

**Eine Untersuchung der systematischen und
topographischen Anatomie des
Gastrointestinaltraktes des Alpakas
(Vicugna pacos)**

von
Anke Lisa Vater

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

**Eine Untersuchung der systematischen und
topographischen Anatomie des
Gastrointestinaltraktes des Alpakas
(Vicugna pacos)**

von
Anke Lisa Vater
aus
Karlsruhe

München 2018

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. Walter Herrmanns

Tag der Promotion: 10.02.2018

*Meiner lieben Familie
in Dankbarkeit
gewidmet*

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Neuweltkameliden.....	3
2.1.1	Taxonomie	3
2.1.2	Evolution	3
2.1.3	Herkunft und Verbreitung.....	4
2.1.4	Habitat und Fressgewohnheiten	6
2.2	Anatomie und Physiologie des Gastrointestinaltraktes	10
2.2.1	Magen (Gaster, Ventriculus).....	10
2.2.2	Darm (Intestinum)	29
2.3	Erkrankungen im Bereich des Gastrointestinaltraktes	35
2.3.1	Erkrankungen des Magens	35
2.3.2	Erkrankungen des Darmes	37
2.4	Untersuchungsmethoden des Gastrointestinaltraktes.....	37
2.4.1	Chirurgische Behandlungsmethoden	40
2.4.2	Chirurgische Zugänge.....	41
3	Material und Methoden	43
3.1	Material	43
3.1.1	Auswahl der Untersuchungstiere	43
3.2	Methoden.....	44
3.2.1	Anatomische Präparation der Tiere	44
4	Ergebnisse.....	51
4.1	Anatomie des Magens (Ventriculus, Gaster)	51
4.1.1	Morphologie und Topographie	51
4.1.2	Gekröseverhältnisse	64
4.1.3	Magenrinne, Schlundrinne (Sulcus ventriculi).....	68
4.1.4	Blutversorgung.....	69
4.1.5	Innervation	72
4.1.6	Lymphknoten	73
4.2	Anatomie und Topographie des Darmes	73
4.2.1	Dünndarm (Intestinum tenue)	74

4.2.2	Dickdarm (Intestinum crassum)	77
4.2.3	Blutversorgung.....	82
4.2.4	Innervation	85
4.2.5	Lymphknoten	85
5	Diskussion	87
5.1	Methodik	87
5.1.1	Auswahl der Tiere.....	87
5.1.2	Anatomische Präparation.....	87
5.1.3	Fixierung der Tiere.....	88
5.1.4	Darstellung der Gefäße mit Latexmilch.....	88
5.2	Vergleich der gastrointestinalen Anatomie des Alpakas mit der Anatomie der Wiederkäuer und Einordnung des Alpakas innerhalb der Ordnung der Paarhufer (Artiodactyla)	88
5.3	Vergleich der gastrointestinalen Anatomie des Alpakas mit der des Lamas und Einordnung der Neuweltkameliden zu einem morphophysiologischen Ernährungstypen	92
5.4	Anpassung des GIT der Ruminantia und Tylopoda an wechselnde Bedingungen der verschiedenen Jahreszeiten	97
5.5	Mögliche Zusammenhänge von Erkrankungen des Gastrointestinaltraktes mit der Anatomie des Gastrointestinaltraktes des Alpakas	100
5.5.1	Magen.....	100
5.5.2	Darm.....	100
5.6	Fazit	102
5.7	Ausblick	103
6	Zusammenfassung	105
7	Summary	107
8	Abbildungsverzeichnis	109
9	Tabellenverzeichnis	113
10	Literaturverzeichnis.....	115
11	Danksagung.....	123

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

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
C1	Kompartiment 1 des Magens
C2	Kompartiment 2 des Magens
C3	Kompartiment 3 des Magens
Cl ⁻	Chlorid
CS	Konzentrat Selektierer (Wdk-Typen nach Hoffmann, 1989)
GIT	Gastrointestinaltrakt
GR	Gras- und Raufutterfresser (Wdk-Typen nach Hoffmann, 1989)
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
H ₂ O	Wasser
IM	Intermediärer Futtertyp (Wdk-Typen nach Hoffmann, 1989)
Lig.	Ligamentum
MO	Mikroorganismen
Na ⁺	Natrium
N.A.	Nicht angegeben
NI.	Nodus
NII.	Noduli
NSAID	Nichtsteroidale Antiphlogistika
NWK	Neuweltkameliden
SCFA	Short Chain Fatty Acids = kurzkettige, flüchtige Fettsäuren
V.	Vena
Vv.	Venae

1 Einleitung

Für das Verständnis des Aufbaus eines lebenden Organismus sind genaue anatomische Kenntnisse eine der wichtigsten Grundlagen. Um das Tiermedizinstudium erfolgreich zu absolvieren und die Tätigkeit des praktizierenden Tierarztes tierartgerecht und gewissenhaft durchführen zu können (Nickel et al., 2004b), ist daher detailliertes Wissen über die Anatomie der verschiedenen Tierarten essentiell.

Dafür sind genaue Beschreibungen, Fotografien und Zeichnungen der anatomischen Gegebenheiten eines gesunden Tieres der jeweiligen Spezies notwendig.

Die Neuweltkamelidenpopulation, speziell diejenige der Alpakas, ist in den letzten Jahren in Deutschland und auch ganz Europa rasant gestiegen (Gauly et al., 2010; Ruch, 2015). Die Tiere werden zur Wollproduktion, als Therapie- und Trekkingtiere oder einfach als Hobby- und Liebhabertiere gehalten (Fowler und Bravo, 2010a). Literatur über die Anatomie der Alpakas ist jedoch nur sehr dürftig vorhanden. Die überwiegende Anzahl an Publikationen über dieses Thema beschäftigt sich mit der Anatomie des Lamas, des Guanakos oder mit der Anatomie der Neuweltkameliden im Allgemeinen (Cebra, 2014; Fowler und Bravo, 2010b; Vallenias et al., 1971). Das Alpaka unterscheidet sich jedoch in seinen Fressgewohnheiten und seinem ursprünglichen Habitat vom Lama (Fowler und Bravo, 2010a; San Martín und Bryant, 1989; San Martín und Van Saun, 2014; San Martín Howard, 1987). Dies erfordert deshalb eine eigenständige Betrachtung der Anatomie der Spezies.

Wichtige Unterschiede der gastrointestinalen Anatomie des Alpakas werden in dieser Arbeit mit der Anatomie der Wiederkäuer verglichen, um die Eigenständigkeit der Schwielensohler (Tylopoda) in der Ordnung der Paarhufer (Artiodactyla) zu bekräftigen.

Aufgrund fehlenden Wissens werden oftmals Fütterungsprinzipien, die für Wiederkäuer (v.a. Schafe und Rinder) gelten, auf Neuweltkameliden übertragen. Die einzigartige Anatomie und der Stoffwechsel der Tiere erfordert jedoch eine eigenständige Betrachtung der Fütterungsprinzipien der jeweiligen Spezies, um eine artgerechte Haltung zu ermöglichen (San Martín und Van Saun, 2014). Die vorliegende Veröffentlichung beschäftigt sich deshalb unter anderem auch damit, die

Neuweltkameliden aufgrund ihrer Anatomie und ihrer jeweiligen Fressgewohnheiten einem morphophysiologischen Ernährungstypen nach Hofmann (1989) zuzuordnen. Als letzter Punkt dieser Arbeit werden Schwachstellen innerhalb des Gastrointestinaltraktes beschrieben, die die Tiere für verschiedene Erkrankungen in diesem Bereich prädisponieren.

2 Literaturübersicht

2.1 Neuweltkameliden

In diesem Kapitel werden grundlegende Informationen über die Neuweltkameliden (NWK) im Allgemeinen aufgeführt. Die Taxonomie, Evolution, Herkunft und Verbreitung der NWK werden kurz besprochen. Das Habitat und die Fressgewohnheiten der Tiere werden genauer dargelegt und zum späteren Vergleich außerdem die Fressgewohnheiten und morphophysiologischen Ernährungstypen der Wiederkäuer beschrieben.

2.1.1 Taxonomie

Das Lama (*Lama glama*), Alpaka (*Vicugna pacos*), Guanako (*Lama guanicoe*) und Vikunja (*Vicugna vicugna*) bilden zusammen die Gruppe der Neuweltkameliden. Sie gehören zur Unterordnung der Schwielensohler (Tylopoda) und Ordnung der Paarhufer (Artiodactyla). Während das Lama und das Alpaka ausschließlich als domestizierte Formen vorkommen, stellen das Vikunja und das Guanako die Wildform dar.

DNA-Studien haben gezeigt, dass die Spezies Lama und Guanako zum Genus *Lama* gehören. Dagegen zählen das Alpaka und Vikunja zum Genus *Vicugna* (Fowler und Bravo, 2010a; Li et al., 2008).

2.1.2 Evolution

Die ersten Neuweltkameliden wanderten vor ungefähr 3 Millionen Jahren (in der Epoche des Pleistozän) in Südamerika ein, nachdem sich eine Landbrücke zwischen Nord- und Südamerika gebildet hatte. Sie lebten in flachen Regionen östlich der Anden und gehörten zum Genus *Hemiauchenia*. Sie waren von langbeiniger Gestalt und an flaches Land angepasst.

Während des mittleren Pleistozäns entwickelten sich aus dem Genus der *Hemiauchenia* die Gattungen *Palaeolama*, *Lama* und *Vicugna*, die durch kürzere Gliedmaßen besser an die Berglandschaften der Anden angepasst waren (Fowler und Bravo, 2010d; Novoa und Wheeler, 1984; Vallenias, 1970).

Bohlken (1960) wies auf wesentliche anatomische Unterschiede im Bereich des Gastrointestinaltraktes (GIT) zwischen Tylopoda und Ruminantia hin und schloss

daraus, dass der ähnliche Grundaufbau des Magen-Darm-Traktes auf eine parallele Entwicklung der beiden Unterordnungen, nicht aber auf eine enge Verwandtschaft deutet. Er beschrieb die Unterschiede zwischen der Anatomie des Magens der beiden Gruppen, um die Tylopoda innerhalb der Artiodactyla einzuordnen. Dabei verglich er die Anatomie des Magens des Vikunjas, Guanakos und Lamas mit der des Schafes und Rindes und wies auf einige charakteristische Eigenschaften hin, die NWK von Wiederkäuern unterscheiden und die es schwierig machen, Homologien zwischen den beiden Unterordnungen zu finden. Aus diesen Unterschieden schloss der Autor weiterhin, dass sich die Verdauungsphysiologie im Magen der beiden Unterordnungen ebenfalls unterscheiden muss, da Wiederkäuen als ein physiologischer Prozess sehr eng mit dem anatomischen Design des Magens gekoppelt ist. Demnach muss sich, als Konsequenz der deutlich unterschiedlichen Anatomie, die Fähigkeit des Wiederkäuens phylogenetisch zweimal entwickelt haben (Bohlken, 1960).

Mit diesem Wissen der höchstwahrscheinlich parallelen Entwicklung der beiden Gruppen, sollten für die Benennung der verschiedenen Kompartimente des Magens nicht einfach die Termini der Abteilungen des Wiederkäuer-Magens übernommen werden. In dieser Arbeit werden die Namen, die Vallenias et al. (1971) in ihrer Publikation nutzten, verwendet. Er benannte die drei Kompartimente des Magens als Kompartiment 1 (C1), Kompartiment 2 (C2) und Kompartiment 3 (C3).

2.1.3 Herkunft und Verbreitung

Etwa 5.000-4.000 vor Christus begann die Domestikation des Lamas vermutlich rund um den Titicacasee im Bereich der Puna in den südamerikanischen Anden (in 4.000-4.900 Metern Höhe).

Der Beginn der Domestikation des Alpakas wird auf 4.000-3.500 vor Christus geschätzt und fand wahrscheinlich in der Nähe von Telamarchay statt.

Schon bald nach der Domestikation des Lamas und Alpakas verbreitete sich die Haltung der Tiere über die Puna hinaus und wurde ein wichtiger Wirtschaftsfaktor für die Bevölkerung der Anden vom Meeresspiegel bis in große Gebirgshöhen.

Die Inka nutzten das Fleisch der Tiere als Nahrung, die Faser als Kleidung, den Dung als Brennmaterial und die Tiere an sich als Lasttiere und für religiöse Zeremonien. Sie waren in hohem Maße abhängig von den Tieren. Die gesamte

Neuweltkameliden-Population stand im Eigentum der Regierung und die Zucht der domestizierten Tiere wurde streng kontrolliert. Unter dem Imperium der Inka kam es flächenmäßig zur weitesten Verteilung der NWK und die Population erreichte zahlenmäßig ihren Höhepunkt.

Nachdem im Jahr 1532 die Spanier einwanderten und europäische Nutztierarten einführten, sank die Anzahl der NWK rapide ab. Sie überlebten jedoch, da NWK die zuverlässigsten Nahrungs-, Faser- und Brennstofflieferanten in den Höhen der kalten Anden und für die Kultur der heimischen Bevölkerung unverzichtbar waren.

Im 19. Jahrhundert wurden NWK das erste Mal aus Südamerika in andere Länder als Zootiere exportiert. Der Export von lebenden NWK wurde jedoch im Jahr 1843 von der peruanischen Regierung verboten. In den 1930er Jahren wurde dieses Verbot auf alle Länder der Andenregion ausgeweitet und hielt bis zu den 1980er Jahren an.

Die Population von NWK in Nordamerika entwickelte sich aus einer kleinen Zahl von Tieren, die vor 1930 aus Südamerika und anderen Ländern importiert wurden. Im Jahr 2010 wurde die Anzahl an Lamas in Nordamerika auf 100.000-120.000 und die Anzahl an Alpakas auf mehr als 150.000 Tiere geschätzt (Fowler und Bravo, 2010d).

In den 80er Jahren wurden erstmals wenige Alpakas aus Chile nach Deutschland importiert. Seitdem ist in Deutschland ein stetiger und schneller Anstieg der Bestandszahlen an v.a. Alpakas aber auch Lamas zu verzeichnen (Abb. 2). In den letzten 5 Jahren hat sich der Bestand mehr als verdoppelt und die Zahlen steigen weiter an.

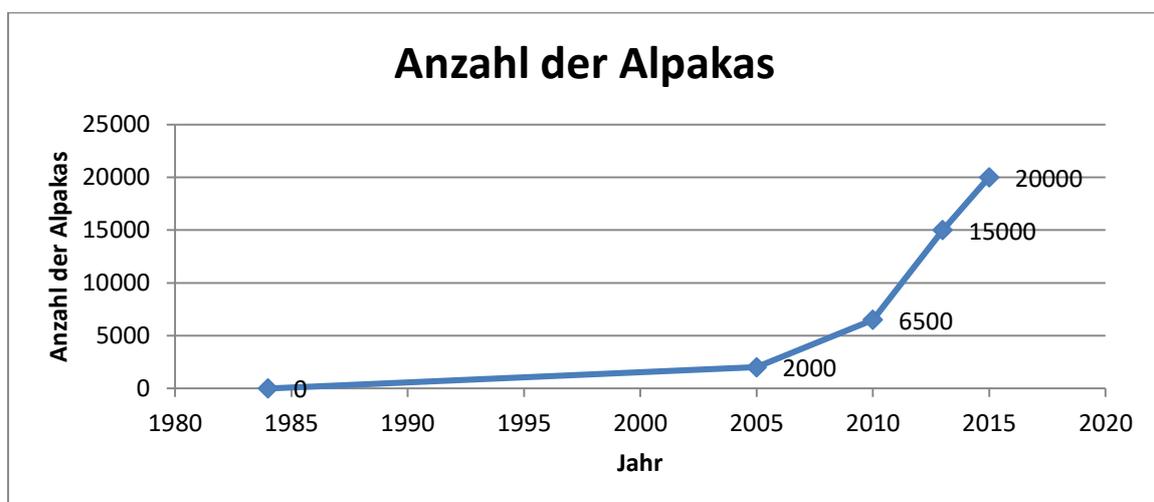


Abb. 1: Entwicklung der Bestandszahlen von Neuweltkameliden in Deutschland (Gauly et al., 2010; Peteranderl, 21. Oktober 2010, 11:06 Uhr; Ruch, 2015)

Mittlerweile ist nach Schätzungen des Präsidenten der Alpaca Association e.V. (Ruch, 2015) von einer Zahl von ca. 20.000 Neuweltkameliden in Deutschland auszugehen. Aktuell gibt es noch keine Verpflichtung, die Tiere zu registrieren und zudem bestehen verschiedene Möglichkeiten der Registrierung, z.B. mithilfe von DNA oder auf reiner Stammbaumbasis. Somit beruhen die Zahlen auf Schätzungen und es kann davon ausgegangen werden, dass in Deutschland eine deutlich höhere Anzahl an Tieren gehalten wird.

Der Bedarf an Alpakas steigt nach wie vor an und so werden weiterhin Tiere importiert. Die Zahlen liegen hier im Jahr bei ca. 200-300 Tieren aus Chile und ca. 500 Tiere aus Australien (Ruch, 2015). So soll der Genpool erweitert und die Zucht verbessert werden.

2.1.4 Habitat und Fressgewohnheiten

In Südamerika werden Lamas und Alpakas vor allem in der Altiplano gehalten, einer Hochebene in Südost-Peru und West-Bolivien, die durch Täler und Hochplateaus in einer Höhe von über 3.800 m gekennzeichnet ist. Das semiaride Klima dieser Gegend besteht aus einer langen Trockenzeit (Mai–Oktober) und einer kürzeren Regenzeit (Dezember–März), in der 75 % der jährlichen Regenfälle registriert werden.

Die Regenzeit ist die Zeit des Vegetationswachstums und ist durch niedrige Temperaturen (über 300 Frosträchte im Jahr) und einer trotzdem sehr intensiven Sonneneinstrahlung charakterisiert.

Die Zusammensetzung und Qualität der verfügbaren Futterpflanzen variieren je nach Jahreszeit, Höhe und Bodenbeschaffenheit (Fowler und Bravo, 2010a). Der dominierende Anteil der Futterpflanzen besteht aus Pflanzen mit einem hohen Fasergehalt und vielen Strukturkohlenhydraten in den Zellwänden und ist schwer zu verdauen. Die Lignifizierung der Zellwände nimmt in der Trockenheit zu. Somit wird die Vegetation noch kärglicher und nährstoffärmer. In der Regenzeit steigt die Nährstoffqualität der Pflanzen jedoch deutlich an. In dieser Saison legen sich die Tiere Fettreserven im subkutanen, muskulären und retroperitonealen Gewebe an, um diese dann in der kargen Trockenzeit nutzen zu können (Fowler und Bravo, 2010a).

Das Lama wird vor allem in Höhen von 2.300 bis 4.000 m angetroffen. Es ist sowohl „Grasfresser“ als auch „Pflücker“ und bevorzugt, auf trockenen Plateaus und Hängen zu weiden. Der Hauptteil der Futterpflanzen besteht aus großen, rauen Buschgräsern (Stipa, Festuca, Calamagrostis), die in Südamerika zusammengefasst als „ichu“ bezeichnet und von Schwingelgras (*F. dolichophylla* der Gattung Festuca) dominiert werden. Ein weiterer Bestandteil der Futterpflanzen sind Büsche und Bäume, die die Tiere, wenn vorhanden, abpflücken. Das Lama bevorzugt selbst in der Regenzeit stärker lignifizierte Futterpflanzen, die eine hohe Konzentration schwerverdaulicher Kohlenhydrate enthalten (San Martín und Bryant, 1989; San Martín und Van Saun, 2014).

Das Alpaka lebt in Höhen von 4.400-4.800 m, ist Grasfresser und bevorzugt die Vegetation von Flussniederungen und Sumpfland, die als „bofedales“ bezeichnet werden (Fowler, 2010). Im Vergleich zum Lama selektiert das Alpaka verstärkt Gräser und Blätter (San Martín Howard, 1987), die einen höheren Nährstoffgehalt aufweisen. In der Trockenzeit verschiebt sich die Zusammensetzung der Futterpflanzen von Alpakas, die sich von der so genannten „bofedal“-Vegetation ernähren, von Gras in Richtung großer Riedgräser und Schilf. Es zeigt ein sehr opportunistisches Fressverhalten und ist in der Lage, sich unterschiedlichsten Bedingungen anzupassen. Dies ist vor allem in der Trockenzeit wichtig, wenn die Pflanzen lignifizieren (San Martín und Bryant, 1989; San Martín und Van Saun, 2014).

In Südamerika werden Neuweltkameliden überwiegend auf Weideland mit einheimischer Vegetation gehalten. Kraftfutter und Futterergänzungsmittel werden nicht zu gefüttert und auch Heu nur in seltenen Fällen (Fowler, 2010).

Aufgrund des semiariden Klimas sind die Wasserressourcen knapp und die Tiere sind gezwungen ihren Wasserhaushalt sehr effektiv auszubalancieren. So resorbieren NWK vor der Defäkation 25 % des Wassers, das den Dickdarm erreicht (das Rind resorbiert im Vergleich 10 % des Wassers). Die Pelletierung der Fäzes beginnt bereits in der Kolonspirale (Cebra, 2014; Whitehead, 2013).

2.1.4.1 Ernährungstypen der Wiederkäuer (Ruminantia)

Im Folgenden werden die Fressgewohnheiten von anderen wiederkäuenden Spezies erläutert, um eine spätere Einordnung des Alpakas zu ermöglichen.

Weltweit existieren 176 verschiedene Wiederkäuerarten, die sich in ihren jeweiligen Habitaten den verschiedensten klimatischen Bedingungen und Vegetationen angepasst haben. Vor ca. 30 Millionen Jahren (im Miozän) nahm die Menge an Strukturkohlenhydrat-reichen Gräsern, klimatisch bedingt, relativ rasch zu. Heute nehmen Dauerwiesen und -weiden weltweit ca. zwei Drittel (3 Mrd. Hektar) des verfügbaren Futterpotentials ein. So mussten Herbivoren im Verlaufe der Evolution differenziertere Strategien entwickeln, um mit diesen schwer verdaulichen Futtergrundlagen zurecht zu kommen und zu überleben.

Equiden und andere große Pflanzenfresser (Rhinos, Elefant) steigerten die Aufnahme von Gräsern, indem sie gleichzeitig die Passagerate der Ingesta im vorderen und mittleren Verdauungstrakt steigerten. Durch die gleichzeitige erhebliche Volumenzunahme und Kammerung des Zäkums und proximalen Kolons (als funktionelle Einheit zu betrachten) verlangsamte sich der Fluss der rasch anflutenden, noch unverdauten Zellwandbestandteile und die reichlich angesiedelten Mikroorganismen (MO) bekamen die Möglichkeit eines substantiellen, fermentativen Abbaus. So erhalten die Tiere trotz der zunächst großen Menge unverdauter Zellwandbestandteile, ausreichend Nährstoffe über die leicht zugänglichen und deshalb auch rasch verdaubaren Nährstoffe des Zellinhaltes der Gräser. Die Wiederkäuer hatten zu dieser Zeit schon ihr Vormagensystem und insbesondere die Funktion der Hauben/Psalteröffnung, die nur eine Passage erheblich zerkleinerter Futterpartikel zulässt, entwickelt. So mussten sie sich den veränderten Futterbedingungen auf andere Weise anpassen. Einige blieben weiterhin „Pflücker“ oder „Selektierer“ von hochverdaulichen Pflanzenteilen, andere passten ihren gesamten vorderen Verdauungstrakt, angefangen bei den Lippen und der Maulhöhle bis hin zu Pansen, Haube und Psalter, den neuen Bedingungen mit schwer verdaulicher Futtergrundlage an (Stangassinger, 2007). Diese unterschiedlichen Verdauungsfähigkeiten verschiedener Wiederkäuerarten spiegeln unterschiedlich „weite“ Entwicklungsstufen wieder. So zeigen zum Beispiel der Elch, das Kudu oder der Weißwedelhirsch nach wie vor eine ineffiziente Aufspaltung von Cellulose.

Der evolutionäre Trend geht jedoch von einer extremen Selektivität, von vor allem Pflanzeninhaltsstoffen in Abhängigkeit von einer fraktionierten Verdauung sowohl im „foregut“ als auch „hindgut“, hin zu einer unselektiven Aufnahme von überwiegend Raufutter. Dies ist mit einer effizienten Zellwandverdauung innerhalb der Vormägen

verbunden. Die Selektivität ist der Schlüssel für die Anpassung und das Überleben der Wiederkäuer. Aufgrund ihres evolutionären Entwicklungsverlaufes lassen sich die verschiedenen Wiederkäuerarten in drei, sich überlappende, morphophysiologische Ernährungstypen einteilen (Hofmann, 1989). In seinen Forschungen studierte und verglich Hofmann (1989) die Morphologie aller Abteilungen des gesamten Gastrointestinaltraktes von 65 verschiedenen Wiederkäuern auf vier verschiedenen Kontinenten und ordnete sie einem der Ernährungstypen zu:

a) Gras- und Raufutterfresser (GR; selektive, vermeidende, unselektive)

- Angepasst an Zellwand-reiches Futter (vor allem Strukturkohlenhydrate wie Cellulose)→ faseriges Pflanzenmaterial
- 25 % aller Wiederkäuerarten, z.B. Rind (nichtselektiver Raufutterfresser), Schaf (selektiver Grasfresser), Wasserbüffel
- Zirkadianer Rhythmus: wenige, lange Fressperioden, gefolgt von langen Wiederkäu- und Ruheperioden

b) Selektierer (CS)

- Angepasst an leicht verdauliche Pflanzen, reich an zugänglichen Zellinhaltsstoffen (lösliche Stoffe); Selektivität vor allem durch olfaktorische Fähigkeiten bedingt
- 40 % aller Wiederkäuerarten, keine domestizierte Art, z.B. Elch, Rothirsch
- Zirkadianer Rhythmus: häufige, kurze Fressperioden, gefolgt von kurzem Wiederkäuen

c) Flexible Gruppe der Intermediärtypen (IM)

- Nähert sich je nach Qualität und Verfügbarkeit der Nahrung dem einen oder anderen Typ (a, b) an; gemischte Diät, aber Vermeidung von faserigen Pflanzen, so lange wie möglich = opportunistische Futteraufnahme
- 35 % aller Wiederkäuerarten, z.B. Ziege, Reh
- Bemerkenswerte, kurzfristige oder saisonale anatomische Anpassung an Änderungen der Futterqualität

Sumar (2010) ordnete die NWK dem Intermediärtypen zu während van Soest (1982) das Lama in die Gruppe der Gras- und Raufutterfresser trockener Regionen einordnete.

2.2 Anatomie und Physiologie des Gastrointestinaltraktes

Die Anatomie des GIT der Neuweltkameliden ist in der vorhandenen Literatur überwiegend vom Lama und Guanako beschrieben. Die im Folgenden aufgeführte Literatur bezieht sich, wenn nicht anders gekennzeichnet, auf diese beiden Spezies.

Die Anatomie des GIT der Camelidae ist im Grundaufbau vergleichbar, variiert jedoch in der Größe der verschiedenen Abschnitte (Fowler und Bravo, 2010b).

Des Weiteren wird in diesem Kapitel in kurzen Zusammenfassungen auf die Anatomie und Physiologie der Wiederkäuer, insbesondere der hier zu Lande vor allem vorkommenden Rinder, Schafe und Ziegen eingegangen.

2.2.1 Magen (Gaster, Ventriculus)

Für die Bezeichnung der Magenabschnitte der NWK ist bisher keine einheitliche Nomenklatur festgelegt worden und verschiedene Anatomen verwenden unterschiedliche Bezeichnungen. Einige Publikationen verwenden die Termini für die Abschnitte des Magens der Wiederkäuer auch für die der Kameliden (Boas, 1890; Smuts und Bezuidenhout, 1987) oder bezeichnen die drei Abschnitte als proximales, intermediäres und distales Kompartiment (Galotta und Galotta, 1987). In diesem Schriftstück werden die Abschnitte, angelehnt an die Arbeit von (Vallenas et al., 1971), als Kompartiment 1, 2 und 3 (C1, C2, C3) bezeichnet.

2.2.1.1 Externe Morphologie und Topographie

Der Magen des Lamas und des Guanakos besteht aus drei Kompartimenten. Kompartiment 1 umfasst etwa 83 %, Kompartiment 2 etwa 6 % und Kompartiment 3 etwa 11 % des Gesamtvolumens. C2 und C3 sind über einen engen Kanal verbunden (Alzola et al., 2004; Boas, 1890; Vallenas et al., 1971; Vencato et al., 2012). In Abb. 2 sind die Kompartimente des Magens, modifiziert nach Vallenas et al. (1971) abgebildet.

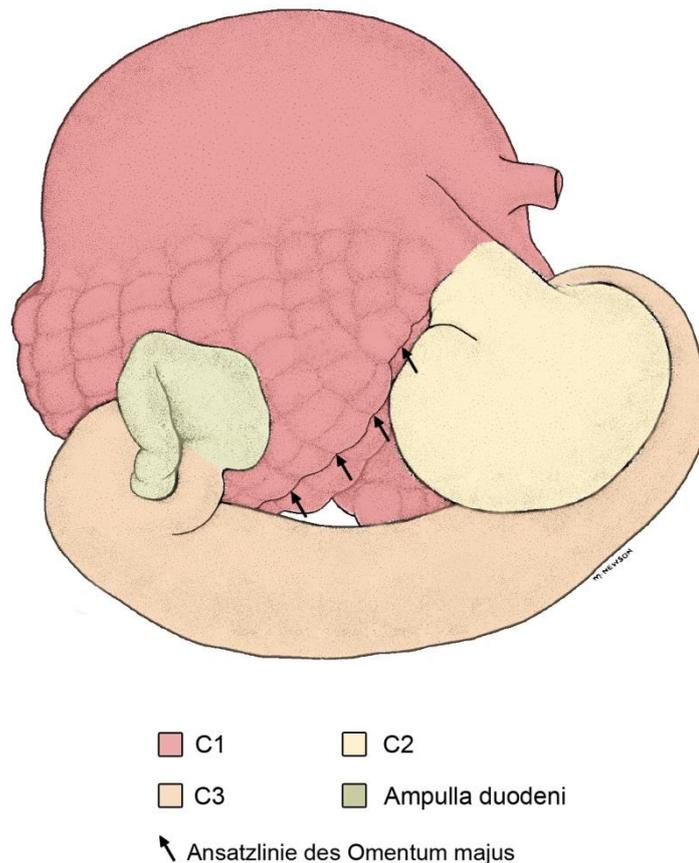


Abb. 2: Ansicht der drei Magenkompartimente und der Ampulla duodeni des Lamas von rechts; modifiziert nach Vallenias et al. (1971)

Kompartiment 1:

C1 liegt der linken Bauchwand an, hat Kontakt mit dem Zwerchfell und derrippengestützten Bauchwand und reicht kaudal bis in die kraniale Flankenregion (Alzola et al., 2004). Es wird von einer prominenten, ventralen Querfurche in einen kranialen und kaudalen Sack unterteilt.

Dorsal ist das Kompartiment 1 kuppelförmig, die Querfurche fehlt hier und der kraniale und kaudale Sack fließen direkt ineinander über. Ventral befindet sich in der Wand des kranialen und kaudalen Sackes jeweils ein länglicher, nach außen gewölbter Bereich mit dünnwandigen Säckchen (Alzola et al., 2004; Vallenias et al., 1971).

Die Längsachse der Säckchenregion des kaudalen Sackes verläuft transversal und die Ansatzlinie des großen Netzes teilt diesen Bereich in einen kranialen, dreieckigen und einen kaudalen, ellipsoiden Anteil. Der kraniale Anteil wird durch eine Serie von 13 kraniokaudal-verlaufenden Primärrinnen unterteilt. Der kaudale Anteil wird in ähnlicher Weise durch 10 Primärrinnen unterteilt. Sekundärvertiefungen, die

senkrecht zu den Primärrinnen verlaufen, unterteilen diesen Bereich weiter. Zusätzlich gibt es schwache Tertiärvertiefungen, die zwischen und parallel zu den Primärrinnen verlaufen. Diese Rinnen und Vertiefungen definieren individuelle Säckchen auf der serösen Außenfläche des C1.

Die kraniale Säckchenregion verläuft mit ihrer Längsachse entlang der konvexen, kranialen Kontur des kranialen Sackes und liegt dort im ventralen Bereich. Die Region wird durch Primärrinnen und schwächer ausgebildete Sekundärvertiefungen unterteilt. Die individuellen Säckchen sind hier von außen nicht so deutlich definiert, wie die des kaudalen Sackes (Vallenas et al., 1971).

Der Oesophagus mündet auf der rechten Seite in den kranialen Sack des C1.

Kompartiment 2:

Der kaudale Sack des C1 kommuniziert auf der rechten Seite mit dem nierenförmigen C2. Dieses glatte, dickwandige Organ besitzt eine dorsale kleine Krümmung und eine ventrale, große Krümmung. Es liegt der kraniodorsalen Oberfläche des C1 an und grenzt rechts an die Leber, die es von der rechten Bauchwand trennt (Alzola et al., 2004; Fowler und Bravo, 2010b; Vallenas et al., 1971).

Kompartiment 3:

Kranial geht das C2 über ein enges, röhrenförmiges und dickwandiges Verbindungsstück in das C3 über (Alzola et al., 2004; Vallenas et al., 1971). C3 ist ein röhrenförmiges Organ von 50-70 cm Länge und dem 5-fachen Durchmesser des Verbindungsstückes. Die absoluten Angaben des Durchmessers sind in der Literatur nicht beschrieben. Die proximale Region des C3 führt, ohne sichtbare Trennung oder anatomischen Sphinkter, in den Salzsäure-sezernierenden Hintermagen (Hindstomach) (Heller et al., 1984; Heller et al., 1986; Vallenas et al., 1971). Kranial verläuft es zunächst links ventral zur ventralen Bauchwand und von dort geschlängelt rechts kaudal (Alzola et al., 2004; Vallenas et al., 1971). Der distale Abschnitt bildet eine präterminale Flexur, die das letzte, dickwandige Fünftel des C3 abgrenzt und sich zum Pylorus hin verjüngt.

Die linke Seite des C3 grenzt an das C1 und seine kaudale Säckchenregion. Es wird über das große Netz, das entlang der großen Krümmung bis zum Duodenum verläuft, in seiner Position gehalten (Alzola et al., 2004; Vallenas et al., 1971).

2.2.1.2 Innere Morphologie

Kompartiment 1:

Im Inneren des Kompartiment 1 findet sich ein, mit der äußerlichen Querfurche korrespondierender, transversaler Muskelpfeiler. Dieser gabelt sich auf der rechten Seite in einen kranialen und kaudalen Ast. Der kaudale Ast setzt sich in einem Bogen fort und begrenzt kranial und dorsal die Öffnung zum C2. In diesem Verlauf kreuzt er sich mit der Lippe der Magenrinne. Der kraniale Arm des Muskelbalkens setzt sich in einem verdickten Band über dem Dorsalrand der Säckchenregion des kranialen Sackes des C1 fort.

Auf der linken Seite verbreitert sich der transversale Muskelpfeiler und verschmilzt mit der Lateralwand des Magens.

Die Magenrinne (Sulcus ventriculi) wird dorsal von einer einzelnen Lippe begrenzt. Diese Lippe beginnt linksdorsal an der Kardie und verläuft kaudal bis zum Eingang des C2, um sich dort nach rechts-ventral auf die kleine Krümmung des C2 zu drehen (Alzola et al., 2004; Vallenias et al., 1971).

Die größere Säckchenregion befindet sich kaudal des Querpfeilers. Die äußerlich sichtbare Ansatzlinie des großen Netzes ist von innen nicht erkennbar. Die Schleimhautoberfläche erscheint aufgrund des Netzwerkes aus unterschiedlich großen Leisten septiert.

Die größten der Leisten, die Primärleisten, verlaufen kraniokaudal und treffen nahezu rechtwinklig auf den Querpfeiler.

Die erste Primärleiste auf der rechten Seite gabelt sich nahe dem Querpfeiler in einen linken und rechten Sekundärarm und bildet die ventrale Begrenzung des Einganges zu C2. Rechtwinklig zu den Primärleisten verläuft eine Serie von schmaleren Sekundärleisten. Diese wiederum kreuzen sich mit Tertiärleisten, die zwischen und parallel zu den Primärleisten verlaufen. Die sich kreuzenden Muskelleisten definieren die Öffnungen zu den Säckchen.

Die Mukosa der Säckchen ist gefaltet und die Drüsen Schleimhaut beginnt direkt unterhalb der Öffnungen der Säckchen, so dass diese nahezu komplett mit Drüsen Schleimhaut ausgekleidet sind. Die größten Säckchen grenzen an den Querpfeiler.

Die Säckchenregion im kranialen Sack ähnelt im Allgemeinen der größeren Säckchenregion. Die einzelnen Säckchen sind kleiner, die Primärleisten sind

transversal angeordnet. Noch feinere Sekundärleisten treffen im rechten Winkel auf die primären Leisten und begrenzen die Öffnungen zu den Säckchen.

Beide Säckchenregionen sind von einer Schleimschicht überzogen (Vallenas et al., 1971).

C1 ist von zwei Arten von Schleimhaut ausgekleidet: einer drüsenlosen und einer drüsenhaltigen Schleimhaut. Die Säckchenregionen sind mit einer Drüsen Schleimhaut ausgekleidet, während die übrigen Bereiche von Mukosa mit einem mehrschichtigen, unverhornten Plattenepithel bedeckt sind. Diese Bereiche weisen papillenlose, verschiebbare Falten auf, die je nach Kontraktionszustand des Magens variieren und aufgrund der locker sitzenden Submukosa verstreichen oder sich auffalten (Alzola et al., 2004; Fowler und Bravo, 2010b; Vallenas et al., 1971).

Die Drüsen Schleimhaut der Säckchen ist ziegelrot und ebenfalls stark gefaltet (Alzola et al., 2004; Vallenas et al., 1971). Die Drüsen, in der Regel einfache, zum Teil auch verzweigte tubuläre Drüsen, befinden sich in der Lamina propria. Lockeres Bindegewebe mit ernährender Funktion umgibt die Drüsen, die vor allem neutrale, aber auch saure Schleimsubstanzen sezernieren. Sie sind von einem einfachen, zylindrischen Epithel bedeckt (Luciano et al., 1979).

Kompartiment 2:

Das C2 ist ebenfalls teilweise von Drüsen Schleimhaut und teilweise von mehrschichtigem Plattenepithel ausgekleidet. Die Fortsetzung der Magenrinne ist durch eine einzelne Muskellippe gekennzeichnet und von einem mehrschichtigen Plattenepithel bedeckt. Sie verläuft entlang der kleinen Krümmung des C2 bis zur Öffnung des tubulären Verbindungsstück zum Kompartiment 3 (Alzola et al., 2004; Vallenas et al., 1971). Die Schleimhautoberfläche der Wände der großen Krümmung sind durch sich kreuzende Leisten in ein netzförmiges Muster unterteilt (Alzola et al., 2004; Vallenas et al., 1971).

Die großen Primärleisten entspringen entlang der Ränder der Magenrinne. Diese radiär verlaufenden Leisten kreuzen sich mit kleineren Sekundärleisten. Tertiärleisten verlaufen entlang und zwischen den Primärleisten. Die Leisten begrenzen die Eingänge zu tiefen Drüsenkammern, die zum Teil an ihrem Fundus durch weitere Leisten unterteilt werden.

Die Fundusbereiche der Kammern zeichnen sich nicht auf der Serosaseite des C2 ab und sind im Inneren von einer Papillen-besetzten Drüsen Schleimhaut

ausgekleidet. Die Ränder der Primärleisten werden fast vollständig von einem mehrschichtigen Plattenepithel, das sich von der Magenrinne her ausdehnt, bedeckt. Die Sekundär- und Tertiärleisten dagegen werden von einer glatten Drüsenschleimhaut bedeckt (Vallenas et al., 1971). Die Submukosa von C1 und C2 ist in der drüsenlosen und drüsenhaltigen Region ähnlich aufgebaut: Sie besteht aus reichlich elastischen, retikulären und kollagenen Fasern neben einer großen, nicht näher beschriebenen Zellpopulation. Die Lamina muscularis besteht aus einer inneren zirkulären und einer äußeren Längsmuskelschicht (Alzola et al., 2004).

C2 beinhaltet flüssige Ingesta. Die Kammern und Leisten sind von einer dicken Schleimschicht bedeckt.

Die enge Passage zwischen dem Kompartiment 2 und 3 stellt eine kurze, röhrenförmige Weiterführung der Magenrinne dar und ist ebenfalls von mehrschichtigem Plattenepithel ausgekleidet. Die Schleimhaut ist in dicke Längsfalten gelegt. Die dicke Wand besteht aus einer gut entwickelten Tunica muscularis mit einer inneren Längsschicht und einer äußeren zirkulären Lage (Alzola et al., 2004; Vallenas et al., 1971).

Kompartiment 3:

C3 ist komplett von Drüsenschleimhaut ausgekleidet, die entlang des Organs jedoch auf unterschiedliche Weise angeordnet ist.

Entlang der kleinen Krümmung im ersten Fünftel des Organs ist die Drüsenschleimhaut durch niedrige Schleimhautleisten netzförmig in flache Zellen gegliedert. In der großen Krümmung dieses Bereiches weist die Schleimhaut nicht durchgehende Falten auf. Der proximale Teil des C3 ist gekennzeichnet durch die Anwesenheit von reichlich, lymphatischem Gewebe in der Tunica mucosa und der Tela submucosa. Der mittlere Teil weist einfache tubuläre Drüsen auf, die Schleim produzieren (Alzola et al., 2004; Cummings et al., 1972; Vallenas et al., 1971).

In den mittleren 3/5 befinden sich durchgehende längsverlaufende Schleimhautfalten, die kurz vor der präterminalen Flexur enden. Hier verdickt sich die Mukosa deutlich und ist von glatter Gestalt und entspricht der Fundusdrüsenzzone. Entlang der kleinen Krümmung ist die Schleimhaut dünner, besitzt Pylorusdrüsen und strahlt in den letzten 5 Zentimetern der kleinen Krümmung bis zum Pylorus aus und bedeckt die gesamte Pylorusregion. In der kleinen Krümmung befindet sich ein kräftiger Torus pyloricus.

Die Tunica muscularis besteht aus einer inneren Zirkulärmuskelschicht und einer äußeren Längsmuskelschicht. Im Bereich des Sphincter pylori ist die Zirkulärmuskelschicht deutlich dicker (Alzola et al., 2004; Vallenias et al., 1971).

2.2.1.3 Gekröseverhältnisse des Magens

Großes Netz (Omentum majus):

Das Omentum majus der Kameliden ist im Vergleich zu dem der Wiederkäuer deutlich kleiner. Links ist es entlang der rechten Serosaseite des C1 mit diagonaler Ansatzlinie durch die kaudale Säckchenregion und rechts entlang des C2 und C3 und an der kaudoventralen Oberfläche des Duodenums, nicht aber an der dorsalen Körperwand, befestigt. Innerhalb des Netzbeutels existiert zwar ein potentieller Raum, dieser wird jedoch durch die Kompartimente des Magens ausgefüllt und das Jejunum befindet sich kaudal und dorsal des C3. Fetteinlagerungen im kleinen Netz sind in der Regel gering und das Netz ist meist durchscheinend (Cebra, 2014; Cebra et al., 1998; Fowler und Bravo, 2010b).

Kleines Netz (Omentum minus):

Das kleine Netz erstreckt sich zwischen der kleinen Krümmung des C3, der Ampulla duodeni und der Porta hepatica. Das Foramen epiploicum, der Zugang zum Netzbeutel, befindet sich ventral der Leber, nahe des Übertritts der Vena cava caudalis in die Leber (Cebra et al., 1998; Fowler und Bravo, 2010b).

2.2.1.4 Anatomie des Gastrointestinaltraktes der „Hauswiederkäuer“ (Rind, Schaf, Ziege)

Die detaillierte Anatomie des GIT der Hauswiederkäuer ist Gegenstand jedes gebräuchlichen Lehrbuchs und Atlas über die Anatomie der Haussäugetiere im Allgemeinen (Nickel et al., 2004a; Popesko, 2007) oder des Rindes im Speziellen (Budras und Wünsche, 2002) und wird deshalb hier nur zusammengefasst in Tabellen dargestellt und beschränkt sich auf die Bereiche, die für den Vergleich zwischen NWK und WDK bedeutsam sind. Die Hauptunterschiede sind in Tabelle 1, modifiziert nach Bohlken (1960), dargestellt.

Tabelle 1: Unterschiede innerhalb der Magenabteilungen von NWK und WDK.

	Wiederkäuer	Kameliden
Kompartimente des Magens	4; Rumen, Retikulum, Omasum, Abomasum	3; Kompartiment 1, 2, 3
Oesophagus	Oesophagus mündet an der Grenze zwischen Pansenvorhof und Haube in den Vormagen	Oesophagus mündet ausschließlich in C1
Vorkommen von Drüsen	Drüsen ausschließlich im Abomasum	Drüsen in allen Kompartimenten
Magenrinne	von zwei Lippen begrenzt	von einzelner Lippe begrenzt
Schleimhaut	Rumen: Pansenschleimhaut mit Zotten besetzt Mehrschichtig, verhorntes Plattenepithel Abomasum: mit Enzyme und Magensäure produzierendem Epithel ausgekleidet	C1: ohne Zotten, Unverhorntes, Plattenepithel C2: papillenbesetzte Schleimhaut C3: distale 1/5 des C3 mit Enzyme und Magensäure produzierendem Epithel ausgekleidet
Frequenz der Magenkontraktionen	2-4/ Minute	3-5/ Minute
Omentum majus	Bursa omentalis des Omentum majus links am Pansen und rechts dorsal am Duodenum befestigt, wie Hängematte in Bauchhöhle aufgespannt Großer Recessus supraomentalis	Omentum majus relativ klein, keine dorsale Befestigung auf rechter Seite sondern an C2 und C3 befestigt

2.2.1.5 Histologischer Aufbau der Magenschleimhaut und biochemische Prozesse entlang der Schleimhaut

Die Feinstruktur der Magenschleimhaut des Lamas wurde von Luciano et al. (1979); Luciano et al. (1980) untersucht. Mithilfe der Gefrierbruch- und Dünnschnitttechnik untersuchten die Autoren mit dem Elektronen- und Lichtmikroskop die Morphologie und Histochemie auf zellulärer Ebene. Mit verschiedenen histochemischen Reaktionen bestimmten sie die Zusammensetzung des Sekrets der Schleimhaut (Luciano et al., 1979; Luciano et al., 1980).

Die Drüsensäcke des C1, die tiefen Zellen des C2 und die ersten 4/5 des C3 sind von glandulärer Mukosa ausgekleidet. Die übrigen Schleimhautabschnitte, inklusive der Leisten, die die Öffnungen zu den Drüsensäcken definieren, sind von mehrschichtigem, unverhorntem Plattenepithel bedeckt. Diese Art der Schleimhaut befindet sich ebenfalls entlang der Magenrinne und im röhrenförmigen Verbindungsstück zwischen C2 und C3. Die Drüsen Schleimhaut der Säckchen des C1 ist gefaltet, die Schleimhaut der Zellen im C2 besitzt Papillen.

Die Drüsen Schleimhaut ist trotz unterschiedlicher Anordnung in den verschiedenen Kompartimenten ähnlich aufgebaut (Cummings et al., 1972). Sie weist größtenteils einfache, zum Teil verzweigte, tubuläre Drüsen auf, die von spärlichem, lockerem Bindegewebe umgeben sind und sich in der Lamina propria befinden. Die Säckchen sind von einem einfachen, zylindrischen Epithel ausgekleidet (Alzola et al., 2004). Die tubulären Drüsen münden in die sichtbaren Foveolae. Die Foveolae haben eine taillierte Form, sind über einen Isthmus mit den Drüsenendstücken verbunden, penetrieren teilweise die Lamina muscularis mucosae und reichen bis in die Submukosa. Unter dem hochprismatischen Epithel der Drüsen Säckchen befindet sich ein dichtes, regelmäßig angeordnetes Netz fenestrierter Kapillaren (Cummings et al., 1972). Das Oberflächenepithel der Drüsen Schleimhaut ähnelt dem der Gallenblase des Hasen und bietet Voraussetzungen für eine schnelle Resorption von Wasser und gelösten Stoffen. Die Resorptionsvorgänge werden durch die Existenz der fenestrierten Kapillaren und das sehr effektive Mischen der Ingesta während eines Motilitäts-Zyklus der Vormägen unterstützt (Luciano et al., 1979). Dies untermauert die Ergebnisse von Engelhardt und Sallmann (1972a), die schon damals eine 2-3-fach höhere Resorption von Wasser, kurzkettigen flüchtigen Fettsäuren und Natrium im ventralen C1 im Vergleich zum Rumen des Wiederkäuers

aufzeigten. Die meisten Epithelzellen der Drüenschleimhaut, die Funduszellen sowie einige Zellen der tubulären Drüsen besitzen Sekretgranula, die Schleimsubstanzen beinhalten.

Der distale Bereich des C3, auch als „Hintermagen“ bezeichnet, bildet den eigentlichen Drüsenmagen und produziert Magensäure und proteolytische Enzyme (Sumar, 2010). C1 und C2 weisen einen pH-Wert von circa 6,5 auf, während das Endstück des C3 sich einem pH-Wert von 1,5 annähert (Fowler und Bravo, 2010b; Vencato et al., 2012). Der pH-Wert-Abfall kommt durch die intensive Sekretion von HCl im Bereich des Hintermagens, dem einzigen Magensäure produzierenden Abschnitt des Magens (Heller et al., 1984; Luciano et al., 1980; von Engelhardt et al., 1979).

Der Anfangsbereich der großen Krümmung der terminalen Flexur ist von einer sehr dicken Mukosa ausgekleidet und beinhaltet die Mageneigendrüsen. Entlang der kleinen Krümmung der terminalen Flexur und im Endstück des Pylorus ist die Mukosa wiederum dünner und beinhaltet die Pylorusdrüsen. Die Magendrüsen liegen in der Lamina propria und werden von etwas Bindegewebe umgeben. Die Lamina muscularis mucosae ist sehr gut entwickelt und entlässt Muskelfasern, die sich um die Drüsen der Lamina propria legen. Die dünne Submukosa besteht aus lockerem Bindegewebe und führt Blutgefäße und Nerven (Alzola et al., 2004; Vallenias et al., 1971).

Die Schleimhaut des distalen Drittels des C3 ähnelt in ihrem Aufbau der Funduszone von Monogastriern. Das Oberflächenepithel der Fundusregion stellt sich elektronenmikroskopisch ähnlich dar, wie das der Foveolae und Drüsenregionen der Vormägen der NWK. Die Aufgaben unterscheiden sich jedoch. Während das Oberflächenepithel der Drüsenregion der Vormägen vor allem für die rasche Resorption von Wasser und gelösten Stoffen zuständig ist, hat die Schleimhaut des Hintermagens überwiegend die Aufgabe der exokrinen und endokrinen Sekretion durch die Magendrüsen. Die exkretorischen Produkte bestehen vor allem aus neutralen und sauren Schleimsubstanzen.

Vier verschiedene Typen von endokrinen Zellen befinden sich in großer Anzahl in der Fundusregion. Diese könnten eine ausschlaggebende Rolle bei der beachtlichen Anpassungsfähigkeit der Kameliden an verschiedene Nahrungsbedingungen spielen (Luciano et al., 1979; Luciano et al., 1980).

Diese histochemischen und biochemischen Analysen zeigen, dass sich die Funktion der Drüenschleimhaut der NWK von der Funktion des Epithels der Vormägen der Wiederkäuer erheblich unterscheidet. Frühere Studien beschrieben die Drüenschleimhaut als Quelle von reichlich Natrium-Bikarbonat (De la Vega, 1952). Dies konnte in späteren Studien jedoch nicht bestätigt werden. Vielmehr wurde der Drüenschleimhaut die Hauptaufgabe einer schnellen Resorption von Wasser und gelösten Substanzen zugeschrieben. Der Aufbau der Drüsensäckchen bewirkt eine erhebliche Oberflächenvergrößerung und führt zusammen mit dem speziellen Aufbau ihres Epithels zu einer deutlich höheren Resorptionskapazität als beim Wiederkäuer (Rübsamen und von Engelhardt, 1979; von Engelhardt und Sallmann, 1972b).

Studien über die Absorption anorganischer Ionen, kurzkettiger, flüchtiger Fettsäuren (SCFA) und das Auftreten von Bikarbonat zeigen, dass Natrium (Na^+), Chlorid (Cl^-) und SCFA sehr schnell resorbiert werden, während sich Bikarbonat (HCO_3^-) ansammelt. Die Bikarbonatkonzentration ist eng mit der Änderung des luminalen pH-Wertes gekoppelt. Der pH-Wert wiederum wird vor allem durch den schnellen Abfall der Konzentration der SCFA beeinflusst (Rübsamen und von Engelhardt, 1978). Die Resorption der SCFA findet vor allem in den mit Drüenschleimhaut ausgestatteten Bereichen des C1 und C2 und in den proximalen vier Fünftel des C3 statt (von Engelhardt et al., 1965; von Engelhardt und Sallmann, 1972a; von Engelhardt et al., 1979).

Auch im röhrenförmigen Abschnitt des C3 tritt eine 2-3-fach höhere Resorptionskapazität verglichen mit dem Omasum der Wiederkäuer auf. Das Lama resorbiert 70 % der SCFA, 60 % des Natriums und 30 % des Wassers, das in C3 eintritt. Die ähnliche Ultrastruktur des Oberflächenepithels dieses Abschnittes und der der Drüsenregionen in C1 und C2 lassen ähnliche Transportmechanismen vermuten. Neben der hohen Resorptionsrate findet hier eine hohe Chlorid-Sekretion statt, sodass die Cl^- -Konzentration 3fach so hoch ist wie in C1 und C2. Die Wassersekretion im letzten Fünftel des C3 scheint höher als die Wasserresorption innerhalb des tubulären Teils des C3 zu sein. Neben diesen Vorgängen findet in der Fundusregion des C3 ein intensives Ansäuern der Ingesta statt (von Engelhardt et al., 1979).

Kameliden besitzen, ähnlich wie Wiederkäuer, die Fähigkeit Harnstoff aus dem Blut in die Vormägen zu sezernieren und können so die Proteinsynthese der MO auch in der kargen Trockenzeit, die durch eine proteinarme Diät gekennzeichnet ist, aufrecht erhalten (Esteban und Thompson, 1988; Hinderer und von Engelhardt, 1975; Hinderer und von Engelhardt, 1976). Das Lama ist in der Lage, das Harnstoffrecycling in die Vormägen der Proteinkonzentration des Futters anzupassen. Bei proteinarmer Diät, aber ausreichender Energiezufuhr für die Proteinsynthese der MO in den Vormägen, ist das Recycling des endogenen Harnstoffes hoch und die renale Harnstoffexkretion niedrig.

Durch diese geringen renalen Harnstoffverluste kann das Lama Harnstoff in höherem Maße zurückbehalten als das Schaf (von Engelhardt und Holler, 1982). Außerdem fand Hinderer und von Engelhardt (1976), dass das Lama in der Lage ist, mehr Harnstoff pro Zeiteinheit (mmol/Stunde/kg) zu hydrolysieren als dies beim Rind und Schaf im Rumen der Fall ist. So steht der Proteinsynthese der MO beim Lama mehr Harnstoff zur Verfügung.

In Tabelle 2 sind die wichtigsten Eigenschaften und Funktionen der drei Kompartimente, modifiziert nach Fowler und Bravo (2010b) zusammengefasst.

Tabelle 2: *Eigenschaften und Funktionen der Vormägen des Lamas (Tabelle modifiziert nach (Fowler und Bravo, 2010b). N.A. – nicht angegeben.*

Kompartiment	pH	Retentionszeit (h)			Funktion
		Flüssigkeit	Feste Partikel		
			<0,2 cm	>0,2 cm	
C1	6,4-7,0	N.A.	20,3	>40	Fermentation Absorption von H ₂ O, SCFA, gelösten Stoffen
C2	6,4-7,0	9,6	20,3	N.A.	Fermentation Absorption von H ₂ O, SCFA, gelösten Stoffen
C3 proximal distal	6,5 <2-3	5,7	9	N.A.	Absorption von H ₂ O, gelösten Stoffen distal 1/5 Enzyme, Magensäure

Physiologie und biochemische Prozesse innerhalb der Vormägen der Wiederkäuer:

Der detaillierte histologische Aufbau und die genauen physiologischen und biochemischen Prozesse innerhalb der verschiedenen Magenabschnitte der Wiederkäuer sind in der gängigen Literatur (Loeffler und Gäbel, 2015; von Engelhardt et al., 2015) nachzulesen. In Tabelle 3 sind die wichtigsten Eigenschaften kurz zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 3: Eigenschaften und Funktionen der Magenabschnitte der Wiederkäuer (modifiziert nach (Fowler und Bravo, 2010b)).

Kompartiment	Art des Epithels	pH-Wert	Funktion
Rumen	Mehrschichtig, verhorntes Plattenepithel, mit Zotten	5,8-7,0	Fermentationskammer Hauptkontraktionen 1-2/Minute
Retikulum	Mehrschichtiges Plattenepithel	5,8-7,0	Fermentationskammer
Omasum	Mehrschichtiges Plattenepithel	5,8-7,0	Reduzierung der Größe der Ingestapartikel in einen feineren Zustand
Abomasum	Drüsenepithel	3,0	Sekretion von Verdauungssäften, Weiterführung des Verdauungsprozesses

2.2.1.6 Effizienz der Verdaulichkeit bei Neuweltkameliden im Vergleich zu Wiederkäuern

Frühe Studien zeigten eine 50% höhere Faser-Verdaulichkeit beim Alpaka im Vergleich zum Schaf (Hintz et al., 1973). Diese deutlich höhere Verdaulichkeit konnte in späteren Studien nicht, bzw. nur in Teilen reproduziert werden. Um die Höhe der Verdaulichkeit zwischen verschiedenen Spezies adäquat vergleichen zu können, müssen die Qualität des Futters und die Höhe des Lebensraumes der untersuchten

Tiere mit einbezogen werden, da es sonst zu verfälschten Ergebnissen kommen kann (Dulphy et al., 1994; Liu et al., 2009; Warmington et al., 1989). So zeigten spätere Versuche mit einem ausgereifteren Versuchsaufbau nach wie vor, dass NWK in der Lage sind, Energie und Nährstoffe aus kargem Futter effizienter zu extrahieren, allerdings in geringerem Ausmaß als angenommen und in Abhängigkeit von der Futterqualität. Eine höhere Verdaulichkeit der Trockenmasse, organischer Masse und Neutral Detergent Fiber (NDF) zeigte sich bei Fütterung von Futtermitteln geringer Nährstoffkonzentration (geringer Proteingehalt und hoher Fasergehalt), während bei qualitativ hochwertigem Futter kein Unterschied festzustellen war. Zusätzlich haben NWK während der kargen Jahreszeiten einen geringeren Energie- und Nährstoffbedarf als das Schaf (Dulphy et al., 1997; Lemosquet et al., 1996; San Martin und Bryant, 1989; Vallenas, 1965; Warmington et al., 1989). Verschiedene Faktoren scheinen die Effizienz der Verdaulichkeit positiv zu beeinflussen. Der pH-Wert und die Ammoniumstickstoffkonzentration im Inhalt der Vormägen des Lamas sind höher und SCFA werden, unter anderem bedingt durch sehr effektives Mischen und Mazerieren der Ingesta während der Vormagenkontraktionen, sehr schnell resorbiert (Dulphy et al., 1997; Rübsamen und von Engelhardt, 1978). Die Konzentration der SCFA ist mit dem pH-Wert negativ korreliert und die hohe Resorptionsrate der SCFA bedingt einen sehr stabilen pH-Wert. Dies wiederum bietet exzellente Bedingungen für die cellulolytische Aktivität der MOs, die höher als die der MOs in Wiederkäuern ist (Dulphy et al., 1997; Lemosquet et al., 1996).

2.2.1.7 Magenmotorik, Bewegung und Retentionszeit des Mageninhaltes bei Neuweltkameliden

Der Mageninhalt der NWK ist im Gegensatz zu dem geschichteten Inhalt des Rumens der Wiederkäuer homogen und relativ trocken (Fowler und Bravo, 2010a). Verschiedene Autoren beschrieben die Motorik der drei Magenabteilungen und den Transport der Ingesta der NWK (Ehrlein und von Engelhardt, 1971; Heller et al., 1984; Vallenas, 1960, 1965; Vallenas und Stevens, 1971). Die Vormägen zeigen ein charakteristisches etwa 82 Sekunden dauerndes, zyklisches Kontraktionsmuster, das aus zwei verschiedenen Kontraktionssequenzen besteht: A- und B-Kontraktionen. Der Kontraktionszyklus beginnt mit einer einzelnen A-Kontraktion, gefolgt von einer Serie B-Kontraktionen. Nach einer Pause startet ein neuer Zyklus.

A-Kontraktion: Jeder Zyklus startet mit der Kontraktion des Verbindungskanals zwischen C2 und C3, gefolgt von einer einzelnen, kräftigen Kontraktion des C2 und einer anschließenden Kontraktion des kaudalen Sackes des C1. Darauf folgt erneut eine Kontraktion des Kanals. Die A-Kontraktion erfolgt in aboral-proximaler Richtung (Fowler und Bravo, 2010a, b; Heller et al., 1984).

Die Sequenz der B-Kontraktionen startet mit einer Kontraktion des kranialen Sackes des C1, die gleichzeitig mit der zweiten Kontraktion des Verbindungskanals der A-Kontraktion stattfindet. Dann erfolgt eine schwache Kontraktion des C2 und schließlich kontrahiert sich der kaudale Sack des C1. Die Kontraktion erfolgt in kraniokaudaler Richtung. Die B-Sequenz wird innerhalb eines Kontraktionszyklus 2-7 Male wiederholt, während die A-Kontraktion innerhalb eines Kontraktionszyklus nur einmal wiederholt wird.

Die Passage des Mageninhaltes von C2 zu C3 erfolgt nur während der Kanal zwischen C2 und C3 innerhalb der A-Kontraktion relaxiert (Ehrlein und von Engelhardt, 1971; Fowler und Bravo, 2010b; Heller et al., 1984; Vallenas und Stevens, 1971). In C3 erfolgt eine kontinuierliche aboral gerichtete peristaltische Bewegung. Im distalen Abschnitt des C3 im Hintermagen findet eine mischende Bewegung statt (Ehrlein und von Engelhardt, 1971; Heller et al., 1984).

Vallenas und Stevens (1971) beschrieben in ihrer Arbeit die Kontraktionen des Magens, die die Autoren durch Beobachtungen durch eine Magenfistel erzielen konnten. Ihre Studie zeigt, dass die Säckchenschleimhaut während der Kontraktionen des C1 zum Teil vorfällt oder aber durch die Öffnungen der Säckchen in das Lumen des C1 komplett umgestülpt wird und somit eine effektive Mischung des Mageninhaltes erreicht wird. Der Kontraktionszyklus des C1 und C2 beginnt mit einer Kontraktion des C2, gefolgt von einer Kontraktion des kaudalen Sackes des C1 und einer nachfolgenden Kontraktion des kranialen Sackes des C1. Das C1 kontrahiert nach dieser initialen Kontraktionssequenz 6-8 Mal während eines Zyklus, die Umstülpung der Säckchen findet jedoch nur die ersten 3-4 Kontraktionen statt.

Während der Kontraktion des kaudalen Sackes stülpen sich zuerst die dem Querbalken benachbarten Säckchen um, danach werden mit der Kontraktion des kranialen Sackes nach und nach die weiter kaudal liegenden Säckchen umgestülpt.

Gleichzeitig mit der Kontraktion des kaudalen Sackes kontrahieren der Querpfiler und die Muskelbänder der Leistenränder und ziehen den Querpfiler so nach

dorsokaudal und leicht nach rechts. Wenn der kraniale Sack kontrahiert, wird der Querpfeiler nach kranioventral verlagert und sein kranialer Arm formt dabei ein deutliches Kontraktionsband.

Nach jeder Kontraktion stülpen sich die Säckchen, bis auf einzelne, wieder in ihre Ausgangsposition zurück (Vallenas et al., 1971).

Ingesta, die sich im dorsalen Bereich des C1 befindet, ist ziemlich trocken. Mageninhalt im ventralen C1, in der Region der Drüsensäckchen und in C2 ist halbflüssig bis wässrig. Das Kontraktionsmuster resultiert in einem sehr effektiven Mischen der festen Ingesta mit Flüssigkeit und MO (Ehrlein und von Engelhardt, 1971; Lechner-Doll et al., 1995). Während der Kontraktion der Muskelleisten der kaudalen Säckchen wird Flüssigkeit mit gelösten Stoffen aus dem festen Mageninhalt ausgepresst und in die relaxierten ventralen Säckchen und in C2 gepresst. Der nahezu feste Inhalt mit den großen Partikeln wird im Zentrum von C1 gesammelt. Dieser Prozess und das Trennen von kleinen und großen Partikeln werden während der Kontraktionszyklen kontinuierlich wiederholt. Die Retentionszeit flüssiger Bestandteile (ungefähr 10 Stunden) ist beim Lama deutlich kürzer als die der festen Partikel (ca. 25 Stunden) (Heller et al., 1984).

Einige Studien, z.B. von Heller et al. (1986), beschrieben eine ausgesprochen lange Retentionszeit der Ingesta bei Kameliden. Andere Autoren wie (Dittmann et al., 2015) konnten diese längere Retentionszeit jedoch nicht bestätigen. Die unterschiedlichen Ergebnisse können jedoch durch unterschiedliche Futteraufnahmen in den verschiedenen Studien gut erklärt werden. Die Messung der Retentionszeit sollte daher immer mit der Bewertung der Futteraufnahme gekoppelt sein. In NWK genauso wie in anderen wiederkäuenden Spezies (Rind, Elch, Rentier etc.) hat die Größe der Partikel ab einem Grenzwert von 1 cm keinen zusätzlichen Einfluss mehr auf die Länge der Retentionszeit. Dieser einzigartige Sortierungsmechanismus von kleinen und großen Partikeln unterscheidet Wiederkäuer und NWK von anderen Foregut-Fermentern. Der Mechanismus weist auf eine konvergierende Entwicklung und Anpassung der beiden Gruppen hin. Die gleiche Funktion wird durch unterschiedliche morphophysiologische Designs und sich im Detail unterscheidende Mechanismen erreicht. NWK scheinen eher eine längere Retentionszeit von großen Partikeln, als eine kürzere Retentionszeit von kleinen Partikeln (<2mm) als Wiederkäuer zu haben, was auf eine langsamere Sortierung der Partikel bei den

Kameliden hindeutet. Die längere Retentionszeit von großen Partikeln bei Kameliden könnte damit verbunden sein, dass Kameliden normalerweise eine geringere Futteraufnahme zeigen und generell einen niedrigeren Stoffwechsel aufweisen (Dittmann et al., 2014).

Heller et al. (1986) nahmen an, dass für die Fähigkeit des Lamas und Wiederkäuers, Flüssigkeiten und verschiedene Partikelgrößen fester Nahrung selektiv innerhalb der verschiedenen Magenanteile weiterleiten zu können, ein ähnlicher Mechanismus zugrunde liegt. Bei Wiederkäuern stellt die Öffnung zwischen Netz- und Blättermagen einen Grenzpunkt dar. Proximal der Öffnung sind Partikel aller Größen zu finden, kaudal davon jedoch ausschließlich kleine Partikel (Clauss et al., 2009a; Clauss et al., 2009b). Die Annahme von Heller et al. (1986), dass bei Kameliden der Kanal zwischen C2 und C3 ebenfalls eine solche absolute Begrenzung darstellt, konnten Lechner-Doll und von Engelhardt (1989) nicht belegen. Sie fanden ebenfalls einen deutlichen Unterschied zwischen den Partikelgrößen in C1/C2 und dem distalen Abschnitt des C3 aber in einem sukzessiven Größenabfall. Im proximalen Abschnitt des C3 sind immer noch so große Partikel zu finden wie in C1/C2, mehr jedoch als im distalen C3. Der Verbindungskanal zwischen C2 und C3 scheint also keine absolute Begrenzung mit Selektierungsfunktion darzustellen. Die Partikelgröße der Fäzes von Wiederkäuern und Kameliden ist von ähnlicher Größe und lässt deshalb vermuten, dass die großen Partikel im C3 der Kameliden sogar zurück in weiter proximal gelegene Anteile der Vormägen transportiert werden und durch erneutes Wiederkäuen weiter zerkleinert zu werden (Fritz et al., 2009).

2.2.1.8 Vormagenmotorik der Wiederkäuer

Eine detaillierte Beschreibung der Vormagenmotorik und Ingestapassage der Wiederkäuer ist in den gängigen Büchern über die Physiologie der Haussäugetiere (von Engelhardt et al., 2015) beschrieben. Im Folgenden sind deshalb nur die wichtigsten und zum Vergleich mit NWK bedeutsamen Aspekte zusammengefasst. Die Motorik von Haube und Pansen verläuft in stereotypen Kontraktionssequenzen und wird ebenfalls in A- und B-Zyklen unterteilt. Die Ausbreitung der A-Zyklen verläuft von kranial nach kaudal und beginnt mit einer biphasischen Kontraktion der Haube, die das Lumen der Haube nahezu verschwinden lässt. Anschließend kontrahiert der Pansenvorhof und die Ingesta fließt in die sich relaxierende Haube zurück. Nun kontrahiert der dorsale Pansensack von kranial nach kaudal, gefolgt von

Kontraktionen des kranialen Pansensackes und ventralen Blindsackes. Flüssigkeit kann nun über den ventralen Pansenpfeiler in den Pansenvorhof gelangen. Die B-Zyklen finden ohne Beteiligung von Haube und Pansenvorhof statt und beginnen mit einer Kontraktion des ventralen Blindsackes. Darauf folgen Kontraktionen des dorsalen und ventralen Pansensackes. Beim gesunden Rind sind etwa drei Kontraktionen innerhalb von zwei Minuten hörbar. Die Motorik des Psalters funktioniert als Saug-Druck-Pumpe und muss in die Motorik des Psalterkanals und des Psalterkörpers unterschieden werden. Der Psalterkanal erweitert sich jeweils während der zweiten Haubenkontraktion und Ingesta aus dem Bereich des Haubenbodens kann angesaugt werden („Saugphase“). Daraufhin schließt sich die Hauben-Psalter-Öffnung, der Psalterkanal kontrahiert und die Ingesta wird zwischen die Psalterblätter gepresst („Druckphase“). Nach kurzer Latenz kontrahiert der Psalterkörper und die Ingesta wird in Richtung der weitlumigen Psalter-Labmagen-Öffnung geschoben. Die Kontraktionen des Psalters sind jedoch nicht streng mit der Hauben-Pansen-Motorik gekoppelt. Kontraktionen des Psalters können über mehrere Zyklen aussetzen.

Bei gesunden und artgerecht gefütterten Wiederkäuern erfolgt eine Schichtung des Panseninhaltes. Im dorsalen Pansensack befindet sich vorwiegend große, unzerkleinerte Ingesta („Pansenmatte“) und darüber eine dorsale Gasblase. Im ventralen Pansensack und der Haube befindet sich relativ flüssige Ingesta („Pansensee“).

Die Haubenmotorik führt zu einer Entmischung der Ingesta, so können vor allem weitgehend verdaute, kleine Partikel mit hoher Dichte das Retikulum verlassen. Futterpartikel werden im Retikulum sehr viel länger (18-72h) zurückgehalten als Flüssigkeit (ca. 12h). Das Wiederkäuen wird durch bestimmten Reize (Berührungen der Schleimhaut durch grobe Futterpartikel) ausgelöst und beginnt mit einer „Rejektionskontraktion der Haube“, die direkt vor der biphasischen Kontraktion stattfindet (von Engelhardt et al., 2015).

2.2.1.9 Mikroorganismen in den Vormägen

Die Mikroflora und -fauna der Vormägen der Wiederkäuer ist sehr intensiv untersucht worden und ist von hoch-komplexer Zusammensetzung. Hunderte Spezies von Bakterien und Protozoen sind im Pansen angesiedelt und an den fermentativen Prozessen beteiligt und so unabdingbar für die Ernährung der Wiederkäuer. Es sind

sowohl gramnegative als auch grampositive, jedoch nur anaerobe Organismen vorhanden. Jede Spezies-Gruppe setzt an bestimmten Komponenten der Nahrung an, um diese aufzuspalten und zu nutzen. Bestimmte Bakterien verdauen Cellulose, Hemicellulose, Stärke, Kohlenhydrate, Proteine. Andere wiederum produzieren Ammoniak, Methan oder Vitamine. Die Zusammensetzung Flora der MO hängt von verschiedenen Faktoren, wie Jahreszeit, Diät, geographischer Lokalisation ab und ist ein sensibles Gefüge. Jede Spezies hat ihren individuellen Nährstoffbedarf und Änderungen in der Umwelt der Tiere können dieses Gefüge der MO negativ beeinflussen (Fowler und Bravo, 2010a; Harmeyer und Hill, 1964; Sijtsma und Tan, 1993).

Die Unterschiede in der Verdauungsphysiologie zwischen NWK und Wiederkäuern und die höhere Verdaulichkeit von Trockenmasse, organischer Masse und Neutral Detergent Fiber von NWK im Vergleich zum Schaf bei Fütterung nährstoffarmen Futters oder bei Haltung in großen Höhen (Dulphy et al., 1997; Lemosquet et al., 1996; San Martín und Bryant, 1989), lässt vermuten, dass sich neben den anatomischen Unterschieden auch die Zusammensetzung der MO in den Mägen der Kameliden unterscheidet. Weitere Hinweise dafür sind die höhere cellulolytische Aktivität in den Vormägen der NWK (Dulphy et al., 1997; Lemosquet et al., 1996), ihr geringerer Energiebedarf (von Engelhardt et al., 1975) und die etwas geringere Menge an Futter, die von NWK in Abhängigkeit von der Qualität des Futters aufgenommen wird. Bei freilaufenden NWK, die in ihrem ursprünglichen Habitat leben, ist eine geringere Futteraufnahme während der Regenzeit zu sehen (Liu et al., 2009; San Martín und Van Saun, 2014).

In einigen wenigen Studien wurde die Population der MO in den Vormägen der NWK untersucht. Sie setzt sich ebenfalls aus einer komplexen Komposition von Spezies aus der Klasse der Protozoa, Fungi, Archaea und Bakteria zusammen, die, wie bei den Wiederkäuern, die Aufgabe haben Pflanzenmaterial aufzuspalten. Die drei Hauptarten von Bakterien (*Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* und *Fibrobacter succinogenes*), die bei Wiederkäuern für die Verdauung von Fasern zuständig sind, konnten auch in den Vormägen der NWK nachgewiesen werden (Ceron Cucchi et al., 2013; Stangassinger, 2007).

Die meisten Bakterien bevorzugen einen nahezu neutralen pH-Wert von 6,5-7,5 (Russell und Wilson, 1996). Der etwas höhere und konstantere pH-Wert in den

Vormägen der NWK beeinflusst die Population der MOs der Kameliden positiv und erhöht die cellulolytische Aktivität. Die Konzentration von Azetat in der Vormagenflüssigkeit ist höher, die von Butyrat, SCFA und Ammoniak ist niedriger und die Emission von Methan ist ebenfalls niedriger. Der Anteil von Methanbildnern in den Vormägen des Alpakas ist geringer als beim Schaf, der Gesamtanteil der cellulolytischen MOs ist jedoch höher, was vermutlich zur höheren Verdaulichkeit bei NWK beiträgt. Nicht nur die Zusammensetzung der Population der MOs der NWK unterscheidet sich zu derjenigen der Wiederkäuer, sondern auch ihre Dichte. In NWK ist die Dichte niedriger, vermutlich aufgrund der schnelleren Flüssigkeitspassage durch die Vormägen (Heller et al., 1984; Pei et al., 2010; Pei et al., 2013; San Martin Howard, 1987).

Die Dichte der Methanbildner in NWK in der Studie von St-Pierre und Wright (2012) war zu der in anderen wiederkäuenden Spezies vergleichbar, so dass die Autoren vermuten, dass die geringere Methanemission der NWK durch eine unterschiedliche Zusammensetzung der methanbildenden Bakterien und nicht durch eine geringere Dichte zustande kommt.

2.2.2 Darm (Intestinum)

Die Anatomie des Darmes der Neuweltkameliden ist in der Literatur noch weniger beschrieben als die des Magen. Eine detaillierte Beschreibung und Darstellung des Darmes individuell für das Alpaka ist nicht vorhanden. Die Gesamtlänge sowie die Länge von Dün- und Dickdarm vom Alpaka, Lama und Altweltkameliden, wie in der Literatur von verschiedenen Autoren angegeben, sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Die Abmessungen der verschiedenen Darmabschnitte im Einzelnen von einem 140kg schweren Lama sind in

Tabelle 5 (Fowler und Bravo, 2010b) angegeben:

Tabelle 4: Länge der Darmabschnitte (alle Angaben in Metern). N. A. – nicht angegeben.

Spezies	Gesamtlänge	Dünndarm	Dickdarm
Alpaka			
(Gusmán Chaves, 1970)	22.9	13.4	9.5
Lama			
(Lesbre, 1903a)	27.66	15.8	11.86
(Fowler, 2010)	19-19.5	11.5-12	7.6
Altweltkameliden			
(Lesbre, 1903b)			
Dromedar	38,5	24-25	13,6
Trampeltier	41-42	22-23,5	16,5-18,6
(Smuts und Bezuidenhout, 1987)			
Dromedar	59.5	40	19.5
Wiederkäuer			
(Nickel et al., 2004a)			
Rind	33-63	27–49	N.A.
Schaf	22–43	18–35	N.A.
Ziege	33	N.A.	N.A.

Tabelle 5: Maße der einzelnen Darmabschnitte des Lamas (Körpergewicht 140 kg, alle Angaben in m).

	Duodenum	Jejunum	Ileum	Zäkum	Großes Kolon	Kleines Kolon
Länge (m)	< 1	9,5-10	1	0,1	1,5	6
Durchmesser (cm)	N.A.	N.A.	N.A.	5	5-2,5	2,5

2.2.2.1 Dünndarm (Intestinum tenue)

Der Dünndarm der NWK ist für gewöhnlich schlaff und enthält kleine Mengen Flüssigkeit und halbfesten Nahrungsbrei. Der Durchmesser beträgt, außer in der Ampulla duodeni, 2 cm beim adulten Lama und 1 cm beim Alpaka und juvenilen Lama (Cebra, 2014; Cebra et al., 2002).

2.2.2.1.1 Zwölffingerdarm (Duodenum)

Das Duodenum der Kameliden beginnt mit einer prominenten Erweiterung, der Ampulla duodeni. Die Ampulla schmiegt sich von der kleinen Krümmung zur großen Krümmung dem Pylorus an und zieht dann nach kaudal. Unmittelbar danach nimmt der Durchmesser des Duodenums abrupt ab (ca. 10-fach kleiner als der Durchmesser des C3) und es folgt eine prominente M-förmige Flexur, die mit der großen Krümmung des C3 über das große Netz eng verbunden ist. Das Duodenum schlängelt sich direkt kaudodorsal der Leber auf der rechten Seite des C1 in Richtung kaudodorsaler Bauchwand und zieht dann von rechts nach links, kaudal um die Mesenterialwurzel (Cebra, 2014; Fowler und Bravo, 2010b).

Das Mesenterium beginnt etwas kaudal der Porta hepatica und befestigt den Dünndarm an der dorsalen Bauchwand (Cebra, 2014).

2.2.2.1.2 Leerdarm (Jejunum)

Das stark geschlängelte Jejunum beginnt etwas kranial der Gekrösewurzel und seine zahlreichen Schlingen liegen rechts kaudal im Abdomen. Die proximalen 2/3 bestehen aus engen Windungen, die an einem kurzen Gekröse (5-7 cm) befestigt sind. Das Gekröse des distalen Drittels ist deutlich länger (30-35cm) und ermöglicht deutlich mehr Beweglichkeit (Cebra, 2014; Fowler und Bravo, 2010b).

2.2.2.1.3 Hüftdarm (Ileum)

Das kurze Ileum beginnt ventral und verläuft medial und dorsal und mündet in eine Öffnung zwischen Caecum und Colon in den Dickdarm, nahe des Mittelpunktes des Abdomens (Cebra, 2014; Fowler und Bravo, 2010b).

2.2.2.2 Dickdarm (Intestinum crassum)

2.2.2.2.1 Blinddarm (Caecum)

Der Blinddarm der NWK ist recht kurz (ca. 7-10 cm lang beim Alpaka und 15-20 cm beim Lama) und beinhaltet Ingesta von teigiger Konsistenz. Die Ileozäkalklappe ist klein und eng. Die Basis des Zäkums liegt zentral nahe der Linea alba und wird durch bandartige Befestigungen zum Ileum und Kolon in ihrer Position gehalten. Nahezu die gesamte Länge des Zäkums ist über die Plica ileocaecalis an der antimesenterialen Seite des Ileums befestigt (Cebra, 2014). Es ist Richtung Beckeneingang gerichtet, kann aber auch ventral und lateral zur linken Seite ausgerichtet sein (Fowler und Bravo, 2010b).

2.2.2.2.2 Colon ascendens

Der Anfangsteil des Kolons hat in der Regel den gleichen Durchmesser wie das Zäkum. Nach einer proximalen Schleife folgt die Kolonspirale, die entweder kaudal der drei Magenkompartimente der ventralen Bauchwand aufliegt oder sich rechts bis zur Bauchwand erstreckt (Cebra, 2014).

Die proximale Schleife formt einen großen Kreis und geht dann in die erste Windung der Kolonspirale über. Diese erste proximale Schleife ist über das Mesenterium locker mit der mehr kompakten Grimmdarmspirale verbunden. Die Kolonspirale besteht aus 5 ½ zentripetalen Windungen (inklusive der proximalen Schleife) und 4 ½ zentrifugalen Windungen. Die zentrifugalen Windungen sind in der Tiefe der Spirale in Fett- und Bindegewebe eingebettet und oft nicht zu sehen. Die Spirale liegt in der Mitte der ventralen Bauchwand und ist oft das erste Organ, das bei einer Laparotomie von der ventralen Mittellinie aus sichtbar ist. Der Durchmesser des Kolons verringert sich von 5 cm zu Beginn bis auf 1-2 cm innerhalb der ersten zentripetalen Windung. Die distale Schleife des Colon ascendens liegt neben der proximalen Schleife (Fowler und Bravo, 2010b). Das Zäkum und Colon ascendens sind an einem langen, engen, pendelnden Gekröse aufgehängt, das die Blutgefäße für diese Abschnitte führt. Die Verbindung zwischen Blutgefäßen und Kolonspirale ist relativ locker, so dass die gesamte Kolonspirale recht leicht aus einer ventralen oder rechts paralumbalen Inzision hervorverlagert werden kann. Das Gekröse zwischen den einzelnen Windungen ist mit 0,5-1 cm jedoch sehr kurz. Das Kolonstück direkt aboral der Kolonspirale verläuft sehr dicht am ileozäkalen Übergang entlang und ist

mit diesem über das Ligamentum caecocolicum verbunden und geht dann in das Colon transversum über (Cebra, 2014).

2.2.2.2.3 Colon transversum

Das Colon transversum verläuft kranial der Arteria mesenterica cranialis von rechts nach links und dann als Colon descendens zum Rectum und Anus (Fowler und Bravo, 2010b).

Cebra (2014) bezeichnet einen längeren Darmabschnitt als Colon transversum. Demnach geht es auf der Höhe des Überganges vom Caecum in die Ansa proximalis coli aus dem Colon ascendens hervor und ändert danach vier Mal seine Richtung. Es zieht nach dorsal, bildet eine weitere kleinere Spirale und verläuft anschließend von rechts nach links kranial um die Gekrösewurzel.

2.2.2.2.4 Colon descendens, Rectum, Anus

Das Colon descendens verläuft kaudal und geht in das Rektum und dann den Anus über (Cebra, 2014; Fowler und Bravo, 2010b).

Stone et al. (1993) untersuchten die kaudale Ausdehnung der Abdominalhöhle des Lamas und bestimmten ihre Länge in Hinblick auf iatrogene Verletzungen im Bereich des Rektums und Kolons. Die Abmessungen der Peritonealhöhle zeigten, dass sich der kaudale Umschlagepunkt des Peritoneums noch weiter kaudal befindet als dies schon (Fowler, 1987) beschrieb. Die kaudale Peritonealflexion kann sich weniger als 4 cm vom Anus entfernt befinden. So können Risse in der Wand des Rektums kranial dieses Punktes eine Kontamination der Peritonealhöhle zur Folge haben.

Die Wand des Rektums erscheint im Vergleich zum Colon descendens dickwandig. Das terminale Colon ist in von einem mit Fettgewebe versehenen Mesenterium umgeben und hat im leeren Zustand einen Durchmesser von 1,5 cm. In gefülltem Zustand kann es jedoch einen 3-4-fach so großen Durchmesser einnehmen.

Der histologische Aufbau des Dickdarms ist ähnlich dem der anderen Spezies und besteht aus einer Lamina epithelialis, der Lamina propria, der Lamina muscularis mucosae, der Tela submucosa, der äußeren Tunica muscularis (mit einer inneren zirkulären und einer äußeren Längsmuskelschicht) und der Tunica serosa. Im Kolon besitzt die Tela submucosa nahezu die gleiche Dicke wie die Lamina muscularis mucosae. Im Rektum dagegen ist die Tunica submucosa 2-3-fach so dick wie die Lamina muscularis mucosae und in einigen Bereichen scheint sie in die Muskellagen

einzustrahlen. Die innere, zirkuläre Muskelschicht nimmt kaudal an Dicke zu, im terminalen Rektum ist sie fast doppelt so dick wie im Colon descendens. Die äußere longitudinale Muskelschicht des Rektums und Kolons waren von gleicher Stärke. (Stone et al., 1993).

2.2.2.3 Blutversorgung des Darmes

Die Arteria mesenterica cranialis verläuft durch das Mesenterium und gibt kurze, gebogene Äste an das Jejunum ab. Die Zweige werden mit zunehmender Länge des Gekröses ebenfalls länger bis ein einzelner langer Zweig entlang der mesenterialen Seite des Ileums verläuft (Cebra, 2014). Ein umfangreiches submuköses Geflecht muskulöser Arterien und kleiner Venen versorgt die Tunica muscularis und Tunica mucosa des Jejunums und repräsentiert seine Mikrovaskularisation (Yarbrough et al., 1995a).

Zweige der A. mesenterica cranialis versorgen das Zäkum und Colon transversum mit Blut. Die A. caecalis verläuft zwischen Zäkum und Ileum. Zwei große Zweige verlaufen in jeder Richtung entlang der mesenterialen Seite der proximalen Schleife des Colon ascendens. Der Hauptast verzweigt sich in viele kleine Äste, um die verschiedenen Abschnitte der Kolonspirale zu versorgen. Das Colon descendens und das Rektum werden über die A. mesenterica caudalis mit Blut versorgt.

2.2.2.4 Funktionen des Darmes

Die Verdauung und Absorption im Darm der Kameliden ist vergleichbar mit der intestinalen Verdauung der Wiederkäuer. Kameliden fehlt jedoch eine Gallenblase, und die Gallenflüssigkeit fließt vermutlich kontinuierlich in den Dünndarm.

Das Zäkum und Kolon der NWK fungiert nicht als primäre Fermentationskammer. Die Pelletierung der Fäzes beginnt innerhalb der Kolonspirale (Fowler und Bravo, 2010b).

2.2.2.4.1 Darm der Wiederkäuer

Im Dünndarm findet vor allem die Verdauung mit Hilfe der körpereigenen Enzyme und die Resorption von Nahrungsbestandteilen (z.B. Monosaccharide, Aminosäuren, Di- und Tripeptide, Vitamine) statt. Unter physiologischen Bedingungen finden schon im Dünndarm 2/3 der Elektrolyt- und Wasserresorption des gesamten GIT statt. Außerdem besitzt der Dünndarm eine herausragende Rolle als immunologisches

Organ. Näheres zur Physiologie findet sich in gängigen Lehrbüchern über die Physiologie der Haussäugetiere (von Engelhardt et al., 2015).

2.3 Erkrankungen im Bereich des Gastrointestinaltraktes

Erkrankungen des GIT der NWK sind in der Literatur überwiegend in Form von einzelnen Fallbeispielen oder aus Sektionsbefunden beschrieben. Pathogenesen und Therapieansätze sind in den meisten Fällen noch unbekannt oder beruhen auf dem Vergleich und der Extrapolation von Daten, die von Wiederkäuern bekannt sind (Cebra, 2014; Cebra et al., 1998; Loupal, 1982; Shapiro et al., 2005; Theuß et al., 2014; Whitehead, 2013).

Symptome, die auf Erkrankungen des GIT hindeuten, sind unspezifisch und können auch durch Erkrankungen/Verletzungen außerhalb des GIT hervorgerufen werden.

Eine sorgfältige Untersuchung ist deshalb notwendig.

Folgende klinischen Symptome können unter anderem auftreten:

- Anorexie
- Schwierigkeiten in der Futteraufnahme
- Regurgitieren/Emesis
- Abdominale Distension/Aufgasung
- Tenesmus
- Diarrhoe
- Verstopfung
- Atonie des Magens
- Kolik

2.3.1 Erkrankungen des Magens

Erkrankungen in diesem Bereich können primär oder sekundär bedingt sein. Sie umfassen einfache Indigestionen (Atonie des Magens), Gastritis, Parasitenbefall, gastrale Ulcera mit oder ohne Perforation der Magenwand oder eine Magenüberladung (selten). Eine Magenauftreibung, eine Verlagerung des C3 oder eine traumatische (Fremdkörper-) Gastritis (Ziegler et al., 2013), ist bei Kameliden eher selten (Fowler und Bravo, 2010b). Eine schaumige Gärung, wie sie von Wiederkäuern bekannt ist, ist bei NWK ebenfalls sehr ungewöhnlich. Dies könnte durch die unterschiedliche Population von MOs in den Vormägen der NWK bedingt

sein. Die Dichte der Population der MOs ist im Magen der NWK niedriger und könnte für einen langsameren Abbau von z.B. frischer Luzerne und eine niedrigere Schleimproduktion verantwortlich sein. Außerdem ist der Anteil von *Prevotella ruminicola*-ähnlichen Bakterien (verantwortlich für eine massive Schleimbildung in Wiederkäuern) niedriger. Weitere Gründe könnten die langsamere Futteraufnahme, der höhere Flüssigkeitsdurchfluss und eine geringere Oberflächenspannung in den Vormägen der Kameliden sein (Liu et al., 2009; Pei et al., 2010; Pei et al., 2013).

Ulcera im Bereich des Magens sind recht häufige Erkrankungen bei NWK und für 6 % der Todesfälle verantwortlich (Cebra, 2014; Cebra et al., 2003; Hughes und Mueller, 2008; Smith et al., 1994; Smith, 1989). Verschiedene Ursachen werden diskutiert, jedoch ist über die Pathogenese der Ulcera in Kameliden bisher wenig bekannt und spezifische Faktoren sind unbewiesen. Stress, Futter mit großem Getreideanteil, NSAIDs, die vermutlich die Ingesta weiter ansäuern, könnten unterstützende Faktoren für die Entstehung von Ulcera sein. Sie beeinflussen die Mukosa entweder direkt oder indirekt, indem sie die Magenmotorik hemmen. Eine potentielle Ursache könnte auch die spezielle Anatomie des distalen Teils des C3 sein, die in einer Entleerung des Magens gegen die Schwerkraft resultiert. Das wiederum könnte in einem Zurückbleiben von saurem Inhalt im Magen resultieren und die Bildung von Ulcera begünstigen. Der Pylorus und das Duodenum sind dorsal des C3 lokalisiert. In Perioden eines atonischen Magens oder eines Ileus könnte diese anatomische Anordnung einen Reflux von Gallenflüssigkeit bewirken, die bei Kameliden aufgrund der fehlenden Gallenblase kontinuierlich fließt und ebenfalls einen Beitrag zur Entstehung der Ulcera leisten (Cebra et al., 2003). Eine primäre Gastritis und Ulcera sind nicht einfach zu diagnostizieren, können den Tieren aber ernsthafte Probleme bereiten. Die Läsionen werden oft erst innerhalb einer Sektion erkannt. Ulcera treten in allen drei Kompartimenten auf. In C1 und C2 sind vor allem die Ränder der Säckchen betroffen, im proximalen 4/5 des C3 treten Geschwüre linear entlang der Längsfalten auf und im distalen 1/5 kommen mehr fokale, tiefer in die Mukosa ziehende und häufiger durchbrechende Ulcera vor. Ulcera der Schleimhäute des C3 sind recht häufig. Die Diagnose einer primären Gastritis kann nur durch Ausschluss von Differentialdiagnosen erhoben werden (Fowler und Bravo, 2010b).

2.3.2 Erkrankungen des Darmes

Die Ätiologie von intestinalen Beschwerden ist vergleichbar mit der der Wiederkäuer. Die Reaktion der Tiere auf kolikartige Schmerzen ähnelt dem Verhalten des Rindes, da Kolikanzeichen oftmals nur sehr vage und unregelmäßig gezeigt werden. Folgende Krankheitsbilder sind bei Kameliden unter anderem diagnostiziert worden:

- Enteritis
- Obstruktionen
- Ulcera mit/ohne Perforation der Darmwand
- Kolitis
- Proktitis
- Rektaler Prolaps
- Parasitenbefall des GIT

Partielle oder komplette Obstruktionen sind ein häufig gesehenes Bild, hervorgerufen durch die unterschiedlichsten Ursachen. Obstipationen, Impaktionen (Sand, Phytobezoare, Enterolithen, Faecalithen), Torsionen, Darminvaginationen, Kompressionen durch den graviden Uterus, Strangulation von Hernien, Neoplasien, Abszesse, Infarkte und angeborene Defekte (Atresia ani, Atresia coli) sind in Fallbeispielen von NWK beschrieben worden (Costarella und Anderson, 1999; DeVilbiss et al., 2011; Kik und van der Hage, 1999; Schwantag und Zanolari, 2013).

2.4 Untersuchungsmethoden des Gastrointestinaltraktes

Die Untersuchung von Kameliden mit Kolik-Symptomen sollte mit großer Sorgfalt durchgeführt werden, da der Grad der klinischen Anzeichen nicht mit dem Schweregrad der Erkrankung korrelieren muss. Auch milde Koliksymptome können durch lebensbedrohliche Ursachen hervorgerufen werden. Neben der klinischen Untersuchung, sollte eine Blutuntersuchung und, wenn es die Größe der Tiere (z.B. beim adulten Lama) zulässt, auch eine vorsichtige, rektale Untersuchung durchgeführt werden (Cebra, 2014).

Die radiologische Untersuchung des Abdomens der NWK ist in einigen wenigen Veröffentlichungen beschrieben worden. Kameliden zeigen bei Erkrankungen des GIT aufgrund ihrer stoischen Natur oft nur sehr vage, unspezifische klinische Anzeichen. Oftmals sind derartige Erkrankungen in frühen Stadien gut behandelbar, werden aber oft zu spät erkannt oder der Krankheitsgrad wird falsch eingeschätzt.

Diagnostische Möglichkeiten wie die transrektale Palpation oder eine Abdominozentese sind aufgrund der Körpergröße (durch die Palpation sind nur die kaudalen Anteile der abdominalen Viscera bei größeren Kameliden zugänglich) oder durch zu wenig gewonnener oder fehlender Peritonealflüssigkeit, limitiert oder nicht möglich. Die sonographische Untersuchung, vor allem mit portablen Ultraschallgeräten ist hilfreich für das Identifizieren von Geweben oder das Auffinden von freier Flüssigkeit in Abdomengebieten mit wenig Gas. Die Untersuchung kann transkutan oder transrektal durchgeführt werden (Cebra, 2014). Beim Lama sind Gaseinschlüsse innerhalb des GIT, außer im C1, selten und die Ultraschalluntersuchung deshalb nahezu im gesamten GIT möglich. Das Auffinden freier Flüssigkeit oder von Läsionen ist hilfreich für das zügige Stellen von Diagnosen und für korrekte Behandlungen. Das Erstellen einer Basis für Referenzwerte der normalen sonographischen Größe, Erscheinung, Form und Position der verschiedenen gastrointestinalen Organe vom Lama und Alpaka war ein Ziel der Studie von Cebra et al. (2002). Die Studie bestätigt die Lage der schon oben beschriebenen Organe und gibt Wandstärken der verschiedenen Abschnitte des GIT an. C1 und C3 füllen den Großteil des linken bzw. rechten ventralen Abdomens aus und die Säckchen des C1 geben der Organwand ein einzigartiges, hyperechogenes Aussehen. Alle anderen Strukturen erscheinen im Ultraschall als tubuläre Strukturen. Motilität in Form von vorübergehenden sich bewegenden Flüssigkeitssegmenten oder Kontraktionen der Organwände sind außer im C3 in allen Abschnitten zu sehen. Freie Flüssigkeit tritt im Abdomen beim gesunden Lama nur in geringem Ausmaß auf.

Verschiedene für Kameliden typische Krankheitsbilder (Cebra et al., 1998), wie Peritonitis oder strangulierende Obstruktionen (Bickers et al., 2000), gehen mit massiven Ansammlungen von freier Peritonealflüssigkeit einher. Intraluminale Obstruktionen oder eine Enteritis zeigen atonische, mit Flüssigkeit gefüllte aufgeblähte Darmabschnitte. Der heterogene, echogene Inhalt des Kolons bei gesunden Tieren weicht einer einheitlichen, nicht-echogenen Flüssigkeit im Falle der genannten Krankheitsbilder. Eine Verdickung der Wandstärke tritt bei Enteritiden, Neoplasien, Paratuberkulose, oder der Inflammatory Bowel Disease auf, während die Wandstärke bei ulzerativen Prozessen, die v.a. im C3 auftreten, abnimmt. Diese klinischen Symptome können mit Hilfe der Ultraschalldiagnostik erkannt werden. Die

Studie zeigte weiterhin, dass mit einer Ultraschall-geleiteten Abdominozentese, im Vergleich zur blinden Abdominozentese, mit deutlich größerer Sicherheit hochqualitative Proben zu gewinnen sind. Ein rechts-parakostaler Zugang erwies sich für die Probengewinnung als sinnvoll. Die sonographische Untersuchung des Lamas scheint ein sehr sinnvolles diagnostisches Werkzeug zu sein, doch für aussagekräftige Referenzwerte bedarf es weiterer Studien (Cebra et al., 2002).

In einer radiographischen Studie mit Hilfe von Kontrastmittelaufnahmen (Barium) an gesunden, neugeborenen Lamas beschrieben Timm et al. (1999) die normale röntgenologische Erscheinung des GIT und bestimmten die Transitzeit von Barium. Die drei Kompartimente des Magens, die Ampulla duodeni, der Dünndarm, die proximale Schleife des Colon ascendens sowie die Kolonspirale und das Colon descendens konnten in den Kontrastmittelaufnahmen identifiziert werden. Eine Differenzierung der Dünndarmabschnitte war nur schwer möglich. Die röntgenologische Untersuchung des GIT von Kameliden ist aufgrund der Größe nur bei Crias möglich. Die Untersuchung kann sinnvoll sein, doch die Untersuchung ist aufgrund langer Transitzeiten des Bariums zeitintensiv und bedeutet Stress für die Tiere. Ein Megaösophagus oder Gastrolithen (Fowler und Bravo, 2010b; Watrous et al., 1995) sind mögliche Verdachtsdiagnosen, die durch eine röntgenologische Untersuchung bestätigt werden können (Timm et al., 1999).

Stieger-Vanegas und Cebra (2013); Van Hoogmoed et al. (1998) untersuchten den GIT vom klinisch gesunden Lama und Alpaka computertomographisch und mit Hilfe von Kontrastmittel, um die Praktikabilität der Durchführung bei NWK zu bestimmen. Sie konnten nahezu alle Strukturen den jeweiligen Magen- und Darmabschnitten zuordnen und die Dicke der Organwände bestimmen. Die anatomische Lage stimmt mit der schon beschriebenen Literatur überein. Die Wanddicke der Magenkompartimente vom Alpaka und Lama unterscheidet sich nicht signifikant. Sie reicht beim Alpaka von 1-9 mm und beim Lama von 1–8 mm. Die stärkste Organwand weist der kaudoventrale Abschnitt des Säure-produzierenden C3 auf. Die dünnste Organwand ist in der Ampulla duodeni, dem Dünndarm und der Kolonspirale zu finden. Die Durchmesser der verschiedenen Darmabschnitte beim Lama und Alpaka unterscheidet sich ebenfalls nicht signifikant, das Lama zeigt einen geringfügig größeren Durchmesser. In keinem der untersuchten Tiere traten Komplikationen auf und die Untersuchung mittels CT bringt einige Vorteile

gegenüber konventionellen Ultraschalluntersuchungen oder Röntgenuntersuchungen mit sich und gegenüber der Ultraschalluntersuchung auch die Möglichkeit Kontrastmittelaufnahmen anzufertigen. Die Größe der Tiere und Luft- bzw. Gaseinschlüsse oder Futter innerhalb des GIT bringen Ultraschall und Röntgen an ihre Grenzen (Stieger-Vanegas und Cebra, 2013; Van Hoogmoed et al., 1998).

Die laparoskopische Untersuchung des Lamas ist ebenfalls ein nützliches Diagnostikum. Es ist ein minimalinvasives Verfahren und bietet die Möglichkeit abdominale Gebiete zu explorieren, die bei der rektalen Palpation nicht zugänglich sind. Aufgrund der meist unspezifischen und vagen Symptome von Kameliden bei abdominalen Schmerzen bietet die Laparoskopie eine Möglichkeit diagnostische Lücken zu füllen. Indikationen für eine laparoskopische Untersuchung sind ähnlich zu Indikationen beim Pferd. Ulzerationen innerhalb des C3, Läsionen durch Strangulationen, Pankreatitis, duodenale Obstruktionen sind Beispiele für Diagnosen, die gestellt werden können (Fowler und Bravo, 2010b; Turner, 1989). Die Untersuchung ist aufgrund der kleineren und lockerer aufgehängten Organe beim Lama einfacher durchführbar als beim Pferd. Ein möglicher Zugang für die laparoskopische Untersuchung ist paralumbal, kaudal der letzten Rippe. Von der rechten Seite können die parietale und viszerale Fläche der Leber, das Zwerchfell, das C1, der kaudale Teil des C3, das Pankreas, die rechte Niere, das Duodenum, das Jejunum und das Colon ascendens evaluiert werden. Von rechts können die linke Seite des C1, Teile des Jejunums, das Ileum, das Colon ascendens und die Kolonspirale identifiziert werden (Yarbrough et al., 1995b).

2.4.1 Chirurgische Behandlungsmethoden

Bestimmte Kriterien und klinische Anzeichen stellen die Indikation für eine chirurgische Exploration des Abdomens dar. Symptome, die sich auch unter medikamentöser Behandlung nicht verbessern oder sich verschlimmern, vor allem das Persistieren von Schmerzen und das Fehlen von Kotabsatz, sollten einen chirurgischen Eingriff nach sich ziehen. Die Verbesserung der Diagnostik, der Anästhesie und der klinischen Entscheidungsfindung in der NWK-Medizin haben zu vielen erfolgreichen chirurgischen Eingriffen geführt. Schätzungen zu Folge, führt die Brüchigkeit der Darmwand im Bereich von Obstruktionen, nach etwa vier Tagen zu lebensbedrohlichen Zuständen. Kraniale Obstruktionen rufen in der Regel geringere

Symptome hervor als kaudale und sind deshalb bei der ersten Untersuchung oftmals in einem weiter fortgeschrittenen Stadium (Cebra, 2014).

2.4.2 Chirurgische Zugänge

Laparotomien können über die ventrale Mittellinie, über einen parakostalen oder paralumbalen Zugang durchgeführt werden. Ein linker paralumbaler Zugang sollte nur gewählt werden, wenn der Verdacht für Läsionen im Bereich des C1 besteht, da die anderen Bauchorgane über diesen Zugang nur schwer zu erreichen sind. Über die anderen beiden Zugänge sind nahezu alle anderen Bauchorgane gut zu explorieren, lediglich das Antrum pyloricum des C3 ist bei einer flüssigkeitsbedingten Ausdehnung des C3 schwer über einen Zugang über die ventrale Mittellinie hervor zu verlagern. Bei Verdacht von Läsionen im Bereich des Magens oder Duodenums ist deshalb ein Zugang von paralumbal oder parakostal zu wählen (Cebra, 2014; Newman und Anderson, 2014).

3 Material und Methoden

3.1 Material

Für die Untersuchungen wurde der Gastrointestinaltrakt von 7 Alpakas untersucht (Tabelle 6). Dabei handelte es sich größtenteils um ausgewachsene Tiere. Ein Tier war 6 Monate und eines 19 Tage alt. Beim 19 Tage alten Tier wurde ausschließlich der Gefäßverlauf untersucht, da die Tiere in diesem Alter noch keine bzw. nur sehr geringe Mengen Raufutter aufnehmen und die verschiedenen Magenkompartimente noch nicht die finalen Größenverhältnisse ausgebildet haben (Fowler und Bravo, 2010c). Sechs Tiere gehörten der Rasse Huacaya-Alpaka an; ein Tier war ein Suri-Alpaka. Die zu untersuchenden Tiere kamen überwiegend aus Privathand, eines aus der Klinik für Wiederkäuer in Oberschleißheim und eines aus dem Lehr- und Versuchsgut in Oberschleißheim.

Sechs der Tiere wurden aufgrund einer medizinischen Indikation euthanasiert, eines wurde tot auf der Weide aufgefunden. Es wurden sowohl männliche als auch weibliche Tiere für die Untersuchungen genutzt. Die Tiere wurden schnellstmöglich nach dem Tod in die Kühlung verbracht (4°C) bzw. tiefgefroren (-18°C). Für die Präparation wurden die tiefgefrorenen Tiere über 3-4 Tage bei Raumtemperatur aufgetaut.

Tabelle 6: Untersuchungsgut (n=7).

Alpakarasse	Anzahl
Huacaya	6
Suri	1
Gesamt	7

3.1.1 Auswahl der Untersuchungstiere

Es wurden nur Tiere für die Präparationen zugelassen, die aus Gründen euthanasiert wurden, die nicht den Gastrointestinaltrakt betrafen.

3.2 Methoden

Für diese Arbeit wurden zum einen der Situs des GIT der Tiere untersucht und zum anderen die Organe im Einzelnen präpariert. Zur Gefäßdarstellung wurden die Gefäße mit Latexmilch injiziert; von den Vormägen (im Speziellen C1 und C2) wurden mit Formalin fixierte Gefrier-Präparate hergestellt.

3.2.1 Anatomische Präparation der Tiere

Die Präparationen für diese Arbeit wurden im Zeitraum vom Oktober 2015 - Juli 2017 in den Präparationsräumen des Lehrstuhls für Anatomie, Histologie und Embryologie der Ludwig-Maximilians-Universität in München durchgeführt (Tabelle 7). Für die Präparationen wurde das übliche anatomische Präparierbesteck verwendet.

Zur Darstellung der Topographie der Verdauungsorgane wurde die Bauchhöhle der Tiere entweder von ventral, rechts lateral oder links lateral eröffnet. Zunächst wurde die Haut entsprechend folgender Schnittführung wegpräpariert und danach die Bauchhöhle in gleicher Schnittführung eröffnet:

- Ventrale Eröffnung: durch eine Inzision entlang der Linea alba, beginnend am Tendo praepubicus des Beckens bis zum Processus xiphoideus des Brustbeines mit anschließenden Entlastungsschnitten kaudal des Rippenbogens nach rechts und links
- Links oder rechts-laterale Eröffnung, entsprechend auf der jeweiligen Seite: erster Schnitt eine Handbreit links/rechts-lateral der Linea alba, beginnend auf der Höhe des Tendo praepubicus bis zum Rippenbogen; zweiter Schnitt entlang der Innenseite des Oberschenkels bis zur Wirbelsäule; dritter Schnitt vom Processus xiphoideus entlang der Kontur der letzten Rippe bis zur Wirbelsäule

Zur vollständigen Darstellung und topographischen Einordnung der Organe wurde anschließend der Brustkorb fenestriert. Die letzte Rippe sowie der Rippenbogen wurden zunächst zur Orientierung stehen gelassen und im letzten Schritt ebenfalls entnommen.

Tabelle 7: Tiere, die für die Teiluntersuchung verwendet wurden (n=6).

Rasse	Geschlecht	Alter	Gewicht
Huacaya	weiblich	3,5 Jahre	55 kg
Huacaya	männlich	adult (genaues Alter nicht bekannt)	72 kg
Huacaya	weiblich	20 Jahre	44 kg
Huacaya	weiblich	6,5 Monate	25 kg
Suri	männlich	18 Jahre	40 kg
Huacaya	weiblich	5 Jahre	52 kg

3.2.1.1 Exenterierung des Magen-Darm-Traktes

Bei zwei der Tiere wurden der Magen und der Darm im Einzelnen herausgenommen. Dafür wurde direkt kaudal des Hiatus oesophageus und unmittelbar vor der Kardie der Oesophagus doppelt ligiert und zwischen den Ligaturen durchtrennt. Das gleiche Vorgehen wurde kaudal der Ampulla duodeni durchgeführt. Die den Magen und Darm versorgende A./V. coeliaca und die Aa. /Vv. mesenterica cranialis et caudalis wurden ebenfalls ligiert und durchtrennt. Der Magen wurde von allen Befestigungen vorsichtig gelöst und zusammen mit der Leber, der Milz und dem Pankreas exentriert.

In den anderen fünf Tieren wurde der GIT komplett und ohne Trennung des Magens und Darmes herausgenommen. Dafür wurde die Haut rund um den Anus und bei den weiblichen Tieren um die Vulva kreisförmig inzidiert und die kompletten Eingeweide des Beckens vorsichtig herausgeschält. Die Ligatur und Durchtrennung des Oesophagus und der Gefäße erfolgte wie oben beschrieben und die kompletten Eingeweide des Bauch- und Beckenraumes exklusiv der Nieren wurden im Ganzen herausgenommen.

3.2.1.2 Fixierung der Tierkörper/ Organe

Fixierung des gesamten Tierkörpers mittels Ethanolinjektion

Das arterielle System von vier der Tiere wurde nach der Euthanasie mit 0,1 l/kg einer Lösung bestehend aus 96%igem Ethanol, verdünnt mit der gleichen Menge Wasser,

injiziert. Als Injektionsstelle wurde die rechte Arteria carotis communis auf Höhe des Processus transversus des 6. Halswirbels gewählt. In diesem Bereich liegen die V. jugularis und die A. carotis communis nebeneinander und die Haut ist etwas dünner als im übrigen Halsbereich (Fowler und Bravo, 2010e). Die Haut über der Punktionsstelle wurde mit einem parallel zu den Gefäßen verlaufenden, 3-4 cm langen Schnitt eröffnet und die Arterie vorsichtig freigelegt, wobei darauf geachtet wurde, dass keine umliegenden Strukturen oder gar das Gefäß selbst beschädigt wurde. Kranial und kaudal der Injektionsstelle wurde jeweils eine Paketschnur unter der Arterie durchgezogen und ein chirurgischer Knoten vorgelegt, um das Gefäß direkt nach der Injektion doppelt zu ligieren. Die Injektion wurde maschinell mittels einer Pumpe bei einem Druck von 1,7 bar und einer Frequenz von 120 Kolbenhüben pro Minute durchgeführt. Die Injektion wurde bei dem Austritt von rötlich-brauner, schaumiger Flüssigkeit aus beiden Nüstern - Anzeichen eines aufgrund einer geringfügigen Hyperinfusion entstandenen Lungenödems – beendet.

Die so fixierten Tiere wurden nun in einer Kühlkammer bei einer Temperatur von 4°C für mindestens zwei Tage gekühlt, um eine gleichmäßige Verteilung des Alkohols im Gewebe zu ermöglichen.

Fixierung der exenterierten Organe in Salzlake

Die exenterierten Organe wurden in einer 10%igen Salzlake (Nitrit-Pökelsalz jodiert 0,4-0,5 %, Südwestdeutsche Salzwerte AG, Heilbronn) unter Zugabe von 0,005% Formaldehyd (35% Formaldehyd, VWR BDH Prolabor® Chemicals, Fontenay-sous-Bois, France) fixiert und in dieser Lösung zwischen den Präparationseinheiten in der Kühlkammer (4°C) aufbewahrt.

3.2.1.3 Injektion des arteriellen Gefäßsystems mit roter Latexmilch

Zur Darstellung der Gefäßversorgung von Magen und Darm wurde das arterielle Gefäßsystem von drei Tieren mit roter Latexmilch (Professionell Farbtyp rot, Firma La-Gum, Elmshorn) injiziert (Tabelle 8). Als Injektionsgefäß wurde die A. carotis communis gewählt und die Injektion an der bereits oben beschriebenen Injektionsstelle (siehe Alkoholfixierung) durchgeführt. Verwendet wurden Kanülen der Größe 14Gx3-1/4“; 2,1x80mm. Die Kanülen wurden zuvor stumpf geschliffen und poliert, um zu vermeiden, dass die Gefäßwand beschädigt wird. So ließ sich verhindern, dass an zusätzlichen Stellen Injektionsmedium austrat. Außerdem wurde die Kanüle im Gefäß mithilfe eines chirurgischen Knotens festgebunden. In einem

der adulten Tiere wurde die rechte A. femoralis ligiert, in dem anderen sowohl die rechte als auch linke A. femoralis, um genug Druck zu erzeugen, damit die Latexmilch auch die kleinsten Gefäße der Magen- und Darmwand erreicht. Die A. carotis communis wurde mit einer 2-3 mm langen Inzision mithilfe eines Skalpells eröffnet und die Kanüle in Richtung Herz geschoben. Nun wurde die Latexmilch mit 20 ml Einwegspritzen mit gleichmäßigem Druck per Hand injiziert. Eine Hilfsperson hielt jeweils eine mit Latexmilch frisch aufgezogen Spritze bereit, um ein möglichst gleichmäßiges Injizieren zu gewährleisten. Nach dem Entfernen der Kanüle wurde der Stichkanal mit einer 10%igen Essigsäure verschlossen. Nach der Injektion wurden die Tiere für sieben Tage auf 4°C heruntergekühlt, damit die Latexmilch aushärten konnte.

Im Anschluss wurden die Tiere, wie oben beschrieben präpariert und exentriert. Zur besseren Dokumentation und Sichtbarkeit der Gefäße wurde die Gefäßwand der großen Gefäße entfernt, da diese zu stark war, als dass die Latexmilch ausreichend durch die Gefäßwand durchscheinen konnte.

Tabelle 8: Tiere, die für die Teiluntersuchung verwendet wurden (n=3).

Alpakarasse	Geschlecht	Alter	Gewicht	Volumen der injizierten Latexmilch
Huacaya	männlich	adult	72 kg	600 ml
Suri	männlich	18 Jahre	40 kg	600 ml
Huacaya	männlich	19 Tage	ca.10 kg	100 ml

3.2.1.4 Herstellung von Gefrierpräparaten

Zur 3-dimensionalen Darstellung der beiden Säckchen-Regionen des C1 und des C2, wurde das exentrierte C1 und C2 vollständig entleert und von Ingesta-Resten gereinigt (Tabelle 9). Danach wurden die beiden Kompartimente von dorsal großflächig eröffnet und über einem Eimer so aufgespannt, dass die Säckchenregionen nach unten durchgingen (*Abb. 3*).

Tabelle 9: Tiere, die für die Teiluntersuchung verwendet wurden ($n = 1$).

Alpakarasse	Geschlecht	Alter	Gewicht
Huacaya	weiblich	3,5 Jahre	55kg



Abb. 3: Vorbereitung zur Fixation des C1 (Säckchen des kaudalen Sackes) und C2.

Eine 5%ige Formaldehyd-Wasserlösung (35% Formaldehyd VWR BDH Prolabor® Chemicals, Fontenay-sous-Bois, France) wurde nun zuerst in die Säckchen der verschiedenen Regionen gefüllt, sodass diese vollständig entfaltet und ausgestülpt wurden. Danach wurde der Eimer soweit mit der Formaldehyd-Wasserlösung aufgefüllt, dass die mit der Lösung gefüllten Säckchen auch von ihrer Außenseite mit dem Fixationsmedium in Kontakt kamen. Der Eimer wurde allerdings nur soweit aufgefüllt, dass der Formaldehyd-Wasser-Spiegel des Eimers unterhalb des Spiegels innerhalb der Säckchen blieb. So konnte gewährleistet werden, dass die Säckchen komplett ausgestülpt und nicht aufgetrieben wurden. In dieser Position wurden das C1 und C2 für drei Tage im Fixationsmedium fixiert. Das fixierte Präparat wurde nun in ein mit Wasser gefülltes Gefäß verbracht und bei -18°C gefroren. Im nächsten Schritt wurde der gefrorene Block mithilfe einer Bandsäge in verschiedene Schnitte gesägt (Abb. 4).



Abb. 4: Schnitfführung des gefrorenen Präparat-Wasser-Blockes (Säckchenregion des kaudalen Sackes von C1 und C2).

3.2.1.5 Fotografische Dokumentation

Die jeweiligen Schritte der Präparationen wurde mit einer digitalen Spiegelreflexkamera des Modells Olympus® Digital ED mit einem Olympus® Zuiko Digital ED 14-42mm f3.5-5.6 Objektiv, sowie einem Olympus® Zuiko Digital 35 mm f3,5 Makroobjektiv, fotografisch dokumentiert. Um die Größenverhältnisse korrekt angeben zu können, wurde jedes Motiv mit einem Lineal mit Zentimeter und Millimeterangaben fotografiert.

Um die Entstehung von Glanzlichtern weitestgehend zu vermeiden, wurden für die jeweiligen Objektive die entsprechenden Polfilter (hama® PL CIR Ø 58 (IV) und Ø52) benutzt. Für Fotos unter dem stationären Stativ wurden aus dem gleichen Grund zusätzlich Polarisationsfolien eingesetzt. Die Tierkörper/Organe wurden für die fotografische Dokumentation auf einer schwarzen, matten Teichfolie positioniert, um eine spätere Nachbearbeitung am Computer zu erleichtern.

Die Speicherung der Bilder erfolgte zunächst als JPEG- Datei auf einer Speicherkarte (Compact Flash SanDisk Ultra® II 2.0 GB, SanDisk®). Zur späteren Bearbeitung wurden sie auf einen Computer übertragen.

3.2.1.6 Bearbeitung der Fotos mit Photoshop

Für eine Nachbearbeitung der Fotos wurde das Bildbearbeitungsprogramm Adobe® Photoshop® CS5.1 verwendet. Die Nachbearbeitung umfasste das Erstellen eines einheitlichen schwarzen Hintergrundes, das Einfügen eines Messbalkens sowie von Beschriftungen/Nummerierungen, das Ausgleichen lichtbedingter Verfärbungen der

Fotos, sowie die Korrekturen kleiner Präparationsfehlern (z.B. das Entfernen von Haaren, kleinen Schmutzpartikeln oder Glanzlichtern).

4 Ergebnisse

4.1 Anatomie des Magens (Ventriculus, Gaster)

4.1.1 Morphologie und Topographie

Der Magen des Alpakas ist ein mehrhöhliger Magen und besteht aus drei Kompartimenten (Abb. 5).

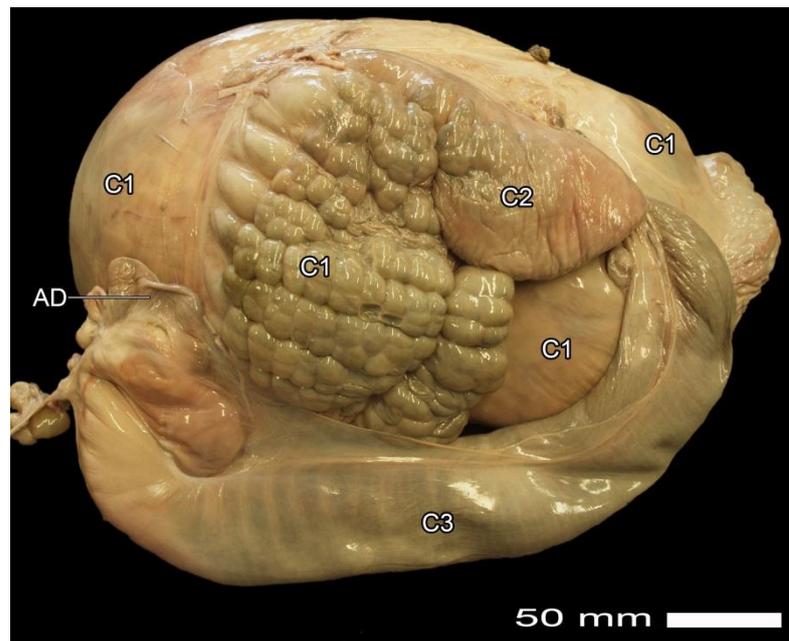


Abb. 5: Magenkompartimente einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute (Lateralansicht von rechts).

AD - Ampulla duodeni; C1 - Kompartiment 1; C2 - Kompartiment 2; C3 - Kompartiment 3

4.1.1.1 Kompartiment 1

Topographie und äußere Morphologie des C1

Das C1 war die weitaus größte Abteilung des Vormagens. Auf der Bauchdecke liegend, nahm es nahezu die komplette, linke Bauchhöhenseite ein und erstreckte sich bis über die Mediane hin in Richtung rechter Bauchwand. Von dieser wurde es größtenteils durch die Leber, das C2 und C3 und das große Netz getrennt. Es reichte von der Zwerchfellkuppel im 6.-7. Interkostalraum bis auf die Höhe des 4.-5. Lendenwirbels. So kam die kraniale Hälfte des C1 intrathorakal zu liegen. Kaudal grenzte es vor allem an Dünn- und Dickdarmschlingen und bei einzelnen Tieren an

die Milz. Das sackartige, abgeplattete C1 besaß eine der linken und ventralen Bauchwand zugewandte Fläche (Facies parietalis) und eine der Leber, dem C2, C3 und dem Darm anliegende Fläche (Facies visceralis).

Kranial schmiegte sich das C1 mit seiner Extremitas cranialis dem Zwerchfell und dem rechtsdorsal liegenden C2 an, kaudal mit seiner Extremitas caudalis den Darmschlingen des Dün- und Dickdarms. Seine dorsale Krümmung (Curvatura dorsalis) grenzte an die Zwerchfellpeiler und die Muskulatur der Lendenwirbelsäule. Die Curvatura ventralis ruhte auf der Bauchdecke. *Abb. 6, Abb. 7, Abb. 8* zeigen die Topographie der Bauchorgane von der linken und rechten Lateralansicht, sowie von der ventralen Ansicht. In *Abb. 6* wurde der Rippenbogen zur besseren Orientierung stehen gelassen.

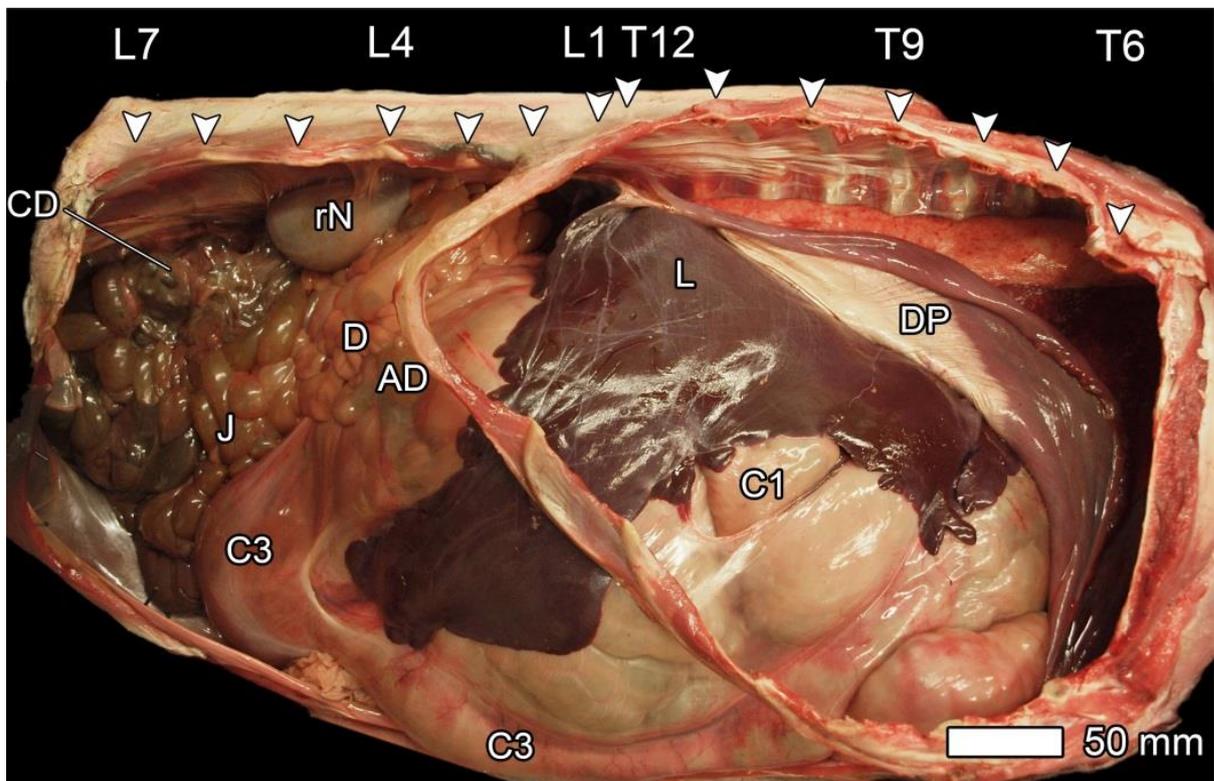


Abb. 6: Darstellung der Bauchorgane einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute mit intaktem Rippenbogen (Lateralansicht von rechts).

AD - Ampulla duodeni; C1, C3 - Kompartimente 1, 3; CD - Colon descendens; D - Duodenum; DP - Diaphragma; J - Jejunum; L1, L4; L7 - Lendenwirbel 1, 4, 7; rN - rechte Niere; T6, T9, T12 - Thorakalwirbel 6, 9, 12

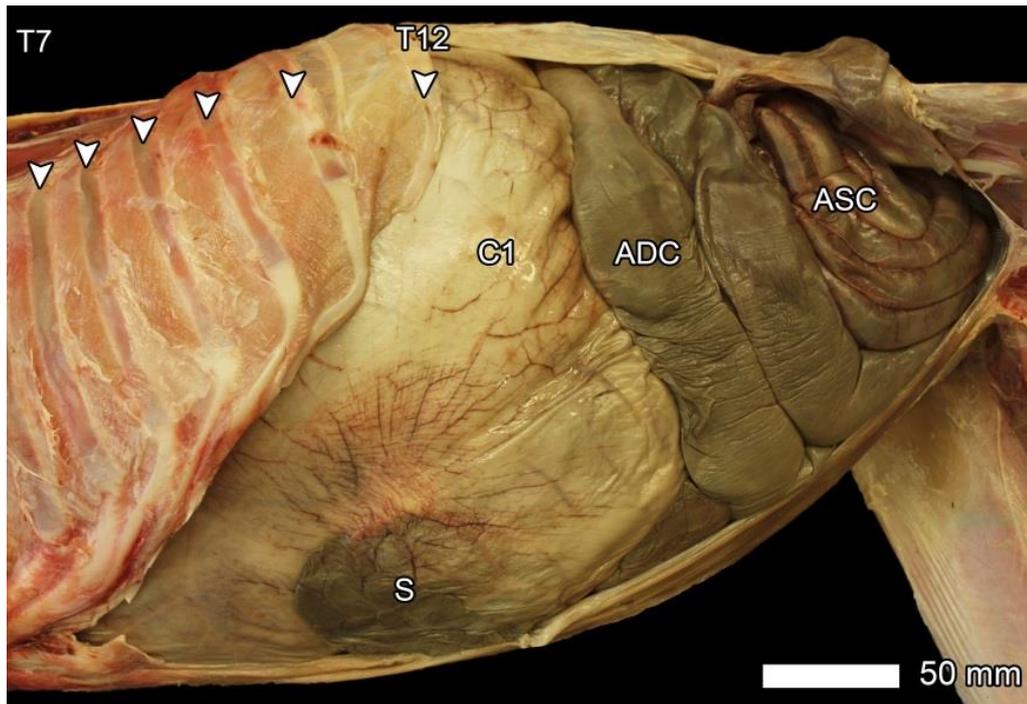


Abb. 7: Darstellung der Bauchorgane einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute (Lateralansicht von links).

ADC – Ansa distalis coli; ASC – Ansa spiralis coli; C1 – Kompartiment 1; S – ventrale Säckchen des Saccus caudalis des C1; T7, T12 – Rippen 7,12

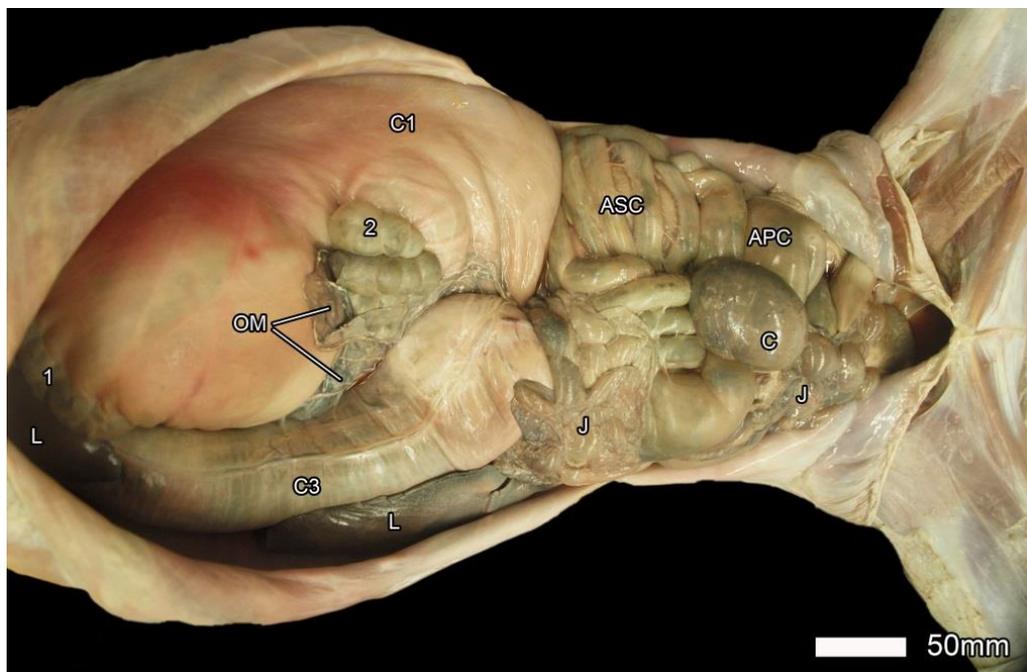


Abb. 8: Darstellung der Bauchorgane einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von ventral).

APC – Ansa proximalis coli; ASC – Ansa spiralis coli; C1, C3 - Kompartiment 1, 3; C – Caecum; J – Jejunum; L – Leber; OM – Omentum majus

1 Säckchen des Saccus cranialis des C1; 2 Säckchen des Saccus caudalis des C1

Eine äußerlich sichtbare, ventral liegende Kranzfurche (Sulcus coronarius ventralis) unterteilte das C1 in einen kleineren kranialen Sack (Saccus cranialis) und einen hier größeren kaudalen Sack (Saccus caudalis). Diese Kranzfurche war auf die ventrale Hälfte des C1 begrenzt, sodass die Curvatura dorsalis das C1 ohne eine Einziehung kuppelförmig überspannte.

Die Kardiala befand sich auf der dorsalen Oberfläche des kranialen Sackes des C1, etwas mehr auf die rechte Seite gerückt, auf Höhe der ventralen Kranzfurche. In *Abb. 9* sind die Facies parietalis und visceralis mit ihren jeweiligen Strukturen dargestellt. Die Längsachse des C1 lag in der Längsachse der Tiere und maß eine Länge von ca. 0,5m.

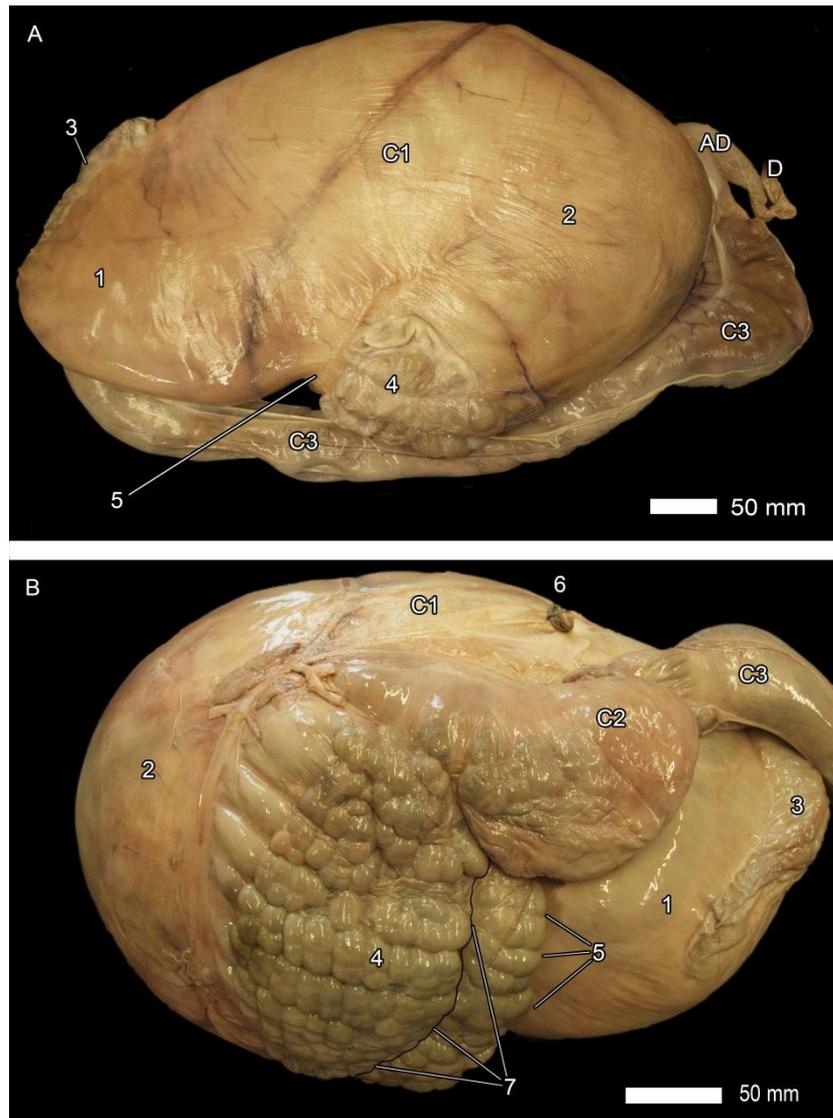


Abb. 9: A) Facies parietalis des Kompartiment 1 einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute; B) Facies visceralis des C1 einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute. Die Ansatzlinie des großen Netzes wurde mit einer schwarzen Linie nachgezogen.

AD – Ampulla duodeni; C1, C2, C3 – Kompartiment 1, 2, 3; D – Duodenum; 1 Saccus cranialis; 2 Saccus caudalis; 3 Säckchen des Saccus cranialis; 4 Säckchen des Saccus caudalis; 5 Sulcus coronarius ventralis; 6 Kardial; 7 Ansatzlinie des Omentum majus

Eine nach außen hervorgewölbte Region (Abb. 10), die durch tiefe Einziehungen in Säckchen unterteilt wurde, erstreckte sich von der Facies visceralis bis auf Bereiche der ventralen Facies parietalis des kaudalen Sackes des C1. Die Region war von mehr oder weniger dreieckiger Gestalt, wobei ihre etwa 17 cm breite Basis in Richtung der dorsalen Krümmung des C1 zeigte. Kranial begannen die Säckchen 6-7 cm ventral der Kardial, unmittelbar kranial des Überganges von C1 zu C2. Die schmalere „Spitze“ der dreieckigen Region zog entlang der Ventralseite des C1 und

erreichte mit der letzten Reihe der Drüsensäckchen die linke Bauchwand. Kranial wurde diese Säckchenregion durch den Sulcus coronarius ventralis begrenzt. Von diesem aus zogen nahezu rechtwinklig 13 tief einschneidende Primärfurchen kaudal. Die Primärfurchen wiederum wurden von dorsoventral verlaufenden, ebenfalls tief einschneidenden Sekundärfurchen geteilt. In einigen Säckchen wurden weitere Unterteilungen durch seichte Tertiärfurchen angedeutet (Abb. 11). Durch die Säckchenregion zog von kraniodorsal nach kaudoventral in schrägem Verlauf die Ansatzlinie des großen Netzes. Kranial der Ansatzlinie befanden sich von dorsal nach ventral 13 Säckchen-Reihen und kaudal davon 14 Säckchen-Reihen. Die Säckchen kranial der Ansatzlinie waren größer und weniger unterteilt als die Säckchen kaudal davon und lagen außerhalb der Bursa omentalis des Omentum majus, während die kranialen innerhalb des Netzbeutels lagen.

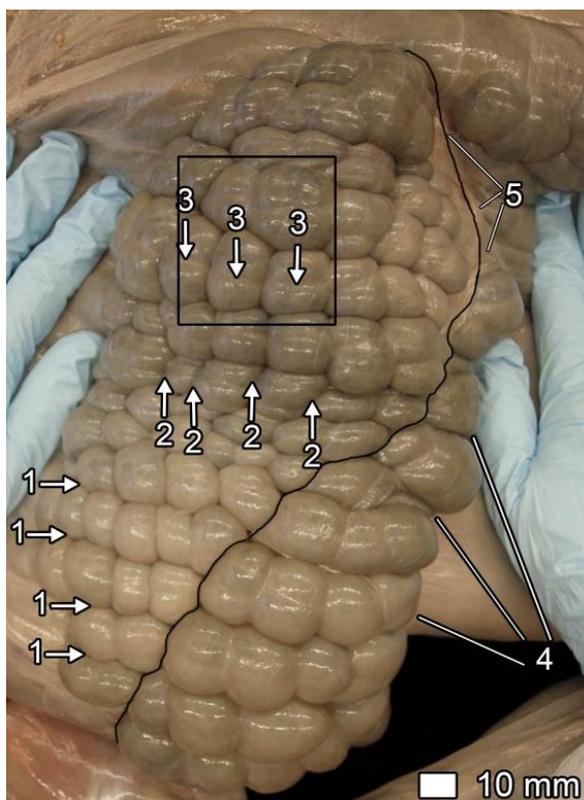


Abb. 10: Säckchen des Saccus caudalis des C1 einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute. Die Ansatzlinie des großen Netzes wurde mit einer schwarzen Linie nachgezogen.

- 1 Primärfurchen;
- 2 Sekundärfurchen;
- 3 Tertiärfurchen;
- 4 Sulcus coronarius ventralis;
- 5 Ansatzlinie des Omentum majus

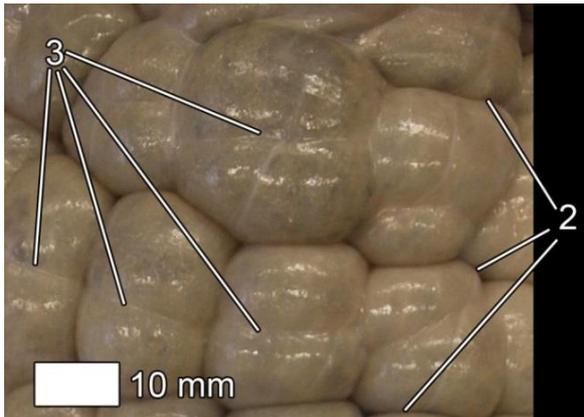


Abb. 11: Detailansicht aus Abb. 10.

2 Sekundärfurchen

3 Tertiärfurchen

Im ventralen Bereich der Extremitas cranialis des C1 befand sich eine weitere, hervorgewölbte Region, die bandartig von rechts nach links zog (Abb. 12). Sie maß in ihrer Längsachse ca. 30 cm und variierte in ihrer Breite von 2-10 cm. Seichte Einziehungen deuteten ebenfalls einzelne Abteilungen an. Diese waren von außen jedoch nicht als einzelne Säckchen abgrenzbar.

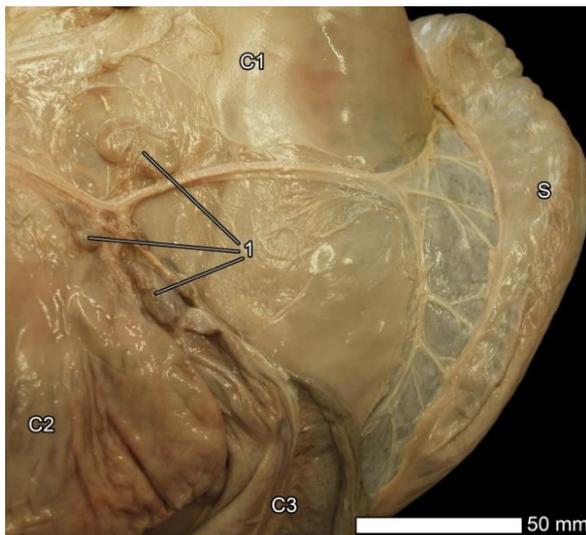


Abb. 12: Dorsale Ansicht des Saccus cranialis einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute.

C1 - Kompartiment 1;

C2 - Kompartiment 2;

C3 - Kompartiment 3;

S - Säckchen des Saccus cranialis;

1 NII. gastrici

Innere Einrichtung des C1

Die Innenauskleidung des C1 wurde durch drei hervorstechende Strukturen bestimmt. Dies waren die Öffnungen zu den Säckchen im kranialen und kaudalen Sack und der kräftige, ventrale Muskelbalken, der dem äußerlich sichtbaren Sulcus coronarius ventralis entsprach und C1 in einen kranialen und kaudalen Sack unterteilte (Abb. 13). Dieser 20–30 mm breite Kranzpfleiler (Pila coronaria) stellte einen dorsal offenen Halbkreis dar. Auf der linken Seite des C1 verschmolz er etwas unterhalb der Mitte mit der lateralen C1-Wand. Auf der rechten Seite zog er deutlich

weiter dorsal und bildete die linke und dorsale Begrenzung der Öffnung zum C2 und endete beim Erreichen der Magenrinne, auf die er dorsal des C2 und ventral der Kardie traf (Abb. 23). Der Pfeiler entließ 14 primäre ca. 0,5 cm breite Muskelbalken, die nahezu rechtwinklig aus ihm entsprangen und nahezu parallel nach kaudal verliefen, dort schmaler und flacher wurden und schließlich mit der Magenwand verschmolzen. Der am weitesten dorsal liegende Primärbalken entsprang unmittelbar ventral der Öffnung zu C2 aus dem Kranzpfeiler und spaltete sich in 3 Arme auf. Der dorsale Arm zog in das C2 und dort zur großen Krümmung des C2. Zwischen den Primärbalken verliefen rechtwinklige, deutlich schmalere, dorsoventral verlaufende Sekundärbalken in parallelen Reihen. Diese wurden zum Teil durch noch schmalere Tertiärbalken weiter unterteilt, die wiederum parallel zu den Primärbalken verliefen. Das Zusammenspiel dieser Balken bildete Öffnungen, die in die wabenartigen Drüsensäckchen in die Tiefe führten (Abb. 14). Dabei entsprachen die von außen sichtbaren Einziehungen (Primär-, Sekundär- und Tertiärfurchen) den innen liegenden Primär-, Sekundär- und Tertiärbalken. Die Ansatzlinie des großen Netzes war von innen nicht ersichtlich.

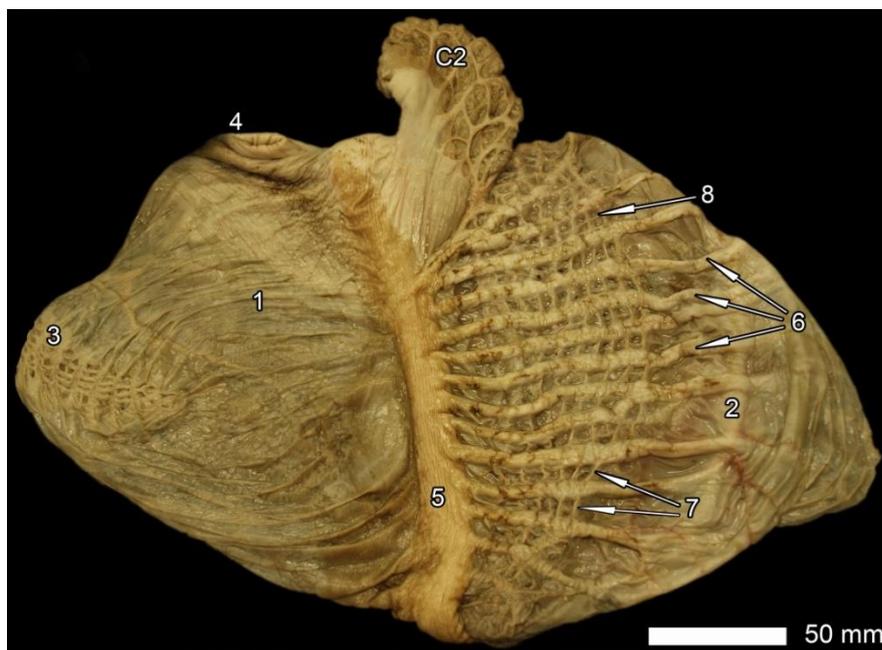


Abb. 13: Ansicht der Facies visceralis des C1 und C2 von innen einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute. C1 und C2 wurden im Ganzen umgestülpt.

C2 – Kompartiment 2

1 Saccus cranialis des C1; 2 Saccus caudalis des C1; 3 Säckchen des Saccus cranialis des C1; 4 Kardie, 5 Pila coronaria; 6 Primärbalken; 7 Sekundärbalken; 8 Tertiärbalken

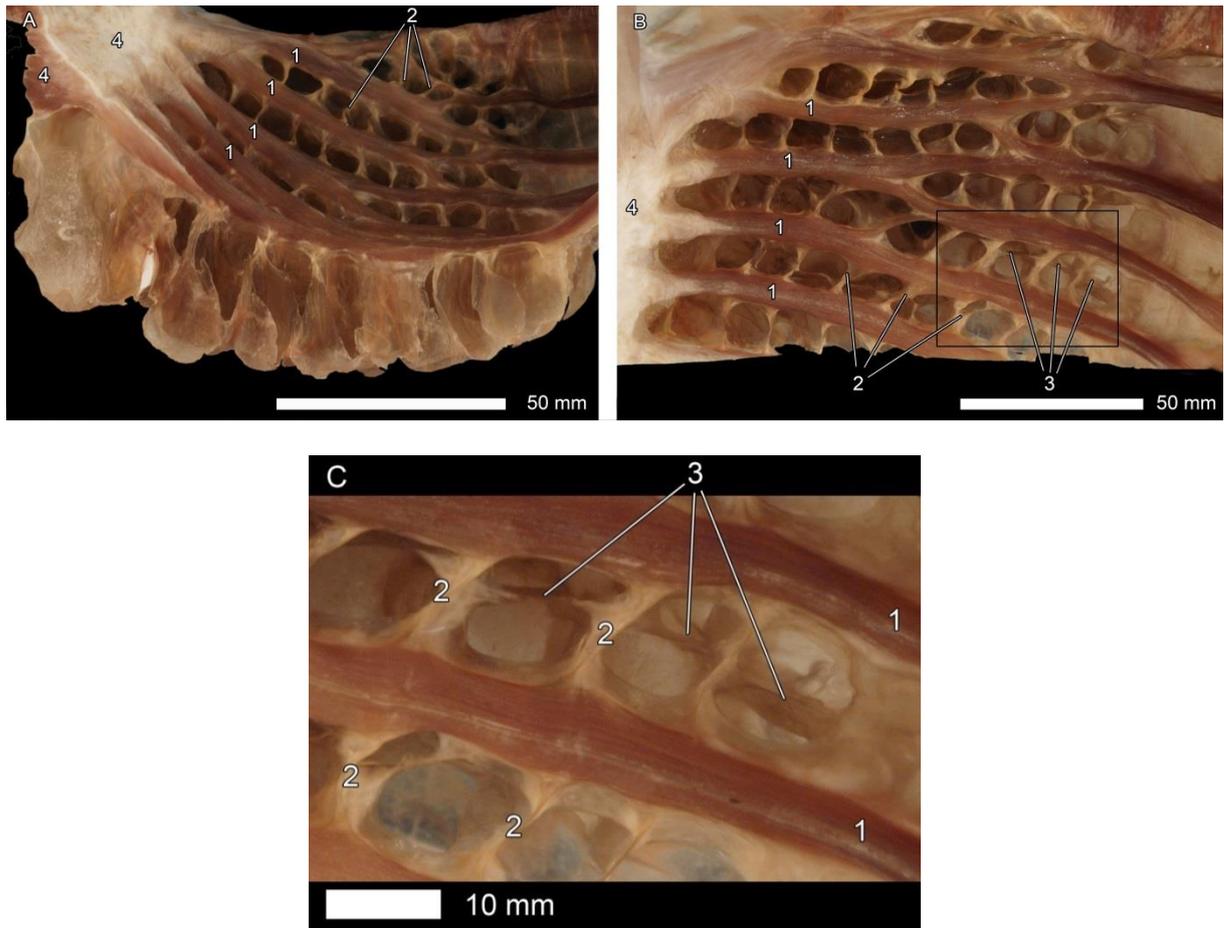


Abb. 14: Gefrierpräparat der Säckchen des Saccus caudalis des C1. A) schräge Ansicht mit Anschnitt der Säckchen; B) Aufsicht auf die Öffnungen der Säckchen (A und B einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute); C) Detailansicht aus Bild B.

1 Primärbalken; 2 Sekundärbalken; 3 Tertiärbalken; 4 Pila coronaria

Die Öffnungen zu den Säckchen im kranialen Sack des C1 wurden auf ähnliche Weise durch Muskelbalken gebildet. Diese waren jedoch von schmalere Gestalt als die des kaudalen Sackes. Kaudodorsal der bandartigen Säckchenregion verlief von rechts nach links ein nach dorsal konvexer Muskelbalken und bildete jeweils die äußerste Begrenzung rechts und links dieser bandartigen Säckchenregion. Von diesem Muskelbalken entsprangen von dorsal nach ventral verlaufende Primärbalken, die sich zum Teil, von Tier zu Tier unterschiedlich, in zwei Äste aufgabelten. Von den Primärbalken ausgehend, gliederten nahezu rechtwinklig und parallel verlaufende Sekundärbalken die Oberfläche weiterhin. Auch in diesem Bereich unterteilten noch schmalere Tertiärbalken einige der Öffnungen in noch kleinere Öffnungen. So bestand in der Längsachse dieser Säckchenregion eine unterschiedliche Anzahl an Reihen von Öffnungen (Abb. 15). In den in dieser Studie

untersuchten Tieren befanden sich in der Längsachse 18-24 Reihen von Öffnungen. Die Breite dieses bandartigen Bereiches verjüngte sich nach rechts und links und so befanden sich an den äußeren Randbereichen jeweils 2-3 Öffnungen hintereinander (individuell je nach Tier), während es in der Mitte 4–8 waren.

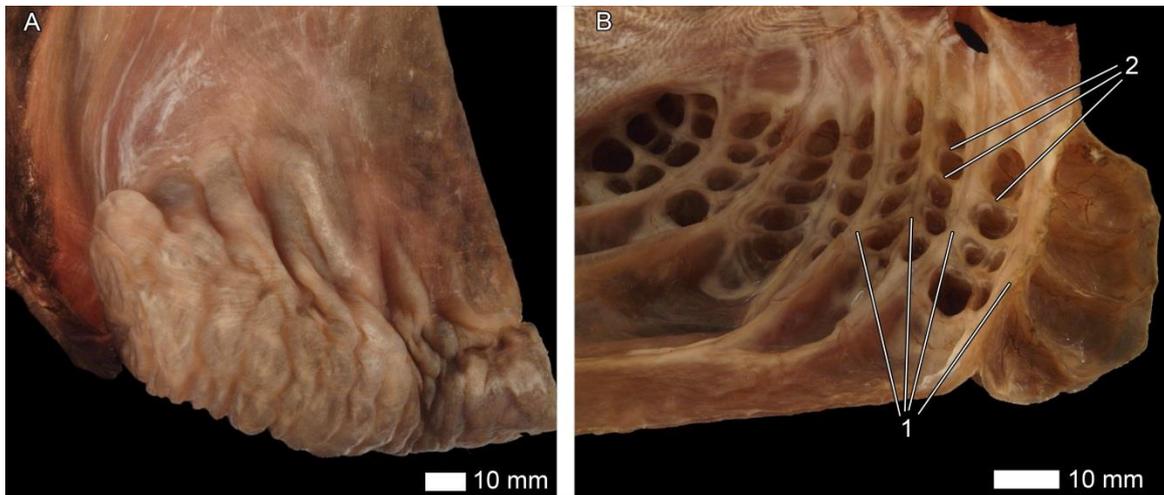


Abb. 15: Gefrierschnitt der Säckchen des Saccus cranialis des C1. A) Ansicht von außen; B) Ansicht von innen mit Anschnitt der Säckchen (A und B einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute).

1 Primärbalken; 2 Sekundärbalken

Die Muskelbalken dienten nicht nur der Begrenzung der Öffnungen zu den Säckchen, sondern führten jeweils ein Gefäß. Außerhalb der Säckchenregionen war das C1 von einer glatten, zottenfreien Schleimhaut, die in verschiebbare Falten gelegt war, ausgekleidet.

4.1.1.2 Kompartiment 2

Topographie und äußere Morphologie des C2

Das kleinste Kompartiment, das C2, befand sich kraniodorsal auf der rechten Seite des C1 und war von nierenförmiger Gestalt (Abb. 9). Es erstreckte sich in seiner Längsachse entlang der 7.-9. Rippe. Der Zugang zum C2 war im rechten kranialen Aspekt des kaudalen Sackes des C1 gelegen. Es lag so unmittelbar kranial der kaudalen Säckchenregion des C1 und erstreckte sich bis auf die Höhe der Extremitas cranialis des C1. Seine Organwand war von außen glattwandig und ohne Einziehungen. Dieser Magenabschnitt grenzte mit seiner rechten Seite an die nach rechts verdrängte Leber und mit seiner linken Seite an das C1. Dorsal war eine

kleine Krümmung (*Curvatura minor*) und ventral eine große Krümmung (*Curvatura major*) zu erkennen. Zum kranialen Ende verjüngte sich das C2 deutlich und endete mit dem Beginn des engen, röhrenförmigen Verbindungsstückes zum C3. Dieser 7 cm lange und 3 cm durchmessende Kanal verband das C2 mit dem C3.

Innere Einrichtung des C2

Die weitleumige, ca. 7 cm hohe und 4 cm breite Öffnung des C1 zum C2 lag kraniodorsal der Säckchenregion des kaudalen Sackes des C1 und knapp 6 cm ventral der Kardialia. Die linke Begrenzung der Öffnung wurde durch den ventralen Kranzpfiler gebildet

Die *Curvatura minor* wurde von einer glatten Schleimhaut ausgekleidet und beherbergte die Magenrinne (*Sulcus ventriculi*). Vom linken Rand der kleinen Kurvatur entsprangen 5-6 primäre Muskelbalken, die in zirkulärem Verlauf entlang der großen Kurvatur verliefen und auf der rechten Seite der kleinen Kurvatur wieder endeten. Zweige des am weitesten kaudal liegenden Primärbalkens des C2 verschmolzen mit Zweigen des am weitesten dorsal liegenden Armes des ersten Primärbalkens der Säckchenregion im kaudalen Sack des C1 (*Abb. 16*).

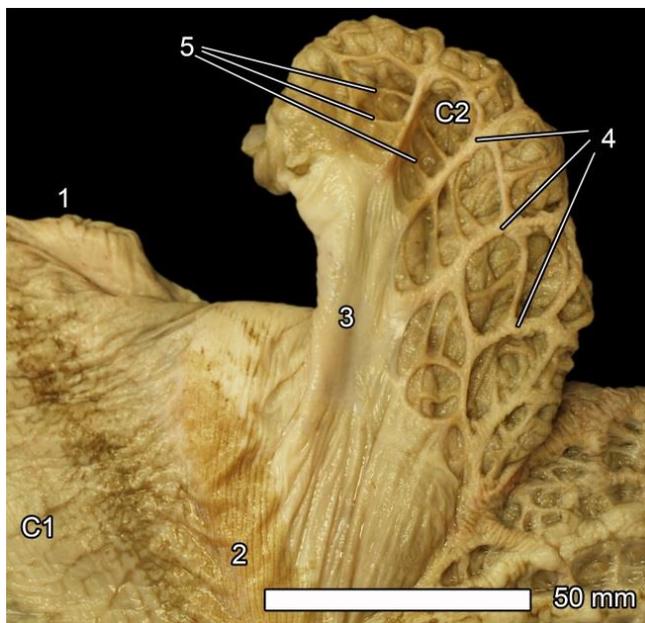


Abb. 16: Ansicht des C2 von innen einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute

- C1 – Kompartiment 1;
- C2 – Kompartiment 2;
- 1 Kardialia;
- 2 Pila coronaria;
- 3 *Curvatura minor* des C2;
- 4 Primärbalken;
- 5 Sekundärbalken

Von diesen Muskelbalken zweigten sekundäre und tertiäre Balken ab und gliederten die Öffnungen in ein wabenartiges System. Die Waben wurden in der Tiefe durch weitere Schleimhautfalten gekammert. Die Schleimhaut der Balken und Waben

entlang der großen Krümmung waren von zahlreichen kleinen Papillen besetzt (Abb. 17).

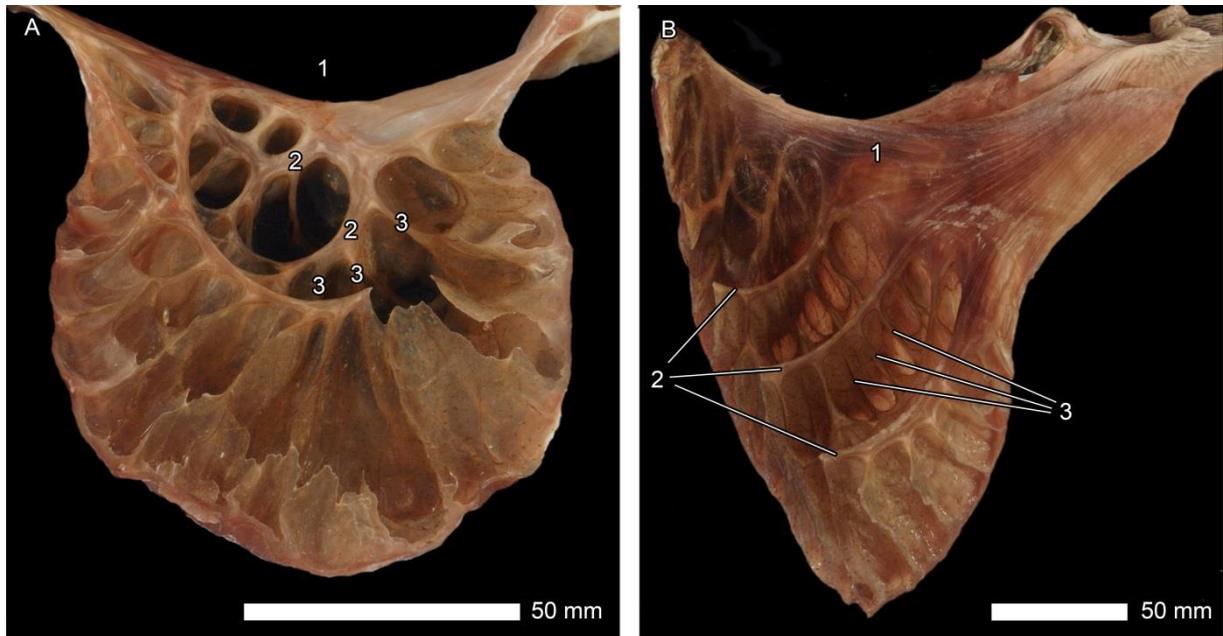


Abb. 17: Gefrierschnitte des C2. A) Querschnitt; B) C2 längs und quer geschnitten (A und B einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute)

1 Curvatura minor; 2 Primärbalken; 3 Sekundärbalken

4.1.1.3 Kompartiment 3

Topographie und äußere Morphologie des C3

Das schlauchförmige C3 zeigte die Form eines langgezogenen Organs, mit einer ventralen großen Krümmung (Curvatura major) und einer dorsalen kleinen Krümmung (Curvatura minor). Es bildete direkt nach dem Verbindungskanal eine sackartige Erweiterung, die nach kranioventral zog und dann nach kaudal in einen langen und geraden Teil umbog. Dieser gerade Teil maß einen Durchmesser von 6 cm. Distal bildete es auf Höhe des 5. Lendenwirbels im Bereich der Extremitas caudalis des C1 eine zweite Erweiterung, die sich S-förmig wieder nach kranial einrollte (Abb. 18). Mit seiner Facies visceralis lag es links dem C1 an und mit seiner Facies parietalis grenzte es kranial an das Zwerchfell, ventral an die ventrale Bauchdecke und rechts an die Leber und die rechte Bauchwand. Es erstreckte sich über die gesamte Länge des C1. Dorsokranial der S-förmigen Krümmung befand sich die Öffnung zum Duodenum, das Ostium pyloricum.

Im Bereich der präterminalen Flexur schoben sich bei einigen Tieren Schlingen des Duodenums zwischen das C3 und die rechte Bauchwand, bei den anderen waren sie ausschließlich kaudal des C3 lokalisiert. Auf der Dorsalseite des C3 verliefen zwei parallele Serosafalten, die Gefäße und Lymphknoten führen. Eine weitere zog mittig auf der Ventralseite entlang.

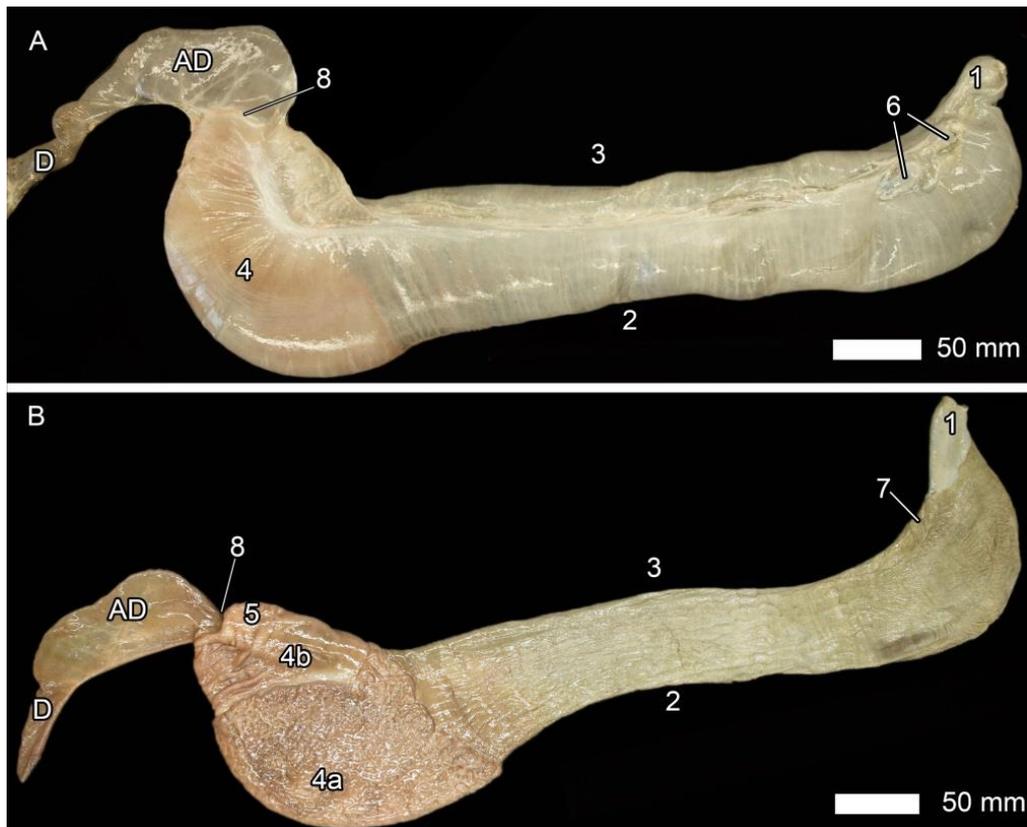


Abb. 18: A) Ansicht der Facies parietalis des C3 von außen; B) Ansicht der Facies parietalis von innen (A und B einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute).

AD – Ampulla duodeni; D – Duodenum

1 Verbindungskanal zwischen C2 und C3; 2 Curvatura major; 3 Curvatura minor; 4 präterminale Flexur des C3; 4a Bereich der Foveolae gastricae; 4b Pars pylorica; 5 Torus pyloricus; 6 Nil. gastrici des C3; 7 – flache Waben entlang der kleinen Kurvatur; 8 Ostium pyloricum

Innere Einrichtung des C3

Das C3 wurde von einer glatten Schleimhaut ausgekleidet, die in den verschiedenen Abschnitten des C3 unterschiedlich angeordnet war (Abb. 18; Abb. 19). Sie war zur Schleimhaut des Verbindungskanals makroskopisch deutlich sichtbar durch eine dunklere Farbe und zunehmende Dicke abgesetzt. Direkt distal des Kanals in der

kleinen Krümmung des C3 befanden sich einige sehr flache Schleimhautleisten, die mehrere Waben andeuteten.

In der großen Krümmung und auch distal der Waben in der kleinen Krümmung bildete die Schleimhaut parallele, längs verlaufende, ca. 1 mm hohe Fältchen. Kurz vor der kaudalen Aussackung des C3 endeten die Schleimhautfältchen abrupt entlang eines bogenförmigen und wulstigen Randes, der rings um die Zirkumferenz des C3 verlief. Ab diesem Rand verdickte sich die Schleimhaut deutlich und war von zahlreichen grubchenartigen Vertiefungen, den Foveolae gastricae, gekennzeichnet. Die mit den Foveolae durchsetzte Schleimhaut erstreckte sich in der kleinen Krümmung nur auf einen ca. 1 cm breiten Bereich, während sie in der großen Krümmung eine deutlich ausgedehntere Fläche einnahm und erst 3-4 cm proximal des Pylorus endete. Distal endete dieser Bereich wie am proximalen Ende mit einem wulstigen Rand. Die Schleimhaut distal davon, in der Pars pylorica, war wieder deutlich dünner und zeigte keine Foveolae mehr. In der kleinen Krümmung, unmittelbar proximal des Ostium pyloricum, befand sich ein kräftiger, etwa 4 cm langer und 1 cm breiter Schleimhautknopf, der Torus pyloricus (Abb. 19).

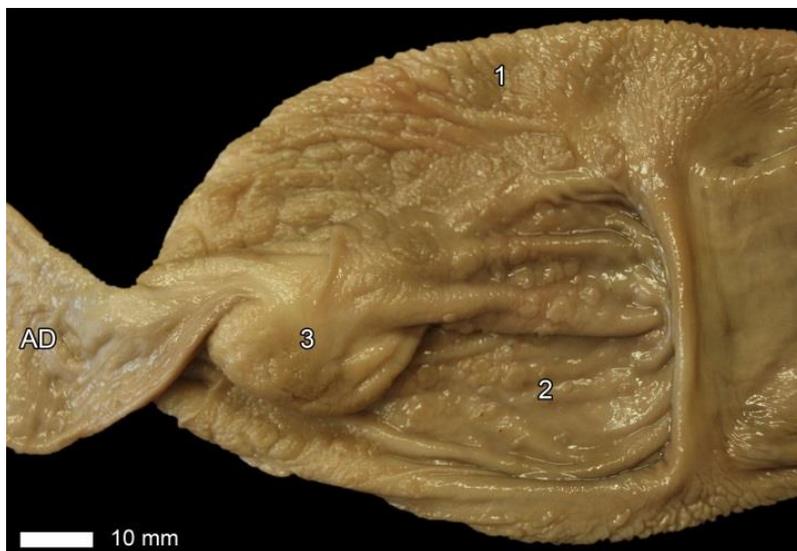


Abb. 19: Präterminale Flexur des C3 eines 6,5 Monate alten Huacaya-Alpakas (Ansicht der Innenseite von dorsal).

AD – Ampulla duodeni

1 Foveolae gastricae;

2 Pars pylorica;

3 Torus pyloricus

4.1.2 Gekröseverhältnisse

Der Magen wurde kranial durch die Einbettung des Ösophagus in das Zwerchfell, dorsal durch eine breite Verklebungszone des C1 mit dem Zwerchfell, den Zwerchfellpeilern und der linken Lendenmuskulatur und durch das Magengekröse in der Bauchhöhle fixiert.

Die dorsale Verklebungszone begann kranial rings um die Kardia und erstreckte sich kaudal bis zur Gekrösewurzel. Das Magengekröse setzte sich aus dem großen und dem kleinen Netz (Omentum majus et minus) zusammen.

Omentum majus:

Auf der linken Seite verlief die Ansatzlinie des großen Netzes auf der Facies visceralis des C1 zunächst kaudovertral und zerteilte die Säckchenregion des kaudalen Sackes in schrägem Verlauf (*Abb. 10*). Einige Säckchen-Reihen dorsal des ventralen Endes der Säckchenregion bog die Ansatzlinie wieder nach dorsal um und verlief in wiederum schrägen Verlauf nach kaudodorsal und zeigte so einen insgesamt V-förmigen Verlauf. Kaudal verlief die Ansatzlinie entlang des Milzhilus und des Colon descendens. Der kaudalste Ansatzpunkt befand sich am Colon descendens auf Höhe des Lobus pancreatis sinister. Dort wendete sich die Ansatzlinie wieder nach kranial und verlief nun auf der rechten Seite, teilweise auf der ventralen Seite der Ansa distalis des Colon ascendens inserierend, bis zur Pars descendens des Duodenum und schließlich zur großen Krümmung des C3. Entlang des C3 und C2 inserierte es flächig entlang der linken Seite der großen Krümmung und der linken Seitenfläche des C3 und C2 (*Abb. 20*). Insgesamt war das Omentum majus recht klein und der Netzbeutel (Bursa omentalis) lag zwischen C1 und C3 und den Darmschlingen und war bei der Eröffnung der Bauchhöhle zunächst nicht zu sehen.

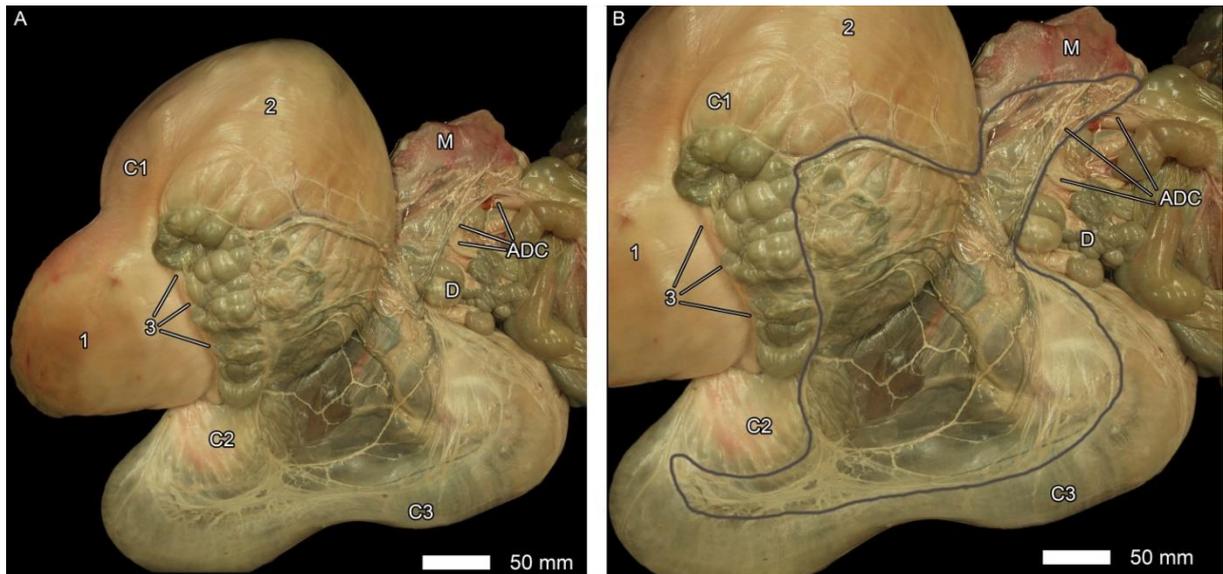


Abb. 20: Ventrale Ansicht des Omentum majus einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute (C1 nach oben geklappt).

ADC – Ansa distalis coli; C1 – Kompartiment 1; C2 – Kompartiment 2; C3 – Kompartiment 3; 3 – Sulcus coronarius ventralis D – Duodenum; M – Milz;

1 Saccus cranialis, 2 Saccus caudalis

Omentum minus:

Das kleine Netz setzte sich aus dem Ligamentum hepatogastricum und dem Ligamentum hepatoduodenale zusammen.

Das Lig. hepatogastricum war zwischen dem Verbindungskanal zwischen C2 und C3, der großen Krümmung des C3 und der Leberpforte gespannt. Kaudal ging es in das Lig. hepatoduodenale über, das zwischen dem Kranialabschnitt des Duodenum und der Leberpforte gespannt war. Durch diese Gekröseverhältnisse bedingt, kam das C2 innerhalb der Bursa supraomentalis zu liegen (Abb. 21).

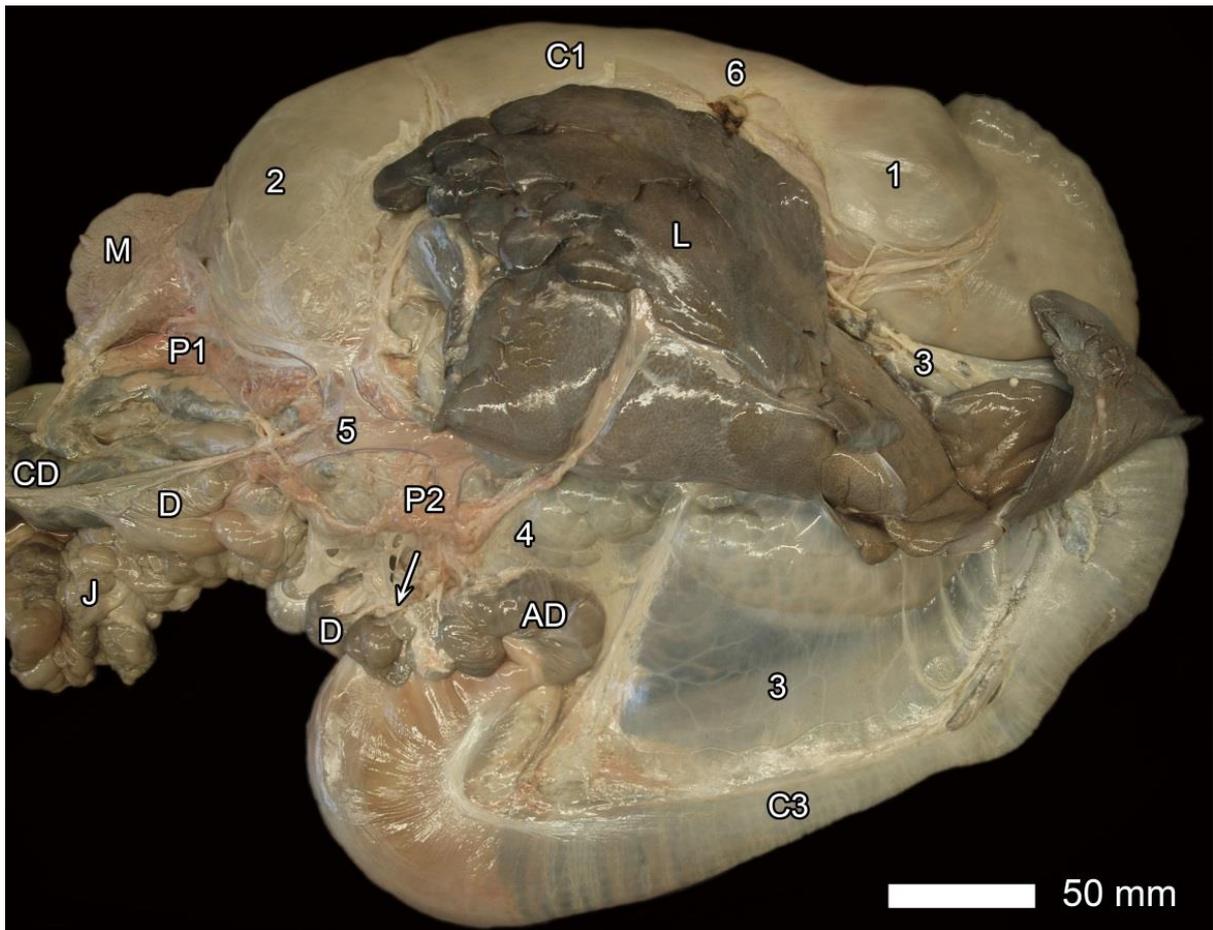


Abb. 21: Omentum minus einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von rechts).

AD – Ampulla duodeni; C1, C3 – Kompartiment 1, 3; CD – Colon descendens; D – Duodenum; J – Jejunum; L – Leber; M – Milz; P1 – Milzschenkel des Pankreas; P2 – Duodenalschenkel des Pankreas; ⇒ Ductus choledochus

1 Saccus cranialis des C1; 2 Saccus caudalis des C1; 3 Ligamentum hepatogastricum; 4 Lig. hepatoduodenale; 5 Vena portae; 6 Kardias

Im kaudalen und freien Rand des kleinen Netzes verliefen die Vena portae und der Gallengang. Die Vena portae begrenzte den kaudal der Leber liegenden Zugang zum Netzbeutel, das Foramen epiploicum, ventral. Dorsal wurde das Foramen epiploicum durch die Vena cava caudalis begrenzt. Es befand sich auf der Höhe des 1. Lendenwirbels und maß in seiner Länge 4 cm und in seiner Höhe 2 cm (Abb. 22).

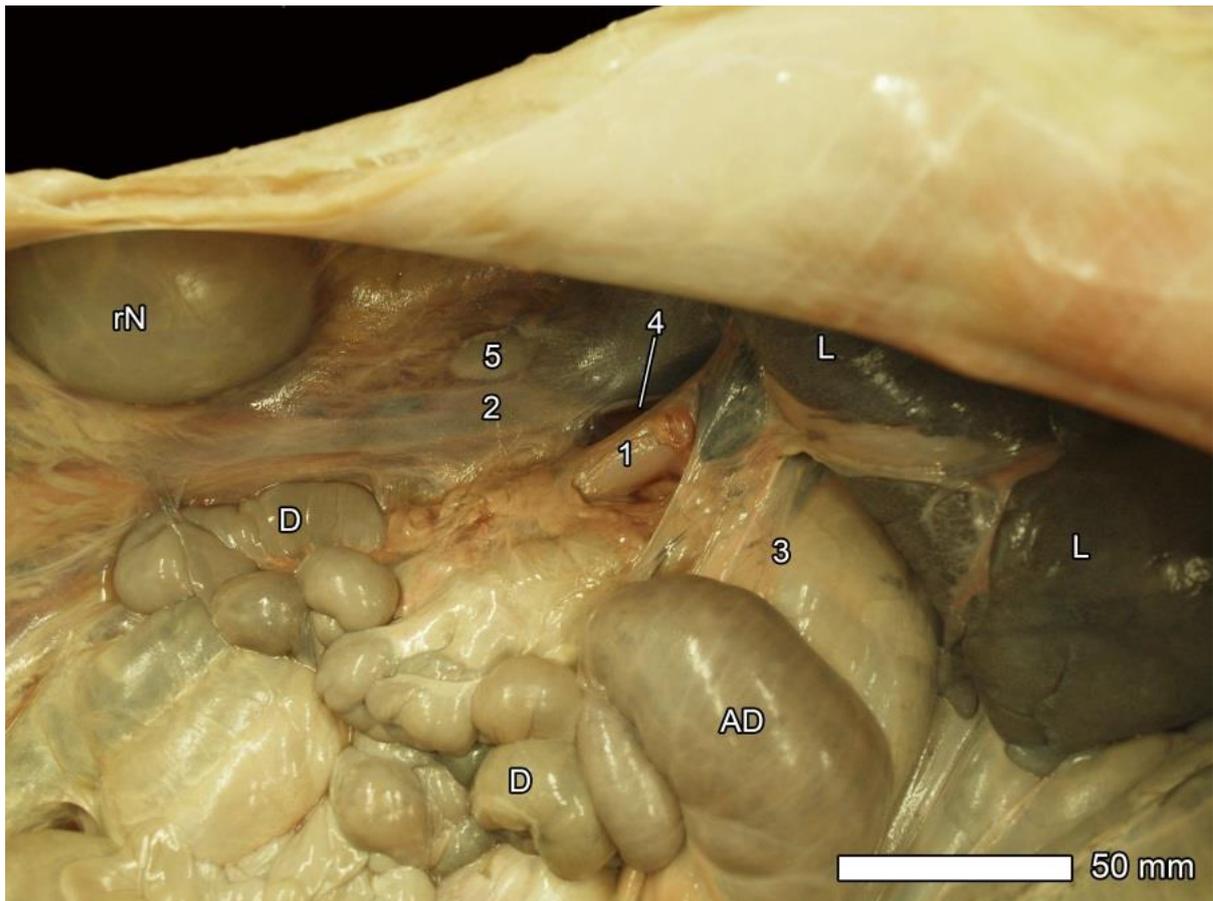


Abb. 22: Topographie des Foramen epiploicum einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute (ventrodorsale Ansicht, Bauchwand nach kranial geklappt).

AD – Ampulla duodeni; D – Duodenum; L – Leber; rN – Rechte Niere

1 Vena portae; 2 Vena cava caudalis; 3 Omentum minus; 4 Foramen epiploicum; 5 rechte Nebenniere

4.1.3 Magenrinne, Schlundrinne (Sulcus ventriculi)

Die Magenrinne hatte ihren Ursprung auf der rechten Seite der Kardia und wurde aus einer einzelnen, 4 mm tiefen Schleimhautfalte gebildet (Abb. 23). Die Falte verlief von der Kardia auf direktem Weg zur Öffnung zum C2 und drehte sich dort auf die rechte Seite der großen Krümmung, so dass die Magenrinne von medial zugänglich war. Insgesamt hatte sie eine Länge von 16 cm und endete an der Öffnung zum Verbindungskanal zum C3, indem sie dorsal um dessen Öffnung bis auf die linke Seite zog.

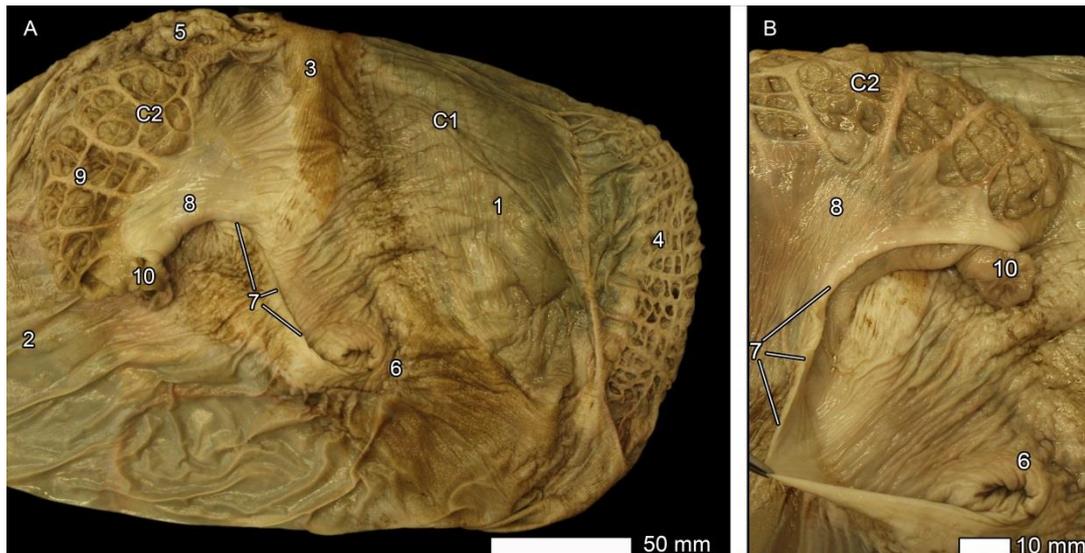


Abb. 23: A) Innenansicht des C1 und C2; B) Sulcus ventriculi (A und B von einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute).

C1, C2 – Kompartiment 1, 2

1 Saccus cranialis des C1; 2 Saccus caudalis des C1; 3 Pila coronaria; 4 Säckchen des Saccus cranialis; 5 Säckchen des Saccus caudalis; 6 Kardia; 7 – Sulcus ventriculi; 8 – Curvatura minor des C2; 9 – Curvatura major des C2; 10 – Verbindungskanal zu C3

4.1.4 Blutversorgung

Die arterielle Blutversorgung (Abb. 24) fand über die A. coeliaca (a) statt, die auf Höhe des dritten Lendenwirbels, unmittelbar kranial der A. mesenterica cranialis, entsprang. Nahe ihrem Ursprung teilte sie sich in die A. hepatica (c) und die A. gastrica sinistra (b) und versorgte die Leber, den Magen, die Milz und den Anfang des Duodenums.

Die A. hepatica entließ kurz nach ihrem Ursprung die A. lienalis (h), die wiederum einen Ramus pancreaticus (i) für das Pankreas abgab und als A. lienalis zur Milz zog. Weitere Äste der A. hepatica waren die A. gastroduodenalis (j), die sich in die A. pancreaticoduodenalis (k) und die A. gastroepiploica dextra (l) aufteilte. Die A. gastroepiploica dextra (l) gab einen Ast für die ventrale Seite der kaudalen Flexur des C3 ab und zog danach entlang der großen Kurvatur des C3 und versorgte diese mit zahlreichen kleinen Ästen. Kurz vor dem Erreichen der Leber gab die A. hepatica (c) die A. gastrica dextra (m) ab, die sich kranial der terminalen Flexur des C3 in zwei parallele Äste aufteilte und auf der dorsalen Kurvatur des C3 nach kranial verlief.

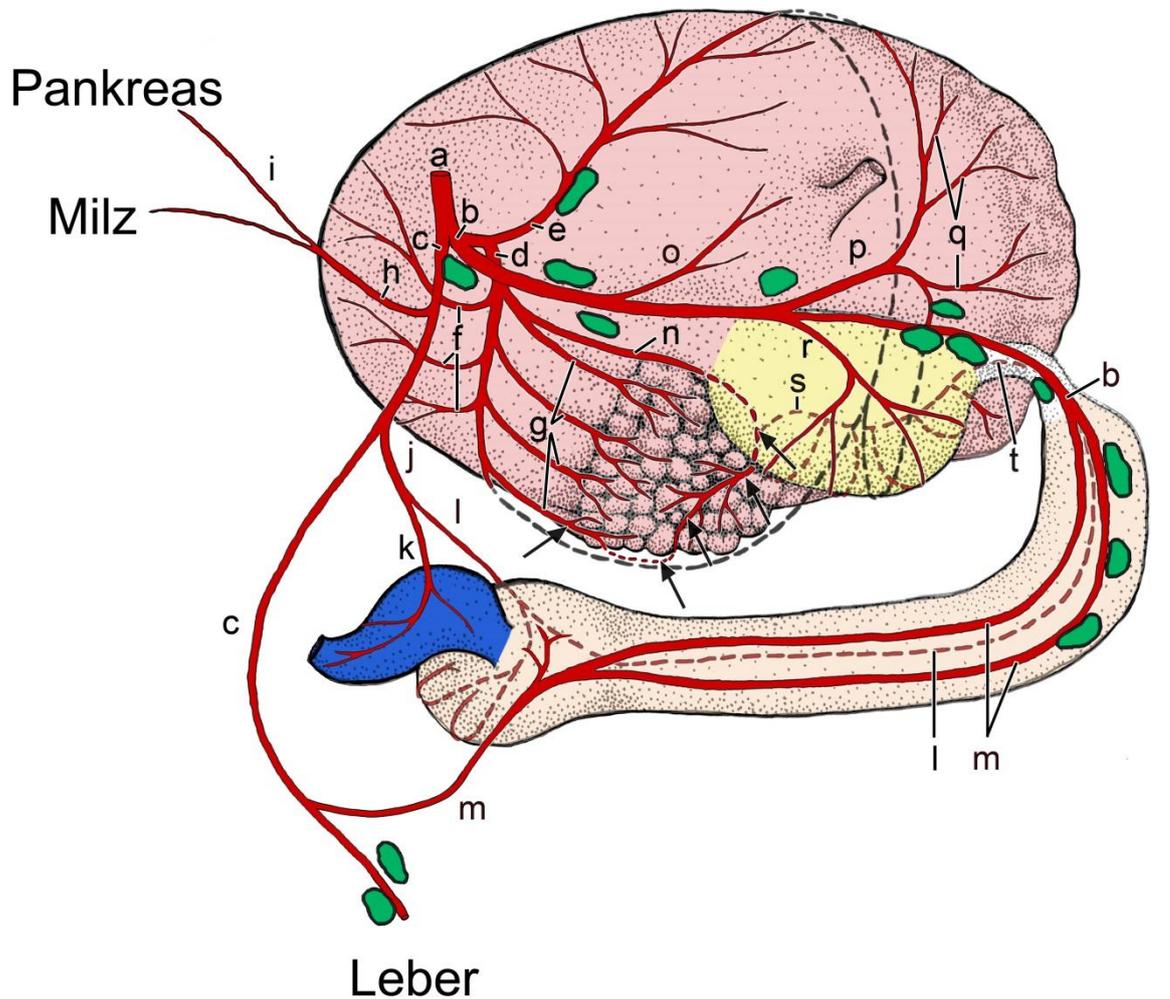
Die A. gastrica sinistra entließ kurz nach ihrem Ursprung aus der A. coeliaca einen großen Ast, der sich in die A. dextra und sinistra compartimenti I (d, e) aufteilte. Die A. sinistra compartimenti I (e) zog zur Facies parietalis des C1, die A. dextra

compartimenti I (d) zur Facies visceralis des C1. Die *A. sinistra compartimenti I* (e) zog kranioventral und anastomosierte mit einem Ast mit der *A. extremitatis cranialis* (p). Der zweite Ast verlief ventral entlang des Saccus cranialis zur rechten Seite des C1 und ging eine Verbindung ein mit der *A. dextra compartimenti I*. Von dieser Gefäßverbindung zog ein Ast ventral um den Saccus cranialis und kommunizierte mit der *A. extremitatis cranialis* (p).

Die *A. dextra compartimenti I* (d) verlief kranioventral entlang der Facies visceralis, gab in ihrem Verlauf mehrere *Rami extremitatis caudalis* (f) ab. Nach kranial entließ dieses Gefäß mehrere *Rami sacculares caudales* (g), die nahezu parallel nach kranial verliefen und jeweils zwischen einer Reihe Säckchen entlang der Primärfurchen zogen. Dort verzweigten sie sich in weitere kleine Äste zwischen die Sekundär- und Tertiärfurchen. Der am weitesten dorsal liegende Ast, der *Ramus saccularis dorsalis* (n) zog nach kranial, ventral des C2 entlang und verlief dann entlang der Ansatzlinie des großen Netzes nach ventral und mit dem Verlauf des großen Netzes wieder nach kaudal. Dort anastomosierte er mit einem *Ramus saccularis caudalis* (g). Die *A. dextra compartimenti I* zog als ein Gefäß kleineren Umfanges zur Ventralseite des C1 weiter und anastomosierte mit der *A. sinistra compartimenti I*. Der *Ramus saccularis dorsalis* (n) entließ außerdem die *A. sinistra compartimenti II* (s), die in die *A. gastroepiploica sinistra* (t) überging. Letztere zog schließlich zur großen Krümmung des C3 und anastomosierte mit der *A. gastroepiploica dextra* (l).

Der Stamm der *A. gastrica sinistra* (b) zog nach kranial, entließ einen *Ramus oesophageus* (o) in Richtung Kardia, einen Ast, der zu den Säckchen des kranialen Sackes lief, die *A. extremitatis cranialis* (p) und die *A. dextra compartimenti II* (r). Die *A. gastrica sinistra* (b) teilte sich schließlich in zwei Äste auf, die zur kleinen Krümmung des C3 zogen und mit den beiden Ästen der *A. gastrica dextra* (m) anastomosierten. Die *A. extremitatis cranialis* (p) teilte sich in einen rechten und linken Ast auf. Diese verliefen entlang des oben beschriebenen, bogenförmig zu den Säckchen verlaufenden Muskelbalkens und gaben *Rami sacculares craniales* (q) ab. Letztere verzweigten sich innerhalb der Magenwand in den verschiedenen Furchen der kranialen Säckchenregion. Die *A. dextra compartimenti II* (r) stand über mehrere bogenförmige Schleifen mit der *A. sinistra compartimenti II* (s) in Verbindung.

Der venöse Abfluss erfolgte über Gefäße, die parallel zu den arteriellen Gefäßen verliefen und schließlich in die Pfortader mündeten.



↙ Ansatzlinie des Omentum majus

Abb. 24: Kompartimente 1, 2, 3 des Magens und ihre arterielle Gefäßversorgung (Ansicht von schräg dorsal). Kursiv geschriebene Termini der Gefäße sind Namensvorschläge und in der NAV bisher nicht enthalten.

a – A. coeliaca; b – A. gastrica sinistra; c – A. hepatica; d – A. *dextra compartimenti I*; e – A. *sinistra compartimenti I*; f – *Rami extremitatis caudalis*; g – *Rami sacculares caudales*; h – A. lienalis; i – Ramus pancreaticus; j – A. gastroduodenalis; k – A. pancreaticoduodenalis cranialis; l – A. gastroepiploica dextra; m – A. gastrica dextra; n – *Ramus saccularis dorsalis* von d; o – *Ramus oesophageus*; p – A. *extremitatis cranialis*; q – *Rami sacculares craniales*; r – A. *dextra compartimenti II*; s – A. *sinistra compartimenti II*; t – A. gastroepiploica sinistra

4.1.5 Innervation

Die parasympathische Innervation des Magens erfolgte über den Truncus vagalis dorsalis und ventralis, die zusammen mit dem Ösophagus durch den Hiatus oesophageus in die Abdominalhöhle und zum Magen gelangten (*Abb. 25*).

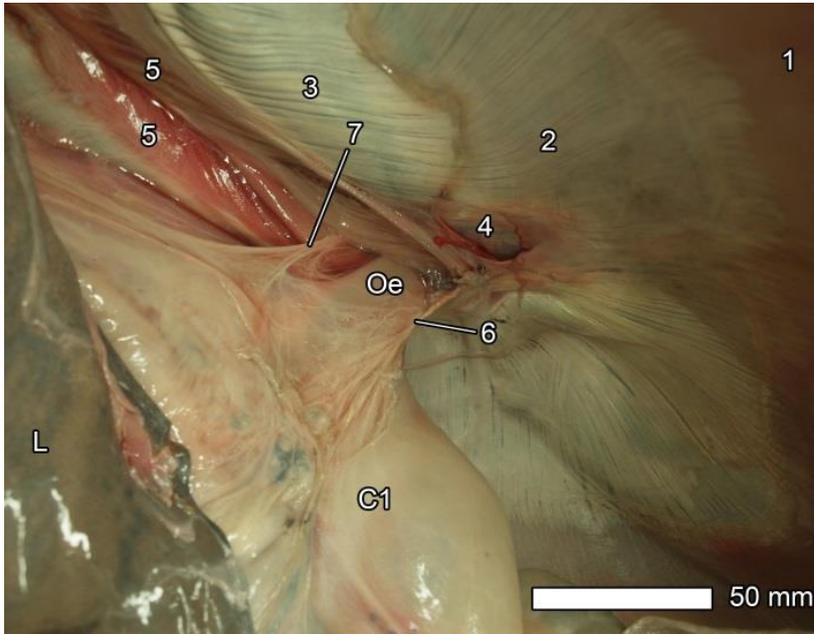


Abb. 25: Truncus vagalis dorsalis und ventralis einer 10 jährigen Huacaya-Stute
 C1 - Kompartiment 1;
 L - Leber;
 Oe - Oesophagus;
 1 Zwerchfell;
 2 Sehnenspiegel des Zwerchfells;
 3 Verklebungsfläche des Zwerchfells mit C1;
 4 Foramen venae caevae caudalis;
 5 Zwerchfellpfeiler;
 6 Truncus vagalis ventralis;
 7 Truncus vagalis dorsalis

Die sympathischen Fasern gelangten über den Plexus coeliacus (*Abb. 26*) zu den verschiedenen Kompartimenten. Dieser bildete zusammen mit dem Plexus mesentericus cranialis, ein dichtes Geflecht und befand sich unmittelbar parallel der Abzweigung der A. coeliaca und A. mesenterica cranialis aus der Aorta.

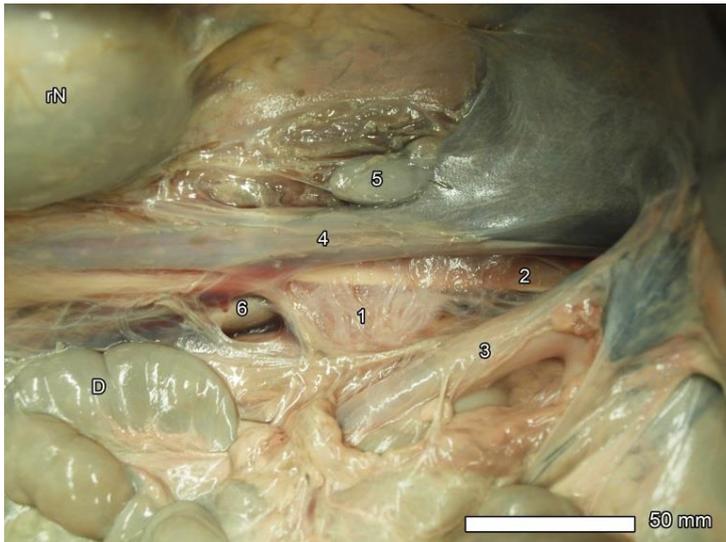


Abb. 26: Ganglion coeliacum und Ganglion mesentericum craniale einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute.

D – Duodenum;
 rN – rechte Niere;
 1 Ganglion coeliacum und Ganglion stellatum;
 2 Foramen epiploicum;
 3 Vena portae;
 4 Vena cava caudalis;
 5 Linke Nebenniere;
 6 Rechte Nebenniere

4.1.6 Lymphknoten

Der Lymphabfluss erfolgte über zahlreiche Nll. gastrici, Nll. hepatici, Nll. pancreaticoduodenales und Nll. lienales. Die Nll. gastrici lagen an den verschiedenen Magenkomponenten entlang der versorgenden Gefäße. Drei bis vier große Nll. gastrici befanden sich direkt an der anfänglichen Hauptaufzweigung der A. gastrica sinistra, eine Anhäufung von Noduli war entlang des Verbindungskanals zwischen C2 und C3 lokalisiert. Die Lymphknoten befanden sich vor allem auf der dorsalen und rechten Seite des Magens. Die Nll. hepatici befanden sich im Bereich der Leberpforte und 2-3 kleine Nll. lienales am Milzhilus.

4.2 Anatomie und Topographie des Darmes

Die sehr umfangreichen Kompartimente des Magens waren für die kaudale Lage des Darmes verantwortlich. Der Darm befand sich ausschließlich im kaudalen Teil des Abdomens und im Becken und hatte eine Länge zwischen 19 und 25 m.

Der Darm begann kaudal des Magenausganges, bestand aus dem Dünndarm (Intestinum tenue) und dem Dickdarm (Intestinum crassum) und endete mit dem Afterkanal (Canalis analis) im Anus. In Tabelle 10 sind die Längen und Durchmesser der verschiedenen Abschnitte aufgelistet.

Tabelle 10: Länge (Angaben in m) und Durchmesser (Angaben in mm) der Darmabschnitte.

	Duoden- um	Jejunum	Ileum	Caecum	Colon- ascen- dens	Colon- transver- sum	Colon- descen- dens
Länge (m)	1.0-1.5	7.0-15.0	0.27- 0.47	0.11 - 0.22	5.0-9.0	0.25-0.5	0.9
Durch- messe r (mm)	10.0	19-25	19	32-45	13-38	13	19-38

4.2.1 Dünndarm (Intestinum tenue)

Der Dünndarm setzte sich aus dem Zwölffingerdarm (Duodenum), dem sehr langen Leerdarm (Jejunum) und dem kürzesten Abschnitt, dem Hüftdarm (Ileum), zusammen.

4.2.1.1 Zwölffingerdarm (Duodenum)

Das Duodenum begann mit einer sackartigen Erweiterung, der Ampulla duodeni, distal des Ostium pyloricum und hatte eine Gesamtlänge von 1-1,5 m. Das Ostium pyloricum befand sich kraniodorsal der terminalen Flexur des C3 und so war die Ampulla auf der Höhe des ersten Lendenwirbels, kaudal des Rippenbogens, etwa in der Mitte der rechts-lateralen Bauchwand lokalisiert und dieser direkt benachbart. Die Ampulla wurde durch einen kräftigen Torus pyloricus und eine nachfolgende deutliche Einziehung vom Pylorus getrennt und zog, ventral eng mit der terminalen Flexur des C3 verbunden, zuerst dorsal und dann kaudal. Sie war 12 cm lang und hatte einen Durchmesser von etwa 3 cm (Abb. 27).

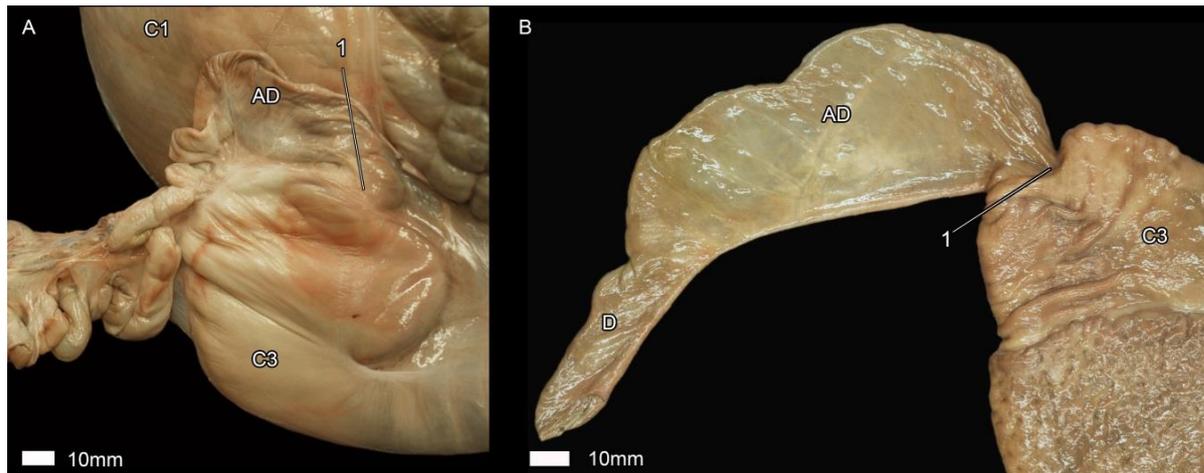


Abb. 27: A) Außenansicht der Ampulla duodeni; B) Innenansicht der Ampulla duodeni. (A und B einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute).

AD: Ampulla duodeni; C1, C3 – Kompartiment 1, 3;
1 Ostium pyloricum

Die deutlich dünnere und stark geschlängelte Pars descendens duodeni zog, anfangs an einem langen Gekröse hängend, kaudodorsal und entlang der rechten Seite der Gekrösewurzel. Kaudal der Gekrösewurzel zog sie als Pars transversa duodeni von rechts nach links um die Gekrösewurzel herum und als Pars ascendens duodeni links der Gekrösewurzel wieder kranial. Der kaudale Umschlagpunkt dieser U-förmigen, unmittelbar ventral der Vena cava caudalis und der Aorta abdominalis liegenden Schleife des Duodenums, befand sich auf Höhe des 5. Lendenwirbels und der Extremitas cranialis der rechten Niere und berührte die Nebennieren und die Nieren.

Die Pars descendens duodeni (Abb. 28) verlängerte sich, bevor sie kaudal in die Flexura duodeni caudalis überging noch einmal zu einer längeren, durch eine Serosalamelle verbundenen Schleife. Im Gekröse der Pars descendens duodeni befand sich der rechte Schenkel der Bauchspeicheldrüse. Außerdem war die Pars descendens über das Ligamentum hepatoduodenale mit der Leber und der Pars ascendens duodeni über die Plica duodenocolica sehr eng mit dem Colon descendens verbunden. Der Anschluss an das Jejunum erfolgte über die Flexura duodenojejunalis.

Der Ductus choledochus mündete ca. 16 cm distal der Ampulla duodeni auf der Papilla duodeni major.

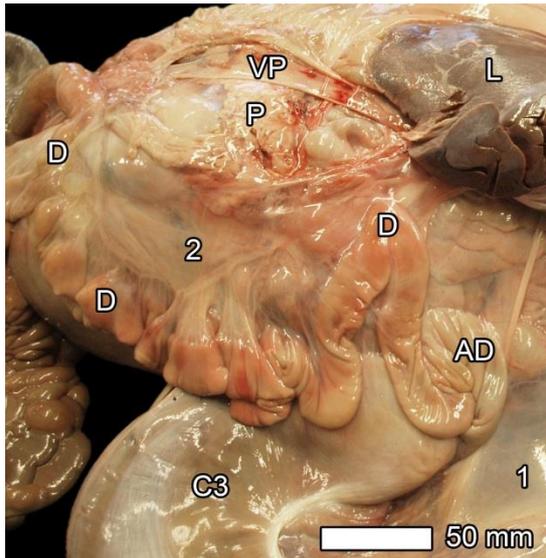


Abb. 28: Pars descendens duodeni einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute.

AD - Ampulla duodeni;
 C3 - Kompartiment 3;
 D - Duodenum;
 L - Leber;
 P - Pankreas;
 VP - Vena portae
 1 Lig. hepatogastricum
 2 Lig. hepatoduodenale

4.2.1.2 Leerdarm (Jejunum)

Das Jejunum schloss sich mit der Flexura duodenojejunalis an den Zwölffingerdarm an und bildete mit 7-15 m Länge den längsten Abschnitt des Darmes. Der anfängliche Abschnitt des Jejunums war an einem recht kurzen Gekröse an der dorsalen Bauchwand aufgehängt und in sehr enge Schleifen gelegt. Das Gekröse wurde rasch länger und bildete eine große Gekröseplatte, die durch das Jejunum girlandenartig mit zahlreichen kleinen Schlingen eingerahmt wurde.

Der große Magen verdrängte den Darm in den kaudalen Teil des Abdomens. Das Jejunum befand sich zusammen mit dem Duodenum vor allem auf der rechten Körperseite, kaudal des Magens und der Leber. Die Darmschlingen erreichten sowohl die ventrale als auch die dorsale Bauchwand und umrahmten die rechte, sehr weit kaudal gelegene Niere.

4.2.1.3 Hüftdarm (Ileum)

Das Ileum, der letzte Abschnitt des Dünndarmes, war am aboralen Ende der Gekröseplatte des Jejunums lokalisiert. Seine Länge wurde über die Plica ileocaecalis, die sich auf der antimesenterialen Seite des Ileums befand, definiert und betrug 27-47 cm (Abb. 29). Weiteres Unterscheidungsmerkmal zum Jejunum war eine etwas stärkere und derbere Wand. Es befand sich zwischen Jejunumschlingen auf der ventralen Bauchwand und endete mit dem Ostium ileale auf der Grenze zwischen Zäkum und Kolon.

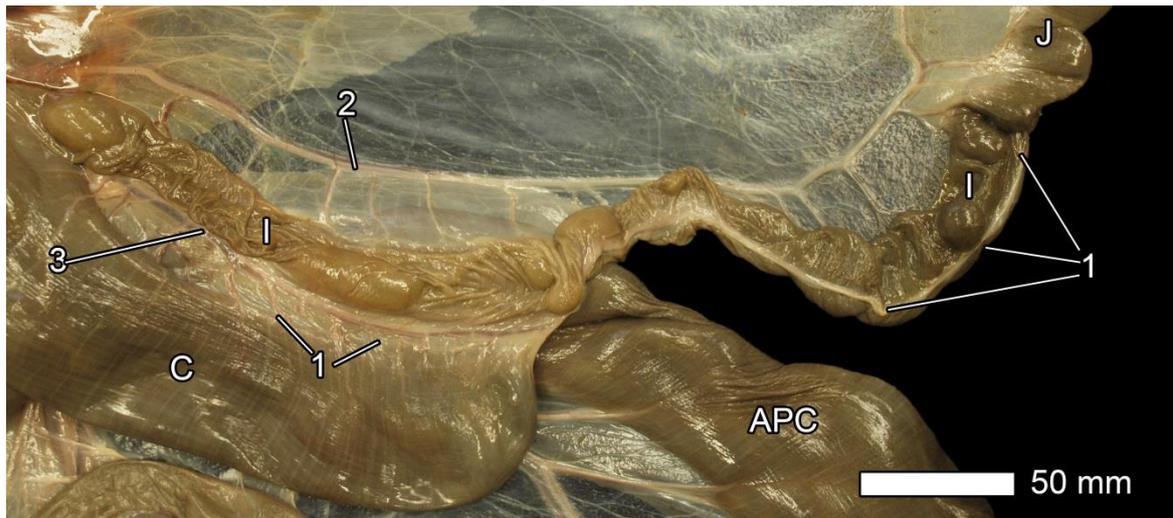


Abb. 29: Ileum einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute.

APC – Ansa proximalis coli; C – Caecum; J – Jejunum; I – Ileum
 1 Plica ileocaecalis; 2 Arteria ilealis; 3 Arteria caecalis

4.2.2 Dickdarm (Intestinum crassum)

Der Dickdarm setzte sich aus dem Blinddarm (Caecum), dem Grimmdarm (Colon), der aus dem Colon ascendens, Colon transversum und dem Colon descendens bestand, und dem Mastdarm (Rectum) zusammen (Abb. 30).

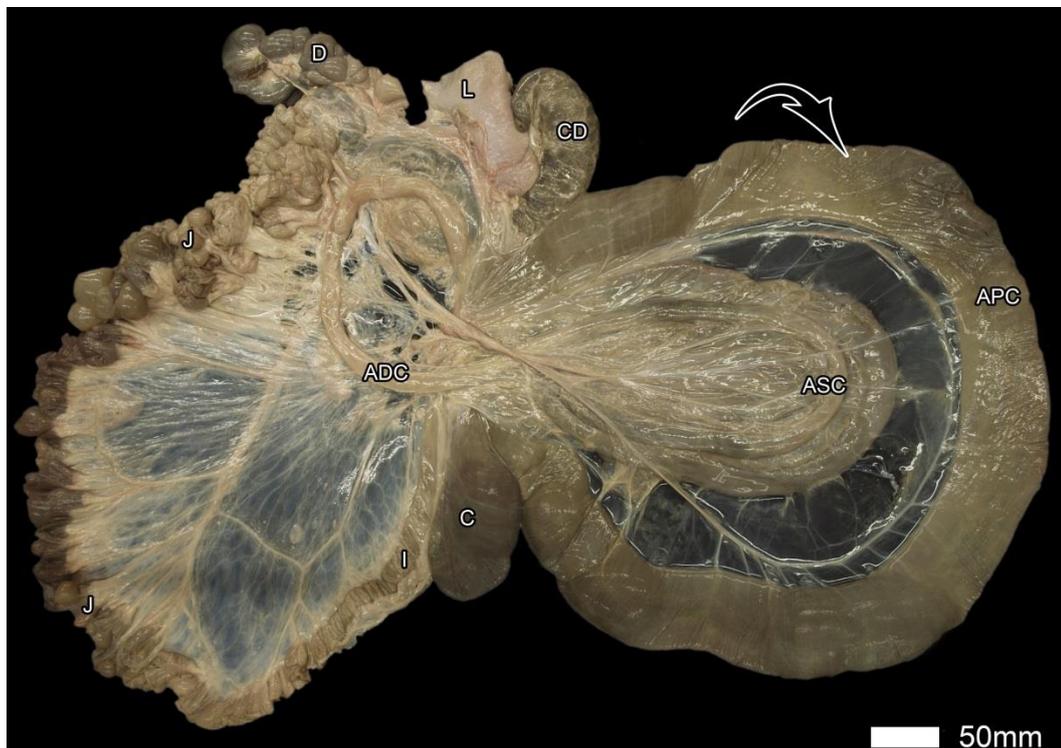


Abb. 30: Zweidimensionale Ansicht des Darmtraktes einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute. Der Pfeil zeigt die topographische Drehrichtung der Kolonspirale an.

ADC – Ansa distalis coli; APC – Ansa proximalis coli; ASC – Ansa spiralis coli; C – Caecum; CD – Colon descendens; D – Duodenum; I – Ileum; J – Jejunum; L – Milz

4.2.2.1 Blinddarm (Caecum)

Der Blinddarm war recht klein und hatte eine Länge von 11–22 cm und einen Durchmesser von 3,2–4,5 cm (*Abb. 29, Abb. 30*). Er war in der Mitte der ventralen Abdomenwand lokalisiert und sein blindes Ende zeigte bei den meisten Tieren kranial oder war mit leichten Abweichungen mehr nach links oder rechts orientiert.

4.2.2.2 Colon ascendens

Das Colon ascendens ging auf der Höhe des Ostium ileale, in gleichem Durchmesser wie das Caecum, aus diesem hervor. Zunächst bildete es im Durchmesser konstant bleibend eine nahezu kreisrunde, große Schleife (*Ansa proximalis coli*), die durch eine Serosadoppellamelle verbunden war. Dieser zweiten Gekröseplatte war die Grimmdarmspirale (*Ansa spiralis coli*) von rechts aufgelagert. Die *Ansa proximalis* umrahmte die Kolonspirale kreisförmig. Der Gekröseabstand zwischen *Ansa proximalis coli* und *Ansa spiralis coli* betrug 2–5 cm. Die einzelnen Windungen der Kolonspirale jedoch waren durch ein sehr kurzes Gekröse eng miteinander verbunden.

Die *Ansa spiralis coli* wurde aus einer langen doppeläufigen Schleife gebildet, die spiralg aufgerollt war (*Abb. 31*). Sie bestand aus 4,5 zentrifugalen und 4,5 zentripetalen Windungen (*Gyri centrifugales* und *Gyri centripetales*), ohne Miteinbeziehung der *Ansa proximalis coli*. Die jeweils miteinander verbundenen Schenkel lagen pyramidenartig übereinander wobei die zentrifugalen Windungen innerhalb der Pyramide lagen und somit nicht sichtbar waren. Der Scheitel, in dem die innerste zentripetale in die innerste zentrifugale Windung überging, die *Flexura centralis*, war dem Zentrum der Spirale aufgelagert. Der Durchmesser der *Ansa proximalis* betrug 3,8 cm und nahm mit den Windungen der Kolonspirale kontinuierlich ab und betrug in der zentralen Windung nur noch 1,3 cm.



Abb. 31: Ansa spiralis coli eines 6,5 Monate alten Huacaya-Alpakas (Ansicht von rechts).

APC - Ansa proximalis coli;

C - Caecum;

FC - Flexura centralis;

I - Ileum

Die äußerste zentrifugale Windung ging in die Ansa distalis coli über. Diese verlief zunächst in geradem Verlauf in Richtung des Überganges zwischen Caecum und Colon, war mit einer Gekrösefalte daran befestigt und verlief danach, auf der linken Seite des Mesojejunum befestigt, kranial und bog kurz vor Erreichen der proximalen Jejunumschlingen wieder nach kaudal um. Weiterhin am Mesojejunum befestigt, zog sie linksventral an der Gekrösewurzel vorbei, bog kaudal von links nach rechts um sie herum, zog rechts der Gekrösewurzel nach kranial und ging dann in das Colon transversum über (Abb. 30, Abb. 34).

Die Kolonspirale, zusammen mit der sie umrahmenden Ansa proximalis, war im Uhrzeigersinn um ihr Gekröse und den sie versorgenden Gefäßstamm um 180° gedreht, sodass die Kolonspirale zur linken, in wenigen Tieren auch zur ventralen Bauchwand zeigte (Abb. 32). Die Ansa proximalis coli zog vom ventral liegenden Caecum zunächst dorsal, bog sich um den Gefäßstamm von rechts nach links um und zog wieder nach ventral und kaudal und bildete danach die kreisrunde Ansa proximalis coli. Die Ansa distalis coli zog von der Kolonspirale ausgehend nach kranial, unterkreuzte den Gefäßstamm der Kolonspirale, kam mit ihrer dem

Mesojejunum anliegenden Schleife parallel und ventral der U-förmigen Schleife des Duodenums zu liegen und bog dann kaudal wieder um die Gekrösewurzel um.

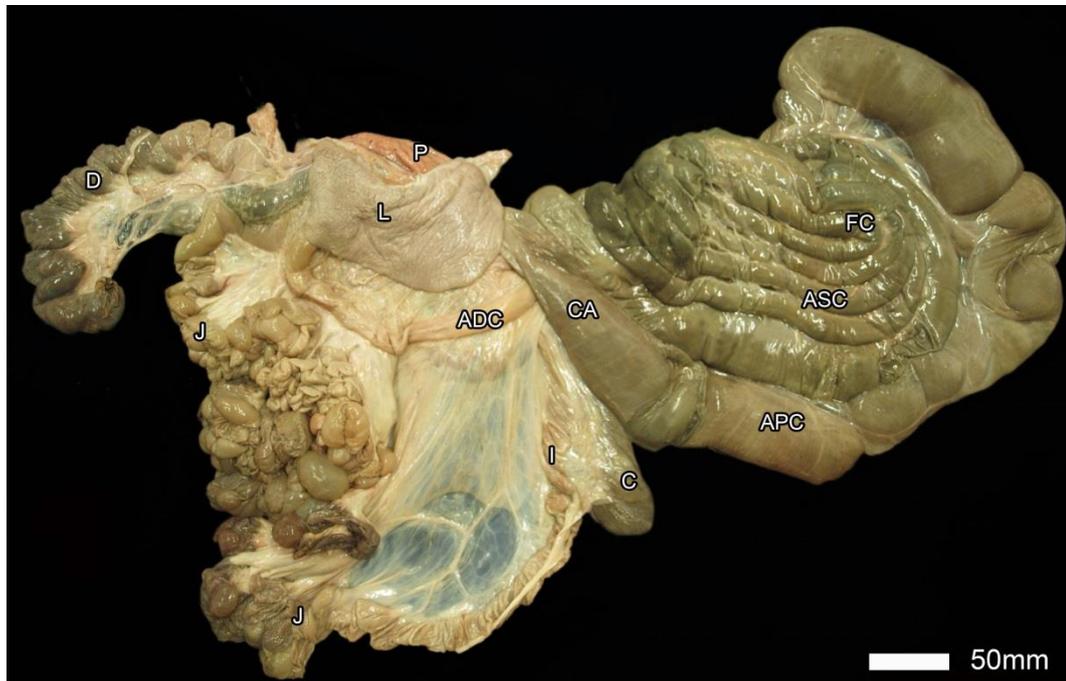


Abb. 32: Dreidimensionale Ansicht des Darmtraktes einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute (Kolonspirale wie in Situ um 180 ° im Uhrzeigersinn gedreht).

ADC – Ansa distalis coli; APC – Ansa proximalis coli; ASC – Ansa spiralis coli; C – Caecum; CA – Colon ascendens; D – Duodenum; FC – Flexura centralis; I – Ileum; J – Jejunum; L - Lien; P – Pankreas

4.2.2.3 Colon transversum

Das Colon transversum zog als kürzestes Dickdarmsstück von rechts nach links kranial um die Gekrösewurzel und mündete danach in das kaudal strebende Colon descendens. Es war an einem kurzen Gekröse direkt ventral der dorsalen Bauchwand befestigt und seine Länge wurde durch das ihn versorgende Gefäß bestimmt.

4.2.2.4 Colon descendens

Der anfängliche Teil des Colon descendens war über die Plica duodenocolica mit der Pars ascendens duodeni verbunden und zunächst an einem kurzen Gekröse befestigt. Auf seinem Verlauf nach kaudal wurde das Gekröse kurz vor dem Beckeneingang auf Höhe der letzten Lendenwirbel noch einmal länger und das Colon descendens bildete einen S-förmigen Bogen, das Colon sigmoideum (Abb.

33). In Richtung Beckeneingang wurde das Colon descendens von immer mehr Fettgewebe eingebettet.

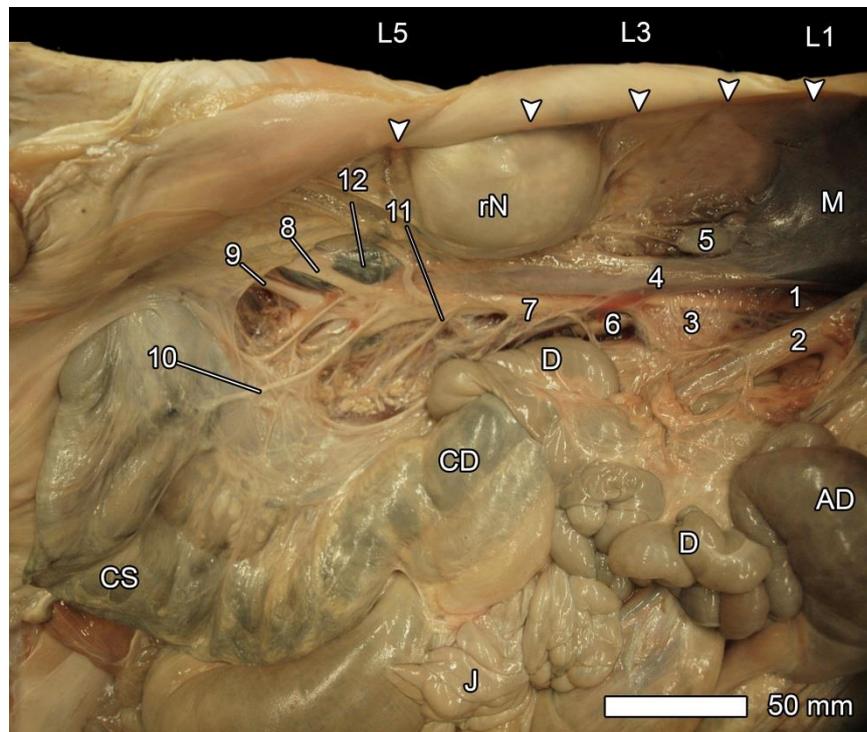


Abb. 33: Colon descendens einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von ventral).

AD – Ampulla duodeni; CD Colon descendens; CS – Colon sigmoideum; D – Duodenum; J – Jejunum; L1, 3, 5 – Lendenwirbel 1,3 ,5; M – Milz; rN - rechte Niere

1 Foramen epiploicum; 2 Vena portae; 3 Ganglion coeliacum und Ganglion mesentericum craniale; 4 Vena cava caudalis; 5 Rechte Nebenniere, 6 Linke Nebenniere; 7 Aorta abdominalis; 8 Arteria iliaca externa dextra; 9 Arteria iliaca interna dextra; 10 Arteria mesenterica caudalis; 11 Arteria circumflexa ilium profunda sinistra; 12 Lymphonodi iliaci mediales

4.2.2.5 Rectum (Mastdarm); Canalis analis (Afterkanal)

Der distalste Abschnitt des Darmes, das Rectum, zog geradlinig durch die Beckenhöhle und mündete über den Afterkanal im Anus. Vor dem Übergang in den Afterkanal erweiterte es sich zur Mastdarmampulle (Ampulla recti). Das Rectum war bis auf 6–7 cm kranial des Anus von Peritoneum bedeckt.

Bei der Alpakastute war das Rectum innerhalb der Beckenhöhle dorsal dem Gebärmutterkörper, -hals und der Vagina, beim männlichen Alpaka der Harnblase und der Harnröhre sowie dem Ductus deferens benachbart.

4.2.3 Blutversorgung

Arterielle Blutversorgung

In folgender Beschreibung sind die Gefäße mit den Buchstaben versehen, mit denen die Gefäße in (Abb. 34) bezeichnet wurden. Die Hauptversorgung des Darmtraktes mit arteriellem Blut fand über die Arteria mesenterica cranialis und caudalis statt. Der proximale Teil des Duodenums wurde zusätzlich durch die A. pancreaticoduodenalis cranialis einen Zweig der A. coeliaca, versorgt.

Die A. mesenterica cranialis (a) entsprang 1 cm kaudal der A. coeliaca und entließ nahe ihrem Ursprung die A. pancreaticoduodenalis caudalis (b) für die distalen Teile des Duodenums, den anfänglichen Teil des Jejunums und das Pancreas. Der folgende Abzweig der A. mesenterica cranialis war die A. colica media (c), die das Colon transversum, den distalen Teil des Colon ascendens und den proximalen Teil des Colon descendens versorgte. Als nächstes entließ die A. mesenterica cranialis drei bis vier Aa. colicae dextrae (e), die zu den Gyri centrifugales der Kolonspirale zogen.

Ein weiterer, großlumigerer Abzweig war die A. ileocolica (f), die zur Ansa proximalis des Colon ascendens zog. Auf ihrem Weg entließ sie 4-5 Rami colici (j), die zu den Gyri centripetales der Kolonspirale zogen und außerdem den distalen Anteil der A. jejunalis (g1). Der distale Anteil der A. jejunalis entließ die A. ilealis (i) für das Ileum und die A. caecalis (h) für das Caecum. Die A. caecalis entließ einen Ramus ilei antimesenterialis an das Ileum. Der Stamm der A. mesenterica cranialis ging in die proximale A. jejunalis (g) über, die mit dem distalen Teil der A. jejunalis anastomosierte und in bogenförmigem Verlauf entlang des Jejunums verlief und zahlreiche Äste für das Jejunum abgab.

Die Aa. colicae dextrae und die Rami colici (j) waren im Uhrzeigersinn umeinander gedreht und verliefen in einem kordelartigen Strang kaudal zur Kolonspirale.

Die Versorgung des Colon descendens und des Rectums erfolgte über die A. mesenterica caudalis (l), die auf Höhe der Ansa sigmoidea an das Colon descendens herantrat und sich in eine kranial ziehende A. colica sinistra (m) und eine kaudal verlaufende A. rectalis cranialis (n) aufteilte. Die A. rectalis cranialis verlief kaudal und auf die Dorsalseite des Colon descendens und des Rectums und versorgte diese beiden Abschnitte mit zahlreichen kleinen Ästen fast bis zum Anus. Der

kaudalste Anteil des Rectums und der Anus wurden von der A. rectalis caudalis (t) versorgt.

Nach der Abgabe der A. mesenterica caudalis gab die Aorta die A. iliaca externa dextra und sinistra (o) ab und teilte sich danach nach kurzem Verlauf in die A. iliaca interna dextra und sinistra (p) und in die A. sacralis mediana (v). Die beiden Aa. iliacae internae gaben wiederum die A. vaginalis/prostatica (r), die A. glutea caudalis (s) und die kleine A. rectalis caudalis (t) ab.

Venöses System:

Der venöse Abfluss erfolgte über die Pfortader, die ihr Blut aus der V. mesenterica cranialis und caudalis sammelte. Diese Venen wiederum bekamen ihr Blut von den verschiedenen Venen der abdominalen Eingeweide, die einen parallelen Verlauf zu den entsprechenden Arterien innehatten.

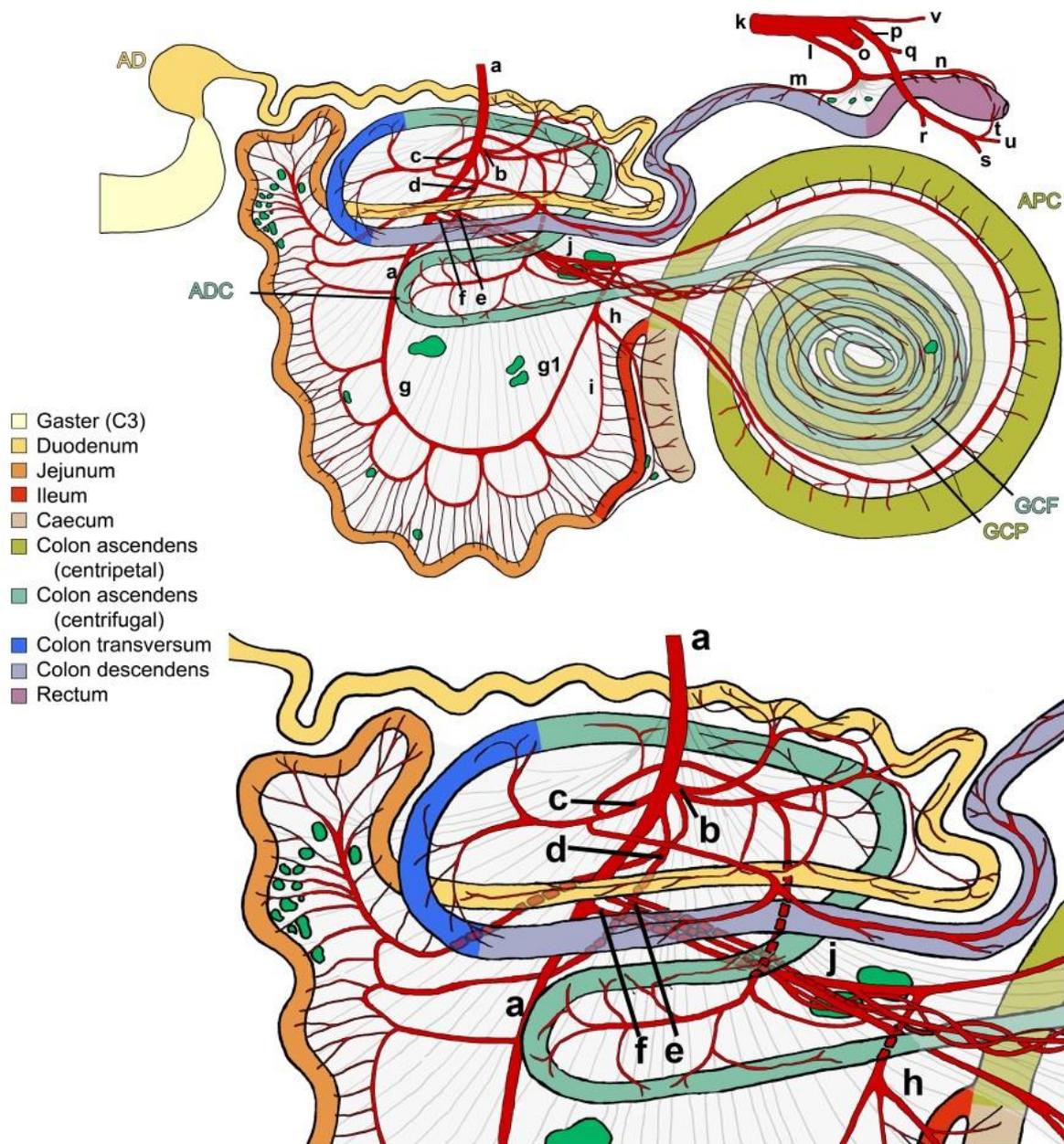


Abb. 34: Arterielle Gefäßversorgung des Darmtraktes. Zur besseren Übersichtlichkeit wurde das Darmschema zweidimensional ohne Rotation der Kolonspirale dargestellt und nur die Gefäße, die die Gyri centrifugales versorgten, eingezeichnet.

AD – Ampulla duodeni; ADC – Ansa distalis coli; APC – Ansa proximalis coli; GCF – Gyri centrifugales; GCP – Gyri centripetales

a – Arteria mesenterica cranialis; b – A. pancreaticoduodenalis caudalis mit zwei Ästen für das Duodenum und einem Ast für das Jejunum; c – A. colica media mit zwei Ästen für das Colon transversum, einem Ast für das ADC und einem Ast für das Colon descendens;

d – Ramus jejunalis; e – Aa. colicae dextrae; f – A. ileocolica; g – A. jejunalis; g1 – distaler Teil der A. jejunalis; h – A. caecalis; i – A. ilealis; j – Rami colici (GCP + APC) und Aa. colicae dextrae (GCF); k – Aorta; l – A. mesenterica caudalis; m – A. colica sinistra; n – A. rectalis cranialis; o – linke A. iliaca externa; p – linke A. iliaca interna; q – A. glutea cranialis;

r – A. vaginalis/ prostatica; s - A. glutea caudalis; t – A. rectalis caudalis; u – A. pudenda interna; v – A. sacralis mediana

4.2.4 Innervation

Der abdominale Teil des N. vagus war verantwortlich für die parasympathische Innervation des Darmes. Die sympathische Innervation übernahmen zahlreiche Nervenfasern, die vom Plexus mesentericus cranialis und caudalis und dem Plexus pelvinus an die verschiedenen Abschnitte des Darmes, geschützt im jeweiligen Gekröse, zogen.

4.2.5 Lymphknoten

Die Lymphe des Dünndarms und des Colon ascendens wurde über das Lymphocentrum mesentericum craniale, das aus den Nll. duodenales, Nll. jejunales, Nll. caecales und Nll. colici bestand, drainiert. Die Lymphknoten waren entlang der jeweiligen den Darmabschnitten entsprechenden Gefäßen gruppiert.

Die Nll. mesenterici caudales waren für die Drainage des Colon descendens zuständig und entlang der A. mesenterica caudalis lokalisiert.

5 Diskussion

5.1 Methodik

5.1.1 Auswahl der Tiere

Die Alpakas, die in dieser Studie verwendet wurden, waren Tiere, die aus medizinischen Gründen euthanasiert wurden. Sie stammten aus Privathand oder von Züchtern und die Euthanasie erfolgte nach Indikationsstellung von Tierärzten. Es wurden nur solche Tiere für die Präparation des Gastrointestinaltraktes verwendet, die an Krankheiten/Verletzungen außerhalb des GIT erkrankt waren und die auch während der Präparation keine Auffälligkeiten im Bereich des Magen-Darmtraktes hatten. Gründe für die Euthanasie der Tiere dieser Studie waren z.B. Blindheit; starke Durchtrittigkeit der Fesselgelenke; Tumor im Bereich des Unterkiefers; Aggressivität gegenüber dem Menschen/Artgenossen.

Im Bereich des GIT waren keine Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Tieren zu erwarten und so wurden Tiere beiderlei Geschlechtes präpariert. Sehr junge Crias, die noch keine Raufutteraufnahme gezeigt hatten, wurden in den Ergebnissen nur eingeschränkt aufgeführt, da die Proportionen ihres Magen, wie es auch bei Wiederkäuern der Fall ist, in den ersten 2-3 Monaten monogastrischen Tieren ähneln und sich die endgültigen Proportionen erst im Laufe einiger Monate der Raufutteraufnahme entwickeln (Newman und Anderson, 2014).

Die Anzahl der Tiere war zu gering, um statistische Auswertungen durchzuführen, doch es konnte eine solide Grundlage für die Darstellung der anatomischen und topographischen Situation des GIT vom Alpaka geschaffen werden.

5.1.2 Anatomische Präparation

Die einfache anatomische Präparation stellte sich als eine sinnvolle Methode heraus. Vor allem im Bereich des Darmtraktes war diese Methode unverzichtbar, da die Topographie des Darmes in der Literatur bisher nur vom Lama und nur im Groben beschrieben wurde (Cebra, 2014; Fowler und Bravo, 2010b) und der Verlauf des Darmes außerdem deutliche Unterschiede zum Wiederkäuer (Nickel et al., 2004a) aufwies. In ultrasonographischen (Cebra et al., 2002), als auch computertomographischen (Stieger-Vanegas und Cebra, 2013; Van Hoogmoed et

al., 1998) und röntgenologischen (Timm et al., 1999) Untersuchungen konnten die einzelnen Organe und Darmabschnitte von Alpakas und Lamas meist identifiziert und lokalisiert werden, den Verlauf zu beschreiben und darzustellen war jedoch äußerst schwierig. Durch ein präzises Verfolgen der einzelnen Darmabschnitte innerhalb der Präparationen dieser Studie konnte der komplizierte Verlauf jedoch genau dokumentiert werden und kann nun als Grundlage und Ergänzung für bildgebende Verfahren dienen.

5.1.3 Fixierung der Tiere

Die Fixierung der Tiere mit Ethanol kombiniert mit der Aufbewahrung in einem Kühlraum ermöglichte die Präparation der Tiere über mehrere Tage hinweg. Die Konservierung der Organe in Salzlake unter Zugabe von Formaldehyd verhinderte erfolgreich Verwesungsprozesse durch im GIT ansässige Mikroorganismen. Die dadurch entstehende Veränderung der Gewebekonsistenz und die bräunlich-graue Verfärbung der Organe wurden toleriert, da dies keinen Einfluss auf die makroskopische Anatomie und Topographie hatte.

5.1.4 Darstellung der Gefäße mit Latexmilch

Die Injektion der Gefäße mit roter Latexmilch erwies sich als sehr hilfreiche Methode, da so auch sehr kleine Gefäße oder auch Gefäße, die innerhalb von Fettgewebe verliefen und sehr leicht zu übersehen waren, freigelegt werden konnten. Besonders die den Darm versorgenden Gefäße waren durch die Drehung der Kolonspirale um 180° sehr schwer zu verfolgen und zu bestimmen, konnten jedoch mit Hilfe dieser Methode erfolgreich zugeordnet und dargestellt werden. Es zeigte sich, dass sowohl beim beidseitigen Ligieren der Aa. femorales, aber auch beim einseitigen Ligieren von nur einer A. femoralis genug Druck aufgebaut werden konnte, dass selbst kleine Gefäße innerhalb der Organwand mit Latexmilch injiziert wurden.

5.2 Vergleich der gastrointestinalen Anatomie des Alpakas mit der Anatomie der Wiederkäuer und Einordnung des Alpakas innerhalb der Ordnung der Paarhufer (Artiodactyla)

Bohlken (1960) verglich die Anatomie des Magens des Lamas, Vikunjas und Guanakos mit der Anatomie des Schafes und Rindes. Er schlussfolgerte, dass trotz

des ähnlichen Grundaufbaus eines mehrhöhligen Magens beider Unterordnungen, die Unterschiede innerhalb der einzelnen Magenabteilungen gegen eine homologe Entwicklung der NWK und Ruminantia sprach. Der Autor argumentierte gegen die These Boas (1890), der die drei Magenkompartimente der Kameliden als homologe Organe zum Rumen, Omasum und Abomasum des Wiederkäuers betrachtete und diese danach benannte. Er führte folgende Unterschiede zwischen den Unterordnungen auf:

NWK besitzen im Vergleich zu Wiederkäuern drei und nicht vier Magenabteilungen, der Ösophagus mündet ausschließlich in C1 und nicht wie beim Rind zwischen Rumen und Retikulum, die Magenrinne wird durch eine einzelne, flache Schleimhautlippe gebildet (bei den WDK durch zwei), und die charakteristischen Drüsensäckchen kommen nur bei den NWK vor. Außerdem ist das Rumen der Wiederkäuer durch eine dichte Zottenschicht ausgekleidet, während das C1 der NWK von einer glatten Schleimhaut überzogen ist.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass sich die Anatomie des Magens des Alpakas zu der der Wiederkäuer in gleicher Weise unterscheidet wie die des Lamas, Vikunjas und Guanakos und zeigt außerdem, dass weitere Unterschiede innerhalb des GIT die These von Bohlken (1960) untermauern. Das C1 des Alpakas zeigte lediglich eine Gliederung in einen kranialen und kaudalen Sack, war jedoch nicht weiter in dorsale und ventrale Abteilungen untergliedert, wie es beim Pansen des Wiederkäuers der Fall ist. C1 und C2 waren durch eine große Öffnung miteinander verbunden und das C2 war von innen durch die verschiedenen Muskelbalken in ein System von tiefen Waben gekammert, die von kleinen Papillen besetzt waren. Auch hier unterschied sich die Inneneinrichtung deutlich von der des Blättermagens des Wiederkäuers, der durch zahlreiche, unterschiedlich lange Blätter gekennzeichnet ist und außerdem durch eine enges Ostium reticulo-omasicum vom Ruminoretikulum getrennt wird (König und Liebich, 2014; Nickel et al., 2004a). Das C3 des Alpakas stellte von außen eine Einheit dar und der Magensäure-sezernierende distale Magenabschnitt, der oft als eigene Magenabteilung betrachtet und als Hintermagen (hindstomach) bezeichnet wird (Luciano et al., 1980; von Engelhardt und Heller, 1985), war von den Vormägen weder durch einen Sphincter noch durch eine andere äußerlich sichtbare Struktur getrennt. Beim Wiederkäuer dagegen nimmt der Labmagen, der dem distalen Abschnitt des C3 in seiner Funktion entspricht eine

komplett eigene Magenabteilung ein (König und Liebich, 2014; Nickel et al., 2004a). Beim Alpaka deutete lediglich die unterschiedliche Anordnung der Schleimhaut des C3 unterschiedliche Funktionen innerhalb dieses Kompartimentes an. Außerdem war das Omentum majus des Alpakas erheblich kleiner und der Verlauf der Ansatzlinie differierte deutlich, sodass im Alpaka kein hängematten-artiger Netzbeutel, wie es beim WDK der Fall ist (König und Liebich, 2014; Nickel et al., 2004a), zu beobachten war. Das Darmkonvolut lag nicht, wie beim Wiederkäuer in dem vom Omentum majus gebildeten Recessus supraomentalis und wurde auch nicht vom großen Netz von der Bauchwand abgeschirmt. Vielmehr lag das Omentum majus beim Alpaka zwischen den Darmschlingen und war bei der Eröffnung der Bauchhöhle nur teilweise oder nicht sichtbar. Ein weiterer Unterschied zeigte sich im Darmtrakt. Beim Wiederkäuer ist das Jejunum girlandenartig um die Gekröseplatte der Kolonspirale aufgehängt (König und Liebich, 2014; Nickel et al., 2004a), während das Jejunum des Alpakas an einer eigenen, vom Colon ascendens unabhängigen Gekröseplatte befestigt war.

Diese Unterschiede stärken die Hypothese von Bohlken (1960), die besagt, dass sich die Eigenschaft des Wiederkäuens, die beiden Unterordnungen gemeinsam ist, als Anpassung an zellwandreiches Futter phylogenetisch zweimal entwickelt haben muss und die Entwicklung der NWK und Ruminantia unabhängig voneinander stattgefunden hat. Im System der Artiodactyla sollten die Tylopoda deshalb als eigenständige Unterordnung betrachtet werden.

Darüber hinaus nahm Bohlken (1960) an, dass sich auch die Physiologie der Verdauungsvorgänge zwischen den Tylopoda und Ruminantia unterscheiden muss, da der Prozess des Wiederkäuens eng mit dem anatomischen Design der Magenabteilungen gekoppelt ist und Unterschiede in der Anatomie so auch Unterschiede in der Verdauungsphysiologie mit sich bringen.

In dieser Studie wurde gezeigt, dass sich die makroskopische Anatomie des Alpakas bis auf Unterschiede in den Größenverhältnissen kaum von der des Lamas und Guanakos unterscheidet.

Diese Tatsache, ähnliche (jedoch nicht identische!) Fressgewohnheiten und Habitate und die nahe Verwandtschaft der beiden Spezies deuten auf sehr ähnliche verdauungsphysiologische Vorgänge im GIT hin und so wurden in dieser Studie angenommen, dass die verschiedenen Aspekte der Verdauungsphysiologie, die in

der Literatur vor allem für das Lama beschrieben wurden, in ihren Grundzügen auch für das Alpaka gelten. Um diese Annahme jedoch zu bestätigen und Unterschiede zwischen der Verdauungsphysiologie der Spezies festzustellen, die es aufgrund feiner Unterschiede in den Fressgewohnheiten und dem Habitat zwischen Alpaka und Lama mit Sicherheit gibt, sind zukünftige Studien notwendig, die sich mit der Verdauungsphysiologie speziell des Alpakas beschäftigen.

So stehen einige anatomische Besonderheiten des Alpakas und Lamas in unmittelbarem Zusammenhang mit in NWK einzigartigen physiologischen Prozessen innerhalb des GIT und untermauern auch die zweite Aussage von (Bohlken, 1960).

Der erste anatomische Unterschied, der zu nennen ist und einen grundlegend unterschiedlichen Teilprozess der Verdauung in NWK im Vergleich zum Wiederkäuer mit sich zieht, ist das Vorkommen von Drüsen Schleimhaut in C1, C2 und dem tubulären Abschnitt des C3. Diese ist durch die Existenz von Millionen von Drüsen (Cummings et al., 1972; Luciano et al., 1979; Luciano et al., 1980), einer Bikarbonat-Sekretion und einer sehr hohen Resorptionskapazität von SCFA, Wasser und Natrium durch die Epithelzellen gekennzeichnet und für eine zwei bis dreifach höhere Resorptionsrate von SCFA, Wasser und gelösten Substanzen als im Wiederkäuer zuständig (von Engelhardt und Sallmann, 1972a).

Der zweite große anatomische Unterschied im Vergleich zu den Wiederkäuern ist die besondere makroskopische und mikroskopische Anatomie der Drüsen Säckchen und das dichte Kapillarnetz unterhalb ihres Epithels (Luciano et al., 1979). Der Aufbau der Epithelzellen der Säckchenschleimhaut ist für eine hohe Resorptionsrate ausgelegt und zusätzlich bewirkt das Design der tiefen Säckchen eine Oberflächenvergrößerung und erhöht somit die Resorptionskapazität weiterhin. Beim Wiederkäuer wird die Oberflächenvergrößerung des Rumens durch die Existenz von zahlreichen Zotten gewährleistet.

Die Säckchen der NWK haben während der Kontraktionsphasen der Vormägen eine weitere wichtige Aufgabe und führen zu einem sehr effektiven Mischen der festen Ingesta mit Flüssigkeit und MOs (Ehrlein und von Engelhardt, 1971; Heller et al., 1984; Vallenias, 1965; Vallenias und Stevens, 1971; von Engelhardt und Holler, 1982).

Das besondere anatomische Design der Vormägen der NWK führt zu einer hohen Resorptionsrate, vor allem von SCFA. Dies wiederum führt zu einem insgesamt

etwas höheren und vor allem stabileren pH-Wert in den Kompartimenten und bietet nahezu perfekte Bedingungen für ein erfolgreiches Wachsen der die Vormägen besiedelnden MOs. Es resultiert außerdem in einer sich von den Wiederkäuern unterscheidenden Zusammensetzung der MOs (Jouany 2000; Lemosquet et al., 1996). Diese unterschiedliche Zusammensetzung wiederum führt zu unterschiedlichen Prävalenzen des Auftretens bestimmter Krankheiten. So kommt z.B. eine schaumige Gärung bei NWK nur in den seltensten Fällen vor, während sie beim Wiederkäuer ein recht häufig gesehenes Bild ist. Die geringere Populationsdichte der MOs in NWK könnte ein Grund dafür sein und für einen langsameren Abbau mit deutlich geringerer Schleimbildung von z.B. frischer Luzerne verantwortlich sein. Außerdem ist der Anteil von *Prevotella ruminicola*-ähnlichen Bakterien in NWK deutlich geringer. Diese Bakterien sind bei den Wiederkäuern für eine massive Schleimbildung bekannt und mitverantwortlich für das Krankheitsbild der schaumigen Gärung. Weitere Gründe für das nicht-Auftreten könnten die langsamere Futteraufnahme, der höhere Flüssigkeitsdurchfluss und eine geringere Oberflächenspannung in den Vormägen der Kameliden sein (Liu et al., 2009; Pei et al., 2010; Pei et al., 2013).

Die Unterschiede in der Ausprägung und dem Verlauf des großen Netzes deuten außerdem auf eine unterschiedliche embryologische Entwicklung und Drehung des Darmrohres innerhalb der beiden Unterordnungen hin.

5.3 Vergleich der gastrointestinalen Anatomie des Alpakas mit der des Lamas und Einordnung der Neuweltkameliden zu einem morphophysiologischen Ernährungstypen

Die makroskopische Anatomie und auch die topographische Lage des GIT der Alpakas dieser Studie stimmten größtenteils mit der für das Lama beschriebenen Anatomie überein (Fowler und Bravo, 2010b; Vallenias et al., 1971). Die äußerliche Gliederung des Magens in drei Kompartimente, genauso wie das Auftreten und der Aufbau der zwei Säckchenregionen im kranialen und kaudalen Sack des C1 gleicht dem Magen des Lamas. Die makroskopische Beschaffenheit und Erscheinung der Schleimhaut der Kompartimente, die ebenfalls mit der des Lamas übereinstimmen, lassen vermuten, dass die Schleimhaut des Alpakas in ihrem histologischen Aufbau auf ähnliche Weise zusammengesetzt ist.

Der Darm des Alpakas hatte ebenfalls den gleichen Grundaufbau und eine ähnliche Lage wie der Darm des Lamas, der von Fowler und Bravo (2010b); McCracken et al. (1999); Vallenas (1991) und Van Hoogmoed et al. (1998) beschrieben wurde. In den meisten Aspekten stimmten die Ergebnisse auch mit der anatomischen Lage des GIT überein, die in Studien über bildgebende Verfahren und laparoskopische Zugänge beschrieben wurden (Anderson et al., 1996; Cebra et al., 2002; Stieger-Vanegas und Cebra, 2013; Van Hoogmoed et al., 1998).

Unterschiede gab es in der Lage der Kolonspirale und der Länge der Darmabschnitte. Van Hoogmoed et al. (1998), Stieger-Vanegas und Cebra (2013), Fowler und Bravo (2010b) beschrieben, dass die Kolonspirale in der Regel der ventralen Bauchwand aufliegt. Cebra (2014) jedoch wies auf eine inkonsistente Lage der Kolonspirale hin. In den Tieren dieser Studie wurde ebenfalls eine variierende topographische Lage der Kolonspirale festgestellt. Diese lag entweder der ventralen Bauchwand an, in der größeren Anzahl der Tiere grenzte sie jedoch an die linke dorsolaterale Bauchwand. Das lange Gekröse und eine fehlende unmittelbare Befestigung der Kolonspirale an der dorsalen Bauchwand erklären die variable Position dieses Darmabschnittes.

Durch die Injektion der Gefäße mit Latexmilch in dieser Studie konnten die Länge und die Lage des Colon transversum definiert werden. Das Gefäß für das Colon transversum, das aus der A. colica media entsprang, versorgte lediglich den kurzen Darmabschnitt der kranial der Gekrösewurzel von rechts nach links verlief. Die vorhergehenden Windungen werden von einem eigenen Gefäß aus der A. colica media versorgt und sind als Ansa distalis des Colon ascendens anzusehen.

Der Dünndarm der Alpakas dieser Studie hatte im Durchschnitt nahezu die gleiche Gesamtlänge wie der Dünndarm des Lamas. In Relation zur Körpergröße hatten die Alpakas somit einen längeren Dünndarm.

San Martín und Van Saun (2014) beschrieben in ihrem Kapitel über die Anatomie des GIT, dass das mangelhafte Wissen über den GIT und die Verdauung von NWK vor allem in den Importländern dazu führt, dass oftmals Fütterungsprinzipien, die für Wiederkäuer (v. a. Rinder und Schafe) gelten, auf NWK übertragen werden. Die einzigartige Anatomie und der Stoffwechsel der NWK fordern jedoch eine eigene Betrachtung der Fressgewohnheiten der Tiere, um die richtige Fütterung und eine artgerechte Haltung zu ermöglichen. Die deutlichen Unterschiede in der Anatomie

der Tylopoda und Ruminantia indizieren eine parallele und nicht homologe Entwicklung der beiden Gruppen. Das gemeinsame Ziel der beiden ruminierenden Unterordnungen, nämlich die Verdauung von Pflanzenzellwänden, sowie die Ausstattung mit einem mehrhöhligen Magen und einige übereinstimmende Aspekte des Fressverhaltens der NWK mit einer der morphophysiologischen Ernährungstypen, die Hofmann (1989) beschrieb, rechtfertigt jedoch einen Vergleich und eine Einordnung der NWK zu einer dieser Gruppen.

Die subtilen, aber wichtigen Unterschiede zwischen der Anatomie, den Fressgewohnheiten (Selektivität) und der Habitate des Lamas und Alpakas fordern weiterhin eine getrennte und individuelle Betrachtung der jeweiligen Spezies. Ähnlichkeiten der Fressgewohnheiten der NWK mit verschiedenen Spezies der Ruminantia, aber auch einige einzigartige Eigenschaften der Anatomie und Verdauungsphysiologie der NWK, lassen diese Einordnung jedoch zu einer Herausforderung werden und eine exakte Zuordnung zu einer Gruppe ist schwer möglich. So überschneiden sich einige Eigenschaften der NWK mit verschiedenen Gruppen, es ist jedoch eine Tendenz hin zu einer Gruppe festzustellen.

Die Selektivität einer Spezies stellt einen Schlüsselmechanismus für die verschiedenen Strategien der Anpassung an wechselnde Futterbedingungen dar und ist eines der Hauptkriterien für die Einordnung zu einer bestimmten Gruppe (Hofmann, 1989) und soll deshalb im Folgenden mitbeachtet werden.

Das faserige, lignifizierte und sehr schwer verdauliche Futter (vor allem während der Trockenzeit) in den Habitaten der NWK (Fowler und Bravo, 2010a; San Martín und Bryant, 1989; San Martín und Van Saun, 2014) erfordert eine Anpassung des GIT der NWK, die den Wiederkäuerspezies ähnelt, die der Kategorie der Gras- und Raufutter-Fresser angehören (z.B. Rinder, Schafe). Eine der Hauptaufgaben des Verdauungstraktes dieser Gruppe stellt die cellulolytische Spaltung der Zellwände der Pflanzen dar. Die Gras- und Raufutterfresser (GR), im Speziellen das Rind, haben diese Herausforderung durch die Entwicklung einer riesigen proximalen Fermentationskammer (das Ruminoretikulum) gemeistert und haben dadurch die effizienteste Verdauung von schwer verdaulichen Pflanzenzellwänden innerhalb der Wiederkäuer erreicht. Ihre distale Fermentationskammer (das Zäkum und Colon) ist kürzer als diejenige der Gruppe der Selektierer (CS) und der flexiblen Intermediärtypen (IM) und ist reduziert auf eine Option für Notzeiten (Hofmann,

1989). Die Spezies, die den beiden anderen Gruppen angehören und eine deutlich höhere Selektivität für leichter verdauliches Futter zeigen, haben die cellulolytischen Funktionen des Rumens (noch) nicht perfektioniert und die Absorption von Nährstoffen im Hindgut wird favorisiert. Die Fermentation der Inhaltsstoffe der Zellen von leichter verdaulichen Pflanzen (v.a. von zweikeimblättrige Pflanzen, die einen höheren Proteingehalt als einkeimblättrige Pflanzen aufweisen) durch amylolytische Bakterien steht bei diesen Spezies im Vordergrund, während die cellulolytische Verdauung der Pflanzenzellwände im relativ deutlich kleineren Rumen geringer ausgeprägt ist. Ein großer Austritt von Nährstoffen aus dem Pansen in das Abomasum tritt bei diesen Spezies deshalb auf. Die Größe des Rumens nimmt von der Gruppe der Intermediärtypen hin zu den Selektierern ab, dafür ist jedoch die Schleimhaut des Abomasum besser ausgestattet. Sie ist bis zu 100 % dicker als in GR, bis zu 50% dicker als in IM und produziert deutlich mehr Salzsäure (Hofmann, 1989).

Die Gruppen der IM und CS führen eine fraktionierte Verdauung durch, aufgeteilt in der proximalen und distalen Fermentationskammer. Aus diesem Grund ist die Kolonspirale, die unter anderem die Aufgabe eines Verzögerungsmechanismus der Ingestapassage für eine erfolgreiche Cellulolyse in der distalen Fermentationskammer hat, in Spezies dieser beiden Gruppen länger als die der Gras- und Raufutterfresser. In der Trockenzeit oder im Winter, wenn das Futter stärker lignifiziert und schwerer zu verdauen ist, kompensieren diese Spezies ihre geringere Fähigkeit der Faserverdauung unter anderem durch eine saisonale Vergrößerung der distalen Fermentationskammer (z.B. der zu den Selektierern gehörende Elch). Die Verdauung ab dem Abomasum gleicht in diesen Spezies derjenigen der Monogastrier (Hofmann, 1989).

Das Futter in den ursprünglichen Lebensräumen der NWK ist jedoch noch stärker lignifiziert als das der WDK und zudem zeigen NWK eine geringere Selektivität für einfacher zu verdauendes Futter als z.B. das Schaf, wobei das Alpaka selektiver ist als das Lama (Sumar, 2010). Mit abnehmender Selektivität nimmt deshalb die Futterqualität vom Schaf über das Alpaka hin zum Lama ab (San Martin Howard, 1987). Der GIT-Trakt der NWK ist somit vor eine noch größere Herausforderung gestellt und die Tiere müssen eine zusätzliche Möglichkeit haben, faseriges und lignifiziertes Futter zu verdauen. Die mit Drüsenschleimhaut ausgekleideten

Säckchen des C1 spielen dabei eine große Rolle und sind vor allem bei der Aufnahme von Futter schlechter Qualität für eine höhere Verdaulichkeit zuständig. Im Verhältnis zur Körpergröße ist der Magen der NWK jedoch von geringerer Größe als der des Schafes (San Martin Howard, 1987) und außerdem konnten in den kranialen 2/3 des C3 und im Caecum und proximalen Colon der NWK eine hohe fermentative Aktivität festgestellt werden (Vallenas et al., 1973). Diese Gegebenheiten lassen eine fraktionierte Verdauung der Neuweltkameliden vermuten, was durch die Ergebnisse dieser Studie bestärkt werden konnte. In der Studie konnte gezeigt werden, dass das Colon ascendens des Alpakas länger ist als das von Rind und Schaf und dass das Alpaka sowie das Lama eine höhere Anzahl von Gyri centripetales und Gyri centrifugales als Rind, Schaf und Ziege besitzen. Eine Funktion der langen Kolonspirale ist vermutlich auch in diesen beiden Spezies eine Verlängerung der Ingestapassage innerhalb der distalen Fermentationskammer, um ausreichend Zeit für die cellulolytischen Spaltung durch MOs zu gewährleisten.

Die Länge der Kolonspirale der Wiederkäuer ist mit der Selektivität und dem Ernährungstyp korreliert und steht in Zusammenhang mit dem Ort der cellulolytischen Verdauung. Die Gruppe der Gras- und Raufutterfresser zeigt eine ausgeprägte foregut-Verdauung (z.B. das Rind mit 1,5-2 Windungen der Gyri centripetales und fugales), die der Selektierer eine fraktionierte Verdauung im foregut und hindgut mit starker Ausprägung der distalen Fermentationskammer. Die Gruppe der Intermediärtypen (z.B. die Ziege mit jeweils 4 Windungen) liegt dazwischen (Hofmann, 1989).

Das Alpaka ähnelt in den Proportionen des GIT und auch in seinen Fressgewohnheiten im Vergleich zu unseren Hauswiederkäuern vor allem der Ziege (Intermediärtyp). Das ursprüngliche Habitat der Ziege lag ebenfalls in großen Höhen mit kargen Landschaften, die durch variierende Futterqualität in Abhängigkeit von der Jahreszeit gekennzeichnet waren (Hofmann, 1989). Die Ziege besitzt das längste Colon ascendens unserer Hauswiederkäuer und die am besten entwickelte Fähigkeit Cellulose mikrobiell aufzuschließen (Nickel et al., 2004a).

Bei der Betrachtung der Fermentationsaktivität sowohl im foregut als auch im hindgut, der stärkeren Selektivität beim Fressen und der Länge des Colon ascendens scheint das Alpaka ebenfalls eine fraktionierte Verdauung durchzuführen und eher zur flexiblen Gruppe der Intermediärtypen zu gehören. Das Alpaka zeigt

das am meisten opportunistische Fressverhalten und ist in der Lage, sein Fressverhalten den unterschiedlichsten Futterqualitäten anzupassen (San Martín Howard, 1987), ähnlich wie es Spezies der flexiblen Gruppe der Intermediärtypen eigen ist (Hofmann, 1989). Das Alpaka nähert sich je nach Jahreszeit und Futterqualität mehr den Selektierern oder mehr den Gras- und Raufutterfressern an, indem es schwer verdauliches, faseriges Futter so lange wie möglich vermeidet und Blätter und Staudenpflanzen bevorzugt. Das Lama dagegen zieht es vor, sowohl in der Trockenzeit als auch in der Regenzeit in trockenen Regionen zu fressen, die von großen und rauen Buschgräsern dominiert werden. Wie die Altweltkameliden scheint es noch etwas effektiver an ein arides Klima angepasst zu sein als das Alpaka (San Martín und Van Saun, 2014). Demzufolge ist das Lama in noch höherem Maße an die Aufspaltung schwerverdaulicher Pflanzen – über das ganze Jahr hinweg – angepasst und ähnelt in dieser Hinsicht mehr den selektiven Gras- und Raufutterfressern, die im Bereich der Wiederkäuer am effizientesten an die Aufspaltung von Strukturkohlenhydraten adaptiert sind.

Der im Vergleich zum Alpaka in Relation kürzere Dünndarm des Lamas gewährt den Kompartimenten des Magens ein größeres Volumen und somit mehr Platz für die proximale Fermentationskammer und lässt eine stärker ausgeprägte proximale Fermentation im Lama erwarten. Aufgrund der geringeren Selektivität von leichter verdaulichen Pflanzen und der genannten anatomischen Gegebenheiten ist das Lama zwischen der Gruppe der Gras- und Raufutterfressern und der Gruppe der Intermediärtypen anzuordnen. Es scheint ebenfalls eine fragmentierte Verdauung durchzuführen dabei aber seine proximale Fermentationskammer stärker zu nutzen als das Alpaka. Dies untermauert die Aussage von van Soest (1982), der das Lama der Gruppe der Gras- und Raufutterfresser trockener Regionen zuordnete.

5.4 Anpassung des GIT der Ruminantia und Tylopoda an wechselnde Bedingungen der verschiedenen Jahreszeiten

NWK zeigen bei der Aufnahme von Futter geringer bis mittlerer Qualität (hoher Faser- und geringer Eiweißgehalt; Rohprotein < 7,5%) eine höhere Verdaulichkeit als das Schaf, während bei hochwertigerem Futter (Rohprotein > 10,5 %) kein signifikanter Unterschied in der Verdaulichkeit festzustellen ist.

Verschiedene Faktoren scheinen hier eine Rolle zu spielen. NWK zeigen eine etwas geringere Futteraufnahme, dafür jedoch eine längere Retentionszeit der Ingesta (Florez, 1973; San Martin Howard, 1987) und eine schnellere Passagerate von Flüssigkeiten. Außerdem wird die Ingesta während der Kontraktionszyklen der Kompartimente, die eine höhere Frequenz als in den Wiederkäuern aufweisen, sehr effizient gemischt (Vallenas, 1965; Vallenas und Stevens, 1971; von Engelhardt und Holler, 1982). Der pH-Wert ist etwas höher, wird durch die schnellere Resorption der SCFA in einem konstanteren Bereich gehalten und bietet optimale Bedingungen für die MOs (Vallenas et al., 1973). Die Retentionszeiten der Ingesta verkürzen sich vom Lama (63,2h) über das Alpaka (50,3h) bis hin zum Schaf (40,9-43,2h) (Florez, 1973; San Martin Howard, 1987).

Die Anpassung der Wiederkäuer an wechselnde Futterbedingungen in den verschiedenen Jahreszeiten ist je nach Ernährungstyp verschieden. Die Anordnung der Zotten im Ruminoretikulum der Wiederkäuer variiert je nach Angehörigkeit der verschiedenen Spezies zu einer bestimmten Gruppe von Ernährungstyp und die Zotten verändern sich in ihrer Länge abhängig von der Futterqualität. Bei Wiederkäuern, die der Gruppe der Intermediärtypen angehören, stellen die Zottenlänge und -dichte und die Größe des Ruminoretikulums Anpassungsmechanismen an Futter unterschiedlicher Qualität dar. Die Wintermonate beziehungsweise die Trockenzeit, in denen die Verdaulichkeit der Pflanzen abnimmt, gehen mit einer Kornifizierung und Verkürzung der Zotten einher. Dies hat eine Verkleinerung der Oberfläche zur Folge und somit eine geringere Resorptionskapazität von SCFA. Das Volumen der Vormägen wird jedoch vergrößert. Bei der Alpengämse (Intermediärtyp) zum Beispiel vergrößert sich das Volumen des Ruminoretikulums um bis zu 300%. Gleichzeitig reduzieren sie die Futteraufnahme und die Retentionszeit des Futters verlängert sich (Hofmann, 1989). NWK zeigen in der trockenen Jahreszeit eine nahezu gleiche oder etwas erhöhte Futteraufnahme im Vergleich zur Regenzeit. In der Trockenzeit vergrößern sie ebenfalls die Kapazität des Magens und verlängern die Retentionszeit. NWK scheinen die Nahrungspartikel langsamer zu sortieren als Wiederkäuer, was in einer längeren Retentionszeit von größeren Partikeln und einer kürzeren Retentionszeit von kleineren Partikeln resultiert (Dittmann et al., 2014). Dies bietet den MOs in der Trockenzeit ausreichend Zeit und die Chance auch stärker lignifizierte Pflanzenteile

und kleinere Pflanzenstämme anzugreifen. Durch den niedrigeren basalen Energiebedarf und Stoffwechsel des Lamas, den optimalen Bedingungen der MOs in den Vormägen und den langen Retentionszeiten, ist es den Tieren so möglich, ausreichend Energie und Nährstoffe aus weniger und schwerer verdaulichem Futter zu ziehen. Zusätzlich sind NWK in der Lage, ihren Energiebedarf in der Trockenzeit noch weiter zu senken (Schneider et al., 1974) und gleichzeitig ihren Harnstoff-Metabolismus in die Vormägen zu erhöhen. Durch die Fähigkeit eine höhere NH_4^+ -Konzentration im C1 und C2 aufrecht zu erhalten, zeigen Lamas eine höhere Verdaulichkeit von Futter mit geringem Stickstoffgehalt (Hinderer und von Engelhardt, 1975).

Die Qualität des Futters, welches das Alpaka während der verschiedenen Jahreszeiten konsumiert, variiert in größerem Ausmaß als beim Lama. Der GIT muss sich somit ebenfalls in größerem Ausmaß in relativ kurzer Zeit an die wechselnden Bedingungen von Regenzeit und Trockenzeit anpassen (San Martin und Bryant, 1989).

Das jeweils eigene Gekröse des Jejunums und des Colon ascendens erlauben der Ansa proximalis coli und der Kolonspirale eine größere Mobilität und vereinfachen vermutlich die saisonale Vergrößerung der distalen Fermentationskammer als mögliche Anpassung an karge Jahreszeiten. Dies könnte für die erstaunliche Fähigkeit des Alpakas eine Rolle spielen, sich den verschiedensten Futterbedingungen anzupassen.

Die große Länge des Colon ascendens wird weiterhin durch die Aufgabe erklärt, die es neben der Funktion als distale Fermentationskammer hat. Es ist für eine hoch effektive Rückresorption von Wasser vor allem in der Trockenzeit des Jahres im semiariden Habitat der NWK zuständig (Cebra, 2014; Whitehead, 2013). Die Pelletierung der Faeces findet schon im proximalen Bereich der Kolonspirale statt (Fowler und Bravo, 2010b).

Kamele sind in der Lage den Wassergehalt der Faeces zu minimieren und den Urin stärker zu konzentrieren, um die Ausscheidung von Flüssigkeit während Hitzestress zu minimieren. Der Wassergehalt der Faeces der NWK ist zwar höher als der von Kamelen, in der trockenen Jahreszeit könnten die NWK jedoch die Fähigkeit mit den Kamelen teilen, den Wassergehalt der Faeces zu kontrollieren und den Urin stärker zu konzentrieren (Fowler und Bravo, 2010a).

5.5 Mögliche Zusammenhänge von Erkrankungen des Gastrointestinaltraktes mit der Anatomie des Gastrointestinaltraktes des Alpakas

5.5.1 Magen

Ulcera im Bereich des Magens sind eine häufige Erkrankung von NWK und für 6 % der Todesfälle verantwortlich (Cebra, 2014; Cebra et al., 2003; Hughes und Mueller, 2008; Smith et al., 1994; Smith, 1989). Magengeschwüre kommen in allen drei Kompartimenten vor, am häufigsten jedoch im C3 (Fowler und Bravo, 2010b).

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten, dass wie beim Lama auch beim Alpaka keine anatomische Trennung zwischen den Vormägen und dem Salzsäure-sezernierenden Hintermagen, dem distalen 1/5 des C3, besteht. Lediglich eine deutliche Verdickung der Schleimhaut wies auf die unterschiedlichen Funktionen hin. Außerdem findet die Entleerung des Magens gegen die Schwerkraft statt und das Lumen des Ostium pyloricum ist sehr eng. Dies könnte den Rückfluss sauren Inhaltes bzw. eine unvollständige Entleerung des C3 z.B. bei einem atonischen Magen oder einem Ileus begünstigen. Aufgrund des Fehlens einer Gallenblase bei den NWK kommt es zu einem kontinuierlichen Fluss von Gallenflüssigkeit in das Duodenum. Bei den Alpakas dieser Studie lagen, wie auch beim Lama, der Pylorus und das Duodenum dorsal des C3. Dies könnte zu einem zusätzlichen Rückfluss von Gallenflüssigkeit während eines atonischen Darms oder einem Ileus führen und ebenfalls einen Beitrag zur Entstehung von Ulcera liefern. Weiterhin gilt es eine Azidose der Vormägen, die unter anderem einen Grund für Ulcera darstellt, zu vermeiden. Wenn Kraftfutter gefüttert wird, sollte dies über den Tag verteilt und zusätzlich ausreichend Raufutter zur Verfügung gestellt werden. Leicht verdauliches Getreide wie Gerste und Maisprodukte sollte in anfälligen Herden möglichst vermieden werden (Cebra et al., 2003).

5.5.2 Darm

Im Bereich des Darmes gibt es einige anatomische Schwachstellen, die zu verschiedenen Erkrankungen führen können. Dabei treten vor allem partielle oder komplette Obstruktionen auf, die zu kolikartigen Beschwerden führen (Costarella und Anderson, 1999; DeVilbiss et al., 2011; Fowler und Bravo, 2010b; Kik und van der Hage, 1999).

Verschiedene Abschnitte des Mesenterium der Tiere dieser Studie waren sehr lang und gewährten den Darmabschnitten eine große Mobilität. Das lange Mesojejunum bildete eine eigene, vom Colon ascendens unabhängige Gekröseplatte. Lediglich der Anfangsabschnitt und das distale Ende waren relativ konstant in ihrer Position. Der restliche Teil war sehr variabel und Schlingen des Jejunums konnten nahezu im gesamten kaudalen Teil des Abdomen zu finden sein. Die Länge des Gekröses prädisponiert das Jejunum für Torsionen oder aber auch für die Verlagerung und Einklemmung von Jejunumschlingen durch das Foramen epiploicum. Das Foramen epiploicum war in den Tieren dieser Studie zudem recht groß, sodass auch eine Verlagerung eines recht großen Teils des Jejunums möglich ist. Dies kann zu lebensbedrohlichen Situationen wie einem Volvulus mit einem strangulierenden Ileus führen.

Die zweite Besonderheit des Mesenteriums war das Gekröse des Colon ascendens, das ebenfalls an einer eigenen Gekröseplatte befestigt war und keine direkte Befestigung an der dorsalen Bauchwand fand. Das Gekröse ging vielmehr mit einer schmalen Gekrösefalte aus dem Mesojejunum hervor und war zusätzlich am Caecum befestigt. Diese Befestigungsstelle bildete den einzigen Fixpunkt der Ansa proximalis coli und der Kolonspirale. Die flaschenhalsartige Engstelle des Gekröses prädisponiert das Colon ascendens für eine Drehung im Bereich dieser Engstelle über die physiologischen 180° im Uhrzeigersinn hinaus, wie es bei NWK recht häufig der Fall ist (Cebra, 2014). Dadurch kann es zu einer Strangulierung des Überganges von Caecum zur Ansa proximalis coli kommen. Die Gefäße der Ansa spiralis coli sind aufgrund der evolutionären Verlängerung des Colon ascendens ebenfalls sehr lang und die venöse Blutzufuhr kann durch solch eine Torsion unterbrochen werden und zur hämorrhagischen Infarzierung von Darmabschnitten des Colon ascendens führen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass weitere Schwachstellen des Darmes, die auch beim Lama bekannt sind, durch einige Engstellen des Darmes hervorgerufen werden. Diese Engstellen befanden sich direkt aboral des Pylorus, der durch eine starke Einziehung von der Ampulla duodeni getrennt war, am Übergang der Ansa proximalis coli zur Ansa spiralis coli und in der Flexura centralis. Diese Engstellen prädisponieren Obturationen, die durch Fremdkörper, wie zum Beispiel Phytobezoare hervorgerufen werden können.

Durch die Lage des großen Netzes zwischen den Darmschlingen trennt es den Darm weder von den seitlichen Bauchwänden noch vom Foramen epiploicum, wie es beim Wiederkäuer der Fall ist. Dies kann möglicherweise ein Grund sein, dass Neuweltkameliden anfälliger für ein Einklemmen des Darmes in das Foramen epiploicum sind. Des Weiteren limitiert es die Möglichkeit der Tiere, Infektionen zwischen dem großen Netz und der Bauchwand einzugrenzen (Cebra et al., 1998). Das Colon descendens war bei den Tieren dieser Studie bis 6-7 cm kranial des Anus von Peritoneum bedeckt. Dies sollte bei eventuellen rektalen Untersuchungen z.B mittels Ultraschallsonden berücksichtigt werden, da durch Verletzungen kranial davon die Bauchhöhle kontaminiert werden kann.

5.6 Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Anatomie des Gastrointestinaltraktes von 7 Alpakas makroskopisch untersucht. Für statistisch-auswertbare Daten sind die Tierzahlen zu gering, doch die Ergebnisse, die mit Fotografien und Schemazeichnungen dokumentiert wurden, können als Basis und Orientierung für Tierärzte, Studierende und andere Interessierte dienen. Auf die Darstellung der Gefäße des Magens und Darmes wurde besonders Wert gelegt, da hierüber nahezu keine Literatur vorhanden ist. Die Injektion der Gefäße mit Latexmilch hat sich dafür als erfolgreiche Methode herausgestellt und die Gefäße konnten bis zu den kleinen Gefäßen in der Magen-/ Darmwand verfolgt werden.

Der Grundaufbau der Anatomie der Alpakas dieser Studie stimmte mit der Anatomie des Lama überein. Unterschiede existieren in der Länge der Darmabschnitte und den Proportionen von Magen und Darm, die mit den unterschiedlichen Fressgewohnheiten des Alpakas und Lamas in Zusammenhang gebracht werden können. Der GIT der NWK scheint im Allgemeinen sehr gut an die harschen Bedingungen der großen Höhen in ihrem ursprünglichen Habitat in Südamerika angepasst zu sein.

Mit den anatomischen Anpassungen an diesen Lebensraum sind jedoch auch einige Schwachstellen innerhalb des GIT verbunden, die zu oben genannten Krankheitsbildern führen können und einen recht großen Anteil an Erkrankungen ausmachen, an denen NWK erkranken.

5.7 Ausblick

Verschiedene Limitationen dieser Arbeit zeigen die Notwendigkeit zukünftiger Studien, um die Grundlagen, die durch die Ergebnisse geschaffen wurden, weiter auszubauen und auf andere Bereiche (z.B. Diagnostik, Verdauungsphysiologie) ausweiten zu können.

Erstens wurde die Anatomie der Tiere rein makroskopisch untersucht und nicht mikroskopisch. Dies geschah aufgrund der Tatsache, dass die hier untersuchten Tiere keine Schlachttiere, die zu einem bestimmten und bekannten Zeitpunkt geschlachtet wurden, sondern Tiere aus Privatbesitz waren und aufgrund medizinischer Gründe zu unbestimmten Zeitpunkten euthanasiert wurden. Gerade im Magen- und Darmbereich müssen Proben, die für histologische Zwecke genutzt werden sollen jedoch unmittelbar nach dem Tod entnommen, gekühlt und fixiert werden. Andernfalls setzen autolytische Vorgänge ein, hervorgerufen durch die in Magen und Darm ansässigen Mikroorganismen, und verhindern eine sinnvolle Beurteilung der Proben.

Aufgrund der im Regelfall nicht planbaren Euthanasien, war die unmittelbare Entnahme von Proben für die Histologie in dieser Studie nicht möglich. Die histologische Untersuchung des GIT von Alpakas sollte jedoch für weitere Unterscheidungsmerkmale zwischen Lama und Alpaka und die Untersuchung der Verdauungsphysiologie des Alpakas in Zukunft angestrebt werden.

Hierfür sollte mit Schlachtbetrieben, die auch NWK schlachten, zusammengearbeitet werden. Die zurückhaltende Bereitschaft und das Verständnis von einigen Seiten gegenüber der Nachfrage nach dem zur Verfügung stellen von Tieren, die euthanasiert werden mussten, zeigen einen großen Aufklärungsbedarf von Besitzern, Züchtern, Zuchtverbänden. Eine umfassende Aufklärung über die Notwendigkeit dieser Untersuchungen und die Wissenslücken, die im Bereich der NWK-Medizin und –Haltung nach wie vor bestehen, muss in Zukunft stattfinden.

Zweitens sollte für die Diagnostik z. B. mithilfe von Ultraschall, die rein anatomische Untersuchung des GIT, die in dieser Arbeit durch die anatomische Präparation durchgeführt wurde, durch weitere Methoden ausgebaut werden. Für eine sinnvolle Ultraschalluntersuchung und das korrekte Beurteilen des GIT-Traktes von z.B. an Kolik leidenden Tieren sind Referenzwerte und Bilder von gesunden Tieren notwendig. Ein Gegenüberstellen von anatomischen Querschnitten und den

entsprechenden Ultraschallbildern sollte Studenten der Veterinärmedizin und praktizierenden Tierärzten helfen, den Gesundheitsstatus eines Tieres besser einzuschätzen und mögliche Krankheitsursachen im Bereich des GIT zu finden. Das Erstellen solcher Referenzwerte/ -bilder sollte einer der nächsten Schritte sein.

Drittens war die Anzahl der untersuchten Tiere für die statistische Auswertung von z.B. Größen und Längenangaben zu gering. So sollten in Zukunft weitere Tiere untersucht werden, um diese Daten vervollständigen zu können.

Trotz alledem präsentieren die Ergebnisse dieser Studie wertvolle Informationen über die Anatomie des Alpakas, an denen sich Tierärzte, Studenten, Züchter, Tierbesitzer und andere Interessierte orientieren können.

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, die systematische und topographische Anatomie des Gastrointestinaltraktes des Alpakas darzustellen und ausführlich zu untersuchen. Außerdem sollten die Ergebnisse mit den in der Literatur beschriebenen Fressgewohnheiten und der Verdauungsphysiologie in Zusammenhang gebracht werden sowie eine Einordnung der NWK zu einem morphophysiologischen Ernährungstyp erfolgen.

Die untersuchten Tiere stammten aus Privathand oder wurden durch die Klinik für Wiederkäuer in Oberschleißheim vermittelt. Der Gastrointestinaltrakt von 7 Alpakas (6 Huacaya und ein Suri Alpaka) wurde makroskopisch untersucht und präpariert. Zunächst wurde die Lage der Bauchorgane in situ präpariert und dargestellt. Danach wurden die Organe nach Exenteration einzeln und detailliert präpariert. Zur Darstellung der Gefäßversorgung wurden die arteriellen Gefäße von drei Alpakas über die A. carotis communis mit roter Latexmilch injiziert. Für eine dreidimensionale Darstellung wurden von den beiden Säckchenregionen des C1 und des C2 nach Fixation mit Formaldehyd Gefrierpräparate hergestellt. Für die Präsentation wurden die Ergebnisse fotografisch festgehalten und Schemazeichnungen erstellt.

Die einfache anatomische Präparation erwies sich als sinnvoll, da die anatomischen Gegebenheiten, v.a. der komplizierte Verlauf des Darmes in der Bauchfellhöhle detailliert verfolgt werden konnten. Durch die Injektion der Gefäße konnten auch die einzelnen Magen- und Darmabschnitten direkt zugeordnet und definiert werden. Die Theorie der parallelen und nicht homologen Entwicklung von Tylopoda und Ruminantia konnten durch die deutlichen Unterschiede innerhalb des GIT der NWK im Vergleich zu den Wiederkäuern bekräftigt werden.

Unterschiede in den Längen und Proportionen des ansonsten sehr ähnlichen GIT von Lama und Alpaka konnten durch die unterschiedlichen Fressgewohnheiten und leicht unterschiedlichen Habitats der beiden Spezies erklärt werden. Dies erlaubte somit eine differenziertere Einordnung zu einem morphophysiologischen Ernährungstyp. Während das Alpaka mehr der flexiblen Gruppe der Intermediärtypen angehört, scheint das Lama der Gruppe der Gras- und Raufutterfresser trockener Regionen anzugehören. Außerdem zeigte die anatomische Präparation einige Prädispositionsstellen des GIT auf, die NWK für bestimmte Krankheiten

prädisponieren. Zusammenfassend können die Ergebnisse dieser Studie als Basis genutzt werden, um die gastrointestinale Anatomie des Alpakas besser zu verstehen und zu erlernen.

7 Summary

Title: An investigation of the systematic and topographic anatomy of the gastrointestinal tract of the alpaca (*Vicugna pacos*)

The gastrointestinal tract (GIT) of the alpaca is ideally adapted to its habitat at high altitudes, with its arid climate and sparse food sources. The alpaca's GIT resembles that of old-world camelids, which is adapted to the extreme heat and drought of their habitat in the desert, and that varies in size depending on the season.

The purpose of this study is to describe and illustrate the anatomical features of the intestines of alpacas in detail, to compare them to those of other camelids as well as domestic ruminants, and to explain anatomical peculiarities regarding their related evolutionary function and morphology. The presentation of weaknesses of the intestinal tract, which predispose alpacas to certain clinical pictures, is another goal of this study.

Seven animals (6 Huacaya and 1 Suri alpaca) were used for the anatomical dissection. The animals originated either from private ownership, or were mediated by the Clinic for Ruminants in Oberschleissheim, Germany. All animals were euthanised, for reasons that did not influence our results.

Each of the vascular systems of three of the animals was injected with latex milk in order to illustrate the course of the blood supply to the viscera. For a three-dimensional presentation of the saccules of C1 and of C2, frozen preparations of these areas were created.

The stomach was found to be separated into three compartments. In compartment 1 there were two areas, which were characterized by deep saccules, and in compartment 2 another comb-like system existed. C3 was a long and tubular organ. The compartments were lined by a smooth mucosa. Only the deep cells of compartment 2 were lined by a papillated mucosa.

The main blood supply was provided by the coeliac artery, which divided downstream into the hepatic artery and the left gastric artery, together supplying the liver, stomach, spleen, pancreas and the initial part of the duodenum.

The beginning of the small intestine was marked by the typical duodenal ampulla, followed by a tortuous duodenum. The long jejunum and ileum were attached to their

own mesentery before passing into the great intestine at the ileocolic junction. The proximal loop (*Ansa proximalis coli*) of the ascending colon had the same diameter as the relatively small caecum and formed a circular loop around a second mesentery plate to which the significantly thinner spiral colon was attached. It merged into the distal loop (*Ansa distalis coli*), which was connected to the transverse colon. The descending colon was characterised by a short mesentery, a sigmoidal loop (*Ansa sigmoidea*) and the surrounding fat tissue.

The main blood supply was provided by the cranial and caudal mesenteric artery. The particular lymph nodes of the different intestinal sections were located along the branches of these two arteries.

The gross anatomy of the stomach of the llama and alpaca are similar to a very large degree. Differences exist in the proportions of the stomach and in the length of the intestinal segments. The different feeding behaviours of the two closely related species are mirrored in the differing proportions within the gastrointestinal tract. The specific design of each stomach, together with its related functions and physiological processes, confirm that the evolution of Tylopoda and Ruminantia took place in parallel, and not homologically.

The spiral colon appears to play a major role in the intestinal digestion and water resorption, and the size of the distal fermentation chamber permits the presumption that alpacas belong to the group of animals that successfully practice a fractionated fermentation in the proximal and distal fermentation chambers. A long mesentery of either the jejunum or the ascending colon results in a predisposition to intestinal diseases, such as entrapment within the epiploic foramen, torsional lesions or volvuluses. In places where the intestinal lumen rapidly narrows, there is a predisposition to obstipation.

In summary, the results of this study can be used as a basis for a better understanding, and as a learning aid for the anatomy of the gastrointestinal tract of the alpaca.

.

8 Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1:</i> Entwicklung der Bestandszahlen von Neuweltkameliden in Deutschland.....	5
<i>Abb. 2:</i> Ansicht der drei Magenkompartimente und der Ampulla duodeni des Lamas von rechts; modifiziert nach Vallenias et al. (1971)	11
<i>Abb. 3:</i> Vorbereitung zur Fixation des C1 (Säckchen des kaudalen Sackes) und C2.	48
<i>Abb. 4:</i> Schnittführung des gefrorenen Präparat-Wasser-Blockes (Säckchenregion des kaudalen Sackes von C1 und C2).	49
<i>Abb. 5:</i> Magenkompartimente einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute (Lateralansicht von rechts).....	51
<i>Abb. 6:</i> Darstellung der Bauchorgane einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute mit intaktem Rippenbogen (Lateralansicht von rechts).	52
<i>Abb. 7:</i> Darstellung der Bauchorgane einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute (Lateralansicht von links).....	53
<i>Abb. 8:</i> Darstellung der Bauchorgane einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von ventral).....	53
<i>Abb. 9:</i> A) Facies parietalis des Kompartiment 1 einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute; B) Facies visceralis des C1 einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute. Die Ansatzlinie des großen Netzes wurde mit einer schwarzen Linie nachgezogen.....	55
<i>Abb. 10:</i> Säckchen des Saccus caudalis des C1 einer 10 Jahre alten Huacaya-.....	56
<i>Abb. 11:</i> Detailansicht aus <i>Abb. 10</i>	57
<i>Abb. 12:</i> Dorsale Ansicht des Saccus cranialis einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute.....	57
<i>Abb. 13:</i> Ansicht der Facies visceralis des C1 und C2 von innen einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute. C1 und C2 wurden im Ganzen umgestülpt.	58
<i>Abb. 14:</i> Gefrierpräparat der Säckchen des Saccus caudalis des C1. A) schräge Ansicht mit Anschnitt der Säckchen; B) Aufsicht auf die Öffnungen der Säckchen (A und B einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute); C) Detailansicht aus Bild B.	59
<i>Abb. 15:</i> Gefrierschnitt der Säckchen des Saccus cranialis des C1. A) Ansicht von außen; B) Ansicht von innen mit Anschnitt der Säckchen (A und B einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute).....	60
<i>Abb. 16:</i> Ansicht des C2 von innen einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute	61

<i>Abb. 17:</i> Gefrierschnitte des C2. A) Querschnitt; B) C2 längs und quer geschnitten (A und B einer 3,5 Jahre alten Huacaya-Stute).....	62
<i>Abb. 18:</i> A) Ansicht der Facies parietalis des C3 von außen; B) Ansicht der Facies parietalis von innen (A und B einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute).	63
<i>Abb. 19:</i> Präterminale Flexur des C3 eines 6,5 Monate alten Huacaya-Alpakas (Ansicht der Innenseite von dorsal).....	64
<i>Abb. 20:</i> Ventrale Ansicht des Omentum majus einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute (C1 nach oben geklappt).	66
<i>Abb. 21:</i> Omentum minus einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von rechts).	67
<i>Abb. 22:</i> Topographie des Foramen epiploicum einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute (ventrodorsale Ansicht, Bauchwand nach kranial geklappt).	68
<i>Abb. 23:</i> A) Innenansicht des C1 und C2; B) Sulcus ventriculi (A und B von einer 6,5 Monate alten Huacaya-Stute).....	69
<i>Abb. 24:</i> Kompartimente 1, 2, 3 des Magens und ihre arterielle Gefäßversorgung (Ansicht von schräg dorsal). Kursiv geschriebene Termini der Gefäße sind Namensvorschläge und in der NAV bisher nicht enthalten.	71
<i>Abb. 25:</i> Truncus vagalis dorsalis und ventralis einer 10 jährigen Huacaya-Stute	72
<i>Abb. 26:</i> Ganglion coeliacum und Ganglion mesentericum craniale einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute.....	73
<i>Abb. 27:</i> A) Außenansicht der Ampulla duodeni; B) Innenansicht der Ampulla duodeni. (A und B einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute).	75
<i>Abb. 28:</i> Pars descendens duodeni einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute.	76
<i>Abb. 29:</i> Ileum einer 20 Jahre alten Huacaya-Stute.	77
<i>Abb. 30:</i> Zweidimensionale Ansicht des Darmtraktes einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute. Der Pfeil zeigt die topographische Drehrichtung der Kolonspirale an.	77
<i>Abb. 31:</i> Ansa spiralis coli eines 6,5 Monate alten Huacaya-Alpakas (Ansicht von rechts).	79
<i>Abb. 32:</i> Dreidimensionale Ansicht des Darmtraktes einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute (Kolonspirale wie in Situ um 180 ° im Uhrzeigersinn gedreht).	80
<i>Abb. 33:</i> Colon descendens einer 10 Jahre alten Huacaya-Stute (Ansicht von ventral).	81

Abb. 34: Arterielle Gefäßversorgung des Darmtraktes. Zur besseren Übersichtlichkeit wurde das Darmschema zweidimensional ohne Rotation der Kolonspirale dargestellt und nur die Gefäße, die die Gyri centrifugales versorgten, eingezeichnet.84

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterschiede innerhalb der Magenabteilungen von NWK und WDK.	17
Tabelle 2: Eigenschaften und Funktionen der Vormägen des Lamas (Tabelle modifiziert nach (Fowler und Bravo, 2010b). N.A. – nicht angegeben.....	21
Tabelle 3: Eigenschaften und Funktionen der Magenabschnitte der Wiederkäuer (modifiziert nach (Fowler und Bravo, 2010b)).....	22
Tabelle 4: Länge der Darmabschnitte (alle Angaben in Metern). N. A. – nicht angegeben.	30
Tabelle 5: Maße der einzelnen Darmabschnitte des Lamas (Körpergewicht 140 kg, alle Angaben in m).	30
Tabelle 6: Untersuchungsgut (n=7).	43
Tabelle 7: Tiere, die für die Teiluntersuchung verwendet wurden (n=6).....	45
Tabelle 8: Tiere, die für die Teiluntersuchung verwendet wurden (n=3).....	47
Tabelle 9: Tiere, die für die Teiluntersuchung verwendet wurden (n = 1).....	48
Tabelle 10: Länge (Angaben in m) und Durchmesser (Angaben in mm) der Darmabschnitte.	74

10 Literaturverzeichnis

- 1 Alzola, R. H., Ghezzi, M. D., Gimeno, E. J., Lupidio, M. C., Castro, A. N. und Rodriguez, J. A. (2004): Topography and morphology of the llama (*Lama glama*) stomach. *Int. J. Morphol* 22, 155-164.
- 2 Anderson, D. E., Gaughan, E. M., Baird, A. N., Lin, H. C. und Pugh, D. G. (1996): Laparoscopic surgical approach and anatomy of the abdomen in llamas. *J Am Vet Med Assoc* 208, 111-116.
- 3 Bickers, R. J., Templer, A., Cebra, C. K. und Kaneps, A. J. (2000): Diagnosis and treatment of torsion of the spiral colon in an alpaca. *J Am Vet Med Assoc* 216, 380-382.
- 4 Boas, J. E. V. (1890): Zur Morphologie des Magens der Cameliden und der Traguliden und über die systematische Stellung letzterer Abtheilung. *Morphologisches Jahrbuch* 16, 494-524.
- 5 Bohlken, H. (1960): Remarks on the stomach and the systematic position of the Tylopoda. *Journal of Zoology* 134, 207-215.
- 6 Budras, K. und Wünsche, A. (2002): *Atlas der Anatomie des Rindes*, 1, pp. 138. Schlüter, Hannover.
- 7 Cebra, C. (2014): Disorders of the Digestive System. In: C. Cebra, D. E. Anderson, A. Tibary, R. J. Van Saun und L. W. Johnson, Eds., *Llama and Alpaca Care*, pp. 477-536. W.B. Saunders, St. Louis.
- 8 Cebra, C. K., Cebra, M. L., Garry, F. B., Larsen, R. S. und Baxter, G. M. (1998): Acute gastrointestinal disease in 27 New World Camelids: clinical and surgical findings. *Vet Surg* 27, 112-21.
- 9 Cebra, C. K., Watrous, B. J. und Cebra, M. L. (2002): Transabdominal ultrasonographic appearance of the gastrointestinal viscera of healthy llamas and alpacas. *Vet Radiol Ultrasound* 43, 359-366.
- 10 Cebra, C. K., Tornquist, S. J., Bildfell, R. J. und Heidel, J. R. (2003): Bile acids in gastric fluids from llamas and alpacas with and without ulcers. *J Vet Intern Med* 17, 567-570.
- 11 Ceron Cucchi, M. E., Marcoppido, G., Trangoni, M. D. und Cravero, S. L. (2013): Detection of fiber-digesting bacteria in the forestomach contents of llamas (*Lama glama*) by PCR. *Rev Argent Microbiol* 45, 147-149.
- 12 Clauss, M., Fritz, J., Bayer, D., Hummel, J., Streich, W. J., Südekum, K.-H. und Hatt, J.-M. (2009a): Physical characteristics of rumen contents in two small ruminants of different feeding type, the mouflon (*Ovis ammon musimon*) and the roe deer (*Capreolus capreolus*). *Zoology* 112, 195-205.
- 13 Clauss, M., Fritz, J., Bayer, D., Nygren, K., Hammer, S., Hatt, J.-M., Südekum, K.-H. und Hummel, J. (2009b): Physical characteristics of rumen contents in four large ruminants of different feeding type, the addax (*Addax nasomaculatus*), bison (*Bison bison*), red deer (*Cervus elaphus*) and moose (*Alces alces*). *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular & Integrative Physiology* 152, 398-406.
- 14 Costarella, C. E. und Anderson, D. E. (1999): Ileoceocolic intussusception in a one-month-old llama. *J Am Vet Med Assoc* 214, 1672-1673.
- 15 Cummings, J. F., Munnell, J. F. und Vallenias, A. (1972): The Mucigenous Glandular Mucosa in the Complex Stomach of Two New-World Camelids, the Llama and Guanaco. *Journal of Morphology* 137, 71-110.

- 16 De la Vega, E. (1952): Aspectos histológicos del aparato digestivo de la alpaca, Anales de la Facultad de Medicina.
- 17 DeVilbiss, B., Ziegler, J., Righter, D., Allen, A., Barrington, G. und Haldorson, G. (2011): Diaphragmatic hernia in a two-year-old alpaca (*Vicugna pacos*). *J Zoo Wildl Med* 42, 513-517.
- 18 Dittmann, M. T., Hummel, J., Runge, U., Galeffi, C., Kreuzer, M. und Clauss, M. (2014): Characterising an artiodactyl family inhabiting arid habitats by its metabolism: low metabolism and maintenance requirements in camelids. *Journal of arid environments* 107, 41-48.
- 19 Dittmann, M. T., Runge, U., Ortmann, S., Lang, R. A., Moser, D., Galeffi, C., Schwarm, A., Kreuzer, M. und Clauss, M. (2015): Digesta retention patterns of solute and different-sized particles in camelids compared with ruminants and other foregut fermenters. *J Comp Physiol B* 185, 559-573.
- 20 Dulphy, J. P., Dardillat, C., Jailler, M. und Jouany, J. P. (1994): Comparison of the intake and digestibility of different diets in llamas and sheep: a preliminary study. *Annales de Zootechnie* 43, 379-387.
- 21 Dulphy, J. P., Dardillat, C., Jailler, M. und Ballet, J. M. (1997): Comparative study of forestomach digestion in llamas and sheep. *Reprod Nutr Dev* 37, 709-725.
- 22 Ehrlein, H. J. und von Engelhardt, W. (1971): Untersuchungen über die Magenmotorik beim Lama. *Zbl.Vet. Med. A* 18, 181-191.
- 23 Esteban, L. R. und Thompson, J. R. (1988): The digestive system of new world camelids - common digestive diseases of llamas. *Iowa State University Veterinarian* 50, 117-121.
- 24 Florez, J. A. (1973): Rate of passage and digestibility in alpacas and sheep, Lima.
- 25 Fowler, M. E. (1987): *Medicine and Surgery of South American Camelids*. Iowa State University Press, Ames.
- 26 Fowler, M. E. (2010): *Medicine and surgery of camelids*, 3. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa,.
- 27 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010a): Feeding and Nutrition. In: M. E. Fowler, Ed. *Medicine and Surgery of Camelids*, pp. 17-58. John Wiley & Sons, Ames, Iowa.
- 28 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010b): Digestive system. In: M. E. Fowler, Ed. *Medicine and Surgery of Camelids* pp. 351-402. John Wiley & Sons, Ames, Iowa.
- 29 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010c): Neonatology. In: M. E. Fowler, Ed. *Medicine and Surgery of Camelids*, pp. 507-524. John Wiley & Sons, Ames, Iowa.
- 30 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010d): General Biology and Evolution. In: M. E. Fowler, Ed. *Medicine and Surgery of Camelids*, pp. 3-16. John Wiley & Sons, Ames, Iowa.
- 31 Fowler, M. E. und Bravo, P. W. (2010e): Clinical Diagnosis: Examination and Procedures. In: M. E. Fowler, Ed. *Medicine and Surgery of Camelids* pp. 89-109. John Wiley & Sons, Ames, Iowa.
- 32 Fritz, J., Hummel, J., Kienzle, E., Arnold, C., Nunn, C. und Clauss, M. (2009): Comparative chewing efficiency in mammalian herbivores. *Oikos* 118, 1623-1632.
- 33 Galotta, D. R. und Galotta, J. M. (1987): El peritoneo del estómago de la Llama. *Revista de Ciencias Agrarias y Técnicas Alimentarias* 8.

- 34 Gauly, M., Vaughan, J. und Cebra, C. (2010): Neuweltkameliden: Haltung, Zucht, Erkrankungen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- 35 Guzmán Chaves, J. (1970): Avances sobre la anatomía macroscópica en las alpacas, Anales de la 1. Convención de camélidos sudamericanos, Puno, Peru.
- 36 Harmeyer, J. und Hill, H. (1964): Das protozoenvolumen im Panseninhalt bei Ziege und Guanako. *Transboundary and Emerging Diseases* 11, 493-501.
- 37 Heller, R., Gregory, P. C. und von Engelhardt, W. (1984): Pattern of motility and flow of digesta in the forestomach of the Llama (*Lama guanacoe f. glama*). *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic & Environmental Physiology* 154.
- 38 Heller, R., Cercasov, V. und von Engelhardt, W. (1986): Retention of fluid and particles in the digestive tract of the llama (*Lama guanacoe f. glama*). *Comp. Biochem. and Physiol.* 83A, 687-691.
- 39 Hinderer, S. und von Engelhardt, W. (1975): Urea metabolism in the llama. *Comp. Biochem. Physiol.* 52A, 619-622.
- 40 Hinderer, S. und von Engelhardt, W. (1976): Entry of blood urea into the rumen of the llama. Tracer studies on non-protein nitrogen for ruminants III 8, 6-7.
- 41 Hintz, H. F., Schryver, H. F. und Halbert, M. (1973): A note on the comparison of digestion by new world camels, sheep and ponies. *Animal Science* 16, 303-305.
- 42 Hofmann, R. R. (1989): Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78, 443-457.
- 43 Hughes, K. und Mueller, K. (2008): Pathologic lesions of mycotic pneumonia in an alpaca following third compartment ulceration. *J Vet Diagn Invest* 20, 672-675.
- 44 Jouany , J. P. (2000): La digestion chez les camélidés; comparaison avec les ruminants. *Inra Productiones Animales* 13, 165-176.
- 45 Kik, M. J. L. und van der Hage, M. H. (1999): Cecal impaction due to dysautonomia in a llama (*Lama glama*). *J Zoo Wildl Med* 30, 435-8.
- 46 König, H. E. und Liebich, H.-G. (2014): Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. 6. Schattauer Verlag, Stuttgart.
- 47 Lechner-Doll, M., von Engelhardt, W., Abbas, A. M., Mousa, H. M., Luciano, L. und Reale, E. (1995): Particularities in forestomach anatomy, physiology and biochemistry of camelids compared to ruminants. *Options méditerranéennes, Serie B: Etudes et Recherches, Elevage et alimentation du dromadaire– Camel production and nutrition.* 13, 19-32.
- 48 Lechner-Doll, M. und von Engelhardt, W. (1989): Particle size and passage from the forestomach in camels compared to cattle and sheep fed a similar diet. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 61, 120-128.
- 49 Lemosquet, S., Dardillat, C., Jailler, M. und Dulphy, J. (1996): Voluntary intake and gastric digestion of two hays by llamas and sheep: influence of concentrate supplementation. *The Journal of Agricultural Science* 127, 539-548.
- 50 Lesbre, F. X. (1903a): Différences entre les chaux et les lamas. In: *Recherches anatomiques sur les camélidés*, 8, pp. 163-192. H. Georg, Lyon.
- 51 Lesbre, F. X. (1903b): *Recherches anatomiques sur les camélidés*. 8. H. Georg, Lyon.

- 52 Li, G., Wang, N., She, Q. und Zhang, J. (2008): Research on distribution, living environment and protection of wild Bactrian Camel (*Camelus bactrianus ferus*). *Journal of Camel Practice and Research* 15, 211-217.
- 53 Liu, Q., Dong, C. S., Li, H. Q., Yang, W. Z., Jiang, J. B., Gao, W. J., Pei, C. X. und Liang, Z. Q. (2009): Forestomach fermentation characteristics and diet digestibility in alpacas (*Lama pacos*) and sheep (*Ovis aries*) fed two forage diets. *Animal Feed Science and Technology* 154, 151-159.
- 54 Loeffler, K. und Gäbel, G. (2015): *Anatomie und Physiologie der Haustiere*. 14. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- 55 Loupal, G. (1982): Gastrolithiasis in a llama. *Berliner Und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 95, 14-16.
- 56 Luciano, L., Voss-Wermbter, G., Behnke, M., von Engelhardt, W. und Reale, E. (1979): Die Struktur der Magenschleimhaut beim Lama (*Lama guanacoe* und *Lama lamae*), I. Teil: Vormägen. *Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch* 125, 519-549.
- 57 Luciano, L., Reale, E. und von Engelhardt, W. (1980): The fine structure of the stomach mucosa of the Llama (*Llama guanacoe*). II. The fundic region of the hind stomach. *Cell Tissue Res* 208, 207-228.
- 58 McCracken, T. O., Spurgeon, T. L. und Kainer, R. A. (1999): *Spurgeon's Color Atlas of Large Animal Anatomy : The Essentials*. 1st ed. Wiley-Blackwell, Philadelphia.
- 59 NAV (2017): *Nomina Anatomica Veterinaria*, 6th ed. International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature, Hannover, Ghent, Columbia, Rio de Janeiro
- 60 Newman, K. D. und Anderson, D. E. (2014): Gastrointestinal Surgery in Alpacas and Llamas. In: *Llama and Alpaca Care*, pp. 661-668. W.B. Saunders, St. Louis.
- 61 Nickel, R., Schummer, A. und Seiferle, E. (2004a): *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Eingeweide 2*. Parey, Berlin.
- 62 Nickel, R., Schummer, A. und Seiferle, E. (2004b): *Bewegungsapparat. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. 1*. Parey, Berlin.
- 63 Novoa, C. und Wheeler, J. C. (1984): Llama and alpaca. In: I. L. Mason, Ed. *Evolution of domesticated animals*, pp. 116-128. Longman, London.
- 64 Pei, C.-X., Liu, Q., Dong, C.-S., Li, H., Jiang, J.-B. und Gao, W.-J. (2010): Diversity and abundance of the bacterial 16S rRNA gene sequences in forestomach of alpacas (*Lama pacos*) and sheep (*Ovis aries*). *Anaerobe* 16, 426-432.
- 65 Pei, C.-x., Liu, Q., Dong, C.-s., Li, H.-q., Jiang, J.-b. und Gao, W.-j. (2013): Microbial Community in the Forestomachs of Alpacas (*Lama pacos*) and Sheep (*Ovis aries*). *Journal of Integrative Agriculture* 12, 314-318.
- 66 Peteranderl, S. (21. Oktober 2010, 11:06 Uhr): Wirtschaftsfaktor Alpakas in Deutschland ,Das Gold der Inka
- 67 Popesko, P. (2007): *Atlas der topographischen Anatomie der Haustiere*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- 68 Rübsamen, K. und von Engelhardt, W. (1978): Bicarbonate secretion and solute absorption in forestomach of the llama. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 235, E1-E6.
- 69 Rübsamen, K. und von Engelhardt, W. (1979): Morphological and functional peculiarities of the llama forestomach. *Annales De Recherches Vétérinaires. Annals Of Veterinary Research* 10, 473-475.

-
- 70 Ruch, H. (2015): Persönliche Mitteilung am 21.08.2015 im Interview zu den Bestandszahlen von Alpakas in Deutschland. A. Vater.
- 71 Russell, J. B. und Wilson, D. B. (1996): Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? *Journal of dairy science* 79, 1503-1509.
- 72 San Martín, F. und Bryant, F. C. (1989): Nutrition of domesticated South American llamas and alpacas. *Small Ruminant Research* 2, 191-216.
- 73 San Martín, F. und Van Saun, R. J. (2014): Applied Digestive Anatomy and Feeding Behavior. In: *Llama and Alpaca Care*, pp. 51-58. W.B. Saunders, St. Louis.
- 74 San Martin Howard, F. A. (1987): Comparative forage selectivity and nutrition of South American camelids and sheep, Lubbock.
- 75 Schneider, W., Hauffe, R. und Engelhardt, W. v. (1974): Energie- und Stickstoffumsatz beim Lama. *Publ Eur Assoc Anim Prod*.
- 76 Schwantag, S. und Zanolari, P. (2013): Omphalourachitis with abscess of the urachus and rectal prolapse in a llama cria (*Lama glama*). *Tierärztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere* 41, 119-23.
- 77 Shapiro, J. L., Watson, P., McEwen, B. und Carman, S. (2005): Highlights of camelid diagnoses from necropsy submissions to the Animal Health Laboratory, University of Guelph, from 1998 to 2004. *Can Vet J* 46, 317-318.
- 78 Sijtsma, L. und Tan, B. (1993): Degradation and utilization of grass cell walls by anaerobic fungi isolated from yak, llama and sheep. *Animal Feed Science and Technology* 44, 221-236.
- 79 Smith, B. B., Pearson, E. G. und Timm, K. I. (1994): Third compartment ulcers in the llama. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 10, 319-330.
- 80 Smith, J. A. (1989): Noninfectious Diseases, Metabolic Diseases, Toxicities, and Neoplastic Diseases of South American Camelids. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 5, 101-143.
- 81 Smuts, M. M. S. und Bezuidenhout, A. J. (1987): *Anatomy of the dromedary*. Oxford University Press, Oxford.
- 82 St-Pierre, B. und Wright, A. D. (2012): Molecular analysis of methanogenic archaea in the forestomach of the alpaca (*Vicugna pacos*). *BMC Microbiology* 12.
- 83 Stangassinger, M. (2007): Zur Bedeutung der Nahrungsfaser für die Entwicklung und Funktion des Verdauungstraktes beim Wiederkäuer. In: C. Plitzner, Kraft, M., Windisch, W. (Hrsg.), Ed., *BOKU-Symposium Tierernährung*, Wien.
- 84 Stieger-Vanegas, S. M. und Cebra, C. K. (2013): Contrast-enhanced computed tomography of the gastrointestinal tract in clinically normal alpacas and llamas. *J Am Vet Med Assoc* 242, 254-260.
- 85 Stone, W. C., Lindsay, W. A., Adams, G. P., Galbreath, E. J. und Bjorling, D. E. (1993): Rectal and colonic injury in the Llama. *Anatomic Considerations and Surgical Management in Four Llamas*. *Vet Surg* 22, 62-66.
- 86 Sumar, J. (2010): Nutrition in camelids, World Buiatrics Congress, Santiago, World Buiatrics Association.
- 87 Theuß, T., Goerigk, D., Rasenberger, S., Starke, A. und Schoon, H.-A. (2014): Sektionsbefunde von Neuweltkameliden. Eine retrospektive Analyse des Sektionsgutes des Leipziger Instituts für Veterinär-Pathologie. *Tierärztliche Praxis Großtiere* 42, 278-288.

- 88 Timm, K. I., Watrous, B. J. und Smith, B. B. (1999): Radiographic contrast gastrointestinal study of the neonatal llama. *Vet Radiol Ultrasound* 40, 596-604.
- 89 Turner, A. S. (1989): Surgical conditions in the llama. *Vet Clin North Am: Food Anim Pract* 5, 81-99.
- 90 Vallenias, A. (1960): Algunos aspectos de la motilidad del rumen de las alpacas. *Rev. Fac. de Med. Vet. UNMSM Lima Perú* 15, 69-79.
- 91 Vallenias, A. (1965): Some physiological aspects of digestion in the alpaca (*Lama pacos*). In: D. R.W., Ed. *Physiology of Digestion in the Ruminant*, pp. 147-158. Butterworths, Washington, DC.
- 92 Vallenias, A., Cummings, J. F. und Munnell, J. F. (1971): A Gross Study of the Compartmentalized Stomach of Two New-World Camelids, the Llama and Guanaco. *J Morphol* 134, 399-423.
- 93 Vallenias, A., Llerena, L., Valenzuela, A., Chauca, D., Esquerrey, J. und Candela, E. (1973): Concentración de ácidos grasos volátiles a lo largo del tracto gastrointestinal de alpacas y llamas. *Rev. Invest. Pecu* 2, 3-14.
- 94 Vallenias, A. (1991): Características anatomofisiológicas. In: S. Fernández-Baca, Ed. *Avances y Perspectivas del conocimiento de los Camélidos Sudamericanos.*, pp. 49-90. ONU, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. , Santiago, Chile.
- 95 Vallenias, A. P. (1970): Comentarios sobre la posición de los camélidos sudamericanos en la sistemática. *Boletín extraordinario del IVTTA, Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos* 4, 126-41.
- 96 Vallenias, A. P. und Stevens, C. E. (1971): Motility of the llama and guanaco stomach. *American Journal of Physiology* 220, 275-282.
- 97 Van Hoogmoed, L., Roberts, G., Snyder, J. R., Yarbrough, T. und Harmon, F. (1998): Use of computed tomography to evaluate the intestinal tract of adult llamas. *Vet Radiol Ultrasound* 39, 117-122.
- 98 van Soest, P. (1982): *Nutritional Ecology of the Ruminant.* . O and B Books, Corvallis, Oregon.
- 99 Vencato, J., Fiore, E., Morgante, M. und Stelletta, C. (2012): Le ulcere gastriche nei camelidi sudamericani. *Large Animal Review* 18, 123-127.
- 100 von Engelhardt, W., Hörnicke, H. und Hill, H. (1965): Untersuchungen zur Pansenphysiologie der Tylopoden. *Naturwissenschaften* 52, 91-91.
- 101 von Engelhardt, W. und Sallmann, H. (1972a): Resorption und Sekretion im Pansen des Guanakos (*Lama guanacoe*) *Zentralblatt für Veterinärmedizin. Reihe A* 19, 117-132.
- 102 von Engelhardt, W. und Sallmann, H. P. (1972b): Resorption und Sekretion im Pansen des Guanakos (*Lama guanacoe*) 1. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK.
- 103 von Engelhardt, W., Becker, G., Engelhardt, W., Hauffe, R., Hinderer, S., Ruebsamen, K. und Schneider, W. (1975): Energy, water and urea metabolism in the llama. *Tracer Studies on Nonprotein Nitrogen Metabolism in Ruminants. II.*
- 104 von Engelhardt, W., Ali, K. und Wipper, E. (1979): Absorption and secretion in the tubiform forestomach (compartment 3) of the llama. *J Comp. Physiol.* 132, 337-341.
- 105 von Engelhardt, W. und Holler, H. (1982): Salivary and gastric physiology of camelids. *Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft.*

-
- 106 von Engelhardt, W. und Heller, R. (1985): Structure and function of the forestomach in camelids-a comparative approach. *Acta Physiologica Scandinavica* 124, 85-85.
- 107 von Engelhardt, W., Breves, G., Diener, M. und Gäbel, G. (2015): *Physiologie der Haustiere*, 5. Enke Verlag, Stuttgart.
- 108 Warmington, B. G., Wilson, G. F. und Barry, T. N. (1989): Voluntary intake and digestion of ryegrass straw by llama x guanaco crossbreds and sheep. *J. Agric. Sci.* 113, 87-91.
- 109 Watrous, B. J., Pearson, E. G., Smith, B. B., Snyder, S. P., Blythe, L. L., Riebold, T. W. und Hedstrom, O. R. (1995): Megaesophagus in 15 llamas: a retrospective study (1985-1993). *J Vet Intern Med* 9, 92-99.
- 110 Whitehead, C. (2013): Diseases in camelids 1. Common presentations. *In Practice* 35, 317-324.
- 111 Yarbrough, T. B., Snyder, J. R. und Harmon, F. A. (1995a): Jejunal microvasculature of the llama and alpaca. *Am J Vet Res* 56, 1133-1137.
- 112 Yarbrough, T. B., Snyder, J. R. und Harmon, F. A. (1995b): Laparoscopic anatomy of the llama abdomen. *Vet Surg* 24, 244-249.
- 113 Ziegler, J., Parish, S., Snekvik, K. und Barrington, G. (2013): Traumatic gastroperitonitis (hardware disease) in an alpaca (*Vicugna pacos*). *J Zoo Wildl Med* 44, 163-166.

11 Danksagung

Meinem Doktorvater Prof. Dr. Johann Maierl danke ich ganz herzlich für die Überlassung meines Dissertationsthemas, die kompetente fachliche Unterstützung, die eingebrachten Ideen, die Geduld beim gemeinsamen Präparieren und ganz besonders für seine Menschlichkeit.

Ein ganz besonderer Dank gilt außerdem den Mitarbeitern des Instituts für Anatomie, Histologie und Embryologie. Hervorheben möchte ich Marlene Amrhein, Silvia Mitterer und Siegfried Hecher, die mir in allen Fragen rund um das Anfertigen und Fixieren der Präparate stets mit Rat und Tat, wertvollen Ideen und guter Laune zur Seite standen.

Außerdem danke ich Frau Dr. Katja Voigt, Frau Dr. Ilona Gunsser und den Züchtern der Alpakas vom Frauenstein, die uns bei der Beschaffung und Vermittlung von Tieren für unsere Studie unterstützten.

Bei Hannah Schmidt bedanke ich mich für die gelungenen Zeichnungen und bei Alina Nielsen für die digitale Nachbearbeitung dieser.

Eva Habermann, Katharina Neumann, meiner Mutter, Katharina und Luis Jaime Saucedo, Lara Saam Mourton und Gregory Flinn danke ich herzlich für das Korrekturlesen meiner Arbeit und die Unterstützung mit spanisch-sprachiger Literatur.

Meinen Freunden und Mitdoktoranden Pit Waringo und Sophia Weiss danke ich für die gute Zusammenarbeit, die Hilfe beim Präparieren und ganz besonders für den gemeinsamen Spaß, der stets zu guter Stimmung während der Dissertation beitrug.

Charlotte Kröger gilt mein Dank für die gemeinsamen Frozen-Joghurt-Pausen und die vielen tollen Gespräche, die einen großen Beitrag zu meiner Motivation während der Schreibphase der Dissertation geleistet haben.

Meiner Schwester Nikola danke ich für die Telefongespräche, in denen sie mich mit ihrem Interesse und den vielen neugierigen Fragen zu meiner Doktorarbeit immer wieder motivierte.

Ganz besonders danke ich meinen Großeltern Renate und Prof. Dr. Gerolf Steiner sowie meinem Opa Hans Vater. Sie haben mein großes Interesse an der Natur und

die Liebe zu den Tieren in jungen Jahren geweckt, gefördert und dazu beigetragen mir meinen Wunsch Tierärztin zu werden, zu erfüllen.

Einen großen Anteil am Gelingen meiner Dissertation verdanke ich meinem Freund Dr. Jörg Heinze. Neben seiner kompetenten Hilfe bei jeglichen IT- und Formatierungsherausforderungen bestärkte und ermunterte er mich in jeder erdenklichen Stimmungslage und stand stets an meiner Seite.

Abschließend möchte ich meinen Eltern Irmtrud und Ralf Vater aus tiefstem Herzen danken, dafür, dass sie immer an mich geglaubt haben, in jeder Situation für mich da waren und mir mit ihrer Geduld und Liebe meinen bisherigen Weg ermöglichten.