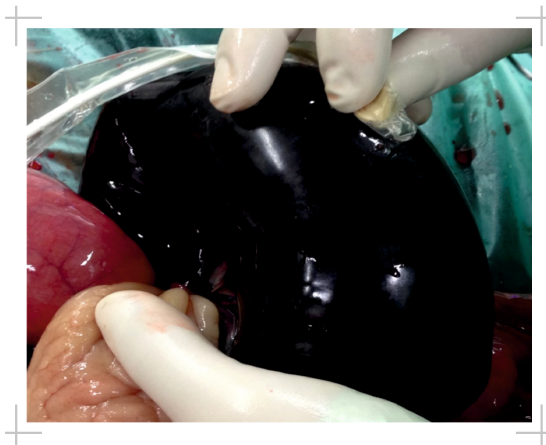


Korrelation von Darmwanddicke, kapillarer
Sauerstoffversorgung und subjektiver
Beurteilung der Schädigung des
Dünndarmes beim equinen
Kolikpatienten



Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades eines
Dr. med. vet.
beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei dem Autor dieses Werkes.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2017

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2017

© 2017 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition linguistique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

Aus der Klinik für Pferde- Chirurgie mit Lehrschmiede- des Fachbereichs
Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. L.- F. Litzke

**Korrelation von Darmwanddicke, kapillarer
Sauerstoffversorgung und subjektiver Beurteilung
der Schädigung des Dünndarmes beim equinen
Kolikpatienten**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Elisabeth Mirle

Tierärztin aus Cottbus

Gießen 2017

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. M. Kramer

1. Gutachter: Prof. Dr. L.-F. Litzke
2. Gutachter: Prof. Dr. C. Herden
3. Prüfer: Prof. Dr. C. Staszyk

Tag der Disputation: 18.08.2017

Ja, renn nur nach dem Glück
doch renne nicht zu sehr
denn alle rennen nach dem Glück
das Glück rennt hinterher.
- Bertolt Brecht -

Meinen Eltern & Lorenz

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Anatomie und Funktion des Intestinums	3
2.1.1 Einteilung des Intestinums des Pferdes und Kolik des Dünndarmes	3
2.1.2 Arterielle und venöse Blutversorgung des Dünndarmes	4
2.1.3 Darmeigengefäße des Dünndarmes	5
2.1.4. Motorik des Dünndarmes	9
2.1.3.1 Myoelektrische und mechanische Aktivität	9
2.1.3.2 Regulation der gastrointestinalen Motilität	11
2.1.3.3 Ultraschall zur Visualisierung der gastrointestinalen Motilität	12
2.1.3.4 In vitro Kontraktionsmessungen	12
2.2 Störung der gastrointestinalen Physiologie	13
2.2.1 Pathogenese und Ätiologie der Ischämie	14
2.2.2 Pathogenese und Ätiologie der Reperfusion	16
2.3 Möglichkeiten zur Beurteilung der Schädigung des Darmgewebes	17
2.3.1 Histologische Untersuchung	19
2.3.2 Fluorescein Fluoreszenz	20
2.3.3 Doppler-Ultraschall	20
2.3.4 Pulsoxymetrie	21
2.3.5 O2C Gerät	21
2.3.5.1 Die Sonde des O2C	24
2.4 Ultraschallgestützte Darmwanddickenmessung	25
2.4.1 Transkutaner Ultraschall	26
2.4.2 Transrektaler Ultraschall	28

3	Material und Methodik	29
3.1	Patientenkriterien	29
3.1.1	Vorbehandlung durch den überweisenden Haustierarzt	29
3.1.2	Allgemeine präanästhetische Untersuchung	29
3.2	Allgemeinanästhesie	30
3.2.1	Vorbereitung	30
3.2.2	Induktion und Erhaltung	30
3.2.3	Protokoll zur Evaluierung durch den Chirurgen	34
3.2.4	Messungen mittels O2C und Ultraschall	34
3.2.5	Weitere Messungen	36
3.3	Gruppeneinteilung nach chirurgischer Evaluation	36
3.4	Statistik	37
4	Ergebnisse	39
4.1	Patientendaten	39
4.2	Vorbehandlung durch den überweisenden Haustierarzt	40
4.3	Diagnose	41
4.4	Prä- und intraoperativer Score	41
4.5	Allgemeinanästhesie und Ergebnisse der Messungen mittels O2C und Ultraschall an allen Messpunkten	42
4.6	Patienten	45
4.6.1	Gruppeneinteilung nach chirurgischer Evaluation	45
4.6.2	Resektion von Dünndarmteilen	45
4.6.3	Erfolgsrate der Operation	45
4.6.4	Kurzzeitüberlebensrate	45
4.6.5	Langzeitüberlebensrate	46
4.7	Korrelationsanalyse der Parameter aller Patienten (n = 32)	47
4.7.1	Kapillare Sauerstoffsättigung versus Darmwanddicke (MP1–MP3)	47
4.7.2	Kapillare Sauerstoffsättigung versus chirurgische Evaluation als Score (MP1–MP3)	49
4.7.3	Darmwanddicke versus chirurgische Evaluation als Score (MP1–MP3)	50

4.7.4	Relativer Blutfluss versus Darmwanddicke und chirurgischer Evaluation als Score (MP1–MP3)	52
4.7.5	Relativer Hämoglobingehalt versus Darmwanddicke (MP1–MP3)	52
4.7.6	Messpunkte im Dickdarm (MP4–MP6)	54
4.7.7	Einfluss der Zeit seit OP-Beginn	54
4.7.8	Präanästhetische Untersuchung sowie Blut- und Bauchhöhlenflüssigkeitsparameter versus chirurgische Evaluation als Score	55
4.8	Korrelationsergebnisse des Gruppenvergleichs (MP1–MP3)	56
5	Diskussion	59
5.1	Material und Methode	59
5.1.1	Patienten	59
5.1.2	Kolikdauer und Vorbehandlung durch den Haustierarzt	61
5.1.3	Chirurgen	63
5.1.4	Zeitpunkt der Messung	63
5.1.5	Prä- und perioperative Medikamente inklusive Dauertropfinfusionen	64
5.1.5.1	Xylazin und Butorphanol	65
5.1.5.2	Dobutamin	66
5.1.5.3	Lidocain	67
5.1.5.4	Isofluran	67
5.1.6	Möglichkeiten der Störung der Messung mittels O2C und Ultraschall	68
5.2	Ergebnisse	70
5.2.1	Kurz- und Langzeitüberlebensrate der Patienten	70
5.2.2	Ergebnisse der prä- und intraoperativen Evaluierung	71
5.2.3	Sauerstoffsättigung	72
5.2.4	Darmwanddicke	74
5.2.5	Relativer Blutfluss	76
5.2.6	Relativer Hämoglobingehalt	77
5.2.7	Chirurgische Evaluation	78
5.2.8	Korrelation zwischen Darmwanddicke, kapillarer Sauerstoffsättigung und chirurgischer Evaluation	78
5.2.9	Weitere statistisch signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalyse	80
5.2.10	Ergebnisse des Gruppenvergleichs	82

6	Schlussfolgerung	85
7	Zusammenfassung	88
8	Summary	91
9	Literaturverzeichnis	93
10	Anhang	108
10.1	Protokoll zur Datenerhebung	108
10.2	Ausführliche Patientendaten	112
10.3	Anzahl und Art der Behandlung durch den Haustierarzt und Kolikdauer der Patienten	113
10.4	Patientendaten an MP1	115
10.5	Patientendaten an MP2	116
10.6	Patientendaten an MP3	117
10.7	Patientendaten an MP4	118
10.8	Patientendaten an MP5	119
10.9	Patientendaten an MP6	120
10.10	Vollständige Korrelationsergebnisse im Überblick	121
11	Danksagung	123

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arterie
Aa.	Arteriae
Abb.	Abbildung
ACVECC	American College of Veterinary Emergency and Critical Care
ACVIM	American College of Veterinary Internal Medicine
ACVS	American College of Veterinary Surgeons
ATP	Adenosintriphosphat
au	arbitrary units (= herstellereigene Einheit)
BHP	Bauchhöhlenpunktat
bpm	beats per minute
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Ca ²⁺	Kalziumion
cmH ₂ O	Zentimeter Wassersäule
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DNA	Desoxyribonukleinsäure (Deoxyribonucleic acid)
DW	Darmwanddicke
ECEIM	European College of Equine Internal Medicine
ECVS	European College of Veterinary Surgeons
ENS	enterisches Nervensystem
FLASH	fast localised abdominal sonography of horses
FLOW	relativer Blutfluss in arbitrary units
g	Gramm
h	Stunde
H ⁺	Wasserstoffionen
H ₂ O	Wasser
Hb	Hämoglobin
HbO ₂	Oxyhämoglobin
HES	Tetrahydroxyethylenstärke
Hkt	Hämatokrit
HPF	High-Power-Field

IBD	inflammatory bowel disease
IKR	Interkostalraum
IM	intramuskulär
IV	intravenös
K ⁺	Kaliumion
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
l	Liter
m	Meter
MAP	mittlerer arterieller Druck
MAPC	migrating action-potential complex
mg	Milligramm
mHz	Megahertz
min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MMC	migrating myoelectric complex, migrierender motorischer Komplex
mmHg	Millimeter-Quecksilbersäule
MP	Messpunkt
MP1	Messpunkt 1 (vom Chirurgen als stenosenotisch bestimmt)
MP2	Messpunkt 2 (50 cm oral von MP1)
MP3	Messpunkt 3 (50 cm aboral von MP1)
MP4	Messpunkt 4 (Körper des Caecums)
MP5	Messpunkt 5 (Flexura pelvina)
MP6	Messpunkt 6 (Colon descendens)
ms	Millisekunde
n	Anzahl Stichprobe
Na ⁺	Natriumion
NADPH	Nicotinamidadenindinukleotidphosphat
nm	Nanometer
O ₂ C	Oxygen to see
OFR	oxygen-derived free radicals
OP	Operation
p	Signifikanzwert

PEEP	positiver endexpiratorischer Druck
r	Korrelationskoeffizient
rHb	relative Hämoglobinmenge in arbitrary units
SO ₂	relative Sauerstoffsättigung in %
TPP	Totalprotein
u.a.	unter anderem
UV	ultraviolett
V.	Vena
XDH	Xanthindehydrogenase
XO	Xanthinoxidase
ZNS	zentrales Nervensystem

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Darstellung der Blutgefäßversorgung am equinen Dünndarm.
- Abb. 2 Darstellung der Blutgefäße in der equinen Dünndarmwand.
- Abb. 3 O2C (oxygen to see), LEA Medizintechnik, Gießen.
- Abb. 4 Sonde des O2C.
- Abb. 5 Ultrasonografisch dargestellte Darmwandschichten in einem nicht verdickten Darmsegment.
- Abb. 6 Darstellung der MP1 bis MP6 im Schema, MP1 bis MP3 beispielsweise dargestellt.
- Abb. 7 O2C Messung mittels sterilem Überzug am MP1.
- Abb. 8 Sonde des O2C mit sterilem Überzug.
- Abb. 9 8,4 mHz Rektalsonde des Ultraschallgerätes SSA-708A mit sterilem Überzug.
- Abb. 10 Altersverteilung der Patienten in Gruppierungen (n= 32).
- Abb. 11 Rasseverteilung der Patienten (n = 32).
- Abb. 12 Der Bildschirm des O2C bei einer Messung eines makroskopisch gesunden Darmabschnittes (links) und bei einer Messung eines makroskopisch veränderten Darmabschnittes im MP1 (rechts).
- Abb. 13 Strecke A und B zeigen eine verdickte Darmwand im MP1 mit 6,8 mm Dicke.
- Abb. 14 Verdickte Submukosaschicht von 5,1mm Dicke.
- Abb. 15 Operationserfolg, Kurz- und Langzeitüberlebensrate aller Patienten und im Gruppenvergleich.
- Abb. 16 Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke in MP1 (n = 32).
- Abb. 17 Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke in MP2 (n = 31).
- Abb. 18 Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke in MP3 mit eingezeichneter Regressionsgeraden (n =25).
- Abb. 19 Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke in MP1 (beide Parameter logarithmiert, n = 32).

- Abb. 20 Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und logarithmierter Darmwanddicke in MP3 (n =25) mit eingezeichneter Regressionsgeraden.
- Abb. 21 Korrelation zwischen chirurgischer Evaluierung als Score (siehe 10.1. für das vollständige Protokoll) und kapillarer Sauerstoffsättigung in MP1 (n = 32) mit eingezeichneter Regressionsgeraden.
- Abb. 22 Korrelation zwischen Darmwanddicke und chirurgischer Evaluierung als Score in MP1 (n = 32).
- Abb. 23 Korrelation zwischen Darmwanddicke und chirurgischer Evaluierung als Score in MP2 (n = 31).
- Abb. 24 Korrelation zwischen Darmwanddicke und chirurgischer Evaluierung als Score in MP3 (n = 25).
- Abb. 25 Korrelation zwischen relativem Blutfluss und Darmwanddicke in MP1 und MP3.
- Abb. 26 Korrelation zwischen relativem Blutfluss und Evaluierung als Score in MP1 und MP3 mit eingezeichneter Regressionsgeraden.
- Abb. 27 Korrelation zwischen Darmwanddicke und relativer Hämoglobinkonzentration im MP1.
- Abb. 28 Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Evaluierung als Score im Gruppenvergleich (n jeweils 16).
- Abb. 29 Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke im Gruppenvergleich (n jeweils 16).
- Abb. 30 Korrelation zwischen chirurgischer Evaluierung als Score und Darmwanddicke im Gruppenvergleich.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Diagnose und Kurzzeitüberlebensrate von 147 operierten Dünndarmkolikpferden nach Mair & Smith (2005).
Tab. 2	Übersicht der Schallregionen am Kolikpferd nach Literaturangaben.
Tab. 3	Protokoll der intraoperativen Beurteilung des Darmes durch den Chirurgen am Beispiel des MP1.
Tab. 4	Chirurgische intraoperative Diagnose aller Patienten (n = 32), sowie aufgeteilt in Gruppe 1 (n = 16) und Gruppe 2 (n = 16).
Tab. 5	Ergebnisse der präanästhetischen Untersuchung und der intraoperativen Parameter aller Pferde und im Gruppenvergleich.
Tab. 6	Median- und Mittelwerte der gemessenen Parameter am MP1- MP6.
Tab. 7	Operationserfolg, Kurz- und Langzeitüberlebensrate aller Patienten und im Gruppenvergleich.
Tab. 8	Statistisch signifikante Korrelationsergebnisse.
Tab. 9	Messdaten beider Gruppen am MP1.
Tab. 10	Korrelationsergebnisse des Gruppenvergleichs.
Tab. 11	Ausführliche Patientendaten.
Tab. 12	Anzahl und Art der Behandlung durch den Haustierarzt und Kolikdauer, sowie spätere Gruppenzuteilung aller Patienten.
Tab. 13	Patientendaten an MP1.
Tab. 14	Patientendaten an MP2.
Tab. 15	Patientendaten an MP3.
Tab. 16	Patientendaten an MP4.
Tab. 17	Patientendaten an MP5.
Tab. 18	Patientendaten an MP6.
Tab. 19	Darstellung aller Korrelationsergebnisse aller Parameter an allen MP.

1 Einleitung

Kolik ist nach dem Alter mit 21–28 % die häufigste Todesursache bei Pferden und tritt mit einer Häufigkeit von 8,6 bis 10,6 Fällen pro 100 Pferde pro Jahr auf (Tinker et al. 1997, Leblond et al. 1995, Mehdi & Mohammed 2006). Besonders häufig kommt hierbei die Obstipation der linken ventralen Kolonlage (21,4 %) vor, gefolgt von Dickdarmverlagerungen (19,8 %), Dünndarmstrangulationen (12,0 %), Krampfkoliken (9,4 %), Torsion des Kolons (4,3 %) und akuter Kolitis (4,3 %) (Grosche 2000). Eine operative Therapie benötigen 7 bis 10 % der Pferde (Cook & Hassel 2014), wobei die kurzzeitige Überlebensrate bei 70,3 % liegt (Mair & Smith 2005). Die Überlebensrate von Pferden mit ischämischen oder strangulierenden Kolikursachen liegt nach Mair und Smith (2005) bei 68,9 % und damit deutlich unter der von einfachen Obstruktionen des Darmes (90,5 %).

Hochgradige Schäden des Intestinums durch Ischämie und Reperfusion, die für den Chirurgen intraoperativ makroskopisch nicht sichtbar sind und daher nicht zu einer Resektion des betroffenen Darmsegmentes führen, können postoperativ eine große und schwer abschätzbare Komplikation für den Kolikpatienten darstellen. Ischämische Schäden können infolge eines Ileus mit reduzierter oder fehlender Blutversorgung (Moore et al. 1995), aber auch durch Distension des Darmsegmentes (Dabareiner et al. 1993, 2001) hervorgerufen werden. Reperfusionsschäden entstehen aufgrund des wiedereinsetzenden Blutfluss und daraus resultierenden biochemischen Reaktionen, welche die Blut-Darm Schranke schädigen (Moore et al. 1995). Die Mukosa des Darmes ist die anfälligste Schicht für derartige Schäden (Chiu et al. 1970) und dem Chirurgen intraoperativ nur begrenzt zugänglich. Durch eine fortschreitende Schädigung der Villi der Mukosa kann es postoperativ zum paralytischen Ileus, einer der häufigsten und fatalsten Komplikationen nach einer Kolikoperation kommen (Mair & Smith 2005).

Die Kurzzeitüberlebensrate der operierten Pferde hat sich in der heutigen Zeit von 62,8 % (Ducharme et al. 1983) auf 83,1 % gesteigert (Mair & Smith 2005). Trotzdem ist weiterhin die chirurgische Evaluation die Methode der Wahl zur Beurteilung eines durch Kolik gestressten und geschädigten Darmsegmentes. Diese Evaluation ist subjektiv und benötigt sehr viel klinische Erfahrung des Chirurgen (Urbanavičius

et al. 2011). Sie bedient sich der Beurteilung der Farbe und Dicke der Darmwand, sowie der Qualität der Peristaltik und der mesenterialen Pulsation (Freeman 2008).

In den 1980er Jahren gab es Studien, um die subjektive Beurteilung des Chirurgen durch geeignete objektive Messmethoden zu ergänzen und zu ersetzen. Die Fluorescein-Fluoreszenz und der Doppler-Ultraschall galten beispielsweise als vielversprechend, zeigten allerdings Nachteile indem sie nicht für alle Ischämiearten bzw. auf großer Fläche angewendet werden konnten (Freeman et al. 1988). Eine exakte Evaluierung des Darmes ist nur mittels histologischer Untersuchung möglich, welche aber wiederum intraoperativ nicht durchführbar ist (Blikslager 2003) und weiterhin durch die Probenentnahme eine invasive Maßnahme darstellt.

Zusammenfassend lassen vorangegangene Untersuchungen vermuten, dass eine exakte und objektive Beurteilung des Darmes eines Kolikpatienten nicht Standard ist und einer Verbesserung bedarf.

Das O2C Gerät (LEA Medizintechnik) kombiniert Weißlichtspektroskopie mit Laser-Doppler-Spektroskopie und ist in der Lage im venös-kapillaren Gebiet der Mukosazotten die relative Sauerstoffsättigung, den relativen Blutfluss und den relativen Hämoglobingehalt des Gewebes zu messen. Es wurde bereits von Reichert et al. (2014) an darmgesunden Probanden getestet, sowie etabliert und konnte leicht in den Operationsverlauf integriert werden. Die Sauerstoffsättigung gilt als einer der wichtigsten Parameter bezüglich der Entwicklung einer Schädigung des Darmes durch Ischämie und Reperfusion und benötigt weitere Untersuchungen.

Ziel der vorliegenden Dissertation war es daher, die Korrelation zwischen Verdickung der Darmwand, Absenkung der kapillaren Sauerstoffsättigung und der chirurgischen Evaluation zu untersuchen. Es sollte ein Vergleich zwischen zwei objektiven Methoden und der subjektiven Einschätzung durch einen Chirurgen erfolgen, mit dem Ziel, unerfahrenen Chirurgen eine Unterstützung zur intraoperativen Evaluation zu bieten.

Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, eine exaktere Untersuchung von geschädigten Darmteilen zu ermöglichen, indem die Resektionspflicht besser eingeschätzt werden kann, um folglich postoperative Komplikationen zu senken.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomie und Funktion des Intestinums

2.1.1 Einteilung des Intestinums des Pferdes und Kolik des Dünndarmes

Der Darm der Säugetiere wird in den Dünndarm (Intestinum tenue) und den Dickdarm (Intestinum crassum) untergliedert. Der Dünndarm beginnt am Pylorus des Magens und endet am Blinddarm (Caecum). Dieser wiederum bildet den Anfangsteil des Dickdarmes, der bis zum Anus reicht (König et al. 2005, Salomon 2008, König & Gerhards 2010, Pfarrer 2013).

Der Dünndarm wird in folgende drei Abschnitte unterteilt: Duodenum (Zwölffingerdarm), Jejunum (Leerdarm) und Ileum (Hüftdarm). Bei einem durchschnittlichen Pferd mit 500 kg Körpergewicht (KGW) ist das Duodenum ca. einen Meter lang, das Jejunum ca. 25 m und das Ileum ca. 0,7 m. Der individuell schwankende Durchmesser des Lumens beträgt unter physiologischen Bedingungen 50–70 mm (Schummer & Habermehl 1987, Salomon 2008, Pfarrer 2013).

Der Dickdarm wird in den Blinddarm (Caecum), das Kolon mit seinen Untereinheiten (Colon ascendens, Colon transversum und Colon descendens), sowie das Rektum unterteilt. Bei einem Pferd mit 500 kg KGW hat das Caecum ca. einen Meter Länge und 16–68 l Fassungsvermögen, das Colon ascendens eine Länge von 3–4 m und ein Volumen von 55–130 l. Das kleinere Colon descendens misst 2,5–4 m, das Rektum nur ca. 0,2–0,3 m (Schummer & Habermehl 1987, Salomon 2008, Pfarrer 2013).

Der Dünndarm, insbesondere das aborale Jejunum, ist, aufgrund der Länge des Gekröses, sehr flexibel in seiner Lage und somit teilweise prädispositioniert für eine Verlagerung in eine innere Hernie oder für eine Verdrehung, auch Volvulus genannt, mit Verschluss des Lumens und der Gefäße um die eigene Achse (Kopf 2012). Diagnosen für Dünndarmkoliken mit Kurzzeitüberlebensrate (Operation bis zum Zeitpunkt der stationären Entlassung) sind nach einer retrospektiven Studie von Mair & Smith (2005) in Tabelle 1 dargestellt.

Diagnose	Anzahl	in %	Überleben %
Strangulation durch Lipoma pendulans	39	26,5	64,1
einfache Obstruktion durch mesenteriales Lipoma	2	1,4	100
Volvulus	12	8,2	83,3
Inkarzeration in Mesenterialhernie	8	5,4	37,5
Inkarzeration in Foramen epiploicum	15	10,2	20,0
Inkarzeration in Inguinalhernie	5	3,4	80,0
Inkarzeration in Umbilikalhernie	1	0,7	100
Inkarzeration in Diaphragmahernie	1	0,7	0
Inkarzeration in Milz- Nieren- Raum	1	0,7	100
Inkarzeration in ventrale Hernie	1	0,7	0
Obstruktion durch Verklebungen des Netzes	5	3,4	80
Obstruktion durch Verklebungen des Gekröses	6	4,1	83,3
Jejunale Invagination	1	0,7	0
Ileocaecale Invagination	4	2,7	100
andere ileocaecale Obstruktionen	9	6,1	77,8
Ileumhypertrophie	1	0,7	0
Ileumsobstipation	6	4,1	100
Jejunumobstipation	5	3,4	80,0
Obstruktion durch Mesenterialabszess	2	1,4	50,0
proximale Enteritis	7	4,8	100
diffuse Enteritis	2	1,4	0
perforierendes jejunales Ulzera	1	0,7	0
fokale Obstruktion durch IBD (inflammatory bowel disease)	5	3,4	80,0
fokale Obstruktion durch Lymphom	1	0,7	100
Ileus ohne physikalische Obstruktion	7	4,8	28,6
Gesamt	147		

Tab .1: Diagnose und Kurzzeitüberlebensrate von 147 operierten Dünndarmkolikpferden nach Mair & Smith (2005).

2.1.2 Arterielle und venöse Blutversorgung des Dünndarmes

Der Dünndarm des Pferdes wird arteriell durch die kranialen Abgänge der Aorta abdominalis (A. coelica, A. mesenterica cranialis) versorgt.

Bei der A. mesenterica cranialis, welche in Höhe des ersten Lendenwirbels entspringt, unterscheidet man in A. jejunalis, A. ileocolica und A. coelica media. Erstere teilt sich wiederum in die Aa. jejunales auf, die im Gekröse des Zwölffingerdarmes verlaufen und miteinander anastomosieren. Diese Gefäßbögen werden zum Darm hin kleiner und geben Äste zu dessen Versorgung ab (König et al. 2005, Wilkens & Münster 1984). Die Aa. ilei gehen ebenfalls aus der A. mesenterica cranialis hervor, zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die Aa. jejunales mit denen sie auch anastomosieren und zusätzlich das Ileum versorgen.

(König & Gerhards 2010) Die A. pancreaticoduodenalis caudalis geht aus der ersten A. jejunalis hervor und versorgt unter anderem das kaudale Duodenum (König et al. 2005, Wilkens & Münster 1984). Der kraniale Abschnitt des Zwölffingerdarmes wird durch die A. pancreaticoduodenalis cranialis, eine Abzweigung der A. coelica, versorgt (Wilkens & Münster 1984). Die A. ileocolica ist mit ihren Verzweigungen (Ramus ilei mesenterialis et antimesenterialis, A. ceacalis medialis et lateralis und Ramus colicus bzw. A. colica dextra) für die Versorgung des Ileums, des Caecums und des Colon ascendens verantwortlich. Sie verläuft anfänglich auf der rechten Körperseite und passt sich dem Verlauf des zu versorgenden Darmabschnittes an (König et al. 2005).

Die Venen des Dünndarmes des Pferdes verlaufen arterienparallel und münden als V. mesenterica cranialis in die V. portae der Leber. Ausnahmen bilden hierbei die ableitenden Gefäße des Duodenums, welche über die V. gastroduodenalis in die V. portae münden (König & Gerhards 2010, König et al. 2005, Wilkens & Münster 1984).

Durch den Verlauf der Gefäße im Gekröse des Dünndarmes sind diese bei Drehungen und Verlagerungen des Abschnittes prädispositioniert für eine Lumeneinengung und damit einen verminderten Blutfluss, bzw. für ein vollständiges Abschnüren mit folglich zum Erliegen kommenden Blutfluss. Die aus der Minderversorgung resultierenden Schäden des Darmes sind in späteren Kapiteln dieser Dissertation näher erläutert.

2.1.3 Darmeigengefäße des Dünndarmes

Nach Ullrich (1984) werden die Darmeigengefäße anhand ihrer Lokalisation in der jeweiligen Darmwandschicht wie folgt unterteilt:

- subseröse Verlaufsstrecke
- Gefäßzwischenstrecken im Bereich der Muskelpforten
- submuköse Gefäße
- Muskeläste
- Schleimhautarterien
- Schleimhautkapillaren und Schleimhautvenen, siehe Abb. 1.

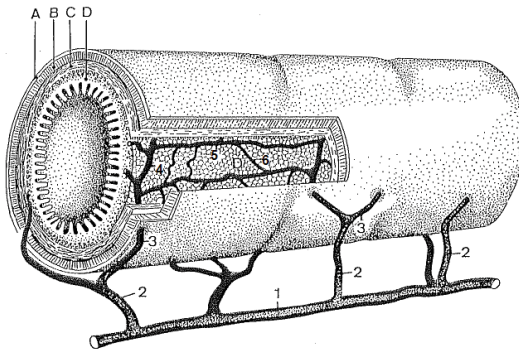


Abb. 1: Darstellung der Blutgefäßversorgung am equinen Dünndarm.

- (1) Hauptstamm eines Dünndarmgefäßes
- (2) Mesenteriale Verlaufstrecke
- (3) Subseröse Verlaufstrecke
- (4) Submuköse Verlaufstrecke 1. Ordnung
- (5) Submuköse Verlaufstrecke 2. Ordnung
- (6) Submuköse Verlaufstrecke 3. Ordnung
- (A) Serosa
- (B) Längsmuskelschicht
- (C) Kreismuskelschicht
- (D) Submukosa

Aus Ullrich „Das Blutgefäß-System des Dünndarmes vom Pferd“, S.15, Gießen (1984).

Die subseröse Verlaufsstrecke geht aus dem jeweiligen Stammgefäß hervor, gabelt sich in ihrem Verlauf auf, um dann als Gefäßzwischenstrecken im Bereich der Muskelpforten durch die Tunica muscularis in den submukösen Gefäßen zu münden. Bei den submukösen Gefäßen unterscheidet man zwei arterielle und zwei venöse Plexus, wobei die tiefen parallel zur Tunica muscularis und die oberflächlichen der Muscularis mucosae angelagert sind (Ullrich 1984, Dart et al. 1992).

Im tiefen submukösen Arterienplexus ziehen die Gefäße antimesenterial, währenddessen sie sich mehrfach verzweigen und am gekrösefernen Rand Anastomosen mit den Gefäßen der anderen Seite eingehen. Diese Arterien der 1. Ordnung entlassen Arterien der 2. Ordnung, welche wiederum für eine Verbindung ihrer Stammgefäße sorgen. Die Arterien 3. Ordnung haben einen ähnlichen Verlauf zu den Arterien 1. Ordnung. Arterien jedweder Ordnung entlassen Versorgungsgefäße zum oberflächlichen submukösen Plexus (Ullrich 1984, Dart et al. 1992).

Aufsteigende Submukosaarterien entspringen aus allen Gefäßen des tiefen submukösen Arterienplexus und verkleinern sich durch mehrfache Teilung. In Höhe des Faltenkammes anastomosieren sie untereinander und treten als Propriaarterien durch die Muscularis mucosae, bzw. versorgen den oberflächlichen arteriellen submukösen Plexus in den seitlichen Submukosafalten.

Der oberflächliche submuköse Arterienplexus entlässt die Propriaarterien, die wiederum durch die Muscularis mucosae treten.

Der tiefe submuköse Venenplexus ist ähnlich dem tiefen submukösen Arterienplexus aufgebaut und besteht aus Venen 1. und 2. Ordnung, selten 3. Ordnung. Aus diesen

ziehen ebenfalls Verbindungsgefäße zum oberflächlichen submukösen Plexus, welche sich in ihrem Verlauf teilen, aber keine Anastomosen untereinander eingehen (Ullrich 1984, Dart et al. 1992).

Als Besonderheit des oberflächlichen submukösen Venenplexus muss die segmentale Versorgung genannt werden. Die großen Gefäße ziehen parallel zu denen des tiefen venösen Plexus und geben unterschiedlich ziehende Seitenäste ab, welche durch die Muscularis mucosae in die Propria münden. Zeitgleich münden Gefäße aus der Propria in die Haupt- und Seitenäste und es entstehen segmentale Abflußgebiete, die nicht miteinander kommunizieren.

Die Muskeläste versorgen die Tunica muscularis und entstammen dem tiefen submukösen Arterienplexus. Dort entspringen sie gemeinsam mit den Versorgungsgefäßen des oberflächlichen Plexus und ziehen durch das Stratum circulare zum Stratum longitudinale, wo sie sich parallel zum Muskelfaserverlauf ausrichten. Die Venen folgen dem arteriellen Verlauf (Ullrich 1984, Dart et al. 1992).

Unter den Schleimhautarterien unterscheidet man Propriaarterien und Zottenarterien. Erstere haben ihren Ursprung im oberflächlichen Submukosaplexus, bzw. entspringen als aufsteigende Submukosaarterien aus dem tiefen Arterienplexus und verlaufen unter mehrfacher Verzweigung bis zur Zottenbasis. Die fingerförmigen Zotten werden durch eine einzeln aufsteigende Zottenarteriole versorgt, die Gefäße zur Kommunikation mit dem subepithelialen Kapillarnetz abgibt. In seltenen Fällen teilt sich die Zottenarterie bei Eintritt in die Zotte. Kurz unterhalb der Zottenspitze geht sie in das Kapillarnetz über, welches bis in die Spitze zieht und diese versorgt, siehe auch Abb. 2. Die Schleimhautkapillaren werden ebenfalls in Zottenkapillaren und Drüsenkapillaren unterschieden. Erste ziehen aus der Arteriole hervor, bilden das subepitheliale Kapillarnetz und ziehen randständig zu Zottenbasis, wo sie in Zottenvenolen übergehen. Die Drüsenkapillaren entstammen ebenfalls den Zottenarteriolen und versorgen die LIEBERKÜHNSchen Drüsen mit einem Kapillarsystem (Ullrich 1984, Dart et al. 1992).

Die Schleimhautvenen gehen aus den basalwärts ziehenden Kapillaren hervor und münden zusammen in einer Zottenvene. Transversalvenen schaffen eine Verbindung zwischen den einzelnen Zottenvenen. Aus ihnen entspringen wiederum größere Gefäße, die nach Passage der Propria und der Muscularis mucosae im oberflächlichen venösen Submukosaplexus münden (Ullrich 1984, Dart et al. 1992).

Für die vorliegende Studie ist vor allem die Mukosa interessant, da sie die

Propriaarterien, die Zottenarteriolen, sowie das zottenspitzennahe Kapillarnetz beherbergt (Ullrich 1984, Dart et al. 1992). Sie ist der makroskopischen Beurteilung durch den Chirurgen nur durch eine Enterotomie zugänglich, welche aufgrund der späteren Adhäsions- und Dehizenszgefahr (Fürst et al. 2012) keine Standardoption als Diagnostik zulässt. Die Schleimhaut reagiert sehr sensitiv auf eine Minderversorgung mit Sauerstoff und kann irreparable Schäden davontragen, was zu einem Absterben des betroffenen Darmteiles führen kann (Chiu et al. 1970). So konnten Dabareiner et al. (1993) zeigen, dass es nach einer 70-minütigen venösen Ischämie, gefolgt von einer 60-minütigen Reperfusionsphase im Kapillargebiet der Zottenspitze der Villi zu Mikroinfarkten kam und die zentrale Zottenarteriole dilatiert und gestaut erschien.

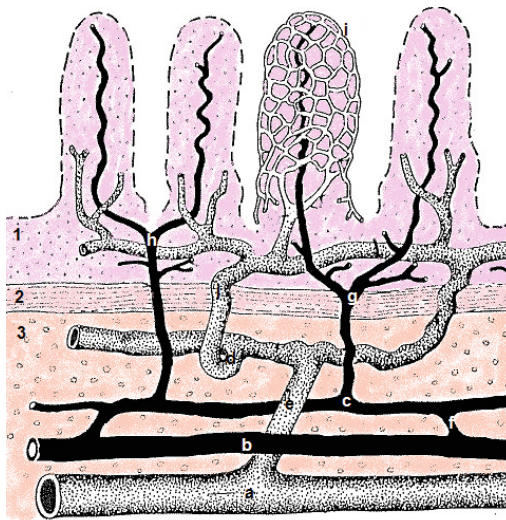


Abb. 2: Darstellung der Blutgefäße in der equinen Dünndarmwand

- (1) Lamina propria mucosae
- (2) Lamina muscularis mucosae
- (3) Lamina submukosa
- (a) Vene und Arterie (b) des tiefen Submukosaplexus
- (c) Arterie und Vene (d) des oberflächlichen Submukosaplexus
- (e) Verbindungsgefäß zwischen dem venösen (e) und arteriellen (f) Submukosaplexus
- (g) Propriaarterien
- (h) Zottenarteriole
- (i) Zottenkapillare
- (j) Vene, die in den oberflächlichen Submukosaplexus mündet

Aus Ullrich „Das Blutgefäß-System des Dünndarmes vom Pferd“, S.17, Gießen (1984).

2.1.4. Motorik des Dünndarmes

Zur Sicherung der Versorgung, kommt es beim Pferd aufgrund des kleinen Magenvolumens zu einer kontinuierlichen Nahrungsaufnahme (Sasaki & Yoshihara 1999). Eine Unterscheidung zwischen einer digestiven und einer interdigestiven Phase ist im Gegensatz zu anderen Spezies nicht üblich. Um die Motorik des Darmes zu messen bedient man sich folgender Messmethoden:

- myoelektrische Aktivität (Koenig & Cote 2006)
- mechanische Aktivität (Koenig & Cote 2006)
- Passage von intraluminalen Inhalt (Hudson & Merritt 2008)
- transkutaner Ultraschall (Gomaa et al. 2011, Mitchell et al. 2005, Kirberger et al. 1995, Epstein et al. 2008a/b)
- in vitro Kontraktionsmessungen (Wogatzki 2016, Guschelbauer et al. 2010)

Die Motorik des equinen Gastrointestinaltraktes ist ebenfalls per Auskultation zu untersuchen und stellt nach unspezifischen Schmerzhinweisen wie Umdrehen zum Bauch und Scharren eine der ersten Möglichkeiten dar, eine Kolik zu bemerken und zu bewerten. Intraoperativ stellt die Peristaltik des geschädigten Darmes ein bedeutendes Merkmal zur Beurteilung dessen hinsichtlich seiner Vitalität dar und ist neben der Serosafarbe und der Darmwanddicke einer der wichtigsten Parameter der weitverbreiteten praktizierten chirurgischen Evaluierung.

2.1.3.1 Myoelektrische und mechanische Aktivität

In der Literatur wird aufgrund der myoelektrischen Aktivität zwischen den „slow waves“ und den „spike bursts“ im Dünndarm unterschieden. Erstere treten mit einer Wiederholung von 12–14 Mal pro min spontan, aufgrund transienter Depolarisation des Ruhemembranpotentials der interstitiellen Cajalzellen (interstitial cells of Cajal) auf und lösen keine muskuläre Kontraktion aus. Kommt es durch die Depolarisation zum Erreichen des Schwellenwertes, entstehen sogenannte „spike bursts“, Aktionspotentiale, die wiederum muskuläre Kontraktionen auslösen (Davies & Gerrington 1983). Im Jejunum kann durch das auftretende Muster beider oben genannter elektrischer Formen ein typischer, sich wiederholender, messbarer Zyklus nachgewiesen werden, auch „migrating myoelectric complex“ (MMC) genannt.

Dieser dauert beim Pferd zwischen 120–150 min (Ehrlein 2005) und unterteilt sich in drei Phasen:

- Phase 1: Periode ohne „spike bursts“
- Phase 2: Periode mit intermittierenden „spike bursts“
- Phase 3: Periode mit regulären „spike bursts“

Nach Meinung von Sasaki & Yoshihara (1999) kommt es im Ileum zu einer vierten Phase (migrating action-potential complex, MAPC), einer Übergangsepisode von einem Zyklus zum nächsten, in der ebenfalls starke Kontraktionen auftreten um die Ingesta in das Caecum zu befördern.

Nach Ehrlein (2005) werden im Dünndarm fünf unterschiedliche Arten von mechanischer Aktivität (Kontraktionen) unterschieden. Zum aboralen Transport der Ingesta tragen die peristaltischen Wellen bei, die nach aboral verlaufen und auf Kontraktionen durch enterische Reflexe in Verbindung mit aboraler Erschlaffung beruhen. Zur Durchmischung der Ingesta tragen die stationären Segmentationskontraktionen bei. Dabei handelt es sich um ein lokales Zusammenziehen der Muskulatur der Darmwand. Riesenkontraktionen verschließen das gesamte Lumen des Darmes und führen so zu einer Reinigung von Ingesta. Sie weisen eine größere Amplitude und längere Kontraktionsdauer gegenüber allen anderen Motorikformen auf. Weiterhin unterscheidet man stationäre oder wandernde Kontraktionsgruppen, welche aus einer Reihe von kurzen peristaltischen Wellen bestehen, sowie den wandernden motorischen Komplex (Phase 3), welcher ebenfalls aus peristaltischen Wellen besteht, die über einen längeren Darmabschnitt verlaufen (Ehrlein 2005).

Um die Passagedauer von Ingesta zu bestimmen, werden unverdauliche und nichtabsorbierbare Marker gefüttert bzw. intragastral positioniert und die jeweilige Verweilzeit bestimmt (Hudson & Merritt 2008). Beispiele verwendeter Marker sind Ytterbium und Chrom (Rosenfeld et al. 2006).

2.1.3.2 Regulation der gastrointestinalen Motilität

Die Regulation der gastrointestinalen Motilität wird durch das enterische Nervensystem (ENS) übernommen, welches sich in Form des Plexus myentericus (Auerbach Plexus) und des Plexus submucosus (Meissner Plexus) in der Wand des Magen-Darm-Traktes befindet. Der Auerbach Plexus befindet sich zwischen der Längs- und Zirkulärmuskelschicht und steuert die Muskelaktivität. Der Meissner Plexus liegt zwischen Mukosa und Zirkulärmuskulatur und kontrolliert die Funktionen der Mukosa, unter anderem auch die Sekretion und Resorption. Beide Plexus bestehen aus sensorischen Neuronen, Interneuronen und Motoneuronen, wobei letztere mittels Transmittersubstanzen (> 25 verschiedene, u.a. Acetylcholin) die Effektororgane erregen bzw. hemmen. Dieser Aufbau ermöglicht die Nutzung von Reflexschaltkreisen innerhalb des ENS. Der bedeutendste Muskelreflex ist der peristaltische Reflex, der für einen aboralen Weitertransport der Ingesta sorgt. Die sensorischen Neuronen werden durch die Dehnung stimuliert und veranlassen eine orale Kontraktion bei gleichzeitiger aboraler Relaxation der Zirkulärmuskulatur (Schemann 2005).

Neben dem ENS spielt auch das zentrale Nervensystem (ZNS) eine nicht unbedeutende Rolle in der Regulation der gastrointestinalen Motilität. Durch viszerale Afferenzen (sensorische Neurone) erhält das Gehirn Informationen und reguliert mittels Sympathikus und Parasympathikus die Aktivität des Magen-Darm-Traktes über prä- und postsynaptische Modulation enterischer Bahnen. Der Parasympathikus wirkt über den Neurotransmitter Acetylcholin erregend und steigert die Sekretion. Auf die Muskulatur hat er einen erregenden und hemmenden Einfluss, wobei letzteres durch die Neurotransmitter Noradrenalin und vasoaktives intestinales Peptid bewerkstelligt wird und in Form von rezeptiver Relaxation auftritt. Der Gegenspieler des Parasympathikus ist der Sympathikus, der ebenfalls über enterische Bahnen durch den Neurotransmitter Noradrenalin die Effektororgane beeinflusst. Folgen sind eine Hemmung der Motorik und der Sekretion im gesamten Magen- Darm-Trakt (Schemann 2005).

Neben der Regulation der Motilität durch das ENS und ZNS kann es durch Medikamente zu einer Beeinflussung der Peristaltik kommen. Scopolaminbutylbromid ist ein Spasmolytikum, welches speziell bei spastischen Koliken eingesetzt wird, um durch eine Erschlaffung der glatten Muskulatur über

mehrere Stunden eine Schmerztherapie einzuleiten (Packungsbeilage Buscopan® compositum 2012, Gomaa et al. 2011). In diversen Studien konnte bei Xylazin, Romifidin und Butorphanol eine Reduktion der Peristaltik in vivo und in vitro nachgewiesen werden (Merritt et al. 1998, Adams et al. 1984, Mitchel et al. 2005, Zullian et al. 2011, Dias et al. 2014, Sojka et al. 1988, Freeman & England 2001). Bezüglich nichtsteroidalen Antiphlogistika wie Flunixin-Meglumin konnte in vitro nur in hohen Dosierungen eine Hemmung der Kontraktilität beobachtet werden, währenddessen in vivo eine Steigerung nachgewiesen werden konnte (Wogatzki 2016). Ebenfalls eine Steigerung der Kontraktilität wurde bei in vitro Studien mit Lidocain nachgewiesen (Tappenbeck et al. 2013, Guschelbauer et al. 2010).

2.1.3.3 Ultraschall zur Visualisierung der gastrointestinalen Motilität

Die Peristaltik im Dünndarmbereich ist durch transkutanen Ultraschall gut zu beurteilen und spielt vor allem postoperativ eine wichtige Rolle in der intensivmedizinischen Überwachung. In gesunden Pferden wurden in einer Studie von Gomaa et al. (2011) $14 \pm 1,2$ Kontraktionen pro min im Duodenum gemessen, $7 \pm 0,8$ im Zäkumkörper und $5,1 \pm 0,3$ in den ventralen Kolonlängslagen. Nach Mitchell et al. (2005) konnten in gesunden, gefasteten Pferden 12,27 Kontraktionen pro min im Duodenum dargestellt werden. Andere Ergebnisse veröffentlichten Kirberger et al. (1995). Sie fanden im Duodenum $0,4 \pm 0,5$ Kontraktionen pro min bei gefasteten Pferden, $2,5 \pm 1,1$ bei Pferden mit reiner Heufütterung und $2,2 \pm 1,2$ bei Pferden mit reiner Kraftfutterfütterung. Ebenfalls niedrigere Ergebnisse erzielte Epstein et al. (2008a, b), die die Peristaltik von darmgesunden Ponys vor und nach Laparotomie untersuchte. So zeigten die Patienten präoperativ $3,78 \pm 1,1$ duodenale Kontraktionen pro min, am ersten postoperativen Tag $3,94 \pm 1,3$ und an Tag 7 $4,4 \pm 1,4$ duodenale Kontraktionen pro min.

In einer Umfrage unter Diplomates des amerikanischen und europäischen Colleges (ACVIM, ACVS, ACVECC, ECEIM und ECVS) spielte die transkutane ultrasonografische Evaluation postoperativ eine Rolle bei der Diagnose eines postoperativen paralytischen Ileus (Lefebvre et al. 2016a, b).

2.1.3.4 In vitro Kontraktionsmessungen

Zur Bestimmung von Kontraktionen in vitro werden in Studien (Wogatzki 2016, Guschelbauer et al. 2010) Proben intraoperativ von Pferden entnommen, in eine

modifizierte Krebs-Henseleit Puffer Lösung eingelegt und mit einem Gemisch aus 95%igen Sauerstoff und 5%igem Kohlenstoffdioxid belüftet. Anschließend werden die longitudinale und zirkuläre Muskulatur einzeln präpariert und in Gewebekammern mit einer Vorspannung von 2 g eingespannt. Nach einer Äquilibrationszeit kann mittels Zugabe von verschiedenen medikamentellen Zusätzen (bspw. Lidocain, Flunixin-Meglumin oder Firocoxib) deren Einfluss auf die Kontraktilität des equinen Darmes in vitro gemessen werden (Guschelbauer et al. 2010, Wogatzki 2016).

2.2 Störung der gastrointestinalen Physiologie

Ein Ileus ist nach dem medizinischen Wörterbuch Pschyrembel eine Störung der Darmpassage infolge einer Darmlähmung oder eines Darmverschlusses. Hierbei wird zwischen einem mechanisch bedingten (Okklusion oder Strangulation) und einem funktionellen (paralytischen oder spastischen) Ileus unterschieden (De Gruyter 2007 in Pschyrembel 261. Auflage). Eine weniger detaillierte Definition gibt Lester (2004) an, indem er einen Ileus als eine Hemmung der aboral gerichteten intestinalen Aktivität, welcher unabhängig von der Pathophysiologie ist, beschreibt. Diese Störung, die sich klinisch als Kolik mit Schmerzsymptomatik äußert, kann je nach Dauer der Erkrankung und Fortschreiten bzw. Schweregrad zu Schädigungen innerhalb der Darmwand führen (Moore et al. 1995). Diese Schäden sind makroskopisch durch eine Einblutung bzw. Blutleere in der Darmwand oder durch Aufblähung des Darmrohres sichtbar. Die histologisch nachvollziehbaren Veränderungen werden nach Moore et al. (1995) als Schäden, die durch Ischämie und Reperfusion entstehen, beschrieben. Diese zeichnen sich durch eine gesteigerte mikrovaskuläre Durchlässigkeit sowie eine erhöhte Schleimhautpermeabilität in Kombination mit einer Mukosadegeneration aus und werden nachfolgend genauer erläutert.

In der Pathologie werden Ischämie- und Reperfusionsschäden teilweise als Folge von Infarkten angesehen. Hierbei wird erneut zwischen einem ischämischen Infarkt aufgrund einer arteriellen Durchblutungsstörung vor allem in einem Endstromgebiet und einer hämorrhagischen Infarzierung unterschieden. Letztere tritt ebenfalls durch einen arteriellen Verschluss auf, allerdings erfolgt ein langsames Einsickern von Blut aus der Peripherie, was zur rot-schwarzen Färbung führt (Schoon et al. 2015).

2.2.1 Pathogenese und Ätiologie der Ischämie

Ischämie bedeutet eine pathologische Minderversorgung des Gewebes mit sauerstoffreichem Blut, die zu einer ungenügenden Oxygenierung des betroffenen Bereiches führt (Moore et al. 1995). Diese kann relativ, bzw. warm sein, das heißt der Blutfluss ist vermindert da zunächst nur die Venen kollabieren, oder sie kann absolut, bzw. kalt sein, was wiederum bedeutet, dass kein Blutfluss vorhanden ist (Rowe & White 2002). Die warme, auch venöse Ischämie genannt, tritt häufig auf natürlichem Wege auf und wird in der Forschung oftmals als sogenannte „low-flow“ Ischämie mit einem reduzierten Blutfluss auf 20 % verwendet (Blikslager 2003, Blikslager 2010a/b). Durch den Verschluss der Venen kommt es zu einer hämorrhagischen Infarzierung, da die Arterien weiterhin Blut in das Gewebe pumpen, bis sie aufgrund des steigenden intraluminalen Druckes ebenfalls verschlossen werden (Snyder et al. 1990). Da es in der Pathologie per Definition keine venöse Ischämie gibt, sondern dieses Krankheitsbild als hämorrhagische Infarzierung bezeichnet wird, wird in der laufenden Arbeit ebenfalls dieser Begriff verwendet. Die kalte Ischämie tritt auf natürlichem Wege weitaus seltener auf und ist durch eine komplette (arteriovenöse) Unterbrechung des Blutflusses gekennzeichnet.

Eine warme oder kalte Ischämie kommt bei Dünndarmkolikern häufig vor, da beispielsweise durch die Strangulation des Mesenteriums die Blutgefäße abgeschnürt werden. Weitere Faktoren können Thromben oder ein reduzierter Blutfluss infolge eines Schockgeschehens sein (Blikslager 2010a/b). Freeman et al. (2000) legten dar, dass 85 % aller ischämischen Beschwerden im Dünndarmbereich durch Strangulationen entstehen. 68 % dieser Pferde benötigen eine Resektion.

Sauerstoff ist für den Zellmetabolismus lebensnotwendig und wird vor allem innerhalb der Mitochondrien verbraucht. Dort wird er während des vierten Komplexes der Atmungskette durch enzymatisch veranlasste Elektronenaufnahme und Verbindung mit Wasserstoffionen zu Wasser reduziert (Hofmann 2005). An diesen Prozess ist die Synthese des Adenosintriphosphats (ATP) gekoppelt, dem Hauptenergielieferanten für den Zellstoffwechsel. Durch die fehlende Sauerstoffversorgung sinkt die oxydierende Phosphorylierung und damit die ATP-Produktion, wodurch die Zelle auf anaerobe Energiegewinnung umstellen muss um zu überleben (Moore et al. 1995). Als Restprodukt der anaeroben Glykolyse sammelt sich intrazellulär Laktat an, welches einen negativen Einfluss auf die ATP-Synthese

hat (McAnulty 1997) und mit den unverbrauchten Wasserstoffionen (H^+) zu einer Änderung des intrazellulären pH-Wertes führt (Blikslager 2010a). Durch die fehlende Energiequelle (Blikslager 2010a) kommt es zum Ausfall der Natrium (Na^+) /Kalium (K^+) -Ionenpumpe und somit zu Änderungen des Membranpotentials, einer gestörten Verteilung der Ionen und einer erhöhten Durchlässigkeit der Membranen, dem sogenannten zellulären Quellen (Carden & Granger 2000; Moore et al. 1995). Es resultiert eine intrazelluläre Ansammlung von Kalzium- (Ca^{2+}) und Natriumionen (Na^+) (Freeman & Grosche 2012). Durch das angesammelte Kalzium werden kalziumabhängige Enzyme, beispielsweise die Phospholipase A2, oder andere Enzyme, die den Abbau von Membranphospholipiden zu freien Fettsäuren katalysieren, aktiviert (Moore et al. 1995). Durch die sinkende Integrität der Zellwand kommt es zu einem Austritt von Zellelementen und Elektrolyten in das Interstitium (Rowe & White 2002, Moore et al. 1995). Das Auftreten dieser Veränderungen resultiert in einem Auftreiben und Abheben der Zellen von der Basalmembran (Blikslager 2010a). Neben den intrazellulären Veränderungen kommt es zu einer Lockerung der dichten Verbindungen aus Membranproteinen zwischen den Zellen („tight junctions“) und somit zu Veränderungen der zytoskelettalen Elemente (Freeman & Grosche 2012). Dabareiner et al. (1993, 2001) konnten in mehreren Studien zeigen, dass nicht nur ein verminderter oder fehlender Blutfluss, sondern auch eine Überdehnung der Darmwand zu einer ischämischen Schädigung führen kann. Diese kommt häufig oral eines Ileus vor. Es wurde histologisch nachgewiesen, dass ein intraluminaler Druck von 25 cmH₂O einen mikroskopisch nachweisbaren Schaden auslösen kann (Dabareiner et al. 1993). Eine Druckerhöhung auf 18 cmH₂O führt zu einer signifikanten Absenkung der lokalen Sauerstoffsättigung, sowie einer gesteigerten Permeabilität der Zellmembranen (Dabareiner et al. 2001).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Schädigung der Schleimhautzellen an der Spitze der Villi beginnt und im Laufe der Ischämie in Richtung der Krypten fortschreitet (Chiu et al. 1970). Snyder et al. (1988) konnten nachweisen, dass eine Ischämie im Kolon 25 % mehr Zeit benötigt als im Dünndarm um einen vergleichbaren Schaden zu entwickeln. Daraus kann geschlossen werden, dass der equine Dünndarm wesentlich sensibler auf Ischämie reagiert, als der Dickdarm. Nach Blikslager et al. (1997) waren nach einer 60-minütigen Ischämie bereits 1/3 der Epithelzellen des Villus abgelöst, nach 120 min waren nahezu alle zerstört.

2.2.2 Pathogenese und Ätiologie der Reperfusion

Reperfusionsschäden entstehen bei der Reoxygenierung des strangulierten Gewebes und haben eine weitere Schädigung auf das ischämisch geschädigte Gewebe (Blikslager 2003). Während der Ischämie kommt es zum Sistieren der ATP-Synthese, dem Abbau von ATP zu Adenosin und Hypoxanthin (Blikslager 2003) und zur intrazellulären Ansammlung von Kalzium. Eine besondere Rolle nimmt das Enzym Xanthindehydrogenase (XDH) ein, welches im Zellplasma von den meisten tierischen Zellen vorkommt (Rowe & White 2002). Dieses wird in Verbindung mit Kalzium von dem Enzym Calpain, einer Protease, zu Xanthinoxidase (XO) konvertiert. Es benötigt Sauerstoff um sein Substrat Hypoxanthin zu Xanthin abzubauen (Ernster 1988). Während der Reperfusion kommt es durch die vorangegangene Akkumulierung (Rowe & White 2002) zu einer raschen Steigerung des Abbaus, wobei ein Superoxidradikal als Nebenprodukt entsteht (Flaherty & Weißfeldt 1988). Im physiologischen Zustand wird das Superoxidradikal durch die Superoxid-Dismutase zu Wasserstoffperoxid, Hydroxyl-Radikalen und nachfolgend zu Wasser abgebaut und über die Niere ausgeschieden (Cohen 1989). Ist das zelleigene Abwehrsystem, bestehend aus Enzymen (Superoxiddismutase, Katalase, Gluthationperoxidase) und Antioxidantien (alpha-Tocopherol, Ascorbinsäure, beta-Carotin) durch die vorangegangene Ischämie erschöpft, kommt es durch die Haber-Weis Reaktion zur Bildung von freien Radikalen, sogenannten „oxygen-derived free radicals“ (OFRs) (Flaherty & Weißfeldt 1988). Diese schädigen bzw. verändern die Zelle und deren Membran (Rowe & White 2002) durch Lipidperoxidation, Spaltung von DNA und Zerstörung von Enzymen (Flaherty & Weißfeldt 1988). Die vermehrte Bildung von Superradikalen führt zur Formation von Chemoattraktans (Platelet-activating-Factor, Leukotrien B₄) die wiederum als Triggerfaktoren für die Einwanderung der neutrophilen Granulozyten funktionieren (Blikslager 2003). Neutrophile Granulozyten können über das Nicotinsäureamid-Adenin-Dinukleotid-Phosphat (NADPH) System ebenfalls zur Bildung von Superradikalen beitragen, indem das Enzym Sauerstoff zu Superoxidanion und Hydrogenperoxidat reduziert (Flaherty & Weißfeldt 1988, Ernster 1988). Dieser Mechanismus wird auch „respiratory burst“ genannt und stellt einen Abwehrmechanismus gegen Mikroorganismen dar (Ernster 1988).

Prichard et al. (1991) konnten die Xanthinoxidaseaktivität im prozentualen Vergleich zu der Gesamtenzymaktivität (XDH+XO) in drei verschiedenen Dünndarmabschnitten während einer ein- und zweistündigen Ischämie darstellen. Auffällig war hierbei, dass der orale Abschnitt des Dünndarmes eine dreifach höhere Gesamtenzymaktivität hatte, als der aborale Teil. Die mediane XO-Aktivität lag im nichtischämischen Bereich bei 24–28 %. Die Umwandlung von XDH in XO ist der limitierende Faktor für die Superradikalentstehung und somit für die Sensitivität gegenüber Reperfusionsschäden verantwortlich. Prichard et al. (1991) konnten zeigen, dass die Umwandlungsrate nach zweistündiger Ischämie im Medianwert von 27 auf 41 % gestiegen war. Daraus kann geschlossen werden, dass das Duodenum und der Anfangsteil des Jejunums besonders sensitiv auf Ischämie und Reperfusion reagieren.

2.3 Möglichkeiten zur Beurteilung der Schädigung des Darmgewebes

Die intraoperative Beurteilung des Darmes und seiner eventuellen Schädigung wird durch Adspektion der Serosafarbe und der Peristaltik des Darmes, sowie durch Palpation der Dicke der Darmwand und der mesenterialen Pulsation durch den Chirurgen gestellt und ist die am häufigsten angewandte Methode. Die Beurteilung obliegt der Erfahrung des Chirurgen und ist somit subjektiv (Urbanavičius et al. 2011). Freeman et al. (1988) verglichen in ihrer Studie die Einschätzung durch einen erfahrenen Chirurgen mit zwei objektiven Methoden (Doppler-Ultraschall und Fluorescein-Fluoreszenz) an einem künstlich induzierten ischämisch geschädigten Darmabschnitt. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass vor allem bei einer hämorrhagischen Infarzierung, verursacht durch warme Ischämie, die Einschätzung durch den Chirurgen negativer ausfiel mit einer Spezifität von 53 % und einer Falschpositivrate von 47 % (fälschlicherweise als resektionspflichtig eingestuft). Der Doppler-Ultraschall stellte sich in der Beurteilung des geschädigten Darmabschnittes als signifikant überlegen gegenüber der klinischen Evaluation durch den Chirurgen und der Fluorescein Fluoreszenz heraus.

Freeman et al. (2014, 2008) beschreiben in verschiedenen Arbeiten einen intraoperativen Score mit 5 Abstufungen, bei der der Darmabschnitt nach obstruktiver Strangulation entdrehet und nach 15 min durch den Chirurgen beurteilt wird (siehe Kasten). Für Pferde, die einen Score von IV oder V aufweisen, wird eine Resektion empfohlen.

Grad I	Verbessert sich innerhalb von 15 min nach Korrektur der Kolikursache und ist ähnlich gesundem Darm, bzw. nur geringgradig gerötet und ödematisiert mit Ekchymosen. Die Motilität ist spontan oder durch ein Fingerschnippen gegen die Darmwand auslösbar.
Grad II	Verbessert sich innerhalb von 15 min nach Korrektur der Kolikursache und zeigt ein deutliches Ödem mit umfangreichen Ekchymosen, die zu diffusen roten Flecken auf einem dunkelpinken Untergrund zusammenwachsen. Es sind keine umlaufenden Verengungen an der Strangulationsstelle sichtbar. Die Motilität ist schwach, kann aber durch Fingerschnipsen gegen die Darmwand induziert werden.
Grad III	Ähnlich zu Grad II, aber mit umlaufenden Verengungen in der Darmwand und/ oder schwarzen Flecken oder Streifen auf rotem Untergrund.
Grad IV	Verbessert sich geringgradig oder gar nicht innerhalb von 15 min nach Korrektur der Kolikursache. Prädominierende Farben sind dunkelrot, blau oder lila mit einer dünnen bis verdickten, schlaffen Darmwand und dem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von schwarzen Streifen, nekrotischem Geruch oder Einschnürungen an den Strangulationsstellen.
Grad V	Wie Grad IV, bis auf eine diffuse graue, schwarze oder grüne Verfärbung.

In der Literatur sind zahlreiche weitere Methoden zur intraoperativen Beurteilung des Darmes in der Human- und Veterinärmedizin beschrieben, die unter anderem die histologische Untersuchung (Breitenstein et al. 2015, Van Hoogmoed et al. 2004), Oberflächenoxymetrie (Snyder et al. 1986), Doppler-Ultraschall, Fluorescein-Fluoreszenz, Thermographie, intraluminale hydrostatische Druckmessung (Freeman et al. 1988) und Pulsoxymetrie (Urbanavičius et al. 2011) umfassen, sich aber aufgrund des vermehrten Zeit- und Kostenaufwandes nicht als Standard etablieren konnten. Zur Beurteilung der Mikrozirkulation des Dünndarmes hat sich nach Reichert et al. (2014) die Spektrophotometrie als geeignet erwiesen (siehe Kapitel 2.3.5.). Die einzelnen Methoden werden nachfolgend entsprechend näher erläutert.

2.3.1 Histologische Untersuchung

Eine optimale Möglichkeit zur Beurteilung eines Darmabschnittes hinsichtlich seiner Resektionspflicht stellt die histologische Untersuchung dar, die aufgrund des Zeitaufwandes nicht intraoperativ durchführbar ist (Blikslager 2003). Hierbei werden Gewebeproben in Formalin fixiert, aufgearbeitet und eingebettet um anschließend die Epithelalterationen, Blutungen und Entzündungszellinfiltrate auszuwerten (Breitenstein et al. 2015). Bei einem vollständigem Ablösen des Zottenepithels mit beginnender Degeneration der Kryptenepithelzellen und der Lamina propria mucosae (Van Hoogmoed et al. 2004), bzw. bei einem vollständigen Ablösen aller Epithelzellen von der Basalmembran und/oder ausgeprägter Degeneration aller Epithelzellen, einer massiven Erythrozyteneinlagerung durch die eine Gewebestruktur nicht mehr gegeben ist, oder einer Einwanderung von mehr als 40 eosinophilen Granulozyten pro High Power Field (HPF) (Breitenstein et al. 2015) wird der betroffene Darmabschnitt als avital angesehen. Freeman et al. (1988) zeigten, dass bereits nach einer 2–3-stündigen Ischämiephase die untersuchten Darmabschnitte als avital (Score IV oder V) einzustufen waren. Breitenstein et al. (2015) stellten in einer klinischen Feldstudie die Entscheidung des Chirurgen nach makroskopischer Untersuchung einer histologischen Untersuchung gegenüber. In 42,1 % der Fälle war die Entscheidung des Chirurgen histologisch nachvollziehbar, indem das Epithel als nicht regenerierungsfähig eingestuft wurde (> 60 % Epithelverlust).

2.3.2 Fluorescein-Fluoreszenz

Einen visuellen und quantitativen Test stellt die Fluorescein Fluoreszenz dar, bei der der Farbstoff als 10 %ige Lösung (15 mg/kg KGW) intravenös verabreicht wird und nach ca. 5 min Wartezeit mithilfe einer tragbaren UV-Lampe ein Großteil des Darmes im abgedunkelten Raum beurteilt werden kann. Vorteile dieses Testes sind die schnelle Untersuchung großer Darmabschnitte inklusive mikrovaskulärer Perfusion, die Einfachheit der Durchführung, Sicherheit und ökonomische Aspekte. Nachteil dieses Testes ist die hohe Falsch-Positiv-Rate. Beispielsweise wird bei einem ödematösen und hämorrhagisch infarzierten, aber durchaus vitalen Darmabschnitt, durch seine intramurale Blutung das Fluorescein vom UV Licht abgeschirmt (Freeman 2008, Freeman et al. 1988, Edwards 1986, Sullins et al. 1985). Die daraus resultierende Hypo- bzw. Nonfluoreszenz kann den Chirurgen irreführen, woraus unnötige Resektionen von Darmteilen entstehen können (Freeman et al. 1988).

2.3.3 Doppler-Ultraschall

Einen einfachen Test zur Identifizierung von okkludierten Gefäßen stellt die Nutzung einer Dopplerstiftsonde angeschlossen an ein Doppler-flow-meter dar. Hierbei wird die sterilisierte 9 mHz Sonde mit sterilem wasserlöslichem Gel bedeckt und in einem 45° Winkel auf das Gewebe gehalten. Die Längsachsen der Kristalle sind dabei zu den Längsachsen der Gefäße (Mesenterialgefäße oder Darmwandgefäße) ausgerichtet. Die Spitze der Sonde wird stromaufwärts in der Richtung des Blutflusses gehalten, und die vorhandenen oder fehlenden arteriellen Dopplersignale ausgewertet (Freeman et al. 1988). In einer Studie war die Methodik gegenüber dem Fluorescein Fluoreszenz Test und der Beurteilung durch einen Chirurgen überlegen in der Identifizierung von avitalen Darmabschnitten nach einer warmen Ischämie. In der Gesamtgenauigkeit war sie signifikant genauer als die beiden anderen Methoden (Freeman et al. 1988). Besonders gut eignet sich die Methode zur Identifizierung von Anastomoseregionen, allerdings ist es nicht zur Untersuchung von großen Darmabschnitten geeignet (Freeman 2008).

2.3.4 Pulsoxymetrie

Das Grundprinzip der Pulsoxymetrie ist eine nichtinvasive Messung der arteriellen Sauerstoffsättigung des Hämoglobins und beruht auf dem Quotienten aus absorbiertem Licht im Wellenbereich von 660 nm und absorbiertem Licht im Wellenbereich von 940 nm. Das Pulsoxymeter besitzt hierfür zwei Lichtquellen (660 nm und 940 nm) und einen Detektor, der die Stärke des Durchlichtes in jeder Wellenlänge misst. Reduziertes Hämoglobin (Hb) zeigt eine stärkere Absorption im Bereich des roten Lichtes, Oxyhämoglobin (HbO₂) im infraroten Bereich. Hierdurch kann die arterielle Sauerstoffsättigung berechnet werden (Urbanavičius et al. 2011, Alef & Oechtering 2008). Aufgrund der alleinigen Messung von Hämoglobin und dem Fehlen einer Aussage bezüglich des Blutflusses, ist das Pulsoxymeter als einzelnes Messinstrument zur Beurteilung eines ischämischen Darmabschnittes ungeeignet (Urbanavičius et al. 2011).

2.3.5 O₂C Gerät

Das O₂C (oxygen to see) Gerät (LEA Medizintechnik, Gießen), siehe auch Abb. 3, stellte eine Möglichkeit der nichtinvasiven Diagnostik der Mikroperfusion dar. Es ermöglicht dem Anwender die Messung und visuelle Darstellung von drei Parametern (relative kapillare Sauerstoffversorgung, relativer Hämoglobingehalt und relativer Blutfluss). Das O₂C arbeitet mit einer Kombination aus der Weißlichtspektroskopie und der Laser-Doppler-Spektroskopie.

Zur Bestimmung der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins sowie der relativen Hämoglobinmenge nutzt das O₂C die Weißlichtspektroskopie. Basis hierfür ist die Farbveränderung des Blutes in Abhängigkeit des Grades der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins. Durch die Oxygenierung nimmt das Blut eine rötliche Farbe an, bei Deoxygenierung eine bläuliche. Das Hämoglobin absorbiert das Licht. Mithilfe der Absorptionskurve kann das O₂C die relative Hämoglobinmenge im Gewebe berechnen (Krug 2006).

Zur Bestimmung des relativen Blutflusses wird das Gewebe mit einem Infrarotlaser bestrahlt. Das von den bewegten Erythrozyten gestreute Licht erfährt eine Frequenzverschiebung und interferiert mit dem Streulicht des umgebenden ortsfesten Gewebes. Die resultierende Schwebungsfrequenz wird vom Detektor erfasst und ist proportional zur relativen Geschwindigkeit der Erythrozyten. Der

relative Blutfluss wird mit Hilfe der Messdaten durch ein spezifisches Gewebemodell ermittelt und ist proportional zu den Frequenzamplituden (Krug 2006).

Aufgrund seiner Eindringtiefe von 2,5 mm, ist das O2C Gerät optimal für die Messung von Kapillargefäßen geeignet. Zur Messung von stärkeren Gefäßen ist es nicht empfohlen (> 2,5 mm Durchmesser), da das emittierte Licht durch die Menge der Erythrozyten vollständig absorbiert werden würde (Krug 2006).

In der Humanmedizin wurde das O2C Gerät unter anderem zur Bestimmung der optimalen Bein- und Armposition in Bezug auf eine ausreichende Blutversorgung während der Anästhesie genutzt (Darmanin et al. 2013), sowie zur Bestimmung der Mikroperfusion bei Lebertransplantationen (Ladurner et al. 2009).

In der Veterinärmedizin hat es vor allem zur Bestimmung der intestinalen Sauerstoffsättigung und der Durchblutung seinen Platz in zahlreichen Studien gefunden. Franz (2013) und Wogatzki (2016) setzten das O2C Gerät erfolgreich zur Gradbestimmung einer künstlich induzierten Ischämie am equinen Jejunum ein, indem sie mit dem Gerät den relativen Blutfluss bestimmen konnten. Hier zeigt das Gerät deutliche Vorteile gegenüber dem Pulsoxymeter, da es im Gegensatz zu diesem keinen arteriellen Blutfluss benötigt, sondern diesen kapillar-venös zusätzlich bestimmt.

Dancker et al. (2015) werteten mithilfe des O2C Gerätes den Einfluss verschiedener Katecholamine und Alpha-2-Agonisten auf die Mikroperfusion und Oxygenierung des Gastrointestinaltraktes des Pferdes aus. Sie konnten mittels randomisierter Dosierungsprotokolle zeigen, dass Dobutamin dosisabhängig den relativen Blutfluss (FLOW) im Dün-, sowie Dickdarm steigerte, während Dopamin, Phenylephrin und Noradrenalin einen senkenden, bzw. keinen Einfluss auf diesen hatten.



Abb. 3 (links): O2C (oxygen to see), LEA Medizintechnik, Gießen.

Abb. 4 (unten): Sonde des O2C.



In den Studien von Hopster et al. (2015, 2016) konnte das O2C den Einfluss von der Konzentration des Isofluran bzw. des PEEPs (positiver endexpiratorischer Druck) auf die Oxygenierung und intestinale Mikroperfusion darstellen. So konnte gezeigt werden, dass bei rein durch Isofluran anästhesierten Pferden eine stufenweise Steigerung der expiratorischen Konzentration des Isoflurans von 1,4 % auf 2,0 % eine rapide Verschlechterung der intestinalen Mikroperfusion und Oxygenierung herbeiführte (Hopster et al. 2015). Ein ähnlicher Effekt konnte durch die stufenweise Erhöhung des PEEP bei einem Wert von 25 cmH₂O beobachtet werden. In beiden Studien wurde das O2C an der Serosa des Magens, des Jejunums und der Flexura pelvina positioniert und in genormten Abständen die Parameter über einen definierten Zeitraum gemessen.

Reichert et al. (2014) nutzen das O2C Gerät zur Bestimmung der Mikrozirkulation des Dün- und Dickdarmes an Pferden, die klinisch darmgesund waren. Sie empfehlen das Abwenden bzw. Ausschalten der leistungsstarken Operationslampen um eine Störung der lichtempfindlichen Sonde zu vermeiden, sowie eine Messzeit von 30 Sekunden um adäquate Ergebnisse zu erzielen. Das Abdecken der Sonde

durch die Hand des Chirurgen konnte den Einfluss von direkt auf die Messung gerichteten Lampen nicht ausreichend unterbinden, zeigte aber eine geringere Fehlerwahrscheinlichkeit der Messungen als ohne. Neben den Störmöglichkeiten durch das Licht der Operationslampen und die peristaltische Bewegung des Darmes, befasste sich diese Studie ausführlich mit der Positionierung der Sonde am Darm, indem sie 15 unterschiedliche experimentelle Ansätze im Bereich des Jejunums und 11 verschiedene im Bereich der Flexura pelvina betrachtete. Hierzu kann gesagt werden, dass eine Messung der antimesenterialen Seite die höchste Intra-Klassen-Korrelation in allen Parametern erreichte. Eine Positionierung der Sonde auf der mesenterialen Seite bzw. zwischen mesenterialer und antimesenterialer Seite des Darmrohres zeigte laut der Autoren keine messbaren Fehler und wird deswegen für weitere Studien empfohlen. Einen bemerkenswerten Unterschied zwischen den Positionierungen der Sonde konnte nur beim relativen Hämoglobin beobachtet werden und wurde durch den größeren Durchmesser der mesenterialen Gefäße erklärt. Zur Auswertung wurden die fehlerfreien Messansätze verwendet. Am gesunden Darm liegt nach Reichert et al. (2014) die Sauerstoffsättigung im Jejunum bei 81,04 % ($\pm 12,62$ %), in der Flexura pelvina 83,44 % ($\pm 11,79$ %). Im Dünndarmbereich liegt die relative Hämoglobinmenge bei 68, 41 au (± 10 , 91 au) und der relative Blutfluss bei 246, 1 au (± 73 , 43 au). Im Dickdarm liegen diese Werte wiederum bei 65, 81 au (± 9 , 29 au) für die relative Hämoglobinmenge und bei 216,27 au ($\pm 67,20$ au) für den relativen Blutfluss. Die höhere Variabilität des relativen Blutflusses wird hierbei durch den störenden Einfluss der Darmperistaltik, die vor allem im Bereich des Jejunums intensiver ist, erklärt.

2.3.5.1 Die Sonde des O2C

Die Flachsonde (LF-3) des O2C ist in einem Sondenapplikator des Typs LAM-1 verpackt (siehe Abb. 4) und besteht aus Glasfasern, die das Licht in das Gewebe und das Streulicht wiederum vom Gewebe zur Messeinheit leiten. Neben den zwei Detektoren beherbergt sie ebenfalls zwei Lichtquellen. Zum einen eine Weißlichtquelle mit einer Wellenlänge zwischen 500 bis 630 nm, zum anderen eine Laserlichtquelle mit einer Wellenlänge von 830 nm. Die Eindringtiefe liegt bei 2,5 mm. Messungen werden alle 50 ms durchgeführt, registriert und alle zwei Sekunden auf das Monitoring Fenster projiziert (Handbuch O2C, LEA Medizintechnik, Gießen).

2.4 Ultraschallgestützte Darmwanddickenmessung

In den letzten 20 Jahren hat die systematische Abdominalsonografie (Klohn et al. 1996) in der Kolikdiagnostik immer mehr an Bedeutung gewonnen. Sie erlaubt eine schnelle und nichtinvasive Untersuchung des Patienten und ermöglicht es dem Praktiker die kraniale Peritonealhöhle, welche der rektalen Untersuchung vorbehalten ist, zu untersuchen (Freeman 2002b, Scharner et al. 2002a, Huskamp et al. 2003). Die Ergebnisse spielen heutzutage eine enorme Rolle in der Entscheidung für oder gegen die operative Kolikversorgung (Scharner et al. 2002a). Weit verbreitet ist das FLASH (fast localised abdominal sonography of horses) Protokoll, welches sich bereits bei Busoni et al. (2011) als ein nützliches Hilfsmittel für Tierärzte mit wenig Erfahrung in der Bildgebung erwiesen hat. Es ermöglicht eine Untersuchung des Patienten in durchschnittlich 10,7 min mit einer positiven Vorhersage einer Notwendigkeit einer Kolikoperation von 88,89 %. Das FLASH Protokoll beinhaltet die Untersuchung von sieben definierten Regionen, siehe auch Kapitel 2.4.1.

Eine Darmwanddicke des Dünndarmes zwischen 1,8 und 3,75 mm, sowie ein Durchmesser von bis zu 5 cm werden als physiologisch angesehen (Freemann 2002a, Klohn et al. 1996, Scharner et al. 2002b, Bithell et al. 2010). Die Darmwand (siehe Abb. 5) setzt sich aus den folgenden vier Schichten zusammen: Lamina serosa, Lamina muscularis, Lamina submukosa und Mukosa, welche ultrasonografisch aufgrund ihrer unterschiedlichen Echogenität gut zu unterscheiden sind (Freeman 2003). Die Serosa und die Submukosa stellen sich hyperechogen dar, die Lamina muscularis und die Mukosa hypoechogen, siehe auch Abbildung 5. Eine zusätzliche hyperechogene Schicht entsteht durch Gas oder Ingesta, die auf der Mukosa aufliegen (Freeman 2003) und oft fälschlicherweise als eine fünfte Schicht mitgezählt wird. Von einer Verdickung der Darmwand wird ab 3–4 mm ausgegangen (Freeman 2002a, Scharner et al. 2002b, Le Jeune & Whitcomb 2014), wobei ein Gaseinschluss in der Mukosa mit einer sehr starken Schädigung der Darmwand und einer schlechten Prognose einhergeht (Freeman 2002a). Zu beachten ist, dass die Messung der Darmwand außerhalb einer durchlaufenden Peristaltikphase durchzuführen ist, da diese das Ödem beeinflusst (Scharner et al. 2002b). Diese Verdickung kann als Ursache eine Ödementstehung, infiltrative oder proliferative Krankheiten, Enteritits, sowie einen paralytischen oder mechanischen Ileus haben (Sanchez 2010).

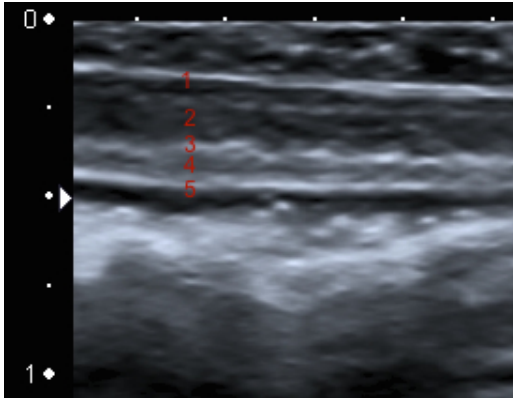


Abb. 5: Ultraschallgraphisch dargestellte Darmwand-schichten in einem nicht verdickten Darmsegment (8,4 MHz).

- (1) Serosa
- (2) Lamina muscularis
- (3) Lamina submukosa
- (4) Lamina mukosa
- (5) Ingesta bzw. Gas

2.4.1 Transkutaner Ultraschall

Der transkutane Ultraschall hat sich vor allem bei der Diagnose von schwerwiegenden Erkrankungen wie einem Dünndarmverschluss oder der Drehung des Kolons um die eigene Längsachse als besonders sensitiv und spezifisch erwiesen (Scharner & Bankert 2015). Im Vergleich mit der rektalen Untersuchung konnte ein Ileus im Dünndarmbereich mit einer Sensitivität von 97,1 % und einer Spezifität von 93,0 % signifikant öfter und eher erkannt werden (Klohn et al. 1996, Scharner et al. 2002a, Freeman 2002a), während bei einer Verlagerung oder Obstipation des Kolons die Rektaluntersuchung überlegen war (Scharner & Bankert 2015). Nach Ness et al. (2012) konnten, mittels transkutanen Ultraschall, bei 24 von 82 Kolikpferden Mesenterialgefäße des Kolons auf der rechten Körperseite dargestellt werden. Bei Auftreten dieses Symptoms, konnte intraoperativ signifikant öfter ($p < 0,001$) eine Rechtsverlagerung oder ein Volvulus des Kolons um 180° diagnostiziert werden. Nach Grenager & Durham (2011) konnte die Visualisierung der Gefäße bei 13 von 23 Pferden mit einer intraoperativ diagnostizierten Rechtsverlagerung des Colon ascendens gelingen. Diese Ergebnisse werden ebenfalls durch Scharner & Bankert (2015) mit einem positivem Vorhersagewert von 66,7 % unterstützt.

Mittels niedrigfrequenten Schallköpfen (2,0–3,5 mHz) ist eine Eindringtiefe von bis zu 24 cm realisierbar. Weiter medial gelegene Strukturen sind nicht untersuchbar. Bei bauchwandnahen Strukturen kann auch ein hochfrequenter Schallkopf (5,0–7,5 mHz) verwendet werden. Das Fell ist zu scheren, bzw. mit Alkohol zu befeuchten (Huskamp et al. 2003).

Bezeichnung Fenster	Zielorgan	Seite, Interkostalraum (IKR)
Ventrales Abdomen	Dickdarm, Dünndarm	Schaukelknorpel bis Inguinalbereich
Magen-Fenster	Magen, Milz	Linke Seite zwischen 8./9. und 12./13. IKR
Milz-Nieren-Raum-Fenster	Milz, linke Niere	Linke Seite, 17. IKR
Linke Flanke	Dickdarm, Dünndarm	Hungergrube links
Duodenum-Fenster	Duodenum, Caecum, Leber, rechte Kolonlagen	Rechte Seite zwischen 13–17. IKR
Rechte Flanke	Dickdarm, Dünndarm	Hungergrube rechts

Tab. 2: Übersicht der Schallregionen am Kolikpferd nach Literaturangaben (Huskamp et al. 2003, Scharner et al. 2002a, Scharner et al. 2002b).

Bei der systematischen Untersuchung des Kolikpferdes wird mit Feldern in bestimmten Regionen gearbeitet, um die entsprechenden Organe zu untersuchen. In der Literatur sind verschiedene Protokolle mit 5 bis 7 Regionen publiziert (Scharner et al. 2002a/b, Huskamp et al. 2003, Busoni et al. 2011, Cavalleri et al. 2013), die in Tabelle 2 im Beispiel erläutert sind.

Im Unterschied zu den in der Tabelle 2 dargestellten Studien, wird bei Cavalleri et al. (2013) die Untersuchung des Dickdarmes auf die Inguinalregion begrenzt. Bei Busoni et al. (2011) wird zusätzlich zu den sechs Lokalisationen der kraniale ventrale Thorax als siebente Region mituntersucht, um einen Thoraxerguss nicht zu übersehen.

Eine besondere Rolle spielt der transkutane Ultraschall auch in der postoperativen Phase, in der bspw. die Darmwanddicke beurteilt werden kann, um erste Hinweise auf das Auftreten eines postoperativen paralytischen Ileus zu visualisieren. Sheats et al. (2010) konnten zeigen, dass bei Pferden die eine Torsio coli $> 360^\circ$ intraoperativ diagnostiziert bekamen, die Rückbildung der ödematisierten Darmwand mit dem Auftreten von multiplem Organversagen negativ korrelierte, wohingegen die Zeit keinen Einfluss auf die Kurzzeitüberlebensrate hatte.

2.4.2 Transrektaler Ultraschall

Die transrektale Sonografie stellt vor allem für adipöse Pferde und Ponys mit sehr dicker Haut eine geeignete Methode zur Beurteilung der Organe des kaudalen Abdomens, inklusive des Dünndarmes dar. Eine Untersuchung ist nur für die Organe der kaudalen Abdominalhöhle möglich, die auch mittels Rektaluntersuchung evaluierbar sind (Freeman 2003, 2002a). Durch das direkte Auflegen des Schallkopfes auf den betroffenen Abschnitt und die Möglichkeit der Manipulation und Anpassung des Winkels entstehen qualitativ sehr hochwertige Bilder, die auch eine genaue Unterscheidung der einzelnen Darmwandschichten untereinander erlauben (Freeman 2002a/b). Ein Schallkopf mit einer Auflösung zwischen 5–10 mHz eignet sich für die Untersuchung und kann eine Eindringtiefe von bis zu 20 cm ermöglichen (Freeman 2003). Neben dem Einsatz aufgrund des Ernährungszustandes des Patienten hat sich die transrektale Ultrasonographie vor allem in der Diagnosestellung der Längsachsendrehung des Kolons (Scharner et al. 2002a) und bei Strangulation des kleinen Kolons (Freeman et al. 2003) als überlegen erwiesen.

3 Material und Methodik

3.1 Patientenkriterien

Die vorliegenden Daten wurden von 32 Patienten erhoben, die zwischen Mai 2015 und Mai 2016 aufgrund von unstillbarer Koliksymptomatik in die Klinik für Pferde, Abteilung Chirurgie, in Gießen zur Laparotomie überwiesen wurden. Einschlusskriterium war ein Ileus im Dünndarmbereich, der operativ gelöst wurde und zu einer makroskopischen Schädigung des betroffenen Darmabschnittes geführt hatte.

Die präoperative Kolikdauer wurde anhand der Angaben der Besitzer bzw. Überbringer bestimmt. Das erstmalige Bemerkten von schmerzhaften Anzeichen wurde als Startpunkt der Kolik definiert, das Eintreffen in der Abteilung für Innere Medizin des Pferdes und die Entscheidung zur chirurgischen Intervention als Ende.

3.1.1 Vorbehandlung durch den überweisenden Haustierarzt

Eine Vorbehandlung durch den Haustierarzt fand bei allen Pferden statt. Diese wurde anhand der Anamnese ausgewertet.

3.1.2 Allgemeine präanästhetische Untersuchung

Bei Eintreffen in der Klinik wurden die Patienten einer ausführlichen Allgemeinuntersuchung unterzogen, wobei mithilfe eines modifizierten Score-Systems nach Van Loon et al. (2014) gearbeitet wurde (siehe auch Anhang 10.1 für das vollständige Protokoll). Zusätzlich wurden eine rektale Untersuchung zur Diagnosestellung, sowie eine Nasenschlundsonde zur Dekomprimierung des Magens (Ablassen von Gas bzw. Reflux) angewendet. Die Parameter Hämatokrit, Totalprotein, Laktat, pH-Wert, Bikarbonat, Harnstoff, Base Excess, Elektrolyte (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) und Glukose wurden aus einer venösen Blutprobe bestimmt. Der Hämatokrit und das Totalprotein wurden nach Zentrifugation manuell abgelesen, die anderen Werte wurden mittels Blutgasanalyse durch das Gerät „Cobas b 221“ der Firma Roche (Rotkreuz) ermittelt.

3.2 Allgemeinanästhesie

3.2.1 Vorbereitung

Präoperativ bekamen die Patienten am Übergang vom oberen zum mittleren Halsdrittel nach aseptischer Vorbereitung einen Venenverweilkatheter in die Vena jugulares sinistra bzw. dextra gelegt. Medikamentell wurden die Patienten mit Amoxizillin (10 mg/kg, IV; Belamox®, bela-pharm GmbH & Co. KG, Vechta) und Flunixin-Meglumin (1,1mg/kg, IV; Flunidol® RPS, cp-pharma, Burgdorf) behandelt, zusätzlich wurde der Tetanusstatus überprüft und falls unvollständig mit Tetanusserum (8.000–12.000 IE, IM; Tetanus-Serum WDT®, Wirtschafts-genossenschaft deutscher Tierärzte eG, Hoyerhagen) substituiert. Waren die Pferde in der Allgemeinuntersuchung mit einer Hämokonzentration auffällig, wurden sie präoperativ mit hypertonen Natriumchloridlösung (Hyp. NaCl-Lösung 7,5 % ad us. vet.®, B. Braun, Melsungen) intravenös stabilisiert. Vor der Prämedikation wurde dem Pferd die Maulhöhle mithilfe eines Wasserschlauches ausgespritzt um bei der späteren Intubation eine Kontamination des Tubus mit Nahrung aus der Maulhöhle weitestgehend zu umgehen und einer Aspirationspneumonie vorzubeugen.

3.2.2 Induktion und Erhaltung

Die Allgemeinanästhesie wurde in einer Ablegebox mit beweglicher Tür zur Stabilisierung des abzulegenden Patienten und einer Fixation dessen am Kopf eingeleitet.

Als Prämedikation wurden Xylazin (0,5–1,1 mg/kg, IV; Xylavet®, cp-pharma, Burgdorf) und Butorphanol (0,05 mg/kg, IV; Butorgesic®, cp-pharma, Burgdorf) verwendet. Die Einleitung der Allgemeinanästhesie erfolgte mit Ketamin (2,2 mg/kg, IV; Ketamin®, cp-pharma, Burgdorf) und Diazepam (0,1 mg/kg, IV, Diazepam®-Lipuro, B. Braun, Melsungen). Zur Erhaltung wurde Isofluran (Isofluran®, cp-pharma, Burgdorf), vergast in reinem Sauerstoff und eine balancierte intravenöse Xylazininfusion (1 mg/kg/h) die mit Ringer-Laktat Lösung (Ringer-Lactat-Lösung nach Hartmann & Braun Vet Care®, B. Braun, Melsungen) vermischt wurde, verwendet. Zusätzlich erhielten die Patienten intravenös Lidocain (0,05 mg/kg/h, IV; Lidocainhydrochlorid 2 %, bela-pharm, Vechta) als viszerale Analgetikum und zur Reduktion der minimalen alveolären Konzentration des Isoflurans.

Die Pferde wurden in Rückenlage gebracht, wobei die Vordergliedmaßen leicht

gebeugt im Kran blieben. Die Hintergliedmaßen wurden ausgehängt und angewinkelt frei gelagert. Der Patient wurde an das Inhalations- und Beatmungssystem PORTEC (Stephan GmbH, Gackebach) angeschlossen und wenn notwendig assistiert kontrolliert beatmet. Perioperativ wurde intravenös zur Kreislaufunterstützung Ringer-Laktat und falls notwendig Dobutamin (Dobutamin-Ratiopharm®, ratiopharm, Ulm), hypertone Natriumchloridlösung (7,5 %) oder Tetrahydroxyethylenstärke (HES; Tetraspan® 10 %, B. Braun, Melsungen) eingesetzt, um einen mittleren arteriellen Blutdruck > 70 mmHg zu gewährleisten. Dieser wurde invasiv an der A. facialis der Patienten überwacht. Weiterhin erfolgte im 5-minütigen Abstand eine Aufzeichnung der maschinell gemessenen Herz- und Atemfrequenz, der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration, sowie der expiratorischen Isofluran- und CO₂-Konzentration. Manuell wurde die Narkosetiefe durch den Lid- und Kornealreflex, sowie dem Auftreten von Nystagmus validiert. Zusätzlich wurde palpatorisch die Pulsfrequenz, sowie die Pulsqualität an der A. facialis überwacht. Zur kontinuierlichen Beurteilung des arteriellen partiellen Sauerstoffdruckes wurden im 30-minütigen Abstand Blutgasanalysen mit dem Gerät „Cobas b 221“ der Firma Roche (Rotkreuz) durchgeführt.

3.3. Messungen

3.3.1. Chirurgen

Die chirurgische Evaluation erfolgte durch drei Chirurgen, die sich in ihrem Ausbildungsgrad und der Dauer der chirurgischen Tätigkeit unterschieden. Die selbstständige chirurgische Tätigkeit wurde seit mehr als zehn Jahren, bzw. seit fünf oder zwei Jahren durchgeführt. Einer der Chirurgen hatte die Fachtierarztausbildung mit Prüfung beendet, die Jüngeren waren innerhalb der Ausbildung.

3.3.2. Messpunkte

Die Messungen und Evaluierungen durch den jeweiligen Chirurgen wurden an sechs definierten Punkten am Gastrointestinaltrakt der Patienten vorgenommen (siehe Abb. 6). Durch den Chirurgen wurde der makroskopisch am schwerwiegendsten geschädigte Punkt als MP1 (Messpunkt 1) bestimmt, 50 cm oral davon MP2, 50 cm aboral MP3. War der Ileus im Bereich des Ileums lokalisiert und der Abstand zwischen MP1 und MP3 konnte nicht eingehalten werden, wurde MP3 ausgelassen und mit den Messpunkten am Dickdarm fortgefahren (MP4–MP6), um die Auswirkungen des primären Ileus des Dünndarmes auf den Dickdarm zu bestimmen. MP4 wurde auf dem Caecumkörper, MP5 an der Flexura pelvina und MP6 mittig des vorzulagernden Colon descendens gemessen. Siehe auch Abb. 6.

Intestinum (Facies dextra)

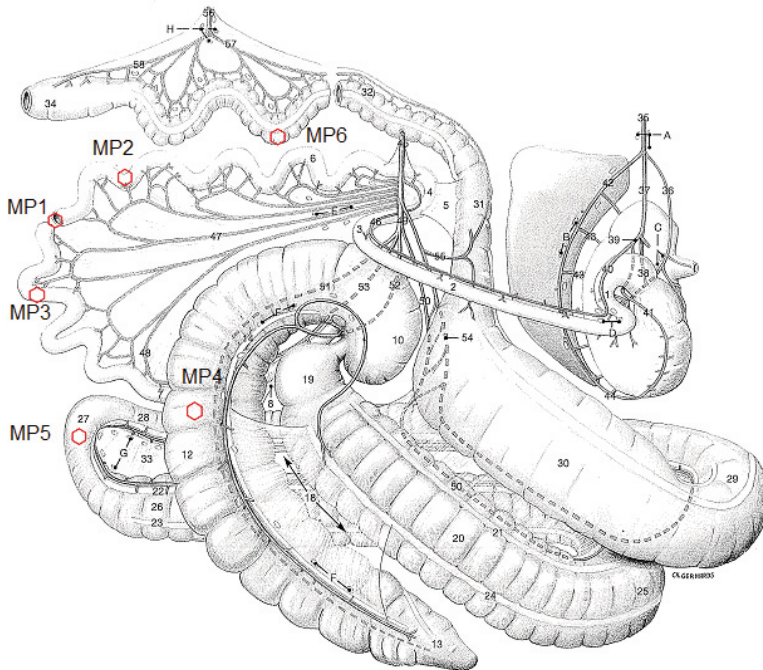


Abb. 6: Darstellung des equinen Gastrointestinaltraktes mit Gefäßen, sowie Einzeichnung des MP1 bis MP6. MP1 bis MP3 beispielhaft dargestellt.

Duodenum

- Pars cranialis (1)
- Pars descendens (2)
- Pars transversa (3)
- Pars ascendens (4)
- Plica duodenocolica (5)
- Jejunum (6)
- Ileum (7)
- Plica iliocaecalis (8)
- Papilla et Ostium ileale (9)

Caecum

- Basis caeci (10)
- Ostium caecocolicum (11)
- Corpus caeci (12)
- Apex caeci (13)
- Taenia lateralis (14)
- Taenia dorsalis (15)
- Taenia medialis (16)
- Taenia ventralis (17)
- Plica caecocolica (18)

Colon

Colon ascendens

- Collum coli (19)
- Colon ventrale dextrum (20)
- Taenia mesocolica lat (21)
- Taenia mesocolica med (22)
- Taenia libera medialis (23)
- Taenia libera lateralis (24)
- Flex. diaphragmatica ventr (25)
- Colon ventrale sinistrum (26)
- Flexura pelvina (27)
- Colon dorsale sinistrum (28)
- Flex diaphragmatica dors (29)
- Colon dorsale dextrum (30)

Colon transversum (31)

Colon descendens (32)

- Mesocolon (33)

Rectum (34)

- A. coelica (35)
- A. gastrica sinistra (36)
- A. hepatica (37)

- A. gastrica dextra (38)
- A. gastroduodenalis (39)
- A. pancreaticoduodenalis cran (40)
- A. gastropiploica dextra (41)
- A. lienalis (42)
- Aa. gastricae breves (43)
- A. gastropiploica sinistra (44)
- A. mesenterica cranialis (45)
- A. pancreaticoduodenalis caud (46)
- Aa. jejunaes (47)
- Aa. ilei (48)
- A. ileocolica (49)
- R. colicus (50)
- A. caecalis medialis (51)
- A. caecalis lateralis (52)
- R. ilei mesenterialis (53)
- A. colica dextra (54)
- A. colica media (55)
- A. mesenterica caudalis (56)
- A. colica sinistra (57)
- A. rectalis cranialis (58)

Aus Budras/Röck (2009): *Atlas der Anatomie des Pferdes*, 7. Auflage, Schlütersche, Hannover, S. 71.

3.2.3 Protokoll zur Evaluierung durch den Chirurgen

Nach Diagnosestellung erfolgte durch den Chirurgen intraoperativ eine Beurteilung des stenosenotischen, sowie des prä- bzw. poststenotischen Darmteils nach dem Protokoll mit eingearbeiteten Score-System.

In Tabelle 3 sind am Beispiel des Messpunkt 1 (MP1) die Kriterien zur Beurteilung des Darmes durch den Chirurgen dargestellt. Das vollständige Protokoll ist im Anhang (10.1.) einsehbar.

MP1	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
Adspektion Darm	Blass/ Rosa	Rosa/ Pink/ Petechien	Rot/ Violett/ Ekchymosen	Grau/ Schwarz/ Grün
Darmwand- dicke palpatorisch	Physiologisch (< 3 mm)	Teigig	Fleischig	> 1 cm
Motilität des Darmes	Gerichtete Kontraktions- wellen	Stehende/ Spastische Kontraktion	Kaum sichtbare Kontraktion	amotil
Auflagerung/ Gefäßzeich- nung	keine	Injizierte Gefäße	Akute Fibrinaus- schwitzungen	Fibrinausschwitz- ungen, starke Gefäßzeichnung

Tab. 3: Protokoll der intraoperativen Beurteilung des Darmes durch den Chirurgen am Beispiel des MP1 (Messpunkt 1).

Der Score wurde anschließend für jeden Messpunkt einzeln zusammenaddiert und infolge der statistischen Auswertung mit den Ergebnissen des Ultraschalls und des O2C Gerätes verglichen und auf Korrelation untersucht.

3.2.4 Messungen mittels O2C und Ultraschall

Die Messungen wurden unmittelbar nach Diagnosestellung durchgeführt. Die Sonde wurde antimesenterial durch den Chirurgen auf dem Darm positioniert. Die starken OP-Lampen wurden ausgeschaltet um eine Störung des lichtempfindlichen Lasers zu vermeiden.

Die Messung der Sauerstoffsättigung (SO₂), des relativen Blutflusses (FLOW) und der relativen Hämoglobinkonzentration (rHb) erfolgte mittels des O2C Gerätes (siehe Abb. 7). Die Messungen dauerten jeweils 30 Sekunden und wurden innerhalb von maximal vier Atemzügen des Pferdes durchgeführt.



Abb. 7: O2C-Messung, mittels sterilem Überzug am MP1.

Die Bestimmung der Darmwanddicke erfolgte ebenfalls intraoperativ mithilfe der 8,4 MHz Rektalsonde des Ultraschallgerätes SSA-780A der Firma Toshiba (Tokio) direkt auf dem Darm. Hierbei wurden Messungen im Quer- und Längsschnitt durchgeführt und der Mittelwert ermittelt.

Um der Gefahr einer Verunreinigung des sterilen Operationsfeldes mit nachfolgender Peritonitis vorzubeugen, wurde die Sonde des O2C, sowie die Rektalsonde des Ultraschallgerätes in sterile Überzüge (ULTRACOVER®) der Firma Microtek Medical GmbH (Wertheim) verpackt, siehe auch Abb. 8 und 9. Der Überzug der O2C-Sonde wurde mittels Unterdruck fixiert, der Überzug der Rektalsonde mithilfe eines Gummibandes. Um eine Kompression des Darmwandödems zu vermeiden, wurde Ultraschallgel in den Überzug der Rektalsonde appliziert und somit eine Vorlaufstrecke imitiert.

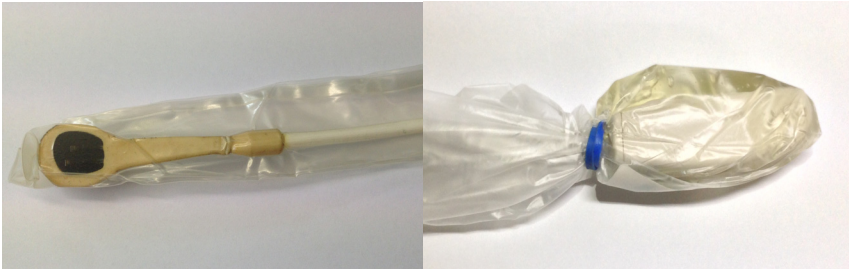


Abb. 8 und 9: Sonde des O2C (links) und 8,4 mHz Rektalsonde des Ultraschallgerätes SSA-780A (rechts), jeweils mit sterilem Überzug.

3.2.5 Weitere Messungen

Um eine Evaluierung des Bauchhöhlenpunktates hinsichtlich Laktatwert und Totalprotein durchführen zu können und um eine Verfälschung der Werte durch eine Einblutung ausschließen zu können, wurde nach Eröffnung der Bauchhöhle mithilfe einer sterilen 20 ml Spritze Bauchhöhlenflüssigkeit entnommen. Der Laktatwert wurde mittels des Blutgasanalysegerätes „Cobas b 221“ der Firma Roche (Rotkreuz) bestimmt, der Hämatokrit und das Totalprotein nach Abzentrifugation (Zentrifuge: Haematokrit 210, Hettich Zentrifugen (Tuttlingen); Refraktometer: Euromex Microscopes Holland (Arnhem)). Im Rahmen der routinemäßigen Blutgasanalysen wurden der Laktatwert, der Hämatokrit sowie das Totalprotein im venösen Blut bestimmt. Die gewonnen Werte bilden den intraoperativen Teil des Score Systems und wurden mithilfe von Angaben aus der Literatur ausgewertet, siehe auch das vollständige Protokoll unter 10.1.

3.3 Gruppeneinteilung nach chirurgischer Evaluation

Aufgrund der chirurgischen Entscheidung (resektionspflichtig versus nicht resektionspflichtig) wurden die Patienten in zwei Gruppen unterteilt, wobei Gruppe 1 alle Pferde zugeteilt wurden, die keine Resektion des betroffenen Darmabschnittes benötigten. In Gruppe 2 waren alle Pferde vertreten, die reseziert wurden, bzw. aufgrund fehlender Resektionserlaubnis oder infauster Prognose intraoperativ euthanasiert wurden. Allgemein bekannte Kriterien, wie die Farbe der Serosa, die palpatorische Darmwanddicke, vorhandene oder fehlende Pulsation der Mesenterialarterien des betroffenen Darmabschnittes, sowie spontane bzw.

induzierte Peristaltik wurden benutzt um zwischen einem resektionspflichtigen und einem nicht resektionspflichtigen Darm zu unterscheiden. Der Chirurg wurde bei der Entscheidung zwischen resektionspflichtig und nicht resektionspflichtig nicht über die O2C Ergebnisse und die Darmwanddicke informiert, war aber in der Lage den jeweiligen Bildschirm während der Operation zu sehen.

3.4 Statistik

Die Versuchsplanung, die Abschätzung der Probandenanzahl und die Auswertung geschah unter der Aufsicht und Anleitung von Dr. K. Failing, dem Leiter der Arbeitsgruppe für Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen. Zur Berechnung der Fallzahl wurde das Programm „BiAS“, Biometrische Analyse von Stichproben, verwendet (Ackermann 2010). Basis dieser Abschätzung war die Vorgabe, eine Korrelation in Höhe von $\rho = 0,5$ und höher mit einer Power von 0,3 zu erkennen. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Zur statistischen Auswertung wurde der Medianwert und die mittlere Abweichung vom Median an jedem Messpunkt für den relativen Blutfluss, die relative Hämoglobinkonzentration und die Sauerstoffsättigung bestimmt. Die Dicke der Darmwand wurde bestimmt, indem der Mittelwert aus jeweils fünf Messungen des Darmes im Längs- und Querschnitt errechnet wurde.

Das statistische Programmpaket BMDP (Dixon 1993) wurde zur Auswertung verwendet. Es erfolgte eine Untersuchung der Beziehung der quantitativen Merkmale mithilfe von Korrelations- und Regressionsanalysen mit dem Programm BMDP6D in Form der Bestimmung des Korrelationskoeffizienten (r) und der Regressionsgeraden ($y = m \cdot x + b$). Eine Korrelation wurde ab $r > 0,8$ als hoch, eine bei $r = 0,5–0,79$ als mittel und als mäßig bei $r < 0,49$ bezeichnet. Die Störvariable „Zeit seit Hautschnitt“ wurde mithilfe des partiellen Korrelationskoeffizienten (BMDP6R) berücksichtigt. Da einige Daten eine rechtsschiefe Verteilung aufwiesen, wurde die Auswertung der Regressionsanalyse, der Korrelationsanalyse, sowie des partiellen Korrelationskoeffizienten unter Zuhilfenahme einer logarithmischen Transformation für die Daten des MP1 und des MP3 wiederholt. Nullwerte wurden hierbei durch die Hälfte des kleinsten positiven Wertes ersetzt um sie nach der logarithmischen Transformation berücksichtigen zu können. Nach erfolgter Gruppeneinteilung, basierend auf der Vergabe des Merkmals Resektionspflicht ja/nein durch den

Chirurgen, wurden erneut Korrelationsanalysen (BMDP6D) durchgeführt und die beiden Gruppen im MP1 in der Darmwanddicke, der Sauerstoffsättigung und der chirurgischen Evaluierung untereinander verglichen. Um die Beziehung der chirurgischen Evaluierung am MP1 mit den Scores der präanästhetischen Untersuchung und dem Score der intraoperativen Parameter zu untersuchen, wurde mit dem Programm BMDP3D der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman bestimmt.

4 Ergebnisse

4.1 Patientendaten

Das Alter der 32 untersuchten Pferde lag zwischen 3 und 24 Jahren (Durchschnitt: $15,9 \pm 5,8$ Jahre, siehe Abb. 10), das Körpergewicht zwischen 260 und 730 kg (Durchschnitt: $484 \text{ kg} \pm 103 \text{ kg}$). In der Studie waren 13 Stuten, 18 Wallache und ein Hengst vertreten, wobei Warmblüter ($n = 15$) den Hauptteil ausmachten. Ebenfalls vertreten waren Isländer ($n = 3$), Ponys ($n = 6$) und Haflinger ($n = 2$). Die weitere Rasseverteilung ist in Abbildung 11 dargestellt.

Die einzelnen Patientendaten sind in Tabelle 11, im Anhang unter 10.2, dargestellt.

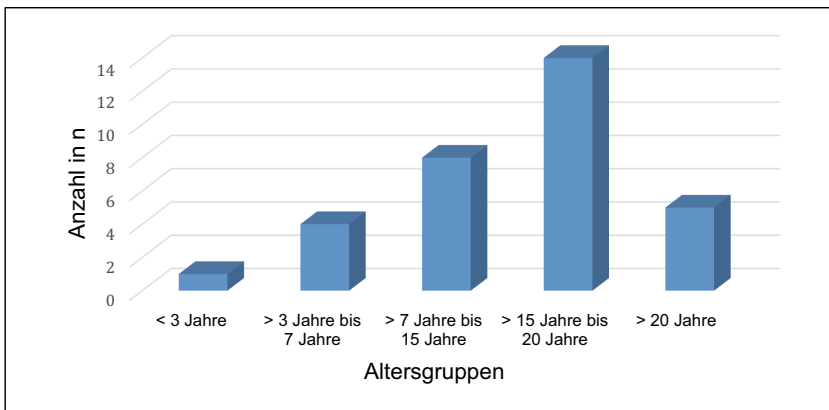


Abb. 10: Altersverteilung der Patienten in Gruppierungen ($n = 32$).

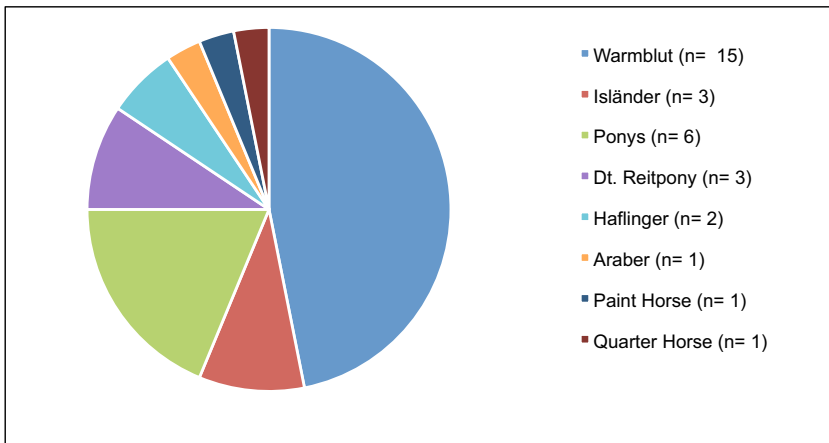


Abb. 11: Rasseverteilung der Patienten ($n = 32$).

4.2 Vorbehandlung durch den überweisenden Haustierarzt

Eine Vorbehandlung durch den Haustierarzt fand bei allen Pferden statt. In 81,3 % der Fälle ($n = 26$) wurde Butylscopolaminiumbromid angewendet. Bei 84,3 % ($n = 27$) wurden nichtsteroidale Antiphlogistika verwendet (entweder Metamizol oder Flunixin-Meglumin), bei 6 % ($n = 2$) ein Alpha-2-Agonisten (Detomidin) und in zwei Fällen wurde das Opioid Butorphanol benutzt. Ein glukokortikoidhaltiges Präparat wurde in 9,4 % ($n = 3$) der Fälle angewendet, eine Behandlung mit einem Homöopathikum erfolgte ebenfalls bei 9,4 % ($n = 3$). Drei Pferde (9,4 %) erhielten vom Haustierarzt vor dem Transport eine Infusion. Bei drei anderen Pferden (9,4 %) konnte die Vorbehandlung durch den Haustierarzt nicht eindeutig nachvollzogen werden. Eine mehrmalige Behandlung durch den Haustierarzt erfolgte bei zehn Patienten, 22 wurden nach der Erstbehandlung in die Klinik für Pferde der Justus-Liebig-Universität überwiesen. Durchschnittlich trafen die Pferde 5,9 h ($\pm 3,9$ h) nach Erstauftreten bzw. erstmaligen Bemerkten von Koliksymptomatik durch den Besitzer oder Verantwortlichen in der Klinik für Pferde ein. Zehn Pferde wurden zweimalig durch den betreuenden Haustierarzt behandelt und hatten eine durchschnittliche Kolikdauer von 8,5 h ($\pm 4,7$ h). Diese war höher als die Zeit der einmalig behandelten Pferde, welche bei 4,7 h ($\pm 2,8$ h) lag. Von den zweimalig behandelten Pferden wurden zwei durch den Chirurgen in Gruppe 2 eingeteilt, die restlichen acht in Gruppe 1. Die Behandlung durch den Haustierarzt, die Häufigkeit der Behandlung sowie die Kolikdauer sind im Anhang unter 10.3. tabellarisch für die einzelnen Patienten dargestellt.

4.3 Diagnose

Die Diagnosen der Patienten sind in Tabelle 4 als Gesamtzahl und in der Gruppeneinteilung dargestellt. Als Innere Hernie wurden dabei die Diagnosen Hernia omentalis (n = 2), Hernia foraminis epiploici (n = 4) und Hernia mesenterialis (n = 1) zusammengezählt. Bei den Obstipationen wurde zwischen einer Obstipation des Jejunums (n = 2) und einer Obstipation des Ileums (n = 2) unterschieden. Bei der Diagnose Volvulus trat dreimal ein Volvulus mesenterialis jejuni auf.

Diagnose	Gesamt (n = 32)	Gruppe 1 (n = 16)	Gruppe 2 (n = 16)
Lipoma pendulans	18	8	10
Innere Hernie	7	4	3
Obstipation	4	3	1
Volvulus	3	1	2

Tab. 4: Chirurgische intraoperative Diagnose aller Patienten (n = 32), sowie aufgeteilt in Gruppe 1 (n = 16) und Gruppe 2 (n = 16)

4.4 Prä- und intraoperativer Score

Die Auswertung der Parameter der präanästhetischen Untersuchung, sowie der intraoperativ bestimmten Messwerte ist in Tabelle 5 in Form von allen Patienten (Gesamt) und nach erfolgter Gruppeneinteilung (siehe auch Kapitel 3.4 und 4.2.1) dargestellt. Ergänzend zu Tabelle 5 ist zu sagen, dass drei Pferde mit einer Körpertemperatur von $\geq 38,3^{\circ}\text{C}$ und zwei Pferde mit einem Hämatokrit von $\geq 60\%$ vorstellig wurden. Bei drei Pferden war es nicht möglich nach Eröffnung der Bauchhöhle Flüssigkeit zu entnehmen, sodass bei diesen die Bestimmung des Laktats und des Totalproteins in der Bauchhöhlenflüssigkeit nicht durchgeführt werden konnte.

Parameter	Gesamt (n = 32)	Gruppe 1 (n = 16)	Gruppe 2 (n = 16)
Herzfrequenz /min	61,8 ± 18,1	54,5 ± 13,3	69,1 ± 19,2
Atemfrequenz /min	26,5 ± 9,9	24 ± 10	29 ± 9,1
Körperinnentemperatur rektal in °C	37,4 ± 0,8	37,2 ± 0,9	37,6 ± 0,6
Hämatokrit venös bei Ankunft in %	40,2 ± 8,1	39 ± 6,5	41,3 ± 9,2
Hämatokrit arteriell intra OP in %	34,4 ± 5,5	34,6 ± 3	34,2 ± 7,1
Totalprotein im Blut in g/l	58,7 ± 5,7	59,5 ± 5,8	57,9 ± 5,6
Laktat im Blut in mmol/l intra OP	3,5 ± 2,1	2,8 ± 1,5	4,2 ± 2,3
Totalprotein Bauchhöhlenpunktat in g/l	28,9 ± 14,9	19,8 ± 8	37,4 ± 14,8
Laktat Bauchhöhlenpunktat in mmol/l	5,3 ± 4	3,3 ± 1,4	7,2 ± 4,6

Tab. 5: Ergebnisse der präanästhetischen Untersuchung und der intraoperativen Parameter aller Pferde und im Gruppenvergleich.

4.5 Allgemeinanästhesie und Ergebnisse der Messungen mittels O2C und Ultraschall an allen Messpunkten

Von den 32 Patienten wurden elf Pferde intraoperativ mittels Gabe eines zusammengesetzten Medikamentes (Embutramid, Mebezonium & Tetracain, 10ml/100 kg KGW, IV; T61, MSD Animal Health Innovation GmbH, Schwabenheim an der Selz) aufgrund von fehlender Resektionserlaubnis oder infauster Prognose euthanasiert. Die überlebenden Pferde ohne Resektion hatten eine durchschnittliche Operationszeit von 106 min, die mit durchgeführter Resektion von 208 min. Bei sieben Pferden war der Ileus soweit aboral lokalisiert, dass der Abstand von 50 cm zwischen MP1 und MP3 nicht mehr gegeben werden konnte und daher die Messung von MP3 unterlassen wurde. Bei einem Patienten war der Ileus im oralen Jejunum

lokalisiert, sodass MP2 im Duodenum lag. Da das Duodenum aufgrund seiner Befestigung durch die Plica duodenocolica am Colon descendens nicht vorzulagern ist, wurde die Messung des MP2 unterlassen. Aufgrund anästhetischer Komplikationen wurde bei einem Pferd komplett auf die Messung der Dickdarmlokalisationen (MP4 bis MP6) verzichtet. Bei einer Stute wurde aufgrund einer Frühträchtigkeit von der Messung des MP5 und MP6 abgesehen um eine weitere Manipulation des Uterus durch Vorlagerung des Dickdarmes zu vermeiden. Die Ergebnisse der Messpunkte sind in Tabelle 6 dargestellt. Abb. 12 bis 14 sind Beispielbilder der Messungen.

MP	FLOW in au*	SO ₂ in %*	rHb in au*	DW in mm*	SCORE [†] (Bereich)
MP1 (n = 32)	62,5 ± 89,5	47,5 ± 26,9	100,5 ± 22,6	3,1 ± 1,8	6 (0 bis 11)
MP2 (n = 31)	291,0 ± 84,9	85,0 ± 17,5	95,0 ± 8,1	1,9 ± 0,7	2 (0 bis 5)
MP3 (n = 25)	231,0 ± 65,8	78,0 ± 16,1	85,0 ± 10,7	2,6 ± 1,5	2 (0 bis 5)
MP4 (n = 31)	295,0 ± 76,5	88,0 ± 10	95,0 ± 11,3	1,5 ± 0,4	1 (0 bis 5)
MP5 (n = 30)	237,5 ± 77,4	81,5 ± 18,8	79,0 ± 9,1	1,6 ± 0,4	1 (0 bis 4)
MP6 (n = 30)	251,5 ± 70,4	87,5 ± 13,1	81,0 ± 10,6	1,5 ± 0,4	1 (0 bis 4)
FLOW Blutfluss SO ₂ : Sauerstoffsättigung des Hämoglobins * Median mit mittlerer Abweichung vom Median † Mittelwert mit Bereichsangabe					
			rHb DW +	relativer Hämoglobingehalt Darmwanddicke Mittelwert ± Standardabweichung	

Tab. 6: Median- und Mittelwerte der gemessenen Parameter von allen Patienten am MP1–MP6.

Zusätzlich zu Tabelle 6 ist zu erwähnen, dass sechs Pferde in MP1 eine Sauerstoffsättigung von 0 % zeigten. In MP2 und MP3 war dieser Wert bei jeweils einem Pferd messbar. Der relative Blutfluss war bei 10 von 32 Pferden im

stenostenotischen Darmteil ≤ 20 au reduziert, wohingegen in MP3 nur bei einem Pferd ein solch niedriger Wert gemessen werden konnte. Die Darmwand war bei neun Pferden in MP1, bei einem Pferd in MP2 und bei drei Pferden in MP3 über 3,75 mm verdickt. Eine Erhöhung des relativen Hämoglobingehaltes > 100 au war bei 18 Pferden in MP1, bei acht in MP2 und bei drei in MP3 messbar. In den Messpunkten des Dickdarmes zeigten drei Pferde eine pathologische Reduzierung des relativen Blutflusses, aber keines eine Verdickung der Darmwand. Ein Pferd zeigte eine erniedrigte Sauerstoffsättigung im MP5, zwei in MP4. Der relative Hämoglobingehalt war bei acht Pferden in MP4, bei zwei in MP5 und ebenfalls bei zwei in MP6 über 100 au erhöht. Eine Verdickung der Darmwand fand vor allem innerhalb der Mukosa und der Submukosa statt, siehe auch Abbildung 13 und 14.

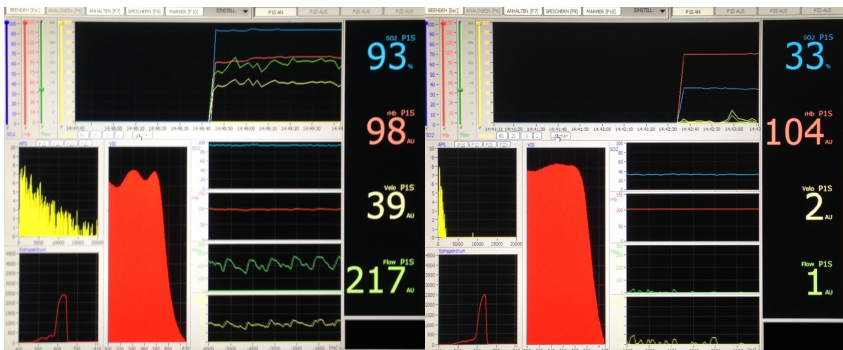


Abb. 12: Der Bildschirm des O2C bei einer Messung eines makroskopisch gesunden Darmabschnittes (links) und bei einer Messung eines makroskopisch veränderten Darmabschnittes im MP1 (rechts).

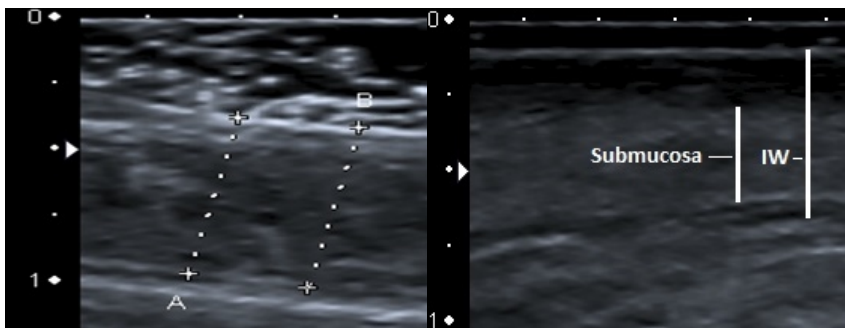


Abb. 13 und 14: Strecke A und B zeigen eine verdickte Darmwand im MP1 mit 6,8 mm Dicke (links). Rechtsseitig eingezeichnete verdickte Submukosaschicht von 5,1 mm Dicke.

4.6 Patienten

4.6.1 Gruppeneinteilung nach chirurgischer Evaluation

In Gruppe 1 waren 16 Pferde vertreten, Gruppe 2 beinhaltete ebenfalls 16 Pferde. In Gruppe 2 erfolgte bei fünf Pferden eine Dünndarmresektion, elf Pferde wurden aufgrund fehlender Resektionserlaubnis intraoperativ euthanasiert.

4.6.2 Resektion von Dünndarmteilen

Eine Resektion wurde bei fünf Pferden durchgeführt, wobei in vier Fällen eine Jejunojejunale Anastomose und in einem Fall eine Jejunocaecostomie durchgeführt wurde.

4.6.3 Erfolgsrate der Operation

Die Erfolgsrate der Operation wurde als Überleben der Anästhesie und lebendigem Verlassen der Aufwachbox definiert. Elf Pferde wurden intraoperativ euthanasiert, davon vier aus medizinischen Gründen und sieben aus Kostengründen seitens der Besitzer.

4.6.4 Kurzzeitüberlebensrate

Die Kurzzeitüberlebensrate wurde auf den Zeitraum von der erfolgreichen Beendigung der Operation bis zum Ende des stationären Aufenthalts festgelegt. Pferde, die intraoperativ euthanasiert wurden, wurden als nicht operationswürdig gezählt und in den weiteren Auswertungen bezüglich der Überlebensraten nicht berücksichtigt. Die Hälfte ($n_{\text{gesamt}} = 16$, Gruppe 1 $n = 14$, Gruppe 2 $n = 2$) der Pferde konnten nach durchschnittlich 7,7 Tagen entlassen werden, darunter auch zwei mit erfolgreicher Dünndarmresektion. Während der Nachsorge in der Klinik wurden fünf Pferde euthanasiert, vier aufgrund eines postoperativen Ileus (36 h, 48 h, 72 h und 96 h post OP) und eines aufgrund eines akuten Zusammenbruchs (6 Tage post OP), wobei bei letzterem in der pathologisch-anatomischen, sowie histologischen Untersuchung eine akute Thyphlokolitis diagnostiziert werden konnte.

4.6.5 Langzeitüberlebensrate

Die Langzeitüberlebensrate wurde festgelegt vom Zeitpunkt der Entlassung bis 6 Monate post OP. Von den 16 entlassenen Pferden waren 6 Monate post OP 14 (= 87,5 %) am Leben und entsprechend ihrem Verwendungszweck wieder zu ihrer früheren Leistung zurückgekehrt. Die beiden resezierten Pferde wurden aufgrund erneuter Koliksymptomatik vom jeweilig betreuenden Haustierarzt euthanasiert (4 Tage und 4 Monate nach Entlassung). Ergebnisse einer Sektion sind in beiden Fällen nicht bekannt.

Die Ergebnisse der Kurz- und Langzeitüberlebensrate und der Operationserfolg sind in Tabelle 7 wiedergegeben und in Abbildung 15 dargestellt.

	Operationserfolg	Kurzzeitüberlebensrate	Langzeitüberlebensrate
Gesamt (n = 32)	21/32 (65,6 %)	16/ 32 (50 %)	14/ 16 (87,5 %)
Gruppe 1 (n = 16)	16/16 (100 %)	14/ 16 (87,5 %)	14/14 (100 %)
Gruppe 2 (n = 16)	5/16 (31,3 %)	2/5 (40 %)	0/2 (0%)

Tab. 7: Operationserfolg, Kurz- und Langzeitüberlebensrate alle Patienten und im Gruppenvergleich.

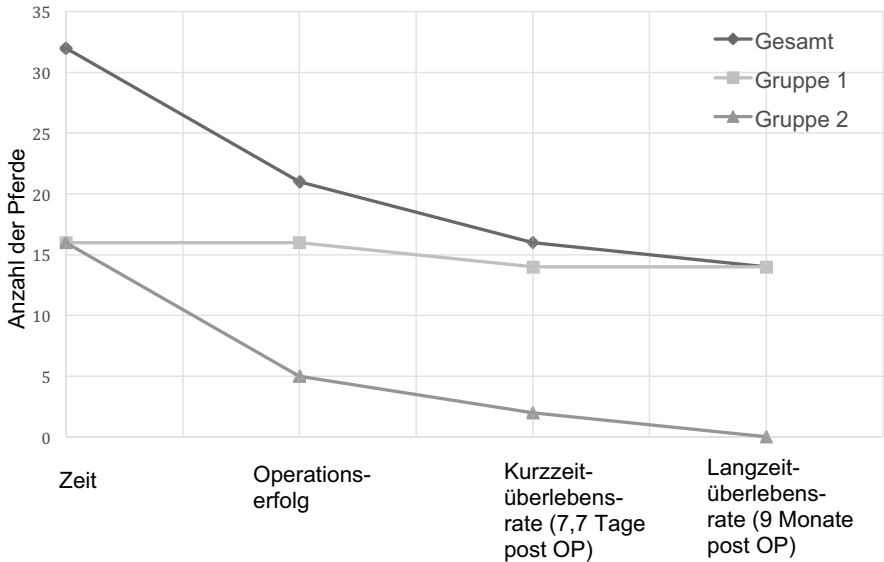


Abb. 15: Operationserfolg, Kurz- und Langzeitüberlebensrate alle Patienten und im Gruppenvergleich.

4.7 Korrelationsanalyse der Parameter aller Patienten (n = 32)

4.7.1 Kapillare Sauerstoffsättigung versus Darmwanddicke (MP1–MP3)

Bei der Korrelationsanalyse zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke konnte im MP1 eine schwache negative Korrelation bestimmt werden, die statistisch nicht signifikant war ($r = -0,24$; $p = 0,19$). Die Korrelation beider Parameter war im MP2 ebenfalls schwach negativ, ohne statistische Relevanz ($r = -0,14$; $p = 0,46$), siehe auch Abb. 16 und 17.

In MP3 konnte eine negative Korrelation ($r = -0,55$) zwischen beiden Messgrößen nachgewiesen werden, die statistisch signifikant war ($p = 0,004$), siehe auch Abb. 18. Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung der Ergebnisse der Darmwanddicke und der relativen Sauerstoffsättigung in MP1 und MP3, wurde die Korrelationsanalyse mit einer Logarithmierung der Ergebnisse der Darmwanddicke in MP1 und MP3, sowie der Ergebnisse der relativen Sauerstoffsättigung in MP1 erneut durchgeführt. In MP1 konnte erneut eine schwache negative und nicht signifikante Korrelation ($r = -0,13$; $p = 0,13$) festgestellt werden, in MP3 ein Zusammenhang mit einem r-Wert von -0,46

und einer Signifikanz von $p = 0,021$, siehe auch Abb. 19 und 20. Damit kann bestätigt werden, dass bei zunehmender Darmwanddicke die kapillare Sauerstoffsättigung in einem geschädigten Darmteil abnimmt.

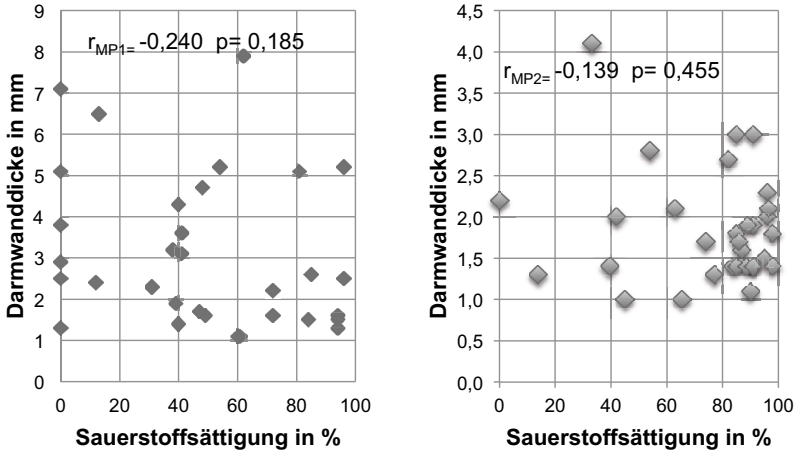


Abb. 16 und 17: Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke in MP1 (links, $n = 32$) und MP2 (rechts, $n = 31$).

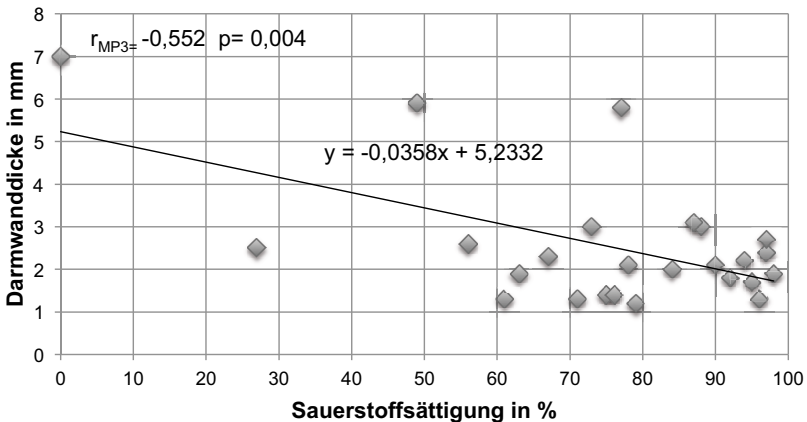


Abb. 18: Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke in MP3 mit eingezeichneter Regressionsgeraden ($n = 25$).

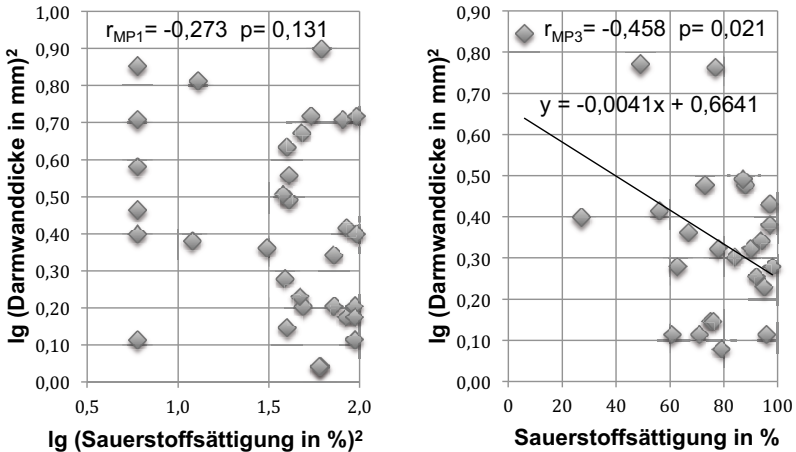


Abb. 19 und 20: Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke in MP1 (links, beide Parameter logarithmiert, $n = 32$) und MP3 (rechts, Darmwanddicke logarithmiert, $n = 25$) mit eingezeichneter Regressionsgeraden.

4.7.2 Kapillare Sauerstoffsättigung versus chirurgische Evaluation als Score (MP1–MP3)

In der Korrelationsanalyse zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und chirurgischer Evaluierung als Score konnte im MP1 eine statistisch signifikante ($p = 0,012$), negative ($r = -0,44$) Korrelation zwischen den beiden genannten Parametern festgestellt werden (siehe Abb. 21). In MP2 und MP3 konnten keine statistisch bedeutenden Korrelationen nachgewiesen werden (MP2: $r = -0,13$; $p = 0,49$; MP3: $r = -0,10$; $p = 0,65$). Eine Beziehung der beiden Parameter untereinander scheint nur gering ausgeprägt zu sein, sodass weitere Patientendaten notwendig sind um die Korrelation nach zu vollziehen.

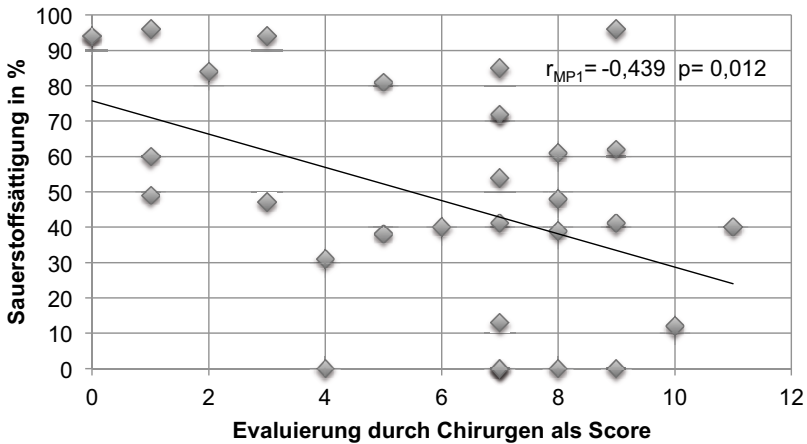


Abb. 21: Korrelation zwischen chirurgischer Evaluierung als Score (siehe 10.1. für das vollständige Protokoll) und kapillarer Sauerstoffsättigung in MP1 (n = 32) mit eingezeichneter Regressionsgeraden.

4.7.3 Darmwanddicke versus chirurgische Evaluation als Score (MP1–MP3)

Die Korrelationsanalyse zwischen Darmwanddicke und Evaluierung als Score ergab in MP1–MP3 eine schwache, signifikante Korrelation (MP1: $r = 0,39$; $p = 0,030$; MP2: $r = 0,46$; $p = 0,009$; MP3: $r = 0,39$; $p = 0,055$), siehe Abb. 22 bis 24.

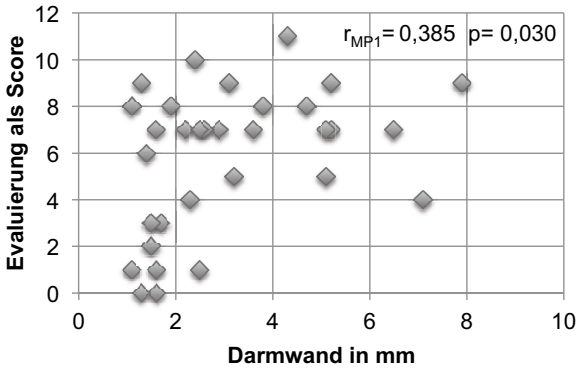


Abb. 22:
Korrelation zwischen Darmwand-dicke und chirurgischer Evaluierung als Score in MP1 (n = 32).

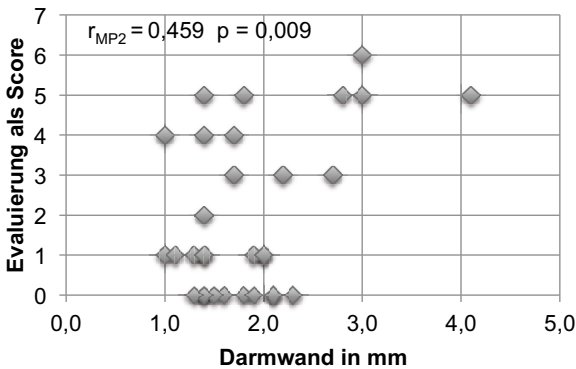


Abb. 23:
Korrelation zwischen Darmwand-dicke und chirurgischer Evaluierung als Score in MP2 (n = 31).

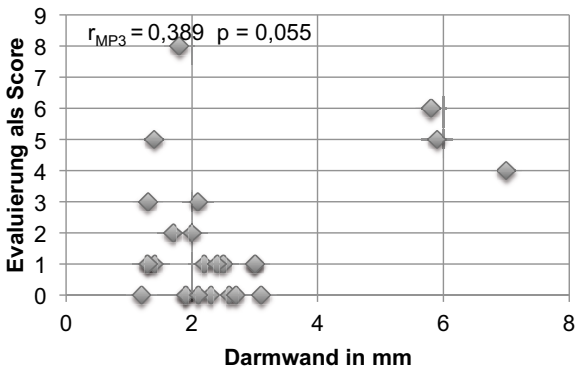


Abb. 24:
Korrelation zwischen Darmwand-dicke und chirurgischer Evaluierung als Score in MP3 (n = 25).

4.7.4 Relativer Blutfluss versus Darmwanddicke und chirurgischer Evaluation als Score (MP1–MP3)

Die Variable FLOW gibt den relativen Blutfluss wieder und korrelierte in der vorliegenden Arbeit statistisch signifikant im MP1 mit der Dicke der Darmwand ($r = -0,43$; $p = 0,013$) und der Evaluierung durch den Chirurgen ($r = -0,58$; $p < 0,001$). Im MP3 konnte ebenfalls eine statistisch signifikante Korrelation der beiden Parameter mit dem FLOW nachvollzogen werden (Darmwanddicke vs. FLOW: $r = -0,64$; $p < 0,001$; Score vs. FLOW: $r = -0,48$; $p = 0,015$), siehe auch Abb. 25 und 26. Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung wurden die Datensätze des relativen Blutflusses in MP1, sowie die Darmwanddickenmessung in MP1 und MP3 logarithmisch transformiert und eine erneute Korrelationsanalyse durchgeführt (MP1: Darmwanddicke_{lg} vs. FLOW_{lg} $r = -0,35$; $p = 0,047$; MP3: Darmwanddicke_{lg} vs. FLOW $r = -0,55$; $p = 0,004$). Durch die Potenzierung und Logarithmierung konnte gezeigt werden, dass bei einer Zunahme von Daten die Korrelation zwischen Darmwanddicke und FLOW in MP1 abnahm, wohingegen sie in MP3 zunahm.

4.7.5 Relativer Hämoglobingehalt versus Darmwanddicke (MP1–MP3)

Eine schwache ($r = 0,37$) signifikante ($p = 0,039$) Korrelation konnte zwischen der relativen Hämoglobinmenge (rHb) und der Darmwanddicke in MP1 nachgewiesen werden, die auch nach logarithmischer Transformation der Darmwanddicke bestehen blieb ($r = 0,36$; $p = 0,042$, Abb. 27). Somit kann bestätigt werden, dass eine Verdickung der Darmwand mit einer Ansammlung von Hämoglobin in einem geschädigten Darmteil einhergeht. In MP2 und MP3 konnten keine statistisch signifikanten Korrelationen nachgewiesen werden.

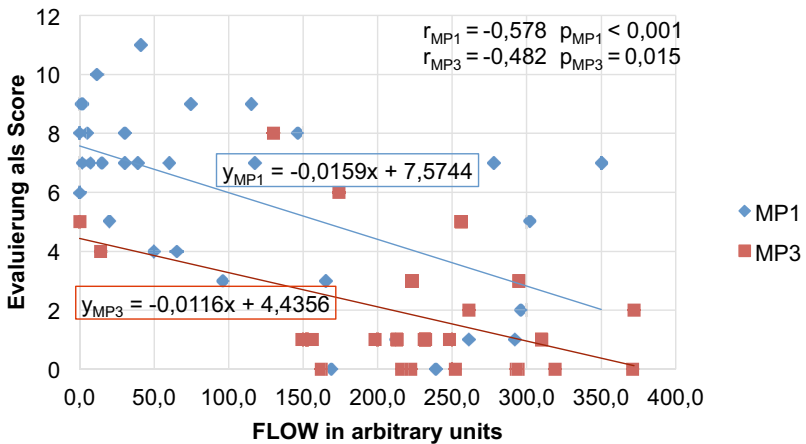
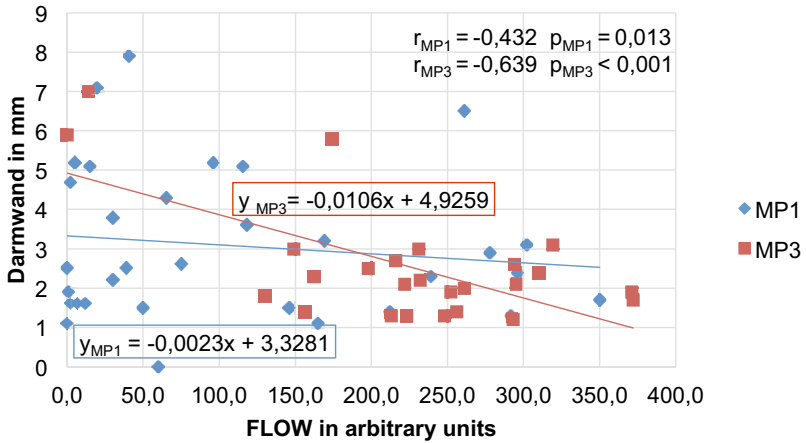


Abb. 25 und 26: Korrelation zwischen relativem Blutfluss (FLOW) und Darmwanddicke (oben) bzw. Evaluierung als Score (unten) in MP1 (blau, n = 32) und MP3 (rot, n = 25) mit eingezeichneter Regressionsgeraden.

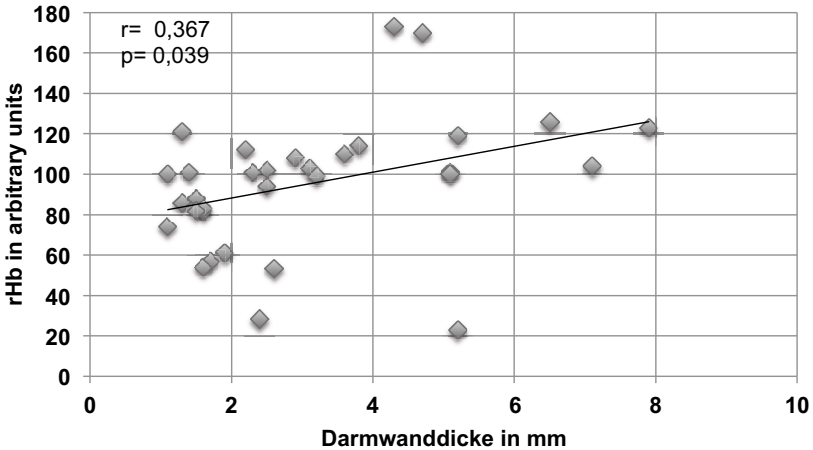


Abb. 27: Korrelation zwischen Darmwanddicke und relativer Hämoglobinkonzentration in MP1 (n = 32).

4.7.6 Messpunkte im Dickdarm (MP4–MP6)

Im Bereich des Dickdarmes konnten bis auf MP4 keine statistisch signifikanten Korrelationen nachgewiesen werden. In MP4 korrelierten die Evaluierung als Score mit dem FLOW ($r = -0,38$; $p = 0,035$) und die Dicke der Darmwand mit dem relativen Gehalt an Hämoglobin ($r = 0,36$; $p = 0,049$). Eine Übersicht aller statistisch signifikanten Werte ist in Tabelle 8 dargestellt. Eine vollständige Auflistung aller Korrelationsanalyseergebnisse ist in der Tabelle 19 im Anhang unter Punkt 10.9. einsehbar.

4.7.7 Einfluss der Zeit seit OP-Beginn

Ein Einfluss der OP-Zeit konnte mittels Regressionsanalyse und partiellem Regressionskoeffizienten an keinem der Messpunkte für einen Parameter nachgewiesen werden.

Messpunkte	Korrelierende Parameter	r- Wert	p- Wert
MP1	Darmwanddicke vs. Score	0,39	0,030
	Darmwanddicke vs. FLOW	-0,43	0,013
	Score vs. FLOW	-0,58	< 0,001
	Score vs. SO ₂	-0,44	0,012
	Darmwanddicke vs. rHb	0,37	0,039
	Darmwanddicke _{ig} vs. FLOW _{ig}	-0,35	0,047
	Darmwanddicke _{ig} vs. rHb	0,36	0,042
MP2	Darmwanddicke vs. Score	0,46	0,009
MP3	Darmwanddicke vs. FLOW	-0,64	< 0,001
	Score vs. FLOW	-0,48	0,015
	Darmwanddicke vs. SO ₂	-0,55	0,004
	Darmwanddicke _{ig} vs. FLOW	-0,55	0,004
	Darmwanddicke _{ig} vs. SO ₂	-0,46	0,021
MP4	Score vs. FLOW	-0,38	0,035
	Darmwanddicke vs. rHb	0,36	0,049

Tab. 8: statistisch signifikante Korrelationsergebnisse.

4.7.8 Präanästhetische Untersuchung sowie Blut- und Bauchhöhlenflüssigkeitsparameter versus chirurgische Evaluation als Score

Der Zusammenhang zwischen den Werten der präanästhetischen Untersuchung und der chirurgischen Evaluierung als Score am MP1 wurde mittels Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman bestimmt und stellte sich als statistisch nicht signifikant ($r = 0,24$, $p = 0,190$) heraus.

Der Zusammenhang zwischen den Parametern die intraoperativ bestimmt wurden (Totalprotein in Blut und Bauchhöhlenflüssigkeit, Hämatokrit, Laktat in Blut und Bauchhöhlenflüssigkeit, sowie Länge des geschädigten Darmes und Verfärbung der Bauchhöhlenflüssigkeit) und dem Score am MP1 konnte mit dem Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman belegt werden ($r = 0,55$, $p = 0,001$). In der Korrelationsanalyse dieser Parameter zeigte der Score am MP1 eine schwache ($r = 0,16$), nicht signifikante ($p = 0,395$) Korrelation zu dem Score der präanästhetischen Untersuchung. Zu dem intraoperativ bestimmten Score konnte eine signifikante ($r = 0,55$, $p = 0,001$) Korrelation nachgewiesen werden.

4.8 Korrelationsergebnisse des Gruppenvergleichs (MP1–MP3)

Auf Basis der chirurgischen Evaluierung wurden die Patienten in zwei Gruppen unterteilt, wobei alle nicht resektionspflichtigen Pferde Gruppe 1 zugeteilt wurden und alle resektionspflichtigen Pferde, oder intraoperativ euthanasierten, Gruppe 2 (siehe auch Kapitel 3.4.). Beide Gruppen bestehen aus jeweils 16 Patienten, wobei in Gruppe 2 davon elf Pferde intraoperativ euthanasiert wurden. In Tabelle 9 sind die Messdaten beider Gruppen für MP1 dargestellt.

Parameter	Gruppe 1 (n = 16)	Gruppe 2 (n = 16)
Sauerstoffsättigung in %	57 ± 28,5	40,5 ± 22,6
Darmwanddicke in mm	2,7 ± 1,7	3,6 ± 1,9
Score	3,6 (Bereich 0 bis 7)	8,1 (Bereich 6 bis 11)

Tab. 9: Messdaten beider Gruppen an MP1 (SO₂ als Medianwert mit mittlerer Abweichung vom Median, DW als Mittelwert mit Standardabweichung).

Es wurde die Korrelationsanalyse für die Daten des MP1 wiederholt und in Tabelle 10, sowie den Abbildungen 28, 29 und 30 dargestellt.

In Gruppe 1 konnte eine statistisch signifikante negative Korrelation zwischen der kapillaren Sauerstoffsättigung und der chirurgischen Evaluation als Score ($r = -0,59$; $p = 0,017$) nachgewiesen werden. Die anderen Parameter zeigten keine statistisch signifikante Beziehung zueinander, ebenso wie die Parameter der Gruppe 2 untereinander.

Korrelierende Parameter	Gruppe 1 (n = 16)		Gruppe 2 (n = 16)	
	r-Wert	p-Wert	r-Wert	p-Wert
Sauerstoffsättigung vs. SCORE	-0,59*	0,017*	-0,05	0,855
Sauerstoffsättigung vs. Darmwanddicke	-0,43	0,100	0,04	0,895
Score vs. Darmwanddicke	0,46	0,076	0,14	0,613

Tab. 10: Korrelationsergebnisse des Gruppenvergleiches. Signifikanz mit * gekennzeichnet.

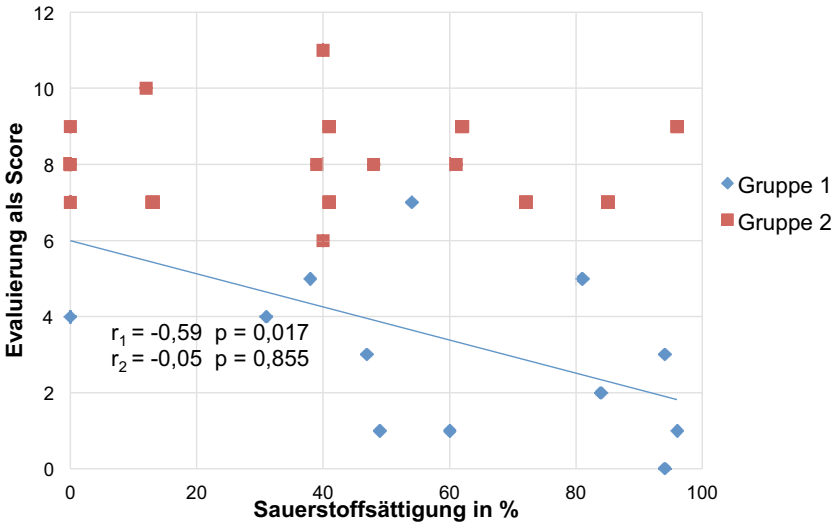


Abb. 28: Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Evaluierung als Score im Gruppenvergleich (n jeweils 16). Blau = Gruppe 1 ($r = -0,59$; $p = 0,017$) mit eingezeichneter Regressionsgeraden; Rot = Gruppe 2 ($r = -0,05$; $p = 0,855$).

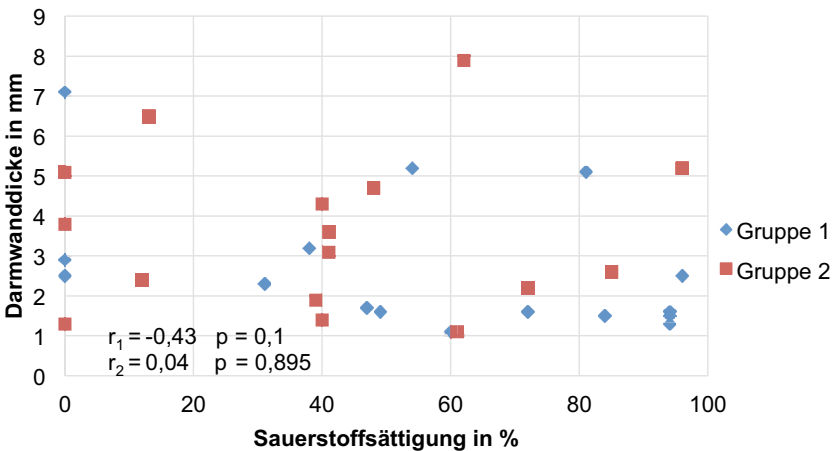


Abb. 29: Korrelation zwischen kapillarer Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke im Gruppenvergleich (n jeweils 16). Blau = Gruppe 1 ($r = -0,43$; $p = 0,1$); Rot = Gruppe 2 ($r = 0,04$; $p = 0,895$).

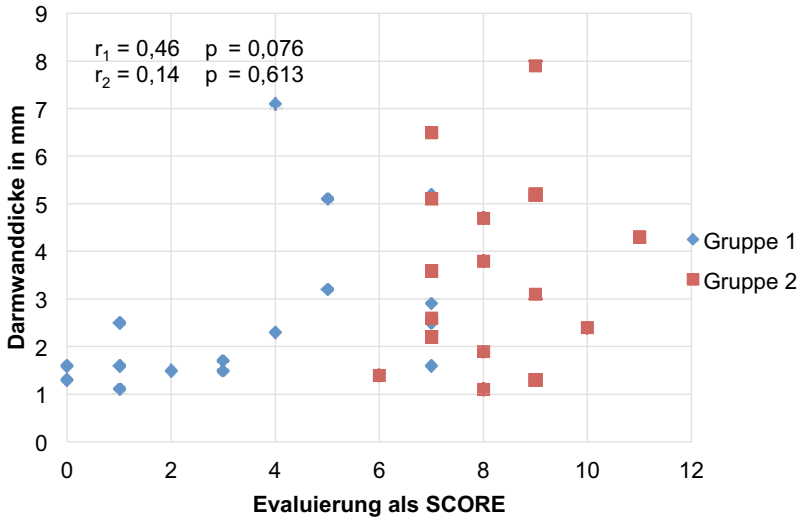


Abb. 30: Korrelation zwischen chirurgischer Evaluierung als Score und Darmwanddicke im Gruppenvergleich. Blau = Gruppe 1 ($r = 0,46$ $p = 0,076$); Rot = Gruppe 2 ($r = 0,14$ $p = 0,685$).

5 Diskussion

5.1 Material und Methode

5.1.1 Patienten

Das Probandengut der vorliegenden Studie bestand aus klinischen Patienten, die aufgrund von unstillbarer Koliksymptomatik zur Laparotomie überwiesen wurden. Die Nutzungsentscheidung für die Studie wurde intraoperativ durch Stellung und Lokalisation der Diagnose im Dünndarmbereich getroffen. Zur Auswertung wurden die Daten von 32 Patienten verwendet, die inhomogen in Bezug auf Alter, Rasse Körpergewicht und Erkrankung waren.

Bei der Altersverteilung waren $\frac{2}{3}$ der Pferde ($n = 19$) zum Zeitpunkt der Kolikoperation älter als 15 Jahre, was einen Einfluss auf die Art der Erkrankung und das Überleben haben kann. Hinsichtlich des Alters in Beziehung zur Diagnose konnte schon bei Garcia-Seco et al. (2005) und Freeman & Schaeffer (2001) eine signifikante Häufung des Auftretens eines Lipoma pendulans mit steigendem Alter festgestellt werden. In der vorliegenden Studie trat bei den involvierten Pferden ein gestieltes Lipom in 56 % der Fälle ($n = 18$) auf, was deutlich höher ist als die bei Garcia-Seco et al. (2005) und Freeman & Schaeffer (2001) beschriebenen 10 bis 23 %. Garcia-Seco et al. (2005) stellten ebenfalls fest, dass ab einem Alter von 14 Jahren die Häufigkeit eines Lipoma pendulans als Kolikursache zunimmt. Dies kann aus den vorliegenden Studienergebnissen ebenfalls bestätigt werden. Die Patienten mit einem gestielten Lipom waren durchschnittlich 18,5 Jahre alt (12 bis 24 Jahre). Das vermehrte Auftreten eines gestielten Lipoms lässt eine gute Vergleichbarkeit der Pferde untereinander zu. Die weiteren Diagnosen sind aufgrund der geringen Fallzahl statistisch nicht mit den Pferden mit einem Lipom vergleichbar.

Zur Auswirkung des Alters der Patienten auf die Studie muss ein möglicher Einfluss auf die Überlebensrate inklusive der Resektionserlaubnis durch den Tierbesitzer beachtet werden. Krista & Kuebelbeck (2009), sowie Southwood et al. (2010) konnten zeigen, dass die Überlebensrate bei geriatrischen Pferden (> 15 Jahre) unterhalb der von erwachsenen Pferden (< 15 Jahren) liegt (geriatrisch: 50 bis 59 % vs. ausgewachsen: 72 bis 76 %). Beide Studien zeigten, dass ein Unterschied bezüglich der Kurzzeitüberlebensrate aufgrund des höheren Alters zwischen den Dünndarmkolikern (85 zu 83 %) bzw. den Kolikern mit Dünndarmresektion

(75 zu 70 %) nur geringgradig existent ist. Andererseits geben beide Studien an, dass vermehrt geriatrische Pferde (28 bzw. 39 %) intraoperativ euthanasiert wurden, was zum einen Teil auf eine vermeintlich schlechte Prognose, zum anderen Teil auf Kostengründe zurückzuführen ist. In der vorliegenden Arbeit wurden elf von 32 Pferden (34,4 %) intraoperativ euthanasiert, was sich mit den Angaben aus den beiden Studien deckt. Aus medizinischen Gründen wurden vier Pferde euthanasiert, aus Kostengründen sieben. Bis auf eine Ausnahme (4 Jahre) waren alle intraoperativ euthanasierten Pferde mindestens 16 Jahre alt (16 bis 23 Jahre, durchschnittlich 19,1 Jahre). Daraus lässt sich schließen, dass mit zunehmendem Alter des Pferdes eine Resektion eines Darmteiles für die Tierbesitzer unter anderem aufgrund der steigenden Kosten seltener in Betracht kommt. Das durchschnittliche Alter der Pferde, die aus der Allgemeinanästhesie aufwachen durften, betrug 14,5 Jahre (± 6 Jahre), wobei das Alter von acht Pferden < 15 Jahren und bei dreizehn ≥ 15 Jahren war. Während des stationären Aufenthaltes wurden fünf Pferde euthanasiert, zwei < 15 Jahren und drei > 15 Jahren. Somit zeigten die geriatrischen Pferde eine Gesamtkurzzeitüberlebensrate von 76,9 % ($n = 10$), von den maturen Pferden konnten 75 % ($n = 6$) aus der Klinik entlassen werden. Die Erfolgsquote der geriatrischen Pferde lag somit ähnlich zu der der maturen Patienten in hiesiger Klinik, aber über der aus den Studien von Krista & Kuebelbeck (2009) und Southwood et al. (2010).

Aufgrund der Inhomogenität der Patienten bezüglich des Alters, muss auch ein möglicher Einfluss dessen auf die Dicke der Darmwand diskutiert werden. Abraham et al. (2014) konnten zeigen, dass die Darmwanddicke selbst bei gesunden neonaten Fohlen unter 5 Tagen im Jejunum bei 1,9–3,2 mm liegt, was den Werten aus der Literatur (1,8–3,75 mm) für gastrointestinal gesunde mature Pferde entspricht (Freemann 2002a, Klohnen et al. 1996, Scharner et al. 2002b). Ein Pferd war zum Zeitpunkt der Operation 2 Jahre und 10 Monate alt und gilt somit noch nicht als vollständig matur. Es zeigte im Messpunkt 1 eine Darmwand innerhalb der Norm. Aufgrund der Ergebnisse von Abraham et al. (2014) kann davon ausgegangen werden, dass die ultrasonografisch messbare Dicke der Darmwand bei gastrointestinal gesunden Pferden unterschiedlichen Alters annähernd gleich ist und nicht erst mit Abschluss des Wachstums innerhalb der Norm ist.

In Bezug auf das Körpergewicht unterschieden sich die Patienten teilweise erheblich untereinander (260–730 kg KGW). In der Literatur sind ähnliche ultrasonografisch transkutan gemessene Darmwanddicken für Kleinpferde und Ponys (bis Stockmaß 1,48 m), sowie für Neonaten beschrieben (Epstein et al. 2008a, Abraham et al. 2014) wie für Großpferde. Daraus kann geschlossen werden, dass ein Vergleich von Tieren mit einem stark variierenden KGW möglich ist.

5.1.2 Kolikdauer und Vorbehandlung durch den Haustierarzt

Einen entscheidenden Einfluss auf das spätere Überleben des Pferdes hat bei einer Strangulation des Darmes laut Literaturangaben die Zeit und Dauer seitdem der Ileus besteht. In der Literatur sind in Vergleichen zwischen überlebenden und nicht überlebenden Kolikpferden unterschiedliche Angaben hinsichtlich der Kolikdauer zu finden. So geben Breitenstein et al. (2015) bei Dünndarmstrangulationen eine Kolikdauer zwischen 4 und 12 Stunden an, wobei bei Pferden die trotz Operation und Resektion nicht überlebten der Median bei 7 Stunden lag. Nach Hackett et al. (2015) lag die Kolikdauer von Pferden mit einer Torsio coli zwischen unter 2 und über 4 Stunden, wobei die postoperative Mortalitätsrate bei den Pferden mit 2 bis 4 Stunden Kolikdauer am höchsten war. Die Kolikdauer in der vorliegenden Dissertation lag bei 5,9 ($\pm$ 3,9) Stunden, was sich mit den Angaben aus der Literatur deckt. Eine zeitliche Grenze, bei der die Prognose des Patienten deutlich sinkt, konnte mit den vorliegenden Patientendaten nicht festgelegt werden.

Weiterhin ist ebenfalls zwischen einmaliger und zweimaliger Behandlung durch den Haustierarzt zu unterscheiden. Durch die zweimalige haustierärztliche Behandlung ergab die Kolikdauer in zehn Fällen durchschnittlich 8,5 ($\pm$ 4,7) Stunden, bei einmaliger Behandlung lag diese bei 4,7 ($\pm$ 2,8) Stunden. Aufgrund der zweimaligen Behandlung durch den Haustierarzt und die daraus resultierende zeitliche Verzögerung kann es bei den betroffenen Pferden zu einer Manifestierung bzw. einem Fortschreiten der Schädigung des Darmes durch die Kolik gekommen sein. Da der Zeitpunkt des Kolikbeginns nur anhand von Beobachtungen der Besitzer festgelegt wurde, ist es schwierig den Einfluss der Verzögerung zu bewerten, da viele der Patienten morgens auffällig gefunden wurden und die vorangegangenen Stunden unbeobachtet waren. Bei dieser Interpretation ist ebenso zu beachten, dass von den zehn Pferden, die zweimalig behandelt wurden, ein Pferd bereits intraoperativ und zwei weitere postoperativ während des stationären Aufenthaltes

euthanasiert wurden. Im späteren Gruppenvergleich in Kapitel 5.2.10 wurden acht der zehn Pferde mit zweimaliger Vorbehandlung der Gruppe 1 (nicht resektionspflichtig) zugeteilt, von denen eines postoperativ aufgrund eines postoperativen paralytischen Ileus euthanasiert wurde. Aus den vorliegenden Patientenmaterial lassen sich daher keine klaren Aussagen über den Einfluss einer zweimaligen präoperativen Behandlung auf die Kurzzeit-überlebensrate machen.

Hinsichtlich der Medikation muss bei der Unterscheidung zwischen einmalig und zweimalig behandelten Pferden beachtet werden, dass bei sechs von zehn mehrfach behandelten Pferden Flunixin-Meglumin, ein potentes nichtsteroidales Antiphlogistikum, eingesetzt wurde. Von diesen sechs Pferden wurden im Laufe des stationären Aufenthaltes drei euthanasiert. Andererseits wurde dieses Medikament bei den einmalig behandelten Pferden ebenso 8x eingesetzt, wobei später drei Pferde als nicht resektionspflichtig und fünf Pferde als resektionspflichtig eingestuft wurden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass es bei einer Behandlung mit einem potenten Schmerzmittel wie Flunixin-Meglumin zu einer Maskierung der Kolik kommen kann, was zu einer Verzögerung der Überweisung zur chirurgischen Intervention führen kann. Einen Einfluss auf die Überlebensrate bzw. die Resektionspflicht eines Darmteiles konnte in dieser Dissertation nicht nachvollzogen werden.

Weiterhin ist bei der Interpretation der Ergebnisse der chirurgischen Evaluation zu beachten, dass alle Pferde bei der Erstbehandlung durch den Haustierarzt entweder mit einem nichtsteroidalen Antiphlogistikum oder mit dem Mischpräparat von Scopolaminbutylbromid und Metamizol, bzw. mit einer Kombination von beidem behandelt wurden. Für Scopolaminbutylbromid wird in der Packungsbeilage eine Eliminationshalbwertszeit von 2–3 Stunden angegeben, wobei die spasmolytische Wirkung abhängig vom Krankheitsbild circa 4–6 Stunden anhalten kann. Gomaa et al. (2011) konnten transkutan ultrasonografisch zeigen, dass das Duodenum im Vergleich zu Blinddarmkörper und linker ventraler Längslage eine weitaus längere (120 min) Reduktion seiner Kontraktionen nach intravenöser Applikation erfährt. Der Blinddarmkörper und die linke ventrale Längslage zeigten bereits nach 30 min wieder eine physiologische Anzahl von peristaltischen Kontraktionen. Da der genaue Zeitpunkt der intravenösen Applikation durch den Haustierarzt nur ungefähr angegeben werden konnte, ist davon auszugehen, dass alle vorbehandelten Pferde

eine reduzierte Dünndarmperistaltik aufgrund des Scopolaminbutylbromid aufwiesen. Dieses wurde in der chirurgischen Evaluierung nicht berücksichtigt und kann daher einen geringgradigen Einfluss auf die Bewertung der Motilität haben. Die Motilität des Darmes wurde an jedem Messpunkt einzeln bewertet und ging mit maximal 3 Punkten (entspricht 25 %) in die Evaluierung mit ein. Bei keinem Pferd zeigte ein Darmteil eine Atonie und keine weiteren Schädigungen der Parameter, weswegen hier nur von einem geringgradigen Einfluss ausgegangen werden kann.

5.1.3 Chirurgen

Neben der Inhomogenität der Patienten hat auch der Chirurg der die Messungen durchführt und die chirurgische Evaluation als Score bewertet einen Einfluss auf die Studienergebnisse. Die drei beteiligten Chirurgen in der vorliegenden Studie hatten einen unterschiedlichen Ausbildungs- und Erfahrungsschatz. Die selbstständige chirurgische Tätigkeit wurde seit mehr als 2, 5 und 10 Jahren durchgeführt. Es ist also davon auszugehen, dass weniger erfahrene Chirurgen einen gestressten und geschädigten Darm eventuell schlechter bewerten und aufgrund der fehlenden Erfahrung einen makroskopisch unauffälligeren besser einstufen, obwohl dieser gegebenenfalls schwerwiegenderen Schäden durch Ischämie und Reperfusion ausgesetzt war. Da eine Überprüfung der chirurgischen Evaluation beispielsweise mittels Histologie nicht durchgeführt wurde, konnte auch kein Vergleich zwischen den einzelnen Ergebnissen durchgeführt werden. Weiterhin wäre aufgrund der individuellen geringen Fallzahl ($n_1 = 10$, $n_2 = 15$, $n_3 = 7$) nur eine statistisch wage Aussage möglich.

5.1.4 Zeitpunkt der Messung

Um eine bessere Vergleichbarkeit der Patienten untereinander zu erreichen, wurde der Zeitpunkt der Messung und Evaluierung des Darmes im Studiendesign festgelegt. Die Messungen wurden stets antimesenterial nach Diagnosestellung und Vorlagerung des Darmteiles durchgeführt. Bei drei Pferden musste die Messung nach Lösen des Ileus durchgeführt werden, da der betroffene Dünndarmabschnitt aufgrund eines sehr kurz gestielten Lipoma pendulans nicht vorzulagern war. Durch das Lösen des Ileus kann es zum Wiedereinsetzen des Blutflusses kommen, allerdings konnte bei den betroffenen Patienten während der 30 s Messzeit weder ein Anstieg der Sauerstoffsättigung noch des Blutflusses registriert werden. Da aufgrund der Zeitverzögerung des OP-Ablaufs auf weitere Verlaufsmessungen

verzichtet wurde, kann ein Einfluss des Lösens vor der Messung auf die Werte nicht ausgeschlossen werden.

Die Messungen des Dickdarmes (MP4–MP6) wurden bei fünf Pferden nach einer Enterotomie durchgeführt, die aufgrund einer sekundären Obstipation notwendig war. Durch die Lagerung des Darmes für den Eingriff kann es zu einer geringgradigen Komprimierung der Gefäße kommen, die sich in einem verminderten venösen Abfluss äußert. Bei keinem Patienten konnte in der anschließenden Evaluierung und Messung eine signifikant verminderte Durchblutung oder eine makroskopische Hyperämisierung eines Dickdarmteiles festgestellt werden (siehe auch Kapitel 5.2.4), womit dieser Einfluss als unbedeutend gewertet werden kann.

5.1.5 Prä- und perioperative Medikamente inklusive Dauertropfinfusionen

Die gängigen Dauertropfinfusionen (Xylazin, Ringer-Laktat, Lidocain, Dobutamin und HES), welche dem Patienten während der Operation intravenös zugeführt wurden, können neben den präoperativen Medikamenten (Flunixin-Meglumin, Amoxizillin, Ketamin, Diazepam, Tetanusserum und Butorphanol) ebenfalls einen Einfluss auf die Durchblutung oder Peristaltik und somit auf die Messungen haben (Adams et al. 1984, Stick et al. 1988, Bellezzo et al. 2014, Brünisholz et al. 2015, Merritt et al. 1989, Mitchell et al. 2005, Zullian et al. 2011, Dias et al. 2014, Sanchez et al. 2008, Singh et al. 1996, Wittenberg- Voges et al. 2015, Dancker 2016, Tappenbeck et al. 2013, Guschelbauer et al. 2010, Milligan et al. 2007, Hopster et al. 2015). Für Nichtsteroidale Antiphlogistika (z.B. Flunixin-Meglumin) wird in älteren Studien (Adams et al. 1984, Stick et al. 1988) kein Einfluss auf die intestinale Motilität postuliert. Neuere Studien zeigen, dass Flunixin-Meglumin in vitro in hohen Dosierungen einen hemmenden Einfluss auf die Kontraktilität haben kann, in vivo in gewichtsbasierter Dosierung einen steigernden (Wogatzki 2016). Es gibt keine Hinweise auf Studien, die eine Steigerung der makroskopischen Peristaltik durch Flunixin-Meglumin am klinischen Patienten belegen. Da die hemmenden Effekte nur in vitro bei hohen Dosierungen beobachtet wurden, wird der Einfluss von Flunixin-Meglumin als vernachlässigbar in dieser Studie gewertet. Für Ringer-Laktat, Amoxizillin, Ketamin, Diazepam und Tetanusserum gibt es keine Hinweise eines Einflusses auf die Motilität noch auf die Sauerstoffversorgung des Darmes in der Literatur, weswegen diese in der Studie nicht weiter ausgewertet wurden. HES hat das Potential den onkotischen Druck zu steigern (Bellezzo et al. 2014, Brünisholz et

al. 2015) und kann somit einen Einfluss auf den Blutdruck, den Blutfluss und somit den Parameter FLOW haben. Da der mittlere arterielle Blutdruck invasiv überwacht wurde, erfolgte bei zu hohem MAP (ab 100 mmHg) eine Reduktion aller blutdruckfördernden Medikamente.

5.1.5.1 Xylazin und Butorphanol

Es ist allgemein bekannt, dass sowohl Xylazin als auch Butorphanol einen Einfluss auf die intestinale Peristaltik haben. Merritt et al. (1998) zeigten, dass Xylazin in Kombination mit Butorphanol die Peristaltik des Duodenums signifikant über den Zeitraum von einer Stunde nach intravenöser Eingabe senkte. Xylazin als alleiniger Wirkstoff hatte einen ähnlichen Effekt über 30 min. Einen senkenden Einfluss des Xylazins auf die Motilität des Jejunums und der Beckenflexur wurde ebenfalls durch Adams et al. (1984) festgestellt, welcher auch durch Mitchell et al. (2005) per transkutanem Ultraschall nachvollzogen werden konnte. Zullian et al. (2011) konnten eine dosisabhängige Reduktion der jejunalen Motilität *in vitro* feststellen. Gegensätzlich zu den vorrangegangenen Literaturangaben wird in einer älteren Studie (Merritt et al. 1989) postuliert, dass Xylazin die Peristaltik des Duodenums neu induziert aber keinen bemerkenswerten störenden Einfluss auf die Peristaltik hat. Die Packungsbeilage von Xylavet® spricht einen klaren Warnhinweis bezüglich der Anwendung am Kolikpatienten aus, da die normale Darmbewegung gehemmt wird (Packungsbeilage Xylavet®, cp-pharma 2014). Die Patienten der vorliegenden Studie bekamen präoperativ Xylazin (0,5–1,1 mg/kg KGW, IV) und Butorphanol (0,05 mg/kg KGW, IV) zur Sedation und wurden perioperativ an einen Xylazin Dauertropf (1 mg/kg/h, IV) angeschlossen um eine ausreichende Analgesie, sowie eine Reduktion des MAC (minimale alveoläre Konzentration) des Isoflurans zu erreichen. Es ist daher davon auszugehen, dass das Xylazin aufgrund des Dauertropfes einen hemmenden Einfluss auf die Peristaltik gehabt hat und es somit einen gewissen Einfluss auf den Score und die Bewertung der Patienten durch den Chirurgen hat. In einer weiteren Studie von Singh et al. (1996) wird berichtet, dass die Peristaltik des gesamten Magen-Darm-Traktes intraoperativ komplett zu Erliegen kommt und auskultatorisch nicht auswertbar ist. Erst nach 3 bis 6 Stunden postoperativ ist diese wieder auskultatorisch vorhanden. Dies konnte in hiesiger Klinik in der postoperativen Versorgung nicht nachvollzogen werden.

Bezüglich Butorphanol gehen die Meinungen der Literaturquellen ebenfalls auseinander. Bei Dias et al. (2014) wird eine signifikante Reduzierung der Peristaltik des Darmes bei intravenöser Bolus- und Dauertropfgabe von Butorphanol postuliert, wobei bei Sanchez et al. (2008) kein bemerkenswerter Unterschied festzustellen war. Beide Studien evaluierten die Peristaltik nicht am offenen Abdomen, sondern nutzten auskultatorische Ergebnisse bzw. Druckunterschiede bei einer Duodenalsonde für die Ergebnisse. Weiterhin arbeiteten beide Studien mit einer Dauertropfinfusion, die in der vorliegenden Dissertation nicht angewendet wurde. Die Packungsbeilage des verwendeten Butorgesic®, gibt an, dass es zu einer Verminderung der gastrointestinalen Motilität kommen kann, die durch α_2 -Agonisten verstärkt wird (Packungsbeilage Butorgesic®, cp-pharma 2015). Nicht zu einer Verminderung, aber zu einer Prolongation des migrierenden motorischen Komplexes (migrating myoelectric complex, MMC) kam es in der Studie nach Sojka et al. (1988).

Aus den Ergebnissen der Literaturquellen ist somit ein Einfluss des präoperativen Xylazins und des Butorphanols auf die Motilität und somit die chirurgische Evaluierung nicht auszuschließen. Um den Einfluss der Dauertropfinfusion des Xylazins auf die vorliegenden Studienergebnisse bewerten zu können, müssen die oben genannten Punkte für die präoperative Gabe berücksichtigt werden. Daneben kam es laut Wittenberg-Voges et al. (2015) zu einer signifikanten Perfusionsreduktion am Gastrointestinaltrakt nach Applikation eines Alpha-2-Adrenorezeptor-Antagonisten. Ein signifikanter Anstieg des Herz-Minuten Volumens konnte diese Reduktion nicht ausgleichen. Daher ist davon auszugehen, dass die Dauertropfinfusion des Xylazins aufgrund des peripheren vasokonstriktiven Effektes einen Einfluss auf den Blutdruck und somit auch den Blutfluss hat. Perioperativ wurde der Blutdruck invasiv gemessen und bei Bedarf medikamentell hoch- bzw. runterreguliert um in der Norm (70–100 mmHg) gehalten zu werden. Somit ist davon auszugehen, dass der Einfluss des Xylazins auf die Studienergebnisse vorhanden, aber abschätzbar ist.

5.1.5.2 Dobutamin

Dancker (2016) überprüfte mittels O2C Gerät den Blutfluss an Magen, Jejunum und Flexura pelvina vor und nach schrittweiser Erhöhung der Dobutaminrate. Er konnte zeigen, dass Dobutamin den Blutdruck, die Herzfrequenz, das Schlagvolumen, das Herzminutenvolumen, sowie den mikrovaskulären Blutfluss (FLOW) signifikant

steigern kann und somit in vorliegender Studie einen Einfluss auf die Variable FLOW hat. Da es sich in der vorliegenden Dissertation um eine klinische Studie mit Patientenpferden handelt, wurde das Dobutamin nicht standardisiert in einer bestimmten Dosis verabreicht, sondern nach Bedarf um den mittleren arteriellen Blutdruck über 70 mmHg zu halten. Die Gewebssauerstoffsättigung blieb laut Dancker (2016) unter allen Dosierungen stabil, womit eine Beeinflussung der relativen kapillaren Sauerstoffsättigung ausgeschlossen werden kann.

5.1.5.3 Lidocain

In den vergangenen Jahren ist die Tendenz bezüglich des postoperativen Lidocaineinsatzes stark angestiegen. Auch intraoperativ wird Lidocain eingesetzt, um zum einen eine bessere viszerale Analgesie zu erreichen und zum anderen eine fortschreitende Schädigung des Darmes zu unterbinden. Nach Guschelbauer et al. (2010) konnte in vitro eine Kontraktilitätssteigerung von durch Ischämie und Reperfusion geschädigtem Darm nachvollzogen werden. Diese war laut Tappenbeck et al. (2013) vor allem in der zirkulären Muskelschicht (Lamina muscularis) prominent. Ob diese in vitro Ergebnisse auf die vorliegende Dissertation bezogen werden können ist unklar, da die Ergebnisse mittels des Isometric Force Transducers aufgezeichnet und nicht wie in vorliegender Studie visuell ausgewertet wurden. Zum anderen handelte es sich in den beiden Studien um Kontraktionen der Muskelschichten in vitro und nicht um komplexe Peristaltikwellen. Diese wurden postoperativ durch Milligan et al. (2007) mittels Elektroden untersucht. Es konnte eine Verzögerung der Phase II des MMC nachvollzogen werden, bei unveränderter Dauer des MMC. Daher wurde in vorliegender Dissertation ein Einfluss des Lidocain auf die Peristaltik und somit die chirurgische Evaluation ausgeschlossen.

5.1.5.4 Isofluran

Den Einfluss von Isofluran auf die Mikrozirkulation des Darmes und dessen Sauerstoffversorgung untersuchten Hopster et al. (2015) mittels kontrollierter Steigerung der Zufuhr des Gases. Bei einem expiratorischen Isoflurangehalt von 1,6 % sank der mittlere arterielle Blutdruck. Der FLOW der Lamina muscularis und die Oxygenierung der Mukosa sanken ab einer Konzentration von 2,0 %. In der vorliegenden Studie wurde eine balancierte Anästhesie mit Xylazin und Isofluran in 100%igem Sauerstoff durchgeführt. Durch die Kombination kann eine deutliche Reduzierung des Isoflurans erreicht werden, wobei kein Pferd eine

endexpiratorische Isoflurankonzentration höher als 1,2 % aufwies. Somit kann ein Einfluss von Isofluran auf den Blutdruck und die intestinale Sauerstoffsättigung weitestgehend ausgeschlossen werden.

5.1.6 Möglichkeiten der Störung der Messung mittels O2C und Ultraschall

Neben den Einflüssen durch die Patienten, Chirurgen und Medikamente gibt es auch technische Eigenschaften und Fehler die einen Einfluss auf die Studienergebnisse haben können. Die Störmöglichkeiten des O2C umfassen zum einen Bewegung, zum anderen Fremdlicht. Eine störende Bewegung während der Messungen trat durch die spontane Peristaltik des Darmabschnittes, sowie unwillkürliche Bewegungen des Halters der Sonde auf. Um Zweiteres so gering wie möglich zu halten, wurde die Sonde nur mit ganz leichtem Druck am hinteren Ende des Applikators fixiert. Um eine Verfälschung durch unterschiedliche Handhabung der Sonde bei einem Patienten entgegen zu wirken, wurden die Messungen pro Patient immer von einer Person ausgeführt. Alle Patienten wurden insgesamt von drei Chirurgen gemessen. Eine, durch die Atmung bedingte, vertikale Bewegung des gesamten Messfeldes wurde berücksichtigt und ein zusätzlicher Druck durch den Messenden versucht zu verhindern. Während der Messung, atmete der Patient maximal 4-mal. Zusätzliche störende Einflüsse wie eine Rekrutierung wurden nicht während der Messungen durchgeführt.

Fremdlicht spielt vor allem aufgrund der starken Operationslampen eine entscheidende Rolle. Reichert et al. (2014) wies bereits darauf hin, dass ein Abwenden der OP-Lampen eine deutliche Verbesserung der Messergebnisse erzielte. Um diesen Störfaktor zu minimieren, wurden die Lampen während aller Messungen ausgeschaltet. Das Raumlicht kommt nach Reichert et al. (2014) als Störfaktor nicht in Frage. Um eine Störung des Hämoglobinspektrums durch Licht zu überprüfen, stellt das Gerät auf seinem Monitor zum einen das korrigierte Hämoglobinspektrum dar und ermöglicht so eine Kontrolle der Sondenapplikation. Zum anderen stellt es das Rohlichtspektrum dar, eine Kontrollmöglichkeit zur Überwachung von Störungen durch Fremdlicht (Handbuch). Diese beiden Parameter wurden vor jeder Messung überprüft und die Sonde gegebenenfalls neu positioniert.

Laut Herstellerangaben hat die Lasersonde des O2C eine Eindringtiefe von 2,5 mm (mündliche Kommunikation, T. Derfuß, LEA Medizintechnik 2016) und reicht somit zur Messung einer nicht verdickten Darmwand aus, bei der laut Kirberger et al.

(1995) keine der Schichten dicker als 1 mm ist. Nach Literaturangaben (Freeman 2002b) und eigenen Beobachtungen sind es vor allem die Submukosa und die Mukosa die während der Schädigung des Darmes aufgrund von Extravasation an Dicke zunehmen. Nimmt die Darmwanddicke über 3 mm zu, kann der oberflächliche submuköse Plexus (Ullrich 1984) mittels Laser-Doppler-Technik nicht mehr erfasst werden, wohl aber der tiefe submuköse Plexus. Da direkte Verbindungen zwischen beiden Plexus bestehen (Ullrich 1984), kann davon ausgegangen werden, dass die Sauerstoffversorgung des tiefen Plexus ähnlich der des oberflächlichen ist. Um eine wissenschaftlich fundierte Aussage über diese Vorgänge und Zusammenhänge machen zu können, sind standardisierte Studien mit experimentellen Ansätzen notwendig.

Im Falle, dass die gemessene Darmwand dünner als 2,5 mm ist, ergeben sich drei Möglichkeiten zur Auswertung. Erstens, wie oft im prästenotischen Teil gesehen, kann der Darm aufgegastr sein. Daraus ergibt sich ein Brechungsindexunterschied am Übergang von Mukosa zu Gas, der zu einer Reflexion des emittierten Lichtes führt. Durch diese Reflexion kann es laut Herstellerangaben (mündliche Kommunikation, T. Derfuß, LEA Medizintechnik 2016) zu einem geringen Einfluss auf die gemessenen Werte kommen, der jedoch im einstelligen Fehlerbereich anzusiedeln ist. Eine zweite Möglichkeit stellt die Füllung des Darmes mit Ingesta oder Flüssigkeit dar, was oft im Dickdarm beobachtet werden kann. Um einen Einfluss auf die gemessenen Werte auszuschließen, wurden die Hämoglobinabsorptionsspektren der jeweiligen Patienten überprüft. Da keine Änderung in der Absorptionskurve feststellbar war, ist davon auszugehen, dass eine Füllung mit Ingesta oder Flüssigkeit keinen Einfluss auf die Werte hatte. Als dritte Möglichkeit bleibt die Messung des ungefüllten bzw. ausmassierten Darmes übrig. Da es sich bei der Mukosa nicht um eine glatte Fläche handelt, ist laut Hersteller davon auszugehen, dass sich Luft bzw. Gas zwischen den beiden Darmwänden befindet. Wie oben beschrieben, spielt die Reflexion des Lichtes an den Wandübergängen hier eine entscheidende Rolle, weswegen es auch hier aufgrund des hohen Brechungsindex nur zu kleinen Einflüssen auf die Werte gekommen sein kann (mündliche Kommunikation, T. Derfuß, LEA Medizintechnik 2016).

Bei der Handhabung des direkten Ultraschalls wurde beachtet, dass kein Druck durch den Chirurgen auf die Darmwand ausgeübt wurde, um eine Komprimierung derselben und somit des pathologischen intramuralen Ödems zu verhindern. Da die Patienten durch drei verschiedene Chirurgen gemessen wurden, ist ein Untersucher bedingter Unterschied zwischen den Pferden möglich und nicht auszuschließen. Um eine gewisse Vorlaufstrecke zu erreichen und eine Komprimierung durch Druck zu vermeiden, sowie um eine genauere Darmwanddickenmessung durchführen zu können, wurde steriles Ultraschallgel innerhalb des Sondenüberzuges platziert. Eine Komprimierung des Darmwandödems durch das Eigengewicht der Rektalsonde kann durch die Verwendung des Gels als Vorlaufstrecke weitestgehend ausgeschlossen werden.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Kurz- und Langzeitüberlebensrate der Patienten

Nach Mair & Smith (2005) beträgt die Kurzzeitüberlebensrate von Pferden mit kolikbedingten ischämischen Schädigungen des Darmes 68,5 % und ist damit deutlich niedriger als die Überlebensrate von Patienten mit einfachen Obstruktionen des Darmes (90,5 %). In weiteren Studien, die sich auf eine ischämische Schädigung des Dünndarmes konzentrieren, lag die Kurzzeitüberlebensrate bei 50–89 %, die Langzeitüberlebensrate der stationär entlassenen Pferde bei 68–84 % (van den Boom & van der Velden 2000, Freemann et al. 2000, Kilcoyne et al. 2016, Freeman & Schaeffer 2005). Während der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass elf Pferde (34,4 %) aufgrund einer schlechten Prognose oder fehlender Resektionserlaubnis intraoperativ euthanasiert wurden und somit bei der Auswertung der Kurz- und Langzeitüberlebensrate nicht berücksichtigt wurden. Wie bereits weiter oben erwähnt, deckt sich die Zahl der intraoperativ euthanasierten Tiere mit den Angaben aus der Literatur (Southwood et al. 2010, Krista & Kuebelbeck 2009). In der vorliegenden Arbeit betrug die Kurzzeitüberlebensrate, welche von erfolgreicher Operation bis zur Entlassung aus der Klinik definiert wurde, 76,2 % (n = 16/21). Die Langzeitüberlebensrate wurde als Zeitraum zwischen erfolgreicher stationärer Entlassung und sechs Monate post operationem definiert und lag bei 66,7 % (n = 14/21). Somit sind die Ergebnisse mit anderen Studien vergleichbar. Die Erfolgsrate der Operation wurde definiert als Verlassen der Aufwachbox und ist in dieser Studie mit 65,6 % geringgradig niedriger als die Ergebnisse der Studien von

Van der Boom und van der Velden (2001) mit 73 %. Die Zahl der Patienten, die während der stationären Nachsorge aufgrund auftretender Komplikationen euthanasiert wurden deckt sich mit 23,8 % mit den Ergebnissen in der oben erwähnten Studie (23 %). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse der vorliegenden Dissertation mit denen von voran gegangenen Studien vergleichbar sind.

5.2.2 Ergebnisse der prä- und intraoperativen Evaluierung

Die präoperative Allgemeinuntersuchung wurde mithilfe von Literaturangaben (Van Loon et al. 2014) ausgewertet und ein Score erstellt. Auf die aufgeteilten Werte der Gruppen und den Vergleich untereinander wird im Kapitel 5.2.8. näher eingegangen.

So waren in der Gesamtzahl der Patienten die Herz- und Atemfrequenz deutlich über der Norm, währenddessen die Körperinnentemperatur, das Totalprotein und der Hämatokrit im Durchschnitt noch in der Norm lagen. Die Erhöhung der respiratorischen und kardiovaskulären Parameter ist auf das schmerzbedingte Kolikgeschehen zurückzuführen und vergleichbar mit den Ergebnissen anderer Studien mit Dünndarmkolikern (Puotonen-Reinert & Huskamp 1985a, Stephen et al. 2004).

Die Körperinnentemperatur war bis auf wenige Ausnahmen ($n = 3$; $38,3\text{--}38,8^\circ\text{C}$) innerhalb der Norm, was ebenso der Literatur entspricht. Eine Erhöhung der Körperinnentemperatur ist vor allem bei Rupturen mit beginnender bzw. manifestierter Peritonitis beschrieben (Teschner et al. 2012), sowie bei einer verlängerten Dauer der Erkrankung. Die Pferde mit einer geringgradigen Erhöhung (bis $38,8^\circ\text{C}$) des Parameters zeigten anamnestisch tendenziell einen längere Kolikdauer (9–20 h) als die Pferde mit einem Wert im Normbereich. Dazu muss beachtet werden, dass dieser Parameter innerhalb von 10 min nach dem Abladen vom Hänger gemessen wurde, wodurch der Wert auch geringgradig erhöht sein kann. Das Totalprotein und der präoperative Hämatokrit waren in der Gesamtzahl der Patienten in der Norm, während der Hämatokrit bei einzelnen Pferden ($n = 5$) eine deutliche Hämokonzentration ($> 50\%$) zeigte. Diese Erhöhung war weder mit einer bestimmten anatomischen Diagnose assoziiert, noch mit der Dauer der Erkrankung. Auffällig war, dass vier von fünf Pferden nach chirurgischer Evaluation der Gruppe 2 zugeordnet wurden, was im folgendem noch weiter diskutiert wird.

Die messbaren Parameter des intraoperativen Scores umfassen den Laktatwert im Blut und Bauchhöhlenpunktat, sowie das Totalprotein im Bauchhöhlenpunktat und wurden mittels anerkannten Literaturquellen bewertet und in den Score eingegliedert (Furr et al. 1995, Latson et al. 2005). Der Parameter Laktatwert im Blut lag nach Furr et al. (1995) bei der Gesamtzahl der Patienten in der Norm und war bei 7 Patienten erhöht. Diese Patienten wurden bis auf zwei Ausnahmen ebenfalls der Gruppe 2 zugeordnet. Eine Erhöhung des Blutlaktatwertes ist auf die ischämische Schädigung des Darmes aufgrund der Grunderkrankung zurückzuführen. Der Laktatwert und das Totalprotein im Bauchhöhlenpunktat sind allgemein als sensitive Marker für den Schweregrad der Kolik akzeptiert (Cook & Hassel 2014, Cavalleri et al. 2013). In der vorliegenden Studie konnte in der Gesamtzahl der Patienten bei beiden Parametern eine Erhöhung über die Norm verzeichnet werden, welche durch das Kolikgeschehen zu erklären ist.

5.2.3 Sauerstoffsättigung

Die kapillare Sauerstoffsättigung stellt einen Kernpunkt der vorliegenden Arbeit dar, da sie im Zusammenhang mit der Prognose eines Patienten hinsichtlich der Entwicklung eines postoperativen paralytischen Ileus diskutiert wird. Nach Reichert et al. (2014) liegt die Sauerstoffsättigung bei einem gesunden Pferd im Bereich des Jejunums bei 81,04 % ($\pm 12,62$ %), im Bereich der Flexura pelvina bei 83,44 % ($\pm 11,79$ %). Zu beachten ist dabei, dass in der zitierten Studie ein Intraclass Koeffizient verwendet wurde, während in der vorliegenden Dissertation aufgrund der Streuung der Medianwert angewendet wurde. Im Bereich des MP1 konnte eine deutliche Absenkung der kapillaren Sauerstoffsättigung gemessen werden. Die große Varianz der Ergebnisse ($47,5\% \pm 26,9\%$) muss auf der einen Seite mit der Kolikursache (Lipom versus Ileumobstipation) diskutiert werden, auf der anderen Seite mit der Art der Ischämie (siehe auch 2.2.1.). Die hämorrhagische Infarzierung, oder auch warme Ischämie genannt, ist durch ein Kollabieren der Venen mit einer Extravasation von Blut und Lymphe in die Darmwand bei persistierender, aber reduzierter Sauerstoffzufuhr gekennzeichnet. Aufgrund der dünneren Gefäßwände und des geringeren hydrostatischen Druckes, kollabieren die Venen zuerst (Blikslager 2003). Kommt es, wie bei einer arteriovenösen (kalten) Ischämie zu einer Strangulation der Venen und Arterien, degeneriert der betroffene Darmteil rapide, ohne eine makroskopische Einblutung (Blikslager 2003). Eine Unterscheidung zwischen hämorrhagischer Infarzierung und arteriovenöser Ischämie mittels bspw.

einem Doppler-Ultraschall wurde in der vorliegenden Studie nicht unternommen. Im MP1 zeigten sechs Pferde einen kapillaren Sauerstoffsättigungswert von 0 %, wobei der stenosenotische Darmteil bei drei Pferden durch den Chirurgen als vital eingestuft wurde, bei drei anderen als avital. Zwei von drei Pferden wurden aufgrund fehlender Resektionserlaubnis intraoperativ euthanasiert, der verbleibende wurde reseziert. Bei den als vital eingestuften Pferden, entwickelten zwei Pferde einen postoperativen Ileus und wurden aus Kostengründen während des stationären Aufenthaltes euthanasiert. Bei den letzteren zwei ist davon auszugehen, dass eine hochgradigere Schädigung des Darmteils vorlag, als anhand der chirurgischen Evaluation abzuschätzen war. Im Vergleich zur Ischämiephase entstehen in der Reperusionsphase laut Literaturangaben die größeren Schäden auf zellulärer Ebene (Blikslager 2003, Rowe & White 2002, siehe auch Kapitel 2.2.2.). Dies kann eine Erklärung für die postoperative Verschlechterung der beiden Patienten darstellen. Tendenziell ist von den Ergebnissen aller Pferde abzulesen, dass ohne weiterführende Untersuchungen nur eingeschränkt Rückschlüsse auf die kapillare Sauerstoffsättigung aufgrund der chirurgischen Evaluation gezogen werden können. Nimmt man die Sauerstoffsättigung als Merkmal für die Resektionspflicht an, wurden resektionspflichtige Pferde zwar mit dem Gerät erkannt, widersprachen aber in der chirurgischen Evaluation den standardisierten Merkmalen. Auf der anderen Seite zeigten zwei Pferde eine Sättigung unter 40 %, welche postoperativ eine komplikationslose Rekonvaleszenzphase zeigten. Die niedrigere Gesamtsauerstoffsättigung in MP1 der resektionspflichtigen Pferde lässt die Vermutung zu, dass es einen Grenzwert bezüglich des ischämischen Unterganges der Epithelzellen der Mukosa geben muss. Eine genaue Definition dieses Grenzwertes lässt sich nur mittels eines experimentell designten Studienansatzes klären. Aufgrund der unterschiedlichen Verteilung der Werte innerhalb der Gruppen wird vermutet, dass der Grenzwert der kapillaren Sauerstoffsättigung im Bereich von 50 % liegt. Diese Annahme wird im Kapitel 5.2.10 ausführlicher diskutiert.

In der vorliegenden Studie wurde aufgrund der Verzögerung des Operationsverlaufs nur eine einmalige Messung durchgeführt. Experimentelle Studienansätze mit wiederholten Messungen könnten mehr Aufschluss über die bestehende Problematik liefern. In eigenen vorläufigen Ergebnissen mit Doppelmessungen an makroskopisch stark geschädigten Darmabschnitten erwiesen sich die O2C Messungen als wichtiges Kriterium für bzw. gegen eine Darmresektionspflicht. Der erhöhte

Zeitaufwand wäre gerechtfertigt, wenn unnötige Resektionen bzw. notwendige Resektionen somit besser eingeschätzt werden könnten.

Eine geringgradig höhere Sauerstoffsättigung als bei Reichert et al. (2014) konnte in MP2 gemessen werden ($85 \pm 17,5\%$ versus $81,04 \pm 12,62\%$), welche wahrscheinlich auf die unterschiedlichen statistischen Auswertungen zurückzuführen ist. In MP2 konnte mittels der O₂C Messung bei sechs Pferden eine Sauerstoffsättigung unterhalb 50 % festgestellt werden, die laut Dabareiner et al. (1993, 2001) auf die Distension durch Aufgasung und somit den reduzierten venösen Abfluss zurückzuführen ist. Daraus kann wiederum geschlossen werden, dass in einem makroskopisch unauffälligen, aber aufgegasenen Darmteil, keine Rückschlüsse auf die Sauerstoffsättigung anhand der chirurgischen Evaluation oder der Darmwanddicke gezogen werden können. Vielmehr wäre es notwendig, eingehendere Untersuchungen auch in diesem Darmsegment durchzuführen, da Schädigungen der Mukosa durch Hypoxie und Reperfusion mit der Entstehung des postoperativen paralytischen Ileus diskutiert werden.

Die Sauerstoffsättigung in MP3 war ähnlich der Ergebnisse von Reichert et al. (2014), wobei beachtet werden muss, dass die Messung bei sieben Pferden aufgrund der Lokalisation des Ileus unterlassen wurde. Somit ist mit einer Fallzahl von 25 Pferden die Aussage statistisch limitiert.

Die Werte im Bereich des Dickdarmes (MP4 bis MP6) zeigten keine signifikanten Abweichungen von den Angaben nach Reichert, sodass davon ausgegangen werden kann, dass ein Ileus im Bereich des Dünndarmes keinen messbaren Einfluss auf die kapillare Sauerstoffsättigung des Dickdarmes hat.

5.2.4 Darmwanddicke

Eine Schädigung bedingt durch Ischämie und Reperfusion kann bei einem Darm mit einer Verdickung der Darmwand einhergehen. Dieses Phänomen wird unter anderem im Zusammenhang mit Farbveränderungen des Darmes durch den Chirurgen benutzt, um über die Vitalität des betroffenen Darmabschnittes zu entscheiden. Die Darmwanddicke des MP1 zeigte im Gesamtdurchschnitt ($3,1 \text{ mm} \pm 1,8 \text{ mm}$) nur eine geringgradige Verdickung zu den in der Literatur beschriebenen Normwerten von 1,8 bis 3,75 mm (Freeman 2002b, Scharner et al. 2002b, Klohn et al. 1996). Dieser Umstand sollte erneut mit der Art der Ischämie diskutiert werden, da es bei einer arteriovenösen Ischämie nicht zu einer Einblutung

in die Darmwand und folglich auch nicht zu einer Verdickung dieser kommt. So zeigten neun Pferde eine deutliche Verdickung zwischen 4,7 und 7,9 mm. Ähnliche Werte sind in der Literatur für transkutane Messungen beschrieben (Freeman 2002b, Porzuczek et al. 2012). Dass neun von 32 Pferden ($\pm$ 28,1 %) eine pathologische Verdickung der Darmwand zeigten, deckt sich ebenfalls mit den Angaben aus der Literatur, wobei die Zahl bei Beccati et al. (2011) bei 22,2 % liegt. Die restlichen Pferde zeigten eine Darmwanddicke zwischen 1,1 und 3,8 mm. Diese Ergebnisse sind teilweise auf arteriovenöse Ischämien oder hämorrhagische Infarzierungen im Anfangsstadium zurückzuführen, auf der anderen Seite kann es trotz aller Vorsichtsmaßnahmen durch das direkte Auflegen des Schallkopfes durch den Chirurgen unbewusst zu einer geringgradigen Kompression der Darmwand gekommen sein. In MP2 und MP3 zeigten ein, bzw. drei Pferde eine pathologische Verdickung der Darmwand über 3,75 mm. Die Sauerstoffsättigung war in drei von vier Messpunkten erniedrigt, sodass von einer beginnenden, makroskopisch nicht sichtbaren Schädigung, ausgegangen werden muss.

Die Verdickung der Darmwand ist auf eine Ödembildung mit einhergehender Degeneration des Gewebes aufgrund einer hämorrhagischen Infarzierung zurückzuführen und resultiert in einer Extravasation von Lymphe und venöser Blutstase. Dieses Phänomen wurde innerhalb der Submukosa und der Mukosa beobachtet, was den Angaben aus der Literatur entspricht (Freeman 2002b).

Das palpatorische Einschätzen der Darmwanddicke durch den Chirurgen war tendenziell zu hoch und die Darmwand wurde als verdickt eingeschätzt, obwohl sie mittels Ultraschall gemessen in der Norm war. So konnte bei keinem Pferd eine Darmwanddicke über 10 mm gemessen werden, wohingegen bei acht Pferden die Darmwand als hochgradig verdickt ($\pm$ Score 3, > 10 mm) eingeschätzt wurde. Dies kann zum einen aufgrund der Dopplung der Darmwand in der Hand passieren, zum anderen an der geringen Spannweite der Schätzung liegen. Daraus ist abzuleiten, dass es möglich ist eine verdickte Darmwand palpatorisch zu erfassen. Jedoch, die genaue Dicke, die auch im postoperativen Verlauf teilweise entscheidend hinsichtlich der Prognose sein kann, nur per Ultraschall exakt gemessen werden kann.

5.2.5 Relativer Blutfluss

Der relative Blutfluss (FLOW) gibt den Grad der Durchblutung in dem untersuchten Darmabschnitt wieder und zeigte im MP1 eine große Varianz (0–296 au), die mit der Art der Ischämie (arteriovenös versus warm) diskutiert werden muss. Während es bei einer arteriovenösen Ischämie zum abrupten Verschluss sämtlicher Gefäße kommt, ist bei der hämorrhagischen Infarzierung ein reduzierter Blutfluss möglich, da das Blut der Arterien in die Submukosa und die Mukosa (Extravasation) gepumpt wird. Diese Unterscheidung erklärt auch die große Varianz und die mittlere Abweichung vom Median der Ergebnisse. Nach Reichert et al. (2014) liegt der relative Blutfluss im Bereich des Jejunums bei $246,1 \pm 73,43$ au. Im MP1 war dieser bei 24 Pferden unterhalb dieses Wertes, bei drei Pferden oberhalb des Wertes. Eine Erhöhung der Werte kann auf blutdrucksteigernde und damit auch blutflusssteigernde Medikamente (Dobutamin, HES, siehe auch Kapitel 2.3.5. und 5.1.4.1.) zurückgeführt werden (Dancker 2016). Andernfalls wurden erhöhte Werte als Zeichen einer reflektorischen Hyperämie nach Lösen des Verschlusses angenommen. Diese Erhöhung über der Norm wurde bei den drei Pferden beobachtet, bei denen der Verschluss blind gelöst werden musste, bevor ein Hervorlagern und Messen des stenosenotischen Darmteils möglich war. Ein erniedrigter Wert ist durch eine Konstriktion oder einen Verschluss der Gefäße zu erklären.

Im MP2 und MP3 waren sieben, bzw. sechs Pferde unterhalb der Norm, was im prästenotischen Teil durch die Aufblähung (Dabareiner et al. 1993, 2001) und im poststenotischen Teil durch die vermehrte Manipulation während des Ausmassierens erklärt werden kann (Hopster-Iversen et al. 2014). Eine Hyperämie ist in beiden Lokalisationen ebenfalls durch die chirurgische Manipulation und den dadurch gesetzten mechanischen Reiz zu erklären.

Im Bereich des Dickdarmes liegt der relative Blutfluss laut Reichert et al. (2014) bei $216,27 \pm 67,2$ au. Von diesem Normwert zeigten im MP4 drei Pferde eine Erniedrigung und 17 Pferde eine Erhöhung. Die erniedrigten Werte im Bereich des Caecums sind ebenfalls auf die Distension aufgrund der Aufgasung zurückzuführen (Dabareiner et al. 1993, 2001), wohingegen die Erhöhung ein Anzeichen für eine lokale reflektorische Hyperämie aufgrund der Manipulation sein kann (Hopster-Iversen et al. 2014). Im Bereich des Colon ascendens und descendens konnte bei vier bzw. fünf Pferden eine Erniedrigung gegenüber dem Normwert gemessen

werden und eine Erhöhung bei jeweils zehn Patienten. Eine Erniedrigung ist auf das Vorlagern des Darmes zurückzuführen, indem es dabei zu einer gewissen Komprimierung der Gefäße und somit zu einem erniedrigten relativen Blutfluss (FLOW) gekommen sein kann. Die Erhöhung der Werte sind erneut durch Manipulation und dadurch bedingte Entzündungsreaktionen zu erklären (Hopster-Iversen et al. 2014), allerdings fiel makroskopisch kein Darmanteil mit einer Veränderung auf. Aus den vorliegenden Ergebnissen des Dickdarmes ist abzulesen, dass ein Ileus im Bereich des Dünndarmes einen Einfluss auf den kapillaren relativen Blutfluss des Dickdarmes haben kann. Einen Einfluss oder eine Prädisposition der Art der Ischämie oder einer Diagnose konnte nicht nachvollzogen werden.

Ob der erniedrigte Blutfluss ein erstes Anzeichen einer beginnenden Schädigung durch Ischämie und Reperfusion ist, muss unter experimentellen Voraussetzungen geklärt werden. Diese sind auch notwendig, um einen Grenzwert für den relativen Blutfluss festlegen zu können. Nach eigenen Beobachtungen der postoperativen Entwicklung der Patienten ist ein relativer Blutfluss unterhalb von 100 au als kritisch zu werten. Im MP1 waren 19 Pferde, im MP2 drei, im MP3 und Caecum jeweils zwei und im Colon ascendens fünf Pferde unterhalb dieses vermuteten Grenzwertes. Auffällig hierbei war, dass von den 19 Pferden, 13 als resektionspflichtig durch den Chirurgen eingestuft wurden. In den anderen Messpunkten waren ebenfalls bis auf zwei Ausnahmen alle Pferde aus Gruppe 2. Daher kann aus den vorliegenden Patientendaten geschlossen werden, dass ein reduzierter relativer Blutfluss unter 100 au vermehrt bei Pferden mit fortgeschrittenen ischämischen Schädigungen des Darmtraktes auftritt und als Indiz für eine Resektionspflicht gewertet werden kann.

5.2.6 Relativer Hämoglobingehalt

Eine Erhöhung des relativen Hämoglobingehaltes ist laut Krug (2006) als ein Zeichen für eine venöse Stase der Mikroperfusion zu werten. In Bezug auf die Normwerte aus der Literatur (Reichert et al. 2014, Krug 2006) wurde eine Erhöhung über 100 au als pathologisch gewertet. In MP1 zeigte über die Hälfte der Patienten eine solche pathologische Erhöhung, was sich aus dem Ischämiegeschehen erklären lässt. Die Erhöhung im Bereich des MP2 ist in gewissen Maßen ebenfalls durch eine ischämische Schädigung zu erklären. Wie schon zuvor erwähnt, kann es nach Dabareiner et al. (1993, 2001) aufgrund einer Überdehnung durch den intraluminalen Druck zu einem verzögerten venösen Abfluss kommen. Im Bereich des MP3 zeigten

drei Pferde eine Erhöhung des relativen Hämoglobingehaltes. Bei zwei Pferden waren ebenfalls die Sauerstoffsättigung und der Blutfluss in diesem Messpunkt deutlich reduziert, weswegen bei beiden Pferden von einem ausgedehnten Ischämie- und Reperfusionsgeschehen mit gestörtem venösem Abfluss, ausgegangen werden kann. Das dritte Pferd hatte als Kolikursache einen Volvulus jejuni, wodurch es großflächig zur Obstruktion der Gefäße und somit zur venösen Stase gekommen ist. Im Dickdarm zeigten acht Pferde eine Erhöhung im MP4 und jeweils zwei im MP5 und MP6. Die Erhöhung im Caecum war in sechs von acht Fällen mit einer Erhöhung des relativen Blutflusses verbunden, weswegen davon ausgegangen werden kann, dass eine reflektorische Hyperämie eine Antwort auf ein Lösen bzw. Beseitigen einer venösen Stase ist. Im Colon ascendens und Colon descendens konnte kein Zusammenhang mit dem relativen Blutfluss beobachtet werden.

5.2.7 Chirurgische Evaluation

Die Ergebnisse der Evaluation durch den Chirurgen zeigen eine deutliche pathologischere Einschätzung im MP1 bei allen Pferden als in allen anderen Messpunkten. Diese Fokussierung auf einen bestimmten Abschnitt wird durch die Änderung der anderen Parameter in diesem Bereich unterstützt und ist nachvollziehbar. Trotz sekundärer Eintrocknung von fünf Pferden im Dickdarm, wurden diese Messpunkte durchweg als vital bewertet. Auch die anderen Parameter zeigten keine Abweichung von der Norm, woraus zum einen geschlossen werden kann, dass ein Ileus im Dünndarm keine makroskopisch sichtbaren Auswirkungen am Dickdarm hervorruft. Zum anderen, dass eine sekundäre Eintrocknung ebenfalls keinen hochgradigen Schaden am Darm verursacht, wobei die geringe Patientenzahl ($n = 5$) als limitierender Faktor der statistischen Aussagekraft zu werten ist.

5.2.8 Korrelation zwischen Darmwanddicke, kapillarer Sauerstoffsättigung und chirurgischer Evaluation

Die Korrelationen der drei Hauptparameter dieser Dissertation zeigen vor allem im MP1 und MP3 statistisch signifikante Ergebnisse. MP1 wurde durch den Chirurgen als am meisten geschädigter Darmteil bestimmt, MP2 und MP3 lagen jeweils 50 cm oral und aboral von diesem Punkt. In MP1 war die chirurgische Evaluation mit der kapillaren Sauerstoffsättigung negativ korreliert ($r = -0,439$; $p = 0,012$). Diese Korrelation erwies sich als signifikant. Das heißt, je niedriger die kapillare

Sauerstoffsättigung war, desto höher und schlechter war auch die Bewertung des Darmabschnittes durch den Chirurgen. Daraus kann geschlossen werden, dass eine gewisse Abschätzung der Sauerstoffversorgung durch die Anwendung der allgemeinen bekannten Parameter (siehe auch Kapitel 3.3.1. und 10.8) möglich ist. Da die Korrelation mit $-0,439$ mäßig ist, muss als Einschränkung dazu erwähnt werden, dass die Bewertung durch den Chirurgen nicht ausreichend ist und nur Hinweise zu einem gewissen Grad liefern kann. Um eine genaue Aussage über die Sauerstoffversorgung im kapillaren Bereich des Darmsegmentes zu gewinnen, ist die Messung beispielsweise mittels des O2C Gerätes notwendig.

Die Darmwanddicke und die chirurgische Evaluation zeigten ebenfalls eine mäßige Korrelation in MP1, die statistisch signifikant war ($r = 0,385$; $p = 0,03$). Es kann daher geschlussfolgert werden, dass eine Verdickung der Darmwand mit einer negativeren Beurteilung durch den Chirurgen einhergeht. Da die Verdickung ein Ausdruck der Schädigung ist, decken sich die Ergebnisse mit den bekannten Kriterien. Die geringe Korrelation lässt sich aus dem Fakt erklären, dass nicht alle Pferde im MP1 eine verdickte Darmwand aufwiesen. Dies muss auch in Bezug auf die Korrelation zwischen Sauerstoffsättigung und Darmwanddicke ($r = -0,24$; $p = 0,27$) beachtet werden. Da es aufgrund von unterschiedlichen Ischämieursachen (arteriovenöse Ischämie versus hämorrhagische Infarzierung) nicht in allen Fällen zu einer Verdickung kommen kann, sollte als ergänzende Maßnahme bei folgenden Studien eine Unterscheidung zwischen der Art der Ischämie unternommen werden. Aufgrund der schiefen Rechtsverteilung wurde eine logarithmische Transformation für die Darmwanddicke und die Sauerstoffsättigung angewendet, die keine signifikante Korrelation ($r = -0,27$; $p = 0,13$) nachweisen konnte. Ein Hinweis, dass eine Verdickung der Darmwand mit einem Absinken der kapillaren Sauerstoffsättigung assoziiert ist, konnte durch den Gruppenvergleich in MP1 gezeigt werden, allerdings ohne Signifikanz ($r_1 = -0,43$; $p_1 = 0,1$).

Im MP2 zeigten weder die Darmwanddicke noch die chirurgische Evaluation eine statistisch signifikante Korrelation zur kapillaren Sauerstoffsättigung. Die Korrelation zwischen der Darmwanddicke und der chirurgischen Evaluation ($r = 0,459$; $p = 0,009$) lässt sich auf die makroskopisch nur geringen Veränderungen des Darmes im Bereich des MP2 erklären, sowie dass nur ein Pferd eine Verdickung der Darmwand über $3,75$ mm zeigte.

Im poststenotischen Teil (MP3) konnte eine mittlere negative Korrelation ($r = -0,552$;

$p = 0,004$) zwischen der Darmwanddicke und der kapillaren Sauerstoffsättigung festgestellt werden, die aufgrund der rechtsschiefen Verteilung einer logarithmischen Transformation unterzogen wurde und bestehen blieb ($r = -0,458$; $p = 0,021$). Das heißt, dass bei steigender Dicke der Darmwand, die kapillare Sauerstoffsättigung abnimmt. Wie schon weiter oben erwähnt, kommt es bei persistierendem arteriellen Zufluss und gestörtem venösen Abfluss zu einer hämorrhagischen Infarzierung mit einer ödematösen Verdickung der Darmwand durch Extravasation von Blut und Lymphe. Da die Art der Ischämie in MP1 nicht untersucht wurde, konnten arteriovenöse Verschlüsse nicht ausgeschlossen werden. In MP3 ist dies durch die makroskopische Beurteilung möglich und daher bietet dieser Messpunkt die optimalen Grundvoraussetzungen für die These. Aus den vorliegenden Ergebnissen ist abzuleiten, dass es eine Korrelation zwischen fortschreitender Verdickung der Darmwand und sinkender Sauerstoffsättigung während einer warmen Ischämie gibt. Im MP3 kommt es durch die Manipulation während der Operation zu einer beginnenden Entzündung (Hopster-Iversen et al. 2014) und somit zur Schädigung des Darmabschnittes mit beginnender Öembildung, bei gleichzeitig erhaltener Sauerstoffzufuhr.

Im Dickdarmbereich (MP4–MP6) zeigte keiner der drei Parameter eine signifikante Korrelation mit einem anderen. Die Messung des Dickdarmes fungierte als Kontrolle, ob ein Ileus im Dünndarm einen Einfluss auf diesen hätte. Aufgrund der Ergebnisse der Korrelationsanalyse und der Einzelauswertung kann dieses verneint werden, da kein messbarer Unterschied feststellbar war. Auch die sekundäre Obstipation des Kolons bei fünf Pferden zeigte keine Änderung der Parameter.

5.2.9 Weitere statistisch signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalyse

Neben den Parametern der Haupthypothese konnten weitere statistisch signifikante Ergebnisse gemessen werden. Zum einen zeigte die Variable FLOW in MP1 und MP3 signifikante negative Korrelationen mit der Darmwanddicke ($r_{MP1} = -0,432$ $p = 0,013$; $r_{MP3} = -0,639$ $p < 0,001$). In MP4 zeigte sie ebenfalls mit der chirurgischen Evaluierung ($r_{MP4} = -0,381$, $p = 0,049$) einen signifikanten Zusammenhang. Zum anderen zeigte der relative Hämoglobingehalt (rHb) in MP1 und MP4 eine mäßige Korrelation mit der Dicke der Darmwand ($r_{MP1} = 0,367$ $p = 0,039$; $r_{MP4} = 0,363$ $p = 0,049$). Der relative Blutfluss (FLOW) war jeweils negativ mit der zunehmenden

Dicke der Darmwand des MP (Messpunkt) korreliert. In MP1 ist dieses durch die Ischämie zu erklären. Durch die Strangulation bzw. die Kompression der Gefäße kommt es zu einer Verdickung der Wand bei gleichzeitig reduziertem Blutfluss (hämorrhagische Infarzierung) (Bliklager 2003). In MP3 muss diese Korrelation unter dem Gesichtspunkt des chirurgischen perioperativen Handlings und die dadurch induzierte geringgradige lokale Entzündung gesehen werden. So konnte Hopster-Iversen et al. (2014) zeigen, dass bereits das übliche Ausmassieren der Ingesta in aboraler Richtung eine Ansammlung von neutrophilen Granulozyten und somit eine Entzündung induzierte. Die einhergehende Verdickung der Darmwand steht in einer negativen Korrelation mit dem Blutfluss. Dies widerspricht dem eigentlichen Gedanken der induzierten Entzündungsreaktion, bei der ein erhöhter Blutfluss zu erwarten wäre. Laut Hersteller (LEA Medizintechnik) kommt es durch die Entzündungsreaktion zu einer intravasalen Steigerung der Blutmenge, ähnlich einer venösen Stase, da der Abfluss gestört ist. Durch den erniedrigten venösen Abfluss kommt es wiederum zu einer erniedrigten Perfusionsdruckdifferenz, die in einem sinkenden Blutfluss resultiert (T. Derfuß, LEA Medizintechnik, mündliche Kommunikation 2016). Daher kann daraus geschlossen werden, dass bei einer Verdickung der Darmwand von einem erniedrigten Blutfluss und somit einer Minderversorgung des betroffenen Gebietes ausgegangen werden kann. Ob dies als ein erstes Zeichen einer beginnenden Schädigung zu werten ist, muss in weiteren Studien geklärt werden.

Zusätzlich zur Darmwanddicke zeigte der FLOW auch eine negative Korrelation mit dem chirurgischen Score in MP1 ($r = -0,575$; $p = <0,001$) und MP3 ($r = -0,482$; $p = 0,015$). Je höher, also je schlechter die chirurgische Evaluation, desto niedriger war der gemessene Blutfluss. Damit kann bestätigt werden, dass eine makroskopische Verschlechterung des Darmes mit einer Erniedrigung des Blutflusses einhergeht.

Die positive Korrelation des relativen Hämoglobingehaltes (rHb) mit der Dicke der Darmwand lässt sich ebenfalls aus dem Kolikgeschehen erklären. So ist eine Erhöhung des rHb ein Anzeichen für eine venöse Stase (Krug 2006). Im MP1 kommt es aufgrund der Strangulation bzw. Kompression der Gefäße nicht nur zu einer Stase, sondern auch zu einer Extravasation von Blut in die Mukosa und Submukosa. Das Hämoglobin des ausgetretenen Blutes wird über die Weißlichtspektroskopie registriert und lässt somit den Parameter steigen. Je mehr Blut und Lymphe aufgrund von Extravasation austritt, desto höher ist der relative Hämoglobingehalt (rHb) des

MP1. In MP4 kommt es nicht zu einer Extravasation des Blutes, sondern vielmehr zu einer Überdehnung der Darmwand. Bei einem Darmverschluss kommt es zum Aufgasen des gesamten Gastrointestinaltraktes. Durch die Aufgasung kann es laut Dabareiner et al. (1993, 2001) zu einem reduzierten venösen Abfluss kommen, was den erhöhten rHb Gehalt im MP4 erklärt.

Parameter, wie das Laktat im Blut und in der Bauchhöhlenflüssigkeit, sowie der Hämatokrit und das Totalprotein im Blut und in der Bauchhöhlenflüssigkeit sind wichtige diagnostisch und prognostische Parameter, die im Rahmen der präoperativen Therapieentscheidung zur chirurgischen Intervention ihre Relevanz bewiesen haben. Die signifikante Korrelation zwischen der chirurgischen Evaluierung des MP1 und den Ergebnissen der oben genannten Werte, die intraoperativ bestimmt wurden stellt eine Bestätigung der chirurgischen Evaluation dar. Es ist demzufolge einerseits möglich, anhand der chirurgischen Evaluierung des stenosenotischen Teils prognostische Aussagen zu treffen. Zum anderen konnte erneut bewiesen werden, dass eine präoperative Einbeziehung der Parameter ein erfolgreiches oder nicht erfolgreiches Ergebnis der Operation vorhersagen kann.

5.2.10 Ergebnisse des Gruppenvergleichs

Hinsichtlich der Kolikdauer zeigten die Patienten der Gruppe 1 eine kürzere Schmerzphase von 4,8 ($\pm$ 2,6) Stunden, währenddessen bei den Pferden der Gruppe 2 durchschnittlich 6,9 ($\pm$ 4,7) Stunden vergingen bis chirurgisch interveniert wurde. Anhand der Gruppeneinteilung kann daher geschlossen werden, dass eine längere Kolikdauer nicht nur eine negativere chirurgische Evaluation nach sich zieht, sondern oftmals durch das fortgeschrittene Stadium der Erkrankung eine Resektion oder eine intraoperative Euthanasie des Tieres erfordert.

Wie in Kapitel 5.1.2 bereits erwähnt, zeigte die mehrmalige Behandlung durch den Haustierarzt zwar einen Einfluss auf die Kolikzeit, aber nicht auf die Kurz- oder Langzeitüberlebensrate. Auch die Anwendung des potenten nichtsteroidalen Antiphlogistikums Flunixin-Meglumin (jeweils 7-mal in beiden Gruppen verwendet) zeigte keine Unterschiede zwischen den Gruppen.

In die Auswertung der Kurzzeitüberlebensrate wurden alle Pferde miteinbezogen, die nach einer erfolgreichen Operation die Aufwachbox verlassen konnten. Intraoperativ euthanasierte Pferde ($n = 11$) aus Gruppe 2 wurden von der Auswertung der Kurz- und Langzeitüberlebensrate ausgeschlossen. Da in Gruppe 1 die Bedingung war,

dass kein Dünndarmteil eine Resektion erforderte, konnten alle 16 Pferde für die Auswertung benutzt werden, währenddessen in Gruppe 2 die Ergebnisse von fünf Pferden ausgewertet wurde. Die Kurzzeitüberlebensrate von Gruppe 1 ist mit 87,5 % deutlich höher als die 40 % von Gruppe 2. Daher kann geschlossen werden, dass Pferde die intraoperativ einer Dünndarmresektion unterzogen werden, während des stationären Aufenthaltes mehr Komplikationen zeigen. Die Langzeitüberlebensrate in Gruppe 1 mit 87,5 % deckt sich mit den Angaben von nicht resezierten Dünndarmkolikern aus der Literatur (Freeman et al. 2014). Die statistische Aussagekraft der Langzeitüberlebensrate der Gruppe 2 ist aufgrund der geringen Größe minimiert. Beide Pferde wurden innerhalb der ersten sechs Monate postoperativ euthanasiert, wobei keine Ergebnisse einer eventuellen pathologisch-histologischen Untersuchung in Erfahrung gebracht werden konnten.

In der präoperativen Allgemeinuntersuchung und in den intraoperativen Parametern zeigte die Gruppe 2 in allen Messwerten außer der Körperinnentemperatur (Herz- und Atemfrequenz, Hämatokrit, Laktatgehalt im Blut und der Bauchhöhlenflüssigkeit, Totalprotein in der Bauchhöhlenflüssigkeit) eine Erhöhung gegenüber der Norm und ebenfalls gegenüber der Gruppe 1. Nach Stephen et al. (2004) und Puotonen-Reinert & Huskamp (1985b) war eine Erhöhung der Herzfrequenz (> 70 bpm), sowie des Blutlaktatwertes mit einem Nichtüberleben der Patienten verbunden. Daraus kann geschlossen werden, dass die chirurgische Einteilung anhand dieser Parameter nachzuvollziehen ist.

Die niedrigere Sauerstoffsättigung von Gruppe 2 im Vergleich zu Gruppe 1 im MP1 muss anhand der Ischämieart diskutiert werden. Es ist davon auszugehen, dass nicht resektionspflichtige Pferde (Gruppe 1) eine mildere Art der Ischämie (hämorrhagische Infarzierung), bzw. eine kürzere Dauer der Ischämiephase durchlebten, sodass es zu einer geringeren Absenkung der Sättigung und somit zu einer geringeren Schädigung des Darmes kommt. In Gruppe 1 konnte bei sechs Pferden eine Sättigung < 50 % gemessen werden, währenddessen in Gruppe 2 elf Pferde unterhalb dieser Grenze waren. Dies unterstützt die oben genannte Annahme, dass es sich in Gruppe 1 vermehrt um hämorrhagische Infarzierungen handelte. Dagegen spricht, dass die Darmwand in Gruppe 2 im Mittelwert dicker war als in Gruppe 1. Geht man in Gruppe 1 von einem vermehrten Auftreten der hämorrhagischen Infarzierung aus und im Umkehrschluss in Gruppe 2 von einem

vermehrten Auftreten der arteriovenösen Ischämie, müsste die Darmwand in Gruppe 1 durch die Extravasation deutlich dicker sein als in Gruppe 2. Da die Verdickung der Darmwand ein multifaktorielles Geschehen ist, ist die Diskussion an dieser Stelle nicht einfach zu beenden. Es ist eher davon auszugehen, dass in Gruppe 2 stark vorangeschrittene hämorrhagische Infarzierungen und arteriovenöse Ischämien gemischt auftraten. Die hämorrhagische Infarzierung der Patienten muss in Gruppe 2 bereits länger bestehen als in Gruppe 1, was eine deutliche Absenkung der Sauerstoffsättigung und eine dickere Darmwand erklärt. Die Annahme, dass in Gruppe 1 vermehrt die hämorrhagische Infarzierung auftrat, wird durch die statistische Korrelation unterstützt, wenngleich diese keine signifikanten Ergebnisse hervorbrachte ($r_1 = -0,43$ mit $p_1 = 0,1$; $r_2 = 0,04$ mit $p_2 = 0,9$). Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse lassen den Schluss zu, dass ein Rückschluss von der Dicke der Darmwand auf die Sauerstoffsättigung nur in gewissen Maßen innerhalb einer hämorrhagischen Infarzierung möglich ist. Daraus ist zu schlussfolgern, dass diesbezüglich eine Unterscheidung zwischen der Art der Ischämie beispielsweise durch Doppler-Ultraschall notwendig ist. Dies spielt klinisch eine untergeordnete Rolle, kann aber prognostisch wertvoll sein.

Wie bereits in Kapitel 5.2.3 erwähnt, lässt die niedrigere Gesamtsauerstoffsättigung in MP1 der Gruppe 2 die Vermutung zu, dass es einen Grenzwert bezüglich des ischämischen Unterganges der Epithelzellen der Mukosa geben muss. Aufgrund der unterschiedlichen Verteilung der Werte innerhalb der Gruppen wird vermutet, dass der Grenzwert der kapillaren Sauerstoffsättigung im Bereich von 50 % liegt. Diese Annahme wird von den vorliegenden Ergebnissen der Gruppen und der Verteilung innerhalb gestützt. So zeigten in beiden Gruppen jeweils drei Pferde eine Sauerstoffsättigung von 0 % und die Streuung der gemessenen Werten reichte jeweils von 0 bis 96 %. Patienten, die eine kapillare Sauerstoffsättigung unter 50 % zeigten, waren vermehrt Gruppe 2 zugeordnet ($n = 11$), wohingegen in Gruppe 1 insgesamt sechs Pferde unterhalb von 50 % gemessen wurden. Dies wird auch deutlich in der durchschnittlichen kapillaren Sauerstoffsättigung der Gruppen, wenngleich keine Signifikanz feststellbar war. Zu klären ist diese Annahme nur durch histologische Untersuchungen der geschädigten Darmwand, was in weiteren Studien erfolgen sollte.

6 Schlussfolgerung

Eine klinische, in vivo Studie ist sehr gut geeignet um die Effekte und die Wirkung verschiedener pathologischer Vorgänge im echten Tiermodell zu überprüfen. Trotz allem hat diese Studienart eine limitierende Grenze. Die Verwendung von Patienten als Probanden rückt die wissenschaftliche Fragestellung etwas weiter in den Hintergrund und die Dienstleistung des Tierarztes weiter in den Vordergrund. Weiterhin ist durch eine gewisse Inhomogenität der Patienten und Erkrankungsformen keine Standardisierung möglich, was wiederum die Vergleichbarkeit erschwert. In dieser Studie wurden individuelle Patienten miteinbezogen, die sich in Rasse, Alter, Geschlecht, Gewicht, Kolikart und Krankheitsdauer, sowie Grad der Schädigung unterschieden und die Lokalisation der Kolik auf den Dünndarm als alleiniger gemeinsamer Nenner fungierte. Durch einen experimentellen Ansatz dieser Studie wäre es möglich, eine genormte Ischämie- und Reperusionszeit, sowie eine einheitliche Art der Ischämie zu untersuchen, ohne dabei den störenden bzw. aussagenlimitierenden Faktor der prä- und perioperativen Medikamente zu haben. Eine solche experimentelle Studie ist notwendig, jedoch gegenüber dem geltenden Tierschutzrecht schwer zu rechtfertigen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie deuten darauf hin, dass die Parameter (kapillare Sauerstoffsättigung und Verdickung der Darmwand) im Anfangsstadium einer hämorrhagischen Infarzierung in einer negativen Korrelation ($r = -0,24$ $p = 0,185$) zueinanderstehen. Dieser Zusammenhang konnte nicht in einem fortgeschrittenerem Stadium der Ischämie bzw. während einer arteriovenösen Ischämie beobachtet werden. Daraus kann geschlossen werden, dass aufgrund der negativen Korrelation beider Parameter bei einer überdurchschnittlich verdickten Darmwand eine erniedrigte kapillare Sauerstoffsättigung zu erwarten ist. Dies wird zudem durch die Ergebnisse des poststenotischen Messpunktes unterstützt ($r = -0,552$ $p = 0,004$). Die Ergebnisse des Gruppenvergleichs deuten ebenfalls daraufhin, dass in einem nicht resektionspflichtigen Darm die beiden Parameter miteinander negativ korrelieren (Gruppe 1 $r = -0,43$ $p = 0,1$) und somit für den Chirurgen einen Anhaltspunkt für die Entscheidung hinsichtlich der Resektionspflicht geben können. Da in der vorliegenden Studie keine Unterscheidung zwischen der Art der Ischämie gemacht wurde, bzw. die Durchlässigkeit der Gefäße überprüft wurde, ist dies ein Punkt der in folgenden Studien berücksichtigt werden muss. Anzunehmen ist, dass

ein Doppler-Ultraschall für diese Anwendung geeignet wäre. Ein experimenteller Ansatz könnte die Beobachtung am poststenotischen Messpunkt (50 cm aboral vom stenotischen Messpunkt) überprüfen und mittels genormter Schädigung die Ergebnisse des stenotischen Messpunktes überprüfen.

Die Evaluierung des Darmes durch den Chirurgen wurde in dieser Studie im Zusammenhang mit den oben genannten objektiven Parametern untersucht. Aufgrund der mäßigen Korrelation ($r_{\text{kap.O}_2} = -0,439$ $p = 0,012$; $r_{\text{Darmwand}} = 0,385$ $p = 0,03$) zu den beiden anderen Parametern ist davon auszugehen, dass nur bedingt Rückschlüsse aus den einzelnen Werten der chirurgischen Evaluation in Bezug auf die Dicke der Darmwand und die kapillare Sauerstoffsättigung gezogen werden können. Dies bedeutet nicht, dass die chirurgische Evaluation ersetzt werden sollte, vielmehr, dass sie mit objektiven Methoden kombiniert werden muss, um Chirurgen eine Hilfestellung zu geben. Da die vorliegende Arbeit keine eindeutigen Ergebnisse hinsichtlich der Anfangshypothese liefern konnte, ist es zu empfehlen, dieses Studiendesign teilweise mittels einer standardisierten Untersuchungsmethodik, beispielsweise der Histologie, weiterzuführen, um zum einen eine definierte Aussage und Bewertung der chirurgischen Evaluation zu erhalten, zum anderen die vermuteten Grenzwerte der kapillaren Sauerstoffsättigung (circa 50 %), des relativen Blutflusses (< 100 au) und des relativen Hämoglobingehaltes (> 100 au) zu bestätigen bzw. zu definieren. Neben der kapillaren Oxygenierung sollte weiterhin ein besonderes Augenmerk auf die Variable FLOW (relativer kapillarer Blutfluss) gelegt werden, da die vorliegenden Ergebnisse vermuten lassen, dass der kapillare Blutfluss eine wichtige Rolle in der Früherkennung einer Ischämie spielt und noch sensibler als die Sauerstoffsättigung sein kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das O2C Gerät einfach in den Ablauf einer Kolikoperation integriert werden konnte und die Messungen nur zu einer geringfügigen Verzögerung führten. Es ermöglicht eine Beurteilung eines Bereiches (Kapillarnetz in Mukosazotten), der bisher nur über Rückschlüsse von anderen Parametern bewertet wurde, indem es unübliche Parameter wie den Blutfluss, die lokale Sauerstoffsättigung und den relativen Hämoglobingehalt nutzt. Weitere Studien sind notwendig, um dieses Gerät zu etablieren und seine Einsatzmöglichkeiten weiter zu untersuchen.

Als Nebenergebnis dieser Dissertation ist besonders hervor zu heben, dass ein Ileus im Bereich des Dünndarmes keinen bis nur einen geringen Einfluss auf den Dickdarm des erkrankten Pferdes hat. Weiterhin konnten gängige Parameter der Kolikdiagnostik (Laktatwert, TPP, HKT) in ihrer prognostischen Aussagekraft erneut bestätigt werden. Die Annahme, dass geriatrische Pferde aufgrund des Alters eine geringere Kurz- und Langzeitüberlebensrate haben, konnte widerlegt werden, genauso wie die Annahme, dass diese Patienten postoperativ mehr Komplikationen zeigen. Die Tatsache, dass die Tierbesitzer mit steigendem Alter des Patienten zurückhaltender in der Therapie und Kostenübernahme sind, ist bekannt und konnte bestätigt werden.

In der vorliegenden Dissertation wurden Daten von 32 Pferden miteinbezogen, was dem Patientenaufkommen mit chirurgisch therapiertem Dünndarmverschluss der hiesigen Klinik über den Zeitraum von einem Jahr entspricht. Die Fallzahl und die Ergebnisse geben somit einen guten Überblick über die örtliche Situation.

7 Zusammenfassung

Elisabeth Mirle

Korrelation von Darmwanddicke, kapillarer Sauerstoffversorgung und subjektiver Beurteilung der Schädigung des Dünndarmes beim equinen Kolikpatienten.

Kolik ist nach dem Alter die häufigste Ursache für das Versterben von Pferden. Vor allem während einer Kolikoperation wird der Chirurg bei der Einschätzung des betroffenen Darmsegmentes stark herausgefordert, was häufig über die Prognose des Patienten entscheidet. Schäden, die durch Ischämie und Reperfusion aufgrund von Strangulationen des Darmes entstehen, gehen oftmals mit einer Verdickung der Darmwand einher. Sie müssen jedoch nicht immer makroskopisch sichtbar sein und können daher postoperativ zu massiven Komplikationen führen. Die Sauerstoffsättigung und die Versorgung der empfindlichen Villi der Mukosa mit Sauerstoff spielen eine bedeutende Rolle in der heutigen Forschung bezüglich der Schädigung des Darmes durch Ischämie und Reperfusion, sowie der Entstehung eines postoperativen paralytischen Ileus.

Ziel der vorliegenden Dissertation war es, die Korrelation zwischen Verdickung der Darmwand, Absenkung der kapillaren Sauerstoffsättigung und der chirurgischen Evaluation zu untersuchen.

Es sollten die zwei objektiven Messmethoden mit der subjektiven und häufig als einzige Methode angewendeten chirurgischen Einschätzung verglichen werden. Mittels Laser-Doppler-Spektroskopie und Weißlichtspektroskopie sollte eine zusätzliche Informationsquelle und Möglichkeit zur Entscheidungsfindung für Chirurgen getestet werden. Diese sollte später als eine intraoperativ anwendbare Hilfestellung bei fraglichen geschädigten Darmsegmenten zur Verfügung stehen.

Bei 32 Pferden, die wegen eines Ileus im Dünndarmbereich notoperiert wurden, wurde intraoperativ mittels Laser-Doppler-Spektroskopie und Weißlichtspektroskopie der relative Blutfluss, die kapillare Sauerstoffsättigung und der relative Hämoglobingehalt an sechs verschiedenen Messpunkten bestimmt. Neben dem stenosenotischen Messpunkt wurden Daten an prä- und poststenotischen Messpunkten, sowie am Caecum, Colon ascendens und Colon descendens

gesammelt. Zusätzlich wurde jeder Darmabschnitt durch einen erfahrenen Chirurgen hinsichtlich der Serosafarbe, der Darmwanddicke, der Peristaltik, sowie der Gefäßzeichnung oder eventuellen Auflagerungen evaluiert und die Darmwanddicke ultrasonografisch im Quer- und Längsschnitt gemessen. Es erfolgte eine Untersuchung der Korrelationen der einzelnen Parameter untereinander, sowie ein Gruppenvergleich zwischen den Patienten, die vom Chirurgen als resektions- oder nicht resektionspflichtig eingestuft wurden.

Auf Basis der Untersuchungen konnten vor allem im steno-, sowie poststenotischem Messpunkt signifikante, korrelierende Ergebnisse zwischen den einzelnen Parametern festgestellt werden. Im stenostenotischen Darmsegment konnte bei Verdickung der Darmwand ein Absinken des relativen Blutflusses gemessen werden, welcher ebenfalls mit der chirurgischen Evaluierung und einer Steigerung des relativen Hämoglobinwertes korrelierte. Das Ziel, mittels Darmwanddickenmessung Rückschlüsse auf die kapillare Sauerstoffsättigung ziehen zu können konnte nicht im steno-, wohl aber im poststenotischen Messpunkt erreicht werden. Ebenfalls waren in diesem Messpunkt der relative Blutfluss und die Darmwanddicke erneut negativ miteinander korreliert. Eine umfassende Beurteilung des geschädigten Dünndarmabschnittes war durch die Verwendung von Laser-Doppler-Spektroskopie und Weißlichtspektroskopie leicht möglich und wird zukünftig eine bessere Einschätzung der Resektionspflicht des Darmes ermöglichen. Ein Einfluss eines Dünndarmileus auf den Dickdarm konnte weder für die Darmwanddicke mittels Ultraschall, noch für die Durchblutung mithilfe Laser-Doppler- und Weißlichtspektroskopie gemessen werden.

Im Gruppenvergleich des stenostenotischen Messpunktes konnte eine Korrelation zwischen Absinken der kapillaren Sauerstoffsättigung und Verdickung der Darmwand innerhalb der nicht resektionspflichtigen Gruppe beobachtet werden. Dies führt zu der Erkenntnis, dass bei intakten arteriellen Gefäßen innerhalb einer hämorrhagischen Infarzierung, Rückschlüsse auf die kapillare Sauerstoffsättigung anhand der Darmwanddicke gezogen werden können. Im Falle einer fortgeschrittenen hämorrhagischen Infarzierung oder arteriovenösen Ischämie, in der die Gefäße okkludiert sind, konnte eine solche Korrelation nicht nachvollzogen werden. Daher sind diesbezüglich keine Rückschlüsse möglich.

Die Gesamtergebnisse der vorliegenden Studie lassen keine grundlegende Bestätigung oder Ablehnung der Hypothese zu. Unklar ist auch, inwieweit die prä- und perioperativen Medikamente einen Einfluss auf die Ergebnisse und deren Interpretation haben. Um den Einfluss der Parameter unter- und aufeinander gezielter untersuchen und eine fundierte Aussage treffen zu treffen, sind weitere, vor allem experimentell geplante Studien inklusive Mehrfachmessungen mittels Laser-Doppler- und Weißlichtspektroskopie notwendig und empfehlenswert. Desweiteren ist darauf zu achten, den Ischämietyp sowie die Dauer der Ischämie zu normen um eine breite Streuung der Ergebnisse wie im stenosenotischen Messpunkt der vorliegenden Dissertation zu vermeiden.

8 Summary

Elisabeth Mirle

Correlation between intestinal wall thickening, capillary oxygen saturation and subjective evaluation of strangulated small intestine in the equine colic patient

Following age, colic is the most common cause of death among horses. Especially during abdominal surgery, the surgeon faces a considerable challenge in evaluating the affected bowel segment, which often determines the prognosis of the patient. Injuries which develop due to ischaemia and reperfusion on the basis of strangulation of the intestine are often accompanied by thickening of the intestinal wall. These injuries do not have to be macroscopically visible, but can lead to massive postoperative complications. Oxygen saturation and the supply of oxygen to the sensitive cells of the mucosal villi play an important role in today's research regarding injuries of the intestine due to ischaemia and reperfusion, as well as the development of postoperative paralytic ileus.

The aim of this doctoral thesis was to investigate the correlation between thickening of the intestinal wall, the reduction of capillary oxygen saturation and surgical evaluation.

Two objective measurement methods should be compared to subjective surgical evaluation, which is often the only method performed. New possibilities and additional sources of information should be tested using laser-Doppler spectroscopy and white light spectroscopy, especially for surgeons. Moreover, these should be available as a means of intraoperative support for questionably injured bowel segments.

In this study, data on capillary oxygen saturation, relative blood flow and the relative amount of haemoglobin were collected using laser-Doppler spectroscopy and white light spectroscopy at six different measurement points in 32 horses referred for emergency abdominal surgery due to an ileus in the small intestine. In addition to examining the strangulated segment, data were gathered at pre- and post-stenotic measurement points, as well as in the caecum, colon ascendens and colon descendens. Furthermore, each bowel segment was evaluated by an experienced surgeon regarding the colour of the serosa, intestinal wall thickness and the

peristalsis, as well as vascular drawing and possible plaques. Intestinal wall thickness was measured longitudinally and in a cross section using ultrasound. Correlation analysis was performed between the individual parameters and a group comparison was made between bowel classified by the surgeon as requiring resection and intestine that could be managed without resection. Based on these investigations, statistically significant results were detected, especially in the strangulated segment and at the post-stenotic measuring point. In the strangulated segment, a thickening of the intestinal wall was associated with a decrease in the relative blood flow, which again was correlated with surgical evaluation and an increase in the relative amount of haemoglobin. It was not possible to draw conclusions concerning capillary oxygen saturation using intestinal wall thickness measurements. However, this was possible at the post-stenotic measurement point. At this point, the relative blood flow was again negatively correlated with the intestinal wall thickness. A comprehensive assessment of the injured segment of the small intestine was easily possible using laser-Doppler spectroscopy and white light spectroscopy. Soon this will allow a better evaluation of the need for bowel resection. It was not possible to detect an influence of an ileus in the small intestine on the large intestine either by ultrasound or by laser-Doppler spectroscopy or white light spectroscopy for blood circulation. In the group comparison, a strong correlation between a decrease in capillary oxygen saturation and thickening of the intestinal wall could be detected for the group managed without resection. This leads to the finding that in venous ischaemia with intact arterial vessels, it is possible to draw conclusions regarding oxygenation using intestinal wall thickness. In the case of prolonged venous ischaemia or arteriovenous ischaemia with occluded vessels, this correlation could not be reproduced. Therefore, no conclusions are possible.

The overall results allow no fundamental confirmation or rejection of the hypothesis. It remains unclear to what extent pre- and peri-operative medications have an influence on the results and the interpretations. To clarify the influence of the parameters on and among each other, further experimental studies with multiple measurements, using laser-Doppler spectroscopy and white light spectroscopy, are necessary and recommended. Furthermore, it is important to identify and standardise the type and duration of ischaemia to avoid such a broad distribution in the data on the strangulated bowel segment, as shown in this doctoral thesis.

9 Literaturverzeichnis

- Abraham, M., Reef, V. B., Sweeney, R. W., & Navas de Solís, C. (2014). Gastrointestinal ultrasonography of normal Standardbred neonates and frequency of asymptomatic intussusceptions. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 28(5), 1580-1586.
- Ackermann, H. (2010). BiAS. für Windows, Biometrische Analyse von Stichproben. Version 9.08. Epsilon-Verlag, Hochheim, Darmstadt.
- Adams, S. B., Lamar, C. H., & Mast, J. (1984). Motility of the distal portion of the jejunum and pelvic flexure in ponies: effects of six drugs. *American Journal of Veterinary Research*, 45(4), 795-799.
- Alef, M., & Oechtering, G. (2008). Narkoseüberwachung–Was leistet die Pulsoxymetrie?. *kleintier konkret*, 11(06), 16-23.
- Bellezzo, F., Kuhnmueller, T., & Hackett, E. S. (2014). The effect of colloid formulation on colloid osmotic pressure in horses with naturally occurring gastrointestinal disease. *BMC Veterinary Research*, 10(1), S8.
- Beccati, F., Pepe, M., Gialletti, R., Cercione, M., Bazzica, C., & Nannarone, S. (2011). Is there a statistical correlation between ultrasonographic findings and definitive diagnosis in horses with acute abdominal pain?. *Equine Veterinary Journal*, 43(s39), 98-105.
- Bithell, S., Haberson-Butcher, J. L., Bowen, I., & Hallowell, G. D. (2010). Repeatability and reproducibility of transabdominal ultrasonographic intestinal wall thickness measurements in Thoroughbred horses. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 51(6), 647-651.
- Blikslager, A. T. (2010a): Pathophysiology of mucosal injury and repair.

In: Reed, S. M., Bayly, W. M. & Sellon, D. C. (Eds): Equine internal medicine. 3rd Edition, Saunders, 794–802.
- Blikslager, A. T. (2010b): Ischemic disorders of the intestinal tract.

In: Reed, S. M., Bayly, W. M. & Sellon, D. C. (Eds): Equine internal medicine. 3rd Edition, Saunders, 876–879.

- Blikslager, A. T., Roberts, M. C., Rhoads, J. M., & Argenzio, R. A. (1997). Is reperfusion injury an important cause of mucosal damage after porcine intestinal ischemia?. *Surgery*, 121(5), 526-534.
- Blikslager, A. T. (2003). Treatment of gastrointestinal ischemic injury. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 19(3), 715-727.
- Breitenstein, M., Theuß, T., Schoon, H.A., Barsnick, R., Walliser, U., Scheidemann, W., Bienert, A., Donandt, D., Stadtbäumer, G., Werhahn, H., Hell, H., Snyder, A. & Schusser, G.F. (2015) Klinische Feldstudie zur Evaluierung und Graduierung histomorphologischer Veränderungen ischämischer Dünn- und Dickdarmregionen nach Strangulation. *Pferdeheilkunde* 31(6), 559–570.
- Brünisholz, H. P., Schwarzwald, C. C., Bettschart-Wolfensberger, R., & Ringer, S. K. (2015). Effects of 10% hydroxyethyl starch (HES 200/0.5) solution in intraoperative fluid therapy management of horses undergoing elective surgical procedures. *The Veterinary Journal*, 206(3), 398-403.
- Busoni, V., De Busscher, V., Lopez, D., Verwilghen, D., & Cassart, D. (2011). Evaluation of a protocol for fast localised abdominal sonography of horses (FLASH) admitted for colic. *The Veterinary Journal*, 188(1), 77-82.
- Carden, D. L., & Granger, D. N. (2000). Pathophysiology of ischemia-reperfusion injury. *The Journal of Pathology*, 190(2), 255.
- Cavalleri, J. M. V., Bienert-Zeit, A., & Feige, K. (2013). Untersuchung des akut kolikranken Pferdes – labordiagnostische und bildgebende Verfahren. *Tierärztliche Praxis Großtiere*, 41(2), 124-134.
- Chiu, C. J., McArdle, A. H., Brown, R., Scott, H. J., & Gurd, F. N. (1970). Intestinal mucosal lesion in low-flow states: I. A morphological, hemodynamic, and metabolic reappraisal. *Archives of Surgery*, 101(4), 478-483.
- Cohen MV (1989) Free radicals in ischemic and reperfusion myocardial injury: A selective Review. *Annals of Internal Medicine* 111 (11) 918–931.
- Cook, V. L., & Hassel, D. M. (2014). Evaluation of the colic in horses: decision for referral. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 30(2), 383-398.

- Dabareiner, R. M., Snyder, J. R., Sullins, K. E., White 2nd, N. A., & Gardner, I. A. (1993). Evaluation of the microcirculation of the equine jejunum and ascending colon after ischemia and reperfusion. *American Journal of Veterinary Research*, 54(10), 1683-1692.
- Dabareiner, R. M., Sullins, K. E., Snyder, J. R., White 2nd, N. A., & Gardner, I. A. (1993). Evaluation of the microcirculation of the equine small intestine after intraluminal distention and subsequent decompression. *American Journal of Veterinary Research*, 54(10), 1673-1682.
- Dabareiner, R. M., White, N. A., & Donaldson, L. L. (2001). Effects of intraluminal distention and decompression on microvascular permeability and hemodynamics of the equine jejunum. *American Journal of Veterinary Research*, 62(2), 225-236.
- Dancker, C. (2016). Einfluss verschiedener Katecholamine auf die Mikroperfusion und Oxygenierung des Gastrointestinaltraktes beim Pferd in Allgemeinanästhesie. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Dancker, C., Hopster, K., Rohn, K. & Kästner, S. (2015). Einfluss verschiedener Katecholamine auf die Mikroperfusion und Oxygenierung des Gastrointestinaltraktes beim Pferd in Allgemeinanästhesie.

In: Tagung der DVG Fachgruppe „Veterinärmedizinische Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin & Schmerzmedizin (VAINS). DVG Kongress 2015 Berlin.
- Darmanin, G., Jaggard, M., Hettiaratchy, S., Nanchahal, J., & Jain, A. (2013). Evaluating optimal superficial limb perfusion at different angles using non-invasive micro-lightguide spectrophotometry. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 66(6), 821-826.
- Dart, A. J., Snyder, J. R., Julian, D., & Hinds, D. M. (1992). Microvascular circulation of the small intestine in horses. *American Journal of Veterinary Research*, 53(6), 995-1000.
- Davies, J. V., & Gerring, E. L. (1983). Electromechanical activity of the equine small intestine and its correlation with transit of fluid through Thiry-Vella loops. *Research in Veterinary Science*, 34(3), 327-333.

- De Gruyter (2007). Ileus.

In: De Gruyter (Ed.) Pschyrembel klinisches Wörterbuch. 261. Auflage, WDEG Verlag, 888–889.

- Dias, B. P., Araújo, M. A. D., Deschk, M., Trein, T. A., Pinheiro, N. C., Perri, S. H. V., Rodrigues, C. A. & Santos, P. S. P. D. (2014). Effects of a continuous rate infusion of butorphanol in isoflurane-anesthetized horses on cardiorespiratory parameters, recovery quality, gastrointestinal motility and serum cortisol concentrations. *Acta cirurgica brasileira*, 29(12), 801-806.
- Ducharme, N. G., Hackett, R. P., Ducharme, G. R., & Long, S. (1983). Surgical treatment of colic results in 181 horses. *Veterinary Surgery*, 12(4), 206-209.
- Edwards, G. B. (1986). Resection and anastomosis of small intestine: current methods applicable to the horse. *Equine Veterinary Journal*, 18(4), 322-330.
- Ehrlein, H. (2005). Motorik des Dünndarmes.

In: von Engelhardt W & Breves G (Eds.) Physiologie der Haustiere, 2. Auflage, Enke Verlag, 343–349.
- Epstein, K., Short, D., Parente, E., Reef, V., & Southwood, L. (2008). Gastrointestinal ultrasonography in normal adult ponies. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 49(3), 282-286.
- Epstein, K., Short, D., Parente, E., Reef, V., & Southwood, L. (2008). Serial gastrointestinal ultrasonography following exploratory celiotomy in normal adult ponies. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 49(6), 584-588.
- Ernster, L. (1988). Biochemistry of reoxygenation injury. *Critical care medicine*, 16(10), 947-953.
- Flaherty, J. T., & Weisfeldt, M. L. (1988). Reperfusion injury. *Free Radical Biology and Medicine*, 5(5-6), 409-419.
- Franz, S. (2013). Effekt selektiver und nicht selektiver nichtsteroidaler Antiphlogistika auf die Entzündungsreaktion von durch Ischämie und Reperfusion geschädigtem equinem Jejunum. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.

- Freeman, D. E., & Grosche, A. (2012). Ischemia in equine intestine-mechanisms of injury and methods of treatment. *Pferdeheilkunde*, 28(4), 366-387.
- Freeman, D. E., & Schaeffer, D. J. (2001). Age distributions of horses with strangulation of the small intestine by a lipoma or in the epiploic foramen: 46 cases (1994-2000). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 219(1), 87-89.
- Freeman, D. E., Cimprich, R. E., Richardson, D. W., Gentile, D. G., Orsini, J. A., Tulleners, E. P., & Fetrow, J. P. (1988). Early mucosal healing and chronic changes in pony jejunum after various types of strangulation obstruction. *American Journal of Veterinary Research*, 49(6), 810-818.
- Freeman, D. E., & Schaeffer, D. J. (2005). Short-term survival after surgery for epiploic foramen entrapment compared with other strangulating diseases of the small intestine in horses. *Equine Veterinary Journal*, 37(4), 292-295.
- Freeman, D. E. (2008). Intestinal viability.

In: White, Moore & Mair (Eds.) The equine acute abdomen, 2nd Edition, Teton NewMedia, 502–512.
- Freeman, D. E., Gentile, D. G., Richardson, D. W., Fetrow, J. P., Tulleners, E. P., Orsini, J. A., & Cimprich, R. (1988). Comparison of clinical judgment, Doppler ultrasound, and fluorescein fluorescence as methods for predicting intestinal viability in the pony. *American Journal of Veterinary Research*, 49(6), 895-900.
- Freeman, D. E., Hammock, P., Baker, G. J., Goetz, T., Foreman, J. H., Schaeffer, D. J., Richter, R.-A., Inoue, O. & Magid, J. H. (2000). Short-and long-term survival and prevalence of postoperative ileus after small intestinal surgery in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 32(S32), 42-51.
- Freeman, D. E., Schaeffer, D. J., & Cleary, O. B. (2014). Long-term survival in horses with strangulating obstruction of the small intestine managed without resection. *Equine Veterinary Journal*, 46(6), 711-717.
- Freeman, S. (2002a). Ultrasonography of the equine abdomen: techniques and normal findings. *In Practice*, 24(4), 204-211.

- Freeman, S. (2002b). Ultrasonography of the equine abdomen: findings in the colic patient. *In Practice*, 24(5), 262-273.
- Freeman, S. L., & England, G. C. W. (2001). Effect of romifidine on gastrointestinal motility, assessed by transrectal ultrasonography. *Equine Veterinary Journal*, 33(6), 570-576.
- Freeman, S. L. (2003). Diagnostic ultrasonography of the mature equine abdomen. *Equine Veterinary Education*, 15(6), 319-330.
- Freeman, S.L., Boswell, J.C., & Smith, R.K.W. (2001) Use of transrectal ultrasonography to aid diagnosis of small colon strangulation in two horses. *Veterinary Record*, 148, 812–813.
- Fürst, A., Kummer, M., Kümmerle, J., Bettschart Wolfensberger, R. & Schwarzwald, C. (2012) Mögliche Komplikationen der Kolikchirurgie. *Pferdeheilkunde*, 28(5), 522–530.
- Furr, M. O., Lessard, P., & Il, N. A. W. (1995). Development of a colic severity score for predicting the outcome of equine colic. *Veterinary Surgery*, 24(2), 97-101.
- Garcia-Seco, E., Wilson, D. A., Kramer, J., Keegan, K. G., Branson, K. R., Johnson, P. J., & Tyler, J. W. (2005). Prevalence and risk factors associated with outcome of surgical removal of pedunculated lipomas in horses: 102 cases (1987–2002). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 226(9), 1529-1537.
- Gomaa, N., Uhlig, A., & Schusser, G. F. (2011). Effect of Buscopan compositum on the motility of the duodenum, cecum and left ventral colon in healthy conscious horses. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr*, 124(3-4), 168-174.
- Grenager, N. S., & Durham, M. G. (2011). Ultrasonographic evidence of colonic mesenteric vessels as an indicator of right dorsal displacement of the large colon in 13 horses. *Equine Veterinary Journal*, 43(s39), 153-155.
- Grosche, A. (2000). Kolik bei Pferden- Retrospektive Studie aus dem Patientengut der Medizinischen Tierklinik Leipzig 1994–1998. Dissertation Universität Leipzig.

- Guschlbauer, M., Hoppe, S., Geburek, F., Feige, K., & Huber, K. (2010). In vitro effects of lidocaine on the contractility of equine jejunal smooth muscle challenged by ischaemia-reperfusion injury. *Equine Veterinary Journal*, 42(1), 53-58.
- Hackett, E. S., Embertson, R. M., Hopper, S. A., Woodie, J. B., & Ruggles, A. J. (2015). Duration of disease influences survival to discharge of Thoroughbred mares with surgically treated large colon volvulus. *Equine Veterinary Journal*, 47(6), 650-654.
- Hofmann, E. (2005). Der Citratzyklus und die biologische Oxidation.

In: Hofmann, E. (Ed.) *Medizinische Biochemie systematisch*, 4. Auflage, UNI-MED, 306-310.
- Hopster, K., Hopster-Iversen, C., Geburek, F., Rohn, K., & Kästner, S. B. R. (2015). Temporal and concentration effects of isoflurane anaesthesia on intestinal tissue oxygenation and perfusion in horses. *The Veterinary Journal*, 205(1), 62-68.
- Hopster K, Wogatzki A, Geburek F, Conze P & Kästner SB (2016) Effects of positive end- expiratory pressure titration on intestinal oxygenation and perfusion in isoflurane anaesthetised horses. *Equine Veterinary Journal*, doi 10.1111/evj.12555.
- Hopster, K., Wogatzki, A., Geburek, F., Conze, P., & Kästner, S. B. R. (2017). Effects of positive end-expiratory pressure titration on intestinal oxygenation and perfusion in isoflurane anaesthetised horses. *Equine veterinary journal*, 49(2), 250-256.
- Hopster-Iversen, C. C., Hopster, K., Staszuk, C., Rohn, K., Freeman, D. E., & Rötting, A. K. (2014). Effects of experimental mechanical manipulations on local inflammation in the jejunum of horses. *American Journal of Veterinary Research*, 75(4), 385-391.
- Hudson, N. P. H., & Merritt, A. M. (2008). Equine gastrointestinal motility research: where we are and where we need to go. *Equine Veterinary Journal*, 40(4), 422-428.

- Huskamp, B., Kopf, N. & Scharner, D. (2003). Die sonografische Untersuchung beim Kolikpferd.

In: Huskamp, B., Kopf, N. & Scharner, D. (Eds.) Die rektale und die sonografische Untersuchung beim Kolikpferd, 2. Auflage, wak Verlag, 101–126.
- Kilcoyne, I., Dechant, J. E., & Nieto, J. E. (2016). Comparison of clinical findings and short-term survival between horses with intestinal entrapment in the gastrosplenic ligament and horses with intestinal entrapment in the epiploic foramen. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 249(6), 660-667.
- Kirberger, R. M., Berg, J. S., Gottschalk, R. D., & Guthrie, A. J. (1995). Duodenal ultrasonography in the normal adult horse. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 36(1), 50-56.
- Klohnen, A., Vachon, A. M., & Fischer Jr, A. T. (1996). Use of diagnostic ultrasonography in horses with signs of acute abdominal pain. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 209(9), 1597-1601.
- Koenig, J., & Cote, N. (2006). Equine gastrointestinal motility—ileus and pharmacological modification. *The Canadian Veterinary Journal*, 47(6), 551.
- König, H. E. & Gerhards, H. (2010). Verdauungsorgane und Milz.

In: Wissdorf, H., Gerhards, H., Huskamp, B. & Deegen, E. (Eds.) Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. 2. Auflage, M.&H. Schaper, 689–696.
- König, H. E. & Sautet, J. & Liebich, H. G. (2005). Verdauungsapparat (Apparatus digestorius).

In: König, H. E. & Liebich, H. G. (Eds.) Anatomie der Haussäugetiere. 3. Auflage, Schattauer, 301–366.
- Kopf, N. (2012). Pathologie der Darmmotorik. *Pferdeheilkunde*, 28(4), 356–365.
- Krista, K. M., & Kuebelbeck, K. L. (2009). Comparison of survival rates for geriatric horses versus nongeriatric horses following exploratory celiotomy for colic. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 235(9), 1069-1072.
- Krug, A., Medizintechnik, L. E. A., & Schlüsselwörter, G. (2007). Mikrozirkulation und Sauerstoff-versorgung des Gewebes. *Phlebologie*, 36, 300-12.

- Ladurner, R., Feilitzsch, M., Steurer, W., Coerper, S., Königsrainer, A., & Beckert, S. (2009). The impact of a micro-lightguide spectrophotometer on the intraoperative assessment of hepatic microcirculation: a pilot study. *Microvascular research*, 77(3), 387-388.
- Latson, K. M., Nieto, J. E., Beldomenico, P. M., & Snyder, J. R. (2005). Evaluation of peritoneal fluid lactate as a marker of intestinal ischaemia in equine colic. *Equine Veterinary Journal*, 37(4), 342-346.
- le Jeune, S., & Whitcomb, M. B. (2014). Ultrasound of the equine acute abdomen. *Veterinary Clinics: Equine Practice*, 30(2), 353-381.
- Leblond, A., Villard, I., Leblond, L., Sabatier, P., & Sasco, A. J. (2000). A retrospective evaluation of the causes of death of 448 insured French horses in 1995. *Veterinary Research Communications*, 24(2), 85-102.
- Lefebvre, D., Hudson, N. P. H., Elce, Y. A., Blikslager, A., Divers, T. J., Handel, I. G., Tremaine, W. H. & Pirie, R. S. (2016b). Clinical features and management of equine post operative ileus (POI): Survey of Diplomates of the American Colleges of Veterinary Internal Medicine (ACVIM), Veterinary Surgeons (ACVS) and Veterinary Emergency and Critical Care (ACVECC). *Equine Veterinary Journal*, 48(6), 714-719.
- Lefebvre, D., Pirie, R. S., Handel, I. G., Tremaine, W. H., & Hudson, N. P. H. (2016a). Clinical features and management of equine post operative ileus: Survey of diplomates of the European Colleges of Equine Internal Medicine (ECEIM) and Veterinary Surgeons (ECVS). *Equine Veterinary Journal*, 48(2), 182-187.
- Lester, G. D. (2004). Gastrointestinal Ileus.

In: Reed, S. M., Bayly, W. M. & Sellon, D. (Eds.) *Equine Internal Medicine*, 2nd Edition, Saunders, 815-821.
- Mair, T. S., & Smith, L. J. (2005). Survival and complication rates in 300 horses undergoing surgical treatment of colic. Part 1: short-term survival following a single laparotomy. *Equine Veterinary Journal*, 37(4), 296-302.

- McAnulty, J. F., & Stone, W. C. (1997). The effects of ischemia and reperfusion on mucosal respiratory function, adenosine triphosphate, electrolyte, and water content in the ascending colon of ponies. *Veterinary Surgery*, 26(3), 172-181.
- Mehdi, S., & Mohammad, V. (2006). A farm-based prospective study of equine colic incidence and associated risk factors. *Journal of Equine Veterinary Science*, 26(4), 171-174.
- Merritt, A. M., Burrow, J. A., & Hartless, C. S. (1998). Effect of xylazine, detomidine, and a combination of xylazine and butorphanol on equine duodenal motility. *American Journal of Veterinary Research*, 59(5), 619-623.
- Merritt, A. M., Campbell-Thompson, M. L., & Lowrey, S. (1989). Effect of xylazine treatment on equine proximal gastrointestinal tract myoelectrical activity. *American Journal of Veterinary Research*, 50(6), 945-949.
- Milligan, M., Beard, W., Kukanich, B., Sobering, T., & Waxman, S. (2007). The effect of lidocaine on postoperative jejunal motility in normal horses. *Veterinary Surgery*, 36(3), 214-220.
- Mitchell, C. F., Malone, E. D., Sage, A. M., & Niksich, K. (2005). Evaluation of gastrointestinal activity patterns in healthy horses using B mode and Doppler ultrasonography. *The Canadian Veterinary Journal*, 46(2), 134.
- Moore, R. M., Muir, W. W., & Granger, D. N. (1995). Mechanisms of Gastrointestinal Ischemia-Reperfusion Injury and Potential Therapeutic Interventions: A Review and Its Implications in the Horse. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 9(3), 115-132.
- Ness, S. L., Bain, F. T., Zantingh, A. J., Gaughan, E. M., Story, M. R., Nydam, D. V., & Divers, T. J. (2012). Ultrasonographic visualization of colonic mesenteric vasculature as an indicator of large colon right dorsal displacement or 180 volvulus (or both) in horses. *The Canadian Veterinary Journal*, 53(4), 378.
- Packungsbeilage Buscopan® compositum, Boehringer Ingelheim, 2012.
- Packungsbeilage Butorgesic®, cp-pharma, 2015.
- Packungsbeilage Xylavet®, cp-pharma, 2014.

- Pfarrer, C. (2013). Darm (Intestinum).

In: Mülling, C., Pfarrer, C., Reese, S., Kölle, S. & Budras, K.-D. (Eds.) Atlas der Anatomie des Pferdes, 7. Auflage, Schlütersche, 118–123.
- Porzuczek, A., Kielbowicz, Z., & Haines, G. (2012). The use of percutaneous abdominal ultrasound examination in diagnosing equine small intestinal disorders. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 15(4), 759-766.
- Prichard, M., Ducharme, N. G., Wilkins, P. A., Erb, H. N., & Butt, M. (1991). Xanthine oxidase formation during experimental ischemia of the equine small intestine. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 55(4), 310.
- Puotonen-Reinert, A. & Huskamp, B. (1985a) Differentialdiagnostik beim Kolikpferd aus chirurgischer Sicht. *Pferdeheilkunde*, 1, 201–208.
- Puotonen-Reinert, A. & Huskamp, B. (1985b) Möglichkeiten der Prognostik beim chirurgischen Kolikpferd: Untersuchung von 110 Fällen. *Pferdeheilkunde*, 1, 123–129.
- Reichert, C., Kästner, S. B., Hopster, K., Rohn, K., & Rötting, A. K. (2014). Use of micro-lightguide spectrophotometry for evaluation of microcirculation in the small and large intestines of horses without gastrointestinal disease. *American Journal of Veterinary Research*, 75(11), 990-996.
- Rosenfeld, I., Austbø, D., & Volden, H. (2006). Models for estimating digesta passage kinetics in the gastrointestinal tract of the horse. *Journal of Animal Science*, 84(12), 3321-3328.
- Rowe, E. L., & White, N. A. (2002). Reperfusion injury in the equine intestine. *Clinical techniques in Equine Practice*, 1(3), 148-162.
- Salomon, F.-V. (2008). Darm, Intestinum (Enteron).

In: Salomon, F.-V., Geyer, H. & Gille, U. (Eds.) Anatomie für die Tiermedizin, 2. Auflage, Enke, 293-301.

- Sanchez, L. C., Elfenbein, J. R., & Robertson, S. A. (2008). Effect of acepromazine, butorphanol, or N-butyloscopolammonium bromide on visceral and somatic nociception and duodenal motility in conscious horses. *American Journal of Veterinary Research*, 69(5), 579-585.
- Sanchez, L. C. (2010). Examination for disorders of the gastrointestinal tract.
In: Reed, S. M., Bayly, W. M. & Sellon, D. C. (Eds.) *Equine Internal Medicine*, 3rd Edition, Saunders, 782.
- Sasaki, N., & Yoshihara, T. (1999). The effect of motilin on the regulation mechanism of intestinal motility in conscious horses. *Journal of Veterinary Medical Science*, 61(2), 167-170.
- Scharner, D. & Bankert, J. (2015). Rektale Untersuchung versus sonographische Untersuchung beim Kolikpferd.
In: XXI Tagung über Pferdekrankheiten, Essen 2014, 96–99.
- Scharner, D., Gerlach, K., & Rasch, K. (2002). Sonographische Untersuchung des akuten Abdomens beim Pferd. *Pferdeheilkunde*, 18, 57-63.
- Scharner, D., Rötting, A., Gerlach, K., Rasch, K., & Freeman, D. E. (2002). Ultrasonography of the abdomen in the horse with colic. *Clinical Techniques in Equine Practice*, 1(3), 118-124.
- Schemann, M. (2005). Enterisches Nervensystem und Innervation des Magen-Darm-Traktes.
In: von Engelhardt, W. & Breves, G. (Eds.) *Physiologie der Haustiere*. 2. Auflage, Enke Verlag, 318–326.
- Schoon, H. A., Ellenberger, C. & Gruber, A. D. (2015). Infarkt.
In: Baumgärtner, W. & Gruber, A. D. (Eds.) *Allgemeine Pathologie für die Tiermedizin*. 2. Auflage, Enke Verlag, 124–125.
- Schummer, A. & Habermehl, K. H. (1987). Rumpfdarm des Pferdes.
In: Nickel, R., Schummer, A. & Seiferle, E. (Eds.) *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band II Eingeweide*. 6. Auflage, Verlag Paul Parey, 194–212.

- Sheats, M. K., Cook, V. L., Jones, S. L., Blikslager, A. T., & Pease, A. P. (2010). Use of ultrasound to evaluate outcome following colic surgery for equine large colon volvulus. *Equine Veterinary Journal*, 42(1), 47-52.
- Singh, S., McDonnell, W. N., Young, S. S., & Dyson, D. H. (1996). Cardiopulmonary and gastrointestinal motility effects of xylazine/ketamine-induced anesthesia in horses previously treated with glycopyrrolate. *American Journal of Veterinary Research*, 57(12), 1762-1770.
- Snyder, J. R., Olander, H. J., Pascoe, J. R., Holland, M., & Kurpershoek, C. J. (1988). Morphologic alterations observed during experimental ischemia of the equine large colon. *American Journal of Veterinary Research*, 49(6), 801-809.
- Snyder, J. R., Pascoe, J. R., Holland, M., & Kurpershoek, C. J. (1986). Surface oximetry of healthy and ischemic equine intestine. *American Journal of Veterinary Research*, 47(12), 2530-2535.
- Snyder, J. R., Pascoe, J. R., Olander, H. J., Hinds, D. M., Young, R., & Tyler, W. S. (1990). Vascular injury associated with naturally occurring strangulating obstructions of the equine large colon. *Veterinary Surgery*, 19(6), 446-455.
- Sojka, J. E., Adams, S. B., Lamar, C. H., & Eller, L. L. (1988). Effect of butorphanol, pentazocine, meperidine, or metoclopramide on intestinal motility in female ponies. *American Journal of Veterinary Research*, 49(4), 527-529.
- Southwood, L. L., Gassert, T., & Lindborg, S. (2010). Colic in geriatric compared to mature nongeriatric horses. Part 2: Treatment, diagnosis and short-term survival. *Equine Veterinary Journal*, 42(7), 628-635.
- Stephen, J. O., Corley, K. T., Johnston, J. K., & Pfeiffer, D. (2004). Factors associated with mortality and morbidity in small intestinal volvulus in horses. *Veterinary Surgery*, 33(4), 340-348.
- Stick, J. A., Arden, W. A., Chou, C. C., Parks, A. H., Wagner, M. A., & Johnston, C. C. (1988). Effects of flunixin meglumine on jejunal blood flow, motility, and oxygen consumption in ponies. *American Journal of Veterinary Research*, 49(7), 1173-1178.

- Sullins, K. E., Stashak, T. S., & Mero, K. N. (1985). Evaluation of fluorescein dye as an indicator of small intestinal viability in the horse. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 186(3), 257-261.
- Tappenbeck, K., Hoppe, S., Reichert, C., Feige, K., & Huber, K. (2013). In vitro effects of lidocaine on contractility of circular and longitudinal equine intestinal smooth muscle. *The Veterinary Journal*, 198(1), 170-175.
- Teschner, D., Schmitz, R. R. & Gehlen, H. (2012) Peritonitis durch ein perforierendes Magenulcus als Kolikursache bei einem Friesenwallach- ein Fallbericht. *Pferdeheilkunde*, 28(4), 447–450.
- Tinker, M. K., White, N. A., Lessard, P., Thatcher, C. D., Pelzer, K. D., Davis, B., & Carmel, D. K. (1997). Prospective study of equine colic incidence and mortality. *Equine Veterinary Journal*, 29(6), 448-453.
- Ullrich, G. (1984) Das Blutgefäß- System des Dünndarmes vom Pferd (Korrosionsanatomische, histologische und elektronenmikroskopische Untersuchungen). Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Urbanavičius, L., Pattyn, P., Van de Putte, D., & Venskutonis, D. (2011). How to assess intestinal viability during surgery: a review of techniques. *World Journal of Gastrointestinal Surgery*, 3(5), 59.
- Van den Boom, R., & Van der Velden, M. A. (2001). Surgery: Short-and long-term evaluation of surgical treatment of strangulating obstructions of the small intestine in horses: A review of 224 cases. *Veterinary Quarterly*, 23(3), 109-115.
- Hoogmoed, L. M. V., Nieto, J. E., Spier, S. J., & Snyder, J. R. (2004). In vivo investigation of the efficacy of a customized solution to attenuate injury following low-flow ischemia and reperfusion injury in the jejunum of horses. *American Journal of Veterinary Research*, 65(4), 485-490.
- van Loon, J. P., Jonckheer-Sheehy, V. S., Back, W., van Weeren, P. R., & Hellebrekers, L. J. (2014). Monitoring equine visceral pain with a composite pain scale score and correlation with survival after emergency gastrointestinal surgery. *The Veterinary Journal*, 200(1), 109-115.

- Wilkens, H. & Münster, W. (1984). Arterien, Arteriae & Venen, Venae.

In: Nickel, R., Schummer, A. & Seiferle, E. (Eds) Lehrbuch der Anatomie der Haustiere III. 2. Auflage, Verlag Paul Parey, 166–182 & 268–272.
- Wittenberg-Voges, L., Hopster, K., Kästner, S. (2015). Einfluss von Alpha-2-Agonisten und MK-467 auf die Mikroperfusion des Gastrointestinaltraktes beim Pferd in Allgemeinanästhesie –vorläufige Ergebnisse.

In: Tagung der DVG Fachgruppe „Veterinärmedizinische Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin & Schmerzmedizin (VAINS)“, DVG Kongress 2015, Berlin.
- Wogatzki, A. (2016). Effekt selektiver und nicht selektiver nichtsteroidaler Antiphlogistika auf die in vitro Kontraktilität von durch Ischämie und Reperfusion geschädigtem, equinem Jejunum. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.
- www.lea.de/deu, Aufrufdatum 25.10.2016.
- Zullian, C., Menozzi, A., Pozzoli, C., Poli, E., & Bertini, S. (2011). Effects of α 2-adrenergic drugs on small intestinal motility in the horse: an in vitro study. *The Veterinary Journal*, 187(3), 342-346.

10 Anhang

10.1 Protokoll zur Datenerhebung

Befundbogen zur Erhebung der Daten für das Dissertationsvorhaben Mirle

Patientenbesitzer: _____ Nummer easyvet: _____

Straße, Wohnort: _____

Pferdename: _____ Rasse: _____ Alter: _____

Geschlecht: ☐ Hengst ☐ Wallach ☐ Stute Körpermasse: _____ kg

Zeitpunkt des Erstauftretens der Koliksymptomatik bis Einlieferung in Klinik: _____ h

Vorbehandlung durch HTA: ☐ ja ☐ nein Verabreichte Medikamente: _____

Datum OP: _____ Uhrzeit OP: _____ Schnitt: _____ Dauer OP: _____ h

Sitz der Primärerkrankung :

Sitz der Sekundärerkrankung:

Operationsbefund:

Diagnose:

Chronische, organisierte Fibrinauflagerungen: ☐ ja ☐ nein

Verklebungen: ☐ ja ☐ nein

Bridenbildung: ☐ ja ☐ nein

Bemerkung (Zusatzbefunde etc.):

Therapie:

Reposition: ☐ ja ☐ nein

manuelle Beseitigung einer Obstipation: ☐ ja ☐ nein

Enterotomie: ☐ ja ☐ nein Lokalisation: _____

Resektion: ☐ ja ☐ nein Gesamtlänge: _____ m

Euthanasie in tabula: ☐ ja ☐ nein

Anhang

Klinische Befunde prä OP	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
Puls (bpm)	24–44	45–52	53–60	>60
Atmung (breaths/pm)	8–13	14–16	17–18	>18
Rektale Temperatur in °C	36,9–38,5	< 36,4–36,8 bzw. 38,6– 39,0	35,9–36,3 bzw. 39,1– 39,5	<35,8 bzw. >39,6
Schleimhäute	blassrosa	porzellan	pink	Toxisch mit inj. Gefäßen
Verminderte Körperoberflächentemperatur an Akren	Kein markanter Unterschied	Ggr. zum Rumpf	Deutlicher Unterschied zum Rumpf	Eiskalt
Schweißbildung	keine	An einzelnen Akren	An mehreren Akren	Großflächig (kompletter Körper)
Verhalten	Ruhig & aufmerksam	Aufgeregt/ zu ruhig	Deutlich aufgeregt/ somnolent	Agonie; mit Nystagmus, Ophistotonus und Streckkrämpfen
Peristaltik	Physiologisch ++	Herabgesetzt +	Vermerht +++	Keine Darmgeräusche

(Punkt 1.–3. Modifiziert nach van Loon et al. 2014, Punkt 4–8 klinikeigener Score)

Befunde intra OP	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
Hämatokrit in %	30–40	25–29 bzw. 41– 45	20–24 bzw. 46– 50	< 19 bzw. > 50
Totalprotein in g/l	55–75	50–54 bzw. 76– 80	45–49 bzw. 81– 85	< 30 bzw. > 86
Laktatkonzentration im Blut (mmol/l)	<5,4	5,5–7,8	7,9–9,9	> 10
Bauchhöhlenflüssigkeit makroskopisch	Klar	Trüb	Verfärbt (blutig)	Futter- beimengungen
Proteinkonzentration im Bauchpunktat (g/l)	< 25	26–40	41–46	> 47
Laktatkonzentration im Bauchpunktat (mmol/l)	< 0,8	0,9–3,5	3,6–14,9	> 15
Geschädigte Darmlänge makroskopisch	keine	< 1m	1–3m	> 4m

(Punkt 3 und 5 nach FURR et al. 1995 , Punkt 6 nach Latson et al. 2005)

Anhang

MP1 (steno-stenotisch)	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
Adspektion	Blassrosa/ Rosa	Pink/ Petechien	Rot/Violett/ Blau/ Ecchymosen	Grau/ Schwarz/ Grün
Darmwanddicke palpatorisch	Physiologisch (< 3mm)	Teigig	Fleischig	> 1cm
Motilität	Gerichtete Kontraktionswellen	Stehende/ spastische Kontraktion	Kaum sichtbare Kontraktion	amotil
Auflagerung/ Gefäßzeichnung	keine	Injizierte Gefäße	Akute Fibrinausschwitzungen	Fibrinausschwitzungen, starke Gefäßzeichnung

MP2 (prästenotisch, 50 cm oral MP1)	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
Adspektion	Blassrosa/ Rosa	Pink/ Petechien	Rot/Violett/ Blau/ Ecchymosen	Grau/ Schwarz/ Grün
Darmwanddicke palpatorisch	Physiologisch (< 3mm)	Teigig	Fleischig	> 1cm
Motilität	Gerichtete Kontraktionswellen	Stehende/ spastische Kontraktion	Kaum sichtbare Kontraktion	amotil
Auflagerung/ Gefäßzeichnung	keine	Injizierte Gefäße	Akute Fibrinausschwitzungen	Fibrinausschwitzungen, starke Gefäßzeichnung

MP3 (post-stenotisch, 50 cm aboral MP1)	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
Adspektion	Blassrosa/ Rosa	Pink/ Petechien	Rot/Violett/ Blau/ Ecchymosen	Grau/ Schwarz/ Grün
Darmwanddicke palpatorisch	Physiologisch (< 3mm)	Teigig	Fleischig	> 1cm
Motilität	Gerichtete Kontraktionswellen	Stehende/ spastische Kontraktion	Kaum sichtbare Kontraktion	amotil
Auflagerung/ Gefäßzeichnung	keine	Injizierte Gefäße	Akute Fibrinausschwitzungen	Fibrinausschwitzungen, starke Gefäßzeichnung

Anhang

MP4 (Corpus caeci)	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
Adspektion	Blassrosa/ Rosa	Pink/ Petechien	Rot/Violett/ Blau/ Ecchymosen	Grau/ Schwarz/ Grün
Darmwanddicke palpatorisch	Physiologisch (< 5mm)	Teigig	Fleischig	> 1cm
Motilität	Gerichtete Kontraktionswellen	Stehende/ spastische Kontraktion	Kaum sichtbare Kontraktion	amotil
Auflagerung/ Gefäßzeichnung	keine	Injizierte Gefäße	Akute Fibrinausschwitzungen	Fibrinausschwitzungen, starke Gefäßzeichnung

MP5 (Flexura pelvina)	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
Adspektion	Blassrosa/ Rosa	Pink/ Petechien	Rot/Violett/ Blau/ Ecchymosen	Grau/ Schwarz/ Grün
Darmwand-dicke palpatorisch	Physiologisch (< 5mm)	Teigig	Fleischig	> 1cm
Motilität	Gerichtete Kontraktionswellen	Stehende/ spastische Kontraktion	Kaum sichtbare Kontraktion	amotil
Auflagerung/ Gefäßzeichnung	keine	Injizierte Gefäße	Akute Fibrinausschwitzungen	Fibrinausschwitzungen, starke Gefäßzeichnung

MP6 (Colon descendens)	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3
Adspektion	Blassrosa/ Rosa	Pink/ Petechien	Rot/Violett/ Blau/ Ecchymosen	Grau/ Schwarz/ Grün
Darmwanddicke palpatorisch	Physiologisch (< 5mm)	Teigig	Fleischig	> 1cm
Motilität	Gerichtete Kontraktionswellen	Stehende/ spastische Kontraktion	Kaum sichtbare Kontraktion	amotil
Auflagerung/ Gefäßzeichnung	keine	Injizierte Gefäße	Akute Fibrinausschwitzungen	Fibrinausschwitzungen, starke Gefäßzeichnung

10.2 Ausführliche Patientendaten

Pferd	Alter in Jahren	Gewicht in kg	Geschlecht	Rasse
1	17	494	Stute	Warmblut
2	21	660	Wallach	Warmblut
3	12	564	Stute	Warmblut
4	4	309	Stute	Isländer
5	16	452	Stute	Dt. Reitpony
6	20	450	Stute	Pony
7	18	460	Hengst	Haflinger
8	15	446	Wallach	Pony
9	15	260	Wallach	Pony
10	22	490	Wallach	Warmblut
11	18	500	Stute	Warmblut
12	11	580	Stute	Warmblut
13	6	566	Stute	Warmblut
14	19	294	Stute	Pony
15	20	580	Wallach	Warmblut
16	18	480	Wallach	Warmblut
17	20	375	Wallach	Isländer
18	14	730	Stute	Warmblut
19	19	450	Wallach	Dt. Reitpony
20	23	450	Wallach	Paint Horse
21	20	520	Wallach	Pony
22	7	650	Wallach	Warmblut
23	15	502	Wallach	Quarter Horse
24	4	580	Wallach	Warmblut
25	18	550	Wallach	Warmblut
26	15	500	Wallach	Araber
27	23	500	Stute	Dt. Reitpony
28	19	350	Wallach	Isländer
29	16	397	Wallach	Pony
30	24	450	Wallach	Haflinger
31	9	580	Stute	Warmblut
32	2	428	Stute	Warmblut

Tab. 11: ausführliche Patientendaten für Alter, Gewicht, Geschlecht und Rasse.

10.3 Anzahl und Art der Behandlung durch den Haustierarzt und Kolikdauer der Patienten

Pferd	Wirkstoffe der angewendeten Medikamente	Anzahl der Behandlung	Kolikdauer in Stunden	Spätere Gruppenzuordnung
1	unbekannt	1	6	2
2	Butylscopolamin, Metamizol, Detomidin	1	3	2
3	1. Butylscopolamin 2. Flunixin- Meglumin 3. unbekannt	3	9,5	1
4	Metamizol	1	5	2
5	Butylscopolamin, Metamizol	1	4	2
6	1. Butylscopolamin, Metamizol 2. Metamizol	2	4	1
7	Butylscopolamin, Metamizol	1	2	1
8	unbekannt	1	10	2
9	Butylscopolamin, Metamizol	1	8	2
10	1. unbekannt 2. Flunixin-Meglumin	2	12	2
11	Butylscopolamin, Flunixin-Meglumin, Infusion	1	10	2
12	Butylscopolamin	1	2	1
13	1. Butylscopolamin, Metamizol 2. unbekannt	2	5,5	1
14	Butylscopolamin, Metamizol	1	2	1
15	Butylscopolamin, Metamizol, Flunixin-Meglumin	1	3	1
16	Butylscopolamin, Flunixin-Meglumin, Dexamethason	1	6	2
17	Butylscopolamin, Flunixin-Meglumin	1	3	2
18	Butylscopolamin, Metamizol, Infusion	1	4,5	1
19	Metamizol	1	3	2
20	Metamizol, Detomidin	1	2	1
21	Butylscopolamin, Flunixin-Meglumin, Homöopatika	1	3	2
22	Butylscopolamin, Metamizol	1	2	2
23	1. Butylscopolamin, Dexamethason 2. Flunixin-Meglumin	2	8	1

Pferd	3. Wirkstoffe der angewendeten Medikamente	Anzahl der Behandlung	Kolikdauer in Stunden	Spätere Gruppenzuordnung
24	Butylscopolamin, Metamizol, Flunixin-Meglumin, Homöopatika	1	5	1
25	Butylscopolamin, Metamizol, Flunixin-Meglumin, Butorphanol, Infusion	1	3,5	2
26	1. Flunixin-Meglumin 2. Flunixin-Meglumin, Butylscopolamin	2	5	1
27	Butylscopolamin, Infusion	1	12	2
28	1. Butylscopolamin, Metamizol 2. Flunixin-Meglumin	2	20	2
29	1. Butylscopolamin, Metamizol 2. Metamizol	2	9	1
30	Butylscopolamin, Metamizol, Flunixin-Meglumin, Butorphanol	1	4	1
31	1. Butylscopolamin, Metamizol 2. Butylscopolamin, Homöopatika	2	3	1
32	1. unbekannt 2. Butylscopolamin, Flunixin-Meglumin, Detomidin	2	9	1
Durchschnittliche Kolikdauer: Kolikdauer Gruppe 1: Kolikdauer Gruppe 2: Kolikdauer einmalige Behandlung: Kolikdauer zweimalige Behandlung:		5,9 ± 3,9 Stunden 4,8 ± 2,6 Stunden 6,9 ± 4,7 Stunden 4,7 ± 2,8 Stunden 8,5 ± 4,7 Stunden		

Tab. 12: Anzahl und Art der Behandlung durch den Haustierarzt und Kolikdauer, sowie spätere Gruppenzuteilung aller Patienten.

10.4 Patientendaten an MP1

Pferd	FLOW ^a	SO ₂ ^a	Hb ^a	DW ^b	SCORE ^c
1	60,0	72,0	112,0	2,2	7
2	30,0	41,0	110,0	3,6	7
3	118,0	0,0	108,0	2,9	7
4	278,0	85,0	53,0	2,6	7
5	75,0	41,0	103,0	3,1	9
6	302,0	81,0	101,0	5,1	5
7	15,0	54,0	119,0	5,2	7
8	5,0	0,0	114,0	3,8	8
9	30,0	48,0	170,0	4,7	8
10	2,0	62,0	123,0	7,9	9
11	41,0	40,0	173,0	4,3	11
12	65,0	0,0	104,0	7,1	4
13	20,0	38,0	99,0	3,2	5
14	169,0	94,0	82,0	1,6	0
15	2,0	0,0	102,0	2,5	7
16	39,0	0,0	100,0	5,1	7
17	115,5	0,0	121,0	1,3	9
18	292,0	49,0	83,0	1,6	1
19	7,0	13,0	126,0	6,5	7
20	261,0	96,0	94,0	2,5	1
21	0,0	39,0	61,0	1,9	8
22	1,0	96,0	23,0	5,2	9
23	96,0	47,0	57,0	1,7	3
24	350,0	72,0	54,0	1,6	7
25	12,0	12,0	28,0	2,4	10
26	296,0	84,0	88,0	1,5	2
27	146,0	61,0	100,0	1,1	8
28	0,0	40,0	101,0	1,4	6
29	212,0	60,0	74,0	1,1	1
30	165,0	94,0	82,0	1,5	3
31	50,0	31,0	101,0	2,3	4
32	239,0	94,0	86,0	1,3	0

Tab. 13: Patientendaten an MP1

FLOW:	Blutfluss in au	a:	Median
SO ₂ :	Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in au	b:	Mittelwert
Hb:	relativer Hämoglobingehalt in au	c:	ganze Zahl
DW:	Darmwanddicke in mm		
SCORE:	Bewertung durch Chirurgen		

10.5 Patientendaten an MP2

Pferd	FLOW ^a	SO2 ^a	Hb ^a	DW ^b	SCORE ^c
1	265,0	96,0	108,0	2,0	1
2	271,0	85,0	98,0	3,0	6
3	243,0	98,0	80,0	1,8	5
4	293,0	82,0	99,0	2,7	3
5	66,0	33,0	102,0	4,1	5
6	296,0	91,0	101,0	3,0	5
7	337,0	91,0	96,0	1,9	1
8	376,5	83,5	93,0	1,4	4
9	481,0	85,0	105,0	1,8	0
10	78,0	14,0	89,0	1,3	1
11	135,0	54,0	110,0	2,8	5
12	236,0	87,0	99,0	1,6	0
13	375,5	96,5	94,0	2,1	0
14	337,0	96,0	93,0	2,3	0
15	78,0	45,0	93,0	1,0	1
16	107,0	91,0	109,0	1,4	0
17	343,5	85,0	105,5	1,4	5
18	146,5	39,5	70,0	1,4	1
19	242,0	0,0	102,0	2,2	3
20	343,0	95,0	93,0	1,5	0
21	248,0	86,0	84,0	1,7	4
22	435,0	90,0	93,0	1,1	1
23	300,0	74,0	91,0	1,7	3
24	*	*	*	*	*
25	225,5	88,5	67,0	1,4	0
26	168,0	42,0	69,0	2,0	1
27	348,0	77,0	95,0	1,3	0
28	35,0	65,5	99,0	1,0	4
29	291,0	98,0	88,0	1,4	1
30	297,0	63,0	78,0	2,1	0
31	302,0	89,0	98,0	1,9	0
32	310,0	91,0	96,0	1,4	2

Tab. 14: Patientendaten an MP2

FLOW:	Blutfluss in au	a:	Median
SO2:	Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in au	b:	Mittelwert
Hb:	relativer Hämoglobingehalt in au	c:	ganze Zahl
DW:	Darmwanddicke in mm	*:	keine Messwerte
SCORE:	Bewertung durch Chirurgen		

10.6 Patientendaten an MP3

Pferd	FLOW ^a	SO2 ^a	Hb ^a	DW ^b	SCORE
1	149,0	88,0	92,0	3,0	1
2	130,0	92,0	87,0	1,8	8
3	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*
5	231,0	73,0	106,0	3,0	1
6	232,0	94,0	76,0	2,2	1
7	*	*	*	*	*
8	261,0	84,0	73,0	2,0	2
9	*	*	*	*	*
10	162,0	67,0	77,0	2,3	0
11	*	*	*	*	*
12	*	*	*	*	*
13	371,0	63,0	94,0	1,9	0
14	252,0	98,0	71,0	1,9	0
15	0,0	49,0	103,0	5,9	5
16	293,0	79,0	97,0	1,2	4
17	223,0	96,0	86,0	1,3	3
18	248,0	61,0	86,0	1,3	1
19	14,0	0,0	108,0	7,0	4
20	156,0	75,0	78,0	1,4	1
21	319,0	87,0	70,0	3,1	0
22	174,0	77,0	65,0	5,8	6
23	295,0	90,0	91,0	2,1	3
24	256,0	76,0	68,0	1,4	5
25	294,0	56,0	93,0	2,6	0
26	372,0	95,0	83,0	1,7	2
27	198,0	27,0	51,0	2,5	1
28	213,0	71,0	95,0	1,3	1
29	310,0	97,0	85,0	2,4	1
30	216,0	97,0	76,0	2,7	0
31	222,0	78,0	83,0	2,1	0
32	*	*	*	*	*

Tab. 15: Patientendaten an MP3

FLOW:	Blutfluss in au	a:	Median
SO2:	Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in au	b:	Mittelwert
Hb:	relativer Hämoglobingehalt in au	c:	ganze Zahl
DW:	Darmwanddicke in mm	*:	keine Messwerte
SCORE:	Bewertung durch Chirurgen		

10.7 Patientendaten an MP4

Pferd	FLOW ^a	SO2 ^a	Hb ^a	DW ^b	SCORE
1	257,0	95,0	97,0	1,8	1
2	164,0	93,5	109,0	1,6	1
3	242,0	39,0	77,0	1,7	1
4	381,0	91,0	104,0	1,9	1
5	329,0	79,0	95,0	2,3	1
6	193,0	69,0	94,0	2,0	1
7	172,0	94,0	92,0	1,6	1
8	375,0	88,0	101,0	1,5	0
9	243,0	91,0	82,0	2,2	1
10	46,0	76,0	97,0	1,3	1
11	183,0	64,0	102,0	1,7	5
12	295,0	94,0	98,0	1,9	0
13	387,0	98,0	98,0	2,1	0
14	325,0	98,0	82,0	1,6	0
15	360,0	78,0	110,0	1,3	0
16	373,0	83,0	70,0	0,8	0
17	394,0	95,0	95,0	1,2	0
18	255,0	60,0	82,0	1,2	0
19	383,0	64,0	98,0	1,3	0
20	429,0	94,0	100,0	1,5	0
21	113,0	84,0	63,0	1,1	0
22	92,0	97,0	41,0	0,9	1
23	250,0	84,0	82,0	1,4	3
24	327,0	99,0	103,0	1,0	2
25	303,0	76,0	71,0	1,9	0
26	336,0	90,0	85,0	1,2	1
27	294,0	86,0	98,0	1,5	0
28	*	*	*	*	*
29	278,0	92,0	78,0	1,1	1
30	303,0	86,0	73,0	1,2	1
31	415,0	78,0	103,0	1,1	0
32	265,0	94,0	92,0	1,0	0

Tab. 16: Patientendaten an MP4

FLOW:	Blutfluss in au	a:	Median
SO2:	Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in au	b:	Mittelwert
Hb:	relativer Hämoglobingehalt in au	c:	ganze Zahl
DW:	Darmwanddicke in mm	∗:	keine Messwerte
SCORE:	Bewertung durch Chirurgen		

10.8 Patientendaten an MP5

Pferd	FLOW ^a	SO2 ^a	Hb ^a	DW ^b	SCORE
1	314,0	96,0	87,0	1,8	1
2	96,0	23,0	64,0	2,8	1
3	17,0	44,0	112,0	1,5	1
4	318,0	82,0	67,0	1,7	1
5	233,0	92,0	77,0	2,1	1
6	215,0	37,0	78,0	1,9	1
7	335,0	81,0	72,0	1,4	1
8	236,0	93,0	88,0	1,8	0
9	198,0	92,0	83,0	1,8	1
10	27,0	30,0	76,0	1,3	0
11	325,0	94,0	111,0	2,7	4
12	195,0	90,0	75,0	1,7	0
13	342,0	90,0	78,0	1,4	0
14	155,0	80,0	88,0	1,8	0
15	266,0	99,0	98,0	1,4	1
16	*	*	*	*	*
17	392,0	92,0	88,0	1,1	1
18	307,0	61,0	91,0	1,3	0
19	66,0	43,0	80,0	1,3	0
20	186,0	77,0	73,0	1,3	0
21	222,0	94,0	74,0	1,6	0
22	66,0	77,0	38,0	1,2	1
23	264,0	61,0	79,0	1,4	3
24	239,0	74,0	79,0	1,1	0
25	227,0	97,0	74,0	1,1	0
26	*	*	*	*	*
27	285,0	93,0	80,0	1,4	0
28	*	*	*	*	*
29	358,0	88,0	78,0	1,1	0
30	271,0	78,0	82,0	1,3	1
31	*	*	*	*	*
32	290,0	0,0	91,0	1,2	1

Tab. 17: Patientendaten an MP5

FLOW:	Blutfluss in au	a:	Median
SO2:	Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in au	b:	Mittelwert
Hb:	relativer Hämoglobingehalt in au	c:	ganze Zahl
DW:	Darmwanddicke in mm	∗:	keine Messwerte
SCORE:	Bewertung durch Chirurgen		

10.9 Patientendaten an MP6

Pferd	FLOW ^a	SO ₂ ^a	Hb ^a	DW ^b	SCORE
1	364,0	84,0	99,0	1,5	1
2	249,0	30,0	72,0	2,1	1
3	339,5	95,5	53,5	1,7	1
4	263,0	91,0	61,0	1,7	1
5	323,0	89,0	84,0	2,5	1
6	216,0	52,0	83,0	2,3	1
7	254,0	98,0	84,0	1,5	1
8	301,0	88,0	85,0	1,9	0
9	296,0	93,0	78,0	2,3	1
10	29,0	43,0	79,0	1,8	1
11	165,0	78,0	105,0	1,9	4
12	127,0	74,0	82,0	1,2	0
13	274,0	87,0	87,0	1,5	0
14	178,0	90,0	80,0	1,7	0
15	311,0	97,0	94,0	1,3	0
16	230,0	40,0	59,0	1,2	0
17	127,0	74,0	55,0	1,0	0
18	273,0	72,0	74,0	1,2	0
19	204,0	96,0	100,0	1,7	0
20	220,0	83,0	78,0	1,4	0
21	201,0	89,0	76,0	1,2	0
22	181,0	97,0	59,0	1,2	0
23	328,0	76,0	78,0	0,9	3
24	150,0	53,0	91,0	1,2	0
25	292,0	80,0	67,0	1,4	0
26	383,0	74,0	98,0	1,5	2
27	181,0	92,0	82,0	1,2	0
28	*	*	*	*	*
29	377,0	99,0	98,0	0,9	0
30	336,0	88,0	92,0	1,3	1
31	*	*	*	*	*
32	145,0	91,0	78,0	1,3	0

Tab. 18: Patientendaten an MP6

FLOW:	Blutfluss in au	a:	Median
SO ₂ :	Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in au	b:	Mittelwert
Hb:	relativer Hämoglobingehalt in au	c:	ganze Zahl
DW:	Darmwanddicke in mm	∗:	keine Messwerte
SCORE:	Bewertung durch Chirurgen		

10.10 Vollständige Korrelationsergebnisse im Überblick

Messpunkt	Korrelierende Parameter	r-Wert	p-Wert
MP1	DW vs. Score	0,385	0,030
	DW vs. FLOW	-0,432	0,013
	Score vs. FLOW	-0,578	< 0,001
	DW vs. SO ₂	-0,240	0,185
	Score vs. SO ₂	-0,439	0,012
	DW vs. rHb	0,367	0,039
	Score vs. rHb	0,224	0,217
	lg DW vs. lg FLOW	-0,354	0,047
	lg DW vs. lg SO ₂	-0,273	0,131
	lg DW vs. rHb	0,362	0,042
MP2	DW vs. Score	0,459	0,009
	DW vs. FLOW	-0,080	0,667
	Score vs. FLOW	-0,209	0,258
	DW vs. SO ₂	-0,139	0,455
	Score vs. SO ₂	-0,128	0,492
	DW vs. rHb	0,273	0,137
	Score vs. rHb	0,239	0,195
MP3	DW vs. Score	0,389	0,055
	DW vs. FLOW	-0,639	< 0,001
	Score vs. FLOW	-0,482	0,015
	DW vs. SO ₂	-0,552	0,004
	Score vs. SO ₂	-0,094	0,653
	DW vs. rHb	0,234	0,260
	Score vs. rHb	0,045	0,832
	lg DW vs. FLOW	-0,551	0,004
	lg DW vs. SO ₂	-0,458	0,021
	lg DW vs. rHb	0,155	0,459
MP4	DW vs. FLOW	0,098	0,607
	Score vs. FLOW	-0,381	0,035
	DW vs. SO ₂	-0,101	0,597
	Score vs. SO ₂	-0,189	0,309
	DW vs. rHb	0,363	0,049

Messpunkt	Korrelierende Parameter	r-Wert	p-Wert
MP4	Score vs. rHb	0,048	0,800
MP5	DW vs. FLOW	-0,104	0,600
	Score vs. FLOW	0,195	0,319
	DW vs. SO ₂	-0,039	0,843
	Score vs. SO ₂	-0,027	0,891
	DW vs. rHb	0,163	0,408
	Score vs. rHb	0,293	0,131
MP6	DW vs. FLOW	0,061	0,748
	Score vs. FLOW	0,186	0,326
	DW vs. SO ₂	-0,160	0,397
	Score vs. SO ₂	-0,124	0,513
	DW vs. rHb	0,087	0,649
	Score vs. rHb	0,281	0,132
Score = chirurgische Evaluierung DW = Darmwanddicke ultrasonografisch gemessen rHb = relative Hämoglobinkonzentration SO ₂ = kapillare Sauerstoffsättigung lg = logarithmierte Werte Signifikante Ergebnisse wurden grau unterlegt.			

Tab. 19: Darstellung aller Korrelationsergebnisse aller Parameter an allen M

11 Danksagung

Als Erstes möchte ich Herrn Prof. Dr. L-F. Litzke für die Überlassung des interessanten Themas, die wissenschaftliche Betreuung und die Möglichkeit, eine Dissertation mit klinischer Arbeit zu kombinieren, ganz herzlich danken. Ein besonders großes Dankeschön geht an Dr. Anna Wogatzki und Robert Kunzmann. Anna, danke, für dein offenes Ohr, deine endlose Geduld und dass du immer noch einen Lacher hast, auch wenn ich mal wieder etwas zweifle. Und Robert, danke, für das Teamfeeling, deine Ausdauer, unsere kleinen gemeinsamen Wutausbrüche und dass du so ein wunderbarer Diss-Partner bist.

Ganz herzlich möchte ich mich bei meinen Kollegen der Pferdechirurgie in Gießen bedanken, allen voran „meinen“ drei Chirurgen Dr. Axel Schönfelder, Dr. Mohammad Al Naem und Christov Pilz. Danke für eure Geduld, auch in den späten Abend- und frühen Morgenstunden. Ein weiteres Dankeschön geht an meine lieben Kolleginnen Linda, Johanna, Christiane und Kristin für den Beistand und die Aufmunterungen.

Ein großes Dankeschön geht an Dr. K. Failing und an Frau M. Sparenberg für die Geduld bei der Studienplanung, der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse, sowie für das offene Ohr bei allen dringenden Fragen.

Das größte Dankeschön geht an meine Eltern, die mir nicht nur das Studium und damit meinen Kindheitstraum ermöglichten, sondern stets zuversichtlich waren. Danke, für euer Vertrauen, die Liebe und alles was ich vergessen habe.

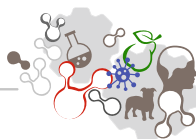
Lorenz, danke, dass du nie von meiner Seite weichst und diesen Weg mit mir gegangen bist. Danke für deine unendliche und unermüdliche Unterstützung, Aufmunterung, Anfeuerung, Hingabe und Ausdauer, nicht nur bei den alltäglichen Schreibblockaden und Formatierungsproblemen, sondern auch für die Erinnerung, dass es noch ein anderes, „echtes“ Leben gibt, was genossen werden muss.

Selbstständigkeitserklärung

"Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der "Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" niedergelegt sind, eingehalten."

Gießen, 18.08.2017

Elisabeth Mirle



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-6620-8



9 783835 196620 8