4 Karpalknochen (*Ossa carpi*)

Das Karpalgelenk besteht bei Neuweltkameliden aus sieben Vorderfußwurzelknochen (*Ossa carpi*) (AZZOPARDI, 2012; GALOTTA et al., 1994; PACHECO TORRES et al., 1986). Diese befinden sich in zwei übereinanderliegenden Reihen, bei der die Knochen der proximalen Reihe höher sind, als die der distalen (PACHECO TORRES et al., 1986). Die proximale antebrachiale Reihe artikuliert mit dem Unterarm und umfasst das **Os carpi radiale**, das **Os carpi intermedium** und das **Os carpi ulnare**, welche alle mit dem Radius artikulieren. Außerdem befindet sich in dieser Reihe das

**Os carpi accessorium**, welches mit der Ulna artikuliert. Am Os carpi accessorium setzen die Mm. flexor et extensor carpi ulnaris an. Das **Os carpale secundum**, das **Os carpale tertium** und das **Os carpale quartum** artikulieren mit den Metakarpalknochen und bilden die metakarpale Reihe. Auf der Kaudalfläche der Karpalknochen bildet sich eine Vertiefung, welche die Grundlage für den Karpaltunnel bildet. Die Sehnen der Zehenbeuger sowie Gefäße und Nerven verlaufen in diesem Kanal, der durch eine straffe Faszie bedeckt wird (DOS SANTOS ROMERO, 2014; REED et al., 2014).

#### 2.2.1.5 Metakarpalknochen (Ossa metacarpalia)

Da das Alpaka zu den Paarhufern gehört sind nur noch die Metakarpalknochen von zwei Zehen (III und IV) ausgebildet. Das **Os metacarpale tertium** und das **Os metacarpale quartum** sind miteinander verschmolzen und bilden das Röhrein (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Die beiden Mittelfußknochen sind wie Radius und Ulna schlanke lange Knochen (BALJIT, 2018). Auf der palmaren Seite dieser beiden verschmolzenen Knochen bildet sich eine tiefe Rinne, welche lateral und medial von parallelen Begrenzungen flankiert wird. Dorsal verläuft eine Furche (Sulcus longitudinalis dorsalis) von proximal nach distal, welche distal die beiden Gelenkwalzen trennt (DOS SANTOS ROMERO, 2014; GALOTTA et al., 1994; PACHECO TORRES et al., 1986). Die Extremitas proximalis, auch Basis genannt, trägt die Facies articularis zur Artikulation mit der distalen Reihe der Karpalknochen. Das Os metacarpale tertium artikuliert dabei mit dem Os carpale secundum und dem Os carpale tertium, während das Os metacarpale quartum mit dem Os carpale quartum artikuliert (DOS SANTOS ROMERO, 2014; PACHECO TORRES et al., 1986). Auf der Dorsalseite des Os metacarpale tertium befindet sich proximal die Tuberositas ossis metacarpalis III für den Ansatz des M. extensor carpi radialis. An der Extremitas distalis, auch Caput genannt, befinden sich die beiden Gelenkwalzen. Diese wiederum tragen je eine Facies articularis zur Artikulation mit der jeweiligen Zehen (AZZOPARDI, 2012; DOS SANTOS ROMERO, 2014). Auf jedem Kondylus befindet sich ein Sagittalkamm, welcher distal im Zentrum der Artikulationsfläche beginnt und zur palmaren Seite des Knochens zieht (PACHECO TORRES et al., 1986). Beim Lama wird dieser Kamm als „Crista intercondyloidea“ (nicht in der NAV (2017)) bezeichnet (GALOTTA et al., 1994).

### **2.2.1.6 Knochen der Zehen (*Ossa digitorum manus*)**

Die Knochen der Vorderzehen des Alpakas bestehen aus drei Phalangen und vier Sesambeinen (FOWLER und BRAVO, 2010e). Die Phalanx proximalis der Vordergliedmaße ist länger als die der Hintergliedmaße. Ihre proximale Gelenkfläche dient der Artikulation mit dem zugehörigen Metakarpalknochen und trägt palmar eine Vertiefung (PACHECO TORRES et al., 1986), in welche sich der Sagittalkamm des jeweiligen Condylus der Metakarpalknochen einsenkt. Distal ist der Knochen zu einem Condylus geformt, welcher die Facies articularis für die gelenkige Verbindung mit der Phalanx media bildet (DOS SANTOS ROMERO, 2014; PACHECO TORRES et al., 1986). Die vier proximalen Sesambeine befinden sich auf der palmaren Seite der *Articulatio metacarpophalangea* (FOWLER und BRAVO, 2010e). Die Phalanx media hat einen vergleichbaren Aufbau wie die vorangegangene. Die Phalanx distalis ist die kleinste dieser drei Zehenknochen und hat eine pyramidenartige Form. Palmar ist dieser Knochen flach und dorsal trägt er eine scharfe Kante (PACHECO TORRES et al., 1986). Es existieren sowohl beim Alpaka (AZZOPARDI, 2012; DOS SANTOS ROMERO, 2014), als auch beim Lama (CONSTANTINESCU et al., 2008) keine distalen Sesambeine.

### **2.2.2 Gelenke**

Zur Anatomie der Gliedmaßengelenke der Neuweltkameliden ist hauptsächlich Literatur über das Lama zu finden (MÁRQUEZ et al., 1994). Diese wird im folgenden Kapitel zusammengefasst. Ergänzend werden in diesem Abschnitt anatomische Strukturen des nahe verwandten Dromedars erläutert (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987c).

#### **2.2.2.1 Schultergelenk (*Articulatio humeri*)**

Die Gelenkflächen des Schultergelenkes weisen beim Lama keine Besonderheiten auf. Das Labrum glenoidale ist dünn und das Gelenk hat keine Ligamenta glenohumeralia oder ein Ligamentum coracohumerale (MÁRQUEZ et al., 1994). Beim Dromedar werden kranial in der Gelenkkapsel verstärkende Fasern beschrieben, die nach mediodistal verlaufen. Kollateralbänder fehlen auch hier und werden stattdessen durch den M. supraspinatus, den M. infraspinatus und den M. subscapularis, welche als Spannbänder agieren, ersetzt (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987c). Des

Weiteren fehlt dem Lama der *M. articularis humeri* (MÁRQUEZ et al., 1994). Beim Dromedar dagegen wird ein *M. articularis humeri* beschrieben (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Laut MÁRQUEZ et al. (1994) besitzt das Lama drei Ausbuchtungen der Gelenkkapsel: unter der Sehne des *M. coracobrachialis*, unter dem *Caput longum* des *M. triceps brachii* sowie unter der Ursprungssehne des *M. biceps brachii*. Letztere steht nicht mit dem Schleimbeutel, welcher die Sehne des *M. biceps brachii* umgibt, in Verbindung. Nach MÁRQUEZ et al. (1994) kann die Injektion des Schultergelenkes von lateral zwischen Akromion und Tuberculum majus des Humerus erfolgen.

### **2.2.2.2 Ellbogengelenk (Articulatio cubiti)**

Das Ellbogengelenk des Lamas ähnelt dem der Einhufer, da Radius und Ulna größtenteils verwachsen sind. Die distale Epiphyse des Humerus besitzt eine tiefe Fossa olecrani. Die Gelenkkapsel ist kräftig und weit, ohne eine kraniale fibröse Verstärkung (MÁRQUEZ et al., 1994), wie sie beim Dromedar zu finden ist (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987c). Es sind drei Ausbuchtungen der Gelenkkapsel zu finden: eine am Olekranon und je eine am Epicondylus lateralis bzw. medialis humeri. Die Ausbuchtung am Olekranon kann für Gelenkinjektionen genutzt werden (MÁRQUEZ et al., 1994). Diese Ausbuchtung ist auch für das Dromedar beschrieben und wird ebenfalls als bevorzugte Injektionsstelle angegeben (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987c). Das Ligamentum collaterale cubiti laterale des Lamas ist nicht unterteilt (MÁRQUEZ et al., 1994). Am medialen Seitenband des Ellbogengelenkes ist ein sehniger Überrest des *M. pronator teres* vorhanden (CONSTANTINESCU et al., 2008). Die Kollateralbänder des Ellbogengelenkes beim Dromedar sind kräftig entwickelt und ihre Anordnung führt dazu, dass das Gelenk bei dieser Tierart als Schnappgelenk wirkt (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987c).

### **2.2.2.3 Karpalgelenk (Articulatio carpi)**

Das Karpalgelenk der Kameliden besteht aus drei Gelenkabteilungen: die *Articulatio antebrachio-carpea*, die *Articulatio medio-carpea* und die *Articulatio carpometacarpea* (REED et al., 2014). Die Karpalknochen einer Etage sind über die Vorderfußwurzel-Zwischengelenke (*Articulationes intercarpeae*) miteinander verbunden, während das *Os carpi accessorium* über die *Articulatio ossis carpi accessorii* an die distale Epiphyse der Ulna sowie an das *Os carpi ulnare* angefügt ist. Dorsal des Karpalgelenkes sind

die Strecksehnen in das verstärkte Stratum fibrosum eingebettet (MÁRQUEZ et al., 1994).

Die **Articulatio antebrachio-carpea** des Lamas ist ein Walzengelenk. Lateral und medial ist die Gelenkfläche der Unterarmknochen von einem Processus styloideus ulnaris und radialis (nicht in der NAV (2017)) eingerahmt. Zu den Bändern dieser Gelenkebene werden das Ligamentum collaterale radiale und das Ligamentum collaterale ulnare (nicht in der NAV (2017)) gezählt. Sie haben jeweils einen oberflächlichen und einen tiefen Anteil und entspringen am jeweiligen Processus styloideus am Unterarm. Der Ansatz befindet sich je nach Bandanteil am Metakarpus der jeweiligen Seite (oberflächlicher Anteil) oder an den Karpalknochen der jeweiligen Seite (tiefer Anteil) (MÁRQUEZ et al., 1994). Beim Dromedar werden das Ligamentum collaterale carpi mediale und das Ligamentum collaterale carpi laterale als kräftig ausgebildet beschrieben, wobei das mediale Band stärker ist, als das laterale. Dieses Band strahlt außerdem in die oberflächliche Beugesehne ein (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987c).

Die **Articulationes intercarpea proximalia et distalia** stellen die Verbindung der Karpalknochen einer Reihe dar. Hier werden für das Lama Ligamenta intercarpea dorsalia, Ligamenta intercarpea interossea und Ligamenta intercarpea palmaria beschrieben (MÁRQUEZ et al., 1994).

Die Gelenkfläche der **Articulatio mediocarpea** wird proximal vom Os carpi radiale, intermedium und ulnare sowie distal vom Os carpale secundum, tertium und quartum gebildet. Die Bänder dieser Gelenketage werden ebenfalls in Ligamenta dorsalia, Ligamenta interossea und Ligamenta palmaria eingeteilt (MÁRQUEZ et al., 1994). Diese werden alle nicht in der NAV (2017) aufgeführt.

Die **Articulatio carpometacarpea** befindet sich zwischen dem Os carpale secundum, tertium und quartum sowie den verwachsenen Metakarpalknochen III und IV. Auch für dieses Gelenk werden nach MÁRQUEZ et al. (1994) Ligamenta interossea (nicht in der NAV (2017)), Ligamenta dorsalia und Ligamenta palmaria beschrieben. Laut NAV (2017) werden die beiden letzteren als Ligamenta carpometacarpea dorsalia et palmaria bezeichnet.

Das Os carpi accessorium ist über die **Articulatio ossis carpi accessorii** mit der Ulna und dem Os carpi ulnare verbunden. Die Bänder dieses Gelenkes werden beim Lama in proximale, laterale, mediale und distale Bänder unterteilt und verbinden diesen

Knochen mit der Ulna, dem Os carpi ulnare, dem Os carpale quartum und den beiden Metakarpalknochen (MÁRQUEZ et al., 1994).

Die anatomische Kommunikation der einzelnen Gelenketagen des Karpalgelenkes wurde beim Lama näher untersucht und es wurde festgestellt, dass bei mehr als der Hälfte der untersuchten Tiere (68%) die *Articulatio antebrachio-carpea* keine Verbindung zur *Articulatio mediocarpea* hat, während hingegen die *Articulatio mediocarpea* bei allen Tieren mit der *Articulatio carpometacarpea* kommunizierte.

Die Punktion der Gelenketagen fand in dieser Untersuchung bei der Injektion der *Articulatio antebrachio-carpea* und der *Articulatio carpometacarpea* lateral oder medial der Strecksehnen, bei der Injektion der *Articulatio mediocarpea* nur lateral der Strecksehnen statt (SEMEVOLOS und COPE, 2005).

#### 2.2.2.4 Zehengelenke

Zu den Zehengelenken zählen die Zehengrundgelenke (*Articulationes metacarpophalangeae*), die Zehenmittelgelenke (*Articulationes interphalangeae proximales manus*) sowie die Zehenendgelenke (*Articulationes interphalangeae distales manus*) (LIEBICH et al., 2019b).

Das **Fesselgelenk (*Articulatio metacarpophalangea*)** der Kameliden wird proximal von den beiden Metakarpalknochen (*Os metacarpale tertium et quartum*) sowie distal von den beiden proximalen Phalangen gebildet (REED et al., 2014). Des Weiteren sind je zwei proximale Sesambeine auf der palmaren Seite einer jeden Zehe angelagert. Das Gelenk hat ein laterales und ein mediales Kompartiment, welche beim Lama in 91% der Fälle nicht miteinander kommunizieren (SEMEVOLOS und COPE, 2005).

Zu den *Articulationes interphalangeae proximales et distales manus* waren für die Neuweltkameliden bei der Recherche keine Literaturstellen zu finden.

Die Gelenkkapsel der ***Articulationes interphalangeae proximales manus*** des Dromedars formen eine geräumige palmare Ausbuchtung, welche bis zur Hälfte der proximalen Phalanx reicht, und eine kleinere dorsale Gelenkausbuchtung. Auf der palmaren Seite befindet sich ein knorpeliges Scutum, welches eng mit der Phalanx media verbunden ist. Es sind axiale und abaxiale *Ligamenta collateralia* vorhanden sowie ein *Ligamentum anulare palmare*, welches die Beugesehnen umspannt. Des

Weiteren werden beim Dromedar Ligamenta palmaria beschrieben, welche in das Scutum einstrahlen (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987c).

Bei den **Articulationes interphalangeae distales manus** des Dromedars formen die Gelenkkapseln ebenfalls einen dorsalen sowie einen größeren palmaren Recessus, welcher sich über das distale Drittel der palmaren Seite der Phalanx media erstreckt. Ligamenta collateralia verlaufen axial und abaxial zwischen den Bandgruben der mittleren und distalen Phalange. Außerdem gibt es an diesem Gelenk zwei dorsale elastische Bänder, die von der Phalanx media zur dorsalen Erhebung auf der Phalanx distalis verlaufen. Das axiale Band ist dabei kräftiger, als das abaxiale (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987c).

### 2.2.3 Muskeln

Die Muskulatur der Schultergliedmaße gehört zum aktiven Bewegungsapparat. Sie besteht aus quergestreifter Muskulatur mesodermalen Ursprungs (LIEBICH et al., 2019a). Während die Hintergliedmaßen-Muskulatur vor allem für die Vorwärtsbewegung und die Schubentwicklung zuständig ist, fängt die Schultergliedmaßen-Muskulatur diese Bewegung ab und stützt das Vorderbein. Auf Grund dessen sind diese Muskeln meist vermehrt sehnig durchsetzt (LIEBICH et al., 2019b).

Die Muskulatur der Schultergliedmaße kann in zwei große Gruppen eingeteilt werden: Zum einen in die extrinsische Muskulatur oder Schultergürtelmuskulatur, zum anderen in die Eigenmuskulatur der Vordergliedmaße (SALOMON, 2008). Da für diese Arbeit vor allem die Eigenmuskulatur der Gliedmaße von Bedeutung ist wird die Schultergürtelmuskulatur der Neuweltkameliden nicht näher beschrieben.

Die Eigenmuskulatur der Vordergliedmaße wird weiter in folgende Funktionsgruppen eingeteilt: die Muskulatur des Schultergelenkes, die Muskulatur des Ellbogengelenkes, die Muskulatur der Radioulnargelenke, die Muskeln des Vorderfußwurzelgelenkes sowie die Muskeln der Vorderzehen (NICKEL et al., 2004b).

#### 2.2.3.1 Muskeln des Schultergelenkes

Die Schultergelenkmuskeln werden wiederum in laterale und mediale Muskeln eingeteilt.

### Laterale Schultergelenkmuskulatur

Zu den lateralen Muskeln des Schultergelenkes des Alpakas zählt der *M. deltoideus*, der *M. supraspinatus*, der *M. infraspinatus* und der *M. teres minor*.

Der **M. deltoideus** liegt oberflächlich und bedeckt den *M. infraspinatus* sowie den *M. teres minor* und einen kleinen Teil des *M. triceps brachii*. Er ist beim Alpaka in eine *Pars scapularis* und eine *Pars acromialis* geteilt. Die *Pars scapularis* entspringt aponeurotisch, während die *Pars acromialis* fleischig am Akromion entspringt. Sein Ansatz befindet sich an der Tuberositas deltoidea des Humerus (DOS SANTOS ROMERO, 2014; MCCRACKEN et al., 1999).

Der **M. supraspinatus** füllt die gesamte Fossa supraspinata aus, in welcher er entspringt (DOS SANTOS ROMERO, 2014; MCCRACKEN et al., 1999). Halswärts überragt er den Margo cranialis der Scapula. Sein Ansatz befindet sich jeweils am kranialen Abschnitt des Tuberculum majus und minus humeri (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Ähnlich wie beim Dromedar (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d) lässt der *M. supraspinatus* des Alpakas die Ursprungssehne des *M. biceps brachii* auf Höhe des Sulcus intertubercularis hindurchtreten (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Zwischen *M. supraspinatus* und *M. subscapularis* bildet sich ein Spalt, durch welchen Gefäße und Nerven auf die laterale Seite der Scapula treten. Der *M. supraspinatus* ist der hauptsächliche Strecker des Oberarmes. Er unterstützt außerdem dessen Abduktion, stabilisiert das Schultergelenk kranial und grenzt ein Verrutschen des Humeruskopfes in diese Richtung ein (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Der **M. infraspinatus** entspringt in der Fossa infraspinata, am Margo caudalis der Scapula und am kaudalen Rand der Spina scapulae. Er verjüngt sich und endet mit einer kräftigen Sehne kaudal am Tuberculum majus. Der proximale Abschnitt dieses Muskels ist beim Alpaka von einer dünnen Aponeurose bedeckt, die sich mit der Ursprungsaponeurose des *M. deltoideus* verbindet. Die Funktion dieses Muskels ist die Abduktion des Oberarmes. Außerdem verstärkt er das Schultergelenk auf dessen lateraler Seite und erschwert dadurch ein seitliches Verrutschen des Humeruskopfes (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Der **M. teres minor** entspringt am Margo caudalis der Scapula und zieht bedeckt vom *M. deltoideus* zur Tuberositas teres minor des Humerus. Er unterstützt den *M. infraspinatus* und ist ein Abduktor des Oberarmes (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

### Mediale Schultergelenkmuskulatur

Zu den medialen Muskeln des Schultergelenkes zählen der *M. teres major*, der *M. articularis humeri*, der *M. subscapularis* sowie der *M. coracobrachialis*.

Der **M. teres major** entspringt vom Angulus caudalis über den gesamten Margo caudalis des Schulterblattes und setzt beim Alpaka gemeinsam mit dem *M. latissimus dorsi* an der Tuberositas teres major des Humerus an. Er ist ein Adduktor des Oberarmes und beugt gemeinsam mit dem *M. deltoideus* das Schultergelenk (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Der **M. articularis humeri** wird in der Literatur über die Kameliden nur für das Dromedar beschrieben und konnte in den Recherchen zu den Neuweltkameliden nicht gefunden werden. Der *M. articularis humeri* des Dromedars ist ein kleiner fleischiger Muskel, der der Gelenkkapsel kaudomedial anliegt. Er entspringt unmittelbar medial des Caput longum des *M. triceps brachii* in der Nähe des Pfannenrandes der Scapula und inseriert kaudolateral am Collum humeri (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d).

Der **M. subscapularis** entspringt breitflächig in der Fossa subscapularis und ist durchsetzt von sehnigen Strängen. Dorsal an der Scapula lässt er Platz für den Ursprung des *M. serratus dorsalis* und *ventralis*. Seine breite Sehne setzt an der Crista tuberculi minoris am Tuberculum minus des Humerus an. Beim Alpaka wird eine Adduktionswirkung dieses Muskels erwähnt (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Zudem wird beim Dromedar für diesen Muskel die Funktion als mediales kollaterales Spannband des Schultergelenkes beschrieben (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d).

Der **M. coracobrachialis** entspringt am Processus coracoideus der Scapula und setzt kraniomedial am Humerus an. Dabei kreuzt er medial die Sehne des *M. subscapularis*. Seine Wirkung ist die Adduktion des Oberarmes (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Während er in der Arbeit von DOS SANTOS ROMERO (2014) beim Alpaka als schwach entwickelt beschrieben wird, beschreibt LESBRE (1903b) ihn beim Kamel als deutlich ausgeprägt.

### 2.2.3.2 Muskeln des Ellbogengelenkes

Die Muskeln des Ellbogengelenkes sind je nach Ursprung und Ansatz eingelenkig oder zweigelenkig. Zu den zweigelenkigen Muskeln zählt der *M. biceps brachii* und ein Teil des *M. triceps brachii* (*Caput longum*). Des Weiteren gehört der *M. brachialis*, der *M. anconaeus* und der *M. tensor fasciae antebrachii* zur Muskulatur des Ellbogengelenkes.

Der ***M. biceps brachii*** ist ein spindelförmiger Muskel und liegt dem Humerus kranial an. Seine Ursprungssehne entspringt am Tuberculum supraglenoidale der Scapula und zieht durch den Sulcus intertubercularis (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Bei Lama und Dromedar wird an dieser Stelle ein Schleimbeutel (*Bursa intertubercularis*) beschrieben, welcher die Sehne auf Höhe des Sulcus intertubercularis umgibt (MÁRQUEZ und GALOTTA, 1994; SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Sowohl beim Lama als auch beim Kamel ist die Unterteilung des Muskelbauches in einen kranialen sehnig durchsetzten und einen fleischigen kaudalen Teil beschrieben (LESBRE, 1903a). Auch für das Dromedar ist die deutliche Unterteilung des Muskels in zwei Anteile beschrieben (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Der Muskel setzt beim Alpaka an der Tuberositas radii an (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Zusätzlich wird beim Dromedar der Ansatz am Ligamentum collaterale cubiti mediale beschrieben.

Vom kranialen Sehnenüberzug des *M. biceps brachii* spalten sich beim Dromedar Fasern (*Lacertus fibrosus*) ab, welche auf den *M. extensor carpi radialis* übertreten. Dieser Sehnenzug ist nicht sehr kräftig ausgeprägt und wird beim Alpaka nicht beschrieben (DOS SANTOS ROMERO, 2014; SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Durch seinen Ansatz ist der *M. biceps brachii* ein kräftiger Beuger des Ellbogengelenkes (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d).

Der ***M. triceps brachii*** besteht laut DOS SANTOS ROMERO (2014) beim Alpaka aus vier Köpfen: dem *Caput longum*, dem *Caput laterale* und *mediale*, welche lateral und medial am Humerus entspringen, sowie dem *Caput accessorium*, welches kaudal am Humerus entspringt und von den drei anderen Köpfen bedeckt wird. Das *Caput longum* entspringt über eine weite Strecke am Margo caudalis der Scapula bis hin zur *Cavitas glenoidalis* (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Mit einer schmalen Aponeurose entspringt das *Caput laterale* an der *Linea m. tricipitis* kraniallateral am Humerus und vereint sich am Ansatz mit der Sehne des *Caput longum*. An der medialen Fläche des

Humerus entspringt das Caput mediale, welches sich ebenfalls mit dem Caput longum verbindet und am Tuber olecrani ansetzt. Als Caput accessorium wird von DOS SANTOS ROMERO (2014) ein Muskelbauch bezeichnet, der auf der kaudalen Seite des Humerus unterhalb des Collum humeri entspringt und ebenfalls mit der Sehne des Caput longum endet. Dieser Muskelbauch kommt beim *M. triceps brachii* des Dromedars nicht vor (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Statt dessen wird bei dieser Tierart ein ähnlicher, leicht von den übrigen Bäuchen des *M. triceps brachii* abtrennbarer Muskel als *M. anconaeus* beschrieben, welcher in der Literatur auch für das Lama zu finden ist (ARZONE et al., 2013; SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Aufgabe des *M. triceps brachii* ist die Streckung des Ellbogengelenkes (DOS SANTOS ROMERO, 2014; SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Zusätzlich ist das Caput longum ein Beuger des Schultergelenkes (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d).

Der ***M. brachialis*** windet sich im Sulcus musculi brachialis, wodurch er sein spiralförmiges Aussehen erlangt. Er entspringt im proximalen Teil des Sulcus musculi brachialis und setzt medial an der Basis des Olekranons an (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Beim Dromedar verdeckt die Sehne die Ansatzstelle des *M. biceps brachii* und setzt distomedial der Tuberositas radii an (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Der Muskel unterstützt den *M. biceps brachii* bei der Beugung des Unterarmes (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Der ***M. anconaeus*** entspringt beim Dromedar kaudal über eine große Fläche am Humerus bis zur Fossa olecrani. Sein Ansatz befindet sich kranioproximal am Olekranon, wobei er von den Köpfen des *M. triceps brachii* bedeckt wird. Dieser Muskel kann leicht von den Muskelbäuchen des *M. triceps brachii* getrennt werden (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Laut DOS SANTOS ROMERO (2014) existiert dieser Muskel beim Alpaka nicht. Er wird bei den näheren Verwandten Lama jedoch ebenfalls in der Literatur beschrieben (ARZONE et al., 2013). Seine Wirkung ist die Streckung des Ellbogengelenkes (LIEBICH et al., 2019b).

Der ***M. tensor fasciae antebrachii*** wird beim Alpaka als unterstützender Muskel des *M. latissimus dorsi* bezeichnet. Er stellt sich als dünne, fleischige Platte an der ventralen Seite des *M. latissimus dorsi* dar und zieht auf der medialen Fläche des *M. triceps brachii* bis zur Regio olecrani. Er spannt die Unterarmfaszie und streckt das Ellbogengelenk (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Das Dromedar besitzt keinen *M. tensor fasciae antebrachii* (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d).

### 2.2.3.3 Muskeln der Radioulnargelenke

Die Muskeln der Radioulnargelenke sind unter den Haussäugetieren nur bei Fleischfressern noch vollständig funktionsfähig ausgebildet. Durch die Reduktion des Drehvermögens durch die Verwachsung von Radius und Ulna sind diese Muskeln bei Huftieren nicht mehr oder nur noch rudimentär vorhanden. Sie werden daher an dieser Stelle nicht aufgezählt und können in Standardwerken über die Anatomie der Haussäugetiere nachgeschlagen werden (LIEBICH et al., 2019b; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der **M. pronator teres** ist hierbei der einzige Muskel, welcher in rudimentärer Form beim Lama erwähnt wird. Er ist als sehniger Strang am Ligamentum collaterale cubiti mediale zu finden. Der Ansatz des bandartigen Muskels verschmilzt proximal mit dem Ursprung des Caput radiale des M. flexor digitorum profundus. Außerdem überspannt der M. pronator teres die Endsehne des M. biceps brachii (CONSTANTINESCU et al., 2008).

### 2.2.3.4 Muskeln des Vorderfußwurzelgelenkes

Am Unterarm des Alpakas befinden sich die Muskeln des Vorderfußwurzelgelenkes und der Zehengelenke. Kranial am Unterarm liegen die Streckmuskeln, während sich auf der kaudalen Seite des Unterarmes die Beugemuskeln befinden (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

#### Strecker des Karpalgelenkes

Der **M. extensor carpi radialis** entspringt an der Crista supracondylaris des Humerus und zieht dorsal an die Extremitas proximalis des Os metacarpale tertium (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Er ist bei Lama und Kamel ein sehr kräftiger Muskel (LESBRE, 1903a). Seine Endsehne wird vom M. extensor carpi obliquus, welcher auch als M. abductor pollicis longus bezeichnet werden kann (NAV, 2017), überkreuzt und ist dorsal des Karpalgelenkes vom Retinaculum extensorum überspannt. Er ist der wesentliche Strecker des Karpalgelenkes (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Durch seine veränderte Lage am Unterarm und der daraus resultierenden Funktionsänderung wird der **M. extensor carpi ulnaris** in der Arbeit von DOS SANTOS ROMERO (2014) als M. ulnaris lateralis (ebenfalls in der NAV (2017)) bezeichnet. Er liegt in der kaudolateralen Region des Unterarmes. Sein Ursprung

befindet sich mit einer kurzen Sehne am Epicondylus lateralis des Humerus und ersetzt mit einer zweigespaltenen, langen Sehne zum einen am proximalen Rand des Os carpi accessorium, zum anderen proximal am Metakarpus (Os metacarpale quartum) an. Seine Funktion ist die Beugung des Unterarmes (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Der **M. extensor carpi obliquus**, welcher auch als M. abductor pollicis longus oder M. abductor digiti I longus bezeichnet wird (NAV, 2017), ist beim Alpaka ein schmaler Muskel, welcher schräg vom lateralen Rand des Radius zur Basis des Os metacarpale secundum zieht und dabei die Sehne des M. extensor carpi radialis überkreuzt (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Auch beim nahe verwandten Dromedar wird dieser Muskel als schwach ausgeprägt beschrieben (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d).

#### Beuger des Karpalgelenkes

Der **M. flexor carpi radialis** ist ein Beuger des Karpalgelenkes. Er entspringt proximal am Epicondylus medialis des Humerus, zwischen Ligamentum collaterale cubiti mediale und M. flexor carpi ulnaris. Seine distale Sehne inseriert medial am Metakarpus (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Beim Dromedar wird der Muskelbauch als schlank und spindelförmig beschrieben. Durch seinen Ursprung am Humerus wird zusätzlich zur Funktion als Beuger des Karpalgelenkes noch die Streckung des Ellbogengelenkes aufgezählt (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d).

Der **M. flexor carpi ulnaris** besitzt beim Alpaka zwei Köpfe, welche sich distal vereinen und in einer kräftigen, einheitlichen Sehne proximal am Os carpi accessorium enden. Das Caput humerale entspringt an der Basis des Epicondylus medialis des Humerus, während das Caput ulnare medial am Olekranon entspringt (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Dabei ist das Caput ulnare beim Lama wesentlich schwächer ausgeprägt, als das Caput humerale (BALJIT, 2018). Beim Lama gibt die Ansatzsehne außerdem zuvor einen Ast an die Sehne des Caput humerale des M. flexor digitorum profundus ab (CONSTANTINESCU et al., 2008). Der Muskel wirkt als Beuger des Karpalgelenkes (DOS SANTOS ROMERO, 2014) und durch seinen Ansatz am Humerus ebenfalls in geringem Maße als Strecker des Ellbogengelenkes (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d).

### 2.2.3.5 Muskeln der Zehen

Die Zehenmuskeln werden in lange und kurze Muskeln unterteilt.

#### Lange Zehenmuskeln

Die langen Zehenmuskeln werden eingeteilt in Strecker und Beuger. Dazu zählt der M. extensor digitorum communis, der M. extensor digitorum lateralis, der M. flexor digitorum superficialis, der M. flexor digitorum profundus sowie der M. abductor pollicis longus.

Der **M. extensor digitorum communis** ist ein langer Zehenstrecker, welcher distal an der Crista supracondylaris entspringt und mit einer langen Sehne bis zur Phalanx distalis einer jeden Zehe zieht. Der Muskel ist in zwei Bäuche unterteilt: die Sehne des medialen Bauches streckt die dritte Zehe, während sich die Sehne des lateralen Bauches aufteilt und die dritte und vierte Zehe streckt. Auf Höhe der Phalanx proximalis erhält jede Strecksehne Zuschüsse vom M. interosseus medius und setzt anschließend am Processus extensorius der jeweiligen Phalanx distalis an. Seine Funktion ist die Streckung des Karpalgelenkes sowie der Zehengelenke (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Der zweite lange Zehenstrecker ist der **M. extensor digitorum lateralis**. Er ist nicht so kräftig ausgebildet wie der gemeinsame Zehenstrecker und liegt diesem seitlich an. Sein Muskelbauch ist einheitlich und spindelförmig und geht im distalen Drittel des Unterarmes in eine lange Sehne über. Diese zieht am lateralen Rand des Unterarmes nach distal und erreicht den Zehenrücken (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Zu den langen Beugern der Zehen zählt der **M. flexor digitorum superficialis**. Dieser Muskel entspringt am Epicondylus medialis humeri. Seine oberflächliche Beugesehne teilt sich in der distalen Hälfte des Metakarpus in zwei Endsehnen für die jeweilige Zehe. Kurz vor dem Ansatz dieser beiden Sehnen an der Phalanx media einer jeden Zehe bilden diese das Scutum medium und werden von der Sehne des tiefen Zehenbeugers durchbohrt. Dabei formt sich eine ringartige Manschette (Manica flexoria) um die tiefe Beugesehne (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Beim Lama verläuft die schmale oberflächliche Beugesehne in einem eigenen oberflächlichen Kompartiment durch den Karpaltunnel und fusioniert unterhalb des Karpalgelenkes mit der Palmarfaszie. Dieser Zusammenschluss teilt sich oberhalb des Fesselgelenkes ebenfalls in zwei oberflächliche Beugesehnen, welche schließlich an der Phalanx

media einer jeden Zehe ansetzen (CONSTANTINESCU et al., 2008). Die Funktion dieses Muskels ist die Beugung der proximalen Zehengelenke und des Vorderfußes (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

Der zweite lange Zehenbeuger ist der **M. flexor digitorum profundus**. Für das Alpaka sind zwei humerale und ein radialer Kopf beschrieben (DOS SANTOS ROMERO, 2014), während CONSTANTINESCU et al. (2008) beim Lama ein Caput radiale, ein Caput ulnare und ein Caput humerale beschreibt, welches weiter in einen oberflächlichen und einen tiefen Teil unterteilt werden kann. Das Caput radiale des Lamas erhält, wie oben beschrieben, proximal Sehnenfasern aus dem Überbleibsel des M. pronator teres. Die Sehnen der einzelnen Köpfe schließen sich auf Höhe des Karpalgelenkes zur einheitlichen tiefen Beugesehne zusammen (CONSTANTINESCU et al., 2008; DOS SANTOS ROMERO, 2014). Beim Lama erhält die tiefe Beugesehne zusätzlich proximal des Karpalgelenkes ein Sehnenbündel aus der Sehne des M. flexor carpi ulnaris (CONSTANTINESCU et al., 2008). Die tiefe Beugesehne zieht anschließend medial am Os carpi accessorium vorbei und teilt sich proximal des Fesselgelenkes in die Endsehnen für jede Zehe. Nach Durchbohren der oberflächlichen Beugesehne setzt die tiefe Beugesehne an der Phalanx distalis an. Beim Lama sind wie auch beim Alpaka keine distalen Sesambeine beschrieben. Die tiefe Beugesehne wird jedoch auf Höhe des Scutum mediale knorpelig verstärkt, um der erhöhten Druckbelastung an dieser Stelle standhalten zu können (CONSTANTINESCU et al., 2008; DOS SANTOS ROMERO, 2014). An dieser Stelle ist für das Lama außerdem eine Bursa podotrochlearis beschrieben (CONSTANTINESCU et al., 2008). Die Funktion des M. flexor digitorum profundus ist die Beugung aller Zehengelenke sowie des Karpalgelenkes (DOS SANTOS ROMERO, 2014).

### Kurze Zehenmuskeln

Zu den kurzen Zehenmuskeln zählen bei den Neuweltkameliden die Mm. interossei sowie die Mm. lumbricales.

Die **Mm. interossei** sind bei Alpaka und Lama vorwiegend sehnig (CONSTANTINESCU et al., 2008; DOS SANTOS ROMERO, 2014). Sie entspringen an der distalen Reihe der Karpalknochen, dem Os carpi accessorium, kaudal am Radius und an der Basis von Os metacarpale tertium und quartum

(CONSTANTINESCU et al., 2008). Distal davon befinden sie sich zwischen den Metakarpalknochen und den Beugesehnen. Beim Alpaka sind pro Gliedmaße vier Mm. interossei beschrieben, für jede Zehe jeweils zwei, während beim Lama zwei Mm. interossei für jede Gliedmaße beschrieben werden, welche sich wiederum in zwei Schenkel für die insgesamt vier proximalen Sesambeine einer Gliedmaße spalten (CONSTANTINESCU et al., 2008; DOS SANTOS ROMERO, 2014). Der Ansatz befindet sich an den Sesambeinen des Fesselgelenkes (CONSTANTINESCU et al., 2008). Des Weiteren werden Unterstützungsäste an die gemeinsamen Strecksehnen auf der Dorsalseite einer jeden Zehe abgegeben (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Die **Mm. lumbricales** werden in der Literatur nicht für das Alpaka beschrieben. Beim Lama werden ein bis zwei Mm. lumbricales erwähnt. Ihre lange dünne Sehne reicht axial in den Interdigitalspalt und verbindet schließlich mit der lateralen oder medialen Endsehne des gemeinsamen Zehenstreckers (CONSTANTINESCU et al., 2008).

#### 2.2.4 Nerven

Zu den Nerven der Schultergliedmaße von Lama (ARZONE et al., 2013) und Alpaka (GOSHIMA WATANABE, 1976; KITSUTANI OGATA, 1978) ist wenig Literatur vorhanden. Im Folgenden wird diese kurz zusammengefasst, um die Inhalte später mit den Ergebnissen der vorliegenden Doktorarbeit vergleichen zu können.

Die Schultergliedmaße wird vom Armgeflecht (**Plexus brachialis**) innerviert. Dieses wird beim Alpaka von den Ventralästen der letzten drei Hals- (CVI, CVII, CVIII) sowie ersten zwei Thorakalnerven (ThI, ThII) gebildet (GOSHIMA WATANABE, 1976).

##### 2.2.4.1 Innervation der Brustwand

Fünf der insgesamt zwölf Plexusnerven sind nicht für die Innervation der Eigenmuskulatur der Schultergliedmaße zuständig. Diese wurden in der Literatur der Neuweltkameliden bisher nicht beschrieben.

Beim nahe verwandten Dromedar zieht der **N. thoracicus longus** auf der lateralen Fläche des M. serratus ventralis nach kaudal und innerviert dessen Pars thoracica. Die **Nn. pectorales craniales et caudales** sind für die Innervation der oberflächlichen und tiefen Pektoralismuskulatur zuständig. Der **N. thoracodorsalis** innerviert mit drei bis vier Ästen den M. latissimus dorsi (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987e). Für das Alpaka und das Lama ist dieser Nerv in ähnlicher Weise beschrieben (ARZONE et al.,

2013; KITSUTANI OGATA, 1978). Der fünfte Nerv aus dem Plexus brachialis, der **N. thoracicus lateralis**, welcher sich bei den Haussäugetieren mit Interkostalnerven zum N. intercostobrachialis verbindet (KÖNIG et al., 2019), wird beim Dromedar in der Literatur nicht erwähnt. Stattdessen gibt es bei dieser Tierart einen **N. intercostobrachialis**, welcher in der Ellbogenregion direkt an die Gliedmaße tritt und nicht aus dem Plexus brachialis entspringt.

#### 2.2.4.2 Innervation des proximalen Abschnittes der Schultergliedmaße

Die nachfolgenden Nerven verlaufen am proximalen Abschnitt der Vordergliedmaße und erreichen die Spitze der Gliedmaße nicht. Sie innervieren einen großen Teil der proximal gelegenen Eigenmuskulatur der Schultergliedmaße und wurden sowohl für das Lama als auch für das Alpaka beschrieben.

Die **Nn. subscapularis** sind einzelne Nervenäste, welche für die Innervation des M. subscapularis verantwortlich sind. Beim Lama gibt es zwei bis vier, beim Dromedar vier bis fünf dünne Rami (ARZONE et al., 2013; SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987a). Das Alpaka hat ebenfalls viele dünne Nervenästchen, welche sich im M. subscapularis verzweigen (KITSUTANI OGATA, 1978).

Der **N. suprascapularis** ist beim Lama und Alpaka ein kräftiger Nerv. Er tritt durch einen Spalt, welcher vom M. supra- und subscapularis gebildet wird, auf die laterale Seite des Schulterblattes. Dort umrundet er wie beim Wiederkäuer distal des Akromion das Collum scapulae und zieht geschützt nach kaudal in die Fossa infraspinata. Er innerviert den M. supraspinatus sowie den M. infraspinatus (ARZONE et al., 2013; KITSUTANI OGATA, 1978).

Ein Nerv, der etwas weiter kaudal aus dem Plexus brachialis entspringt, ist der **N. musculocutaneus**. Gemeinsam mit dem N. medianus bildet er eine Schleife (Ansa axillaris) um die A. axillaris, welche in der Literatur nur für das Lama beschrieben ist (ARZONE et al., 2013). Proximal entsendet er den R. muscularis proximalis, welcher nach kranial zieht und beim Lama und Alpaka den M. coracobrachialis durchbohrt. Dieser Ast innerviert den M. coracobrachialis sowie den proximalen Teil des M. biceps brachii. Der Nerv verläuft im proximalen Drittel des Oberarmes eng verbunden mit dem N. medianus und der A. und V. brachialis nach distal. Im distalen Teil des Oberarmes bildet er einen R. muscularis distalis, welcher den M. biceps brachii und den M. brachialis innerviert. (ARZONE et al., 2013; KITSUTANI OGATA, 1978).

Der **N. axillaris** entspringt kaudal des N. musculocutaneus aus dem Plexus brachialis. Auf seinem Weg entsendet er beim Lama je einen Ast für den M. subscapularis und den M. teres major (ARZONE et al., 2013). Der Nerv verläuft bei den Neuweltkameliden anschließend durch einen Spalt nach lateral. Dort entsendet der N. axillaris einen Ast, welcher zwischen der Pars acromialis des M. deltoideus und dem Caput laterale des M. triceps brachii nach kranial zieht und den M. cleidobrachialis innerviert. Außerdem innerviert der N. axillaris die Pars acromialis und die Pars scapularis des M. deltoideus (DOS SANTOS ROMERO, 2014). Beim Lama spaltet sich hier zudem ein dünner Hautast (N. cutaneus antebrachii cranialis) ab, welcher die Haut kranial am Unterarm innerviert (ARZONE et al., 2013). Beim Alpaka verbindet sich dieser Hautast (N. cutaneus brachii lateralis cranialis) auf Höhe des Ellbogengelenkes mit dem R. superficialis des N. radialis (KITSUTANI OGATA, 1978).

#### 2.2.4.3 Innervation des distalen Abschnittes der Schultergliedmaße

Der **N. radialis** ist bei den Neuweltkameliden der Nerv des Plexus brachialis mit dem größten Durchmesser. Auf einer kurzen Strecke verbindet er sich mit dem N. ulnaris und zieht weiter in die laterale Region des Oberarmes durch den Spalt zwischen M. teres major und Caput longum und Caput mediale m. triceps brachii (ARZONE et al., 2013; KITSUTANI OGATA, 1978). Während eines kurzen Stückes wird er beim Lama von Ästen der A. profunda brachii begleitet (ARZONE et al., 2013). Er verläuft bei Lama und Alpaka gemeinsam mit dem M. brachialis bis zur Lateralfäche des Unterarmes, bedeckt vom Caput laterale des M. triceps brachii. Während seines Verlaufes entsendet er Äste an die Köpfe des M. triceps brachii und den M. anconaeus. Am distalen Rand des Caput laterale spaltet sich der R. superficialis ab. Dieser teilt sich wiederum in einen R. lateralis und medialis, welche auf jeder Seite der V. cephalica nach distal verlaufen. Der Hauptstamm zieht weiter als R. profundus und erreicht die Streckmuskeln des Karpus und der Zehen. Er wird dabei vom M. extensor carpi radialis bedeckt (ARZONE et al., 2013; KITSUTANI OGATA, 1978). Der **N. medianus** der Neuweltkameliden ist ein kräftiger Nerv, der mit dem N. ulnaris und dem N. musculocutaneus eng verbunden ist. Er teilt sich eine Bindegewebshülle mit dem N. musculocutaneus. Während seines gesamten Verlaufes wird er von wichtigen Gefäßstämmen der Schultergliedmaße begleitet. Weiter distal trennt er sich vom N. ulnaris und verläuft gemeinsam mit der A. brachialis bis zum distalen Drittel

des Caput mediale des *M. triceps brachii*. Dort trennt er sich vom *N. musculocutaneus* und verläuft mit der *A. brachialis* weiter bis zum Unterarm (ARZONE et al., 2013; KITSUTANI OGATA, 1978). Auf Höhe des Ellbogengelenkes befindet er sich beim Lama gemeinsam mit der *A. mediana* und den Venen oberflächlich zwischen dem Ansatz des *M. biceps brachii* und dem Ursprung des *M. flexor digitorum profundus*. Im proximalen Drittel des Unterarmes entsendet er *Rr. musculares* für die Bäuche der Beuger des Karpus und der Zehen. Diese Äste begleiten die *A. interossea communis*. Der *N. medianus* verläuft weiter zwischen Caput radiale des *M. flexor digitorum profundus* und *M. flexor carpi radialis* und weiter distal zwischen *M. flexor carpi radialis* und Radius. Er wird hier begleitet von der *A. und V. mediana* und tritt mit diesen Gefäßen in die Karpalregion ein (ARZONE et al., 2013). Der *N. medianus* beteiligt sich bei den Neuweltkameliden nicht an der Innervation des Oberarmes (ARZONE et al., 2013; KITSUTANI OGATA, 1978).

Der **N. ulnaris** der Neuweltkameliden ist dünner als der *N. radialis* und entspringt am kaudalsten aus dem Plexus brachialis. Er verläuft schräg zwischen Caput longum und Caput mediale des *M. triceps brachii* über die Oberarmregion in Richtung Ellbogengelenk (ARZONE et al., 2013; KITSUTANI OGATA, 1978). Im mittleren Drittel des Oberarmes gibt er beim Lama einen (ARZONE et al., 2013), beim Alpaka zwei Hautäste (*N. cutaneus antebrachii caudalis*) ab (KITSUTANI OGATA, 1978). Diese verlaufen in der Faszie auf der kaudomedialen Oberfläche des Caput longum *mi. tricipitis brachii* und innervieren die Haut kaudal am Unterarm (ARZONE et al., 2013). Am Ellbogengelenk zieht der Hauptstamm des *N. ulnaris* zwischen Olekranon und Epicondylus medialis des Humerus vorbei zum Unterarm (ARZONE et al., 2013; KITSUTANI OGATA, 1978). Er wird beim Lama an dieser Stelle von der *A. und V. collateralis ulnaris* begleitet. Anschließend zieht er weiter zwischen die Ansätze des *M. extensor carpi ulnaris* und des *M. flexor carpi ulnaris* und gibt Äste an diese beiden Muskeln sowie an den *M. flexor digitorum superficialis*, den *M. flexor digitorum profundus* und den *M. flexor carpi radialis* ab (ARZONE et al., 2013). Er beteiligt sich bei den Neuweltkameliden genau wie der *N. medianus* nicht an der Innervation des Oberarmes (ARZONE et al., 2013; KITSUTANI OGATA, 1978).

## 2.2.5 Blutgefäße

Weder zu den Arterien noch zu den Venen der Schultergliedmaße der Neuweltkameliden waren Literaturstellen zu finden. Die Blutgefäße der Schultergliedmaße des Dromedars sind in der Literatur ausführlich beschrieben SMUTS und BEZUIDENHOUT (1987a).

### 2.2.5.1 Arterien

Die Schultergliedmaße wird beim Dromedar über die **A. subclavia** mit arteriellem Blut versorgt. Diese verlässt die Brusthöhle kranial der ersten Rippe und ventral des M. scalenus und wird anschließend zur **A. axillaris**. Diese gibt beim Dromedar folgende Äste ab:

- die **A. thoracica externa** für die Versorgung der Pektoralismuskulatur,
- die **A. suprascapularis** für die Versorgung des M. supraspinatus und des M. infraspinatus,
- die **A. subscapularis** für die Versorgung des M. subscapularis, des M. infraspinatus, des M. teres major und des Caput longum des M. triceps brachii. Aus dieser entspringt beim Dromedar außerdem die **A. thoracodorsalis** für die Versorgung des M. latissimus dorsi,
- die **A. circumflexa humeri caudalis**, welche die Gelenkkapsel des Schultergelenkes, den M. teres minor und den M. deltoideus versorgt. Diese Arterie gibt außerdem die **A. collateralis radialis** ab, welche den N. radialis begleitet, den M. brachialis, den M. anconaeus und den M. triceps brachii mit Blut versorgt und mit der A. transversa cubiti anastomosiert,
- die **A. circumflexa humeri cranialis**, welche den M. coracobrachialis durchdringt und diesen und den M. biceps brachii versorgt.

Nachdem die A. axillaris die A. circumflexa humeri caudalis abgegeben hat wird sie als **A. brachialis** fortgesetzt und gibt folgende Äste ab:

- die **A. profunda brachii** für die Versorgung des M. triceps brachii,
- ein bis zwei kranial gerichtete **Aa. bicipitales** für die Versorgung des M. biceps brachii,
- die **A. transversa cubiti**, welche das Ellbogengelenk und alle Muskeln kraniallateral am Unterarm versorgt. Sie anastomosiert mit der A. collateralis

- radialis,
- die **A. collateralis ulnaris**, welche den medialen Anteil des Ellbogengelenks versorgt,
  - die **A. interossea communis**, welche mit verschiedenen Ästen die kaudomedial gelegenen Muskeln des Unterarmes versorgt.

Nach Abzweigen der A. interossea communis wird die A. brachialis als **A. mediana** fortgesetzt. Sie entlässt:

- die **A. radialis**, welche Anastomosen aus der A. interossea communis erhält, teilt sich in einen **R. palmaris medialis** und einen **R. palmaris lateralis**. Diese Äste bilden das **Rete carpi dorsale**.

Im Bereich des Metakarpus wird die A. mediana zur **A. digitalis palmaris communis II** und teilt sich schließlich ein die **A. digitalis palmaris propria III** und **IV abaxialis** und die **A. digitalis palmaris propria III** und **IV axialis**.

Auf der dorsalen Seite verläuft die **A. metacarpea dorsalis III**, welche aus dem Rete carpi dorsale entspringt und sich schließlich in die **A. digitalis dorsalis propria III** und **IV axialis** aufteilt (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987b).

### 2.2.5.2 Venen

Beim Dromedar wird das Blut der kranialen und dorsalen Bereiche der Schultergliedmaße über die **V. cephalica** abgeleitet, während das Blut aus den kaudalen und palmaren Anteilen über die **V. brachialis** drainiert wird.

Die dorsale Drainage beginnt mit der **V. digitalis dorsalis propria III** und **IV axialis**, welche sich auf Höhe des Fesselgelenkes zur **V. digitalis dorsalis communis III** vereinen. Diese setzt sich als **V. cephalica accessoria** fort und vereint sich proximal des Karpalgelenkes mit der **V. cephalica**. Auf Höhe des Ellbogengelenkes erhält die V. cephalica die **V. mediana cubiti** und noch etwas weiter proximal die **V. omobrachialis**. Die V. cephalica mündet anschließend an der Basis des Halses in die **V. jugularis**.

Auf der palmaren Seite beginnt der venöse Abfluss mit der **V. digitalis palmaris propria III** und **IV axialis** und der **V. digitalis palmaris III** und **IV abaxialis**. Diese Venen vereinen sich zur **V. metacarpea palmaris communis III** und **IV**. Auf Höhe des

Karpalgelenkes werden sie zur **V. mediana**. Nachdem die V. mediana auf Höhe des Ellbogengelenkes die **V. profunda antebrachii** erhalten hat, verläuft diese weiter als **V. brachialis**. In diese münden die **V. interossea communis**, die **V. collateralis ulnaris**, die **V. transversa cubiti**, die **V. collateralis radialis** und die **V. profunda brachii**. Anschließend wird die V. brachialis durch die **V. axillaris** fortgesetzt, welche die **V. circumflexa humeri cranialis**, die **Vv. suprascapulares**, die **Vv. thoracicae externae**, die **V. thoracica superficialis** und die **Vv. subscapulares** aufnimmt. Die V. axillaris umrundet die erste Rippe und wird schließlich zur **V. subclavia** (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987g).

## **2.3 Körperbau und Biomechanik der Vordergliedmaße**

Um die Anatomie der Schultergliedmaße des Alpakas besser verstehen zu können und als Tierarzt pathologische Abweichungen zu erkennen, ist es notwendig das physiologische Exterieur und die natürliche Fortbewegung dieser Spezies zu kennen (FOWLER und BRAVO, 2010a).

Im folgenden Kapitel werden der Körperbau, die Winkelung der Gelenke der Vordergliedmaße sowie die Gangarten des Alpakas kurz erläutert.

### **2.3.1 Physiologischer Körperbau und Winkelung der Gelenke**

Die beiden Schultergliedmaßen befinden sich bei Neuweltkameliden von kranial betrachtet näher an einer gedachten Mittelebene als bei anderen Haussäugetieren (FOWLER und BRAVO, 2010a). Diese bodenenge Stellung der Vorderbeine erscheint in Bewegung noch deutlicher und ist das Ergebnis des relativ schmalen Brustkorbes (TIMM et al., 2011). Die Länge der Vordergliedmaße eines Alpakas soll der Länge des Halses sowie der Länge der Körpertiefe entsprechen. Diese Merkmale lassen sich bei geschorenen Tieren wesentlich leichter beurteilen, als bei stark bewollten Tieren (FOWLER und BRAVO, 2010a). Bei Lama und Guanako sollen sich Schulter-, Karpal- und Fesselgelenk in einer Geraden befinden und die Zehen gerade nach kranial zeigen. Beim Alpaka ist eine optimale Gliedmaßenstellung schwerer zu definieren, da die meisten Tiere einen Carpus valgus aufweisen, woraus eine laterale Stellung der Zehen resultiert (TIMM et al., 2011).

Für die Entscheidung über die weitere Zuchtnutzung, die Beurteilung der Beweglichkeit eines Gelenkes im Falle einer Erkrankung sowie die Wahl eines geeigneten Winkels bei der Versteifung eines Gelenkes muss die physiologische Gliedmaßenwinkelung bekannt sein. Dabei ähneln sich die Winkel der Vordergliedmaße von Lama und Alpaka und unterscheiden sich nennenswert nur im Ellbogen- und Fesselgelenk. Das Ellbogengelenk des Lamas ist etwas steiler, als das des Alpakas (WALTERS et al., 2016), während das Fesselgelenk des Alpakas im Vergleich zum Fesselgelenk des Lamas etwas aufrechter gewinkelt ist (FOWLER und BRAVO, 2010a; REED et al., 2014).

### 2.3.2 Lokomotion

Für eine optimale Beurteilung des Körperbaus ist es neben der Betrachtung im Stehen wichtig das Tier in Bewegung zu beobachten.

Die Lokomotion von Neuweltkameliden und der Zusammenhang mit der Evolution der Gliedmaßen wurden in unterschiedlichen Studien genauer untersucht. Die Entwicklung einer bestimmten Fortbewegungsform ist dabei Teil eines komplexen Anpassungsvorganges an den Lebensraum (VAN DER SLUIJS et al., 2010). Alle Kameliden zeigen die Gangarten Schritt, Pass und Galopp. Zusätzlich kommt bei den Neuweltkameliden der Trab vor (FOWLER und BRAVO, 2010a). Studien von VAN DER SLUIJS et al. (2010) und PFAU et al. (2011) ergaben, dass sich Lama und Alpaka vorzugsweise im Schritt und Galopp und nur selten im Pass oder Trab fortbewegen. Der schmale Körper, die langen Beine sowie die fehlende Kniefalte, welche die Bewegungsfreiheit der Hintergliedmaße behindern könnte, tragen zu einer energieeffizienten Fortbewegung der Kameliden bei (FOWLER und BRAVO, 2010a). JANIS et al. (2002) stellten in einer Untersuchung fest, dass die digitigrade Fußungsform der Kameliden gemeinsam mit der passartigen Fortbewegungsform ein sekundärer Anpassungsprozess war. Im Gegensatz zu anderen Paarhufern, welche Bänder besitzen, die die Zehen zusammenhalten, können sich die Zehen der Kameliden spreizen und bilden dadurch eine sichere Trittgrundlage. Durch diese Eigenschaft und die gepolsterte Sohle gehören Kameliden zu den trittsichersten Ungulaten (FOWLER und BRAVO, 2010a).

## 2.4 Krankheiten der Schultergliedmaße des Alpakas

In der Literatur sind Fallberichte zu verschiedenen Erkrankungen an der Schultergliedmaße des Alpakas zu finden (KOFLER et al., 2016; ROUSSEAU et al., 2010; ROUSSEAU et al., 2013; WATTS et al., 2008). Eine Erläuterung der artspezifischen, anatomischen Gegebenheiten fehlt dabei meist gänzlich oder bleibt oberflächlich und Therapiemethoden werden von anderen Spezies abgeleitet.

Neben Frakturen treten bei Neuweltkameliden verschiedene orthopädische Krankheiten auf, wie Fehlstellungen der Gliedmaßen, Knochensequester, Gelenkerkrankungen, und der Niederbruch des Fesseltrageapparates. Durch ihr ruhiges Gemüt, die schnelle Knochenheilung, ihr geringes Körpergewicht und ihre Toleranz für lange Liegezeiten eignen sich Neuweltkameliden gut für orthopädische Eingriffe (FOWLER und BRAVO, 2010e; NEWMAN und ANDERSON, 2006; REED et al., 2014). Durch ihre Größe sind neben Operationstechniken aus dem Großtierbereich auch Methoden aus der Kleintierchirurgie möglich (FOWLER und BRAVO, 2010f).

Im folgenden Kapitel soll ein Überblick über die in der Literatur beschriebenen Erkrankungen der Vordergliedmaße von Neuweltkameliden geschaffen werden.

### Schultergelenkluxation

Zur Luxation des Schultergelenkes des Alpakas gibt es einzelne Fallberichte aus den USA (n=10 (ROUSSEAU et al., 2010), n=3 (WATTS et al., 2008)), des UK (n=1 (VANDEWEERD et al., 2007)) und Österreich (n=1 (KOFLER et al., 2016)). Eine Schultergelenkluxation tritt beim Alpaka vor allem nach Traumata oder Rangkämpfen auf. Männliche Tiere sind hauptsächlich betroffen, da sie vermehrt in derartige Kämpfe verwickelt werden (ROUSSEAU et al., 2010; VANDEWEERD et al., 2007). Die laterale Luxation des Humerus scheint insgesamt häufiger aufzutreten, als die mediale (REED et al., 2014; ROUSSEAU et al., 2010; WATTS et al., 2008). Als Therapie werden geschlossene und offene Repositionen durchgeführt (ROUSSEAU et al., 2010). Zu den offenen Repositionen zählt das Einbringen von Kortikalisschrauben und stabilisierenden Nähten um das Gelenk sowie die komplette Ruhigstellung durch eine Arthrodesis (KOFLER et al., 2016; ROUSSEAU et al., 2010). Generell scheint die Erkrankung nicht sehr häufig zu sein, sollte bei einer Lahmheit der Vordergliedmaße jedoch immer mit in Betracht gezogen werden (DUNCANSON, 2012).

### Carpus valgus

Fehlstellungen der Gliedmaßen treten bei Neuweltkameliden häufig auf (FOWLER und BRAVO, 2010b; REED et al., 2014). Sie werden durch nicht korrekt verheilte Frakturen des Fetus im Uterus sowie durch nutritive Faktoren verursacht, wie beispielsweise ein unausgeglichenes Calcium/Phosphor-Verhältnis oder fehlerhafte Kupfer-, Zink- und Molybdänkonzentrationen (KANEPS, 1996). Das Karpalgelenk ist am häufigsten betroffen und beim Alpaka vorwiegend zu einem Carpus valgus verformt (TIMM et al., 2011). Tiere mit einer Fehlstellung sollten von der Zucht ausgeschlossen werden, da auch eine genetische Prädisposition nicht ausgeschlossen ist (KANEPS, 1996; REED et al., 2014). Ist die Ossifikation noch nicht abgeschlossen, kann eine konservative Therapie mit Splints und Casts durchgeführt werden (KANEPS, 1996). Auch verschiedene chirurgische Methoden wurden beim Alpaka angewandt und näher untersucht (LIVINGSTON et al., 2001).

### Fesselgelenkhyperextension

Eine Hyperextension des Fesselgelenkes wird vor allem beim Lama und selten beim Alpaka beobachtet (DUNCANSON, 2012; FOWLER und BRAVO, 2010a). Die Fesselgelenkhyperextension betrifft vor allem ältere Lamas, wird aber vereinzelt auch bei jungen Tieren beobachtet (DUNCANSON, 2012). REED et al. (2014) definiert zwei Formen der Fesselgelenkshyperextension: die idiopathische Form, welche alle vier Gliedmaßen gleichermaßen betrifft, und die sekundäre Form, welche auf Grund der Überlastung einer Gliedmaße mit zu viel Gewicht entsteht. Letztere tritt hauptsächlich einseitig an nur einer Gliedmaße auf, nachdem die kontralaterale auf Grund einer Verletzung entlastet werden musste. Es gibt keine Therapiemethode und die Zucht mit diesen Tieren sollte unterlassen werden (DUNCANSON, 2012).

### Infektiöse und degenerative Gelenkerkrankungen

Septische oder infektiöse Arthritiden treten bei Neuweltkameliden selten auf (DUNCANSON, 2012; FOWLER und BRAVO, 2010e). Ursachen für diese Erkrankung sind Verletzungen der Gelenkkapsel, Nabelinfektionen oder Infektionen mit opportunistischen Erregern (FOWLER und BRAVO, 2010e). Meistens ist eine antibiotische Therapie wenig erfolgreich und eine Euthanasie gerechtfertigt. Ist nur das distale Zehengelenk betroffen kann die Drainage dieses Gelenkes mit anschließender Versteifung sowie die Amputation des distalen Abschnittes der Zehe mittels

Fetotomdraht im 45° Winkel auf Höhe der Phalanx media durchgeführt werden (DUNCANSON, 2012).

Neben septischen oder infektiösen Gelenkerkrankungen treten degenerative Veränderungen und Arthrosen bei Neuweltkameliden auf. Sie sind meist die Folge von Gliedmaßenfehlstellungen sowie unbehandelter Frakturen oder Luxationen (FOWLER und BRAVO, 2010e; ROUSSEAU et al., 2010).

### Frakturen

Auf Grund der Länge ihrer Knochen treten Frakturen bei Neuweltkameliden häufig auf. Besonders Alpaka-Crias sind betroffen (DUNCANSON, 2012). Die Ursache ist meist ein direktes Trauma, welches zu einer Fraktur führt (FOWLER und BRAVO, 2010e). Bei alten Tieren kann eine Osteoporose unbekannter Ursache auftreten, welche zu multiplen Frakturen führt (DUNCANSON, 2012). Da die Tiere ein geringes Körpergewicht haben und langes Liegen sowie die Fortbewegung auf drei Beinen gut tolerieren, eignen sie sich besonders für orthopädische Therapiemaßnahmen (FOWLER und BRAVO, 2010e; NEWMAN und ANDERSON, 2007). Tierärzte müssen jedoch wachsam sein, da Frakturen auf Grund des stoischen Gemütes der Tiere übersehen werden können (DUNCANSON, 2012). Von intramedullären Pins, Schrauben oder Platten über Fixateur externe, Casts und Schienen bis hin zu Amputationen sind verschiedene Therapieansätze bei Neuweltkameliden in der Literatur beschrieben worden (DUNCANSON, 2012). Meist werden Techniken aus der Pferde- oder Wiederkäuermedizin angewandt (FOWLER und BRAVO, 2010e).

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Material

#### 3.1.1 Untersuchungsgut und Auswahl der Tiere

In dieser Arbeit wurden zwölf Alpakas eingehend anatomisch untersucht. Die für diese Arbeit verwendeten Tiere stammten von Privatbesitzern und waren kurz zuvor verstorben oder mussten aus medizinischen Gründen euthanasiert werden. Vier der Tiere waren Fohlen und stammten aus dem Patientengut der Klinik für Wiederkäuer mit Ambulanz und Bestandsbetreuung der Ludwig-Maximilians-Universität in Oberschleißheim. Die restlichen Tiere waren adult und wurden in der Umgebung von München euthanasiert und an den Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie der Ludwig-Maximilians-Universität in München transportiert. Es wurde darauf geachtet, dass keines der Tiere gesundheitliche Einschränkungen der Vordergliedmaße hatte, welche die anatomischen Untersuchungen beeinflusst hätten. Für weitere Angaben zum Vorbericht siehe Tabelle 2.

*Tabelle 2: Untersuchungsgut (n=12).*

Nr.	Geschlecht	Alter	Gewicht	Rasse
1	männlich, kastriert	ca. 17 Jahre	ca. 40 kg	Huacaya
2	männlich	19 Tage	7 kg	Huacaya
3	weiblich	1 Tag	5,5 kg	Huacaya
4	männlich	3 Monate	23 kg	Huacaya
5	weiblich	16 Jahre	ca. 50 kg	Suri
6	weiblich	13 Jahre	62 kg	Huacaya
7	männlich	22 Jahre	58 kg	Huacaya
8	weiblich	10 Monate	21 kg	Huacaya
9	weiblich	20 Jahre	47 kg	Huacaya
10	männlich	17 Jahre	57 kg	Huacaya
11	männlich, kastriert	14 Jahre	55 kg	Huacaya
12	männlich, kastriert	ca. 12 Jahre	67 kg	Huacaya

## **3.2 Methoden**

### **3.2.1 Zerlegung und Lagerung der Präparate**

Nach Anlieferung der Tierkörper am Lehrstuhl wurden diese, je nach Weiterverarbeitung, unverzüglich bei  $-20^{\circ}\text{C}$  tiefgefroren oder bei  $4^{\circ}\text{C}$  gekühlt. Vor Beginn der Sektion wurden die tiefgefrorenen Tiere über mehrere Tage bei Raumtemperatur gelagert, um trotz des gut isolierenden Felles ein zügiges Auftauen zu ermöglichen. Nach dem Auftauen bzw. der Anlieferung wurden die Tiere zerlegt. Dabei wurden die beiden Vordergliedmaßen mit einem scharfen Messer nahe am Thorax bzw. an der Hals- und Brustwirbelsäule abgetrennt, so dass die A. und V. subclavia durchtrennt wurden, um den Plexus brachialis und die A. und V. axillaris zu schonen.

Bevor die Haut der Gliedmaßen vollständig entfernt wurde, wurden die Blutgefäße mit Latexmilch (Lm) injiziert. Dieses Vorgehen wird in Kapitel 3.2.2.2 näher beschrieben. Bei drei Tieren wurden die Gefäße der Gliedmaßen mit einem Latexmilch-Bariumsulfat-Gemisch (Lm +  $\text{BaSO}_4$ ) injiziert und geröntgt. Anschließend wurden von diesen Gliedmaßen Querschnitte angefertigt, um die topographische Beziehung der Blutgefäße, Nerven und Muskeln zu den Gelenken darzustellen. Dieses Vorgehen wird in Kapitel 3.2.2.4 erläutert.

Schließlich wurde die Haut der Gliedmaßen abpräpariert. Nach Zerlegung der Tiere und Entfernung der Haut wurden die Gliedmaßen in eine Lake aus 10% Pökelsalz (NITRIT PÖKELSALZ jodiert, Natriumnitrit E250 0,4-0,5%, Kaliumjodat 0,0025-0,0042%, Firma: Südwestdeutsche Salzwerke AG, Heilbronn, Germany), 0,005% Formalin (Formaldehyd 35%, Firma: VWR CHEMICALS BDH Prolabo®, Fontenay-sous-Bois, France) und Wasser eingelegt und anschließend im Kühlraum bei  $4^{\circ}\text{C}$  gelagert.

Die Ergebnisse und einzelnen Zwischenschritte der Präparation wurden für die spätere Auswertung in einem Arbeitsplan festgehalten und fotografisch dokumentiert.

### **3.2.2 Präparationsmethoden**

An den Vordergliedmaßen der zwölf Alpakas wurden im Zeitraum von August 2017 bis Januar 2019 am Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie der Ludwig-Maximilians-Universität in München verschiedene Untersuchungen zur klinischen und topografischen Anatomie durchgeführt.

### 3.2.2.1 Darstellung von Muskeln und Leitungsbahnen

Für die topografische Anatomie der Vordergliedmaße des Alpakas wurden die Gliedmaßen zunächst nach den üblichen Präparationsmethoden mit Skalpell und Pinzette präpariert. Dabei wurden nach Entfernung der Haut Überreste der Schultergürtelmuskulatur anatomisch bestimmt und entfernt. Anschließend folgte die präzise Präparation des Plexus brachialis und der Gefäße. Das Bindegewebe wurde mit einer Pinzette von Nerven und Gefäßen abgezupft. Nach der Darstellung aller Plexusnerven, Arterien und Venen im proximalen Bereich der Gliedmaße wurden diese weiter nach distal bis zur Gliedmaßenspitze verfolgt und freipräpariert. Während dieses Vorganges wurden auch die in der Literatur beschriebenen Muskeln nachvollzogen, bestimmt und dokumentiert. Für diese Präparationsmethode wurden elf Gliedmaßen von neun Tieren (1-8, 12) verwendet. Die Lymphknoten wurden dabei von acht Tieren dokumentiert (1-3, 5-7, 8, 12).

### 3.2.2.2 Blutgefäßpräparate

#### Darstellung der Arterien

Zur Darstellung der Arterien wurde rotgefärbte Latexmilch (Farbtyp rot, Firma: La-Gum, Elmshorn) in die A. axillaris injiziert. Die Gliedmaßen wurden dafür über ca. 24 Stunden bei Raumtemperatur aufgetaut. Zunächst wurde eine Injektionsnadel (2,1 x 80 mm) stumpf geschliffen und poliert, um ein Verletzen des Gefäßes durch Verrutschen der Kanüle zu vermeiden. Zwei 20 ml Einmalspritzen wurden mit je 20 ml Latexmilch blasenfrei aufgezogen. Außerdem wurde 10%ige Essigsäure (Essigsäure 99-100%, zur Synthese, Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe) und ein Tupfer bereitgelegt, um Latexmilch, welche unerwünscht aus den Gefäßen austrat, sofort zum Gerinnen zu bringen. Mit Skalpell und Pinzette wurde das Gefäß unter Schonung der umliegenden Strukturen freigelegt und zwei Ligaturen vorgelegt. Nach Einführen der stumpfen Metallkanüle wurden beide Ligaturen um die Arterie mit einem einfachen Knoten leicht angezogen und die Latexmilch anschließend langsam mit konstantem manuellem Druck in den Gefäßbaum der Gliedmaße injiziert. Das Wechseln der Spritzen erfolgte zügig mit Hilfe einer zweiten Person, um die zurückfließende Menge an Latexmilch so gering wie möglich zu halten. Um zu prüfen, ob sich die Latexmilch im gesamten arteriellen Gefäßbaum verteilt hat, wurde die Haut distal im Bereich des Metakarpus inzidiert. Sobald mit Latexmilch gefüllte Hautgefäße im Bereich der

eröffneten Haut gefunden werden konnten und die A. axillaris im proximalen Gliedmaßenbereich prall gefüllt war, wurde die Injektion beendet. Dabei wurde die Injektionsnadel mit aufgesetzter Spritze langsam aus dem Gefäß gezogen und die beiden Ligaturen nacheinander von der Hilfsperson festgezogen.

In Tabelle 3 sind die mit roter Latexmilch injizierten Tiere mit der jeweils benötigten Menge aufgelistet.

*Tabelle 3: Teiluntersuchung: Darstellung der Arterien (n=9).*

Nr.	Geschlecht	Alter	Gewicht	Gldm.	Volumen injizierter Latexmilch
1	männlich, kastriert	17 Jahre	40 kg	rechts	35 ml
2	männlich	19 Tage	7 kg	beide	100 ml über A. carotis communis injiziert
3	weiblich	1 Tag	5,5 kg	rechts	6,5 ml
4	männlich	3 Monate	23 kg	links	15 ml
5	weiblich	16 Jahre	50 kg	links rechts	40 ml 40 ml
6	weiblich	13 Jahre	62 kg	rechts	30 ml
7	männlich	22 Jahre	58 kg	rechts	30 ml
8	weiblich	10 Monate	21 kg	beide	360 ml über A. carotis communis injiziert
12	männlich, kastriert	ca. 12 Jahre	67 kg	beide	660 ml über A. carotis communis injiziert

Nach Injektion der Latexmilch wurden die Gliedmaßen bei 4°C im Kühlraum gelagert, um die Latexmilch gerinnen zu lassen. Nach frühestens 24 Stunden wurde mit der Entfernung der Haut begonnen.

### Darstellung der Venen

Zur Darstellung der Venen wurde blaue Latexmilch gewählt. Für die Injektion wurde die Haut auf der palmaren Gliedmaßenseite proximal des Fesselgelenkes ca. 4 cm weit inzidiert und die V. digitalis palmaris communis III über eine Länge von ca. 1 cm freipräpariert. Der distale Injektionsort und die proximale Injektionsrichtung wurden

gewählt, damit der Fluss der Latexmilch in der physiologischen Richtung durch die Venenklappen erfolgte. Danach wurden zwei Kanülen stumpfgeschliffen und poliert und vier Ligaturen vorgelegt: zwei für die proximale und zwei für die distale Kanüle. Zunächst wurde die freipräparierte Vene längs über 3 bis 4 mm inzidiert. Anschließend wurde die dünne Kanüle (0,9 x 40 mm) in distaler Richtung unter leichter Drehbewegung vorgeschoben und die beiden Ligaturen mit einem einfachen Knoten angezogen. Als nächstes wurde die größere Kanüle (2,1 x 80 mm) in entgegengesetzte Richtung nach proximal durch dieselbe Öffnung eingeführt und nach dem gleichen Prinzip befestigt.

In distaler Richtung wurde eine kleine Menge an Latexmilch injiziert, bis die Vene deutlich gefüllt war. Die Injektionsnadel wurde langsam aus dem Gefäß entfernt und die beiden Ligaturen von einer Hilfsperson festgezogen, um ein Ausfließen der Latexmilch zu verhindern. In proximaler Richtung wurde nach dem gleichen Prinzip verfahren. Hierbei musste darauf geachtet werden, dass über die Venen am proximalen Gliedmaßenende keine Latexmilch austreten konnte. Sobald blaue Latexmilch in diesem Bereich ankam, wurde entweder eine schon vorgelegte Ligatur unverzüglich verschlossen oder die dort ankommende Latexmilch mit einem Essigsäuretupfer zum Gerinnen gebracht. Auch hier wurde die Injektion beendet, sobald die V. axillaris fühlbar prall gefüllt war. Wie bei der Injektion der roten Latexmilch wurden die Tiere für mindestens 24 Stunden bei 4°C im Kühlraum gelagert, um das Gerinnen der Latexmilch zu ermöglichen und erst anschließend mit der Abpräparation der Haut begonnen.

In Tabelle 4 sind die mit blauer Latexmilch injizierten Tiere mit der jeweils benötigten Menge aufgelistet.

*Tabelle 4: Teiluntersuchung: Darstellung der Venen (n=3).*

<b>Nr.</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>Alter</b>	<b>Gewicht</b>	<b>Gldm.</b>	<b>Volumen injizierter Latexmilch</b>
<b>4</b>	männlich	3 Monate	23 kg	rechts	15 ml (proximal)
<b>6</b>	weiblich	13 Jahre	62 kg	rechts	2,5 ml (distal) 40 ml (proximal)
<b>7</b>	männlich	22 Jahre	58 kg	rechts	2 ml (distal) 31,5 ml (proximal)

Bei zwei Tieren wurden sowohl Venen als auch Arterien der gleichen Gliedmaße injiziert (6, 7). Bei diesem Vorgehen wurden als erstes die Arterien und anschließend die Venen injiziert.

Abb. 2 zeigt den Versuchsaufbau für die Injektion der Arterien mit roter Latexmilch und Bariumsulfat ( $\text{BaSO}_4$ ).



Abb. 2: Material für Blutgefäßpräparate, linke Vordergliedmaße eines 1 Tag alten weiblichen Huacaya-Crias.

### 3.2.2.3 Gelenkpräparate

#### Röntgenbilder der Gelenke

Zur Darstellung der knöchernen Strukturen und im Besonderen der Gelenke wurden jeweils von einer Schultergliedmaße eines jeden Tieres Röntgenbilder angefertigt. Hierfür wurde das Röntgengerät (Firma: Siemens, Modell: OPTITOP 150/40/80 HC-100, Flachdetektor) der Klinik für Pferde (Lehrstuhl Prof. Dr. H. Gerhards) der Ludwig-Maximilians-Universität verwendet.

Tabelle 5: Projektionsrichtung der einzelnen Röntgenaufnahmen.

Aufnahme	Projektionsrichtung	abgebildete Gelenke
1	latero-medial (l/m)	Schulter- und Ellbogengelenk
2	latero-medial	Karpal- und Zehengelenke
3	anterior-posterior (a/p)	Schulter- und Ellbogengelenk
4	dorso-palmar (d/p)	Karpal- und Zehengelenke

Für die adulten Tiere wurde die Einstellung von ca. 56 kV und 5,6 mAs verwendet, bei den Jungtieren wurde eine Einstellung von ca. 50 kV und 5,4 mAs gewählt.

*Tabelle 6: Teiluntersuchung: Röntgenaufnahmen (n=9).*

Nr.	Geschlecht	Alter	Gewicht	Gldm.	Aufnahme
1	männlich, kastriert	17 Jahre	40 kg	rechts	l/m
3	weiblich	1 Tag	5,5 kg	rechts links	l/m, d/p l/m, a/p, d/p Lm +BaSO <sub>4</sub>
4	männlich	3 Monate	23 kg	rechts links	l/m, d/p l/m, a/p, d/p
5	weiblich	16 Jahre	50 kg	links	l/m, d/p
6	weiblich	13 Jahre	62 kg	rechts	l/m, d/p
7	männlich	22 Jahre	58 kg	rechts	l/m, d/p
9	weiblich	20 Jahre	47 kg	rechts	l/m, a/p, d/p Lm + BaSO <sub>4</sub>
10	männlich	17 Jahre	57 kg	rechts	l/m Lm + BaSO <sub>4</sub>
11	männlich, kastriert	14 Jahre	55 kg	rechts	l/m, a/p, d/p Lm + BaSO <sub>4</sub>

*BaSO<sub>4</sub> – Bariumsulfat; Lm – Latexmilch; a/p – anterior-posterior, d/p – dorso-palmar; l/m – latero-medial.*

### Darstellungen der Gelenkaussackungen

Für die Darstellung der Gelenkaussackungen von Schulter-, Ellbogen-, Karpal-, Fessel- und Zehengelenken wurde zunächst die im Gelenk befindliche Synovia abgezogen, um die Gelenke anschließend möglichst vollständig mit Latexmilch füllen zu können. Dafür wurden eine Kanüle (0,9 x 40 mm) und eine 5 ml Spritze verwendet. Im Anschluss wurde Latexmilch über die noch im Gelenk befindliche Kanüle mit einer neuen Spritze injiziert. Versehentlich austretende Latexmilch konnte mit 10%iger Essigsäure (siehe 3.2.2.2) zum Gerinnen gebracht. Dadurch konnten Spritze und Nadel direkt nach der Injektion wieder entfernt und der Einstich unverzüglich verschlossen werden.

Für die Injektion ins Schultergelenk wurde entweder kaudomedial zwischen den Muskelbäuchen des M. infraspinatus, des M. coracobrachialis und des M. teres major eingestochen oder ein Einstich von lateral auf halber Strecke zwischen Akromion der Spina scapulae und Tuberculum majus des Humerus gewählt. Die Punktion des Ellbogengelenkes erfolgte entweder kaudal zwischen Epicondylus lateralis des Humerus und Olekranon in die Fossa olecrani oder von kranial zwischen Epicondylus lateralis humeri und Tuberositas radii mit horizontaler Einstichrichtung. Das Karpalgelenk wurde vor der Injektion stark gebeugt und die Gelenktagen ertastet. Es wurde kranial medial der Strecksehnen in die proximale Gelenkebene injiziert. Die Zehengelenke wurden ebenfalls von dorsal bei gebeugtem Gelenk injiziert. Die Präparate wurden anschließend wieder zurück in die Konservierungslösung gelegt und im Kühlraum bei 4° gelagert. Die gezielte Präparation des Gelenkes mit Entfernung der Gelenkkapsel fand einige Tage nach Injektion der Latexmilch statt, um das vollständige Aushärten der Latexmilch zu gewährleisten.

In Tabelle 7 sind die Tiere aufgelistet, bei denen unterschiedliche Gelenke mit Latexmilch (Lm) ausgespritzt wurden.

Tabelle 7: Teiluntersuchung: Darstellung der Gelenkaussackungen (n=7).

Nr.	Gldm.	Schultergelenk	Ellbogen-gelenk	Karpal-gelenk	Prox. Zehen-gelenk	Mittl. Zehen-gelenk
1	rechts	10 ml (Lm, blau)	20 ml (Lm, blau)	2 ml (Lm, blau)	k.A.	1 ml (Lm, gelb)
2	rechts	6 ml (Lm, gelb)	6 ml (Lm, gelb)	k.A.	0,5 ml (Lm, gelb)	0,5 ml (Lm, gelb)
3	rechts	4 ml (Lm, gelb)	6 ml (Lm, gelb)	k.A.	k.A.	k.A.
4	rechts	7 ml (Lm, gelb)	12 ml (Lm, gelb)	k.A.	1 ml (Lm, gelb)	1 ml (Lm, gelb)
5	rechts	20 ml (Lm, blau)	24,5 ml (Lm, blau)	4,5 ml (Lm, blau)	1 ml (Lm, gelb)	1 ml (Lm, gelb)
6	rechts	7 ml (Lm, gelb)	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
7	rechts	10 ml (Lm, gelb)	17,5 ml (Lm, gelb)	k.A.	2 ml (Lm, gelb)	2 ml (Lm, gelb)

k.A. – keine Angabe; Lm – Latexmilch.

### 3.2.2.4 Querschnitte der Gliedmaßen

Von drei Tieren wurden jeweils von der rechten Vordergliedmaße Querschnitte angefertigt. Dazu wurden die Gliedmaßen nach der Injektion eines Latexmilch-Bariumsulfat-Gemisches und dem Röntgen der Gelenke in gestreckter Haltung tiefgefroren. Anschließend wurden die Gliedmaßen mit einer Bandsäge in ca. 1,5 cm dicke Scheiben geschnitten und fotografiert. Hierfür wurde auf die Schnittfläche Alkohol geträufelt, um die Farben der Muskulatur zur Geltung kommen zu lassen.

Tabelle 8: Teiluntersuchung: Anatomische Querschnitte (n=3).

Nr.	Geschlecht	Alter	Gewicht	Gldm.	Volumen injizierter Latexmilch
9	weiblich	20 Jahre	47 kg	rechts	35 ml Lm + BaSO <sub>4</sub> (rot)
10	männlich	17 Jahre	57 kg	rechts	20 ml Lm + BaSO <sub>4</sub> (rot)
11	männlich, kastriert	14 Jahre	55 kg	rechts	40 ml Lm + BaSO <sub>4</sub> (blau)

BaSO<sub>4</sub> – Bariumsulfat; Lm – Latexmilch.

### 3.2.2.5 Knochenpräparate

Nach der anatomischen Präparation wurden die Knochen von vier Tieren (1, 4, 6, 7) möglichst vollständig von Muskeln, Bändern und Bindegewebe befreit und anschließend mazeriert. Hierfür wurde eine Lösung aus 20g Waschmittel (AROWelding Technologies SAS, 1 Avenue de Tours BP 40161, 72500 Château du Loir France) pro 1 Liter Wasser erstellt, in welcher die Knochen für ca. eine Woche bei 65°C im Wärmeschrank (Firma memmert®) eingelegt wurden. Nach Bedarf wurde diese Lösung gewechselt. Anschließend lagerten die Knochen für ca. 5 Wochen in Aceton (Aceton 99,5%, Firma Merck). Danach wurden die Knochen zum Trocknen unter einem Abzug gelagert und je nach Zustand noch für ca. 3 Tage in 5%iger H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösung (Wasserstoffperoxid 35% CLN, Firma Merck) gebleicht.

### 3.2.3 Dokumentation der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden fotografisch mit einer digitalen Spiegelreflexkamera (Olympus®, E-620) festgehalten. Es wurde für Übersichtsaufnahmen der Gliedmaßen ein Olympus® Zuiko Digital ED 14-42mm f3.5-5.6 Objektiv und für Makroaufnahmen ein Olympus® Zuiko Digital 35 mm f3.5 Makroobjektiv verwendet. Als Hilfsmittel für die Fotografien wurde außerdem ein Stativ und ein Polfilter (hama® PL CIR Ø 58 (IV) und Ø 52) verwendet, um möglichst verwacklungsfreie Bilder zu erhalten und Glanzlichter zu vermeiden. Für Detailaufnahmen wurden die Präparate außerdem auf einem stationären Stativ, welches mit Polarisationsfolien ausgestattet war, fotografiert. Damit

bei der späteren Bildbearbeitung ein korrekter Maßstab eingefügt werden konnte, wurde bei jeder Aufnahme ein Lineal mit Zentimeter- und Millimeterangaben neben das Präparat gelegt. Außerdem wurden die Präparate zur Erleichterung der späteren Bearbeitung auf einer matten, schwarzen Teichfolie gelagert. Nach jedem Präparationsschritt wurden Bilder angefertigt und so Schicht für Schicht abpräpariert. Zusätzlich zur fotografischen Dokumentation wurden alle Ergebnisse auch in schriftlicher Form festgehalten. Abschließend wurden die Bilder mit dem Programm Adobe® Photoshop® CS2 Version 9.0 (Adobe Systems Incorporated, United States) bearbeitet und beschriftet. Der Hintergrund wurde einheitlich schwarz gefärbt und ein Maßstab eingefügt. Störende Glanzlichter, Schmutz und Haare, welche bei der Präparation übersehen worden waren, wurden zudem nachträglich entfernt. Aus einem Teil dieser Bilder wurden schließlich Schemazeichnungen erstellt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Topografische Anatomie der Gelenke

#### 4.1.1 Schultergelenk (Articulatio humeri)

##### Knöcherne Grundlage

Das Schultergelenk des Alpakas ist ein Kugelgelenk (Articulatio sphaeroidea), welches von der Cavitas glenoidalis des Schulterblattes und dem Caput humeri des Oberarmbeines gebildet wird.

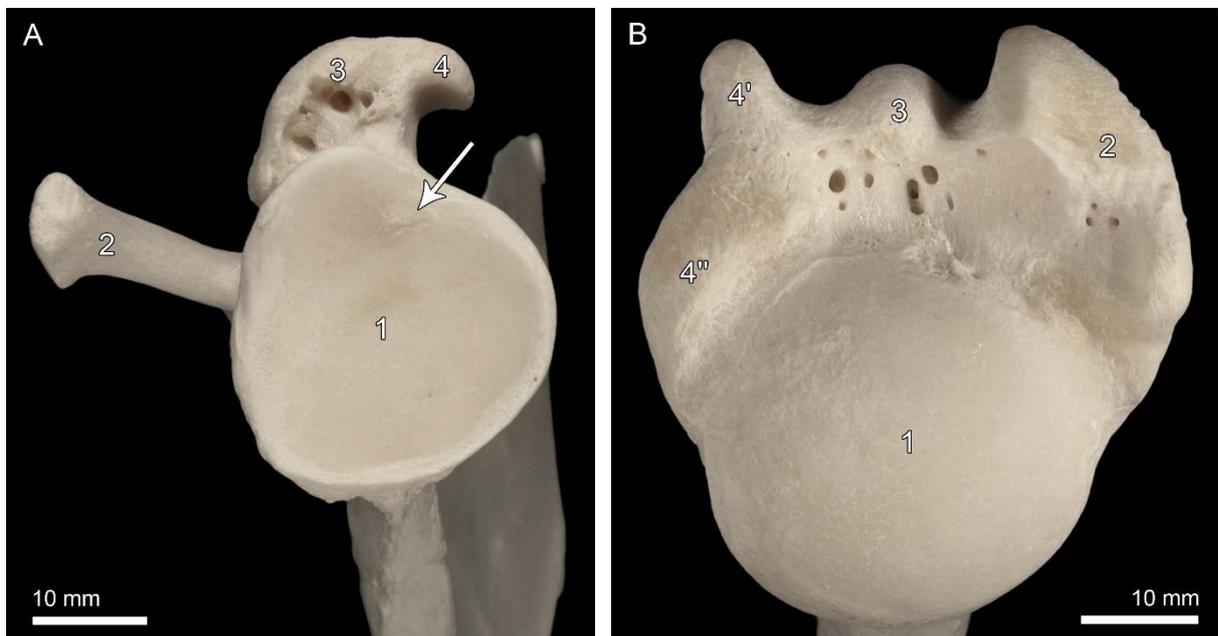


Abb. 3: Knöcherne Grundlage des rechten Schultergelenkes einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute:

A: Cavitas glenoidalis, Ansicht von kranioventral:

1 – Cavitas glenoidalis mit Incisura glenoidalis (Pfeil); 2 – Acromion mit Processus hamatus; 3 – Tuberculum supraglenoidale mit Ursprung der Sehne des M. biceps brachii und Ligamentum glenohumerale; 4 – Processus coracoideus.

B: Caput humeri, Ansicht von kaudodorsal:

1 – Facies articularis des Caput humeri; 2 – Tuberculum majus; 3 – Tuberculum intermedium; 4', 4'' – Tuberculum minus: 4' Pars cranialis, 4'' Pars caudalis.

Die Facies articularis der Cavitas glenoidalis ist durch einen sehr schmalen Saum (Labrum glenoidale) vergrößert. Ihre regelmäßige ovale Form wird am kranialen Rand ventral des Tuberculum supraglenoidale durch eine Erweiterung und nach medial

anschließend durch eine Einziehung (Incisura glenoidalis) unterhalb des Processus coracoideus unterbrochen. An dieser Stelle verlaufen die Ursprungssehne des M. biceps brachii und das Ligamentum glenohumerale über das Gelenk. Ein Tuberculum infraglenoidale ist nicht darstellbar (Abb. 3).

Der Kopf des Humerus ist annähernd halbkugelförmig und die Gelenkfläche des Humeruskopfes ist insgesamt größer als die der Gelenkpfanne des Schulterblattes, wie auf den Knochenpräparaten in Abb. 3 und den Röntgenaufnahmen in Abb. 4 erkennbar ist.

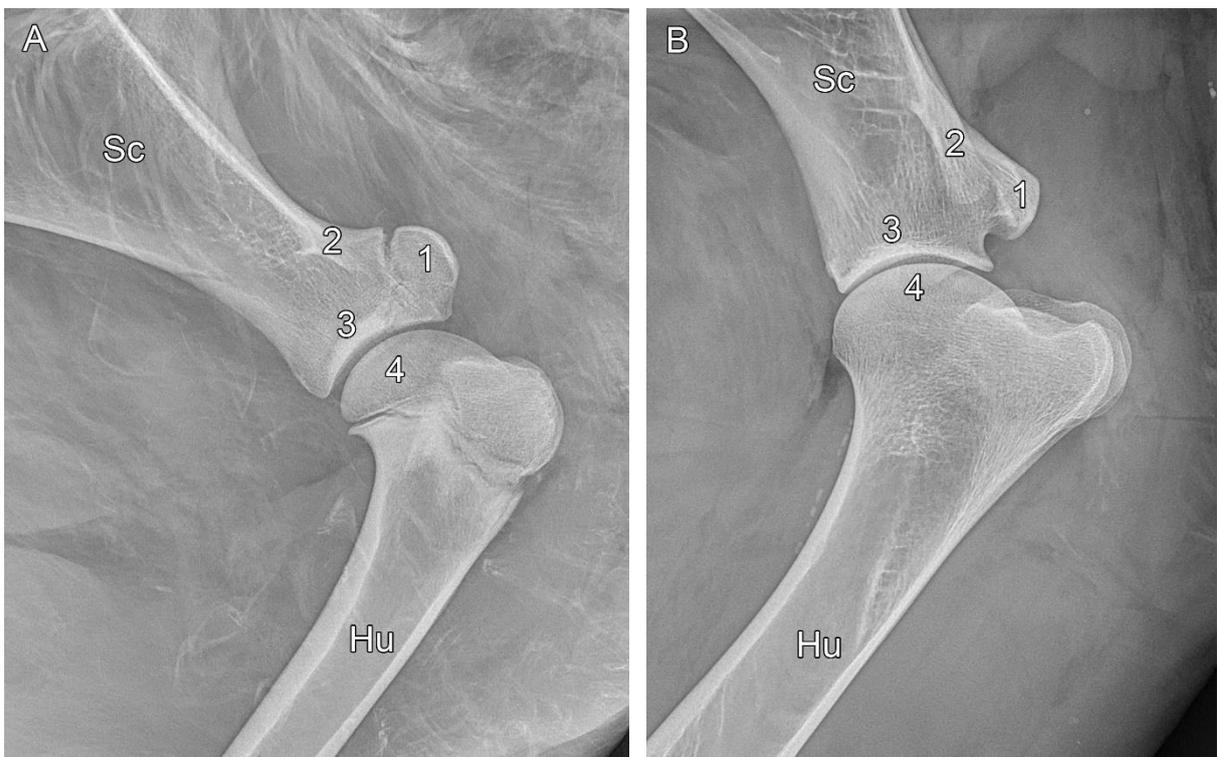


Abb. 4: Lateromediale Röntgenaufnahme jeweils des rechten Schultergelenkes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes mit Wachstumsfugen (A) und einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute (B):

Hu – Humerus; Sc – Scapula.

1 – Tuberculum supraglenoidale; 2 – Acromion mit Processus hamatus; 3 – Cavitas glenoidalis; 4 – Caput humeri.

### Muskulatur des Schultergelenkes

Die Muskulatur des Schultergelenkes umfasst lateral den M. deltoideus, den M. supraspinatus, den M. infraspinatus sowie den M. teres minor.

Der **M. deltoideus** hat eine Pars acromialis und eine Pars scapularis, welche sehnig am Akromion und der Spina scapulae bzw. der Aponeurose des M. infraspinatus entspringen und fleischig an der Tuberositas deltoidea lateral am Humerusschaft ansetzen (Abb. 5).

Der **M. supraspinatus** entspringt in der Fossa supraspinata und am Cartilago scapulae. An seinem Ansatz überspannt er den Sulcus intertubercularis vom Tuberculum majus zur Pars cranialis des Tuberculum minus und lässt die Sehne des M. biceps brachii zwischen seinen Endästen hindurchtreten.

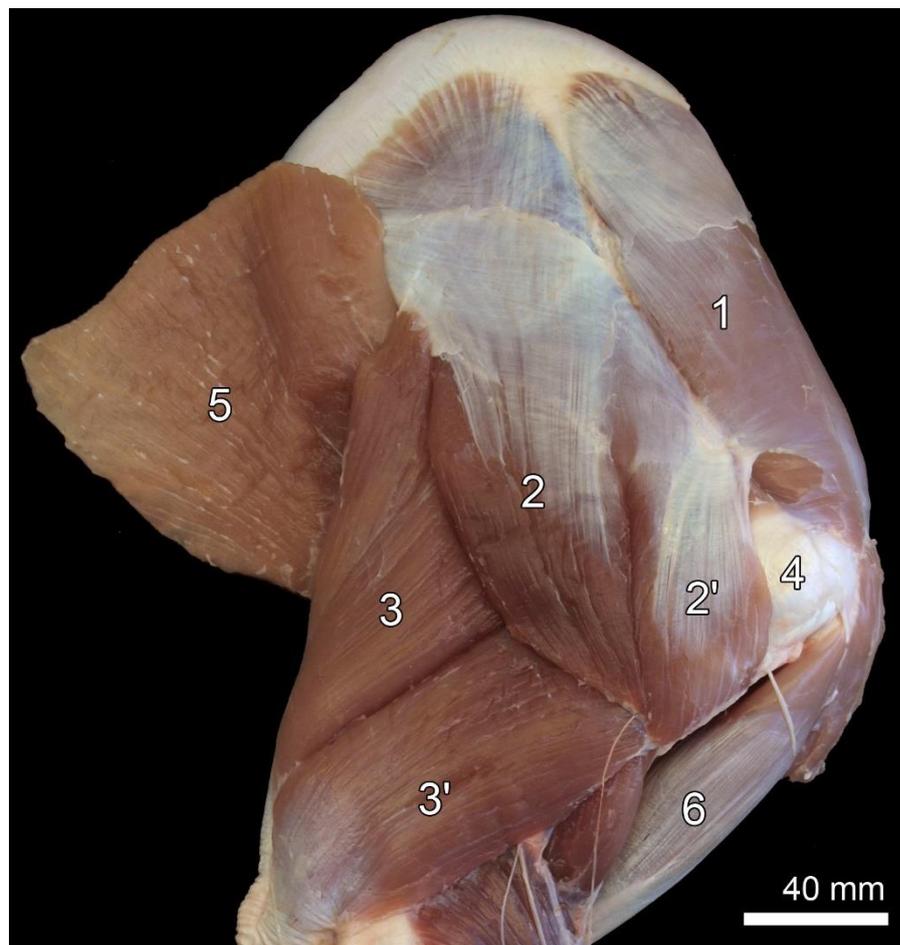


Abb. 5: Laterale Muskulatur des rechten Schultergelenkes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht:

1 – M. supraspinatus; 2, 2' – M. deltoideus: 2 Pars scapularis, 2' Pars acromialis; 3, 3' – M. triceps brachii: 3 Caput longum, 3' Caput laterale; 4 – Endsehne des M. infraspinatus; 5 – M. latissimus dorsi; 6 – M. biceps brachii.

Der **M. infraspinatus** füllt die Fossa infraspinata des Schulterblatts vollständig aus und ist mit seiner fächerförmigen zentralen Zwischensehne am stärksten von allen Schultergelenksmuskeln sehnig durchsetzt (Abb. 6). Seine Endsehne setzt

kraniolateral am einheitlichen Tuberculum majus an.

Der schwächste laterale Schultergelenksmuskel ist der **M. teres minor**, welcher am kaudalen Schulterblattrand entspringt und distal der Sehne des M. infraspinatus am Humerus ansetzt (Abb. 6).

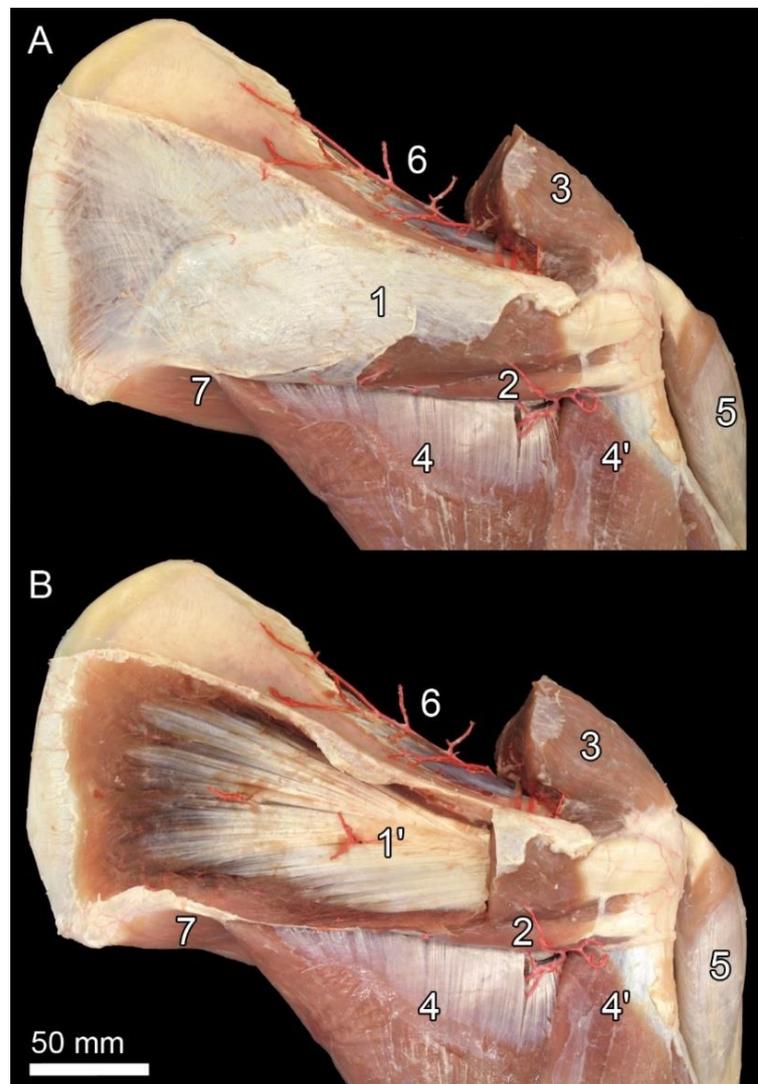


Abb. 6: Regio scapularis einer 16 Jahre alten Suri-Stute, Lateralansicht, rechte Gliedmaße, M. deltoideus vollständig und M. supraspinatus teilweise entfernt:

Oberflächlicher (A) und tiefer (B) Anteil des M. infraspinatus mit fächerförmiger Zwischensehne;

1, 1' – M. infraspinatus: 1' fächerförmige Zwischensehne; 2 – M. teres minor; 3 – Stumpf des M. supraspinatus; 4, 4' – M. triceps brachii: 4 Caput longum, 4' Caput laterale; 5 – M. biceps brachii; 6 – A. suprascapularis; 7 – M. teres major.

Die mediale Muskulatur des Schultergelenkes umfasst den M. subscapularis, den M. teres major sowie den M. coracobrachialis.

Der **M. subscapularis** entspringt sehnig durchsetzt in der Fossa subscapularis und inseriert an der Pars caudalis des Tuberculum minus.

Der **M. teres major** entspringt im ventralen Abschnitt des kaudalen Schulterblattrandes und setzt gemeinsam mit dem M. latissimus dorsi an. Er ist hauptsächlich fleischig und hat nur eine kurze Ansatzsehne zur Tuberositas teres major.

Vom Processus coracoideus entspringt die Sehne des **M. coracobrachialis**. Diese ist sehr kräftig und überspannt das Schultergelenk medial. Der Ansatz dieses Muskels befindet sich medial und proximal am Humerusschaft. Dadurch überspannt die Sehne des M. coracobrachialis die Ansatzsehne des M. subscapularis medial und bildet ein stabiles Sehnenkreuz (Abb. 7).

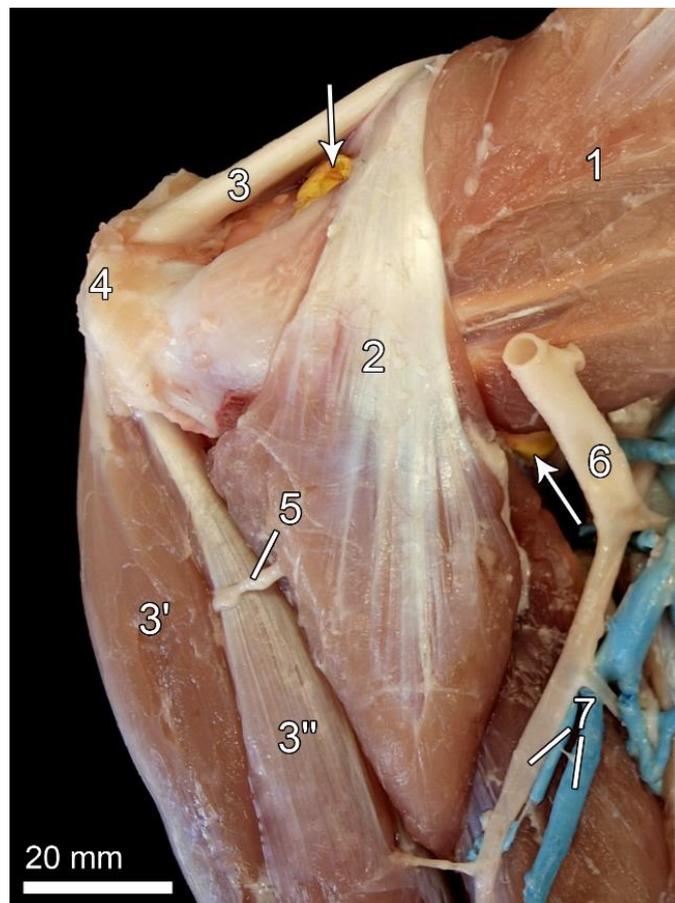


Abb. 7: *M. coracobrachialis* eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Medialansicht, rechte Gliedmaße, *M. supraspinatus* entfernt:

1 – *M. subscapularis*; 2 – *M. coracobrachialis*; 3, 3', 3'' – *M. biceps brachii*: 3 Ursprungssehne, 3' kranialer und 3'' kaudaler Teil; 4 – *Retinaculum transversum*; 5 – proximaler *R. muscularis* des *N. musculocutaneus*; 6 – *A. axillaris*; 7 – *A./V. brachialis*.

Pfeile: Schultergelenkhöhle, gefüllt mit gelber Latexmilch.

### Gelenkkapsel und Gelenkbänder

Die Gelenkkapsel (Capsula articularis) ist geräumig und wird kranial von einem Band (Ligamentum glenohumerale) verstärkt, welches sich kurz nach seinem Ursprung bei den untersuchten Tieren auf unterschiedliche Weise in zwei Schenkel teilt. Der laterale Schenkel von der Basis des Tuberculum supraglenoidale zur Basis des Tuberculum majus humeri war bei allen Tieren gleichermaßen zu finden. Der mediale Schenkel unterteilte sich weiter und setzte bei drei Tieren mit einem schmalen Strang am proximalen Rand des Tuberculum intermedium und einem flächigen Schenkel proximal an der Pars caudalis des Tuberculum minus des Humerus an. Bei den restlichen Tieren war der mediale Schenkel nicht unterteilt und setzte lediglich an der Pars caudalis des Tuberculum minus humeri an (Abb. 8).

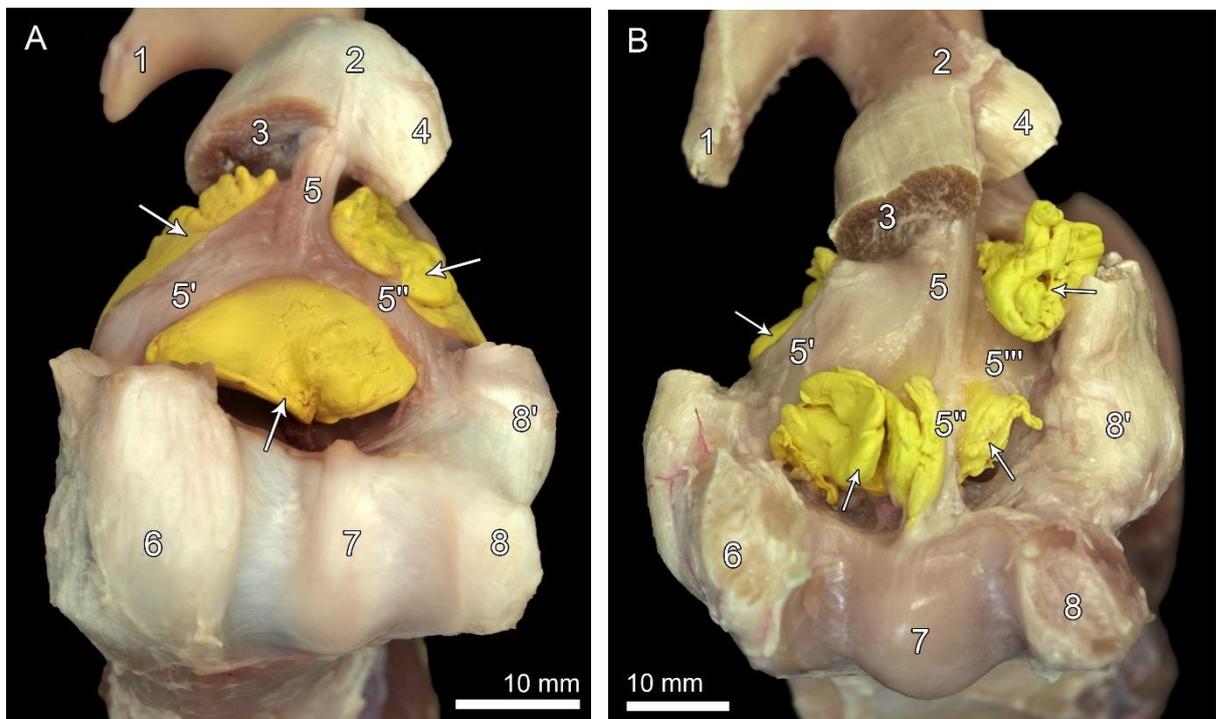


Abb. 8: Rechtes Schultergelenk eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes (A) und eines 22 Jahre alten Huacaya-Hengstes (B), Kranialansicht, *M. supra- und infraspinatus*, *M. biceps brachii*, *M. coracobrachialis* sowie *M. subscapularis* entfernt:

1 – Acromion mit *Processus hamatus*; 2 – *Tuberculum supraglenoidale*; 3 – Sehne des *M. biceps brachii* (abgeschnitten); 4 – Sehne des *M. coracobrachialis* (abgeschnitten); 5, 5', 5'', 5''' – *Ligamentum glenohumerale*: 5' lateraler Schenkel und 5'', 5''' medialer Schenkel; 6 – *Tuberculum majus*; 7 – *Tuberculum intermedium*; 8, 8' – *Tuberculum minus*: 8 Pars cranialis und 8' Pars caudalis.

Pfeile: Schultergelenkhöhle, gefüllt mit gelber Latexmilch.

Die Gelenkkapsel besitzt zudem einige Ausbuchtungen. Kaudal war sie bei allen Tieren einheitlich weit. Kranial entstehen durch das kapselverstärkende Band drei Ausbuchtungen (Abb. 8). Nach medial wölbt sich die Kapsel unter der Endsehne des M. subscapularis und des M. coracobrachialis vor. Eine weitere Aussackung befindet sich zwischen Tuberculum majus und Pars cranialis des Tuberculum minus unter der Sehne des M. biceps brachii und kranio-lateral buchtet sich die Gelenkkapsel unter der Sehne des M. infraspinatus aus. Diese Aussackungen waren bei allen Tieren gleichermaßen zu finden. Das Volumen der mit Latexmilch injizierten Gelenkhöhle beträgt 4-10 ml, abhängig von Größe und Alter des Tieres (n=7).

#### Besonderheiten an der Ursprungssehne des M. biceps brachii

Die Ursprungssehne des M. biceps brachii ist beim Alpaka von einem eigenständigen Schleimbeutel (Bursa intertubercularis) umgeben, welcher keinerlei Kontakt zum Cavum articulare des Schultergelenkes hat (Abb. 9).

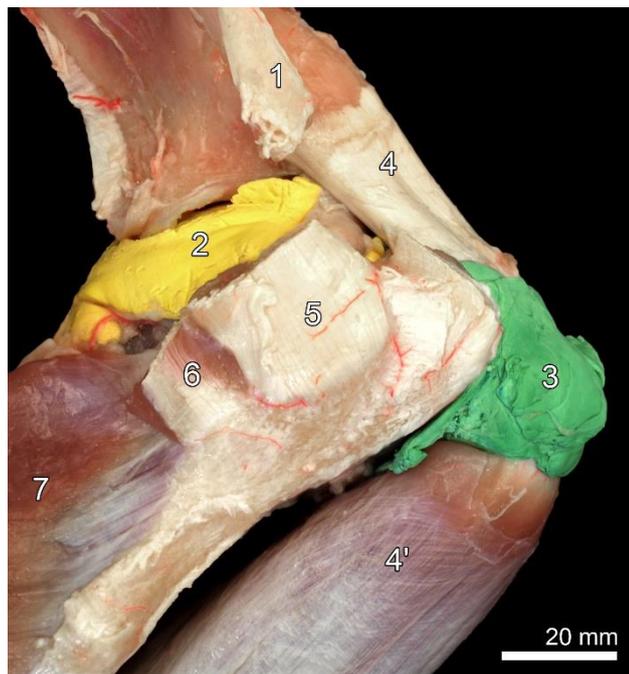


Abb. 9: Rechtes Schultergelenk eines 22 Jahre alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht, M. deltoideus, M. supra- und infraspinatus sowie M. teres minor entfernt:

1 – Acromion mit Processus hamatus; 2 – Gelenkausguss des Schultergelenkes; 3 – Ausguss der Bursa intertubercularis; 4, 4' – Sehne und Muskelbauch des M. biceps brachii; 5 – Sehne des M. infraspinatus (abgeschnitten); 6 – Sehne des M. teres minor (abgeschnitten); 7 – Caput laterale des M. triceps brachii.

Die Ursprungssehne wird von einem Retinaculum transversum, welches vom Tuberculum majus zur Pars cranialis des Tuberculum minus humeri zieht, im Sulcus intertubercularis gehalten (Abb. 10).

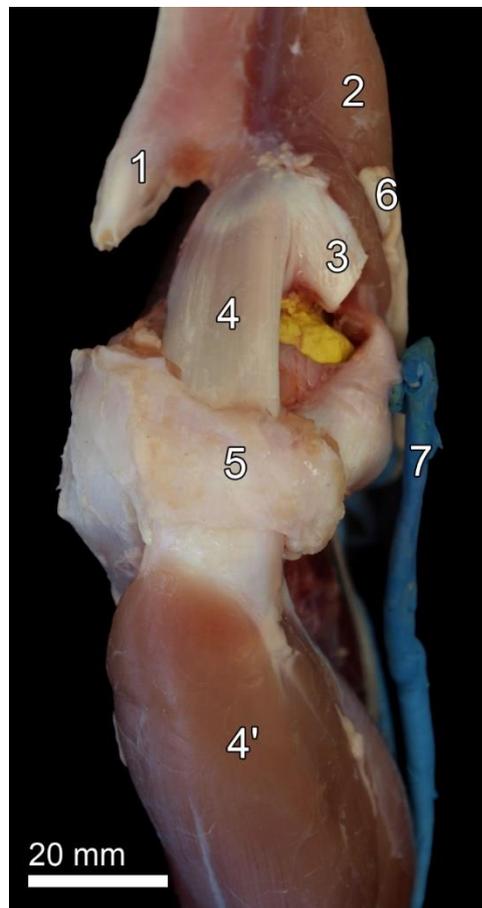


Abb. 10: Rechtes Schultergelenk eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Kranialansicht, *M. supraspinatus* und *M. coracobrachialis* entfernt:

1 – Acromion mit *Processus hamatus*; 2 – *M. subscapularis*; 3 – Sehne des *M. coracobrachialis*; 4, 4' – Sehne und Muskelbauch des *M. biceps brachii*; 5 – *Retinaculum transversum*; 6 – Nerven des *Plexus brachialis*; 7 – *V. axillaris*.

Bemerkenswert an der Ursprungssehne des *M. biceps brachii* ist eine deutliche knorpelige Verstärkung der Sehne, welche vor allem bei den älteren Tieren stark ausgeprägt war. Sie befindet sich direkt über dem Tuberculum intermedium und wird von diesem eingedrückt, so dass auf der Rückseite der Sehne eine Kuhle entsteht (Abb. 11).

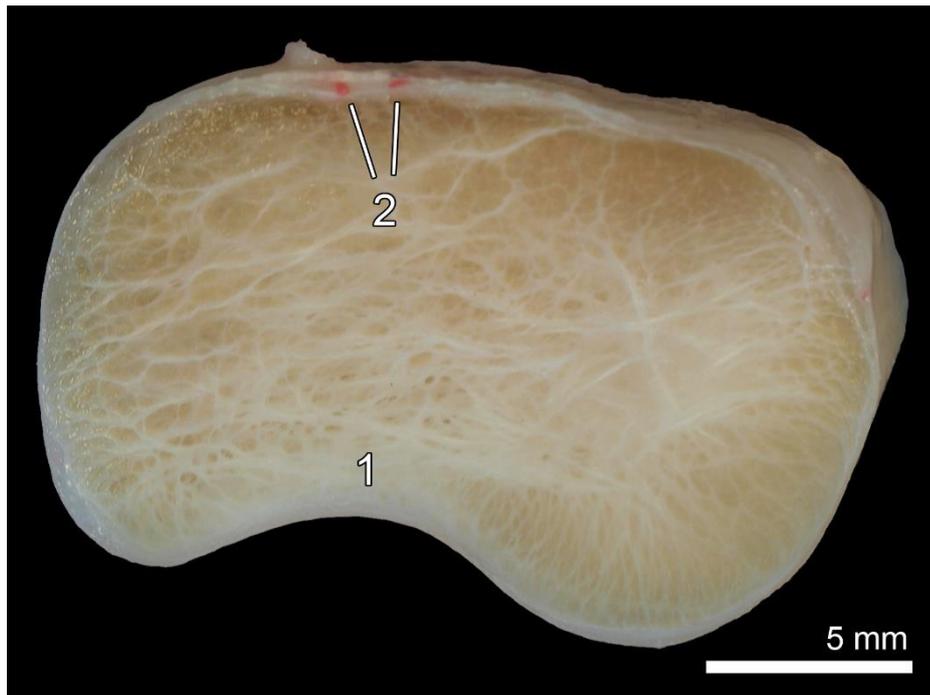


Abb. 11: Querschnitt der rechten Ursprungssehne des M. biceps brachii einer 16 Jahre alten Suri-Stute, Querschnitt auf Höhe des Tuberculum intermedium:

1 – Eindruck des Tuberculum intermedium des Humerus auf der Sehnenrückseite;  
2 – Gefäße im Epitendineum.

### Topografie des Schultergelenkes

Das Schultergelenk wird lateral vom M. supraspinatus, vom M. infraspinatus, vom M. teres minor und darüber von den beiden Teilen (Pars acromialis und scapularis) des M. deltoideus bedeckt. Über diesen Muskeln schließen sich nach lateral die Schultergürtelmuskulatur und die Haut an. Kranial wird das Schultergelenk von der Ursprungssehne des M. biceps brachii und vom M. brachiocephalicus überdeckt. Zwischen diesen beiden Muskeln ist die V. cephalica zu finden. Medial des Gelenkes befindet sich die Sehne des M. subscapularis und des M. coracobrachialis. Außerdem überspannt die Pektoralismuskulatur die kraniomediale Fläche des Schultergelenkes. Des Weiteren verlaufen medial die Leitungsbahnen für die Vordergliedmaße nach distal. Im kaudalen Gelenkwinkel wird die Kapsel vom N. axillaris und der A. und V. circumflexa humeri caudalis umrundet.

Abb. 12 stellt einen Querschnitt der rechten Schultergliedmaße auf Höhe des Schultergelenkes dar.

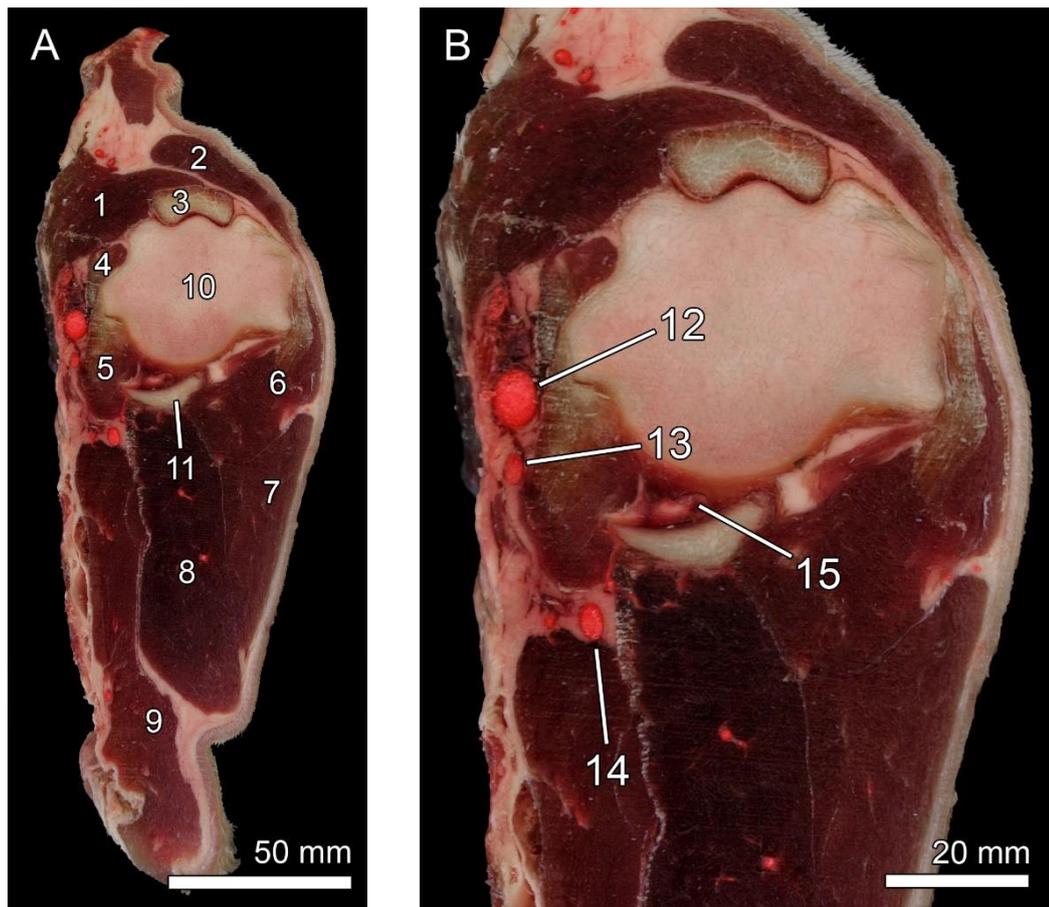


Abb. 12: Gliedmaßen-Querschnitt auf Höhe des rechten Schultergelenkes einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute, Ansicht von proximal:

A Übersichtsaufnahme:

1 – *M. pectoralis profundus*; 2 – *M. brachiocephalicus*; 3 – Sehne des *M. biceps brachii*; 4 – *M. coracobrachialis*; 5 – *M. subscapularis*; 6 – *M. infraspinatus*; 7 – *M. deltoideus* (Pars scapularis); 8 – Caput longum des *M. triceps brachii*; 9 – *M. teres major*; 10 – Caput humeri.

B Detailaufnahme aus A:

12 – *A. brachialis*; 13 – *A. thoracodorsalis*; 14 – *A. circumflexa humeri caudalis*; 15 – Gelenkhöhle mit Synovia.

### Blutgefäßversorgung des Schultergelenkes

Das Schultergelenk wird regelmäßig von den Ästen folgender Arterien mit Blut versorgt:

- kranial von der *A. circumflexa humeri cranialis* und der *A. suprascapularis*,
- lateral von der *A. circumflexa humeri caudalis*,
- kaudal und medial von der *A. subscapularis*.

#### 4.1.2 Ellbogengelenk (Articulatio cubiti)

##### Knöcherne Grundlage

Das Ellbogengelenk des Alpakas ist ein zusammengesetztes Walzengelenk, welches aus der Articulatio humeroulnaris und der Articulatio humeroradialis besteht. Die knöcherne Grundlage bildet proximal die Gelenkwalze des Humerus (Trochlea humeri). Diese artikuliert zum einen mit der Incisura trochlearis der Ulna, zum anderen mit der Fovea capitis radii (Abb. 13). Die Gelenkwalze des Humerus ist leicht schräg zur Achse der Gliedmaße gestellt. Kaudal befindet sich die Fossa olecrani, in welches sich bei Streckung des Gelenkes der Processus anconaeus der Ulna einsenkt (Abb. 14). Dadurch wird die Bewegungsfreiheit des Gelenkes stark eingeschränkt und es funktioniert als Scharniergelenk. Am Epicondylus lateralis und medialis des Humerus sind zwei tiefe Bandgruben für den Ursprung der Seitenbänder zu finden.

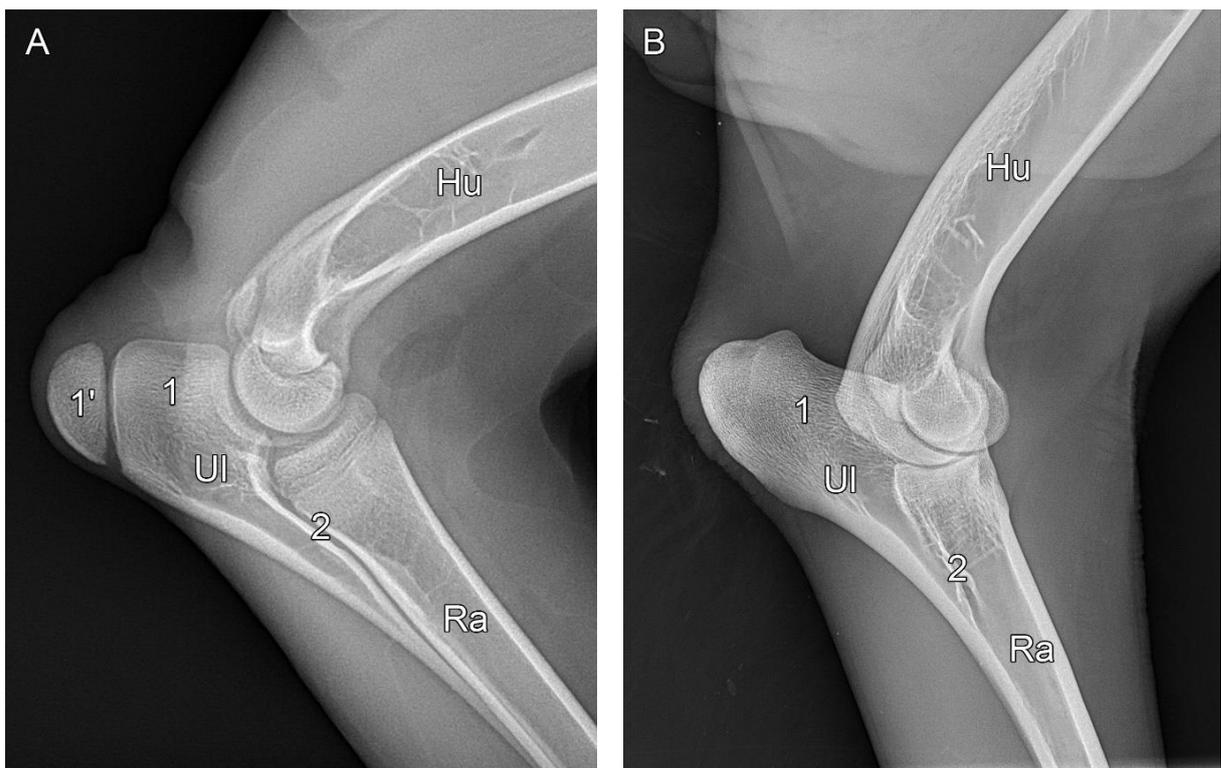


Abb. 13: Lateromediale Röntgenaufnahme des rechten Ellbogengelenkes einer ein Tag alten Huacaya-Stute mit Wachstumsfugen (A) und einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute (B):

Hu – Humerus; Ra – Radius; UI – Ulna.

1 – Olecranon; 1' – Apophyse; 2 – Spatium interosseum proximale.

Ein echtes Gelenk ist als *Articulatio radioulnaris proximalis* nicht vorhanden, da Radius und Ulna bei adulten Tieren komplett verschmolzen sind. Nur ein kleines *Spatium interosseum proximale* dient als Durchtritt für Leitungsbahnen. Ebenso ist die *Articulatio radioulnaris distalis* knöchern verwachsen und nur noch ein kleines *Spatium interosseum distale* vorhanden. Bei den drei untersuchten Jungtieren konnte auf den Röntgenbildern ein durchgehender Spalt zwischen Radius und Ulna festgestellt werden (Abb. 13).

Die Gelenkfläche von Ulna und Radius ist medial zu einer zusammenhängenden Fläche verschmolzen. Im Zentrum dieser zusammenhängenden Gelenkfläche konnten regelmäßig drei Einbuchtungen gefunden werden, welche nicht vom Gelenkknorpel überzogen waren (Pfeile in Abb. 14, B).

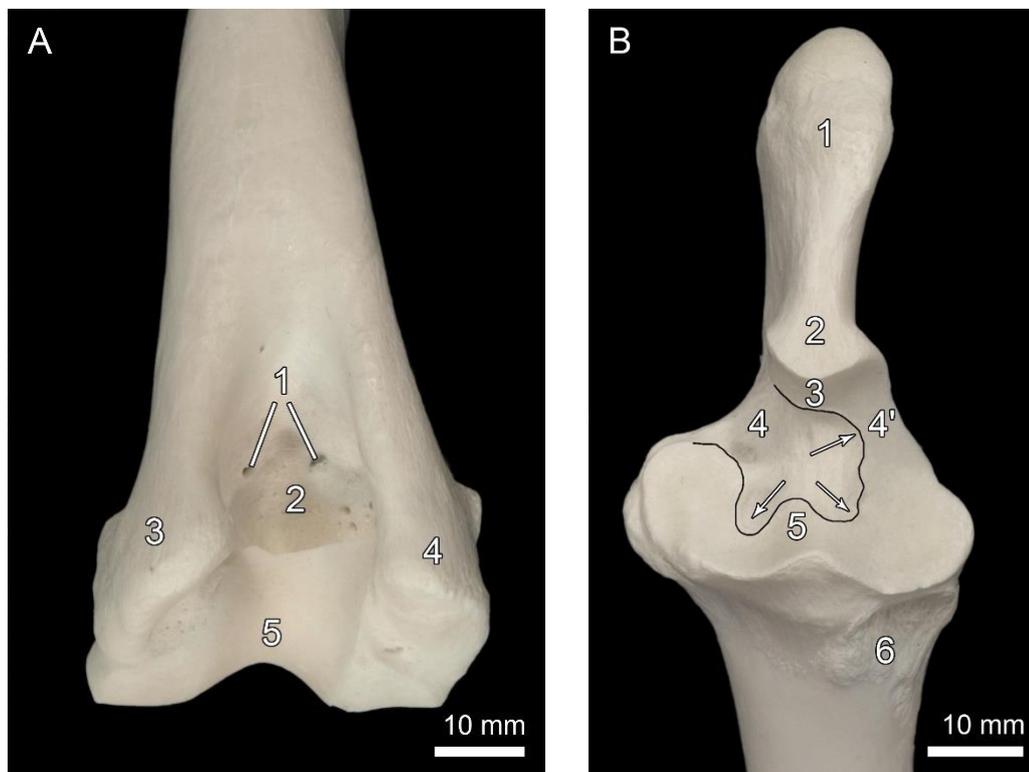


Abb. 14: Gelenkfläche von Humerus (A) sowie Radius und Ulna (B) der rechten Schultergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs:

A Humerus, Ansicht von kaudal:

1 – Foramen nutricium; 2 – Fossa olecrani; 3 – Epicondylus medialis; 4 – Epicondylus lateralis; 5 – Condylus humeri.

B Radius und Ulna, Ansicht von cranial, Rand der Gelenkfläche nachträglich eingezeichnet:

1 – Tuber olecrani; 2 – Processus anconaeus; 3 – Incisura trochlearis; 4 – Processus coronoideus lateralis; 4' – Processus coronoideus medialis mit Gelenkfläche; 5 – Caput radii; 6 – Tuberositas radii.

### Muskulatur des Ellbogengelenkes

Als Beuger des Ellbogengelenkes ist der M. biceps brachii und der M. brachialis zu finden. Zu den Streckern des Ellbogengelenkes gehören der M. triceps brachii, der M. anconaeus sowie der M. tensor fasciae antebrachii.

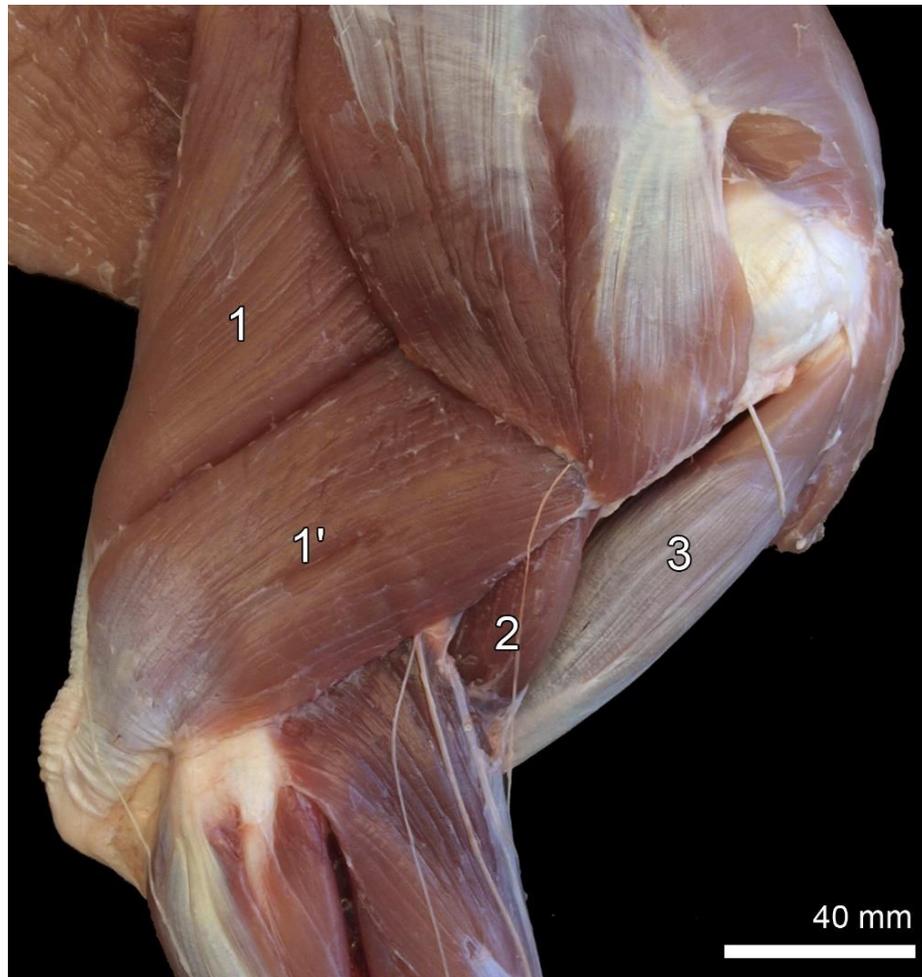


Abb. 15: Laterale Muskulatur des rechten Ellbogengelenkes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht, M. tensor fasciae antebrachii nicht mehr am Präparat vorhanden:

1, 1' – M. triceps brachii: 1 mit Caput longum und 1' Caput laterale; 2 – M. brachialis; 3 – M. biceps brachii.

Der **M. biceps brachii** ist kranial sehnig überzogen. Er entlässt auf Höhe des Ellbogengelenkes aus diesem sehnigen Überzug ein Bündel, welches sich mit der ebenfalls sehnigen Oberfläche des M. extensor carpi radialis verbindet. Diese Fasern (Lacertus fibrosus) werden bei jedem der seziierten Tiere gefunden (Abb. 16).

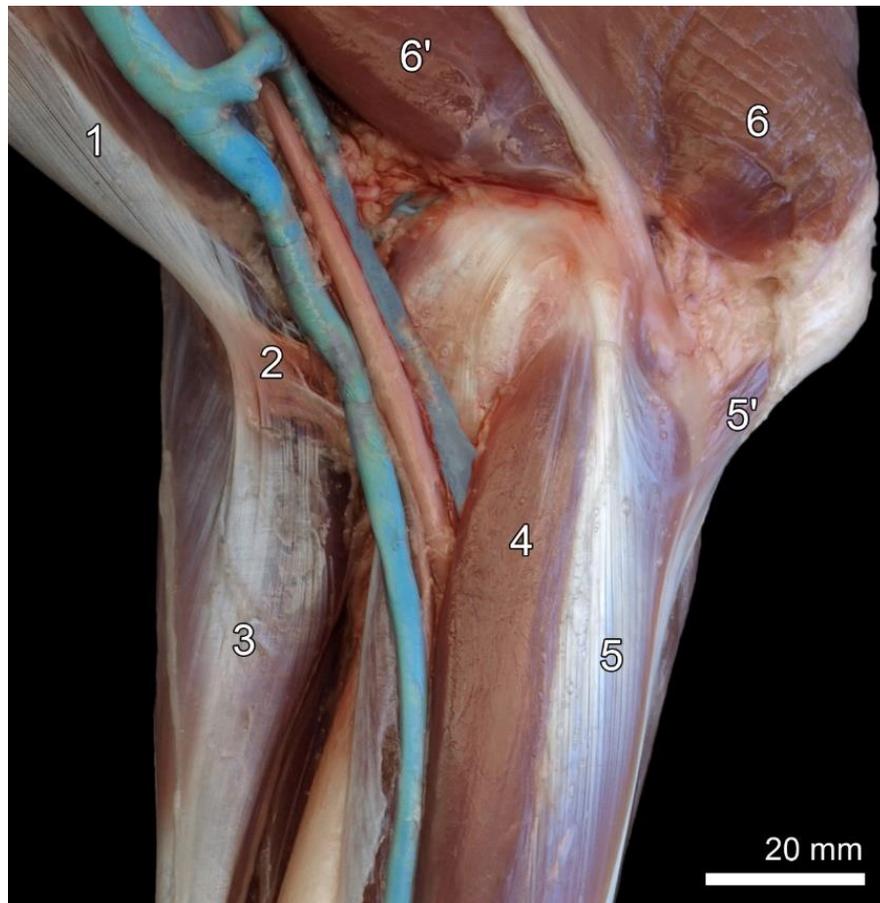


Abb. 16: Muskulatur des rechten Ellbogengelenkes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Medialansicht:

1 – M. biceps brachii; 2 – Lacertus fibrosus; 3 – M. extensor carpi radialis; 4 – M. flexor carpi radialis; 5, 5' – M. flexor carpi ulnaris mit 5 Caput humerale und 5' Caput ulnare; 6, 6' – M. triceps brachii: 6 Caput longum und 6' Caput mediale.

Bemerkenswert am *M. biceps brachii* ist zudem die Unterteilung des Muskelbauches in einen kranialen und einen kaudalen Anteil. Diese Trennung beginnt distal des Tuberculum intermedium und lässt sich bis in den distalen Teil des Oberarmes nachvollziehen (Abb. 7). Zum Ansatz hin vereinen sich die beiden Teile. Die Ansatzsehne des *M. biceps brachii* überquert kranial das Ellbogengelenk und setzt mit einem kräftigen Schenkel proximomedial an der Tuberositas radii und mit einem schmalen Schenkel am Processus coronoideus medialis der Ulna an (Abb. 17).

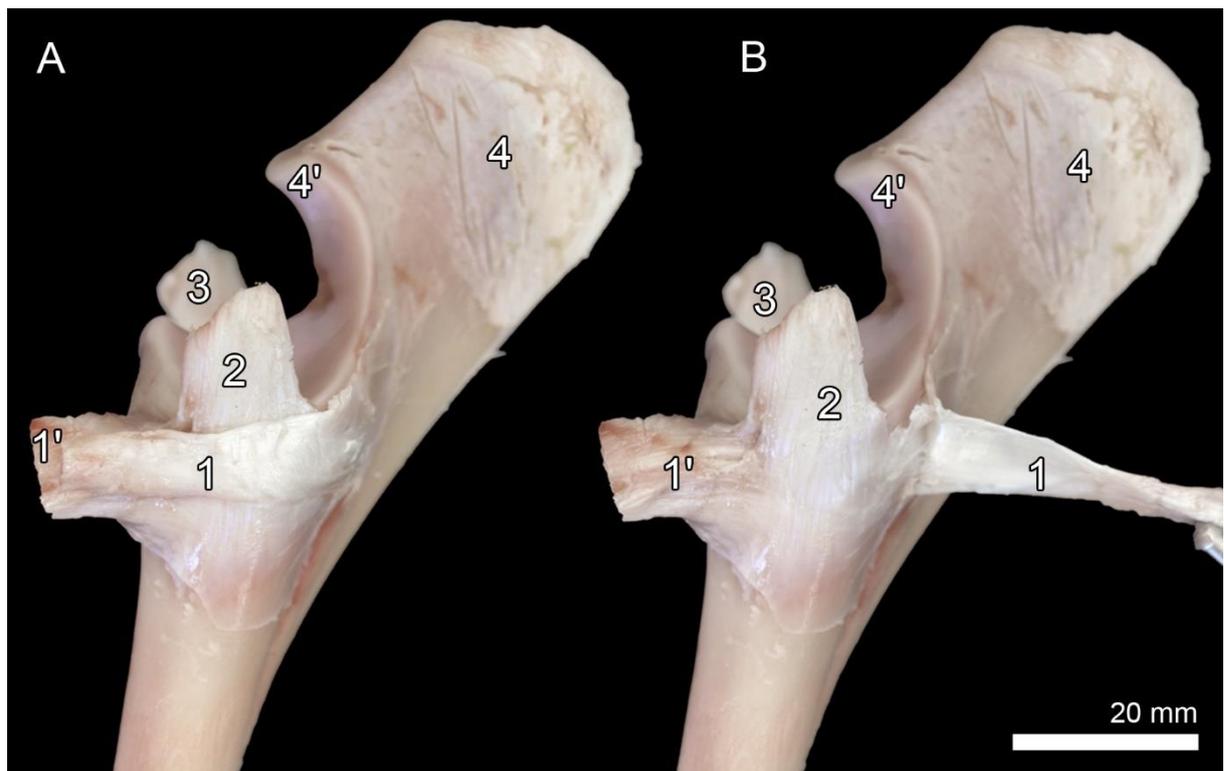


Abb. 17: Ansatz des *M. biceps brachii* der rechten Vordergliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, A: Medialansicht, B: Sehnenanteil für Ulna weggeklappt:

1, 1' – Stumpf der Ansatzsehne des *M. biceps brachii*: 1 Ast zur Ulna, 1' Ast zum Radius; 2 – Ligamentum collaterale cubiti mediale; 3 – Ligamentum collaterale cubiti laterale; 4, 4' – Olecranon mit 4 *Tuber olecrani* und 4' *Processus anconaeus*.

Der **M. brachialis** entspringt distal des Caput humeri kaudal am Humerus, kreuzt das Gelenk genau wie der M. biceps brachii kranial von lateral nach medial und setzt distal der Insertionsstelle des M. biceps brachii am Radius an (Abb. 18).

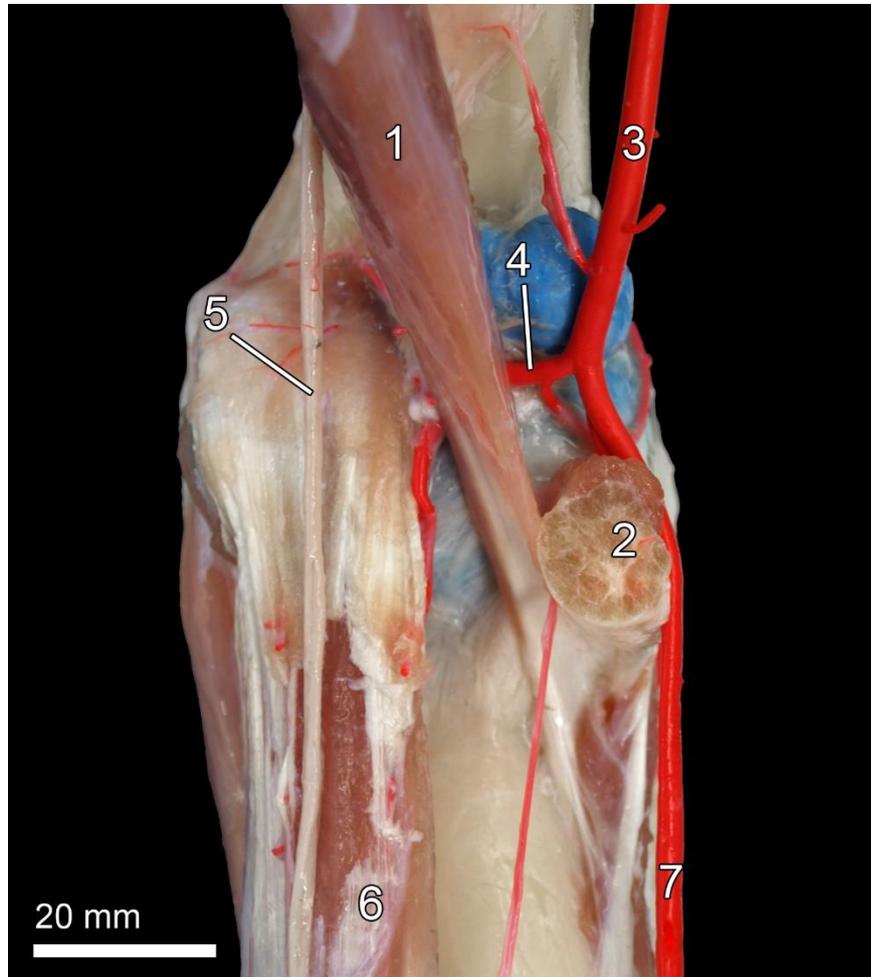


Abb. 18: Rechtes Ellbogengelenk eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Kranialansicht:

1 – M. brachialis; 2 – Stumpf der Sehne des M. biceps brachii; 3 – A. brachialis; 4 – A. transversa cubiti; 5 – R. profundus des N. radialis; 6 – M. extensor digitorum communis; 7 – A. mediana.

Der **M. triceps brachii** besteht beim Alpaka aus drei Köpfen: dem Caput longum, welches vom kaudalen Rand der Scapula zum Olekranon verläuft, dem Caput laterale sowie dem Caput mediale, welche lateral und medial direkt unterhalb des Caput humeri entspringen und sich mit der Endsehne des Caput longum vereinigen (Abb. 15).

Die drei Köpfe bedecken einen deutlich isolierbaren Muskel, welcher als **M. anconaeus** identifiziert wurde. Dieser entspringt kaudal im mittleren Drittel des Humerusschaftes, oberhalb der Fossa olecrani und inseriert wie auch der M. triceps brachii am Olekranon (Abb. 22).

Der **M. tensor fasciae antebrachii** gelangt als dünne Muskelplatte dem M. latissimus dorsi lateral anliegend an die Vordergliedmaße. Sein Ansatz strahlt medial des Ellbogengelenkes in die Unterarmfaszie ein.

#### Gelenkkapsel und Gelenkbänder

Die Gelenkkapsel ist geräumig. Sie hat eine große kaudale Aussackung, welche vom M. anconaeus eingedrückt wird und sich lateral und medial um den Processus anconaeus des Olekranon legt (Abb. 19). Diese Ausbuchtung reicht medial bis unter die Ursprünge des M. flexor carpi ulnaris, des M. flexor digitorum superficialis und des Caput humerale des M. flexor digitorum profundus. Lateral reicht sie bis unter den Ursprung des M. extensor carpi ulnaris nach distal. Die kaudale Gelenkaussackung wird außerdem in der Fossa olecrani von einem Fettpolster unterlagert. Eine weitere Aussackung befindet sich kranial am Ellbogengelenk. Diese stülpt sich nach proximal unter die Endsehnen des M. brachialis und des M. biceps brachii vor, da die Kapsel in diesem Bereich besonders dünn ist. Kraniodistal ist die Gelenkkapsel durch schräge Faserzüge verstärkt, welche vom lateralen Epicondylus des Humerus in Richtung Ansatz des M. biceps brachii ziehen. Lateral und medial liegt die Gelenkkapsel eng am Gelenk. Das Volumen der injizierten Gelenkhöhle beträgt je nach Alter und Größe des untersuchten Tieres 6-24,5 ml (n=6).

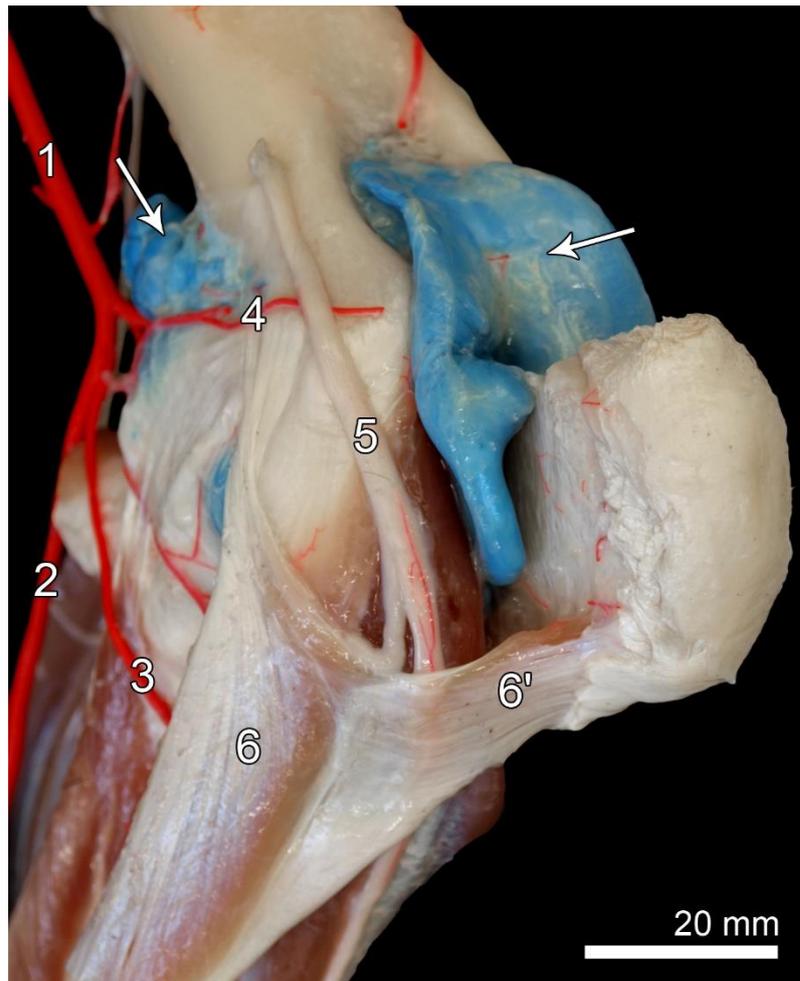


Abb. 19: Rechtes Ellbogengelenk eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Kaudomedialansicht, *M. brachialis*, *M. biceps brachii*, *M. anconaeus* und *M. triceps brachii* entfernt:

1 – *A. brachialis*; 2 – *A. mediana*; 3 – *A. interossea communis*; 4 – *A. collateralis ulnaris*; 5 – Stumpf des *N. ulnaris*; 6, 6' – *M. flexor carpi ulnaris*: 6 *Caput humerale* und 6' *Caput ulnare*.

Pfeile: Ellbogengelenkhöhle, gefüllt mit blauer Latexmilch.

Als Gelenkbänder sind das kräftigere Ligamentum collaterale cubiti laterale und das Ligamentum collaterale cubiti mediale zu finden (Abb. 20).

Das Ligamentum collaterale cubiti laterale ist einheitlich. Es entspringt in der Bandgrube am Epicondylus lateralis des Humerus und setzt lateral und proximal am Radius an.

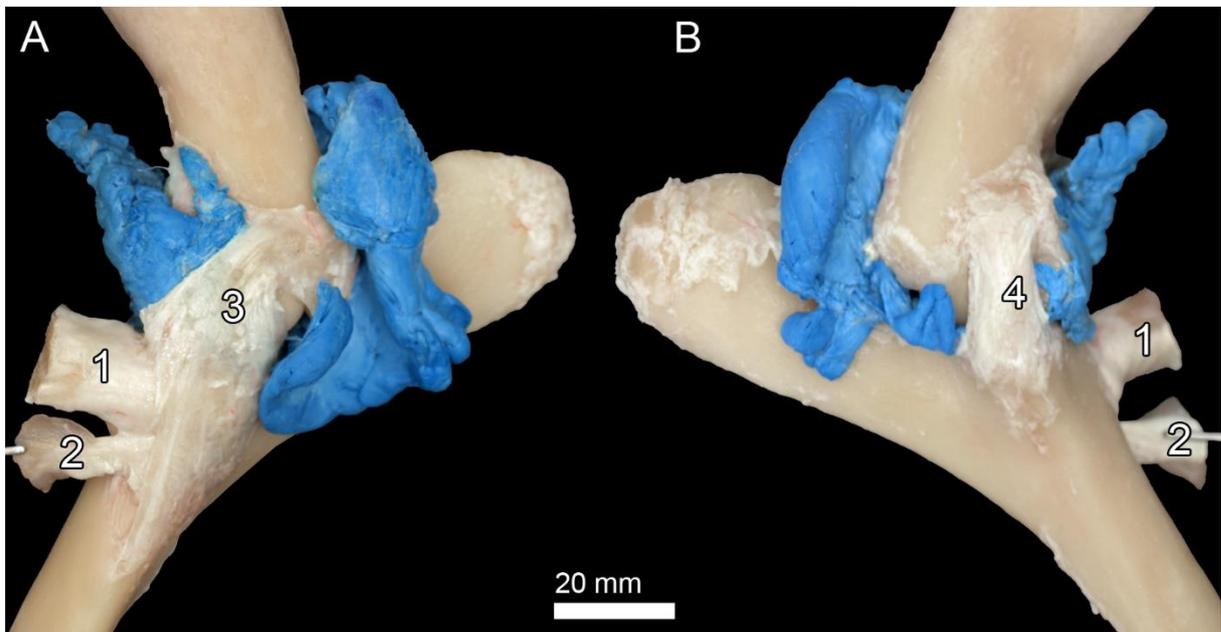


Abb. 20: Rechtes Ellbogengelenk einer 16 Jahre alten Suri-Stute, A: Medialansicht, B: Lateralansicht:

1 – Stumpf der Sehne des *M. biceps brachii*; 2 – Stumpf der Sehne des *M. brachialis*;  
3 – Ligamentum collaterale cubiti mediale; 4 – Ligamentum collaterale cubiti laterale.

Das Ligamentum collaterale cubiti mediale ist ebenfalls einheitlich und entspringt in der Bandgrube am medialen Epicondylus des Humerus. Es setzt medial und proximal am Radius an. Zusätzlich wird das Ligamentum collaterale cubiti mediale von einem sehnigen Überrest des M. pronator teres unterstützt. Die Sehnenfasern dieses rudimentären Muskels vereinigen sich distal mit dem muskulösen Caput radiale des M. flexor digitorum profundus (Abb. 21).

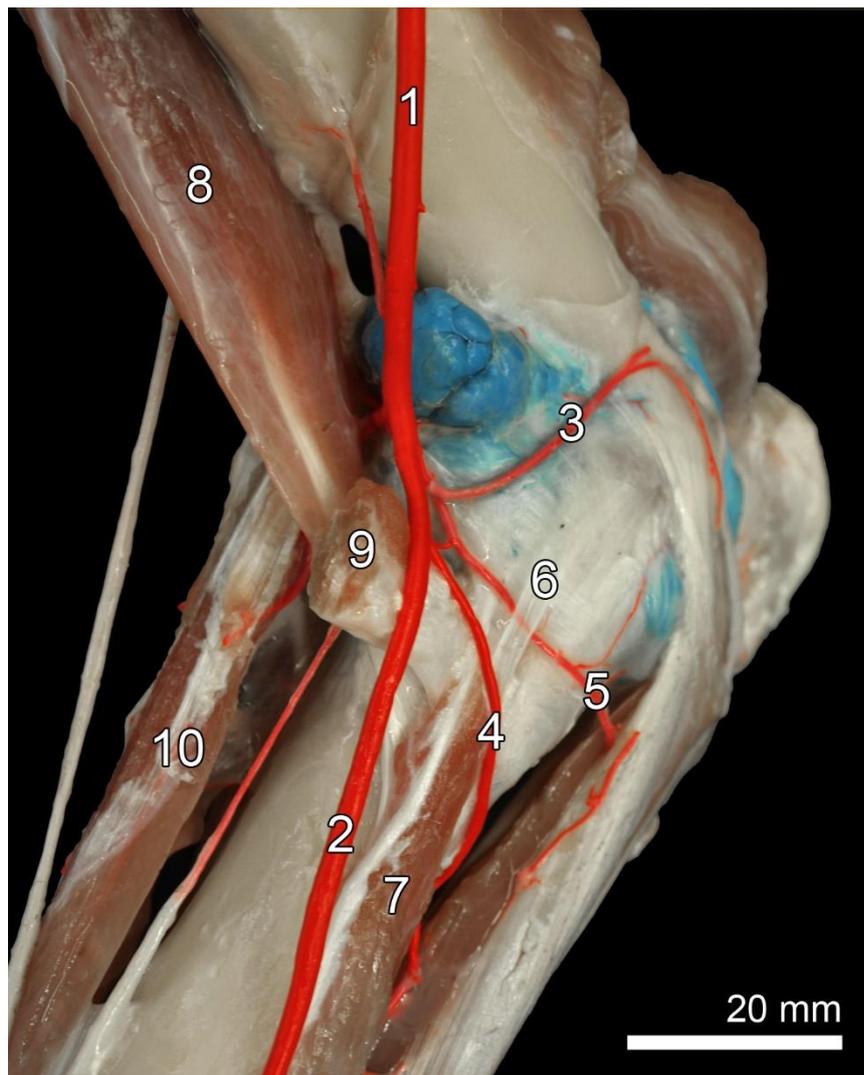


Abb. 21: Rechtes Ellbogengelenk eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Kraniomedialansicht, M. biceps brachii, M. triceps brachii, M. extensor und flexor carpi radialis entfernt:

1 – A. brachialis; 2 – A. mediana; 3 – A. collateralis ulnaris; 4 – A. interossea communis; 5 – A. interossea caudalis; 6 – Überbleibsel des M. pronator teres; 7 – Caput radiale des M. flexor digitorum profundus; 8 – M. brachialis; 9 – Stumpf der Sehne des M. biceps brachii; 10 – M. extensor digitorum communis.

### Topografie des Ellbogengelenkes

Das Ellbogengelenk wird lateral von den Streckmuskeln des Karpalgelenkes und der Zehengelenke bedeckt (Abb. 22). Direkt unter dem M. extensor digitorum lateralis ist das Ligamentum collaterale cubiti laterale zu finden.

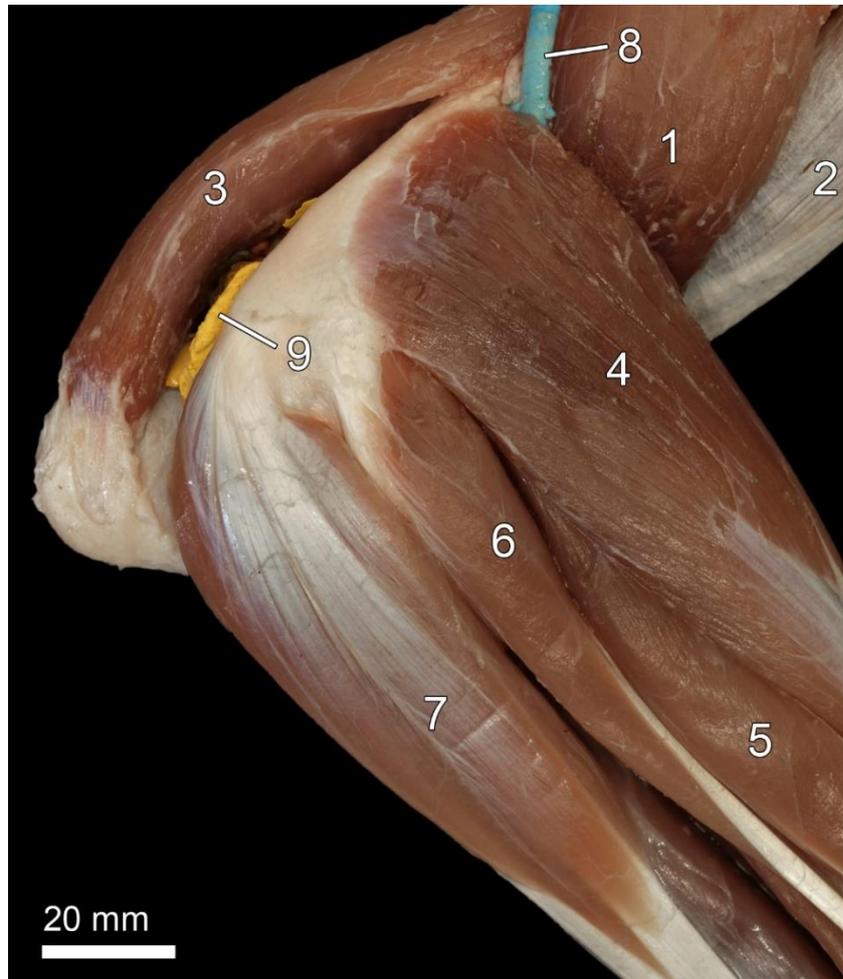


Abb. 22: Muskulatur des rechten Ellbogengelenkes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht, M. triceps brachii entfernt:

1 – M. brachialis; 2 – M. biceps brachii; 3 – M. anconaeus; 4 – M. extensor carpi radialis; 5 – M. extensor digitorum communis; 6 – M. extensor digitorum lateralis; 7 – M. extensor carpi ulnaris; 8 – V. collateralis radialis; 9 – kaudolaterale Gelenkaussackung des Ellbogengelenkes.

Der R. superficialis sowie der R. profundus des N. radialis verlaufen kranio-lateral am Gelenk vorbei (Abb. 18). Sie werden von der A. und V. collateralis radialis begleitet. Das Ellbogengelenk wird kranio-lateral vom Muskelbauch des M. extensor carpi radialis größtenteils bedeckt. Kranio-medial sind die Endsehnen des M. biceps brachii sowie des M. brachialis zu finden (Abb. 23).

Medial am Ellbogengelenk ziehen die Leitungsbahnen für den distalen Teil der Gliedmaße vorbei. Dazu gehören die A. und V. mediana sowie der N. medianus und der N. ulnaris. Außerdem wird das Gelenk kaudomedial von den Beugern des Karpalgelenkes und der Zehengelenke bedeckt. Auf der kaudalen Seite ist das Gelenk durch das Olekranon der Ulna gut geschützt und von dem M. anconaeus, dem M. triceps brachii und den Mm. flexor et extensor carpi ulnaris zusätzlich bedeckt.

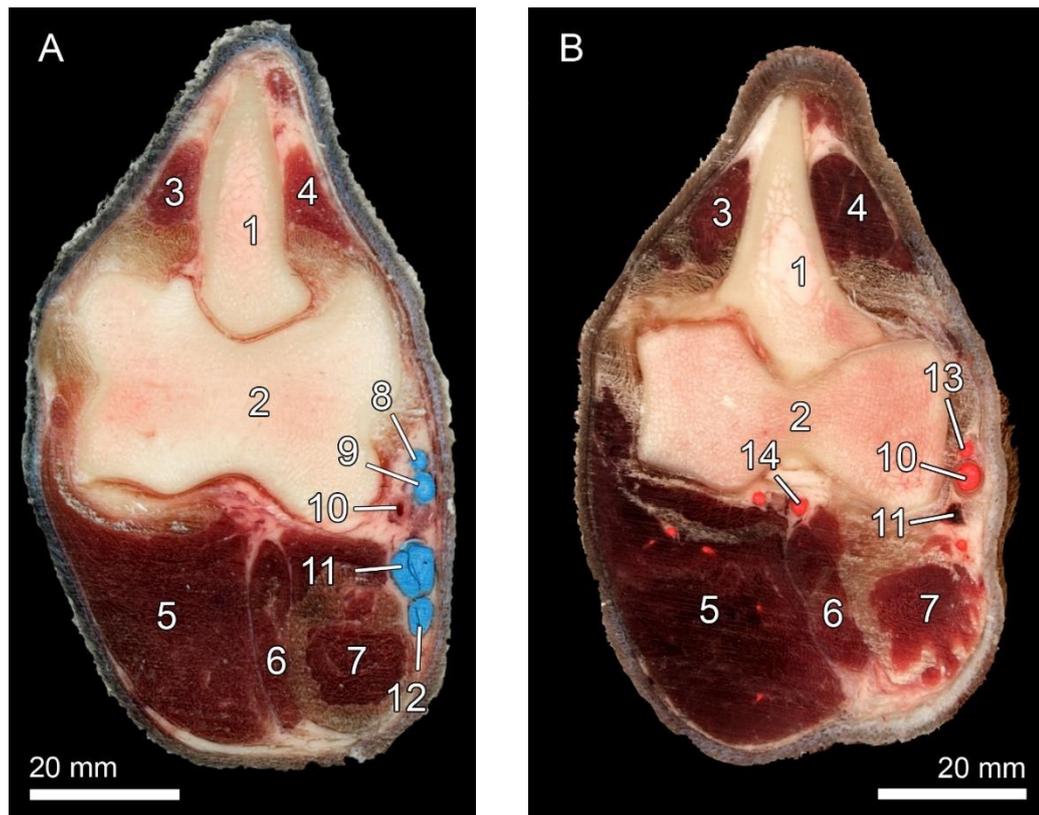


Abb. 23: Gliedmaßen-Querschnitt auf Höhe des rechten Ellbogengelenkes eines 14 Jahre alten Huacaya-Wallachs mit blau injizierten Venen (A) und eines 17 Jahre alten Huacaya-Hengstes mit rot injizierten Arterien (B), Ansicht von distal:

1 – Olecranon; 2 – Condylus humeri; 3 – M. extensor carpi ulnaris; 4 – Caput humerale des M. flexor digitorum profundus; 5 – M. extensor carpi radialis; 6 – M. brachialis; 7 – M. biceps brachii; 8 – V. collateralis ulnaris; 9 – V. interossea communis; 10 – A. mediana; 11 – V. mediana; 12 – V. cephalica; 13 – A. interossea communis; 14 – A. transversa cubiti.

#### Blutgefäßversorgung des Ellbogengelenkes

Das Ellbogengelenk wird regelmäßig durch folgende Arterien mit Blut versorgt:

- kranial von der A. collateralis radialis und der A. transversa cubiti,
- lateral und kaudal von Ästen der A. collateralis radialis,
- medial von der A. collateralis ulnaris und der A. profunda antebrachii.

### 4.1.3 Karpalgelenk (*Articulatio carpi*)

#### Knöcherne Grundlage

Das Karpalgelenk des Alpakas ist ein zusammengesetztes Gelenk, welches drei Gelenketagen umfasst:

Proximal befindet sich die *Articulatio antebrachio-carpea*, gebildet vom Radius und der Ulna, welche beim Alpaka als *Processus styloideus lateralis* vorhanden ist sowie der proximalen Reihe der Karpalknochen (*Os carpi radiale*, *Os carpi intermedium* und *Os carpi ulnare*). Diese Gelenketage besitzt die größte Bewegungsfreiheit im Bereich des Karpalgelenkes. Die *Trochlea radii* trägt als Gelenkfläche die *Facies articularis carpea*, welche durch zwei Sagittalkämme in drei Vertiefungen unterteilt wird. Eine Etage weiter distal befindet sich in transversaler Ebene die *Articulatio mediocarpea* zwischen der proximalen und der distalen Reihe der Karpalknochen (*Os carpale secundum*, *tertium et quartum*). Diese Gelenketage hat weniger Bewegungsfreiheit, als die proximale. Die distale dritte Gelenketage umfasst die *Articulatio carpometacarpea* zwischen der distalen Reihe der Karpalknochen und den Metakarpalknochen (*Os metacarpale tertium et quartum*). Auch in diesem Gelenk wird die Bewegung von straffen Bändern stark eingeschränkt.

Die *Articulationes intercarpeae* befinden sich jeweils in der proximalen und distalen Gelenketage in sagittaler Ebene zwischen den einzelnen Knochen einer Reihe. Hier findet kaum eine Bewegung statt, da diese Gelenke durch straffe Bänder eng zusammengehalten werden.

Außerdem ist das *Os carpi accessorium* mit dem Radius und dem *Os carpi ulnare* über die *Articulatio ossis carpi accessorii* gelenkig verbunden. Auch hier ist kaum eine Bewegung möglich, da straffe Bänder dies verhindern (Abb. 24).

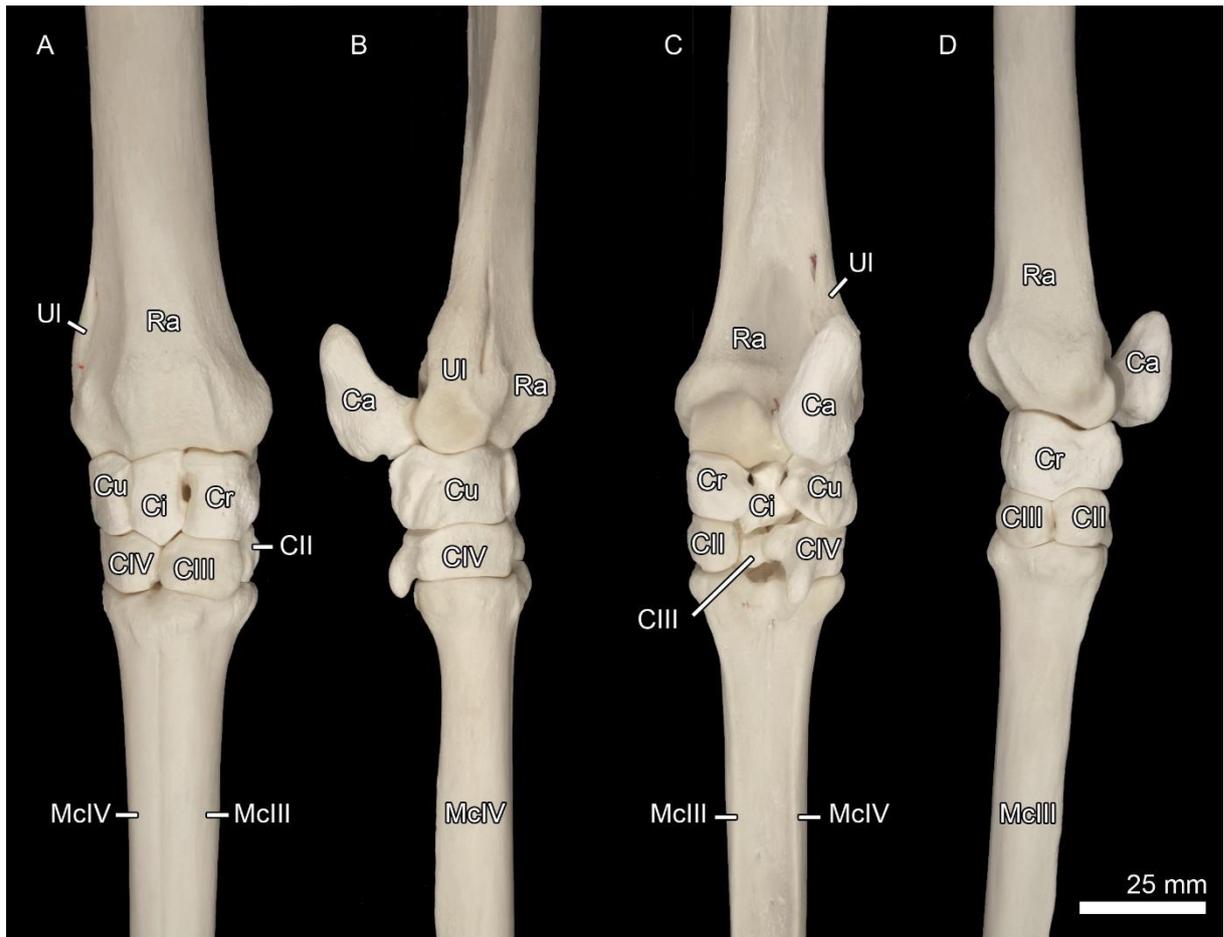


Abb. 24: Knochen des Karpalgelenkes der rechten Vordergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Ansicht von kranial (A), lateral (B), kaudal (C) und medial (D):

Ca – Os carpi accessorium; Ci – Os carpi intermedium; Cr – Os carpi radiale; Cu – Os carpi ulnare; CII – Os carpale secundum; CIII – Os carpale tertium; CIV – Os carpale quartum; McIII – Os metacarpale tertium; McIV – Os metacarpale quartum; Ra – Radius; UI – Ulna.

Abb. 25 zeigt die knöchernen Strukturen des Karpalgelenkes eines adulten Tieres (A) sowie eines Jungtieres (B). Durch die Injektion von Latexmilch, welche mit Bariumsulfat versetzt war, ist auch der Verlauf der arteriellen Blutgefäße im Bereich des Karpalgelenkes erkennbar.

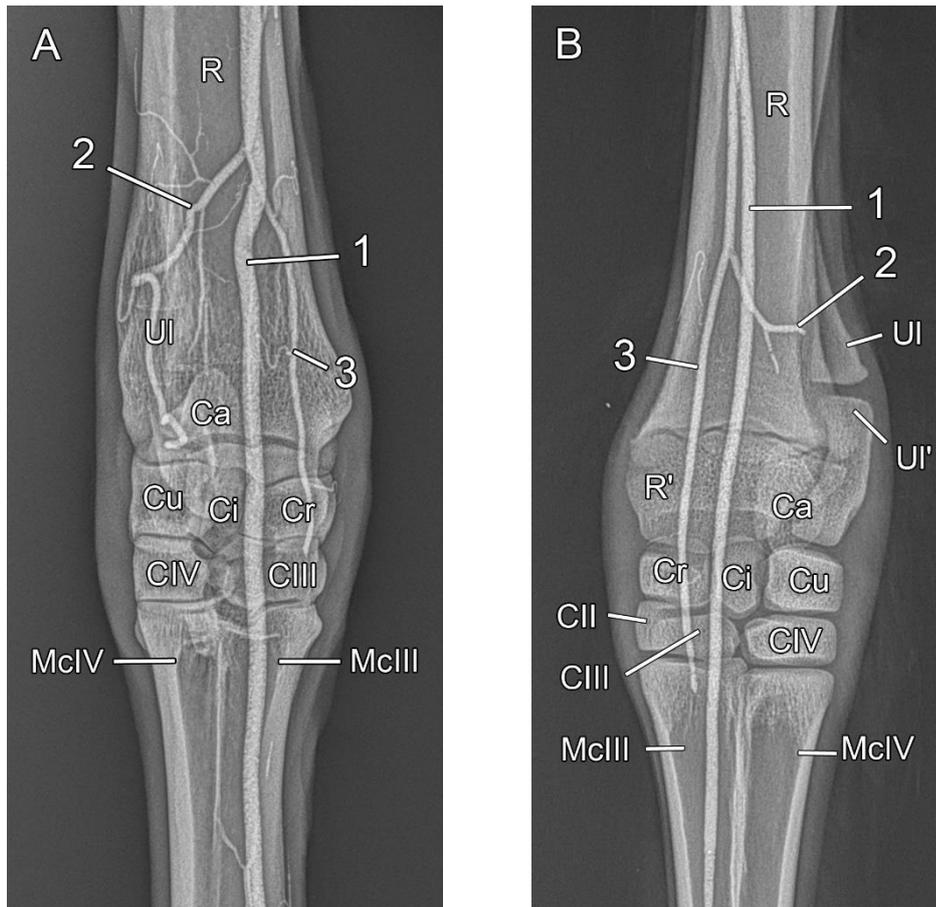


Abb. 25: Dorsopalmar Röntgenaufnahme des Karpalgelenkes einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute (A, rechte Gliedmaße) und einer ein Tag alten Huacaya-Stute mit Wachstumsfugen (B, linke Gliedmaße), Arterien mit Latexmilch-Bariumsulfat-Gemisch injiziert:

Ca – Os carpi accessorium; Ci – Os carpi intermedium; Cr – Os carpi radiale; Cu – Os carpi ulnare; CII – Os carpale secundum; CIII – Os carpale tertium; CIV – Os carpale quartum; McIII – Os metacarpale tertium; McIV – Os metacarpale quartum; R, R' – Radius, R' – Epiphyse; UI, UI' – Ulna, UI' – Epiphyse.

1 – A. mediana; 2 – R. carpeus dorsalis der A. radialis; 3 – A. radialis.

### Muskulatur des Karpalgelenkes

Zu den Karpalgelenkstreckern zählt der M. extensor carpi radialis, der M. extensor carpi ulnaris sowie der M. extensor carpi obliquus (M. abductor pollicis longus).

Wie in der Querschnittabbildung des Ellbogengelenkes (Abb. 23) dargestellt hat der **M. extensor carpi radialis** einen kräftigen Muskelbauch, der einen Sehnenstrang (Lacertus fibrosus), abgegeben vom M. biceps brachii, aufnimmt. Er entspringt fleischig am Epicondylus lateralis humeri und überdeckt den Ursprung des M. extensor digitorum communis. Sein Ansatz befindet sich dorsomedial am proximalen Ende des

Os metacarpale tertium auf der Mittelfußbeule (Tuberositas ossis metacarpalis III) (Abb. 27).

Der **M. extensor carpi ulnaris** hat einen etwas höheren sehnigen Anteil, als der M. extensor carpi radialis. Er entspringt mit einer kräftigen Sehne am Epicondylus lateralis des Humerus (Abb. 26) und setzt mit einer starken Sehne proximal am Os carpi accessorium des Karpalgelenkes an. Lateral strahlen Fasern dieser Sehne in das Ligamentum accessoriometacarpeum sowie das Ligamentum collaterale carpi laterale ein.

Der **M. extensor carpi obliquus** (M. abductor pollicis longus) entspringt kraniallateral im distalen Drittel des Radius und zieht mit einer schmalen Sehne quer über das Karpalgelenk hinweg und setzt proximomedial am Os metacarpale III an. Dabei überspannt er die Endsehne des M. extensor carpi radialis (Abb. 27).



Abb. 26: Muskulatur des Unterarmes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht, rechte Gliedmaße:

1 – M. extensor carpi radialis; 2 – M. extensor digitorum communis; 3 – M. extensor digitorum lateralis; 4 – M. extensor carpi ulnaris; 5 – M. flexor digitorum profundus, Caput humerale.

Als Beuger des Karpalgelenkes sind der *M. flexor carpi radialis* sowie der *M. flexor carpi ulnaris* vorhanden.

Der ***M. flexor carpi radialis*** hat einen schmalen, spindelförmigen Muskelbauch, der am Epicondylus medialis des Humerus entspringt. Seine Ansatzsehne ist schmal und verläuft im distalen Drittel des Unterarmes gemeinsam mit der *A. radialis* durch einen eigenen Abschnitt des Karpaltunnels, getrennt von den übrigen Beugesehnen. Sein Ansatz befindet sich auf der Palmarseite des Os metacarpale tertium.

Der ***M. flexor carpi ulnaris*** ist stärker sehnig durchsetzt. Sein Caput humerale entspringt am Epicondylus medialis des Humerus, während sein schwaches Caput ulnare am Olekranon entspringt. Der *N. ulnaris* zieht zwischen diese beiden Köpfe und kommt anschließend kaudal am Unterarm bedeckt von *M. flexor carpi ulnaris* und *M. extensor carpi ulnaris* zu liegen (Abb. 19). Im mittleren Teil des Unterarmes gibt der *M. flexor carpi ulnaris* ein schmales Muskelband an den *M. flexor digitorum profundus* ab. Sein Ansatz befindet sich am Os carpi accessorium, wobei sich ein Schenkel von der Sehne absplattet und oberflächlich quer über den Karpaltunnel proximal an das Os metacarpale tertium zieht (Abb. 30).

#### Gelenkkapsel und Gelenkbänder

Dorsal auf der Streckseite des Gelenkes ist die dorsale Karpalfaszie deutlich verstärkt und bildet das Retinaculum extensorum. Hier sind sämtliche Strecksehnen eingebettet (Abb. 27).

Ebenso ist auf der Beugeseite die palmare Karpalfaszie zum Retinaculum flexorum verdickt. Dieses überspannt den Sulcus carpi auf der palmaren Seite und trägt so zur Bildung des Karpaltunnels (Canalis carpi) bei, durch welchen sämtliche Sehnen der Zehenbeuger sowie der *N. medianus*, der *R. palmaris* des *N. ulnaris*, die *A. und V. mediana* und die *A. radialis* hindurch ziehen.

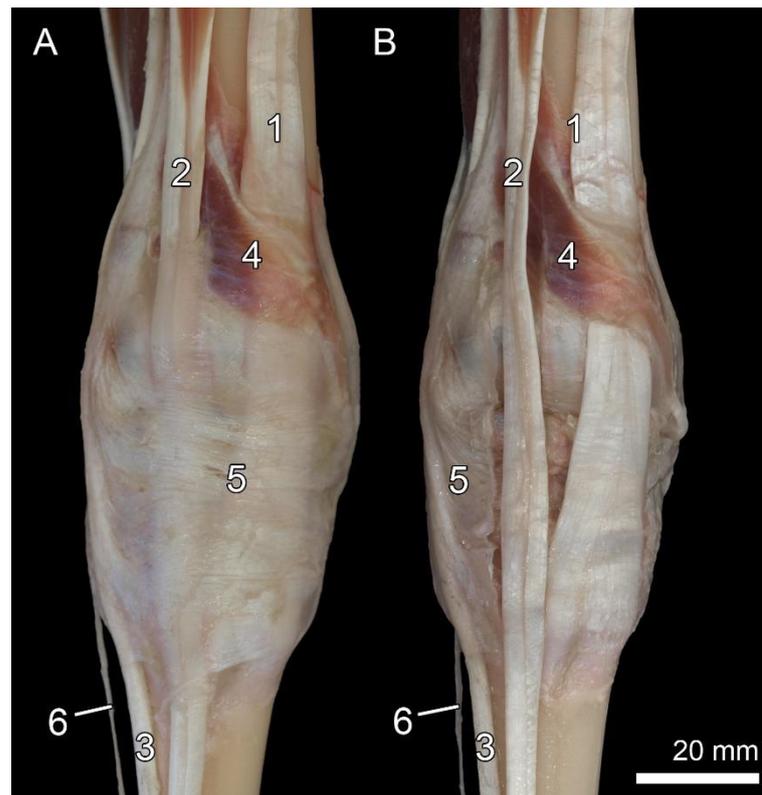


Abb. 27: Rechtes Karpalgelenk eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Dorsalansicht, A: Retinaculum extensorum geschlossen, B: Retinaculum extensorum eröffnet:

1 – Sehne des *M. extensor carpi radialis*, 2 – Sehnen des *M. extensor digitorum communis*, 3 – Sehne des *M. extensor digitorum lateralis*, 4 – *M. extensor carpi obliquus* (*M. abductor pollicis longus*), 5 – Retinaculum extensorum, 6 – *R. dorsalis* des *N. ulnaris*.

Als Kollateralbänder sind das Ligamentum collaterale carpi laterale sowie das Ligamentum collaterale carpi mediale zu finden. Das Ligamentum collaterale carpi laterale ist schwächer ausgeprägt, als das mediale Kollateralband. Beide Bänder entspringen jeweils an den Processus styloidei und überspannen alle Gelenktagen bis zum proximalen Ende der beiden Metakarpalknochen. Medial und lateral sind in der Tiefe zudem kurze Kollateralbänder zu finden, welche jeweils nur eine Gelenktag überspannen.

Als Unterarm-Fußwurzelbänder und Vorderfußwurzel-Mittelfußbänder sind auf der palmaren Seite kräftige Längsbänder ausgebildet. Auf der dorsalen Seite des Karpalgelenkes verbinden die Vorderfußwurzelbänder als Querbänder (Ligamenta intercarpea dorsalia) die einzelnen Karpalknochen einer Etage (Abb. 28).

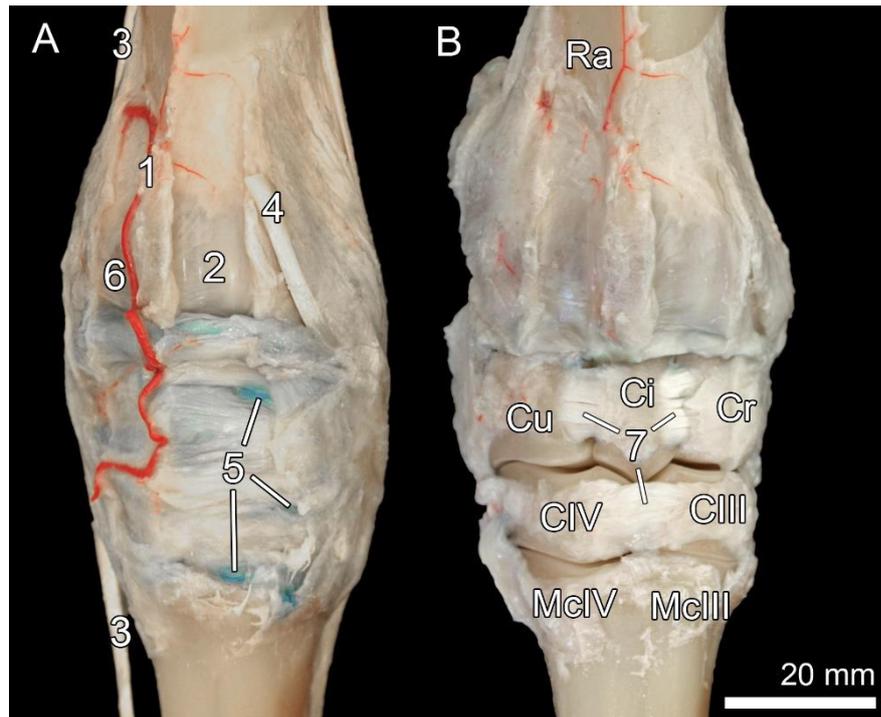


Abb. 28: Karpalgelenk der rechten Schultergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Dorsalansicht, A: oberflächliche Strukturen, B: tief liegende Bänder:

1 – *R. carpeus dorsalis* der *A. radialis* an *Rete carpi dorsale*; 2 – Sehnenrinne für Sehne des *M. extensor carpi radialis*; 3 – Sehne des *M. extensor digitorum lateralis*; 4 – Sehne des *M. extensor carpi obliquus* (*M. abductor pollicis longus*); 5 – Gelenkkapsel; 6 – Sehnenrinne für die Sehne des *M. extensor digitorum communis*; 7 – *Ligamenta intercarpea dorsalia*; 8 – *Ligamentum carpometacarpeum dorsale*.

*Ci* – *Os carpi intermedium*; *Cr* – *Os carpi radiale*; *Cu* – *Os carpi ulnare*; *CIII* – *Os carpale tertium*; *CIV* – *Os carpale quartum*; *McIII* – *Os metacarpale tertium*; *McIV* – *Os metacarpale quartum*; *Ra* – *Radius*.

Das *Os carpi accessorium* besitzt zwei kleine Gelenkflächen, welche mit dem *Radius* und dem *Os carpi ulnare* artikulieren. An diesem Knochen befindet sich der Ansatz des *M. flexor carpi ulnaris* sowie des *M. extensor carpi ulnaris*.

Der Bandapparat des *Os carpi accessorium* besteht von proximal nach distal aus dem *Ligamentum accessorioulnare*, dem *Ligamentum accessoriocarpoulnare*, dem *Ligamentum accessoriocarpoulnare*, dem *Ligamentum accessoriocarpoulnare*, dem *Ligamentum accessoriocarpoulnare* und dem *Ligamentum accessoriocarpoulnare*. Das *Ligamentum accessorioulnare* entspringt flächig kaudolateral des Unterarmes an der schmalen *Ulna* und inseriert proximal am *Os carpi accessorium*. Das *Ligamentum accessoriocarpoulnare* verbindet das *Os carpi accessorium* mit dem *Os carpi ulnare* und das *Ligamentum accessoriocarpoulnare* das *Os carpi accessorium* mit dem *Os carpale quartum*. Diese beiden Bänder erhalten zudem einen Zuschuss aus der

Ansatzsehne des *M. flexor carpi ulnaris*. Des Weiteren gibt es das *Ligamentum accessoriometacarpeum*, welches mit Zuschüssen aus der Ansatzsehne des *M. extensor carpi ulnaris* zum lateralen Mittelfußknochen zieht und dort ansetzt (Abb. 29, Abb. 30).

Die oberflächliche Beugesehne wird distal des Karpalgelenkes von den drei distalen Bändern des *Os carpi accessorium* sowie den Kollateralbändern des Karpalgelenkes und Teilen des *M. interosseus medius* sowie der Palmarfaszie verstärkt.



*Abb. 29: Bänder des Os carpi accessorium am rechten Karpalgelenk einer 16 Jahre alten Suri-Stute, Lateralansicht:*

*1 – Sehne des M. extensor carpi ulnaris; 2, 2', 2'' – Bänder des Ca: 2 Ligamentum accessorioulnare, 2', 2'' Schenkel des Ligamentum accessoriometacarpeum.*

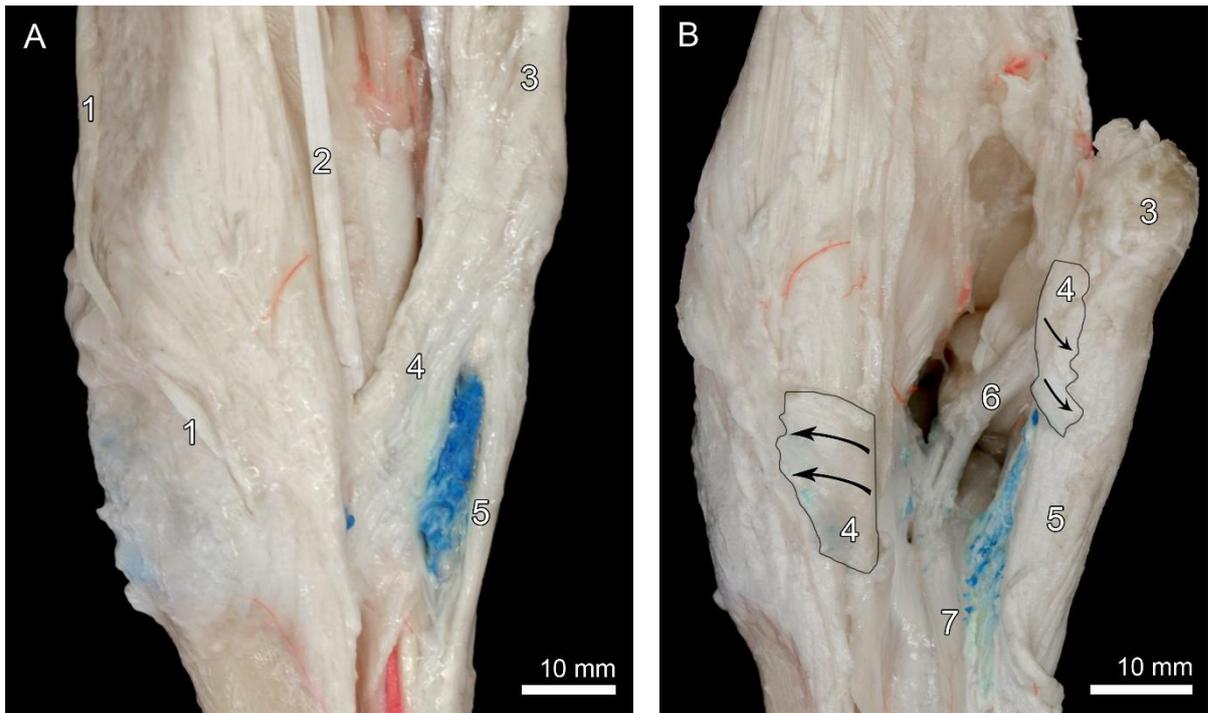


Abb. 30: Bänder des Os carpi accessorium am rechten Karpalgelenk einer 16 Jahre alten Suri-Stute, Ansicht von mediopalmar:

A: oberflächliche Strukturen:

1 – Sehne des *M. extensor carpi obliquus* (*M. abductor pollicis longus*); 2 – Sehne des *M. flexor carpi radialis*; 3 – Sehne des *M. flexor carpi ulnaris*, 4 – Sehnenfasern des *M. flexor carpi ulnaris* bilden *Retinaculum flexorum*; 5 – *Ligamentum accessoriometacarpeum*.

B: tiefe Strukturen, *Retinaculum flexorum* eröffnet:

3 – Sehne des *M. flexor carpi ulnaris* (abgeschnitten); 4 – *Retinaculum flexorum* (eröffnet); 5 – *Ligamentum accessoriometacarpeum*; 6 – *Ligamentum accessoriocarpoulnare*; 7 – Ursprung des *M. interosseus medius*.

### Topografie des Karpalgelenkes

Lateral des Karpalgelenkes verläuft der R. dorsalis des N. ulnaris vorbei. Dorsal ziehen von medial nach lateral die Strecksehnen des *M. extensor carpi radialis*, des *M. extensor digitorum communis* und des *M. extensor digitorum lateralis* über das Gelenk (Abb. 31). Die Sehne des *M. extensor carpi obliquus* (*M. abductor pollicis longus*) überquert dabei von medial nach lateral die Sehne des *M. extensor carpi radialis*. Dorsomedial verlaufen außerdem die V. cephalica accessoria und Äste des R. superficialis des N. radialis über das Gelenk. Dorsolateral ist unter der Sehne des *M. extensor digitorum communis* der R. carpeus dorsalis aus der A. radialis zu finden. Kaudal des Karpalgelenkes ziehen die Sehnen des *M. flexor digitorum superficialis*,

des *M. flexor digitorum profundus* und des *M. flexor carpi radialis* durch den Karpaltunnel (Abb. 31). Die Sehne des *M. flexor carpi radialis* wird von der *A. radialis* begleitet. Diese beiden Strukturen verlaufen in einem eigens abgegrenzten Tunnel. Mit den Beugesehnen der Zehen verlaufen auch die Leitungsbahnen für die Zehen durch den Karpaltunnel. Dazu gehören die *A. und V. brachialis*, der *N. medianus* sowie der *R. palmaris* des *N. ulnaris*. Auf der kaudolateralen Seite des Karpalgelenkes ist das *Ca* gelenkig angefügt. Hier enden die Sehnen des *M. flexor carpi ulnaris* sowie die des *M. extensor carpi ulnaris*.

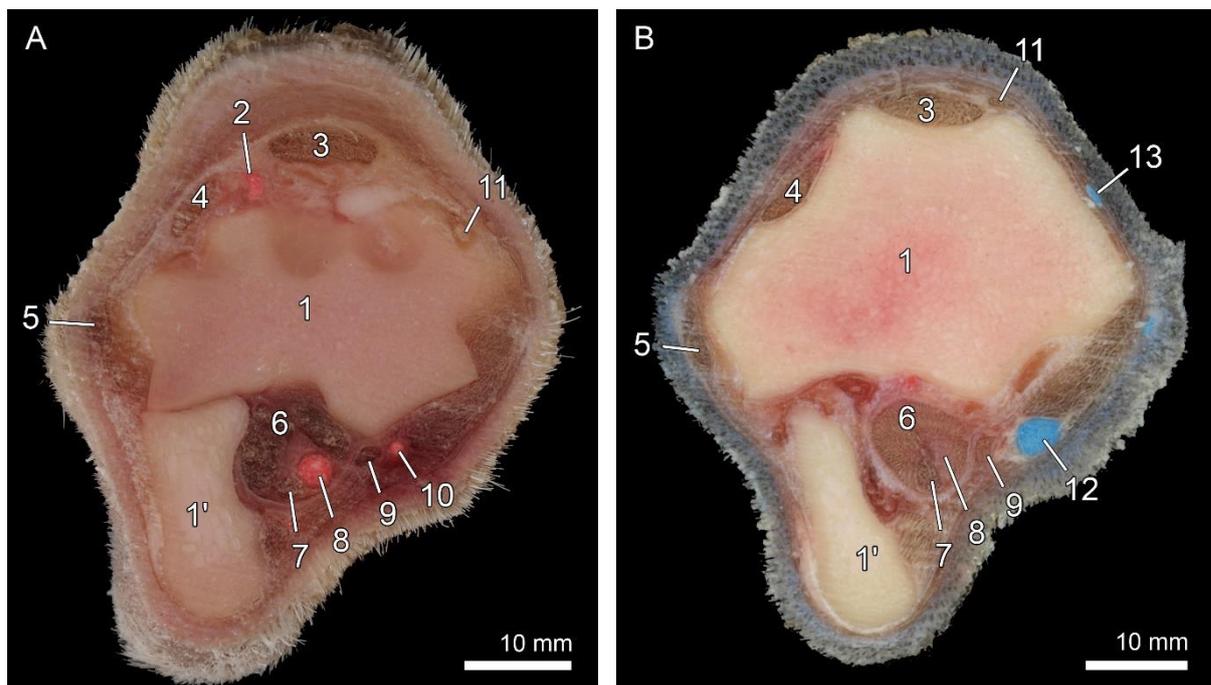


Abb. 31: Gliedmaßen-Querschnitt auf Höhe der distalen Epiphyse des rechten Radius einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute mit rot injizierten Arterien (A) und eines 14 Jahre alten Huacaya-Wallachs mit blau injizierten Venen (B), Ansicht von distal:

1 – Radius; 1' – Os carpi accessorium; 2 – *R. carpeus dorsalis* der *A. radialis*; 3 – Sehne des *M. extensor carpi radialis*; 4 – Sehne des *M. extensor digitorum communis*; 5 – Sehne des *M. extensor digitorum lateralis*; 6 – tiefe Beugesehne; 7 – oberflächliche Beugesehne; 8 – *A. mediana/N. medianus*; 9 – Sehne des *M. flexor carpi radialis*; 10 – *A. radialis*; 11 – Sehne des *M. extensor carpi obliquus* (*M. abductor pollicis longus*); 12 – *V. mediana*; 13 – *V. cephalica accessoria*.

### Blutgefäßversorgung des Karpalgelenkes

Das Karpalgelenk wird hauptsächlich von Ästen der A. radialis, welche kaudomedial an der Gliedmaße nach distal verläuft, mit arteriellem Blut versorgt. Für die dorsale Seite des Karpalgelenkes zweigt der R. carpeus dorsalis proximal des Karpalgelenkes aus der A. radialis ab und zieht nach lateral (Abb. 25, Abb. 28). Dieser Ast durchbohrt den Spalt (Spatium interosseum distale) zwischen Radius und zurückgebildeter Ulna und tritt auf die Dorsalseite des Gelenkes. Hier verläuft er gemeinsam mit der Sehne des M. extensor digitorum communis in geschlängelter Form über das Gelenk.

#### 4.1.4 Zehengelenke (Articulationes phalanges)

##### 4.1.4.1 Verbindung der Metakarpalknochen

Beim Alpaka sind die Metakarpalknochen III und IV vollständig miteinander verwachsen. In Folge dessen ist keinerlei Bewegung in diesem Bereich der Gliedmaße möglich. Bei Jungtieren ist die Verwachsungsstelle der beiden Metakarpalknochen auf den Röntgenbildern noch deutlich zu erkennen, während bei den adulten Tieren nur noch ein schmales knöchernes Septum im Markbereich des verwachsenen Knochens zu erkennen ist. Proximal auf den verschmolzenen Knochen befindet sich die Facies articularis zur Artikulation mit der distalen Reihe der Karpalknochen (Os carpalae secundum, tertium et quartum) (Abb. 32).



Abb. 32: Aufsicht auf die Facies articularis des Os metacarpale III und IV einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute, rechte Gliedmaße:

CII – Fläche zur Artikulation mit CII; CIII – Fläche zur Artikulation mit CIII; CIV – Fläche zur Artikulation mit CIV.

##### 4.1.4.2 Zehengrundgelenk (Articulationes metacarpophalangeae)

###### Knöcherner Grundlage

Beim Alpaka gibt es pro Vordergliedmaße je zwei Zehengrundgelenke. Proximal bilden die beiden Gelenkwalzen der Ossa metacarpalia tertium et quartum die knöcherner Grundlage des Gelenkes. Kaudal sind insgesamt vier Sesambeine angelagert, zwei je Gelenk. Nach distal schließt sich die Phalanx proximalis einer jeden Zehe an (Abb. 33).



*Abb. 33: Mittelfuß- und Zehenknochen der rechten Schultergliedmaße einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute, Dorsalansicht:*

*Mt – Metatarsalknochen III und IV; Pd – Phalanx distalis; Pm – Phalanx media; Pp – Phalanx proximalis.*

Die Gelenkwalzen der Metakarpalknochen tragen palmar jeweils einen prominenten Sagittalkamm, der sich bei einer Winkelung von 180° zwischen Mittelfußknochen und erstem Zehenglied in eine palmar gelegene Rinne auf der Fovea articularis der Phalanx proximalis sowie zwischen die beiden Sesambeine eines jeden Gelenkes einsetzt (Abb. 34, Abb. 39). Dadurch stellen die beiden Articulationes metacarpophalangeae Walzengelenke dar.

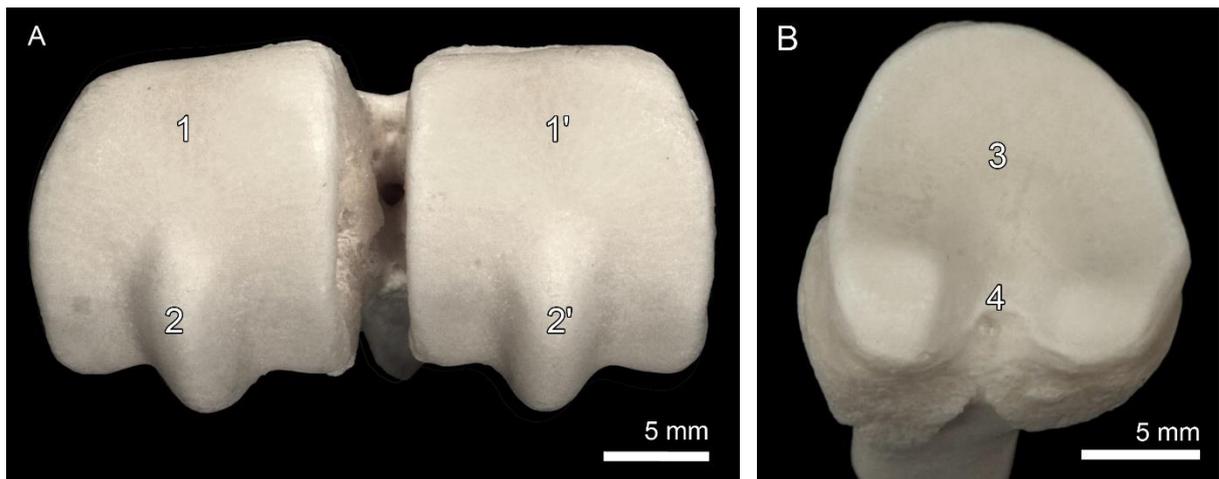


Abb. 34: Gelenkwalzen der Ossa metacarpalia III und IV (A, Ansicht von ventral) sowie der Facies articularis der Phalanx proximalis (B, Ansicht von proximal) der rechten Schultergliedmaße einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute:

1, 1' – dorsale, plane Gelenkfläche: 1 des McIV und 1' des McIII; 2, 2' – palmarer Sagittalkamm: 2 des McIV und 2' des McIII; 3 – dorsale, plane Gelenkfläche der Phalanx proximalis; 4 – palmare Einkerbung für Sagittalkamm der Gelenkwalze des Mittelfußes.

#### Muskulatur der Zehengelenke

Die Strecker der Zehengelenke umfassen den M. extensor digitorum communis sowie den M. extensor digitorum lateralis.

Der **M. extensor digitorum communis** entspringt bedeckt vom M. extensor carpi radialis am Epicondylus lateralis des Humerus. Seine zwei unvollständig getrennten Bäuche entlassen zwei getrennte Strecksehnen. Die mediale Sehne wird auf Höhe des Fesselgelenkes zu einer flächigen Platte, welche dorsal am Kronbein der medialen Zehe inseriert. Die laterale Sehne teilt sich auf Höhe des Fesselgelenkes in einen Ast für jede Zehe. Diese inserieren am Processus extensorius der jeweiligen Phalanx distalis.

Der **M. extensor digitorum lateralis** entspringt ebenfalls am Epicondylus lateralis humeri und bedeckt dabei das Lig. collaterale cubiti laterale. Seine Sehne wird wie die mediale Sehne des M. extensor digitorum communis auf Höhe des Fesselgelenkes flächig und inseriert dorsal am Kronbein der lateralen Zehe.

Zu den Beugern der Zehengelenke zählen der M. flexor digitorum superficialis und der M flexor digitorum profundus.

Der **M. flexor digitorum superficialis** ist im Bereich des Unterarms ein schmaler Muskel, welcher am Epicondylus medialis des Humerus entspringt und vom M. flexor carpi ulnaris bedeckt wird. Seine proximal dünne Sehne wird distal des Karpalgelenkes von der Palmarfaszie, vom M. interosseus medius und Fasern der Kollateralbänder des Karpalgelenkes massiv verstärkt auf deutlich mehr, als das Doppelte des ursprünglichen Querschnittes. Die oberflächliche Beugesehne teilt sich proximal des Fesselgelenkes in einen Ast je Zehe und bildet anschließend die Manica flexoria für den Durchtritt der tiefen Beugesehne. Sie inseriert palmar am Kronbein jeder Zehe.

Der **M. flexor digitorum profundus** besteht aus drei Bäuchen: dem Caput humerale, welches wiederum in zwei Anteile unterteilt ist, dem Caput radiale, welches am kaudomedialen Rand des Radius entspringt, sowie dem Caput ulnare, welches kaudolateral an der Ulna entspringt (Abb. 35). Die Sehnen der einzelnen Bäuche vereinen sich unmittelbar proximal des Karpalgelenkes zur einheitlichen tiefen Beugesehne. An dieser Stelle erhält diese außerdem ein schmales Muskelband, welches sich vom M. flexor carpi ulnaris abspaltet. Die tiefe Beugesehne teilt sich ebenfalls in einen Ast je Zehe und inseriert nach Durchtritt durch die Manica flexoria an der Phalanx distalis jeder Zehe.

Als kurzer Zehenmuskel ist beim Alpaka außerdem ein **M. lumbricalis** an der Vordergliedmaße zu finden. Dieser entspringt an der Gabelung der beiden Beugesehnenpakete. Seine schmale Ansatzsehne zieht anschließend durch den Interdigitalspalt auf die dorsale Seite der vierten Zehe und verbindet sich dort mit der axialen Strecksehne aus dem M. extensor digitorum communis, welche am Processus extensorius der Phalanx distalis inseriert.

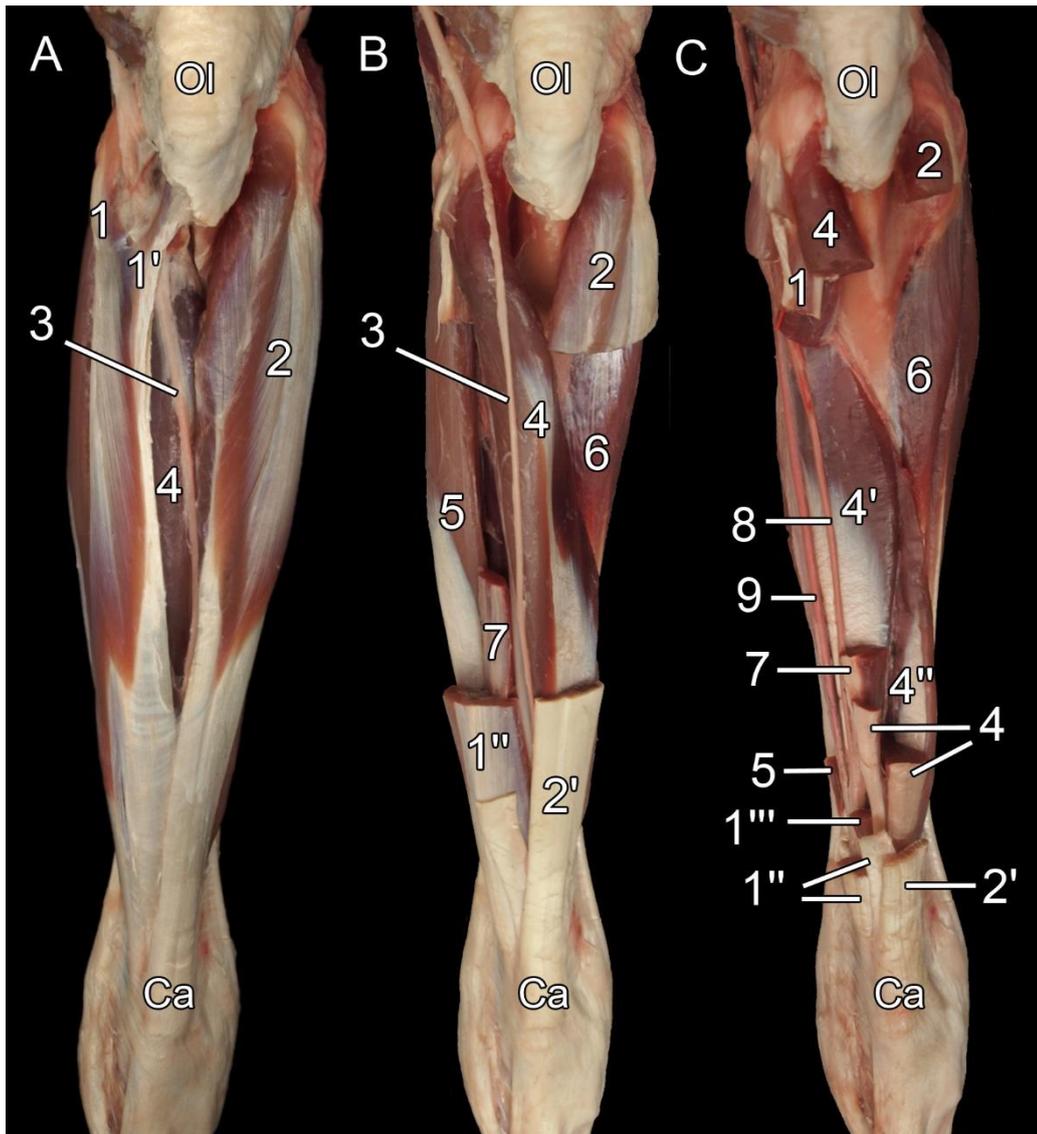


Abb. 35: Muskulatur des Unterarmes eines ca. 12 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Kaudalansicht, rechte Gliedmaße:

A: Oberflächliche Schicht der Unterarmmuskulatur; B: *M. extensor* und *flexor carpi ulnaris* sowie *M. flexor digitorum superficialis* durchtrennt; C: *M. flexor carpi radialis* sowie *Caput humerale* des *M. flexor digitorum profundus* durchtrennt.

Ca – *Os carpi accessorium*; Ol – *Tuber olecrani*.

1, 1', 1'', 1''' – *M. flexor carpi ulnaris* mit: 1 *Caput humerale*, 1' *Caput ulnare*, 1'' *Ansatzsehnen* und 1''' *Muskelstrang an die tiefe Beugesehne*; 2, 2' – *M. extensor carpi ulnaris* mit: 2 *Muskelbauch* und 2' *Ansatzsehne*; 3 – *N. ulnaris*; 4, 4', 4'' – *M. flexor digitorum profundus* mit: 4 *Caput humerale*, 4' *Caput radiale* und 4'' *Caput ulnare*; 5 – *M. flexor carpi radialis*; 6 – *M. extensor digitorum lateralis*; 7 – *M. flexor digitorum superficialis*; 8 – *N. medianus*; 9 – *A. mediana*.

### Gelenkkapsel und Gelenkbänder

Die beiden Gelenkkapseln der Zehengrundgelenke kommunizierten bei keinem der untersuchten Tiere (n=4). Sie sind jeweils zu einer dorsalen und einer palmaren Gelenkaussackung (Recessus dorsalis et palmaris) ausgebuchtet und umfassen in injiziertem Zustand durchschnittlich 0,5-1,0 ml Latexmilch, abhängig von der Größe des Tieres. Auf der dorsalen Seite sind die Gelenkaussackungen derb und fibrös verstärkt. Die gelenkige Verbindung der Sesambeine auf der palmaren Seite ist in die Kapsel jeder Seite miteinbezogen.

Der Bandapparat der Zehengrundgelenke kann in drei Gruppen eingeteilt werden: Seiten- und Zwischenzehenbänder der jeweiligen Gelenke sowie Sesambeinbänder. An jedem Zehengrundgelenk sind ein axiales und ein abaxiales Seitenband zu finden. Diese Ligamenta collateralia entspringen in den axialen und abaxialen Bandgruben der jeweiligen metakarpalen Gelenkwalze und setzen am proximalen Ende der jeweiligen Phalanx proximalis axial bzw. abaxial an (Abb. 36). Im Interdigitalspalt war beim Abtrennen einer Zehe ein feines Ligamentum interdigitale proximale zu finden.

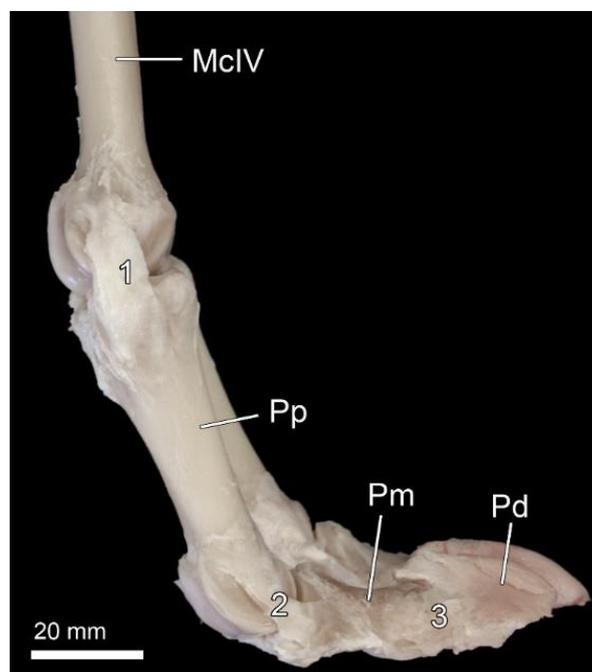


Abb. 36: Kollateralbänder des rechten proximalen, mittleren und distalen Zehengelenks eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Lateralansicht:

McIV – Os metacarpale quartum; Pp – Phalanx proximalis; Pm – Phalanx media; Pd – Phalanx distalis.

1 – Ligamentum collaterale laterale der Articulatio metacarpophalangea;  
2 – Ligamentum collaterale laterale der Articulatio interphalangea proximalis manus;  
3 – Ligamentum collaterale laterale der Articulatio interphalangea distalis manus.

Die Sesambeinbänder können in proximale, mittlere und distale Bänder eingeteilt werden:

Das proximale Sesambeinband stellt der sehnige M. interosseus dar. Bei den drei untersuchten Jungtieren konnten zum Teil muskulöse Fasern erkannt werden. Seinen Ursprung hat dieser Muskel an der distalen Reihe der Karpalknochen. Er erhält außerdem Zuschüsse von den Kollateralbändern sowie den palmaren Längsbändern des Karpalgelenkes. Des Weiteren ist er am proximalen Ende der Metakarpalknochen III und IV angeheftet und somit stabil mit der knöchernen Säule der Gliedmaße verbunden. Der mediale Ursprung des M. interosseus medius ist schwächer als der laterale. Proximal des Fesselgelenkes teilt er sich in zwei Seitenstränge für die beiden abaxialen Sesambeine. Von den beiden Seitensträngen zweigen auf Höhe der Zehengrundgelenke feine Unterstützungsäste für die Strecksehnen auf der dorsalen Seite ab. Axial befindet sich die Mittelplatte, welche wiederum zwei Seitenschenkel für die axialen Sesambeine der beiden Fesselgelenke entlässt. Die Mittelplatte bildet direkt oberhalb des Gelenkes eine Öffnung, durch welches die V. mediana an die Oberfläche gelangt und zur V. digitalis palmaris communis III wird. Die Vene befindet sich anschließend auf Höhe des Fesselgelenkes in der Rinne zwischen den beiden Beugesehnenpaketen. Nach dem Durchtritt der Vene bildet die Mittelplatte einen Interdigitalschenkel, welcher zwischen den beiden Gelenken hindurchzieht und in den axialen Teil der Strecksehne einstrahlt (Abb. 37).

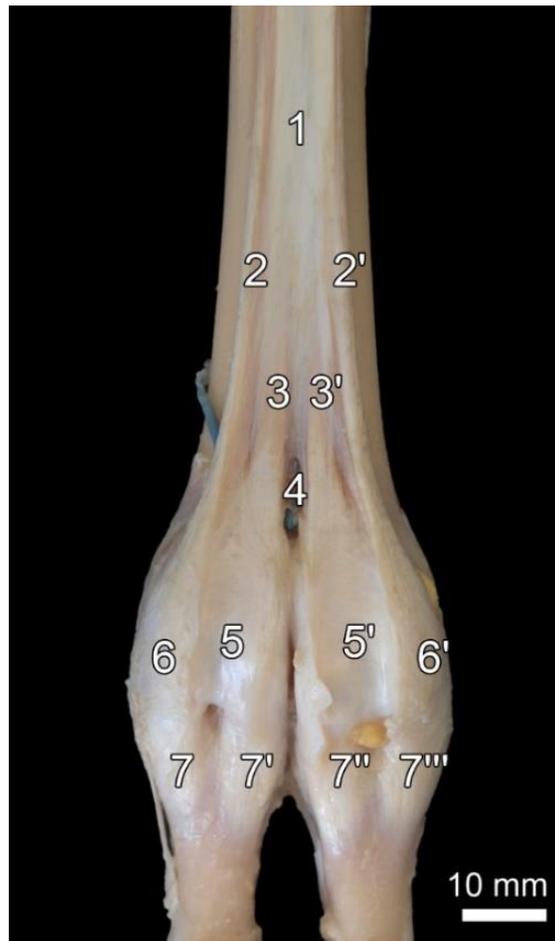


Abb. 37: *M. interosseus medius* am rechten Vorderfuß eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Palmaransicht:

1 – Mittelplatte des *M. interosseus medius*; 2, 2' – Seitenstränge: 2 medialer und 2' lateraler; 3, 3' – Seitenschenkel der Mittelplatte: 3 medialer und 3' lateraler; 4 – Durchtritt der *V. digitalis palmaris communis III*; 5, 5' – *Scutum proximale* bestehend aus: 5 *Ligamentum palmare mediale* und 5' *Ligamentum palmare laterale*; 6, 6' – *Ligamentum sesamoideum collaterale*: 6 mediale, 6' laterale; 7-7''' – *Ligamenta sesamoidea recta*.

Die mittleren Sesambeinbänder verbinden die Sesambeine untereinander und befestigen sie an der jeweiligen Zehe. Dazu zählt das *Ligamentum palmare laterale* und *mediale* für die Verbindung der axialen und abaxialen Sesambeine einer Zehe sowie das *Ligamentum sesamoideum collaterale laterale* und *mediale* für die Verbindung der abaxialen Sesambeine mit der Gliedmaßensäule. Die beiden palmaren Sesambeinbänder bilden eine glatte Oberfläche (*Scutum proximale*), über welche die beiden Beugesehnenpakete gleiten. Durch ein *Ligamentum anulare palmare* für jedes Gelenk werden diese in Position gehalten. Ein *Ligamentum intersesamoideum interdigitale* war nur vergleichsweise schwach ausgebildet (Abb. 37).

Als distale Sesambeinbänder konnten Ligamenta sesamoidea recta (Abb. 37) sowie die in der Tiefe liegenden Ligamenta sesamoidea cruciata gefunden werden (Abb. 38).

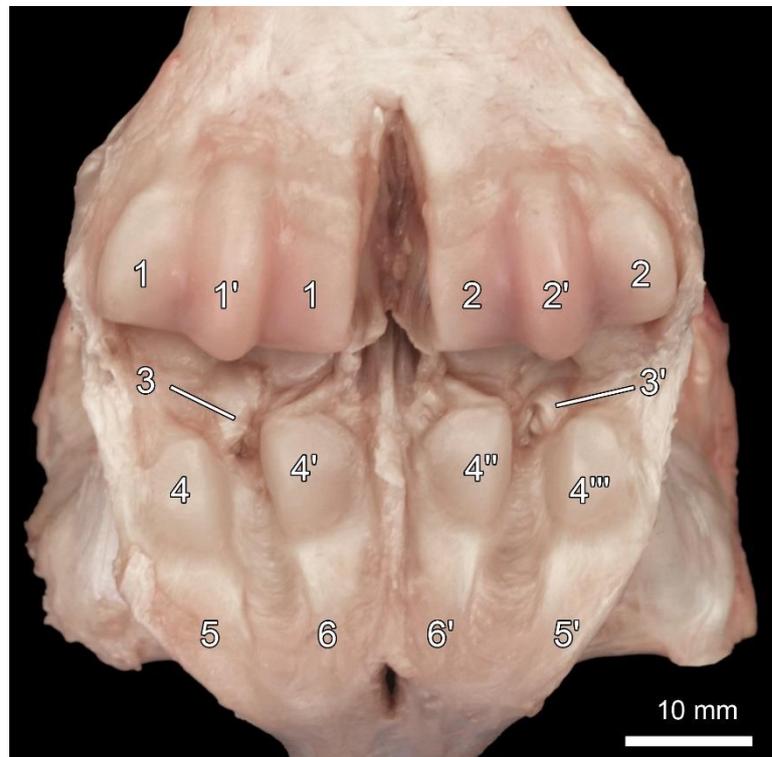


Abb. 38: Rechtes Fesselgelenk eines ca. 12 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Palmaransicht bei überstrecktem Gelenk, *M. interosseus medius* vom Mittelfuß abgelöst und nach distal geklappt:

1, 1' – Gelenkfläche des Os metacarpale III mit 1' palmarem Sagittalkamm;  
 2, 2' – Gelenkfläche des Os metacarpale IV mit 2' palmarem Sagittalkamm;  
 3, 3' – Ligg. sesamoidea cruciata; 4, 4', 4'', 4''' – Ossa sesamoidea proximalia;  
 5, 5' – medialer und lateraler Seitenstrang des *M. interosseus medius*; 6, 6' – medialer und lateraler Seitenschenkel des *M. interosseus medius*.

### Topografie des Zehengrundgelenkes

Dorsal verlaufen die Sehnen des M. extensor digitorum communis und des M. extensor digitorum lateralis über das Fesselgelenk. Außerdem zieht die V. digitalis dorsalis communis III über das Gelenk und teilt sich in die Vv. digitales dorsales propriae III et IV axialis. Gemeinsam mit der V. digitalis dorsalis communis III verlaufen außerdem sehr feine Nervenfasern der Äste des R. superficialis des N. radialis bis knapp proximal ans Fesselgelenk. Die Teilung der Nervenäste in Nn. digitales dorsales proprii war nicht nachvollziehbar, da diese zu dünn waren, um sie mit bloßem Auge zu identifizieren. Ebenso war der R. dorsalis des N. ulnaris nur bis knapp proximal des Fesselgelenkes auf der lateralen Gliedmaßenseite verfolgbar.

Lateral und medial des Fesselgelenkes ist das feine Unterstützungsband des M. interosseus medius zu finden.

Palmar in der Rinne zwischen den beiden Fesselgelenken verlaufen die Leitungsbahnen für die Zehenspitzen. Dazu gehört die A. und V. digitalis palmaris communis III sowie der N. digitalis palmaris communis III. Die Nn. digitales palmares communes II et IV zweigen proximal des Fesselgelenkes ab und verlaufen mit den jeweils gleichnamigen Gefäßen lateral beziehungsweise medial des Fesselgelenkes nach distal.

#### 4.1.4.3 Zehenmittelgelenk (*Articulatio interphalagea proximalis manus*) und Zehenendgelenk (*Articulatio interphalagea distalis manus*)

##### Knöcherne Grundlage

Die knöchernen Grundlage der Zehenmittel- oder Kronngelenke bilden die sattelförmige Trochlea des jeweiligen Fesselbeines sowie die Fovea articularis der Phalanx media. Die beiden Zehenendgelenke werden von der Gelenkwalze der Phalanx media und der Facies articularis der Phalanx distalis gebildet. Es hat ebenfalls die Form eines Sattelgelenkes (Abb. 39).

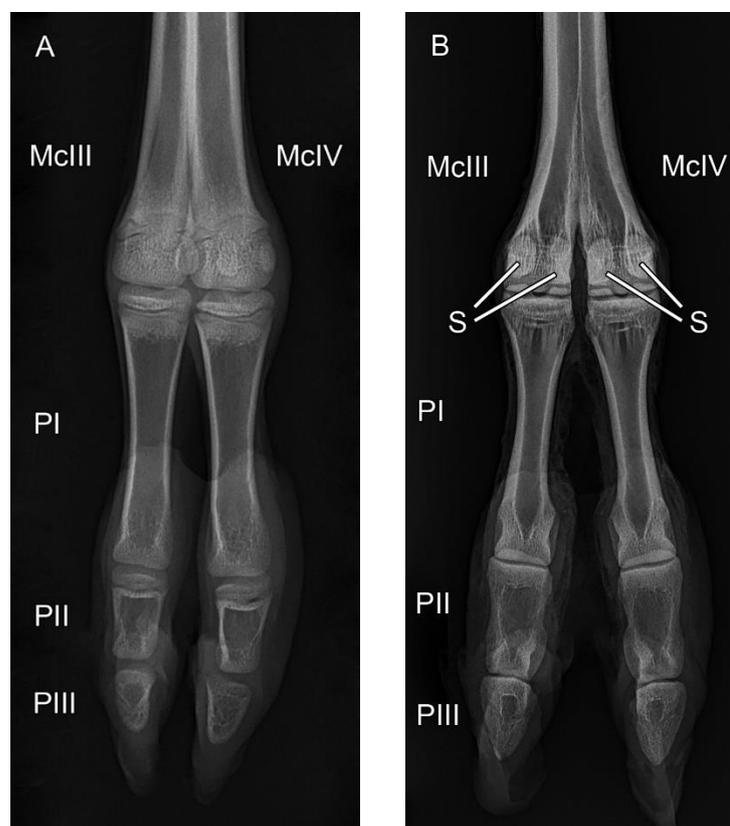


Abb. 39: Dorsopalmare Röntgenaufnahme der Zehengelenke einer ein Tag alten Huacaya-Stute (A, linke Gliedmaße) und einer 16 Jahre alten Huacaya-Stute (B, linke Gliedmaße):

*McIII* – *Os metacarpale tertium*; *McIV* – *Os metacarpale quartum*; *PI* – *Phalanx proximalis*; *PII* – *Phalanx media*; *PIII* – *Phalanx distalis*; *S* – *Ossa sesamoidea proximalia*.

### Gelenkkapsel und Gelenkbänder

Die Gelenkkapsel des Zehenmittelgelenkes ist dorsal und palmar zu einem Recessus dorsalis et palmaris ausgebuchtet. Im injizierten Zustand beträgt das Volumen der Gelenkhöhle 0,5-1,0 ml (n=5).

Als Seitenbänder sind ein axiales und abaxiales Ligamentum collaterale an jedem Gelenk zu finden. Auf der palmaren Seite des Gelenkes wird das Scutum medium durch den Endabschnitt der oberflächlichen Beugesehne gebildet, über welches die tiefe Beugesehne gleitet.

Wie auch beim Fesselgelenk ist ein axiales und ein abaxiales Kollateralband (Ligamentum collaterale) zu finden. Außerdem verbinden breitflächige Fasern (Ligamentum interdigitale distale) die beiden Zehen in diesem Bereich. Vom Processus extensorius der Phalanx distalis zieht ein elastisches Ligamentum dorsale zur Phalanx media.

Palmar an den Zehenendgelenken sind keine Sesambeine zu finden. Stattdessen ist die tiefe Beugesehne an dieser Stelle etwas breiter und kräftiger und man findet in der Gelenkkapsel jeder Articulatio interphalagea distalis manus eine knorpelige Verstärkung, die als Sesambeinknorpel bezeichnet werden kann.

#### **4.1.4.4 Blutgefäßversorgung der Zehengelenke**

Die Zehengelenke werden hauptsächlich von Ästen der A. digitalis palmaris communis III mit Blut versorgt, welche sich distal des Fesselgelenkes in die A. digitalis palmaris III und IV und anschließend in die A. digitalis palmaris propria III und IV axialis sowie die A. digitalis palmaris propria III und IV abaxialis aufzweigt (Abb. 44).

## 4.2 Nerven der Schultergliedmaße

### 4.2.1 Plexus brachialis

Der Plexus brachialis gelangt kranial der ersten Rippe, oberhalb des M. scalenus ventralis an die Gliedmaße (Abb. 40). Er gibt in der Folge die Plexusnerven ab.

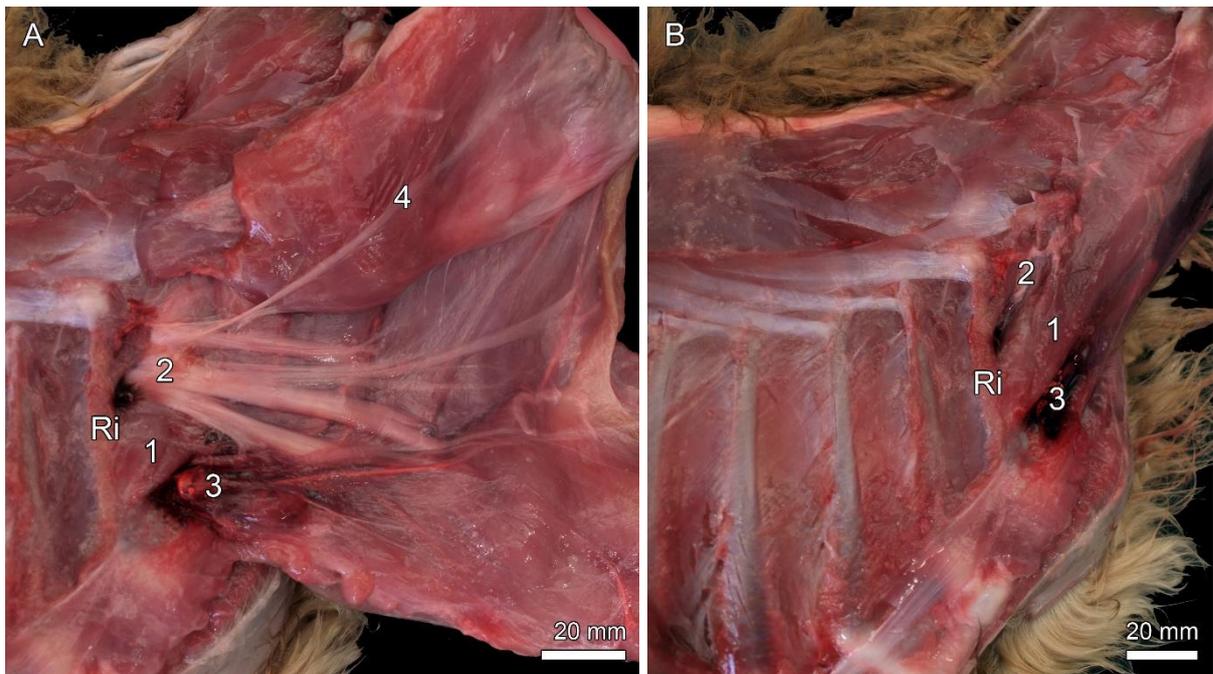


Abb. 40: Austritt des Plexus brachialis und der Arteria und Vena subclavia eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes (Lateralansicht von rechts), A: Schultergliedmaße nach kranial umgeklappt, B: Schultergliedmaße entfernt:

Ri – Erste Rippe.

1 – M. scalenus ventralis; 2 – Plexus brachialis; 3 – A. und V. subclavia; 4 – M. serratus ventralis, Pars thoracica und N. thoracicus longus.

#### 4.2.2 Nerven der Brustwand

Der N. thoracicus longus, der N. thoracodorsalis und die Nn. pectorales craniales et caudales sind Nerven, welche nicht an der Gliedmaße verlaufen, sondern nach kurzem Verlauf in Teile der Schultergürtelmuskulatur eintreten, um diese zu innervieren.

Der **N. thoracicus longus** entspringt kraniodorsal aus dem Plexus brachialis und versorgt die Pars thoracica des M. serratus ventralis (Abb. 40). Er verläuft von dorsal in einem Bogen nach kaudal auf der lateralen Oberfläche dieses Muskels.

In der Mitte des Plexus entspringt der **N. thoracodorsalis**. Dieser Nerv zieht medial über den M. subscapularis und den M. teres major und verzweigt sich anschließend im M. latissimus dorsi. Er gibt bei manchen Tieren einen Ast für die Innervation des M. teres major ab. Dieser entlässt teils bei manchen Tieren wiederum einen kleineren Ast für den M. subscapularis. Der M. latissimus dorsi wird mit 2-5 Ästen innerviert (Abb. 41).

Die **Nn. pectorales craniales** und **caudales** entspringen mit mehreren Ästen kaudoventral aus dem Plexus brachialis und ziehen in den M. pectoralis superficialis und profundus. Dabei umschließen sie die A. und V. thoracica externa und die A. und V. circumflexa humeri cranialis mit ihren einzelnen Nervenästen (Abb. 41).

Ein **N. thoracicus lateralis** war bei den untersuchten Alpakas nicht zu finden. Stattdessen blieb bei den Untersuchungen regelmäßig ein Nervenstumpf an der Gliedmaße, welcher jedoch keine Verbindung zum Plexus brachialis hatte. Dieser zieht in den Winkel zwischen M. latissimus dorsi, M. pectoralis profundus und Caput longum des M. triceps brachii und innerviert diese Region.

#### 4.2.3 Nerven proximal an der Gliedmaße

Die Nn. subscapulares, der N. suprascapularis und der N. axillaris sind Nerven, welche ausschließlich proximal an der Gliedmaße Muskeln innervieren.

Die **Nn. subscapulares** treten nach sehr kurzem Verlauf in den M. subscapularis ein. Bei den untersuchten erwachsenen Tieren waren 3-6 größere Äste zu finden mit einem Durchmesser von ca. 1-3 mm (Abb. 41).

Der **N. suprascapularis** zieht im distalen Drittel des Margo cranialis der Scapula von medial nach lateral. Er tritt in den Spalt zwischen den M. subscapularis und den M. supraspinatus. Auf der Lateralfäche innerviert er zunächst den M. supraspinatus mit einzelnen Ästen und zieht dann geschützt vom Akromion um dessen kranialen Rand zur Fossa infraspinata. Hier teilt sich der Nerv in zwei Äste und innerviert den

M. infraspinatus. Im Verlauf wird er von einem Ast der A. suprascapularis begleitet (Abb. 41). Er besitzt bei den untersuchten erwachsenen Tieren einen durchschnittlichen Durchmesser von ca. 6-8 mm.

Ein weiterer Nerv proximal an der Gliedmaße ist der **N. axillaris** (Abb. 41). Er entspringt ebenfalls in der Mitte des Plexus, ventral des N. thoracodorsalis. Zunächst gibt er medial an der Gliedmaße einen Ast an den M. subscapularis und den M. teres major ab. Anschließend zieht er in den Spalt zwischen M. subscapularis, M. teres major und M. coracobrachialis und umrundet gemeinsam mit der A. circumflexa humeri caudalis das Schultergelenk auf dessen kaudaler Seite. Lateral gibt er kleinere Äste für die Innervation des M. teres minor und des M. deltoideus und einen kräftigen Ast für die Innervation des M. cleidobrachialis ab (Abb. 42). Sein Hautast, der N. cutaneus brachii lateralis cranialis, verläuft zunächst bedeckt von der Pars scapularis des M. deltoideus auf dem Caput laterale des M. triceps brachii nach distal. Er tritt unter der Pars scapularis des M. deltoideus hervor und zieht am kranialen Rand des M. brachialis nach distal über das Ellbogengelenk hinweg. Dabei wird er zum Teil vom M. brachiocephalicus bedeckt. Distal des Ellbogengelenkes wird er zum N. cutaneus antebrachii cranialis. Hier verbindet sich dieser Nervenast mit dem medialen Ast des R. superficialis des N. radialis. Bei manchen Tieren war zusätzlich noch ein zweiter dünnerer Hautast vorhanden, der etwas weiter kaudal unter der Pars scapularis des M. deltoideus hervortrat. Der N. axillaris hat nach seinem Ursprung im Plexus bei den erwachsenen Tieren einen Durchmesser von ca. 4-6 mm.

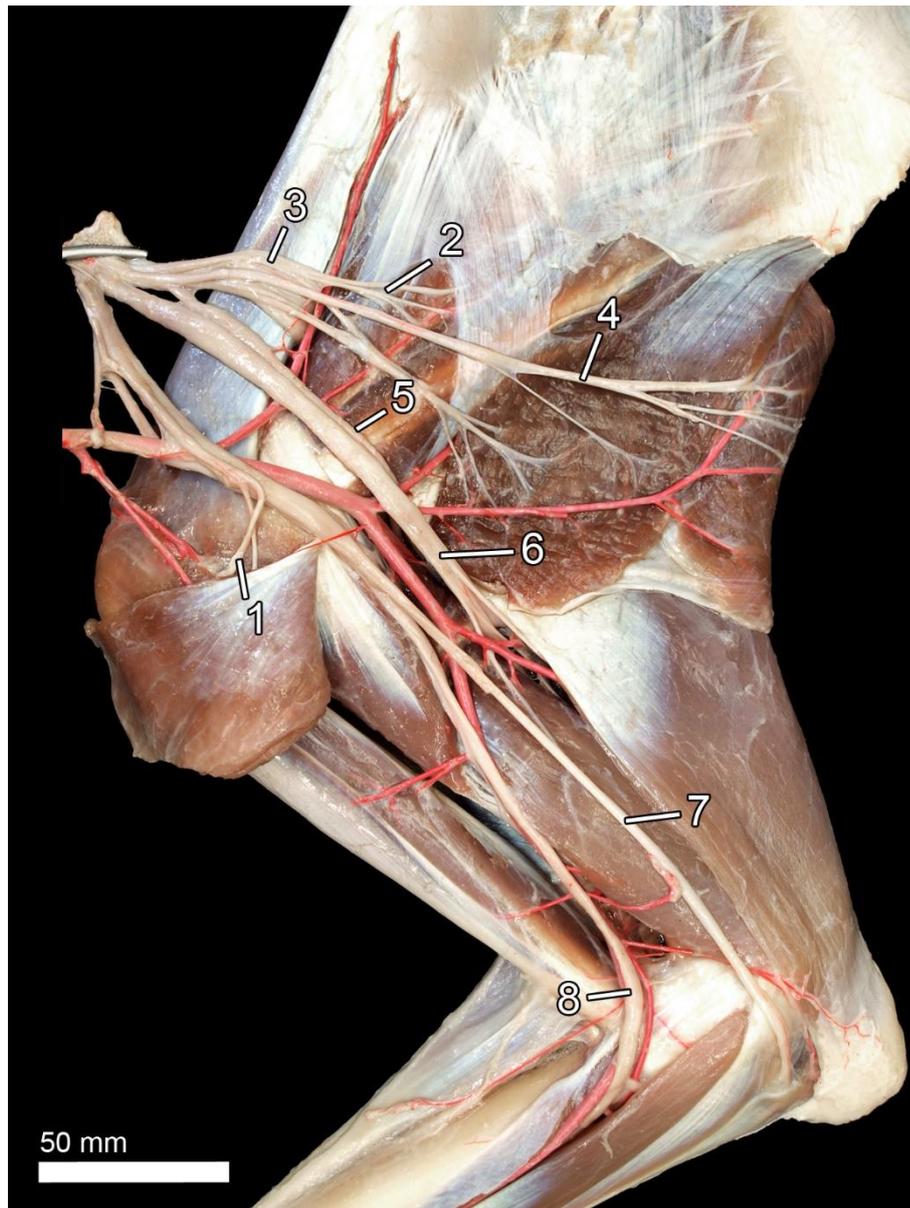


Abb. 41: Plexus brachialis der rechten Schultergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Medialansicht:

1 – Nn. pectorales; 2 – Nn. subscapulares; 3 – N. suprascapularis; 4 – N. thoracodorsalis; 5 – N. axillaris; 6 – N. radialis; 7 – N. ulnaris; 8 – N. medianus.

#### 4.2.4 Nerven distal an der Gliedmaße

Der **N. radialis** hat kurz nach seinem Ursprung einen Durchmesser von ca. 5-7 mm. Er gibt zunächst einige Äste für die Innervation des Caput mediale und des Caput longum des M. triceps brachii ab (Abb. 41), bevor zwischen den Muskelbäuchen des M. teres major, des Caput longum und des Caput mediale des M. triceps brachii verschwindet und kaudal des Humerus auf die laterale Seite der Gliedmaße zieht. Er windet sich gemeinsam mit dem M. brachialis kaudal um den Humerus und innerviert diesen Muskel. Während dieses Verlaufes wird er von der A. collateralis radialis begleitet, welche eine Fortsetzung der A. circumflexa humeri caudalis darstellt. Des Weiteren begleitet die V. collateralis radialis diese beiden Leitungsbahnen. Auf der kaudolateralen Seite innerviert der N. radialis das Caput laterale des M. triceps brachii sowie den M. anconaeus.

Im weiteren Verlauf teilt sich der N. radialis in einen R. profundus und einen R. superficialis.

Der R. profundus zieht gemeinsam mit der Sehne des M. brachialis auf die kraniale Seite des Ellbogengelenkes. Er gibt Äste für die Innervation der gesamten Streckmuskeln des Karpalgelenkes und der Zehengelenke ab. Ein dünner Ast innerviert außerdem den M. extensor carpi obliquus (M. abductor pollicis longus).

Kraniolateral des Ellbogengelenkes tritt der R. superficialis des N. radialis unter dem Caput laterale des M. triceps brachii hervor und verläuft auf dem M. extensor carpi radialis nach distal (Abb. 42). Dieser ist bei allen untersuchten Tieren in einen lateralen und einen medialen Ast unterteilt. Der mediale Ast vereinigt sich mit dem N. cutaneus antebrachii cranialis des N. axillaris. Die beiden Äste legen sich lateral und medial an die V. collateralis radialis und im weiteren Verlauf proximal des Karpalgelenkes an die V. cephalica. Der laterale Ast gibt proximal des Karpalgelenkes einige feine Nervenäste an das Retinaculum extensorum ab. Distal des Karpalgelenkes sind die beiden Äste des R. superficialis des N. radialis weiterhin zu beiden Seiten der V. cephalica zu finden. Auf halber Höhe des Mittelfußes teilen sich die beiden Äste in sehr feine Zweige und sind nur noch schwer nachzuverfolgen.

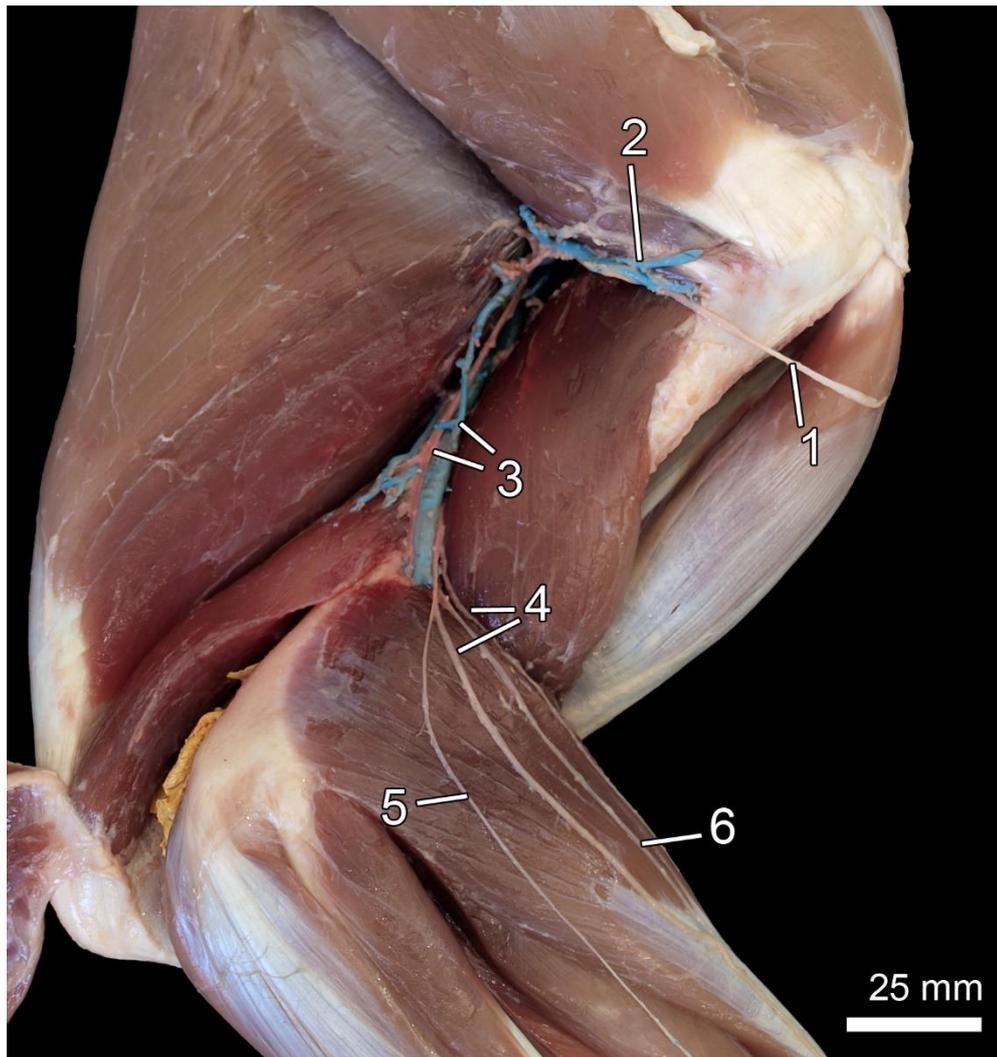


Abb. 42: Nerven der Schultergliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht, rechte Gliedmaße:

1 – N. axillaris, R. muscularis an M. cleidobrachialis; 2 – V. circumflexa humeri caudalis; 3 – A./V. collateralis radialis; 4 – lateraler und medialer Ast des R. superficialis des N. radialis; 5 – R. cutaneus des N. radialis; 6 – V. collateralis radialis (anastomosiert auf halber Höhe des Unterarmes mit V. cephalica).

Der **N. musculocutaneus** entspringt kranial des N. medianus und des N. ulnaris und bildet den kranialen Teil der Ansa axillaris. Er innerviert mit einem proximalen R. muscularis den M. coracobrachialis und den proximalen Anteil des M. biceps brachii. Dieser Ast verläuft distal des Schultergelenkes nach kranial, durchbohrt dabei den M. coracobrachialis und endet schließlich zwischen den zwei Teilen des M. biceps brachii, kurz nachdem dessen Ursprungssehne in den muskulösen Teil übergeht. Die A. circumflexa humeri cranialis begleitet den Nerv nach dessen Durchtritt durch den M. coracobrachialis. Der distale Anteil des N. musculocutaneus ist zunächst mit dem N. medianus verbunden. Die beiden Nerven verlaufen gemeinsam in der Kuhle,

welche vom Kaudalrand des M. coracobrachialis sowie dem Kranialrand des Caput mediale des M. triceps brachii gebildet wird. Knapp über dem Ellbogengelenk trennt sich der distale Anteil des N. musculocutaneus vom N. medianus und zieht nach kranial, um die distale Portion des M. biceps brachii und den M. brachialis zu innervieren. Ein N. cutaneus antebrachii medialis wurde bei den Untersuchungen nicht gefunden. Der durchschnittliche Durchmesser des Nervs nach dessen Ursprung im Plexus beträgt bei adulten Tieren ca. 2-3 mm.

Der **N. ulnaris** besitzt einen Durchmesser von ca. 3-4 mm. Er war bei einem Tier bis über die Ansa axillaris hinaus mit dem N. medianus verbunden, während er sich bei den restlichen Tieren schon früher separierte und keine Ansa axillaris bildete. Er verläuft zunächst auf dem Caput mediale des M. triceps brachii in Richtung Ellbogengelenk (Abb. 41). Dort trennt sich der N. cutaneus antebrachii caudalis ab, welcher aus 1-3 Ästen besteht und die Haut kaudomedial am Unterarm innerviert. Auf Höhe des Ellbogengelenkes zieht der N. ulnaris kaudal am Epicondylus medialis des Humerus vorbei und taucht unter den M. flexor carpi ulnaris. Er innerviert dort den M. flexor carpi ulnaris und das Caput ulnare des M. flexor digitorum profundus.

Im distalen Drittel des Unterarmes teilt sich der N. ulnaris in einen R. dorsalis und einen R. palmaris. Der R. dorsalis tritt zwischen den Endsehnen des M. extensor und flexor carpi ulnaris unter die Haut. Er zieht auf die laterale Seite der Gliedmaße am Karpalgelenk vorbei und ist bis knapp proximal des Fesselgelenkes zu verfolgen, wird anschließend jedoch zu fein, um ihn mit bloßem Auge zu identifizieren.

Der R. palmaris verläuft bedeckt vom M. extensor und flexor carpi ulnaris palmar über das Karpalgelenk. Distal davon wird er von der oberflächlichen Beugesehne bedeckt und zieht am lateralen Rand des Sehnenpaketes nach distal. Im unteren Drittel des Mittelfußes verbindet sich der R. palmaris mit dem lateralen Ast des N. medianus zum N. digitalis palmaris communis IV für die vierte Zehe. Der Zusammenschluss dieser beiden Nerven verläuft für ca. 1,5 cm gemeinsam auf dem Beugesehnenpaket für die laterale Zehe nach distal und teilt sich dann auf Höhe des Fesselgelenkes in zwei Äste. Der kräftigere dieser beiden Äste verläuft abaxial an der Zehe bis zu deren Spitze, der dünnere verläuft auf die Dorsalseite der Zehe und innerviert dort den dorsalen Bereich am Fesselgelenk.

Der **N. medianus** entspringt gemeinsam mit dem N. ulnaris aus dem Plexus brachialis. Er ist ca. 4-6 mm dick und zieht gemeinsam mit dem distalen Anteil des N. musculocutaneus in der Rinne zwischen kaudalem Rand des M. coracobrachialis

und kranialem Rand des Caput mediale des M. triceps brachii am Oberarm nach distal. Die beiden Nerven werden hier von der A. und V. brachialis begleitet (Abb. 41). Auf Höhe des Ellbogengelenkes gibt der N. medianus die ersten Rr. musculares für den M. flexor carpi radialis, den M. flexor digitorum superficialis und den M. flexor digitorum profundus (Caput humerale und Caput radiale) ab. Er zieht am Unterarm gemeinsam mit der A. und V. brachialis in der Rinne zwischen Caput radiale des M. flexor digitorum profundus und M. flexor carpi radialis zum Karpalgelenk. Dort tritt er mit diesen beiden Leitungsbahnen in den Karpaltunnel ein. Distal des Karpalgelenkes liegt er medial unter dem Beugesehnenpaket. Im distalen Drittel des Mittelfußes überquert er das Beugesehnenpaket von medial nach palmar und teilt sich in den N. digitalis palmaris proprius III axialis und abaxialis sowie den N. digitalis palmaris proprius IV axialis und abaxialis.

#### **4.2.5 Nerven der Zehen**

Die dorsalen Anteile der Zehen werden vom R. superficialis des N. radialis sowie vom R. dorsalis des N. ulnaris innerviert. Auf der palmaren Seite wird ein Großteil vom N. medianus innerviert sowie vom R. palmaris des N. ulnaris. Der R. dorsalis des N. ulnaris sowie die Äste des N. radialis auf der dorsalen Seite konnten in der Untersuchung nur bis knapp über die Fesselgelenke dargestellt werden und waren anschließend mit bloßem Auge nicht mehr vom umgebenden Bindegewebe zu unterscheiden.

Auf der palmaren Seite teilt sich der N. medianus in die vier Äste welche die Nn. digitales palmares proprii III und IV axiales und die Nn. digitales palmares proprii III und IV abaxiales bilden. Auf der lateralen Seite nimmt der N. digitalis proprius IV abaxialis wenige Zentimeter proximal des Fesselgelenkes noch den R. palmaris des N. ulnaris auf.

## 4.3 Blutgefäße der Schultergliedmaße

### 4.3.1 Arterien

#### Arteria axillaris

Die **A. subclavia** der Alpakas umrundet die erste Rippe und erreicht ventral des M. scalenus ventralis, auf Höhe des Schultergelenkes, als **A. axillaris** die mediale Seite der Vordergliedmaße (Abb. 40).

Als ersten Ast gibt die A. axillaris die **A. thoracica externa** für die Versorgung der Pektoralismuskulatur ab. Die **A. circumflexa humeri cranialis**, welche medial den M. coracobrachialis überquert und anschließend den proximalen Ast des N. musculocutaneus begleitet, entspringt entweder aus der A. thoracica externa oder gemeinsam mit dieser aus der A. axillaris und umrundet das Schultergelenk kranial. Dabei versorgt diese Arterie den proximalen Teil des M. biceps brachii, den M. coracobrachialis und den kranialen Abschnitt der Schultergelenkkapsel.

Ein Stück weiter distal wird als zweites Gefäß der A. axillaris die **A. suprascapularis** entlassen, welche am kranialen Schulterblattrand entlang verläuft. Sie gibt einen Ast (R. acromialis) ab, der sich gemeinsam mit dem N. suprascapularis kranial um das Akromion windet und den M. infraspinatus versorgt. Darüber hinaus entspringen aus der A. suprascapularis weitere Äste für die Versorgung des M. supraspinatus, des M. subscapularis und des kranialen Teils der Schultergelenkkapsel.

Die A. subscapularis, die A. thoracodorsalis und die A. circumflexa humeri caudalis entspringen etwas weiter distal in der Schultergelenksbeuge auf derselben Höhe.

Die **A. subscapularis** verläuft am kaudalen Schulterblattrand entlang in Richtung Angulus caudalis scapulae und gibt kleine Äste (Aa. circumflexae scapulae) an den M. infraspinatus auf der lateralen Seite des Schulterblattes ab. Zudem versorgt sie den M. teres minor, das Caput longum des M. triceps brachii sowie den medialen Anteil der Schultergelenkkapsel mit Ästen.

Die **A. thoracodorsalis** verläuft medial über den M. teres major, welchen sie mit kleinen Ästen versorgt, und verzweigt sich anschließend im M. latissimus dorsi. Ein kräftiger Ast dieser Arterie durchbohrt die Sehnenplatte des M. teres major und dringt zur Versorgung in den proximalen Teil des Caput longum des M. triceps brachii ein. Außerdem versorgt ein weiterer Ast den M. pectoralis profundus mit Blut.

Als letztes Gefäß entspringt die **A. circumflexa humeri caudalis** aus der A. axillaris. Sie umrundet das Schultergelenk kaudal gemeinsam mit dem N. axillaris und gelangt

auf die laterale Seite der Gliedmaße. Dabei gibt sie Äste lateral an die Schultergelenkkapsel, an den M. teres minor und den M. brachialis ab. Sie versorgt außerdem das Caput longum und das Caput laterale des M. triceps brachii mit Blut und verläuft von diesen Muskelbäuchen bedeckt nach distal.

Anschließend wird die A. circumflexa humeri caudalis zur **A. collateralis radialis**, welche den N. radialis ab der Hälfte des Oberarmes begleitet. Dabei verlaufen diese beiden Leitungsbahnen mit dem M. brachialis von kaudal nach lateral. Die A. collateralis radialis versorgt den M. anconaeus und den kaudalen Teil des Ellbogengelenkes. Außerdem gibt sie kaudal eine A. nutricia humeri in Richtung Fossa olecrani des Oberarmbeines ab. Sie anastomosiert kranial des Ellbogengelenkes mit der A. transversa cubiti, welche weiter distal aus der A. brachialis entspringt (Abb. 43).

### Arteria brachialis

Nach Abgabe der A. circumflexa humeri caudalis wird die A. axillaris durch die **A. brachialis** fortgesetzt.

Als ersten Ast gibt sie die **A. profunda brachii** ab, welche das Caput longum und das Caput mediale des M. triceps brachii versorgt. Sie verläuft parallel zur A. circumflexa humeri caudalis bzw. A. collateralis radialis kaudomedial am Oberarm in Richtung Olekranon. Begleitet wird sie dabei anfangs von Ästen des N. radialis, die den M. triceps brachii versorgen.

Im weiteren Verlauf zieht die A. brachialis in einer Rinne, welche vom M. coracobrachialis und vom Caput mediale des M. triceps brachii gebildet wird, nach distal. Sie wird während dieses Verlaufes vom N. medianus und der V. brachialis bedeckt. Es entspringen meist zwei **Aa. bicipitales** aus ihr, welche den mittleren und den distalen Teil des M. biceps brachii versorgen.

Auf Höhe des Ellbogengelenkes entspringen die A. transversa cubiti, die A. collateralis ulnaris und die A. interossea communis auf gleicher Höhe.

Die **A. transversa cubiti** zieht kranial des Ellbogengelenkes nach lateral und anastomosiert mit der A. collateralis radialis. Sie versorgt die Gelenkkapsel des Ellbogens kranial und gibt lateral an den M. extensor carpi radialis, die Mm. extensores digitorum communis et lateralis sowie den M. extensor carpi ulnaris Äste ab. Dabei wird die Arterie von einem Ast des R. profundus des N. radialis begleitet.

Als weitere Arterie entspringt die **A. collateralis ulnaris** kaudal gerichtet aus der A. brachialis. Sie verläuft nach kaudal, in Richtung Olekranon und N. ulnaris und

verzweigt sich dort. Sie versorgt die mediale Region des Ellbogengelenkes mit Blut. Knapp darunter entspringt die **A. interossea communis** aus der A. brachialis. Aus ihr zweigt die A. nutricia ulnaris et radialis ab, welche in das schmale Spatium interosseum zieht. Die A. interossea communis teilt sich in einzelne Äste auf. Diese versorgen die Muskulatur kaudal am Unterarm. Ein Ast, welcher auf der kaudolateralen Seite entlang der Ulna nach distal zieht, anastomosiert mit der A. radialis (Abb. 45).

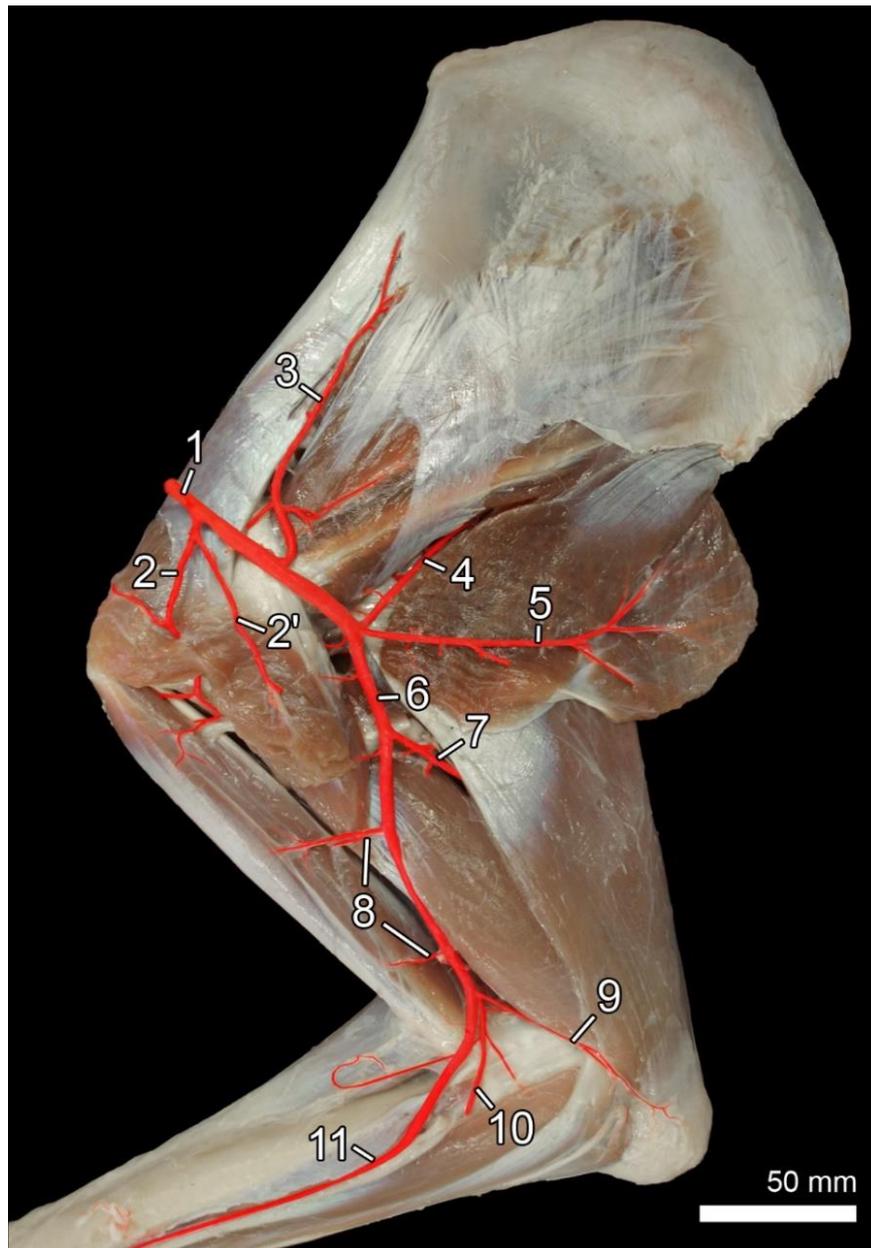


Abb. 43: Blutgefäßbaum der rechten Schultergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Medialansicht, Farbe der Blutgefäße nachträglich verstärkt:

1 – A. axillaris; 2 – A. circumflexa humeri cranialis; 2' – A. thoracica externa; 3 – A. suprascapularis; 4 – A. subscapularis; 5 – A. thoracodorsalis; 6 – A. brachialis; 7 – A. profunda brachii; 8 – A. bicipitalis; 9 – A. collateralis ulnaris; 10 – A. interossea communis; 11 – A. mediana.

### Arteria mediana

Nachdem die A. brachialis die A. interossea communis abgegeben hat, verläuft sie als **A. mediana** im Spalt zwischen Caput radiale des M. flexor digitorum profundus und Caput humerale des M. flexor carpi ulnaris nach distal. Dabei wird sie vom N. medianus und der V. mediana begleitet.

Im distalen Drittel des Unterarmes gibt die A. mediana kurz vor ihrem Eintritt in den Karpaltunnel zusammen mit dem N. medianus die A. radialis ab. Diese verläuft kaudomedial am Radius nach distal. Proximal des Karpalgelenkes erhält sie eine Anastomose aus der A. interossea communis. Die A. radialis gibt mehrere Äste an das Karpalgelenk und einen kräftigen Ast (R. carpeus dorsalis) an das Rete carpi dorsale ab. Dieser Ast zieht von lateral auf die dorsale Gelenkseite und tritt dabei durch das distale Spatium interosseum zwischen Radius und Ulna. Die A. radialis verläuft anschließend mit der Sehne des M. flexor carpi radialis kaudomedial durch den Karpaltunnel nach distal und bildet die **A. metacarpea palmaris III**. Diese verläuft kaudomedial direkt auf dem Metakarpalknochen und wird dabei vom M. interosseus medius bedeckt.

Die **A. mediana** verläuft, nachdem sie gemeinsam mit dem Beugesehnenpaket durch den Karpaltunnel gezogen ist, mediopalmar in der Mulde zwischen M. interosseus medius und der tiefen Beugesehne und wird zur **A. digitalis palmaris communis III**. Im distalen Drittel des Metakarpus zieht das Gefäß von medial nach palmar über das Beugesehnenpaket und legt sich auf Höhe des Zehengrundgelenkes zwischen die beiden Schenkel der Beugesehnen (Abb. 44).

Knapp unterhalb des Fesselgelenkes an der Aufzweigung der beiden Zehen teilt sich die A. digitalis palmaris communis III in eine **A. digitalis palmaris propria III** und **IV** für die jeweilige Zehe. Die A. digitalis palmaris propria III teilt sich wiederum auf Höhe der Phalanx proximalis in eine **A. digitalis palmaris propria III axialis** für die axiale Seite der dritten Zehe sowie eine **A. digitalis palmaris propria III abaxialis** für die abaxiale Seite der dritten Zehe. Nach dem gleichen Prinzip teilt sich auch die A. digitalis propria IV für die vierte Zehe auf.

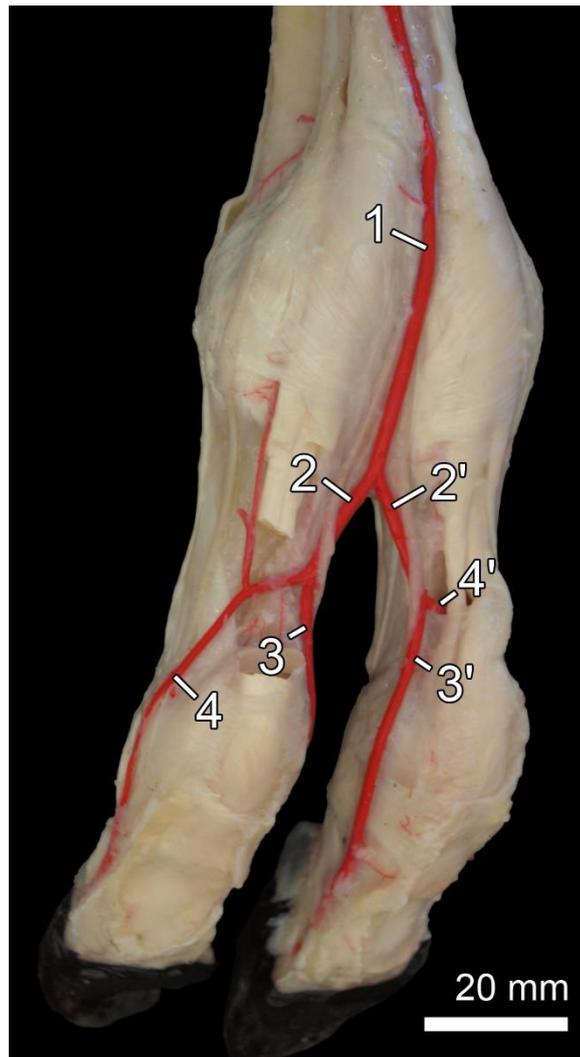


Abb. 44: Arterien der Zehen der rechten Schultergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallaches, Mediopalmaransicht, Beugesehnen der medialen Zehe auf Höhe der Phalanx proximalis gefenstert:

1 – *A. digitalis palmaris communis III*; 2 – *A. digitalis palmaris III*; 2' – *A. digitalis palmaris IV*; 3 – *A. digitalis palmaris propria III axialis*; 3' – *A. digitalis palmaris propria IV axialis*; 4 – *A. digitalis palmaris propria III abaxialis*; 4' – *A. digitalis palmaris propria IV abaxialis*.

In Abb. 45 ist ein schematischer Überblick über die arteriellen Blutgefäße der Schultergliedmaße des Alpakas dargestellt.

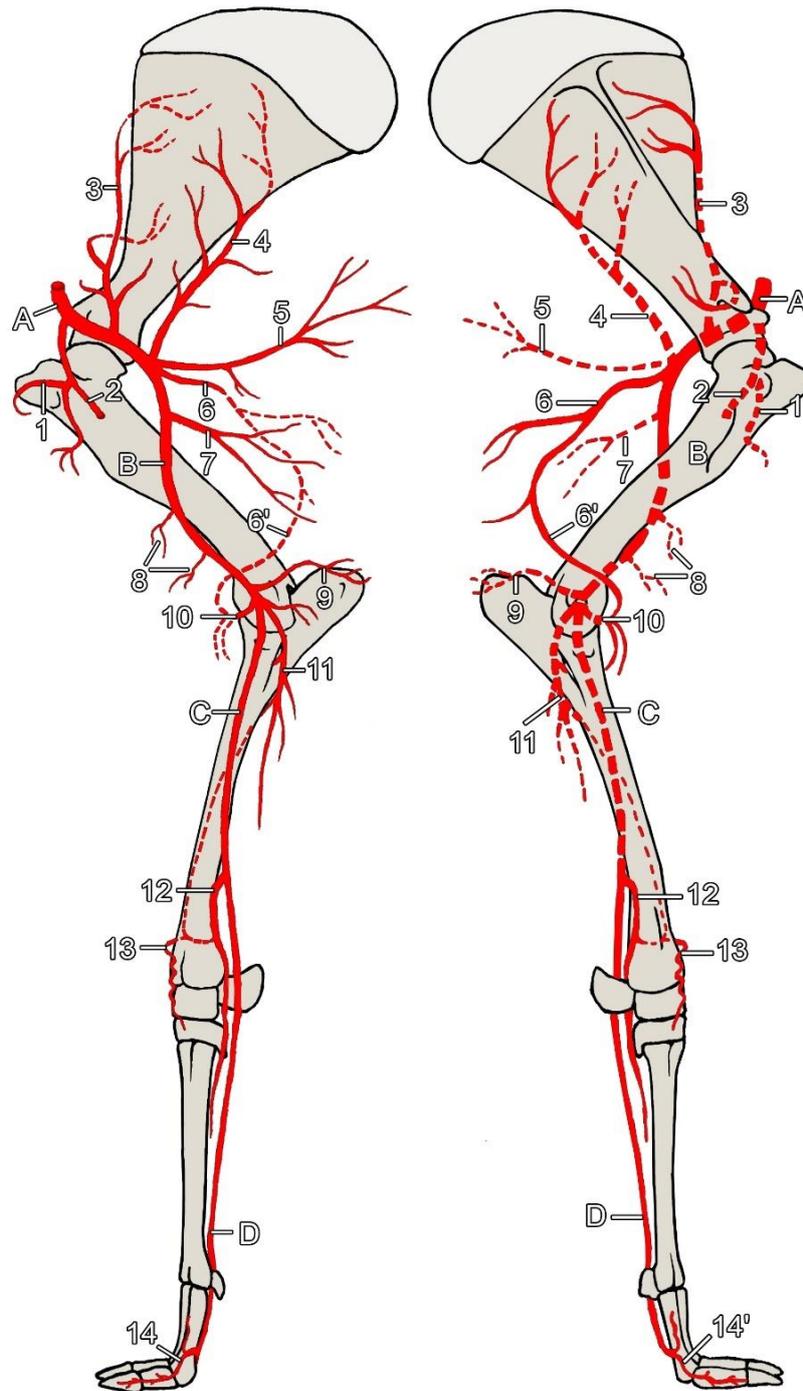


Abb. 45: Schemazeichnung der Arterien der rechten Schultergliedmaße, Medialansicht (links) und Lateralansicht (rechts):

A – A. axillaris; B – A. brachialis; C – A. mediana; D – A. digitalis palmaris communis III.

1 – A. circumflexa humeri cranialis; 2 – A. thoracica externa; 3 – A. suprascapularis; 4 – A. subscapularis; 5 – A. thoracodorsalis; 6 – A. circumflexa humeri caudalis; 6' – A. collateralis radialis; 7 – A. profunda brachii; 8 – Aa. bicipitales; 9 – A. collateralis ulnaris; 10 – A. transversa cubiti; 11 – A. interossea communis; 12 – A. radialis; 13 – R. carpeus dorsalis; 14 – A. digitalis palmaris propria III abaxialis; 14' – A. digitalis palmaris propria IV abaxialis.

### 4.3.2 Venen

Die Venen der Schultergliedmaße der Alpakas sind in ein oberflächliches und ein tiefes System unterteilt. Die V. cephalica leitet das Blut aus dem oberflächlichen System, die V. axillaris das Blut aus dem tiefen System ab (Abb. 46).

#### Vena cephalica

Die **V. cephalica** sammelt das Blut der dorsalen Anteile distal an der Gliedmaße. Der venöse Abfluss beginnt distal mit der **V. digitalis dorsalis propria III axialis** und der **V. digitalis dorsalis propria IV axialis**, welche sich auf Höhe des Fesselgelenkes zu einer **V. digitalis dorsalis communis III** vereinigen. Hier ist außerdem eine Verbindung zum tiefen Venensystem auf der palmaren Seite zu finden. Des Weiteren erhält die dorsale gemeinsame Zehenvene proximal des Fesselgelenkes einen Ast aus der V. digitalis palmaris propria III abaxialis, welcher von medial in sie einstrahlt. Sie verläuft als **V. cephalica accessoria** gemeinsam mit oberflächlichen Ästen des N. radialis kraniomedial weiter über das Karpalgelenk. Proximal des Karpalgelenkes zweigt die **V. collateralis radialis** ab, welche gemeinsam mit dem lateralen und medialen Ast des R. superficialis des N. radialis unter das Caput laterale des M. triceps brachii zieht und kaudal gemeinsam mit der A. circumflexa humeri caudalis das Schultergelenk umrundet. Diese Vene sammelt das Blut der lateralen Anteile des Oberarmes. Die V. cephalica accessoria wird schließlich zur **V. cephalica**. Diese hat wenige Zentimeter proximal des Ellbogengelenkes eine Querverbindung zur V. brachialis. Auf Höhe des Schultergelenkes mündet die V. cephalica in die **V. axillaris**.

#### Vena axillaris

Der Abfluss des venösen Blutes erfolgt im tiefen System über die **V. axillaris**. Palmar beginnt dieser mit je einer **V. digitalis palmaris propria III axialis** und einer **V. digitalis palmaris propria IV axialis**. Die beiden Venen schließen sich im Zwischenzehenspalt zur **V. digitalis palmaris communis III** zusammen. Proximal des Fesselgelenkes tritt dieses Gefäß zwischen den beiden Anteilen des M. interosseus medius hindurch und gelangt auf der Palmarseite der Metakarpalknochen. Dort nimmt sie die beiden **Vv. digitales palmares propriae III et IV abaxiales** auf. Sie verläuft anschließend kaudomedial am Metakarpus bedeckt vom M. interosseus medius als **V. metacarpea palmaris III** nach proximal und wird auf Höhe des Karpus zur

**V. mediana.** Im Bereich des Oberarmes wird sie zur **V. brachialis**. Diese nimmt Gefäße auf, welche die Arterien begleiten und somit gleich benannt werden können: die **V. profunda brachii**, **V. thoracodorsalis**, **V. subscapularis**, **V. circumflexa humeri caudalis**, **V. suprascapularis**.

Die *V. cephalica* und die *V. axillaris* schließen sich auf Höhe des Schultergelenkes zur **V. subclavia** zusammen, welche die erste Rippe ventral des *M. scalenus ventralis* umrundet und in den Thorax gelangt.

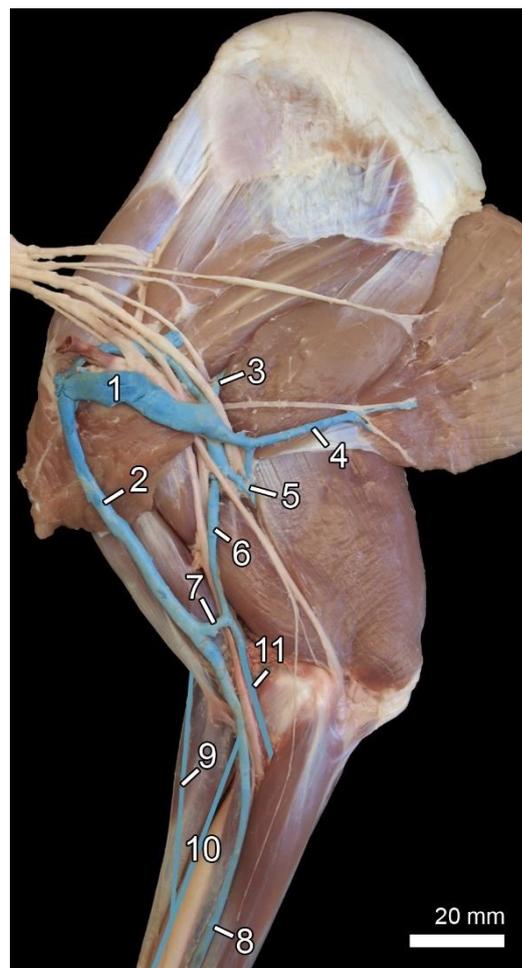


Abb. 46: Venen der rechten Vordergliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Medialansicht:

1 – *V. axillaris*; 2 – *V. cephalica*; 3 – *V. subscapularis*; 4 – *V. thoracodorsalis*; 5 – *V. profunda brachii*; 6 – *V. brachialis*; 7 – Verbindung von *V. cephalica* und *V. brachialis* (*V. mediana cubiti*); 8 – *V. mediana*; 9 – *V. collateralis radialis* (schematisch eingezeichnet); 10 – *V. cephalica accessoria* (schematisch eingezeichnet); 11 – *V. interossea communis* (schematisch eingezeichnet).

Abb. 47 stellt eine schematische Übersicht der Venen der Schultergliedmaße des Alpakas dar.

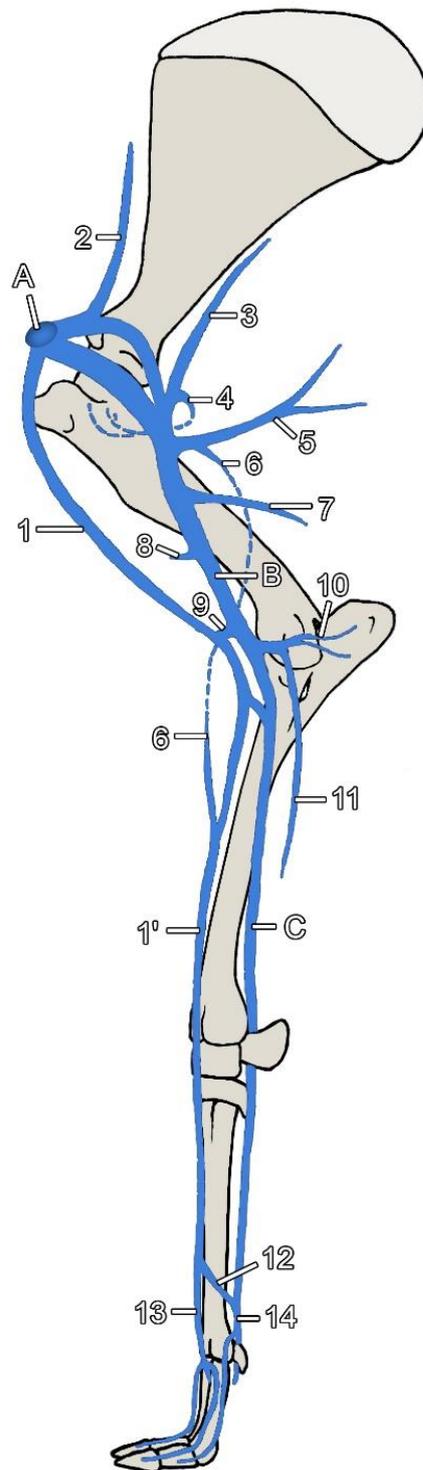


Abb. 47: Schemazeichnung der Venen der rechten Schultergliedmaße, Medialansicht:

A – V. axillaris; B – V. brachialis; C – V. mediana.

1 – V. cephalica; 1' – V. cephalica accessoria; 2 – V. suprascapularis; 3 – V. subscapularis; 4 – V. circumflexa humeri caudalis; 5 – V. thoracodorsalis; 6 – V. collateralis radialis; 7 – V. profunda brachii; 8 – V. bicipitalis; 9 – V. mediana cubiti; 10 – V. collateralis ulnaris; 11 – V. interossea communis; 12 – Verbindung zwischen dorsalem und palmarem Venensystem; 13 – V. digitalis dorsalis communis III; 14 – V. digitalis palmaris communis III.

#### 4.4 Lymphknoten der Schultergliedmaße

Der Lymphabfluss der Schultergliedmaße erfolgt beim Alpaka über das Lc. cervicale superficiale und das Lc. axillare (Abb. 48).

Das **Lc. cervicale superficiale** umfasst zwei einzelne Lymphknoten (Ln. cervicalis superficialis dorsalis und ventralis), welche kranial und proximal des Schultergelenkes liegen und vom M. brachiocephalicus bedeckt werden.

Das **Lc. axillare** besteht beim Alpaka aus einem einzelnen Lymphknoten (Ln. axillaris primae costae), welcher kraniomedial am Schultergelenk, lateral der ersten Rippe, auf Höhe des Zusammenflusses der V. axillaris und der V. cephalica liegt. Ein Ln. axillaris proprius sowie ein Ln. axillaris accessorius waren nicht zu finden. Lnn. cubitales oder ein Ln. infraspinatus waren ebenfalls nicht vorhanden.

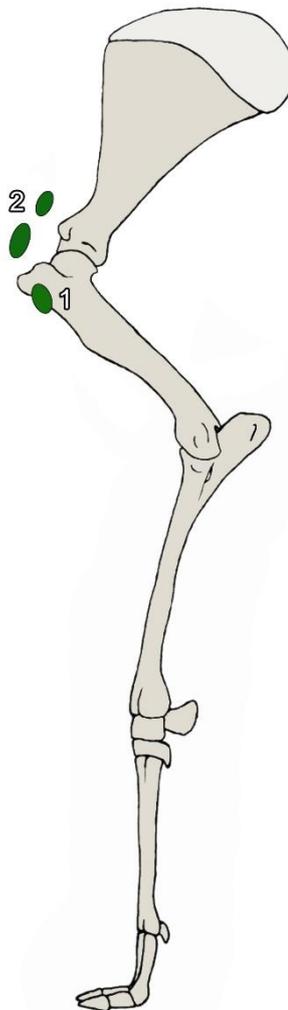


Abb. 48: Schemazeichnung der Lymphknoten der rechten Schultergliedmaße, Medialansicht:

1 – Ln. axillaris primae costae; 2 – Lnn. cervicales superficiales dorsalis et ventralis.

## **5 Diskussion**

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit der vorhandenen Literatur verglichen und interpretiert. Der Aufbau des Kapitels folgt der Struktur der Dissertation. Zunächst werden das Material und die Methoden dieser Arbeit bewertet und abschließend die Ergebnisse der Untersuchungen interpretiert. Die topografische Anatomie des Alpakas wird mit den anatomischen Gegebenheiten bei anderen Haussäugetieren verglichen. Schließlich werden Schwachstellen der Schultergliedmaße dargestellt und Prädispositionsstellen für bestimmte Krankheiten näher erläutert sowie Punktionsstellen für Gelenkinjektionen beschrieben.

### **5.1 Diskussion von Material und Methoden**

#### **5.1.1 Auswahl der Untersuchungstiere**

Das Ziel dieser Dissertation ist die Darstellung der physiologischen, topografischen Anatomie der Schultergliedmaße des Alpakas. Daher wurden für die einzelnen Untersuchungen nur Tiere verwendet, welche keine Pathologien in diesem Körperbereich aufwiesen. Die Tierkörper stammten von Privathaltern und Züchtern aus der Münchener Umgebung und wurden auf Grund verschiedener Krankheiten durch Tierärzte euthanasiert oder waren kurz zuvor verendet. Zu den Gründen für die Euthanasie zählten hochgradige Abmagerung durch nicht behebbare Zahnfehlstellungen, Fehlbildung (beidseitige Choanenatresie, Fehlbildung des Unterkiefers) sowie hochgradige Arthrosen der Halswirbelsäule, so dass ein schmerzfreies Fressen nicht mehr möglich war. Zwei der untersuchten Crias waren Kümmerer und 19 Tage bzw. 3 Monate nach der Geburt verendet. Insgesamt wurden vierzehn Gliedmaßen von zwölf Tieren untersucht.

Da im Bereich der Schultergliedmaße keine anatomischen Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Tieren zu erwarten waren, erfolgte die Präparation beider Geschlechter. Ebenso wurde davon ausgegangen, dass zum Zeitpunkt der Geburt alle relevanten Strukturen vorhanden waren und so wurden Tiere im Alter von einem Tag bis zu 20 Jahren berücksichtigt und präpariert. Da Jungtiere mit verschiedenen Altersstufen vorhanden waren, konnten unterschiedliche Stadien der Wachstumsfugen röntgenologisch dargestellt werden.

## **5.1.2 Konservierung der Präparate**

Um möglichst frische Präparate zu erhalten wurden die Tierkörper nach der Euthanasie zeitnah an den Lehrstuhl transportiert, dort zügig weiterverarbeitet und tiefgefroren. Nach Abziehen der Haut wurden die Gliedmaßen in Lake eingelegt und gekühlt. Dadurch war es möglich die Präparate über Monate hinweg zu lagern und mehrere Gliedmaßen vergleichend zu präparieren. Durch die Salzlake konnte die natürliche Farbe der Muskulatur lange erhalten werden und durch die Zugabe einer kleinen Menge Formaldehyd war das Gewebe lange Zeit fixiert (PIECHOCKI und ALTNER, 1998a).

## **5.1.3 Präparationsmethoden**

### **5.1.3.1 Anatomische Präparation**

Elf Gliedmaßen von neun Tieren (1-8, 12) wurden mit Skalpell und Pinzette anatomisch präpariert. Dabei wurde die Muskulatur um jedes Gelenk schichtweise abgetragen und jeder Präparationsschritt mit der Kamera festgehalten. Dadurch konnte der Verlauf von Blutgefäßen und Nerven dokumentiert und schließlich die Gelenkkapsel, die Bänder und die Gelenkflächen eines jeden Gelenkes dargestellt werden. Es wurde darauf geachtet, dass von jedem Tier vergleichbare Bilder aufgenommen wurden.

### **5.1.3.2 Blutgefäß- und Gelenkausgüsse mit Latexmilch**

Um die Blutgefäße bei der Präparation besonders im Fettgewebe deutlicher darstellen zu können, wurde Latexmilch injiziert. Die Injektion wurde dabei mittels manuellem Druck, einer Einmalspritze sowie einer stumpfen Kanüle durchgeführt, wodurch der Füllungszustand der Gefäße durch den entstehenden Widerstand optimal abgeschätzt werden konnte (PIECHOCKI und ALTNER, 1998b). Für die Injektion der Arterien über die A. axillaris wurde rot gefärbte Latexmilch verwendet, entsprechend der üblichen Konvention. Die Darstellung der Venen erfolgte in Anlehnung an anatomische Standardwerke mit blauer Latexmilch. Bei der Injektion der Venen musste von distal nach proximal injiziert werden, um den physiologischen Blutfluss zu imitieren und die Venenklappen zu umgehen. Durch die Aufteilung der Venen in ein oberflächliches und ein tiefes System konnten bei diesem Verfahren allerdings nicht alle Venen gleichmäßig mit blauer Latexmilch ausgefüllt werden. Daher wurde darauf verzichtet diesen Vorgang bei weiteren Präparaten zu wiederholen, da die Venen auch in nicht

gefülltem Zustand deutlich dargestellt und dokumentiert werden konnten. Um den Verlauf der Blutgefäße auch auf dem Röntgenbild darstellen zu können, wurde bei vier Tieren (3, 9-11) zusätzlich zur Latexmilch eine kleine Menge Bariumsulfat beigemischt. Zur Darstellung der Aussackungen der Gelenkkapseln wurden die Gelenke mit Latexmilch gefüllt. Ein ungewolltes Austreten dieser konnte unverzüglich mit einem in Eisessig getränkten Tupfer gestoppt werden. Zwar stellt die mit Latexmilch gefüllte Gelenkkapsel nicht den physiologischen Zustand dar, es kann durch diese Methode aber dargestellt werden mit welchen Strukturen die Kapsel in prall gefülltem Zustand in Kontakt tritt, wie es beispielsweise bei einer Gelenkinfektion der Fall wäre.

### **5.1.3.3 Querschnitte der Gliedmaßen**

Von drei Tieren (9-11) wurden Querschnitte der Gliedmaßen angefertigt, um die genaue Lagebeziehung der Muskeln und Gefäße zu den Gelenken darstellen zu können. Diese Methode konnte mit einfachen Mitteln durchgeführt werden und führte zu aussagekräftigen Abbildungen. Durch Bilderreihen konnten Muskelverläufe, Sehnenquerschnitte und Gelenkspalten dargestellt und nachvollzogen werden. Die Querschnitte können nun als Anhaltspunkt für Ultraschalluntersuchungen (ALTENBRUNNER-MARTINEK et al., 2007) oder für computertomographische Untersuchungen (SCHWARZE, 1998; TIEFENTHALER, 1997) herangezogen werden, ähnlich wie es bereits in unterschiedlichen Studien zum Rinderbein gemacht wurde.

### **5.1.4 Röntgenbilder und Röntgenkontrastdarstellung der Gefäße**

Um die knöchernen Strukturen eines jeden Gelenkes darstellen zu können, wurden die Gliedmaßen in zwei Ebenen geröntgt. Bei vier Tieren (3, 9-11) wurde die Latexmilch, welche in den arteriellen Gefäßbaum injiziert wurde, mit Bariumsulfat versetzt, um den Bezug der Gefäße zu den Gelenken besser darstellen zu können. Das Gemisch war dickflüssig, wodurch feine Arterien nicht dargestellt werden konnten. Dies war aber für die Übersichtlichkeit der Gefäßdarstellung von großem Vorteil, da die großen Gefäße gezeigt werden konnten. Die Injektion der Venen stellte sich wie auch bei der alleinigen Injektion von blauer Latexmilch als schwieriger heraus und ergab keinen zusammenhängenden Gefäßbaum.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

In der Literatur gibt es bisher keine Werke zur Anatomie der Gelenke des Alpakas. Für das Lama wurden vier Publikationen gefunden, welche jedoch entweder oberflächlich waren oder nur ein spezielles anatomisches Thema isoliert behandelten (MÁRQUEZ und GALOTTA, 1994; PENTECOST et al., 2012; SEMEVOLOS und COPE, 2005; WALTERS et al., 2016). Es waren in den Untersuchungen große Ähnlichkeiten zwischen der Anatomie des Alpakas und der Anatomie der näheren Verwandten aus der Familie der Kamelartigen zu finden.

### **5.2.1 Schultergelenk**

#### **5.2.1.1 Tierartlicher Vergleich der topografischen und funktionellen Anatomie des Schultergelenkes des Alpakas**

Das Schultergelenk besitzt bei den Haussäugetieren die Form eines Kugelgelenkes, welches theoretisch frei beweglich wäre (LIEBICH et al., 2019b). Durch die umliegende Muskulatur wird die Bewegungsfreiheit jedoch stark eingeschränkt und es ist nur eine Beugung und Streckung des Gelenkes möglich. Dadurch wirkt dieses Gelenk nur mehr als Wechselgelenk. Diese sogenannten kontraktiven Spannbänder (NICKEL et al., 2004b), oder aktiven Bänder (SALOMON, 2008), umfassen medial den M. subscapularis sowie lateral den M. supra- und infraspinatus. Die Form eines Kugelgelenkes liegt auch beim Schultergelenk des Alpakas vor. Ebenso sind die drei oben genannten kontraktiven Spannbänder beim Alpaka zu finden. Zusätzlich ist hierbei der M. coracobrachialis zu nennen, da dieser durch seine prominente Sehne und seinen sehnig gefiederten Muskelbauch ebenfalls als aktives Gelenkband verstanden werden kann. Auch LESBRE (1903b) beschrieb diesen Muskel beim naheverwandten Kamel als deutlich entwickelt. Wurde der M. coracobrachialis bei der Präparation der Alpakas als erstes durchtrennt, so war die Stabilität des Humeruskopfes in der Gelenkpfanne der Scapula deutlich herabgesetzt und die Gliedmaße konnte übermäßig abduziert und nach außen rotiert werden. Daher kann angenommen werden, dass der M. coracobrachialis wie die anderen drei kontraktiven Spannbänder einen wichtigen Beitrag zur Stabilität des Schultergelenkes des Alpakas leistet. Er kann somit als zusätzliches mediales Spannband bezeichnet werden.

Echte Gelenkbänder fehlen am Schultergelenk der Haussäugetiere (SALOMON, 2008). Es sind lateral und medial lediglich Ligamenta glenohumeralia als Verstärkung der Gelenkkapsel anzutreffen (NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008). Bei den Ungulaten wird in der Literatur kranial in der Gelenkkapsel ein Ligamentum coracohumerale beschrieben (LIEBICH et al., 2019b; SALOMON, 2008). Bei der Beschreibung der Anatomie des Schultergelenkes des Dromedars (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987a) und des Lamas (MÁRQUEZ und GALOTTA, 1994) wird keines dieser Bänder genannt. In der vorliegenden Studie konnte bei den untersuchten Alpakas jedoch ein Band identifiziert werden, welches am Tuberculum supraglenoidale entsprang und sich kurz nach dem Ursprung in einen lateralen und einen medialen Schenkel unterteilte, welche proximal an der Basis des Tuberculum majus humeri sowie proximal am Tuberculum intermedium und Tuberculum minus humeri ansetzen. Eine ähnliche Situation wird in einer Studie zum Schultergelenk des Pferdes beschrieben (BÖHMISCH et al., 2000). Hier wird das Band als Ligamentum glenohumerale laterale et mediale bezeichnet. In Anlehnung an diese Arbeit und unter Berücksichtigung des Verlaufes des Bandes wird beim Alpaka daher ebenfalls die Bezeichnung der beiden Schenkel als Ligamenta glenohumerale laterale et mediale vorgeschlagen.

Eine weitere tierartliche Besonderheit des Schultergelenkes ist der Verlauf der Sehne des M. biceps brachii. Diese liegt bei den Fleischfressern, beim Schaf und beim Schwein der Gelenkkapsel des Schultergelenkes dicht an; es bildet sich eine sogenannte Kapselsehnenscheide (Vagina synovialis intertubercularis) (LIEBICH et al., 2019b). Rind, Ziege und Pferd besitzen dagegen einen Schleimbeutel (Bursa intertubercularis), welcher die Ursprungssehne des M. biceps brachii unterlagert (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Auch beim Dromedar wird diese Bursa intertubercularis beschrieben (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d) und war bei den seziierten Alpakas in der vorliegenden Untersuchung ebenfalls zu finden. Diese Tatsache wird dann von Bedeutung, wenn es in diesem Bereich des Schultergelenkes zu Erkrankungen kommt. Durch eine Ausdehnung der Kapsel des Schleimbeutels kann es zu einer Einschränkung der Beweglichkeit im Schultergelenk kommen (BÖHMISCH et al., 2000). Ebenso muss bei der Therapie einer Schleimbeutel- oder Gelenkentzündung stets beachtet werden, dass die beiden Strukturen nicht miteinander in Verbindung stehen und separat behandelt werden müssen.

Auffallend am Schultergelenk des Alpakas war außerdem die Verdickung der Sehne des *M. biceps brachii* auf Höhe des Sulcus intertubercularis. Bei adulten Tieren war dieser Bereich der Sehne zudem derb knorpelig verdickt. Dies ist auch für die übrigen Haussäugetiere beschrieben (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und kann damit erklärt werden, dass die Sehne über einen Scheitelpunkt verläuft, was zu einer erhöhten mechanischen Druckbeanspruchung des Gewebes und einer Anpassung desselben führt (LÜLLMANN-RAUCH und ASAN, 2019). Die Unterseite der Ursprungssehne des *M. biceps brachii* war an dieser Stelle beim Alpaka durch das Tuberculum intermedium ausgehöhlt und es entstand eine Vertiefung. BUDRAS (2014) beschreibt eine vergleichbare Situation beim Pferd. Das Tuberculum intermedium rastet beim Pferd in diese Aushöhlung ein, was eine passive Blockierung der Gelenkstellung zur Folge hat. Dies lässt sich auf die Bizepssehne des Alpakas übertragen und kann zur passiven Steheinrichtung gezählt werden, welche ein (für Fluchttiere wichtiges) ermüdungsärmeres Stehen ermöglicht.

#### **5.2.1.2 Anatomische Schwachstellen und mögliche Prädispositionen für Erkrankungen am Schultergelenk beim Alpaka**

Über die Schultergelenksluxation beim Alpaka sind in der Literatur einige Fallberichte zu finden. Die laterale Luxation des Humeruskopfes scheint dabei häufiger vorzukommen, als die mediale (REED et al., 2014; ROUSSEAU et al., 2010; WATTS et al., 2008). Ein Grund dafür sind möglicherweise die anatomischen Gegebenheiten am Schultergelenk des Alpakas.

Wie oben schon näher erläutert sind der *M. infraspinatus*, der *M. supraspinatus*, der *M. subscapularis* sowie der *M. coracobrachialis* kontraktile Spannbänder, welche den Humeruskopf lateral und medial in der Cavitas glenoidalis der Scapula stabilisieren (Abb. 49). Die Fasern der Ursprungssehne des *M. coracobrachialis* überkreuzen dabei medial die Fasern der Ansatzsehne des *M. subscapularis*. Dadurch entsteht direkt medial am Gelenk ein stabiles Sehnenkreuz, welches den Humeruskopf in die Gelenkpfanne der Scapula drückt. Auf der lateralen Seite hingegen ist hauptsächlich die Sehne des *M. infraspinatus* für den Druck gegen das Gelenk zuständig, während der *M. supraspinatus* vor allem kranial lateral am Gelenk wirkt und einen ähnlichen Faserverlauf wie der *M. infraspinatus* hat. Zudem hat dieser einen deutlich geringeren sehnigen Anteil. Daher ist eine Luxation des Humeruskopfes nach lateral wahrscheinlicher, als nach medial, wo das Gelenk durch die gekreuzten Sehnen

besser stabilisiert wird. Ein weiterer Faktor, welcher ebenfalls zur höheren medialen Stabilität des Schultergelenkes beiträgt, ist außerdem dessen topografische Beziehung zur seitlichen Brustwand. Um die Funktion des *M. coracobrachialis* eindeutig zu bestätigen sind gezielte Untersuchungen mit Belastungstests von Nöten, was den Umfang dieser Dissertation jedoch gesprengt hätte.

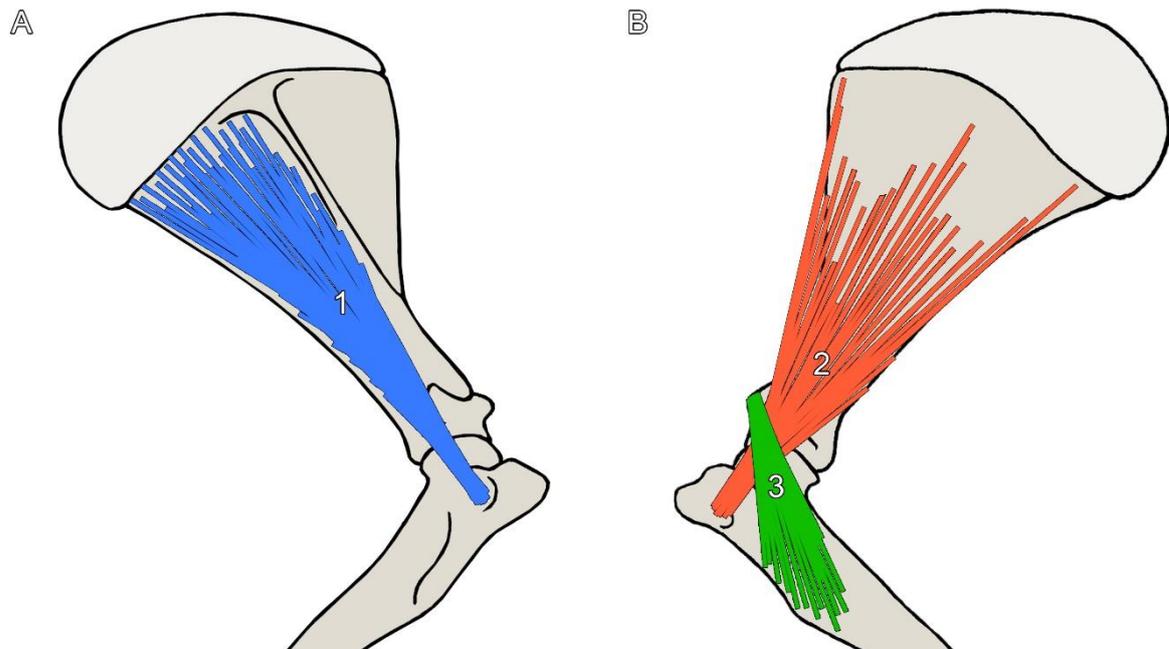


Abb. 49: Schematische Darstellung der kollateralen Spannbänder einer rechten Schultergliedmaße: Ansicht von lateral (A) und medial (B):

1 – Sehnenfasern des *M. infraspinatus*; 2 – Sehnenfasern des *M. subscapularis*; 3 – Sehnenfasern des *M. coracobrachialis*.

### 5.2.1.3 Empfehlungen aus den Ergebnissen für Gelenkinjektionen am Schultergelenk des Alpakas

Als Punktionsstellen des Schultergelenkes bei den Haussäugetieren wird in den gängigen Lehrbüchern meist ein Einstich von lateral gewählt (LIEBICH et al., 2019b; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008). In einer Untersuchung zur Punktion des Schultergelenkes des Dromedars wurde ein Einstich von kranial nach kaudal zwischen Tuberculum majus und minus gewählt (ABDULLAH ALSOBAYIL et al., 2015). Die Abbildung des Schultergelenkes des Lamas nach MÁRQUEZ und GALOTTA (1994) zeigt eine Injektion des Schultergelenkes von lateral zwischen Akromion und Tuberculum majus des Humerus.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Dissertation kann ein Einstich von lateral als günstig erachtet werden. Distal des Akromions entsteht, ähnlich wie beim Hund (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008), eine Mulde kranial der Pars acromialis des M. deltoideus, welche als Orientierungspunkt genutzt werden kann. Da kranial die Bizepssehne über das Schultergelenk verläuft, welche zudem von einer Bursa intertubercularis umgeben ist, wird diese Einstichstelle als nicht so günstig erachtet, da der Schleimbeutel dadurch in Mitleidenschaft gezogen werden kann (Abb. 50).

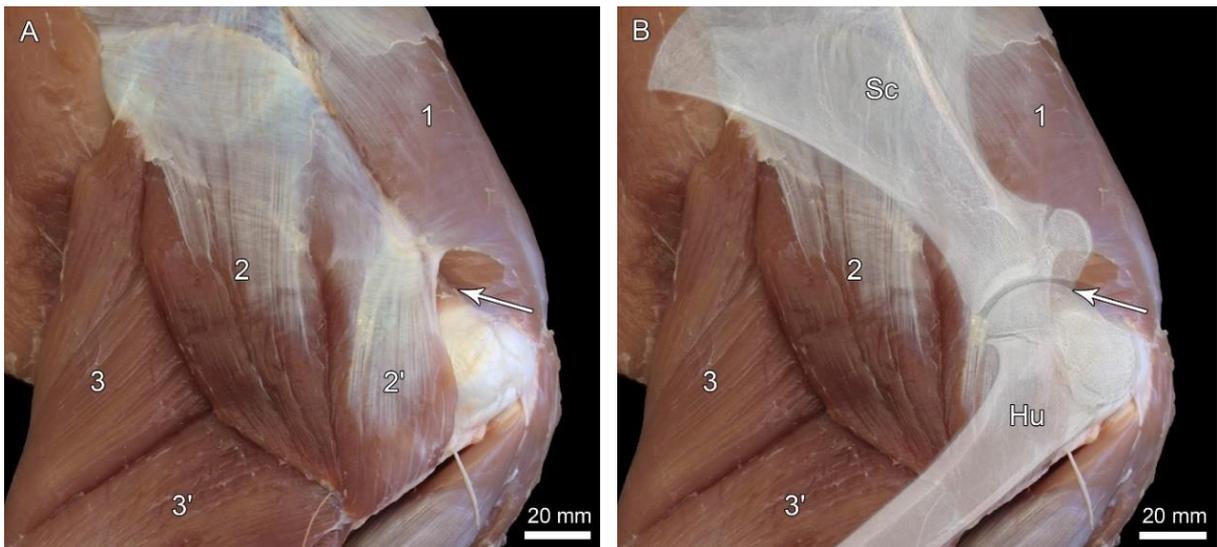


Abb. 50: Empfohlene Einstichstelle für die Punktion des Schultergelenkes, Lateralansicht des Schultergelenkes der rechten Gliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, A: Muskelpräparat, B: Muskelpräparat und korrelierende Röntgenaufnahme:

Hu – Humerus; Sc – Scapula.

1 – M. suprascapularis; 2, 2' – M. deltoideus: 2 Pars scapularis, 2' Pars acromialis; 3, 3' – M. triceps brachii: 3 Caput longum, 3' Caput laterale.

Pfeil: empfohlene Einstichstelle.

## 5.2.2 Ellbogengelenk

### 5.2.2.1 Tierartlicher Vergleich der topografischen und funktionellen Anatomie des Ellbogengelenkes des Alpakas

Die Gelenkflächen von Ulna und Radius sind bei Fleischfresser, Schwein, Rind und Pferd nicht verschmolzen (NICKEL et al., 2004a) während sie beim Alpaka am medialen Processus coronoideus ineinander übergehen. Diese anatomische Gegebenheit ist auch beim Dromedar zu finden (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987f), wurde aber weder für das Lama noch für das Alpaka in Werken über die Knochen dieser Spezies beschrieben (AZZOPARDI, 2012; DOS SANTOS ROMERO, 2014; MÁRQUEZ und GALOTTA, 1994; PACHECO TORRES et al., 1986). Die einheitliche Gelenkfläche von Radius und Ulna des Alpakas hatte im Zentrum drei Einkerbungen, welche nicht mit Gelenkknorpel überzogen waren. NICKEL et al. (2004b) beschreiben bei Ungulaten von einer zarten Bindegewebshaut bedeckte Synovialgruben (Fossae synoviales) an zahlreichen Gelenken der Gliedmaßen. In näheren Untersuchungen zu den Synovialgruben beim Rind und beim Schwein wurde festgestellt, dass diese von Synovialisdeckzellen ausgekleidet werden (LOEFFLER und BIDIER, 1984). Vermutlich dient dieses Areal ähnlich wie die innere Schicht der Gelenkkapsel (Membrana synovialis) dem Gelenkstoffwechsel (NICKEL et al., 2004b). Um mit Sicherheit sagen zu können, dass es sich bei den Vertiefungen am Rande der Artikulationsfläche des Radius und der Ulna des Alpakas um Synovialgruben handelt, sind weitere histologische Untersuchungen notwendig, die den genauen Zelltyp der Bindegewebsschicht in diesem Bereich identifizieren.

Eine weitere Besonderheit im Bereich des Ellbogengelenkes des Alpakas ist die Struktur des M. biceps brachii. Dieser Muskel ist beim Alpaka, ähnlich wie bei Lama und Kamel beschrieben, in einen kranialen und einen kaudalen Muskelbauch unterteilt. Der kraniale Bauch ist mit einem Sehnenspiegel überzogen und sehnig durchsetzt, während der kaudale Bauch fleischig ist (LESBRE, 1903a). Auch für das Pferd ist die Unterteilung des M. biceps brachii in zwei Bäuche beschrieben: einen lateralen und einen medialen. Während der mediale Kopf hier vor allem schnell kontrahierende Typ-II-Muskelfasern enthält, ist der laterale Kopf durchsetzt von Bindegewebe und enthält langsam kontrahierende Typ-I-Muskelfasern. Daher vermuten HERMANSON und HURLEY (1990), dass der laterale Kopf eine große Rolle im passiven Tragapparat der

Schultergliedmaße des Pferdes spielt, wohingegen der mediale Kopf bei der aktiven Bewegung wichtig ist. Da beim Alpaka makroskopisch eine vergleichbare Struktur der beiden Anteile beobachtet werden konnte, ist zu vermuten, dass hier eine ähnliche Situation vorliegt und die beiden Anteile ebenfalls unterschiedliche Funktionen erfüllen. Um diese These zu bestätigen müssten die Fasern der beiden Muskelbäuche histochemisch untersucht werden. Entgegen der Behauptung von DOS SANTOS ROMERO (2014), welche das Vorhandensein eines Lacertus fibrosus beim Alpaka negierte, waren in der vorliegenden Studie beim Alpaka regelmäßig (n=9) Fasern, welche aus dem kranialen Sehnenüberzug des M. biceps brachii stammten, zwischen dessen distalem Teil und dem proximalen Abschnitt des M. extensor carpi radialis zu finden. Die sehnigen Fasern können als Lacertus fibrosus bezeichnet werden, welcher für das Dromedar ebenfalls beschrieben wurde (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987a). Diese Struktur tritt bei den Haussäugetieren besonders deutlich beim Pferd auf (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und bildet eine kontinuierliche sehnige Verbindung vom Tuberculum supraglenoidale bis zur Tuberositas des Os metacarpale tertium (KAINER und FAILS, 2011). Laut KAINER und FAILS (2011) soll dies ein durch das Körpergewicht hervorgerufenen Beugen der Articulatio humeri verhindern. Zudem verhindert er an der stehenden Gliedmaße das Einknicken des Karpalgelenkes nach kranial (KAINER und FAILS, 2011; MAIERL et al., 2019). Daher gehört der Lacertus fibrosus zum passiven Stehapparat der Schultergliedmaße (SALOMON, 2008). Bei Rennpferden wurde außerdem eine weitere Funktion der sehnigen Verbindung zwischen M. biceps brachii und M. extensor carpi radialis festgestellt. Die elastische, sehnige Verbindung speichert in schnellen Gangarten bei Belastung der Gliedmaße die Energie und gibt diese bei Entlastung wieder frei, um ein schnelles Vorführen dieser zu ermöglichen (WILSON et al., 2003). Um diese Funktion des Lacertus fibrosus beim Alpaka ebenfalls zu bestätigen, müssten weiterführende Bewegungsanalysen an lebenden Tieren durchgeführt werden.

Die erläuterten Aufgaben des Lacertus fibrosus bedeuten eine deutliche Reduktion der benötigten Muskelenergie und dadurch ein ermüdungsarmes Stehen und eine energieeffizientere Fortbewegung. Sie können in ähnlicher, wenn auch mutmaßlich abgeschwächter Form auf das Alpaka übertragen werden, da vergleichbare anatomische Strukturen vorhanden sind.

Der *M. anconaeus* gehört zu den Streckern des Ellbogengelenkes. Er kommt bei Fleischfresser und Schwein als deutlich isolierter Muskelbauch vor. Bei Rind und Pferd ist er nur schwer vom Caput laterale des *M. triceps brachii* zu isolieren (LIEBICH et al., 2019b; NICKEL et al., 2004a). Auch beim Dromedar und beim Lama wird dieser Muskel erwähnt (ARZONE et al., 2013; SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987a). DOS SANTOS ROMERO (2014) hingegen schreibt, dass der *M. anconaeus* beim Alpaka nicht vorkommt. Laut dieser Arbeit soll es stattdessen ein Caput accessorium des *M. triceps brachii* geben. In der vorliegenden Untersuchung konnte ein deutlich abgetrennter Muskelbauch unter den drei Köpfen des *M. triceps brachii* isoliert werden, welcher im mittleren Teil des Humerus am Rand der Fossa olecrani entsprang und diese überspannte. Daher wird angenommen, dass dieser als eigenständiger Muskel angesehen werden kann und somit den *M. anconaeus* darstellt.

#### **5.2.2.2 Empfehlungen aus den Ergebnissen für Gelenkinjektionen am Ellbogengelenk des Alpakas**

Die optimale Punktionsstelle des Ellbogengelenkes des Alpakas ist der Einstich lateral des Olekranons in die kaudolaterale dünnwandige Gelenkaussackung der Fossa olecrani. Die Kanüle wird dabei nach kranioventral vorgeschoben. Diese Injektions- und Punktionsstelle ist in der Literatur auch für das Lama und das Dromedar beschrieben (MÁRQUEZ und GALOTTA, 1994; SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987c). In einer Untersuchung zur Punktion der Gelenke des Dromedars wurde zudem eine zweite Punktionsstelle beschrieben. Dabei wird die Kanüle zwischen Epicondylus lateralis humeri und Tuberositas radii, kranial des lateralen Kollateralbandes in kaudale Richtung vorgeschoben (ABDULLAH ALSOBAYIL et al., 2015). Diese Injektionsmethode wurde in der vorliegenden Dissertation bei einigen Tieren ebenfalls zur Latexmilchinjektion angewandt (Abb. 51). Zu beachten ist hierbei jedoch, dass der *R. profundus* des *N. radialis* in der Nähe verläuft, was bei Irritation zu einer Abwehrreaktion des Alpakas oder zu einer Schädigung des Nervenastes führen könnte.

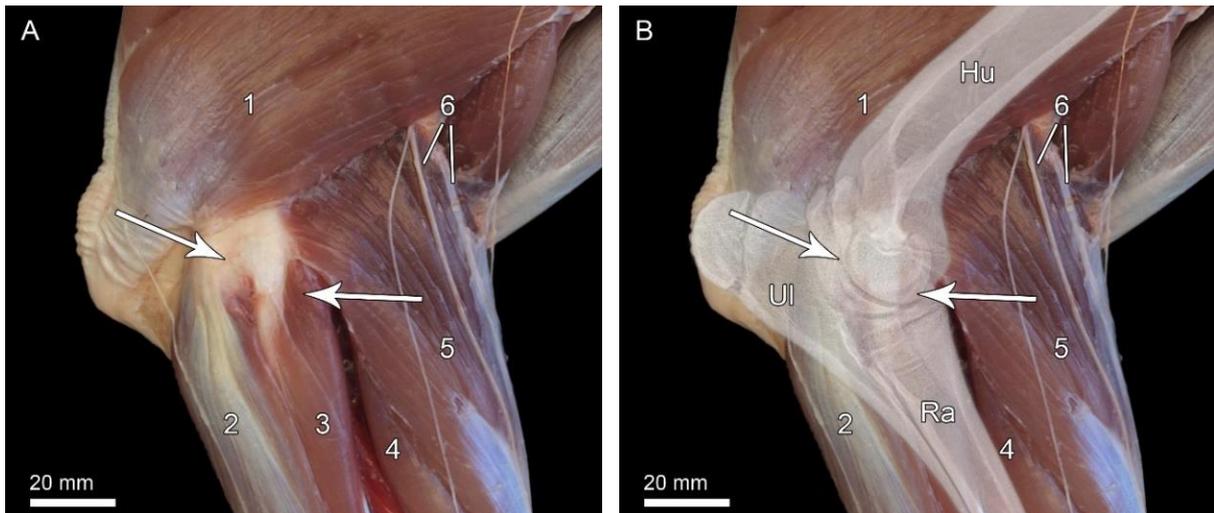


Abb. 51: Empfohlene Einstichstelle für die Punktion des Ellbogengelenkes, Lateralansicht des Ellbogengelenkes der rechten Gliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, A: Muskelpräparat, B: Muskelpräparat und korrelierende Röntgenaufnahme:

Hu – Humerus; Ra – Radius; Ul – Ulna.

1 – Caput laterale des *M. triceps brachii*; 2 – *M. extensor carpi ulnaris*; 3 – *M. extensor digitorum lateralis*; 4 – *M. extensor digitorum communis*; 5 – *M. extensor carpi radialis*; 6 – Ramus superficialis des *N. radialis* und *V. collateralis radialis*.

Pfeile: empfohlene Einstichstellen.

### 5.2.3 Karpalgelenk

#### 5.2.3.1 Tierartlicher Vergleich der topografischen und funktionellen Anatomie des Karpalgelenkes des Alpakas

Die Knochen des Unterarmes und des Karpalgelenkes des Alpakas zeigen einige Übereinstimmungen und Unterschiede zu anderen Haussäugetieren.

So sind die beiden Unterarmknochen des Alpakas wesentlich schmaler und länger ausgebildet und besonders die Ulna ist weiter zurückgebildet, als es beim Rind der Fall ist (POPESKO, 2011). Die Proportionen von Radius und Ulna ähneln denen des Pferdes oder der kleinen Wiederkäuer (Schaf und Ziege) (POPESKO, 2011), bzw. denen der nächsten Verwandten: dem Lama (MÁRQUEZ und GALOTTA, 1994) und dem Dromedar (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987f). Wie beim kleinen Wiederkäuer, Lama und Dromedar bildet der distale Teil der Ulna des Alpakas lateral einen kleinen Anteil der Gelenkfläche, für die Artikulation mit der proximalen Reihe der Karpalknochen, sowie den Ursprung für die lateralen Bänder des Karpalgelenkes als Processus styloideus lateralis (MÁRQUEZ und GALOTTA, 1994; POPESKO, 2011; SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987f).

Die sieben Karpalknochen des Alpakas (AZZOPARDI, 2012; DOS SANTOS ROMERO, 2014), sind vergleichbar mit denen des Lamas (MÁRQUEZ und GALOTTA, 1994), des Dromedars (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987f) und des Pferdes (LIEBICH et al., 2019b). Hier unterscheidet sich die Anzahl der Karpalknochen zur Anzahl der Knochen des Rindes und der kleinen Wiederkäuer, bei welchen das Os carpale secundum und das Os carpale tertium zu einem Knochen verschmolzen sind (POPESKO, 2011), während sie beim Alpaka eigenständig bestehen bleiben. Eine Besonderheit der Knochen des Karpalgelenkes beim Alpaka ist eine kaudolaterale Ausziehung am Os carpale quartum, welche nach distal ragt. Das Alpaka hat keinen isolierten Überrest des Os metacarpale quintum, wie er beim Rind vorkommt (NICKEL et al., 2004b). Vielmehr scheint das Os metacarpale quintum hier mit dem Os carpale quartum des Karpalgelenkes verschmolzen zu sein.

Durch die Reduktion der Strahlen und die Lageveränderung der Karpalgelenkmuskeln verändert sich deren Funktion beim Alpaka, ähnlich wie es bei den Wiederkäuern und beim Pferd der Fall ist (LIEBICH et al., 2019b).

Während der *M. extensor carpi ulnaris* beim Fleischfresser und Schwein nur mit einer Nebensehne am *Os carpi accessorium* ansetzt und sich der Hauptansatz am *Os metacarpale quintum* befindet, setzt er bei Wiederkäuer und Pferd durch die Reduktion der Gliedmaßenstrahlen nur noch am *Os carpi accessorium* an und wird auf die Beugeseite der Gliedmaße verlagert (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Dadurch wirkt er entgegen seiner Bezeichnung nicht mehr als Strecker des Karpalgelenkes, sondern als Beuger. Er setzt beim Dromedar ebenfalls am *Os carpi accessorium* an und zusätzlich ziehen Fasern weiter zum *Ligamentum collaterale carpi laterale*, an den Metakarpus sowie in den *M. interosseus medius* (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Diese Situation wurde in den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit beim Karpalgelenk des Alpakas in vergleichbarer Weise vorgefunden, weshalb der *M. extensor carpi ulnaris* bei diesen Tieren wie bei Rind und Pferd nicht mehr die Funktion eines Streckers, sondern die eines Beugers erfüllt (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der *M. abductor pollicis longus* wirkt beim Alpaka nicht mehr in seiner ursprünglichen Funktion als Auswärtszieher des ersten Zehs, welcher nicht mehr vorhanden ist, sondern vielmehr als Strecker des Karpalgelenkes. Er kann damit funktionell wie bei Schwein, Pferd und Wiederkäuer auch beim Alpaka zu den Mittelfußstreckern gerechnet werden (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und wie in der NAV (2017) als *M. extensor carpi obliquus* bezeichnet werden. Sein Muskelbauch und seine Endsehne sind wie beim nahe verwandten Dromedar schmal und wenig kräftig ausgebildet (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d), wodurch dieser Muskel vermutlich insgesamt nur noch einen geringen Einfluss auf die Karpalgelenksstreckung ausübt und eher als Überbleibsel des einstigen Muskels angesehen werden kann.

Der Ansatz des *M. flexor carpi ulnaris* am Karpalgelenk des Alpakas ähnelt dem Ansatz dieses Muskels beim Dromedar. Dabei setzt seine Sehne am kaudolateral gelegenen *Os carpi accessorium* an. Ein weiterer Ast überzieht das Karpalgelenk auf der palmaren Seite und setzt medial am Kollateralband des Karpalgelenkes sowie mediopalmar am entsprechenden Metakarpalknochen an (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Beim Rind ist dieser Ast ebenfalls in der Literatur zu finden

(POPESKO, 2011). Er wird hier als Ligamentum carpi palmare superficiale (nicht in der NAV (2017) gelistet) bzw. als Retinaculum flexorum bezeichnet und stellt das Halteband der Beugemuskeln dar. Ähnlich wie beim Rind bildet dieser Ast der Ansatzsehne des M. flexor carpi ulnaris beim Alpaka das Retinaculum flexorum, welches den Beugemuskeln im Karpaltunnel Halt bietet.

### **5.2.3.2 Anatomische Schwachstellen und mögliche Prädispositionen für Erkrankungen am Karpalgelenk des Alpakas**

Bei der Beurteilung der Vordergliedmaßen von Neuweltkameliden sollen sich Schultergelenk, Karpalgelenk und Fesselgelenk in einer Geraden befinden und die Zehen gerade nach kranial zeigen (TIMM et al., 2011). Am Karpalgelenk von Alpaka und Lama treten allerdings häufig Gliedmaßenfehlstellungen in Form eines Carpus valgus auf (LIVINGSTON et al., 2001; REED et al., 2014). Besonders beim Alpaka tritt diese Achsenabweichung der Gliedmaße und daraus resultierend eine laterale Stellung der Zehen häufig auf und eine optimale Gliedmaßenstellung lässt sich nicht genau beurteilen (TIMM et al., 2011). Auf den Röntgenbildern der Crias dieser Untersuchung waren die distalen Epiphysenfugen von Radius und Ulna und deren Lagebeziehung zueinander deutlich ersichtlich. Die distale Epiphyse der Ulna ist mit der Epiphyse des Radius anatomisch und funktionell eng verbunden und durch ein ungleichmäßiges Längenwachstum dieser beiden Knochen kann es zu Fehlstellungen der Gliedmaßen im Bereich des Karpalgelenkes kommen (LIVINGSTON et al., 2001). Bleibt die Ulna dabei im Längenwachstum zurück, kommt es zu einem Carpus valgus. Als Ursachen für ein mangelhaftes Knochenwachstum werden vor allem ernährungsbedingte Faktoren, wie beispielsweise durch Vitamin-D-Mangel verursachte Rachitis in Crias (FOWLER und BRAVO, 2010c) oder Imbalancen weiterer Ernährungskomponenten (Calcium, Phosphor, Kupfer, Zink) (KANEPS, 1996), in der Literatur erwähnt. Da auch eine genetische Komponente nicht ausgeschlossen werden kann, sollten nur Tiere mit geraden Gliedmaßen zur Zucht verwendet werden (KANEPS, 1996). Auffallend am Karpalgelenk des Alpakas war diesbezüglich ein kräftiger ausgeprägtes mediales Kollateralband, was auf eine physiologische, vermehrte Belastung der medialen Gelenkseite deuten könnte. Eine natürliche Variation der Gliedmaßenwinkelung sollte besonders beim Alpaka immer berücksichtigt werden, bevor eine aufwendige Korrektur der vermeintlichen Fehlstellung durchgeführt wird.

### 5.2.3.3 Empfehlungen aus den Ergebnissen für Gelenkinjektionen am Karpalgelenk des Alpakas

Die Funktion des Karpalgelenkes des Lamas wurde in einer Studie von SEMEVOLOS und COPE (2005) näher untersucht. Daraus ergab sich, dass die proximale Gelenketape des Karpalgelenkes sowohl lateral als auch medial der Strecksehnen injiziert werden kann. Das Gelenk ist dabei gebeugt. Die Gelenketape war in der Studie bei 68% der untersuchten Tiere nicht mit der mittleren Gelenketape verbunden. Somit muss die *Articulatio mediocarpea* gesondert injiziert werden. Für die mittlere Gelenketape wurde dabei ein Einstich lateral der Strecksehnen in einer Vertiefung, welche von *Os carpi intermedium*, *Os carpi ulnare* und *Os carpale quartum* gebildet wird, gewählt. Die *Articulatio carpometacarpea* wurde lateral oder medial der Strecksehnen mit axialer Einstichrichtung injiziert. *Articulatio mediocarpea* und *Articulatio carpometacarpea* kommunizierten bei allen untersuchten Lamas. Da auf der dorsalen Seite des Karpalgelenkes die Haut bei Neuweltkameliden äußerst dick ist, können die darunterliegenden Strukturen kaum palpiert werden. Dadurch kam es in der Untersuchung von SEMEVOLOS und COPE (2005) vereinzelt zu einer fehlerhaften Injektion der Sehnenscheiden der Strecksehnen anstelle der Gelenkhöhle.

Bei der Abpräparation der Haut im Bereich des Karpalgelenkes konnte beim Alpaka ebenfalls eine deutliche Verdickung der Haut festgestellt werden. Daher stellt sich bei der Punktion einer Gelenketape des Karpalgelenkes beim Alpaka dieselbe erschwerte Situation wie beim Lama dar und eine fälschliche Injektion der Sehnenscheiden muss mitberücksichtigt werden. Da am Karpalgelenk vergleichbare anatomische Verhältnisse wie beim Lama vorgefunden wurden, kann beim Alpaka ähnlich vorgegangen werden, wie oben beschrieben (Abb. 52). Bei einem Einstich medial der Sehne des *M. extensor carpi radialis* muss beachtet werden, dass hier die Äste des *R. superficialis* des *N. radialis*, sowie die *V. cephalica accessoria* über das Gelenk hinwegziehen. Eine Reizung der Nervenäste könnte zu einer vermehrten Abwehrreaktion des Tieres führen. Im Gegenzug muss bei einem Einstich lateral der Strecksehnen beachtet werden, dass gemeinsam mit der Sehne des *M. extensor digitorum communis* der *R. carpeus dorsalis* der *A. radialis* über das Gelenk zieht und es beim Verletzen des Gefäßes zu einer vermehrten Blutung aus der Einstichstelle kommen kann. Um die Häufigkeit der Kommunikation der einzelnen Gelenkebenen des Alpakas zu bestimmen, müssen weitere Untersuchungen mit einer größeren

Anzahl an Tieren durchgeführt werden.

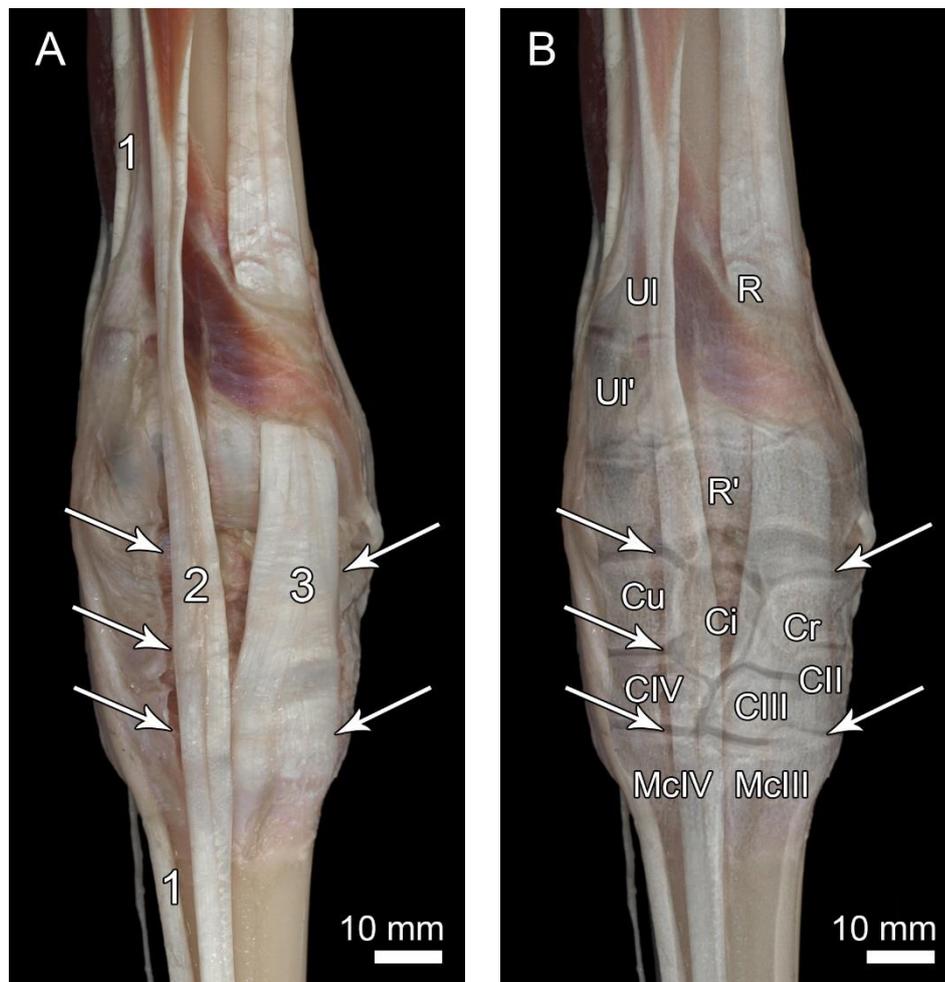


Abb. 52: Empfohlene Einstichstelle für die Punktion des Ellbogengelenkes, Dorsalansicht des Karpalgelenkes der rechten Gliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, A: Muskelpräparat, B: Muskelpräparat und korrelierende Röntgenaufnahme der linken Gliedmaße:

Ci – Os carpi intermedium; Cr – Os carpi radiale; Cu – Os carpi ulnare; CII – Os carpale secundum; CIII – Os carpale tertium; CIV – Os carpale quartum; McIII – Os metacarpale tertium; McIV – Os metacarpale quartum; R, R' – Radius, R' distale Epiphyse des Radius; UI, UI' – Ulna, UI' distale Epiphyse der Ulna.

1 – Sehne des *M. extensor digitorum lateralis*; 2 – Sehnen des *M. extensor digitorum communis*; 3 – Sehne des *M. extensor carpi radialis*.

Pfeile: empfohlene Einstichstellen.

## 5.2.4 Zehengelenke

### 5.2.4.1 Besonderheiten und tierartlicher Vergleich der topografischen und funktionellen Anatomie der Zehengelenke des Alpakas

In einer Studie von JANIS et al. (2002) wurde die Evolution der Fortbewegung der Kameliden in Zusammenhang mit der knöchernen Anatomie des Fußes und der Ausprägung des Passganges erforscht. Dabei wurde festgestellt, dass das Fesselgelenk durch relativ flache Artikulationsflächen und wenig Oberflächenrelief instabiler ist als es bei Wiederkäuern der Fall ist. Zudem ermöglicht eine dorsal weit ausgedehnte Artikulationsfläche distal an der Phalanx proximalis einen größeren Streckwinkel in den Krongelenken. Dies führt zur für Kameliden typischen digitigraden Position der Zehen (JANIS et al., 2002). In der vorliegenden Untersuchung konnten die beschriebenen knöchernen Merkmale der Phalangen der Kameliden an den Knochen der untersuchten Alpakas bestätigt werden. Auffallend war ganz besonders der Sagittalkamm der Gelenkwalzen des Mittelfußknochens, welche nur auf der palmaren Seite des Gelenkes ausgebildet sind und nach dorsal flach auslaufen (PACHECO TORRES et al., 1986). Aus diesem Grund erfüllt das Fesselgelenk nicht wie beim Rind und Pferd, bei welchen dieser Sagittalkamm durchgehend ist, die Funktion eines Scharniergelenkes (LIEBICH et al., 2019b), sondern stellt nur ein einfaches Walzengelenk dar.

Auffallend an der knöchernen Struktur der Phalanx distalis auf den Röntgenaufnahmen beim adulten Alpaka war die trajektorielle Ausrichtung der Spongiosa. Dadurch bildet sich im Inneren des Knochens eine Höhle. Beim Cria war diese Situation noch nicht so deutlich zu erkennen. MAIERL et al. (1999) untersuchten in einer Studie die postnatale Entwicklung der Klauenbeine von Rindern unterschiedlicher Altersstufen. Dabei wurde auf die Anordnung der Spongiosa und die Bildung eines Hohlraumes im Inneren der Phalanx distalis beobachtet und festgestellt, dass bei jungen Tieren die Knochensubstanz zufallsverteilt ist während beim adulten Rind eine gezielte Ausrichtung der Spongiosabälkchen nach Zug- und Drucktrajektorien erfolgt. Dies kann damit erklärt werden, dass beim nestflüchtenden Jungtier der Knochen zwar unmittelbar nach der Geburt funktionell sein muss, während der Trächtigkeit aber nicht ausreichende Belastung für eine Anpassung des Knochens nach Zug- und Druckkräften erfahren hat. Beim heranwachsenden und adulten Tier ist durch erhöhte

statische und dynamische Beanspruchung die Knochensubstanz entsprechend umgebaut und ausgerichtet. Vermutlich liegt beim Alpaka eine vergleichbare Situation vor.

Die Beugemuskulatur der Zehen des Lamas wurden von CONSTANTINESCU et al. (2008) eingehend untersucht. Dieser stellte in seiner Arbeit fest, dass die Muskeln an die komplexe Lokomotion dieser Tiere angepasst sind und mit einem Aufhängeapparat der Vordergliedmaße in Verbindung gebracht werden können, welcher das Tragen des Körpergewichtes erleichtert. Diese muskulären Anpassungen sind Folge der langen, schlanken Metakarpalknochen, der Position der Gliedmaßen sowie der horizontalen Lage der letzten zwei Phalangen. Beim Alpaka konnten die von CONSTANTINESCU et al. (2008) beschriebenen anatomischen Gegebenheiten der Unterarmmuskulatur ebenfalls nachvollzogen werden und waren dort in vergleichbarer Weise vorhanden.

Der M. interosseus medius des Alpakas ähnelt in groben Zügen dem des Rindes (LIEBICH et al., 2019b), weist jedoch einige Besonderheiten auf.

Der Ursprung des M. interosseus medius distal am Karpalgelenk war beispielsweise regelmäßig lateral kräftiger als medial. Dies ist auch beim Dromedar beschrieben (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987d). Auffallend am Ursprung des M. interosseus medius waren außerdem kräftige Sehnenstränge, gebildet aus den Kollateralbändern des Karpalgelenkes, Fasern des M. interosseus medius und der Palmarfaszie, welche knapp distal des Karpalgelenkes auf beiden Seiten in die oberflächliche Beugesehne einstrahlten. Dadurch wurde die proximal des Karpalgelenkes recht schwache oberflächliche Beugesehne deutlich verstärkt. CONSTANTINESCU et al. (2008) beschreibt diese Situation ebenfalls für das Lama und interpretiert dies als eine Art Ligamentum accessorium, wie es beim Pferd zu finden ist (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Dies trägt vermutlich zur Stabilisierung des Karpalgelenkes am stehenden Tier bei und verhindert dadurch ein Beugen, indem ein Zug nach kaudal ausgeübt wird. Dieser Zug wird in Abb. 53, a mit dem roten Pfeil im Vektorendreieck anschaulich dargestellt. Zudem kann die sehnige Verspannung zwischen Metakarpus und Phalanx media als Energiespeicher während der Fortbewegung dienen, ähnlich, wie oben beim Lacertus fibrosus des Rennpferdes näher erläutert (WILSON et al., 2003). Beide Faktoren tragen wiederum zur energieeffizienten Fortbewegung und zum ermüdungsärmeren Stehen bei.

Unterstützungsäste zu den Strecksehnen auf beiden Seiten des Fesselgelenkes sowie Interdigitalschenkel wurden beim Alpaka in ähnlicher Weise wie sie beim Rind vorkommen gefunden. Diese waren jedoch wesentlich schwächer ausgeprägt und stellen hier Rudimente dar. Beim verwandten Dromedar fehlen diese Unterstützungsäste und Interdigitalschenkel laut SMUTS und BEZUIDENHOUT (1987d) gänzlich, während NOURINEZHAD et al. (2011) sie beim Dromedar beschreibt.

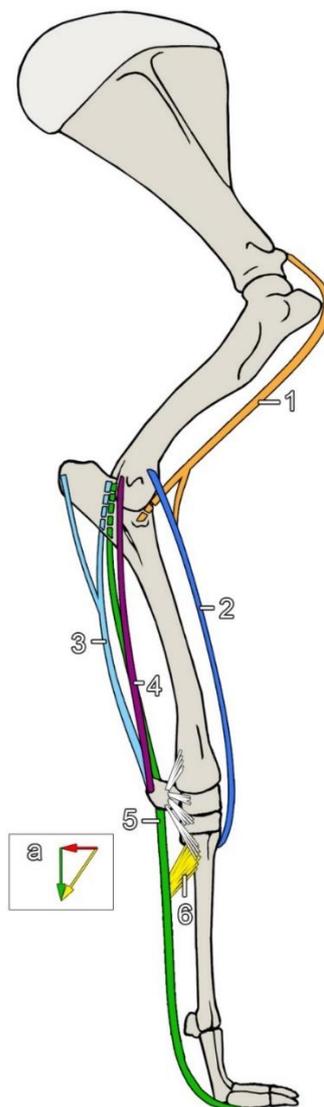


Abb. 53: Schematische Darstellung der sehnigen Verspannung der rechten Vordergliedmaße:

a – wirkende Kräfte auf das Karpalgelenk.

1 – *M. biceps brachii*; 2 – *M. extensor carpi radialis*; 3 – *M. flexor carpi ulnaris*; 4 – *M. extensor carpi ulnaris*; 5 – *M. flexor digitorum superficialis*; 6 – *Ligamentum accessorium*.

#### **5.2.4.2 Empfehlungen aus den Ergebnissen für chirurgische Maßnahmen und Gelenkinjektionen an den Zehengelenken**

Die beiden Fesselgelenke der Neuweltkameliden haben zwei Gelenkhöhlen (REED et al., 2014). Die Kommunikation dieser beiden Höhlen wurde beim Lama in der Studie von SEMEVOLOS und COPE (2005) näher untersucht. Dabei wurden diese axial oder abaxial der Strecksehne in gebeugtem Zustand injiziert. Die beiden Gelenkhöhlen kommunizierten bei 9% der untersuchten Tiere. Beim Dromedar werden zwei getrennte Gelenkhöhlen beschrieben. Der Einstich bei der Punktion einer Fesselgelenkhöhle beim Dromedar erfolgte in der Untersuchung von ABDULLAH ALSOBAYIL et al. (2015) dorsal mittig der jeweiligen Zehe bei maximaler Beugung des Gelenkes. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Fesselgelenke der rechten lateralen Zehe von vier Alpakas mit Latexmilch injiziert. Die laterale Gelenkhöhle war dabei bei allen untersuchten Tieren nicht mit der medialen verbunden. Um eine genaue Aussage machen zu können, wie häufig eine Kommunikation der beiden Fesselgelenkhöhlen einer Gliedmaße auftritt müssen weitere Untersuchungen an einer größeren Zahl von Gliedmaßen durchgeführt werden. Die Ergebnisse dieser Studie lassen aber vermuten, dass beim Alpaka eine ähnliche Situation, wie beim Lama vorliegt und die beiden Gelenkhöhlen durch die fehlende Kommunikation getrennt untersucht werden müssen. Eine Infektion in einem der Gelenke würde mangels Kommunikation nicht automatisch zur Infektion der zweiten Gelenkhöhle führen, anders als beispielsweise beim Rind mit seiner Verbindung zwischen den beiden Fesselgelenken (MAIERL und MÜLLING, 2019).

Bei der Injektion des lateralen Fesselgelenkkompartiments der Alpakas wurde wie beim Dromedar ein Einstich direkt dorsal gewählt und die Strecksehnen durchstoßen. Diese bilden auf der dorsalen Seite des Fesselgelenkes eine dünne großflächige Sehnenplatte, welche leicht durchdrungen werden kann. Bis auf feine Nervenäste des R. superficialis des N. radialis verlaufen auf der dorsalen Seite des Gelenkes keine Strukturen, welche nicht verletzt werden dürfen. Aus diesem Grund wird der dorsale mittige Einstich in palmarer Richtung bei gebeugtem Gelenk beim Alpaka als geeignet erachtet.

Die Kron- und distalen Zehengelenke des Dromedars wurden in der oben genannten Untersuchung lateral oder medial der Strecksehne in palmarolateraler oder palmaromedialer Richtung injiziert (ABDULLAH ALSOBAYIL et al., 2015). Diese

Einstichstelle ist auch für das Alpaka empfehlenswert, da die Strecksehne auf Höhe von Kron- und Klauengelenk wieder kompakter wird und nicht so leicht durchstochen werden kann. Ein Einstich von dorsolateral oder dorsomedial ist zudem deshalb sinnvoller, da sich auf der palmaren Seite das Ballenhorn befindet, welches eine Injektion verhindert (Abb. 54). Zu schonende Leitungsbahnen verlaufen abaxial und axial einer jeden Zehe und werden durch die empfohlene Einstichstelle nicht verletzt.



Abb. 54: Empfohlene Einstichstelle für die Punktion der Zehengelenke, Dorsalansicht der Zehengelenke der rechten Gliedmaße einer ein Tag alten Huacaya-Stute, A: Präparat, B: Präparat und korrelierende Röntgenaufnahme:

McIV – Os metacarpale IV; McIII – Os metacarpale III; PI – Phalanx proximalis; PII – Phalanx media; PIII – Phalanx distalis.

1 – Strecksehne des *M. extensor digitorum communis*; 2 – Strecksehne des *M. extensor digitorum lateralis*.

Pfeile: empfohlene Einstichstellen.

### 5.2.5 Leitungsbahnen der Schultergliedmaße

Der Verlauf der Nerven muss dem praktizierenden Tierarzt genau bekannt sein. Bei chirurgischen Eingriffen beispielsweise müssen Nerven unbedingt geschont werden und auch bei der Lagerung der Patienten während einer Operation müssen Techniken angewandt werden, die eine Schädigung bestimmter Nerven (z. B. des N. radialis) verhindert (FOWLER und BRAVO, 2010f; NEWMAN und ANDERSON, 2007). Neben der Verletzung oder Schädigung von Nerven durch den Tierarzt können Verletzungen und Frakturen in Nervennähe zu Lähmungen führen (KÖNIG et al., 2019). Bei einer Humerusfraktur kann bei Neuweltkameliden beispielsweise eine Paralyse des N. radialis auftreten (NEWMAN und ANDERSON, 2007).

Eine Auffälligkeit am Plexus brachialis des Alpakas war das Fehlen eines N. thoracicus lateralis, welcher in die Regio tricipitalis verlaufen würde. Stattdessen wurde an den isolierten Gliedmaßen in dieser Region regelmäßig ein kräftiger Nerv gefunden, welcher jedoch keine Verbindung zum Plexus brachialis aufwies. Dies könnte darauf hindeuten, dass beim Alpaka ähnlich wie beim Dromedar ein N. intercostobrachialis vorhanden ist, welcher bei dieser Tierart vom zweiten Interkostalnerven gebildet wird und die Haut in der Region um den Trizeps innerviert (SMUTS und BEZUIDENHOUT, 1987e). Um den exakten Ursprung dieses Nerven zu identifizieren muss dieser jedoch an einer nicht isolierten Gliedmaße präpariert und identifiziert werden.

Auffallend an den distalen Nerven der Schultergliedmaße des Alpakas war, dass die Äste des R. superficialis des N. radialis auf halber Höhe der Metakarpalknochen äußerst dünn wurden und makroskopisch beinahe nicht mehr nachvollziehbar waren. Stattdessen gaben die palmaren Zehennerven feine Nervenäste für die Innervation der dorsalen Zehenseite ab. Eine ähnliche Situation zeigt sich beim Pferd, dessen dorsale Zehenstrukturen durch feine Äste des palmaren N. medianus versorgt werden (BRAGULLA et al., 2012). Auch die Blutgefäße waren auf der dorsalen Seite distal an der Gliedmaße nur äußerst dünn ausgeprägt. Die Verlagerung der Innervation und der Durchblutung auf die Palmarseite der Gliedmaße ist vermutlich die Folge der langen und dünnen Gliedmaßen, welche dorsal wenig Schutz für den Verlauf der Nerven bietet. Die Verletzungsgefahr auf der dorsalen Seite der Gliedmaße ist bei Lauftieren weitaus größer, als auf der palmaren Seite. Daher ist diese anatomische Gegebenheit als Anpassung an die Lebensweise der Alpakas als Lauf- und Fluchttier zu sehen. Für

Tiere, die lange Wegstrecken für die Nahrungsaufnahme zurücklegen und Fluchttiere sind, ist dies ein unerlässlicher Schutz.

Beim venösen System der Schultergliedmaße des Alpakas war auffällig, dass der palmare Abfluss hauptsächlich über die *V. metacarpea palmaris* III erfolgte, welche unter dem *M. interosseus medius* direkt palmar auf dem Mittelfußknochen lag. Durch die Knochenleisten lateral und medial auf der palmaren Seite des Mittelfußknochens wurde die Vene zusätzlich eingegrenzt. Dies begünstigt vermutlich den Abtransport des venösen Blutes aus den distalen Anteilen der Gliedmaße durch eine Art Pumpmechanismus. Da das Gefäß von allen Seiten stark eingegrenzt wird kann das Blut nur in proximale Richtung entweichen.

Auch der Zusammenfluss der *V. cephalica* und der *V. axillaris* unterschied sich von den Gegebenheiten bei den gängigen Haussäugetieren. Die Trennung in ein oberflächliches und ein tiefes Venensystem soll auch bei einer extrem gebeugten Gliedmaße den venösen Abfluss gewährleisten (WAIBL et al., 2005). So mündet die *V. cephalica* bei Pferd und Rind nach einem oberflächlichen Verlauf in die *V. jugularis externa*, während sich beim Alpaka die *V. axillaris* und die *V. cephalica* schon kraniomedial am Schultergelenk zu einem Gefäß zusammenschließen und anschließend die erste Rippe umrunden. Diese dadurch tiefere Lage der *V. cephalica* trägt vermutlich wie die Verlagerung der distalen Gefäße auf die palmare Gliedmaßenseite zu einem besseren Schutz bei.

### **5.2.6 Anatomische Anpassungen der Schultergliedmaße des Alpakas an dessen Lebensweise als Lauftier**

In ihrer ursprünglichen Heimat Südamerika leben Neuweltkameliden im Altiplano der Anden in Höhen bis über 3800 m. Das Klima dieser Region ist zwischen Mai und Oktober von einer langen trockenen Periode und zwischen Dezember und März von einer kurzen Regenzeit geprägt. In der Phase der Regenzeit können die Temperaturen nachts auf bis zu  $-12^{\circ}\text{C}$  sinken. Das Habitat wird dabei von einer kargen Graslandschaft gebildet (FOWLER und BRAVO, 2010c). Die Tiere sind daher gezwungen weite Strecken zurückzulegen, um ausreichend Futter aufnehmen zu können. Zudem führen die kalten Temperaturen der Regenzeit möglicherweise zu verringerten Liegezeiten, damit die Tiere nicht auskühlen. Um die langen Wegstrecken möglichst energiesparend zurücklegen zu können und ermüdungsfrei stehen zu

können, haben sich im Laufe ihrer Evolution anatomische Besonderheiten geformt, welche eine effektive und kraftsparende Fortbewegung ermöglichen und die Neuweltkameliden zu Lauftieren machen (PREUSCHOFT et al., 1994).

Bemerkenswert in der vorliegenden Untersuchung war dabei eine auffällige Übereinstimmung einiger anatomischer Gegebenheiten zwischen Alpaka und Pferd, trotz der Tatsache, dass beide Tierarten unterschiedlichen Ordnungen angehören. Während das Alpaka bei den Paarhufern (Artiodactyla) eingeordnet wird (FOWLER und BRAVO, 2010d), zählt das Pferd zu den Unpaarhufern (Perissodactyla) (GRUBB, 2005). So findet sich sowohl beim Alpaka als auch beim Pferd am Schultergelenk ein Tuberculum intermedium, welches in die Vertiefung auf der Kaudalseite der Bizepssehne passt. Am Ellbogen findet man bei beiden Tierarten zwischen M. biceps brachii und M. extensor carpi radialis den Lacertus fibrosus. Das Ligamentum accessorium zur oberflächlichen Beugesehne, welches beim Pferd vorkommt (SEIFERLE und FREWEIN, 2004), kann in vergleichbarer Weise beim Alpaka und Lama gefunden werden und zum passiven Trageapparat gerechnet werden (CONSTANTINESCU et al., 2008). Des Weiteren sind die Leitungsbahnen distal an der Gliedmaße des Alpakas wie beim Pferd auf die Palmarseite verlagert, um einen erhöhten Schutz der Strukturen zu ermöglichen.

Diese Ähnlichkeiten können durch verschiedene Hypothesen erklärt werden. Eine mögliche Erklärung ist die oben beschriebene Lebensweise der Neuweltkameliden, welche der des Pferdes ähnelt. Das Pferd, welches ursprünglich ein Laubfresser war, passte sich durch Klimaveränderungen in der Erdgeschichte den sich ausbreitenden Grassteppen an und wurde zum Fluchttier. Durch die schlechtere Verwertung von Futter mit hohem Rohfasergehalt ist das Pferd außerdem gezwungen selektiv zu grasen und große Mengen an Futter pro Tag aufzunehmen (COENEN und MEYER, 2014), wobei es sich langsam fortbewegt.

Dadurch entwickelten sich vermutlich ähnliche mechanische Eigenschaften des Bewegungsapparates. Der selektive Druck durch sich verändernde Lebensräume und Futterressourcen beeinflusst dabei die morphologische Evolution einer Spezies (LEVERING et al., 2017). Dies legt die Vermutung nahe, dass sich die anatomischen Ähnlichkeiten zwischen Alpaka und Pferd in einer Parallelentwicklung auf Grund vergleichbarer Lebensweise entwickelt haben könnten, da sie nicht näher miteinander verwandt sind.

## 6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Dissertation war die übersichtliche Darstellung der topografischen Anatomie der Schultergliedmaße des Alpakas. Der Fokus wurde dabei auf die gelenknahen Strukturen und Leitungsbahnen gelegt.

Insgesamt wurden 14 Vordergliedmaßen (links: n=2, rechts: n=12) von 12 Tieren untersucht. Die Tiere wurden auf Grund verschiedener Krankheiten euthanasiert, welche den Bewegungsapparat nicht betrafen. Sie wurden anschließend dem Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie der Ludwig-Maximilians-Universität (München) für diese Studie gespendet. Acht Tiere waren adult (12-22 Jahre), vier waren Jungtiere (ein Tag bis 3 Monate).

Die topografische Anatomie wurde an 9 Tieren dargestellt, bei einem Teil des Untersuchungsgutes wurden spezielle Untersuchungen durchgeführt. Dazu zählte die Injektion von farbiger Latexmilch in den arteriellen (n=9) und venösen (n=3) Gefäßbaum sowie in das Schulter-, Ellbogen-, Karpal- und die Zehengelenke (n=7) zur Demonstration der Gelenkaussackungen. Des Weiteren wurden Röntgenbilder der Gliedmaßen angefertigt, um knöchernen Strukturen darzustellen (n=9). Drei der Präparate dienten außerdem als Grundlage für Transversalschnitte. Im letzten Schritt wurde ein Teil der Präparate (n=4) mazeriert, um die isolierten Knochen der Gliedmaßen zu erhalten.

Die Ergebnisse geben einen umfassenden Einblick in die speziesspezifische Topografie der Schultergliedmaße. Es werden zu jedem Gelenk der Schultergliedmaße die knöchernen Strukturen, die gelenkbewegende Muskulatur, Gelenkbänder sowie die Gelenkhöhle beschrieben und mit Fotografien anschaulich dargestellt. Zusätzlich werden Nerven, Gefäße und Lymphknoten der Schultergliedmaße nachvollzogen und mittels Fotografien und Schemazeichnungen veranschaulicht.

Die genaue Kenntnis der topografischen Anatomie eines jeden Gelenkes ist eine unverzichtbare Voraussetzung, wenn diagnostische oder therapeutische Eingriffe vonnöten sind. Aus diesen Ergebnissen lassen sich Empfehlungen für eine geeignete Einstichrichtung und den optimalen Einstichwinkel bei Gelenkpunktionen ableiten und zu schonende Strukturen definieren. Dadurch kann diese Arbeit als Referenz für das Handeln von Klinikern und niedergelassenen praktischen Tierärzten dienen.

Neben der praktischen Anwendung der Ergebnisse sind einige anatomische

Strukturen auffällig, welche sich mit dem Habitat und der Lebensweise des Alpakas in Verbindung bringen lassen. Wie erwartet sind große Übereinstimmungen mit der Anatomie anderer Kameliden zu finden. Auffällig ist jedoch die große Ähnlichkeit zur Anatomie des Pferdes. Diese kann durch ähnliche Verhaltens- und Fortbewegungsweisen sowie vergleichbare Habitate dieser beiden Tierarten erklärt werden.

## 7 Summary

### **Title: Topographic and clinically applied anatomy of the front limb of the alpaca (*Vicugna pacos*)**

The aim of the present study was to demonstrate the topographic anatomy of the front limb of the alpaca. The focus was put on the joints and the surrounding structures like nerves, arteries and veins. A total of fourteen limbs of twelve alpacas (left: n=2, right: n=12) were investigated. The animals were euthanized because of different diseases that did not affect the locomotor apparatus. Afterwards they were donated to the Department of Veterinary Sciences of the Ludwig-Maximilians-Universität (Munich, Germany). Eight of them were adult animals (12 to 22 years) and four were alpaca crias (one day to three months).

Eleven limbs of nine animals were conventionally dissected. Additionally, in some of these specimens further detailed examinations were conducted. This included injections of latex milk in the arterial (n=9) and venous (n=3) blood vessels as well as in the joint cavities of the shoulder joint, the elbow joint, the carpal joint and the metacarpal and phalangeal joints (n=7). Furthermore, radiographs were taken for demonstrating the osseous structures of the complete front limb (n=9). Cross-sections were produced from three specimens. In a final step maceration of the remaining structures of four front limbs was performed to receive the single bones.

The results of this study provide a comprehensive insight to the species-specific anatomy of the front limb. For each joint its osseous structures, the respective muscles for movement, joint ligaments as well as joint cavities were accurately described and presented with the help of detailed photographs. In addition, precise schematic and photographic presentations of the nerves, blood vessels and lymph nodes of the front limb were made.

The knowledge of the topographic anatomy of each joint is an indispensable requirement in terms of diagnostic and therapeutic procedures, for example the direction and angle in which joint aspirations need to be performed. With this information ideal puncture sites can be determined, and surrounding structures can thus be optimally preserved. These results are extremely valuable for practicing veterinarians.

In addition, the comparison of special anatomic features of the alpaca joints with the

---

articulations of other domestic mammals provides explanations about their locomotor behavior. Expectedly, there was huge conformity between the anatomy of the alpaca's front limb compared to that of other camelids. However, surprisingly there could be shown similarities to the anatomy of the horse, especially in joints and muscles. This accordance probably can be explained with similar mode of behavior and locomotion as well as related habitats.

## 8 Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1: Schemazeichnung der rechten Vordergliedmaße eines Alpakas (modifiziert nach MCCRACKEN et al. (1999)):</i> .....	6
<i>Abb. 2: Material für Blutgefäßpräparate, linke Vordergliedmaße eines 1 Tag alten weiblichen Huacaya-Crias.</i> .....	40
<i>Abb. 3: Knöcherne Grundlage des rechten Schultergelenkes einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute:</i> .....	46
<i>Abb. 4: Lateromediale Röntgenaufnahme jeweils des rechten Schultergelenkes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes mit Wachstumsfugen (A) und einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute (B):</i> .....	47
<i>Abb. 5: Laterale Muskulatur des rechten Schultergelenkes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht:</i> .....	48
<i>Abb. 6: Regio scapularis einer 16 Jahre alten Suri-Stute, Lateralansicht, rechte Gliedmaße, M. deltoideus vollständig und M. supraspinatus teilweise entfernt:</i> .....	49
<i>Abb. 7: M. coracobrachialis eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Medialansicht, rechte Gliedmaße, M. supraspinatus entfernt:</i> .....	50
<i>Abb. 8: Rechtes Schultergelenk eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes (A) und eines 22 Jahre alten Huacaya-Hengstes (B), Kranialansicht, M. supra- und infraspinatus, M. biceps brachii, M. coracobrachialis sowie M. subscapularis entfernt:</i> .....	51
<i>Abb. 9: Rechtes Schultergelenk eines 22 Jahre alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht, M. deltoideus, M. supra- und infraspinatus sowie M. teres minor entfernt:</i> .....	52
<i>Abb. 10: Rechtes Schultergelenk eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Kranialansicht, M. supraspinatus und M. coracobrachialis entfernt:</i> .....	53
<i>Abb. 11: Querschnitt der rechten Ursprungssehne des M. biceps brachii einer 16 Jahre alten Suri-Stute, Querschnitt auf Höhe des Tuberculum intermedium:</i> .....	54
<i>Abb. 12: Gliedmaßen-Querschnitt auf Höhe des rechten Schultergelenkes einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute, Ansicht von proximal:</i> .....	55
<i>Abb. 13: Lateromediale Röntgenaufnahme des rechten Ellbogengelenkes einer ein Tag alten Huacaya-Stute mit Wachstumsfugen (A) und einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute (B):</i> .....	56
<i>Abb. 14: Gelenkfläche von Humerus (A) sowie Radius und Ulna (B) der rechten Schultergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs:</i> .....	57

<i>Abb. 15: Laterale Muskulatur des rechten Ellbogengelenkes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht, M. tensor fasciae antebrachii nicht mehr am Präparat vorhanden:</i> .....	58
<i>Abb. 16: Muskulatur des rechten Ellbogengelenkes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Medialansicht:</i> .....	59
<i>Abb. 17: Ansatz des M. biceps brachii der rechten Vordergliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, A: Medialansicht, B: Sehnenanteil für Ulna weggeklappt:</i>	60
<i>Abb. 18: Rechtes Ellbogengelenk eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Kranialansicht:</i> .....	61
<i>Abb. 19: Rechtes Ellbogengelenk eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Kaudomedialansicht, M. brachialis, M. biceps brachii, M. anconaeus und M. triceps brachii entfernt:</i> .....	63
<i>Abb. 20: Rechtes Ellbogengelenk einer 16 Jahre alten Suri-Stute, A: Medialansicht, B: Lateralansicht:</i> .....	64
<i>Abb. 21: Rechtes Ellbogengelenk eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Kraniomedialansicht, M. biceps brachii, M. triceps brachii, M. extensor und flexor carpi radialis entfernt:</i> .....	65
<i>Abb. 22: Muskulatur des rechten Ellbogengelenkes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht, M. triceps brachii entfernt:</i> .....	66
<i>Abb. 23: Gliedmaßen-Querschnitt auf Höhe des rechten Ellbogengelenkes eines 14 Jahre alten Huacaya-Wallachs mit blau injizierten Venen (A) und eines 17 Jahre alten Huacaya-Hengstes mit rot injizierten Arterien (B), Ansicht von distal:</i> .....	67
<i>Abb. 24: Knochen des Karpalgelenkes der rechten Vordergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Ansicht von kranial (A), lateral (B), kaudal (C) und medial (D):</i> .....	69
<i>Abb. 25: Dorsopalmare Röntgenaufnahme des Karpalgelenkes einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute (A, rechte Gliedmaße) und einer ein Tag alten Huacaya-Stute mit Wachstumsfugen (B, linke Gliedmaße), Arterien mit Latexmilch-Bariumsulfat-Gemisch injiziert:</i> .....	70
<i>Abb. 26: Muskulatur des Unterarmes eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht, rechte Gliedmaße:</i> .....	71
<i>Abb. 27: Rechtes Karpalgelenk eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Dorsalansicht, A: Retinaculum extensorum geschlossen, B: Retinaculum extensorum eröffnet:</i> .....	73

<i>Abb. 28: Karpalgelenk der rechten Schultergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Dorsalansicht, A: oberflächliche Strukturen, B: tief liegende Bänder:</i> .....	74
<i>Abb. 29: Bänder des Os carpi accessorium am rechten Karpalgelenk einer 16 Jahre alten Suri-Stute, Lateralansicht:</i> .....	75
<i>Abb. 30: Bänder des Os carpi accessorium am rechten Karpalgelenk einer 16 Jahre alten Suri-Stute, Ansicht von mediopalmar:</i> .....	76
<i>Abb. 31: Gliedmaßen-Querschnitt auf Höhe der distalen Epiphyse des rechten Radius einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute mit rot injizierten Arterien (A) und eines 14 Jahre alten Huacaya-Wallachs mit blau injizierten Venen (B), Ansicht von distal:</i>	77
<i>Abb. 32: Aufsicht auf die Facies articularis des Os metacarpale III und IV einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute, rechte Gliedmaße:</i> .....	79
<i>Abb. 33: Mittelfuß- und Zehenknochen der rechten Schultergliedmaße einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute, Dorsalansicht:</i> .....	80
<i>Abb. 34: Gelenkwalzen der Ossa metacarpalia III und IV (A, Ansicht von ventral) sowie der Facies articularis der Phalanx proximalis (B, Ansicht von proximal) der rechten Schultergliedmaße einer 13 Jahre alten Huacaya-Stute:</i> .....	81
<i>Abb. 35: Muskulatur des Unterarmes eines ca. 12 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Kaudalansicht, rechte Gliedmaße:</i> .....	83
<i>Abb. 36: Kollateralbänder des rechten proximalen, mittleren und distalen Zehengelenks eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Lateralansicht:</i> .....	84
<i>Abb. 37: M. interosseus medius am rechten Vorderfuß eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Palmaransicht:</i> .....	86
<i>Abb. 38: Rechtes Fesselgelenk eines ca. 12 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Palmaransicht bei überstrecktem Gelenk, M. interosseus medius vom Mittelfuß abgelöst und nach distal geklappt:</i> .....	87
<i>Abb. 39: Dorsopalmare Röntgenaufnahme der Zehengelenke einer ein Tag alten Huacaya-Stute (A, linke Gliedmaße) und einer 16 Jahre alten Huacaya-Stute (B, linke Gliedmaße):</i> .....	89
<i>Abb. 40: Austritt des Plexus brachialis und der Arteria und Vena subclavia eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes (Lateralansicht von rechts), A: Schultergliedmaße nach kranial umgeklappt, B: Schultergliedmaße entfernt:</i> .....	91
<i>Abb. 41: Plexus brachialis der rechten Schultergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Medialansicht:</i> .....	94

<i>Abb. 42: Nerven der Schultergliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Lateralansicht, rechte Gliedmaße:.....</i>	<i>96</i>
<i>Abb. 43: Blutgefäßbaum der rechten Schultergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallachs, Medialansicht, Farbe der Blutgefäße nachträglich verstärkt: ...</i>	<i>101</i>
<i>Abb. 44: Arterien der Zehen der rechten Schultergliedmaße eines ca. 17 Jahre alten Huacaya-Wallaches, Mediopalmaransicht, Beugesehnen der medialen Zehe auf Höhe der Phalanx proximalis gefenstert:.....</i>	<i>103</i>
<i>Abb. 45: Schemazeichnung der Arterien der rechten Schultergliedmaße, Medialansicht (links) und Lateralansicht (rechts):.....</i>	<i>104</i>
<i>Abb. 46: Venen der rechten Vordergliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, Medialansicht: .....</i>	<i>106</i>
<i>Abb. 47: Schemazeichnung der Venen der rechten Schultergliedmaße, Medialansicht: .....</i>	<i>107</i>
<i>Abb. 48: Schemazeichnung der Lymphknoten der rechten Schultergliedmaße, Medialansicht: .....</i>	<i>108</i>
<i>Abb. 49: Schematische Darstellung der kollateralen Spannbänder einer rechten Schultergliedmaße: Ansicht von lateral (A) und medial (B): .....</i>	<i>115</i>
<i>Abb. 50: Empfohlene Einstichstelle für die Punktion des Schultergelenkes, Lateralansicht des Schultergelenkes der rechten Gliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, A: Muskelpräparat, B: Muskelpräparat und korrelierende Röntgenaufnahme:.....</i>	<i>116</i>
<i>Abb. 51: Empfohlene Einstichstelle für die Punktion des Ellbogengelenkes, Lateralansicht des Ellbogengelenkes der rechten Gliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, A: Muskelpräparat, B: Muskelpräparat und korrelierende Röntgenaufnahme:.....</i>	<i>120</i>
<i>Abb. 52: Empfohlene Einstichstelle für die Punktion des Ellbogengelenkes, Dorsalansicht des Karpalgelenkes der rechten Gliedmaße eines 3 Monate alten Huacaya-Hengstes, A: Muskelpräparat, B: Muskelpräparat und korrelierende Röntgenaufnahme der linken Gliedmaße:.....</i>	<i>125</i>
<i>Abb. 53: Schematische Darstellung der sehnigen Verspannung der rechten Vordergliedmaße:.....</i>	<i>128</i>
<i>Abb. 54: Empfohlene Einstichstelle für die Punktion der Zehengelenke, Dorsalansicht der Zehengelenke der rechten Gliedmaße einer ein Tag alten Huacaya-Stute, A: Präparat, B: Präparat und korrelierende Röntgenaufnahme: .....</i>	<i>130</i>

## 9 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Klassifikation der Neuweltkameliden (modifiziert nach FOWLER und BRAVO (2010d)).</i> .....	3
<i>Tabelle 2: Untersuchungsgut (n=12).</i> .....	35
<i>Tabelle 3: Teiluntersuchung: Darstellung der Arterien (n=9).</i> .....	38
<i>Tabelle 4: Teiluntersuchung: Darstellung der Venen (n=3).</i> .....	39
<i>Tabelle 5: Projektionsrichtung der einzelnen Röntgenaufnahmen.</i> .....	40
<i>Tabelle 6: Teiluntersuchung: Röntgenaufnahmen (n=9).</i> .....	41
<i>Tabelle 7: Teiluntersuchung: Darstellung der Gelenkaussackungen (n=7).</i> .....	43
<i>Tabelle 8: Teiluntersuchung: Anatomische Querschnitte (n=3).</i> .....	44

## 10 Literaturverzeichnis

- 1 Abdullah Alsobayil, F., A Allouch, J. und Fathy Ahmed, A. (2015): Articular Puncture Techniques and Contrast Arthrography of the Forelimb in Dromedary Camels (*Camelus dromedarius*). *Pak Vet J* 35(1): 28-32.
- 2 Altenbrunner-Martinek, B., Grubelnik, M. und Kofler, J. (2007): Ultrasonographic Examination of Important Aspects of the Bovine Shoulder – Physiological Findings. *Vet J* 173(2): 317-324.
- 3 Arzone, C. A., Genoud, P., Pellegrino, F. C. und Vidal Figueredo, R. J. (2013): Inervación de las Regiones Escapular, Braquial y Antebraquial de la Llama (*Lama glama*). *Int J Morphol* 31(3): 967-972.
- 4 Azzopardi, M. (2012): Contribution à l'ostéologie et à l'imagerie médicale de l'alpaga "*Vicugna pacos*". Université de Toulouse, Toulouse.
- 5 Baljit, S. (2018): The Clinical Anatomy of Llamas and Alpacas. In: S. Baljit, Dyce, Sack and Wensing's Textbook of Veterinary Anatomy. Elsevier, St. Louis, Missouri: S. 800-831.
- 6 Binder, E. (2014): Untersuchung zur Stressbelastung von Alpakahengsten in Einzel- versus Gruppenhaltung. Diss. med. vet., München.
- 7 Böhmisch, R., Maierl, J. und Liebich, H.-G. (2000): Zur topographischen und makroskopischen Anatomie des Schultergelenkes des Pferdes. *Pferdeheilkunde* 16(3): 244-252.
- 8 Bragulla, H., Budras, K.-D., Mülling, C., Reese, S. und König, H. E. (2012): Allgemeine Körperdecke (Integumentum commune). In: H. E. König und H.-G. Liebich, Anatomie der Haussäugetiere, Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Schattauer, Stuttgart: S. 605-656.
- 9 Budras, K.-D. (2014): Schultergliedmaße. In: C. Mülling, K.-D. Budras und W. Fricke, Atlas der Anatomie des Pferdes. Schlüter, Hannover: S. 21-55.
- 10 Coenen, M. und Meyer, H. (2014): Vom Laubfresser zum "Hafermotor". In: H. Meyer, M. Coenen und I. Vervuert, Pferdefütterung. Enke Verlag, Stuttgart: S. 17-21.
- 11 Constantinescu, G. M., Reed, S. K. und Constantinescu, I. A. (2008): The Suspensory Apparatus and Digital Flexor Muscles of the Llama (*Lama glama*) 1. The Thoracic Limb/El Aparato Suspensorio y los Musculos Flexores Digitales de la Llama (*Lama glama*) 1. El Miembro Toracico. *Int J Morphol* 26(3): 543-551.
- 12 Dos Santos Romero, D. L. (2014): Osteología y Miología de los miembros torácico y pelviano de la Alpaca (*Vicugna pacos*). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- 13 Duncanson, G. R. (2012): Medicine and Surgery of the Locomotory System. In: G. R. Duncanson, Veterinary Treatment of Llamas and Alpacas. CAB International, Oxfordshire, UK: S. 153-156.

- 14 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2018): FAOSTAT: Live Animals. Retrieved 27.02.2019, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA>.
- 15 Fowler, M. E. (1998): 1 General Biology and Evolution. In: M. E. Fowler, *Medicine and Surgery of South American Camelids: Llama, Alpaca, Vicuna, Guanaco*. Iowa State University Press., Ames, Iowa: S. 1-11.
- 16 Fowler, M. E. (2008): Behavioral Clues for Detection of Illness in Wild Animals: Models in Camelids and Elephants. In: M. E. Fowler, *Zoo and Wild Animal Medicine: Current Therapy*. Saunders Elsevier, St. Louis/ Missouri: S. 33-49.
- 17 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010a): Conformation and Gaits. In: M. E. Fowler und P. W. Bravo, *Medicine and Surgery of Camelids*. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa: S. 587-602.
- 18 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010b): Congenital/Hereditary Conditions. In: M. E. Fowler und P. W. Bravo, *Medicine and Surgery of Camelids*. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa: S. 499-505.
- 19 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010c): Feeding and Nutrition. In: M. E. Fowler und P. W. Bravo, *Medicine and Surgery of Camelids*. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa: S. 17-58.
- 20 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010d): General Biology and Evolution. In: M. E. Fowler, *Medicine and Surgery of Camelids*. John Wiley & Sons, Ames, Iowa: S. 3-16.
- 21 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010e): Musculoskeletal System. In: M. E. Fowler und P. W. Bravo, *Medicine and Surgery of Camelids*. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa: S. 311-337.
- 22 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010f): Surgery. In: M. E. Fowler und P. W. Bravo, *Medicine and Surgery of Camelids*. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa: S. 129-171.
- 23 Galotta, D. R., Galotta, J. M. und Stöver, E. (1994): Osteologia. In: S. G. Márquez und J. M. Galotta, *Excorta anatomica camelidae*. Fundación Camélidos Sudamericanos, Buenos Aires, Argentina: S. 10-20.
- 24 Gauly, M. (2019a): Verhalten und Umgang. In: M. Gauly, J. Vaughan und C. Cebra, *Neuweltkameliden: Haltung, Zucht, Erkrankungen*. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart/New York: S. 68-82.
- 25 Gauly, M. (2019b): Zoologie, Domestikation und Verbreitung von Neuweltkameliden. In: M. Gauly, J. Vaughan und C. Cebra, *Neuweltkameliden: Haltung, Zucht, Erkrankungen*. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart/New York: S. 13-18.
- 26 Goshima Watanabe, A. (1976): Estudio Anatómico-Descriptivo del Plexo Braquial de la Alpaca (*Lama pacos*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Peru.

- 27 Grubb, P. (2005): Order Perissodactyla. In: D. E. Wilson und D. M. Reeder, *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. 1: S. 629-636.
- 28 Hengrave Burri, I., Martig, J. und Sager, H. (2005): Neuweltkameliden in der Schweiz. I. Population, Haltung und Gesundheitsprobleme. *Schweiz Arch Tierheilkd* 147(8): 325-334.
- 29 Hermanson, J. W. und Hurley, K. J. (1990): Architectural and Histochemical Analysis of the Biceps brachii Muscle of the Horse. *Acta Anat (Basel)* 137(2): 146-156.
- 30 Janis, C. M., Theodor, J. M. und Boisvert, B. (2002): Locomotor Evolution in Camels Revisited: A Quantitative Analysis of Pedal Anatomy and the Acquisition of the Pacing Gait. *JVP* 22(1): 110-121.
- 31 Kadwell, M., Fernandez, M., Stanley, H. F., Baldi, R., Wheeler, J. C., Rosadio, R. und Bruford, M. W. (2001): Genetic analysis reveals the wild ancestors of the llama and the alpaca. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 268(1485): 2575-2584.
- 32 Kainer, R. A. und Fails, A. D. (2011): Functional Anatomy of the Equine Musculoskeletal System. In: G. M. Baxter, Adams and Stashak's *Lameness in Horses*. Wiley-Blackwell, Oxford: S. 3-72.
- 33 Kaneps, A. J. (1996): Orthopedic Conditions of Small Ruminants. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 12(1): 211-231.
- 34 Kitsutani Ogata, G. (1978): *Inervación Periférica de los Segmentos Hombro y Brazo de la Alpaca (Lama pacos)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima
- 35 Kofler, J., Eberspächer, E., Fischl, K. und Vidoni, B. (2016): Surgical treatment of scapulohumeral subluxation in an alpaca (*Vicugna pacos*) using osteotomy of the acromion, open reduction and extracapsular tension sutures. *N Z Vet J* 64(3): 193-197.
- 36 König, H. E., Mülling, C., Seeger, J. und Liebich, H.-G. (2019): Nervensystem (Systema nervosum). In: H. E. König und H.-G. Liebich, *Anatomie der Haussäugetiere, Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*. Thieme, Stuttgart: S. 513-582.
- 37 Lesbre, F. X. (1903a): Différences entre les chameaux et les lamas. In: H. Georg, *Recherches anatomiques sur les Camélidés*. H. Georg, Lyon, France: S. 163-192.
- 38 Lesbre, F. X. (1903b): Muscles du membre thoracique. In: H. Georg, *Recherches anatomiques sur les Camélidés*. H. Georg, Lyon, France: S. 70-75.
- 39 Lesbre, F. X. (1903c): *Recherches anatomiques sur les Camélidés*. H. Georg, Lyon, France.
- 40 Levering, D., Hopkins, S. und Davis, E. (2017): Increasing Locomotor Efficiency Among North American Ungulates Across the Oligocene-Miocene Boundary.

- Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol 466: 279-286.
- 41 Liebich, H.-G., Forstenpointner, G. und König, H. E. (2019a): Einführung und allgemeine Anatomie. In: H. E. König und H.-G. Liebich, Anatomie der Haussäugetiere, Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Thieme, Stuttgart: S. 21-72.
  - 42 Liebich, H.-G., Maierl, J. und König, H. E. (2019b): Vorder- oder Schultergliedmaßen (Membra thoracica). In: H. E. König und H.-G. Liebich, Anatomie der Haussäugetiere, Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Thieme, Stuttgart: S. 167-239.
  - 43 Livingston, C. K., Dart, A. J., Dowling, B. A., Dart, C. M. und Hodgson, D. R. (2001): Surgical correction of carpal valgus deformity in three alpacas. Aust Vet J 79(12): 821-824.
  - 44 Loeffler, K. und Bidier, I. (1984): Zur Frage der Umdifferenzierung der Knorpelzellen der Gelenkoberfläche am Beispiel der Synovialgrubenbildung\*. Anat Histol Embryol 13(1): 68-85.
  - 45 Lüllmann-Rauch, R. und Asan, E. (2019): Binde- und Stützgewebe. In: R. Lüllmann-Rauch und E. Asan, Taschenlehrbuch Histologie. Georg Thieme Verlag: S.
  - 46 Maierl, J. und Mülling, C. (2019): Funktionelle Anatomie. In: A. Fiedler, J. Maierl und K. Nuss, Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes. Thieme, Stuttgart: S. 15-46.
  - 47 Maierl, J., Tiefenthaler, I., König, H. E. und Liebich, H.-G. (1999): Anatomische Untersuchungen zur postnatalen Entwicklung des Klauenbeins beim Rind. Wien Tierarztl Monatsschr 86(1999): 230-236.
  - 48 Maierl, J., Weissengruber, G., Peham, C. und König, H. E. (2019): Statik und Dynamik. In: H. E. König und H.-G. Liebich, Anatomie der Haussäugetiere, Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Thieme, Stuttgart: S. 309-316.
  - 49 Marín, J. C., Zapata, B., Gonzáles, B. A., Bonacic, C., Wheeler, J. C., Casey, C., Bruford, M. W., Palma, R. E., Poulin, E., Alliende, M. A. und Spotorno, Á. E. (2007): Sistemática, Taxonomía y Domesticación de Alpacas y Llamas: Nueva Evidencia Cromosómica y Molecular. Rev Chil Hist Nat 80: 121-140.
  - 50 Márquez, S. G. und Galotta, J. M. (1994): Excerpta anatomica camelidae. Fundación Camélidos Sudamericanos, Buenos Aires, Argentina.
  - 51 Márquez, S. G., Galotta, J. M. und Graziotti, G. H. (1994): Artrología. In: S. G. Márquez und J. M. Galotta, Excerpta anatomica camelidae. Fundación Camélidos Sudamericanos, Buenos Aires, Argentina: S. 21-30.
  - 52 McCracken, T. O., Spurgeon, T. L. und Kainer, R. A. (1999): Spurgeon's Color Atlas of Large Animal Anatomy: The Essentials. Wiley-Blackwell, Philadelphia.
  - 53 NAV (2017): Nomina Anatomica Veterinaria Hannover, Ghent, Columbia, Rio de Janeiro.

- 54 Newman, K. D. und Anderson, D. E. (2006): Fracture management in llamas and alpacas. *Small Ruminant Res* 61(2): 241-258.
- 55 Newman, K. D. und Anderson, D. E. (2007): Humerus Fractures in Llamas and Alpacas: Seven Cases (1998–2004). *Vet Surg* 36(1): 68-73.
- 56 Nickel, R., Schummer, A. und Seiferle, E. (2004a): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band I: Bewegungsapparat. Parey, Berlin.
- 57 Nickel, R., Schummer, A., Wille, K.-H. und Wilkens, H. (2004b): Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem. In: R. Nickel, A. Schummer und E. Seiferle, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Parey Verlag Stuttgart, Berlin. Band I: Bewegungsapparat: S. 15-272.
- 58 Nourinezhad, J., Mazaheri, Y. und Khaksary Mahabady, M. (2011): Gross Anatomy of the Ligaments of Fetlock Joint in Dromedary Camel. *J Camel Pract Res* 18(2): 197-202.
- 59 Pacheco Torres, V. R., Altamiro Enciso, A. J. und Guerra Porras, E. S. (1986): The Osteology of South American Camelids. Institute of Archaeology, University of California, California.
- 60 Pentecost, R. L., Niehaus, A. J. und Santschi, E. (2012): Arthroscopic Approach and Intraarticular Anatomy of the Stifle in South American Camelids. *Vet Surg* 41(4): 458-64.
- 61 Pfau, T., Hinton, E., Whitehead, C., Wiktorowicz-Conroy, A. und Hutchinson, J. R. (2011): Temporal gait parameters in the alpaca and the evolution of pacing and trotting locomotion in the Camelidae. *J Zool* 283(3): 193-202.
- 62 Piechocki, R. und Altner, H.-J. (1998a): I. Grundsätze und Verfahren beim Sammeln von Wirbeltieren. In: R. Piechocki und H.-J. Altner, Makroskopische Präparationstechnik, Teil I: Wirbeltiere. Gustav Fischer Verlag, Jena: S. 15-41.
- 63 Piechocki, R. und Altner, H.-J. (1998b): XII. Herstellung von Gefäßpräparaten. In: R. Piechocki und H.-J. Altner, Makroskopische Präparationstechnik, Teil I: Wirbeltiere. Gustav Fischer Verlag, Jena: S. 350-390.
- 64 Ponzoni, R., Hubbard, D., Kenyon, R., Tuckwell, C., McGregor, B., Howse, A., Carmichael, I. und Judson, G. (1997): Phenotypes Resulting from Huacaya by Huacaya, Suri by Huacaya and Suri by Suri Alpaca Crossings. Shaping the future: Proceedings of the International Alpaca Industry, Australian Alpaca Association.
- 65 Popesko, P. (2011): Band III: Becken und Gliedmaßen. In: Atlas der topografischen Anatomie der Haustiere. Enke Verlag, Stuttgart: S. 1-205.
- 66 Preuschoft, H., Witte, H., Christian, A. und Recknagel, S. (1994): Körpergestalt und Lokomotion bei großen Säugetieren. *Verh. Dtsch. Zool. Ges.*(87): 147-163.
- 67 Rappersberger, G. (2018a): Einleitung. In: G. Rappersberger, Lamas und Alpakas. Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim): S. 8-34.

- 68 Rappersberger, G. (2018b): Training. In: G. Rappersberger, Lamas und Alpakas. Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim): S. 112-141.
- 69 Reed, S. K., Semevolos, S. A., Newman, K. D. und Anderson, D. E. (2014): Musculoskeletal Surgery. In: C. Cebra, D. E. Anderson, A. Tibary, R. J. Van Saun und L. W. Johnson, Llama and Alpaca Care. Elsevier, St. Louis, MO: S. 669-690.
- 70 Rousseau, M., Anderson, D. E., Miesner, M. D., Schulz, K. L. und Whitehead, C. E. (2010): Scapulohumeral Joint Luxation in Alpacas: 10 Cases (2003–2009). *J Am Vet Med Assoc* 237(10): 1186-1192.
- 71 Rousseau, M., Anderson, D. E., Niehaus, A. J., Miesner, M. D. und Nichols, S. (2013): Osseous Sequestration in Alpacas and Llamas: 36 Cases (1999–2010). *J Am Vet Med Assoc* 243(3): 430-436.
- 72 Salomon, F.-V. (2008): Bewegungsapparat. In: F.-V. Salomon, H. Geyer und U. Gille, Anatomie für die Tiermedizin. Enke, Stuttgart: S. 22-218.
- 73 Schwarze, I. (1998): Computertomographische Untersuchungen am Sprunggelenk des Rindes. Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- 74 Seiferle, E. und Frewein, J. (2004): Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia. In: R. Nickel, A. Schummer und E. Seiferle, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Parey Verlag Stuttgart, Berlin. Band I: Bewegungsapparat: S. 273-585.
- 75 Semevolos, S. A. und Cope, R. B. (2005): Determination of the anatomic communications among compartments within the carpus, metacarpophalangeal and metatarsophalangeal joints, stifle joint, and tarsus in llamas. *Am J Vet Res* 66(8): 1437-40.
- 76 Smuts, M. M. S. und Bezuidenhout, A. J. (1987a): Anatomy of the dromedary. Oxford University Press, Oxford.
- 77 Smuts, M. M. S. und Bezuidenhout, A. J. (1987b): The Heart and Arteries. In: M. M. S. Smuts und A. J. Bezuidenhout, Anatomy of the dromedary. Oxford University Press, Oxford: S. 142-167.
- 78 Smuts, M. M. S. und Bezuidenhout, A. J. (1987c): The Joints and Ligaments. In: M. M. S. Smuts und A. J. Bezuidenhout, Anatomy of the dromedary. Oxford University Press, Oxford: S. 48-58.
- 79 Smuts, M. M. S. und Bezuidenhout, A. J. (1987d): The Muscular System. In: M. M. S. Smuts und A. J. Bezuidenhout, Anatomy of the dromedary. Oxford University Press, Oxford: S. 59-104.
- 80 Smuts, M. M. S. und Bezuidenhout, A. J. (1987e): The Nervous System. In: M. M. S. Smuts und A. J. Bezuidenhout, Anatomy of the dromedary. Oxford University Press, Oxford: S. 182-220.
- 81 Smuts, M. M. S. und Bezuidenhout, A. J. (1987f): The Skeleton. In: M. M. S. Smuts und A. J. Bezuidenhout, Anatomy of the dromedary. Oxford University Press, Oxford: S. 1-47.

- 82 Smuts, M. M. S. und Bezuidenhout, A. J. (1987g): The Venous System. In: M. M. S. Smuts und A. J. Bezuidenhout, *Anatomy of the dromedary*. Oxford University Press, Oxford: S. 168-177.
- 83 Tiefenthaler, I. (1997): Computertomographische Untersuchung der Rinderzehe. Diss. med. vet., München.
- 84 Timm, K., Smith, B. B. und Gauly, M. (2011): Anatomie und Physiologie. In: M. Gauly und M. Gerken, *Neuweltkameliden: Haltung, Zucht, Erkrankungen*. Enke, Stuttgart: S. 7-21.
- 85 Van der Sluijs, L., Gerken, M. und Preuschoft, H. (2010): Comparative Analysis of Walking Gaits in South American Camelids. *J Zool* 282(4): 291-299.
- 86 Vandeweerd, J. M., Clegg, P., Wawra, E. und Dugdale, A. (2007): Treatment of Recurrent Luxation of the Shoulder in an Alpaca. *Vet Rec* 160(9): 304-306.
- 87 Waibl, H., Wilkens, H. und Münster, W. (2005): Arterien, Arteriae. In: R. Nickel, A. Schummer, E. Seiferle und H. Augsburg, *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band III: Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane*. Parey Verlag, Berlin. Band III: Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane: S. 74-188.
- 88 Walters, A. L., Semevolos, S. A. und Baker, R. E. (2016): Goniometrie Evaluation of Standing Extension and Maximum Flexion Joint Angles of Llamas and Alpacas. *Am J Vet Res* 77(9): 1000-1004.
- 89 Watts, A. E., Fortier, L. A., Nixon, A. J. und Ducharme, N. G. (2008): A Technique for Internal Fixation of Scapulohumeral Luxation Using Scapulohumeral Tension Sutures in Three Alpacas and One Miniature Steer. *Vet Surg* 37(2): 161-165.
- 90 Wheeler, J. C. (1995): Evolution and Present Situation of the South American Camelidae. *Biol J Linn Soc* 54(3): 271-295.
- 91 Wheeler, J. C., Chikhi, L. und Bruford, M. W. (2006): Genetic Analysis of the Origins of Domestic South American Camelids. In: M. A. Zeder, D. G. Bradley, E. Emshwiller und B. D. Smith, *Documenting Domestication. New Genetic and Archaeological Paradigms*. University of California Press, Los Angeles, London: S. 329-341.
- 92 Wilson, A. M., Watson, J. C. und Lichtwark, G. A. (2003): Biomechanics: A Catapult Action for Rapid Limb Protraction. *Nature* 421(6918): 35-36.

## 11 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei allen bedanken, die zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Johann Maierl bedanken für das Überlassen dieses spannenden Dissertationsthemas, die großartige Betreuung und kompetente Unterstützung während dieser Zeit und die fachlichen Denkanstöße und Ratschläge, die immer wieder zu neuen Ideen geführt haben.

Außerdem bedanke ich mich ganz herzlich bei den Mitarbeitern des Institutes für Anatomie, Histologie und Embryologie, die mir stets mit guten Ratschlägen und Tipps zur Seite gestanden haben. Hier möchte ich ganz besonders Herrn Siegfried Hecher und Frau Silvia Mitterer hervorheben, die immer geduldig meine Fragen zur Erstellung und Lagerung meiner Präparate beantworteten.

Daneben möchte ich mich bei Frau Dr. Ilona Gunsser sowie den Mitarbeitern der Klinik für Wiederkäuer der LMU in Oberschleißheim für die Vermittlung verstorbener Alpakas und die Herstellung von Kontakten zu Tierbesitzern bedanken. Außerdem gilt ein ganz besonderer Dank allen Tierbesitzern, die uns ihre Tiere zur Verfügung gestellt haben. Erst dadurch wurde diese Studie überhaupt möglich.

Ein weiterer Dank geht an die Chirurgische Abteilung der Pferdeklinik unter Leitung von Prof. Dr. H. Gerhards und besonders an Tobias Geiger, der mir bei der Anfertigung der Röntgenaufnahmen behilflich war.

Meinen Mitdotorandinnen Henrike Stein, Darinka Riebow und Lisa Degen danke ich ganz herzlich für die gute Zusammenarbeit, die gegenseitige Hilfe und die schöne gemeinsame Zeit. Ganz besonders möchte ich mich an dieser Stelle auch bei Anke Vater und Charlotte Kröger bedanken, die mir stets mit wertvollen Ratschlägen und Tipps für jede Doktoranden-Lebenslage zur Seite standen und mit denen ich während dieser ganzen Zeit viel lachen konnte.

Frau Dr. Elisabeth Zandt möchte ich ganz herzlich für die Korrektur meiner englischen Zusammenfassung danken. Meiner Tante Renate Thanner, meiner Schwester Franziska Hagspihl, Anke Vater und Timo Götz möchte ich für das sorgfältige Korrekturlesen meiner Arbeit danken.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie: meinen Eltern Karin und Klaus Hagspihl, die mich während der ganzen Zeit unterstützten und mir dadurch erst dieses Studium ermöglicht haben und meiner Schwester, die mir stets den Rücken stärkt und jeder Zeit für gute Gespräche und aufmunternde Worte zur Stelle ist.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinem Mann Timo bedanken. Danke für das wundervolle Jahr 2018, dass du immer an meiner Seite bist und mich in jeder Lebenslage erträgst und unterstützt.